مهندسی ترافیک

تئوری و کاربرد

ترجمه و تألیف

دکتر حمید بهبهانی

(استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران)

و

مهندس حسین قهرمانی

مهندس بهنام امینی

مهندس محمود احمدی نژاد

(دانشجویان دکترای راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران)

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
سرآغاز	
مقدمه	۱
تعریف مهندسی ترافیک	۱
نکات تاریخی	۲
اجزاء مهندسی ترافیک	۲
مطالعات مشخصات ترافیک ۲، عملکرد ترافیک ۲، برنامه‌ریزی ترافیک ۳، مدیریت ۳.	
سازمان مهندسی ترافیک	۳
مهندس ترافیک	۳
فصل ۱	
استفاده کننده از راه	۵
خصوصیات اصلی رانندگان	۵
عوامل دید در مراحل دریافت و تشخیص ۵، کل زمان دید و عکس‌العمل ۶، پیچیدگی عمل رانندگی ۷.	
تنوع رانندگان	۸
اثرات خستگی	۸
اثرات در عملکرد دید راننده	۸
قضاوت دینامیکی	۸
اثر موسیقی	۸
راننده و وسیله نقلیه	۹
مسائل پیاده‌ها	۹
فصل ۲	
وسیله نقلیه	۱۱
وسیله نقلیه طرح	۱۱
خصوصیات عملکردی	۱۱
شعاع گردش ۱۰، شتاب ۱۳، ترمزگیری ۱۴، اثر شیب ۱۴، ضریب‌اصطکاک ۱۴، طراحی وسیله نقلیه ۱۶.	
فصل ۳	
راه و طرح هندسی	۱۷
طبقه‌بندی راهها	۱۷
کنترل‌های طراحی	۱۸
حجم ترافیک ۱۸، ترکیب ترافیک ۱۹، سرعت طرح ۱۹، کنترل دسترسی ۱۹، وسیله نقلیه طرح ۱۹.	
اجزاء سطح مقطع راه	۱۹
سطح رویه ۲۰، عرض خط عبور ۲۱، شیب‌های عرضی عادی ۲۱، شانه‌های ۲۱، پیاده‌روها ۲۱، جدول	

گذاری ۲۱، حفاظها و پایه‌ها ۲۲، شیب کناری ۲۲، جزیره میانی ۲۲، عرض حریم راه ۲۲.
۲۳ مسیر بندی راه
۲۳ مسیر بندی افقی
بـر بـلندی قـوس‌ها ۲۳، قـوس‌های دایـره‌ای ۲۴، منحنی‌های انتقالی ۲۵، طـول اعـمال بـر بـلندی ۲۵، تعریض رویه در قوس ۲۵.
۲۶ مسیر بندی قائم
حداکثر شیب ۲۷، طول بحرانی شیب ۲۸، ترکیب شیب و قوس ۲۹.
۲۹ مسافت دید
مسافت دید بدون سبقت ۲۹، مسافت دید سبقت ۲۹، مسافت دید در قوس‌های قائم ۳۰، مسافت دید در قوس‌های افقی ۳۳.
۳۴ تقاطع‌ها
اصول طرح تقاطع‌ها ۳۴، انواع تقاطع‌ها ۳۴، اجزاء طرح تقاطع‌ها ۳۸.

فصل ۴
۴۳ **مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری**
۴۳ تکامل برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری
طبیعت سفر ۴۴.
۴۴ فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری
سازمان ۴۴، اهداف و مقاصد ۴۵، بررسی وضع موجود ۴۵، تحلیل و کالیبره کردن مدل ۴۵، تعیین پیش بینی‌های اقتصادی اجتماعی منطقه‌ای ۴۷، اختصاص پیش بینی‌های منطقه‌ای به ناحیه‌های کوچک ۴۷.
۴۹ تولید سفر
کالیبره کردن مدل برگشتی خطی ۴۹.
۵۱ توزیع سفر
روش‌های ضریب رشد ۵۱، مدل فرصت‌های بینابینی ۵۹، کالیبره کردن مدل فرصت‌های بینابینی ۶۰، مدل جاذبه ۶۱، کالیبره کردن مدل جاذبه ۶۲.
۶۷ تفکیک سفر
۶۷ تخصیص سفر
تهیه طرح‌های مختلف شبکه آینده ۶۸، پیش بینی سفرهای آینده ۶۸.
۶۸ ارزیابی و انتخاب برنامه
۶۸ برنامه‌ریزی پیوسته
۶۹ موارد استفاده اطلاعات برنامه‌ریزی حمل و نقل توسط مهندس ترافیک

فصل ۵
۷۱ **مطالعات مبداء و مقصد**
۷۱ موارد کاربرد مطالعات مبداء مقصد
تعریف بعضی از اصطلاحات متداول در حمل و نقل ۷۱،
۷۲ روش‌های انجام مطالعات مبداء و مقصد
مصاحبه درکنار راه ۷۲، کارت پستی ۷۲، پلاک وسیله نقلیه ۷۳، چراغ‌های روشن ۷۳، مصاحبه در خانه ۷۳، تمدید گواهینامه ۷۴، تلفن ۷۴، روش‌های عکسبرداری ۷۴.
۷۴ نوع مطالعات بر حسب اندازه شهر
۷۴ کنترل دقت مطالعات مبداء و مقصد
استفاده از خط تقسیم ۷۵، استفاده از خط محدوده ۷۶.
۷۶ ارائه و خلاصه نتایج مطالعات مبداء و مقصد
۸۰ مطالعات تکمیلی مبداء و مقصد
مطالعات داخلی - خارج خط محدوده ۸۰، مطالعات پارکینگ - خارج محدوده ۸۰، مطالعات خارج

فصل ۶
مطالعات اقتصادی راه ۸۱
اصول اقتصاد مهندسی ۸۱
فرمول‌های پرداخت ثابت سالیانه ۸۲.
هزینه‌های حمل و نقل جاده‌ای ۸۳
هزینه‌های استفاده کننده ۸۳، جدول‌های واحد هزینه عملکرد وسیله نقلیه موتوری ۸۹، سایر منافع استفاده کنندگان و غیر استفاده کنندگان که از توسعه جاده بدست می‌آید ۹۴، هزینه‌های راه ۹۵.
مطالعات اقتصادی ۱۰۰
روش‌های مطالعات اقتصادی ۱۰۰
روش هزینه سالیانه ۱۰۰، روش نرخ بازده ۱۰۱، روش نسبت منافع به هزینه ۱۰۱.
تعیین ADT برای طول دوره تحلیل ۱۰۲
جنبه‌های حساسیت مطالعات اقتصادی ۱۰۳
اثر نرخ بهره ۱۰۳، اثر ارزش اسقاطی مفروض ۱۰۴، اثر حجم ADT مفروض ۱۰۴، اثر تورم ۱۰۴.
مثال‌هایی از مطالعات اقتصادی راه. ۱۰۴
هزینه وسیله نقلیه در ارتباط با تقاطع ۱۰۴، مقایسه انواع روسازی ۱۰۵، اقتصاد تقلیل تصادف و ممنوعیت پارکینگ ۱۰۷، مثال شماره ۱ اشتو ۱۰۹، مثال شماره ۱۴ اشتو ۱۱۰، مقایسه گزینه‌های متعدد ۱۱۴.
منابع جدید اطلاعات برای هزینه استفاده کننده ۱۱۷
گزارش شماره ۱۱۱ برنامه همکاری ملی تحقیقات آمریکا ۱۱۸، جداول وینفری ۱۲۲، مقایسه بین اشتو، وینفری و برنامه تحقیقات ملی آمریکا ۱۲۲.

فصل ۷
مطالعات زمان سفر و تأخیر ۱۲۵
کاربردهای زمان سفر و تأخیر ۱۲۵
تعریف‌ها ۱۲۵
روش‌هایی برای انجام مطالعات زمان سفر و تأخیر ۱۲۶
روش اتومبیل مشاهده ۱۲۶، روش پلاک اتومبیل ۱۲۷، روش‌های عکسبرداری ۱۲۷، مشاهده از نقاط مرتفع ۱۲۸.
مطالعات تأخیر در تقاطع ۱۳۰
عوامل موثر بر تأخیر تقاطع ۱۳۰، روش‌هایی برای اندازه‌گیری تأخیر تقاطع در محل ۱۳۰.
زمان سفر و تأخیر به عنوان معیارهای تراکم و سطح سرویس ۱۳۱
شدت تأخیر ۱۳۲، شدت تأخیر خودرو ۱۳۲، شاخصهای تراکم ۱۳۲.
اطلاعات مربوط به زمان سفر و تأخیر ۱۳۳
نقشه‌های خطوط تراز زمانی ۱۳۳، نمودار میله‌ای ۱۳۳، پروفیل‌های سرعت ۱۳۳، منحنی‌های توزیع فراوانی ۱۳۳، نقشه‌های منطقه سرعت ۱۳۳.
خصوصیات سرعت - تأخیر ترافیک ۱۳۳

فصل ۸
مطالعات سرعت نقطه‌ای ۱۳۷
کاربردهای اطلاعات سرعت نقطه‌ای ۱۳۷
تعاریف ۱۳۷
محل‌هایی که مطالعات سرعت نقطه‌ای انجام می‌شود ۱۳۸
عواملی که در سرعت نقطه‌ای تأثیر دارند ۱۳۸
زمان و طول مطالعه ۱۳۸

روش‌های انجام مطالعات سرعت نقطه‌ای ۱۳۸
روش‌های اندازه‌گیری زمان روی مسافت مشخص ۱۳۹، روش‌هایی که از لوله هوای فشرده استفاده می‌شود ۱۳۹، روش‌های عکسبرداری ۱۴۱.
تحلیل و ارائه اطلاعات سرعت لحظه‌ای ۱۴۳
تنظیم و جمع‌آوری اطلاعات سرعت لحظه‌ای ۱۴۴، نمایش گرافیکی اطلاعات سرعت لحظه‌ای ۱۴۴، مقادیر نمایانگر ۱۴۵، معیارهای تمایل به مرکز ۱۴۶، توزیع نرمال ۱۴۷، دقت نمونه‌گیری ۱۴۸، مطالعات قبل و بعد ۱۵۰، برازندگی نطابق ۱۵۳.
مشخصات سرعت لحظه‌ای ۱۶۲
روندهای سرعت ۱۶۲، توزیع سرعت ۱۶۲، تأثیر حجم ترافیک در سرعت ۱۶۲، تغییر سرعت در زمان‌های روز ۱۶۳، تغییرات سرعت متوسط برای انواع وسایل نقلیه ۹۶۳، تأثیر آب و هوا روی سرعت ۱۶۴، اثرات راننده در سرعت ۱۶۴، تغییرپذیری اندازه‌گیری‌های سرعت لحظه‌ای ۱۶۴.

فصل ۹
مطالعات حجم ترافیک ۱۶۵
تعاریف ۱۶۵
نیاز به اطلاعات در مورد حجم ترافیک ۱۶۶
روش‌های انجام شمارش‌های وسایل نقلیه ۱۶۷
شمارشگرهای مکانیکی ۱۶۷، شمارش‌های دستی ۱۶۹، روش وسیله نقلیه متحرک ۱۶۹، روش‌های عکسبرداری ۱۶۹.
همبستگی رویدادهای رانندگی سنج و حجم ۱۶۹
برنامه‌ریزی مدت زمان شمارش ۱۶۹
برنامه‌ریزی برای شمارش‌های دوره‌ای در مناطق برون شهری ۱۷۰
برنامه‌ریزی شمارش‌های حجمی دوره‌ای در مناطق شهری ۱۷۰
ارائه اطلاعات حجمی ۱۷۲
نقشه‌های تردد ترافیک ۱۷۲، نقشه‌ای تردد تقاطع ۱۷۲، انواع نمودارهای تغییرات ۱۷۲، نمودارهای روند ۱۷۲، جداول خلاصه ۱۷۲، نقشه‌های ترسیمی تقاطع ۱۷۲،
خصوصیات حجم ترافیک ۱۷۳
عناصر موثر در حجم ترافیک ۱۷۳، نوع و محل راه یا خیابان ۱۷۴، روندهای حجم ترافیک ۱۷۶، ترکیب ترافیک ۱۷۶.
مدت زمانی حجم ترافیک ساعت اوج ۱۷۷
تغییرات روزانه ۱۷۷، تغییرات ساعتی سالیانه ۱۷۷.
روش‌های شمارش کوتاه برای مطالعات حجم ۱۷۸
دلایل روش‌های شمارش کوتاه ۱۷۸، روش‌های شمارش کوتاه شماره۱ ۱۷۹، روش‌های شمارش کوتاه شماره۲ ۱۷۹،
بسط و تعدیل شمارش‌های حجم ترافیک ۱۸۰
تعدیل شمارش‌های انجام شده در یک ناحیه محدود ۱۸۰، بسط شمارش‌های انجام شده با روش شمارش کوتاه شماره ۲ ۱۸۲، تعدیل شمارش‌های ایستگاه پوشاننده ADT ۱۸۲، ضرایب بسط و تعدیل از ایستگاه‌های شمارش دائمی ۱۸۲، ضرایب بسط و تعدیل برای ایستگاه‌های کنترل ۱۸۳.
دقت آماری تخمین‌ها AADT ۱۸۵
روش آماری BPR برای تخمین AADT از شمارش‌های نمونه ۱۸۷

فصل ۱۰
تئوری ترافیک: جریان و کنترل ۱۹۱
جریان جمعی و خودرو به دنبال هم ۱۹۱
سایر مدل‌های چگالی - تردد ۱۹۲
مدل‌های احتمالی ۱۹۳

جـــریان خـــروجی از یک مـــقطع بـــزرگراه ۱۹۳، کـنترل بـا چـراغ راهـنمایی ۱۹۵، ظـرفیت و رود ترافیک ۱۹۶، سـایر کاربردها ۱۹۷، ۱۹۷
شیبراهه و آزاد راه
بررسی هر یک از شیبراهه‌ها ۱۹۸، کنترل و نظارت بزرگراهها ۲۰۰. ۲۰۰
کنترل شبکه و راه شریانی ۲۰۱
کنترل تقاطع‌های فوق اشباع ۲۰۱
بعضی معیارهای تأثیرپذیری ۲۰۲
جنبه‌های دیگر

فصل ۱۱ ۲۰۳
ظرفیت راهها: مقدمه و پیش زمینه‌ها ۲۰۳
تعریف‌ها و مفاهیم
ظرفیت ۲۰۳، انواع تسهیلات ۲۰۴، سطوح سرویس ۲۰۴. ۲۰۵
اصول اساسی جریان ترافیک
معیارهای اندازه‌گیری جریان ترافیک ۲۰۵، خصوصیات جریان غیر منقطع ۲۰۷، خصوصیات جریان منقطع ۲۰۸.
عوامل موثر در ظرفیت، میزان تردد و سطح سرویس ۲۱۰
شرایط ایده‌آل ۲۱۰، شرایط راه ۲۱۱، شرایط ترافیکی ۲۱۱، شرایط کنترل ۲۱۲.

فصل ۱۲ ۲۱۳
ظرفیت راهها: آزاد راهها ۲۱۳
قسمت‌های اساسی آزاد راه
سطوح سرویس و ظرفیت ایده‌آل ۲۱۳، محاسبات ظرفیت ۲۱۶، مسائل نمونه ۲۱۸. ۲۱۹
نواحی تغییر خط
طول تغییر خط ۲۱۹، ترکیب ۲۲۰، تعیین عرض ناحیه تغییر خط و نوع عملکرد ۲۲۲، روش محاسبه ۲۲۳، نواحی تغییر خط مرکب ۲۲۶، محاسبات نمونه ۲۲۸.
شیبراهه و محل اتصال آن ۲۳۲
تقاطع شیبراهه و آزاد راه ۲۳۲
ترکیب شیبراهه ۲۳۲، اجزاء بحرانی برای تحلیل ۲۳۳، روش تحلیل تقاطع شیبراهه ۲۳۴.
شیبراهه ۲۳۹
تقاطع شیبراهه و خیابان ۲۴۰
مسائل نمونه ۲۴۰

فصل ۱۳ ۲۵۹
ظرفیت راهها: خیابان‌ها و راههای شریانی ۲۵۹
ظرفیت تقاطع‌های چراغ دار
روش کتاب راهنمای ظرفیت راهها ۲۵۹، سطح سرویس تقاطع‌های چراغ دار ۲۶۰، رابطه ظرفیت و سطح سرویس ۲۶۰، انواع تحلیل ۲۶۱، ۱- واحد ورودی ۲۶۲، ۲- واحد تعدیل حجم ۲۶۴، ۳- واحد محاسبه جریان اشباع ۲۶۵، ۴- واحد تحلیل ظرفیت ۲۷۲، ۵- واحد محاسبه سطح سرویس ۲۷۳.
تعبیر نتایج ۲۷۵
مسائل نمونه ۲۷۵
تحلیل عملکردی یک چراغ ثابت سه فازه ۲۷۵.
ظرفیت تقاطع‌های بدون چراغ ۲۸۰
روش کتاب راهنمای ظرفیت راهها ۲۸۰، روش کار ۲۸۱، اطلاعات ورودی مورد نیاز ۲۸۳، ترافیک

برخوردی ۲۸۳، فاصله بحرانی ۲۸۵، مقادیر فواصل بحرانی ۲۸۶، ظرفیت بالقوه حرکت ۲۸۶، اثرات باز دارندگی ۲۸۷، ظرفیت خطوط مشترک ۲۸۸، معیارهای سطح سرویس ۲۸۸.
مسائل نمونه ۲۸۹
مسأله ۱- تقاطع سه راهی ۲۸۹.
راههای شریانی شهری و حومه‌ای ۲۹۳
مشخصه‌های تردد در شریانی‌ها ۲۹۳، سطح سرویس شریانی ۲۹۴، روش کار ۲۹۵.
مسأله نمونه ۳۰۱
محاسبه سطح سرویس شریانی ۳۰۱.

فصل ۱۴
ظرفیت راهها؛ راههای برون شهری بدون کنترل دسترسی ۳۰۵
راههای چند خطه برون شهری ۳۰۵
مشخصات جریان ناپیوسته در راههای چند خطه ۳۰۶.
روش کار ۳۰۸
معیارهای سطح سرویس ۳۰۸، روابط اساسی ۳۰۹.
تصحیح‌های حداکثر تردد ۳۱۰
تصحیح برای عرض خط و فاصله با موانع جانبی ۳۱۰، تصحیح برای حضور وسایل نقلیه سنگین ۳۱۰، تصحیح برای توسعه نواحی اطراف و نوع راه چند خطه ۳۲۱، تصحیح برای مقصود راننده ۳۱۸.
مسائل نمونه ۳۱۸
مسأله ۱- تحلیل یک راه چند خطه برون شهری مجزا با شیب مشخص ۳۱۸، مسأله ۲- طراحی یک راه چند خطه حومه‌ای ۳۲۰.
راههای دو خطه برون شهری ۳۲۰
تعیین کیفیت سرویس ۳۲۲، شرایط ایده‌آل ۳۲۲، سطوح سرویس ۳۲۲، محاسبات ۳۲۳.

فصل ۱۵
مطالعات پیاده‌روی ۳۳۱
اندازه‌گیری پیاده روی ۳۳۱
خصوصیات عابرین پیاده ۳۳۲
ظرفیت و حجم عابرین پیاده ۳۳۳
مشخصه‌های سوار شدن به وسایل نقلیه همگانی ۳۳۴
آخرین نتایج ۳۳۴

فصل ۱۶
مطالعات پارکینگ ۳۳۷
ماهیت مسأله ۳۳۷
گروه‌ها و منافع متأثر از پارکینگ ۳۳۹
انواع تسهیلات پارکینگ ۳۳۹
تسهیلات خیابانی یا جدولی ۳۳۹، تسهیلات غیر خیابانی پارکینگ ۳۳۹.
طرح هندسی پارکینگ‌های پایانه‌ای ۳۴۰
پارکینگ کنار جدولی ۳۴۰، پارکینگ‌های رو باز خیابانی ۳۴۱.
کاربری تسهیلات پارکینگ ۳۴۱
تعاریف ۳۴۲
روابط مربوط به عرضه، کاربری و تقاضای پارکینگ ۳۴۳
فاصله پیاده‌روی در پارکینگ ۳۴۴
مطالعات پارکینگ ۳۴۴

تقاضای پارکینگ در CBD ۳۴۴، مطالعات پارکینگ در زمان اوج ۳۴۸، مطالعه ساده برای شهرهای کوچک ۳۴۸، مطالعه محدود پارکینگ ۳۴۹، تولید کنندگان تقاضای پارکینگ در خارج از مرکز تجاری شهر ۳۴۹، ۳۵۱
سایر روش‌های برآورد نیاز پارکینگ ۳۵۱
شاخصهای تقاضای پارکینگ

فصل ۱۷ ۳۵۳
مطالعات تصادفات ۳۵۳
علل تصادفات ترافیکی
عوامل انسانی ۳۵۳، عوامل مربوط به وسیله نقلیه ۳۵۴، عوامل محیطی ۳۵۵. ۳۵۵
گزارش‌های تصادفات - سیستم گزارش دهی
آمارهای تصادف ۳۵۵، روش گزارش دهی ۳۵۵، سیستم مکان‌یابی ۳۵۸، سیستم ثبت تصادفات ۳۵۸. ۳۵۸
تجزیه و تحلیل تصادفات
تجزیه و تحلیل کلی ۳۶۰، عناصر مقطع عرضی ۳۶۵، مسیربندی ۳۶۶، هزینه‌های تصادفات ۳۶۹، تحلیل ویژه ۳۶۹.

فصل ۱۸ ۳۷۳
قوانین و مقررات ترافیکی ۳۷۳
اختیارات قانون گذاری ۳۷۴
یکنواختی مقررات
ضرورت یکنواختی ۳۷۴، تاریخچه گسترش یکنواختی ۳۷۴. ۳۷۴
مبانی مقررات
کنترل رانندگان ۳۷۴، کنترل وسایل نقلیه ۳۷۶، کنترل عملکردهای وسایل نقلیه ۳۷۷، مقررات کاربردی راه ۳۷۷، حق تقدم ۳۷۷، حقوق و وظائف عابرین پیاده ۳۷۸.

فصل ۱۹ ۳۷۹
پیش در آمدی بر وسایل کنترل ترافیک ۳۷۹
کاربردهای وسایل کنترل ترافیک ۳۷۹
وظیفه و سایل کنترل ترافیک
وسایل مقرراتی ۳۸۰، وسایل هشدار دهنده ۳۸۰، وسایل راهنمایی کننده ۳۸۰. ۳۸۰
ضوابط وسایل کنترل ترافیک
طراحی وسایل ۳۸۰، موقعیت وسایل ۳۸۰، نگهداری وسایل ۳۸۰، یکنواختی وسایل ۳۸۰. ۳۸۱
یکنواختی وسایل کنترل ترافیک
مزایای یکنواختی ۳۸۱، توسعه استانداردها و یکنواختی ملی ۳۸۲. ۳۸۴
اختیارات قانونی ۳۸۴
تأثیر کاربرد نادرست وسایل کنترل ترافیک

فصل ۲۰ ۳۸۵
تابلوها و علامت گذاری‌های ترافیکی ۳۸۵
علامت‌گذاری‌های ترافیکی
کارکردها و محدودیت‌های علامت گذاری ۳۸۵، طراحی علامت گذاری‌ها ۳۸۵، نگهداری از علامت گذاری‌ها ۳۸۷، کاربردهای علامت گذاری‌های ترافیکی و روسازی ۳۸۷. ۳۹۱
تابلوهای ترافیک
کاربرد تابلوهای ترافیک ۳۹۱، طراحی تابلوها ۳۹۱، محل تابلوگذاری ۳۹۵، نگهداری تابلوها ۳۹۵، طبقه بندی عملکردی تابلوها ۳۹۵، کنترل ناحیه مدارس ۳۹۷، تابلوهای جدید ۳۹۷، انواع ساخت تابلو ۳۹۸، مطالعات مربوط به کارآیی تابلوها ۳۹۸، تابلوها و تصادفات ۳۹۸.

فصل ۲۱
چراغ‌های راهنمایی ۴۰۱
مزایای چراغ‌های راهنمایی ۴۰۱
طبقه بندی چراغ‌های راهنمایی ۴۰۲
چراغ‌های راهنمایی ترافیک ۴۰۲، چراغ‌های عابرین پیاده ۴۰۲.
طراحی و نصب چراغ‌های راهنمایی ۴۰۲
نگهداری چراغ‌های راهنمایی ۴۰۲، چراغ‌های راهنمایی با زمان ثابت ۴۰۳، ضوابط مربوط به چراغ‌های ثابت ۴۰۳.
چراغ‌های ترافیک حساس ۴۰۵
کنترل کننده‌های نیمه متغیر ۴۰۶، کنترل کننده‌های تمام متغیر ۴۰۶، کنترل کننده‌های حجم- چگالی ۴۰۶، کنترل کننده‌های مرکزی ترافیک ۴۰۷، لوازم کمکی کنترل کننده‌های متغیر ۴۰۸، شناسگرها ۴۰۸، هماهنگ سازی چراغ‌های ترافیک- حساس ۴۰۹.
مقایسه کنترل ثابت و متغیر ۴۰۹
مزایای کنترل ثابت ۴۰۹، مزایای کنترل ترافیک - حساس ۴۱۰.
روش‌های ارتباط میان چراغ‌های راهنمایی ۴۱۰

فصل ۲۲
روشنایی خیابان و بزرگراه ۴۱۱
مزایا و منافع روشنایی ۴۱۱
کاهش حوادث و تصادفات ۴۱۱، راحتی و آسایش ۴۱۱، ممانعت از وقوع جرائم ۴۱۱، توسعه ارزش زمین در منطقه تجاری مرکز شهر۴۱۲.
تعاریف ۴۱۲
درک اشیاء از سایه روشن ۴۱۲، درک اشیاء با جزئیات ظاهری ۴۱۳، اندازه اشیاء ۴۱۳، زمان قابل دسترسی برای تشخیص ۴۱۳، رنگ نور ۴۱۳، تشعشع و خیره‌کنندگی ۴۱۳.
مقدار نور مورد نیاز ۴۱۳
توزیع نور چراغ ۴۱۴
توزیع عمودی نور ۴۱۴، توزیع جانبی ۴۱۴، اطلاعات نور سنجی روشنائی ۴۱۶.
طراحی روشنایی خیابان و بزرگراه ۴۱۶
ارتفاع منبع نور ۴۱۶، فواصل چراغ‌ها۴۱۷، موقعیت عرضی چراغ ۴۱۷، ترتیب خاص روشنایی خیابان‌ها ۴۱۷، حالت‌هایی که دقت خاص را ایجاب می‌نماید۴۱۷.
انتخاب نوع لامپ برای منبع نور ۴۱۸
لامپ برقی یا رشته‌ای ۴۱۸، لامپ یا بخار جیوه ۴۱۸، لامپ فلورسنت ۴۱۸، لامپ بخار سدیم ۴۱۸، مقایسه اقتصادی لامپ‌ها ۴۱۸.
روابط محاسبه روشنایی جاده ۴۱۸

فصل ۲۳
تقاطع ۴۲۱
کنترل‌های تقاطع ۴۲۱
ملاحظات عمومی ۴۱۲، انواع کنترل تقاطع ۴۲۲
تعاریف ۴۲۵
زمان بندی چراغ برای یک تقاطع مجزا ۴۲۶
اهداف زمان بندی چراغ ۴۲۶، زمان بندی یک چراغ ۴۲۶.
مسائل نمونه در چراغ‌های با زمان ثابت ۴۳۳
تعاریف برای چراغ‌های با زمان بندی متغیر ۴۳۸
زمان بندی یک چراغ با زمان متغیر ۴۳۸
فرضیات در زمان بندی یک چراغ کاملاً متغیر ۴۳۸، ملاحظات در زمان بندی چراغ‌های نیمه متغیر۴۳۹.
کنترل گردش در تقاطعات ۴۴۰

انواع گردش ۴۴۰، ابزار محدود نمودن گردش ۴۴۱، گردش به راست در زمان قرمز ۴۴۱، کنترل کاربری خط در تقاطعات ۴۴۱، فاز مخصوص در چراغ ترافیکی برای کنترل گردش ۴۴۲.
جزایر کنترل ترافیک ۴۴۴
طبقه‌بندی جزایر ۴۴۴، کاربرد جزایر ۴۴۴، جزئیات یک طراحی کلی ۴۴۵، نگهداری جزایر ترافیکی ۴۴۶.
کنترل‌های توقف در تقاطع ۴۴۶
کنترل‌های پیاده ۴۴۷
تصادفات پیاده- وسیله نقلیه ۴۴۷، تراکم ترافیک ۴۴۷، امدادهای مهندسی برای ایمنی و کنترل پیاده‌ها ۴۴۷، وضع قانون و اجرای آن ۴۵۰، آموزش ۴۵۰، حفاظت عبور مدرسه ۴۵۰.

فصل ۲۴
هماهنگی چراغ‌های راهنمایی ۴۵۱
انواع سیستم چراغ‌های هماهنگ ۴۵۲
پیوستگی تک درجه‌ای ۴۵۲، پیوستگی سه درجه‌ای ۴۵۲، سیستم تأثیر پذیر از ترافیک ۴۵۲، سیستم هدایت شده با کامپیوتر ۴۵۳.
دیاگرام زمان - فاصله یک ابزار اساسی ۴۵۳
طرح هماهنگی چراغ با زمان بندی ثابت برای شریانی‌ها ۴۵۴
روش همزمانی ۴۵۴، روش متناوب ۴۵۴، روش پیشروی ساده ۴۵۵، روش پیشروی انعطاف پذیر ۴۵۵، روش پیشروی عمومی ۴۵۶.
زمان بندی روش پیشروی ۴۵۶
کار برد در یک خیابان یک طرفه ۴۵۷، کاربرد روش در شریانی دو طرفه ۴۵۸.
هماهنگی شبکه چراغ‌های ثابت ۴۵۹
تعاریف ۴۵۹
شرط بهم پیوستن ۴۶۰، الگوریتم‌هائی برای زمان‌بندی شبکه ۴۶۰.

فصل ۲۵
کنترل سرعت و منطقه بندی ۴۶۳
قوانین کنترل سرعت ۴۶۳
قانون اصلی سرعت ۴۶۴، مناطق عمده محدودیت سرعت ۴۶۴، محدودهٔ مطلق سرعت ۴۶۴.
قانون گذاری برای کنترل سرعت ۴۶۴
محدوده‌های مطلق سرعت ۴۶۴، مناطق سرعت ایالتی ۴۶۴، محدودهٔ حداکثر سرعت ۴۶۴، محدوده حداقل سرعت ۴۶۵، محدوده سرعت کامیون ۴۶۵، محدوده‌های غالب سرعت ۴۶۵.
آموزش برای کنترل موثر سرعت ۴۶۵
جنبه‌های مهندسی کنترل سرعت ۴۶۶
طراحی جاده ۴۶۶، منطقه بندی سرعت ۴۶۶، تنظیم محدودیت ۴۶۷، محدوده‌های سرعت. منطقه‌ای ۴۶۸، چراغ‌های کنترل سرعت ۴۶۸، محاسبه سرعت بحرانی ۴۶۸.
اجرای محدودیت سرعت ۴۷۱
روش‌های اجزاء ۴۷۱، نوسان ۴۷۱
آزمایشات در حوزه سرعت ۴۷۱
ایلی لویز ۴۷۱، نشویل ۴۷۱، پنسیلوانیا ۴۷۱، وسیکانسین ۴۷۲، سنت پل ۴۷۲، نراسکا ۴۷۳، کالیفرنیا ۴۷۳، مطالعات گوناگون ۴۷۳.

فصل ۲۶
خیابان‌های یکطرفه، جریان نامتعادل ۴۷۵
خیابان‌های یکطرفه ۴۷۶
مزایا ۴۷۶، معایب ۴۷۹، ضوابط خیابان‌های یکطرفه ۴۷۹ با نصب سیستم ۴۸۰

جریان نامتعادل برگشتی و ارجع ۴۸۰
خیابان‌های یکطرفه برگشتی مقطعی ۴۸۰، حرکت در خارج از خط مرکزی ۴۸۱، خیابان‌های ترجیحی ۴۸۲.
آزمایشات با خیابان‌های یکطرفه و جریان نامتعادل ۴۸۳

فصل ۲۷
کاربرد تابلوها و کنترل‌های خاص ترافیکی ۴۸۵
تابلوهای تقاطعات غیر همسطح ۴۸۵
تابلوهای پیش راهنما ۴۸۵، تابلوهای راهنمای خروجی ۴۸۵، تابلوهای راهنمایی در بزرگراه‌ها ۴۸۶، نصب تابلوها و ایمنی جاده‌ها ۴۸۶.
نصب چراغ در تقاطعات لوزوی ۴۸۶
محاسبه ظرفیت ۴۸۷، زمان بندی چهار فازه تقاطع غیر همسطح لوزوی ۴۸۸، کنترل شیبراهه و آزاد راه ۴۸۸.
کنترل و نظارت بر آزادراه‌ها ۴۹۰
طرح دیترویت ۴۹۰، طرح شیکاگو ۴۹۰، طرح بندر نیویورک ۴۹۱، طرح چولاویستا ۴۹۱، طرح لوس آنجلس ۴۹۲، مطالعات آزمایشی نیویورک ۴۹۳، طرح دهلیز دالاس ۴۹۳.

ضمائم ۴۹۳

ضمیمه ۱ - معادل فارسی اصطلاحات انگلیسی ۴۹۵
ضمیمه ۲ - فهرست مراجع ۵۰۱

تشکر و قدردانی

نگارندگان وظیفه خود می‌دانند که از مدیریت و مسئولین محترم سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران که امکان انتشار این مجموعه را فراهم نمودند تشکر نمایند. همچنین لازم است از سرکار خانم سهیلا غضنفری که تایپ نسخه اولیه این کتاب را بعهده داشتند تشکر نمود. مسلماً امکان چاپ این کتاب بدون تلاش و کوشش آقای جواد شبرنگ مدیریت محترم مرکز خدمات فرهنگی سالکان و کارمندان ایشان امکان پذیر نمی‌بود، که لازم است از زحمات آنها نیز قدردانی بعمل آید.

سرآغاز

مهندسی ترافیک از جمله تخصص‌هائی است که، نسبت به سایر شاخه‌های مهندسی عمران، در ایران از سابقه کمتری برخوردار است، اگر چه از سال‌های بسیار دورتر با رشد شهر نشینی و افزایش تعداد وسایل نقلیه شهرهای ما دچار مشکلات ترافیکی بوده‌اند. خوشبختانه بعد از انقلاب شکوهمند اسلامی به این رشته توجه بیشتری گردیده و با تأسیس دوره‌های عالی در دانشگاه اقدام به تربیت نیروهای متخصص و انجام پژوهش در این زمینه شده است. در کنار فعالیت‌های مذکور کوشش‌های چندی نیز در زمینه چاپ و تهیه منابع فارسی بعمل آمده، ولی کمبود مرجعی که جنبه‌های مختلف مهندسی ترافیک را پوشش دهد همیشه محسوس بوده است.

کتاب حاضر با هدف رفع کمبود فوق و با مبنا قرار دادن یکی از بهترین مراجع بنام "مهندسی ترافیک" تالیف *Louis J. Pignataro* که سال‌ها در آمریکا تدریس می‌شده است تهیه گردیده و حتی الامکان سعی شده است مباحث قدیمی کتاب مزبور و همچنین مواردی که در آنها کمبود وجود داشته است از منابع دیگر تکمیل و بهنگام شود. از جمله این قسمت‌ها می‌توان فصول مربوط به طرح هندسی، برنامه ریزی حمل و نقل شهری و ظرفیت راه‌ها و تقاطع‌ها را نام برد.

مطالب کتاب مزبور با توجه به گستردگی و تنوع مطالب آن می‌تواند مورد استفاده دانشجویان در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا، پژوهشگران و سایر دست اندرکاران مهندسی ترافیک، مهندسی و برنامه ریزی حمل و نقل و راهسازی قرار گیرد.

هرچند سعی گردیده که مجموعه مزبور بدون اشکال باشد، ولی ذکر نکات، اشکالات و نارسائیها توسط اساتید محترم، پژوهشگران و کلیه مهندسین مورد استقبال قرار خواهد گرفت و قبلاً از بذل توجه آنها تشکر می‌شود.

حمید بهبانی - حسین قهرمانی

بهنام امینی - محمود احمدی نژاد

مقدمه

توسعه روزافزون شهرها جابجایی انسان و کالا را بصورت مسأله‌ای درآورده است که پیچیدگی آن دائماً در حال افزایش است. رشد شهری تقاضای سفر زیادی را روی تسهیلات ناکافی موجود حمل و نقل باعث شده است، و شهرها برای خدمات حمل و نقل تا حدود زیادی به سیستم خیابان‌های خود متکی هستند. برای جوابگویی به تقاضای فزاینده ترافیک اتومبیل‌ها، ترافیک تجاری، حمل و نقل عمومی، دسترسی به زمین‌های اطراف و همچنین پارکینگ، این سیستم‌ها همیشه در حال تحمل بار اضافی هستند.

گسترش شهرنشینی مسائل ملالت آور تراکم ترافیک را کاهش می‌دهد. اگر قرار باشد نواحی شهری رشد نموده و کارآئی داشته باشند، برنامه‌ریزی و ساخت امکانات کافی برای حمل و نقل عمومی و خصوصی اجتناب ناپذیر است. این امکانات، بعلاوه منابع موجود، باید طوری عمل کند که حرکت روان و خوبی را برای کل ترافیک فراهم نماید. اما اگر قرار باشد یک سطح قابل‌قبول از سازگاری نیز بوجود آید، تسهیلات اضافه شده به سیستم به شکلی باید برنامه‌ریزی گردد که کاربری مناسب زمین را باعث شود، برای استفاده راحت باشد، و سهم مثبتی در تامین زیبایی و موارد دیگر محیط زیست، هم از نظر رانندگان و هم از نظر تماشاگران، داشته باشد.

جامعه تعهد بیشتری را در مقابل این اهداف بوجود می‌آورد، و در برنامه‌ریزی و عملکرد راهها، فرودگاه‌ها، سیستم‌های حمل و نقل عمومی و پایانه‌های حمل کالا، رقابت در تخصص و دقت بیشتری را طلب می‌کند. مقامات دولتی نیز با تشکیل و حمایت از کمیته‌های مخصوص، گروه‌های برنامه‌ریز و سازمان‌های تحقیقاتی در زمینه‌های حمل و نقل و کاربری زمین نقش خود را ایفا می‌کنند.

رشد شهرهای بزرگ تا حد زیادی فعالیت اقتصادی و اجتماعی موجود در فراسوی مرزهای شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین در برنامه‌ریزی و تأمین تسهیلات حمل و نقل نه فقط شهر مرکزی بلکه نواحی اطراف آن که مستقیماً تحت تأثیر هستند نیز باید در نظر گرفته شود. این منطقه، بطور کامل، به عنوان ناحیه استاندارد آماری شهری شناخته می‌شود.

ناحیه استاندارد آماری باید با معیارهای معینی تعریف شود. یک ناحیه بزرگ شهری حداقل از یک شهر با جمعیت زیاد و بخش‌های اطراف آن، با توجه به میزان وابستگی اقتصادی و خصوصیات جمعیتی تشکیل می‌شود.

تسهیلات حمل و نقل نیاز اساسی یک جامعه برای رشد و توسعه است. با توجه به سرمایه عظیم لازم برای انواع پروژه‌های شهری، نتایج عدم وجود برنامه‌ریزی مناسب از همیشه حادتر شده است. راه‌حل‌های موفق برای مسائل پیچیده جابجایی در مناطق شهری مستلزم فعالیت‌ها و تفکرات تعداد زیادی افراد متخصص، و بطور بخصوص اخص مهندسین ترافیک می‌باشد.

تعریف مهندسی ترافیک

مهندسی ترافیک بخشی از مهندسی راه و ترابری است که درباره برنامه‌ریزی، طرح هندسی و عملیات ترافیکی راه‌ها، خیابان‌ها و بزرگراهها و شبکه آنها، پایانه‌ها و کاربری زمین‌های مجاور و ارتباط آنها با سایر سیستم‌های حمل و نقل صحبت می‌کند. مهندسی ترافیک بصورت‌های دیگر نیز تعریف شده است. بعنوان مثال می‌توان گفت که مهندسی ترافیک علم اندازه‌گیری سفر، شامل مطالعه قوانین اساسی تولید و جریان

ترافیک و بکارگیری این دانش در موارد حرفه‌ای برنامه‌ریزی، طراحی و عملکرد سیستم‌های ترافیکی، به منظور تامین حرکت ایمن و مفید افراد و کالا است.

مهندسی ترافیک، بر خلاف بسیاری از شاخه‌های مهندسی، با مسائلی درگیر است که نه فقط به عوامل فیزیکی بلکه اغلب با عوامل و رفتارهای انسانی، راننده و عابر، و ارتباط آنها با پیچیدگی‌های محیطی نیز بستگی دارد. بنابراین شناخت این عوامل و رفتارها از اهمیت خاصی برخوردار است.

نکات تاریخی

مهندسی ترافیک به شکلی که امروز شناخته می‌شود، با تحولات وسائل نقلیه موتوری پیشرفت کرده است. بهرحال، بسیاری از سوابق این تخصص دارای ریشه تاریخی است. برای مثال خیابان‌های یکطرفه در روم قدیم وجود داشته و تسهیلات مخصوص برای پارک ارابه‌ها در خارج مسیر خیابان‌ها فراهم بوده است. بخاطر تراکم ترافیک در روم قدیم از ورود ارابه‌ها به ناحیه مرکزی شهر، در برخی ساعات روز، جلوگیری می‌شده است. به احتمال زیاد حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، برای کنترل تردد در خیابان‌های فرش شده بابل نیز قوانین و مقررات ترافیکی مشابهی وجود داشته است. جزایر ترافیکی و میدان‌ها به بنای یادبود و میادین عمومی که در قرون گذشته ساخته می‌شدند، برمی‌گردد. علامت‌گذاری رویه در سالهای حدود ۱۶۰۰ و در جاده‌ای که از شهر نیومکزیکو شروع می‌شد، بصورت خط محوری ساخته شده با رنگ دیگر، مورد استفاده قرار گرفته است.

بر اساس گزارشات انستیتو مهندسی ترافیک آمریکا، اولین علامت‌گذاری خط محور در بخش وین ایالت میشیگان و در سال ۱۹۱۱ انجام گرفت. اولین چراغ راهنمایی در شهر هوستن و در سال ۱۹۲۱ نصب گردید و اولین چراغ راهنمایی هماهنگ شده نیز در سال ۱۹۲۲ در همین شهر شروع بکار نمود.

در سال‌های گذشته کار مهندسین با تکمیل کارهای اجرایی راه به اتمام می‌رسید، ولی با متداول شدن اتومبیل، به عنوان یک وسیله نقلیه خوب، و استفاده از کامیون برای حمل کالا عناصر جدید سرعت‌ها و حجم‌های ترافیک زیاد نیز وارد قضیه شد. این پیشرفت‌ها مسائلی را بوجود آورد که بخاطر پیچیدگی زیاد قابل حل با روش‌های قدیمی و کنترل توسط پلیس نبود. در نتیجه از مهندسین خواسته شد که با بکارگیری علوم راه‌حل مسائل را پیدا کنند، و بدین ترتیب تخصص مهندسی ترافیک بوجود آمد.

اجزاء مهندسی ترافیک

کار مهندسی ترافیک را می‌توان به اجزاء زیر تقسیم کرد:

مطالعه مشخصات ترافیک

این مرحله شامل روش‌های انجام مطالعات ترافیکی، به منظور تعیین مشخصات جریان ترافیک و درک خصوصیات اصلی رانندگان و وسایل نقلیه، به عنوان اجزاء اصلی تشکیل دهنده ترافیک است. موضوع این مطالعات عبارت است از:

۱ - استفاده کننده از راه
۲ - وسیله نقلیه
۳ - سرعت، زمان سفر و تاخیر
۴ - حجم و چگالی ترافیک
۵ - مطالعات مبدأ و مقصد
۶ - ظرفیت
۷ - پارکینگ
۸ - تصادفات
۹ - حمل و نقل عمومی

عملکرد ترافیک

عملکرد ترافیک شامل معیارهای مقرراتی ترافیک و وسائل کنترل ترافیک می‌شود.

۱ - معیارهای مقرراتی

الف - مقررات و قوانینی که برای کنترل رانندگان، وسایل نقلیه و عابرین تنظیم شده است.

ب - مقراتی که کنترل کننده عملکرد وسایل نقلیه در جریان ترافیک است. معیارهای اساسی برای تنظیم ترافیک شامل کنترل‌ها در تقاطع، کنترل‌های سرعت، خیابان‌های یکطرفه و کنترل پارکینگ.

۲ - وسایل کنترل ترافیک

اصول طراحی، نصب، عملکرد و نگهداری تابلوها، چراغ‌های راهنمایی، علامت‌گذاری رویه، و وسایل مسیر دهی ترافیک به منظور تامین مبانی استفاده هوشیارانه این وسایل در موقعیت‌های بخصوص.

قبل از در نظر گرفتن یک معیار یا استفاده از یک دستگاه کنترل ترافیک، لازم است خصوصیات، مزایا، معایب، توجیهات و مطالعات مورد نیاز برای تایید و قانونی شدن مورد بررسی قرار گیرد.

برنامه ریزی ترافیک

این بخش شامل برنامه‌ریزی تسهیلات ترافیکی است، که در آن شناخت خصوصیات سفرهای شهری، حمل و نقل عمومی، انجام مطالعات و تهیه طرح جامع حمل و نقل صورت می‌گیرد. در این رابطه هماهنگی بین مهندس ترافیک و برنامه‌ریز شهری لازم است. این برنامه‌ها می‌تواند شامل مواردی از قبیل برنامه‌های بلند مدت برای شبکه راهها، برنامه‌های بلند مدت برای سیستم‌های حمل و نقل عمومی، برنامه‌های بلند مدت برای پارکینگ‌ها و پایانه‌ها و همچنین ارزیابی اثرات محیطی بر تغییرات لازم در این برنامه‌ها باشد.

طرح هندسی

این قسمت شامل طرح خیابانها، بزرگراههای جدید، توسعه تسهیلات موجود، جداسازی مسیرها، طرح تقاطع‌ها و طرح پارکینگ‌های غیر خیابانی و پایانه‌ها، به منظور ازدیاد ظرفیت و ایمنی می‌شود.

مدیریت

شناخت و درک اصول مدیریت و زمینه‌های قانونی معیارهای کنترل و تنظیم ترافیک یک جزء اصلی و لازم در ارتباط با دانش فنی ترافیک است. مهندس ترافیک با چارچوب قانونی و تشکیلاتی وابسته به حرفه خود، برنامه‌های آموزشی عمومی و رانندگان، و در درجه پایینتر اجرای مقررات در ارتباط می‌باشند.

سازمان مهندسی ترافیک

همزمان با ظهور اتومبیل مسائل ترافیکی و در نتیجه کارهای مهندسی ترافیک نیز شروع شده است. در سال ۱۹۲۴ اولین پست مهندسی ترافیک رسماً در آمریکا بوجود آمد و با ازدیاد اتومبیل در جهان و مسائل آن در کشورهای دیگر نیز در سطوح مختلف دولتی یک نوع اداره در ارتباط با کارهای مهندسی ترافیک ایجاد شده است. در ابتدا کارهای ترافیکی مربوط به وسایل کنترل و مطالعات ساده انجام می‌شد، ولی با ازدیاد پیچیدگی‌های این رشته وظائف مهندسی ترافیک نیز به شدت توسعه یافت.

وظایف یک سازمان مهندسی ترافیک و همچنین نحوه برخورد با این وظایف، بطور کلی با ابعاد منطقه تحت نفوذ (شهر کوچک، شهرستان، شهر بزرگ، استان و کشور) تغییر می‌کند.

این وظایف می‌تواند بسیار متنوع باشد و علاوه بر مسائلی که قبلاً مطرح شد، کلیه وظایفی راکه تحت عنوان "ایمنی ترافیک" می‌توان قرار داد نیز باید اضافه گردد. بعنوان مثال، اگرچه تامین روشنایی خیابان‌ها معمولاً از وظایف مهندسی ترافیک نیست ولی طرز قرار گرفتن صحیح و روشنایی استاندارد، ایمنی طرح (شکسته شدن پایه‌ها و غیره)، روشنایی ورودی و خروجی‌های بزرگراهها، روشنایی کافی برای تابلوها و تقاطع‌ها، همه در طراحی ترافیکی بسیار مهم هستند و سازمان مهندسی ترافیک می‌بایست در این گونه موارد حداقل مورد مشورت قرار گیرد.

در رابطه با وضع قوانین و مقررات ترافیکی، آیین‌نامه‌ها و همچنین صدور مجوزها، اغلب از مهندسین ترافیک نظرخواهی شده و سعی می‌شود از کمک آنها استفاده گردد. بعنوان مثال، صدور مجوز برای انجام کارهای اجرایی در تسهیلات ترافیکی، حرکت بارهای خطرناک، و وسائل نقلیه بسیار بزرگ از جمله موارد مزبور می‌باشد.

وظایف مهندسی ترافیک را می‌توان به شکل‌های مختلفی تقسیم نمود. یک سازمان ممکن است کلیه وظایف را انجام دهد و یا کارها بین ادارات مختلف تنظیم شود. در سطح یک شهر معمولاً یک سازمان، همانند سایر سازمان‌ها مانند بهداشت، آتش‌نشانی، پلیس و مسکن، کارهای ترافیکی را انجام می‌دهد ولی با بزرگ شدن اندازه شهر پیچیدگی سازمان مسئول نیز زیاد می‌شود. در شهرهای بزرگ وظایف مربوط به عملکرد ترافیک، مانند نصب و نگهداری تابلوها، چراغ‌های راهنمایی، علایم، پارکینگ و غیره، از وظایف مربوط به برنامه‌ریزی جدا می‌شود. در قسمت برنامه‌ریزی طرح تابلوها و چراغهای راهنمایی، طرح هندسی، مطالعات ترافیکی و برنامه‌ریزی حمل و نقل انجام می‌شود.

آموزش و روابط عمومی نیز از جمله وظایف گروه‌های مهندسی ترافیک می‌باشد. لازم است ارتباط با مردم در مورد برنامه‌های اصلی سازمان مهندسی مهندسی ترافیک وجود داشته باشد و مردم باید از برنامه‌های در حال اجرا اطلاع داشته باشند و از جزئیات دلایل اجرای طرح و هدف‌های آن مطلع گردند.

مهندس ترافیک

اهمیت فزاینده روش‌های جدید کنترل ترافیک و لزوم وجود فعالیت‌های هماهنگ بین مهندس ترافیک، مهندس عمران، برنامه‌ریز شهری، تونل سازی مناطق شهری و اهمیت تحقیق در مهندسی ترافیک، تماماً به مهندس ترافیک در اجرای نقش اصلی

خود در حل مسائل امروزی حمل و نقل کمک کرده‌اند.

مهندس ترافیک در مساله تراکم درگیر یک دوگانگی است، بخصوص در خیابان‌ها و بزرگراههای شهری، زیرا با افزایش مشکلاتی از قبیل تامین حریم لازم برای توسعه تسهیلات موجود یا ساختن تسهیلات جدید، با تجربه‌تر نیز می‌شود. بهرحال اجرای خیابان‌ها و بزرگراههای جدید همیشه راه حلی برای غلبه بر مشکل تراکم نیست و مهندس ترافیک، با اجرای روش‌های کنترل بطور مناسب، می‌تواند استفاده از تسهیلات موجود را به حداکثر ممکن افزایش دهد.

بسیاری از پروژه‌های بزرگ حمل و نقل شهری، با استفاده از روش‌های طراحی و برنامه‌ریزی جمعی انجام می‌شود. بنابراین همکاری بین متخصصین زمینه‌های مختلف برای رسیدن به یک راه حل پایدار و متعادل برای مسائل حمل و نقل ضروری است. این گروه معمولاً از مهندسین عمران، مهندسین سازه، مهندسین ترافیک، مهندسین معمار، طراحان شهری، برنامه‌ریزان شهری، جامعه‌شناسان، جغرافی‌دان‌ها، اقتصاددان‌ها، ریاضی‌دان‌های کاربردی و کلاً تحلیل‌گران بازار تشکیل می‌شود.

مهندس ترافیک تنها یکی از اعضاء گروه متخصصین است که برای توسعه محیط زندگی انسان فعالیت می‌کنند. تخصص او بهینه‌سازی حرکت ترافیک است، ولی کار او در یک سلسله ارتباطات پیچیده قرار دارد که در جهت ایجاد یک محیط و فضای مناسب شهری حرکت می‌کند. بهرحال به اثرات جنبی اتومبیل و راه مورد نیاز آن باید توجه بیشتری را جلب نمود.

مسائل تراکم، آلودگی هوا، آلودگی شنیداری، آلودگی دیداری، وضع وسایل نقلیه مستعمل باید توسط کسانی که در مدیریت و برنامه‌ریزی ترافیک دست دارند مورد بررسی قرار گیرد، زیرا قابل زندگی بودن شهرها و حاشیه آنها در آینده منوط به این بررسی‌ها می‌باشد.

فصل ۱
استفاده کننده از راه

استفاده کننده از راه یعنی انسان در قالب راننده، دوچرخه سوار و پیاده مهمترین جزء ترافیک است که باید با درک کامل هدایت و کنترل شود. تغییرات رفتار فردی در جریان ترافیک نسبت به وسیله نقلیه یا اجزاء راه بیشتر بوده و پیش‌بینی آن مشکل‌تر است. موفقیت برنامه‌های مهندسی ترافیک بستگی تام به انسان، بعنوان استفاده کننده دارد. شناخت محدودیت‌های فیزیکی و روانی انسان و نیز دامنه تغییرات رفتار و عملکرد او در به اجرا درآوردن صحیح ضوابط و روش‌های کنترل ترافیک بسیار حیاتی است.

با توجه به اینکه فعالیت‌های انسانی در افراد مختلف متفاوت است، بجای در نظر گرفتن خصوصیات متوسط باید بررسی‌ها در جهت مشخص کردن خصوصیات انسانی بصورت نمونه قرار گیرد. بعنوان مثال یک چراغ راهنمایی که برای عبور ایمن عابرین از عرض خیابان محاسبه و زمانبندی شده است، ممکن است برای افراد مسن و کسانی که خصوصیات و قابلیت‌های آنها از حد متوسط پایین‌تر است خطرات شدیدی داشته باشد. در قسمت‌های زیر خصوصیات اولیه انسان که در رابطه با استفاده از راه است، همراه با نتایج انجام شده و دامنه تغییرات آنها را با جزئیات بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد.

خصوصیات اصلی رانندگان

علت اصلی اغلب تصادفات کمبودهای انسانی است. لیکن محدودیت‌های فیزیکی علت بخش کوچکی از تصادفات است، زیرا این محدودیت‌ها را می‌توان به نحوی با رانندگی آهسته‌تر و با دقت بیشتر جبران کرد.

عکس‌العمل نسبت به محرک‌های خارجی

عکس‌العمل از یک سری اعمال که بستگی به خصوصیات انسان دارد ناشی می‌شود و طبق تئوری دید و عکس‌العمل پس از انجام چهار مرحله زیر اتفاق می‌افتد:

۱ - دریافت، شامل دیدن محرک همراه با سایر اشیاء.

۲ - تشخیص، یا شناسایی، شامل شناختن و تشخیص محرک.

۳ - تصمیم، شامل داوری با استفاده از تجربیات، آموزش و غیره که نتیجه آن تصمیم‌گیری در مورد توقف کردن، مانور دادن، سبقت گرفتن یا بوق زدن است.

۴ - اجرا یا واکنش، که منظور به اجرا درآوردن تصمیم گرفته شده می‌باشد.

زمان لازم برای دریافت تا نشان دادن عکس‌العمل نسبت به محرک خارجی جمع زمان‌های لازم برای چهار مرحله فوق می‌باشد که به زمان دید و عکس‌العمل معروف است. این زمان به تعداد انتخاب‌های موجود و میزان پیچیدگی مساله قضاوت بستگی دارد. بعلاوه به خصوصیات روانی و فیزیکی انسان نیز وابسته است. این عوامل می‌تواند شامل کارآیی سیستم مرکزی اعصاب بینایی، شنوایی، جنسیت و سن باشد. با توجه به عوامل فوق این زمان بین ۰/۵ تا ۴ ثانیه در افراد مختلف تغییر می‌کند.

عوامل دید در مراحل دریافت و تشخیص

تیز بینی . مشاهده اشیایی که در ترافیک وجود دارد و همچنین پیام‌های وسایل کنترل و تابلوها و ...) به راننده اطلاعات دقیقی می‌دهد و بنابراین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دید خوب، درک و شناسایی را سریعتر می‌کند و در نتیجه

زمان دید و عکس‌العمل را پایین می‌آورد. تیزبینی بستگی به وسعت میدان دید واضح دارد. بهترین میدان دید در یک مخروط با زاویه ۱۰ تا ۱۲ درجه می‌باشد. تابلوها و علائم ترافیکی باید در مخروط دید خوب قرار گیرند، زیرا در زاویه‌های بیش از ۱۲ درجه مخروط دید مقداری تار می‌شود. عوامل قابل توجه در این زمینه، علاوه بر معیارهای تیزبینی استاتیکی (در حال سکون)، عبارتند از تیزبینی دینامیکی (استعداد مشاهده محرک خارجی در حال حرکت)، عمق دید، دید شبانه و رفع خیرگی است.

دید محیطی . این دید مربوط است به میدانی که در آن فرد می‌تواند اشیاء را ببیند ولی نه با وضوح و جزئیات کامل یا رنگ. زاویه دید محیطی بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه می‌باشد و با افزایش سرعت کاهش می‌یابد (صفر تا ۴۰ درجه در سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت). دید محیطی دارای اهمیت زیاد بوده و در ایمنی جاده موثر است زیرا نسبت به حرکت و روشنایی حساس است.

"دید تونلی" اصطلاحی است برای افرادی که دارای زاویه دید محیطی کمتر از ۴۰ درصد هستند. درصد اینگونه افراد معمولاً کم است و می‌توانند آن را با حرکات سر جبران نمایند.

یک رابطه مستقیم بین تیزبینی دینامیکی خوب و سابقه رانندگی خوب وجود دارد، ولی مدارک و شواهد کافی برای برقراری رابطه‌ای مشابه بین تیزبینی استاتیکی (استاندارد) و سابقه رانندگی وجود ندارد. دید ضعیف با سابقه رانندگی بد ارتباط داشته است.

آزمایش‌های دید شامل تیزبینی دینامیکی، تیزبینی استاتیکی، میدان دید، میزان انحراف چشم، دید در نور کم و بازیابی دید بعد از خیرگی هستند. تیزبینی دینامیکی بیشترین همبستگی را با سوابق رانندگی نشان داده است، و در مراحل بعد تیزبینی استاتیکی، میدان دید، و رفع خیرگی قرار دارد.

درک عمق . این عامل دید از اهمیت فراوانی برخوردار است زیرا با استعداد فرد برای تخمین مسافت و سرعت رابطه دارد. عامل تخمین سرعت با ازدیاد فراوانی تصادفات عقب به جلو در بزرگراهها بستگی دارد.

خیرگی و بازیابی دید . این عوامل بستگی زیاد به سن و سال افراد دارد و حساسیت نسبت به آن در چهل سالگی تغییر قابل توجهی می‌کند. بطور کلی افراد مسن‌تر دید ضعیف‌تری در شب دارند. زمان بازیابی دید، یعنی زمان لازم برای بازیافتن دید و از میان رفتن اثرات خیرگی، بعد از گذشتن از منبع نور، تقریباً برابر ۶ ثانیه برای عبور از روشنایی به تاریکی و تقریبا برابر ۳ ثانیه برای حالت تاریکی به روشنایی است.

دید رنگ . حدود ۸ درصد مردان و ۴ درصد زنان از کوررنگی رنج می‌برند، و غالباً بصورت کم شدن قدرت تشخیص بین سبز و قرمز می‌باشند. تشخیص سبز متمایل به آبی آسان‌تر است و بهمین دلیل در چراغ‌های راهنمایی از آن استفاده می‌شود. کوررنگی در رانندگی اهمیت زیادی ندارد، زیرا روش‌های دیگری را می‌توان برای شناسایی تابلوها و چراغ‌های راهنمایی بکار برد. بطور کلی چشم بیشترین حساسیت را نسبت به ترکیب سیاه و سفید و نیز سیاه و زرد دارد.

شنوایی . شنوایی برای دریافت علائم صوتی لازم است ولی ضعف شنوایی، اگرچه با وسایلی قابل جبران است، در رانندگی از اهمیت کمتری نسبت به دید برخوردار است. برای عابرینی که عادت به نشانه‌های صوتی برای تشخیص حضور و یا نزدیک شدن وسایل نقلیه دارند، ضعف شنوایی ممکن است مشکل ایجاد کند. در مقایسه نمونه‌هایی از رانندگان کاملاً ناشنوا و رانندگان ناشنوا این نتایج بدست آمده است. آمار زنان ناشنوا و زنان شنوا در تخلفات و تصادفات تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند، ولی مردان ناشنوا دارای تعداد تصادفات بیشتری بوده‌اند. فراوانی این تصادفات ۱/۸ مرتبه بالاتر از مردان شنوا بوده است. در تخلفات ترافیکی مردان تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته‌اند.

کل زمان دید و عکس‌العمل

این زمان در واقع مجموع چهار زمان تعریف شده در تئوری دید و عکس‌العمل می‌باشد، و برای تعیین مسافت توقف ایمن، سرعت ایمن نزدیک شدن به تقاطع، محاسبه زمان زرد چراغ‌راهنمایی، و همچنین ضرورت نشان دادن واکنش در موقعیت‌های اضطراری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زمان عکس‌العمل ساده زمانی است که برای نشان دادن عکس‌العمل نسبت به محرک‌های ساده‌تر لازم است. تحت شرایط آزمایشگاهی یک عکس‌العمل ساده چشم تا انگشت، که برای زدن بوق لازم است، معمولاً حدود ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ ثانیه طول می‌کشد. عکس‌العمل چشم تا پا که برای فشردن ترمزها لازم است زمان بیشتری حدود ۰/۵ ثانیه لازم دارد.

در مطالعاتی که برای اندازه‌گیری زمان عکس العمل بوسیله روشن شدن لامپ انجام گرفته، تحت شرایط آزمایشگاهی، فاصله زمانی بین روشن شدن چراغ تا دریافت پالس الکتریکی توسط بوق یا چراغ قرمز به شرح زیر آمده است:

عمل انجام شده	زمان متوسط (ثانیه)
بوق زدن، شروع‌باموقعیت‌دست‌روی‌دست‌روی‌حلقه‌بوق	۰/۳۸
بوق زدن، شروع با موقعیت دست‌ها روی فرمان	۰/۵۶
فشردن ترمز، شروع‌باموقعیت‌پای‌راست‌روی ترمز	۰/۳۹
فشردن ترمز شروع باموقعیت‌پای‌راست‌روی‌پدال‌گازفشرده‌شده	۰/۵۹

زمان دید و عکس‌العمل، تحت شرایط آزمایشگاهی، بین ۰/۲ تا ۱/۵ ثانیه، بسته به انواع محرک‌ها و از اجسام ساده تا پیچیده‌تر، تغییر می‌کند. در این حالت عامل عدم اگاهی قبلی از این آزمایش‌ها برداشته شده است، زیرا افراد تحت آزمایش در انتظار علامتی که باید با آن عکس‌العمل نشان دهند بوده‌اند، در حالیکه رانندگان در شرایط معمولی در چنین حالتی نیستند.

در یک مطالعه آزمایشگاهی دیگر سعی شده است که این عامل از میان برداشته شود و زمان عکس‌العمل تحت شرایط غیرمنتظره اندازه‌گیری گردد. یک گروه ۳۲۱ نفری از رانندگان تحت شرایط استاندارد برای عکس‌العمل نشان دادن نسبت به یک محرک، مورد مطالعه قرار گرفتند، که نتیجه در شکل ۱ - ۱ نشان داده شده است.

توسط یک گروه کنترل بطور مداوم برای هر دو محرک ناشناخته و مقرر مطالعه لازم انجام شد. نتایج حاصل توسط این گروه ضرایب لازم برای تصحیح نتایج بدست آمده از گروه اصلی را بدست داد.

پس از تصحیح زمان متوسط عکس‌العمل برای ترمز ۰/۹ ثانیه بدست آمد، و ۲۵ درصد از آنهایی که مورد آزمایش قرار گرفتند زمان عکس‌العمل بیش از ۱/۲ ثانیه نشان دادند.

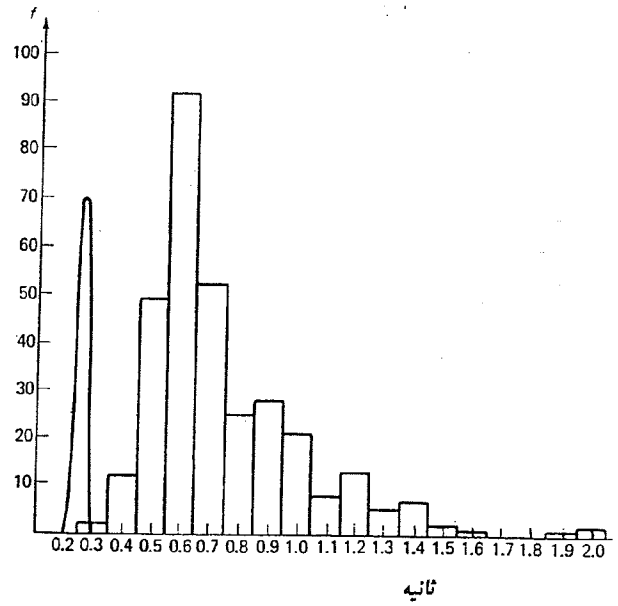
از آنجاییکه یک مخروط دید خوب با زاویه حداکثر ۱۰ درجه می‌باشد، باید توجه داشت که علاوه بر زمان دید و عکس‌العمل (*PIEV*) زمان لازم جهت حرکت خط دید برای قرار گرفتن در موقعیت مناسب نیز باید در نظر گرفته شود. یک زمان متوسط ۰/۲ ثانیه‌ای برای هر حرکت چشم لازم است. بنابراین وقتی یک راننده با موقعیتی مواجه است که لازم است همزمان مسیر را در دو طرف متقابل کنترل کند (مانند یک چهارراه)، یک زمان متوسط ۰/۶ ثانیه برای حرکت چشم لازم دارد. این زمان تشکیل شده از ۰/۲ ثانیه برای حرکت چشم‌ها از راست به چپ، ۰/۲ ثانیه برای ثابت کردن نگاه به اندازه کافی برای دیدن سمت چپ و ۰/۲ ثانیه برای برگرداندن چشم‌ها به سمت راست.

آیین‌نامه اشتو زمان ۲/۵ ثانیه را برای تعیین مسافت دید توقف و برای تمام سرعت‌ها پیشنهاد می‌کند. زمان ۲ ثانیه را می‌توان برای دید در تقاطع مورد استفاده قرار داد.

پیچیدگی عمل رانندگی

از یک راننده انتظار نمی‌رود که فقط وسیله نقلیه‌اش را هدایت کند، بلکه باید بقیه ترافیک و عابرین را نیز در نظر داشته باشد، وسائل کنترل ترافیک را خوب ببیند و درک کند، در مسیر حرکت نموده و از انحراف‌ها اجتناب نماید.

در یک مطالعه نشان داده شده که حوادث تنش‌زایی که در حین رانندگی در دو خیابان اصلی یک شهر اتفاق افتاده، بطور متوسط در هر ۲۹/۲ و ۴۱/۴ ثانیه تکرار گردیده است. مزیت طرح‌های دارای دسترسی کنترل شده در کم کردن تنش‌ها امری ثابت شده و مسلم است. کل تنشی که در رانندگی اتفاق می‌افتد



شکل ۱ - ۱ . زمان عکس‌العمل ترمز برای ۳۱ راننده

عـامل بسـیار مـهمی در انـتخاب مسـیر بـین یک بـزرگراه بـا پرداخت‌عوارض و یک جاده معمولی موازی با آن، بـا در نـظر گرفتن هزینه‌های جاری اتومبیل و سفر است.

تنوع رانندگان

تنوع رانندگان و خصوصیات آنها شامل سن، جنس، دقت، دانش و مهارت در رانندگی، عصبی بودن و بی‌صبری عـوامـل مهمی هستند که در ضوابط طراحی باید منظور شوند. معیارهای طراحی معمولاً برای تامین نیاز ۸۵ درصد، رانندگان و با توجه به تنوع ۱۵ درصد مابقی که ضعیف‌تر هستند، منظور می‌گردد.

اثرات خستگی

مطالعات انجام شده نشان مـی‌دهد کـه خسـتگی نـاشی از شرایط مختلف، تغییرات چندانی را در چگونگی رانندگی ایجاد نمی‌کند.

آزمایش جاده‌ای اشتو فرصتی را برای مطالعه میزان هشیاری رانـنده در شـرایـطی واقـعی بـوجود آورد. هشـیاری عـبارت از استعداد یک راننده بخاطر سپردن علایم محیطی، بـرای مـدت طولانی است.

در یک مسافرت آزمایشی رفت و برگشتی به مسافت حدود ۲۰۰۰ کیلومتر (۱۲۰۰ مایل)، یک گروه دو نفری وسیله نقلیه‌ای راکه مجهز به دستگاه رانندگی سنج بود هدایت کردند. در قسمت رفت این دو نفر به تـناوب جـای خـود را از رانـندگی بـه ثـبت اطلاعات و برعکس تغییر می‌دادند.

در ابتدای مسیر برگشت هر دو از نظر ذهـنی بسـیار خسـته بودند و زمانی جای خود را تغییر می‌دادند که از رانندگی به حدی خسته شده بودند که ادامهٔ آن دیگر میسر نمی‌بود. در این مسیر اثرات خستگی در رانندگی آنها مشاهده شد. این اثرات با تحلیل حرکات فرمان، شدت تغییرات سرعت و متوسط سرعت وسیله نقلیه اندازه‌گیری می‌گردید.

مـطالعات مـزبور نشـان داد کـه اثـرات خسـتگی ذهـنی از خستگی فیزیکی در رانندگی بیشتر است. آزمایش با اندازه‌گیری میزان توجه به یک شعاع نوری ناگهانی و هـمچنین تشـخیص حروف نامنظم در زمینه تابلویی از حرف مشابه انـجام گـردید. بطور کلی می‌توان گفت که خستگی زمان عکس‌العمل را افزایش می‌دهد.

اثرات در عملکرد راننده

آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که اگرچه رانـندگان نمی‌توانند اختلاف نـور ۰/۲۲ و ۰/۶۲ شـمع را بـا دیـد خـود تشخیص دهند ولی خـصوصیات رانـنده تـحت تـاثیر آن قـرار می‌گیرد. سرعت در سطح نور بالاتر به مقدار کمی افزایش پیدا نموده ولی تغییرات سرعت به اندازه قابل‌توجهی زیاد گردید. در حالیکه نوسانات فرمان نسبتاً کم بود تغییرات فشار روی پـدال گاز به سطح بالاتری افزایش یافت.

با وجود اینکه شرایـط روشـنایی در عـملکرد رانـنده مـوثر است، طرح هندسی راه اثرات خیلی بیشتری دارد، به این دلیـل مطالعه انجام شده قادر به ارائه نتایج عملی از این آزمایش نبود.

قضاوت دینامیکی

آزمایش‌های مختلف انجام شده نشـان مـی‌دهد کـه بـیشتر رانندگان، حتی با دید خوب، در حـال سـبقت گـرفتن قـادر بـه قضاوت دقیق در مورد سرعت وسیله نـقلیه مـقابل یـا شـدت نزدیک شدن آن نیستند. آزمایش‌های دیگر نشان داده‌اند کـه در موقعیت‌های مشابه رانندگان قادر به تخمین مسافت سبقت نیز نمی‌باشند.

در آزمایش‌های انجام شده این نتیجه بدست آمده است کـه آگاه نمودن رانندگان از سرعت وسیله نقلیه مقابل عملکرد آنها را در سبقت‌گیری بهتر می‌کند.

زمان لازم برای تشخیص تغییرات سرعت یک وسیله نقلیه، توسط وسیله نقلیه‌ای که آن را دنبال می‌کند با زیاد شدن فاصله بین دو وسیله نقلیه زیاد شده و با افزایش شتاب وسیله نقلیه جلو کاهش می‌یابد.

اثر موسیقی

در بررسی اثرات منفی موسیقی در رانندگی شرایـط از قـبل تعیین شده زیر مورد توجه قرار داده شد:

۱ - بدون موسیقی

۲ - موسیقی آرام

۳ - موسیقی شاد

سرعت رانـندگی در حـالت‌هایی کـه مـوسیقی وجـود دارد نسبت به حـالت اول افـزایش داشـته است، و حـرکات جـانبی (تغییرات مکانی اتومبیل در عرض راه) با هر دو نوع شرایط بودن موسیقی تقلیل پیدا نـمود. در دو حـالت مـوسیقی آرام و شـاد نسبت به حالت بدون موسیقی تعداد حرکات کنترلی بـیشتری برای فرمان و پدال گاز صورت گرفته است.

راننده و وسیله نقلیه

محل قرار گرفتن پدال‌های گاز و ترمز نشان داده شده است که تاثیر چندانی ندارد. زمان بین رها کردن پدال گاز تا فشردن پدال ترمز تحت تاثیر محرک‌های مختلف اندازه‌گیری شد. قرار گرفتن پدال ترمز به اندازه ۱۵۰ سانتی‌متر بالاتر از پدال گاز با حالتی که پدال‌ها در یک سطح قرار داشته باشند، برای ارتفاع صندلی برابر با ۴۲ و ۳۰ سانتی‌متر مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ - ۱ نشان داده شده است.

مسائل پیاده‌ها

کنترل پیاده‌ها، به دلیل آمار زیاد جراحت و مرگ در تصادفات، بسیار لازم است. این کنترل شامل: پیاده‌روها، خطوط عبور پیاده‌ها، چراغ‌های راهنمایی مخصوص عابرین، حفاظ‌های مخصوص، جزایر ترافیکی و مناطق امن، زیرگذر و روگذرهای مخصوص عابرین و روشنایی بزرگراهها و همچنین کنترل‌های اجرایی هستند.

یک چراغ‌راهنمایی مخصوص عابرین نابینا کمک زیادی به کم شدن تصادفات نمود. این چراغ راهنما با کلید مخصوصی که قفل روی پایه را بکار می‌اندازد روشن می‌شود، و چراغ ترافیک را قرمز می‌کند و ۶ ثانیه بعد زنگی به صدا درمی‌آید که به مدت ۲۰ ثانیه ادامه پیدا می‌کند و نشانه ایمن بودن مسیر می‌باشد.

عوامل فیزیکی، ذهنی، احساسی و تغییرپذیری افراد پیاده باید با چنین کنترل‌هایی جبران شود. این مسائل بطور مشابه برای رانندگان نیز وجود دارد ولی با توجه به این حقیقت که بسیاری از پیاده‌ها دانش و قوانین مربوط به راه را نمی‌دانند و بعضی از آنها حتی بیسواد هستند، تشدید می‌شود.

سرعت حرکت پیاده‌ها بین ۱ تا ۱/۴ متر در ثانیه تغییر می‌کند و زمان عکس‌العمل آنها ۴ تا ۵ ثانیه است. هردوی این عوامل باید در طرح حداقل زمان‌ها در چراغ راهنمایی در نظر گرفته شود.

مشاهده حرکت عابرین در تقاطع و فاصله بین دو تقاطع نشان داد که میانگین سرعت حرکت آنها ۱/۴۴ و ۱/۵۳ متر در ثانیه می‌باشد. تفاوت‌های بین زنان و مردان در این مورد نشان داده شده است که از اهمیت برخوردار است. در مسیر بین دو تقاطع متوسط سرعت حرکت مردها ۱/۵ و زنها ۱/۴۱ متر بر ثانیه، در تقاطع برای مردها ۱/۵ و برای زنها ۱/۳۸ متر بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۱ - ۱ . مقایسه محل قرارگرفتن پدال‌های ترمز و گاز

	زمان لازم از پدال گاز به ترمز (ثانیه) اختلاف ارتفاع ترمز	
ارتفاع صندلی (سانتیمتر)	۱۵ سانتیمتر	همسطح
۴۲	۰/۳۰۹	۰/۱۹۴
۳۰	۰/۳۳۷	۰/۱۸۳

فصل ۲
وسیله نقلیه

خصوصیات و قابلیت‌های وسائل نقلیه موتوری نقش عمده‌ای را در تعریف وظائف مهندسی ترافیک ایفا می‌کنند. ابعاد وسیله نقلیه طرح هندسی راه‌ها و پارکینگ‌ها را مشخص می‌کند. کارآیی وسیله نقلیه، وقتی که در رابطه با بکارگیری این قابلیت‌ها توسط راننده بررسی شود، تعیین کننده خصوصیات جریان ترافیک و ایمنی آن می‌باشد.

وسیله نقلیه طرح

وسیله نقلیه طرح یک وسیله نقلیه موتوری است که نوع، وزن، اندازه‌ها و خصوصیات عملکردی آن مشخص بوده و برای طراحی راه‌هایی که بتواند به آن نوع وسیله نقلیه سرویس دهد مورد استفاده قرار می‌گیرد. آیین‌نامه اشتو پانزده نوع وسیله نقلیه طرح، که طرح هندسی را کنترل می‌کنند، مشخص کرده است. (جدول ۱ - ۲).

ابعد و حداقل شعاع مسیر در گردش یک وسیله نقلیه طرح معیارهایی هستند که شعاع و عرض رویه را در تقاطع کنترل می‌کنند. چون بسیاری از بزرگراههای شهری کامیون و اتوبوس را از خود عبور می‌دهند و دارای تقاطع‌های زیادی هستند، باید مشخص شود که چه نوع یا چه انواعی از وسائل نقلیه طرح کنترل‌کننده طرح هستند. انتخاب وسیله نقلیه طرح بستگی به مقدار ترافیک گردش‌کننده دارد، ولی بطور کلی می‌توان بر اساس زیر عمل نمود:

آزاد راهها و بزرگراهها: *Su* یا وسایل نقلیه طرح بزرگتر هر کدام که در حرکت گردشی مهم‌تر هستند. در مناطق حومه‌ای که کامیون‌ها فقط گاهی دور می‌زنند، وسیله نقلیه را می‌توان همراه با خطوط تغییر سرعت بکار برد.

خیابان‌های اصلی: ترجیحاً از *Su* استفاده می‌شود، وسیله نقلیه *P* (اتومبیل) را ممکن است در خیابان‌های فرعی، که تقاطع‌های آن حجم ترافیک گردشی ندارند مورد استفاده قرار داد. همچنین در تقاطع خیابان‌های اصلی که بخاطر محل‌های پارک کنار خیابان و محل عبور پیاده، اجرای شعاع گردش کوچک را ممکن کرده است. در طراحی باید مطمئن باشیم که بزرگترین وسیله نقلیه محتمل می‌تواند در آن محل گردش کند، بخصوص در محل‌هایی که به رویه هم قوس داده شده است.

باید مطمئن بود که ماشین‌های آتش‌نشانی و سایر وسائل نقلیه اورژانس بتوانند در تمام خیابان‌های شهر عمل گردش را انجام دهند و مانور کنند.

خصوصیات عملکردی

خصوصیات عملکردی که می‌تواند در طرح مؤثر باشد عبارتند از: شعاع گردش، شتاب و ترمزگیری.

شعاع گردش

دو وضعیت ممکن است وجود داشته باشد:

۱ - گردش‌های با سرعت کم (کمتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت)، در تقاطع‌هایی که شعاع قوس توسط حداقل شعاع گردش وسیله نقلیه تعیین می‌شود. برای تندترین گردش (۹۰ درجه) حداقل شعاع گردش و حداقل شعاع قوس ساده برای وسائل نقلیه طرح مختلف در جدول ۲ - ۲ داده شده است. وقتی وسائل نقلیه در سرعت‌های کم گردش می‌کنند مسیر چرخ عقب با شعاعی کمتر از مسیر چرخ جلو حرکت می‌کند و اختلاف بین این دو شعاع را برای چرخهای جلو و عقب خروج از مسیر می‌گویند. این مقدار بستگی به شعاع گردش و فاصله بین محورهای وسیله نقلیه دارد.

جدول ۱-۲ ابعاد وسایل نقلیه طرح طبق آئین نامه اشتو (بر حسب متر)

وسیله نقلیه	علامت	کل			بیرون‌زدگی		فواصل دیگر				
		ارتفاع	عرض	طول	جلو	عقب	WB_1	WB_2	S	T	WB_3	WB_4
اتومبیل	P	۱/۳۰	۲/۱۳	۵/۷۹	۰/۹۱	۱/۵۲	۳/۳۵					
کامیون تک‌واحدی	SU	۴/۱۲	۲/۵۹	۹/۱۴	۱/۲۲	۱/۸۳	۶/۱۰					
اتوبوس تک‌واحدی	BUS	۴/۱۲	۲/۵۹	۱۲/۱۹	۲/۱۳	۲/۴۴	۷/۶۲					
اتوبوس آکاردئونی	A - BUS	۳/۲۰	۲/۵۹	۱۸/۲۹	۲/۵۹	۲/۹۰	۵/۴۹		۱/۲۲*	۶/۱۰*		
کامیونهای چندواحدی:								۸/۲۳				
نیم تریلر متوسط	WB - 40	۴/۱۲	۲/۵۹	۱۵/۲۴	۱/۲۲	۱/۸۳	۳/۹۶	۹/۱۴				
نیم تریلر بزرگ	WB - 50	۴/۱۲	۲/۵۹	۱۶/۷۶	۰/۹۱	۰/۶۱	۶/۱۰	۶/۱۰	۱/۲۲*	۱/۶۵*	۳/۶۷*	
نیم تریلر با کفی دوبل یا تریلر کامل	WB - 60	۴/۱۲	۲/۵۹	۱۸/۲۸	۰/۶۱	۰/۹۱	۲/۹۶	۱۲/۱۹-۱۲/۸۰				
نیم تریلر بین ایالتی	WB - 62	۴/۱۲	۲/۵۹	۲۱/۰۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۶/۱۰	۱۳/۷۲-۱۴/۳۳				
نیم تریلر بین ایالتی	WB - 67	۴/۱۲	۲/۵۹	۲۲/۵۵	۰/۹۱	۰/۹۱	۶/۱۰	۶/۳۱	۱/۰۰*	۱/۸۳*	۶/۶۱	۶/۶۱
نیم تریلر سه قسمتی	WB - 96	۴/۱۲	۲/۵۹	۳۱/۰۹	۰/۷۶	۱/۰۰	۴/۱۲	۱۲/۹	۰/۶۱*	۱/۸۳*	۱۳/۴۱	
نیم تریلر دوبل شبکه‌ای	WB - 114	۴/۱۲	۲/۵۹	۳۵/۹۷	۰/۶۱	۰/۶۱	۶/۷۱					
وسایل نقلیه تفریحی:							۶/۱۰					
خانه موتوری	MH		۲/۴۴	۹/۱۴	۱/۲۲	۱/۸۳	۳/۳۵	۵/۴۹	۱/۵۲			
اتومبیل با یدک پیک‌نیک	P/T		۲/۴۴	۱۴/۹۴	۰/۹۱	۳/۰۵	۳/۳۵	۴/۵۷	۱/۵۲			
اتومبیل با یدک قایق	P/B		۲/۴۴	۱۲/۸۰	۰/۹۱	۲/۴۴	۶/۱۰	۶/۴۰	۱/۸۳			
خانه موتوری با یدک قایق	MH/B		۲/۴۴	۶/۱۵	۱/۲۲	۲/۴۴						

* فاصله‌ها تخمین زده شده است.

WB_1، WB_2، WB_3، WB_4 فاصله مؤثر محورها می‌باشد.

S فاصله بین محور مؤثر تا محل اتصال می‌باشد.

T فاصله بین محل اتصال تا محور مؤثر جلو واحد دنباله است.

جدول ۲ - ۲ . حداقل شعاع گردش برای وسائل نقلیه طرح (اشتو، طرح هندسی - ۹۰)

وسیله نقلیه طرح	علامت	حداقل شعاع گردش (متر)	حداقل شعاع داخلی (متر)
اتومبیل	P	۷/۳۱	۴/۲۱
کامیون تک واحدی	SU	۱۲/۸۰	۸/۴۷
اتوبوس تک واحدی	BUS	۱۲/۸۰	۸/۴۴
اتوبوس آکاردئونی	A - BUS	۱۱/۶۸	۴/۲۷
کامیونهای چندواحدی:			
نیم تریلر متوسط	WB - 40	۱۲/۲۰	۵/۷۶
نیم تریلر بزرگ	WB - 50	۱۳/۷۲	۵/۸۵
نیم تریلر با کفی دوبل یا تریلر کامل	WB - 60	۱۳/۷۲	۶/۷۷
نیم تریلر بین ایالتی	WB - 62	۱۳/۷۲	۲/۷۷
نیم تریلر بین ایالتی	WB - 67	۱۳/۷۲	۰
نیم تریلر سه قسمتی	WB - 96	۱۵/۲۴	۶/۳۰
نیم تریلر دوبل شبکه‌ای	WB - 114	۱۸/۲۹	۵/۱۸
وسایل نقلیه تفریحی:			
خانه موتوری	MH	۱۲/۱۹	۷/۹۲
اتومبیل با یدک پیک نیک	P/T	۷/۳۱	۰/۶۱
اتومبیل با یدک قایق	P/B	۷/۳۱	۱/۹۸
خانه موتوری با یدک قایق	MH/B	۱۵/۲۴	۱۰/۶۷

وسایل نقلیه ترکیبی شامل دو فاصله محور یا بیشتر می‌باشند. مقدار خروج از مسیر معمولاً با استفاده از مدل‌های مقیاس دار بدست می‌آید.

۲ - گردش با سرعت زیاد (تا حدود ۰/۷ سرعت طرح)، در تقاطع‌هایی که شعاع با توجه به مقدار بربلندی (برای خنثی کردن نیروی گریز از مرکز) و ضریب اصطکاک جانبی بین لاستیک‌ها و سطح رویه کنترل می‌شود. ضریب اصطکاک جانبی ایمن که معمولاً در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد) بین ۰/۳۲ برای سرعت ۲۴ کیلومتر در ساعت تا ۰/۱۶ برای سرعت ۶۵ کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند.

حداقل شعاع گردش را می‌توان از رابطهٔ زیر حساب کرد:

$$R = \frac{V^2}{127.2\,(e + f)} \qquad (۳-۱)$$

که:

R = شعاع قوس بر حسب متر

V = سرعت در گردش بر حسب کیلومتر در ساعت

e = مقدار بر بلندی بر حسب متر بر متر

f = ضریب اصطکاک جانبی

وقتی وسایل نقلیه با سرعت گردش می‌کنند، تمایلی وجود دارد که چرخ‌های عقب به سمت بیرون بلغزند. زاویه لغزش نشان دهنده زاویه بین مسیر حرکت مورد نظر با مسیر واقعی حرکت می‌باشد. این زاویه معمولاً برابر ۳ درجه در طراحی در نظر گرفته می‌شود. بخاطر خروج از مسیر و زاویه لغزش است که تعریض در قوس‌ها انجام می‌گیرد.

رانندگان با حرکت در قوس تقاطع‌ها ضریب اصطکاک بیشتری نسبت به قوسهای باز در بزرگراهها بدست می‌آورند. این اثر در مقادیر فوق وقتی با مقادیر لازم برای قوسهای باز مقایسه شود در نظر گرفته شده است، و مقدار آن با سرعت طرح تغییر می‌کند، از ۰/۱۶ در سرعت ۴۸ کیلومتر در ساعت ۰/۱۱ برای سرعت ۱۲۸ کیلومتر در ساعت.

شتاب

اطلاعات مربوط به شتاب برای تعیین موارد زیر بکار می‌رود:

۱ - زمان لازم برای عبور از یک تقاطع از حالت توقف

۲ - زمان لازم برای سبقت گرفتن از وسیله نقلیه دیگر

۳ - گذشتن از بین دو وسیله نقلیه

جدول ۳ - ۲ . حداقل شعاع گردشی برای وسائل نقلیه طرح (اشتو، طرح هندسی - ۸۴)

وسیله نقلیه طرح	اتومبیل	کامیون تک‌واحدی	اتوبوس تک‌واحدی	اتوبوس آکاردئونی	نیم‌تریلر متوسط	نیم‌تریلر بزرگ	تریلرترکیبی کامل	خانه موتوری	اتومبیل با یدک مسافرتی	اتومبیل با یدک قایق
علامت	P	SU	BUS	A-BUS	WB-40	WB-50	WB-60	MH	P/T	P/B
حداقل شعاع چرخش (متر)	۷/۳	۱۲/۸	۱۲/۸	۱۱/۶	۱۲/۲	۱۳/۷	۱۳/۷	۱۲/۸	۷/۳	۷/۳
حداقل شعاع داخلی (متر)	۴/۷۰	۸/۷	۷/۱	۶/۴	۶/۱	۱۳/۷	۶/۹	۸/۷	۱/۷	۳/۱

شتاب اتومبیل‌ها بین ۶/۵ تا ۹/۵ کیلومتر در ساعت در ثانیه و برای کامیون‌ها بین ۲/۴ تا ۳/۲ کیلومتر در ساعت در ثانیه می‌باشد. قدرت موتور و سیستم جعبه دهنده شتاب سرعت و شیب را کنترل می‌کنند.

شتاب وسائل نقلیه در سرعت‌های کم حداکثر است و تا سرعت‌های حدود ۳۰ کیلومتر در ساعت تغییر چندانی ندارد. مقادیر ذکر شده در بالا برای سرعت‌های کمتر از ۳۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد.

شتاب واقعی باید در شرایط حقیقی آزمایش بدست آید. در یک مطالعه برای اتومبیل‌ها، شتاب لحظه‌ای، برای وسیله نقلیه متوسط، برابر ۴ کیلومتر در ساعت در ثانیه برای سرعت‌های بین ۳۰ تا ۵۵ کیلومتر در ساعت بدست آمد، که در سرعت حدود ۱۰۰ کیلومتر در ساعت به مقدار ۳/۲ کیلومتر در ساعت در ثانیه تقلیل یافت.

ترمزگیری

قدرت ترمزگیری وسیله نقلیه و ضریب اصطکاک طولی بین لاستیک‌ها و رویه کنترل کننده توانایی کم شدن سرعت و توقف آن می‌باشد.

۱ - شتاب منفی یا شدت کندی سرعت نمی‌تواند بیش از مقداری باشد که توسط اصطکاک تامین می‌شود، زیرا اگر بر اصطکاک غالب شود لغزش اتفاق می‌افتد.

۲ - وقتی یک وسیله نقلیه با موتور خلاص در حال توقف است در واقع به دلیل نیروی مقاومت کششی در حال کم کردن سرعت می‌باشد، که شامل مقاومت غلطشی (اصطکاک بین چرخ‌ها و رویه و اصطکاک داخلی وسیله نقلیه)، مقاومت هوا، و در صورت وجود مقاومت شیب می‌شود.

۳ - علاوه بر مقاومت مسیر، مقاومت موتور (وقتی که موتور روشن است) نیز به شتاب منفی وسیله نقلیه کمک می‌کند. آزمایش‌های انجام شده در مورد اندازه‌گیری شتاب منفی بخاطر مقاومت مسیر و مقاومت موتور، بدون گرفتن ترمز، نشان می‌دهد که شتاب از حدود یک متر بر مجذور ثانیه در سرعت ۱۱۰ کیلومتر در ساعت تا ۰/۴ متر بر مجذور ثانیه در سرعت حدود ۳۰ کیلومتر در ساعت تغییر می‌کند.

۴ - وقتی ترمزها بطور ناگهانی گرفته می‌شود، چرخها توسط ترمز قفل می‌شوند، و وسیله نقلیه می‌لغزد. اثر خط ترمز نشان‌دهنده مسافتی است که وسیله نقلیه با لغزیدن شتاب منفی داشته است.

مسافت ترمز یا مسافت لغزش را، بدون در نظر گرفتن مقاومت مسیر و مقاومت موتور از فرمول زیر می‌توان حساب کرد.

الف - وقتی که وسیله نقلیه پس از لغزش متوقف شود:

$$d = \frac{u^2}{254\, f} \qquad (۲ - ۲)$$

که در آن:

d = مسافت ترمز یا لغزش بر حسب متر

u = سرعت اولیه بر حسب کیلومتر در ساعت

f = ضریب اصطکاک طولی بین لاستیک‌ها و سطح جاده، وقتی که تمام لاستیک‌ها بلغزد.

ب - وقتی که وسیله نقلیه در پایان لغزش سرعت V داشته باشد:

$$d = \frac{u^2 - v^2}{254\, f} \qquad (۲ - ۳)$$

اثر شیب

روابط فوق برای زمانی است که جاده مسطح باشد، در صورتیکه جاده شیبدار باشد مقدار شیب بصورت جبری (سربالایی مثبت و سرازیری منفی) با ضریب اصطکاک جمع می‌شود. بهرحال چون ضرایب اصطکاک تقریبی است، تصحیح برای شیب‌های کمتر از ۳ درصد دقت قابل توجهی را باعث نمی‌شود.

اگر ضریب اصطکاک در جهت تصادف در یک محل اندازه‌گیری شده باشد، اثر شیب خود بخود در نظر گرفته شده است و نیاز به تصحیح برای شیب نیست.

ضریب اصطکاک

ضریب اصطکاک نسبت نیروی اصطکاک (بازدارنده) ایجاد شده توسط چرخ لغزنده و وزن وارد به روی آن می‌باشد. مقدار این ضریب برای هر چرخ معمولاً متفاوت است و در طول

لغزش نیز تغییر می‌کند، مقدار متوسط آن برای کل مسافت لغزش بنام ضریب اصطکاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ضریب اصطکاک بسیار متغیر است و به عوامل مختلفی بستگی دارد:

۱ - شرایط رویه از نقطه نظرهای نزولات جوی، نوع ساختمانی و مصالح رویه، رو زدگی قیر، نگهداری رویه، فرسایش و عمر رویه، درجه حرارت و میزان زبری رویه راه.

۲ - لاستیک‌ها از نقطه نظر آج (میزان صاف بودن) و میزان باد.

۳ - شرایط وسیله نقلیه از نقطه نظر سرعت، اندازه وسیله نقلیه، توزیع وزن روی چرخ‌ها و نوع ترمزها.

شکل ۱ - ۲ نشان دهنده تغییرات ضریب اصطکاک برحسب سرعت در شرایط مختلف رویه، لاستیک و بارندگی می‌باشد، همچنین نشان می‌دهد که انتخاب مقدار ضریب اصطکاک برای یک محل تا چه اندازه مشکل است. مقدار دقیق این ضریب در یک محل و تحت شرایط موجود فقط از طریق آزمایش قابل تعیین است. برای مثال یک اتومبیل با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت اگر لغزش کند و طول خط ترمز آن ۱۶ متر باشد:

$$d = \frac{u^2}{254\, f}$$

$$16 = \frac{50^2}{254\, f} \qquad f = 0.62$$

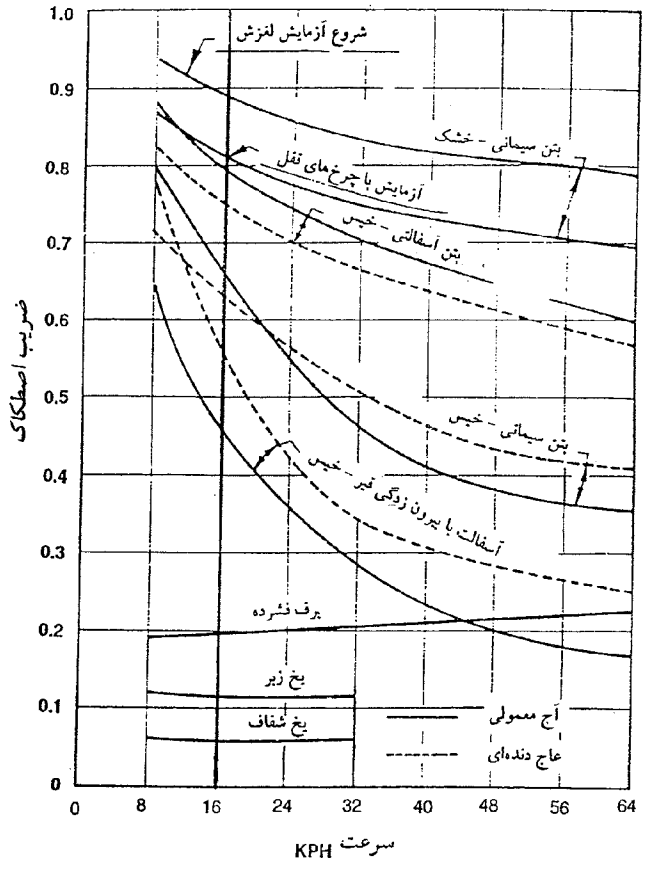
اگر وسیله نقلیه دیگری در این محل دارای طول خط ترمز ۴۹ متر باشد می‌توان سرعت آن را در شروع لغزش محاسبه نمود:

$$\frac{u_t}{u_a} = \sqrt{\frac{d_t}{d_a}}$$

$$u_t = 50\,, \qquad d_t = 16\,, \qquad d_a = 49$$

$$\frac{50}{u_a} = \sqrt{\frac{16}{49}} \qquad u_a = 50\sqrt{\frac{49}{16}} = 87.5\ kph.$$

مقادیر پیشنهادی اشتو در جدول ۳ - ۲ برای رویه خیس و توقف راحت داده شده است. تحقیقات وسیعی برای پیدا کردن روشهای اقتصادی و دقیق افزایش ضریب اصطکاک رویه در حال



شکل ۱ - ۲. تغییرات ضریب اصطکاک با سرعت در شرایط مختلف

جدول ۴ - ۲ . ضرایب اصطکاک مطمئن

سرعت طرح	سرعت فرض شده در این شرایط	ضریب اصطکاک مطمئن
۴۸	۴۵	۰/۳۶
۶۴	۵۸	۰/۳۳
۸۰	۷۱	۰/۳۱
۹۷	۸۴	۰/۳۰
۱۰۵	۸۸	۰/۳۰
۱۱۳	۹۳	۰/۲۹
۱۲۰	۹۸	۰/۲۸
۱۳۰	۱۰۳	۰/۲۷

انجام است. این کوششها شامل طرح لاستیک، طرح رویه وبررسی‌هایی که در مورد اثر عملیات سطحی برای غلبه بر شرایط سخت جوی انجام می‌گیرد، می‌باشد.

طراحی وسیله نقلیه

در طراحی وسیله نقلیه دید راننده و روشنایی چراغ‌ها، که در تعیین مسافت قابل دید، یا روشن در مقابل راننده مؤثر است باید در نظر گرفته شود. مرگ و میر، جراحات، خسارت‌های ملکی، و زیان‌های اقتصادی که در تصادف‌ها ایجاد می‌شود، تماماً تاکید بر در نظر گرفتن خصوصیات مهندسی انسان در طراحی وسایل نقلیه دارند. ابعاد صندلی‌ها، محل و نحوهٔ قرار گرفتن دستگاه‌های کنترل، ابعاد و نحوهٔ قرارگرفتن فرمان، دید، و عوامل دیگر باید بر اساس ضوابط ابعادی انسان باشد.

در طراحی اتومبیل توسط تولید کنندگان مختلف، تغییرات وسیعی در این قبیل خصوصیات مشاهده می‌شود.

کیفیت دید نسبت به شیشه جلو عامل مهمی در طراحی وسیله نقلیه است. موانعی که در دید اشکال ایجاد می‌کنند منجر به تصادف می‌شوند. اثرات شیشه‌های رنگی مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده شده است که استفاده از آنها امتیازی را بوجود نمی‌آورد. بعلاوه مشخص شده که عدسی‌های چشمی برای رانندگی شبانه خطرناک است.

فصل ۳
راه و طرح هندسی

اصطلاح "طرح هندسی راه" مربوط است به ابعاد و ترتیب قرار گرفتن خصوصیات قابل رویت یک راه، شامل عرض رویه، قوس‌های افقی و قائم، شیب‌ها، مسیردهی، تقاطع‌های غیر همسطح و خصوصیات دیگری که طرح آن به اندازه قابل توجهی در عملکرد ترافیکی، ایمنی و ظرفیت راه موثر است.

مبانی و اصول طرح هندسی در طول سال‌ها بطور قابل توجه‌ای تغییر یافته است. زمانی هدف فقط ایجاد یک راه عبور بین دو منطقه بود، در حالیکه هم اکنون عوامل زیادی باید مورد بررسی قرار گیرد از جمله: ایمنی، اقتصاد، مسائل محیط زیست، و اثرات اجتماعی.

اگر چه تأکیدها برحسب زمان تغییر می‌کند ولی هدف طرح هندسی خوب ثابت می‌ماند که عبارت است از تأمین یک سیستم راه ایمن، کارآمد، و اقتصادی متناسب با حجم ترافیک، سرعت، و خصوصیات وسائل نقلیه و رانندگانی که از آن استفاده می‌کنند. جاده‌هائی که امروز ساخته می‌شود در آینده نیز خوب سرویس خواهند داد. نتیجتاً باید طرح و خصوصیات وسائل نقلیه و مدل‌های عملکردی آینده را نیز پاسخگو باشد.

عوامل غیر هندسی دیگری نیز وجود دارد و یک مهندس راهساز باید سعی کند انجام آنها را ممکن سازد، که اجزاء مهم یک طراحی را بطور کلی نشان می‌دهد.

۱ - یک طرح باید از نظر زیبایی برای استفاده کننده و کسانی که در کنار آن زندگی می‌کنند خوش آیند باشد.

۲ - یک طرح باید منطبق بر ارزش‌های اجتماعی و خصوصیات مناطق مربوط به آن باشد.

۳ - یک طرح باید از نظر زیست محیطی بی‌خطر باشد.

طبقه‌بندی راه‌ها

طبقه بندی وسیله‌ای است که توسط آن یک شبکه پیچیده از راهها را می‌توان به گروه‌ها یا سیستم‌هائی که خصوصیات مشابهی دارند تقسیم نمود. یک طبقه بندی منحصر به فرد وجود ندارد و روشهای طبقه بندی که هر کدام از نقطه نظر خاصی راهها را تقسیم می‌کنند یافت می‌شود. این طبقه بندی‌ها می‌توانند براساس سیستم مدیریت دولتی راهها برای نگهداری و ساخت، براساس سیستم تأمین بودجه ساخت، براساس سیستم شماره‌گذاری برای شناسائی و تهیه نقشه‌های راهنما، بر اساس وظائف راه که عبارتند از دسترسی و تحرک و یا براساس استانداردها و معیارهای طراحی باشد.

در طبقه بندی اولیه برای کارهای طراحی در خارج از شهر راه‌ها را به بزرگراههای بین استانی، راه‌های درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و در داخل شهرها به سیستم آزاد راه‌ها (شامل بزرگراهها)، راه‌های شریانی، جمع‌آورنده و محلی تقسیم می‌کردند. خصوصیات بیشتر این نوع تقسیم بندی در جدول ۱-۳ نشان داده شده است.

سازمان اشتو که معروفترین و متداول‌ترین معیارهای طراحی را بنیان گذاشته است، بطور کلی برای سه نوع مختلف راه خصوصیات و حداقل استانداردهای طراحی را نیز مشخص کرده است و در هر مورد نیز انتشاراتی دارد. این سه نوع کلی راه را می‌توان یک نوع طبقه بندی دانست که در مرحله بعد می‌تواند به انواع کوچکتر (شهری، خارج شهری، و بعضی مواقع حاشیه-شهری) نیز تقسیم شود.

تشریح این طبقه بندی راه‌هائی که در هر گروه قرار می‌گیرند بطور خاصه عبارتند از:

جدول ۱-۳ معیارهای طبقه بندی راه

طبقه بندی	وظیفه اصلی راه	طول نمونه برای سفر(کیلومتر)	محل‌هائی را که متصل می‌کند	فاصله مطلوب (کیلومتر)	درصد در کل سیستم
شهری:					
بزرگراه	عمدتاً ترافیک عبوری	۵	مرکز شهر، مناطق اصلی ترافیک زا	۱/۵-۵۰	۰-۸
شریانی	ترافیک عبوری، مقداری دسترسی به اطراف	۱/۵	مرکز شهر، مناطق فرعی ترافیک زا	۱/۵	۲۰-۳۵
جمع‌آورنده	ترافیک عبوری و دسترسی به اطراف	۱/۵	مناطق محلی	۰/۷۵	
محلی	دسترسی به اطراف	۰/۷۵	زمین‌های مختلف	-	۶۵-۸۰
خارج شهری:					
بین استانی (بزرگراه)	عمدتاً ترافیک عبوری	-	شهرهای عمده	-	۲
اولیه (درجه ۱)	ترافیک عبوری، مقداری دسترس به اطراف	-	شهرهای کوچک	-	۱۷
ثانویه (درجه ۲)	ترافیک عبوری و مقداری دسترسی	-	شهرهای کوچکتر	-	۱۰
ثالثیه (درجه ۳)	دسترسی به اطراف	-	مزرعه به بازار	-	۷۱

آزاد راه‌ها: شامل آزاد راه‌های بین استانی و سراسری و تمام راه هادی که از نظر دسترسی کاملاً کنترل شده هستند، بدون توجه به اینکه جزء چه سیستمی از راه‌ها قرار می‌گیرند.

راه‌های شریانی: شامل تمام راه‌ها بجز آزاد راه‌ها، که در واقع شامل بزرگراه‌هائی که بدون کنترل کامل دسترسی هستند می‌باشد. در شهرها برای ترافیک عبوری بین مناطق مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

راه‌های محلی و خیابان‌ها: شامل تمام راه‌ها بجز موارد فوق، که ممکن است شهری یا خارج شهری و شامل خیابان‌ها باشند. این نوع راه‌ها برای حرکت ترافیک بین راه‌های شریانی و زمین‌های اطراف بکار می‌روند.

کنترل‌های طراحی

منظور از کنترل‌های طراحی عواملی هستند که نشان‌دهنده سرویس بوده و براساس آنها یک راه طراحی می‌شود. بستگی به طبقه بندی راه نیز دارد زیرا هر کدام شامل خصوصیاتی است که برای آنها کنترل‌های طرح نباید در تضاد باشند. کنترل‌های طرح باید خلاصه و کامل باشند، و به آسانی قابل درک و به اندازه کافی کامل، که خصوصیات کلی طرح را مشخص کند.

این کنترل‌های اصلی طرح عبارتند از: حجم ترافیک، خصوصیات و ترکیب ترافیک، سرعت طرح، و کنترل دسترسی، که خصوصیات اصلی طرح هندسی را تعیین می‌کنند. کنترل‌ها و معیارهای دیگر مانند. توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی، ظرفیت، ایمنی و اقتصاد که یا در کنترل‌های اصلی منظور شده‌اند ویا با خصوصیات جزئی‌تر طرح رابطه دارند که در کنترل‌های اصلی آورده نشده‌اند.

حجم ترافیک

حجم ترافیک اولین کنترل اصلی است و باید شامل اطلاعاتی در مورد ترافیک موجود و حجم ترافیک آینده، هر دو بصورت *ADT* باشد. همچنین حجم ساعتی طرح *DHV* برای راههای دو خطه، و برای راههای چند خطه درصد توزیع درجهت ترافیک بیشتر *(D)* همراه با حجم ساعتی طرح جهتی *(DDHV)* برای آینده معلوم باشد.

تعیین حجم طراحی با *ADT* زمان حاضر شروع می‌شود. برای تمام حالت‌ها بجز راههای محلی و خیابان‌ها، *ADT* برای یک سال در آینده (معمولاً از ۵ تا ۲۰ سال - بعد از سال تخمینی اتمام) و *DHV* با ضرب کردن *K* در *ADT* بدست می‌آید.

K ضریبی است که نسبت *DHV* را به *ADT* نشان می‌دهد. بطور

متوسط برای راههای خارج شهری ضریب K تقریباً ۱۵ درصد وبرای راه‌های شریانی و خیابان‌ها تقریباً ۱۱ درصد می‌باشد. برای جاده‌های دو خطه DHV بکار برده می‌شود.

حجم ساعتی طرح جهتی $(DDHV)$ با ضرب کردن حجم ساعتی طرح در ضریب جهت بدست می‌آید. D برابر است با درصد ترافیک در جهت بیشتر جریان ترافیک برای راه‌های با بیش از دو خط عبور، و در راه‌های دو خطه با تقاطع‌های مهم تخمین جریان ترافیک در جهت لازم است. توزیع ترافیک در جهت برای ساعت اوج معمولاً فرض می‌شود که در طول هفته و سال بدون تغییر باقی می‌ماند. آمار ترافیک برای بزرگراههای چاشیه شهری نشان دهنده حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد ساعت اوج در یک جهت، با ضریب D تقریباً برابر ۶۷ درصد، می‌باشد. این مقدار در نواحی نزدیک مرکز تجاری شهر، مخصوصاً در شهرهای بزرگ به ۵۰ درصد می‌رسد. برای خیابان‌های شعاعی، که نواحی حاشیه شهر را به مرکز شهر وصل می‌کند این ضریب به ۶۵ الی ۷۵ درصد ممکن است برسد.

ترکیب ترافیک

درصد کامیون و اتوبوس موجود در ترافیک برای ساعت طراحی (ضریب T) نیز باید تخمین زده شود. تا ملاحظات مربوط به آن در معیارهای طرح هندسی منظور شود. اثر یک کامیون یا اتوبوس، بسته به شیب و شرایط عملکردی وسیله نقلیه، در ترافیک معمولاً معادل چند اتومبیل می‌باشد. مقدار T که براساس ترافیک موجود مشخص می‌شود را معمولاً می‌توان فرض کرد که برای حجم‌های ترافیک در آینده نیز صادق است.

سرعت طرح

سرعت است که برای طراحی و ارتباط متقابل خصوصیات فیزیکی یک جاده که در عملکرد وسیله نقلیه مؤثر است در نظر گرفته می‌شود. یا حداکثر سرعت مطمئن قابل تأمین روی قسمت مشخصی از راه است وقتی خصوصیات هندسی کنترل کننده باشد.

انتخاب سرعت طرح براساس نوع منطقه، تراکم و خصوصیات کاربری زمین، طبقه‌بندی و وظیفه راه و حجم‌های ترافیک که باید از راه استفاده کنند می‌باشند. معمولاً یک راه در منطقه هموار سرعت طرح بیشتری را نسبت به منطقه کوهستانی طلب می‌کند. در مناطق خارج شهری سرعت طرح بیشتر از مناطق شهری است، و یک راه با حجم ترافیک بیشتر با سرعت طرح بیشتری نسبت به یک راهی که قرار است حجم ترافیک بیشتری را عبور دهد طرح می‌شود. بجز برای راهها و خیابان‌های محلی و خیابان‌ها در مناطق شهری، بطور کلی سرعت طرح باید تا حد ممکن، که با مسائل اقتصادی و محیطی نیز هماهنگ باشد، زیاد در نظر گرفته شود. جدول ۲- حداقل سرعت طرح‌ها را برای انواع طبقه‌بندی راه، منطقه و حجم‌های ترافیک نشان می‌دهد. سرعت طرح‌های زیادتر تا ۱۴۵ کیلومتر در ساعت (۹۰ مایل در ساعت) در بعضی کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کنترل دسترسی

کنترل دسترسی بصورت‌های "بدون" جزئی یا "کامل" مطرح می‌شود، و نشان‌دهنده میزان تداخل از کنار جاده است. این عامل محدودیت‌ها را نسبت به آزادی در رانندگی، که در طرح بسیاری از قسمت‌های راه را تأثیر می‌گذارد، مشخص می‌کند.

روشی که توسط اشتو برای مشخص کردن کنترل‌های طرح پیشنهاد می‌شود بصورت زیر است:

کنترل دسترسی ..... (کامل، جزئی، بدون)

ADT (جاری) ..... (وسیله نقلیه در روز)

ADT (سال طراحی ..... (وسیله نقلیه در روز)

DHV ..... (وسیله نقلیه در ساعت، حجم ساعتی طرح)

D ..... (درصد ترافیک در جهت بیشتر)

T ..... (درصد کامیون در DHV)

V ..... (سرعت طرح)

وسیله نقلیه طرح

تقریباً تمام راه‌ها هم اتومبیل و هم کامیون را از خود عبور می‌دهند و ضوابط طراحی برای انواع وسائل نقلیه توسط اشتو تعیین شده است. حداکثر اندازه‌ها، وزن، و قدرت موتور وسائل نقلیه از موارد اساسی در طراحی راه می‌باشند. خصوصیات انواع وسائل نقلیه طرح در فصل ۲ با جزئیات مشخص شد.

اجزاء سطح مقطع راه

طرح هر کدام از اجزاء سطح مقطع راه بستگی به استفاده‌ای که از آن می‌شود دارد. راه‌هائی که با حجم ترافیک و سرعت بیشتری طرح می‌شوند نیاز به تعداد خطهای عبور بیشتر، شیب‌های کمتر، و قوس‌های افقی صاف‌تر نسبت به راه‌هائی که با حجم و سرعت‌های کمتر طراحی شده‌اند دارد. بعلاوه برای نوع اول باید به عرض بیشتر برای شانه‌ها و جزیره میانی، خطهای گردش جداگانه، و کنترل دسترسی توجه نمود.

جدول شماره ۲-۳- سرعت طرح‌های حداقل برای انواع راه‌ها برحسب کیلومتر در ساعت

بزرگراه‌ها:		
منطقه	خارج شهری	شهری
کفه‌ای	۱۱۳	۸۰
تپه‌های ماهوری	۹۷	۸۰
کوهستانی	۸۰	۸۰

راههای شریانی خارج شهری:		
۵۰-۷۵۰ = ADT سال جاری		
منطقه	ADT سال جاری کمتر از ۲۰۰	ADT سال جاری بیش از ۲۰۰
کفه‌ای	۸۰	۱۱۳
تپه‌ای ماهوری	۶۴	۹۷
کوهستانی	۴۸	۶۴

راههای شریانی:	
شهری	حاشیه شهری
۶۴-۴۸ کیلومتر در ساعت برای تمام انواع منطقه و برای تمام حجم‌های ترافیکی	۸۰-۶۴ کیلومتر در ساعت تمام انواع منطقه برای تمام حجم‌های ترافیک

راههای محلی و خیابان‌ها - خارج شهری:			
	ADT سال جاری	ADT سال جاری	ADT سال جاری
منطقه	کمتر از ۲۵۰	۴۰۰-۲۵۰	بیش از ۴۰۰
کفه‌ای	۶۴	۸۰	۸۰
تپه‌ماهوری	۴۸	۶۴	۶۴
کوهستانی	۳۲	۳۲	۴۸

راههای محلی و خیابان‌ها- خارج شهری:	
خیابان‌های جمع آورنده	خیابان محلی
۳۲ تا ۶۴ کیلومتر در ساعت برای تمام انواع منطقه و حجم ترافیک	۲۳ تا ۴۸ کیلومتر در ساعت برای تمام انواع منطقه و حجم ترافیک

سطح مقطع راه از قسمت‌های مختلف تشکیل شده است و می‌توان آنرا به سه گروه تقسیم کرد:

۱ - قسمتی که روی آن حرکت انجام می‌شود شامل: رویه، عرض، شیب عرضی و تعداد خطوطی که می‌تواند ترافیک را عبور دهد.

۲ - کناره‌های راه شامل: شانه‌ها، پیاده‌روها، جدول‌ها، نرده‌های ایمنی، کانال‌های کناره جاده و اطراف راه.

۳ - جداکردن ترافیک: جزیره میانی

سطح رویه

سطح رویه بطور کلی به سه نوع عالی، متوسط و ضعیف تقسیم بندی می‌شود. انتخاب نوع پوشش رویه بستگی به حجم ترافیک و خصوصیات آن، موجود بودن مصالح و پیمانکاران خوب، هزینه اولیه، و هزینه نگهداری دارد.

ترافیک سنگین یک سطح حرکت صاف با خصوصیات ضد لغزش خوب در همه نوع آب و هوا را طلب می‌کند. رویه چنین راهی باید طوری ساخته شود که این خصوصیت را، با حداقل

هزینه نگهداری و کمترین اختلال در جریان ترافیک، در طول عمرش داشته باشد. چنین سطح صافی مقاومت کمی در تمام‌مقابل حرکت آب سطحی ایجاد می‌کند، و بنابراین می‌تواند با حداقل شیب عرضی طراحی شود. بالعکس راه‌هائی که با سطح رویه ضعیف ساخته می‌شوند باید باندازه کافی شیب داشته باشند تا بتوانند آبهای سطحی را دفع کنند. سطح رویه ضعیف سرعت متوسطه عملی ترافیک را نیز پائین می‌آورد.

رنگ رویه تأثیر مستقیم بر ایمنی و عملکرد ترافیک دارد. رویه با رنگ روشن دید بهتری را در شب با نور چراغهای وسیله نقلیه و یا نور چراغهای خیابان، نسبت به رویه سیاه تأمین می‌کند. دلیل آن اینست که رویه روشنتر خاصیت انعکاسی بهتری دارد و برای روئیت موانع و اشیاء تیره‌رنگ در طول جاده پس زمینه بهتری را بوجود می‌آورد. رنگ رویه همچنین ممکن است برای مشخص کردن شانه نسبت به قسمت ماشین رو، برای مشخص کردن جاده اصلی نسبت به فرعی در تقاطع، یا نشان دادن بهتر ورودی‌ها و خروجی‌ها در تقاطع‌های غیر هم سطح نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عرض خط عبور

عرض خط عبور تأثیر زیادی بر ایمنی و راحتی رانندگی دارد. عرض خط عبور برابر ۳ الی ۳/۶۵ متر (۱۰ تا ۱۲ فوت) استاندارد می‌باشد، و تمایلی برای افزایش آن با توجه به افزایش مداوم در روند حجم ترافیک، سرعت وسائل نقلیه، و عرض کامیون‌ها وجود دارد.

عرض کمتر از ۳ متر (۱۰ فوت) می‌تواند بالعکس در ظرفیت و ایمنی تأثیر داشته باشد. بنابراین بکارگیری آن باید در راه‌هائی بغیر از تسهیلات دارای حجم ترافیک و سرعت زیاد باشد.

شیب‌های عرضی عادی

شیب عرضی سطح مقطع به سمت کناره راه برای دفع آبهای سطحی در نظر گرفته می‌شود. شیب عرضی می‌تواند بصورت یک سطح صاف یا منحنی و یا ترکیبی از هر دو باشد. شیب عرضی منحنی شکل معمولاً با استفاده از منحنی سهمی است. در بزرگراههای جدا از هم، هر قسمت رویه که در یکطرف قرار دارد ممکن است در هر دو جهت عرضی مانند یک جاده دو خطه، شیب داده شود.

چون بسیاری از راه‌ها مستقیم بوده و یا در قوس‌های صاف قرار دارند. شیب عرضی اهمیت زیادی دارد. شیب عرضی از نظر عملکرد ترافیک باید تا حد ممکن کمتر باشد ولی برای دفع آبهای سطحی نیز باید باندازه کافی در نظر گرفته شود. وقتی دو یا چند خط عبور در یک جهت شیب داشته باشند ترجیحاً باید هر خط عبور بیرونی دارای شیب عرضی بیشتری باشد. خط عبور کنار تاج جاده باید دارای حداقل شیب عرضی بوده و در هر خط عبور بیرونی باندازه ۰/۵ درصد شیب عرضی افزایش داده شود. شیب عرضی از حداقل یک درصد برای رویه‌های خیلی صاف و درجه یک تا حداکثر ۲ درصد می‌تواند تغییر کند.

شانه‌ها

شانه در کنار قسمت ماشین رو و برای تأمین فضای توقف اتومبیل‌ها، استفاده‌های اضطراری تأمین ایمنی جانبی لایه‌های اساس و رویه، و همچنین افزایش ظرفیت جاده در عبور ترافیک در نظر گرفته می‌شود. نیاز به شانه با توجه به نوع راه، حجم ترافیک، سرعت، نوع منطقه (از نظر پستی و بلندی) تعیین می‌شود. شانه‌ها را می‌توان حداقل برابر ۱/۲۵ متر تا عرض مطلوب ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت) برای جاده‌های پر رفت و آمد و سریع السیر در نظر گرفت. برای جاده‌هائی که حجم ساعتی طرح آنها بیش از ۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت است باید شانه کامل (۲/۵ تا ۳/۶۵ متر) منظور نمود. شیب عرضی شانه راه نیز باید برای دفع آبهای سطحی کافی باشد، ولی نه باندازه‌ای که استفاده از آن توسط وسائل نقلیه خطرناک گردد.

پیاده‌روها

در شهرها، پیاده‌رو بعنوان جزء لاینفک خیابان پذیرفته شده است. بهر حال نیاز به وجود پیاده‌رو، در بسیاری از راه‌های خارج شهری، بعلت سرعت‌های زیاد و عدم وجود روشنائی کافی که حرکت عابرین را در جاده خطرناک می‌کند، احساس می‌شود. بیشترین نیاز در نقاط حاشیه و خارج شهرها در مناطقی است که محل‌های توسعه جمعیت شده‌اند، مانند مدارس، فعالیت‌های تجاری محلی، کارخانه‌های صنعتی و غیره. توجیه لزوم وجود پیاده رو در اینگونه محل‌ها بستگی به میزان خطرناک بودن عبور پیاده‌ها دارد و برحسب حجم ترافیک پیاده‌ها، حجم و سرعت ترافیک وسائل نقلیه می‌توان تصمیم گیری کرد. بطور کلی در صورتیکه توسعه زمین‌های اطراف عبور و مرور زیاد عابرین را در طول یک جاده اصلی باعث شود، پیاده‌رو باید در نظر گرفته شود.

جدول گذاری

جدول گذاری با توجه به محل و طرح آن می‌تواند در

رانندگی، ایمنی و استفاده از جاده موثر باشد. جدول گذاری برای کنترل آبهای سطحی، جلوگیری از خارج شدن وسائل نقلیه از جاده در نقاط خطرناک، مشخص نمودن کناره جاده، ارائه ظاهر تمام شده بهتر، و کمک به توسعه منظم‌تر اطراف جاده بکار می‌رود.

معمولاً دو نوع جدول وجود دارد، نوع مانعی و نوع قابل عبور، نوع مانعی معمولاً مرتفع و صاف می‌باشد وبرای جلوگیری از خارج شدن وسیله نقلیه از جاده بکار می‌رود. ارتفاع آن بین ۱۵ تا ۵۰ سانتیمتر است و مقطع آن ممکن است دو قسمتی باشد. این نوع جدول روی پل‌ها، کنار پیاده‌روها (حداکثر ارتفاع در اینحالت برای جلوگیری از برخورد سپر ۲۰ سانتیمتر) و در بعضی مواقع جزیره میانی بزرگراهها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع دیگر (قابل عبور) ارتفاع کمی دارد. یک یا دو طرف شیب دار است و طوری طراحی شده که وسائل نقلیه بتواند از روی آن بدون تکان شدید عبور کنند. این نوع جدول در لبه داخلی شانه‌ها، و کناره جزایر ترافیکی در تقاطع‌ها برای جداسازی ترافیک ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

حفاظ‌ها و پایه‌ها

حفاظ‌ها و پایه‌ها در محل‌هائی نصب می‌شوند که خارج شدن وسائل نقلیه از جاده ممکن است باعث خطرات زیاد و خسارات عمده‌ای شود. این نقاط معمولاً روی خاکریزهای مرتفع با شیب کناری زیاد و یا قوس‌های تند قرار دارند. اگر شیب خاکریز ۱ به ۴ یا صاف‌تر باشد از نصب اینگونه حفاظ‌ها ممکن است اجتناب شود، زیرا راننده‌ای که به سمت چنین شیبی کشانده شود شانس زیادی برای کنترل وسیله نقلیه خود دارد.

در حالیکه حفاظ‌ها و پایه‌ها معمولاً در روی مقاطع خاکریز مورد استفاده قرار می‌گیرند، لزوم نصب آنها در مقاطعی که تغییر ناگهانی در عرض شانه ایجاد می‌شود، مانند محل نزدیک شدن به پل‌ها، نیز قابل توجیه است.

انتخاب محل نصب حفاظ‌ها و پایه‌ها تا اندازه زیادی بستگی به خطر موجود دارد. حفاظ‌ها معمولاً برای گرفتن ضربه و برگرداندن وسیله نقلیه بطوریکه بتواند با سرعت کم حرکت کند طراحی می‌شوند، زیرا هر گونه توقف سریع وسیله نقلیه بسیار خطرناک است. بنابراین استفاده از پایه نیز برای گرفتن ضربه نیست و از آنها برای مشخص کردن جهت مسیر راه، بخصوص در شب و به کمک شبرنگ، استفاده می‌شود.

شیب کناری

شیب کناری در خاکبرداری یا خاکریزی باید در محل برخورد با زمین صاف بوده و حتی الامکان گرد شود. کنترل مؤثر فرسایش، زهکشی کافی بستر، هزینه نگهداری کمتر و تثبیت خاک بستگی به شکل دادن کامل شیب‌های کناری دارد.

جزیره میانی

جزایر میانی برای جدا سازی خطهای عبور متقابل در جاده‌های چند خطه بکار می‌رود. تقریباً تمام بزرگراههای جدید که چهار خط عبور یا بیشتر نیاز دارند در مراحل نهائی با جزیره میانی طرح می‌شوند.

جزایر میانی در بزرگراههای خارج شهری برای تأمین حفاظت نسبت به ترافیک مقابل، به حداقل رساندن اثرات تابش نور چراغهای مقابل، در تقاطع‌های همسطح برای تأمین کافی فضای گردش وسائل نقلیه و تأمین یک نقطه امن خیلی خوب در مواقع اضطراری، باید از عرض کافی برخوردار باشند.

جزایر میانی باید تا حد ممکن در شب و روز، قابل روئیت و همچنین قابل تشخیص نسبت به خطوط عبور جاده باشند. عرض جزایر میانی از حدود ۱/۵ متر تا ۱۸ متر یا بیشتر ممکن است تغییر کند و در طول جاده نیز ممکن است عرض آن ثابت نباشد. در قسمت ماشین رو نیز لزومی ندارد که در یک سطح یا یا یک شیب قرار داشته باشند.

عرض حریم راه

این حریم باید برای قرار گرفتن تمام اجزاء مقطع عرضی و یک حائل کناری کافی باشد. حائل کناری منطقه‌ای است بین لبه جاده و حد نهائی حریم راه.

این منطقه برای تأمین فضای لازم جهت پیاده‌ها، محل قرار گرفتن تأسیسات (خطوط برق - و غیره)، نصب تابلوها و سایر علائم کنترل، بعنوان یک نوار سبز برای افزایش زیبائی ظاهر بزرگراههای عمومی و املاک کناری آن در نظر گرفته می‌شود. در ابتدا باید حریم راه به اندازه کافی خریداری شود تا توسعه نهائی در آینده میسر باشد.

حداقل مطلوب حریم راه در عرض با نوع راه یا خیابان تغییر می‌کند. برای مثال حریم راه طبق پیشنهاد اشتو برای انواع راه‌های خارج شهری در جدول زیر داده شده است:

نوع راه	دامنه تغییرات عرض راه (متر)
دو خطه	۲۰ الی ۳۷ متر (حداقل برای راههای نامرغوب)
سه خطه	۳۰ الی ۴۳ متر
چهار خطه	۲۷ الی ۹۵ متر
(حداقل برای مناطقی که محدودیت ساختمانی وجود دارد)	

مسیربندی راه

جـاده‌ها را مـمکن است بـصورت تـرکیبی از قسـمت‌های مختلف "مستقیم" و "منحنی" در نظر گرفت. قسمت‌های مستقیم را مماس و قسمت‌های منحنی را در قـوس‌های افـقی دایـره‌ای مـی‌نامند. در پـروفیل شـیب‌های مـختلف (مـثبت و مـنفی)، قسمتهای افقی و قوس‌های قائم سهمی وجود دارد.

مسیربندی افقی

مسیر بندی افـقی راه در نـقشه پـلان نشـان داده مـی‌شود و متشکل از یک سری خطوط مستقیم است که با قوسهای دایره‌ای به یکدیگر متصل شـده‌انـد. قـرار دادن مـنحنی‌های مـارپیچ یـا انتقالی بین قسمت مستقیم و قوس دایره‌ای عمل خوبی است. قرارگیری باید هماهنگ باشد، بعنوان مثال از تغییرات ناگـهانی قوسهای صاف به قوسهای تند، و مسیر مستقیم طولانی منتهی به یک قوس تند، برای تقلیل خطر تصادف باید اجتناب نمود. استفاده از قوس‌های مرکب و قوس‌های معکوس نامطلوب است مگر اینکه قوس‌های انتقالی مناسب بین آنها در نظر گرفته شود. استفاده از قوسهای با درجه کم در تـمام حـالت‌ها تـرجـیح داده می‌شود. زیرا از نظر ظاهر و خصوصیات حرکت خوش آیند بوده و امکان غیر قابل استفاده شدن در آینده را نیز تقلیل می‌دهد.

برای یکنواختی در طراحی راه تا حد امکان اقتصادی، تمام اجزاء هندسی باید طوری انتخاب شـوند کـه حـرکت مـمتد و یکنواخت در سرعت طرح تأمین شود. در طرح قوسها لازم است رابطه‌ای مناسب بین سرعت طرح، انحناء و بربلندی برقرار شود. با وجود اینکه این رابطه از قوانـین مکـانیکی نـتیجه مـی‌شود، مقادیر واقعی که در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد به حدود عملی و عواملی که کم و بیش با تجربه تعیین شده‌اند، بستگی دارد.

بربلندی قوس‌ها

بربلندی (دِوِر) برای غلبه بر تمایل وسائل نقلیه به لغزیدن در امتداد شعاع قوس و به سمت بیرون یا واژگـون شـدن بـخاطر نیروی گریز از مرکز، لازم است. نیروی گـریز از مـرکز در بـالای سطح جاده و در مرکز ثقل وسیله نقلیه اثر می‌کند، و یک گشتاور واژگون کننده حول تقاط تماس چرخ‌های بیرونی با سطح جاده ایجاد می‌نماید. گشتاور مقاوم که تـوسط نـیروی وزن بـوجود می‌آید، با این عـمل مـخالفت مـی‌کند. واژگـونی وقـتی اتـفاق می‌افتد که گشتاور واژگون کننده از گشتاور مقاوم بـیشتر شـود. اتومبیل‌های جدید دارای مرکز ثقل پائین مـی‌باشند، در نـتیجه گشتاور واژگون کننده نسبتاً کمی در آنـها ایـجاد مـی‌شود و در جهت عرضی فقط لغزش خواهند داشت. کامیون‌ها دارای مرکز ثقل مرتفع می‌باشند بطوریکه گشتاورهای واژگون کننده نسـبتاً بزرگی ممکن است ایجاد شود و قبل از لغزش چپه شوند.

در یک قوس افقی با بربلندی (دِوِر) تمایل به لغزش و تمایل به واژگون شدن را می‌توان با در نظر گرفتن نیروی اصطکاک و بربلندی کافی از بین برد. در این حـالت مـؤلفه نـیروی وزن در جهت سطح شیب دار با نیروی اصطکاک مشترکاً مؤلفه نیروی گریز از مرکز را در امتداد سطح خنثی می‌کنند.

شکل ۱-۳ رابطه بین نیروها را وقتی یک وسیله نقلیه روی قوس دایره‌ای با بربلندی (دِوِر) حرکت می‌کند نشان می‌دهد. در حالت تعادل می‌توان نوشت:

$$\sum F_x = 0 \qquad -W\sin\theta + \frac{WV^2}{gR}\cos\theta - F = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad -W\cos\theta + \frac{WV^2}{gR}\sin\theta - N = 0$$

$$F = fN = f\left(W\cos\theta + \frac{WV^2}{gR}\sin\theta\right)$$

اگر F را در معادله اول قرار دهیم:

$$\frac{WV^2}{gR}\cos - fW\cos\theta - f\frac{WV^2}{gR}\sin\theta - W\sin\theta = 0$$

با تقسیم معادله فـوق بـه $W\cos\theta$، قـرار دادن e بـجای $\tan\theta$ و مرتب کردن:

$$\frac{V^2}{gR}(1-fe) = f + e \qquad (۳-۱)$$

به دلیل کوچک بودن e و f می‌توان حاصل ضرب آنها را برابـر صفر در نظر گرفت در نتیجه:

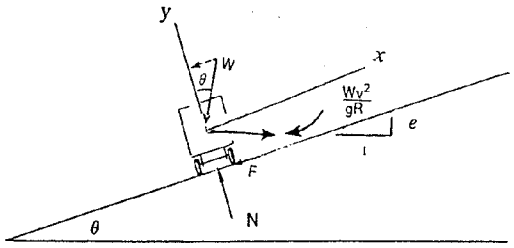
$$R = \frac{V^2}{g(e+f)} \qquad (۳-۲)$$

و یا برای $f=0$:

$$e = \frac{V^2}{127.2R} \qquad (۳-۳)$$

که در رابطه (۳-۳)، V بر حسب کیلومتر در ساعت و R بر حسب متر است.

W = وزن
θ = زاویه شیب
V = سرعت
e = tanθ = بربلندی
F = نیروی اصطکاک عرضی
g = شتاب جاذبه زمین
R = شعاع قوس



شکل ۱-۳. وسیله نقلیه در حال حرکت روی قوس دارای بر بلندی

حداکثر ضریب اصطکاک جانبی برای رویه خشک بین ۰/۴ تا ۰/۵ تغییر می‌کند. راننده‌ها مدتی قبل از اینکه لغزش شروع شود احساس ناراحتی می‌کنند. زیرا کنترل وسیله نقلیه مشکل خواهد بود. استاندارد اشتو بر اساس مطالعه میزان ناراحتی رانندگان در سرعت طرح‌های مختلف ضرایب اصطکاک نشان داده شده در جدول ۲-۳ را پیشنهاد می‌کند.

به دلایل عملی، بر بلندی تئوری زیاد قبل اجرا نمی‌باشد. وقتی یک وسیله نقلیه با سرعتی کمتر از سرعت طرح حرکت کند نیروی گریز از مرکز کم می‌شود و تمایل به لغزش در جهت شیب عرضی و به سمت پائین ایجاد می‌شود. برای وسیله نقلیه متوقف نیروی گریز از مرکز صفر خواهد بود و در نتیجه برای جلوگیری از لغزش به پایین سطح شیب دار باید ضریب اصطکاک برابر بربلندی باشد. بعلت اینکه راه‌ها در تمام طول سال مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. حداکثر مقدار بربلندی هیچگاه نباید از حداقل ضریب اصطکاک که در بدترین شرایط جوی ایجاد می‌شود بیشتر شود. حداکثر بربلندی که توسط اشتو پیشنهاد می‌شود ۱۲ درصد است. اگر شرایط جوی برفی و یخبندان حاکم باشد این حداکثر به ۸ درصد تقلیل پیدا می‌کند. در شرایط یخبندان ضریب اصطکاک ممکن است به ۰/۰۵ یا کمتر برسد، بنابراین تدابیر جلوگیری از لغزش توسط رانندگان و پرسنل نگهداری باید در نظر گرفته شود. در کارهای اخیر بربلندی تا ۱۶ درصد برای شیبراه‌های تقاطع‌های غیر همسطح به نحو مطلوب بکار رفته است.

قوس‌های دایره‌ای

قوسهای دایره‌ای توسط شعاع یا درجه قوس، که زاویه مرکزی مربوط به طول قوس ۱۰ متر است، مشخص می‌شوند. درجه قوس بطور معکوس با شعاع متناسب است و رابطه آن بصورت زیر می‌باشد:

$$D = \frac{572.96}{R} \qquad (۳-۴)$$

که در آن: D = درجه قوس برحسب درجه
R = شعاع بر حسب متر

استاندارد قوس تا حد زیادی بستگی به مقدار بربلندی و ضرایب اصطکاک دارد.

$$R = \frac{V^2}{127.2(e+f)} \qquad (۳-۵)$$

توجه داشته باشید که معادله نتیجه شده (۳-۵) همان معادله‌ای است که قبلاً در فصل ۲ دیده شده است. با جایگزینی برای درجه قوس:

$$D = \frac{72880(e+f)}{V^2} \qquad (۳-۶)$$

اشتو برای حداکثر مجاز درجه قوس ضریب اصطکاک و بربلندی حداکثر را مشخص کرده است.

برای قوسهای صاف‌تر که نیاز به حداکثر مجاز بربلندی و ضریب اصطکاک عرضی ندارند، یکی یا هر دو را ممکن است کم نمود. اشتو در این مورد پیشنهاد مشخصی ندارد و در عمل بین سازمان‌های مختلف اختلاف نظر وجود دارد.

جدول ۲-۳، حداکثر ضرایب ایمن (برای ۰/۱۲ = e)

سرعت طرح (KPH)	۴۸	۶۴	۸۰	۹۷	۱۱۳	۱۳۰
حداکثر ضریب اصطکاک جانبی ایمن	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱

بسیاری از سازمان‌ها پیشنهاد می‌کنند که قوس‌های با درجه بیشتر از ۱۹/۵ دقیقه (شعاع کمتر از ۱۷۵۰ متر) باید بربلندی داشته باشند.

منحنی‌های انتقالی

این منحنی‌ها برای تأمین انتقال یکنواخت بین مسیر مستقیم و قوس مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این علت که در قسمت مستقیم نیاز به بر بلندی نیست و بر بلندی کامل در شروع وارد شدن به قوس دایره‌ای باید وجود داشته باشد. این عمل ایمنی وسیله نقلیه و راحتی سرنشینان را در سرعت‌های زیاد تضمین می‌کند. عمل انتقال بعضی مواقع با استفاده از منحنی مارپیچ انجام می‌شود. اثر منحنی مارپیچ تغییر تدریجی شعاع از بینهایت روی قسمت مستقیم به شعاع مورد نظر قوس و در نتیجه ایجاد تدریجی نیروی گریز از مرکز می‌باشد. با اجرای دقیق بر بلندی در طول منحنی مارپیچ، بوجود آمدن تدریجی نیروی گریز از مرکز را می‌توان تحت کنترل قرار داد.

حداقل طول منحنی مارپیچ، که توسط اشتو برای راه‌های خوب پیشنهاد می‌شود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L_s = \frac{0.036V^3}{R} \qquad (۳-۷)$$

که:

L_s = طول منحنی انتقالی، برحسب متر

V = سرعت، برحسب کیلومتر در ساعت

R = شعاع قوس افقی بر حسب متر

منحنی‌های انتقالی معمولاً برای قوس‌های با درجه کمتر از ۱۹/۵ دقیقه (شعاع بیش از ۱۷۵۰ متر) حذف می‌شود. استاندارد اشتو پیشنهاد می‌کند که برای قوسهای تندتر از ۳۹ دقیقه (شعاع کمتر از ۸۸۰ متر) در بزرگراهها منحنی انتقالی مورد استفاده قرار گیرد.

منحنی انتقالی برای جدا کردن قوسهای معکوس و مرکب (وقتی درجه قوس‌ها تفاوتی بیش از ۱/۶ درجه داشته باشد) نیز باید بکار برده شود.

طول اعمال بربلندی

طول لازم برای اعمال بربلندی از دو قسمت تشکیل می‌شود. در قسمت اول تغییرات از مقطع عادی شروع می‌شود و تا مقطعی که لبه خارجی جاده افقی شده است (نقطه شروع منحنی مارپیچ) ادامه دارد، و در قسمت دوم بربلندی افزایش پیدا می‌کند تا به حداکثر خود برسد. این دو قسمت را بترتیب طول خارجی اعمال بربلندی و طول داخلی اعمال بربلندی می‌نامند. برای تأمین راحتی و ایمنی، بربلندی باید در کل این طول، که برای سرعتهای احتمالی حرکت کافی باشد، بطور یکنواخت اعمال گردد.

تغییرات تدریجی مطلوب برای سطح مقطع بر روی طول داخلی اعمال بربلندی، که برابر است با طول منحنی مارپیچ، انجام می‌شود.

تعریض رویه در قوس

تعریض رویه در قوس برای قابل قیاس شدن شرایط حرکت در قوس با مسیر مستقیم انجام می‌شود. تعریض رویه در قوس‌ها جاده بخاطر نحوه خاص حرکت وسائل نقلیه در قوس ممکن است لازم باشد. همانطور که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است چرخهای عقب یک وسیله نقلیه در قوس منحنی شعاع کمتری را نسبت به چرخ‌های جلو طی می‌کنند. بنابراین وسیله نقلیه عرض رویه بیشتری را نسبت به مسیر مستقیم اشغال می‌کند. وقتی قوس تند و وسیله نقلیه نسبتاً بزرگ باشد، عرض اضافی لازم ممکن است قابل توجه باشد.

بطور کلی مقدار تعریض لازم برای راهها دو خطه بین صفر تا ۲/۱۵ متر تغییر می‌کند، و مقادیر بین ۶۰ سانتیمتر تا ۱/۲۰ متر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق آئین نامه اشتو حداقل مقدار تعریض ۶۰ سانتیمتر (۲ فوت) می‌باشد. مقادیر ارائه شده توسط اشتو از رابطه‌ای که در آن ابعاد وسیله نقلیه طرح، فاصله بین وسائل نقلیه، شعاع قوس و سرعت طرح در نظر گرفته شده است، بدست می‌آید. (شکل ۲-۳).

برای راههای چهار خطه مقدار بدست آمده از رابطه مزبور باید دو برابر شود. بطور کلی برای بزرگراههای تقسیم شده دو خطه و بیشتر در صورتیکه عرض هر خط حداقل ۳/۶۵ متر باشد، تعریض در نظر گرفته نمی‌شود. برای عرض خط ۳/۳۵ متر (۱۱ فوت) در صورتی که شعاع قوس ۱۷۵ متر یا بیشتر باشد نیاز به تعریض نیست. در جدول ۳-۳ مقادیر محاسبه شده تعریض برای طراحی طبق آئین نامه اشتو داده شده است.

$W = W_c - W_n$

$W_c = 2(U+C)+F_A+Z$

W = مقدار تعریض برای رویه دو خطه (فوت)

W_c = عرض رویه دو خطه روی قوس (فوت)

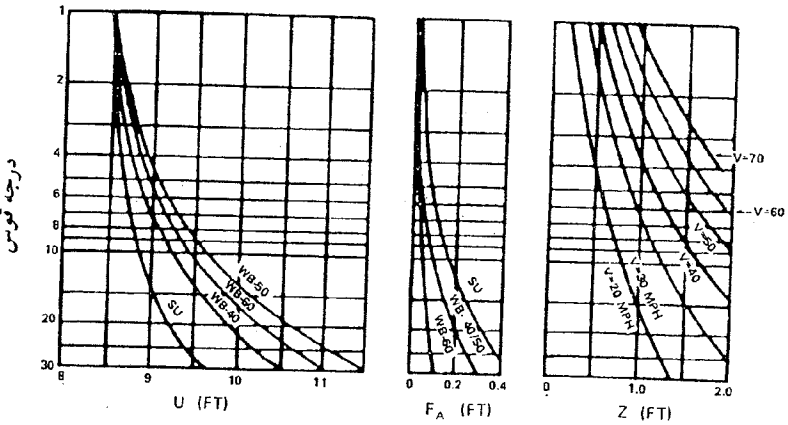
W_n = عرش رویه دو خطه در مسیر مستقیم (فوت)

فاصله بین وسائل نقلیه در عرض، ۲/۵،۲و۳

فوت برای W_n برابر با ۲۲،۲۰ و ۲۴ فوت

Z = مقدار تعریض فاصله اضافی بخاطر مشکلات رانندگی

F_A = عرض بیرون زدگی جلو وسیله نقلیه (فوت)



$U = U+R - \sqrt{R^2 - L^2} = R + 8.5 - \sqrt{R^2 - 400}$

$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L+A)} - R = \sqrt{R^2+176} - R$

$Z = V/\sqrt{R}$

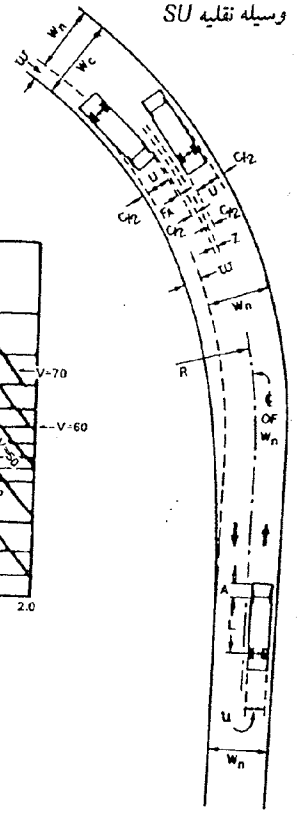
L = فاصله دو محور برای SU مساوی با ۲۰ فوت

A = بیرون زدگی جلو برای SU مساوی با ۴ فوت

V = سرعت طراحی جاده بر حسب mph

U= فاصله بیرون تا بیرون چرخها در مسیر مستقیم برای SU، ۸/۵ فوت

R= شعاع محور جاده دو خطه بر حسب فوت



شکل ۲-۳ تعریض رویه در قوس طبق آئین نامه اشتو

انجام تعریض در قوس

مانند بربلندی تعریض در قوس نیز به تدریج انجام می‌شود. برای قوسهائی که دارای منحنی مارپیچ هستند تعریض در سمت داخل اجرا می‌شود و یا ممکن است آنرا بین سمت داخلی و خارجی قوس تقسیم کرد. ولی برای قوسهای بدون مارپیچ تعریض فقط از سمت داخل باید انجام شود. تعریض حداکثر باید در طول قوس دایره‌ای برقرار شود و در طول منحنی مارپیچ از صفر تا مقدار حداکثر (در نقطه شروع قوس دایره‌ای) برقرار شود و در طول منحنی مارپیچ از صفر تا مقدار حداکثر (در نقطه شروع قوس دایره‌ای) برسد. بدون توجه به اینکه تعریض چگونه اعمال شده است، خط نهائی محور راه باید در وسط لبه‌های رویه تعریض شده قرارگیرد.

مسیر بندی قائم

خط پروژه بر روی پروفیل طولی، که در امتداد محور راه

جدول ۳-۳ مقادیر تعریض رویه برای طراحی، جاده دو خطه یک طرفه یا دو طرفه طبق آیئن نامه AASHTO

درجه	شعاع		عرض دو خط 24′=7.32 m					عرض دو خط 22′=6.71 m					عرض دو خط 20′=6.10 m			
°		MPH	0	40	50	60	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60
قوس	به	KPH	48	64	80	97	113	48	64	80	97	113	48	64	80	97
*°	متر															
1	1750		0	0	0	0	0	0	16	16	16	32	46	46	46	61
2	875		0	0	0	16	16	32	32	32	46	46	61	61	61	76
3	583		0	0	16	16	32	32	32	46	46	61	61	61	76	76
4	434		0	16	16	32	32	32	46	46	61	61	61	76	76	92
5	350		16	16	32	32		46	46	61	61		76	76	92	92
6	290		16	32	32	46		46	61	61	76		76	92	92	107
7	250		16	32	46			46	61	76			76	92	107	
8	218		32	32	46			61	61	76			92	92	107	
9	194		32	46	61			61	76	91			92	107	122	
10-11	175-160		32	46				61	76				92	107		
12-14.5	145-120		46	61				76	92				107	122		
15-18	117-97		61					92					122			
19-21	92-83		76					107					138			
22-25	80-70		92					122					153			
26-26.5	67-65		107					138					168			

جاده‌های سه خطه 1.5 برابر مقادیر فوق

جاده‌های چهار خطه 2 برابر مقادیر فوق

اگر تریلر زیاد باشد: برای قوس‌های $(R = 175 - 110^{m}), (D = 10^{\circ} - 16^{\circ}), (15^{cm} = 0.5')$ اضافه شود.

برای قوس‌های $R = 103^{m}$ و کمتر $(D = 17^{0}$ و بیشتر)، $1'$ (31^{cm}) اضافه شود.

$$*D^{0} = \frac{5729.58}{R'}$$

100 = طول قوس

برداشت شده است، نشان داده می‌شود و از یک سری خطوط مستقیم که توسط قوسهای قائم سهمی به یکدیگر متصل شده‌اند تشکیل می‌شود. در رسم خط پروژه طراح باید مسأله اقتصاد را با حداقل کردن حجم عملیات خاکی، متناسب با مسائل دید و نیازهای دیگر طراحی در نظر داشته باشد. در مناطق کوهستانی هدف باید تعادل خاکبرداری در مقابل خاکریزی باشد تا هزینه‌ها در کل به حداقل برسد. در مناطق مسطح یا جلگه‌ای، شیب تقریباً موازی سطح زمین می‌باشد. ولی در محل‌های لازم جای کافی برای عبور آبهای سطحی باید در نظر گرفته شود. تحت تمام شرائط هدف طراح باید یک خط پروژه هماهنگ و یکنواخت باشد.

حداکثر شیب

حداکثر شیب اساساً با توجه به عملکرد وسائل نقلیه روی شیب تعیین می‌شود. تجربیات رانندگی در رابطه با شیب بسیار متنوع است، ولی این توافق کلی وجود دارد که تقریباً تمام اتومبیلها می‌توانند یک شیب ۷ تا ۸ درصد را بسادگی طی کنند، بجز اتومبیلهائی که نسبت وزن به توان آنها زیاد باشد.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که حرکت روی یک سربالائی با شیب ۳ درصد، در مقایسه با حالت مسطح، تأثیر بسیار کمی در سرعت‌های اتومبیل دارد. در شیب‌های تندتر سرعت اتومبیل‌ها بطور فزاینده‌ای با زیاد شدن شیب کم می‌شود. اثر شیب روی سرعت کامیون‌ها بسیار قابل توجه‌تر است. در سر بالائی‌ها، حداکثر سرعتی که وسائل نقلیه تجاری می‌توانند داشته باشند، به مقدار شیب و نسبت وزن کل به توان موتور آنها بستگی دارد. کامیونهائی که قدرت آنها حدود ۴۰۰ پوند بر اسب بخار می‌باشد بعنوان جزئی از جریان ترافیک، خصوصیت‌های عملکردی خوبی دارند. چنین نسبت وزن به توانی، حداقل سرعت ۲۴ کیلومتر در ساعت را برای شیب ۳ درصد تضمین می‌کند.

حداکثر شیب‌های پیشنهادی برای سرعت طرح‌های مختلف

در جدول ۴-۳ داده شده است.

حداکثر شیب برای جاده‌هائی که حالت درجه ۲ دارند در محدوده ۱/۲ تا ۱/۵ برابر مقادیر داده‌شده‌در جدول ۴-۳ می‌باشد.

طول بحرانی شیب

علاوه بر حداکثر مجاز، طول بحرانی شیب نیز در طراحی باید در نظر گرفته شود. منظور از طول بحرانی شیب، حداکثر طول سر بالائی است که یک کامیون با بار، بدون آنکه افت سرعت قابل توجهی داشته باشد، می‌تواند حرکت کند. افت سرعت ۲۴ تا ۳۲ کیلومتر در ساعت (۱۵ الی ۲۰ مایل در ساعت) برای سرعت متوسط حرکت را در طراحی می‌توان بکار برد. موسسه اشتو منحنی‌هائی که طول بحرانی شیب در سر بالائی را با درصد شیب ارتباط می‌دهد ارائه می‌کند. این منحنی‌ها در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

حداقل شیب توسط شرایط دفع آبهای سطحی کنترل می‌شود. در شیب‌های مسطح یا افقی با روسازی بدون جدول معمولاً مانعی برای دفع آبهای سطحی نباید وجود داشته باشد، در صورتیکه شیب عرضی کافی در مقطع عادی جاده در نظر گرفته شده باشد. در خاکبرداری خط پروژه افقی مشکل عدم وجود شیب کافی در کانال کنار جاده را بوجود می‌آورد. به این دلیل شیب حداقل ۰/۵ درصد برای حالت‌های عادی و ۰/۳ درصد در صورتیکه روسازی خوب با شیب عرضی کافی و بستر مقاوم وجود داشته باشد باید در نظر گرفته شود.

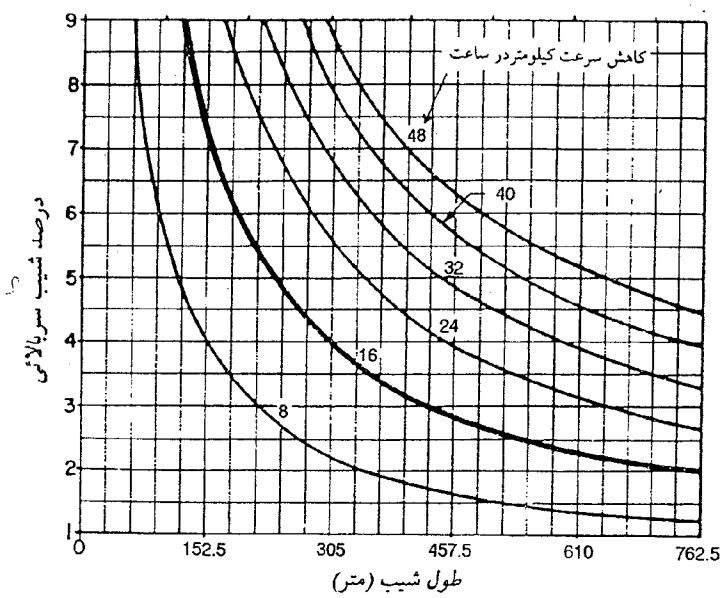
جدول ۴-۳ رابطه حداکثر شیب با سرعت طرح برای جاده‌های اصلی

سرعت طرح	* حداکثر شیب (درصد)
۴۸	۹-۶
۶۴	۸-۵
۸۰	۷-۴
۹۶	۶-۳
۱۱۳	۵-۳
۱۳۰	۴-۳

* رقم اول برای منطقه هموار و رقم دوم برای منطقه کوهستانی است.

ترکیب قوس و شیب

این ترکیب در مناطق کوهستانی که قوسهای تیز افقی با شیب‌های تند حتی با بهترین مسیر همزمان پیش می‌آید، از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا اثر منفی آن بیشتر از مقداری است که به تنهائی توسط قوس یا شیب ایجاد می‌شود. راه چاره کم کردن شیب در طول قوس افقی است، که بدین ترتیب اثر مقاومت اضافی ایجاد شده برای وسیله نقلیه بخاطر قوس توسط کسر شیب جبران می‌گردد. رابطه‌های متعددی برای تعیین مقدار کسر شیب بکار می‌رود. یکی از این رابطه‌ها می‌گوید:



شکل ۳-۳ طول بحرانی شیب برای طراحی

(۳-۸) $\frac{75}{R}$ = مقدار کسر شیب بر حسب درصد

که:

R = شعاع قوس، متر

به عنوان مثال، برای یک قوس به شعاع ۱۵۰ متر مقدار شیب به اندازه ۰/۵ درصد کم می‌شود، یعنی مثلاً از ۷ درصد به ۶/۵ درصد تقلیل داده می‌شود.

استفاده از کسر شیب معمولاً به قوس‌های با ارتفاع کمتر از ۲۹۰ متر و شیب‌های ۵ درصد یا بیشتر محدود می‌شود. آئین نامه دیگری می‌گوید برای تمام شیب‌های بیش از ۵ درصد در محل‌هائی که شعاع قوس کمتر از ۳۰۰ متر باشد کسر شیب باید انجام شود.

مسافت دید

مسافت دید طولی از جاده است که در مقابل راننده دیده می‌شود. توانائی دیدن جلو در عملکرد خوب و ایمن جاده دارای اهمیت زیادی است. اگر قرار باشد جاده‌ها با ایمنی لازم ساخته شوند طراح باید مسافت دید با طول کافی برقرار کند که راننده بتواند از برخورد با مانع غیر منتظره در مسیر حرکت خود اجتناب کند. این طول به مسافت دید بدون سبقت یا مسافت دید توقف ایمن معروف است. بعلاوه برای جاده‌های دو خطه و سه خطه طرح باید در فواصل متعدد مسافت دید کافی، برای اینکه رانندگان بتوانند بدون خطر سبقت بگیرند، فراهم نماید. این طول به مسافت دید سبقت معروف است.

مسافت دید در هر نقطه از طول جاده باید تا حد امکان زیاد باشد، ولی در هیچ نقطه‌ای نباید کمتر از حداقل مسافت دید توقف ایمن باشد.

مسافت دید بدون سبقت

این مسافت حداقل مسافت دید توقف ایمن است، و برابر است با جمع دو مسافت: (۱) مسافت طی شده توسط یک وسیله نقلیه از لحظه‌ای که راننده یک شی را می‌بیند تا لحظه‌ای که ترمزها گرفته شود (در طول این زمان، زمان درک و عکس‌العمل، فرض می‌شود وسیله نقلیه با سرعت طرح حرکت می‌کند)، و (۲) مسافت لازم برای متوقف کردن وسیله نقلیه از لحظه‌ای که ترمزها گرفته شده است.

زمان متوسط عکس‌العمل ترمزها ۰/۵ ثانیه می‌باشد. بعضی از رانندگان در مدت زمان کمتری عکس العمل نشان می‌دهند، در حالی که بسیاری از آنها نیاز به یک ثانیه کامل یا بیشتر دارند. برای ایمنی، زمان عکس‌العملی که برای اغلب رانندگان کافی است، بجای زمان لازم برای راننده متوسط، باید در محاسبه حداقل مسافت دید در نظر گرفته شود. یک زمان عکس العمل ترمز برابر یک ثانیه کامل این نیاز را برطرف می‌کند. زمان درک، مدت زمانی است که راننده لازم دارد تا به این تشخیص برسد که باید ترمز را بگیرد. تحقیقات انجام شده در این مورد بسیار محدود است. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که زمان درک و عکس‌العمل ترمز باید با هم در نظر گرفته شود. واضح است که زمان درک از زمان ترمز بیشتر است، و زمان ۱/۵ ثانیه فرض می‌شود برای تمام رانندگان، تحت شرایط حاکم بر جاده، کافی و برابر با مقدار لازم باشد.

بنابراین، براساس توصیه موسسه اشتو، زمان کامل عکس‌العمل ترمز و درک ۲/۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. بر اساس اطلاعات موجود، هیچ گونه اختلافی در این زمان برای کل دامنه تغییرات سرعت طرح بوجود نمی‌آید.

مسافت دید بدون سبقت یا حداقل مسافت دید توقف ایمن (d، بر حسب متر) در شیب صفر، ممکن است از رابطه زیر محاسبه شود:

برای جاده‌های افقی: (۳-۹) $$d = 0.278\ Vt + \frac{V^2}{254f}$$

برای شیب: (۳-۱۰) $$d = 0.278\ Vt + \frac{V^2}{254(f \pm G)}$$

که:

V = سرعت، کیلومتر در ساعت

t = زمان عکس العمل (۲/۵ ثانیه)

f = ضریب اصطکاک طولی

G = شیب، اعشاری

برای طراحی، ضریب اصطکاک برابر مقادیر داده شده در جدول ۵-۳ برای رویه آسفالتی خیس (بخاطر ایمنی) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مسافت دید سبقت

در راههای دو خطه، که معمولاً قسمت عمده سیستم راهها را تشکیل می‌دهد، وسائل نقلیه اغلب از وسائل نقلیه‌ای که سرعت کمتری دارند سبقت می‌گیرند و این سبقت باید با استفاده از خط دیگر، که قاعدتاً توسط ترافیک جهت مقابل مورد استفاده قرار می‌گیرد، باشد. اگر فرصت‌های کافی برای سبقت وجود نداشته باشد، ظرفیت جاده تقلیل یافته و خطر تصادف افزایش می‌یابد. حداقل مسافتی از مسیر که در مقابل باید باز باشد تا اینکه سبقت مجاز باشد، به حداقل مسافت دید سبقت معروف است.

جدول ۵-۳ حداقل مسافت دید توقف (رویه خیس)- طبق آئین نامه اشتو

سرعت‌طرح (kph)	سرعت‌فرض شده در شرایط (kph)	عکس‌العمل‌ترمز مسافت(متر)	ضریب اصطکاک	مسافت ترمز درحالت افقی(متر)
۳۲	۳۲-۳۲	۲۲/۴-۲۲/۴	۰/۴	۱۰/۲-۱۰/۲
۴۰	۳۸-۴۰	۲۶/۸-۲۸/۰	۰/۳۸	۱۵/۴-۱۶/۷
۴۸	۴۵-۴۸	۳۱/۳-۳۳/۶	۰/۳۵	۲۲/۸-۲۶/۱
۵۶	۵۱-۵۶	۳۵/۸-۳۹/۱	۰/۳۴	۳۰/۶-۳۶/۶
۶۴	۵۸-۶۴	۴۰/۳-۴۴/۷	۰/۴۲	۴۱/۲-۵۰/۸
۷۲	۶۴-۷۲	۴۴/۷-۵۰/۳	۰/۳۱	۵۲/۵-۶۶/۴
۸۰	۷۰-۸۰	۴۹/۲-۵۵/۹	۰/۳۰	۶۵/۶-۸۴/۷
۸۸	۷۷-۸۸	۵۳/۷-۶۱/۵	۰/۳۰	۷۸/۱-۱۰۲/۵
۹۶	۸۳-۹۶	۵۸/۲-۶۷/۱	۰/۲۹	۹۴/۸-۱۲۶/۲
۱۰۴	۸۸-۱۰۴	۶۱/۵-۷۲/۸	۰/۲۹	۱۰۶/۰-۱۴۷/۹
۱۱۲	۹۳-۱۱۲	۶۴/۹-۷۸/۳	۰/۲۸	۱۲۲/۲-۱۷۷/۹

* مقادیر مختلف برای سرعت معین ناشی از ضریب اصطکاک متفاوت می‌باشد.

حداقل مسافت دید سبقت برای جاده‌های دو خطه جمع چهار مقدار زیر می‌باشد:

d_1 = مسافتی است که در مدت تأخیر اولیه طی می‌شود (مسافت لازم در طول زمان دید و عکس العمل از زمان شتابگیری اولیه تا نقطه خروج برای رفتن به خط دیگر جاده)

d_4 = مسافتی که وسیله نقلیه در مدت اشغال خط دیگر طی می‌کند.

d_3 = فاصله بین وسیله نقلیه در حال سبقت (در انتهای مانوور خود) و وسیله نقلیه مقابل.

d_4 = مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه مقابل برای زمانی که وسیله نقلیه سبقت گیرنده خط دیگر را اشغال می‌کند.

شکل ۴-۳ این رابطه‌ها را نشان می‌دهد و مقادیر لازم برای مسافت دید سبقت را در سرعت‌های مختلف، برحسب سرعت وسیله نقلیه در حال سبقت، مشخص می‌کند.

مسافت دید در قوس‌های قائم

در تعیین مسافت دید در قوسهای قائم، لازم است معیارهائی برای اندازه‌گیری آن مشخص کنیم. مسافت دید در طول یک جاده از چشم راننده تا یک جسم در روی جاده، وقتی که برای اولین بار دیده می‌شود، اندازه‌گیری می‌گردد. ارتفاع جسم یا مانع که در مسافت دید توقف بکار می‌رود ۱۵/۵ سانتیمتر فرض می‌شود. چون وسائل نقلیه نیز اشیایی هستند که در حال حرکت باید دیده شوند، فرض می‌شود که ارتفاع شئی در مسافت دید سبقت ۱/۲۹۵ متر باشد، که این مقدار بالاترین نقطه وسیله نقلیه مقابل را مشخص می‌کند.

قوس‌های قائم محدب: تمام قوس‌های قائم باید تا حدی که شرایط اجازه می‌دهد طولانی باشند، و تحت هیچ شرایطی از حداقل طول مشخص شده کوتاه‌تر نباشند. برای قوسهای محدب مقدار حداقل بر اساس مسافت دید توقف تعیین می‌شود. در مواقعی که اختلاف شیب کم باشد، برای ساده بودن رانندگی و ظاهر مناسب ممکن است قوسهای طولانی‌تر از آنچه مسافت دید ایجاد می‌کند لازم باشد. هیچگونه حداقل مشخصی توسط اشتو تعیین نشده است. بعضی از مهندسین ترجیح می‌دهند که طول قوس قائم کمترا ز سیصد متر (۱۰۰۰ فوت) نباشد. بعضی دیگر پیشنهاد می‌کنند که طول قوس از مقدار اختلاف شیب ضربدر سی متر کمتر نباشد.

مسافت دید توقف در قوس‌های قائم محدب: حداقل طول لازم برای قوس‌های قائم محدب، که با توجه به مسافت دید توقف تعیین می‌شود، معمولاً از نقطه نظر ایمنی، راحتی و ظاهر نیز رضایت بخش می‌باشد. روابط اصلی برای محاسبه طول قوس قائم سهمی بر اساس اختلاف شیب و مسافت دید توقف عبارتند از:

$$L = \frac{AS^2}{100(2h_1+2h_2)^2} \quad \text{وقتیکه } S<L \qquad (۳-۱۱)$$

$$L = 2S - \frac{100(2h_1+2h_2)^2}{A} \quad \text{وقتیکه } S>L \qquad (۳-۱۲)$$

که:

L = طول قوس قائم

S = مسافت دید توقف

A = اختلاف شیب به درصد

h_1 = ارتفاع چشم راننده تا سطح جاده

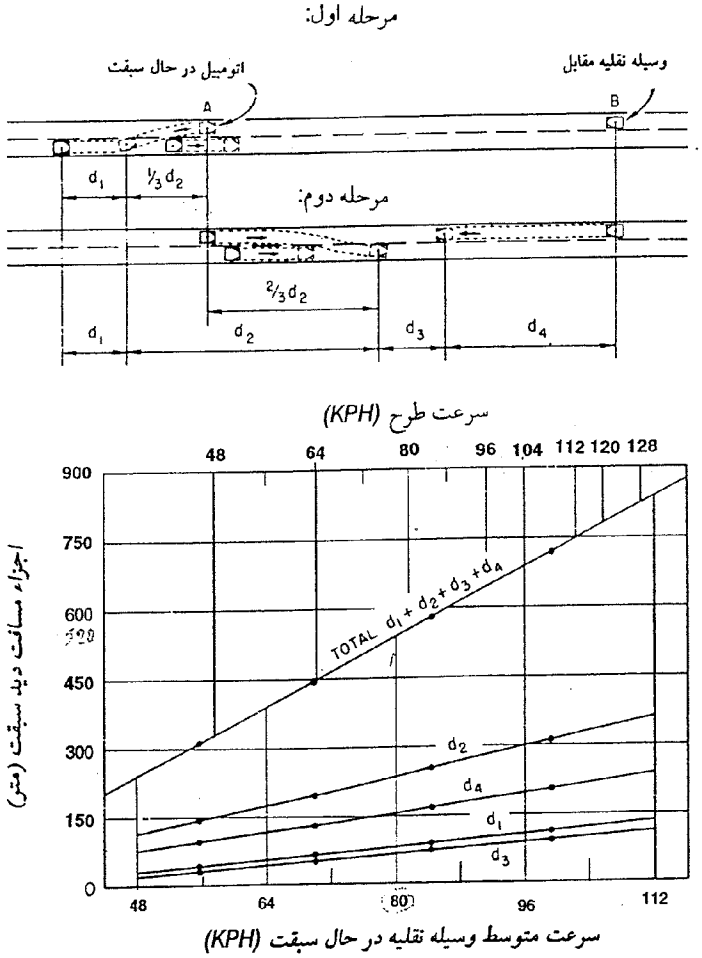
h_2 = ارتفاع جسم روی سطح جاده

وقتیکه ارتفاع چشم راننده از سطح جاده و ارتفاع جسم به ترتیب ۱/۰۶۷ متر و ۰/۱۵۲ متر برای مسافت دید توقف در نظر گرفته شود روابط فوق بصورت زیر خواهد شد.

$$L = \frac{AS^2}{405.08} \quad \text{وقتیکه } S<L$$

$$L = 2S - \frac{405.08}{A} \quad \text{وقتیکه } S>L$$

این معادلات را می‌توان ساده کرد و به شکل $L = KA$ نوشت. این رابطه در شکل ۵-۳ بصورت خطهای مختلف رسم شده است.



شکل ۴-۳ اجزاء و کل مسافت دید سبقت - جاده دو خطه طبق آئین نامه اشتو

مسافت دید سبقت در قوسهای قائم محدب: طول‌های طرح شده برای قوسهای قائم محدب با توجه به مسافت دید سبقت با طول‌های بدست آمده با توجه به مسافت دید توقف بسیار متفاوت است، و این بعلت معیاری است که برای ارتفاع شیئی در نظر گرفته شده است. روابط قبلی صادق است ولی به جای ارتفاع مانع که قبلاً ۰/۱۵۲ متر فرض می‌شد مقدار ۱/۲۹۵ متر قرار داده می‌شود که در نتیجه:

$$Sp<L \text{ برای } \quad L = \frac{AS_p^2}{942.75} \qquad (۳-۱۳)$$

$$Sp>L \text{ برای } \quad L = 2S_p - \frac{942.75}{A} \qquad (۳-۱۴)$$

بطور کلی، طرح قوس قائم برای تأمین مسافت دید سبقت، بخاطر هزینه‌های زیاد خاکبرداری که ایجاد می‌شود و بخاطر مشکل بودن تطبیق چنین قوسهای طولانی به شکل طبیعی منطقه مخصوصاً برای جاده‌های سریع السیر، غیر عملی است. طول قوسهای بسیار زیادتری در حالت تأمین مسافت دید سبقت نسبت به حالت تأمین مسافت دید توقف مورد نیاز است. اگر تأمین یک فرصت سبقت‌گیری ممتد مورد نظر باشد، یک جاده چهار خطه ممکن است ارزانتر از یک جاده دو خطه تمام شود، حتی با صرفه جوئی که در خاکبرداری بیشتر نسبت به تأمین فضای بیشتر برای خطوط اضافی می‌شود.

قوس‌های قائم مقعر: مسافت دید در قوس‌های قائم مقعر که در یک تقاطع غیر همسطح قرار نگرفته است (بصورت قوس زیر گذر) معمولاً به نور چراغ‌های اتومبیل و مسافتی که در جلوی وسیله نقلیه روشن دیده می‌شود بستگی دارد. ارتفاع چراغها معمولاً برابر ۶۱ سانتیمتر و زاویه نور یک درجه به سمت بالا نسبت به محور اصلی طولی اتومبیل در نظر گرفته می‌شود.

رابطه‌های زیر که براساس مساوی قرار دادن مسافت روشن شده در جلوی وسیله نقلیه (از اتومبیل و توسط شعاع نور با زاویه یک درجه) با مسافت دید توقف، یعنی S، بدست آمده برای تعیین حداقل طول قوس قائم مقعر بکر برده می‌شوند:

$$S<L \text{ برای } \quad L = \frac{AS^2}{120+3.5S} \qquad (۳-۱۵)$$

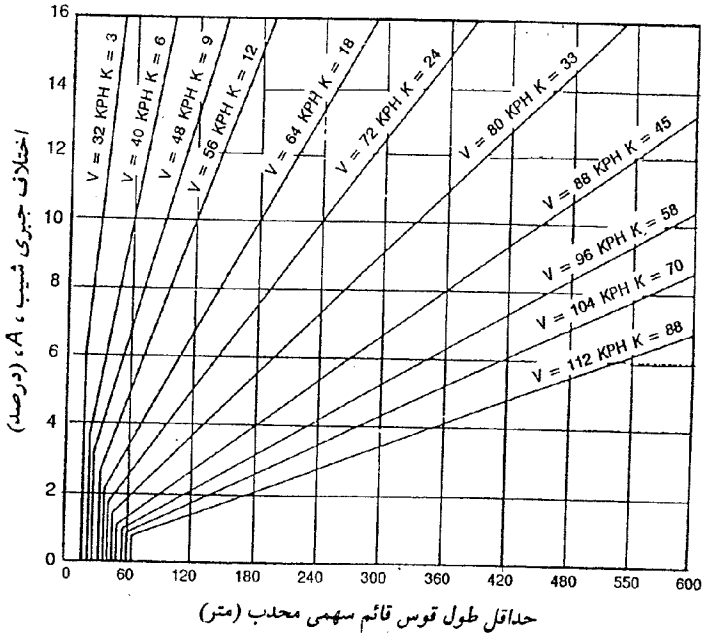
$$S>L \text{ برای } \quad L = 2S - \frac{120+3.5S}{A} \qquad (۳-۱۶)$$

که:

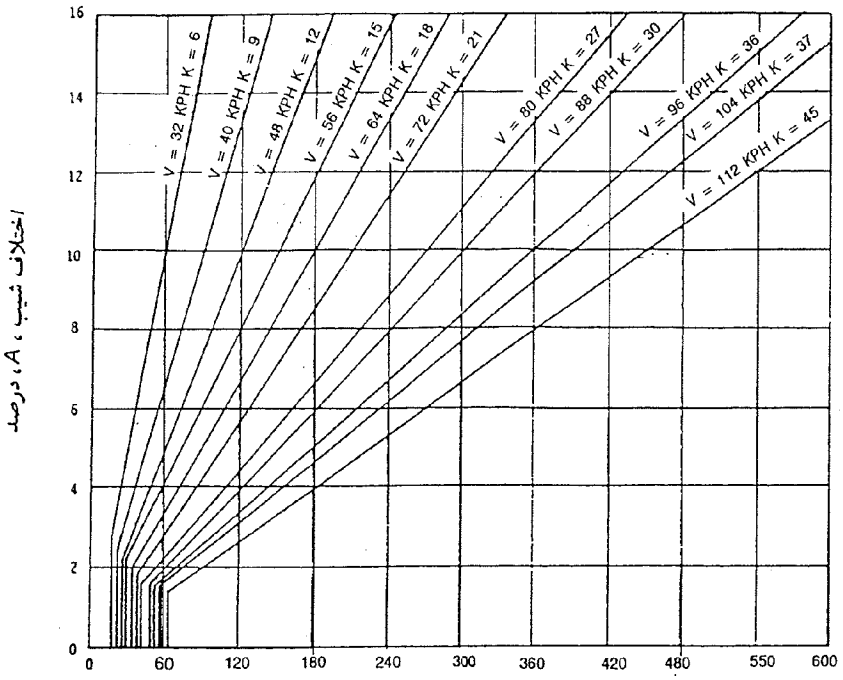
L = طول قوس قائم مقعر به متر

S = مسافت دید توقف به متر

A = قدر مطلق اختلاف شیب به درصد



شکل ۵-۳ طرح قوس قائم محدب سهمی، براساس مسافت دید توقف



شکل ۶-۳ طرح قوس قائم مقعر سهمی براساس مسافت دید توقف

شکل ۶-۳ روابط فوق را که بصورت خطی ترسیم شده است نشان می‌دهد و با توجه به آن برای سرعت‌های مختلف می‌توان حداقل طول قوس قائم مقعر را بدست آورد.

مسافت دید در قوسهای زیرگذر: مسافت دید در قوسهای مقعر زیر گذر تحت تأثیر سازه‌ای که بعنوان روگذر ساخته شده است قرار دارد. روابط زیر تغییرات بین پارامترهای S ،C ،h ،h_1 را مشخص می‌کند:

$$S>L \text{ برای } L = 2S - \frac{800}{A}\left(c-\frac{h+h_1}{2}\right) \qquad (۳-۱۷)$$

$$S<L \text{ برای } L = \frac{AS^2}{800\left(c-\frac{h+h_1}{2}\right)} \qquad (۳-۱۸)$$

که:

L = طول قوس قائم مقعر زیرگذر، متر

A = اختلاف جبری شیب به درصد (همیشه مثبت)

S = مسافت دید به متر

C = فاصله باز قائم زیر گذر، متر

h = فاصله چشم راننده تا سطح جاده، متر

h_1 = ارتفاع قائم جسم برای روئیت، متر

معمولاً، مسافت دید مطلوب انتخاب شده و سپس حداقل طول قوس لازم که این مسافت دید را تأمین می‌کند تعیین می‌شود. بحرانی‌ترین حالت زمانی است که C برابر حداقل لازم و $h+h_1$ حداکثر در نظر گرفته شود. حداقل فاصله باز قائم معمولاً ۴/۵ متر، فاصله چشم راننده تا سطح جاده برابر ۱/۸۳ (برای رانندگان کامیون‌ها)، و ارتفاع شئیی ۴۶ سانتیمتر، فاصله قائم در نظر گرفته شده برای چراغ‌های عقب وسیله نقلیه یا ارتفاع لازم برای رویت وسیله مقابل، می‌باشد.

با منظور نمودن مقادیر فوق در روابط ذکر شده خواهیم داشت:

$$S>L \text{ برای } L = 2S - \frac{2684}{A} \qquad (۳-۱۹)$$

$$S<L \text{ برای } L = \frac{AS^2}{2684} \qquad (۳-۲۰)$$

مسافت دید در قوس‌های افقی

قسمت دیگری از اجزاء مسیربندی افقی راه مسافت دید در طول قوس و از طرف داخل آن می‌باشد. با حرکت یک وسیله نقلیه در طول قوس افقی، هر مانعی که در نزدیکی لبه داخلی جاده قرار داشته باشد دید راننده را مسدود خواهد کرد. اگر لازم باشد که طرح دارای ایمنی کافی باشد مسافت دید در قوس افقی باید برابر یا بیشتر از مسافت دید توقف در نظر گرفته شود.

باستثناء قوسهای طولانی، تأمین مسافت دید برابر با مسافت دید سبقت در قوس امکان پذیر نیست، بدلیل اینکه حداقل مسافت دید سبقت برای یک جاده دو خطه تقریباً چهار برابر مسافت دید توقف در یک سرعت طرح مشخص می‌باشد. در محل‌هائی که امکان پذیر باشد، موانع (دیوارهای حائل، شیروانیهای خاکبرداری، مناطق درختکاری شده، ساختمانها، حصارها، زمینهای مزروعی مرتفع، و غیره) باید برداشته شوند تا دید کافی در مقابل راننده برقرار شود.

مسافتهای دید افقی ممکن است مستقیماً با مقیاس از روی نقشه تهیه شده تعیین گردد، ولی برای تعیین شعاع قوس لازم در صورتی که مقدار مشخصی برای مسافت دید تعیین شده باشد و فاصله تا مانع نیز مشخص باشد می‌توان از منحنی شکل ۷-۳ استفاده نمود.

تقاطع‌ها

تقاطع محلی است که دو یا چند جاده بهم متصل می‌شوند و یا یکدیگر را قطع می‌کنند، و شامل جاده و تسهیلات جانبی آن که برای حرکت ترافیک در نظر گرفته شده است می‌باشد. اولین وظیفه عملکردی یک تقاطع تأمین مسیرهای لازم برای تغییر جهت‌های حرکتی است.

تقاطع یک قسمت اصلی و مهم از جاده را تشکیل می‌دهد، بعلت اینکه کارآئی، ایمنی، سرعت، هزینه‌های عملکرد و همچنین ظرفیت همگی بستگی به چگونگی طرح آن دارند.

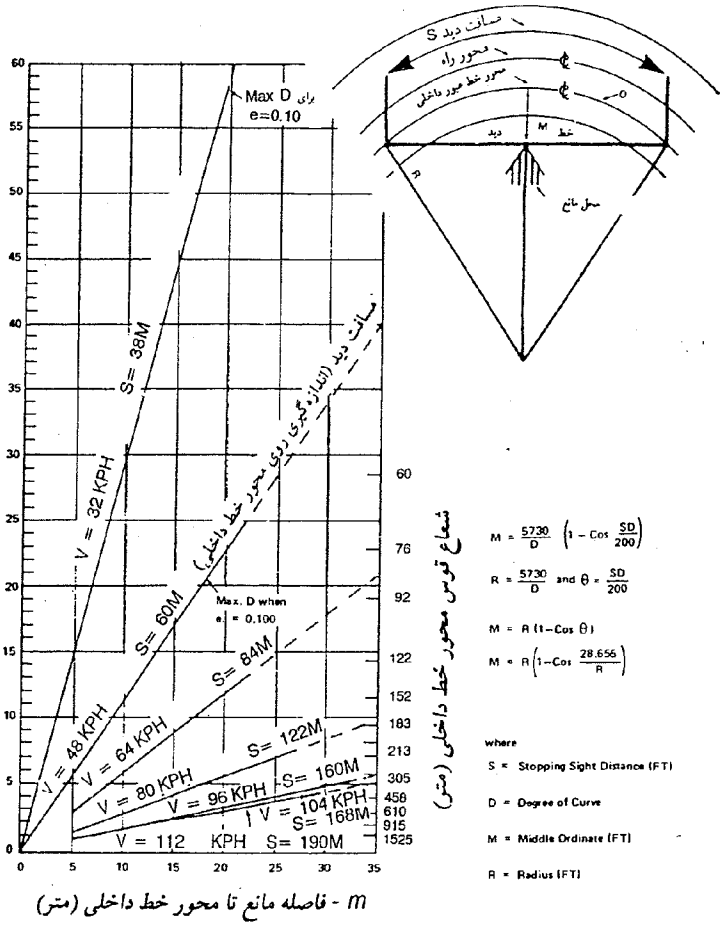
اصول طرح تقاطع‌ها

اصول ده گانه زیر، بعنوان معیارهای طرح تقاطع‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد:

۱ - تعداد نقاط برخوردها را کم کنید.
۲ - سرعت نسبی را کنترل کنید.
۳ - طرح را با وسائل کنترل ترافیک هماهنگ کنید.
۴ - حالت‌های مختلف هندسی را برای عبور بررسی نمائید.
۵ - حالت‌های مختلف هندسی را برای گردش‌ها بررسی نمائید.
۶ - از مانورهای چند جانبه و ترکیبی نزدیک شدن و دور شدن اجتناب کنید.
۷ - نقاط برخور را از هم دور کنید.
۸ - جانب مسیرهای ترافیکی سنگین‌تر و سریعتر را بگیرید.
۹ - منطقه نقاط برخورد را کوچک کنید.
۱۰ - جریان‌های غیر یکنواخت را تفکیک کنید.

انواع تقاطع‌ها

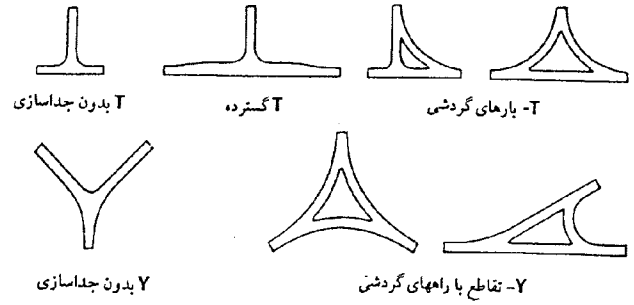
دو نوع تقاطع همسطح و غیر همسطح وجود دارد، که هر کدام ترافیک را به شکلی عبور می‌دهند. تقاطع غیر همسطح با عبور دادن بعضی یا تعدادی از مسیرهای متقاطع توسط پل‌های روگذر و زیر گذر مشخص می‌شود.



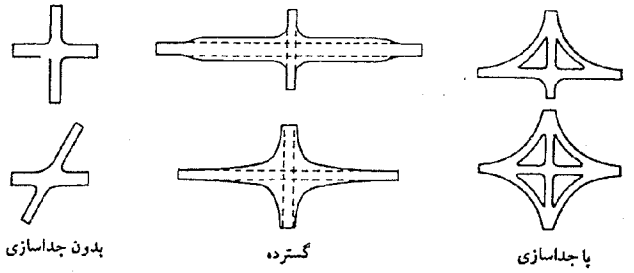
شکل ۷-۳ مسافت دید توقف در قوسهای افقی

تقاطع‌های همسطح - بسیاری از راه‌ها یکدیگر را بصورت همسطح قطع می‌کنند. تقاطع‌های همسطح باید برای حرکت‌های گردشی پیش بینی شده و حرکت‌های عبوری فضای کافی تأمین نمایند. در انتخاب نوع تقاطع عوامل زیادی مؤثر است، ولی کنترل کننده‌های اصلی عبارتند از حجم ترافیک ساعتی طرح، خصوصیات ترافیک (عبوری و گردشی)، و سرعت طرح، خصوصیات ترافیک و سرعت طرح در طراحی بسیاری از اجزاء تقاطع مؤثرند، ولی هیچکدام به اندازه حجم ترافیک مسیرهای گردشی و عبوری در تعیین نوع تقاطع تأثیر ندارند.

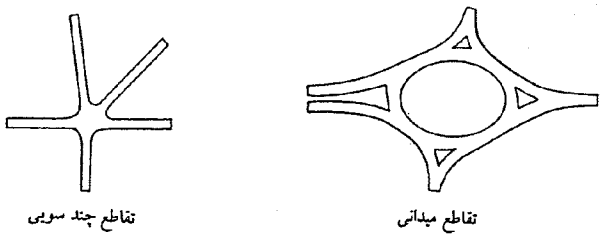
شکل‌های اصلی برای تقاطع‌های همسطح T یا Y (تقاطع سه سوی)، چهار سوی، و میدانی هستند. در یک حالت مشخص، نوع تقاطع براساس تعداد سوی‌ها، عوامل کنترل کننده توپوگرافی، شکل کلی حرکت‌های ترافیکی، و طریقه مورد نظر برای عملکرد تقاطع تعیین می‌شود.



تقاطع سه سوی



تقاطع چهار سوی



شکل ۸-۳ انواع کلی تقاطع‌های همسطح

تقاطع‌های سه سوی (T یا Y) و چهار سوی ممکن است بصور گسترده یا مسیر داده شده باشند. یک تقاطع "گسترده" تقاطعی است که در آن تعداد خط‌های عبور، یا عرض رویه بیش از تعداد خط‌های عبور یا عرض رویه برای مقطع عادی راه‌های منتهی به آن باشند. تقاطع "میدانی" تقاطعی است که تمام ترافیک به یک مسیر یک طرفه دورانی در اطراف یک جزیره مرکزی وارد و یا از آن خارج می‌شوند، که در واقع یک تقاطع مسیرده می‌باشند.

میدان‌ها معمولاً در طرح‌های جدید مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، ولی در مواقعی که مقدار ترافیک مسیرهای گردشی به حد حجم ترافیک عبوری نزدیک می‌شوند، و یا در محل‌هائی که بیش از چهار سوی مختلف وارد تقاطع می‌شود و شکل‌های دیگر عملکرد ترافیک را پیچیده‌تر می‌کند، مورد استفاده واقع می‌شوند. استفاده از میدان‌ها باید به حجم‌های ساعتی ۳۰۰۰ وسیله نقلیه یا کمتر (مجموع سوی‌های وارد شونده به تقاطع) محدود شود. میدان‌ها، معمولاً، بخاطر حرکت‌های ضربدری زیاد در طول‌های کوتاه، از نظر عملکرد ترافیکی مطلوب نیستند.

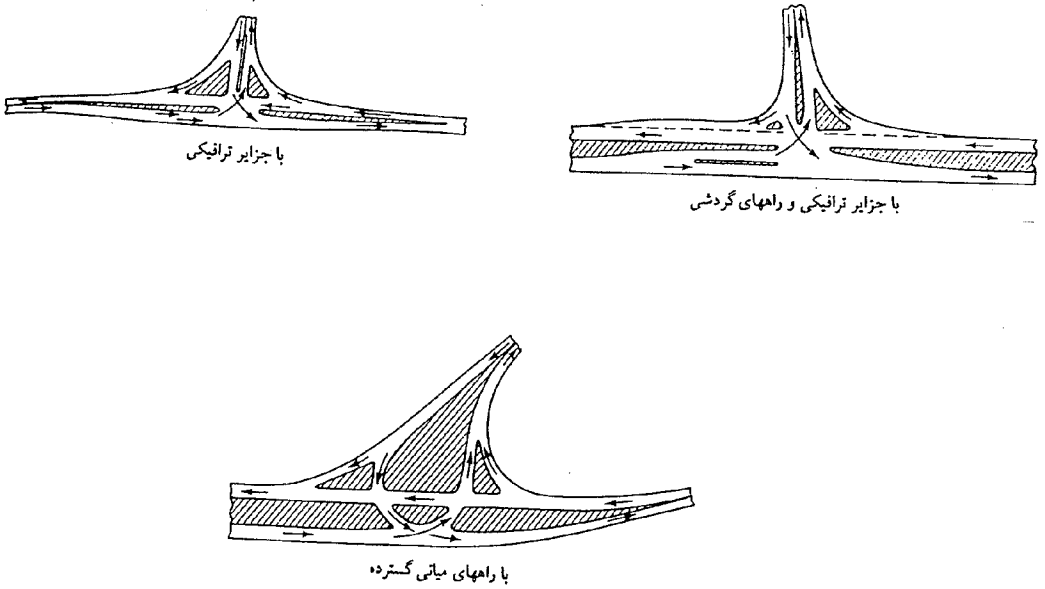
بعضی از تقاطع‌های همسطح ممکن است سطح رویه وسیع داشته باشند (آنهائیکه گوشه‌هائی با شعاع زیاد دارند و آنهائیکه زاویه تقاطعی مورب دارند) و حرکت‌های ترافیکی خطرناک و کنترل نشده را مجاز یا تشویق کنند، گذرگاههای طولانی برای عابر پیاده لازم داشته باشند، و سطح رویه آنها نیز از مقدار لازم بیشتر باشد. طرح تقاطع با در نظر گرفتن جزایر ترافیکی ممکن است برخوردها را تا اندازه زیادی، هم در شدت و هم در تعداد تقلیل دهد. تقاطع های همسطح که در آنها ترافیک توسط جزایر ترافیکی به مسیرهای معین هدایت می‌شود به تقاطع‌های مسیرده معروف می‌باشند.

به تقاطع مسیر ده معروف می‌باشند.

جزیره ترافیکی عبارت است از یک سطح تعریف شده بین مسیرهای ترافیک برای کنترل حرکتهای وسائل نقلیه یا برای ایمنی پیاده‌ها. درسیک تقاطع جداکننده وسط و سایر جدا کننده‌ها را جزایر ترافیکی می‌نامند. یک جزیره ترافیکی یک شکل فیزیکی خاص ندارد. ممکن است یک سطح مرتفع با جدول‌های بلند در اطراف آن و یا یک قسمت سطح رویه که با رنگ مشخص شده است باشد.

شکل ۸-۳ انواع کلی تقاطع‌های همسطح و شکل ۹-۳ مثال‌هائی از تقاطع‌های همسطح را با مسیردهی نشان می‌دهد.

تقاطع‌های غیر همسطح - حجم ترافیک قابل عبور از یک تقاطع را می‌توان تا سطح مجموع ظرفیت دو جاده اصلی که تقاطع را تشکیل می‌دهند با غیر همسطح کردن آن افزایش داد، و بدین ترتیب ترافیک مستقیم را در دو جاده بدون هیچگونه تداخلی قابل عبور نمود.



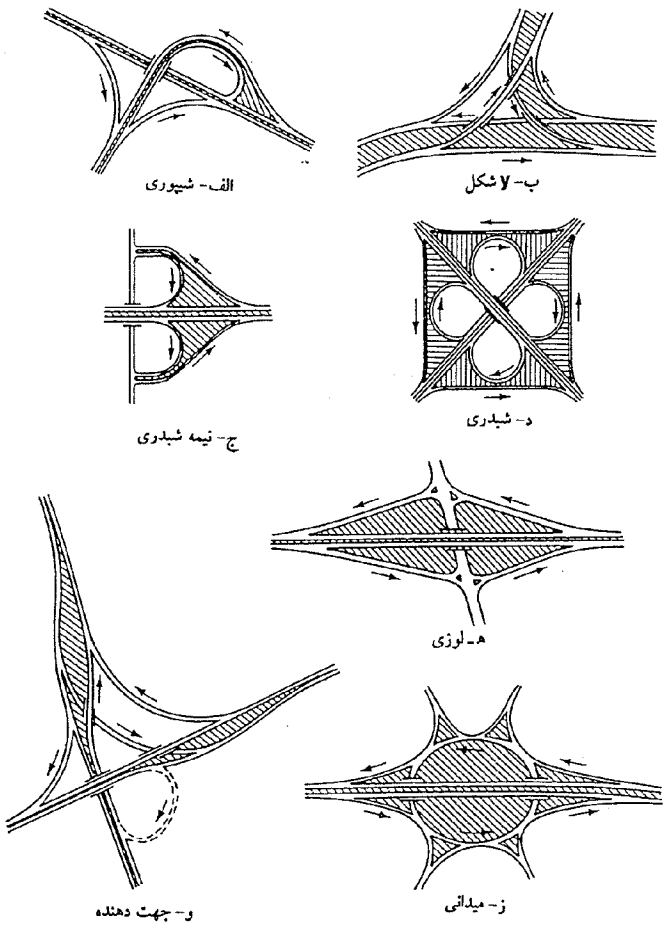
شکل ۹-۳ انواع مسیردهی در تقاطع‌های همسطح

با گذاشتن راههای اتصال برای حرکتهای گردشی و تسهیلات کافی برای تقلیل یا ازدیاد سرعت آنها، جدا از ترافیک مستقیم، تمام مسیرهای می‌توانند با حداقل یا بدون تداخل از تقاطع عبور کننده انتخاب نوع تقاطع و طراحی آن با توجه به عوامل متعددی انجام می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از حجم‌های ساعتی طرح، ترکیب ترافیک، سرعت طرح، توپوگرافی، حریم قابل استفاده راه و بودجه قابل هزینه.

شکل‌های مختلفی برای تقاطع‌های غیر همسطح، با شکل‌های مختلف شیبراهه‌ها، برای حرکت‌های گردشی وجود دارد. استفاده از این طرح‌ها برای یک مکان بخصوص بستگی به تعداد مسیرهای تقاطع، حجم‌های ترافیک مسیرهای مستقیم و گردشی، و خصوصیات توپوگرافی منطقه دارد.

تقاطع‌های غیر همسطح سه سوی شکل کلی T (یا شیپوری) را دارند. این فرم تقاطع‌ها در شکل ۱۰-۳ قسمت الف و ب نشان داده شده است.

متداول‌ترین نوع تقاطع چهار سوی تقاطع شبدری است. تقاطع شبدری، که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است، دارای سیستم کاملی از شیبراهه‌ها می‌باشد، که هر شیبراهه برای یک حرکت گردشی خاص در نظر گرفته شده است. گردش به چپ مستقیماً میّسر نیست و رانندگانی که تمایل به گردش به چپ دارند باید بعد از نقطه واقعی **تقاطع** دو جاده وارد خروجی شوند و پس از انجام یک چرخش ۲۷۰ درجه بر روی شیبراهه به مسیر مورد نظر وارد شوند. این خصوصیت نامطلوب تقاطع شبدری است.



شکل ۱۰-۳ شکل‌های کلی تقاطع‌های غیر همسطح

اصطلاح نیمه شبدری تقاطعی را مشخص می‌کند که دارای سیستم کامل شیبراهه نیست. در تقاطع نیمه شبدری که در شکل ۱۰-۳ (ج) نشان داده شده است شیبراهه‌ها فقط در دو ربع تقاطع قرار گرفته‌اند. مسیر تمام حرکت‌ها تأمین شده است، ولی گردش به چپ بطور همسطح در راه فرعی باید انجام شود.

تقاطع‌های غیر همسطح لوزوی، که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است، دارای چهار شیبراهه یکطرفه می‌باشد. این نوع تقاطع‌های غیر همسطح برای تقاطع جاده‌های فرعی و اصلی مناسب است و دارای محدودیت حق تقدم می‌باشد. بهر حال گردش به چپ از جاده فرعی و همچنین گردش به چپ به جاده فرعی بصورت همسطح و بر روی جاده فرعی انجام می‌شود.

تقاطع‌های غیر همسطح جهت دهنده تقاطع‌های غیرهمسطحی هستند که شیبراهه‌های آن جهت طبیعی حرکت ترافیک را دنبال می‌کنند (شکل ۱۰-۳) (و). یک یا چند گردش به چپ توسط مسیرهای مستقیم یا تقریباً مستقیم انجام می‌شود و ارتباط بین جاده‌های اصلی متقاطع برقرار می‌شود.

اجزاء طرح تقاطع‌ها

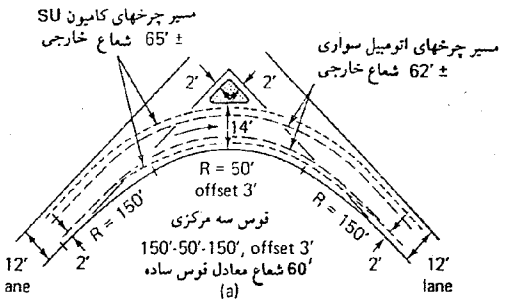
بسیاری از اجزاء لازم جهت طراحی راه مانند سرعت، مسیربندی افقی و قائم، مسافت دید، ظرفیت، سطح مقطع، و بربلندی در طرح تقاطع‌ها نیز لازم است.

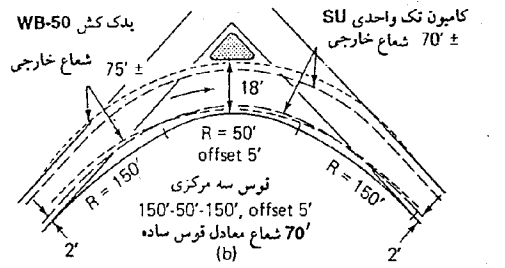
در واقع مسأله مقداری پیچیده‌تر خواهد بود. زیرا در یک تقاطع نیاز به استفاده همزمان اجزاء لازم طراحی برای دو یا چند جاده می‌باشد. در این قسمت اجزاء مهم‌تر طراحی در رابطه با تقاطع‌ها بطور مختصر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

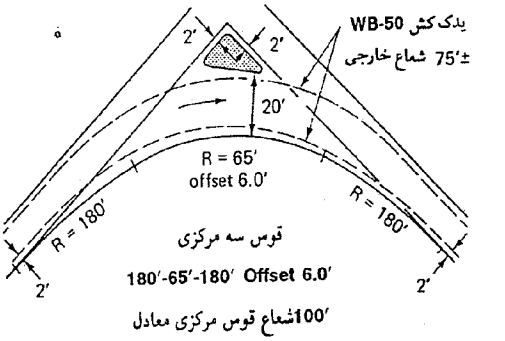
مسافت دید برای راه‌های گردشی: در جاده یا تقاطع و در تمام نقاط آن باید به اندازه کافی دید برای اینکه راننده، زمانی که با یک سرعت در حال گردش است، بتواند وسیله نقلیه خود را قبل از رسیدن به یک مانع غیره منتظره متوقف کند، وجود داشته باشد؛ جدول ۷-۳ حداقل مسافت دید لازم را برای راه‌های گردشی بصورت تابعی از سرعت طرح مشخص می‌کند.

برای اطلاعات بیشتر در مورد مسافت دید در تقاطع‌ها به فصل ۲۵ مراجعه نمائید.

قوس‌ها در تقاطع: وقتی که لازم است وسائل نقلیه در حداقل فضای موجود گردش خود را انجام دهند، مانند تقاطع‌های بدون مسیر دهی، حداقل شعاع با توجه به حداقل مسیر گردش وسیله نقلیه طرح تعیین می‌شود. در طراحی، لبه رویه برای حداقل مسیر گردش یک وسیله نقلیه طرح، که فرض می‌شود بطور صحیح روی خط عبور قرار گرفته (یعنی فاصله آن در هر طرف از







شکل ۱۱-۳ طراحی راههای گردشی با حداقل جزیره ترافیکی و گردش ۹۰ درجه

لبه رویه برابر ۶۱ سانتیمتر در قسمت مستقیم قبل از شروع قوس و در پایان قوس می‌باشد)، تعیین می‌شود. در جدول ۸-۳ طرح لبه داخلی رویه در قوس با این فرضیات داده شده است. این مقادیر متناسب با مسیر چرخ‌های داخلی با رعایت فاصله ۶۱ سانتیمتر یا بیشتر، بطوری که در هیچ نقطه‌ای فاصله از ۳۰ سانتیمتر کمتر نیست و برای خط عبور ۳/۶۵ متر، محاسبه شده است. زاویه گردش زاویه بین دو مسیر مستقیم (مماس‌ها) می‌باشد. برای زاویه‌های گردش کمتر از ۹۰ درجه شعاع‌های لازم متناسب با حداقل مسیر گردش زیادتر از مقادیر لازم برای گردش ۹۰ درجه می‌باشد. برای زاویه‌های گردش بیش از ۹۰ درجه شعاع‌ها دوباره کم می‌شوند. این اطلاعات برای وسائل نقلیه طرح برای سرعت‌های عملی حداکثر ۱۶ کیلومتر در ساعت داده شده است.

وقتی که لبه داخلی روسازی برای گردش‌های ۹۰ درجه لازم است طوری طرح شود که بتواند وسائل نقلیه نیمه تریلر و بزرگتر را از خود عبور دهد، و یا وقتی که لازم است اتومبیل‌ها با سرعتی حدود ۲۴ کیلومتر در ساعت یا بیشتر عبور کنند، سطح رویه در تقاطع ممکن است از حداقل مقدار مجاز برای کنترل ترافیک بیشتر شود. برای اجتناب از این موضوع، که باعث سردرگمی رانندگان می‌شود و برای پیاده‌ها نیز خطرناک است، می‌توان یک جزیره ترافیکی در گوشه راه گردشی ایجاد نمود. این موارد در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است.

روابط سرعت - انحناء: وسائل نقلیه‌ای که در تقاطع گردش می‌کنند، بخاطر طراحی برای حداقل شعاع گردش، همانطور که قبلاً بحث شد باید با سرعت‌های کم (۱۶ کیلومتر در ساعت و یا کمتر) حرکت کنند.

سرعت طراحی قوس‌های تقاطع تا حد زیادی به سرعت وسائل نقلیه‌ای که در راه‌های مختلف به آن نزدیک می‌شوند، و همچنین، به نوع تقاطع و حجم‌های ترافیکی مستقیم و گردشی بستگی دارد. بطور کلی سرعت گردشی مطلوب برای طراحی همان سرعت متوسط حرکت ترافیک (تقریباً ۷۰٪ سرعت طرح) در راه‌های منتهی به تقاطع می‌باشد. طراحی براساس چنین سرعت‌هائی تأخیر خیلی کم درجریان روان ترافیک ایجاد می‌کند و ممکن است برای حجم‌های گردشی زیاد قابل توجیه باشد. حداقل شعاع برای قوس‌های تقاطع در سرعت‌های مختلف که توسط موسسه اشتو تعیین شده است در جدول ۹-۳ داده شده است.

عرض راه‌های گردشی- عرض راه‌های گردشی توسط حجم ترافیک، سرعت گردش و نوع وسائل نقلیه عبور کننده از آن کنترل می‌شود. عرض کلی راه‌های گردشی شامل شانه‌ها و فاصله معادل ایمنی تا مانع کناری علاوه بر عرض رویه، نیز می‌شود. برای انواع تقاطع عرض شانه لازم بین حداقل ۶۱ سانتیمتر، که در ساختمان پل‌های تقاطع‌های غیر همسطح در نظر گرفته می‌شود، تا مقدار لازم در حالت‌های مختلف می‌تواند تغییر کند. البته لازم است تعریض رویه در قوس‌های تقاطع‌ها نیز در نظر گرفته شود. عرض لازم رویه بصورت تابعی از شعاع قوس و نوع عملکرد راه جدول آئین نامه اشتو آمده است.

جدول ۷-۳ حداقل مسافت دید توقف برای راه‌های گردشی

سرعت طرح	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰	۴۸	۵۶	۶۴
حداقل مسافت دید توقف لازم، متر	۱۵	۲۳	۳۸	۴۶	۶۱	۶۸-۷۶	۸۴-۱۰۰

خط‌های تغییر سرعت: خط‌های تغییر سرعت برای جاده‌های با حجم ترافیک و سرعت زیاد و تقاطع‌های مهم قابل توصیه می‌باشد. خط تغییر سرعت یک خط عبور اضافی است که شامل قسمت تغییر عرض بوده و برای ازدیاد سرعت (شتابگیری) و یا تقلیل سرعت، وقتی که یک وسیله نقلیه وارد جریان ترافیک عبوری می‌شود و یا از آن خارج می‌گردد، در نظر گرفته می‌شود. یک خط ازدیاد سرعت منطقه‌ای است به عرض ۳ الی ۳/۶۵ متر وطول کافی که وسیله نقلیه قادر باشد سرعت خود را از مقدار کمتر، پس از اتمام گردش، به مقدار مطمئن لازم برای وارد شدن به جریان ترافیک مستقیم افزایش دهد. خط تقلیل سرعت نیز یک منطقه اضافه شده‌ای است به عرض ۳ الی ۳/۶۵ متر و طول کافی که وسیله نقلیه قادر باشد سرعت خود را برای وارد شدن به راه گردشی و انجام یک گردش مطمئن و تا حد لازم کم کند.

توصیه‌های اشتو را برای طرح شیبراهه‌های ورودی و خروجی می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

شیبراهه‌های خروجی:

۱ - بطور عادی باید دارای یک خط عبور عریض در محل جدا شدن از راه اصلی باشد.

۲ - ترجیحاً باید زاویه‌های بین ۴ تا ۵ درجه داشته باشد.

۳ - از مسیر اصلی باید در قسمت مستقیم آن (نه در قوس) جدا شود.

۴ - خروجی‌های سمت راست تا اندازه زیادی نسبت به خروجی‌های سمت چپ، بخاطر ایمنی عملکرد ترافیک، برتری دارد

جدول ۸-۳ حداقل طراحی برای لبه داخلی رویه در گردش‌های تقاطع‌ها

وسیله‌نقلیه طرح	زاویه گردش(درجه)	شعاع قوس ساده(فوت)	قوس سه مرکزی - متقارن		قوس سه مرکزی - نامتقارن	
			شعاع (فوت)	عقب نشینی (فوت)	شعاع (فوت)	عقب نشینی (فوت)
P	30	60	-	-	-	-
SU		100	-	-	-	-
WB-40		150	-	-	-	-
WB-50		200	-	-	-	-
P	45	50	-	-	-	-
SU		75	-	-	-	-
WB-40		120	-	-	-	-
WB-50		170	200-100-200	3.0	-	-
P	60	40	-	-	-	-
SU		60	-	-	-	-
WB-40		90	-	-	-	-
WB-50		-	200-75-200	5.5	200-75-275	2.0-6.0
P	75	35	100-25-100	2.0	-	-
SU		55	120-45-120	2.0	-	-
WB-40		85	120-45-120	5.0	120-45-200	2.0-6.5
WB-50		-	150-50-150	6.0	150-50-225	2.0-10.0
P	90	30	100-20-100	2.5	-	-
SU		50	120-40-120	2.0	-	-
WB-50		-	120-40-120	5.0	120-40-200	2.0-6.0
WB-50		-	180-60-180	6.0	120-40-200	2.0-10.0
P	105	-	100-20-100	2.5	-	-
SU		-	100-35-100	3.0	-	-
WB-40		-	100-35-100	5.0	100-35-200	2.0-8.0
WB-50		-	180-45-180	8.0	150-40-210	2.0-10.0
P	120	-	100-20-100	2.0	-	-
SU		-	100-30-100	3.0	-	-
WB-40		-	120-30-120	6.0	100-30-180	2.0-9.0
WB-50		-	180-40-180	8.5	150-35-220	2.0-12.0
P	135	-	100-20-100	1.5	-	-
SU		-	100-30-100	4.0	-	-
WB-40		-	120-30-120	6.5	100-25-180	3.0-13.0
WB-50		-	160-35-160	9.0	130-30-185	3.0-14.0
P	150	-	75-18-75	2.0	-	-
SU		-	100-30-100	4.0	-	-
WB-40		-	100-30-100	6.0	90-25-160	3.0-11.0
WB-50		-	160-35-160	7.0	120-35-180	3.0-14.0
P	180	-	50-15-50	0.5	-	-
SU	U.TURN	-	100-30-100	1.5	-	-
WB-40		-	100-20-100	9.5	85-20-150	6.0-13.0
WB-50		-	130-25-130	9.5	100-25-180	6.0-13.0

جدول -۹-۳- حداقل شعاع برای قوس‌های تقاطع‌ها

سرعت طرح (گردشی)KPH	۲۲	۳۲	۴۰	۴۸	۵۶	۶۴
ضریب اصطکاک عرضی (f)	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۱۶
حداقل بر بلندی فرض شده (e)	۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹
مجموع e+f	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۰۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵
حداقل شعاع محاسبه شده (متر)	۱۴/۵	۲۸/۰	۴۷/۰	۷۰/۵	۹۶/۰	۱۳۰/۰
شعاع پیشنهادی برای طرح حداقل (متر)	۱۵	۲۸	۴۷	۷۰	۹۵	۱۳۰
سرعت متوسط حرکت (کیلومتر در ساعت)	۲۲/۵	۲۹	۳۵	۴۲	۴۸	۵۴

شیبراهه‌های ورودی:

۱ - بطور کلی در دماغه ورودی باید یک خط عبور داشته باشد.

۲ - اثرات وجود کامیون در شیب باید در نظر گرفته شود.

۳ - ورودی آنها به خیابان‌های محلی همیشه باید از سمت راست باشد.

بعلاوه مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پروفیل طولی شیبراهه‌های ورودی باید طوری باشد که مسافت دید را برای وسائل نقلیه به حداکثر برساند. این باعث می‌شود که یک خط ازدیاد سرعت ایمن و با کارآئی بالا وجود داشته باشد.

فصل ۴
مقدمه‌ای بر برنامه ریزی حمل و نقل شهری

هدف این فصل تشریح ماهیت و مکانیزم برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، موضوعات مربوطه که هدایت کننده روش آن است، و تأثیر زیاد این روش بر شکل کاربری زمین‌های شهری می‌باشد.

این هدف پیچیده به شکلی برآورده نخواهند شد که بتواند به خواننده تمامی آگاهی لازم برای انجام یک برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری را بدهد، زیرا پوشاندن مطلب بدینگونه بسیار وسیع خواهد بود. در واقع این فصل با هدف آشنا ساختن مهندسین ترافیک با بعضی از اصول حمل و نقل و همچنین موارد استفاده‌هایی که می‌تواند از اطلاعات موجود برنامه‌ریزی حمل و نقل داشته باشد ارائه شده است.

برنامه‌ریزی حمل و نقل روشی است که هدف آن، به مفهوم وسیع، ایجاد سیستم حمل و نقلی است که بتواند حرکت انسان و کالا را با ایمنی کافی و بطور اقتصادی فراهم سازد، بعلاوه سفرها باید راحت و ساده باشند. این روشی دینامیکی است، بدین مفهوم که باید نسبت به تغییرات زمانی کاربری زمین، شرایط اقتصادی، و الگوهای سفر قادر به نشان دادن عکس العمل باشد. بعلت سرمایه گذاری‌های هنگفتی که در سیستم‌های حمل و نقل می‌شود (بزرگراه و یا سیستم حمل و نقل عمومی سریع‌السیر)، این پروژه‌ها باید بطور اجتناب ناپذیر و عمیقی بر توسعه کاربری زمین، در منطقه‌ای که تسهیلات حمل و نقل در آن ساخته می‌شود، مؤثر باشد. زیرا پروژه‌های حمل و نقلی بزرگ چنان تأثیرات دراز مدتی در شکل و خصوصیات زمین دارند که توسعه آنها باید با هدف تشویق یک توسعه مطلوب در کاربری زمین و هماهنگ با کل هدف‌های منطقه باشد.

تکامل برنامه ریزی حمل و نقل منطقه‌ای

تا قبل از سال ۱۹۶۲ برنامه‌ریزی دراز مدت حمل و نقل شهری در بسیاری از نواحی آمریکا، با کوشش‌های مستقل جوامع آنها، انجام می‌شد. میزان پیشرفته بودن این کوشش‌ها به مقدار مهارت‌های حرفه‌ای موجود در آن جوامع، کیفیت مشاوره قابل دستیابی، و همچنین مقدار بودجه موجود برای انجام آن بستگی داشت. برنامه‌های حاصل شده در بیشتر قسمت‌ها نه تنها جامع و هماهنگ با برنامه جوامع مجاور نبود، بلکه نتایج نهایی نیز بر اساس کوشش‌های هماهنگ تخصص‌های مختلف که برای برنامه‌ریزی طولانی مدت کار می‌کردند، نیز قرار نداشت.

در ایالات متحده آمریکا، که ساختن بزرگراهها با سرعت قابل توجه‌ای بین سالهای ۱۹۴۵ تا ۱۹۶۰ انجام شد (حدود ۷۲۰۰۰ کیلومتر)، عدم وجود یک روش برنامه‌ریزی واحد که در سطوح مختلف ناحیه‌ای، شهری و ایالتی کاربرد داشته باشد مساله‌ای جدی بود، و در واقع نبودن هماهنگی و همکاری باعث اتلاف بودجه و منابع مالی می‌شد. به علت وجود این کمبودها در برنامه‌ریزی، دولت مرکزی قانون کمک‌های دولت به ساختن جاده‌ها را در سال ۱۹۶۲ تصویب نمود. این قانون اینطور بیان می‌کند: "اعلام می‌شود که تشویق و ارتقاء توسعه سیستم‌های حمل و نقل مشتمل بر تمام روش‌های آن، به شکلی که به نحوه مؤثر و کارآمدی در خدمت تمام ایالت‌ها و جوامع محلی باشد، در جهت منافع ملی است." این قسمت از قانون شامل مناطق شهری با جمعیت بیش از ۵۰۰۰۰ نفر می‌شد، و به ایالت‌ها و مناطق شهری تا اول جولای ۱۹۶۵ برای تهیه برنامه جامع حمل و نقل مهلت داده شد. در اثر این ترغیب مالی قانون فوق منجر به شروع برنامه‌ریزی‌های هماهنگ، جامع و مشترک برای بزرگراهها

در این کشور گردید. مطالعات حمل و نقل بر اساس رهنمودهای موجود در قانون شروع شد، و برای اولین مرتبه با برنامه‌ریزی طولانی مدت برای حمل و نقل برخورد منظمی آغاز گردید. سازمان‌های منطقه‌ای که از جنبه‌های متعدد سیاسی و قضایی دارای قدرت قانونی برای برنامه‌ریزی بودند تأسیس شدند. نمونه‌های این مؤسسات کمیته حمل و نقل سه ایالتی که در برگیرنده ایالت‌های نیویورک، نیوجرسی و کانتیکات بود، و همچنین کمیته برنامه‌ریزی منطقه‌ای دلاور که منطقه جنوبی نیوجرسی و بیشتر پنسیلوانیای جنوبی را در برمی‌گرفت، بودند.

طبیعت سفر

سفر را، بطور خیلی کلی، میتوان بصورت حرکت یک جسم تعریف کرد. اجسام مورد علاقه برنامه‌ریز عبارتند از انسان و کالا. برای برنامه‌ریزی تسهیلات حمل و نقل دانستن اینکه مردم و کالا چگونه (توسط یک سیستم حمل و نقل) و به چه منظور سفر را انجام می‌دهند بسیار مهم است.

مردم با سیستمی مسافرت می‌کنند که متناسب با نیازها و همچنین در دسترس آنها باشد. اگر فاصله‌های کوتاه مانند چند خیابان آن طرف‌تر در بین باشد، ممکن است پیاده حرکت کنند. با ازدیاد فاصله بین مقصدهای مورد نظر و مبداها، نیاز به سیستم‌های مکانیکی خواهد بود: اتومبیل شخصی، وسیله حمل و نقل عمومی، راه آهن، یا هواپیما. هشتاد تا ۹۰ درصد اغلب سفرهائی که در یک منطقه شهری انجام می‌شود با اتومبیل است.

مردم برای رفع نیازهای خود در فعالیت‌های مختلف سفر می‌کنند مانند کار، خرید، تفریح و غیره. مثالی در مورد اینکه منظورهای مختلف از سفر چگونه در یک ناحیه شهری توزیع می‌شود، در جدول ۱-۴ برای ناحیه فیلادلفیا داده شده است.

به علت اینکه تمام فعالیت‌ها در ساختمانهائی قرار دارند، سفر را می‌توان عمل رفتن از یک ساختمان به ساختمان دیگر فرض کرد. ساختمان‌هائی که محل قرار گرفتن فعالیت‌های مشابه هستند معمولاً در همسایگی یکدیگر واقع می‌شوند، بنابراین می‌توان فرض کرد که سفر تابع کاربری زمین است. تعداد سفرهائی که با مقصد یک قطعه زمین خاص انجام می‌شود نه تنها تابع میزان استفاده از آن است (که با نسبت سطح زیربنا به کل زمین مشخص می‌شود) بلکه به موقعیت و میزان دسترسی به آن قطعه زمین، نسبت به بقیه زمین‌های منطقه، نیز بستگی دارد. سفر، به این ترتیب، تابع متغیرهای زیادی است که بعضی از آنها ریشه در شخصی که سفر را انجام می‌دهد دارد و بعضی دیگر شامل خصوصیات فیزیکی و غیرفیزیکی محیط می‌شود.

برای انجام یک برنامه‌ریزی منطبق بر نیازهای یک منطقه، درک و تشریح نوع و مقدار سفرهائی که در آن انجام می‌شود بسیار مهم است. همچنین اهداف و مقاصدی که باید به آنها رسید بطور کامل و واضح تعریف شوند.

دو وظیفه اصلی برای هدایت توسعه شبکه‌های حمل و نقل وجود دارد، یکی شبیه‌سازی و دیگری ایجاد معیارهایی است که در ارزیابی میزان تأثیرپذیری یک برنامه حمل و نقل بکار می‌رود.

فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری

برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، به شکلی که ما امروز با آن آشنا هستیم، فقط با استفاده از کامپیوترهای با ظرفیت زیاد امکان‌پذیر است. روش برنامه‌ریزی از یک سری مراحل مستقل که آن را می‌توان مانند شکل ۱ - ۴ تقسیم کرد تشکیل شده است. این شکل فعالیت‌های اساسی لازم برای یک مطالعه جامع را مشخص می‌کند. توضیح مختصری در مورد هر مرحله را بعداً خواهیم دید.

جدول ۱-۴، منظور سفرهای شخصی در فیلادلفیا ۱۹۶۴

	۴۰	درصد
به خانه	۱۹/۶	*
به محل کار	۷/۹	*
برای خرید	۳/۹	*
به مدرسه	۱۳/۹	*
فعالیت‌های اجتماعی	۱۱/۲	*
کارهای شخصی	۳/۵	*
غیره		

سازمان

اولین کار در برنامه‌ریزی حمل و نقل نیاز به بنیان‌گذاری چهارچوبی است که در قالب آن تصمیم‌های سیاست‌گذاری بتواند انجام شود، تشریک مساعی با مردم صورت گیرد، و یک کادر فنی که قادر باشد مطالعه را انجام دهد در آن بتوانند جمع شوند.

منظور از برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری توسعه و ارزیابی مداوم برنامه‌های حمل و نقل برای رسیدن به اهداف و مقاصد تمام مملکت، یک استان، و یا یک جامعه شهری می‌باشد. شناخت اهداف و مقاصد بخصوص که هر برنامه باید دنبال کند، بطور وضوح، از همکاری متقابل کمیته‌های مشورتی و

سیاست‌گذاری و با همکاری کادر فنی مطالعاتی حاصل می‌شود.

اهداف و مقاصد

بمنظور هدایت روند برنامه‌ریزی حمل و نقل برای بدست آوردن یک نتیجه موفقیت‌آمیز، مرسوم است که اهداف و مقاصد برنامه حمل و نقل منطقه‌ای مشخص گردد که باید در برنامه بهینه شود. مثلاً، می‌توان اینطور بیان کرد که برنامه حمل و نقل برای اجرا باید:

۱ - تحرک مردم و کالا را حداکثر کند.

۲ - محیط زیست را توسعه دهد.

این هدف‌ها، به شکلی که بیان شده‌اند، از نظر هدایت برنامه‌ریزی ارزش چندانی ندارند و باید، براساس اینکه بتوان آنها را واقعاً به حداکثر رساند، به اجزاء کوچکتری تقسیم شوند.

دسته‌های مختلفی از مقاصد مورد نیاز است، که هر کدام از آنها به نوبت می‌تواند به یکی از هدف‌ها مربوط شود، این مقاصد در مراحل مختلف برنامه‌ریزی و ارزیابی دارای قابلیت کمی شدن خواهند بود.

باین ترتیب، مقاصد هدف شماره ۱ ممکن است شامل:

۱ - حداقل کردن زمان سفر

۲ - حداقل کردن هزینه سفر

۳ - تأمین ظرفیت کافی برای سیستم

۴ - تأمین ایمنی کافی برای سیستم

۵ - تأمین اعتماد کافی به سیستم

و مقاصد هدف شماره ۲ ممکن است شامل:

۱ - تأمین تساوی توزیع دسترسی منطقه‌ای برای اشتغال، سلامتی، فرهنگ و خرید

۲ - کمک به پیشرفت برنامه مطلوب کاربری زمین و تسهیلات حمل و نقل

۳ - حداقل کردن جابجائی جوامع

۴ - حداقل کردن آلودگی‌های هوائی و شنیداری

مقاصد فوق باید قابل اندازه‌گیری باشند، بطوری که بیان کامل معیارهای پولی و کمی امکان‌پذیر گردد. مقاصدی که این خصوصیات را دارا باشند به مقاصد عملکردی معروف‌اند.

بررسی دقیق موضوع‌های فوق نشان می‌دهد که برای ارزیابی برنامه کاملاً مناسب هستند. اگر چه بحث در مورد پیچیدگیهای اجزاء تشکیل دهنده ضوابط و استانداردهای اندازه‌گیری در ظرفیت این فصل نمی‌گنجد، ولی نشان دادن چگونگی اندازه‌گیری مقاصد فوق مفید خواهد بود. این کار در جدول ۲-۴ انجام شده است.

بررسی وضع موجود

جامعیت برنامه‌ریزی حمل و نقل نیاز به جمع‌آوری مقادیر زیادی اطلاعات پراکنده دارد. منظور از جمع‌آوری اطلاعات بدست آوردن عناصری است که به درک اساسی خصوصیات سفر در منطقه کمک می‌کنند. بعلاوه نوع اطلاعاتی که جمع‌آوری می‌شود نیز بستگی به اهداف و مقاصدی دارد که قبلاً مشخص شده است.

موارد نمونه‌ای که برای آنها می‌توان بررسی‌ها و تحلیل‌ها را انجام داد عبارتن از:

۱ - عوامل اقتصادی که در توسعه مؤثر هستند

۲ - جمعیت

۳ - کاربری زمین

۴ - تسهیلات حمل و نقل

۵ - الگوهای سفر (در فصل ۵ تشریح شده است)

۶ - تسهیلات انتقالی و پایانه‌ای

۷ - خصوصیات کنترل ترافیک

۸ - مقررات منطقه‌بندی، مقررات تقسیم زمین، آئین‌نامه‌های ساختمانی و غیره

۹ - منابع مالی

۱۰ - عوامل ارزشی و اجتماعی جوامع

گستردگی بررسی‌هائی که در یک منطقه باید انجام شود. بستگی دارد به هدف‌ها و مقصودهائی که برای مطالعه در نظر گرفته شده است. به این ترتیب شناخت آنها بطور وضوح، قبل از اینکه بررسی‌های وضع موجود شروع شود، بسیار مهم است.

تحلیل و کالیبره نمودن مدل

بررسی وضع موجود مبنائی برای شکل‌گیری برنامه‌ریزی بوجود می‌آورد. در مرحله تحلیل و کالیبره نمودن مدل‌ها، اطلاعات بدست آمده تحلیل می‌شود و تکنیک‌های پیش‌بینی برای تخمین نیازهای سفر در آینده بوجود می‌آید.

وظایفی که معمولاً در این مرحله انجام می‌شود عبارتند از:

۱ - تکنیک‌هائی برای تخمین جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی

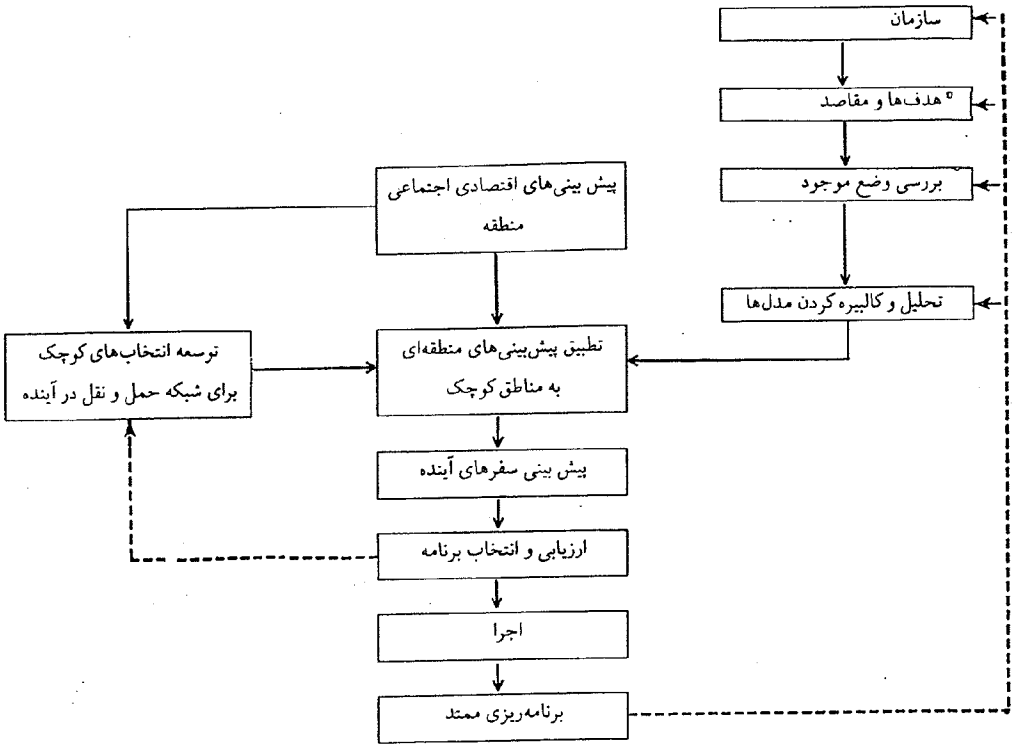
۲ - تکنیک‌های پیش‌بینی کاربری زمین

۳ - تولید سفر

۴ - توزیع سفر

۵ - تفکیک سفر

۶ - تخصیص ترافیک



شکل ۱-۴، روش برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری

جدول ۲-۴ مقاصد عملی

مقصود	واحد اندازه گیری
حداقل نمودن زمان سفر	ساعت
حداقل نمودن هزینه سفر	ریال
تامین ظرفیت سیستم	نسبت حجم به ظرفیت $(\frac{V}{C})$
تامین حداکثر ایمنی	تعداد تصادف‌ها
تامین اعتماد کافی	انحراف معیار زمان سفر در ساعت اوج
تامین توزیع مساوی دسترسی نسبت به فرصت‌های منطقه‌ای	تعداد شغل‌ها، مراکز خرید (درآمد فروش)، تخت‌های بیمارستانی، مدارس، و غیره، که در مدت زمانی مشخص و از نقطه‌نظرهای مختلف اجتماعی - اقتصادی قابل دستیابی است
حداقل نمودن تجزیه جوامع	تعداد واحدهای خانوار یا اشخاص، شامل ارزشی ریالی بر خانوارهائی که جابجا می‌شوند
حداقل نمودن تجزیه مناطق تجاری	تعداد تجارت‌های جابجا شده، شامل ارزش ریالی تجارت
حداقل نمودن آلودگی هوا	مقادیر موارد آلوده کننده در کیلومتر مسیر بصورت تابعی از سرعت، حجم، و ترکیب ترافیک، طبقه‌بندی شده با کاربری زمین
حداقل نمودن حدود آلودگی شنیداری	دسی بل صدا بصورت تابعی از حجم ترافیک، طبقه‌بندی‌شده با کاربری زمین
حداقل کردن هزینه‌های اجرائی	ریال درکیلومتر مسیر، طبقه بندی‌شده بر حسب نوع منطقه و مسیر

تعیین پیش‌بینی‌های اجتماعی اقتصادی منطقه‌ای: تکنیک‌های تخمین جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی

این وظیفه شامل توسعه روش‌های پیش‌بینی جمعیت،[۵] اشتغال، درآمدها، و مالکیت اتومبیل برای کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

الف - جمعیت. روش‌های تخمین جمعیت که بطور وسیع در جمعیت شناسی وجود دارد در برنامه‌ریزی حمل و نقل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های متداول را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱ - روش‌های روند مبنا[۵] - که از شکلی یا معادله منحنی رشد جمعیت در گذشته استفاده می‌کنند.

۲ - روش‌های تناسب - که بر اساس رابطه رشد جمعیت در یک منطقه نسبت به مناطق دیگر می‌باشد.

۳ - روش مولفه‌ها - که بر اساس تحلیل‌های مهاجرت و رشد طبیعی جمعیت عمل می‌کنند.

هرکدام از این روش‌ها برای استفاده کننده دارای محاسن و معایبی هستند. بحث بیشتر در مورد روش‌های متداول را می‌توان در کتاب‌های مربوطه پیدا کرد.

ب - فعالیت‌های اقتصادی. روش‌های پیش‌بینی فعالیت‌های اقتصادی برای مطالعات حمل و نقل را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱ - پیش‌بینی با روش روند خطی - که با بکارگیری اطلاعات موجود نسبت به زمان از شاخص اقتصادی مورد نظر، بهترین خطی که روند تغییرات را مشخص می‌کند رسم می‌شود. روش تعیین بهترین خط می‌تواند روش حداقل مربعات فاصله باشد.

۲ - روش کاهش - که فعالیت اقتصادی در منطقه تحت مطالعه را به فعالیت اقتصادی در منطقه بزرگتری، که منطقه اول را در برمی‌گیرد، مربوط می‌کند.

۳ - تحلیل بخشی - که در مفهوم کلی مشابه روش مولفه در پیش‌بینی جمعیت است. برای مثال، بجای اشتغال به صورت کلی، این عامل به جزئیات بیشتری که زیر گروه‌های اشتغال را مشخص می‌کنند تقسیم می‌شود، یعنی "تولیدات سنگین"، "تولیدات سبک"، "عمده فروشی و تجارت" و غیره.

۴ - روش ضریب مبنای اقتصادی - که فرض می‌کند اقتصاد محلی اساساً به یک گروه از بخش‌های اقتصادی بستگی دارد. این بخش‌ها آنهائی هستند که نقشی در خارج از منطقه تحت مطالعه دارند. فرض می‌شود که تغییر در بخش‌های پایه‌ای، تغییراتی را در بخش‌های غیر پایه‌ای اقتصاد محلی بوجود خواهد آورد.

از اطلاعات گذشته برای پیدا کردن یک "ضریب نسبت" بین کل اشتغال و اشتغال پایه استفاده می‌شود. بنابراین اگر نیازهای آینده در بخش‌های پایه تخمین زده شود، یک پیش‌بینی از اقتصاد محلی می‌تواند انجام شود.

۵ - مدل داده‌ها و ستانده‌ها - روشی است که بطور مشخص واکنش‌های متقابل تمام فعالیت‌های اقتصادی را، که بر یکدیگر تأثیر دارند، مرتبط می‌سازد وشامل عبارت‌هائی است که محصول هر زیر سیستم را با مصرف مساوی قرار می‌دهد.

با وجود پیچیده بودن زیاد، این مدل کوششی است در جهت بیش از حد ساده نمودن واقعیت‌ها.

اختصاص پیش‌بینی‌های منطقه‌ای به ناحیه‌های کوچک: تکنیک‌های پیش‌بینی کاربری زمین.

توزیع نهائی نتایج پیش‌بینی‌های اقتصادی و جمعیتی منطقه به مناطق کوچک (مناطق تحلیلی) که در منطقه کلی قرار دارند، جزئی از کار پیش‌بینی کاربری زمین است. بعلت اینکه سفر تا اندازه زیادی به قرارگیری مکانی، و همچنین شدت و خصوصیت کاربری زمین بستگی دارد. این مرحله جزء بسیار مهمی از برنامه‌ریزی حمل و نقل می‌باشد. اخیراً توجه بسیار زیادی از سوی برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری و کاربری زمین به این موضوع شده است.

بوجود آوردن مدل‌های خوب برای کاربری زمین، بهرحال، هنوز در مرحله تکاملی است. در میان روش‌های پیش‌بینی کاربری زمین که در حال حاضر مورد استفاده است، مدل‌های کاربری مسکونی پیشرفته‌ترین، و از نظر منطقی قابل قبول‌ترین، مدل‌ها می‌باشد. شکل کلی الگوی توسعه زمین‌های مسکونی بسیار منظم‌تر از شکل‌های پراکنده فعالیت‌های غیر مسکونی است. زمین‌های موجود برای توسعه تمایل به پیروی از الگوهای مناطق مسکونی دارند، که البته باید نسبت به محدودیت‌های منطقه‌بندی و میزان دسترسی قطعات مختلف تصحیح شوند. الگوهای تعیین موقعیت برای سایر تسهیلات تجاری و تولیدی، به بهترین شکل، بر اساس هر صنعت و بطور مجزا پیش‌بینی می‌شوند.

تکنیک‌های مختلفی برای پیش‌بینی کاربری زمین توسعه یافته است، که بعضی از آنها عبارتند از:

قضاوت یا تحلیل روند. این روش بطور ساده ادامه شکل تغییرات اطلاعات موجود است.

روش نسبت چگالی به حد اشباع. این روش که در مطالعات حمل و نقل منطقه شیکاگو مورد استفاده قرار گرفته است، نسبتاً روش ساده و منطقی می‌باشد. منطقه به قسمت‌های مختلف بصورت حلقه‌های متحدالمرکز در اطراف ناحیه مرکزی پر ارزش، تقسیم می‌شود. قواعد تاریخی در توسعه زمین اطراف ناحیه مرکزی مورد بررسی قرار گرفته و منحنی‌هائی که این توسعه را نشان می‌دهند بوجود می‌آید. سپس در مورد نحوه توسعه بیشتر قضاوت‌های منطقی انجام می‌شود، و کاربری زمین را در آینده بر اساس الگوهای بدست آمده پیش‌بینی می‌کند.

مدل دسترسی. بر خلاف دو روش فوق روش دسترسی، با استفاده از روابط ریاضی، عواملی را که در توسعه زمین موثراند مشخص می‌کند. مدل کلی عبارت است از:

$$G_i = G_t \frac{A^{\alpha}_i V_i}{\sum_{i=1}^{n} A^{\alpha}_i V_i} \qquad (۴-۱)$$

که:

G_i = رشد پیش‌بینی شده برای منطقه i

G_t = کل رشد منطقه‌ای = جمع کل G_iها

A_i = ضریب دسترسی برای منطقه i

V_i = زمین خالی موجود برای توسعه مسکونی در منطقه i

a = عدد ثابت که با تجربه تعیین می‌شود.

ضریب دسترسی "A_i" شکل کلی زیر را دارا می‌باشد:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} E_j F_{ij} \qquad (۴-۲)$$

که:

E_j = ضریب فعالیت در منطقه j (مثلاً کل اشتغال)

F_{ij} = ضریب بازدارندگی سفر بین مناطق i و j

ضریب بازدارندگی سفر ممکن است بصورت زیر تعریف شود:

$$F_{ij} = \frac{1}{t^{b}_{ij}} \qquad (۴-۳)$$

که:

t_{ij} = زمان سفر بین منطقه i و منطقه j

b = عدد ثابت که با تجربه تعیین می‌شود.

مدل فرصت‌های بینابینی. این مدل بر این فرض استوار است که احتمال انتخاب یک محل برای توسعه مسکونی تابعی است یکنواخت و نزولی از تعداد فرصت‌های موجود بین یک نقطه در مرکز شهر و محلی که یک تازه وارد برای ساختمان پیدا خواهد کرد. این مدل در مفهوم شبیه مدل همنام خود که در توزیع سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌باشد، که در قسمت‌های بعد با جزئیات بیشتر توضیح داده خواهد شد.

شکل ریاضی این مدل بصورت زیر می‌باشد:

$$A_j = A(e^{l\theta} - e^{-l(\theta+\theta_j)}) \qquad (۴-۴)$$

که:

A_j = تعداد خانوارهائی که در منطقه j جا داده می‌شوند.

A = کل تعداد خانوارهای موجود که باید جا داده شوند.

l = احتمال اینکه یک خانوار با شانس مشخص جا داده شود.

θ = تعداد محل‌های ممکن برای جادادن یک خانوار، به ترتیب درجه تا، ولی بدون، منطقه

θ_j = تعداد محل‌های ممکن در منطقه

این رابطه نتایجی را بوجود می‌آورد که با هدف کم کردن اصطکاک‌های سفر هماهنگ می‌باشد، همانطور که حقیقت مطلب نشان می‌دهد احتمال انتخاب یک محل مسکونی در واحد زمین موجود، در نزدیکی منطقه‌ای که از آنجا جستجو شروع می‌شود حداکثر است.

روش‌های برگشتی خطی چندگانه. منظور بدست‌آوردن معادله‌ای است به شکل:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n \qquad (۴-۵)$$

که:

Y = مقدار تغیرات اتفاق افتاده در تعداد خانوارها، در یک مدت زمان پیش‌بینی و بر اساس آخرین اطلاعات موجود.

x_i = متغیرهای مستقل

a_i = ضرایب برگشتی

متغیرهای مستقل ممکن است بصورت زیر باشند:

۱ - زمین بایر

۲ - ارزش زمین

۳ - دسترسی به محل‌های استخدام
۴ - ضریب منطقه‌بندی - مسکونی (عددی که برابر است با ۱/۰ اگر تمام زمین‌های موجود بصورت مسکونی طبقه‌بندی نشده باشد).
۵ - ابعادی برای:
- بزرگی منطقه
- جمعیت منطقه
- مقدار زمین‌های اختصاص داده شده به موارد استفاده‌های مختلف
- فرصت‌های اشتغال در منطقه

برخلاف مدل‌های قبل روش‌های برگشتی اجازه وارد کردن متغیرهای مهم دیگر، که در تصمیم‌گیرهای تخصیص فعالیت‌ها موثرند، را نیز می‌دهد.

تولید سفر

مطالعات حمل و نقل نشان داده است که ۸۰ تا ۹۰ درصد تمام سفرهائی که توسط ساکنین یک منطقه انجام می‌شود از یا به مقصد خانه می‌باشد. بنابراین کاربری زمین بصورت مسکونی، تولید سفر کننده مهمی است. به این دلیل، و همچنین بخاطر اینکه یک الگوی قابل پیش‌بینی را نشان می‌دهد، بسیاری از تحقیقات تولید سفر بر کاربری زمین مسکونی متمرکز گشته است. تولید سفر در کاربری غیر مسکونی زمین معمولاً با اندازه‌گیری نرخ سفر بر واحد فعالیت در سال بررسی تخمین زده می‌شود، که برای شرایط احتمالی تغییر یافته سال پیش‌بینی نیز باید اصلاح گردد.

بطور خلاصه:

۱ - پیش‌بینی‌های اقتصادی و جمعیتی نشان دهنده رشد منطقه‌ای در ناحیه تحت مطالعه می‌باشد.
۲ - پیش‌بینی‌های کاربری زمین نشان دهنده محلی است که این رشد به آنجا تعلق می‌گیرد.
۳ - تولید سفر نشان می‌دهد که چه تعداد سفر توسط این فعالیت‌ها بوجود خواهد آمد.

از ملاحظات تجربی مشخص شده است که سفرهای مردم (بجز سفرهای پیاده‌روی) با ازدیاد درآمد و مالکیت اتومبیل زیاد می‌شود، و با تغییر محل سکونت نیز تغییر می‌کند. عوامل دیگری که ممکن است در تعیین خصوصیات سفرهای مردم موثر باشد عبارتند از: سن، نژاد و جنسیت ساکنین.

یک مدل نمونه (معادله) برای تخمین سفرهای تولید شده توسط یک خانواده نمونه در یک منطقه مسکونی بصورت زیر داده شده است:

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 \qquad (۴-۶)$$

که:

Y = تعداد سفرها برای یک خانوار
X_1 = مالکیت اتومبیل
X_2 = درآمد خانوار
X_3 = لگاریتم چگالی خالص مسکونی
X_4 = اندازه خانوار

مدل فوق یک مدل چندگانه برگشتی است و پارامترهای A و B_i باید در طول زمان کالیبره کردن مدل تعیین شوند. پارامترهای مدل، بهرخال، از یک منطقه تا منطقه دیگر ممکن است برابر نباشند. این مساله نه تنها بخاطر اختلاف در نحوه زندگی در یک منطقه نسبت به منطقه دیگر، بلکه تا اندازه‌ای نیز بخاطر عدم وجود یک تئوری واحد انجام سفر می‌باشد، که باین ترتیب بسیاری از برنامه‌ریزها را فریب داده است.

وقتی که چهارچوب مدل برای تولید سفر مشخص شد، متداول این است که برای بدست آوردن تخمینی از سفرهای آینده، یا برای بعضی از دوره‌های مشخص، مورد استفاده قرارگیرد. برای انجام چنین کاری لازم است که تخمین‌هایی از متغیرهای مستقل برای آینده وجود داشته باشد. در حالیکه ممکن است یک مدل چند متغیره بسیار جالب باشد، ولی ازدیاد دقت ناشی از اضافه کردن آخرین متغیر ممکن است با خطائی که در اثر پیش بینی مقدار آن برای سال مورد نظر ایجاد می‌شود خنثی گردد.

بنابراین پیچیدگی یک مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل با متغیرهای مستقل و فراوان، که احتمال خطای آنها در زمان پیش‌بینی نیز ممکن است وجود داشته باشد، باید از یک حداقل لازم بیشتر نشود.

کالیبره کردن مدل برگشتی خطی

اگر معادله خطی ۶-۴ را در نظر بگیریم، منظور از کالیبره کردن آن پیدا نمودن عدد ثابت A_i و ضرایب B_i مربوط به متغیرهای X_i است.

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \cdots$$

کالیبره کردن این مدل بر اساس یک سری اطلاعات موجود Y بر حسب مقادیر هر متغیر استوار است، و بهترین مدل آن است

که برای اطلاعات داده شده، حداقل خطا را داشته باشد. خطا را می‌توان به صورت $(Y-y)$ نشان داد که Y مقادیر بدست آمده توسط مدل و y مقادیر داده شده را مشخص می‌کند. یکی از معایب در نظر گرفتن $(Y-y)$ بعنوان خطا این است که مقادیر آن ممکن است مثبت یا منفی باشد و در هنگام جمع کردن آنها برای تعیین کل خطا یکدیگر را حذف نمایند. بمنظور از بین بردن این اشکال مقادیر $(Y-y)^2$ بعنوان نماینده مقدار خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد، که پس از جمع کردن آنها، جمع مربع خطاها را می‌توان تشکیل داد:

جمع مربع خطاها: $$\Delta = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - y_i)^2 \qquad (۴-۷)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - A - B_1X_i - B_2X_{2i} - ...)^2$$

مقادیر A و B_j باید طوری تعیین شوند که خطای کل حداقل باشد. به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial \Delta}{\partial A} = 0 \,,\ \frac{\partial \Delta}{\partial B} = 0 \qquad (۴-۸)$$

با استفاده از معادلات ۸-۴ می‌توان ضریب B_i و مقدار A را برای اطلاعات داده شده پیدا کرد.

میزان نزدیک بودن مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل به مقادیر داده شده، توسط ضریبی بنام ضریب همبستگی تعیین می‌شود:

ضریب همبستگی: $$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{y})^2} \qquad (۴-۹)$$

که در آن:

$\bar{y}$ = میانگین مقادیر داده شده y

صورت کسر فوق نشان دهنده اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با میانگین و مخرج آن نشان دهنده اختلاف مقادیر داده شده با میانگین است. در صورتیکه این نسبت برابر یک باشد نشان دهنده همبستگی صددرصد است (ایده‌آل)، و هر چه از یک کمتر باشد نشان دهنده میزان انطباق کمتر مدل با مشاهدات است.

مثال: مشخص شده است که تعداد متوسط سفرهای روزانه انجام شده با اتومبیل توسط هر واحد مسکونی در ناحیه تحت مطالعه بستگی دارد به تعداد متوسط اتومبیل‌هائی که هر واحد مسکونی در اختیار دارد. بر اساس متوسط ۱۵ نمونه آمارگیری شده، که در جدول آمده است، مدل خطی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y = A + BX$$

X = متوسط تعداد اتومبیل متعلق به یک واحد مسکونی

Y = متوسط تعداد سفرهای انجام شده با اتومبیل توسط یک واحد مسکونی

جمع مربع خطاها: $$\Delta = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - y_i) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - A - BX_i)^2$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial A} = 0 \Rightarrow A = \frac{\sum y_i - B\sum X_i}{n} \,,\ \frac{\partial \Delta}{\partial B} = 0 \Rightarrow B = \frac{\sum X_i y_i - A\sum X_i^2}{\sum X_i^2}$$

اگر A را از معادله اول در معادله دوم قرار دهیم و برای B حل کنیم:

$$B = \frac{n\sum X_i y_i - \sum X_i \sum y_i}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

نمونه	X_i	y_i	$X_i y_i$	X_i^2	Y_i
۱	۰/۷۵	۱/۲۴	۰/۹۳	۰/۵۶۲۵	۱/۰۹۴
۲	۰/۸۵	۱/۳۱	۱/۱۱۳۵	۰/۷۲۲۵	۱/۶۲۹
۳	۰/۷۶	۱/۰۴	۰/۷۹۰۴	۰/۵۷۷۶	۱/۱۴۸
۴	۰/۸۴	۱/۵۶	۱/۳۱۰۴	۰/۷۰۵۶	۱/۵۷۶
۵	۰/۶۸	۰/۵۳	۰/۳۶۰۴	۰/۴۶۲۴	۰/۷۲۰
۶	۰/۸۰	۱/۴۷	۱/۱۷۶	۰/۶۴۰۰	۱/۳۶۲
۷	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۳۱۸۵	۰/۴۲۲۵	۰/۵۵۹
۸	۰/۷۱	۰/۸۶	۰/۶۱۰۶	۰/۵۰۴۱	۰/۸۸۰۲
۹	۰/۸۲	۱/۶۰	۱/۳۱۲۰	۰/۶۷۲۴	۱/۴۶۸۸
۱۰	۰/۷۵	۱/۱۵	۰/۸۶۲۵	۰/۵۶۲۵	۱/۰۹۴۳
۱۱	۰/۸۰	۱/۴۷	۱/۱۷۶۰	۰/۶۴۰۰	۱/۳۶۱۸
۱۲	۰/۶۰	۰/۳۹	۰/۲۳۴	۰/۳۶۰۰	۰/۲۹۱۶
۱۳	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۵۶۰	۰/۴۹۰۰	۰/۸۲۶۷
۱۴	۰/۸۴	۱/۷۲	۱/۴۴۴۸	۰/۷۰۵۶	۱/۵۷۵۸
۱۵	۰/۸۹	۱/۸۰	۱/۶۰۲	۰/۷۹۲۱	۱/۸۴۳
جمع	۱۱/۴۴	۱۷/۴۳	۱۳/۸۰۱۱	۸/۸۱۹۸	

$$B = \frac{15(13/8011) - 11/44(17/43)}{15(8/8198) - 11/44(17/44)^2} = 5/351$$

$$A = \frac{17/43 - 5/351(11/44)}{15} = -2/919$$

بنابراین معادله خطی بصورت زیر درمی‌آید، که از آن می‌توان برای پیش‌بینی مقادیر Y_i (در جدول) استفاده نمود:

$$Y = 5/351X - 2/919$$

$$\bar{x} = 0/7627 \quad \Rightarrow \quad \bar{y} = 1/162$$

$$R^2 = \frac{2/7163}{2/9706} = 0/914$$

ضریب همبستگی نزدیک به یک نشان می‌دهد که مدل بدست آمده تطابق خوبی را نشان می‌دهد و می‌توان آن را، برای پیش‌بینی، مورد استفاده قرارداد.

توزیع سفر

به همان اندازه تعیین تعداد سفرهای تولید شده از یک قطعه زمین در منطقه مورد نظر اهمیت دارد، بدست آوردن تخمین‌هائی از جهت و طول سفرهائی که از آن زمین شروع می‌شود نیز لازم است. این اطلاعات از مطالعات مبداء و مقصد، که در فصل پنج مورد بحث قرار خواهد گرفت، بدست می‌آید. برای برنامه‌ریزی، بوجود آوردن مجدد این الگوهای سفر، به کمک یک مدل ریاضی، بطوریکه همان مدل را بتوان برای تخمین توزیع سفر در سال مورد نظر نیز بکار برد، لازم می‌باشد.

دو گروه مدل در حال حاضر وجود دارد، یک گروه شامل مدل‌های ضریب رشد و دیگری شامل مدل‌های شبیه‌سازی است.

روش‌های ضریب رشد

اولین و ساده‌ترین نوع مدل‌های تبادل سفر روش‌های ضریب رشد می‌باشند. فرض اولیه این مدل‌ها مشابه یکدیگر است، یعنی رشد تبادل سفر بین مناطق مختلف را به ضریب رشد دو منطقه انتهائی سفر مربوط می‌سازد.

۱ - روش ضریب رشد یکنواخت. در این روش یک ضریب رشد متوسط برای کل ناحیه تحت مطالعه محاسبه می‌شود. این ضریب رشد متوسط می‌تواند میانگین ساده یا میانگین وزنی ضرایب رشد کلیه مناطق در ناحیه تحت مطالعه باشد. این مدل را بصورت ریاضی اینطور می‌توان نوشت:

$$T_{ij} = t_{ij} F_{av.}$$

که:

T_{ij} = سفرهای آینده بین مناطق i و j

t_{ij} = سفرهای سال پایه بین مناطق i و j

$F_{av.}$ = ضریب رشد متوسط برای کل ناحیه تحت مطالعه

مثال: تبادل سفر بین مناطق شماره ۸ و شماره ۱۰۰ در یک ناحیه تحت مطالعه برابر ۱۰۰ سفر است. ضریب رشد برای شهر در دوره بیست ساله طراحی برابر ۱/۶ محاسبه گردیده است. تبادل سفر بین این دو منطقه در سال طراحی چقدر خواهد بود.

$$T_{8,100} = t_{8,100} \times F_{av.} = 100 \times 1/6 = 160 \text{ سفر}$$

بدیهی است روش ضریب رشد ثابت برای کل ناحیه تحت مطالعه، یک تکنیک محدود برای برآورد تبادل سفر می‌باشد. ضریب رشد معمولاً بر اساس روند گذشته محاسبه شده و ممکن است برای پیش‌بینی آینده بسیار ضعیف باشد. در صورتی که در خصوصیات منطقه‌ای تغییرات کلی ایجاد شود، مانند، مناطق سریع‌الرشد، در نتایج خطای بزرگی بوجود می‌آید. بعلاوه ممکن است خطا زمانی ایجاد شود که دو منطقه قبلاً خیلی سریع رشد کرده باشند و با توجه به آن برای آینده تخمین‌های زیادتر از واقع زده شود. باید توجه داشت وقتی چنین کم دقتی در توزیع سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از روش‌های پیشرفته برای تولید سفر دیگر ارزشی نخواهد داشت.

۲ - روش ضریب رشد متوسط. در صورتیکه بتوان ضریب رشد را بطور جداگانه برای هر منطقه پیدا کرد، می‌توان متوسط ضریب رشد دو منطقه انتهای سفر را برای اعمال در تبادل سفر سال پایه و بدست آوردن تبادل سفر سال طراحی مورد استفاده قرارداد. بیان این مدل به شکل ریاضی آن بصورت زیر است:

$$T_{ij} = t_{ij} \frac{F_i + F_j}{2}$$

که:

T_{ij} = تبادل سفر آینده بین مناطق i و j

t_{ij} = تبادل سفر سال پایه تعیین مناطق i و j

F_i = ضریب رشد منطقه i

F_j = ضریب رشد منطقه j

مثال: تبادل سفر بین منطقه ۱۰ و ۳۳ در سال پایه برابر ۱۰۰ سفر می‌باشد. در دوره بیست ساله پیش‌بینی، انتظار می‌رود که رشد منطقه ۱۰ برابر ۱/۶ و رشد منطقه ۳۳ برابر ۱/۴ باشد. تبادل سفر را در سال طراحی بین این دو منطقه حساب کنید.

$$T_{۱۰,۳۳} = t_{۱۰,۳۳} \times \frac{F_{۱۰}+F_{۳۳}}{۲} = ۱۰۰ \times \frac{۱/۶+۱/۴}{۲} = ۱۵۰ \text{ سفر}$$

روش ضریب رشد متوسط دارای همان معایب و کمبودهائی است که برای روش ضریب رشد یکنواخت مطرح شد. ضرایب رشد می‌تواند به نحو اعجاب‌انگیزی غیر قابل اعتماد باشد، زیرا معمولاً بر اساس بررسی وضع گذشته بدست می‌آید. در این روش مسأله بدست آوردن ضریب رشد هر منطقه نیز اضافه می‌شود. تمام روش‌های ضریب رشد معمولاً موفق به تخمین صحیح میزان رشد مناطق در حال توسعه نمی‌شوند و بدین ترتیب ممکن است یک تخمین شدیداً نامناسبی از سفرهای آینده را نتیجه دهد.

۳ - روش ضریب رشد دترویت. وسیعترین مطالعه‌ای که در آن از روش ضریب رشد استفاده شده است مطالعه حمل و نقل ناحیه دترویت آمریکا است. شکل ریاضی مدل دترویت بصورت زیر است:

$$T_{ij} = t_{ij}\frac{F_i+F_j}{F} \qquad (۴-۱۰)$$

که:

T_{ij} = تبادل سفر بین مناطقه i و j در سال طرح

t_{ij} = تبادل سفر در سال پایه بین مناطق i و j

F_i = ضریب رشد منطقه i

F_j = ضریب رشد منطقه j

F = ضریب رشد متوسط برای کل ناحیه تحت مطالعه.

روش ضریب رشد دترویت با بکارگیری فرمول فوق، در واقع این مسأله را وارد روش ضریب رشد کرده است که جمع سفرها در سال پایه برای هر منطقه، در صورتیکه در ضریب رشد آن منطقه ضرب شود، باید برابر با جمع کل سفرهای سال پیش‌بینی آن منطقه شود. به این ترتیب می‌توان از یک روش تکراری استفاده نمود و در پایان محاسبات رابطه:

$$\sum_j T_{ij} = F_i \sum_j t_{ij}$$

برای تمام مدت بدست می‌آید.

این روش تکراری بدین صورت است که در ابتدا سفرها با شرایط اولیه متناسب می‌شوند و جمع سفرهای جدید محاسبه می‌گردد، سپس ضریب رشد جدید بدست می‌آید و متناسب کردن سفرها به همین ترکیب ادامه می‌یابد، تا اینکه اعداد پایداری بدست آید. برای نشان دادن این روش با فرمول‌های ریاضی، باید ابتدا این پارامترها را تعریف نمود:

T_i = کل سفرها در منطقه i در سال پایه

T^*_i = کل سفرهای پیش‌بینی شده در منطقه i برای سال طراحی

t^k_i = کل سفرهای محاسبه شده در منطقه i در مرحله k

t^k_{ij} = سفرهای محاسبه شده بین مناطق i و j در مرحله k

به این ترتیب با استفاده از ضرایب رشد اولیه برای هر منطقه i محاسبه را شروع می‌کنیم:

$$F_i = \frac{T^*_i}{t_i}$$

یا بطور کلی برای مرحله k:

$$F^k_i = \frac{T^*_i}{t^k_i}$$

برای کل ناحیه تحت مطالعه، کلیه سفرهای مناطق مختلف را با یکدیگر جمع می‌کنیم تا ضریب رشد متوسط کل منطقه (F یا در هر مرحله F^k) بدست آید:

$$F = \frac{\sum T^*_i}{\sum T_i} \quad , \quad F^k = \frac{\sum T^*_i}{\sum t^k_i}$$

جمع کل سفرها در منطقه i از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$T_i = \sum_j t_{ij} \quad i \neq j \quad , \quad t^k_i = \sum_j t^k_{ij}$$

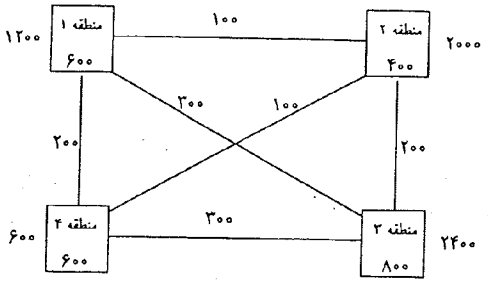
و رابطه ریاضی که برای پیدا کردن سفرهای بین دو نقطه در هر تکرار مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل دترویت، به صورت زیر:

$$t^k_{ij} = t^{k-1}_{ij} \frac{F^{k-1}_i F^{k-1}_j}{F^{k-1}} \qquad (۴-۱۱)$$

می‌باشد.

روش تکراری هنگامی که مقادیر F (ضرایب رشد) به یک نزدیک شوند، پایان می‌پذیرد. ضابطه پایان پذیرفتن را می‌توان بصورت $۰/۹۵ \leq F^k_i \leq ۱/۰۵$ برای هر منطقه و یا برای کل مناطق در نظر گرفت.

مثال: سفرهای مشاهده شده در سال پایه و سفرهای پیش‌بینی شده برای سال طراحی چهار منطقه از یک ناحیه تحت مطالعه، و همچنین تبادل سفرهای موجود در سال پایه بین این مناطق در نمودار زیر داده شده است. تبادل سفرها را برای سال طراحی پیدا کنید.



۶۰۰ = مشاهده‌شده‌سال‌پایه‌درمنطقه۱

۱۲۰۰ = پیش‌بینی‌شده‌سال‌طراحی

۲۰۰ = تبادل‌سفربین‌منطقه۱و۴

ابتدا ضریب رشد برای کل ناحیه تحت مطالعه محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{۱۲۰۰+۲۰۰۰+۲۴۰۰+۶۰۰}{۶۰۰+۴۰۵+۸۰۰+۶۰۰} = ۲/۶$$

ضریب رشد هر منطقه:

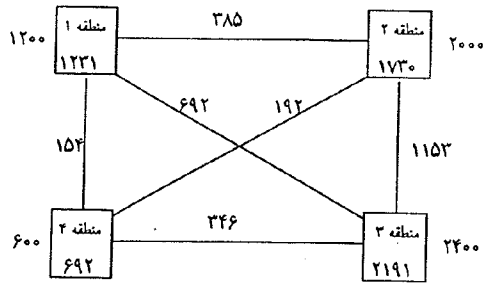
$$F_۱=\frac{۱۲۰۰}{۶۰۰}=۲ \quad \text{و} \quad F_۲ = \frac{۲۰۰۰}{۴۰۰} = ۵ \quad \text{و} \quad F_۳ = \frac{۲۴۰۰}{۸۰۰} = ۳ \quad \text{و} \quad F_۴ = \frac{۶۰۰}{۶۰۰} = ۱$$

با استفاده از مدل دیترویت برای تکرار اول:

$$t'_{۱۲} = ۱۰۰ \frac{(۲)(۵)}{۲/۶} = ۳۸۵ \quad \text{و} \quad t'_{۱۳} = ۳۰۰ \frac{(۲)(۳)}{۲/۶} = ۶۹۲ \quad \text{و} \quad t'_{۱۴} = ۲۰۰ \frac{(۲)(۱)}{۲/۶} = ۱۵۴$$

$$t'_{۲۳} = ۲۰۰ \frac{(۵)(۳)}{۲/۶} = ۱۱۵۳ \quad \text{و} \quad t'_{۲۴} = ۱۰۰ \frac{(۵)(۱)}{۲/۶} = ۱۹۲ \quad \text{و} \quad t'_{۳۴} = ۳۰۰ \frac{(۳)(۱)}{۲/۶} = ۳۴۶$$

نتایج تکرار اول:



$$t'_۱ = ۳۸۵+۶۹۲+۱۵۴ = ۱۲۳۱ \quad \text{و} \quad t'_۲ = ۳۸۵+۱۱۵۳+۱۹۲ = ۱۷۳۰$$

$$t'_۳ = ۶۹۲+۱۱۵۳+۳۴۶ = ۲۱۹۱ \quad \text{و} \quad t'_۴ = ۱۵۴+۱۹۲+۳۴۶ = ۶۹۲$$

ضرایب رشد برای تکرار دوم:

$$F'_۱=\frac{۱۲۰۰}{۱۲۳۱}=۰/۹۷ \quad \text{و} \quad F'_۲ = \frac{۲۰۰۰}{۱۷۳۰} = ۱/۱۶ \quad \text{و} \quad F'_۳ = \frac{۲۴۰۰}{۲۱۹۱} = ۱/۱۰ \quad \text{و} \quad F'_۴ = \frac{۶۰۰}{۶۹۲} = ۰/۸۷$$

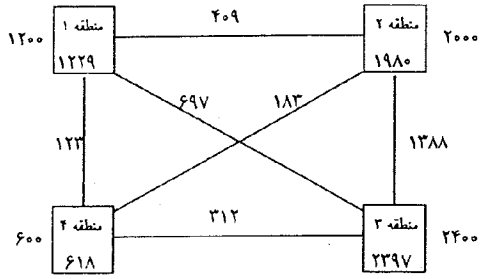
ضریب رشد کل ناحیه تحت مطالعه: $F^1 = \frac{۱۲۰۰+۲۰۰۰+۲۴۰۰+۶۰۰}{۱۲۳۱+۱۷۳۰+۲۱۹۱+۶۹۲} = ۱/۰۶$

برای تکرار دوم:

$t^2_{12} = ۱۵۴\frac{(۰/۹۷)(۰/۸۷)}{۱/۰۶} = ۱۲۳$ و $t^2_{13} = \frac{(۶۹۲)(۰/۹۷)(۰/۱۰)}{۱/۰۶} = ۶۹۷$ و $t^2_{14} = ۳۸۵\frac{(/۹۷)(۱۰۱۶)}{۱/۰۶} = ۴۰۹$

$t^2_{23} = ۳۴۶\frac{(۱/۱۰)(۰/۸۷)}{۱/۰۶} = ۳۱۲$ و $t^2_{24} = ۱۹۲\frac{(۱/۱۶)(۰/۸۷)}{۱/۰۶} = ۱۸۳$ و $t^2_{34} = ۱۱۵۳\frac{(۱/۱۶)(۱/۱۰)}{۱/۰۶} = ۱۳۸۸$

نتایج تکرار دوم:



$t^2_1 = ۴۰۹+۶۹۷+۱۲۳ = ۱۲۲۹$ و $t^2_2 = ۴۰۹+۱۸۳+۱۳۸۸ = ۱۹۸۰$

$t^2_3 = ۱۳۸۸+۶۹۷+۳۱۲ = ۲۳۹۷$ و $t^2_4 = ۳۱۲+۱۸۳+۱۲۳ = ۶۱۸$

ضرایب رشد:

$F^2_1 = \frac{۱۲۰۰}{۱۲۲۹} = ۰/۹۸$ $F^2_2 = \frac{۲۰۰۰}{۱۹۸۰} = ۱/۰۱$ $F^2_3 = \frac{۲۴۰۰}{۲۳۹۷} = ۱/۰۰$ $F^2_4 = \frac{۶۰۰}{۶۱۸} = ۰/۹۷$

ضریب رشد کل منطقه: $F^2 = \frac{۱۲۰۰+۲۰۰۰+۲۴۰۰+۶۰۰}{۱۲۲۹+۱۹۸۰+۲۳۹۷+۶۱۸} = ۱/۰۰$

چون تمام ضرایب رشد بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ قرار دارند توزیع تبادل سفرها طبق مدل دیترویت در این مرحله تکمیل می‌شود.

۴ - *روش فراتر*. رایج‌ترین روشی که از ضرایب رشد استفاده می‌کند روش فراتر است که در سال ۱۹۴۵ میلادی معرفی شد. اگرچه این مدل امروزه بتدرت بعنوان مدلی برای کل یک معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی هنوز برای پیش‌بینی تبادل سفر بین ایستگاه‌های خارجی ناحیه تحت مطالعه از آن استفاده می‌شود. این سفرها را سفرهای عبوری، یا سفرهای خارج - به خارج می‌نامند.

این روش بصورت تکراری با تبادل سفرهائی که بین مناطق مختلف با جذابیت نسبی محاسبه شده است، و برای سفرهای بین منطقه‌ای از نقطه تحت بررسی بکار می‌رود. متوسط این-دو تخمین برای تبادل سفر آینده بین دو منطقه در هر مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس سفرهای تازه محاسبه شده در هر منطقه و سفرهای پیش‌بینی شده برای سال طراحی، محاسبه برای مرحله بعد، با توجه به ضرایب رشد جدید، انجام می‌شود.

این روش را بصورت زیر می‌توان فرموله کرد:

ضریب رشد اولیه در منطقه: $F_i = \frac{\sum_j T_{ij}}{\sum_j t_{ij}}$

t_{ij} = تبادل سفر بین مناطق i و j در سال پایه

T_{ij} = تبادل سفر بین مناطق i و j در آینده

با درنظر گرفتن رشد منطقه:i

$$T_{ij} = \frac{t_{ij}F_i}{\sum_i t_{ij}F_i} \times \sum_j t_{ij} \times F_i = \frac{t_{ij}F_i}{\sum_i t_{ij}F_i} t_i F_i \qquad (۴-۱۲)$$

با درنظر گرفتن رشد منطقه:j

$$T_{ji} = \frac{t_{ji}F_i}{\sum t_{ji}F_i} \times \sum t_{ji} \times F_i = \frac{t_{ji}F_i}{\sum t_{ji}F_i} t_i F_i \qquad (۴-۱۳)$$

و:

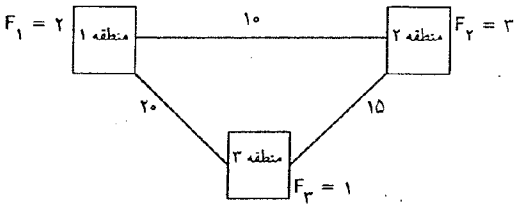
$$T^1_j = \frac{T_{ij}+T_{ji}}{2}$$

ضریب رشد جدید برای مرحله بعد:

$$F_i^1 = \frac{\sum_j T_{ij}}{\sum_j T^1_{ij}} \qquad (۴-۱۵)$$

این روش هنگامی که نسبت ضرایب رشد به اندازه کافی به یک نزدیک شد پایان می‌پذیرد.

مثال: سه منطقه از یک ناحیه تحت مطالعه با تبادل سفرهای موجود در سال پایه، کل تبادل سفر در هر منطقه و سفرهای سال طراحی هر منطقه داده شده است. تبادل سفرها را در سال طراحی پیدا کنید.



$$F_1 = \frac{۶۰}{۳۰} = ۲ \qquad \text{و} \qquad F_۲ = \frac{۷۵}{۲۵} = ۳ \qquad \text{و} \qquad F_۳ = \frac{۳۵}{۳۵} = ۱$$

$$T_{ij} = t_i F_i \frac{t_{ij}F_j}{\sum t_{ij}F_j}$$

$$T_{12} = \frac{t_1F_1(t_{12}F_2)}{t_{12}F_2+t_{13}F_3} = \frac{(۳۰\times۲)(۱۰\times۳)}{۱۰\times۳+۲۰\times۱} = ۳۶ \qquad \text{و} \qquad T_{21} = \frac{t_2F_2(t_{21}F_1)}{t_{21}F_1+t_{23}F_3} = \frac{(۲۵\times۳)(۱۰\times۲)}{۱۰\times۲+۱۵\times۱} = ۴۳$$

$$\frac{۴۳+۳۶}{۲} = ۳۹/۵$$

$$T_{13} = \frac{t_1F_1(t_{13}F_3)}{t_{12}F_2+t_{13}F_3} = \frac{(۳۰\times۲)(۲۰\times۱)}{۱۰\times۳+۲۰\times۱} = ۲۴ \qquad \text{و} \qquad T_{31} = \frac{t_3F_3(t_{31}F_1)}{t_{31}F_1+t_{32}F_2} = \frac{(۳۵\times۱)(۱۵\times۳)}{۲۰\times۲+۱۵\times۳} = ۱۶/۵$$

$$\frac{۱۶/۵+۲۴}{۲} = ۲۰/۲۵$$

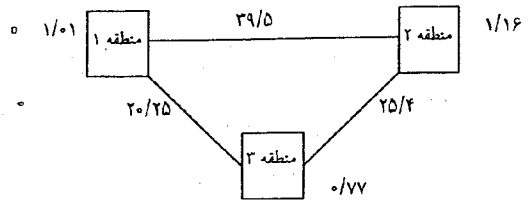
$$T_{23} = \frac{t_2F_2(t_{23}F_3)}{t_{23}F_3+t_{21}F_1} = \frac{(۲۵\times۳)(۱۵\times۱)}{۱۵\times۱+۱۰\times۲} = ۳۲/۱۴ \qquad \text{و} \qquad T_{32} = \frac{t_3F_3(t_{32}F_3)}{t_{32}F_3+t_{31}F_1} = \frac{(۳۵\times۱)(۱۵\times۳)}{۱۵\times۳+۲۰\times۲} = ۱۸/۶$$

$$\frac{۱۸/۶+۳۲/۱۴}{۲} = ۲۵/۴$$

ضرایب رشد جدید:

$$F_1 = \frac{۶۰}{۳۹/۵+۲۰/۲۵} = ۱/۰۱ \qquad \text{و} \qquad F_۲ = \frac{۷۵}{۳۹/۵+۲۵/۴} = ۱/۱۶ \qquad \text{و} \qquad F_۳ = \frac{۳۵}{۲۵/۴+۲۰/۲۵} = ۰/۷۷$$

نتیجه فوق، پس از انجام تبادل سفرها در تکرار اول، در شکل زیر نشان داده شده است:



$$T_{12}=\frac{(59/75\times1/01)(39/5\times1/16)}{39/5\times1/16+20/25\times0/77}=45/03 \qquad \text{و} \qquad T_{21}=\frac{(64/9\times1/16)(39/5\times1/01)}{39/5\times1/01+25/4\times0/77}=50/52$$

$$\frac{50/52+45/03}{2}=47/78$$

$$T_{13}=\frac{(59/75\times1/01)(20/25\times0/77)}{20/25\times0/77+39/5\times1/16}=15/32 \qquad \text{و} \qquad T_{31}=\frac{(45/65\times0/77)(20/25\times1/01)}{20/25\times1/01+25/4\times1/16}=14/4$$

$$\frac{14/4+15/32}{2}=14/86$$

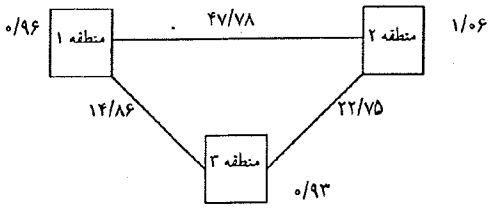
$$T_{23}=\frac{(64/9\times1/16)(25/4\times0/77)}{25/4\times0/77+39/5\times1/01}=24/76 \qquad \text{و} \qquad T_{32}=\frac{(45/65\times0/77)(25/4\times1/16)}{25/4\times1/16+20/25\times1/01}=20/75$$

$$\frac{20/75+24/76}{2}=22/75$$

ضرایب رشد:

$$F_3=\frac{35}{14/86+22/75}=0/93 \qquad \text{و} \qquad F_2=\frac{75}{47/78+22/75}=1/06 \qquad \text{و} \qquad F_1=\frac{60}{47/78+14/86}=0/96$$

نتایج تبادل سفر تکرار دوم:



$$T_{12}=\frac{(62/64\times0/96)(47/78\times1/06)}{47/78\times1/06+14/86\times0/93}=47/24 \qquad \text{و} \qquad T_{21}=\frac{(70/53\times1/06)(47/78\times0/96)}{47/78\times0/96+22/75\times0/93}=51/16$$

$$\frac{51/16+47/24}{2}=49/2$$

$$T_{13}=\frac{(62/64\times0/96)(14/86\times0/93)}{14/83\times0/93+47/78\times1/06}=18/89 \qquad \text{و} \qquad T_{31}=\frac{(36/61\times0/93)(14/86\times0/96)}{14/86\times0/96+22/75\times0/06}=13/00$$

$$\frac{13/00+12/89}{2}=12/95$$

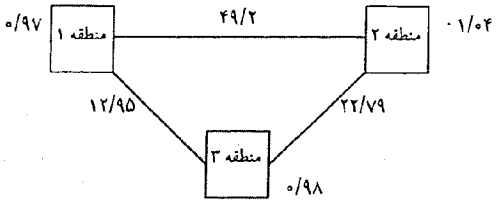
$$T_{۲۳}=\frac{(۷۰/۵۳\times۱/۰۶)(۲۲/۷۵\times۰/۹۳)}{۲۲/۷۵\times۰/۹۳+۴۷/۷۸\times۰/۹۶}=۲۳/۶ \quad \text{و} \quad T_{۳۲}=\frac{(۳۷/۶۱\times۱/۹۳)(۲۲/۷۵\times۱/۰۶)}{۲۲/۷۵\times۱/۰۶+۱۴/۸۶\times۰/۹۶}=۲۱/۹۸$$

$$\frac{۲۱/۹۸+۲۳/۶}{۲}=۲۲/۷۹$$

ضرایب رشد جدید:

$$F_۳=\frac{۳۵}{۲۲/۷۹+۱۲/۹۵}=۰/۹۸ \quad \text{و} \quad F_۲=\frac{۷۵}{۲۲/۷۹+۴۹/۲}=۱/۰۴ \quad \text{و} \quad F_۱=\frac{۶۰}{۴۹/۲+۱۲/۹۵}=۰/۹۷$$

نتایج تبادل سفر تکرار سوم:



$$T_{۱۲}=\frac{(۹۲/۱۵\times۰/۹۷)(۴۹/۲\times۱/۰۴)}{۴۹/۲\times۱/۰۴+۱۲/۹۵\times۰/۹۸}=۴۸/۳۰ \quad \text{و} \quad T_{۲۱}=\frac{(۷۱/۹۹\times۱/۰۴)(۴۹/۲\times۰/۹۷)}{۴۹/۲\times۰/۹۷+۲۲/۷۹\times۰/۹۸}=۵۱/۰۰$$

$$\frac{۵۱/۰۰+۴۸/۳۰}{۲}=۴۹/۶۵$$

$$T_{۱۳}=\frac{(۶۲/۱۵\times۰/۹۷)(۱۲/۹۵\times۰/۹۸)}{۱۲/۹۵\times۰/۹۸+۴۹/۲\times۱/۰۴}=۱۱/۹۸ \quad \text{و} \quad T_{۳۱}=\frac{(۱۳۵/۷۴\times۰/۹۸)(۱۲/۹۵\times۰/۹۷)}{۱۲/۹۵\times۰/۹۸+۲۲/۷۹\times۱/۰۴}=۱۲/۱۳$$

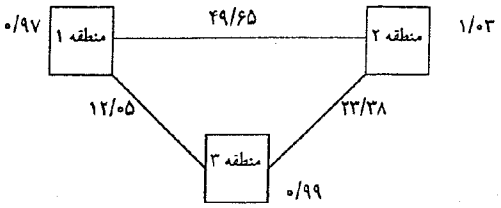
$$\frac{۱۲/۱۳+۱۱/۹۸}{۲}=۱۲/۰۵$$

$$T_{۲۳}=\frac{(۷۱/۹۹\times۱/۰۴)(۲۲/۷۹\times۰/۹۸)}{۲۲/۷۹\times۰/۹۸+۴۹/۲\times۰/۹۷}=۲۳/۸۷ \quad \text{و} \quad T_{۳۲}=\frac{(۳۵/۷۴\times۰/۹۸)(۲۲/۷۹\times۱/۰۴)}{۲۲/۷۹\times۱/۰۴+۱۲/۹۵\times۰/۹۷}=۲۲/۸۹$$

$$\frac{۲۲/۸۹+۲۳/۸۷}{۲}=۲۳/۳۸$$

نتایج تبادل سفر تکرار چهارم:

$$F_۳=\frac{۳۵}{۲۳/۳۸+۱۲/۱۳}=۰/۹۹ \quad \text{و} \quad F_۲=\frac{۷۵}{۴۹/۶۵+۲۳/۳۸}=۱/۰۳ \quad \text{و} \quad F_۱=\frac{۶۰}{۴۹/۶۵+۱۲/۰۵}=۰/۹۷$$

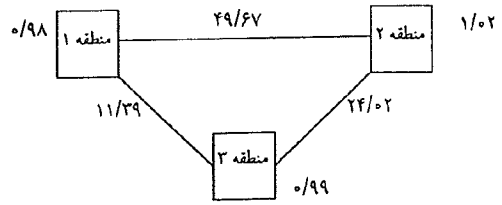


$T_{۳۲} = ۲۳/۶۱$ و $T_{۲۳} = ۲۴/۴۲$ $T_{۳۱} = ۱۱/۳۲$ و $T_{۱۳} = ۱۱/۴۶$ $T_{۱۲} = ۴۸/۵۳$ و $T_{۲۱} = ۵۰/۸۰$

$$\frac{۲۴/۴۲+۲۳/۶۱}{۲} = ۲۴/۰۲ \quad \text{و} \quad \frac{۱۱/۴۶+۱۱/۳۲}{۲} = ۱۱/۳۹ \quad \text{و} \quad \frac{۵۰/۸۰+۴۸/۵۳}{۲} = ۴۹/۶۷$$

نتایج تبادل سفر تکرار پنجم:

$$F_۳ = \frac{۳۵}{۳۵/۴۱} = ۰/۹۹ \quad \text{و} \quad F_۲ = \frac{۷۵}{۴۹/۶۷+۲۴/۰۲} = ۱/۰۲ \quad \text{و} \quad F_۱ = \frac{۶۰}{۴۹/۶۷+۱۱/۳۹} = ۰/۹۸$$

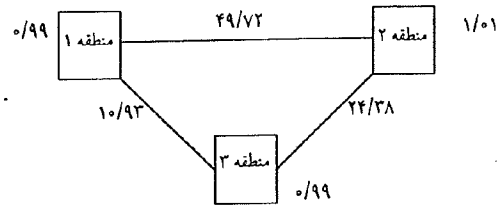


$T_{۳۲} = ۲۴/۰۸$ و $T_{۲۳} = ۲۴/۶۷$ $T_{۳۱} = ۱۰/۸۹$ و $T_{۱۳} = ۱۰/۹۷$ $T_{۱۲} = ۴۸/۹۴$ و $T_{۲۱} = ۵۰/۵۰$

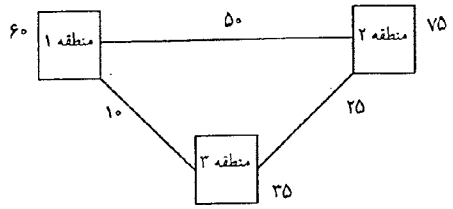
$$\frac{۲۴/۶۷+۲۴/۰۸}{۲} = ۲۴/۳۸ \quad \text{و} \quad \frac{۱۰/۹۷+۱۰/۸۹}{۲} = ۱۰/۹۳ \quad \text{و} \quad \frac{۵۰/۵۰+۴۸/۹۴}{۲} = ۴۹/۷۲$$

نتایج تبادل سفر تکرار ششم:

$$F_۳ = \frac{۳۵}{۲۴/۳۸+۱۰/۹۳} = ۰/۹۹ \quad F_۲ = \frac{۷۵}{۴۹/۷۲+۲۴/۳۸} = ۱/۰۱ \quad F_۱ = \frac{۶۰}{۴۹/۷۲+۱۰/۹۳} = ۰/۹۹$$



با توجه به اینکه ضرائب رشد به اندازه کافی به یک نزدیک شده‌اند می‌توان محاسبات تکراری را در همین مرحله خاتمه داد، و با گرد کردن مقادیر تبادل سفر نتیجه نهائی را به شکل زیر ارائه نمود.



در میان روش‌های ضریب رشد، روش دیترویت و فراتر از نظر بیان ریاضی بهتر بوده و از نظر کارآئی محاسباتی نیز، کامل‌تر از روش‌های ضریب رشد یکنواخت و ضریب رشد متوسط می‌باشند. بهرحال روش‌های ضریب رشد دارای معایب و مزایائی به شرح زیر هستند:

الف - مزایا:

۱ - ساده و ارزان بوده و کاربرد آنها مشکل نمی‌باشد.

۲ - امتحان خوبی داده‌اند.

۳ - به کالبیره شدن احتیاج ندارند.

۴ - به متغیرهای مسافت و زمان نیاز ندارند.

۵ - برای جریان‌های جهت‌دار ساعت اوج قابل استفاده هستند.

۶ - برای بهنگام نمودن اطلاعات مبداء و مقصد مناسب هستند.

ب - معایب:

۱ - برای هر نقطه یک ضریب رشد، که تا سال طراحی ثابت است، در نظر گرفته می‌شود.

۲ - عدم توانائی کافی در منظور نمودن تغییرات اساسی کاربری زمین یا فعالیت‌های بین منطقه‌ای.

۳ - هیچگونه فاکتوری که تأثیر زمان، هزینه سفر یا عوامل بازدارنده دیگر را در نظر بگیرد وجود ندارد.

۴ - مناطقی که تبادل سفر آنها در سال پایه صفر باشد، در سال طراحی نیز صفر خواهد بود.

۵ - ممکن است در توزیع اولیه بخاطر نمونه‌گیری، یا عوامل دیگر خطاهایی بوجود آید.

مدل فرصت‌های بینابینی

مدل دیگری که برای توزیع سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل فرصت‌های بینابینی است، که از توان تحلیلی خوبی برخوردار است و بصورت احتمالی عمل می‌کند. این مدل بر این اساس استوار است که کلیه نقاط منطقه تحت مطالعه با فعالیتی مشخص و مورد توجه مسافر (از نظر مقصد سفر قرار گرفتن) دارای احتمال مساوی هستند، و بعلت اینکه مورد تمایلی به پیمودن مسافتی بیشتر از مقدار لازم را ندارد، این مدل فرض می‌کند که مناطق نزدیکتر به مبدأ سفر نسبت به مناطقی که خیلی دورتر قرار گرفته‌اند دارای احتمال بیشتری در ارضاء تمایلات مسافر هستند. به عبارت دیگر، برای یک سفر تمام مقصدهای ممکن را در نظر می‌گیرد و در صورتی که نزدیکترین مقصد رضایتبخش نباشد مقصد نزدیکتر بعدی را مورد توجه قرار می‌دهد تا اینکه یک مقصد مناسب پیدا شود.

سفرهای داخل حجم V و حجم $V + dv$ را، که نشان دهنده نقاط مقصد می‌باشد، در نظر بگیرید. احتمال اینکه یک سفر در حجم نقاط مقصد مشخص تمام شود برابر است با احتمال اینکه این حجم نقاط شامل یک مقصد مورد قبول باشد ضربدر احتمال اینکه یک مقصد مورد قبول نزدیکتر به مبدأ سفر پیدا نشده باشد. اگر تمام مقصدها از نظر پذیرفته شدن دارای احتمال مساوی باشند:

L = احتمال پذیرفته شدن یک مقصد

P = احتمال اینکه یک سفر در قبل از منطقه مورد بحث به اتمام رسیده باشد، که یک تابع احتمالاتی است.

به این ترتیب احتمال اینکه مقصد قابل قبول در حجم کوچک dv وجود داشته باشد برابر است با ldv، و احتمال اینکه مقصد مناسبی قبل از این قسمت وجود نداشته باشد برابر است با $P-1$، و در نتیجه احتمال قرار گرفتن مقصد سفر در حجم dv برابر dP خواهد شد.

$$dP = ldv\ (1-P)$$

یا

$$\frac{dP}{1-P} = ldv$$

با حل معادله دیفرانسیل فوق خواهیم داشت:

$$-ln\ (1-p) = lv+k$$

در حجم $V = 0$ تابع احتمالی P نیز صفر خواهد بود:

$$ln1 = 0+k \Rightarrow k = 0$$

$$ln\ (1-P) = -lv$$

بنابراین: (۴-۱۵)

و: $1-P = e^{-lv}$ یا: $P = 1-e^{-lv}$

استفاده از تابع احتمالاتی p برای توزیع سفر بصورت زیر خواهد شد:

$$T_{ij} = P_i x[1-e^{-lv_j} - (1-e^{-lv_{j-1}})]$$

که:

T_{ij} = سفرهای آینده از منطقه i به منطقه j

P_i = کل سفر تولید شده در منطقه i

$1-e^{-lvj}$ = احتمال مورد قبول واقع شدن مقصد تا آخر منطقه j

$1-e^{-lvj-1}$ = احتمال مورد قبول واقع شدن مقصد قبل از منطقه j

با این ترتیب شکلی کلی مدل بصورت زیر می‌باشد:

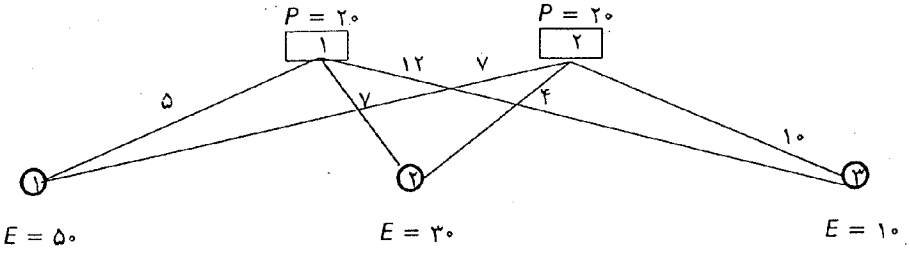
$$T_{ij} = P_i \, (e^{-lvj-1} - e^{-lvj}) \qquad (۴-۱۶)$$

V_j = جذب سفر منطقه j

کالیبره کردن مدل فرصت‌های بینابینی

منظور از کالیبره کردن این مدل پیداکردن l، احتمال پذیرش یک مقصد، بعنوان پارامتر مدل است (معادله ۱۶-۴). می‌توان با استفاده از معادله ۱۵-۴، l را تعیین نمود، زیرا در این معادله مقدار طرف سمت چپ یک تابع خطی ساده نسبت به v است که l شیب خط مزبور می‌باشد، و در واقع کالیبره کردن مدل همان پیداکردن پارامترهای یک مدل برگشتی خطی ساده است.

مثال: مثال ساده زیر را که دارای دو مبدأ و سه مقصد سفر است در نظر بگیرید. برای هر نقطه مبدأ مقدار جمعیت و برای نقاط مقصد فرصت‌های اشتغال، ، بعنوان معیار جذب سفر داده شده است. هزینه‌های سفر در هر محور که مبدأ را به مقصد وصل می‌کند نیز مشخص می‌باشد. سفرهای مشاهده شده با توجه به مبدأ و مقصد آنها و بر حسب منظور از سفر (مثلاً خرید) در جدول آمده است.



i \ j	۱	۲	۳	
۱	۰/۶۷	۰/۲۰	۰/۱۳	۱/۰۰
۲	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۱۳	۱/۰۰

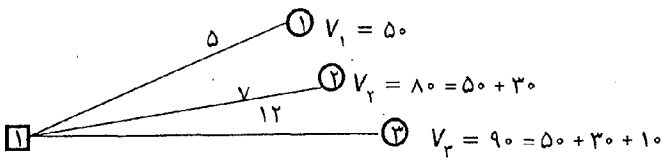
π_{ij}

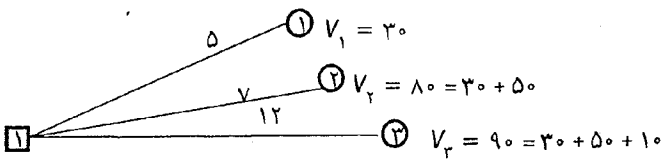
i \ j	۱	۲	۳	
۱	۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۵
۲	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۵
	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۱۴	۱/۰۰

P_{ij}

i \ j	۱	۲	۳	
۱	۳	۲	۱۵	۱۰
۲	۵	۲	۱۵	۸
	۸	۴	۳۰	۱۸

n_{ij}=سفرهای مشاهده‌شده‌برای خرید





مرتب شده

i	j	C_{ij}	j	E	V_j	π_{ij}	P(Vj)	۱-P(Vj)	ln[۱-P(Vj)]
	۱	۵	۱	۵۰	۵۰	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۳۳	-۱/۱۱
۱	۲	۷	۲	۳۰	۸۰	۰/۲۰	۰/۸۷	۰/۱۳	-۲/۰۴
	۳	۱۲	۳	۱۰	۹۰	۰/۱۳	۱/۰۰	۰	-
	۱	۷	۲	۵۰	۸۰	۰/۵۳	۰/۸۶	۰/۱۳	-۲/۰۴
۲	۲	۴	۱	۳۰	۳۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۷	-۰/۴۰۵
	۳	۱۰	۳	۱۰	۹۰	۰/۱۳	۱/۰۰	۰	-

با استفاده از E (اشتغال) بعنوان معیار فرصت‌های موجود، مقادیر V_j برای هر کدام از مبدأها در شکل زیر محاسبه شده است. بهمین ترتیب π_{ij} های محاسبه شده در جدول فوق نیز بصورت مقادیر تابع احتمالی $P[V_j]$، با جمع کردن آنها بر حسب ترتیب زمان سفرها (که در شکل نشان داده شده است)، در می‌آید.

نتایج حاصل از مقادیر V_j و $ln\ [۱-p(V_j)]$ در جدول زیر نشان داده شده و نهایتاً، با توجه به معادلات برگشتی خطی (رگرسیون)، شیب بهترین خط محاسبه می‌گردد.

با استفاده از روش برگشتی خطی (رگرسیون) می‌توان مقدار l را بدست آورد:

$$y = lx \qquad l = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2
۵۰	-۱/۱۱	-۵۵/۵۰	۲۵۰۰
۸۰	-۲/۰۴	-۱۶۳/۲۰	۶۴۰۰
۳۰	-۰/۴۰۵	-۱۲/۱۵	۹۰۰
جمع		-۲۳۰/۸۵	۹۸۰۰

$$l = \frac{+۲۳۰/۸۵}{۹۸۰۰} = ۰/۰۲۳۵$$

و بنابراین $\pi_{ij} = e^{-۰/۰۲۳۵Vj-۱} - e^{-۰/۰۲۳۵Vj-۱}$

یا: $T_{ij} = P_i\ (e^{-۰/۰۲۳۵Vj-۱} - e^{-۰/۰۲۳۵Vj-۱})$

مدل جاذبه

مدل جاذبه، همانطور که از اسم آن بر می‌آید، از قانون جاذبه نیوتن اقتباس شده است. در تدوین این مدل، محققین متوجه این شباهت جالب شدند که تعداد سفرها، بخصوص در مورد سفرهای خرید، با توان سفر موجود در مبدأ و جذابیت مقصد مستقیماً و با فاصله (یا زمان سفر) بطور معکوس متناسب است. یعنی می‌توان نوشت:

$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{D_{ij}^{\ n}}$$

که:

P_i و P_j جمعیت مناطق i و j را نشان می‌دهد و D_{ij} فاصله یا زمان سفر را، این مدل بعداً توسط شخصی بنام وُرهی (Vorhee) بصورت زیر درآمد:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j/D^b_{ij}}{\sum_j A_j/D^b_{ij}}$$

که:

T_{ij} = تعداد سفرهای تولید شده در منطقه i که به منطقه j جذب می‌شود.

P_i = کل سفرهای تولید شده در منطقه i

A_i = تعداد سفرهای جذب شده به منطقه i

D_{ij} = فاصله یا زمان سفر بین منطقه i , j

b = توان D که باید بطور تجربی تعیین شود و نشان دهنده پراکندگی فضائی بین مناطق بطورکلی است.

مدل جاذبه از آن زمان‌ها تحت تأثیر تغییرات دیگری نیز قرار گرفته که از نظر مفهوم حالت کلی و واقعی پیدا کند. شکل مدل که از امروزه در بسیاری از موارد بکار برده می‌شود بصورت زیر می‌باشد:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_i F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=۱}^{n} A_i F_{ij} K_{ij}} \qquad (۴-۱۷)$$

که F_{ij} را ضریب زمان سفر می‌نامند، و K_{ij} ضریب دیگری است که برای در نظر گرفتن شکل الگوهای سفر براساس روابط اجتماعی و اقتصادی بین دو منطقه، مثلاً ارتباط‌های خاص اجتماعی یا اقتصادی که میان بعضی مناطق ممکن است وجود

داشته باشد، بکار می‌رود اساساً استفاده از ضریب K_{ij} به این دلیل است که ضرایب F_{ij} به تنهائی قادر به نشان دادن روابط موجود در تبادل سفر در سال پایه نیستند. برای مثال افرادی که دارای درآمد بالا هستند تمایل بیشتری برای انجام سفرهای کاری طولانی‌تر، نسبت به افراد کم درآمدتر، دارند.

تغییر عمده دیگری که به آن باید توجه شود اینست که دیگر لازم نیست ضریب زمان سفر به فرم $\frac{1}{t_{ij}^b}$ باشد، می‌تواند فرم‌های دیگری مانند:

$$F = at_{ij}^{-b}$$

$$F = ate^{-bt^2+ct+d}$$

$$F = \frac{1}{a+bt}$$

را داشته باشد. تمام این فرمهای ریاضی نشان می‌دهد که F باید یک تابع نزولی از t باشد، یعنی با زیاد شدن زمان سفر کم شود.

کالیبره کردن مدل جاذبه

پس از تعیین مسیرهائی که دارای حداقل زمان سفر بین مراکز مناطق مختلف هستند باید مدل جاذبه را برای پیدا کردن توان پیش بینی توزیع سفرهای آینده، با استفاده از تولید و جذب سفرهائی که برای هر منطقه و از تحلیل‌های قبلی بدست آمده است، کالیبره نمود. منظور از کالیبره کردن این مدل تعیین مقادیر ضریب زمان سفر (F_{ij}) و ضرایب تصحیح اقتصادی اجتماعی (K_{ij}) است. ضرایب F_{ij} و K_{ij} که براساس جدول سفرها در سال پایه تعیین می‌شود، در دراز مدت ثابت فرض می‌شود و بکمک آنها می‌توان تبادل سفر بین مناطق مختلف را در سال طراحی پیداکرد. بخاطر شکل معادله ۱۷-۴، روش مشخصی برای تعیین ضرایب فوق الذکر از روی T_{ij}، P_i و A_j های معلوم وجود ندارد.

یک مقدار اولیه برابر با ۱/۰ برای تمام K_{ij} ها فرض می‌شود و سپس با روش سعی و خط مقادیر F_{ij} برآورد می‌شود، البته با این شرایط که:

$$\sum P_i = \sum A_j \quad , \quad \sum T_{ij} = P_i \quad , \quad \sum T_{ij} = A_j$$

مراحل زیر برای تخمین ضرایب F_{ij} مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱ - تمام K_{ij} ها را برابر یک فرض کنید.

۲ - مقادیر اولیه‌ای برای ضرایب زمان سفر F_{ij} (معمولاً ۱/۰) در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه (یا هر فاصله زمانی دیگر) در نظر بگیرید.

۳ - مناطق را در فاصله‌های زمانی انتخاب شده گروه بندی کنید.

۴ - با استفاده از این ضرایب زمان سفر فرض شده و معادله ۱۷-۴ سفرها را بین مناطق مختلف توزیع کنید.

۵ - تعداد سفرهائی راکه با توجه به مدل جاذبه بدست می‌آید با تعداد سفرهای موجود در سال پایه، برای گروه‌های مختلف فاصله زمانی (مرحله ۲)، کنترل کنید.

۶ - ضرایب زمان سفر را در هر فاصله زمانی بصورت زیر تصحیح کنید.

$$F_a = F_o \times \frac{\text{کل سفرهای مشاهده شده}}{\text{کل سفرهای محاسبه شده}} \quad \text{تصحیح شده}$$

۷ - وقتی که نسبت سفرهای مشاهده شده به سفرهای محاسبه شده نزدیک به ۱/۰ شد کالیبره کردن ضرایب F_{ij} را متوقف کنید، به عبارت دیگر تصحیح بیشتر ضرایب F_{ij} نسبت به ضرایب قبلی (F_o) لازم نیست.

مثال: برای درک بهتر روش کالیبره کردن مدل جاذبه، مثال فرضی زیر را با سه منطقه و زمان سفرها و تبادل سفرهای داده شده، در نظر می‌گیریم. تمام K_{ij} ها را برابر ۱/۰ فرض کرده و گروه‌بندی

جدول زمان سفر و تبادل سفر در سال پایه

ماتریس تبادل سفر					ماتریس زمان سفر (دقیقه)			
	به					به		
P_i	۳	۲	۱	از	۳	۲	۱	از
۵۵۰	۱۰۰	۳۵۰	۱۰۰	۱	۱۳	۹	۲	۱
۶۰۰	۲۱۰	۱۵۰	۲۴۰	۲	۱۱	۴	۱۰	۲
۳۸۰	۲۰۰	۱۲۰	۶۰	۳	۳	۱۲	۱۴	۳
۱۵۳۰	۵۱۰	۶۲۰	۴۰۰	A_j				

مناطق را براساس فاصله زمانی ۵ دقیقه‌ای انجام می‌دهیم.
مرحله اول: فرض کنید $F_{ij} = ۱/۰$ و تمام T_{ij} ها را با توجه به مدل جاذبه پیدا کنید، و با مقادیر مشاهده شده (داده شده) مقایسه کنید. تحت این شرایط شکل مدل بصورت:

$$T_{ij} = p_i \frac{Aj}{\sum Aj}$$

درمی‌آید که از آنجا می‌توان تبادل سفرهای جدید را پیدا کرد:

$$T_{۱۳} = ۵۵۰ \times \frac{۵۱۰}{۱۵۳۰} = ۱۸۳ \quad \text{و} \quad T_{۱۲} = ۵۵۰ \times \frac{۶۲۰}{۱۵۳۰} = ۲۲۳$$

$$T_{۱۱} = ۵۵۰ \times \frac{۴۴۰}{۱۵۳۰} = ۱۴۴ \quad \text{و}$$

$$T_{۳۳} = ۳۸۰ \times \frac{۵۱۰}{۱۳۵۰} = ۱۲۷ \quad \text{و} \quad \ldots\ldots\ldots$$

و بدین ترتیب ماتریس تبادل سفر مرحله اول بدست می‌آید:

i \ j	۱	۲	۳	P_i
۱	۱۴۴	۲۲۳	۱۸۳	۵۵۰
۲	۱۵۷	۲۴۳	۲۰۰	۶۰۰
۳	۹۹	۱۵۴	۱۲۷	۳۸۰
Aj	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	۱۵۳۰

با گروه‌بندی نتایج در فواصل ۵ دقیقه‌ای زمان سفر، و با استفاده از مرحله ششم کالیبره کردن که در بالا ذکر شد، اولین سری ضرایب F_{ij} بدست می‌آید:

جدول محاسبه اولین مرحله ضرایب زمان سفر (F_{ij})

اولین F_{ij} های بدست آمده	اولین سفرهای محاسبه شده	فرض شده F_{ij}	کل سفرهای مشاهده شده	سفرهائی که درگروه قرار می‌گیرند	فاصله زمان سفر
(۴۵۰/۵۱۴) × ۱/۰ = ۰/۸۷۵	۵۱۴	۱/۰	۴۵۰	۳-۳ و۲-۲ و۱-۱	۰/۱-۵/۰
(۵۹۰/۳۸۰) × ۱/۰ = ۱/۵۵۳	۳۸۰	۱/۰	۵۹۰	و۲-۱	
(۴۹۰/۶۳۶) × ۱/۰ = ۰/۷۷۰	۶۳۶	۱/۰	۴۹۰	۲-۳و۱-۳و۳-۲و۳-۱	۱۰/۱-۱۵/۰

F_{ij}های محاسبه شده در مرحله اول:

i \ j	۱	۲	۳	
۱	۰/۸۷۵	۱/۵۵۳	۰/۷۷۰	۵۵۰
۲	۱/۵۵۳	۰/۸۷۵	۰/۷۷۰	۶۰۰
۳	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۸۷۵	۳۸۰
	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	۱۵۳۰

حال با توجه به ضرایب سفر مرحله اول و استفاده از رابطه زیر تبادل سفرهای جدید را محاسبه می‌کنیم:

$$T_{۱۱} = \frac{۵۵۰(۴۰۰)(۰/۸۷۵)}{(۴۰۰)(۰/۸۷۵)+(۶۲۰)(۱/۵۵۳)+(۵۱۰)+(۰/۷۷۰)} = ۱۱۳$$

$$T_{۱۲} = \frac{۵۵۰(۶۲۰)(۱/۵۵۳)}{(۴۰۰)(۰/۸۷۵)+(۶۲۰)(۱/۵۵۳)+(۵۱۰)+(۰/۷۷۰)} = ۳۱۰$$

.....

$$T_{۳۳} = \frac{۳۸۰(۵۱۰)(۰/۸۷۵)}{(۴۰۰)(۰/۷۷)+(۶۲۰)(۰/۷۷)+(۵۱۰)(۰/۸۷۵)} = ۱۳۸$$

تبادل سفرهای محاسبه شده در مرحله دوم:

i \ j	۱	۲	۳	P_i
۱	۱۱۳	۳۱۰	۱۲۷	۵۵۰
۲	۱۵۷	۲۴۳	۲۰۰	۶۰۰
۳	۹۵	۱۴۷	۱۳۸	۳۸۰
Aj	۴۴۸	۶۶۶	۴۱۶	۱۵۳۰

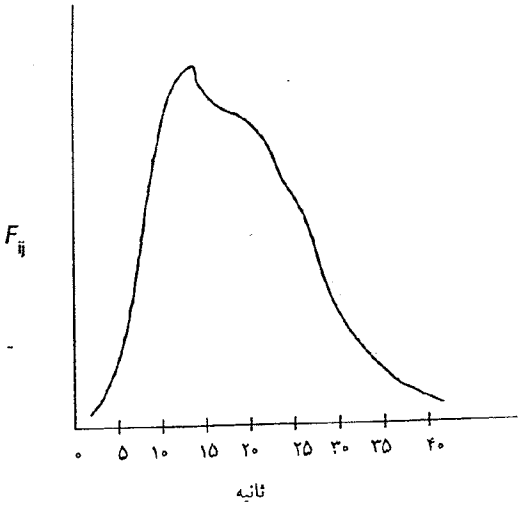
با گروه بندی نتایج به شکل مرحله اول، ضرایب زمان سفر مرحله دوم را می‌توان پیدا نمود:

ضرایب زمان سفر بدست آمده در مرحله سوم	سفرهای محاسبه شده در مرحله سوم	ضرایب زمان سفربدست آمده در مرحله دوم	سفرهای محاسبه شده در مرحله دوم	فاصله زمان سفر
(۴۵۰÷۴۵۲)(۰/۸۵۶) = ۰/۸۵۲	۴۵۲	(۴۵۰÷۴۶۰)(۰/۸۷۵) = ۰/۸۵۶	۴۶۰	۰/۱-۵/۰
(۵۹۰÷۵۸۱)(۰/۶۶۹) = ۱/۶۹۵	۵۸۱	(۴۹۰÷۵۵۳)(۱/۵۵۳) = ۰/۶۶۹	۵۵۰	۵/۱۰-۱۰/۰
(۴۹۰÷۴۹۸)(۰/۷۲۶) = ۰/۷۱۰	۴۹۸	(۴۹۰÷۵۲۰)(۰/۷۷۰) = ۰/۷۲۶	۵۲۰	۱۰/۱-۱۵/۰

F_{ij} محاسبه شده در مرحله دوم :

i \ j	۱	۲	۳	P_i
۱	۰/۸۵۶	۱/۶۶۹	۰/۷۲۶	۵۵۰
۲	۱/۶۶۹	۰/۸۵۶	۰/۷۲۶	۶۰۰
۳	۰/۷۲۶	۰/۷۲۶	۰/۸۵۶	۳۸۰
Aj	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	۱۵۳۰

چون سفرهای محاسباتی در فاصله ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ سفرهای مشاهداتی می‌باشد (برای گروه‌های زمان سفر یکسان)، محاسبات تکراری متوقف می‌شود و F_{ij} های مرحله سوم برای پیش بینی مورد قبول واقع می‌شود. قبل از انتخاب نهائی باید ضرایب زمان سفر کنترل شود که آیا نسبت به زمان حالت میرائی دارد یا خیر به عبارت دیگر اگر آنها را بر حسب زمان سفر رسم کنیم منحنی شبیه شکل زیر باید بدست آید.



$$T_{11} = \frac{۵۵۰(۴۰۰)(۰/۸۵۶)}{۴۰۰(۰/۸۵۶)+۶۲۰(۱/۶۶۹)+۵۱۰+(۰/۷۲۶)} = ۱۰۷$$

$$T_{12} = \frac{۵۵۰(۶۲۰)(۰/۶۶۹)}{۴۰۰(۰/۸۵۶)+۶۲۰(۱/۶۶۹)+۵۱۰+(۰/۷۲۶)} = ۳۲۶$$

.....

$$T_{33} = \frac{۳۸۰(۵۱۰)(۰/۸۵۶)}{(۴۰۰)(۰/۷۷۶)+۶۲۰(۰/۷۲۶)+۵۱۰+(۰/۸۵۶)} = ۱۴۱$$

تبادل سفرهای محاسبه شده در مرحله سوم:

i \ j	۱	۲	۳	
۱	۱۰۷	۳۲۶	۱۱۷	۵۵۰
۲	۲۵۵	۲۰۳	۱۴۲	۶۰۰
۳	۹۴	۱۴۵	۱۴۱	۳۸۰
Aj محاسبه‌شده	۴۵۶	۶۷۲	۴۰۰	۱۵۳۰
Aj مشاهده شده	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	
ضرایب ستونی	۰/۸۷۵	۰/۹۲	۱/۲۷۵	

تبادل سفرهای مرحله سوم که در جدول فوق آمده است، نشان دهنده این است که تولید سفرها، P_i، با مقادیر مشاهده شده برابر است، ولی در مورد جذب سفرها، A_j، این مطلب درست نیست. در روش سعی و خطائی که بکار برده شد هیچگونه ضمانتی بر اینکه جمع جذب سفرهای هر منطقه، که توسط مدل پیش بینی می‌شود، با مقادیری که در مشاهدات بدست آمده برابر باشد وجود ندارد. بنابراین بمنظور برابر شدن مقدار جذب یا تولید سفرها با مقادیر مشاهداتی از یک سری ضرایب ستونی و ردیفی استفاده می‌شود. این عمل بصورت زیر انجام می‌گردد:

۱ - تمام سفرها در ضریبی که از تقسیم جذب مشاهداتی به جذب محاسباتی بدست می‌آید (ضرایب ستونی) ضرب می‌شوند.

۲ - تمام سفرهای تصحیح شده در مرحله ۱، در ضریبی که از تقسیم تولید سفرهای مشاهداتی به تولید سفرهای محاسباتی بدست می‌آید (ضرایب ردیفی)ضرب می‌گردد.

۳ - دو مرحله فوق به همین ترتیب به هنگامی که A_jها، و P_iهای محاسبه شده به اندازه کافی به مقادیر مشاهده شده نزدیک شده باشند ادامه پیدا می‌کند.

i \ j	۱	۲	۳	محاسباتی	مشاهداتی	ضرایب ردیفی
۱	۹۵	۳۰۰	۱۴۹	۵۴۴	۵۵۰	۱/۰۱۱
۲	۲۲۳	۱۸۷	۱۸۱	۵۹۱	۶۰۰	۱/۰۱۵
۳	۸۲	۱۳۳	۱۸۰	۳۹۵	۳۸۰	۹۶۲
	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	۱۵۳۰		

نتیجه نهائی در جدول زیر داده شده است (بعد از دو مرتبه اعمال ضرایب).

i \ j	۱	۲	۳	P_i
۱	۹۶	۳۰۲	۱۵۲	۵۵۰
۲	۲۲۵	۱۹۰	۱۸۵	۶۰۰
۳	۷۹	۱۲۸	۱۷۳	۳۸۰
Aj	۴۰۰	۶۲۰	۵۱۰	۱۵۳۰

تعیین ضرائب k_{ij} - ضرایب k_{ij} از ماتریس متعادل شده نهائی و با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$k_{ij} = \frac{T_{ij}(\text{مشاهده شد})}{T_{ij}(\text{محاسبه شده})}$$

برای مثال: $k_{11} = \frac{۱۰۰}{۹۶} = ۱/۰۴۲$

$$k_{12} = \frac{۳۵۰}{۳۰۲} = ۱/۱۵۹ \quad و \quad k_{13} = \frac{۱۰۰}{۱۵۲} = ۰/۶۵۸$$

در دو جدول نتایج نهائی ضرایب زمان سفر (F_{ij}) و اقتصادی اجتماعی (K_{ij}) را نشان می‌دهد.

i \ j	۱	۲	۳
۱	۱/۰۴۲	۱/۱۵۹	۰/۶۵۸
۲	۱/۰۶۷	۰/۷۸۹	۱/۱۳۵
۳	۰/۷۵۹	۰/۹۳۸	۱/۱۵۶

K_{ij} های نهائی

i \ j	۱	۲	۳
۱	۰/۸۵۲	۱/۶۹۵	۰/۷۱۴
۲	۱/۶۹۵	۰/۸۵۲	۰/۷۱۴
۳	۰/۷۱۴	۰/۷۱۴	۰/۸۵۲

F_{ij} های نهائی

پیش بینی تبادل سفرهای آینده با استفاده از مدل جاذبه کالیبره شده. بعد از اینکه مدل جاذبه کاملاً کالیبره شد برای پیش بینی سفرهای سال طراحی آماده است. برای مثال، با استفاده از ضرایب بدست آمده و تولید و جذب سفرهای سال طراحی (پیش بینی شده) می‌توان توزیع سفرها را انجام داد.

جدول جذب و تولید سفرهای سال طراحی

	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
تولید سفر	۷۵۰	۱۰۰۰	۹۰۰
جذب سفر	۶۰۰	۱۱۰۰	۹۵۰

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum A_j F_{ij} K_{ij}}$$

مخرج کسر مدل جاذبه: $Z_i = \sum A_j F_{ij} K_{ij}$

$Z_۱ = ۶۰۰(۰/۸۵۲)(۱/۰۴۲)+۱۱۰۰(۱/۶۹۵)(۱/۱۵۹)+۹۵۰(۰/۷۱۴)(۰/۶۵۸)$
$= ۳۱۳۹/۹۵$

$Z_۲ = ۶۰۰(۱/۶۹۵)(۱/۰۶۷))+۱۱۰۰(۰/۸۵۲)(۰/۷۸۹)+۹۵۰(۰/۷۱۴)(۱/۱۳۵)$
$= ۲۵۹۴/۵۰$

$$Z_{۳}=۶۰۰(۰/۷۱۴)(۰/۷۹۵)+۱۱۰۰(۰/۷۱۴)(۰/۹۳۸)+۹۵۰(۰/۸۵۲)(۱/۱۵۶)$$
$$= ۱۹۹۷/۵۳$$

$$T_{۱۱} = \frac{۷۵۰(۶۰۰)(۰/۸۵۲)(۱/۰۴۲)}{۳۱۳۹/۹۵} = ۱۲۷$$

$$T_{۱۲} = \frac{۷۵۰(۱۱۰۰)(۱/۶۹۵)(۱/۱۵۹)}{۳۱۳۹/۹۵} = ۵۱۶$$

$$T_{۱۳} = \frac{۷۵۰(۹۵۰)(۰/۷۱۴)(۰/۶۵۸)}{۳۱۳۹/۹۵} = ۱۰۷$$

$$T_{۲۱} = \frac{۱۰۰۰(۶۰۰)(۱/۶۹۵)(۱/۰۶۷)}{۲۵۹۴/۵} = ۴۱۸$$

.....

$$T_{۳۳} = \frac{۹۰۰(۹۵۰)(۰/۸۵۲)(۱/۱۵۶)}{۱۹۹۷/۵۳} = ۴۲۲$$

که نتیجه این تقسیم سفر بصورت زیر می‌باشد:

i \ j	۱	۲	۳	
۱	۱۲۷	۵۱۶	۱۰۷	۷۵۰
۲	۴۱۸	۲۸۵	۲۹۷	۱۰۰۰
۳	۱۴۶	۳۳۲	۴۲۲	۹۰۰
Aj محاسباتی	۶۹۱	۱۱۳۳	۸۲۶	۲۶۵۰
Aj مشاهداتی	۶۰۰	۱۱۰۰	۹۵۰	
ضرایب ستونی	۰/۸۶۸	۰/۹۷۱	۱/۱۵۰	

بعد از اینکه جدول تبادل سفرها بدست آمد. ضرایب ستونی و ضرایب ردیفی که در کالیبره کردن مدل نیز مورد استفاده قرار گرفت، محاسبه می‌شود. بعلت این که جمع سفرها به یک منطقه لزوماً برابر با جذب سفر پیش بینی شده آن منطقه نمی‌شود، این عمل ضروری است.

i \ j	۱	۲	۳	محاسبه‌شده P_i	مشاهده‌شده P_i	ضرایب ردیفی
۱	۱۱۰	۵۰۱	۱۲۳	۷۳۴	۷۵۰	۱/۰۲۲
۲	۳۶۳	۲۷۷	۳۴۲	۹۸۲	۱۰۰۰	۱/۰۱۸
۳	۱۲۷	۳۲۲	۴۸۵	۹۳۴	۹۰۰	۰/۹۶۴
	۶۰۰	۱۱۰۰	۹۵۰	۲۶۵۰		

i \ j	۱	۲	۳	
۱	۱۱۲	۵۱۲	۱۲۶	۷۵۰
۲	۳۷۰	۲۸۲	۳۴۸	۱۰۰۰
۳	۱۲۲	۳۱۰	۴۶۸	۹۰۰
Aj محاسباتی	۶۰۴	۱۱۰۴	۹۴۲	۲۶۵۰
Aj مشاهداتی	۶۰۰	۱۱۰۰	۹۵۰	
ضرایب ستونی	۰/۹۹۳	۰/۹۹۶	۱/۰۰۹	

i \ j	۱	۲	۳	محاسباتی P_i	مشاهداتی P_i	ضرایب ردیفی
۱	۱۱۱	۵۱۰	۱۲۷	۷۴۸	۷۵۰	۱/۰۰۳
۲	۳۶۸	۲۸۱	۳۵۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱
۳	۱۲۱	۳۰۹	۴۷۲	۹۰۲	۹۰۰	۰/۹۹۸
Aj	۶۰۰	۱۱۰۰	۹۵۰	۲۶۵۰		

توضیحاتی در مورد مدل جاذبه – مدل جاذبه، همانطور که قبلاً نیز مطرح شد، از مدل‌های بسیار قوی بوده و کاربرد زیادی دارد. متداول بودن و استفاده زیاد از مدل جاذبه به خاطر مزایای زیر است:

۱ – رقابت در سفر بین کاربری‌های مختلف زمین را با مورد توجه قرار دادن جذب سفر، نسبت به تولید سفر، در نظر می‌گیرد.

۲ – نسبت به زمان سفر بین مناطق حساس است.

۳ – منظور از سفر را، به شکلی که در تبادل سفر بین مناطق تأثیر می‌گذارد، تشخیص می‌دهد.

۴ – درک آن راحت است (حداقل درنگاه اول)، و بنابراین بکارگیری آن برای مناطق مشخص ساده است.

بعضی از معایب آن عبارت است از:

۱ – احتمال کمی وجود دارد که ضرایب زمان سفر نسبت به منظور از سفر، در کل ناحیه شهری و تا سال طراحی ثابت بماند.

۲ – ماهیت متغیر زمان سفر بین مناطق مختلف نسبت به ساعات روز، استفاده از ضرایب زمان سفر ثابت را زیر سئوال قرار می‌دهد.

۳ – سفرهای نزدیک را اضافی و سفرهای دور را کم تخمین می‌زند.

۴ – با اطلاعات واقعی تطابق تقریبی نشان می‌دهد، و برای

متعادل نمودن تعداد کل تولید و جذب سفرها، "بازی کردن" زیاد با ضرایب K_{ij} لازم است.

تفکیک سفر

قدم بعدی در تحلیل سفرهای شهری تعیین مجدد جریان‌های ترافیکی روی شبکه حمل و نقل می‌باشد. برای انجام این هدف، در ابتدا لازم است تخمین زده شود که مردم چگونه سفر می‌کنند. بیشتر سفرهائی که در یک منطقه شهری انجام می‌شود بوسیله اتومبیل یا سیستم حمل و نقل عمومی است. تقسیم بندی سفرهای شخصی بین سیستم‌های حمل و نقل عمومی و خصوصی را تفکیک سفر می‌گویند.

تفکیک سفر را می‌توان قبل یا بعد از مرحله توزیع سفر انجام داد. تصمیم در مورد اینکه تفکیک سفر در کجا قرار گیرد. غالباً بستگی به طرز عمل تحلیل‌گر حمل و نقل، یا منطقه تحت مطالعه دارد. اگر سطح سرویس سیستم حمل و نقل عمومی به اندازه‌ای اهمیت ندارد که در ساختار رشد منطقه مؤثر واقع شود، ممکن است قرار دادن مرحله تفکیک سفر بعداز توزیع سفر مناسب باشد. اگر منطقه تحت مطالعه خیلی خوب توسط سیستم حمل و نقل عمومی سرویس داده می‌شود، و این سرویس در آینده نیز ادامه خواهد داشت، قرار دادن مرحله تفکیک سفر قبل از توزیع سفر ممکن است ترجیح داده شود.

بعضی از مطالعات بزرگی که یکی از دو روش فوق را انتخاب کرده‌اند عبارتند از:

۱ - بعد از توزیع سفر: شهرهای واشنگتن، میناپولیس، سن خوان، بوفالو

۲ - قبل از توزیع سفر: شهرهای شیکاگو، پیتسبورگ، اِری، فیلادلفیا

روش‌هائی که برای تعیین چگونگی استفاده از سیستم حمل ونقل عمومی یک شهر در حال و آینده بکار می‌رود، براساس روابط کمی میان خصوصیات اجتماعی - اقتصادی مسافر، خصوصیات فیزیکی سیستم حمل و نقل عمومی و جاده، و خصوصیات شکل کاربری زمین در منطقه انجام می‌شود. این روش‌ها از ساده‌ترین آنها که بدست آوردن نسبت‌های زمان سفر بین سیستم حمل و نقل عمومی و جاده‌ای است تا روشهای پیشرفته‌تری مانند مدل‌های پیچیده‌ای که در مطالعات برنامه‌ریزی منطقه‌ای دلاور والی (Delaware Valley) مورد استفاده قرار گرفت، می‌تواند باشد.

همانند مدل‌های دیگر، مدل تفکیک سفر نیز مبتنی بر روابط میان متغیّرهای موجود است. در این مدل‌ها فرض می‌شود که برخورد عموم مردم با سیستم حمل و نقل عمومی در طول زمان تغییر نخواهد کرد.

این فرض‌ها ممکن است در میزان استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی نقش حیاتی داشته باشند چون تفکیک‌های موجود قادر به در نظر گرفتن اثرات سیاست‌های عمومی نیستند، استفاده از مدل برای پیش بینی اثرات این سیاست‌ها روی استفاده کنندگان از سیستم حمل و نقل عمومی کاری بس مشکل است. با این وجود، برنامه‌ریزی برای سیستم حمل و نقل عمومی باید ادامه داشته باشد، و نتایج سیاست‌های عمومی مالی مطلوب‌تر در مورد این سیستم ممکن است تا بکارگیری در ساختار یک مدل به تعویق بیافتد.

مدل کردن تفکیک سفر یک گام حساس در برنامه ریزی حمل و نقل می‌باشد، زیرا بر اساس نتایج حاصل از مدل تصمیم‌گیریهائی بعمل می‌آید که برای تعادل در استفاده از سیستم‌های مختلف حمل و نقل ناحیه ممکن است حیاتی باشد.

تخصیص سفر

این آخرین مرحله فرآیند برنامه‌ریزی حمل ونقل است. پس از تقسیم کل سفرها میان اتومبیل شخصی و سیستم حمل و نقل عمومی، باید این سفرها روی خیابان‌های اصلی (پیوندها) شبکه راهها یا شبکه حمل و نقل عمومی قرار داده شود. بعنوان یک مهندس ترافیک، باید به تخصیص ترافیک علاقمند بود، برای انجام آن دو پرونده اطلاعاتی اصلی مورد نیاز است: اطلاعات شبکه و اطلاعات سفر.

پرونده شبکه شامل اطلاعاتی است در مورد خصوصیات هر قسمت راه، مانند:

۱ - نوع مسیر
۲ - تعداد خطوط
۳ - ظرفیت
۴ - سرعت سفر
۵ - محیط اطراف (ناحیه تجاری مرکزی (CBD)، شهری، حومه شهری، و غیره)
۶ - طول
۷ - غیره

پرونده اطلاعات سفر شامل:

۱ - مبدأ و مقصد سفرها
۲ - تعداد سفرها
۳ - انواع سفرها
۴ - غیره

هدف از تخصیص ترافیک، شبیه سازی جریان‌های ترافیکی روی هر قسمت راه در منطقه تحت مطالعه می‌باشد. فرآیند تخصیص در ابتدا برای شرایط موجود مدرج می‌گردد و سپس از ان برای پیش بینی جریان‌های ترافیکی روی شبکه راههای آینده استفاده می‌شود.

دقت تخصیص ترافیک برای راه‌های شلوغ (ADT برابر ۳۰۰۰۰ وسیله نقلیه یا بیشتر) حداکثر بوده و برای ADT های حدود ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه حداقل است. حداقل خطای استاندارد تخمین برای راه‌های شلوغ حدود ۲۰ درصد متوسط حجم تخصیص یافته، و برای راههای کم ترافیک می‌تواند بیش از ۱۰۰ درصد آن باشد. بنابراین مهندس ترافیک، در هنگام استفاده از تخصیص ترافیک برای مشخص کردن حجم‌های طراحی بمنظور برنامه ریزی راه‌های آینده، باید متوجه این تغییرات باشد.

بازگردانی اطلاعات در ارزیابی گزینه‌های مختلف برنامه‌های حمل و نقل آینده بسیار مهم است. منظوراز بازگردانی اطلاعات میسر نمودن یک ارزیابی است که نه تنها سطح سرویسی را که شبکه بوجود خواهد آورد مشخص کند، بلکه میزان تطابق برنامه، با هدف‌های مطلوب جامعه، که با توجه به سیاست‌های تعیین شده توسط نمایندگان منتخب مردم مشخص شده است، را نیز بررسی نماید. این یک فرآیند ملال آور است و مستلزم کار طولانی و خسته کننده می‌باشد.

بهر حال توسط این فرآیند است که طرح‌ها شناسائی شده و نهایتاً و به اجرا گذاشته می‌شود.

تهیه طرح‌های مختلف شبکه آینده

شبکه‌های مختلفی برای حمل و نقل در آینده مشخص شده و با روش تحلیل سیستمی آزمایش می‌شود. منظور از تهیه طرح‌های مختلف برای شبکه حمل و نقل، اولاً تأمین اطلاعات برای فرآیند پیش بینی سفر است و ثانیاً تهیه یک سری شبکه‌های راه‌ها برای آماده ساختن طرحی که به بهترین وجه بتواند اهداف و مقاصد بیان شده را ارضاء نماید.

در روش‌های متداول از داوری‌های منطقی استفاده می‌گردد که تا اندازه زیادی توسط شبکه موجود، شبکه مفروض یا آتی، و تلقی‌های سیاسی محدود می‌شود. بعنوان یک نتیجه گزینه‌های مختلف طرح فقط از طریق تئوری‌ها و باورهای کلی است که حمایت می‌شوند. بعلاوه پیوند موجود میان اهداف و مقاصد بیان شده و یک گزینه مشخص برای استفاده در ایجاد رابطه بین آن گزینه و میزان مؤثر بودن آن، و یا ایجاد سازگاری میان اهداف، مقاصد و گزینه مزبور، نسبتاً ضعیف است.

نیاز شدیدی به تقویت پیوندهای میان اهداف، مقاصد، و برنامه ریزی وجود دارد. در شکل ۲-۴ یک روش پیشنهادی برای انجام این منظور ارائه شده است.

در این مرحله از تحلیل، وارد کردن یک سری کامل از اهداف و مقاصد امکان پذیر نیست. در تهیه شبکه‌های آزمایشی و منطقی‌تر راه‌ها می‌توان از مقادیر نمونه‌ای برای زمان سفر، هزینه‌های اجرائی، و تعداد واحدهای مسکونی یا تجاری جابجا شده و غیره، بعنوان معیارهای درجه اول و مؤثر بهره‌گیری نمود. این معیارها را می‌توان، پس از مرحله تخصیص ترافیک، تحت آزمایش جامع‌تر و دقیق تر قرار داد.

قبل از مشخص کردن حجم‌های تقاضای ترافیک، ممکن است اندازه‌گیری برتری‌های یک طرح گزینه بر اساس معیارهای فوق قابل اجرا باشد، که آنها را بطور منطقی بصورت تابعی از نوع منطقه، نوع مسیر، و ضوابط دیگری (مانند سطح سرو مطلوب) دانست. این فرآیند همچنین می‌تواند در تعیین مقادیر و بدست آوردن اطلاعات لازم برای ارزیابی طرح‌ها، که در مرحله بررسی وضع موجود باید جمع‌آوری گردد، مؤثر واقع شود.

پیش بینی سفرهای آینده

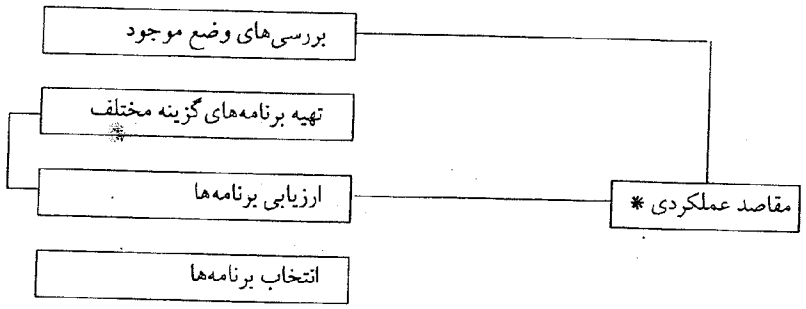
این عمل مقادیر تقاضای سفر را که باید بوسیله شبکه‌های حمل و نقل ارضا شود، مشخص می‌کند. انجام آن به کمک مدل‌هائی است که با بررسی و بکارگیری اطلاعات قبلی کالیبره شده‌اند.

ارزیابی و انتخاب برنامه

هر گزینه باید توسط یک فرآیند آزمایشی و براساس مقاصد عملکردی مطالعه شود. هر شبکه حمل و نقل براساس اینکه تا چه اندازه اهداف و مقاصد بیان شده را برآورد می‌سازد ارزیابی می‌گردد. گزینه‌های مختلف طرح با یکدیگر مقایسه می‌شوند و برنامه‌ای که به بهترین وجه اهداف و مقاصد بیان شده را برآورده می‌کند برای اجرا پیشنهاد می‌شود.

برنامه‌ریزی پیوسته

همانطور که گفته شد، برنامه‌ریزی حمل و نقل یک فرآیند دینامیکی است. این بدان معنا است که هر طرحی که امروز آماده می‌شود در آینده بطور کامل معتبر نخواهد بود. بنابراین کنترل دائمی عکس العمل‌های منطقه بسیار حائز اهمیت است، و شامل بهنگام کردن اطلاعات موجود برای تشخیص



* زیر مجموعه‌ای از کل مقاصد

شکل ۲-۴، فرآیند برنامه گزینه آزمایشی

اختلاف‌های عمده در شرایط پیش بینی شده نسبت به شرایط پیش آمده می‌باشد. هرگاه اختلاف عمده‌ای مشاهده شود، طرح باید برای منعکس کردن تغییرات مشاهده شده اصلاح گردد و بر اساس اهداف اولیه و تغییرات احتمالی آنها مجدداً ارزیابی گردد. یک طرح حمل و نقل قابل توجه باید یاری دهنده، جامع، و پیوسته باشد.

موارد استفاده اطلاعات برنامه‌ریزی حمل و نقل توسط مهندس ترافیک

فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری اطلاعات بسیار زیادی را بوجود می‌آورد که بیشتر آنها مورد نیاز مهندس ترافیک می‌باشد. بنابراین حفظ تماس مهندس ترافیک با گروه مطالعات حمل و نقل محلی، برای دسترسی به این گونه اطلاعات، بسیار مهم است.

در زیر یک لیست نمونه از اطلاعاتی که می‌تواند مورد استفاده باشد ارائه شده است:

۱ - شبکه راه:

الف - شمارش‌های حجم ترافیک

ب - عرض خیابان‌ها

ج - زمان‌های سفر

۲ - کاربری زمین:

الف- محل و اندازه مناطق عمده تولید ترافیک

ب - نوع عرضه پارکینگ، موارد استفاده، تقاضا

ج - نقشه‌هائی که محل‌های اداری، محل‌های تجاری، زمین‌های تفریحی و غیره را مشخص می‌کند.

۳ - اقتصادی - اجتماعی:

الف- مالکیت اتومبیل بر حسب مناطق ترافیکی

ب- در آمدهای خانوار در مناطق ترافیکی

۴ - خصوصیات سفر:

الف - تعداد و نوع سفرهائی که از یک ناحیه تولید و یا به آن منتهی می‌شود.

ب - ضرایب ساعت اوج، برحسب مسیر و انواع منطقه

ج - ترافیک تجاری، برحسب مسیر و انواع منطقه

فصل ۵
مطالعات مبدأ و مقصد

مطالعات مبدا و مقصد، الگوهای سفر انسان و کالا را در یک منطقه مورد نظر تعیین می‌کند. این نوع مطالعه در واقع خصوصیات سفرهای مشاهده شده را در یک روز نمونه تخمین میزند. اطلاعاتی که از این مطالعه بدست می‌آید، در رابطه با مبدا و مقصد سفرها، زمانی از روز که در آن سفرها انجام شده‌است، و روش انجام سفر می‌باشد. در مطالعات جامع‌تر اطلاعات بیشتری بدست می‌آید مانند منظور از سفر، کاربری زمین در شروع و یا انتهای سفر، و اطلاعات مربوط به زمینه‌های اقتصادی و اجتماعی افرادی که سفر می‌کنند.

مطالعه مبدا و مقصد برای کل منطقه شهری، که در آن باید تمام الگوهای سفر را بدست آورد ممکن است دامنه وسیعی داشته باشد. برای انجام این مطالعات، لازم است ناحیه مورد نظر به مناطق مختلف تقسیم شود بطوریکه سفرها را بتوان بصورت مبداء و مقصد ثبت نمود. یک خط محدوده نیز برای مشخص کردن حدود ناحیه تحت مطالعه باید تعیین شود. برای تقسیم ناحیه مطالعه به مناطق مختلف روش‌های جامعی وجود دارد.

مطالعات مبدا و مقصد ممکن است دامنه کوچکتری را در برگیرد. برای مثال، یک مهندس ترافیک ممکن است بخواهد مبدا و مقصد وسائل نقلیه‌ای که یک تقاطر غیرهمسطح و یا قسمتی از یک راه را مورد استفاده قرار می‌دهند، یا به یک منطقه تجاری مرکزی وارد و یا از آن خارج می‌شوند، را بداند. در چنین مواردی مطالعات دارای پیچیدگی کمتری نسبت به انواع پیشرفته‌تر ذکر شده خواهد بود. زیرا روش‌های مطالعاتی ساده‌تری بکار گرفته شده و هزینه انجام آن نیز بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌باشد.

موارد کاربرد اطلاعات مبدا و مقصد

برای یک مهندس ترافیک، که در ارتباط با تامین حرکت ایمن و کارا برای مردم بطورت پیاده و سوار بر وسائل نقلیه می‌باشد، آگاهی داشتن از الگوهای سفر وسائل نقلیه و پیاده‌ها مهم است. اطلاعات مبداء و مقصد مهندس ترافیک را در مشخص کردن موارد زیر کمک می‌کند:

۱- تقاضای سفر روی تسهیلات موجود و یا آتی حمل و نقل
۲- کافی بودن پارکینگ‌ها و ترمینال‌ها
۳- کافی بودن تسهیلات حمل و نقل عمومی موجود
۴- بهترین محل برای پل‌ها و یا ترمینال‌های جدید
۵- قابل اجرا بودن مسیرهای انحرافی
۶- اطلاعات مورد نیاز برای برنامه‌ریزی، تعیین محل و طراحی سیستم‌های خیابان‌های جدید، سیستم بزرگراهها و آزادراه‌ها، راههای جدید، و یا توسعه آنها
۷- اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی، مکان‌یابی و طراحی یا توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی
۸- مسیرهای ترافیک عبوری و کامیون‌ها
۹- تخمین‌هائی در مورد احتمال استفاده از مسیرهای جدید یا توسعه یافته، مسیرهای سیستم حمل و نقل عمومی، و پایانه‌ها
۱۰- خصوصیات سفر از انواع کاربری‌های زمین
۱۱- لوازم تخمین الگوهای سفر در آینده و معیارهای تعیین نیاز به تسهیلات حمل و نقل
۱۲- اولویت‌های اجرائی و راه حل‌های اقتصادی برای برنامه‌های توسعه

تعریف بعضی از اصطلاحات متداول در حمل و نقل

مبداء: محلی که یک سفر از آنجا شروع می‌شود.
مقصد: محلی که در آنجا سفر به پایان می‌رسد.
سفر: یک حرکت یکطرفه بین یک مبداء و یک مقصد، بدون

توجه به طول یا فاصله.

انتهای سفر: مبداء یا مقصد یک سفر.

سفرهای محلی یا داخلی: سفری که مبداء آن در ناحیه تحت مطالعه باشد.

سفر عبوری: سفری که مبداء و مقصد آن هر دو در خارج از ناحیه تحت مطالعه باشد.

خط محدوده: یک خط فرضی که محدوده منطقه مورد مطالعه را مشخص می‌کند.

خط تمایل: یک خط مستقیم که مراکز مناطق را به یکدیگر متصل می‌کند، و نشان دهنده سفرهائی است که بین آنها انجام می‌شود. عرض خط تمایل معمولاً با تعداد سفرهائی که بین مناطق انجام می‌شود متناسب است.

خط تقسیم: یک خط که برای تقسیم ناحیه تحت مطالعه به قسمت‌های کوچکتر، برای کنترل دقت اطلاعات بدست آمده، تعیین می‌شود.

روش‌های انجام مطالعات مبداء و مقصد

مصاحبه در کنار راه

رانندگان اتومبیل‌ها و وسائل نقلیه تجاری در محل‌هائی در کنار مسیر متوقف می‌شوند و مصاحبه با آنها انجام می‌گیرد. اطلاعات بدست آمده در فرم‌های آماده شده وارد می‌شود، و ممکن است شامل قسمتی یا تمام مطالب زیر باشد:

۱- نوع وسیله نقلیه

۲- تعداد سرنشینان وسیله نقلیه

۳- مبدا و مقصد سفر

۴- منظور از سفر

۵- محل پارکینگ

۶- توقف‌های بین راه

۷- مسیرهائی که پیموده می‌شود

در حین انجام مصاحبه با تعدادی از رانندگان (دریک جهت یا هر دو جهت حرکت)، افراد دیگر تمام وسائل نقلیه‌ای راکه عبور می‌کنند شمارش و طبقه‌بندی می‌کنند. این شمارش‌ها برای بدست آوردن ضرایبی که تعمیم اطلاعات ناشی از مصاحبه را ممکن می‌کند مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مصاحبه‌گر تعلیم دیده می‌تواند ۳۰ الی ۴۰ مصاحبه در ساعت انجام دهد، البته در صورتیکه وسائل نقلیه کافی برای مصاحبه وجود داشته باشد.

این روش دارای این امتیاز است که اطلاعات مستقیماً و دقیق بدست می‌آید، و برای شرایطی متناسب است که تعداد پرسنل محدود در دسترس می‌باشد. مطالعه می‌تواند برای هر ایستگاه در یک روز انجام شود و بنابراین مدت بیشتری به طول خواهد انجامید.

بهر حال متوقف کردن وسائل نقلیه ممکن است ایجاد راه بندان نموده و توجه پیاده‌ها را جلب نماید. یک عیب مهم این است که اطلاعات فقط از سفرهای انجام شده با اتومبیل بدست می‌آید.

کارت پستی

دو روش کلی برای بدست آوردن اطلاعات مبدا و مقصد با استفاده از کارت‌های پستی آماده و عودت آنها وجود دارد. روش اول توزیع کارت‌های پستی بین رانندگان وسائل نقلیه در بعضی از نقاط مسیر سفر، و روش دوم پست کردن کارت‌ها برای صاحبان وسائل نقلیه می‌باشد. روش دوم را معمولاً بررسی با کارت پستی کنترل شده می‌نامند.

در روش اول، کارت‌های پستی در ایستگاهائی درکنار مسیر توزیع می‌شود. در صورت امکان این ایستگاهها باید در محل‌هائی در نظر گرفته شود که حرکت ترافیک کُند است مانند محل‌های اخذ عوارض، محل‌هائی که چراغ راهنمائی، تابلو ایست یا احتیاط نصب شده‌است، و یا نقاطی که تراکم ترافیک و راه‌بندان وجود دارد. کارت‌ها را می‌توان بر حسب محل توزیع کدبندی نمود. طبقه‌بندی وسیله نقلیه را می‌توان با یک سئوال از روی کارت‌ها، یا با استفاده از کارت‌ها مختلف بدست آورد. در هر ایستگاه شمارش‌های حجم طبقه‌بندی شده، برای تعمیم اطلاعات بدست آمده از کارت‌های عودت داده شده به کل وسائل نقلیه، انجام می‌شود.

در روش کارت‌های پستی کنترل شده، لیستی از تمام مالکین اتومبیل‌های شخصی، تاکسی‌ها، و کامیون‌های ثبت شده در منطقه مورد نظر تهیه می‌شود. برای هر یک از افراد لیست یک کارت پستی فرستاده می‌شود، که روی آن محلهائی برای یادداشت کردن مبدا و مقصد سفرهائی که در یک روز هفته انجام می‌شود در نظر گرفته شده‌است. قبل از پست کردن، کارت‌ها برای نوع وسیله نقلیه و منطقه‌ای که ارسال شده‌است کدگذاری می‌شود. لیست اولیه شامل تعدادی از انواع مختلف وسائل نقلیه می‌باشد و با این ترتیب تعمیم کارت‌های بازگشته به کل وسائل نقلیه ممکن می‌شود.

اگرچه با ارسال کارت‌های پستی برای صاحبان وسائل نقلیه، توزیع وسیع‌تری نسبت به شناسائی آنها در محل‌های مشخص بدست می‌آید، ولی با این روش اطلاعات بیشتری حاصل خواهد شد. بدون توجه به اینکه کدام روش مورد استفاده قرار گرفته باشد حداقل ۲۰ درصد کارت‌ها، برای اینکه بتوان اطلاعات بدست آمده را نماینده کل دانست، باید عودت داده

شوند. بیشتر کارت ها معمولاً در دو هفته اول برمی‌گردد.

استفاده از کارت‌های پستی برای بدست آوردن اطلاعات مبدا و مقصد این امتیاز را دارد که هزینه کمتر، زمان کمتر و پرسنل تعلیم دیده کمتری نیاز دارد.

بهر حال، اطلاعات بدست آمده فقط در مورد سفرهای انجام شده با وسائل نقلیه خواهد بود، و چون تمام طبقات مردم بطور مساوی همکاری نمی‌کنند، نتایج ممکن است خدشه‌دار باشد.

روش کارت پستی کنترل شده برای بدست آوردن اطلاعات مبدا و مقصد در یک ناحیه تحت مطالعه با روش مصاحبه در خانه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بدست آمده از هر دو روش بطور کلی مطابقت خوبی را نشان دادند.

پلاک وسیله نقلیه

یادادشت کردن شماره‌های پلاک بعنوان روشی برای بدست آوردن اطلاعات مبدا و مقصد در مورد وسائل نقلیه در حال حرکت و پارک شده اعمال نمی‌شود. در مورد وسائل نقلیه در حال حرکت سه یا چهار رقم آخر شماره پلاک توسط افراد مشاهده‌گر در ایستگاههای مختلف یادداشت می‌شود، زمان عبور، نوع وسیله نقلیه و جهت حرکت مورد توجه قرار می‌گیرد. در تحلیل اطلاعات منطقه‌ای حرکت با شناسائی وسیله نقلیه در ایستگاههای مختلف دنبال می‌شود. مقصد نیز منطقه‌ای خواهد بود که برای آخرین بار وسیله نقلیه در آنجا دیده شده‌است.

مزایای این روش عبارت است از:

۱- سادگی سازماندهی در عمل

۲- سادگی دنبال کردن مسیرهای واقعی سفر

۳- عدم وجود تداخل با جریان ترافیک

۴- احتمال به دست آوردن نمونه‌های بدون خدشه

معایب آن عبارت است از:

۱- اشکال زیاد در تحلیل اطلاعات بدست آمده

۲- تعداد زیادی مشاهده‌گر لازم است، زیرا اتمام ایستگاه‌ها باید بطور همزمان عمل کنند

۳- مقدار زیاد خطای انسانی در یادداشت کردن شماره پلاک‌ها

این روش را می‌توان با موقعیت نسبی برای مسیرهای منفرد نیز بکار برد، ولی هیچگونه اطلاعات در مورد منظور از سفر، پارکینگ، و سفر با سایر سیستم‌های حمل و نقل را بدست نمی‌دهند. در مورد مناطق تحت مطالعه محدود، مانند تقاطع‌های غیرهمسطح آزاد راه‌ها، نیز قابل استفاده می‌باشد. تکنیک‌های عکس‌برداری در این روش مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌است، ولی تحلیل اطلاعات بدست آمده بعنوان یک مشکل همچنان وجود دارد.

در مورد وسائل نقلیه پارک شده محل پارک شدن وسیله نقلیه مقصد، و آدرس صاحب وسیله نقلیه، که در پرونده ثبت وسایل نقلیه در اداره مربوطه موجود است، مبداء در نظر گرفته می‌شود. انجام این مطالعه ساده است، نیاز به یک حداقل پرسنل دارد، ولی در مورد منظور از سفر، مقصد نهائی راننده، مسیرهای پیموده شده، و سفر با سایر سیستم‌های حمل و نقل اطلاعاتی بدست نمی‌آید.

چراغ‌های روشن

در یک نقطه ورودی مشخص به منطقه تحت مطالعه از رانندگان خواسته می‌شود که چراغ‌های اتومبیل خود را برای یک مدت زمان معین، یا تا هنگامی که منطقه تحت مطالعه را ترک ننموده‌اند، روشن نگه دارند. شمارش حجم در نقطه ورودی، برای تعیین درصد رانندگانی که به این درخواست عمل می‌کنند انجام می‌شود. اطلاعات بدست آمده برای تعمیم نتایج نیز مودر استفاده قرار می‌گیرد. مدت انجام شمارش بستگی به طول مدت مطالعه دارد که معمولاً شامل زمان اوج می‌باشد. در تمام نقاط خروجی منطقه افراد مشاهده‌گر مستقر می‌شوند و تعداد اتومبیل‌های عبوری با چراغ روشن را شمارش می‌کنند. مطالعه هر ورودی در یک روز امکان‌پذیر است، بنابراین مطالعه باید در طول چندین روز ادامه داشته باشد تا بتوان تمام ورودی‌ها را، تحت شرایط ترددی قابل مقایسه، مطالعه کرد.

این روش تکنیک ساده‌ای را برای دنبال کردن مسیر حرکت وسائل نقلیه در طول یک مسیر یا یک تقاطع پیچیده تامین می‌کند، در حرکت ترافیک اختلال بوجود نمی‌آورد، و در ترافیک خیلی سنگین می‌تواند به اجراگذاشته شود. مزایا و معایب روش شماره پلاک در این مورد نیز صادق است، ولی خطای انسانی که در یادداشت کردن شماره پلاک وجود دارد در این حالت حذف می‌گردد.

وزارت کارهای عمومی ایالت نیویورک آمریکا برای مطالعه حرکت‌های وسائل نقلیه در یک تقاطع میدانی این روش را با موفقیت مورد استفاده قرار داد. این روش برای مطالعه مسیرهای حرکت ترافیک در چند تقاطع غیر همسطح پیچیده واقع در منطقه شهری نیویورک - نیوجرسی نیز با موفقیت زیاد به اجرا درآمد.

مصاحبه در خانه

این روش جامع‌ترین روش برای بدست آوردن خصوصیات سفر در یک منطقه تحت مطالعه است. یک نمونه که نماینده واحدهای مسکونی منطقه باشد انتخاب می‌شود، و مصاحبه‌های شخصی برای تمام اعضاء خانواده و تمام سیستم‌های حمل و نقل و برای روز قبل انجام می‌شود. در یک

منطقه متراکم شهری یک مصاحبه‌گر فعال می‌تواند بطور متوسط در یک ساعت از یک خانواده مصاحبه بعمل آورد، البته با در نظر گرفتن زمان رفتن از یک خانه به خانه دیگر و غیره.

روش مصاحبه در منزل از تمام روش‌هائی که تاکنون ذکر شده برتر است. زیرا اطلاعات سفر را از تمام افراد خانواده بدست می‌آورد. بهر حال، یک روش پر هزینه و وقت‌گیر بوده و نیاز به نیروی کاری زیادی دارد.

تمدید گواهینامه

این روش بر این اساس استوار است که تمدید گواهی نامه رانندگی هراز چند سالی نیاز به حضور افراد دارد. در زمان تمدید گواهینامه از رانندگان بهمان شکلی که در روش مصاحبه در منزل انجام می‌شود، مصاحبه بعمل می‌آورند.

اگرچه روش تمدید گواهی نامه، هزینه کمتری را در بردارد، ولی دارای محدودیت‌های متعددی نیز می‌باشد این روش شامل تمام مسافرین نمی‌شود، زیرا خانواده‌هائی که راننده‌ای در بین افراد آن وجود ندارد و یا گواهینامه ندارند به حساب آورده نمی‌شوند. بعلاوه ممکن است بعضی خانواده‌ها که در آنها بیش از یک راننده گواهینامه‌دار وجود دارد دو مرتبه در نظر گرفته شوند. این روش در صورتی قابل اجرا خواهد بود که الزام قانونی برای مراجعه شخصی افرادی که می‌خواهند گواهینامه خود را تمدید کنند وجود داشته باشد. بهر حال، این روش را می‌توان برای بهنگام نمودن مطالعات O. D. مورد استفاده قرار داد.

تلفن

این روش شبیه مصاحبه در منزل است ولی مصاحبه از طریق تلفن انجام می‌گیرد. نمونه‌ای از خانواده‌ها که در منطقه تحت مطالعه ساکن هستند، بطور تصادفی از دفترچه راهنمای تلفن انتخاب می‌شوند. برای این خانواده‌ها یک نامه قبلی فرستاده می‌شود که در آن هدف مطالعه و انواع سئوالهائی که پرسیده خواهد شد تشریح شده‌است. نامه‌ها دو یا سه روز قبل از مصاحبه تلفنی ارسال می‌شود. تلفن‌ها در ساعات آخر روز زده شده و در مورد سفرهای انجام شده در روز سئوال می‌شود.

این روش دارای امتیاز بدست آوردن نمونه‌های زیادتری از مصاحبه همراه با هزینه کمتر می‌باشد. ولی نتایج ممکن است خدشه‌دار باشد، زیرا خانواده‌های بدون تلفن ممکن است خصوصیات سفر متفاوتی را نشان دهند.

روش‌های عکسبرداری

از روش‌های عکس برداری، که برای مطالعات سرعت و حجم مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان برای مطالعات مبدا و مقصد نیز استفاده نمود. عکس‌برداری هوائی می‌تواند حرکت‌های وسائل نقلیه را، که در طول مسیر و در ناحیه تحت مطالعه قابل دنبال کردن است، از نقطه مبدا و در نقطه مقصد ثبت نماید.

در حالیکه این روش برای مناطق محدود، مانند تقاطع‌های غیرهمسطح بزرگراهها، که بدست آوردن اطلاعات مشکل، پرهزینه، و وقت‌گیر می‌باشد، مفید واقع شود برای مناطق بزرگتر قابل اجرا نیست، زیرا ارتفاع لازم برای عکس‌برداری و دنبال نمودن وسائل نقلیه را در عکس مشکل می‌کند. بهرحال طول‌های تا ۱/۶ کیلومتر (یک مایل) با این روش عکس‌برداری و تحلیل شده‌است.

نوع مطالعه برحسب اندازه شهر

کمیته ملی حمل و نقل شهری آمریکا روش‌های مختلفی را برای انجام مطالعات مبدا و مقصد و براساس جمعیت ناحیه شهری تحت مطالعه ارائه داده‌است. در شهرهای کوچکتر که الگوهای سفر، بخاطر کم بودن حجم‌های ترافیک، از پیچیدگی کمتری برخوردار است و تعداد مسیرهائی ممکن نیز کمتر بوده و ناحیه مرکزی تجاری نیز کوچک است، روش‌های ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر کفایت می‌کنند. این روش‌ها شامل کارت پستی، چراغ‌های روشن، و شماره پلاک می‌باشد. در شهرهای بزرگتر، که حجم‌های ترافیک زیادتر است، فعالیت‌های اقتصادی در یک ناحیه مرکزی متمرکز نیست، و تعدد مسیر وجود دارد، این روشها موثر نخواهند بود. برای شهرهای باجمعیت بیش از ۷۵۰۰۰ نفر روش مصاحبه در منزل پیشنهاد می‌شود. برای انجام مصاحبه در منزل، مقادیر داده شده در جدول ۱ - ۵ بعنوان نمونه پیشنهاد می‌شود.

دفتر راه‌های عمومی مطالعات مبدا و مقصد را برای ۱۹۳ شهر انجام داده که نتایج آن در جدول ۲ - ۵ آمده‌است. این جدول نشان می‌دهند که با بزرگ شدن اندازه شهر درصد بیشتری از سفرهائی که به شهر نزدیک می‌شوند دارای مقصدی در داخل شهر می‌باشند. این اطلاعات فقط محدود به سفرهائی است که به شهر وارد می‌شوند و منعکس کننده سفرهای داخل شهری با طریقه‌های مختلف نیست.

کنترل دقت مطالعات مبداء و مقصد

دو روش برای کنترل مطالعات مبدا و مقصد و میزان کامل بودن گزارشات سفرهای داخلی در مطالعات داخلی و خارجی وجود دارد. (مطالعات داخلی اشاره دارد به مصاحبه در منزل که در داخل ناحیه مورد مطالعه انجام می‌شود، و مطالعات خارجی مربوط به سفرهائی است که خط محدوده را قطع می‌کنند.)

جدول ۱- ۵- اندازه نمونه برای مصاحبه در خانه

جمعیت	اندازه نمونه
زیر ۵۰۰۰۰	یک از هر پنج خانواده، یا ۲۰ درصد
۵۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰	یک از هر هشت خانواده، یا ۱۲/۵ درصد
۱۵۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰	یک از هر ده خانواده، یا ۱۰ درصد
۳۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰	یک از هر ۱۵ خانواده، یا ۶/۷ درصد
۵۰۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰	یک از هر ۲۰ خانواده، یا ۵ درصد
بیش از ۱۰۰۰۰۰۰	یک از هر ۲۵ خانواده، یا ۴ درصد

جدول ۲- ۵- مقصدهای ترافیکی که به شهرهای با اندازه‌های مختلف نزدیک می‌شود

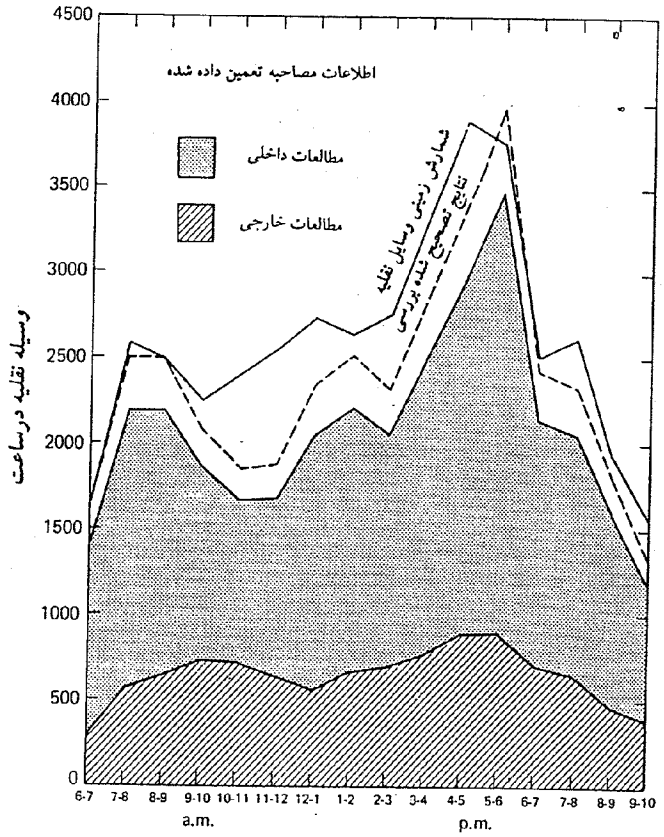
گروه بندی جمعیت به هزار	تعداد شهرها	درصد ترافیک عبوری	درصد ترافیک به مقصد شهر	درصد ترافیک به مرکز تجاری	درصد ترافیک سایر مقصدها
کمتر از ۵	۱۱	۵۳/۹	۴۶/۱	۲۲/۹	۲۳/۲
۵ - ۱۰	۲۹	۵۲/۴	۶۱/۶	۲۳/۶	۲۴/۰
۱۰ - ۲۵	۴۳	۳۸/۵	۶۱/۶	۲۶/۰	۳۵/۵
۲۵ - ۵۰	۳۶	۲۶/۶	۷۳/۴	۲۴/۸	۴۸/۶
۵۰ - ۱۰۰	۲۵	۲۱/۷	۷۸/۳	۲۱/۶	۵۶/۷
۱۰۰ - ۲۵۰	۳۱	۱۷/۹	۸۲/۱	۲۰/۲	۶۱/۹
۲۵۰ - ۵۰۰	۶	۱۰/۷	۸۹/۳	۲۱/۴	۶۷/۹
۵۰۰ - ۱۰۰۰	۹	۸/۶	۹۱/۴	۵۳/۹	۷۸/۹
بیش از ۱۰۰۰	۳	۱۰/۳	۸۹/۷	۹/۵	۸۰/۲

استفاده از خط تقسیم

یک خط تقسیم، که خط محدوده را در دو نقطه قطع می‌کند، برای تقسیم ناحیه مورد مطالعه به دو قسمت در نظر گرفته می‌شود. موانع طبیعی یا مصنوعی مانند رودخانه‌ها، مسیرهای راه‌آهن، یا بزرگراه‌ها خط تقسیم بسیار خوبی را تشکیل می‌دهند، زیرا حجم‌های زیاد ترافیک باید از آنها بگذرد و معمولاً تعداد محدودی از این نقاط گذر وجود دارد. اگر دو خط تقسیم وجود داشته باشد، هر دو برای کنترل دقت مطالعات سفرهای داخلی باید مورد استفاده قرار گیرد.

شمارش‌های حجم طبقه‌بندی شده ساعتی در تمام نقاط گذر از خط تقسیم انجام می‌گیرد. مقایسه‌ای بین تعداد سفرهای انجام شده در داخل منطقه که مبدا آنها در یک طرف خط تقسیم و مقصد آنها در طرف دیگر است و تعداد آنها واقعاً شمارش شده است، با تعدادی که از تحلیل و بسط اطلاعات مصاحبه‌های انجام شده بدست آمده است انجام می‌گیرد. اگر اطلاعات سفر با شمارش‌های واقعی در طول زمان اوج صبح و عصر توافق نزدیکی را نشان دهد، و در طول بقیه زمان روز نیز تطابق منطقی داشته باشد، و برای مدت ۶۱ ساعت تعداد کل سفرها حداقل ۸۵ درصد تعداد کل سفرهای شمارش شده‌باشد، می‌توان گفت که آمار بدست آمده در این مطالعه مناسب است. بهر حال، اگر آمار بدست آمده سفرها با شمارش‌های انجام شده تطابق مطلوبی را نشان ندهد، تصحیح اطلاعات بدست آمده لازم خواهد بود.

مقایسه‌های خط تقسیم معمولاً، مانند شکل ۱ - ۵، بکمک منحنی نشان داده می‌شود. این مطالعه نمونه، مقایسه شمارش‌های زمینی خط تقسیم با سفرهای انجام شده توسط وسائل نقلیه بین دو قسمت شهر که از مطالعات داخلی و خارجی برای مدت ۱۶ ساعت گزارش شده‌است (از ساعت ۶



شکل ۱ - ۵ منحنی‌های مقایسه‌ای گذرهای خط تقسیم

صبح تا ۱۰ بعد از ظهر)، یک تطابق ۸۰ درصدی را نشان می‌دهند. ضریب تصحیح ۱/۲ در موارد مطالعات مزبور به مصاحبه در منزل و کامیون‌ها اعمال شده‌است. این منحنی، شمارش‌های انجام شده زمینی، درصدهای نسبی سفرهای داخلی و خارجی گذشته از خط تقسیم، و اطلاعات بدست آمده تصحیح شده را، نشان می‌دهند. بهر حال، در اعمال یک ضریب تصحیح ثابت باید احتیاط نمود، زیرا تمام سفرها با منظورهای مختلف، ممکن است که کم گزارش نشده‌باشند. یک مطالعه و بررسی از منظورهای مختلف سفر، قبل از اخذ تصمیم نهائی در مورد ضریب تصحیح، باید انجام شود.

استفاده از خط محدوده

مقایسه خط محدوده در ارتباط با سفرهای انجام شده با اتومبیل توسط ساکنین منطقه، و سفرهای انجام شده توسط کامیون‌های به ثبت رسیده و در منطقه که از خط محدوده عبور می‌کنند، می‌باشد. تعداد کل این سفرها را، که از نتایج مصاحبه‌های خارجی بدست آمده‌است، می‌توان با تعداد کل بدست آمده از نتایج مصاحبه‌های داخلی مقایسه کرد. این کنترل را می‌توان بعنوان مکمل در کنار خط تقسیم محسوب نمود.

ارائه و خلاصه نتایج مطالعات مبدأ و مقصد

اطلاعات بسیار زیادی در مطالعات مبدا و مقصد بدست می‌آید، و روش‌های مختلفی برای خلاصه نمودن وارائه اطلاعات وجود دارد، که شامل جداول، منحنی‌ها و شکل‌های متعدد می‌باشد.

جدول‌های تکمیل‌کننده اطلاعات. ابتدا باید نتایج روش‌هائی که بمنظور بررسی دقت مطالعات انجام شده در قسمت‌های قبل

مورد بحث قرار گرفت (با مقایسه اطلاعات بدست آمده از آمارگیری مستقیم و اطلاعات تعمیم داده شده از مصاحبه‌های داخل و خارجی)، تحلیل گردد. لزوم این مطلب بدلیل اینست که قبل از هرگونه ارائه نهائی نتایج در جداول مختلف ضرایب تصحیح را باید اعمال نمود:

مقایسه‌های خط تقسیم با استفاده از جدول‌های مجزا برای وسائل نقلیه مختلف (اتومبیل، کامیون، تاکسی، در صورت کافی بودن تعداد) و کل سفرها انجام می‌شود. بعنوان مثال برای اتومبیل جدولی مانند شکل ۲-۵ میتوان تهیه نمود. برای هر خط تقسیم چنین جدول‌هائی باید تهیه شود که اطلاعات را برای تمام نقاط گذر از خط تقسیم گروه‌بندی می‌کند.

مقایسه‌های خط محدوده بکمک جدول‌های دیگری برای اتومبیل، کامیون‌ها و کل سفر انجام شده توسط وسائل نقلیه خلاصه می‌شود. اطلاعات برای تمام ایستگاههای خارجی جمع‌بندی می‌شود. با استفاده از آمار اتومبیل‌ها، بعنوان مثال، جدولی مانند شکل ۳-۵ می‌توان ترتیب داد.

منحنی‌های مقایسه‌ای برای تکامل اطلاعات. بعد از اینکه جدول‌های فوق جمع‌آوری شد، نتایج، همانطور که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، بصورت منحنی‌هائی نشان داده می‌شود. اگر تصحیح اطلاعات سفر لازم باشد، ضرایب تصحیح بر حسب منظور از سفر اعمال می‌شود.

جدول‌های کلی و اکتشافی. این جدول‌ها اصولاً کلی هستند و به دو منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند: برای پایه‌گذاری مبنای مطالعه عادت‌های سفر و تعیین مواردی که از اهمیت کافی، برای منظور شدن در تحلیل‌های بعدی، برخوردار می‌باشند.

خلاصه واحدهای مسکونی

(فقط برای مصاحبه در منازل)

جدولی تهیه می‌شود که اطلاعات تعمیم داده شده از مصاحبه در منزل و مربوط به واحدهای مسکونی را خلاصه می‌کند. به عنوان ستون‌های مختلف این جدول به شرح زیر است:

قسمت یا منطقه
تعداد واحدهای مسکونی
تعداد اتومبیل‌های مورد تملک
تعداد کل افراد
تعداد افراد ۵ ساله یا بزرگتر
تعداد افراد ۵ ساله یا بزرگتر که سفر انجام می‌دهند

مقایسه سفرهای اتومبیل در خط تقسیم

محل.....

ساعتهای مختلف روز (۱۶ ساعت)	اطلاعات تعمیم داده شده سفر			شمارش‌های زمینی	درصد شمارش‌های زمینی
	داخلی	خارجی	کل		
صبح ۵۹:۶-۶					
صبح ۵۹:۷-۷					
.....					
صبح ۵۹:۱۲-۱۲					
.....					
.....					
عصر ۵۹:۹-۹					
جمع					

شکل ۲-۵ - فرم خلاصه کردن اطلاعات خط تقسیم

خلاصه طرق و منظور سفر

۱- مطالعات داخلی

جدول‌هائی برای خلاصه نمودن اطلاعات مربوط به سفرهای انجام شده تهیه می‌شود. جداول جداگانه‌ای برای هر طریقه انجام سفر پر می‌شود، که نشان‌دهنده تعداد سفرهای انجام شده توسط ساکنین منطقه داخلی است و برحسب منظور از سفر، و مبدأ به مقصد سفرها را طبقه‌بندی می‌کند. یک جدول خلاصه شده نیز برای تمام طریقه‌های انجام سفر تهیه می‌شود. عنوان‌های اصلی و فرعی ستون‌های این جدول‌ها مشابه یکدیگر است. این عنوان‌ها عبارتند از:

از یا به:
کار
تجارت
پزشکی- دندان پزشکی
مدرسه
اجتماعی - تفریحی
تغییر طریقه سفر
غذاخوردن
خرید
مشایعت یا استقبال از مسافر
خانه
جمع کل

جدول دیگری از اطلاعات بدست آمده مصاحبه در منزل تکمیل می‌شود که نشان دهنده تعداد متوسط سرنشینان اتومبیل‌ها بر حسب منظور از سفر می‌باشد. این جدول به شکل

توضیح داده شده مرتب می‌شود، و نشان دهنده تعداد متوسط سرنشینان هر وسیله نقلیه از هر منظور سفر به سایر منظورهای سفر می‌باشد.

سفرهای اتومبیل گذشته از خط محدوده			
(۱۶ ساعت)	داخلی تعمیم داده‌شده	خارجی تعمیم داده شده	درصد(داخلی تقسیم‌به‌خارجی)
صبح ۶:۵۹-۶			
صبح ۷:۵۹-۷			
.....			
.....			
صبح ۱۲:۵۹-۱۲			
.....			
.....			
عصر ۹:۵۹-۹			
جمع			

شکل ۳ - ۵ فرم خلاصه نمودن اطلاعات خط محدوده

۲- مطالعات خارجی

جدول‌هائی که اطلاعات تعمیم داده شده سفر با اتومبیل، بدست آمده در ایستگاههای مصاحبه کنار جاده در خارج محدوده، را خلاصه می‌کند تهیه می‌شود. یک جدول دیگر برای سفرهای محلی و سفرهای عبوری تکمیل می‌شود، که نشان دهنده تعداد کل سفرهای انجام شده با اتومبیل گذشته از ایستگاه‌های خارجی، و برحسب منظور از سفر می‌باشد. جدول دیگری که سفرهای محلی و عبوری را ترکیب می‌کند نیز تهیه می‌گردد.

سفرهای وسائل نقلیه

از (مبداء) منطقه	به (مبداء)منطقه			جمع سفرها ازمنطقه
	۱	۲	۳	
۱	۱۰	۳۰	۲۰	۶۰
۲	۳۴	۴۰	۵۰	۱۲۴
۳	۱۸	۵۴	۲۶	۹۸
جمع سفرها به منطقه	۶۲	۱۲۴	۹۶	

شکل ۴ -۵- جدول متقارن برای اطلاعات داخلی مبداء و مقصد

جدول دیگری نیز از اطلاعات تعمیم داده شده سفرهای خارجی که نشان دهنده تعداد متوسط سرنشینان اتومبیل‌ها برحسب منظور از سفر می‌باشد تهیه می‌گردد. این جدول به دو قسمت بر حسب سفرهای محلی و سفرهای عبوری تقسیم می‌شود.

جدول‌های تردد ترافیک. این جدول‌ها مبنای انتخاب موقعیت مسیرهای کلی را، که به بهترین وجه نیازهای ترافیکی یک منطقه بزرگ شهری را بر طرف می‌کند، تشکیل می‌دهند. متوسط روزانه نقل و انتقالات بین منطقه‌ای ترافیک اتومبیل‌ها یا وسایل نقلیه در جدول مشخص می‌شود. جدول‌های متقارن سفرهای یکطرفه را از هر منطقه به سایر مناطق نشان می‌دهند. یک جدول متقارن از سفرهای فرضی‌برای سه منطقه در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. برای یک روز متوسط تعداد سفرهای وارد شده و خارج شده از یک منطقه باید برابر باشد، در غیر اینصورت وسائل نقلیه در طول مدتی چند روزه در منطقه باقی می‌مانند.

جدول مثلثی که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است از جمع کردن سفرها در دو جهت با یکدیگر برای هر دو منطقه بدست آمده است. این جدول جهت سفر را نشان نمی‌دهد، و برای بدست آوردن تعداد تقریبی سفرها، در هر جهت تعداد کل نشان داده شده باید نصف شود.

سفرهای وسائل نقلیه

بین‌مناطق	۱	۲	۳
۱	۲۰	۶۴	۳۸
۲		۸۰	۱۰۴
۳			۵۲

شکل ۵-۵ . جدول مثلثی برای اطلاعات مبدأ و مقصد داخلی

نقل و انتقالات بین منطقه‌ای معمولاً بطور مجزا برای نشان دادن حرکت‌های زیر تکمیل می‌شود:

۱- اتومبیل‌ها

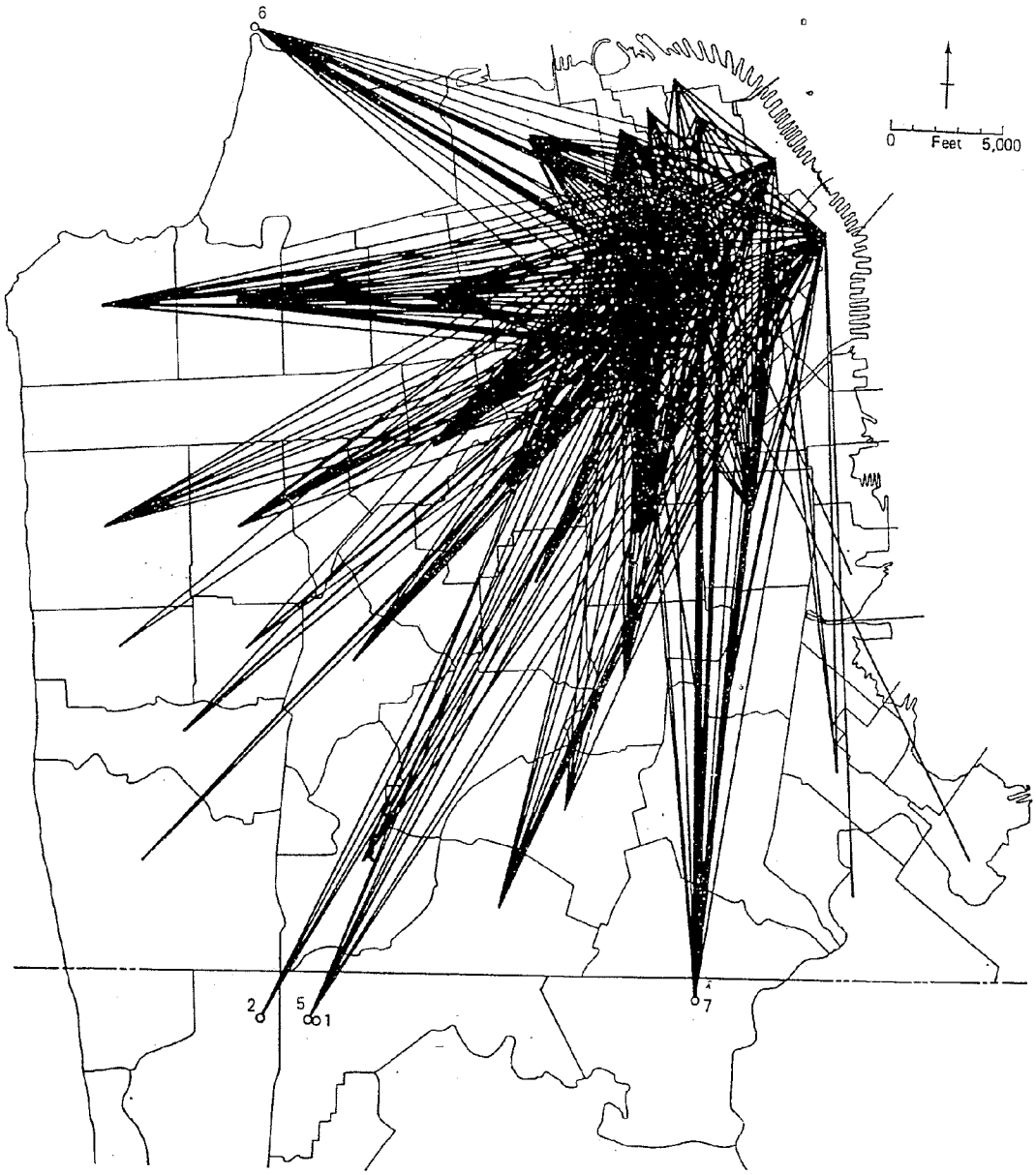
۲- کامیون‌ها

۳- تاکسی‌ها

۴- خلاصه جدولها

۵- تعداد مسافرهای حمل شده توسط اتومبیل، کامیون و تاکسی

۶- تعداد مسافرهای حمل شده توسط اتوبوس



شکل ۶-۵ خطوط تمایل رانندگان اتومبیل که بین منطقه شهری اصلی و نواحی اطراف سفر می‌کنند.

با استفاده از این جدولها تخمین حجم وسائل نقلیه‌ای که ممکن است هر قسمتی از یک مسیر مفروض را مورد استفاده قرار دهند و همچنین حجم نقل و انتقالات در هر نقطه از مسیر ممکن می‌گردد. این جدولها اطلاعات لازم برای بوجود آوردن مسیرهای ترافیکی برای سایر شهرها را نیز فراهم می‌کنند.

نه تنها امکان تخمین حجم ترافیک برای مسیرهای مختلف به سوی، از میان و در داخل یک منطقه بزرگ شهری امکان پذیر است، بلکه تعداد سفرهای انجام شده با اتومبیل، کامیون، تاکسی

و اتوبوس نیز از هر منطقه به سایر مناطق به دست می‌آید.

ارائه تصویری تردد ترافیک. اطلاعات موجود در جدول‌های سفر بین مناطق برای تهیه نقشه‌های خط تمایل مورد استفاده قرار می‌گیرد. سفرهای دو طرفه بین هر دو منطقه به وسیله یک خط مستقیم که مراکز دو منطقه را به هم متصل می‌کند. و عرض آن متناسب با تعداد سفر بین دو منطقه است، نشان داده می‌شود. مثالی از نقشه خط تمایل در شکل ۶-۵ نشان داده شده است. خطوط تمایل همان جریان‌های ترافیکی می‌باشند که با حداقل فاصله بین مبدأ و مقصد ممکن است اتفاق بیافتد. یک خیابان اصلی که موقعیت آن ایده‌آل باشد، تا اندازه زیادی به شکل خطوط تمایل نزدیک خواهد بود.

یک نقشه خط تمایل اصلی با خلاصه کردن خطوط تمایل مجزا تهیه می‌شود، و تمام خطوطی که تقریباً یک جهت را دنبال می‌کنند با هم ترکیب می‌شوند. این الگوهای اصلی جهت‌دار در تعیین بهترین محل قرار گرفتن مستقیم بزرگراههای شهری، یا بررسی نقایص سیستم موجود بسیار مفید خواهد بود.

برای بدست آوردن خطوط تمایل تردد ترافیک از اطلاعات زیاد و حجم مطالعات مبدأ و مقصد، از سیستم‌های ترسیمی و محاسباتی الکترونیک (کامپیوتر و رسام) باید استفاده نمود.

جداول پارکینگ . این جدول‌ها برای تخمین نیاز به محل‌های پارک در نقاط مختلف ناحیه تحت مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات پارکینگ از مصاحبه‌های داخلی بدست می‌آید، و این اطلاعات را میتوان برای تهیه جدولهائی که بطور کلی نوع پارکینگ مورد لزوم را بر حسب منظور از سفر نشان می‌دهند، و برای سفرهائی که مقصد نهائی آنها داخل ناحیه مرکزی تجاری قرار دارد، بکار گرفت.

شکل این جدولها برای هر دو حالت یکسان می‌باشد، با قرار گرفتن نوع پارکینگ بصورت عنوان‌های ردیفی و منظور از سفر بصورت عنوان‌های ستونی.

مطالعات تکمیلی مبدأ و مقصد

این مطالعات عبارتند از:

مطالعات داخلی - خارجی خط محدوده

برای شهرهائی که جمعیت آنها بین ۵۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ نفر است، روش مطالعات داخلی خارجی خط محدوده برای مطالعات مبدأ و مقصد توصیه می‌شود. این در صورتی است که قسمت زیادی از ترافیک به مقصد ناحیه تجاری مرکزی می‌باشد، و یا سفرها عمدتاً ترافیک عبوری باشد و هیچگونه کمبودی خارج از ناحیه تجاری مرکزی وجود نداشته باشد.

مطالعات پارکینگ - خارج خط محدوده

برای شهرهائی که جمعیت آنها بین ۵۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ نفر است، ترکیب مطالعات خارج از خط محدوده و پارکینگ برای مطالعات مبدأ و مقصد توصیه می‌شود. وقتی مسئله اصلی تراکم ترافیک و پارکینگ در ناحیه تجاری مرکزی باشد این روش مؤثر می‌باشد.

علاوه بر بدست آوردن اطلاعات از مطالعات خارج از خط محدوده، همانطور که قبلاً اشاره شده، یک بررسی جامع از وضعیت پارکینگ در ناحیه تجاری مرکزی نیز انجام می‌شود. این بررسی شامل بررسی وضع موجود تسهیلات پارکینگ، مصاحبه با متقاضیان در محل‌های پارک، و شمارش‌های خط محدوده برای تمام ترافیک که به سمت داخل و خارج از ناحیه مرکزی تجاری حرکت می‌کنند می‌باشد. روش انجام بررسی‌های جامع باتمام جزئیات موجود است.

مطالعات خارج خط محدوده

برای شهرهائی که جمعیت آنها کمتر از ۵۰۰۰ نفر است، روش مطالعه خارج از خط محدوده برای انجام مطالعات مبدأ و مقصد توصیه می‌شود. این برای شهرهائی با جمعیت ذکر شده کافی می‌باشد، زیرا ترافیکی که به سمت شهر می‌آید اثرات اصلی را بر الگوهای سفر در ناحیه داخل شهر دارد.

فصل ۶
مطالعات اقتصادی راه

اقتصاد، آنگونه که توسط علمای این علم تعریف می‌شود به معنای بدست آوردن سود حداکثر از پول در بلند مدت است. یا به شکل بهتری می‌توان گفت که اقتصاد به معنای تامین حداکثر ممکن نسبت سود به هزینه است. کاربرد اصول اقتصاد مهندسی در یک پروژه مشخص مهندس را در انتخاب نوع ساختمان یا توسعه‌ای که با کمترین هزینه منظور را برآورده می‌سازد یاری می‌دهد.

اقتصاد راه، بصورتی که از اقتصاد مهندسی متمایز می‌شود، نه تنها در رابطه با توجیه اقتصادی بعضی از برنامه‌های توسعه می‌باشد بلکه با عوامل دیگری از توسعه راه که از اهمیت حیاتی برخوردار است نیز مربوط می‌شود. برای مثال استفاده از راهها برای مقاصد تجاری منجر به اتخاذ بعضی روشهای مالیاتی شده است که ممکن است در کاربرد عملی بسیار متنوع باشند. بنابراین برای تهیه اصولی که باید در برنامه‌ریزی اخذ مالیات از وسایل نقلیه دنبال شود، و همچنین تقسیم مالیات‌ها بین طبقات مختلف استفاده کنندگان از راه، لازم است زمینه وسیع اخذ مالیات از استفاده کنندگان مورد بررسی قرار گیرد. اختصاص صحیح مالیات‌ها در میان استفاده کنندگان با مسأله هزینه‌ها ارتباط نزدیکی دارد. قبل از اینکه استفاده کنندگان بطور مساوی مشمول مالیات شوند باید محاسباتی در مورد هزینه‌های ساخت و نگهداری راهها انجام شود.

روش‌های جدید اخذ وام مالی برای استفاده در راهسازی شامل روش‌های بازپرداخت آن نیز می‌باشد. بازپرداخت قروض تضمین شده به شکل مناسب باید در تمام بحث‌های مربوط به اقتصاد راه مورد توجه قرار گیرد.

یکی از هدف‌های مهندسی ترافیک تامین حمل و نقل اقتصادی، راحت و ایمن برای کالا و انسان است. توسعه تسهیلات ترافیکی نیاز به پول دارد، و بهترین راه برای ارزیابی و توجیه توسعه‌های مشخص از طریق مطالعه اقتصادی است. یک برخورد واقع‌گرایانه به مسأله خیلی قابل دفاع‌تر از فقط یک عقیده خواهد بود.

برنامه‌ریزی راه، مانند برنامه‌ریزی تجارت خصوصی، باید بر اساس ملاحظات اقتصادی استوار باشد و شامل پایه‌گذاری اهداف بلند مدت برای یک دوره چندین ساله است. این اهداف بایستی برای اجرا در طول این مدت بطور منطقی برنامه‌ریزی شود. یک زمان‌بندی سیستماتیک برای توسعه‌های در نظر گرفته شده لازم است تا بازگشت حداکثر سود را از سرمایه‌های هزینه شده تضمین نماید.

اصول اقتصاد مهندسی

درک کامل اصول اقتصاد مهندسی بعنوان زمینه‌ای برای مطالعات اقتصادی راه بسیار لازم است. مطالعه روش‌های برخورد با اثرات زمانی در مقایسه هزینه‌های اولیه، نهایی و جاری ضروری می‌باشد. هر مهندسی که برای انجام مطالعه‌ای شامل تحلیل هزینه‌ها دعوت می‌شود باید با روش بدست آوردن رابطه‌های ریاضی، که در تبدیل هزینه‌های غیرمشابه از نظر عنصر زمانی مفید است، آشنا باشد.

توجه داشته باشید که در هرکدام از رابطه‌ها n مشخص کننده تعداد دوره‌های ترکیبی است. برای سادگی n بعنوان تعداد سال‌ها، یعنی ترکیب دوره‌های یکساله، فرض شده است. بهرحال تمام معادلات، اگر n تعداد سال‌ها و یا تعداد فصل‌ها، ماه‌ها، و یا دوره‌های دیگری را نشان دهد، به قوت خود باقی

است. البته نرخ پول، i بایستی متناسب با طول مدت دوره ترکیبی (سالیانه، فصلی، ماهیانه و غیره) انتخاب شود.

فرمول‌های پرداخت ثابت سالیانه

مبلغ مرکب. مبلغ مرکب عبارت است از مقدار پول S که از پس‌انداز کردن مبلغ P در حال حاضر و با نرخ i برای مدت n سال جمع می‌شود.

P = سرمایه، مبلغی که با بهره مرکب پس‌انداز شده است.

$P + Pi = P(1 + i)$ = سرمایه بعلاوه سود پس از یک سال، مبلغ کل پس از یک سال.

$P(1 + i) + P(1 + i)i = P(1 + i)^2$ = سرمایه بعلاوه سود پس از دو سال، مبلغ کل پس از دو سال.

$P(1 + i)^2 + P(1 + i)^2 i = P(1 + i)^3$ = سرمایه بعلاوه سود پس از سه سال، مبلغ کل پس از سه سال.

بنابراین مبلغ جمع شده در پایان سال nام، S:

$$S = P(1 + i)^n \qquad (۶ - ۱)$$

و ضریب مبلغ ترکیبی = $(1 + i)^n$

ارزش فعلی. ارزش فعلی یک مبلغ مشخص در آینده برابر اصل سرمایه، یا مبلغ P که در حال حاضر به بهره مرکب با نرخ i گذاشته می‌شود، می‌باشد. در فرمول بالا P اصل سرمایه یا مبلغ فعلی است و S مبلغ جمع شده در آینده است بنابراین اگر معادله را برای P حل کنیم:

$$P = \frac{S}{(1 + i)^n} \qquad (۶ - ۲)$$

و ضریب ارزش فعلی = $\frac{1}{(1 + i)^n}$

صندوق ذخیره. برای اینکه S در پایان n سال جمع‌آوری شود، یک صندوق ذخیره می‌توان درست کرد و پس‌اندازهای ثابت به مبلغ R را بطور دوره‌ای (مثلاً سالیانه) در آن واریز نمود. افزایش ارزش پول به نرخ ثابت i خواهد بود.

S = مبلغ نهایی جمع شده بصورت مرکب برای n پس‌انداز سالیانه، چون:

$R(1 + i)^{n-1}$ = مبلغ ترکیبی در پایان n سال، با پرداخت مبلغ R در پایان سال اول

و:

R = مبلغ پرداخت شده در پایان سال nام، که سودی به آن تعلق نمی‌گیرد.

بنابراین:

$$S = R(1 + i)^{n-1} + R(1 - i)^{n-2} + \ldots + R(1 + i)^2 + R(1 + i) + R$$

برای بدست آوردن مقدار این مجموعه، روشی که در بدست آوردن حاصل مجموعه‌های معین کارآیی زیادی دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابتدا دو طرف معادله را در $(1 + i)$ ضرب کنید:

$$S(1 + i) = R(1 + i)^n + R(1 + i)^{n-1} + \ldots + R(1 + i)^2 + R(1 + i)$$

حال دو معادله را از یکدیگر کم نمایید، بنابراین تمام جملات طرف راست، بجز جملات اول و آخر حذف می‌شود:

$$R = \frac{Si}{(1 + i)^n - 1} \qquad (۶ - ۳)$$

و ضریب صندوق ذخیره = $\frac{i}{(1 + i)^n - 1}$ (مربوط به پرداخت سالیانه)

اگر معادله (۳ - ۶) را برای S حل کنیم:

$$S = \frac{R[(1 + i)^n - 1]}{i}$$

و ضریب مبلغ ترکیبی = $\frac{(1 + i)^n - 1}{i}$

(مربوط به پرداخت ثابت سالیانه)

اگر معادله (۳ - ۶) را برای n حل کنیم:

$$n = \frac{\log[(Si + R)/R]}{\log(1 + i)}$$

n = تعداد سال‌های (دوره‌های لازم برای جمع شدن مبلغ S، در صورتی که پرداخت‌های سالیانه (یا دوره‌ای به مبلغ R در یک حساب با نرخ i ریخته شود.

بازگشت سالیانه سرمایه. برای تامین قبلی برداشت سالیانه

مبلغ R به مدت n سال، یعنی برای بازگشت سرمایه (بعلاوه سود) بصورت یکنواخت و سالیانه، مبلغ P کنار گذاشته می‌شود که با نرخ مرکب i و n برداشت سالیانه، هرکدام به مبلغ R کاملاً آن سرمایه را مورد استفاده قرار می‌دهد.

$P(1+i) - R$ = مبلغ موجود پس از پایان سال اول.

$P(1+i)^2 - R(1+i) - R$ = مبلغ موجود پس از پایان سال دوم.

$P(1+i)^3 - R(1+i)^2 - R(1+i) - R$ = مبلغ موجود پس از پایان سال سوم.

$P(1+i)^n - R(1+i)^{n-1} - R(1+i)^{n-2} - \dots - R(1+i) - R$ = مبلغ موجود در پایان سال nام

که طبق تعریف باید برابر صفر باشد.

$$P(1+i)^n - R(1+i)^{n-1} - R(1+i)^{n-2} + \dots + R(1+i) - R = 0$$

اگر طرفین رابطه بالا را در $(1+i)$ ضرب کنیم:

$$P(1+i)^{n+1} - R(1+i)^n - R(1+i)^{n-1} + \dots + R(1+i)^2 - R(1+i) = 0$$

اگر دو معادله را از یکدیگر کم کنیم:

$$P(1+i)^{n+1} - P(1+i)^n - R(1+i)^n + R = 0$$
$$P(1+i)^n(1+i-1) = R[(1+i)^n - 1]$$
$$P(1+i)^n i = R[(1+i)^n - 1]$$

اگر معادله فوق را برای R حل کنیم:

برداشت سالیانه،

$$\text{مبلغ سالیانه برگشت سرمایه} = R = \frac{P(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1}$$

$$\text{ضریب بازگشت سرمایه} = \frac{(1+i)i}{(1+i)^n - 1}$$

(برای مبلغ ثابت سالیانه)

اگر برای P حل کنیم:

$$P = \frac{R[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n} \qquad (۶-۴)$$

P = مساوی مبلغی که در حال حاضر باید کنار گذاشت، ارزش معاملاتی یا ارزش فعلی مبلغ‌های سالیانه.

ضریب ارزش فعلی (برای برداشت ثابت سالیانه):

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

برای راحتی در استفاده از ضرایب سالیانه بهره، مقادیر این ضرایب برای نرخ‌های مختلف در جدول‌هایی مرتب می‌شود. قسمتی از این جدول‌ها، که کامل‌تر آن در کتاب‌های اقتصاد مهندسی یافت می‌شود، در جدول ۱ - ۶ نشان داده شده است.

هزینه‌های حمل و نقل جاده‌ای

هزینه‌های حمل و نقل جاده‌ای را می‌توان به دو گروه وسیع تقسیم نمود:

۱ - هزینه‌های استفاده‌کننده: هزینه‌هایی که توسط استفاده‌کننده در بکارگیری وسیله نقلیه‌اش تحمل می‌شود.

۲ - هزینه‌های راه: هزینه‌هایی که در ساختن و نگهداری راه‌ها صرف می‌گردد. هر دو گروه هزینه‌ها معمولاً بر اساس سالیانه بیان می‌شوند. بنابراین هزینه‌های راه را می‌توان بطور کلی بعنوان هزینه‌های سالیانه ناشی از ساخت، نگهداری و عملکرد یک راه یا شبکه راه تعریف نمود. بطور مشابه، هزینه‌های استفاده‌کننده هزینه‌های سالیانه مربوط به مالکیت و راه‌اندازی وسیله نقلیه روی جاده می‌باشد. واحد هزینه‌های وسیله نقلیه-معمولاً بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر (یا وسیله نقلیه - مایل) یا بر حسب تن - کیلومتر (یا تن - مایل) برای وسایل تجاری بیان می‌شود. بطور کلی، چون هر دو قسمت این هزینه‌ها توسط افراد معینی پرداخت می‌شود، اقتصادی‌ترین حالت وقتی اتفاق می‌افتد که جمع این هزینه‌ها، با حفظ ایمنی و راحتی لازم، به حداقل برسد.

هزینه‌های راه کلاً بر عهده عامه مردم است، از طریق مالیات وسایل نقلیه، مالیات‌های عمومی، و سرمایه‌گذاری‌های مخصوص؛ در حالیکه هزینه‌های وسیله نقلیه بر عهده افرادی بعنوان مالکین وسایل نقلیه می‌باشد. بنابراین انتخاب برنامه توسعه راه که هزینه کل را به حداقل برساند نیاز به منظور نمودن هزینه‌های راه و هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه دارد.

هزینه‌های استفاده‌کننده

هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه از نظر مهندسین راه، و یا بطور مشخص‌تر از نظر اقتصاددان راه، از اهمیّت زیادی برخوردار

است، به چند دلیل که مهمترین آنها عبارتند از:

۱ - مقایسه روش‌های مختلف حمل و نقل.

۲ - تعیین منافع استفاده کننده از راه، که نشان‌دهنده مقدار پولی است که باید در توسعه راه مصرف شود.

۳ - کمک به تصمیم‌گیری در تعیین الویت‌های توسعه.

۴ - کمک به مقایسه مسیرهای مختلف ممکن برای یک راه.

وابستگی هزینه. برخی از هزینه‌های کارکردی یک وسیله نقلیه موتوری تقریباً بطور مستقیم متناسب است با مسافتی که پیموده شده است (مایل یا کیلومتر)، هزینه‌های دیگر اساساً با زمان تغییر می‌کند و بعضی از آنها نیز به سرعت بستگی دارد.

وابسته به زمان:

۱ - نرخ پول در مورد هزینه اولیه.

۲ - فرسودگی، قسمتی از استهلاک است که ناشی از عدم کفایت یا خارج از رده بودن وسیله نقلیه است.

۳ - هزینه‌های گرفتن گواهینامه و ثبت وسایل نقلیه

۴ - کرایه گاراژ

۵ - بیمه

۶ - حقوق راننده، در مورد وسایل نقلیه تجاری

۷ - مالیات‌ها

وابسته به مسافت:

۱ - سوخت

۲ - روغن

۳ - لاستیک‌ها و نگهداری از لاستیک

۴ - تعمیرات و نگهداری وسیله نقلیه

۵ - استهلاک، قسمتی که تحت تاثیر فرسودگی قرار می‌گیرد.

وابسته به سرعت:

۱ - ارزش زمان سفر برای راننده و سرنشین (هزینه‌های آنها با سرعت نسبت عکس دارد.)

۲ - مصرف سوخت، روغن و لاستیک (این هزینه‌ها با زیاد شدن سرعت زیاد می‌شود.)

جدول ۱ - ۶. ضرایب سالیانه بهره مرکب

نرخ بهره	دوره	پرداخت منفرد		پرداخت‌های ثابت سالیانه			
		ضریب مبلغ ترکیبی	ضریب ارزش فعلی	ضریب صندوق ذخیره	ضریب بازگشت سرمایه	ضریب مبلغ مرکب	ضریب ارزش فعلی
i	n	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i}$	$\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$
3 %	5	1.1593	0.8626	0.1884	0.2184	5.539	4.580
	10	1.3439	0.7441	0.0872	0.1172	11.464	8.530
	15	1.5580	0.6419	0.0538	0.0838	18.599	11.938
	20	1.8061	0.5537	0.0372	0.0672	26.870	14.877
	25	2.0938	0.4776	0.0274	0.0574	36.459	17.413
	30	2.4773	0.4120	0.0210	0.0510	47.575	19.600
4 %	5	1.2167	0.8219	0.1846	0.2246	5.416	4.452
	10	1.4802	0.6756	0.0833	0.1233	12.006	8.111
	15	1.8009	0.5553	0.0499	0.0899	20.024	11.118
	20	2.1911	0.4564	0.0336	0.0736	29.778	13.590
	25	2.6658	0.3751	0.0240	0.0640	41.646	15.622
	30	3.2434	0.3083	0.0178	0.0578	56.085	17.292
5 %	5	1.2763	0.7835	0.1810	0.2310	5.526	4.329
	10	1.6289	0.6139	0.0795	0.1295	12.578	7.722
	15	2.0789	0.4810	0.0463	0.0963	21.579	10.380
	20	2.6533	0.3769	0.0302	0.0802	33.066	12.462
	25	3.3864	0.2953	0.0210	0.0710	47.727	14.094
	30	4.3219	0.2314	0.0151	0.0651	66.439	15.372
6 %	5	1.3382	0.7473	0.1774	0.2374	5.637	4.212
	10	1.7908	0.5584	0.0759	0.1359	13.181	7.360
	15	2.3966	0.4173	0.0430	0.1030	23.276	9.712
	20	3.2071	0.3118	0.0272	0.0872	36.786	11.470
	25	4.2919	0.2330	0.0182	0.0782	54.865	12.783
	30	5.7435	0.1741	0.0127	0.0727	79.058	13.765
7 %	5	1.4026	0.7130	0.1739	0.2439	5.751	4.100
	10	1.9672	0.5083	0.0724	0.1424	13.816	7.024
	15	2.7590	0.3624	0.0398	0.1098	25.129	9.108
	20	3.8697	0.2584	0.0244	0.0944	40.995	10.594
	25	5.4274	0.1842	0.0158	0.0858	63.249	11.654
	30	7.6123	0.1314	0.0106	0.0806	94.461	12.409

از هزینه‌های فوق آنهایی که با مسافت یا سرعت تغییر می‌کنند، معمولاً تحت تاثیر توسعه راه تغییرات بیشتری نیز دارند. در مطالعات اقتصادی راه، این قبیل هزینه‌ها از اهمیت بخصوصی برخوردار هستند، زیرا توجیه یک برنامه توسعه راه تا اندازه زیادی بر اساس صرفه‌جویی‌هایی است که در هزینه‌های عملکردی برای جبران مخارج لازم می‌شود.

مخارج واقعی برای تمام انواع وسایل نقلیه با توجه به اقلام ذکر شده در بالا و با جزئیات در دسترس نیست. مطالعات عمده‌ای دراین مورد توسط اشتو انجام شده، که در نشریات آن سازمان منتشر شده است. این مطالعات اطلاعاتی را در مورد هزینه‌های عملکردی اتومبیل‌های شخصی در راه‌های خارج شهری مشخص کرده است. بهرحال اطلاعات مشابهی در مورد کامیون‌ها و اتوبوس‌ها در مناطق خارج شهری، و برای اتومبیل، اتوبوس و کامیون در مناطق شهری مورد نیاز است. در این فصل بعضی از جداول اشتو، که مربوط به سال ۱۹۶۰ می‌باشد بعنوان نمونه آورده شده است. البته اینگونه اطلاعات همیشه باید برای استفاده بهنگام باشد، با توجه به اینکه سال انتشار اطلاعات نیز همیشه چند سالی بعد از انجام مطالعات است.

معیارهای هزینه. خصوصیات متغیر طراحی راه و شرایط عملکردی وسیله نقلیه که توسط اشتو در تعیین واحد هزینه‌های استفاده‌کننده در نظر گرفته شده است عبارتند از:

الف - نوع وسیله نقلیه، شامل: ۱ - اتومبیل، ۲ - کامیون یا اتوبوس

برای محاسبه هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه تجاری (کامیون و اتوبوس) در مناطق شهری، ضرایبی بین ۲ تا ۶ در نظر گرفته شده است. این ضرایب نشان دهنده نسبت هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه تجاری به اتومبیل می‌باشد. در گروه اتومبیل‌ها، کامیون‌های سبک که معمولاً به پیکاپ یا وانت معروف است نیز قرار می‌گیرد. وسایل نقلیه تجاری به دو دسته تقسیم می‌شوند: کامیون‌های تک واحدی و کامیون‌های ترکیبی، کامیون‌های تک واحدی معمولاً آنهایی هستند که در محور عقب دارای چرخ‌های دوبل می‌باشند و موتور و قسمت بار روی یک شاسی قرار دارند. کامیون‌های ترکیبی وسایل نقلیه‌ای هستند که از دو قسمت کشنده و نیمه تریلر یا تریلر کامل تشکیل شده‌اند.

ضرایب این دو نوع کامیون و اتوبوس در جدول ۲ - ۶ آمده است، که بر اساس مطالعات اشتو می‌باشد. در عمل واحد هزینه عملکردی اتومبیل در تعداد معادل اتومبیل، که از ضرب کردن تعداد وسائل نقلیه تجاری در نسبت مناسب آنها بدست می‌آید، ضرب می‌شود.

جدول ۲ - ۶. نسبت هزینه‌های عملکردی کامیون به اتومبیل

نوع کامیون	درصد تقریبی از کل روی جاده اصلی	نسبت هزینه‌های کامیون به هزینه‌های اتومبیل
کامیون‌های تک‌واحدی	۷۰	۲ تا ۴
کامیون‌های ترکیبی	۲۹	۴ تا ۶
اتوبوس‌ها	۱	۲ تا ۴
ترکیبی (کامیون و اتوبوس)	۱۰۰	۲/۵ تا ۴/۵

ب - نوع منطقه، شامل: ۱ - خارج شهری، ۲ - شهری

اشتو تقریب‌های زیر را برای تحلیل مناطق شهری پیشنهاد می‌کند:

(الف) در خیابانهای اصلی و بزرگراهها که جریان ترافیک تقریباً یکنواخت است، هزینه مساوی با مناطق خارج شهری است.

(ب) در خیابان‌های اصلی که جریان ترافیک یکنواخت نیست و فقط تداخل‌های ملایمی وجود دارد، واحد هزینه‌ها باید به اندازه ۱۰ الی ۳۰ درصد اضافه شود.

(ج) در عملکرد توقف و حرکت، مطالعه در مورد تعداد توقف‌ها و زمان متوسط توقف‌هایی که اتفاق می‌افتد باید انجام شود. تحلیل باید بر اساس حالت (الف) انجام شود و شامل هزینه‌های توقف نیز بشود.

(د) برای شرایط بین (الف) و (ب) یا بین (ب) و (ج)، مقادیر را می‌توان با میان‌یابی یا اندازه‌گیری تعیین کرد.

ج - نوع جاده شامل: ۱ - دوخطه، ۲ - اتوبانی

نوع جاده توسط اشتو با توجه به تعداد و ترتیب خط‌ها مشخص می‌شود. طبقه‌بندی اصلی بین جاده‌های دوخطه و اتوبانی است. واحد هزینه‌ها برای این دو حالت و در شرایط خارج شهری برای قسمت‌های مستقیم جاده و در سرعت‌های مختلف داده شده است. سرعت‌های حرکت در جاده‌های سه‌خطه و چهارخطه بدون رفوژ تقریباً برابر با کمی بیشتر است از سرعت‌های داده شده برای جاده‌های دوخطه در شرایط قابل قیاس، اثر بقیه متغیرها خیلی کم می‌باشد. بنابراین هزینه‌های واحد برای راه‌های سه‌خطه را می‌توان تقریباً برابر با هزینه‌های راه‌های دوخطه، و هزینه‌های واحد در جاده‌های بیرون رفوژ سه یا چهارخطه و یا بیشتر را می‌توان تقریباً برابر یا میانگین مقدار آن برای راه‌های دوخطه و اتوبانی فرض کرد.

د - نوع عملکرد شامل: ۱ - آزاد، ۲ - عادی، ۳ - محدود

حجم ترافیک روی جاده مسلماً در سرعت حرکت و تراکم آن موثر است، و به همین ترتیب در واحد هزینه عملکرد وسیله نقلیه نیز موثر خواهد بود. عملکرد وسیله نقلیه روی جاده‌های خارج شهری برای محاسبه واحد هزینه عملکرد به سه نوع تقسیم می‌شود: آزاد، عادی و محدود.

نوع عملکرد بستگی به سی‌امین حجم حداکثر ساعتی دارد، به ترتیب زیر:

نوع عملکرد	نسبت حجم حداکثر ساعتی مرتبه سی‌ام به ظرفیت عملی
محدود	بیشتر از ۱/۲۵
عادی	بین ۰/۷۵ تا ۱/۲۵
آزاد	کمتر از ۰/۷۵

در چاپ جدید کتاب «محاسبات ظرفیت راه‌ها» سطح سرویس بجای ظرفیت عملی در نظر گرفته شده است.

در صورت نبودن راه‌حلی دیگر ظرفیت عملی را می‌توان برابر سطح سرویس B یا C برای راه‌های خارج شهری، و برابر با سطح سرویس C یا D برای راه‌های شهری در نظر گرفت.

هـ - سرعت حرکت

واحد هزینه‌های عملکردی اشتو برحسب سرعت حرکت بیان می‌شود. سرعت حرکت برابر است با سرعت روی قسمتی از راه که برابر است با طول مسیر تقسیم بر کل زمان حرکت (زمانی که وسیله نقلیه در حرکت می‌باشد). سرعت حرکت باید نماینده سرعت در کل طول تحت مطالعه باشد. حجم ترافیک و طرح هندسی نیز در سرعت حرکت تاثیر عمده‌ای دارند. زمانی که کامیون و اتوبوس به نسبت‌های قابل‌توجهی در ترافیک وجود داشته باشند، لازم است اختلاف سرعت حرکت این نوع وسایل نقلیه با اتومبیل در نظر گرفته شود.

و - گروه شیب شامل: ۱ - بین ۰ تا ۳ درصد، ۲ - بین ۳ تا ۵ درصد، ۳ - بین ۵ تا ۷ درصد، ۴ - بین ۷ تا ۹ درصد.

گروه‌های ذکر شده برای شیب متوسط در طول قسمت تحت مطالعه می‌باشد، و این شیب متوسط را می‌توان با تقسیم کل تغییر ارتفاع به کل طول قسمت تحت مطالعه پیدا نمود. برای مثال، پروفیل شکل ۱ - ۶ را در نظر بگیرید و فرض کنید که کل طول برابر ۳۵۰۰ متر می‌باشد. بنابراین کل تغییر ارتفاع برابر است با:

متر ۱۰۵ = ۱۴ + ۴۲ + ۴۲ + ۰ + ۷

$$\text{شیب متوسط} = \frac{۱۰۵}{۳۵۰۰} \times ۱۰۰ = ٪ ۳ \quad \text{و}$$

ز - نوع رویه، شامل: ۱ - رویه آسفالتی یا بتنی ۲ - رویه شنی، ۳ - بدون رویه

بدون توجه به طرح هندسی، نوع رویه تأثیر خاصی روی واحد هزینه دارد. واحد هزینه استفاده کننده برای سه نوع مختلف رویه بطور مجزا داده شده است. این سه نوع عبارتند از: رویه آسفالتی یا بتنی، رویه شنی در هر نوع آب و هوا، و بدون رویه. واحد هزینه بر ای رویه آسفالتی یا بتنی و رویه شنی در شرایط خوب مشخص شده است. برای رویه آسفالتی یا بتنی در شرایط متوسط یا ضعیف هزینه واحد را می‌توان با میان‌یابی بین مقادیر داده شده برای حالت اول و دوم پیدا کرد. بهمین ترتیب هزینه‌های رویه شنی در شرایط ضعیف را می‌توان با میان‌یابی مقادیر داده شده برای رویه شنی و بدون رویه بدست آورد.

ح - مسیربندی شامل: ۱ - مستقیم یا قوس صاف ۲ - قوس

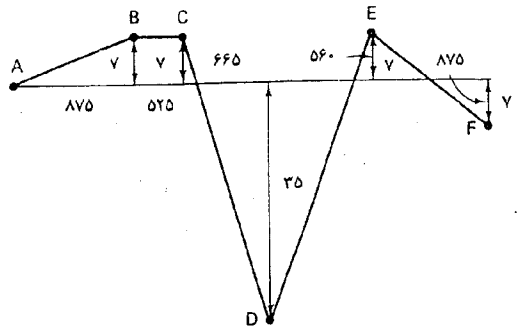
واحد هزینه عملکرد وسیله نقلیه برای مسیر مستقیم داده شده است و برای انحناء باید مقادیر داده شده تصحیح شود. اشتو فرض می‌کند که اثر انحناء، در صورتی که بربلندی (دور) مناسب در نظر گرفته شده باشد، قابل توجه نیست. وقتی بربلندی لازم در نظر گرفته نشده باشد، نیروی اصطکاک جانبی وسیله نقلیه را در مسیر منحنی شکل کنترل می‌کند، و این باعث بالا رفتن هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه، عمدتاً بخاطر هزینه‌های لاستیک و سوخت، خواهد شد. معمولاً متوسط درجه قوس و متوسط میزان بربلندی، که بر اساس طول و میانگین وزنی محاسبه می‌شود برای تعیین ضریب انحناء مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مطالعات دیگری نشان می‌دهد که انحناء با بربلندی مناسب نیز می‌تواند هزینه‌های عملکردی را افزایش دهد، مخصوصاً وقتی که در ترکیب با سرعت‌های زیاد یا انحناء زیاد قرار گیرد.

اجزاء هزینه‌های عملکردی یا حرکت وسیله نقلیه. این هزینه‌ها شامل هزینه سوخت، روغن، لاستیک، نگهداری و تعمیرات و همچنین استهلاک وسیله نقلیه است.

الف - هزینه‌های سوخت موتور

هزینه‌های سوخت موتور مهمترین جزء هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه است. مقدار سوخت مصرف شده نسبت



شکل ۱ - ۶. پروفیل یک جاده برای محاسبه شیب متوسط

به هر کدام از معیارهای هشتگانه که قبلاً مورد بحث قرار گرفت تغییر می‌کند.

مطالعات مختلفی برای تعیین اثر شیب در مصرف سوخت انجام شده است. تمام مطالعات نشان می‌دهند که در سربالایی سوخت بیشتر و در سرازیری سوخت کمتری نسبت به جاده افقی مصرف می‌شود. بطور کلی پذیرفته شده است که در مجموع اثر شیب در جهت ازدیاد مصرف سوخت است.

برای منظور کردن اثر انحناء در مصرف بنزین، قانونی که توسط اشتو پذیرفته شده است می‌گوید: اضافه مصرف بنزین در قوس‌ها مستقیماً متناسب است با ضریب اصطکاک جانبی ایجاد شده، و از نظر عادی مساوی با آن است. مثلاً اگر ضریب اصطکاک جانبی ایجاد شده ۱۰٪ باشد، سوخت مصرف شده (بصورت درصدی از سوخت مصرف شده در قسمت مستقیم) برابر ۱۱۰ درصد خواهد بود.

نوع رویه تاثیر مهمی در مصرف سوخت دارد. مقدار سوخت مصرفی در مسافت برای راه‌های بدون رویه بیشتر است از راه‌های شنی در شرایط خوب، مثلاً به ازاء یک لیتر بنزین مسافت طی شده در حالت اوّل ۱/۳ کیلومتر کمتر از حالت دوم است.

ب - هزینه روغن

تعیین یک رابطه مشخص میان میزان مصرف روغن و خصوصیات طراحی راه کار مشکلی است. مطالعات نشان می‌دهد که سرعت سفر و نوع رویه تأثیر مهمی در مقدار مصرفی روغن دارد. مصرف روغن با افزایش سرعت زیاد می‌شود و با تغییر نوع رویه از حالت صاف و دارای رویه تا بدون رویه نیز افزایش می‌یابد.

ج - هزینه لاستیک

فرسایش لاستیک با افزایش سرعت شدیداً زیاد می‌شود. فرسایش لاستیک با زبری سطح رویه، تراکم ترافیک، تندی شیب، و قوس‌هایی که دارای بربلندی مناسب نیستند، نیز زیاد می‌گردد. فرسایش لاستیک در سرعت ۸۵ کیلومتر در ساعت تقریباً سه برابر مقدار آن برای سرعت ۵۴ کیلومتر در ساعت است.

اگر عملکرد وسیله نقلیه در حالت عادی را مبنا قرار دهیم، در حالت عملکرد آزاد فرض می‌شود که فرسایش لاستیک ۹۰ درصد حالت عادی، و در عملکرد محدود ۱۲۵ درصد حالت عادی است. همچنین نشان داده شده است که حرکت مداوم بصورت توقف و حرکت فرسایش لاستیک را تا هفت برابر نسبت به سرعت یکنواخت معادل افزایش می‌دهد.

تحقیقات زیادی در مورد فرسایش لاستیک در اثر شیب انجام نشده است. بهرحال با توجه به اطلاعات محدود موجود، اشتو فرض می‌کند که، در مقایسه با عملکرد در حالت مسطح، فرسایش لاستیک از ۱۵ تا ۱۰۰ درصد، برای ازدیاد شیب از ۳ تا ۹ درصد، افزایش پیدا می‌کند.

رانندگی در قوس‌هایی که بربلندی (دِوِر) مناسب ندارند، باعث زیاد شدن فرسایش لاستیک می‌شود. فرسایش بستگی به ضریب اصطکاکی دارد که برای نگه‌داشتن وسیله نقلیه در مسیر دایره‌ای باید بوجود آید. در محلی که ضریب اصطکاک لازم ۰/۱۵ است، شدت فرسایش لاستیک تقریباً دو تا سه برابر مقدار آن در همان سرعت و روی قسمت مستقیم جاده می‌باشد.

د - استهلاک

وسایل نقلیه با توجه به فرسایش و خرابی‌های ناشی از مورد

استفاده قرار گرفتن، و همچنین با توجه به عمر آنها، مستهلک می‌شوند. در مورد اینکه چه قسمتی از استهلاک در اثر فرسایش و خرابی‌هاست و چه مقدار آن در اثر عمر وسیله نقلیه عقاید و نظرات متنوعی وجود دارد. اشتو بطور انتخابی پنجاه درصد استهلاک را به فرسایش و خرابی و پنجاه درصد دیگر را به عمر وسیله نقلیه ارتباط می‌دهد. در مطالعات اقتصادی که برای توسعه راه انجام می‌گیرد فقط استهلاک کارکرد (فرسایش و خرابی) در نظر گرفته می‌شود، یعنی قسمت مربوط به طول عمر تحت تاثیر توسعه قرار نمی‌گیرد.

برای پیدا کردن هزینه استهلاک، اتومبیل‌ها، متوسط هزینه پایه مستهلک نشده اتومبیل در حال حاضر ۳۰۰۰ دلار (مربوط به سال ۱۹۶۰) فرض شده است. عمر متوسط اتومبیل ۱۰ سال و ۱۰۰،۰۰۰ مایل کارکرد در نظر گرفته شده و برای ۱۰۰۰۰ - اتومبیل مسافرت، مقدار متوسط هزینه استهلاک محاسبه می‌گردد.

صدم دلار در مایل $= \frac{۱۰۰ \times ۱۵۰۰}{۱۰۰۰۰۰} = ۱/۵۰$

هـ - هزینه‌های تعمیر و نگهداری

تعیین یک رابطه بین شرایط عملکردی وسیله نقلیه و مخارج تعمیر و نگهداری آن کار مشکلی است. بخاطر نبودن اطلاعات، اشتو این هزینه‌ها را فقط به نوع روسازی ارتباط داده است، و فرض شده است که هزینه هر نوع رویه برای عملکردهای مختلف ثابت باشد.

هزینه تعمیر و نگهداری اتومبیل را در جاده‌های خارج شهری برای جاده دارای روسازی ۱/۲ صدم دلار در مایل، برای رویه شنی ۱/۸ صدم دلار در مایل، و برای جاده بدون رویه برابر ۲/۴ صدم دلار در مایل فرض کرده است.

ارزش زمان. یکی از نتایج اکثر برنامه‌های توسعه راه در این است که متوسط سرعت ترافیک افزایش یافته و تعداد توقف‌ها کم می‌شود، بنابراین در زمان سفر صرفه‌جویی بعمل می‌آید. این توافق کلی وجود دارد که صرفه‌جویی در زمان سفر برای کامیون‌ها، اتوبوس‌ها، و اتومبیل‌هایی که برای مقاصد تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارزشی دارد که باید بر حسب واحد پول بیان شود. بهرحال، اختصاص یک مبلغ مشخص به زمان در بسیاری از حالت‌ها کار مشکلی است، زیرا صرفه‌جویی چند دقیقه در زمان سفر ممکن است تاثیری در تحلیل هزینه‌های مربوط به راننده مانند حقوق، کرایه وسایل، و هزینه‌های بالاسری داشته و یا نداشته باشد، ولی تقلیل مشخصی در هزینه‌های حرکتی وسیله نقلیه (سوخت، روغن، لاستیک، تعمیرات و نگهداری) بوجود خواهد آمد.

در مورد نحوه در نظر گرفتن ارزش وقت برای وسایل نقلیه مسافری، در مطالعات اقتصادی، اختلاف نظر وجود دارد. زمینه مورد سئوال این نیست که آیا نگران صرفه‌جویی‌های زمانی بعنوان منافع استفاده کننده از راه باشیم یا نه، بلکه در این است که چه مقدار پول به آن تعلق می‌گیرد. در مورد اینکه استفاده کنندگان از وسایل نقلیه موتوری برای صرفه‌جویی در وقت اهمیت قائل هستند شکی وجود ندارد، همانگونه که از علاقمندی آنها به پرداخت پول برای استفاده از تسهیلاتی که منجر به صرفه‌جویی در وقت می‌شود می‌توان دریافت.

اشتو فرض می‌کند که ارزش وقت برابر ۱/۵۵ دلار در ساعت (سال ۱۹۶۰)، به عنوان یک رقمی که نماینده عقاید موجود است، و از نظر منطقی و عملی نیز ارزش وقت را برای اتومبیل‌های سواری نشان می‌دهد. یک اتومبیل سواری بطور متوسط ۱/۸ نفر سرنشین دارد، و ارزش زمانی برابر ۰/۸۶ دلار برای هر نفر در ساعت برابر ۱/۵۵ دلار در ساعت برای یک اتومبیل می‌شود. محافظه کارانه بودن این رقم نشان دهنده بحث‌انگیز بودن مساله است.

راحتی و آسایش. بحث زیادتری در مورد ارزش راحتی و آسایش، نسبت به ارزش زمان صرفه‌جویی شده وجود دارد. همانطور که توسط اشتو بیان شده است، یک بزرگراه که سفر مستقیم و بدون تداخلی را به مرکز تجاری شهر میسر می‌سازد، خدمتی را به استفاده کننده از راه ارائه می‌دهد که ارزشی به مراتب بیشتر و بالاتر از ارزش وقت و صرفه‌جویی‌های انجام شده در هزینه‌های عملکردی دارد. توانایی رفتن به مقصد بدون مزاحمت و با راحتی کافی دارای ارزش می‌باشد. رانندگی کردن بدون گرفتن ترمزهای پی‌درپی، توقف و حرکت، تداخل‌های غیرمنتظره و با آرامش کافی، بدون هرگونه تنش و با حفظ سلامتی دارای ارزشی بالاتر و بیشتر از سایر هزینه‌های عملکردی بوده و قابل‌توجه است. این حقیقت که بعضی از رانندگان برای راحتی و آسایش ارزشی قائل‌اند با مساله انتخاب تسهیلات مدرن و جدید با مسافت بیشتر و صرفه‌جویی کمتر در وقت، به بهترین وجه مشخص می‌شود. بعد از صرفه‌جویی در وقت، مهمترین دلیلی که از طرف استفاده‌کنندگان از بزرگراههای عوارضی، نسبت به راههای رایگان، بیان می‌شود راحتی و آسایش بیشتر است.

اشتو فرض می‌کند که راحتی و آسایش بستگی به نوع

عملکرد جاده دارد. برای جاده‌هایی که دارای رویه هستند، ارزشی که بعنوان هزینه ناراحتی و عدم آسایش مشخص شده است عبارت است از:

نوع عملکرد	هزینه بر وسیله نقلیه - مایل (سنت)
آزاد	۰
عادی	۰/۵
محدود	۱

برای راههای بدون رویه، شرایط قابل مقایسه با عملکرد محدود در نظر گرفته می‌شود، و ارزشی برابر یک صدم دلار برای هر وسیله نقلیه - مایل اضافه می‌شود. برای رویه شنی، شرایط متوسط تا عادی و نوع عملکرد محدود در نظر گرفته می‌شود و مقدار ۰/۷۵ سنت (صدم دلار) برای یک وسیله نقلیه - مایل اضافه می‌گردد.

چون در مورد اینکه آیا آسایش و راحتی را باید در هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه در نظر گرفت یا نه بحث وجود دارد، اشتو این هزینه‌ها را از رقم کلی هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه جدا کرده است.

جدول‌های واحد هزینه عملکرد وسیله نقلیه موتوری

قبل از انتخاب مقدار هزینه مناسب برای رقم‌های مختلف هزینه استفاده کننده، شرایط زیر باید برای هر قسمت تحت بررسی مشخص شود.

۱ - نوع جاده
۲ - نوع رویه
۳ - گروه شیب
۴ - سرعت حرکت
۵ - نوع عملکرد

جداول اشتو، واحد هزینه‌های عملکرد، هزینه وقت، و ارزش راحتی و آسایش برای وسایل نقلیه مسافری را ارائه می‌دهد. جداول ۳ - ۶ تا ۶ - ۶ این هزینه‌ها را برای شرایط مختلف مشخص کرده است. شکل ۲ - ۶ را به منظور تعیین ضرایب تصحیح برای در نظر گرفتن خصوصیات راه در قوس می‌توان مورد استفاده قرار داد.

مطالعات دیگری برای بدست آوردن اطلاعات در مورد مصرف سوخت، زمان سفر، خصوصیات عملکردی برای گروه‌های مختلف وسایل نقلیه، و هزینه‌های حرکت وسایل نقلیه موتوری، انجام شده است. از جمله این مطالعات، جداولی است که آقای وینفری (Winfrey) در کتاب خود به نام "تحلیل اقتصادی برای جاده‌ها" آورده و هزینه‌ها را برای اتومبیل‌های ۴۰۰۰ پوندی، وانت‌های ۵۰۰۰ پوندی، کامیون‌های تک واحدی ۱۲۰۰۰ پوندی، کامیون‌های ترکیبی بنزینی ۴۰۰۰۰ پوندی و کامیون‌های ترکیبی دیزلی ۵۰۰۰۰ پوندی مشخص کرده است.

هزینه توقف‌ها. توقف‌های ترافیک هزینه در بر دارد. هزینه‌های سوخت، فرسایش لاستیک‌ها و ترمزها، روغن و تعمیرات برای توقف و حرکت نسبت به حرکت مداوم زیادتر است. این هزینه را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد: هزینه‌های تاخیر ناشی از توقف و هزینه تاخیر ناشی از تقلیل و ازدیاد شتاب. هزینه تاخیر بخاطر توقف، کم کردن شتاب و ازدیاد شتاب براساس ارزشی که برای وقت در نظر گرفته شده است می‌باشد.

اشتو هزینه‌های دیگری را برای هر توقف اضافه کرده است، البته با در نظر گرفتن موارد زیر:

۱ - هزینه‌های عملکردی اضافی، که با جریان غیرمنقطع قابل مقایسه است، ناشی از توقف و حرکت. این هزینه‌ها در ستون ۲ و ۳ و ۴ جدول ۷ - ۶ برای سرعت‌های مختلف داده شده است.

۲ - تاخیر بخاطر تقلیل و ازدیاد شتاب. هزینه این قسمت از تاخیر بر اساس ارزش وقت ۱/۵۵ دلار در ساعت محاسبه شده است. این هزینه را در ستون ۷ - ۶ می‌توان یافت.

۳ - هزینه توقف وسیله نقلیه‌ای که منتظر سبز شدن چراغ راهنمایی است، یا تاخیر به دلایل دیگر. این هزینه نیز بر اساس ارزش وقت ۱/۵۵ دلار در ساعت محاسبه شده است. علاوه بر ارزش وقت لازم است هزینه‌های سوخت، روغن و تعمیرات را نیز در این حالت در نظر گرفت.

کل هزینه اضافی برای هر توقف، در سرعت‌های مختلف، را می‌توان از شکل ۳ - ۶، که شامل هزینه‌های تاخیر توقف نیز هست، بدست آورد.

منحنی خط‌چین نشان دهنده کل هزینه هر توقف، با در نظر گرفتن هزینه‌های عملکردی و زمان لازم برای تقلیل و ازدیاد شتاب، می‌باشد. منحنی با خط پر شامل ارزش زمان برای تاخیر توقف و هزینه‌های اضافی سوخت، روغن و تعمیرات، در حالت کارکرد وسیله نقلیه در جا، می‌شود.

مطالعات دیگری برای تعیین اهمیت زمان اضافی و سوخت مصرف شده بخاطر توقف‌ها، تقلیل سرعت‌ها، تغییرات سرعت و تراکم انجام شده است.

جدول ۳ - ۶ . هزینه‌های استفاده کننده برای اتومبیل در مناطق برون شهری - جاده مستقیم و تقسیم شده در شرایط خوب

هزینه‌های استفاده کننده، صدم دلار در وسیله نقلیه مایل

عملکرد آزاد

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	جمع هزینه‌ها	راحتی و آسایش	زمان هزینه‌های عملکرد	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	روغن و لاستیک	سوخت	
(1)	(2)	(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)
40	0-3	9.04	0	3.88	5.16	1.50	1.20	0.18	0.28	2.00
	3-5	9.19	0	3.88	5.31	1.50	1.20	0.18	0.33	2.10
	5-7	9.40	0	3.88	5.52	1.50	1.20	0.18	0.42	2.22
	7-9	9.86	0	3.88	5.98	1.50	1.20	0.8	0.57	2.53
44	0-3	8.86	0	3.52	5.34	1.50	1.20	0.21	0.34	2.09
	3-5	9.04	0	3.52	5.52	1.50	1.20	0.21	0.39	2.22
	5-7	9.29	0	3.52	3.77	1.50	1.20	0.21	0.51	2.35
	7-9	9.82	0	3.52	6.30	1.50	1.20	0.21	0.68	2.71
48	0-3	8.79	0	3.23	5.56	1.50	1.20	0.24	0.41	2.21
	3-5	8.99	0	3.23	5.76	1.50	1.20	0.24	0.47	2.35
	5-7	9.31	0	3.23	6.03	1.50	1.20	0.24	0.61	2.53
	7-9	9.93	0	3.23	6.70	1.50	1.20	0.24	0.81	2.95
52	0-3	8.78	0	2.98	5.80	1.50	1.20	0.29	0.47	2.34
	3-5	9.01	0	2.93	6.03	1.50	1.20	0.29	0.54	2.50
	5-7	9.40	0	2.98	6.42	1.50	1.20	0.29	0.71	2.72
	7-9	10.13	0	2.98	7.15	1.50	1.20	0.29	0.95	3.21
56	0-3	8.89	0	2.77	6.12	1.50	1.20	0.37	0.54	2.51
	3-5	9.17	0	2.77	6.40	1.50	1.20	0.37	0.62	2.71
	5-7	9.63	0	2.77	6.86	1.50	1.20	0.37	0.80	2.99
	7-9	10.49	0	2.77	7.72	1.50	1.20	0.37	1.07	3.58
60	0-3	9.09	0	2.58	6.51	1.50	1.20	0.52	0.56	2.73
	3-5	9.41	0	2.58	6.83	1.50	1.20	0.52	0.64	2.97

عملکرد عادی

32	0-3	10.27	0.50	4.84	4.93	1.50	1.20	0.15	0.23	1.85
	3-5	10.37	0.50	4.84	5.03	1.50	1.20	0.15	0.26	1.92
	5-7	10.54	0.50	4.84	5.20	1.50	1.20	0.15	0.34	2.01
	7-9	10.88	0.50	4.84	5.54	1.50	1.20	0.15	0.46	2.23
36	0-3	9.85	0.50	4.31	5.04	1.50	1.20	0.16	0.27	1.91
	3-5	9.98	0.50	4.31	5.17	1.50	1.20	0.16	0.31	2.00
	5-7	10.17	0.50	4.31	5.30	1.50	1.20	0.16	0.40	2.10
	7-9	10.54	0.05	4.31	5.73	1.50	1.20	0.16	0.53	2.34
40	0-3	9.58	0.50	3.88	5.20	1.50	1.20	0.18	0.32	2.00
	3-5	9.72	0.50	3.88	5.34	1.50	1.20	0.18	0.36	2.10
	5-7	9.95	0.50	3.88	5.57	1/50	1.20	0.18	0.47	2.22
	7-9	10.42	0.50	3.88	6.04	1.50	1.20	0.18	0.63	2.53
44	0-3	9.42	0.50	3.52	5.40	1.50	1.20	0.21	0.38	2.11
	3-5	9.60	0.50	3.52	5.58	1.50	1.20	0.21	0.44	2.23
	5-7	9.89	0.50	3.52	5.87	1.50	1.20	0.21	0.57	2.39
	7-9	10.44	0.50	3.52	6.42	1.50	1.20	0.21	0.76	2.75
48	0-3	9.39	0.50	3.23	5.66	1.50	1.20	0.24	0.45	2.27
	3-5	9.61	0.50	3.23	5.88	1.50	1.20	0.24	0.52	2.42
	5-7	9.96	0.50	3.23	6.23	1.50	1.20	0.24	0.67	2.62
	7-9	10.68	0.50	3.23	6.95	1.50	1.20	0.24	0.90	3.11
52	0-3	9.50	0.50	2.98	6.02	1.50	1.20	0.28	0.53	2.51
	3-5	9.77	0.50	2.98	6.29	1.50	1.20	0.28	0.60	2.71
	5-7	10.23	0.50	2.98	6.75	1.50	1.20	0.28	0.79	2.98
56	0-3	9.83	0.50	2.77	6.56	1.50	1.20	0.37	0.60	2.89
	3-5	10.20	0.50	2.77	6.93	1.50	1.20	0.37	0.68	3.18

عملکرد محدود

28	0-3	11.44	1.00	5.54	4.90	1.50	1.20	0.15	0.24	1.81
	3-5	11.55	1.00	5.54	5.01	1.50	1.20	0.15	0.27	1.89
	5-7	11.73	1.00	5.54	5.19	1.50	1.20	0.15	0.30	1.98
	7-9	12.09	1.00	5.54	5.55	1.50	1.20	0.15	0.48	2.22
32	0-3	10.82	1.00	4.84	4.98	1.50	1.20	0.15	0.28	1.85
	3-5	10.95	1.00	4.84	5.11	1.50	1.20	0.15	0.33	1.93
	5-7	11.14	1.00	4.84	5.30	1.50	1.20	0.15	0.43	2.02

جدول ۳ - ۶ . (ادامه)

هزینه‌های استفاده کننده، صدم دلار در وسیله نقلیه مایل

عملکرد محدود

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	جمع هزینه‌ها	راحتی و آسایش	زمان هزینه‌های عملکرد	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	روغن و لاستیک	سوخت	
(1)	(2)	(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)
	7-0	11.51	1.00	4.84	5.67	1.50	1.20	0.15	0.57	2.25
36	0-3	10.44	1.00	4.31	5.13	1.50	1.20	0.16	0.33	1.94
	3-5	10.58	1.00	4.31	5.27	1.50	1.20	0.16	0.38	2.03
	5-7	10.81	1.00	4.31	5.50	1.50	1.20	0.16	0.50	2.14
	7-9	11.22	1.00	4.31	5.91	1.50	1.20	0.16	0.67	2.38
40	0-3	10.23	1.00	3.88	5.35	1.50	1.20	0.18	0.39	2.08
	3-5	10.39	1.00	3.88	5.51	1.50	1.20	0.18	0.45	2.18
	5-7	10.67	1.00	3.88	5.79	1.50	1.20	0.18	0.59	2.32
	7-9	11.16	1.00	3.88	6.28	1.50	1.20	0.18	0.79	2.61
44	0-3	10.20	1.00	3.52	5.68	1.50	1.20	0.21	0.47	2.30
	3-5	10.39	1.00	3.52	5.87	1.50	1.20	0.21	0.55	2.41
	5-7	10.72	1.00	3.52	6.20	1.50	1.20	0.21	0.71	2.58
	7-9	11.34	1.00	3.52	6.82	1.50	1.20	0.21	0.95	2.96

جدول ۴ - ۶ . هزینه‌های استفاده کننده برای اتومبیل در مناطق برون شهری - جاده دوخطه در شرایط خوب روسازی

هزینه‌های عملکرد استفاده کننده، صدم دلار بر وسیله مایل

عملکرد آزاد

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	جمع هزینه‌ها	راحتی و آسایش	زمان هزینه‌های عملکرد	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	روغن و لاستیک	سوخت	
(1)	(2)	(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)
32	0-3	9.75	0	4.84	4.91	1.50	1.20	0.15	0.21	1.85
	3-5	9.85	0	4.84	5.01	1.50	1.20	0.15	0.24	1.92
	5-7	10.01	0	4.84	5.17	1.50	1.20	0.15	0.31	2.01
	7-9	10.34	0	4.84	5.50	1.50	1.20	0.15	0.42	2.23
36	0-3	9.33	0	4.31	5.02	1.50	1.20	0.15	0.26	1.91
	3-5	9.46	0	4.31	5.15	1.50	1.20	0.15	0.30	2.00
	5-7	9.65	0	4.31	5.34	1.50	1.20	0.15	0.39	2.10
	7-9	10.02	0	4.31	5.71	1.50	1.20	0.15	0.52	2.34
40	0-3	9.02	0	3.88	5.20	1.50	1.20	0.18	0.32	2.00
	3-5	9.23	0	3.88	5.35	1.50	1.20	0.18	0.37	2.10
	5-7	9.46	0	3.88	5.58	1.50	1.20	0.18	0.48	2.22
	7-9	9.93	0	3.88	6.05	1.50	1.20	0.18	0.64	2.53
44	0-3	8.94	0	3.52	5.42	1.50	1.20	0.21	0.40	2.11
	3-5	9.12	0	3.52	5.60	1.50	1.20	0.21	0.46	2.23
	5-7	9.42	0	3.52	5.90	1.50	1.20	0.21	0.60	2.39
	7-9	9.98	0	3.52	6.46	1.50	1.20	0.21	0.80	2.75
48	0-3	8.94	0	3.23	5.71	1.50	1.20	0.24	0.50	2.27
	3-5	9.17	0	3.23	5.94	1.50	1.20	0.24	0.58	0.58
	5-7	9.54	0	3.23	6.31	1.50	1.20	0.24	0.75	2.62
	7-9	10.28	0	3.23	7.05	1.50	1.20	0.24	1.00	3.11
52	0-3	9.10	0	2.98	6.12	1.50	1.20	0.28	0.63	2.51
	3-5	9.39	0	2.98	6.41	1.50	1.20	0.28	0.72	2.71
	5-7	9.89	0	2.98	6.91	1.50	1.20	0.28	0.95	2.98

جدول ۴ - ۶ (ادامه)

هزینه‌های عملکرد استفاده کننده، صدم دلار بر وسیله مایل

عملکرد آزاد

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	سوخت	لاستیک	روغن	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	راحتی و زمان هزینه‌های عملکرد	جمع آسایش	هزینه‌ها	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	7-9	3.65	1.26	0.28	1.20	1.50	7.89	2.98	0	10.87
56	0-3	2.91	0.75	0.37	1.20	1.50	6.73	2.77	0	9.50
	3-5	3.18	0.86	0.37	1.20	1.50	7.11	2.77	0	9.88
	5-7	3.60	1.12	0.37	1.20	1.50	7.79	2.77	0	10.56
60	0-3	3.64	0.84	0.52	1.20	1.50	7.71	2.58	0	10.29
	3-5	4.05	0.97	0.52	1.20	1.50	8.24	2.58	0	10.82

عملکرد عادی

28	0-3	1.81	0.19	0.15	1.20	1.50	4.85	5.54	0.50	10.89
	3-5	1.89	0.22	0.15	1.20	1.50	4.96	5.54	0.50	11.09
	5-7	1.98	0.28	0.15	1.20	1.50	5.11	5.54	0.50	11.15
	7-9	2.22	0.38	0.15	1.20	1.50	5.45	5.54	0.50	11.49
32	0-3	1.85	0.23	0.15	1.20	1.50	4.93	4.84	0.50	10.27
	3-5	1.93	0.26	0.15	1.20	1.50	5.04	4.84	0.50	10.38
	5-7	2.02	0.34	0.15	1.20	1.50	5.21	4.84	0.50	10.55
	7-9	2.25	0.46	0.15	1.20	1.50	5.56	4.84	0.50	10.90
36	0-3	1.94	0.29	0.16	1.20	1.50	5.09	4.31	0.50	9.90
	3-5	2.03	0.33	0.16	1.20	1.50	5.22	4.31	0.50	10.03
	5-7	2.14	0.43	0.16	1.20	1.50	5.43	4.31	0.50	10.24
	7-9	2.38	0.58	0.16	1.20	1.50	5.82	4.31	0.50	10.63
40	0-3	2.08	0.36	0.18	1.20	1.50	5.32	3.88	0.50	9.70
	3-5	2.18	0.41	0.18	1.20	1.50	5.47	3.88	0.50	9.85
	5-7	2.32	0.54	0.18	1.20	1.50	5.74	3.88	0.50	10.12
	7-9	2.61	0.72	0.18	1.20	1.50	6.24	3.88	0.50	10.59
44	0-3	2.30	0.45	0.21	1.20	1.50	5.66	3.52	0.50	6.98
	3-5	2.41	0.52	0.21	1.20	1.50	5.84	3.52	0.50	9.86
	5-7	2.58	0.67	0.21	1.20	1.50	6.16	3.52	0.50	10.18
	7-9	2.96	0.90	0.21	1.20	1.50	6.77	3.52	0.50	10.79
48	0-3	2.71	0.56	0.24	1.20	1.50	6.21	3.23	0.50	9.94
	3-5	2.85	0.64	0.24	1.20	1.50	6.43	3.23	0.50	10.16
	5-7	3.13	0.84	0.24	1.20	1.50	6.91	3.23	0.50	10.64
	7-9	3.45	1.12	0.24	1.20	1.50	7.51	3.23	.050	11.24

عملکرد محدود

20	0-3	1.83	0.18	0.14	1.20	1.50	4.85	7.75	1.00	13.60
	3-5	1.91	0.21	0.14	1.20	1.50	4.96	7.75	1.00	13.71
	5-7	2.06	0.27	0.14	1.20	1.50	5.17	7.75	1.00	13.92
	7-9	2.34	0.36	0.14	1.20	1.50	5.54	7.75	1.00	14.29
24	0-3	1.81	0.21	0.14	1.20	1.50	4.86	6.46	1.00	12.32
	3-5	1.87	0.24	0.14	1.20	1.50	4.95	6.46	1.00	12.41
	5-7	1.99	0.31	0.14	1.20	1.50	5.14	6.46	1.00	12.60
	7-9	2.25	0.42	0.14	1.20	1.50	5.51	6.46	1.00	12.97
28	0-3	1.82	0.24	0.15	1.20	1.50	4.91	5.54	1.00	11.45
	3-5	1.89	0.28	0.15	1.20	1.50	5.02	5.54	1.00	11.56
	5-7	1.98	0.36	0.16	1.20	1.50	5.19	5.54	1.00	11.73
	7-9	2.23	0.48	0.15	1.20	1.50	5.56	5.54	1.00	12.10
32	0-3	1.87	0.29	0.15	1.20	1.50	5.01	4.84	1.00	10.85
	3-5	1.95	0.33	0.15	1.20	1.50	5.13	4.84	1.00	10.97
	5-7	2.03	0.43	0.15	1.20	1.50	5.31	4.84	1.00	11.15
	7-9	2.27	0.58	0.15	1.20	1.50	5.78	4.84	1.00	11.54
36	0-3	2.00	0.36	0.16	1.20	1.50	5.22	4.31	1.00	10.53
	3-5	2.09	0.41	0.16	1.20	1.50	5.36	4.31	1.00	10.67
	5-7	2.19	0.54	0.16	1.20	1.50	5.59	4.31	1.00	10.90
	7-9	2.45	0.72	0.16	1.20	1.50	6.03	4.31	1.00	11.34
40	0-3	2.27	0.45	0.18	1.20	1.50	5.60	3.88	1.00	10.48
	3-5	2.39	0.52	0.18	1.20	1.50	5.79	3.88	1.00	10.67
	5.7	2.53	0.67	0.18	1.20	1.50	6.08	3.88	1.00	10.96
	7-9	2.81	0.90	0.18	1.20	1.50	6.59	3.88	1.00	11.47

جدول ۵ - ۶ . هزینه‌های استفاده کننده برای اتومبیل در مناطق برون شهری - جاده مستقیم با رویه شنی در شرایط خوب

هزینه‌های استفاده کننده، صدم دلار بر وسیله نقلیه مایل

عملکرد آزاد

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	سوخت	لاستیک	روغن	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	راحتی و زمان هزینه‌های عملکرد	جمع آسایش	هزینه‌ها	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
20	0-3	2.07	0.44	0.18	1.80	1.50	5.99	7.75	0.75	14.49
	3-5	2.17	0.50	0.18	1.80	1.50	6.15	7.75	0.75	14.65
	5-7	2.37	0.63	0.18	1.80	1.50	6.48	7.75	0.75	14.98
	7-9	2.74	0.83	0.18	1.80	1.50	7.05	7.75	0.75	15.55
24	0-3	2.03	0.50	0.18	1.80	1.50	6.01	6.46	0.75	13.22
	3-5	2.12	0.57	0.18	1.80	1.50	6.17	6.46	0.75	13.38
	5-7	2.27	0.73	0.18	1.80	1.50	6.48	6.46	0.75	13.63
	7-9	2.61	0.95	0.18	1.80	1.50	7.04	6.46	0.75	14.25
28	0-3	2.03	0.57	0.19	1.80	1.50	6.09	5.54	0.75	12.38
	3-5	2.14	0.65	0.19	1.80	1.50	6.28	5.54	0.75	12.57
	5-7	2.25	0.83	0.19	1.20	1.50	6.57	5.54	0.75	12.86
	7-9	2.57	1.09	0.19	1.80	1.50	7.15	5.54	0.75	13.44
32	0-3	2.10	0.65	0.21	1.80	1.50	6.26	4.84	0.75	11.85
	3-5	2.19	0.75	0.21	1.80	1.50	6.45	4.84	0.75	12.04
	5-7	2.32	0.96	0.21	1.80	1.50	6.79	4.84	0.75	12.38
	7-9	2.63	1.26	0.21	1.80	1.50	7.40	4.84	0.75	12.99
36	0-3	2.21	0.75	0.22	1.80	1.50	6.48	4.31	0.75	11.54
	3-5	2.33	0.86	0.22	1.80	1.50	6.71	4.31	0.75	11.77
	5-7	2.47	1.11	0.22	1.80	1.50	7.10	4.31	0.75	12.16
	7-9	2.80	1.46	0.22	1.80	1.50	7.78	4.31	0.75	12.84
40	0-3	2.39	0.87	0.24	1.80	1.50	6.80	3.88	0.75	11.43
	3-5	2.53	0.99	0.24	1.80	1.50	7.06	3.88	0.75	11.69
	5-7	2.71	1.28	0.24	1.80	1.50	7.53	3.88	0.75	12.16
	7-9	3.12	1.69	0.24	1.80	1.50	8.35	3.88	0.75	12.98
44	0-3	2.69	1.01	0.29	1.80	1.50	7.29	3.52	0.75	11.56
	3-5	2.83	1.15	0.29	1.80	1.50	7.57	3.52	0.75	11.84
	5-7	3.09	1.49	0.29	1.80	1.50	8.17	3.52	0.75	12.44
	7-9	3.63	1.97	0.29	1.80	1.50	9.19	3.52	0.75	13.46

جدول ۶ - ۶ . هزینه‌های استفاده کننده برای اتومبیل در مناطق برون شهری - جاده‌های دوخطه بدون رویه

هزینه‌های استفاده کننده، صدم دلار بر وسیله نقلیه مایل

گروه سرعت شب حرکت (mph)	%	سوخت	لاستیک	روغن	جمع استهلاک تعمیر و نگهداری	راحتی و زمان هزینه‌های عملکرد	جمع آسایش	هزینه‌ها	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
16	0-3	2.70	0.53	0.25	2.40	1.50	7.38	9.69	1.00	18.07
	3-5	2.88	0.60	0.25	2.40	1.50	7.63	9.69	1.00	18.32
	5-7	3.31	0.77	0.25	2.40	1.50	8.23	9.69	1.00	18.32
	7-9	4.23	1.01	0.25	2.40	1.50	9.39	9.69	1.00	20.08
20	0-3	2.56	0.61	0.26	2.40	1.50	7.33	7.75	1.00	16.08
	5-7	3.03	0.88	0.26	2.40	1.50	8.07	7.75	1.00	16.82
	7-9	3.69	1.16	0.26	2.40	1.50	9.01	7.75	1.00	17.76
24	0-3	2.51	0.71	0.27	2.40	1.50	7.39	6.46	1.00	14.85
	3-5	2.05	0.81	0.27	2.40	1.50	7.68	6.46	1.00	15.09
	7-9	3.45	1.38	0.27	2.40	1.50	9.00	6.46	1.00	16.46
28	0-3	2.51	0.82	0.28	2.40	1.50	7.51	5.54	1.00	14.05

جدول ۶ - ۶ (ادامه)

هزینه‌های عملکرد استفاده کننده، صدم دلار بر وسیله مایل										
جمع هزینه‌ها	راحتی و آسایش	جمع زمان هزینه‌های عملکرد	استهلاک تعمیر و نگهداری	روغن و لاستیک	سوخت	گروه سرعت شب حرکت %	گروه سرعت شب حرکت (mph)			
(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
14.32	1.00	5.54	7.78	1.50	2.40	0.28	0.94	2.66	3-5	
14.78	1.00	5.54	8.24	1.50	2.40	0.28	1.20	2.86	5-7	
15.70	1.00	5.54	9.16	1.50	2.40	0.28	1.59	3.39	7-9	
13.62	1.00	4.84	7.78	1.50	2.40	0.30	0.96	2.62	0-3	32
13.91	1.00	4.84	8.07	1.50	2.40	0.30	1.10	2.77	3-5	
14.41	1.00	4.84	8.57	1.50	2.40	0.30	1.41	2.96	5-7	
15.40	1.00	4.84	9.56	1.50	2.40	0.30	1.87	3.49	7-9	
13.39	1.00	4.31	8.08	1.50	2.40	0.32	1.07	2.79	0-3	36
13.73	1.00	4.31	8.42	1.50	2.40	0.32	1.22	2.98	3-5	
14.31	1.00	4.31	9.00	1.50	2.40	0.32	1.58	3.20	5-7	
15.41	1.00	4.31	10.10	1.50	2.40	0.32	2.09	3.79	7-9	

جدول ۷ - ۶ . هزینه اضافی برای هر توقف وسیله نقلیه، بدون تأخیر توقف

هزینه‌های اضافی هر توقف - صدم دلار					
جمع	زمان شتاب‌گیری و تخمین سرعت	هزینه‌های دیگر عملکرد	لاستیک و لنت	سوخت	سرعت نزدیک شدن (mph)
(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
0.16	0.02	0.05	0.03	0.06	10
0.38	0.09	0.10	0.07	0.12	20
0.74	0.21	0.18	0.16	0.19	30
1.32	0.40	0.31	0.33	0.28	40
2.07	0.64	0.46	0.56	0.41	50
2.94	0.91	0.68	0.80	0.55	60

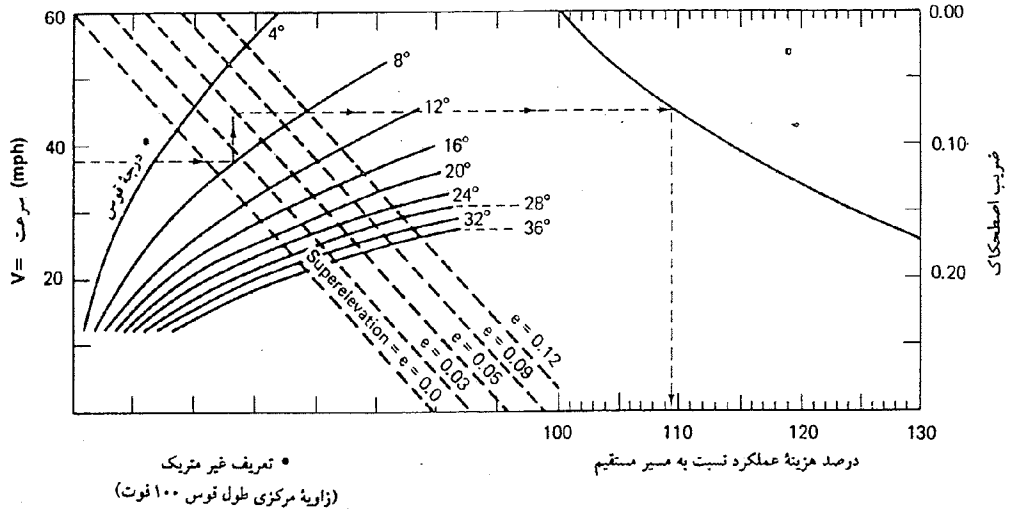
هزینه تصادفات. هرگونه اقدام برای افزایش ایمنی در جهت منافع استفاده‌کننده از راه می‌باشد. بهر حال، اندازه‌گیری افزایش ایمنی، و یا نشان دادن میزان واقعی تقلیل تصادف و گذاشتن ارزش پولی روی آن کار مشکلی است. منافعی که از کم شدن تصادفات ناشی می‌شود، در صورتی که بتوان بطور مناسبی آن را ارزیابی نمود، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بدین منظور جمع‌آوری اطلاعاتی که میزان بروز تصادفات را با خصوصیات و طراحی راه مربوط می‌سازد لازم خواهد بود.

با بررسی آمار منتشر شده از سوی شورای ملی ایمنی آمریکا، می‌توان نسبت به کل زیان‌های اقتصادی ناشی از تصادفات وسایل نقلیه موتوری شناخت بدست آورد. برای مثال کل زیان اقتصادی ناشی از تصادفات، با تقسیم‌بندی آن، برای سال ۱۹۶۶ در جدول ۸ - ۶ نشان داده شده است.

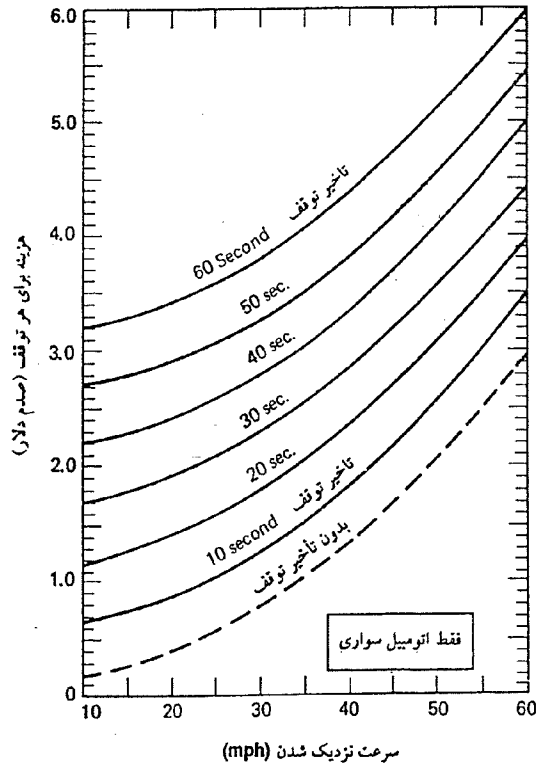
زیان دستمزد شامل زیان‌های ناشی از ناتوانی موقت برای کار، دستمزد کمتر پس از اشتغال مجدد بخاطر ناتوانی جزئی و دائمی، و ارزش فعلی عایدات پیش‌بینی شده بخاطر عدم توانایی کلی و دائمی بوجود آمده یا مرگ، می‌شود. مخارج پزشکی شامل هزینه‌های پزشک و بیمارستان، هزینه بالاسری بیمه شامل تمام هزینه‌های مربوط به مدیریت، فروش و پرداخت ادعاها برای شرکت‌های بیمه می‌باشد. این مبلغ اساساً همان تفاوت حق بیمه پرداخت شده به شرکت‌های بیمه و ادعاهای پرداخت شده از طرف آنهاست.

شورای ملی ایمنی دو روش را برای تخمین کل زیان اقتصادی ناشی از تصادفات ترافیکی ارائه می‌کند: اولین روش برای شهرهای بزرگ که تعداد تلفات ناشی از تصادفات آنها در سال بیشتر از ده نفر است مورد استفاده قرار می‌گیرد، و برابر است با حاصل ضرب تعداد کشته‌شدگان در یک مبلغ مشخص، که نشان‌دهندهٔ زیان وارد به ازاء یک نفر کشته، ۳۶ نفر مجروح و ۲۳۵ فقره خسارت ملکی است. این رقم‌ها مربوط است به تعداد متوسط انواع تصادف‌ها در سال ۱۹۶۶. مبلغ گرد شده برای سال ۱۹۶۶ برابر ۱۹۰۰۰۰ دلار بوده است، که شامل ۳۵۰۰۰ دلار برای هر مرگ و میر، ۲۵۰۰ دلار برای هر جراحت و ۲۷۰ دلار برای هر خسارت ملکی می‌شود. روش دوم برای استفاده در جوامعی است که تعداد کشته شدگان آن‌ها کمتر از ۱۰ نفربوده، و یا نسبت تلفات جانی به مجروحین در مقایسه با مقادیر متوسط ذکر شده اختلاف داشته باشد. این روش در تعیین زیان‌های اقتصادی ناشی از تلفات جانی کمی دقیق‌تر است. در جدول ۹ - ۶ زیان تلفات جانی که توسط شورای ملی ایمنی آمریکا در سال ۱۹۶۷، داده شده است مشاهده می‌شود. رقم‌های مربوط به مجروحین و خسارت‌های ملکی تصادفات باید بصورت واحد هزینه‌ها برای آن تصادف‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

تمام هزینه‌هایی که در تصادف وسایل نقلیه بوجود می‌آید برای انجام مطالعات اقتصادی نباید به عنوان هزینه مناسب تصادفات در نظر گرفته شود. برای مثال، هزینه بالاسری بیمه حدود ۳۵ درصد کل زیان اقتصادی تصادفات را تشکیل می‌دهد، و قسمت بیشتر این هزینه بالاسری، بدون توجه به تقلیل تصادف‌ها، ادامه خواهد داشت. بنابراین هزینه تصادفات، با ضرب مقادیر فوق در ۰/۶۵ به نحو مناسب‌تری قابل تخمین خواهد بود. بعلاوه، آن قسمت از زیان دستمزد که مربوط به ارزش فعلی عایدات پیش‌بینی شده آتی بخاطر عدم توانایی کلی و دائمی ایجاد شده یا مرگ می‌باشد، یک رقم قابل توجیه برای منظور شدن در هزینه‌های تصادفات محسوب نمی‌شود. متاسفانه زیان دستمزد به‌اجزاء تشکیل دهنده خود تقسیم نشده‌است.



شکل ۲ - ۶. رابطه بین هزینه‌های عملکردی روی قوس‌ها در مقایسه با قسمت‌های مستقیم



شکل ۳ - ۶. هزینه اضافی برای هر توقف وسیله نقلیه، بیش از هزینه بر اساس سرعت عملکرد ثابت

معمولاً توافق بر اینکه هزینه‌های مستقیم تصادفات بصورت زیر در مطالعات اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد وجود دارد. خسارت ملکی، هزینه پزشکی، زیان دستمزد بخاطر تعلیق موقت از کار، خسارت‌های ایجاد شده اضافه بر سایر هزینه‌های مستقیم، خدمات و کالا و هزینه‌های دادگاه از این جمله هستند. اطلاعات خیلی زیادی در مورد هزینه‌های مستقیم تصادفات وجود ندارد، ولی بعضی دولت‌ها در حال انجام مطالعات اقتصادی جامعی از هزینه‌های تصادفات وسایل نقلیه موتوری هستند.

در مطالعات ایلینویز آمریکا، هزینه‌های مستقیم تصادف برحسب مناطق شهری و خارج شهری، و در مناطق شهری با جزئیات بیشتر بر حسب جمعیت، به دست آمده است. اطلاعات داده شده شامل هزینه‌های مستقیم برای تصادفات گزارش شده و گزارش نشده است. تقریباً ۷۶ درصد از درگیری‌های اتومبیل و ۸۰ درصد از درگیریهای کامیون در پرونده‌های رسمی ثبت نشده بود. اگرچه بسیاری از این موارد تصادف‌هایی بودند که خسارت ملکی آنها کمتر از حداقل لازم برای گزارش بوده است، ولی ۴۲ درصد از کل هزینه‌های مستقیم تصادفات اتومبیل و ۵۵ درصد از هزینه‌های مستقیم تصادفات کامیون را تشکیل می‌دادند. مقدار درگیری‌های تصادفات گزارشی نشده با استفاده از اطلاعات بدست آمده از یک نمونه وسایل نقلیه‌ای که سابقه‌ای در پرونده‌های تصادفات نداشتند بدست آمد و پرسشنامه‌هایی برای مالکین این نمونه از وسایل نقلیه ارسال شد. روش‌هایی برای محاسبه هزینه‌های تصادفات بر اساس مطالعات ایلینویز وجود دارد، ولی تغییراتی در آنها داده شده است تا این که هزینه‌های بالاسری بیمه را شامل گردد و تا سطح قیمت‌های سال ۱۹۶۵ نیز بهنگام شود. باید متذکر شد که هزینه‌های گزارش شده در مطالعات ایلینویز برای یک اتومبیل درگیر شده است، نه کل یک تصادف. مانند مطالعات دیگر، هزینه برای هر درگیری به هر اتومبیلی که در یک تصادف درگیر شده باشد اعمال می‌شود. بنابراین، یک وسیله نقلیه که به یک مانع برخورد می‌کند یک تصادف و یک درگیری را تشکیل می‌دهد، ولی وقتی که یک تصادف اتفاق بیافتد که سه وسیله نقلیه در آن درگیر باشند یک تصادف و سه درگیری محسوب می‌شود. ایالت کالیفرنیای آمریکا با تصحیح اطلاعات بدست آمده از مطالعات ایلینویز، مقادیر دیگری برای محاسبه هزینه‌های مستقیم تصادفات در نظر می‌گیرد. این تصمیمات برای خصوصیات تصادف در کالیفرنیا و همچنین برای قیمت‌های سال ۱۹۶۴ بوده است، و کلاً ۱۰ درصد برای تبدیل به قیمت‌های سال ۶۴ اضافه گردید که نتایج

جدول ۸ - ۶ . زیان اقتصادی تصادف‌ها - ۱۹۶۶ - آمریکا

نوع	مبلغ (دلار)
خسارت ملکی	۴،۳۰۰،۰۰۰،۰۰۰
زیان دستمزد	۶،۷۰۰،۰۰۰،۰۰۰
مخارج پزشکی	۲،۷۰۰،۰۰۰،۰۰۰
هزینه بالاسری بیمه	۵،۳۰۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع	۱۹،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰

جدول ۹ - ۶ . تخمین زیان اقتصادی ناشی از تلفات جانی در تصادفات برای جوامع با تعداد تلفات جانی کمتر از ۱۰ نفر در سال (شورای ملی ایمنی آمریکا - سال ۱۹۶۷)

سن	هزینه یک تلفات جانی (دلار)	
	مذکر	مونث
صفر تا ۱۴ سال	۲۴۰۰۰	۱۷۰۰۰
۱۵ تا ۵۴ سال	۵۰۰۰۰	۳۱۰۰۰
۵۵ سال و پیرتر	۱۰۰۰۰	۸۰۰۰

آن در جدول ۱۰ - ۶ نشان داده شده است.

بطور ایده‌آل، آن چیزی که مورد نیاز است، اثرات مجزای تغییرات در طرح هندسی و شرایط عملکردی بر روی خصوصیات تصادفات، برای انواع تسهیلات حمل و نقل جاده‌ای است. این روابط تاکنون بطور کامل مشخص نشده است، بهر حال، اطلاعات خوب و خلاصه شده‌ای موجود می‌باشد.

خصوصیات و نرخ تصادفات در ارتباط با انواع تسهیلات جاده‌ای اطلاعات باارزشی را برای پیش‌بینی اثرات تغییرات مفروض در تسهیلات جاده‌ای در تصادف بدست می‌دهد.

سایر منابع استفاده‌کنندگان و غیراستفاده‌کنندگان که از توسعه جاده بدست می‌آید

عملاً تمام هزینه‌هایی که تحت عنوان هزینه‌های عملکرد وسیله نقلیه موتوری مورد بحث قرار گرفت، نشان دهنده منافع مستقیم توسعه راه می‌باشد. این هزینه‌ها که مربوط به هزینه‌های عملکردی وسیله نقلیه در حرکت، هزینه توقف‌ها و هزینه تصادفات می‌باشد، تماماً بطور طبیعی و بعنوان نتایج توسعه راه تقلیل پیدا می‌کنند و در واقع عوامل اولیه توجیه این توسعه‌ها هستند. اقلام بحث‌انگیزی از قبیل ارزش راحتی و آسایش و ارزش وقت وسایل نقلیه غیرتجاری عمداً از گروه منابع مستقیم حذف می‌گردد، ولی معمولاً با چنین وضعیتی در نظر گرفته می‌شود.

منافع قابل توجه متعدد دیگری نیز از توسعه راه نتیجه می‌شود که معمولاً در تحلیل‌های اقتصادی برای توجیه این توسعه‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. این منافع بطور طبیعی در ارتباط با توسعه اقتصادی و اجتماعی جامعه است، و بدین لحاظ اهمیت بیشتری نسبت به منافع مستقیم ناشی از توسعه راه می‌تواند داشته باشد. بهرحال، پایه‌گذاری روش‌های کلی برای تعیین ارزش پولی این منافع کار مشکلی است.

فهرست منابع اقتصادی و اجتماعی ناشی از توسعه راه بصورت زیر می‌تواند باشد:

۱ - توسعه اقتصادی توسط توسعه سیستم حمل و نقل استعانت می‌شود، که باعث تخصص‌گرایی منطقه‌ای در تولیدات کلان گشته، و در نتیجه با جمع‌آوری مواد لازم در یک محل و توزیع محصولات برای توسعه بازار کارآیی را افزایش می‌دهد.

۲ - تعدیل و تثبیت قیمت‌ها از توسعه سیستم حمل و نقل تاثیر می‌پذیرد، که بطور موثری از ایجاد انحصارات محلی می‌تواند جلوگیری به عمل آورد.

۳ - با توسعه راه ارزش زمین و کاربری آن افزایش پیدا می‌کند، که باعث توسعه دسترسی به دورترین نقاط و ترغیب رشد صنعتی در مناطق دور دست می‌شود.

۴ - حاشیه نشینی ناشی از سیستم حمل و نقل جاده‌ای مدرن است، که اشتغال زمین‌های خالی نزدیک مراکز شهری را نیز مجاز می‌سازد.

۵ - جابجایی‌های جمعیتی عمدتاً بخاطر وجود سیستم حمل و نقل جاده‌ای مدرن امکان‌پذیر است.

۶ - مناطق محروم به کمک تسهیلات جاده‌ای توسعه یافته قابل بازیابی است، همچنین به کمک راه‌های خوب از محرومیت می‌توان جلوگیری نمود.

۷ - با توجه به توسعه راه فرصت‌های اشتغال کاری افزایش می‌یابد و فرصت‌های اشتغال بیشتری در مسافت قابل رفت و آمد قرار می‌گیرد.

۸ - با احداث جاده‌ها و خیابان‌های کارآمد در خدمات عمومی نیز پیشرفت حاصل خواهد شد، که باعث سرویس بهتر پلیس و آتش‌نشانی، خدمات بهتر پستی و بهداشتی، و افزایش فرصت‌های آموزشی می‌شود.

۹ - با افزایش قابلیت دسترسی به تسهیلات تفریحی به وسیله سیستم حمل و نقل جاده‌ای مدرن استفاده و توسعه از آنها نیز افزایش می‌یابد.

۱۰ - ارزش و میزان استفاده از منابع طبیعی با ایجاد دسترسی بهتر توسط سیستم حمل و نقل جاده‌ای افزایش پیدا می‌کند.

مطالعات و گزارشات متعددی در مورد اثرات اجتماعی و اقتصادی توسعه راه‌ها وجود دارد. البته یک آگاهی فزاینده و نگرانی نسبت به بعضی اثرات منفی که جاده‌ها در محیط زیست و کل چرخه طبیعی می‌گذارند نیز وجود دارد. برای تبدیل این موارد به ارقام و اقلام مالی به منظور محاسبات اقتصادی نیاز حس می‌شود.

هزینه‌های راه

دومین رقمی که برای رسیدن به هزینه‌های حمل و نقل جاده‌ای باید در نظر گرفت هزینه راه می‌باشد. هزینه‌های راه شامل هزینه‌هایی است که در طراحی، احداث، نگهداری، عملکرد و مدیریت یک قسمت راه، کل یک راه و یا یک سیستم از راه‌ها ایجاد می‌شود.

احداث یک راه جدید، یا توسعه یک راه موجود، شامل یک هزینه مستقیم به مبلغ قابل توجه و در مدت زمان نسبتاً کوتاه است. این هزینه اولیه مبلغی را تشکیل می‌دهد که معمولاً بعنوان هزینه اولیه یا سرمایه‌گذاری اصلی از آن یاد می‌شود، و معمولاً شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

۱ - هزینه‌های مهندسی و طراحی

۲ - هزینه‌های تملک حریم راه

۳ - هزینه‌های احداث سازه فیزیکی راه

برای مقاصد مطالعات اقتصادی، این هزینه‌های اولیه بصورت هزینه‌های سالیانه در طول عمر مفروض در نظر گرفته می‌شود. اگر هزینه‌های سالیانه نگهداری، عملکرد و مدیریت نیز اضافه شود، کل هزینه سالیانه جاده بدست خواهد آمد. برای تبدیل هزینه اولیه به هزینه سالیانه باید آن را در ضریب بازگشت سرمایه (CRF) مناسب ضرب نمود. برای بازگشت یک سرمایه در n سال با نرخ بهره i، مبلغ ثابت سالیانه لازم با ضرب نمودن سرمایه اولیه در ضریب بازگشت سرمایه بدست می‌آید.

ضریب بازگشت سرمایه. مفهوم ضریب بازگشت سرمایه با بهره، از نقطه نظرهای مختلف قابل بحث است:

۱ - نرخ بهره برای توسعه راه‌هایی که از جمع‌آوری مالیات جاری تامین بودجه می‌شوند، نسبت به حالتی که وام گرفته می‌شود، باید صفر باشد.

۲ - نرخ بهره باید با نرخ سود بازپرداخت وام توسط سازمان راه برابر باشد، در صورتی که تامین مالی و توسعه راه بر اساس اخذ وام انجام بگیرد. اگر توسعه راه مفروض بر اساس در آمد

جاری انجام شود، نرخ بهره باید مربوط به وام بلند مدت باشد.

۳ - نرخ بهره باید نرخی باشد که نشان دهنده بازده جذاب برای پول سرمایه‌گذاری شده باشد. این معمولاً نقطه نظری است که توسط بخش خصوصی مطرح می‌شود. هزینه پول قرض گرفته شده عامل اصلی در تعیین حداقل جذابیت بازگشت است، ولی تنها عاملی که باید در نظر گرفته شود نیست. یک ضریب اطمینان برای منظور نمودن ریسک موجود نیز باید در نظر گرفت. بنابراین در بیشتر حالت‌ها، حداقل مناسب بازده جذاب چیزی بیش از هزینه پول قرض گرفته شده است. در سرمایه‌گذاری برای جاده، این ریسک بخاطر عدم اطمینان‌هایی است که در مواردی از قبیل عدم دقت در هزینه‌های منظور شده، عمر سرویس‌دهی و پیش‌بینی‌های ترافیکی در طول مدت تحلیل شده، وجود دارد.

استدلال اینکه چرا باید بهره را به صورت یک هزینه در نظر گرفت این مفهوم است که اگر بودجه‌های جذب شده در سرمایه‌گذاری اصلی یک راه به این منظور بکار گرفته نمی‌شد، امکان داشت در محلی دیگر سرمایه‌گذاری شود و یک بازده معین و مشخصی نیز داشته باشد. این بازده، بدین ترتیب، بخاطر عموم از دست رفته است و باید بعنوان قسمتی از هزینه توسعه در نظر گرفته شود. اساساً این طرز برخورد نسبت به سرمایه‌گذاری در راه، استفاده از نرخ بهره‌ای است که تقریباً برابر است با هزینه فرصت‌های از دست رفته سرمایه، یعنی نرخی که از بودجه‌های مصرف شده، در صورتی که بجای جمع‌آوری توسط واحدهای دولتی به شکل مالیات بطور خصوصی سرمایه‌گذاری شود، بدست می‌آید. هزینه فرصت از دست رفته سرمایه، بعضی مواقع، به نرخ بهره بازار نیز اطلاق می‌شود. در نظر گرفتن نرخ بهره بر اساس هزینه فرصت از دست رفته سرمایه سه زمینه اصلی زیر را شامل می‌شود:

الف - تقریباً تمام منابع، مشتمل بر سرمایه، محدود است.

ب - ارزش آتی یک منبع محدود برای سرمایه‌گذار، با در نظر گرفتن پر استفاده‌ترین حالت بکارگیری (هزینه فرصت از دست رفته)، یک تخمین مناسب از هزینه آن برای مقاصد تحت مطالعه می‌باشد.

ج - قیمت بازار معمولاً بهترین معیار موجود برای ارزش سرمایه است.

بطور کلی اغلب برنامه‌های توسعه راه توسط بودجه‌های دولتی تامین می‌شوند و قرضه عمومی وجود ندارد. این مساله نظر طرفداران بهره صفر درصد را تقویت می‌کند. بهرحال، بودجه‌های موجود در هر سال دارای محدودیت است، و معمولاً در هر زمان تعداد زیادی پروژه که از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است وجود دارد ولی بدلیل محدودیت بودجه به اجرا در نمی‌آید.

در حد سیاست‌گذاری برای تعیین ترتیب اولویت پروژه‌هایی که برای گرفتن بودجه با هم در رقابت هستند، لازم است که مطالعات اقتصادی برای مقایسه خصوصیات مختلف طرح انجام شود. اگر سرمایه‌گذاری بودجه‌ها در یک پروژه توسعه راه، منافع استفاده کننده را با یک نرخ بازگشت ۱۵ درصد تامین کند، بطور وضوح معلوم است که سرمایه‌گذاری در محلی که نرخ بازده آن فقط سه درصد است در جهت منافع کلی استفاده‌کنندگان نخواهد بود. به عبارت دیگر، وقتی که منابع مالی موجود محدود است، انتخاب یک حداقل مناسب بازده جذاب بستگی دارد به بازده‌های منتظر و قابل حصول از سرمایه‌گذاری‌های مختلف. این به عنوان یک اصل از اهمیتی یکسان در کارهای عام‌المنفعه و در سرمایه‌گذاری‌های خصوصی برخوردار است.

اگر زمانی برسد که مطالعات اقتصادی نشان دهد تمام بودجه‌های موجود برای سرمایه‌گذاری در راه‌سازی، بدون در نظر گرفتن تعدادی از پروژه‌ها که نرخ بازده کمی مثلاً ۲ درصد دارند قابل مصرف نیست، یک نتیجه‌گیری خوب این است که مالیات‌های مربوط به استفاده‌کنندگان از راه تقلیل پیدا کند. با این فرض که در نظر گرفتن نرخ بهره کار درستی است (که این نقطه نظری عمومی و قابل قبول است)، نکته بعدی این خواهد بود که چه نرخی باید در نظر گرفته شود. اشتو نقطه‌نظری را انتخاب می‌کند که بین موارد ب و ج، ذکر شده در بالا قرار دارد. در مثال‌های تشریحی یک نرخ بهره از ۳/۵ تا ۶ درصد، و برای محل‌هایی که حداقل نرخ بازده جذاب را تامین می‌کنند نرخ بهره ۵ تا ۸ درصد را مورد استفاده قرار می‌دهد.

انتخاب حداقل نرخ بازده جذاب اثر مهمی در نتایج مطالعات اقتصادی دارد. مثال زیر این مطلب را روشن‌تر می‌کند. فرض کنید دو نوع مختلف پل برای جایگزین شدن بجای یک پل چوبی قدیمی در نظر گرفته شده است. نوع اول یک پل فلزی است با هزینه اولیه ۵۰۰،۰۰۰ دلار، و دومی یک پل بتنی است با هزینه اولیه ۶۰۰،۰۰۰ دلار. هزینه نگهداری پل اول، که عمدتاً شامل هزینه رنگ‌آمیزی آن است، بطور متوسط در سال برابر ۶۰۰۰ دلار است. هزینه نگهداری پل بتنی تقریباً قابل صرف‌نظر است. عمر مفید هر دو نوع سازه را می‌توان چهل سال در نظر گرفت. در جدول ۱۶ - ۶ هزینه سالیانه هر دو نوع پل با نرخ بهره‌های مختلف محاسبه شده است. اگر حداقل نرخ بازده جذاب کمتر از ۵/۲ درصد باشد پل بتنی اقتصادی‌تر است، و اگر

بیش از ۵/۲ درصد باشد پل فلزی مقرون به صرفه خواهد بود.

اقلام هزینه راه که باید در مطالعات اقتصادی منظور شود. ۱ - هزینه سالیانهٔ یک راه از چند قلم تشکیل شده است. بعضی از این اقلام برای در نظر گرفته شدن در مطالعات اقتصادی مناسب نیستند. یک مطالعه اقتصادی راه، مطالعه‌ای جهت انتخاب بین گزینه‌های مختلف می‌باشد، و در مقایسه آنها فقط اختلافات بین هزینه‌ها اهمیت دارد. گزینه‌ها باید بطور واضح تعریف شوند، بطوریکه هزینه‌های مختلف راه و وسیله نقلیه مربوط به هر کدام از آنها بطور کامل قابل تخمین باشد.

هزینه‌های مدیریت معمولاً با درجه خیلی کم نسبت به گزینه‌های مختلف تغییر می‌کند.

جدول ۱۶ - ۶. مثال مربوط به اثر نرخ بهره در مطالعات اقتصادی

نرخ بهره (٪)	هزینه سالیانه		اختلاف هزینه سالیانه (دلار)	
	فلزی (دلار)	بتنی (دلار)	به نفع فلزی	به نفع بتنی
۰	۱۸۵۰۰	۱۵۰۰۰		۳۵۰۰
۲	۲۴۲۸۰	۲۱۹۴۰		۲۳۴۰
۴	۳۱۲۶۰	۳۰۳۱۰		۹۵۰
۵	۳۵۱۴۰	۳۴۹۷۰		۱۷۰
۶	۳۹۲۳۰	۳۹۸۸۰	۶۵۰	
۸	۴۷۹۳۰	۵۰۳۲۰	۲۳۹۰	

به همین ترتیب هزینه‌های مقدماتی برنامه‌ریزی و عملکرد، برای بیشتر قسمت‌ها، مستقل از گزینه‌ها می‌باشد. احتمال دارد تمام این هزینه‌ها، بدون توجه به اینکه پروژه‌های مفروض واقعاً تعهد اجرایی لازم را دارا باشند، وجود داشته باشد. بنابراین این‌گونه هزینه‌ها باید از محاسبات اقتصادی حذف شود، مگر اینکه دقیقاً مشخص باشد که بصورت یک عامل مهم در مقایسه اقتصادی موثر است.

تمام هزینه‌های مربوطه باید در تحلیل منظور گردد. این اقلام بطور کلی عبارتند از:

هزینه‌های تملک حریم راه، اجرا و نگهداری.

۲ - پرداخت‌های مختلف از طرف سازمان‌های دولتی برای راه عبارتند از: پرداخت سرمایه، نگهداری و مدیریت.

پرداخت سرمایه شامل هزینه‌های تملک حریم راه، مطالعات اولیه مهندسی و اجرا، اجرای راه، ساختن ابنیه اصلی و نصب تسهیلات سرویسی ترافیک می‌باشد. هزینه‌های مربوط به تملک حریم راه حدود ۱۴ درصد کل پرداخت سرمایه‌ای را تشکیل می‌دهد. نگهداری هزینه‌های نگهداری راه، ابنیه، برف‌روبی و شن پاشی، کنترل ترافیک و تسهیلات کمکی، عملکرد راه و پل‌ها را شامل می‌شود. مدیریت شامل هزینه‌های مدیریت و مهندسی بطور کلی، بررسی‌های تحقیقاتی و برنامه‌ریزی، زمین و ساختمان‌ها است. مخارج پلیس راه برای اعمال قانون، آموزش ایمنی و کنترل اندازه و وزن وسایل نقلیه نیز شامل این قسمت است. هزینه‌های مدیریت تقریباً ۵۸ درصد کل هزینه‌های پلیس و مدیریت را تشکیل می‌دهد.

۳ - هزینه‌های راه با دسترسی محدود مشخص گردیده است. این اطلاعات بر حسب تراکم جمعیت بیان شده است. ارقام هزینه بطور مجزا بوسیله معادلات برگشتی برای کل هزینه در مایل جاده، کل هزینه‌ها در مایل و خط عبور جاده، کل هزینه بجز تقاطع‌های غیرهمسطح برای هر مایل - خط عبور، هزینه حریم راه برای هر مایل جاده، هزینه حریم راه برای واحد سطح زمین (به عرض ۱۰۰ فوت و طول یک مایل)، هزینه عملیات خاکی و روسازی در مایل جاده، و بقیه هزینه‌ها در مایل (وسایل کنترل ترافیک، روشنایی، تجهیزات کنار جاده و غیره)، اقلام دیگر هزینه راه، و هزینه ابنیه و تقاطع‌های غیرهمسطح در جدول‌هایی داده شده است.

هزینه حریم راه. برای ساختن یک راه، و در بسیاری از حالت‌ها برای توسعه یک راه موجود، کسب امتیاز زمینی که روی آن قرار است راه ساخته شود (حریم راه) لازم است.

قراردادهایی بین سازمان‌های دولتی مربوط به راه و صاحب ملک، برای بدست آوردن حق حریم راه به منظور عملیات راهسازی، معمولاً لازم است. وقتی زمین برای یک پروژه بسیار ضروری باشد و مذاکرات برای انجام معامله آن به نتیجه نرسد، زمین را ممکن است تحت قانونی که به حق حاکمیت دولتی مشهور است تصاحب نمود. عمل اکتساب ملک برای استفاده عامه را اقامه محکومیت می‌گویند، که دارای یک جریان قانونی معینی است. از پناه بردن به دادگاه‌ها، تا حد امکان و به دلیل هزینه اضافی و تاخیری که ایجاد می‌کند، باید اجتناب شود.

حقوق حریم راه یکی از هزینه‌های عمده در بسیاری از برنامه‌های توسعه راه‌ها می‌باشد و در بعضی از حالت‌ها ممکن است از هزینه‌های اجرایی نیز بیشتر گردد. هزینه حریم راه شامل هزینه زمین و ساختمان‌هایی است که در محدوده آن قرار دارد، همچنین شامل خسارت‌هایی که در اثر تملک حریم راه ممکن است به باقیمانده زمین موجود وارد شود نیز می‌گردد. مثلاً این خسارت ممکن است در اثر تقسیم ملک به دو قسمت با

اندازه‌هایی که ارزش قابل فروش هر کدام را به نحو قابل‌ملاحظه‌ای کم کند، بوجود آید. اگر حریم راه تملک شده شکل و ترتیب موجود یک کارخانه، تاسیسات و یا فعالیت‌های دیگر را از بین ببرد و یا به آن لطمه وارد کند ممکن است پرداخت خسارت‌های بیشتری، برای جبران لطمات وارد شده، لازم باشد.

با توجه به قیمت واحد سطح زمین مورد نظر، ممکن است از هزینه حریم راه یک تخمین مقدماتی بدست آورد. این عمل معمولاً در جاهایی امکان‌پذیر است که حریم راه از زمین‌های توسعه نیافته و با ارزش نسبتاً ثابت عبور کند. وقتی حریم راه از زمین‌های توسعه یافته عبور می‌کند، بر اساس ارزیابی املاک تحت تاثیر قرار گرفته، می‌توان برآورد اولیه‌ای از هزینه حریم راه انجام داد. بهرحال، قیمت‌هایی که از ارزیابی بدست می‌آید معمولاً از قیمت‌های فروش کمتر است و لازم است ضریبی در نظر گرفته شود تا قیمت‌های ارزیابی شده را به تخمین مناسب تبدیل کند.

برآورد صحیح‌تر از هزینه حریم راه ممکن است از طریق مشاوره با یک یا دو ارزیاب، که دارای دانش تخصصی در زمینه قیمت‌های معاملاتی املاک موجود در حوالی حریم راه هستند، بدست آید.

روش‌های حریم راه معمولاً پیچیده و متنوع است. در سطح یک کشور نیز ممکن است روش‌های مختلفی وجود داشته باشد و در بسیاری از مواقع مسائل پیچیده قانونی پیش می‌آید.

مخارج سازه فیزیکی. این مخارج شامل هزینه‌های لازم برای ساختن راه به منظور استفاده می‌باشد، که عبارتند از هزینه‌های خاکبرداری، خاکریزی، عملیات لازم دیگر برای بستر، روسازی، زهکشی، آبروها، پل‌ها و اقلام دیگری که در اجرای راه انجام می‌شود.

مخارج مهندسی و طراحی معمولاً بصورت درصدی از هزینه‌های مستقیم اجرای راه محاسبه می‌شود. بعلاوه مهندسی شامل هزینه‌های نقشه‌برداری، تهیه نقشه‌ها، انجام آزمایش و بازرسی‌ها نیز می‌گردد.

اشتو تقسیم هزینه‌های اجرایی را به گروه‌های زیر پیشنهاد می‌کند:

۱ - هزینه‌هایی که در عملیات خاکی، زهکشی، سازه‌های کوچک، شکل دادن به اراضی اطراف و توسعه کنار جاده وجود دارد.

۲ - هزینه‌هایی که برای سازه‌های اصلی وجود دارد.

۳ - هزینه‌هایی که به روسازی و اقلام مربوط به آن، مانند روشنایی، نرده‌های ایمنی، پایه‌های هدایت کننده، دستگاه‌های کنترل ترافیک و غیره تعلق می‌گیرد.

یک برآورد مقدماتی از هزینه اجرا، بر اساس طول راه و هزینه اجرایی واحد طول (مایل یا کیلومتر) راه‌های مشابه و ساخته شده، ممکن است انجام شود. هزینه‌های پل‌ها، آبروها و سایر ابنیه فنی را نیز با مقایسه با هزینه سازه‌های مشابه می‌توان تخمین زد و به هزینه اجرا اضافه نمود. اطلاعات راجع به هزینه‌های اجرایی را می‌توان از مدارک موجود، که در طول اجرای راه‌ها با جزئیات جمع‌آوری می‌شود، در سازمان‌های دولتی شهری و استانی که هر قلم از کارهای انجام شده را نشان می‌دهد بدست آورد.

عمر اقتصادی راه. به منظور اختصاص مبلغ مناسب بازده سالیانه برای کل مبلغ سرمایه‌گذاری شده، که از اجزاء مختلف تشکیل شده است، لازم است عمر مفید این اجزاء تخمین زده شود.

از نقطه نظر اقتصادی، روسازی راه در پایان عمر مفید باید از کار افتاده تلقی شود. از کارافتادگی را می‌توان با روکش کردن، دوباره سازی، تغییر مسیر یا بلااستفاده نمودن جبران نمود. البته فرض بر این است که سطح رویه، در طول عمر خود، فقط تحت تاثیر تعمیرات عادی قرار دارد. عمر متوسط سطح سرویس روسازی برابر است با مدت زمانی بعد از اجرا که رویه بدون روکش، بازسازی، جایگزینی، یا به شکل دیگری از سرویس خارج شدن، در حال ارائه خدمت باقی می‌ماند. به عبارت دیگر مدت زمانی بعد از اجرا است که در طول آن فقط کارهای نگهداری بطور عادی انجام می‌گیرد.

به منظور بیان متوسط عمر سرویس برای انواع مصالح روسازی، سطح روسازی به انواع زیر تقسیم می‌شود:

۱ - با کیفیت پایین: شامل سطوح خاکی، شنی یا سنگی.

۲ - با کیفیت متوسط: شامل سطوح قیرپاشی شده یا سطح مخلوط قیری

۳ - با کیفیت خوب: شامل بتن آسفالتی، بتن سیمانی پرتلند، آجری، یا بلوک سیمانی

مطالعاتی در مورد عمر متوسط مفید رویه‌های مختلف راه انجام شده است. جدول ۱۷ - ۶ نتایج سه گزارش را، که نتیجه مطالعات انجام شده توسط اداره راه‌های عمومی آمریکا می‌باشد، نشان می‌دهد. جدول ۱۸ - ۶ چگونگی و توزیع انواع از کارافتادگی رویه را در پایان عمر متوسط مفید آنها نشان می‌دهد. حریم راه، عملیات خاکی و ابنیه اصلی جاده‌های مدرن

در معرض استهلاک کمتر نسبت به رویه قرار دارند، و فرض می‌شود که عمر مفید اقتصادی نسبتاً طولانی‌تری را دارا هستند. عمر مفید حریم راه ۴۰ سال، و برای عملیات خاکی و ابنیه ۳۰ الی ۴۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

هزینه نگهداری و بهره‌برداری. مخارج نگهداری و بهره‌برداری شامل مبالغی است که به منظور نگهداشتن جاده در شرایط اولیه تا حد امکان، یعنی آنگونه که ساخته شده یا نتیجتاً توسعه داده شده است، و همچنین برای بهره‌برداری از تسهیلات راه و خدماتی که برای تامین حمل و نقل ایمن و مطلوب انجام می‌گیرد، هزینه می‌شود.

۱ - اقلامی که معمولاً تحت عنوان نگهداری قرار می‌گیرد:

الف - نگهداری رویه فرسایشی

ب - نگهداری شانه‌ها، کانال‌ها، خاکبرداری‌ها و خاکریزی‌ها

ج - نگهداری آب‌روها و سایر تسهیلات زهکشی

د - نگهداری پل‌ها

ه - نگهداری سازه‌های کمکی

۲ - اقلامی که معمولاً تحت عنوان بهره‌برداری مطرح می‌شود:

الف - نگهداری کناره‌های راه شامل: چمن‌زنی، کندن و پاک کردن علف‌ها و درختکاری

ب - برپا نگهداشتن نرده‌های ایمنی، پایه‌های هدایتی، تابلوها و سایر وسایل کنترل ترافیک

ج - برف روبی و کنترل یخ زدگی

د - خاکروبی و برداشت خرده سنگ‌ها

ه - روشنایی راه

و - عملکرد ترافیک

ز - قسمتی از هزینه پلیس راه که قابل تخصیص به کنترل ترافیک است.

۳ - تقریباً $\frac{1}{4}$ یا بیشتر بودجه راه صرف نگهداری و بهره‌برداری می‌شود. هزینه نگهداری و بهره‌برداری، برای راه‌های با دسترسی محدود، در مناطق شهری بیشتر از مناطق خارج شهری است و ضریب آن بین ۱/۷ تا ۲/۷ تغییر پیدا می‌کند.

۴ - آمار بدست آمده نشان می‌دهد که هزینه نگهداری و بهره‌برداری راه‌ها افزایش می‌یابد. عوامل اصلی که در افزایش هزینه‌های نگهداری موثرند عبارتند از:

الف - توسعه فعالیت‌های نگهداری و تامین سرویس بهتر و وسیع‌تر

ب - افزایش کلی استفاده از تسهیلات جاده‌ای توسط انواع مختلف وسایل نقلیه

ج - انجام کارهای تعمیراتی ناکافی و غیراقتصادی

د - تورم

در سال ۱۹۶۸ اداره راه‌های عمومی مطالعاتی خاص راه‌های خارج شهری اصلی انجام داد که نتایج آن در جدول‌های ۱۸ - ۶ و ۱۹ - ۶ نشان داده شده است.

جدول ۱۷ - ۶. مقایسه متوسط طول عمر مفید ارائه شده در سه گزارش

نوع رویه		متوسط عمر مفید (سال) مطالعات ۱۹۴۱	مطالعات ۱۹۴۹	مطالعات ۱۹۵۶
با کیفیت پایین	: خاکی	۵/۴	۴/۵	۴/۰
	: شنی یا سنگی	۶/۰	۵/۹	۷/۵
با کیفیت متوسط	: نیرپاش‌شده	۱۱/۴	۱۰/۲	۱۱/۷
	: سطوح مختلف قیری	۱۴/۳	۱۲/۳	۱۲/۵
با کیفیت خوب	: قیری نفوذی	۱۷/۰	۱۶/۰	۱۸/۵
	: بتن آسفالتی	۱۷/۹	۱۸/۱	۲۰/۳
	: بتن سیمانی	۲۴/۴	۲۶/۱	۲۷
	: آجری یا بوکی	۱۸/۲	۲۰/۲	۱۹/۶

جدول ۱۸ - ۶. نتایج عمر مفید در مطالعات ۱۹۶۸

نوع رویه	عمرمتوسط مفید (سال)
سطح رویه قیری	۱۴/۰
مخلوط قیری (روسازی آسفالتی با ضخامت کمتر از ۷ اینچ)	۱۲/۰
مخلوط قیری (روسازی آسفالتی با ضخامت بیش از ۷ اینچ)	۱۷/۵
قیر نفوذی (روسازی با ضخامت کمتر از ۷ اینچ)	۱۷/۰
قیر نفوذی (روسازی با ضخامت بیش از ۷ اینچ)	۱۷/۰
آسفالت بتنی	۱۷/۰
بتن سیمانی	۲۵/۰

جدول ۱۹ - ۶. روش‌های از کار افتادگی، مطالعات ۱۹۶۸

نوع رویه	روکش شده(٪)	بازسازی شده(٪)	متروک شده(٪)	منتقل شده(٪)
سطح رویه قیری	۵۸/۵	۳۲/۶	۲/۵	۶/۴
مخلوط قیری (کمتر از ۷")	۵۹/۸	۳۰/۳	۲/۰	۷/۹
مخلوط قیری (بیش از ۷")	۵۶/۶	۳۰/۳	۳/۹	۹/۲
قیری نفوذی (کمتر از ۷")	۴۶/۰	۳۴/۱	۶/۱	۱۳/۸
قیر نفوذی (بیش از ۷")	۴۵/۴	۳۹/۹	۳/۱	۱۱/۶
بتن آسفالتی	۵۷/۴	۲۷/۷	۲/۲	۱۲/۷
بتن سیمانی	۶۶/۰	۲۲/۸	۱/۸	۹/۴
کل	۵۹/۰	۲۹/۸	۲/۵	۸/۷

مطالعات اقتصادی

مطالعات اقتصادی از جمله کارهای لازم در مهندسی راهسازی است، زیرا مهندسین راهساز دارای مسئولیت بوجود آوردن حداکثر استفاده از یک منبع محدود، یعنی بودجه عمومی موجود برای مقاصد راهسازی، هستند.

اگر چه مبالغ هنگفتی صرف کارهای راهسازی و توسعه راههای موجود شده است و ادامه نیز دارد، ولی جوابگوی تمام نیازها و تقاضاها نیست. بنابراین مهندسین راه، از هر طریق ممکن برای تعیین بهترین مورد استفاده یا الویت استفاده از بودجه محدود و موجود باید اقدام کنند. هزینه کردن مبالغ بسیار هنگفت در برنامه‌های راهسازی، تحت هر عنوانی، یک معامله بزرگ است و بهترین روش‌های مطالعات اقتصادی در سطح وسیع باید بکار گرفته شود.

کتاب‌های اقتصاد مهندسی چهار روش را برای انجام مطالعات اقتصادی ارائه می‌دهند:

۱ - روش هزینه سالیانه

۲ - روش ارزش فعلی، که در آن مقایسه بین ارزش فعلی برای تمام مخارج حال و آینده انجام می‌شود.

۳ - روش هزینه سرمایه‌گذاری شده، که در آن مقایسه بر اساس ارزش فعلی انجام می‌شود، ولی هزینه‌ها بصورتی که برای همیشه ادامه دارد محاسبه می‌گردد.

۴ - روش نرخ بازده، شامل تعیین نرخ بهره‌ای است که برای آن تمام گزینه‌ها دارای جذابیت مساوی هستند.

مهندسین عمرانی که درگیر کارهای عمومی هستند، به این چهار روش یک روش پنجم نیز اضافه کرده‌اند.

۵ - روش نسبت منافع به هزینه

این روش متداول‌ترین روشی است که در مطالعات اقتصادی راه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی بیشتر مهندسین طرفدار روش نرخ بازده هستند. بهرحال، نتایج بدست آمده از هر کدام از روش‌های ذکر شده منجر به تصمیمات اقتصادی مهمی خواهد شد.

یک بررسی که اخیراً انجام شده است نشان می‌دهد که در استفاده از روش نسبت منافع به هزینه‌ها سیر نزولی وجود داشته، در حالیکه استفاده از روش کل هزینه سالیانه افزایش قابل‌توجهی را نشان می‌دهد.

روش‌های هزینه سالیانه، ارزش فعلی، نرخ بازده و نسبت منافع به هزینه با جزئیات مورد بحث قرار خواهد گرفت، زیرا اینها روشهایی هستند که در مطالعات اقتصاد مهندسی مورد لزوم‌اند. روش ارزش فعلی توسط بعضی از مهندسین مورد توجه قرار گرفته است ولی نه به اندازه سایر روش‌ها. دلیل اصلی ترجیح دادن روش‌های هزینه سالیانه، نرخ بازده و نسبت منافع به هزینه این است که تمام آنها بر اساس مقایسه هزینه سالیانه قرار دارند. مدیریت‌ها در سطح متوسط به تحلیل بر اساس هزینه‌های سالیانه آشناترند، و تفسیر بر اساس ارزش فعلی کار مشکلتری است.

روش‌های مطالعات اقتصادی

روش هزینه سالیانه

همانگونه که توضیح داده شد، هزینه‌های سالیانه یک سرمایه‌گذاری برای اینکه در n سال و با نرخ بهره i برگردد، از ضرب نمودن هزینه اولیه در ضریب بازده سرمایه مناسب بدست می‌آید. مقدار ثابتی که به این ترتیب حاصل می‌شود، اگر در آخر هر سال و تا پایان عمر مفید فرض شده در نظر گرفته شود، دقیقاً سرمایه‌گذاری اولیه را با بهره آن بازپرداخت خواهد نمود.

کل هزینه سالیانه برای یک توسعه راه برابر است با مجموع هزینه‌های سالیانه بازده سرمایه، بعلاوه هزینه سالیانه نگهداری و بهره‌برداری بعلاوه هزینه سالیانه استفاده‌کننده، بعلاوه هزینه سالیانه تصادفات. گزینه‌هایی که حداقل هزینه سالیانه را داشته باشد از نقطه نظر اقتصادی بهترین راه‌حل می‌باشد.

این روش یک نکته منفی جدی دارد، از این جهت که نتایج کاملاً مختلفی، با فرض نرخ بهره‌های مختلف، بدست می‌آید. بطور کلی در روش هزینه سالیانه، نرخ بهره کم به نفع گزینه‌هایی عمل می‌کند که سرمایه‌گذاری‌های اولیه زیاد با هزینه پایین نگهداری و بهره‌برداری یا استفاده‌کننده داشته باشند، در حالیکه نرخ بهره‌های زیاد به نفع ترکیب بالعکس می‌باشد.

روش ارزش فعلی

در انجام مقایسه با روش ارزش فعلی، تمام هزینه‌ها و منافع به ارزش امروز آنها تبدیل می‌شود. یک مشکل در این روش این است که مدت‌های سرویس مساوی باید در نظر گرفته شود. مسأله زیر این موضوع را روشن می‌کند.

دو سازه مفروض، با نرخ بهره ۶ درصد، قرار است با یکدیگر مقایسه شوند. سازه الف دارای هزینه اولیه ۵۰۰۰۰ تومان و عمر ۸ سال می‌باشد. سازه ب با هزینه اولیه ۱۰۰،۰۰۰ تومان و عمر تخمین زده شده ۲۰ سال را دارد. هزینه بهره‌برداری سالیانه برای هر دو سازه برابر است.

سازه الف :

هزینه اولیه ۵۰۰۰۰ تومان

ارزش فعلی اولین نوسازی = ۰/۶۲۷۴ × ۵۰۰۰۰ = ۳۱۴۰۰ "

ارزش فعلی دومین نوسازی = ۰/۳۹۳۶ × ۵۰۰۰۰ = ۱۹۷۰۰ "

ارزش فعلی سومین نوسازی = ۰/۲۴۷۰ × ۵۰۰۰۰ = ۱۲۴۰۰ "

ارزش فعلی چهارمین نوسازی = ۰/۱۵۵۰ × ۵۰۰۰۰ = ۷۸۰۰ "

کل ارزش فعلی هزینه مربوط به ۴۰ سال عمر سرویس = ۱۲۱۳۰۰ تومان

سازه ب :

هزینه اولیه ۱۰۰۰۰۰ تومان

ارزش فعلی اولین نوسازی = ۰/۳۱۱۸ × ۱۰۰۰۰۰ = ۳۱۲۰۰ "

کل ارزش فعلی هزینه مربوط به ۴۰ سال عمر سرویس = ۱۳۱۲۰۰ تومان

اگر مقایسه بر اساس ارزش فعلی انجام شود، دوره سرویس تحت بررسی برای تمام گزینه‌ها باید برابر باشد. بنابراین تعداد دفعات نوسازی برای هر دو سازه باید طوری در نظر گرفته شود که برای تعداد سال‌هایی که کوچکترین مضرب مشترک عمر مفید هر دو را تشکیل می‌دهد کافی باشد. این مدت در مثال فوق ۴۰ سال می‌باشد. لازم است هزینه‌های نوسازی برابر هزینه اولیه در نظر گرفته شود. بنابراین با توجه به محاسبات فوق، سازه الف بعنوان بهترین گزینه انتخاب خواهد شد.

در استفاده از ارزش فعلی برای مطالعات اقتصادی راه مقایسه بین مجموع ارزش‌های فعلی منافع و هزینه‌های نگهداری و عملکرد هر سال و کل مبلغ سرمایه‌گذاری لازم برای بوجود آوردن این منافع ایجاد می‌گردد. این روش تمایل به حداقل نمودن اثرات منافع زیاد آتی که از ازدیاد پیش‌بینی شده در حجم ترافیک ایجاد می‌شود، و همچنین تمایل به قائل شدن ارزش بیشتر بر روی منافعی که در آینده نزدیک فراهم می‌شود، دارد.

روش نرخ بازده

همانطور که در بالا توضیح داده شد، روش هزینه سالیانه برای مقایسه گزینه‌ها شامل تبدیل هر گزینه به یک سری پرداخت‌های ثابت سالیانه معادل می‌باشد. این روش نیاز به تصمیم‌گیری در مورد نرخ بهره‌ای که حداقل بازده جذاب را نشان دهد و در تبدیل مورد استفاده قرار گیرد دارد.

روش دیگر در مقایسه گزینه‌های مخارج - زمان پیدا کردن نرخ بهره‌ای است که آنها را معادل یکدیگر قرار می‌دهد. در این روش نرخ بهره مجهول مسأله است. در حالت عادی مقایسه دو گزینه، یکی با سرمایه‌گذاری اولیه کمتر و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری و استفاده‌کننده بیشتر و دیگری با سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری و استفاده‌کننده کمتر، به این نرخ باید بعنوان نرخ بازده موثر برای اضافه سرمایه اولیه در گزینه با سرمایه‌گذاری بیشتر نگاه کرد.

بنابراین در روش نرخ بازده مساله تعیین نرخ بهره‌ای مطرح است که برای آن هزینه سالیانه هر دو گزینه با یکدیگر برابر است. این کار را با محاسبه هزینه‌های سالیانه برای هر گزینه با نرخ بهره‌های مختلف و میان‌یابی می‌توان انجام داد.

یکی از گزینه‌ها بعنوان پایه در نظر گرفته می‌شود و بقیه با آن مقایسه شده و نرخ بازده محاسبه می‌گردد. گزینه‌هایی که نرخ بازده‌ای به اندازه کافی و جذاب نشان نمی‌دهند کنار گذاشته می‌شوند. از نظر اقتصادی، گزینه‌های مطلوب آنهایی هستند که نرخ بازده‌ای اضافه بر مقداری که به عنوان حداقل نرخ بازده جذاب سرمایه در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد. ممکن است تعدادی یا تمام گزینه‌ها کنار گذاشته شوند، به این دلیل که هیچکدام از آنها نرخ بازده جذاب را نشان نمی‌دهند.

روش نرخ بازده، با الویت دادن به پروژه‌هایی که بیشترین نرخ را نشان می‌دهند، انتخاب پروژه‌ای که حداکثر بازده را در مقابل حداقل بودجه هزینه شده دارد فراهم می‌کند. این مساله مخصوصاً در مهندسی راهسازی، که همیشه بودجه کافی برای اجرای تمام پروژه‌های مورد نظر وجود ندارد، از اهمیت زیاد برخوردار است.

روش نسبت منافع به هزینه

روش منافع به هزینه بطور وسیعی برای راهسازی، راه‌های آبی و سایر پروژه‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش نسبت منافع تخمین‌زده شده به هزینه‌های برآورد شده تعیین می‌شود، و این نسبت به عنوان ضابطه اصلی در تصمیم‌گیری برای پیشنهاد اینکه آیا مخارج مفروض باید هزینه گردد یا خیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای هرکدام از گزینه‌ها، هزینه‌های سالیانه استفاده‌کنندگان از راه و کل هزینه راه تعیین می‌شود. گزینه‌ها، بر اساس نسبت‌های منافع به هزینه با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

نسبت منافع به هزینه به این صورت تعریف می‌گردد:

$$\frac{\text{تفاوت هزینه‌های استفاده‌کننده}}{\text{تفاوت هزینه‌های راه}} = \frac{\text{منافع}}{\text{هزینه‌ها}} = \text{نسبت منافع به هزینه}$$

$$= \frac{R - R_1}{H_1 - H}$$

که :

R = کل هزینه‌های سالیانه استفاده کننده برای شرایط پایه، معمولاً جاده موجود

R_1 = کل هزینه‌های سالیانه استفاده کننده برای توسعه مفروض

H = کل هزینه‌های سالیانه راه برای شرایط پایه، معمولاً جاده موجود

H_1 = کل هزینه‌های سالیانه راه برای توسعه مفروض

این فرمول برای محاسبه نسبت منافع برای تمام گزینه‌ها، که همگی با یک شرایط مبنای مشخص بدست آمده‌اند، بکار می‌رود. بر این اساس مقادیر نسبی همه نسبت‌های بدست آمده مستقیماً مقایسه می‌شوند. نسبت بزرگتر از یک نشان می‌دهد که مخارج اضافی برای توسعه مفروض، بر روی شرایط مبنا، قابل توجیه است. نسبت کوچکتر از یک نشان می‌دهد که منافع کمتر از هزینه‌ها، و از نقطه نظر منافع استفاده کننده شرایط موجود بر توسعه مفروض برتری دارد. گزینه‌ای که دارای نسبت بزرگتر است معمولاً قابل‌قبول‌ترین آنهاست. برای اینکه نتیجتاً گزینه‌ای را که دارای حداکثر جذابیت است پیدا نمود لازم است تمام گزینه‌ها، نه تنها با شرایط پایه، بلکه با یکدیگر نیز مقایسه شوند.

برای نتایج قابل‌مقایسه لازم است که یک نرخ بهره بکار برده شود، تا بتوان تفاوت بین هزینه‌های سالیانه را برای گزینه‌های مختلف پیدا کرد. نتایج بدست آمده با نرخ بهره مفروض تغییر می‌کند. بطور کلی، نرخ بهره فقط در مخرج تاثیر دارد، و هرچه نرخ بهره فرض شده بیشتر باشد نسبت منافع به هزینه کمتر خواهد شد.

تعیین ADT برای طول دوره تحلیل

برای تعیین هزینه‌های استفاده کننده (RUC) تعیین ترافیک متوسط روزانه در سال (ADT) برای طول دوره تحلیل ضروری است. اشتو برای تعیین ADT مناسب سه مرحله زیر را پیشنهاد می‌کند:

۱ - ADT که از راه، در زمان تکمیل آن، استفاده می‌کند را مشخص کنید. این معمولاً ترافیک زمان جاری است.

۲ - تعداد سال‌هایی که برای آن تحلیل انجام می‌شود (معمولاً ۲۰ سال) و ضریب بسط ترافیک را تعیین کنید. دوره پیش‌بینی ترافیک مستقل از عمر متوسط فرض شده برای قسمت‌های مختلف، که سرمایه‌گذاری اصلی را تشکیل می‌دهد، می‌باشد.

۳ - ADT بسط داده شده را که نشان‌دهنده مقدار متوسط برای طول دوره تحلیل است محاسبه کنید. این ADT لازم برای استفاده در تحلیل است.

مفهوم کامل مرحله سوم مشخص نیست. اگر ADT بسط داده شده برای تحلیل مورد استفاده قرار گیرد نتیجه آن بیان اضافی هزینه‌های استفاده‌کننده از راه خواهد بود و در صورتی‌که ADT جاری مورد استفاده قرار گیرد، نتیجه بیان کمتر هزینه‌های استفاده‌کننده خواهد شد. پیشنهاد شده است که یک مقدار متوسط با میانگین گرفتن از ADT جاری و ADT بسط داده شده در نظر گرفته شود. گرفتن ADT مناسب اهمیت فراوان دارد، چون در تحلیل تاثیر قابل‌توجهی دارد. این نکته در قسمت بعد بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت. لازم است که اطلاعات حجم ترافیک بصورت تفکیک شده بر حسب انواع وسایل نقلیه بیان شود، زیرا برای هر نوع وسیله نقلیه واحد هزینه‌های استفاده‌کننده متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مقایسه گزینه‌ها، این سوال معمولاً پیش می‌آید که چگونه با ترافیک الحاقی برخورد شود. ممکن است این ترافیک قسمتی از کل رشد ترافیک پیش‌بینی شده برای توسعه موجود باشد، ولی لزوماً قسمتی از رشد ترافیک برای امکانات موجود نخواهد بود. ترافیک الحاقی به این مفهوم بکار برده شده است که شامل تمام ترافیکی است که بدون وجود امکانات جدید اتفاق نمی‌افتاده است. مقدار ترافیک الحاقی تا حد زیادی بستگی به نوع و محل توسعه مفروض دارد. برای مثال، ترافیک الحاقی برای یک بار با دسترسی محدود که مرکز شهر را به یک ناحیه حاشیه شهری متصل می‌کند، بیشترین مقدار را خواهد داشت. از طرف دیگر، ترافیک الحاقی در نواحی شهری یا خارج شهری از اهمیت کمی برخوردار است.

روش‌های مختلفی برای چگونگی برخورد با مسأله، که به بهترین وجه با مثال ساده زیر توضیح داده شده است، وجود دارد. شرایط زیر را برای یک راه موجود و راه جدید مفروض در نظر بگیرید:

طول هر دو گزینه = ۱۶ کیلومتر

واحد هزینه استفاده‌کننده برای راه موجود = ۸/۵ ریال برای وسیله نقلیه - کیلومتر

واحد هزینه استفاده‌کننده برای راه مفروض = ۶/۵ ریال برای وسیله نقلیه - کیلومتر

متوسط برای طول مدت تحلیل راه موجود = ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه در روز

متوسط برای طول مدت تحلیل راه مفروض = ۱۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز

هزینه سالیانه بازگشت سرمایه برای راه موجود = صفر

هزینه سالیانه بازگشت سرمایه برای راه مفروض (بر اساس

سرمایه‌گذاری اصلی برابر ۱۰۰۰ میلیون ریال (n = ۳۰ سال، i = ٪۶) = ۷۲،۶۰۰،۰۰۰ ریال

هزینه سالیانه استفاده‌کننده (RUC) برای راه موجود =

۳۶۵ × ۸/۵ × ۱۶ × ۱۰۰۰۰ = ۴۹۶،۴۰۰،۰۰۰ ریال

هزینه سالیانه استفاده‌کننده (RUC) برای راه مفروض =

۳۶۵ × ۶/۵ × ۱۶ × ۱۵۰۰۰ = ۵۶۹،۴۰۰،۰۰۰ ریال

هزینه سالیانه استفاده‌کننده برای راه مفروض (توسعه یافته) بیشتر از راه موجود شده است. وقتی ADT های مختلف پیش‌بینی شده برای هر دو راه در نظر گرفته می‌شود، تحلیل منافع بر هزینه ساختن راه جدید را توجیه نمی‌کند.

تحلیل بر اساس ADT داده شده برای راه موجود:

هزینه سالیانه استفاده‌کننده برای راه مفروض =

۳۶۵ × ۶/۵ × ۱۶ × ۱۰۰۰۰ = ۳۷۹،۶۰۰،۰۰۰ ریال

$$\text{نسبت منافع} = \frac{۴۹۶،۴۰۰،۰۰۰ - ۳۷۹،۶۰۰،۰۰۰}{۷۲،۶۰۰،۰۰۰} = ۱/۶۱$$

تحلیل بر اساس ADT داده شده برای راه مفروض:

هزینه سالیانه استفاده‌کننده برای راه موجود =

۳۶۵ × ۸/۵ × ۱۶ × ۱۵۰۰۰ = ۷۴۴،۶۰۰،۰۰۰ ریال

$$\text{نسبت منافع} = \frac{۷۴۴،۶۰۰،۰۰۰ - ۵۶۹،۴۰۰،۰۰۰}{۷۲،۶۰۰،۰۰۰} = ۲/۴۱$$

تحلیل بر اساس کل منافعی که از راه مفروض حاصل می‌شود:

کل منافع سالیانه =

(۳۶۵ × ۱۶ × ۱۵۰۰۰ × (۸/۵ - ۶/۵) = ۱۷۵،۲۰۰،۰۰۰ ریال

این تحلیل به همان نتیجه‌ای منتهی می‌شود که تحلیل بر ADT داده شده برای راه مفروض رسید.

در مثال فوق وقتی یک ADT در مقایسه گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، ساختن راه مفروض توجیه می‌شود.

در واقع، جواب مشخصی که شامل تمام موقعیت‌ها باشد وجود ندارد، ولی بنظر می‌رسد که روش مناسبی برای مسائلی شبیه فوق این است که مبنای مقایسه ADT داده شده برای توسعه مفروض قرار گیرد. هزینه سالیانه بازگشت سرمایه برای راه مفروض در مقایسه اهمیت دارد، و بر اساس سرمایه‌گذاری لازم برای تامین یک سطح سرویس مشخص برای ترافیک استفاده‌کننده از راه جدید قرار دارد. بنابراین ADT روی راه مفروض برای استفاده در تحلیل با معنی‌تر است.

جنبه‌های حساسیت مطالعات اقتصادی

قبل از اینکه یک مطالعه اقتصادی انجام شود، در تمام روشهای تحلیل، لازم است که یک نرخ بهره در نظر گرفته شود. برای تمام روش‌ها، مشتمل بر روش نرخ بازده، فرضیاتی برای عمر مفید و ارزش اسقاطی در پایان عمر مفید هر قسمت از اجزاء توسعه راه، باید وجود داشته باشد. در محاسبه هزینه‌های استفاده‌کننده در تمام روش‌ها، ابتدا لازم است تخمینی از ADT زده شود. تمام این عوامل بر اساس فرضیاتی که می‌توانند در نتیجه نهایی یک مطالعه اقتصادی، با درجه بیشتر و یا کمتر، موثر باشد قرار دارد. وقتی تصمیم‌های مهم در بین است، یک سری راه‌حلهای موازی که دربرگیرنده دامنه‌ای منطقی از فرضیات است ممکن است قابل تضمین باشد.

اثر نرخ بهره

انتخاب نرخ بهره، یا حداقل نرخ بازده جذاب، در نتیجه یک مطالعه اقتصادی تاثیر مهمی دارد. امتیاز روش حداقل نرخ بازده در این حقیقت نهفته است که انتخاب هیچ نرخ بهره از پیش تعیین شده‌ای لازم نیست. تمام اقدامات احتیاطی که در یک مطالعه اقتصادی ممکن است انجام گیرد، اگر نرخ بهره مناسب با شرایطی که در آن تصمیم‌گیری بعمل می‌آید نباشد، بی‌معنی خواهد بود.

نرخ بهره‌های کم در جهت گزینه‌های با سرمایه‌گذاری اولیه زیاد، و نرخ بهره‌های زیاد در جهت گزینه‌های با سرمایه‌گذاری اولیه کم می‌باشد. نرخ بهره‌های کم‌اهمیت و تاثیر بیشتری روی اتفاقاتی که در آینده دورتر ممکن است پیش آید می‌گذارد که در این حالت نااطمینانی‌های پیش‌بینی بیشتر است، در حالیکه نرخ بهره‌های زیاد تمایل به تخفیف اثرات اتفاقات آینده دارد.

اثر عمر مفید مفروض

در یک مطالعه اقتصادی، سرمایه‌گذاری‌های اولیه بطور یکنواخت روی عمر مفید هر جزء راه تقسیم می‌شود. وقتی ارزش اسقاطی در نظر گرفته نمی‌شود، این مبلغ یکنواخت سالیانه برای سرمایه و نرخ بهره مشخص با ضرب سرمایه آن جزء در ضریب بازگشت سرمایه (CRF) بدست می‌آید.

با زیاد شدن عمر مفید، ضریب بازگشت سرمایه به نرخ بهره نزدیک می‌گردد. در نرخ بهره‌های زیاد این همگرایی سریع و در نرخ بهره‌های کم کند می‌باشد. بنابراین مطالعات اقتصادی که دارای نرخ بهره‌های زیاد هستند حساسیت کمتری نسبت به تغییرات در عمر مفروض می‌باشند، در حالیکه با نرخ بهره کم یا صفر حساسیت به تناسب بیشتر است. برای مثال با نرخ ۷ درصد ازدیاد در هزینه سالیانه بازگشت سرمایه، وقتی که عمر مفید فرض شده از ۳۰ به ۲۰ سال تقلیل یابد، ۱۷ درصد است، در

حالیکه با نرخ بهره صفر درصد این ازدیاد ۵۰ درصد خواهد بود.

اثر ارزش اسقاطی مفروض

ارزش اسقاطی یک قسمت از راه ارزش ریالی در پایان عمر مفید فرض شده آن می‌باشد. ارزش اسقاطی بسیار کم خواهد بود. در چنین شرایطی اثر منظور نمودن یا ننمودن ارزش اسقاطی خطایی ایجاد خواهد کرد که مقدار آن به اندازه قابل توجهی کمتر از خطایی است که در سایر تخمین‌ها انتظار می‌رود. بنابراین برای بسیاری از تسهیلات جاده‌ای، یا اجزاء توسعه راه، ارزش اسقاطی صفر در مطالعات اقتصادی قابل قبول است.

اثر حجم ADT مفروض

کم کردن هزینه‌های استفاده کننده یکی از عوامل اصلی توجیه توسعه‌های راه بوده، و بنابراین اثر مهمی روی مطالعات اقتصادی دارد. صرفه‌جویی سالیانه در هزینه استفاده کننده، اصولاً با ADT تخمین زده شده برای طول دوره تحلیل مستقیماً متناسب است. پیش‌بینی‌های ترافیک روی یک جاده جدید یا توسعه یافته ممکن است به اندازه قابل توجهی بیش از ترافیک فعلی روی جاده موجود باشد، و در بسیاری از حالت‌ها ممکن است ADT پیش‌بینی شده، در پایان دوره تحلیل ۲۰ یا ۳۰ ساله، دو یا سه برابر شود. زیاد شدن حجم ترافیک در آینده ممکن است باعث افزایش هزینه‌های استفاده کننده بخاطر تراکم ترافیک گردد. واضح است که اگر، راه در شروع دوره تحلیل در حد ظرفیت خود عمل کند، هزینه‌های استفاده کننده به اندازه قابل توجهی، در صورتی که ترافیک اضافی تراکم بیشتری ایجاد کند، افزایش می‌یابد. روش اشتو در ارتباط دادن هزینه‌های عملکرد وسیله نقلیه به نوع عملکرد جاده از این نظر بسیار قابل توجه است. در تصمیم‌گیری‌های مهم دوگونه تحلیل ممکن است انجام گیرد، یکی بر اساس پیش‌بینی بدبینانه و دیگری بر اساس پیش‌بینی خوشبینانه برای رشد. با این نوع برخورد دامنه تغییرات در نتایج توسعه بهتر قابل ارزیابی می‌باشد.

اثر تورم

بر اساس یک مطالعه جامع در مورد تغییرات قیمت‌ها و شاخص‌های مختلف هزینه در طول چند سال، مشاهده گردید که یک شاخص معین برای اندازه‌گیری روند کلی تغییرات قیمت‌ها بطور مطلوب وجود ندارد، یعنی تورم و یا ضدتورم. پیش‌بینی نرخ تورم کار مشکلی است، مخصوصاً اینکه بطور متوسط و برای طولانی مدت باشد.

گزارش مذکور لیست زیر را به عنوان دلایلی که طبق عقیده اکثریت افراد خبره نباید تورم را در مطالعات اقتصاد مهندسی در نظر گرفت ارائه می‌دهد.

۱ - مشکلات جزء لاینفک پیش‌بینی است.

۲ - دولت مرکزی مسئول تثبیت قیمت‌ها است.

۳ - برنامه‌های ملی، که در قسمتی با منافع ناشی از تورم توجیه می‌شود،به تورم کمک می‌کند.

۴ - سودهایی که به وام‌گیرندگان می‌رسد با زیان‌هایی که به اعتباردهندگان وارد می‌شود جبران می‌گردد.

۵ - ریال آینده برای پرداخت مخارج آینده نیز به همان ترتیب تحت تاثیر تورم خواهد بود، و هیچ گونه خالص مبادله‌ای وجود نخواهد داشت.

۶ - تمایل به سمت پروژه‌های پر سرمایه و طویل‌المدت به وجود نخواهد آمد، که تطابق نسبت به تغییرات آینده را پرهزینه‌تر از حالت عکس آن خواهد نمود.

مثال‌هایی از مطالعات اقتصادی راه

هزینه وسیله نقلیه در ارتباط با تقاطع

اهمیت هزینه توقف‌ها قبلاً مورد بحث قرار گرفته است، و اکنون با یک مثال مناسب آشکارتر می‌شود.

مثال: اجرای یک تقاطع غیرهمسطح در محل تقاطع یک بزرگراه چهارخطه و جاده متقاطع دوخطه، که در حال حاضر با چراغ راهنمایی کنترل می‌شود مورد نظر است. ADT بزرگراه ۲۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز است که ۹۰ درصد آن اتومبیل و ماشین‌های کوچک تجاری، ۵ درصد آن کامیون‌های تک واحدی، و ۵ درصد دیگر کامیون‌های یدک‌کش است.

ADT جاده دوخطه ۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز است که ترکیب ترافیک آن مشابه بزرگراه می‌باشد، بین دو مسیر متقاطع تبادل ترافیکی کمی وجود دارد و بنابراین اگر دو مسیر با یک پل از یکدیگر جدا شوند، ساخت شیبراهه مورد نیاز نیست. سرعت متوسط نزدیک شدن به تقاطع برای اتومبیل‌ها و وسایل نقلیه سبک تجاری برابر ۵۰ و ۳۵ مایل در ساعت (۸۰ و ۵۵ کیلومتر در ساعت) به ترتیب روی بزرگراه و جاده دوخطه می‌باشد. مطالعه انجام شده در محل نشان می‌دهد که بطور متوسط ۲۰ درصد وسایل نقلیه روی بزرگراه بطور متوسط ۳۰ ثانیه بر وسیله نقلیه توقف دارند و ۳۰ درصد وسایل نقلیه روی جاده دوخطه بطور متوسط ۴۰ ثانیه بر وسیله نقلیه توقف می‌کنند. کل

هزینه‌های ایجاد شده در اثر توقف باید تعیین شود. این کار را بصورت زیر می‌توان انجام داد:

۱ - تعیین معادل اتومبیل

با توجه به جدول ۲ - ۶، معادل اتومبیل برای کامیون‌های تک‌واحدی و وسایل نقلیه ترکیبی به ترتیب ۲ و ۴ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تعداد معادل اتومبیل برابر است با:

الف - بزرگراه چهارخطه : معادل اتومبیل

= ۲۵۰۰۰ × (۰/۹۰ × ۱ + ۰/۰۵ × ۲ + ۰/۰۵ × ۴) = ۳۰۰۰۰

ب - راه دوخطه : معادل اتومبیل

= ۵۰۰۰ × (۰/۹۰ × ۱ + ۰/۰۵ × ۲ + ۰/۰۵ × ۴) = ۶۰۰۰

۲ - هزینه هر توقف

هزینه توقف برای هرکدام از جاده‌های متقاطع تعیین می‌شود، با در نظر گرفتن هزینه‌های عملکردی اضافی وسیله نقلیه و هزینه‌های زمان بخاطر وسیله نقلیه که در حال توقف است، متوقف شده، و دوباره سرعت می‌گیرد. شکل ۲ - ۶ برای بدست آوردن کل هزینه هر توقف جاده برای اتومبیل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الف - جاده چهارخطه :

با یک سرعت نزدیک شدن به تقاطع برابر ۵۰ مایل در ساعت (۸۰ کیلومتر در ساعت) و ۳۰ ثانیه تاخیر توقف = ۳/۵۵ صدم دلار برای هر توقف.

با یک سرعت نزدیک شدن به تقاطع برابر ۴۰ مایل در ساعت (۵۵ کیلومتر در ساعت) و ۳۰ ثانیه تاخیر توقف، کل هزینه هر توقف = ۲/۸۵ صدم دلار برای هر توقف

ب - جاده دو خطه :

با سرعت نزدیک شدن برابر ۳۵ مایل در ساعت و ۴۰ ثانیه تاخیر توقف، کل هزینه هر توقف = ۳/۰۳ صدم دلار برای هر توقف

با سرعت نزدیک شدن برابر ۳۰ مایل در ساعت و ۴۰ ثانیه تاخیر توقف، کل هزینه هر توقف = ۲/۷۹ صدم دلار برای هر توقف

۳ - تعداد وسایل نقلیه‌ای که متوقف می‌شوند.

تعداد وسیله نقلیه‌ای که متوقف می‌شوند از هر نوع و در روز، تعیین می‌گردد.

الف - جاده چهارخطه :

وسیله نقلیه در روز ۴۵۰۰ = ۰/۲۰ × ۰/۹۰ × ۲۵۰۰۰ = تعداد اتومبیل‌ها و وسایل نقلیه تجاری کوچک که متوقف می‌شوند.

وسیله نقلیه در روز ۵۰۰ = ۰/۲۰ × ۲ × ۰/۰۵ × ۲۵۰۰۰ = تعداد معادل کامیون‌های تک واحدی که متوقف می‌شوند.

وسیله نقلیه در روز ۱۰۰۰ = ۰/۲۰ × ۴ × ۰/۰۵ × ۲۵۰۰۰ = تعداد معادل کامیون‌های یدک‌کش که متوقف می‌شوند.

ب - جاده دوخطه :

۱۳۵۰ = ۰/۳۰ × ۰/۹۰ × ۵۰۰۰ = تعداد اتومبیل و وسایل نقلیه تجاری کوچک که متوقف می‌شوند.

۱۵۰ = ۰/۳۰ × ۲ × ۰/۰۵ × ۵۰۰۰ = تعداد معادل کامیون‌ها

۳۰۰ = ۰/۳۰ × ۴ × ۰/۰۵ × ۵۰۰۰ = تعداد معادل کامیون‌های یدک‌کش

۴ - هزینه‌های روزانه توقف‌ها

الف - جاده چهارخطه :

دلار در روز ۱۵۹/۷۵ = ۰/۰۳۵۵ × ۴۵۰۰ = هزینه توقف برای اتومبیل و وسایل نقلیه تجاری کوچک

دلار در روز ۴۲/۷۵ = ۰/۰۲۸۵ × ۱۵۰۰ = هزینه توقف برای کامیون‌ها (تک واحدی و یدک‌کش)

دلار در روز ۲۰۲/۵ = جمع

ب - جاده دوخطه :

دلار در روز ۴۰/۹۰ = ۰/۰۳۰۳ × ۱۳۵۰ = هزینه توقف برای اتومبیل و وسایل نقلیه تجاری کوچک

دلار در روز ۱۲/۵۵ = ۰/۰۲۷۹ × ۴۵۰ = هزینه توقف برای کامیون‌ها (تک واحدی و یدک‌کش)

دلار در روز ۵۳/۴۵ = جمع

بنابراین کل هزینه توقف‌ها در روز برای هر دو جاده متقاطع برابر است با:

دلار ۲۵۵/۹۵ = ۵۳/۴۵ + ۲۰۲/۵

و برای یکسال: دلار ۹۳۴۲۰ = ۳۶۵ × ۲۵۵/۹۵

ساختن پل برای جداسازی دو جاده فقط بر اساس این هزینه‌ها، بدون در نظر گرفتن خصوصیات ایمنی که این جداسازی خواهد داشت، قابل توجیه است. البته در صورتی که هزینه ساختن چنین سازه‌ای کمتر از ۹۳۴۲۰ دلار باشد.

مقایسه انواع روسازی

چون عمر مفید انواع مختلف روسازی‌ها با یکدیگر متفاوت است، مقایسه هزینه سالیانه آنها برای طول زمانی که بیشتر از عمر مفیدشان باشد مناسب‌تر است. عمر مفید سازه‌های عمده و حریم راه بیش از عمر مفید رویه می‌باشد، و تقریباً ۹۰ درصد تمام روسازی‌ها یا روکش می‌شوند و یا در پایان عمر مفیدشان بازسازی انجام می‌گیرد، درصد کمی نیز بصورت متروکه رها

می‌گردند. بنابراین، دوره تحلیل مهمتر آن است که به متوسط عمر سرویس سازه‌های عمده نزدیکتر، یا برابر آن باشد. از این نقطه نظر یک دوره تحلیل ۴۰ ساله مناسب در نظر گرفته می‌شود.

مثال : برای نشان دادن روش مقایسه ارزش نسبی اقتصادی دو نوع رویه، شرایط زیر را برای یک بزرگراه خارج شهری چهارخطه در نظر بگیرید:

نوع	هزینه اولیه (ریال در کیلومتر)	عمر مفید سال	هزینه روکش (ریال در کیلومتر)	هزینه سالیانه نگهداری (ریال در کیلومتر)
بتن آسفالتی	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۸	۴۰،۰۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰
بتن سیمانی	۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۶	۴۰،۰۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰

اجرای روکش از هر دو نوع با بتن آسفالتی انجام خواهد شد و عمر مفید روکش برابر با عمر مفید بتن آسفالتی اولیه، یعنی ۱۸ سال، فرض می‌شود. هزینه سالیانه روسازی برابر است با ضریب بازگشت سرمایه مناسب (CRF) ضرب در مجموع هزینه اولیه، بعلاوه ارزش فعلی روکش لازم در طول دوره تحلیل، منهای ارزش فعلی باقیمانده آخرین روکش. به این مبلغ هزینه نگهداری سالیانه اضافه خواهد شد.

برای مقایسه نرخ بهره‌ای برابر ۶ درصد، به منظور تعیین هزینه‌های سالیانه دو روسازی، در نظر گرفته می‌شود. فرمول هزینه سالیانه:

$$C = CRF_n \left[I + R_1 \times PWF_{n1} + R_2 \times PWF_{n2} + n_1 - \frac{(n_1 + n_2 + n_3 - n)(R_1 \text{ or } R_2) PWF_n}{n_3} \right] + M$$

که :

C = هزینه سالیانه روسازی، در کیلومتر

n = طول مدت تحلیل بر حسب سال

CRF = ضریب بازگشت سرمایه

I = هزینه اولیه روسازی، در کیلومتر

R_1 = هزینه روکش اول، در کیلومتر

n_1 = تعداد سال‌ها بین اجرای اولیه راه و اولین روکش

PWF = ضریب ارزش فعلی

R_2 = هزینه روکش دوم، در کیلومتر

n_2 = عمر مفید روکش اول

n_3 = عمر مفید آخرین روکش

$$\text{ارزش باقیمانده آخرین روکش} = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 - n) R_2 \times PWF_n}{n_3}$$

M = هزینه سالیانه نگهداری

هزینه سالیانه بتن آسفالتی:

I = ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال ، n = ۴۰ سال

R_1 = ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال

M = ۶۰۰،۰۰۰ ریال ، $n_2 = n_3$ = ۱۸ سال ، n_1 = ۲۶ سال

i = ٪۶

$$C = ۰/۰۶۶۵ [۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ + ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ \times ۰/۳۵۱۳ + ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ \times ۰/۱۲۲۷ - \frac{(۵۴-۴۰)}{۱۸} \times ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ \times ۰/۰۹۷۲] + ۶۰۰،۰۰۰ = ۸،۳۰۹،۷۰۰$$ ریال در کیلومتر

هزینه سالیانه بتن سیمانی:

I = ۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال ، n = ۴۰ سال

R_1 = ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال

M = ۶۰۰،۰۰۰ ریال ، n_2 = ۱۸ سال ، n_1 = ۲۶ سال

i = ٪۶

$$C = ۰/۰۶۶۵ [۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰ + ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ \times ۰/۰۹۷۲ - \frac{(۴۴-۴۰)}{۱۸} \times ۴۰،۰۰۰،۰۰۰ \times ۰/۲۱۹۸] + ۶۰۰،۰۰۰$$

C = ۱۱،۷۶۷،۲۰۰ ریال در کیلومتر

بر اساس تحلیل فوق روسازی بتن آسفالتی اقتصادی‌تر است.

فرمول هزینه سالیانه فوق در یک مطالعه اقتصادی هزینه سالیانه برای مقایسه دو نوع مختلف روسازی مورد استفاده قرار گرفت. هدف اصلی انجام مطالعه تعیین اثر اهمیت نسبی هر جزء فرمول بود. بعلاوه افزایش هزینه‌های روکش کردن در آینده نیز با منظور نمودن یک ضریب روند رشد قیمت، که ٪۲ فرض شده و بصورت بهره مرکب محاسبه گردید، در نظر گرفته شد. بهرحال، استفاده از ضریب روند قیمت، در صورتیکه نشان‌دهنده ازدیاد هزینه‌های آینده ناشی از تورم باشد، توصیه نمی‌شود. برای مثال اگر هزینه روکش در کیلومتر برای زمان حاضر ۲ میلیون تومان و عمر مفید ۱۸ سال باشد هزینه روکش در پایان ۱۸ سال برابر

است با:ریال ۲۸،۵۶۰،۰۰۰ = ۱/۴۲۸ × ۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰ = R_1
که ۱/۴۲۸ ضریب مبلغ ترکیبی برای یک مقدار مشخص و با نرخ ۲ درصد برای ۱۸ سال است.

نتایجی که از این بررسی بدست آمد عبارتند از:

۱ - هزینه اجرای اولیه مهمترین عامل در مقایسه هزینه‌های سالیانه روسازی تشخیص داده شد، که اثرات عواملی از قبیل هزینه‌های نگهداری و روکش، نرخ بهره، عمر مفید روسازی و طول زمان تحلیل را تحت‌الشعاع خود قرار داد.

۲ - برای اکثر مقاطع روسازی تحلیل شده، هزینه‌های اجرایی اولیه ۸۵ تا ۹۵ درصد کل هزینه سالیانه را تشکیل می‌داد، در صورتیکه هزینه‌های نگهداری کمتر از ۱۰ درصد کل هزینه سالیانه را در بر می‌گرفت.

۳ - بطور کلی: هزینه سالیانه روسازی آسفالتی و صلب که برای شرایط خاک ضعیف طراحی شده است، در بیشتر قسمت‌ها، در سطح قیمت‌های ثابتی قرار گرفت، ولی برای شرایط عالی خاک ۲۵ تا ۴۰ درصد برای روسازی صلب نسبت به روسازی آسفالتی و در شرایط مساوی بیشتر گردید.

اقتصاد تقلیل تصادف و ممنوعیت پارکینگ

هزینه تقلیل تصادف و ممنوعیت پارکینگ با مثال زیر روشن می‌شود:

مثال: توسعه یک طول ۱/۵ مایلی از یک راه شریانی اصلی دوطرفه شهری مورد نظر است. شرایط موجود عبارتند از: دو خط عبور در هر جهت برای ترافیک عبوری، پارکینگ در هر دو طرف مجاز، ۱۰ تقاطع از ۱۵ تقاطع موجود دارای چراغ راهنمایی است و بقیه با تابلو ایست دوطرفه کنترل می‌شود، و شیب‌های طولی از ۲ درصد تجاوز نمی‌کند. تجارب تصادف بطور متوسط حاکی از ۱/۵ تصادف منجر به جرح و ۳ تصادف با خسارت مالی در سال می‌باشد. در بین تقاطع‌ها بطور متوسط تصادف‌ها بصورت ۰/۱ منجر به مرگ، ۳ فقره زخمی و ۴ فقره خسارت مالی برای هر فاصله تقاطع در سال گزارش شده است.

برنامه‌های توسعه شامل مسیردهی در هشت تقاطع برای گردش به چپ که حجم ترافیک آن سنگین است، و ممنوعیت پارکینگ در دو طرف ذکر شده می‌باشد. با حذف پارکینگ حریم اضافی برای راه مورد نیاز نیست و کل هزینه‌های توسعه ۵۰۰ دلار تخمین زده می‌شود. اثر پیش‌بینی شده مسیر دهی تقلیل ۱۵ درصد در انواع تصادفات در تمام تقاطع‌ها، و اثر مورد انتظار برداشت پارکینگ از دو طرف تقلیل ۳۰ درصد در انواع تصادفات بین تقاطعی می‌باشد.

تردد ترافیک بطور متوسط ۴۲۰ وسیله نقلیه در ساعت برای هر خط عبور در ساعات اوج، که سه ساعت روز را تشکیل می‌دهد، می‌باشد. نسبت زمان سبز به زمان چرخه چراغ راهنمائی در راه شریانی برابر است با ۰/۶، و فرض می‌شود که خصوصیات سرعت به نحو قابل توجه فقط در ساعات اوج روزهای هفته و برای شرایط پارکینگ مجاز و پارکینگ ممنوع تغییر می‌کند. شاخص تغییرات سرعت را برای دو نوع روابط ذکر شده فوق با استفاده از روابط زیر، که از مطالعاتی در شیکاگو بدست آمده است می‌توان محاسبه نمود:

با پارکینگ: $S = ۲۲/۷۸ - ۰/۰۰۴۱\,q$

بدون پارکینگ: $S = ۳۳/۵۰ - ۰/۰۶۰۶q$

که:

S = سرعت برحسب مایل در ساعت

و q = تردد ترافیک بر حسب وسیله نقلیه در ساعت زمان سبز در خط عبور است.

مدت دوره تحلیل ۲۰ سال و نرخ بهره ۶ درصد برای تعیین اینکه آیا برنامه‌های توسعه مفروض از نظر اقتصادی قابل توجیه است یا خیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملیات به شرح زیر می‌باشد:

۱ - هزینه سالیانه تصادف

اطلاعات مربوط به هزینه تصادف را از روی جدول‌هایی مشابه جداول ۱۰ - ۶ تا ۱۵ - ۶ می‌توان بدست آورد. در این مثال جدول ۱۴ - ۶ برای تخمین هزینه‌های تصادف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این جدول هزینه‌های تصادفات گزارش شده و گزارش نشده را بر حسب تصادفات گزارش شده نشان می‌دهد.

الف - در تقاطع‌ها:

شرایط موجود = (۱/۵ × ۲۱۰۰ + ۳/۰ × ۶۰۰) × ۱۵ = ۷۴۲۰۰ دلار

شرایط مفروض = ۰/۸۵ × ۷۴۲۰۰ = ۶۳۱۰۰ دلار

ب - بین تقاطع‌ها:

شرایط موجود = (۰/۱ × ۷۷۰۰ + ۳/۰ × ۲۱۰۰ + ۴/۰ × ۰/۶۰۰) × ۱۴

= ۱۳۲۶۰۰ دلار

شرایط مفروض = ۰/۷۰ × ۱۳۲۶۰۰ = ۹۲۸۰۰ دلار

ج - کل هزینه سالیانه تصادفات:

شرایط موجود = ۷۴۲۰۰ + ۱۳۲۶۰۰ = ۲۰۶۸۰۰ دلار

شرایط مفروض = ۶۳۱۰۰ + ۹۲۸۰۰ = ۱۵۵۹۰۰ دلار

۲ – هزینه سالیانه وقت

اشتو پیشنهاد ارزش وقت ۱/۵۵ دلار بر اتومبیل را ارائه می‌دهد که همین مقدار برای تخمین هزینه وقت مورد استفاده (در این مثال) قرار می‌گیرد. تعداد وسایل نقلیه‌ای که تحت تاثیر صرفه‌جویی در وقت قرار می‌گیرند، در مقایسه شرایط موجود و شرایط مفروض، آنهایی هستند که در سه ساعت زمان اوج در حال تردد هستند، البته فقط در روزهای هفته (بدون روزهای تعطیل). برای دو خط عبور در هر جهت، کل تعداد وسایل نقلیه‌ای که در هفته تحت تاثیر قرار می‌گیرند برابر است با:

وسیله نقلیه $۴ \times ۴۲۰ \times ۳ = ۵۰۴۰$

الف – سرعت متوسط کلی :

$۷۰۰ = \frac{۴۲۰}{۰/۶}$ = تعداد وسایل نقلیه در ساعت زمان سبز در خط عبور

سرعت‌متوسط در شرایط موجود:

مایل در ساعت $S = ۲۲/۷۸ - ۰/۰۰۴۱ \times ۷۰۰ = ۱۹/۹$

سرعت متوسط در شرایط مفروض:

مایل در ساعت $S = ۳۳/۵ - ۰/۰۰۶۶ \times ۷۰۰ = ۲۸/۹$

ب – ارزش سالیانه وقت :

شرایط موجود: $\frac{۱/۵۵}{۱۹/۹} \times ۵۰۴۰ \times ۱/۵ (۳۶۵ - ۲ \times ۵۲) =$ ۱۵۲۷۰۰ دلار

شرایط مفروض $\frac{۱/۵۵}{۲۸/۹} \times ۵۰۴۰ \times ۱/۵ (۳۶۵ - ۲ \times ۵۲) =$ ۱۰۵۸۰۰ دلار

۳ – هزینه سالیانه بهره‌برداری

با این فرض که با مجاز بودن پارکینگ نوع عملکرد محدود، و با پارکینگ ممنوع نوع عملکرد عادی باشد، و با مطالعه جدول ۴ – ۶ برای این دو حالت خواهیم دید که اختلاف در هزینه‌های بهره‌برداری برای شیب بین صفر تا چهار درصد و سرعت ۳۰ مایل در ساعت در عملکرد محدود و ۲۸ مایل در ساعت در عملکرد عادی ناچیز است.

۴ – هزینه توقف‌ها

فرض می‌شود که تعداد توقف‌ها تغییر نمی‌کند.

۵ – هزینه سالیانه استفاده‌کننده

دلار ۳۶۰۵۰۰ = ۱۵۳۷۰۰ + ۲۰۶۸۰۰ = شرایط موجود

دلار ۲۶۱۷۰۰ = ۱۰۵۸۰۰ + ۱۵۵۹۰۰ = شرایط موجود

۶ – هزینه سالیانه برگشت سرمایه

$i = ٪۶$ سال $n = ۲۰$ $CRF = ۰/۰۸۷۲$

دلار ۰ = بازگشت سرمایه در شرایط موجود

دلار ۴۳۶۰۰ = ۵۰۰۰۰۰ × ۰/۰۸۷۲ = بازگشت سرمایه درشرایط‌مفروض

۷ – روش نسبت منافع به هزینه‌ها

$\frac{B}{C} = \frac{۳۶۰۵۰۰ - ۲۶۱۷۰۰}{۴۳۶۰۰ - ۰} = ۲/۲۶$

بنابراین توسعه مفروض قابل توجیه است، زیرا نسبت منافع به هزینه‌ها از یک بیشتر شده است.

۸ – روش هزینه سالیانه

نوع هزینه	شرایط موجود	شرایط مفروض
هزینه‌های استفاده‌کننده	۳۶۰۵۰۰ دلار	۲۶۱۷۰۰ دلار
بازگشت سرمایه	۰ دلار	۴۳۶۰۰ دلار
کل هزینه سالیانه	۳۶۰۵۰۰ دلار	۳۰۵۳۰۰ دلار

بنابراین، توسعه مفروض به دلیل داشتن هزینه سالیانه کمتر قابل توجیه است.

۹ – روش نرخ بازده

در این روش نرخ بهره‌ای باید تعیین شود که در آن هزینه‌های سالیانه برابر است. برای وقتی که عمر مفید اجزاء مختلف سرمایه‌گذاری اولیه برابر است، این نرخ را می‌توان مستقیماً بدست آورد.

$۳۶۰۵۰۰ = ۲۶۱۷۰۰ + CRF \times ۵۰۰۰۰۰$

$CRF = ۰/۱۹۷۶$

نرخ بهره مربوط به ضریب بازگشت سرمایه ۰/۱۹۷۶ برای ۲۰ سال برابر ۱۹/۱ درصد می‌باشد، که با میان‌یابی در جدول‌های مربوطه بدست می‌آید. بنابراین توسعه مفروض بهتر از شرایط موجود راه می‌باشد، در صورتیکه حداقل نرخ بازده جذاب ۱۹/۱ درصد یا کمتر باشد.

۱۰ – روش ارزش فعلی

نوع هزینه	شرایط موجود	شرایط مفروض
هزینه‌های سالیانه استفاده‌کننده	۳۶۰۵۰۰ دلار	۳۶۱۷۰۰ دلار
ارزش فعلی هزینه استفاده‌کننده با نرخ ٪۶ و سال n = ۲۰	۴۱۳۴۹۰۰ دلار	۳۰۰۱۷۰۰ دلار
سرمایه گذاری اولیه	۰	۵۰۰،۰۰۰ دلار
جمع کل ارزش فعلی	۴۱۳۴۹۰۰ دلار	۳۵۰۱۷۰۰ دلار

بنابراین توسعه مزبور قابل توجیه است، زیرا نشان‌دهنده یک صرفه‌جویی در ارزش فعلی هزینه‌ها به اندازه ۶۳۳،۲۰۰ دلار است.

تحلیل اقتصادی تبدیل از حالت دوطرفه به عملکرد یکطرفه نیز مشابه مسأله فوق می‌باشد. روش مشابهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، و زمان سفر و تقلیل تصادفات از نظر مقدار در همین حدود خواهد بود.

مثال شماره ۱ اشتو

یک پروژه تغییر مسیر را در نظر بگیرید، که با کمک آن، با عملیات خاکی زیاد روی مسیر جدید، می‌توان فاصله بین دو نقطه موجود را تقلیل داد. جاده موجود قرار است متروکه رها شود. ترافیک روی جاده موجود در حال حاضر ۱۵۰۰ وسیله نقلیه در روز می‌باشد، و تخمین زده می‌شود که ترافیک متوسط برای ۲۰ سال بعد (مدت تحلیل) تقریباً برابر ۲۵۰۰ وسیله نقلیه در روز خواهد بود. این ترافیک از اتومبیل تشکیل شده و درصد بسیار کمی از آن راکامیون تشکیل می‌دهد. بخاطر نوع کامیون‌ها، تمایزی بین آنها و اتومبیل‌ها لازم به نظر نمی‌رسد. تخصیص نوع عملکرد بر اساس نسبت‌های مشخص شده سی‌امین حجم ساعتی حداکثر به ظرفیت عملی انجام می‌گیرد. جاده مفروض یک عرض رویه ۲۰ فوت را، در مقایسه با عرض ۱۸ فوت جاده موجود، در بر می‌گیرد. این عامل، همراه با مسیربندی و شیب‌های بهتر، برتری عملکرد را به صورت زیر مجاز می‌نماید:

مسیر	سی‌امین ماکزیمم ساعتی	ظرفیت	نسبت	نوع عملکرد
موجود	۳۷۵	۴۵۰	۰/۸۳	عادی
مفروض	۳۷۵	۶۰۰	۰/۶۳	آزاد

اطلاعات اساسی دیگر به شرح زیر است:

مسیر	سرعت‌طرح MPH	سرعت حرکت MPH	تعداد خط‌ها	طول (مایل)	گروه‌شیب (٪)	نوع عملکرد	قوس
موجود	۵۰	۳۷	۲	۲	۰-۳	عادی	۴-۵۰٪
موجود	۵۰	۳۴	۲	۰/۴	۳-۵	عادی	۴°-۵۰٪
مفروض	۶۰	۴۲	۲	۱/۵	۰-۳	آزاد	قابل صرفنظر

انحناءهای مسیر مفروض بطور کلی صاف در نظر گرفته می‌شود، با یک درصد جزیی که ممکن است به حد سرعت طرح برسد. قرار است که بربلندی (دور) کاملاً رعایت شود، بنابراین تصحیح برای انحناء لازم نیست. جاده موجود دارای تعداد زیادی قوس است که سرعت طرح آنها حداکثر به ۵۰ مایل در ساعت می‌رسد. تخمین زده می‌شود که ۵۰ درصد طول آن انحناء متوسط ۴ درجه (درجه قوس طبق تعریف غیرمتریک آن، زاویه مرکزی روبروی طول قوس ۱۰۰ فوت است)، با بربلندی قابل صرف‌نظر دارد. با توجه به شکل ۱ - ۶ ضریب تصحیح بین ۷ تا ۸ درصد برای سرعت‌های در نظر گرفته شده بدست می‌آید. چون فقط نصف طول مسیر دارای قوس است، ضریب تصحیح تقسیم بر دو شده و ۴ درصد برای کل طول مسیر در نظر گرفته می‌شود و به مقادیر جدول ۴ - ۶ اعمال می‌گردد. واحد هزینه بصورت زیر می‌باشد:

مسیر	شیب (٪)	هزینه‌های واحد (صدم دلار بر وسیله نقلیه - مایل)
موجود	۰ - ۳	۹/۸۵ × ۱/۰۴ = ۱۰/۲۴
موجود	۳ - ۵	۱۰/۲۰ × ۱/۰۴ = ۱۰/۶۱
مفروض	۰ - ۳	۹/۰۱ × ۱/۰۰ = ۹/۰۱

متوسط هزینه‌های استفاده‌کننده بصورت زیر محاسبه شده و برای هر قسمت جمع می‌گردد:

مسیر موجود:

دلار ۱۸۶۹۰۰ = ۰/۱۰۲۴ × ۲/۰ × ۲۵۰۰ × ۳۶۵

دلار ۳۸۷۰۰ = ۰/۱۰۶۶ × ۰/۴ × ۲۵۰۰ × ۳۶۵

دلار ۲۲۵۶۰۰ = کل هزینه‌های متوسط استفاده‌کننده

مسیر مفروض:

دلار ۱۲۳۳۰۰ = ۰/۰۹۰۱ × ۲۵۰۰ × ۱/۵ × ۳۶۵

هزینه متوسط نگهداری برای مسیر موجود برابر ۱۱۰۰ دلار در مایل برآورد می‌شود، یا کلاً ۲۶۴۰ = ۱۱۰۰ × ۲/۴ دلار، و برای مسیر مفروض ۸۸۰ دلار در مایل که برای کل مسیر ۱۳۲۰ = ۱/۵ × ۸۸۰ دلار خواهد شد.

کل هزینه تخمین زده شده برای توسعه مفروض ۵۵۰،۰۰۰ دلار و نرخ بهره متداول محلی ۵ درصد می‌باشد. این نرخ بهره، با توجه به هزینه و عمر قابل‌انتظار قسمت‌های مختلف توسعه، برای محاسبه هزینه سالیانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نوع هزینه	عمر مفید (سال)	هزینه (دلار)	CRF	هزینه‌سالیانه (دلار)
روسازی	۲۰	۶۶۰۰۰	۰/۰۸۰۲	۵۲۹۰
حریم راه	۶۰	۳۳۰۰۰	۰/۰۵۲۸	۱۷۴۰
عملیات‌خاکی، زهکشی و ابنیه	۴۰	۴۵۱۰۰۰	۰/۰۵۸۳	۲۶۲۹۰
کل هزینه سالیانه				۳۳۳۲۰

۱ - روش نسبت منافع به هزینه

نسبت منافع برای توسعه مفروض به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{B}{C} = \frac{۲۲۵۶۰۰ - ۱۲۳۰۰۰}{۳۴۶۴۰ - ۲۶۴۰} = ۳/۲۰$$

این تحلیل نشان می‌دهد که منافع سالیانه بیش از سه برابر هزینه‌های سالیانه پروژه است. از این جهت یک پروژه با ارزش به نظر می‌رسد، البته تا جایی که منافع استفاده‌کننده مطرح است و اینکه شروع اجرا سریع باشد.

۲ - روش هزینه سالیانه

خلاصه هزینه‌های سالیانه:

نوع هزینه	مسیر موجود	مسیر مفروض
هزینه‌های استفاده‌کننده	۲۲۵۶۰۰ دلار	۱۲۳۳۰۰ دلار
نگهداری	۲۶۴۰	۱۳۲۰
بازگشت سرمایه با نرخ ٪۵	۰	۳۳۳۲۰
کل هزینه سالیانه	۲۲۸۲۴۰ دلار	۱۵۷۹۴۰ دلار

بر اساس روش هزینه سالیانه، مسیر مفروض بخاطر داشتن کمترین هزینه سالیانه مطلوب است.

۳ - روش نرخ بازده

در این روش نرخ بازده‌ای باید تعیین شود که با آن نرخ هزینه‌های سالیانه برابر باشد. این عمل، همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد با سعی و خطا باید انجام شود.

هزینه بازگشت سرمایه	$i = ٪۱۵$	$i = ٪۲۰$
روسازی (n = ۲۰)	۶۶۰۰۰×۰/۱۵۹۸=۱۰۵۵	۶۶۰۰۰×۰/۲۰۵۴=۱۳۵۶۰
عملیات خاکی و ابنیه (۴۰ سال)	۴۵۱۰۰۰×۰/۱۵۰۶=۶۷۹۲۰	۴۵۱۰۰۰×۰/۲۰۰۱=۹۰۲۵۰
حریم راه (۶۰ سال)	۳۳۰۰۰×۰/۱۵۰۱=۴۹۵۰	۳۳۰۰۰×۰/۲۰۰۰=۶۶۰۰
جمع	۸۳۴۲۰ دلار	۱۱۰۴۱۰ دلار

با ۱۵ درصد: هزینه سالیانه موجود = ۲۲۸۲۴۰ دلار

هزینه سالیانه مفروض = ۱۲۴۶۲۰ + ۸۳۴۲۰ = ۲۰۸۰۴۰ دلار

با ۲۰ درصد: هزینه سالیانه موجود = ۲۲۸۲۴۰ دلار

هزینه سالیانه مفروض = ۱۲۴۶۲۰ + ۱۱۰۴۰ = ۲۳۵۰۳۰ دلار

نرخ بازده بین ۱۵ و ۲۰ درصد قرار دارد. با نرخ بهره ۱۵ درصد جاده موجود گرانتر از جاده مفروض، به اندازه ۲۰۲۰۰ دلار، تمام می‌شود، ولی با نرخ ۲۰ درصد وضعیت نسبی آنها تغییر می‌کند و جاده مفروض به اندازه ۶۷۹۰ دلار بیشتر هزینه سالیانه خواهد داشت. بنابراین با میان‌یابی خطی می‌توان نرخ بهره‌ای که در آن هزینه‌های سالیانه برابر است را پیدا کرد.

$$i = ۱۵ + ۵ \times \frac{۲۰۲۰۰}{۲۰۲۰۰ + ۶۷۹۰} = ۱۸/۷ \text{ درصد}$$

جاده مفروض بهتر از جاده موجود است در صورتیکه حداقل نرخ بازده جذاب برابر یا کمتر از ۱۸/۷ درصد باشد، که معمولاً اینطور است.

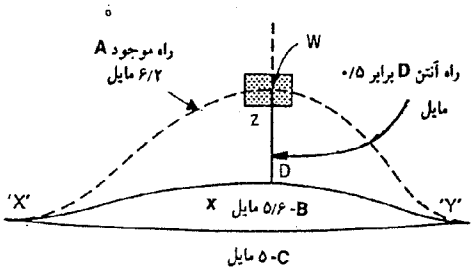
۴ - روش ارزش فعلی

همانطور که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، در استفاده از روش ارزش فعلی، مقایسه بین مجموع ارزش‌های فعلی منافع و هزینه‌های نگهداری و عملکرد هر سال در طول دوره تحلیل، و کل سرمایه‌گذاری اولیه لازم برای ایجاد این منافع انجام می‌شود.

خلاصه ارزش‌های فعلی (طول دوره تحلیل ۲۰ سال):

نوع هزینه	مسیر موجود	مسیر مفروض
هزینه سالیانه استفاده‌کننده	۲۲۵۶۰۰ دلار	۱۲۳۳۰۰ دلار
هزینه سالیانه نگهداری	۲۶۴۰	۱۳۲۰
جمع	۲۲۸۲۴۰ دلار	۱۲۴۶۲۰ دلار
ارزش فعلی ٪۵ و ۲۰ سال	۲۸۴۴۳۳	۱۰۵۳۰۱۰
سرمایه‌گذاری اولیه	۰	۵۵۰۰۰۰
کل ارزش فعلی	۲۸۴۴۳۲۰ دلار	۲۱۰۳۰۱۰ دلار

بر اساس روش ارزش فعلی مسیر مفروض مناسب است، زیرا یک صرفه‌جویی به ارزش فعلی، ۷۴۱۳۲۰ دلار را نوید می‌دهد.



شکل ۴ - ۶. شکل مربوط به راه‌ها یا مسیرهای مختلف

مثال شماره ۴ اشتو

مساله نشان داده شده با شکل ۴ - ۶ را در نظر بگیرید. جاده موجود سه‌خطه A که از یک شهر کوچک می‌گذرد، قدیمی و پر تراکم است و نیاز به توسعه دارد. مطالعه مسیر و طراحی نشان

می‌دهد که توسعه راه A بصورت یک راه مدرن بخاطر وجود مناطق توسعه یافته مجاور و نوع منطقه، مشکل و پر هزینه است. دو گزینه B و C برای مسیر جدید، یک بزرگراه چهارخطه که برای حجم ترافیک مطالعه شده لازم است، وجود دارد.

برای تحلیل اقتصادی گزینه‌های زیر مورد توجه هستند:

گزینه ۱ : (شرایط اولیه) تمام ترافیک روی مسیر موجود، بدون هرگونه کار اصلاحی

گزینه ۲ : مسیر B و اجرای راه آنتن D و مقداری از ترافیک نیز از طریق A

گزینه ۳ : مسیر C اجرا شود و مقداری از تراافیک از مسیر A استفاده کنند.

فرض می‌شود که یک کامیون برابر سه اتومبیل باشد. سرعت‌ها با توجه به تسهیلات مشابه تخمین زده شده و نوع عملکرد با توجه به تحلیل ظرفیت محاسبه شده است. انحناء بعلت وجود عرض رویه نسبتاً کم و مسافت محدود دید سبقت روی جاده سه خطه موجود، هزینه‌های واحد آن معادل هزینه‌های واحد جاده‌های دوخطه در نظر گرفته می‌شود.

هزینه‌های واحد برای استفاده کننده از جدول‌های ۳ - ۶ و ۴ - ۶ برای جاده‌های جدید، و با میان‌یابی از جدول‌های ۴ - ۶ و ۵ - ۶ برای جاده‌های قدیمی بدست آمده است. اطلاعات کامل در مورد هزینه واحد برای استفاده‌کننده در جدول ۲۰ - ۶ نشان داده شده است. برآوردهای هزینه راه در جدول ۲۱ - ۶، با توجه به نقشه‌های اولیه، تعیین شده است. نرخ بهره ۶ درصد مناسب تشخیص داده شد.

هزینه سالیانه نگهداری برای راه موجود ۳۸۵۰ دلار در مایل برآورد شده، که شامل هزینه تعویض لازم برای حرکت حجم ترافیک تخمین‌زده شده نیز هست. نگهداری مسیر جدید گزینه‌های ۲ و ۳ برای یک مایل ۱۳۲۰ دلار برآورد شده است. این هزینه روی جاده موجود ۶۶۰ دلار برای هر مایل، بعد از اینکه مسیرهای B و C ساخته شده می‌باشد. کل هزینه سالیانه برابر است با:

راه موجود : ۶/۲ × ۳۸۵۰ = ۲۳۹۰۰ دلار

گزینه ۲ : (۶۶۰ × ۶/۲) + (۱۳۲۰ × ۵/۰) + ۲۸۹۳۰۰ = ۳۰۱۴۰۰ دلار

گزینه ۳ : (۶۶۰ × ۶/۲) + (۱۳۲۰ × ۵/۰) + ۲۹۸۶۰۰ = ۳۰۹۳۰۰ دلار

جدول ۲۰ - ۶. اطلاعات مربوط به هزینه استفاده‌کننده

گزینه	طول (مایل)	حجم ترافیک متوسط روزانه A_p	A_t	A_e	سرعت حرکت MPH	نوع عملکرد	گروه شیب	نوع روسازی	هزینه واحد (سنت)
۱ - A	۶/۲	۱۲۰۰۰	۲۴۰۰	۱۹۲۰۰	۲۸	محدود	۳ - ۰	ضعیف	۱۱/۹۲
۲ - A	۶/۲	۴۰۰۰	۴۰۰	۵۲۰۰	۳۲	نرمال	۳ - ۰	ضعیف	۱۱/۰۶
۲ - B	۵/۶	۸۰۰۰	۲۰۰۰	۱۴۰۰۰	۴۴	آزاد	۳ - ۰	خوب	۸/۸۶
۲ - D	۰/۵	۱۰۰۰	۰	۱۰۰۰	۳۲	آزاد	۳ - ۰	خوب	۹/۷۵
۳ - A	۶/۲	۴۵۰۰	۴۰۰	۵۷۰۰	۳۲	نرمال	۳ - ۰	ضعیف	۱۱/۰۶
۳ - C	۵/۰	۷۵۰۰	۲۰۰۰	۱۳۵۰۰	۴۴	آزاد	۳ - ۰	خوب	۸/۸۶

هزینه‌های استفاده کننده عبارتست از:

گزینه ۱ : ۶/۲ × ۱۹۲۰۰ × ۰/۱۱۹۲ × ۳۶۵ = ۵۱۷۹۰۰۰ دلار

گزینه ۲ : ۶/۲ × ۵۲۰۰ × ۰/۱۱۰۶ × ۳۶۵ = ۱۳۰۱۰۰۰ دلار

۱۰۰۰ × ۰/۵ × ۰/۰۹۷۵ × ۳۶۵ = ۱۸۰۰۰ دلار

۱۴۰۰۰ × ۵/۶ × ۰/۰۸۸۶ × ۳۶۵ = ۲۵۳۵۰۰۰ دلار

جمع گزینه ۲ = ۳۸۵۴۰۰۰ دلار

گزینه ۳ : ۶/۲ × ۵۷۰۰ × ۰/۱۱۰۶ × ۳۶۵ = ۱۴۲۶۰۰ دلار

۱۳۵۰۰ × ۵/۰ × ۰/۰۸۸۶ × ۳۶۵ = ۲۱۸۳۰۰۰ دلار

جمع گزینه ۳ = ۳۶۰۹۰۰۰ دلار

جدول ۲۱ - ۶. برآوردهای هزینه راه

گزینه	عمر تخمینی	هزینه (دلار)	K	سود و استهلاک سرمایه (دلار)
A - ۲ حریم راه	۶۰	۵۷۲۰۰۰	۰/۰۶۱۹	۳۵۴۰۰
B - ۲ عملیات خاکی و زهکشی	۴۰	۱۴۷۴۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۹۸۰۰۰
B - ۲ ابنیه اصلی	۴۰	۷۲۶۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۴۸۳۰۰
B - ۲ روسازی	۲۰	۹۷۹۰۰۰	۰/۰۸۷۲	۸۵۴۰۰
D - ۲ حریم راه	۶۰	۹۰۰۰۰	۰/۰۶۱۹	۵۶۰۰
D - ۲ عملیات خاکی و زهکشی	۴۰	۱۱۰۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۷۳۰۰
D - ۲ ابنیه اصلی	۴۰	۲۴۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۱۶۰۰
D - ۲ روسازی	۲۰	۸۸۰۰۰	۰/۰۸۷۲	۷۷۰۰
			کل هزینه سالیانه=	۲۸۹۳۰۰ دلار
C - ۳ حریم راه	۶۰	۴۰۷۰۰۰	۰/۰۶۱۹	۲۵۲۰۰
C - ۳ عملیات خاکی و زهکشی	۴۰	۱۹۱۴۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۱۲۷۳۰۰
C - ۳ ابنیه اصلی	۴۰	۹۵۷۰۰۰	۰/۰۶۶۵	۶۳۶۰۰
C - ۳ روسازی	۲۰	۹۴۶۰۰۰	۰/۰۸۷۲	۸۲۵۰۰
			کل هزینه سالیانه =	۲۹۸۶۰۰ دلار

۱ - روش نسبت منافع به هزینه

نسبت‌های منافع برای گزینه‌های ۲ و ۳، با مبنا قرار دادن مسیر موجود (گزینه ۱) برای مقایسه، محاسبه شده است:

$$\text{گزینه ۲}: \frac{۵۱۷۹۰۰۰ - ۳۸۵۴۰۰۰}{۳۰۱۴۰۰ - ۳۲۹۰۰} = ۴/۷۷$$

$$\text{گزینه ۳}: \frac{۵۱۷۹۰۰۰ - ۳۶۰۹۰۰۰}{۳۰۹۳۰۰ - ۲۳۹۰۰} = ۵/۵۰$$

تمایل بر این بود که مشخص شود تا چه اندازه این مطلوبیت به اقلام مشخصی که کل هزینه‌های بهره‌برداری را تشکیل می‌دهد بستگی دارد. هزینه‌های واحد از جدول‌های ۳ - ۶ و ۴ - ۶ ستون ۸ برای جمع هزینه‌های بهره‌برداری، ستون ۹ برای زمان و ستون ۱۰ برای راحتی و آسایش، انتخاب گردید. هزینه‌های واحد استفاده‌کننده مانند ارقام داده شده در جدول ۲۲ - ۶ می‌باشد.

اطلاعات جدول ۲۲ - ۶، بعد از اعمال اثرات حجم ترافیک، طول مسیر و روزهای سال هزینه‌های سالیانه استفاده‌کننده را می‌دهد، که این اطلاعات در جدول ۲۳-۶ نشان داده شده است.

استفاده از هزینه‌های استفاده‌کننده که در جدول ۲۳ - ۶ آمده است برای هر کدام از اجزاء گزینه‌های ۲ یا ۳، با هزینه آن جزء مربوط به گزینه ۱، تعیین کننده منافع حاصل از همان جزء می‌باشد، که صورت کسر را در نسبت منافع به هزینه تشکیل می‌دهد. هزینه‌های راه (مخرج کسر) همان رقم‌های قبلی است. نسبت‌های منافع بصورت زیر می‌باشد:

	نسبت‌های منافع			
	زیرجمع هزینه‌های عملکرد	زمان	راحتی و آسایش	کل
گزینه ۲	۰/۷۰	۲/۹۶	۱/۱۱	۴/۷۷
گزینه ۳	۱/۲۳	۳/۲۱	۱/۰۶	۵/۵۰

جدول ۲۲ - ۶. اطلاعات مربوط به هزینه استفاده‌کننده (دلار)

گزینه	زیرجمع هزینه بهره‌برداری	زمان	راحتی و آسایش	جمع
A - ۱	۵/۵۰	۵/۵۴	۰/۸۸	۱۱/۹۲
A - ۲	۵/۶۰	۴/۸۴	۰/۶۲	۱۱/۰۶
B - ۲	۵/۳۴	۳/۵۲	۰/۰۰	۸/۸۶
D - ۲	۴/۹۱	۴/۸۴	۰/۰۰	۹/۷۵
A - ۳	۵/۶۰	۴/۸۴	۰/۶۲	۱۱/۶۰
C - ۳	۵/۳۴	۳/۵۲	۰/۰۰	۸/۸۶

بر اساس روش نسبت منافع به هزینه، هرکدام از گزینه‌های ۲ و ۳ نسبت به ۱ نشان‌دهنده توسعه هستند، و گزینه ۳، بطور آشکار بهترین راه حل را ارائه می‌دهد. بهرحال برای اینکه نتیجه‌گیری قطعی تعیین کند که آیا گزینه ۲ بهترین انتخاب است، پیشنهاد می‌شود که یک نسبت منافع به هزینه دیگر نیز محاسبه

جدول ۲۳ - ۶ اطلاعات مربوط به هزینه سالیانه استفاده‌کننده (دلار)

گزینه	زیرجمع هزینه بهره‌برداری	زمان	راحتی و آسایش	جمع
A - ۱	۲۳۹۰۰۰۰	۲۴۰۷۰۰۰	۳۸۲۰۰۰	۵۱۷۹۰۰۰
A - ۲	۵۴۹۰۰۰	۵۶۹۰۰۰	۷۳۰۰۰	۱۳۰۱۰۰۰
B - ۲	۱۵۲۸۰۰۰	۱۰۰۷۰۰۰	۰	۲۵۳۵۰۰۰
D - ۲	۹۰۰۰	۹۰۰۰	۰	۱۸۰۰۰
جمع	۲۱۹۶۰۰۰	۱۵۸۵۰۰۰	۷۳۰۰۰	۳۸۵۴۰۰۰
A - ۳	۷۹۲۰۰۰	۶۲۴۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۴۲۶۰۰۰
C - ۳	۱۳۱۶۰۰۰	۸۶۷۰۰۰	۰	۲۱۸۳۰۰۰
جمع	۲۰۳۸۰۰۰	۱۴۹۱۰۰۰	۸۰۰۰۰	۳۶۰۹۰۰۰

شود. این کار با حذف شرایط مبنای اولیه و استفاده از گزینه‌ای که دارای هزینه استفاده‌کننده بیشتر است بعنوان شرایط مبنای جدید (در این حالت گزینه ۲) انجام می‌گیرد.

$$\text{نسبت منافع دوم} = \frac{۳۸۵۴۰۰۰ - ۳۶۰۹۰۰۰}{۳۰۹۳۰۰ - ۳۰۱۴۰۰} = ۳۱$$

بنابراین، گزینه شماره ۳ مطمئناً بعنوان بهترین گزینه تثبیت می‌شود، چون که منافع بیشتر از هزینه‌هاست.

۲ - روش هزینه سالیانه

نوع هزینه	خلاصه هزینه سالیانه (دلار) گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
هزینه استفاده‌کننده	۵۱۷۹۰۰۰	۳۸۵۴۰۰۰	۳۶۰۹۰۰۰
نگهداری	۲۳۹۰۰	۱۲۱۰۰	۱۰۷۰۰
بازگشت سرمایه (i = ٪۶)	۰	۲۸۹۳۰۰	۲۹۸۶۰۰
کل هزینه سالیانه	۵۲۰۲۹۰۰	۴۱۵۵۴۰۰	۳۹۱۸۳۰۰

بر اساس روش هزینه سالیانه، گزینه ۳ مطلوب‌تر است زیرا کمترین هزینه سالیانه را بوجود می‌آورد.

۳ - روش نرخ بازده

الف - مقایسه گزینه‌های ۱ و ۲

	$i = ٪۴۰$	$i = ٪۳۰$
روسازی (n = ۲۰ سال):	۱۰۶۷۰۰۰ × ۰/۳۰۱۶ = ۳۲۱۸۰۰	
عملیات خاکی و ابنیه (n = ۴۰):	۲۳۳۴۰۰۰ × ۰/۳۰۰۰ = ۷۰۰۲۰۰	
حریم راه (n = ۶۰ سال):	۶۶۲۰۰۰ × ۰/۳۰۰۰ = ۱۹۸۶۰۰	
جمع:	۴۰۶۳۰۰۰	دلار ۱۶۲۵۲۰۰ = ۱۲۲۰۶۰۰ × ۰/۴۰۰
سایر هزینه‌های سالیانه:	۳۸۶۶۱۰۰	دلار ۳۸۶۶۱۰۰
کل هزینه‌های سالیانه برای گزینه ۲:	۵۰۸۶۷۰۰	دلار ۵۴۹۱۳۰۰
کل هزینه‌های سالیانه برای گزینه ۱:	۵۲۰۲۹۰۰	دلار ۵۲۰۲۹۰۰

نرخ بازده بین ۳۰ و ۴۰ درصد قرار دارد. با نرخ ۳۰ درصد گزینه ۱ هزینه سالیانه بیشتری برابر ۱۱۶۲۰۰ دلار نسبت به گزینه دو دارد، ولی در ۴۰ درصد گزینه ۲ هزینه سالیانه بیشتری برابر ۲۸۸۴۰۰ دلار نسبت به گزینه ۱ دارد. بنابراین نرخ بازده را می‌توان حساب کرد:

$$\text{درصد } ۳۲/۹ = ۳۰ + ۱۰ \times \frac{۱۱۶۲۰۰}{۱۱۶۲۰۰ + ۲۸۸۴۰۰} =$$

گزینه ۲ بهتر از گزینه ۱ می‌باشد، در صورتیکه حداقل نرخ بازده جذاب ۳۲/۹ درصد یا کمتر باشد.

ب - مقایسه گزینه‌های ۱ و ۳

با بکار بردن روشی کاملاً مشابه آنچه در قسمت الف انجام شد، نرخ بهره‌ای که با آن کل هزینه سالیانه گزینه‌های ۱ و ۳ برابر است ۳۷/۵ درصد خواهد شد. بنابراین گزینه ۳ بهتر از گزینه ۱ خواهد بود در صورتیکه حداقل نرخ بازده جذاب ۳۷/۵ یا کمتر باشد.

ج - مقایسه گزینه‌های ۲ و ۳

با استفاده از همان روش، نرخ بهره‌ای را که با آن گزینه‌های ۲ و ۳ دارای هزینه سالیانه برابر هستند می‌توان پیدا کرد. بهرحال، برای این مقایسه بخصوص، لازم نیست راه‌حل مزبور را مورد استفاده قرار داد، زیرا اختلاف بین هزینه‌های سالیانه (بجز بازگشت سرمایه) گزینه ۲ و گزینه ۳ برابر است با ۲۴۶۴۰۰ دلار (۳۶۱۹۷۰۰ - ۳۸۶۶۱۰۰).

با نرخ بهره ۱۰۰ درصد (CRF = ۱۰۰)، اختلاف مبلغ بازگشت سرمایه برای گزینه‌های ۲ و ۳ برابر با ۱۶۱۰۰۰ دلار

(۴۰۶۳۰۰۰ - ۴۲۲۴۰۰۰) می‌باشد. یعنی حتی با نرخ بهره ۱۰۰ درصد نیز هزینه سالیانه گزینه ۳ از گزینه ۲ کمتر است و بنابراین آشکار است که گزینه ۳ بهترین راه‌حل می‌باشد.

۴ - روش ارزش فعلی

خلاصه ارزش‌های فعلی (دوره تحلیل ۲۰ سال) (دلار):

نوع هزینه	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳
هزینه سالیانه استفاده‌کننده	۵۱۷۹۰۰۰	۳۸۵۴۰۰۰	۳۶۰۹۰۰۰
هزینه نگهداری سالیانه	۲۳۹۰۰	۱۲۱۰۰	۱۰۷۰۰
جمع	۵۲۰۲۹۰۰	۳۸۶۶۱۰۰	۳۶۱۹۷۰۰
ارزش فعلی ٪۶ = i	۵۹۶۷۷۲۶۰	۴۴۳۴۴۱۷۰	۴۱۵۱۷۹۶۰
سرمایه‌گذاری اولیه	۰	۴۰۶۳۰۰۰	۴۲۲۴۰۰۰
کل ارزش فعلی	۵۹۶۷۷۶۲۰	۴۸۴۰۷۱۷۰	۴۵۷۴۱۹۶۰

بر اساس ارزش فعلی گزینه ۳ بهترین راه حل است.

مقایسه گزینه‌های متعدد

از یک مثال فرضی ساده برای نشان دادن روش صحیح انجام مقایسه اقتصادی بین چند گزینه استفاده می‌شود. این روش شامل چند تحلیل اجزائی است که در واقع در مثال قبل نیز مورد استفاده قرار گرفت.

مثال: فرض کنید قسمتی از یک راه دارای تارسایی است. طرح‌های مختلف مفروض در مسیرهای جدید و توسعه‌هایی برای جاده موجود، باید با حالت اولیه یعنی ادامه شرایط موجود مقایسه شود. جاده موجود بعنوان گزینه ۱ و توسعه‌های مختلف بعنوان گزینه‌های ۲ تا ۸ مشخص می‌شوند.

برای ساده شدن محاسبات، فرض می‌شود که عمر مفید تمام قسمت‌های سرمایه‌گذاری اولیه هر گزینه برابر باشد. عمر مفید سرمایه‌گذاری اولیه ۳۰ سال، و هزینه‌های استفاده‌کننده و منافع در طول این مدت ۳۰ سال یکنواخت فرض می‌شود. تحلیل بر اساس حداقل نرخ بازده جذاب ۷ درصد انجام می‌گیرد.

۱ - روش هزینه سالیانه

جدول ۲۴ - ۶ شامل خلاصه هزینه بازگشت سرمایه، هزینه سالیانه نگهداری و بهره‌برداری و هزینه سالیانه استفاده‌کننده برای گزینه‌های مختلف است.

جدول ۲۵ - ۶ شامل خلاصه‌ای از هزینه‌های سالیانه برای هر گزینه می‌باشد. هزینه ثابت بازگشت سرمایه با ضرب

جدول ۲۴ - ۶ . خلاصه هزینه‌ها

گزینه (۱)	سرمایه‌گذاری اولیه (۱۰۰۰ دلار) (۲)	هزینه سالیانه نگهداری و بهره‌برداری (۱۰۰۰ دلار) (۳)	هزینه سالیانه استفاده‌کننده (۱۰۰۰ دلار) (۴)
۱	۰	۸۰	۳۰۰۰
۲	۱۵۰۰	۷۰	۲۸۵۰
۳	۲۰۰۰	۶۰	۲۷۰۰
۴	۲۵۰۰	۵۰	۲۴۰۰
۵	۳۰۰۰	۵۵	۲۰۰۰
۶	۲۲۰۰	۶۰	۲۵۰۰
۷	۴۰۰۰	۴۰	۱۸۰۰
۸	۸۰۰۰	۵۰	۱۵۵۰

سرمایه‌گذاری اولیه در ضریب بازگشت سرمایه (CRF) برای مدت ۳۰ سال و نرخ بهره ۷ درصد (CRF = ۰/۰۸۰۶) بدست می‌آید. تمام هزینه‌ها بصورت واحدهای ۱۰۰۰ دلاری نشان داده شده است.

بر اساس مقایسه هزینه‌های سالیانه، گزینه ۷ نسبت به گزینه‌های دیگر ترجیح دارد و تمام گزینه‌ها برای توسعه به وضع موجود یک صرفه‌جویی در هزینه‌های سالیانه را نشان می‌دهند.

۲ - روش نسبت منافع به هزینه

جدول ۲۶ - ۶ نشان دهنده محاسبه نسبت منافع برای هر گزینه می‌باشد، که تمام آنها با گزینه ۱ که جاده موجود باشد، بعنوان شرایط مبنا مقایسه شده است. مقادیر نشان داده شده در ستون ۲ از جدول ۲۶ - ۶ از کم کردن هزینه استفاده‌کننده هر گزینه از گزینه ۱، موجود در ستون‌های جدول ۲۵ - ۶، بدست آمده است. مقادیر نشان داده شده در ستون ۳ جدول ۲۶ - ۶ از تفریق هزینه‌های راه گزینه ۱ از مقادیر مربوط به گونه‌های دیگر تعیین گردیده، که در ستون ۴ جدول ۲۵ - ۶ می‌توان آنها را پیدا کرد.

بر اساس مقایسه نسبت‌های منافع به هزینه، ممکن است بنظر برسد که گزینه شماره ۵، به دلیل داشتن بزرگترین نسبت منافع به هزینه، باید بر بقیه ترجیح داده شود. بهرحال این لزوماً درست نیست زیرا نسبت‌های منافع به هزینه از مقایسه تمام گزینه‌ها با گزینه شماره ۱ بدست آمده است، و قبل از اینکه یک نتیجه‌گیری معین حاصل شود لازم است تمام گزینه‌ها با یکدیگر مقایسه شوند.

جدول ۲۵ - ۶. خلاصه هزینه‌های سالیانه

گزینه	بازگشت سرمایه	هزینه سالیانه نگهداری	هزینه‌های راه	هزینه‌های استفاده‌کننده	کل هزینه‌های سالیانه
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
۱	۰	۸۰	۸۰	۳۰۰۰	۳۰۸۰/۰
۲	۱۲۰/۹	۷۰	۱۹۰/۹	۲۸۵۰	۳۰۴۰/۹
۳	۱۶۱/۲	۶۰	۲۲۱/۲	۲۷۰۰	۲۹۲۱/۲
۴	۲۰۱/۵	۵۰	۲۵۱/۵	۲۴۰۰	۲۶۵۱/۵
۵	۲۴۱/۸	۵۵	۲۹۶/۸	۲۰۰۰	۲۲۹۶
۶	۱۷۷/۳	۶۰	۳۷/۳	۲۵۰۰	۲۷۳۷/۳
۷	۳۲۲/۴	۴۰	۳۶۲/۴	۱۸۰۰	۲۱۶۲/۴
۸	۶۴۴/۸	۵۰	۶۹۴/۸	۱۵۵۰	۲۲۴۴/۸

جدول ۲۶ - ۶. نسبت‌های منافع به هزینه با گزینه ۱ بعنوان شرایط مبنا

گزینه	هزینه‌های استفاده‌کننده، بیش از گزینه ۱	هزینه‌های راه، اضافی نسبت به گزینه ۱	نسبت منافع به هزینه، ستون آ تقسیم بر ستون ۳
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)
۲	۱۵۰	۱۱۰/۹	۱/۳۵
۳	۳۰۰	۱۴۱/۲	۲/۱۲
۴	۶۰۰	۱۷۱/۵	۳/۴۹
۵	۱۰۰۰	۲۱۶/۸	۴/۶۰
۶	۵۰۰	۱۵۷/۳	۳/۱۷
۷	۱۲۰۰	۲۸۲/۴	۴/۲۵
۸	۱۴۵۰	۶۱۴/۸	۲/۳۶

این مقایسه‌ها با یک تحلیل اجزائی انجام شده است، که شامل محاسبه نسبت‌های اجزاء منافع به اجزاء هزینه می‌باشد. این محاسبات در جدول ۲۷-۶ نشان داده شده است. ضابطه‌ای که برای انجام این تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد اینست که هیچ جزئی از هزینه قابل توجیه نیست مگر اینکه جزئی از منافع را بوجود آورد که حداقل برابر آن جزء هزینه باشد. تمام گزینه‌ها با گزینه ۱ در جدول ۲۶ - ۶ مقایسه شده‌اند و گزینه۵، بخاطر داشتن بزرگترین نسبت منافع به هزینه، ظاهراً بر گزینه‌های دیگر ترجیح دارد. سپس مقایسه بین گزینه‌های ۵ و ۲، با استفاده از گزینه ۲ بعنوان مبنا، انجام گرفته است. مقایسه به سود گزینه ۵ تمام می‌شود، زیرا مبلغ ۸۵۰،۰۰۰ دلار منافع اضافی در مقابل فقط ۱۰۵۹۰۰ دلار هزینه حاصل می‌شود، عدد اول (۸۵۰۰۰۰ دلار) از تفریق منافع استفاده‌کننده گزینه ۲ از منافع استفاده‌کننده مربوط به گزینه ۵ که در ستون دوم جدول ۲۶ - ۶ آمده است، حاصل می‌شود، و عدد دوم (۱۰۵۹۰۰ دلار) از تفریق هزینه‌های راه گزینه ۲ از هزینه‌های راه مربوط به گزینه ۵، که در ستون سوم جدول ۲۶ - ۶ نشان داده شده، حاصل گردیده است. چون نسبت منافع به هزینه اجزائی ۸/۰۱ از واحد بیشتر است گزینه ۲ از مقایسه‌های بعدی حذف می‌شود.

گزینه‌های ۳، ۴ و ۶، وقتی با گزینه ۵ مقایسه می‌شوند، از جذابیت کافی برخوردار نیستند، بنابراین لازم نیست که در مقایسه‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرند. مقایسه بین گزینه ۵ و ۷ نشان‌دهنده یک نسبت منافع به هزینه ۳/۰۵ به سود گزینه ۷ می‌باشد، بنابراین گزینه ۵ از مقایسه حذف می‌گردد.

گزینه ۸ دارای جذابیت گزینه ۷ نیست زیرا نسبت منافع به هزینه اجرائی در مقایسه با گزینه ۷ کمتر از یک می‌باشد. بنابراین جدول ۲۷ - ۶ به این نتیجه منتهی می‌شود که گزینه ۷ بهترین توسعه‌ها را نسبت به سایر گزینه‌ها بوجود می‌آورد. این نتیجه درستی است زیرا در مقایسه گزینه ۷، با هر کدام از گزینه‌های دیگر که دارای هزینه‌های راه کمتر باشد، جزء اضافی منافعی که از گزینه ۷ بدست می‌آید بیشتر است از هزینه‌های اضافی که ایجاد می‌کند. برای تمام گزینه‌ها، اجزا اضافی منافع (در مقایسه با گزینه ۷) از هزینه‌های اضافی ایجاد شده کمتر است.

راه‌حل بر مبنای مقایسه هزینه‌های سالیانه که در جدول ۲۵ - ۶ نشان داده شد نیز همین نتیجه را، که گزینه ۷ مطلوب‌ترین انتخاب است، بدست داد.

جدول ۲۷ - ۶. نسبت‌های منافع به هزینه اجرایی

تصمیم به سمت گزینه	نسبت‌های منافع به هزینه‌ها	اجزاء هزینه راه (دلار)	اجزاء هزینه استفاده‌کننده از راه (دلار)	گزینه‌های مقایسه شده
گزینه ۵	4.60	216.8	1.000	گزینه ۵ نسبت به گزینه ۱
گزینه ۵	8.01	105.9	850	گزینه ۵ نسبت به گزینه ۲
گزینه ۵	9.26	75.6	700	گزینه ۵ نسبت به گزینه ۳
گزینه ۵	8.81	45.3	400	گزینه ۵ نسبت به گزینه ۴
گزینه ۵	8.40	59.5	500	گزینه ۵ نسبت به گزینه ۶
گزینه ۷	3.05	65.6	200	گزینه ۷ نسبت به گزینه ۵
گزینه ۷	0.75	332.4	250	گزینه ۸ نسبت به گزینه ۷

جدول ۲۸ - ۶. نرخ‌های بازگشت با گزینه ۱ بعنوان پایه

گزینه (۱)	کاهش در هزینه سالیانه بجز بازگشت سرمایه (۲)	سرمایه‌گذاری مبلغ (۳)	ضریب بازگشت سرمایه برای n=۳ سال، ستون ۲ تقسیم برستون ۳ (۴)	نرخ بازگشت در مقایسه با گزینه ۱ (٪) (۵)
2	160	1500	0.10606	10.0
3	320	2000	0.16000	15.8
4	630	2500	0.25200	25.2
5	1025	3000	0.34167	34.2
6	520	2200	0.23636	23.6
7	1240	4000	0.31000	31.0
8	1480	8000	0.18500	18.4

جدول ۲۹ - ۶. تحلیل اجزایی برای نرخ بازگشت

گزینه‌های مقایسه شده (۱)	جزء تقلیل در هزینه سالیانه بجز بازگشت سرمایه (۲)	جزء مبلغ سرمایه‌گذاری (۳)	ضریب بازگشت سرمایه برای n ۳۰ سال، ستون ۲ تقسیم بر ستون ۳ (۴)	نرخ بازگشت روی جزء از سرمایه‌گذاری اصلی (۵)	تصمیم‌گیری به نفع گزینه ۶ (۶)
گزینه ۵ نسبت به گزینه ۱	1025	3000	0.34167	34.2	گزینه ۵
گزینه ۵ نسبت به گزینه ۲	865	1500	0.57667	57.7	گزینه ۵
گزینه ۵ نسبت به گزینه ۳	705	1000	0.70500	70.5	گزینه ۵
گزینه ۵ نسبت به گزینه ۴	395	500	0.79000	79.0	گزینه ۵
گزینه ۵ نسبت به گزینه ۶	505	800	0.63125	63.1	گزینه ۵
گزینه ۷ نسبت به گزینه ۵	215	1000	0.21500	21.4	گزینه ۷
گزینه ۷ نسبت به گزینه ۶	240	4000	0.06000	4.3	گزینه ۷

جدول ۳۰ - ۶. خلاصه ارزش‌های فعلی

گزینه (1)	سرمایه‌گذاری اصلی (2)	هزینه سالیانه استفاده‌کننده RUC (3)	هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری (4)	ارزش فعلی RUC و تعمیر و نگهداری (5) [(3) + (4)] x 12.400	کل ارزش فعلی (6) (2) + (5)
1	0	3000	80	38220	38220
2	1500	2850	70	36230	37730
3	2000	2700	60	34250	36250
4	2500	2400	50	30400	32900
5	3000	2000	55	25500	28500
6	2200	2500	60	31770	33970
7	4000	1800	40	22830	26830 *
8	8000	1550	50	19850	27850

* گزینه ۷ همچنان گزینه ارجح می‌باشد.

۳ - روش نرخ بازده

جدول ۲۸ - ۶ شامل محاسبات مربوط به نرخ بازده سرمایه، موثر در آینده و برای گزینه‌های مختلف که تمام آنها با وضعیت موجود بعنوان شرایط مبنا بدست آمده، می‌باشد. نمونه محاسبه برای نرخ بازده در زیر آمده است، وقتی که گزینه ۲ با گزینه ۱ مقایسه می‌شود:

دلار ۳،۰۸۰،۰۰۰ = ۸۰۰۰۰ + ۳۰۰۰،۰۰۰ = هزینه سالیانه گزینه ۱

این مقادیر از جدول ۲۴ - ۶ بدست می‌آید.

۰ = هزینه سرمایه گزینه ۱

دلار ۲،۹۲۰،۰۰۰ = ۷۰،۰۰۰ + ۲،۸۵۰،۰۰۰ = هزینه سالیانه گزینه ۲، بجز بازگشت سرمایه

دلار ۱،۵۰۰،۰۰۰ = سرمایه گذاری اولیه برای گزینه ۲

نرخ بازدهی که هر دو گزینه را به یک اندازه جذابیت می‌دهد با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

$CRF \times ۱۵۰۰ + ۲۹۲۰ = ۳۰۸۰$

تقلیل در هزینه سالیانه بجز بازگشت سرمایه

$$CRF = \frac{۱۶۰}{۱۵۰۰} = ۰/۱۰۶۰۶$$

نرخ بهره کماکان مربوط به $CRF = ۰/۱۰۶۰۶$ برای ۳۰ سال، با دقت یک‌هزارم، برابر ۱۰/۰ درصد می‌باشد که با میان‌یابی در جدول ضرایب بازگشت سرمایه بدست آمده است. نرخ بازده تقریباً به اندازه CRF خواهد بود، بخاطر عمر مفید نسبتاً طولانی که فرض شده است.

نتایج ذکر شده در جدول ۲۸ - ۶ می‌تواند به نتیجه‌گیری‌های اشتباه‌آمیز (شبیه آنچه که در جدول ۲۶ - ۶ پیش آمد) منجر شود. گزینه ۵ دوباره به نظر می‌رسد که بهترین راه‌حل است، ولی قبل از اینکه انتخاب مشخصی انجام گیرد، لازم است تمامی گزینه‌ها با یکدیگر مقایسه شوند. در حقیقت هیچکدام از گزینه‌ها را، بجز گزینه شماره ۱، نمی‌توان حذف کرد زیرا نرخ بازده سرمایه برای هر گزینه در مقایسه با گزینه شماره ۱ از هفت درصد تجاوز می‌کند، که حداقل نرخ بازده جذاب فرض شده است.

جدول ۲۹ - ۶ شامل محاسبات لازم برای تعیین نرخ بازده اجزایی است، که برای مقایسه گزینه‌ها با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفته است. روش انجام تحلیل اجزایی برای نرخ بازده، مشابه روشی است که برای تحلیل اجزایی نسبت منافع به هزینه بکار گرفته شد.

تحلیل اجزایی به این نتیجه منتهی می‌شود که گزینه ۷ بعنوان مطلوب‌ترین راه حل انتخاب شود.

۴ - روش ارزش فعلی

جدول ۳۰ - ۶ خلاصه‌ای از ارزش‌های فعلی را برای هر گزینه نشان می‌دهد. دوره تحلیل ۳۰ سال فرض شده، و ارزش فعلی هزینه‌های سالیانه را با ضرب هزینه‌های سالیانه در ضریب ارزش فعلی (PWF) برای سری یکنواخت سالیانه به مدت ۳۰ سال و با نرخ بهره ۷ درصد ($PWF = ۱۲۴۰۹$)، بدست آمده است. تمام هزینه‌های نشان داده شده در جدول بر حسب ۱۰۰۰ دلار است.

بر اساس مقایسه ارزش‌های فعلی، گزینه ۷ نسبت به گزینه‌های دیگر ترجیح دارد. این نتیجه‌گیری با نتایجی که از مقایسه هزینه‌های سالیانه (جدول ۲۵ - ۶)، تحلیل اجزایی نسبت‌های منافع به هزینه (جدول ۲۷ - ۶)، و تحلیل اجزایی نرخ بازده (جدول ۲۹ - ۶) بدست آمد تطابق دارد. این مطلب بطور آشکاری نشان می‌دهد که انجام مطالعات اقتصادی با هر یک از روش‌ها، در صورتیکه بطور صحیح بکار گرفته شده باشد، به یک نتیجه کلی یکسان خواهد انجامید.

۵ - بهترین گزینه بعدی

اگر برای تعیین اینکه کدام یک از گزینه‌ها نشان دهنده بهترین راه‌حل بعدی است تمایل وجود داشته باشد، می‌توان تحلیل‌های مشابهی انجام داد، در حالیکه گزینه ۷ که بهترین راه‌حل را نشان می‌دهد کنار گذاشته شده باشد.

الف - با روش هزینه سالیانه، جدول ۲۵ - ۶، گزینه ۸ ترجیح داده خواهد شد.

ب - با نسبت‌های منافع به هزینه اجزایی، جدول ۲۷ - ۶:

$$BCR = \frac{۴۵۰}{۳۹۸} = ۱/۱۳ \quad \text{: گزینه ۸ نسبت به گزینه ۵}$$

بنابراین بازده اجزایی، جدول ۲۹ - ۶:

$$= \frac{۴۵۵}{۵۰۰۰} = ۰/۰۹۱۰۰ \quad \text{: گزینه ۸ نسبت به گزینه ۵}$$

درصد ۸/۳ = نرخ بازده

که بیشتر از ۷ درصد می‌باشد، بنابراین گزینه ۸ ترجیح داده می‌شود.

د - با ارزش فعلی، جدول ۳۰ - ۶، گزینه ۸ ترجیح داده می‌شود.

نشریات زیادی وجود دارد که در مورد اهمیت مطالعات اقتصادی و همچنین روش‌های انجام آن نظریاتی ارائه داده‌اند. کاربردهای اینگونه مطالعات بسیار وسیع است.

نشریاتی که شامل تکنیک‌های کامپیوتری تحلیل اقتصادی سیستم راه‌ها باشد نیز وجود دارد.

منابع جدید اطلاعات برای هزینه استفاده کننده

کمبودهای کتاب اشتو بنام "تحلیل منافع استفاده‌کننده برای توسعه راه" در مورد هزینه‌های عملکرد انواع وسایل نقلیه تجاری و اتوبوس‌ها در مناطق خارج شهری، قبلاً تذکر داده شد. اطلاعات ارائه شده توسط اشتو، برای انجام محاسبات و تحلیل اقتصادی، و تفسیر هزینه‌های استفاده‌کننده از راه بسیار راحت است، ولی نیاز به بهنگام شدن و اضافاتی برای رفع کمبودها دارد. کارهای دیگری نیز، در زمینه مطالعات منافع استفاده‌کننده منتشر شده است. اگرچه نحوه ارائه اطلاعات و شرح آنها، در هرکدام از این نشریات به شکلی که بتوان به کمک آن و به سادگی جداول اشتو را بهنگام نمود نمی‌باشد، ممکن است در بسیاری از حالت‌ها بتوان از هرکدام برای تصحیح اطلاعات اشتو استفاده کرد. این دو منبع عبارتند از:

۱ - تحلیل اقتصادی برای راه‌ها، نوشته رابلی وینفری (R. Winfrey)

۲ - هزینه‌های عملکرد وسایل نقلیه تحت تاثیر طراحی راه و ترافیک، نوشته کلافی (Claffey) گزارش شماره ۱۱۱ برنامه همکاری ملی تحقیقات راه آمریکا (NCHRP).

گزارش شماره ۱۱۱ برنامه همکاری ملی تحقیقات راه نتیجه یک سری مطالعات انجام شده در طول سالهای ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۹ می‌باشد. جداول کتاب درسی تحلیل اقتصادی برای راه‌ها، اطلاعات زیادی را که از منابع مختلف جمع‌آوری گردیده و بسیاری از آنها نیز مستقیماً از گزارش فوق اقتباس شده است، ارائه می‌دهد.

گزارش شماره ۱۱۱ برنامه همکاری ملی تحقیقات آمریکا

آزمایش‌های انجام شده توسط آقای کلافی در این مطالعات شامل اندازه‌گیریهای مصرف سوخت، مصرف روغن، فرسایش لاستیک، هزینه‌های نگهداری و استهلاک می‌باشد.

مطالعات مربوط به مصرف بنزین با جزئیات بیشتر نسبت به سایر زمینه‌ها ذکر شده است. اطلاعات داده شده مربوط به انواع وسایل نقلیه مانند اتومبیل‌های با یدک‌کش، وانت‌ها، کامیون‌های تک‌واحدی (دو محور و شش چرخ) و کامیون‌های با یدک‌کش می‌باشد.

مصرف بنزین. جدول ۳۱ - ۶ اطلاعات اولیه را در مورد مصرف بنزین اتومبیل‌ها نشان می‌دهد. اطلاعات داده شده برای ترافیک با جریان آزاد و با جزئیات بیشتر و بطور جداگانه برای شیب‌های سربالایی و سرازیری است و برحسب گالن در مایل داده شده است. جدول ۳۲ - ۶ ضرایب تصحیح قوس را برای اعمال به جدول ۳۱ - ۶ نشان می‌دهد. این ضرائب فقط برای شیب‌های ۳ درصد یا کمتر صادق است. جدول ۳۳ - ۶ ضرائب تصحیح را برای نوع روسازی، که باید به اطلاعات مبنا اعمال شود، نشان می‌دهد. این ضرایب نیز فقط برای شیب‌های حداکثر تا ۳ درصد صادق است.

ضرایب تصحیح برای سطوح مختلف حجم در آزادراه‌های شش خطه (جدول مبنا ۳۱ - ۶ برای جریان ترافیک آزاد می‌باشد) نیز وجود دارد.

ضرائب تصحیح آنگونه که در ابتدا به نظر می‌رسد، به چند دلیل عمده، دارای ارزش نیستند. ترکیب سرعت‌ها و حجم‌های گزارش شده با مقادیری که برای سطح سرویس‌های مختلف، طبق کتاب ظرفیت راه‌ها (HCM)، موجود است وفق نمی‌دهد. برای مثال آزمایش‌هایی در قسمت‌های بدون اصطکاک جانبی در بزرگراه‌ها (مانند شیبراهه‌ها و مقاطع حرکت‌های ضربدری) انجام گرفته است که شرایط آن با موقعیت‌های عادی تفاوت دارد. مشکل دیگر در استفاده از ضرائب مشخص نمودن "سرعت منتخب" بجای یک معیار مشخص‌تر و تعیین‌کننده‌تر سرعت است. به دلایل فوق، جدول‌های ضرایب حجم به ایجاد ضرایب تصحیح برای سطح سرویس‌های مختلف، آنگونه که در کتاب ظرفیت راه‌ها یا هر معیار حجم - سرویس مطلوب دیگر آمده است، منتهی نمی‌شود.

جدول‌های ۳۴ - ۶ و ۳۵ - ۶ اضافه مصرف بنزین را بر حسب گالن، در حالت‌های توقف حرکت یا تغییر سرعت‌های مداوم، نشان می‌دهد. این جدول‌ها هزینه کارکرد وسیله نقلیه در حالت متوقف را مشخص نمی‌کند. جدول‌های ۳۶ - ۶ و ۳۸ - ۶ اطلاعات مشابهی را برای کامیون‌های تک‌واحدی ارائه می‌کند. جدول‌هایی برای انواع دیگر وسایل نقلیه، که در اینجا آورده نشده‌اند نیز وجود دارد. مصرف سوخت در حال کارکرد متوقف در جدول ۴۱ - ۶ برای انواع وسایل نقلیه داده شده است.

مصرف روغن . جدول‌های داده شده برای مصرف روغن به شکلی که برای استفاده راحت باشد ارائه نشده است. مصرف برحسب "روغن مصرف شده بین تعویض‌های روغن" داده شده است و شامل هزینه روغن استفاده شده در این دوره‌های تعویض نیست.

فرسایش لاستیک . هزینه لاستیک در جدول ۴۲ - ۶ برای اتومبیل داده شده است. جدول ۴۳ - ۶ ضرایب تصحیح برای انحنا و جدول ۴۴ - ۶ اضافه هزینه لاستیک را برای هر تغییر سرعت مشخص می‌کند. توجه داشته باشید که هزینه لاستیک با شیب تغییر نمی‌کند. این گزارش اذعان می‌کند که شیب یک عامل مهم است، ولی اضافه می‌کند که روش اندازه‌گیری شیب در تعیین اثرات دقیق آن موثر است. به این دلایل هزینه‌های گزارش‌شده باید با یک مقدار احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.

استهلاک . اطلاعات مربوط به استهلاک که در گزارش مزبور آمده است، تقریباً کلی است، گزارش مزبور اذعان می‌کند که نتایج آن غیرقطعی است و برای استفاده گسترده کافی نیست.

جدول ۳۱ - ۶. اثر سرعت و شیب در مصرف بنزین اتومبیل‌ها - جاده مستقیم با روسازی خیلی خوب و تردد آزاد ترافیک

سرعت یکنواخت (MPH)	مصرف بنزین (GPM) در شیب										
	LEVEL	%1	%2	%3	%4	%5	%6	%7	%8	%9	%10
	شیب مثبت										
10	0.072	0.080	0.087	0.096	0.103	0.112	0.121	0.132	0.143	0.160	0.179
20	0.050	0.058	0.070	0.079	0.086	0.094	0.104	0.116	0.128	0.144	0.160
30	0.044	0.051	0.060	0.068	0.078	0.087	0.096	0.110	0.124	0.138	0.154
40	0.046	0.054	0.062	0.070	0.078	0.087	0.096	0.111	0.124	0.140	0.156
50	0.052	0.059	0.070	0.076	0.083	0.093	0.104	0.118	0.130	0.145	0.162
60	0.058	0.067	0.076	0.084	0.093	0.102	0.112	0.126	0.138	0.152	0.170
70	0.067	0.075	0.084	0.093	0.102	0.111	0.122	0.135	0.148	0.162	0.180
	شیب منفی										
10	0.072	0.060	0.045	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
20	0.050	0.040	0.027	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
30	0.044	0.033	0.022	0.016	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
40	0.046	0.035	0.025	0.018	0.014	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
50	0.052	0.041	0.030	0.025	0.021	0.018	0.014	0.013	0.010	0.010	0.008
60	0.058	0.048	0.036	0.037	0.030	0.027	0.022	0.018	0.014	0.011	0.008
70	0.067	0.058	0.048	0.043	0.039	0.036	0.031	0.027	0.022	0.016	0.013

جدول ۳۲ - ۶. ضرائب تصحیح برای اعمال به جدول ۳۱ - ۶ بخاطر سطح رویه ناصاف

ماسه آزاد	رویه‌شنی خشک کوبیده	آسفالت‌باترک ولکه‌گیریهای بزرگ	رویه‌بتنی یاآسفالت درجه ۱	سرعت‌یکنواخت اتومبیل‌برحسب MPH
	ضرایب تصحیح برای نوع رویه صاف			
1.23	1.09	1.01	1.00	10
1.28	1.13	1.05	1.00	20
1.40	1.26	1.20	1.00	30
1.73	1.56	1.34	1.00	40
2.00	1.70	1.50	1.00	50

جدول ۳۳ - ۶. ضرایب تصحیح برای جدول ۳۱ - ۶ بخاطر انحناء مسیر

قوس *	ضرایب تصحیح برای اتومبیل‌ها بر حسب سرعت (MPH) درجه						
	10	20	30	40	50	60	70
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	1.000	1.001	1.005	1.025	1.025	1.040	1.060
2	1.001	1.002	1.010	1.031	1.054	1.080	1.120
3	1.002	1.003	1.016	1.048	1.090	1.132	1.182
4	1.002	1.004	1.022	1.065	1.120	1.200	1.300
5	1.003	1.005	1.028	1.082	1.180	1.300	-
6	1.004	1.006	1.034	1.120	1.250	1.500	-
7	1.005	1.007	1.040	1.170	1.430	1.900	-
8	1.005	1.008	1.080	1.230	1.610	-	-
9	1.006	1.010	1.140	1.340	1.820	-	-
10	1.008	1.030	1.200	1.480	2.070	-	-
11	1.010	1.070	1.280	1.620	2.200	-	-
12	1.020	1.110	1.360	1.800	2.500	-	-
90	1.130	2.000	-	-	-	-	-

* درجه قوس با تعریف غیرمتریک

جدول ۳۴ - ۶. مصرف اضافی بنزین (گالن) برحسب تاخیر توقف (ثانیه) - در حالت حرکت و توقف اتومبیل‌ها

سرعت (MPH)	مصرف اضافی بنزین (گالن) بر حسب زمان تاخیر توقف (ثانیه)						
	0	30	60	90	120	150	180
10	0.0016	0.0021	0.0026	0.0031	0.0035	0.0040	0.0045
20	0.0066	0.0071	0.0076	0.0081	0.0085	0.0090	0.0095
30	0.0097	0.0102	0.0107	0.0112	0.0116	0.0121	0.0126
40	0.0128	0.0133	0.0138	0.0143	0.0147	0.0152	0.0157
50	0.0168	0.0173	0.0178	0.0183	0.0187	0.0192	0.0197
60	0.0208	0.0213	0.0218	0.0223	0.0228	0.0233	0.0238
70	0.0243	0.0248	0.0253	0.0258	0.0263	0.0268	0.0273

جدول ۳۵ - ۶. مصرف اضافی بنزین (گالن) اتومبیل‌ها در هر تقلیل سرعت

سرعت MPH	مصرف اضافی بنزین (گالن) برحسب مقدار تقلیل سرعت قبل از شتاب‌گیری به سرعت اولیه (MPH)					
	10	20	30	40	50	60
20	0.0032	-	-	-	-	-
30	0.0035	0.0062	-	-	-	-
40	0.0038	0.0068	0.0093	-	-	-
50	0.0042	0.0074	0.0106	0.0140	-	-
60	0.0046	0.0082	0.0120	0.0155	0.0190	-
70	0.0051	0.0090	0.0130	0.0167	0.0203	0.0243

جدول ۳۶ - ۶. مصرف بنزین کامیونهای دومحوره با شش چرخ بخاطر سرعت و شیب در مسیر مستقیم با روسازی درجه یک و تردد آزاد ترافیک

سرعت یکنواخت (MPH)	مصرف بنزین (GPM) در شیب										
	افقی	٪1	٪2	٪3	٪4	٪5	٪6	٪7	٪8	٪9	٪10
	شیب مثبت										
10	0.074	0.094	0.120	0.143	0.175	0.195	0.225	0.255	0.289	0.324	0.357
20	0.059	0.080	0.112	0.140	0.167	0.190	0.214	0.254	0.295	0.344	0.394
30	0.067	0.094	0.121	0.150	0.181	0.206	0.232	0.268	0.305	-	-
40	0.082	0.112	0.141	0.173	0.210	0.228	-	-	-	-	-
50	0.101	0.130	0.159	0.094	-	-	-	-	-	-	-
60	0.122	0.150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	شیب منفی										
10	0.074	0.064	0.055	0.053	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
20	0.059	0.049	0.039	0.034	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
30	0.067	0.054	0.041	0.034	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024
40	0.082	0.071	0.051	0.041	0.032	0.029	0.025	0.023	0.021	0.020	0.020
50	0.101	0.090	0.072	0.058	0.045	0.038	0.031	0.025	0.020	0.020	0.020
60	0.122	00110	0.090	0.075	0.062	0.052	0.043	0.035	0.025	0.020	0.020

جدول ۳۷ - ۶. ضرایب تصحیح برای مقادیر جدول ۳۶ - ۶ بخاطر قوس

ضرایب تصحیح برحسب سرعت برای کامیون با دو محور و شش چرخ (MPH)

درجه قوس *	10	20	30	40	50	60	70
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	1.000	1.000	1.001	1.002	1.010	1.020	1.050
2	1.000	1.001	1.004	1.006	1.020	1.050	1.100
3	1.000	1.002	1.005	1.009	1.060	1.100	-
4	1.000	1.005	1.010	1.040	1.130	1.150	-
5	1.000	1.020	1.030	1.090	1.230	-	-
6	1.000	1.030	1.050	1.140	1.330	-	-
7	1.000	1.040	1.090	1.200	1.430	-	-
8	1.000	1.050	1.130	1.260	1.530	-	-
9	1.000	1.060	1.170	1.320	-	-	-
10	1.000	1.080	1.210	1.430	-	-	-
11	1.000	1.090	1.250	1.550	-	-	-
12	1.000	1.100	1.300	1.690	-	-	-
30	1.000	1.180	2.000	-	-	-	-

جدول ۳۸ - ۶. ضرایب تصحیح برای اعمال به مقادیر جدول ۳۶ - ۶ برای رویه‌های ناصاف

رویه ماسه‌ای	زبری‌شنی باکوبیدگی خوب	آسفالت باترک یا وصله‌های زیاد	بتن یاآسفالت درجه ۱	سرعت یکنواخت و کامیون دومحور و شش‌چرخ MPH
1.46	1.24	1.03	1.00	10
1.62	1.28	1.06	1.00	20
2.16	1.45	4.07	1.00	30
2.46	1.58	1.08	1.00	40
-	1.69	1.20	1.00	50

جدول ۳۹ - ۶. مصرف بنزین اضافی در هر حرکت - توقف برای کامیون‌های دو محور و شش چرخ

سرعت (MPH)	مصرف اضافی بنزین (گالن) بر حسب زمان تاخیر توقف (ثانیه)						
	0	30	60	90	120	150	180
10	0.0036	0.0090	0.0144	0.0198	0.0252	0.0306	0.0360
20	0.0097	0.0151	0.0205	0.0259	0.0313	0.0367	0.0421
30	0.0173	0.0227	0.0281	0.0335	0.0389	0.0443	0.0497
40	0.0242	0.0296	0.0350	0.0404	0.0458	0.0512	0.0566
50	0.0270	0.0326	0.0380	0.0434	0.0488	0.0542	0.0296

جدول ۴۰ - ۶. مصرف اضافی بنزین در هر تقلیل سرعت و تغییر آن برای کامیون‌های دو محوره و شش چرخ

سرعت (MPH)	بنزین اضافی مصرف شده (گالن) بر حسب مقدار تقلیل سرعت قبل از شتاب‌گیری مجدداً و رسیدن به سرعت اولیه (مایل در ساعت)			
	10	20	30	40
20	0.0073	-	-	-
30	0.0080	0.0148	-	-
40	0.0096	0.0167	0.0226	-
50	0.0110	0.0168	0.0266	0.0266

جدول ۴۱ - ۶. مصرف بنزین در حالت وسیله نقلیه روشن و ثابت

بنزین مصرفی	سرعت موتور	جعبه دنده		سیلندر		وسیله نقلیه
gph	rpm	موقعیت	نوع	حجم in^3	تعداد	
			الف - اتومبیل			
0.63	-	خلاص	-	-	-	یدک‌کش
0.58	-	حرکت				
0.67	580	خلاص	اتوماتیک	440	8	کرایسلر
0.61	530	حرکت				
0.65	650	خلاص	اتوماتیک	283	8	شورلت
0.61	500	حرکت				
0.57	780	خلاص	اتوماتیک	200	6	فالکن
0.52	630	حرکت				
0.34	550	درگیر	معمولی	72	4	فولکس واگن
			ب - کامیون بنزینی			
0.45	500	درگیر	معمولی	250	6	وانت
0.65	600	درگیر	معمولی	351	6	دو محور - شش چرخ
0.80	600	درگیر	معمولی	386	6	یدک کش S2 - 2
0.79	650	درگیر	معمولی	503	6	یدک کش S2 - 2
0.89	650	درگیر	معمولی	501	6	یدک کش S2 - 3
			ج - کامیون دیزلی			
0.38	-	درگیر	معمولی	477	6	دو محور - شش چرخ
0.45	600	درگیر	معمولی	672	6	یدک کش S2 - 2
			د - اتوبوس بنزینی			
0.55	-	حرکت	اتوماتیک	260	6	خط شهری
0.73	-	خلاص	اتوماتیک	260	6	خط شهری

جدول ۴۲ - ۶. هزینه لاستیک اتومبیل تحت تاثیر سرعت و نوع رویه جاده‌های مستقیم و تردد آزاد و ترافیک

سرعت یکنواخت	هزینه اتومبیل چهارچرخ (صدم دلار در مایل)		
	بتن	آسفالت	شن خشک
MPH	درجه ۱	درجه ۱	خوب
20	0.09	0.27	1.03
30	0.19	0.36	1.05
40	0.29	0.43	1.07
50	0.32	0.45	1.10
60	0.31	0.46	-
70	0.30	0.44	-
80	0.27	0.43	-

جدول ۴۳ - ۶. ضرایب تصحیح برای تصحیح مقادیر جدول ۴۲ - ۶ برای قوس

درجه قوس	ضرایب تصحیح با سرعت یکنواخت اتومبیل (مایل در ساعت)					
	20	30	40	50	60	70
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.02	1.53	3.06	5.27	9.21	15.70
4	1.10	2.00	6.11	10.67	19.05	29.58
6	1.30	2.56	8.88	17.11	30.28	-
8	1.60	3.33	12.50	28.40	-	-
10	1.90	4.33	16.66	44.80	-	-
12	2.10	5.33	20.44	89.40	-	-
14	4.00	8.50	-	-	-	-
16	6.10	12.70	-	-	-	-
30	10.83	-	-	-	-	-

جدول ۴۴ - ۶. هزینه اضافی لاستیک برای هر چرخه تغییر سرعت اتومبیل‌ها

	هزینه چهار لاستیک (صدم دلار در هر چرخه)			
	چرخه‌های تقلیل سرعت توقف حرکت			
	چرخه‌های تغییر سرعت 10 MPH			
MPH	آسفالت	بتن	آسفالت	بتن
20	0.10	0.30	0.04	0.10
30	0.30	0.60	0.08	0.15
40	0.58	0.85	0.09	0.14
50	0.72	0.10	0.09	0.14
60	0.80	1.20	0.08	0.12
70	0.85	1.25	0.08	0.12

نگهداری. مختلف نگهداری و کل هزینه در مایل، جمع‌آوری شده است. هیچ کوششی برای تعیین هزینه‌ها بر حسب ترافیک و شرایط راه انجام نشده است. جدول ۴۵ - ۶ تقسیم‌بندی هزینه‌های نگهداری را نشان می‌دهد.

اجزاء دیگر هزینه. گزارش برنامه ملی تحقیقات راه (NCHRP) هیچگونه ارتباطی را با هزینه‌های دیگر، از جمله هزینه وقت و هزینه راحتی و آسایش که قسمت زیادی از جدول‌های اشتو را تشکیل می‌دهد، نشان نمی‌دهد. در صورتیکه لازم باشد از جدول NCHRP استفاده شود این قسمت‌ها، برای تعیین کل هزینه استفاده‌کننده، باید اضافه گردد.

جداول وینفری

جدول‌های کتاب وینفری، بهترین طبقه‌بندی ممکن از هزینه‌ها را که تاکنون منتشر شده است ارائه می‌دهد. متاسفانه اطلاعات ارائه شده در این جدول‌ها همه از منابع دست دوم هستند (بسیاری از قسمت‌های آن از گزارش NCHRP که قبلاً ذکر شد گرفته شده است). دقت در تقسیم هزینه‌ها بر حسب فاصله سرعت ۲/۵ مایل در ساعت، شیب‌ها و غیره، بر اساس تخصیص قضاوت‌های زیاد انجام شده، و برای پر کردن بسیاری از فضاهای خالی موجود در اطلاعات مورد استفاده قرار گرفته است. در حالیکه این جدول‌ها، بخاطر نحوه ارائه بسیار مرتب آن، قابل استفاده هستند آنها را باید با احتیاط بکار برد زیرا مقدار زیادی از اطلاعات بر اساس قضاوت نویسنده بوجود آمده است. برای مثال، وینفری تغییرات هزینه نگهداری را با سرعت مشخص می‌کند، تغییراتی که کاملاً بر اساس اطلاعات تایید نشده قرار دارد و کلاً با تخصیص قضاوت بوجود آمده است. این جدول‌ها اثر حجم را روی هزینه‌های عملکرد نشان نمی‌دهند.

مقایسه بین اشتو، وینفری و برنامه همکاری ملی تحقیقات راه

در قسمت‌هایی که اطلاعات کافی وجود دارد مقایسه این گزارش‌ها با مطالعات هزینه انجام شده توسط اشتو با ارزش خواهد بود، و در مورد چگونگی تغییر هزینه‌های عملکرد در طول این سالها نیز می‌توان آشنایی پیدا نمود.

اشتو و برنامه همکاری ملی تحقیقات راه. مقایسه این دو منبع اطلاعات در بسیاری از زمینه‌ها مشکل است. زیرا گزارشات NCHRP اطلاعات قابل اطمینانی را فقط در حالت تردد آزاد ارائه می‌دهد و بنابراین فقط آن قسمت از جدول‌های اشتو که در مورد شرایط تردد آزاد است قابل مقایسه خواهد بود. همچنین جدول‌های اشتو فقط در مورد اتومبیل جزئیات هزینه را مشخص می‌کند. محاسبه هزینه‌های واحد نیز در بسیاری از زمینه‌ها در مقایسه موثر است.

مقایسه بین سرعت‌ها و شیب‌هایی که در هر دو مرجع مشترک است امکان‌پذیر می‌باشد. شش مورد مقایسه امکان‌پذیر است: برای سرعت ۴۰ مایل در ساعت چهار مورد و برای سرعت ۶۰ مایل در ساعت دو مورد. نتایج در جدول ۴۶ - ۶ نشان داده شده است. توجه کنید که نتیجه گزارش NCHRP که از نظر زمانی دیرتر است مقادیر کمتری را نسبت به AASHTO نشان می‌دهد.

مقایسه مصرف روغن امکان‌پذیر نیست، زیرا جداول NCHRP شامل تعویض روغن‌ها، بر خلاف اشتو، نمی‌شود. هیچگونه فرکانس متوسطی برای تعویض روغن یا مقدار آن گزارش نشده است، که تبدیل را برای مقایسه امکان‌پذیر سازد.

فرسایش لاستیک را نیز به دلایل مختلف نمی‌توان به راحتی مقایسه نمود. مهمترین مشکل این است که گزارش NCHRP تغییرات قابل توجهی در هزینه را برای انواع رویه (که تمام آنها در شرایط خوب فرض شده) مشخص می‌کند، در صورتیکه اشتو فقط برای رویه خوب گزارش می‌دهد. همچنین NCHRP اثرات شیب را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین مقایسه فقط برای شیب صفر، یا سطح افقی امکان‌پذیر است. فقط دو نقطه برای مقایسه بدست می‌آید که با در نظر گرفتن نوع رویه، چنین مقایسه‌ای بدون معنی خواهد بود.

هزینه‌های نگهداری کاملاً تطابق نشان می‌دهد. اشتو مقدار ثابت ۱/۲ سنت (سنت = یک صدم دلار) در مایل را برای یک وسیله نقلیه مورد استفاده قرار می‌دهد، در حالیکه NCHRP مقداری برابر ۱/۱۵ را واقعی‌تر می‌داند. این اختلاف، با توجه به

جدول ۴۵ - ۶. متوسط هزینه‌های نگهداری تحت تاثیر مسافت. برای اتومبیل استاندارد (NCHRP)

هزینه متوسط صدم‌دلار در مایل	هزینه‌های تعمیرات (دلار) میانگین	فاصله تغییرات	هزینه‌های پیموده‌شده قبل از اینکه تعمیرات لازم شود (برحسب ۱۰۰۰ مایل) میانگین	فاصله تغییرات	تعداد وسایل نقلیه‌ای که اطلاعات لازم را دارا بودند	جزء وسیله نقلیه
0.27	178	100 - 225	66	54 - 103	850	جعبه دنده اتوماتیک
0.13	93	65 - 130	70	50 - 90	395	کل موتور
0.08	37	28 - 51	44	30 - 60	1350	کمک فنرها
0.08	41	40 - 58	54	40 - 77	1350	سیستم ترمزها
0.08	12	5 - 20	14	10 - 21	1050	دلکو و توزیع برق
0.07	26	18 - 33	39	30 - 56	1350	اگزوز
0.06	29	21 - 40	45	23 - 60	1050	کاربوراتور
0.06	28	20 - 31	44	30 - 54	1050	کاردان
0.06	66	54 - 75	106	100 - 113	50	محور عقب
0.06	32	18 - 40	52	42 - 60	1050	دینام
0.06	24	18 - 30	43	34 - 55	1050	پمپ آب
0.06	40	28 - 46	68	40 - 100	50	فنرها
0.03	15	12 - 20	52	44 - 64	50	پمپ سوخت
0.02	21	16 - 28	109	92 - 138	50	پمپ روغن
0.02	16	10 - 25	76	66 - 96	50	رادیاتور
0.01	4	3 - 6	51	40 - 68	1050	تسمه پروانه
1.15						کل

جدول ۴۶ - ۶. مقایسه مصرف بنزین طبق گزارش اشتو و NCHRP

سرعت (مایل در ساعت)	گروه شیب	مصرف بنزین (گالن در مایل) AASHTO	NCHRP
۴۰	۰ - ۳	۰/۰۶۵	۰/۰۴۵
	۳ - ۵	۰/۰۶۶	۰/۰۴۷
	۵ - ۷	۰/۰۶۹	۰/۰۵۵
	۷ - ۹	۰/۰۷۹	۰/۰۶۹
۶۰	۰ - ۳	۰/۰۸۵	۰/۰۵۸
	۳ - ۵	۰/۰۹۳	۰/۰۶۲

فاصله زمانی بین دو گزارش به نحو تعجب‌انگیزی کم است.

NCHRP و وینفری. بجز مقادیری که با تخصیص قضاوت تعیین شده است، مصرف بنزین برای اتومبیل‌ها و کامیون‌های تک واحدی در کتاب وینفری با مقادیر نشان داده شده در گزارش NCHRP توافق نزدیکی را نشان می‌دهد. این موضوع قابل انتظار است، زیرا مطالعات NCHRP توسط وینفری بعنوان منبع اصلی اطلاعات بکار گرفته شده است.

برای وسایل نقلیه یدک‌کش، مطالعات NCHRP و وینفری هر دو یک منبع را برای منبع سوخت بنام "شدت مصرف سوخت حمل و نقل موتوری و زمان سفر" نوشته ساوهیل وفایری، مورد استفاده قرار می‌دهند، ولی قابل مقایسه نیستند چون وسایل نقلیه مختلفی را بعنوان استاندارد انتخاب کرده‌اند.

هزینه‌های لاستیک و روغن، به دلایل زیاد و مشابه آنچه قبلاً در مقایسه اشتو و NCHRP ذکر شد، قابل مقایسه نیستند. وینفری هزینه تعویض روغن را در نظر می‌گیرد، در حالیکه NCHRP این کار را انجام نمی‌دهد. شرایط پایه برای هزینه‌های لاستیک قابل ملاحظه نیست.

چون وینفری یک هزینه متغیر برای نگهداری در نظر گرفته است (بر حسب سرعت)، مقایسه با مقدار ثابت NCHRP امکان‌پذیر نمی‌باشد.

اشتو و وینفری. چون اشتو و وینفری از یک منبع اطلاعات برای مصرف بنزین استفاده می‌کنند، مقایسه بیشتر لازم به نظر نمی‌رسد. بهرحال عمل اشتو در منظور نمودن بنزین در محاسبات هزینه و حذف آن توسط وینفری، موضوع قابل اهمیتی است.

یک بحث در مخالفت با منظور نمودن مالیات غیرمستقیم دولت مرکزی این است که این مالیات‌ها در صندوق بودجه

راهسازی جمع می‌شود. بدین‌ترتیب، در یک مطالعه اقتصادی، این پول در هر دو مورد هزینه استفاده‌کننده و هزینه راه در نظر گرفته می‌شود، البته در صورتیکه جزئی از هزینه بنزین محسوب گردد. یک بحث قوی و موافق با منظور نمودن مالیات در هزینه سوخت، این است که تقلیل در مصرف سوخت نشانه صرفه‌جویی افراد استفاده‌کننده در رابطه با کل قیمت بنزین است. همچنین اکثر مقدار بودجه‌های راهسازی از مالیات استفاده‌کنندگان و به شکل‌های مختلف تامین می‌شود و کسر نمودن این موارد از مطالعات اقتصادی به معنی انصراف از درنظر گرفتن هزینه‌های راه خواهد بود که یک برخورد غیرواقعی است. برای اتومبیل‌ها در شیب‌های مسطح و برای سرعت‌هایی که در اشتو و کتاب وینفری مشترک است اجزاء هزینه، بجز سوخت، مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۴۷ - ۶).

این مقایسه‌ها سطحی‌تر از آن است که نتایج قطعی را بتواند مشخص کند. هزینه‌های لاستیک، همانطور که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، به علت وجود مساله روسازی قابل‌مقایسه نیست. تخصیص قضاوت را باید خیلی با احتیاط بکار گرفت و در صورت موجود بودن اطلاعات وسیع و قابل مقایسه، می‌توان یک نتیجه‌گیری مشخص انجام داد.

جدول ۴۷ - ۶. مقایسه اجزاء هزینه اشتو نسبت به وینفری

	سرعت	لاستیک	روغن	نگهداری	استهلاک
وینفری	۶۰	۰/۱۹	۰/۱۵۸	۰/۷۳۶	۱/۳۹۱
اشتو		۰/۲۸	۰/۱۸	۱/۲۰	۱/۵۰
وینفری	۶۰	۰/۳۵۳	۰/۱۴۳	۰/۹۱۲	۱/۲۰۸
اشتو		۰/۵۸	۰/۵۲	۱/۲۰	۱/۵۰

فصل ۷
مطالعات زمان سفر و تأخیر

زمان سفر یا سرعت سفر نسبت معکوس دارد. مطالعه زمان سفر اطلاعاتی در مورد زمانی که طول می‌کشد تا از قسمت خاصی از جاده عبور شود را فراهم می‌نماید. این گونه مطالعات، معمولاً، اطلاعاتی را در مورد سرعت و تأخیرنیز فراهم می‌سازد. زمان سفر و مشخصه‌های تأخیرنشان دهنده خوبی سطح سرویس ارائه شده می‌باشد و می‌توانند بعنوان معیاری برای کارآئی جریان ترافیک مورد استفاده قرار گیرد. یک مطالعه در مورد تأخیرمقدار، علت، موقعیت، مدت و فراوانی تأخیرها و همچنین سرعتهای کلی سفرو و حرکت را تعیین می‌کند.

کاربردهای زمان سفر و تأخیر

۱- وقتی می‌توان تراکم را بدرستی ارزیابی کرد که اطلاعاتی در زمینه، مقدار، موقعیت و علت تأخیرات فراهم گردد. چنین اطلاعاتی برای انتخاب روش درمان تراکم مورد نیاز است. این اطلاعات همچنین محل‌هائی، که برای درمان مشکل تراکم نیاز به مطالعات دیگری برای تعیین درمان مناسب دارند را نیز مشخص می‌کند. مطالعات دیگر می‌تواند شامل: تصادفات، احجام ترافیکی و میزان توجه رانندگان و پیاده‌ها به مقررات و ابزارکنترل باشد.

۲- درجه بندی‌های قابلیت، ضرایب تراکم یا ضرایب کیفیت روشهائی هستند که برای مقایسه راه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و اغلب بر اساس زمان سفر استوارند.

۳- در مطالعات قبل و بعد اطلاعاتی را در مورد زمان سفر و تأخیر برای تعیین میزان تأخیرتغییرات انجام شده در ممنوعیت‌های پارکینگ یا زمان چراغ راهنمائی، خیابانهای جدید یک طرفه و تغییرات مشابه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴- تخصیص ترافیک به شبکه‌ها و تسهیلات جدید یا توسعه یافته بر اساس زمان سفر نسبی، به انضمام عوامل دیگر، استوار است. این مسئله تاثیرات مشخصی بر روی نقشه فیزیکی و طراحی تسهیلات جدید و توسعه تسهیلات موجود دارد.

۵- مطالعات اقتصادی مانند تحلیل‌های منافع به هزینه‌ها که اطلاعت زمان سفر را برای ارزیابی منافع حاصل از صرفه جوئی در زمان بکار می‌گیرد.

۶- در مطالعات روند از اطلاعات زمان سفر جهت ارزیابی تغییرات سطح سرویس نسبت به زمان استفاده می‌شود.

تعریف‌ها

سرعت: تعریف‌های ۳ تا ۶ و ۹ را در فصل ۹ ملاحظه فرمائید.

سرعت میانگین مکانی: سرعتی است مربوط به زمان متوسط سفر بر روی مسافتی معلوم یا متوسط سرعت وسائط نقلیه در یک مسافت معلوم در یک زمان (لحظه) مشخص و داده شده.

$$\text{سرعت متوسط مکانی} = n \times \frac{\text{مسافت}}{\Sigma t} \qquad (۷-۱)$$

که در آن n تعداد دفعات آزمایش

سرعت متوسط مکانی را می‌توان مستقیماً به زمان سفر متوسط تبدیل نمود. بهرحال متوسط ریاضی سرعت (سرعت‌متوسط زمانی) براحتی قابل تبدیل نیست.

سرعت متوسط زمانی (TMS): این سرعت نمایانگر متوسط کلیه سرعتهای سفر بوده و برای یک نمونه سرعت متوسط مکانی

جدول ۱-۷. محاسبات نمونه برای TMS و SMS

سرعت کلی سفر (کیلومتر در ساعت)	زمان سفر کلی (دقیقه)	حرکت
۹۶	۲/۰	۱
۸۰	۲/۴	۲
۶۴	۳/۰	۳
TMS=۸۰	۲/۴۷	

$$SMS = \frac{۲/۰ \times ۹۶}{۲/۴۷} = ۷۷/۷ \text{ کیلومتر در ساعت}$$

بیشتر است. SMS بیشتر از اتومبیل‌های کم سرعت تاثیر می‌گیرد، زیرا این قبیل وسائل نقلیه جاده را برای مدت طولانی تری نسبت به اتومبیل‌های تندرو تحت اشغال خود دارند. برای نشان دادن این تفاوت مثال ساده داده شده در جدول ۱-۷ را ملاحظه کنید که برای قسمتی به طول ۳/۲ کیلومتر از جاده داده شده است.

$$\text{سرعت متوسط زمانی} = \frac{\Sigma(\text{فاصله}/t)}{n} \qquad (۷-۲)$$

ارتباط بین TMS و SMS را می‌توان به طریق زیر نشان داد:

$$TMS = SMS + \frac{\sigma^2}{SMS} \qquad (۷-۳)$$

σ = انحراف استاندار SMS

یک آنالیز برگشتی برای نشان دادن ارتباط بین TMS و SMS منجر به معادله زیر شده است:

$$SMS = -۱/۸۸۹۶۰ + ۱/۰۲۶۱۹TMS$$

تجزیه و تحلیل فوق نشان داد که وقتی سرعت اضافه می‌شود، اختلاف بین دو اندازه گیری سرعت کوچکتر می‌گردد.

تأخیر: زمان از دست رفته است وقتی که جریان ترافیک توسط عواملی که راننده کنترلی برآنها ندارد کند گردد.

تأخیر عملیاتی: این تأخیری است که در نتیجه تداخل بین اجزاء ترافیک حاصل می‌شود یعنی تأخیرناشی از بقیه جریان ترافیک نوع دیگری از تأخیرعملیاتی توسط تحرکات ترافیکی ایجاد می‌شود که در جریان مسیر مورد بحث اختلال می‌نمایند (اصطکاک کناری)، و شامل خودروهای پارک شده و نشده، افراد پیاده، خودروهای از کار افتاده، پارک دوبله، و ترافیک متقاطع است. دومین نوع تأخیرعملیاتی ناشی از اختلالات درون جریان ترافیکی مسیر است (اصطکاکهای درونی) که این وضعیت شامل تراکم بعلت حجم ترافیک سنگین، کمبود ظرفیت جاده و مانورهای خروجی یا همگذری است.

تأخیر ثابت: این تأخیر توسط ابزار کنترل ترافیک ایجاد می‌شود. این تأخیر بطور ثابت برای یک وسیله نقلیه اتفاق می‌افتد و مستقل از حجم ترافیک و اختلالات موجود است، و بیشتر در تقاطع‌ها اتفاق می‌افتد. تأخیرثابت ممکن است توسط علائم ترافیکی، چراغ راهنمائی، تابلوهای احتیاط، و گذرهای راه‌آهن اتفاق بیافتد.

تأخیر زمان توقف: مدت زمانی است که یک خودرو در جای خود بدون حرکت می‌ایستد، و به هر علتی ممکن است اتفاق بیافتد.

تأخیر زمان سفر: تأخیری است که بر اثر ازدیاد و تقلیل شتاب، علاوه بر تأخیرزمانی توقف، روی می‌دهد.

روش‌هائی برای انجام مطالعات زمان سفر و تأخیر

روش اتومبیل آزمایش

در این روش‌ها از یک خودرو آزمایشی استفاده می‌شود که در قسمت مورد آزمایش در یک سری سفرها رانده می‌شود. حداقل ۱۲ سفر باید انجام شود تا بتوان بطور کافی سرعت متوسط و تأخیرها را برای هر یک از جهات و مجموعه‌ای از شرایط اندازه گرفت. تعداد سفرهای توصیه شده برای آزمایش جهت حصول زمان سفر (یا سرعت)، با توجه به مقدار خطاها، در جدول ۲-۷ برای انواع مختلف تسهیلات داده شده است.

در روش اتومبیل شناور خودرو ناظر با جریان ترافیک حرکت می‌کند. کلمه "شناور" به این دلیل بکار می‌رود که کوشش می‌شود از همان تعداد اتومبیل که از اتومبیل شناور سبقت می‌گیرند، سبقت گرفته شود.

در یک روش دیگر راننده اتومبیل آزمایش سرعتی را انتخاب می‌کند که به عقیده او برابر است با سرعت متوسط جریان ترافیک، بدون اینکه سعی کند تا سبقت‌ها را متعادل نماید. در روش دیگری که مورد توجه است اتومبیل آزمایش را با سرعت مجاز اعلام شده می‌رانند، مگر اینکه تحت شرایط واقعی ترافیک سرعت آن کم گردد.

با برقراری حداقل فاصله ایمن بین وسائل نقلیه، حداقل مسافت سبقت، ازدیاد و تقلیل شتاب معقول، سطح ایمنی عملیات حفظ می‌شود. سرعتی که با این روش اندازه گیری می‌شود حداکثر سرعت متوسط است و ادعا می‌شود که این سرعت اساس بهتری را، نسبت به سرعت متوسط، برای اندازه‌گیری عملکرد ترافیک ارائه می‌دهد. اتومبیل آزمایشی که به

جدول ۲-۷. تعداد دفعات آزمایش برای برآورد سرعت کلی با ۹۵ درصد اطمینان

نوع تسهیلات	تعداد دفعات مورد نیاز برای ایجاد خطای زیر	
	٪۵	٪۱۰
خیابان‌های شهری با چراغ راهنمائی:		
دوخطه، بدون تراکم	۳۰	۸
دوخطه، با تراکم	۴۰	۱۰
چندخطه،بدون تراکم	۱۸	۵
چندخطه، با تراکم	۵۰	۱۳
جاده‌های برون شهری:		
دوخطه با ۱۱۳۰ وسیله نقلیه در ساعت	۲۵	۶
دوخطه با ۱۴۴۰ وسیله نقلیه در ساعت	۴۲	۱۱

این شکل رانده شود فقط ممکن است تأخیر فیزیکی داشته باشد که در عین حال تأخیر روانی نسبت به نحوه وضعیت ذهنی راننده را بـه حـداقـل مـی‌رساند. ایـن روش بـعنوان روش اتـومبیل حداکثرخوانده می‌شود.

روش متداول یادداشت اطلاعات عبارت است از استفاده از دو کورنومتر توسط ناظر. ناظر در شروع آزمایش اولین کورنومتر را بکار می‌اندازد و در طول مسیر اوقات تلف شده را در نـقاط مختلف کنترل و در طول مسیر، ضبط مـی‌کند. کـورنومتر دوم جهت اندازه‌گیری تأخیرهای توقف زمانی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد. زمان، موقعیت و علت این تأخیرها یادداشت می‌شوند.

ابزارهـای مـختلفی در دسـترس‌انـد کـه بـصورت تـرسیمی تغییرات سرعت اتومبیل و تأخیر را در ارتـباط بـا زمـان ثـبت می‌کنند. این ابزارها نه تنها طول مدت زمان تـوقف‌های کـامل بلکه تغییرات سرعت را نیز یادداشت می‌کنند.

در مورد مطالعات تأخیر، علت تأخیر معمولاً عامل مهمی است. بنابراین ضروریست که ابزار مربوطه بـایک نـاظر هـمراه باشد تا بتواند موضوع را تشخیص داده، موارد را جدول بـندی کرده و علت تأخیر را به دستگاه جمع‌آوری اطلاعات گرافیکی، که بطور مکانیکی عمل می‌کند، ارتباط دهد.

روش پلاک اتومبیل

این روش فقط زمانی مفید است که اطلاعات زمان سفر کافی باشد. ناظران در منطقه ورودی، منطقه خروجی، و در صورت لزوم در نـقاط حسـاس و اسـتراتـژیک دیگـر از قسـمت مـورد آزمایش که زمان سفر آن مورد نیاز است مستقر مـی‌شوند. هـر ناظر سه یا چهار رقم آخر شماره پلاک ماشین‌ها را یادداشت کرده و همچنین زمانی که هر اتومبیل از پست نظارت می‌گذرند. را نیز ثبت می‌کنند. اندازه نمونه‌ای از ۵۰ شماره پلاک ماشین معمولاً

جدول ۳-۷. اندازه نمونه برای پیش بینی سرعت کلی با ۹۵ درصد اطمینان

نوع تسهیلات	تعداد لازم تطابق‌های شماره پلاک
خیابان‌هائی شهری با چراغ راهنمائی	
دو خط عبور، بدون تراکم	۳۲
دو خط عبور، با تراکم	۳۶
چند خط عبور، بدون تراکم	۸۰
چند خط عبور، با تراکم	۱۰۲
راه‌های برون شهری:	
دو خط عبور، ۱۱۳۰ وسیله نقلیه در ساعت	۲۵
دو خط عبور، ۱۴۴۰ وسیله نقلیه در ساعت	۴۱
چهار خط عبور، بدون تراکم	۳۰

دقت خوبی را ارائه می‌دهد. اندازه‌های توصیه شده نمونه جهت دست یابی به زمان سفر (یا سرعت) با خطائی که از ۵ درصـد تجاوز نمی‌کند در جدول ۳-۷ برای تسهیلات مختلف داده شده است.

اساساً این روش دقت در جزئیات حرکات و تأخیرها را بـه منظور کسب نمونه‌های بزرگتری برای زمان سفر قربانی می‌کند. کار دفتری دقیق، طولانی و خسته کننده‌ای مورد نـیاز است تـا اطلاعات را با دست خلاصه کنند ولی استفاده از کامپیوتر ایـن مسئله را به مقدار زیادی حل می‌کند. در یک مقایسه انجام شده از روشهای اتومبیل آزمایشی و پلاک ماشین، روش دوم دقیقتر ارزیابی گردیده است. بهرحال این روش گرانتر نیز هست چـون نیاز به نیروی انسانی بیشتری برای تحصیل و تجزیه اطـلاعات دارد.

روش‌های عکسبرداری

این روش‌ها در بخش ۸ زیر عنوان مطالعات سرعت نقطه‌ای بحث شده است و بطور ایـده‌آل مـناسب مـطالعه ارتـباط بـین کمیت‌های مختلف مانند سرعتها، فواصل زمانی، استفاده از خط عبور، شدت شتاب، مانورهای تقاطعی و دور شونده و تأخیرها می‌باشند. روشهای عکسبرداری مناسب قسمت‌های کوتاه مانند تقاطع‌ها هستند. ولی برای قسمت‌های طولانی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

اگر چه این روشها نمونه‌ای با تعداد زیـادی خـودرو و یک سابقه دائمی از مـطالعه و تـحلیل اطـلاعات و افـزایش هـزینه نیازهای ابزاری را باعث می‌شوند، ولی چنین مطالعاتی محدود به ساعات روشن روز و شرایط جوی مناسب است.

روشهای مصاحبه

این روش عبارتست از مصاحبه با افراد منتخب نسبت به زمان سفر و تأخیری که در سفرهایشان تجربه می‌کنند. بعنوان مثال از مستخدمین کارخانه هائی که قرار گیری آنها مهم بود خواسته شد تا زمان سفر خود را در روز خاص به محل کار و از کار به مقاصد شخصی یادداشت نمایند. با یک همکاری خوب نتایج بدست آمده ممکن است کاملاً خوشنود کننده باشد.

این روش در جائی موثر است که اطلاعات زیادی در حداقل زمان مورد نیاز باشد و برای نظارت در محل، بودجه کمی تخصیص داده باشند. نوعی از این روش برای مطالعات حمل و نقل جهت بدست آوردن اطلاعات زمان سفر از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر استفاده شده است. همکاری کمپانی‌های تاکسی‌رانی نیز مورد استفاده قرار گرفت. رانندگان تاکسی محل شروع و مقصد سفرها و همچنین زمانهای شروع و خاتمه سفر را نیز یادداشت می‌نمودند.

مشاهده از نقاط مرتفع

ناظرین در نقاط مرتفع قرار می‌گیرند. آنها وسائل نقلیه نمونه‌ای را بطور تصادفی انتخاب می‌کنند و اطلاعات مربوطه را در پیمودن قسمت مشخصی از جاده کسب و یادداشت می‌کنند. این روش برای مشاهدات طولانی عملی نیست و گذشته از این بستگی به وجود محل‌های استقرار مناسب نیز دارد.

روش اتومبیل متحرک برای تخمین حجم و زمان سفر

اتومبیل آزمایش یک سری حرکت آزمایشی در هر جهت مسیر تحت مطالعه انجام می‌دهد. برای نتایج قابل اطمینان، باید حداقل ۶ مرتبه آزمایش در هر جهت و در شرایط قابل مقایسه انجام شود. این روش فقط برای مسیرهای دو طرفه قابل اجرا است. مشخص شده است که این روش اقتصادی بوده و تخمین‌های بدون خدشه و قابل قبولی از حجم و زمان سفر را بدست می‌دهد. مسیر مورد نظر به قسمتهائی تقسیم شده بطوری که از نظر فیزیکی شرایط ثابتی داشته (عرض و تعداد خطهای عبور، پارکینگ و غیره)، همچنین از نظر ترافیکی (حجم، سرعت، نوع ترافیک و غیره) نیز دارای شرایط ثابتی باشند. اطلاعات مورد نیاز که در هر یک قطعات یادداشت می‌شوند عبارتند از:

۱- زمان سفر، که توسط کورنومتر یا دستگاه دیگری بدست می‌آید.

۲- ترافیک مقابل، شمارش تعداد خودروهائی که در جهت مخالف حرکت کرده و از کنار اتومبیل آزمایش عبور کرده‌اند.

۳- ترافیک سبقتی، شمارش خودروهائی که در جهت موافق حرکت کرده و از اتومبیل آزمایش سبقت می‌گیرند.

۴- ترافیک عقب مانده، شمارش خودروهائی که در جهت موافق حرکت کرده و اتومبیل آزمایش از آنها سبقت گرفته است.

محاسبات برای یک سری اطلاعات مشخص در زیر نشان داده شده است. فرمولهائی برای حجم و زمان متوسط سفر که هر کدام شامل تعداد خودروهائی است که از اتومبیل آزمایش سبقت می‌گیرند و تعداد خودروهائی که مورد سبقت اتومبیل آزمایش قرار می‌گیرند داده شده است.

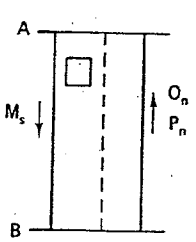
این مقادیر برای جبران حرکت‌های غیر معمول اتومبیل آزمایش ضروری می‌باشند چون اگر اتومبیل آزمایش با سرعت متوسط واقعی برای کل مسیر حرکت کند درست از تعدادی سبقت می‌گیرد که از آن سبقت گرفته‌اند و در نتیجه این مقادیر یکدیگر را حذف می‌کنند. بعلاوه، فرمول حجم شامل مجموع زمانهائی است که در هر دو جهت طی می‌شود. این ضرورت به دلیل اینست که حجم برای یک دوره زمانی در حدود نصف مقداری خواهد بود که از کنار اتومبیل آزمایش گذشته است، زیرا مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن اتومبیل آزمایش به نقطه وسط در هر جهت برابر است بازمانی که وسائط نقلیه ملاقات شده برای رسیدن به نقطه شروع حرکت اتومبیل آزمایش نیاز دارد.

فرمول‌ها. در محاسبات زیر فرض شده است که، قسمت مورد آزمایش خیابانی شمالی جنوبی باشد. حروف اختصاری n و s جهتی را نشان می‌دهد که اتومبیل آزمایشی، وقتی که در حال اندازه گیری است، در آن حرکت می‌کند.

حجم ساعتی:

حجم ساعتی برای جریان ترافیک در یک جهت (یک طرفه) در قسمت مورد آزمایش تحت شرایط موجود توسط فرمول زیر تعیین می‌شود.

$$V_n = \frac{60(M_s + O_n - p_n)}{T_s + T_n} \qquad (۷-۴)$$



که در آن

V_n = حجم در ساعت، در جهت شمالی (برای حجم در جهت جنوبی تمام حروف اختصاری زیر نویس تعویض می‌شوند.)

M_s = تعداد خودروهائی که در جهت مخالف شمرده شده و توسط اتومبیل مشاهده وقتی که به سمت جنوب حرکت می‌کند ملاقات شده‌اند.

D_n = تعداد خودروهائی که از اتومبیل آزمایش وقتی بسمت شمال حرکت می‌کند سبقت می‌گیرند.

P_n = تعداد خودروهائی که اتومبیل آزمایش از آنها سبقت می‌گیرد وقتی که در حال حرکت بسمت شمال است.

T_n = زمان سفر وقتی بسمت شمال حرکت می‌کنند (دقیقه).

T_s = زمان سفر وقتی بسمت جنوب حرکت می‌کند(دقیقه).

اتومبیل آزمایش یک سفر رفت و برگشتی انجام می‌دهد تا تعداد خودروهائی را که از نقطه شروع ودر مدت زمان عبور اتومبیل مشاهده از A تا B و برگشت از B تا A، گذشته‌اند شمارش کند، شکل را نگاه کنید. اتومبیل از نقطه A شروع می‌کند و جهتی بسمت جنوب را در پیش می‌گیرد در حالی که تمام خودروهائی را که در سمت مخالف از آن می‌گذرند شمارش می‌کند (M_s). مسلماً تمام این خودروها، در زمانی که طول می‌کشد تا اتومبیل آزمایش به آن نقطه بازگردد، از نقطه A می‌گذرند. اتومبیل آزمایش در نقطه B دور می‌زند و هر خودروئی که از آن جلو بزند (O_n) قبل از اتومبیل آزمایش به نقطه A می‌رسد. هر خودروئی که توسط اتومبیل آزمایش از آن سبقت گرفته شده بعنوان بخشی از M_s شمرده شده است و بهر حال این خودروها (P_n) قبل از اتومبیل آزمایش به نقطه A وارد نمی‌شوند. بنابراین حجمی که از نقطه می‌گذرد، در جهت شمالی و در زمانی که اتومبیل آزمایش یک سفر رفت و برگشت انجام می‌دهد عبارتست از $M_s + O_n - P_n$ و فرمول بدست می‌آید.

اگر اتومبیل آزمایش بلافاصله در نقطه B دور بزند، شمارش صحیح و درست خواهد بود. ولی بهرحال وقتی اتومبیل دور می‌زند مدت زمانی از دست می‌رود که ممکن است موجب خطا گردد. همچنین یک بار سفر ممکن از نظر آماری نماینده خوبی برای شرایط متوسط نباشد، بنابر این نتایج حاصل از این روش یک تخمین منظور می‌شود. معمولاً چندین سفر انجام شده و متوسط نتایج کسب می‌گردد.

زمان سفر متوسط:

زمان متوسط سفر برای یک جهت جریان ترافیک توسط فرمول زیر تعیین می‌شود.

$$\bar{T}_n = T_n - \frac{60(O_n - P_n)}{V_n}$$

که در آن:

$\bar{T}_n$ = زمان سفر متوسط برای تمام ترافیک در جهت شمالی (برای زمان سفر در جهت جنوبی حروف زیر نویس معکوس می‌شوند).

مقدار $(O_n - P_n)$ نشاندهنده تصحیحی است برای این مساله که ممکن است اتومبیل آزمایش با سرعت متوسط کل ترافیک حرکت نکند.

سرعت متوسط مکانی:

سرعت متوسط مکانی برای جریان یکطرفه توسط فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$S_n = \frac{60d}{\bar{T}_n}$$

که در آن:

S_n = سرعت متوسط مکانی در جهت شمالی

d = طول قسمت مورد آزمایش

مثال تشریحی:

اطلاعات زیر برای قسمت مورد آزمایش بطول ۱/۲ کیلومتر (شریانی اصلی) در جدول ۴-۷ داده شده است.

جدول ۴-۷. نمونه، مفروضات مسئله برای روش اتومبیل متحرک

سفرهادرجهت شمال	T_n(min)	M_n	O_n	P_n
۱	۲/۶۵	۸۵	۱	۰
۲	۳/۷۰	۸۳	۳	۲
۳	۲/۳۵	۷۷	۰	۲
۴	۳/۰۰	۸۵	۲	۰
۵	۲/۴۲	۹۰	۱	۱
۶	۲/۵۴	۸۴	۲	۱
جمع	۱۵/۶۶	۵۰۴	۹	۶
میانگین	۲/۶۱	۸۴/۰	۱/۵	۱/۰
سفرهای جنوبی	T_s(min)	M_s	O_s	P_s
۱	۲/۳۳	۱۱۲	۲	۰
۲	۲/۳۰	۱۱۳	۰	۲
۳	۲/۷۱	۱۱۹	۰	۰
۴	۲/۱۶	۱۲۰	۱	۱
۵	۲/۵۴	۱۰۵	۰	۲
۶	۲/۴۸	۱۰۰	۰	۱
جمع	۱۴/۵۲	۶۶۹	۳	۶
میانگین	۲/۴۲	۱۱۱/۵	۰/۵	۱/۰

$$V_n = \frac{60(M_s + O_n - P_n)}{T_n + T_s} = \frac{۶۰(۱۱/۵ + ۱/۵ - ۱/۰)}{۲/۶۱ + ۲/۴۲}$$

وسیله نقلیه در ساعت ۱۳۳۶ =

$$V_s = \frac{60(M_n + O_s - P_s)}{T_n + T_s} = \frac{۶۰(۸۴/۰ + ۰/۵ - ۱/۰)}{۲/۴۲ + ۲/۶۱}$$

وسیله نقلیه در ساعت ۹۹۶ =

$$\bar{T}_n = T_n - \frac{60(O_n - P_n)}{V_n} = ۲/۶۱ - \frac{۶۰(۱/۵ - ۱/۰)}{۱۳۳۵} = ۲/۵۹$$

دقیقه

$$\bar{T}_s = T_s - \frac{60(O_s - P_s)}{V_s} = ۲/۴۲ - \frac{۶۰(۰/۵ - ۱/۰)}{۹۹۶} = ۲/۴۵$$

دقیقه

$$S_n = \frac{60d}{\bar{T}_n} = \frac{۶۰(۱/۲۰)}{۲/۵۹} = ۲۷/۸۰$$ کیلومتر در ساعت

$$S_s = \frac{60d}{\bar{T}_s} = \frac{۶۰(۱/۲۰)}{۲/۴۵} = ۲۹/۴۰$$ کیلومتر در ساعت

مطالعات تأخیر در تقاطع

تأخیر در تقاطع‌ها عامل مهمی در تجزیه و تحلیل تراکم ترافیکی است. عوامل بسیاری وجود دارند که در ارزیابی میزان کارآئی و تاثیر انواع مختلف لوازم کنترل ترافیک تقاطع‌ها باید مورد ملاحظه قرار گیرند، ولی تأخیر در تقاطع از نظر اهمیت در اولویت قرار دارد. بعضی از عوامل دیگر عبارتند از:

۱- تجارب تصادفات قابل مقایسه که در نتیجه استفاده از انواع مختلف کنترل ترافیک ناشی می‌شوند.

۲- درخواست رانندگان: رانندگان ممکن است نوعی از سیستم کنترل را بر دیگری ترجیح دهند، با وجود اینکه تأخیر متوسط وارد بر هر خودرو ممکن است بیشتر باشد. برای مثال راننده ممکن است کنترل مثبت یک چراغ راهنمائی را ترجیح دهد هرچند که تأخیر نسبت به کنترل با تابلو ایست ممکن است کمتر باشد.

۳- هزینه‌های قابل مقایسه نصب و عملیاتی کردن انواع سیستم‌های کنترل ترافیک و تاثیر آنها بر هزینه‌های عملکردی اتومبیل.

۴- تاثیرات قابل مقایسه بر روی افراد پیاده.

۵- شرایط فیزیکی در محدوده تقاطع.

عوامل موثر بر تأخیر تقاطع

۱- عوامل فیزیکی، مانند تعداد خط عبور، شیب‌ها، عرض خط عبور، کنترل دسترسی، مسیردهی ترافیک و ایستگاه‌های سیستم حمل و نقل عمومی.

۲- عوامل ترافیکی، مانند حجم ترافیک در هر رویکرد تقاطع، حرکت‌های گردشی، طبقه بندی وسائل نقلیه، خصوصیات راننده، سرعت‌های نزدیک شدن به تقاطع، پارکینگ و پیاده‌ها.

۳- کنترل‌های ترافیک، مانند زمانبندی چراغ راهنمائی، تابلوهای ایست و احتیاط و کنترل‌های دور زدن و پارک کردن.

روش‌هائی برای اندازه گیری تأخیر تقاطع در محل

روش زمان سفر: در مطالعات تأخیر تقاطعی با این روش می‌توان زمان سفر را از نقطه‌ای قبل از تقاطع تا نقطه‌ای بعد از آن اندازه گرفت. روشهای مورد استفاده برای دستیابی به اطلاعات زمان سفر بشرح زیر است:

۱- اتومبیل آزمایش بین همان دو نقطه حرکت می‌کند.

۲- شماره‌های پلاک وسائل نقلیه و زمان در دو نقطه ثبت می‌شوند.

۳- عکس‌های هوائی با فاصله از نقاط مرتفع گرفته می‌شوند.

۴- اطلاعات توسط دستگاه ثبات ۲۰ قلمی ثبت شده در حالیکه شمارنده‌های ترافیکی در نقاط مهم قرار گرفته و کلیدهای دستگاه توسط ناظران به منظور تشخیص خودروهائی که از قسمت مورد مطالعه عبور می‌کنند زده می‌شوند.

۵- یک ناظر از نقطه‌ای مرتفع خودروهائی را که از تقاطع می‌گذرند تعقیب کرده و زمانها را توسط کرونومتر و برای دو نقطه ثبت می‌کند.

۶- روش نمونه بردای که مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل شمارش خودروهائی است که تقاطع را اشغال کرده و در دوره‌های زمانی متوالی به آن نزدیک می‌شوند (مانند هر ۱۵ ثانیه) برای مدت معینی از زمان (مانند ۱۰ دقیقه). هر شمارش متوالی در واقع چگالی لحظه‌ای را نشان می‌دهد (تعداد خودروهائی که طولی از رویکرد تقاطع را اشغال کرده‌اند در یک فرجهٔ زمانی). در مدت زمان داده شده، تعداد خودروهائی که رویکرد تقاطع را ترک می‌کنند نیز شمارش

می‌شوند. این شمارش حجم ترافیک را مشخص می‌کند. این شمارش‌ها تخمین زمان متوسط سفر برای تمام خودروهائی که از رویکرد مشخص به سمت تقاطع عبور می‌کنند را ممکن می‌کند. یک مثال مربوط به ۵ دقیقه اطلاعات در جدول ۵-۷ نشان داده و تحلیل شده است:

کل حجمی که رویکرد تقاطع را ترک می‌کنند = V = ۷۰ (در طول مدت ۵ دقیقه)

$$\text{زمان سفر متوسط} = T = \frac{N.t}{V} = \frac{۸۹ \times ۱۵}{۷۰} = ۱۹/۱ \text{ ثانیه}$$

روش تأخیر زمان توقف: این روش دیگری برای اندازه گیری تأخیر در تقاطع برده، فقط شامل اندازه‌گیری زمان توقف است و شامل زمان‌های تلف شده در اثر ازدیاد و تقلیل شتاب که جزئی از روشهای زمان سفر است، نمی‌باشد. روشهائی که برای بدست آوردن تأخیر زمان توقف مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل:

۱- سری عکسهای هوائی که با فاصله از یک نقطه مرتفع گرفته می‌شوند.

۲- تأخیر سنج‌هائی مورد استفاده قرار می‌گیرند که وسیله نقلیه - ثانیه زمان توقف را، در حالیکه یک ناظر دکمه یا درجه آن را راه‌اندازی می‌کند، جمع می‌کنند.

۳- یک روش نمونه گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل شمارش تعداد خودروهای متوقف در رویکرد تقاطع در دوره‌های زمانی متوالی است (مانند هر ۱۵ ثانیه). این نمونه برداری همراه با حجم شمارش شده در همان مدتی که مشاهدات انجام گرفته است اجازه می‌دهد تا وسیله نقلیه - ثانیه تأخیر زمان توقف را تخمین زنند. وقتی مطالعه در تقاطعی انجام شود که توسط چراغ راهنمائی با زمان ثابت کنترل می‌شود، فرجه‌های نمونه برداری باید طوری انتخاب شود تا از نمونه برداری مکرر در همان قسمت از سیکل چراغ راهنمائی جلوگیری شود. بنابراین فرجه نمونه برداری نباید از تقسیمات زوج زمان سیکل باشد. مثالی از ۵ دقیقه اطلاعات در جدول ۶-۷ نشان داده و تحلیل شده است.

محاسبات:

تأخیر کل = تعداد کل مشاهدات × فرجه‌های مشاهده

وسیله نقلیه - ثانیه تأخیر ۱۵۶۰ = ۱۵ × ۱۰۴ = تأخیر کل

$$\text{تأخیر متوسط بر هر خودرو متوقف} = \frac{\text{تأخیر کلی}}{\text{تعداد خودروهای در حال توقف}} = \frac{۱۵۶۰}{۵۶} = ۲۷/۸ \text{ ثانیه}$$

$$\text{تأخیر متوسط بر هر خودرو رویکرد} = \frac{\text{تأخیر کلی}}{\text{حجم ترافیک رویکرد}} = \frac{۱۵۶۰}{۹۳} = ۱۸/۸ \text{ ثانیه}$$

$$\text{درصد خودروهای متوقف شده} = \frac{\text{تعداد خودروهای در حال توقف}}{\text{حجم ترافیک رویکرد}} = \frac{۵۰}{۹۳} = ۶۰/۲ \text{ ثانیه}$$

در مطالعات مشابه از روشهای سه گانه فوق برای تعیین تأخیر زمان توقف، چنین معلوم شد که هم تأخیر سنج و هم روشهای نمونه برداری می‌توانند پاسخها و نتایج قابل اعتمادی حاصل کنند ولی روش عکس هوائی اطلاعات کاملتری را عرضه می‌کند.

جدول ۵-۷. روش نمونه برداری برای زمان سفر در تقاطع

زمان (دقیقه شروع)	(اطلاعات ۴-۵ دقیقه‌ای برای یک رویکرد) شمارش‌های چگالی لحظه‌ای (برای فاصله زمانی t در رویکرد در زمان			
	+۰Sec	+۱۵Sec	+۳۰Sec	+۴۵Sec
۵:۰۰	۰	۴	۵	۷
۵:۰۱	۳	۸	۵	۲
۵:۰۲	۵	۰	۶	۱
۵:۰۳	۵	۳	۶	۶
۵:۰۴	۶	۷	۴	۷
جمع	۱۹	۲۲	۲۵	۲۳
N = ۸۹				

زمان سفر (سرعت) و تأخیر بعنوان معیارهای تراکم و سطح سرویس

اندازه گیری کمی زیان اقتصادی وارد به یک جامعه در اثر تراکم هنوز مسئله ساز است ولی تردیدی نیست که تراکم نیز می‌تواند بالعکس در زندگی اقتصادی جامعه موثر باشد. این مسئله با تاثیر زیان آور تراکم در فعالیت‌های تجاری مرکز شهر و ارزش املاک در نقاط مختلف شهر، افزایش قیمتها برای مصرف کننده، اضمحلال همسایگی و افزایش هزینه‌های استفاده کنندگان از راه، منعکس می‌شود. از بین رفتن تراکم ترافیکی به کم شدن هزینه‌های استفاده از خودرو، کاهش تصادفات ترافیکی

جدول ۶-۷. نحوه نمونه برداری برای تأخیر تقاطع (اطلاعات ۵ دقیقه‌ای برای یک رویکرد تقاطع)

حجم		خودروهائی که در رویکرد تقاطع در زمان زیر متوقف شده‌اند				زمان
تعدادی که نمی‌ایستند	تعدادی که می‌ایستند	۴۵+	۳۹+	۱۵+	۰+	(دقیقه شروع) (ثانیه)
۶	۱۱	۰	۷	۲	۰	۵:۰۰
۱۴	۶	۳	۰	۰	۴	۵:۰۱
۱۸	۰	۶	۱۴	۱۶	۹	۵:۰۲
۱۰	۱۷	۱۳	۹	۴	۱	۵:۰۳
۱۷	۴	۲	۰	۰	۵	۵:۰۴
۳۷	۵۶	۳۳	۳۰	۲۲	۱۹	جمع
۹۳			۱۰۴			جمع کل

کاهش زمان سفر و افزایش عمده در راحتی راننده، منتهی می‌شود.

یک شاخص مناسب برای تراکم در تسهیلات شهری باید تجسم ترکیبی از سه عامل زیر باشد:

۱- خصوصیات عملکردی، که مستلزم اندازه‌گیری سرعتها، تأخیرها و زمانهای کلی سفر است.

۲- خصوصیات نسبت حجم به ظرفیت، که مستلزم تعیین روابط حجم واقعی ترافیک به ظرفیت تسهیلات است.

۳- خصوصیات آزادی حرکت، که مستلزم تعیین درصد خودروهای ممنوع الحرکت (حرکت آزاد) و مدت زمان ممنوعیت است.

شکی نیست که یک شاخص تراکم که در برگیرنده تمام این عوامل باشد، در کمک به برنامه ریزی برای اجرا و یا توسعه تسهیلات جدید و برقرار نمودن سطوح سرویس، بسیار مفید واقع خواهد شد. حداقل سرعت‌های عملکردی (سرعت متوسط کلی سفر) که برای سیستم‌های مختلف خیابان‌ها و به منظور فراهم نمودن سطح سرویس مطلوب پیشنهاد شده، در جدول ۷-۷ نشان داده شده است.

مقایسه نتایج حاصل در مثال مربوط به روش اتومبیل متحرک برای تخمین حجم و زمان سفر و استانداردهای فوق مقادیر زیر را ارائه می‌کند:

شدت تأخیر

تفاوت میان شدت واقعی حرکت در راه شریانی و شدت استاندارد حرکت را شدت تأخیر می‌گویند.

دقیقه در کیلومتر ۲/۱۶ = $\frac{۶۰}{۲۷/۸}$ = شدت واقعی حرکت

جدول ۷-۷. استانداردهای پیشنهاد شده برای سرعت کلی و میزان تردد

نوع خیابان	شدت حرکت (min/min)	سرعت کلی (kph)	
	ساعت اوج	ساعت غیراوج	ساعت‌اوج
آزادراه:	۱/۰۶		
۱- کنترل کامل دسترسی		۵۶-۸۰	۵۶
۲- کنترل جزئی دسترسی		۵۶-۸۰	۵۶
شریان اصلی:	۱/۵۰		
۱- با جزیره میانی		۴۰-۵۶	۴۰
۲- بدون جزیره میانی		۴۰-۵۶	۵۶
جمع‌آورنده:	۱/۸۶		
محلی:	۳/۷۳		
۱- تجاری		۱۶-۳۲	۱۶
۲- صنعتی		۱۶-۳۲	۱۶
۳- مسکونی		۱۶-۳۲	۱۶

دقیقه در کیلومتر ۱/۵۰ = شدت استاندارد حرکت

دقیقه در کیلومتر ۰/۶۶ = ۱/۵ - ۲/۱۶ = شدت تأخیر

شدت تأخیر خودرو

عبارت است از کل زمان تلف شده بر حسب دقیقه در کیلومتر توسط وسائل نقلیه در مسیر ترافیکی، زیرا خصوصیات شریانی زیر استاندارد است این مقدار از حاصلضرب حجم ساعت اوج یک جهت از راه با شدت تأخیر بدست می‌آید.

دقیقه در کیلومتر ۸۸۲ = ۰/۶۶ × ۱۳۳۶ = شدت تأخیر خودرو

پارامترهای اصلی که در آئین نامه ظرفیت بزرگراه برای ارزیابی سطح سرویس استفاده شده است عبارتند از سرعت و زمان سفر و سطوح سرویس را برای انواع تسهیلات زیر مشخص می‌کند:

آزاد راهها، جاده‌های چند خطه، جاده‌های ۲ و ۳ خطه، خیابانهای شریانی شهری و خیابانهای مرکز شهر.

شاخص‌های تراکم

برای تعیین کیفیت جریان ترافیک شاخص‌های تراکم متعددی پیشنهاد شده است. مطلب خلاصه زیر پارامترهائی را که روشهای مختلف بر آنها استوارند عرضه می‌نماید:

۱- مقدار شاخص تراکم برای تسهیلات شهری بر اساس نسبت زمان واقعی که طی آن خودرو قسمتی از جاده را اشغال می‌کند به زمان سفر بهینه (بدون تراکم) که محدودیت‌های

سرعت، ایمنی و رانندگی با احتیاط را مورد ملاحظه قرار می‌دهد، بدست می‌آید.

۲- زمان سفر اساس روش‌های مختلف ارزیابی تراکم و سطح سرویس را تشکیل می‌دهد.

۳- عکس سرعت که در مورد آزاد راه‌ها بکار گرفته می‌شود عبارتست از کاهش در سرعت ترافیک که در احجام بالا اتفاق می‌افتد بدون اینکه تغییری در حجم ترافیک ایجاد شود. فرض می‌شود تراکم زمانی ایجاد می‌شود که عکس سرعتی معادل ۱۶ کیلومتر در ساعت اتفاق بیافتد.

۴- شاخص کیفیت رابطه سرعت متوسط کل به تغییرات سرعت و فرکانس تغییرات سرعت در کیلومتر می‌باشد.

۵- شدت تراکم ارتباط بین زمان از دست رفته و راحتی راننده را نشان می‌دهد.

۶- مدل صدای شتاب بر اساس خارج شدن سرعت خودرو از سرعت ثابت آن است.

اطلاعات مربوط به زمان سفر و تأخیر

نقشه‌های خطوط تراز زمانی

خطوط تراز دقایق زمان سفر را از یک نقطه مرکزی مشخص شده نشان می‌دهد. با نقطه مشخص شده بعنوان مرکز، یک سری دایره هم مرکز رسم می‌شود که فاصله را از نقطه مشخص مرجع نشان می‌دهند. نقشه‌های خطوط تراز زمانی برای مقایسه مسیرهای مختلف که از منطقه، مرکزی تجاری شروع می‌شود (CBD) و همچنین برای تخمین زمان صرفه جوئی شده که در اثر طراحی یا توسعه تسهیلات جدید بسیار مناسب است.

نمودار میله‌ای

این نمودارها علل و توزیع تأخیر را نشان می‌دهند و با یک نگاه کوتاه تمام عواملی را که ایجاد تأخیر می‌کنند، منعکس می‌نمایند. این نمودارها همچنین برای مقایسه نتایج قبل و بعد از انجام تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پروفیل‌های سرعت

این نمودارها تغییرات سرعت متوسط سفر و سرعت متوسط کلی (یا زمانهای سفر) را در مسیری که از انواع مختلف مناطق توسعه یافته عبور می‌کند، یا بر اساس پیشروی بین تقاطع‌ها، نشان می‌دهد.

منحنی‌های توزیع فراوانی

این منحنی‌ها تعداد یا درصد خودرو را بر حسب زمان سفر یا تأخیر نشان می‌دهد.

نقشه‌های منطقه، سرعت

این نقشه‌ها مقادیر وسیله نقلیه - دقیقه تأخیر را در ساعات مختلف و در قسمت‌های مختلف مسیرهای موجود در یک منطقه ارائه می‌دهد.

خصوصیات سرعت - تأخیر ترافیک

مطالعات مختلفی در مورد تعیین خصوصیات سرعت - تأخیر انجام شده است که تعدادی از آنها را در زیر و بطور خلاصه می‌توان ملاحظه نمود:

۱- سرعتهای متوسط در مناطق شهری از ۵ کیلومتر در ساعت در مناطق شلوغ تجارتی تا ۵۵ و ۶۵ کیلومتر در ساعت در طول محدودی از مسیرهای مناطق مسکونی حاشیه‌ای تغییر می‌کند. سرعت کلی در مسیرهای داخل شهری از منطقه مرکزی تجاری (CBD) تا مناطق بیرونی توسعه یافته اطراف شهر معمولاً بین سرعتهای ۲۵ تا ۳۵ کیلومتر در ساعت قرار می‌گیرد.

حداقل شدت سرعت پیشنهادی استاندارد در ساعات اوج و برای انواع مختلف تسهیلات بشرح زیر است:

بزرگراه یا آزاد راه:	۵۵ کیلومتر در ساعت
شریانی اصلی:	۴۰ کیلومتر در ساعت
خیابان جمع آورنده:	۳۲ کیلومتر در ساعت
خیابان محلی:	۱۵ کیلومتر در ساعت

۲- فراوانی تأخیرها برای سفرهای بزرگ شهری در مقدار متوسطی حدود ۱/۵ تا ۲ برابر در کیلومتر، و به اندازه ۶ تا ۸ برابر در کیلومتر مناطق پر ترافیک تجاری بوقوع می‌پیوندد.

۳- تحت شرایط معمولی، مدت یک تأخیر ۱۵ تا ۲۴ ثانیه بوده که از ۶ تا ۳۶ ثانیه متغیر است. تأخیرهای کوتاه مدت معمولاً توسط افراد پیاده و حرکات گردشی (دورزدن) اتفاق می‌افتد، در صورتیکه تأخیرهای طولانی تر توسط چراغ راهنمائی به وقوع می‌پیوندد.

۴- زمان از دست رفته به خاطر تأخیر از ۱۵ تا ۱۶ درصد برای سفرهای شهری و ۳۵ تا ۵۰ درصد برای مناطق تراکم ناحیه مرکزی تجاری تغییر می‌کند. بنابراین زمان حرکت حدود ۸۵ درصد برای سفرهای درون شهری در مسیرهای اطراف و ۵۰ تا ۷۵ درصد در مناطق پرتراکم است.

۵- یک مطالعه از چندین خیابان اصلی و چند خیابان محلی در شهرهای پنسیلوانیا آشکار ساخت که برای تمام موقعیت‌ها، زمانی که تردد کمتر از چگالی بحرانی است در مجموع سرعت متوسط ۲۶/۲ کیلومتر در ساعت، وبرابر با ۱۵/۸ کیلومتر در ساعت برای زمانی که تردد بیشتر از چگالی بحرانی است، بوده است. سرعت متوسط برای شریانی‌های واقع در مناطق میانه ۳۱/۲ کیلومتر در ساعت و سرعت متوسط برای خیابانهای محلی در منطقه میانه ۲۳ مایل در ساعت بود. یک مقایسه از زمانهای سفر در طول خیابانهائی که با سیستم چراغ راهنمائی هماهنگ شده کنترل می‌شود و خیابانهائی که با چراغ راهنمائی غیر هماهنگ کنترل می‌شوند نشان داد که اختلاف مهمی در مقدار سرعت وجود ندارد.

۶- بر اساس مقایسه اطلاعات حاصل از زمان سفر و تأخیر زمان توقف در دو تقاطع با چراغ راهنمائی تأخیر زمان توقف روش رضایت بخشی برای مقایسه در تقاطع‌های چراغدار است. بعلاوه چنین نتیجه شد که وقتی تقاطع‌ها چنان از نظر مکانی مشخص شده‌اند که چراغ راهنمائی آنها را می‌توان برای حرکت پیشرونده زمان بندی نمود، استفاده از زمان بندی هماهنگ شده می‌تواند بطور عمده‌ای تأخیر راکم کند، البته در مقایسه با چراغ راهنمائی با زمان بندی ثابت یا چراغ راهنمائی متغیر که بدون هرگونه هماهنگی در زمانبندی کار می‌کنند.

۷- یک مطالعه مقایسه‌ای برای انواع مختلف وسائل کنترل ترافیک شامل دو تابلو ایست، چهار تابلو ایست، چراغ راهنمائی متغیر و چراغ راهنمائی با زمان ثابت (هماهنگ نشده) در تقاطع‌هائی که در مناطق مختلف قرار داشتند انجام شد. در مناطق حاشیه شهر تمام تأخیری که توسط ابزارهای مختلف کنترل ایجاد می‌شود به ترتیب نزولی عبارتند از چهار تابلو ایست، چراغ راهنمائی با زمان ثابت، چراغ راهنمائی متغیر و دو تابلو ایست. در مناطق شهری مجموع تأخیر ایجاد شده با انواع مختلف ابزار کنترل به ترتیب نزولی عبارتند از: چراغ راهنمائی با زمان ثابت، چهار تابلو ایست، چراغ راهنمائی متغیر.

۸- یک مطالعه از تاثیرات برقراری خط مخصوص گردش به چپ و چراغهای راهنما در تقاطع‌های با حجم زیاد خودروهائی که قصد گردش به چپ دارند نشان داده است که با افزایش ایمنی و ظرفیت، متوسط تأخیر بر وسیله نقلیه برای گردش به چپ و مستقم نیز افزایش پیدا می‌کند تأخیر در ساعت اوج در بیشتر تقاطع‌هائی که مورد مطالعه بودند بیش از ۱۰۰ درصد افزایش یافت.

۹- یک مطالعه از اثرات شدت مانوروهای پارکینگ بر تأخیر در یک خیابان شهری، نشان داد که این عامل تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. مطالعه نشان داد که سطح سرویس حاکم تاثیر زیادی بر درصد خودروهائی که دارای تأخیر هستند می‌گذارد.

۱۰- تحلیل‌های چند متغیره، از سرعت‌های سفر و تأخیرها در یک جاده دو خطه منجر به توسعه معادلات برگشتی خطی گردید تا بتوان سرعتهای متوسط سفر و تأخیرها را پیش بینی نمود. برای قسمتهائی که دارای جریان غیر منقطع هستند (محل‌هائی که جریان ترافیک در تقاطع‌ها توسط چراغهای راهنمائی و تابلوها کنترل نمی‌شود) معادله زیر بعنوان رابطه اساسی برای تخمین سرعت کلی سفر انتخاب گردید.

$$V = ۱۱۰/۴۵ - ۰/۷۳۱۱x_1 - ۰/۲۸۵۸x_2 - ۰/۱۶۲۱x_3 - ٪۲۴۱x_4 - ۰/۰۴۸۵x_5$$

که در آن:

V_1 = سرعت کلی متوسط سفر بر حسب کیلومتر در ساعت

x_1 = تعداد خیابانهای متقاطع در هر دو سمت بر حسب تعداد در کیلومتر

x_2 = تاسیسات تجاری در دو طرف بر حسب تعداد در کیلومتر

x_3 = قسمتی از طول که در آن سبقت مجاز نیست بر حسب درصد

x_4 = ظرفیت عملی بر حسب وسیله نقلیه در ساعت

x_5 = حجم کل ترافیک بر حسب وسیله نقلیه در ۱۵ دقیقه

باید توجه کرد که تمام متغیرهای پنجگانه با علامت منفی با سرعت سفر در ارتباط هستند. برای قسمتهائی که دارای جریان منقطع هستند (تقاطع‌هائی با چراغ راهنمائی) معادلات زیر برای سرعت سفر و تأخیر در قسمتی از طول برابر با ۳۰۰ متر بدست آمده است (۱۵۰ متر قبل و ۱۵۰ متر بعد از تقاطع).

$$V_2 = ۴۶/۰۴ - ٪۶۷۱x_6 - ۰/۳۴۱x_7 - ٪۱۹۳x_8 - ٪۲۷۴x_9 - ۴۷/۴۶۳x_{10}$$

که در آن:

V_2 = سرعت کلی متوسط سفر بر حسب کیلومتر در ساعت

x_6 = شیب جبری متوسط رویکرد تقاطع بر حسب درصد

x_7 = طول زمان سیکل چراغ راهنمائی بر حسب ثانیه

x_8 = حجم ترافیکی که با تقاطع نزدیک می‌شود و در جهت ترافیک و بر حسب تعداد خودرو در ۱۵ دقیقه

x_9 = کل حجم ترافیکی که به تقاطع در تمام چهار جهت وارد می‌شوند بر حسب تعداد خودرو در ۱۵ دقیقه

x_{10} = نسبت زمان سبز به کل زمان چرخه

باید توجه شود که خودرو آزمایش ضرورتاً در تمام تقاطع‌هائی که دارای چراغ راهنمائی هستند متوقف نگشته و تمام متغیرها غیر از نسبت سبز به کل زمان چرخه با علامت منفی با سرعت سفر ارتباط دارند.

$$D = ۱۱/۹۵۱ - ۰/۰۱۳۵x_8 + ۰/۰۰۱۶x_{11} + ۰/۲۲۹۹x_7 + ۰/۰۱۶۸x_9 - ۳۵/۷۹۴x_{10}$$

که در آن:

D = تأخیر متوسط سفر بر حسب ثانیه

x_{11} = طول آن قسمت از رویکرد خاص خط عبور برای دور زدن بر حسب متر

x_7، x_8، x_9، x_{10} = در بالا تعریف شده‌اند.

تاثیر متغیرهائی که در دو معادله فوق مشترک هستند بر این اساس است که هر عاملی که باعث کاهش سرعت سفر شود زمان تأخیر را افزایش می‌دهد. معادله تأخیر نشان می‌دهد که تأخیر بطور مستقیم به طول محل نزدیک شدن به خط عبور گردشی بستگی دارد و این عکس نتیجه‌ای است که انتظارش می‌رود. طول محل نزدیک شدن، به هرحال، به تقاطع پر حجم ارتباط دارد که شامل تعداد زیادی از حرکات گردشی است. این شرایط به افزایش تأخیر کمک کرده است.

خصوصیات سرعت نقطه‌ای را در فصل ۸ برای پی بردن بیشتر به خصوصیات زمان سفر و تأخیر ملاحظه فرمائید.

فصل ۸
مطالعات سرعت نقطه‌ای

مطالعه سرعت نقطه‌ای عبارتست از مطالعه سرعت ترافیک در یک نقطه از مسیر ترافیکی. این سرعت شامل یک سری یا یک نمونه از مشاهدات سرعتهای منفرد است که با آن خودروها به تقاطع می‌رسند یا از نقطه‌ای در محلی غیر از تقاطع عبور می‌کنند. این مشاهدات برای برآورد توزیع سرعت کل جریان ترافیکی در آن محل تحت شرایط حاکم در زمان مطالعه، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کاربردهای اطلاعات سرعت نقطه‌ای

سرعت یک عامل مهم در تمام انواع سیستمهای حمل و نقل است و معیار اساسی برای اندازه‌گیری عملکرد یک سیستم ترافیکی است. اطلاعات سرعت نقطه‌ای موارد کاربرد بسیار زیادی دارد:

۱- برای تعیین روند سرعتهای عملکردی انواع مختلف وسائل نقلیه که از اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق نمونه برداری دوره‌ای در محلهای منتخب بدست می‌آید.

۲- برای سرعت در محلهائی که مشکل وجود دارد، تعیین این مطلب که آیا سرعتها خیلی زیاد هستند و اینکه آیا شکایات رسیده موجه هستند یا خیر.

۳- برای عملکرد ترافیک (مقررات و کنترل)

الف - برقرار کردن حدود سرعت.

ب - تعیین سرعت ایمن در قوسها و رویکردهای یک تقاطع

ج - برقرار کردن محدوده سبقت ممنوع در قسمتی از طول یک جاده

د - تعیین محل تابلوهای ترافیکی

هـ تعیین محل و زمانبندی چراغهای راهنمائی

و- محافظت از محدوده مدرسه

ز- برقرار کردن محدوده‌های سرعت

۴- برای تحلیل تصادفات، تعیین ارتباط بین سرعت و تصادف که برداشتن گامهای اصلاحی را میسر می‌سازد

۵- برای مطالعات قبل و بعد در ارزیابی میزان و تاثیر تغییرات انجام شده در ابزار کنترل و شرایط

۶- برای خصوصیات طرح هندسی

الف - در طراحی سرعت را ثابت فرض می‌کنند و ارزیابی اثرات توزیع سرعت واقعی بر خصوصیات طرح اهمیت دارد.

ب - طول خطوط تعیر سرعت، مقدار انحناء، بربلندی، و مسافت دید مستقیماً به سرعت بستگی داشته و با آن تغییر می‌کنند.

۷- برای ارزیابی ظرفیت در ارتباط با سرعتهای مطلوب اگر تمام خودروها با یک سرعت حرکت کنند ظرفیت در مقدار ماکزیمم قرار گرفته و انواع خاصی از تصادفات مانند تصادفات ناشی از سبقت و از عقب زدن به خودرو از میان می‌رود.

۸- بعنوان کمک به اعمال مقررات

الف - تعیین تاثیرات عملیات مربوط به کنترل سرعت

ب - تعیین تاثیر تغییرات در برنامه‌های اعمال مقررات

۹- مطالعات تحقیقاتی

تعاریف

سرعت: شدت حرکت یک خودروکه معمولاً بر حسب کیلومتر در ساعت بیان می شود.

سرعت متوسط نقطه‌ای: متوسط ریاضی سرعتهای تمام ترافیک یا جزئی از آن در نقطه معین.

زمان سفر کلی: زمانی که سفر طول می‌کشد، که شامل توقف‌هاوتاخیرهاست. (غیر از آنهائی که در مسیرسفر حرکت

نمی‌کنند).

زمان حرکت: زمانی که خودرو در حرکت است.

سرعت کلی سفر: سرعت در قسمتی مشخص از جاده یعنی مسافتی که به زمان سفر کلی تقسیم شده‌است. متوسط برای تمام ترافیک، یا جزئی از آن، عبارتست از مجموع فواصل تقسیم بر مجموع زمان کلی سفر.

سرعت حرکت: سرعت در قسمتی مشخص از راه که عبارتست از مسافت تقسیم بر کل زمان حرکت.

سرعت طراحی: سرعتی که برای طرح تعیین می‌شود و با عوامل فیزیکی راه مرتبط است یعنی بر عملکرد خودرو موثر می‌باشد. عبارتست‌از سرعت ماگزیمم ایمنی که بتوان در طول قسمت مشخصی از راه برقرار نمود، البته زمانیکه مشخصه‌های طراحی کنترل کننده باشند.

سرعت ۸۵ درصد: سرعتی که زیر آن ۸۵ درصد کل ترافیک سفر می‌کنند و بالای آن فقط ۱۵ درصد ترافیک در حال سفراند.

سرعت متوسط ریاضی یا سرعت متوسط زمانی: سرعتی که از تقسیم مجموع تمام مقادیر به تعداد مشاهدات حاصل می‌شود.

سرعت میانه: سرعتی که با مقدار میانی بیان شود وقتی که تمام مقادیر سرعت به ترتیب صعودی مرتب شده‌باشند. نصف سرعت‌ها در بالا و نصف دیگر در زیر سرعت میانه قرار می‌گیرند.

سرعت‌نما: مقدار سرعتی که اغلب اوقات اتفاق می‌افتد. در توزیع فراوانی سرعت‌ها که در مطالعه سرعت حاصل می‌شود، سرعت‌نما سرعتی است که بالاترین فراوانی را داشته باشد.

سرعت عملکردی: بیشترین سرعت کلی است که توقف‌ها را شامل نمی‌شود، و با این سرعت راننده می‌تواند در یک جاده مشخص، تحت شرایط حاکم و بدون اینکه سرعتش در هیچ زمانی از سرعت طرح بیشتر شود، سفر کند.

محل‌هائی که مطالعات سرعت نقطه‌ای در آنجا باید انجام شود.

۱- محل‌های روند:

الف- قسمت‌های مستقیم، هموار و باز راه‌های برون شهری.

ب - قسمت‌های بین تقاطع‌ها در خیابانهای شهری.

۲- محلهای مشکل‌دار برای مقاصد خاص

الف - محلهائی با فراوانی تصادف بالا.

ب - در نقاطی که نصب چراغ راهنمائی و علائم ترافیکی مورد نظر باشد.

ج - محلهای دیگری که برای عملیات ترافیکی اهمیت دارند.

۳- محلهای نمونه برای کسب اطلاعات پایه‌ای.

۴- محلهایئی که مطالعات قبل و بعد در آنجا اجرا می‌شود.

۵- محل مطالعات سرعت باید بنحوی انتخاب شود که تاثیرات منفی شخص آمارگیر و ابزار اندازه‌گیری را کاهش دهد.

الف - وسائل برای راننده‌ای که به نقطه اندازه‌گیری می‌رسد بایستی پنهان و نامحسوس باشد.

ب - ضبط اطلاعات باید به قدر ممکن نامحسوس باشد.

ج - از جمع شدن افراد تماشاگر باید جلوگیری شود.

عواملی که در سرعت نقطه‌ای تاثیر دارند

۱- راننده - شامل طول سفرش، تعداد مسافرانی که دارد، جنسیت او، سن، محل اقامت (حومه شهر) اهل داخل یا خارج استان و وضعیت تاهل.

۲- خودرو - شامل نوع، قدمت، وزن، کارخانه سازنده و قدرت اسب بخار.

۳- جاده - شامل موقعیت جغرافیائی، نوع، قوس، طول شیب، فاصله دید، تعداد خط عبور، فاصله مانع کناری، فراوانی و فواصل تقاطع‌ها، و توسعه کنار جاده.

۴- ترافیک - شامل حجم، چگالی، مانورهای سبقت، ترافیک مقابل، کنترل دسترسی، ابزار کنترل ترافیک، مقررات سرعت و انواع خودروها.

۵- محیط زیست - شامل زمان، روز، ماه، فصل و آب و هوا.

زمان و طول مطالعه

توصیه شده‌است که مطالعه درطول ساعت غیراوج به سه قسمت تقسیم شود و مشاهدات برای یک ساعت و تعدادی نه کمتر از ۵۰ خودرو در هر زمان انجام گیرد.

۱- یک ساعت بین: ۹ و ۱۲ صبح

۲- یک ساعت بین: ۳ و ۶ بعداز ظهر

۳- یک ساعت بین: ۸ و ۱۰ بعداز ظهر

نمونه‌های آماری کافی باید بدست آید و تاثیر حجم بر سرعت در نظر گرفته شود. اگر قرار باشد نتایج قابل مقایسه‌ای برای مطالعات روند، مطالعات قبل و بعد و مطالعات خصوصیات بدست آید باید شرایط مشابه وجود داشته‌باشد.

روش‌های انجام مطالعات سرعت نقطه‌ای

دو روش اساسی بکار گرفته شده‌است: یک روش شامل اندازه‌گیری زمان و مسافت است و دیگری از اصل داپلر استفاده می‌کند. روش زمان در مقابل فاصله اندازه‌گیری شده بیشتر بکار گرفته می‌شود. این روش عبارتست از اندازه‌گیری زمان لازم برای اینکه یک خودرو مسیر اندازه‌گیری شده‌ای را طی کند. ابزارهای مختلفی برای اندازه‌گیری زمان وجود دارد. مسیر در نظر

گرفته‌شده در محل مورد مطالعه پیاده می‌شود. وقتی ابزار دستی از قبیل کورنومتر مورد استفاده قرار گیرد طول مسیر را ضریبی از ۱۶/۶۷ متر در نظر می‌گیرند تا اینکه بتوان سرعت را براحتی برحسب کیلومتر بر ساعت بیان نمود.

برای مثال برای طول مسیری برابر ۱۶۶۷ متر و زمان سفر ۳ دقیقه سرعت برابر است با $\frac{۱۰۰}{۳} = ۳۳/۳$ کیلومتر در ساعت، چون ۱۶/۶۷ متر در دقیقه برابر ۱ کیلومتر در ساعت است.

بنابراین برای بدست آوردن سرعت برحسب کیلومتر در ساعت کافی است که ضریب ۱۶/۶۷ را بر تعداد دقیقه‌هائی که طول می‌کشد تا طول مسیر را طی کند تقسیم نمود. طول مسیر به سرعت متوسط و نوع موقعیت محلی که در دست مطالعه می‌باشد بستگی دارد. طول‌های کوتاه معمولاً برای رویکردهای تقاطع‌ها، و مسیرهای طولانی برای موقعیت‌های دیگر که سرعت نسبتاً مقدار ثابتی است مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روشهای اندازه‌گیری زمان روی مسافت مشخص

روشهای کورنومتری

علامت‌گذاری رویه. این روش شامل استفاده از علامت‌گذاری عرضی است که در دو انتهای مسیر انجام می‌شود. و مشاهده کننده کورنومتر را زمانی که خودرو از علامت‌ها می‌گذرد شروع و متوقف می‌کند.

مزایا: در وحله اول حداقل زمان برای برپائی مطالعه مورد نیاز است برای مطالعات بعدی به کار اضافی چندان نیازی نیست. روش قابل انعطاف است و نیازی به هزینه‌های نگهداری ندارد. علامت‌گذاری را می‌توان به راحتی تکرار کرد. با در نظر گرفتن اینکه شخص آمارگیر قادر است خود را بطور نامحسوسی در محل مستقر کند، رفتار رانندگان زیاد تحت تاثیر نخواهد بود چون علامت‌گذاری برای مدت طولانی در محل قرار خواهد داشت.

معایب: ممکن است خطای زیادی بعلت پارالاکس در مشاهدات ایجاد شود. شدت این اشتباه بیشتر مربوط به موقعیت مشاهده کننده است. نقطه‌ای برتر و نامحسوس همیشه نقطه‌ای نیست که خطای پارالاکس را به حداقل برساند. منبع دیگر خطا اختلاف در زمان عکس‌العمل بین افراد مشاهده کننده می‌باشد. این روش برای مطالعات جامع و مداوم مناسب نیست زیرا دارای عوامل انسانی و هزینه پرسنلی سنگینی است. این روش از نظر دقت دارای محدودیت است و به یک نمونه برداری سیستماتیک نیاز دارد، چون حدود مشاهدات عملی بین ۵ تا ۱۰ مشاهده در دقیقه است.

جعبه آینه. روش دیگر شامل استفاده از یک جعبه آینه (انوسکوب) در یک یا دو انتهای مسیر برای آسان کردن برداشتها به هنگام ورود و خروج از مسیر است. جعبه آینه جعبه‌ای L شکل است که دو انتهای آن باز بوده و یک آئینه در داخل آن به زاویه ۴۵ درجه نسبت به بازوهای دستگاه قرار گرفته است. این وسیله خط دید مشاهده‌گر را بنحوی تغییر می‌دهد که عمود بر مسیر خودرو در محدوده‌های مسیر اندازه‌گیری شده قرار می‌گیرد. اگر از یک جعبه آئینه استفاده شود، مشاهده‌گر در یک انتهای مسیر اندازه‌گیری شده قرار می‌گیرد در حالی که دستگاه دوم در انتهای دیگر قرار دارد. برای مشاهده‌گر ساده‌تر است که خط دید خودش را نسبت به یک میله یا درختی که در طرف مقابل قرار دارد تنظیم کند و با آماده داشتن کورنومتر، در لحظه‌ای که خودرو خط دید را می‌شکند دکمه آنرا فشار دهد. وقتی که یک خودرو از مقابل جعبه آینه عبور می‌کند انعکاس آن روی دستگاه برای مشاهده‌گر قابل رویت می‌شود، در این لحظه کورونومتر شروع می‌شود. وقتی که خودرو از خط دید مشاهده‌گر عبور می‌کند متوقف می‌شود. اگر دو دستگاه جعبه آینه مورد استفاده قرار گیرد مشاهده‌گر محل خود را بین آن دو قرار می‌دهد. این وسیله را همچنین می‌توان در شب با قرار دادن یک منبع نور در سمت دیگر جاده، بنحوی که به آئینه جعبه آینه نور بتابد، مورد استفاده قرار داد.

مزایا: خطای ناشی از پارالاکس در تعیین دقیق زمانی که خودرو از دو انتهای مسیر عبور می‌کند، حذف می‌شود. روش انعطاف‌پذیر است. وسیله ارزان و ساده، نصب و راه‌اندازی آن راحت و نسبتاً قابل اعتماد است.

معایب: وقت قابل ملاحظه‌ای مورد نیاز است تا بتوان زمان یک خودرو را اندازه‌گیری کرد، که می‌تواند درصد کل ترافیک قابل اندازه‌گیری را کاهش دهد. بنابراین روش مزبور برای حجم ترافیک سنگین و چند خط عبور رضایت بخش نبوده، ولی برای جاده‌های با حجم کم مناسب است.

این روش برای مطالعات مداوم و طولانی مدت مناسب نیست زیرا هزینه پرسنلی بالاست و خصوصیات انسانی در آن تاثیر دارد. به سختی می‌توان انوسکوب را از ترافیک عبوری پنهان ساخت، و این می‌تواند در نتایج بدست آمده موثر باشد.

روش‌هائی که از لوله‌های هوای فشرده استفاده می‌شود

حدود طول اندازه‌گیری شده با استفاده از لوله‌های لاستیکی قابل ارتجاع که در جهت عمود بر حرکت خودروها بر روی روسازی نصب شده‌است، مشخص می‌شود. هر خودروئی که از روی لوله عبور نماید با فشار آوردن به آن هوای داخل لوله را

فشرده نموده که این عمل کلید بادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این کلیدها مکانیزم اندازه‌گیری زمان را به کار آنداخته و در نتیجه زمان عبور از میان دو لوله اندازه‌گیری می‌شود.

لوله‌های باد دارای قیمت اولیه ارزان، نصب آسان و سهولت در نگهداری بوده ولی به علت ایجاد برآمدگی و برجستگی بر روی سطح جاده باعث تغییر رفتار رانندگان و در نتیجه اختلال در توزیع سرعت وسائط نقلیه خواهند شد. بعلاوه در معرض خطرات ناشی از عبور ترافیک نیز هستند.

سرعت سنج. یک نوع از ادوات زمان‌سنج که به همراه لوله‌های باد مورد استفاده واقع می‌شود ساعت سرعت سنج است. این زمان‌سنج دارای ساعتی است که بوسیله یک سلونوئید که به لوله باد متصل است فعال می‌شود. مقیاس سرعت بر روی صفحه سرعت سنج در مقابل زمان‌های مشخصی کالیبره شده‌است. قرائت سرعت تا زمانی که زمان‌سنج مجدداً صفر (تنظیم مجدد) نشده‌است ادامه می‌یابد.

مزایا: خطای انسانی کاهش یافته و کاربرد آن آسان است.

معایب: نیاز به لوله‌های باد سرعت سنج است و همچنین برای مطالعات مداوام و با حجم بالا مناسب نیست.

ثبات ترسیمی ۲۰ قلمی. این وسیله نیز نوع دیگری از دستگاههای زمان سنج است که همراه با لوله‌های باد قابل استفاده است. وسیله مزبور تا حدود ۲۰ نوع اطلاعات را برروی یک کاغذ که با سرعت ثابتی حرکت می‌کند ثبت می‌نماید. سرعت وسائل نقلیه با استفاده از فاصله‌ای که بین دو لرزش قلم، اعمال شده بوسیله لوله باد که بر روس کاغذ ثبت شده‌است، اندازه‌گیری می‌شود. امکان جداسازی اطلاعات برای خطوط و جهت‌های مختلف وجود دارد. بطور مثال، یک سری از مسیرهای مجاور را می‌توان در نزدیکی تقاطع‌ها برای بدست آوردن فاصله زمانی بین وسائل نقلیه و نیز محل‌های شتاب‌گیری و تقلیل سرعت، و اطلاعات مشابه مورد استفاده قرار داد. این وسیله اصولاً جهت مطالعات تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مزایا: در این روش اطلاعات مربوط به هر وسیله نقلیه بطور دائم ضبط می‌گردد. بنابراین اطلاعات جامعی در این خصوص در دسترس خواهد بود.

معایب: نیاز به استفاده از لوله‌های باد است، چنانچه قلم‌ها بطور دستی بکار انداخته شوند ممکن است دارای خطاهای انسانی بسیار زیاد باشند. وسیله مزبور بسیار گران قیمت است و کاهش و کسب اطلاعات خسته کننده و زمان‌بر است.

سرعت سنج الکتریکی. این وسیله در واقع یک ساعت الکتریکی است. مکانیزم زمان سنجی این سیستم یک موتور با سرعت ثابت است که بطور مداوم حرکت می‌کند. موج‌هائی که از طرف کلیدهای بادی دریافت می‌گردد یک کلاچ الکتریکی را که به محور موتور متصل است درگیر و یا خلاص می‌نماید. محور مزبور به یک سوزن شاخص که در صفحه ساعت است متصل می‌باشد. سرعت‌ها از روی صفحه سرعت سنج قرائت می‌شوند. این صفحه به صورت دستی قابل تنظیم شدن است تا سرعت وسیله نقلیه بعدی کنترل گردد.

مزایا: خطاهای انسانی کاهش یافته و کاربرد آن برای ترافیک سبک آسان است.

معایب: نیاز به استفاده از لوله‌های باد بوده و برای مطالعات مداوم و ترافیک با حجم زیاد مناسب نیست. تغییرات کم ولتاژ موجب ایجاد عدم دقت در دستگاه شده و کالیبره کردن مجدد آن مشکل است.

دستگاه سنجش الکترونیکی. این وسیله یک نوع دیگر از دستگاههای زمان سنجی است که با استفاده از لوله‌های باد کاربرد دارد. زمان سنجی این سیستم از طریق تخلیه الکتریکی یک مدار کالیبره شده صورت می‌پذیرد. یک خازن الکتریکی دقیق با ولتاژ مشخص توسط باطری شارژ شده و موج اعمال شده از لوله اول باعث شروع تخلیه الکتریکی خازن مزبور شده و موج دوم ناشی از لوله دوم موجب توقف تخلیه الکتریکی می‌گردد. ولتاژ باقیمانده در داخل خازن متناسب با سرعت وسائل نقلیه بوده و سرع وسیله نقلیه عبوری مستقیماً از روی آن به صورت مایل در ساعت قرائت می‌شود. این سرعت باید سریعاً قرائت شده و دستگاه برای قرائت بعدی تنظیم گردد.

مزایا: در این روش طول مسیرهای کوتاه قابل استفاده می‌باشند که این مورد اجازه زمان سنجی تک‌تک وسائل نقلیه را در حجم زیاد امکان‌پذیر می‌سازد. طول این مسیرها معمولاً ۱۱ فوت است. قیمت اولیه آن نسبتاً ارزان بوده و به نگهداری و تعمیرات اندکی نیازمند است.

معایب: استفاده از لوله‌های بادی ضرروی بوده و زمان سنج و سرعت سنج مربوطه نسبت به تغییرات درجه حرارت و رطوبت محیط حساس است. قرائت صفحه بصورت مداوم نبوده و باید برای هر وسیله عبوری مجدداً تنظیم گردد.

سرعت‌سنج الکترونیکی اعشاری. این دستگاه هم با کلیدهای اتصال الکتریکی و هم با لوله‌های باد قابل استفاده‌است. شناسگرهای تماس در ابتدا و انتهای مسیر اندازه‌گیری شده نصب

گردیده و طوری ساخته شده‌اند که به محض عبور وزن محور وسیله نقلیه‌ای از روی شناسگرهای نصب شده برروی جاده امواج به زمان سنج منتقل می‌شود. این شناسگرهای نصب شده نسبت به لوله‌های باد این برتری را دارا هستند که نیازمند استفاده از کلیدهای بادی برای انتقال جریان نمی‌باشند. زمان سنجی این سیستم با استفاده از یک دستگاه الکترونیکی که بطور مداوم یک اسیلاتور را فعال می‌سازد انجام می‌شود. زمان‌های مورد نیاز زمان‌سنج از طریق موج‌های مکرر در هر $\frac{1}{100}$ و $\frac{1}{1000}$ ثانیه تامین می‌شود. هنگامیکه وسیله نقلیه‌ای از روی شناسگر اول عبور کند یک دریچه الکترونیکی باز شده و بمحض عبور از شناسگر دوم دریچه مزبور بسته خواهد شد. زمان سفر وسیله نقلیه‌ای که از این محل عبور می‌نماید با استفاده از درجه‌ای که برروی دستگاه‌ها نصب شده‌است تعیین شده و یا ارقام قرائت شده بطور الکترونیکی به یک دستگاه ثبت اتوماتیک منتقل می‌گردد. دستگاه مزبور جهت عبور وسیله نقلیه بعدی باید مجدداً تنظیم گردد.

مزایا: خروجی این سیستم برای ضبط اتوماتیک و دیجیتال مناسب می‌باشد. این سیستم تعمیرات حداقل را در محل نیاز داشته و قابل قبول است.

معایب: خروجی این سیستم زمان سفر وسیله نقلیه را تعیین نموده و برای بدست آوردن سرعت باید محاسباتی را انجام داد. هزینه اولیه آن نیز زیاد است.

تحلیل ترافیکی توسط *BPR* و با استفاده از وسایل الکترونیک و مکانیکی ساخته شده‌است. این دستگاه قادر است نه تنها سرعت در هر خط عبور را اندازه‌گیری نماید بلکه حجم ترافیک، فواصل عبور، محل خط و تاثیرات عوامل و پارامترهای مختلف طراحی راه در عملکرد آن را نیز اندازه‌گیری نماید. تحلیل‌گر ترافیکی بر روی یک کامیون سبک تعبیه شده‌است. شناساگرهای سرعت به فواصل ۱۲ تا ۳۶ فوت از یکدیگر قرار می‌گیرند. این شناسگرها از نوع لوله‌های باد یا تسمه‌های تماس هستند. وسیله زمان‌سنجی سیستم یک زمان‌سنج الکترونیکی است.

شناسگرهای چند پارامتری. شناسگرهای مغناطیسی حلقوی بطور بسیار موفقیت‌آمیزی در ارتباط با داده پردازی کامپیوتری جهت بدست آوردن پارامترهای مختلف ترافیکی نظیر سرعت، حجم ترافیک، فاصله عبور، زمان عبور، طول وسائل نقلیه و تغییر خط مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

یک دستگاه اسیلاتور با کنترل کریستالی به حلقه‌هایی که در آخرین قشر روسازی و یا برروی آن نصب شده است متصل است و یک حلقه القائی را بوجود می‌آورد. وقتی که محور جلوی یک وسیله نقلیه از روی این حلقه عبور می‌نماید موجب تغییر ولتاژ عبوری از مدار می‌شود که این عمل یک رله را متاثر می‌سازد. وقتی که محور عقب وسیله نقلیه از روی مدار عبور می‌کند رله مزبور مجدداً بحالت اولیه باز می‌گردد. مدت زمان بین باز و بسته شدن رله تناسب مستقیم با طول وسیله نقلیه و تناسب معکوس با سرعت آن دارد. طول و سرعت وسیله نقلیه عبوری بااستفاده از یک تقسیم طول آن بر مدت زمان باز و بسته شدن رله قابل محاسبه است. جهت بدست آوردن طول و سرعت وسائل نقلیه عبوری می‌بایستی از دو حلقه مغناطیسی بهره گرفت. فرض می‌کنیم یک وسیله نقلیه بطول L از دو حلقه با طول d که به فاصله D از یکدیگر نصب شده‌اند با سرعت ثابت (V) عبور می‌نماید. میدان مغناطیسی در مجاورت حلقه مزبور اندکی گسترش می‌یابد و طول موثر میدان (d')بستگی به حساسیت شناسگرهای نصب شده دارد. هر کدام از دو شناسگر تعبیه شده موجی را القاء می‌نمایند. و تاخیر زمانی ایجاد شده بین دو موج Δt می‌باشد.

$$V = \frac{D}{\Delta t} \qquad (۸-۱)$$

پهنای موج (T) زمان مورد لزوم برای عبور وسیله نقلیه‌ای است که میدان مغناطیسی (d') را در طول کامل آن (L) طی می‌نماید. بنابراین:

$$T = \frac{d' + L}{V} \qquad (۸-۲)$$

$$L = \frac{D}{\Delta t} T - d'$$

طول موج‌ها بر روی یک نوار مغناطیسی ضبط شده و یک برنامه کامپیوتری مستقیماً پردازش اطلاعات دریافتی را جهت تعیین پارامترهای ترافیکی عهده‌دار است.

شناسگرهای حلقه‌ای باید کالیبره شوند، چنانچه حلقه نصب شده در نزدیکی یک توده فلزی باشد ممکن است خطاهائی پیش آید. عبور وسائل نقلیه چند محوره امواج بیشتری را ایجاد نموده و بنظر می‌رسد چند وسیله مجزا عبور نموده‌است. این خطا هنگامی که وسائط نقلیه نزدیک به هم بوده و قطاری از خودروها پشت سریکدیگر تشکیل شود نیز اتفاق می‌افتد.

روش‌های عکسبرداری

روش عکسبرداری بااستفاده از فاصله و زمان، همانند تمامی روشهای فوق برای تعیین سرعت لحظه‌ای (نقطه‌ای) بکار گرفته می‌شود. در این روش بجای انواع زمان‌سنج‌ها و درجه‌ها از فیلم و دوربین عکاسی استفاده شده و به بعضی مطالعات تحقیقاتی

محدوده می‌گردد.

عکسبرداری با فواصل زمانی معین. در این روش به یک دوربین که عکسهای متحرک تهیه می‌کند، مانند دوربین‌های فیلمبرداری، که به یک مکانیزم تنظیم زمان مجهز بوده (این مکانیزم باید طوری باشد که در یک فاصله زمانی مشخص فقط یک عکس از سوژه تهیه نماید) و دارای دستگاه شماره‌گذار نیاز است.

وقتی که فیلم تهیه شده ظاهر شد با نمایش آن بر روی پرده حرکات وسائل نقلیه درطول جاده به راحتی و سریعاً در دسترس خواهد بود. سرعت لحظه‌ای برابر است با طول یا فاصله‌ای که وسیله نقلیه در دو عکس متوالی طی نموده‌است تقسیم بر فاصله زمانی بین آن دو عکس متوالی.

مزایا: در این روش اطلاعات دائمی در مورد خصوصیات جریان ترافیک بمنظور دستیابی به اطلاعاتی در زمینه سرعت، حجم، نوع (طبقه‌بندی) وسائل نقلیه عبوری، فواصل زمانی بین آنها و مانورهای جانبی و تغییر خط وسائل نقلیه ضبط خواهد شد.

معایب: این روش برای مطالعاتی که باید ممتد باشند مناسب نیست. در بسیاری از موارد نیاز است که دوربین در یک موضع و محل بلندی مستقر گردد. امکان بسیاری وجود دارد که دوربین و سایر وسائل جانبی آن خطای عملیاتی داشته باشند. تحلیل این روش بسیار وقت‌گیر است و نیاز به زمان زیادی دارد و حتماً پس از زمان خاصی قابل دسترسی است زیرا فیلم تهیه شده باید ابتدا ظاهر شده سپس قابل بهره‌برداری گردد.

عکسبرداری نواری ممتد. این روش عکسبرداری نواری ممتد توسط هواپیما از منطقه‌ای که باید مورد مطالعه قرار گیرد را شامل می‌شود. بر اساس اصول عکسبرداری هوائی روابط ریاضی خاصی جهت تعیین اطلاعات مربوط به سرعت، حجم و سایر ویژگیهای ترافیکی مسیر مورد مطالعه تدوین شده‌است.

سرعت سنج‌هائی که بر اساس اصل داپلر قرار دارند

این وسایل سنجش رادار و وسایل مافوق صوت هستند و موج راداری یا صوتی با فرکانس مشخص را به سمت وسائل نقلیه عبوری می‌فرستند. موج منعکس شده تغییر فرکانس داده و به دستگاه فرستنده باز می‌گردد، اختلاف بین دو فرکانس ارسالی و دریافتی متناسب با سرعت وسیله نقلیه عبوری است.

سرعت‌سنج راداری. این وسایل بر اساس اصل داپلر عمل می‌نمایند که سرعت یک هدف متحرک متناسب است با تغییر فرکانس موج رادیوئی ارسالی و انعکاس آن. این وسیله اختلاف فرکانس ایجاد شده را اندازه‌گیری نموده و آن را به سرعت (مایل در ساعت) تبدیل می‌نماید. بسیاری از این وسایل راداری طوری طراحی شده‌اند که می‌توان وسایل ثبات گرافیکی را برای ضبط دائمی نیز به آنها متصل نمود. دقت اندازه‌گیری این وسیله ۲+ مایل در ساعت در سرعت یکصد مایل در ساعت است. این وسیله باید طوری نصب و تنظیم شود که زاویه بین مسیر حرکت وسیله نقلیه عبوری و خط مستقیم بین دستگاه و وسیله نقلیه در حداقل ممکن باشد. رادارها باید در نزدیکترین محل به مسیر حرکت وسائل نقلیه نصب گردند. وقتی که بین موج ارسالی و انعکاس یافته زاویه‌ای وجود داشته باشد خطائی در قرائت سرعت رخ می‌دهد که در اکثر مواقع این قرائت کمتر از مقدار واقعی سرعت وسیله نقلیه است. مقدار خطای بوجود آمده نسبت مستقیم با کسینوس زاویه مزبور دارد و مقدار آن هم زیاد نیست. کسینوس زاویه معمولاً نزدیک به یک خواهد بود، مگر در مورد زوایای بسیار بزرگ. بطور مثال زاویه‌ای معادل ۱۵ درجه خطائی به میزان ۳/۵ درصد ایجاد خواهد نمود. دستگاه رادار می‌بایستی در لبه کناری جاده و با زاویه‌ای حدود ۱۵ درجه نسبت به خط میانی جاده تعبیه گردد. در این وضعیت رادار سرعت وسائل نقلیه را در هر جهت و در دو یا سه خط عبور مجاور نشان می‌دهد.

مزایا: در این روش لوله‌های باد نیاز نیست. دستگاه به سادگی در محل تعبیه شده و بهره‌برداری از آن آغاز خواهد شد و هیچگونه مزاحمتی برای وسائط نقلیه عبوری و رانندگان ندارد.

معایب: از آنجا که این سیستم بااستفاده از امواج رادیوئی کار می‌کند می‌بایستی مجوزهای لازم اخذ شود. دقت آن برای تمام مطالعات سرعت کافی نمی‌باشد، جهت برطرف نمودن این مشکل می‌بایستی دستگاه بطور صحیح کالیبره و تنظیم گردد. دقت ذاتی رادار نتایج بهتری را نسبت به سایر دستگاههای اندازه‌گیری نشان می‌دهد. بهر حال، مشکل است که یک وسیله نقلیه خاص را در ترافیک سنگین و یا جاده‌ای چند خطه تشخیص داده و تحت مطالعه قرار داد.

سرعت سنج مافوق صوت. این وسیله نیز براساس اصول داپلر استوار است. در این وسیله ابتدا یک نواری صوتی با انرژی زیاد به وسیله نقلیه نزدیک شونده فرستاده شده که در برگشت فرکانس آن توسط حرکت وسیله نقلیه تغییر کرده و منعکس می‌شود. این تغییر فرکانس متناسب با سرعت وسیله نقلیه است. دستگاه گیرنده مزبور در بالای وسط یک خط عبور و با زاویه ۴۵ درجه به طرف ترافیک نزدیک شونده تعبیه می‌شود. منطقه تاثیر بسیار مشخص بوده و کلیه وسائل نقلیه فقط در همان نقطه تحت تاثیر واقع می‌شوند. اطلاعات بدست آمده از محل معمولاً بوسیله یک مدار تلفنی استاندارد به مرکز مخابره می‌شود. دقت این

دستگاه همانند رادار است.
مزایا: تمام مزایای مربوط به رادار در این مورد نیز صادق است.
معایب: دستگاه دائمی است و به خطوط خاص تلفنی و یا دستگاه‌های دیگر انتقال اطلاعت نیاز است.

روشهای کنترل از راه دور. تحقیقات در مورد امکان‌پذیری استفاده از سنسورهایی که از راه دور کنترل می‌شوند (مادون قرمز، رادار، دستگاههای چند بانده و چند کاناله) برای بررسی‌های ترافیکی در کل یک منطقه در دست انجام است.

مطالعات مزبور جهت تهیه اطلاعات مربوط به حجم ترافیک، طبقه‌بندی وسائط نقلیه سرعت، فواصل عبور، اطلاعات مربوط به مبداء و مقصد و نیز کاربری منطقه‌ای زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شرایط آب و هوائی و نور استفاده از عکسبرداری هوائی را جهت گردآوری اطلات محدود می‌سازند، منطقه تحت پوشش نیز در این طریقه محدود است. راه حل پیشنهادی برای دستیابی به اطلاعات وسیعتری در یک منطقه استفاده از ماهواره‌ها است. در تقاطعی که آب و هوا و یا کمبود نور موجب بروز اشکال گردد استفاده از سنسورهای راداری توصیه می‌شود. همچنین سنسورهای کنترل از راه دور این امکان را ایجاد می‌کنند که اطلاعات ترافیکی دقیقتری در یک منطقه محدود بدست آید.

سنسورهای رادار و مادون قرمز امکان برداشت اطلاعات را در هر ساعت از روز مقدور می‌سازند، و در مورد رادار حتی در شرایط آب و هوائی بد نیز، چنانچه پرواز با هواپیما امکان‌پذیر باشد، مقدور است. استفاده از اشعه لیزر و دوربین‌های تلویزیونی نیز یکی از پتانسیل‌های موجود و مفید است که می‌توان در برخی تحقیقات از آنها استفاده نمود.

تحلیل و ارائه اطلاعات سرعت لحظه‌ای

مهندسین معمولاً اطلاعات مورد نظر را بااستفاده از روش نمونه‌گیری بدست می‌آورند. این بسیار واضح و روشن است که اطلاعات گردآوری شده در مورد سرعت لحظه‌ای فقط مربوط به درصدی از وسائل نقلیه است که در موقعیت مزبور اندازه‌گیری شده‌اند. مهندس ترافیک سعی می‌نماید با نمونه‌گیری انجام شده خصوصیات یک جمعی را مشخص سازد، که در این حالت کل جریان ترافیک خواهد بود.

به علت وجود برخی نااطمینانی‌ها تعمیم ویژگیهای نمونه مزبور به کل جریان ترافیک با خطاهائی همراه است، زیرا در یک جریان ترافیکی تمام وسائل نقلیه با سرعت یکنواخت حرکت نمی‌کنند و توزیع سرعت دارای یک دامنه گسترده‌ای است. در این خصوص می‌بایستی از قوانین ریاضی و آماری خاصی جهت تحلیل اطلاعات سرعت نقطه‌ای بهره گرفت.

جدول ۲ - ۸. تحلیل نمونه‌گیری مربوط به سرعت لحظه‌ای و توزیع فراوانی

۱	۲	۳	۴	۵
گروه سرعت (کیلومتر درساعت)	متوسط سرعت گروه (کیلومتر درساعت)	تعداد وسائل نقلیه درگروه	درصد مجمع مشاهدات درگروه	درصد تجمعی مشاهدات
۱۶-۲۳/۹	۲۰	۰	۰	۰
۲۴-۳۱/۹	۲۸	۶	۲	۲
۳۲-۳۹/۹	۳۶	۸	۲/۷	۴/۷
۴۰-۴۷/۹	۴۴	۲۹	۹/۷	۱۴/۴
۴۸-۵۵/۹	۵۲	۶۰ $\sum=۱۰۳$	۲۰	۳۴/۴
۵۶-۶۳/۹	۶۰	۶۳	۲۱	۵۵/۴
۶۴-۷۱/۹	۶۸	۷۴	۲۴/۷	۸۰/۱
۷۲-۷۹/۹	۷۶	۲۹	۹/۷	۸۹/۸
۸۰-۸۷/۹	۸۴	۱۹	۶/۳	۹۶/۱
۸۸-۹۵/۹	۹۲	۱۰	۳/۳	۹۹/۴
۹۶-۱۰۳/۹	۱۰۰	۲	۰/۷	۱۰۰/۱
۱۰۴-۱۱۱/۹	۱۰۸	۰	۰	
جمع		$n=۳۰۰$	۱۰۰/۱	

ریاضیات و آمار به مسائل فوق دو صورت کلی برخورد می‌کند:

۱- برای اطلاعات بدست آمده ممکن است با بکارگیری روابط آماری بتوان از طریق مدلها و یا معادلات ریاضی بهترین مدل و الگو را بدست آورد.

۲- ممکن است اطلاعات موجود که از طریق اندازه‌گیری مستقیم و نمونه‌گیری بدست آمده‌است، بااستفاده از روابط آماری و ریاضی برای کل جمعیت که این نمونه به آن متعلق است، بسط داده شود.

در تحلیل اطلاعات مربوط به سرعت لحظه‌ای، معمول این است که از آمار و احتمالات موجود برای هر دو زمینه فوق استفاده می‌شود.

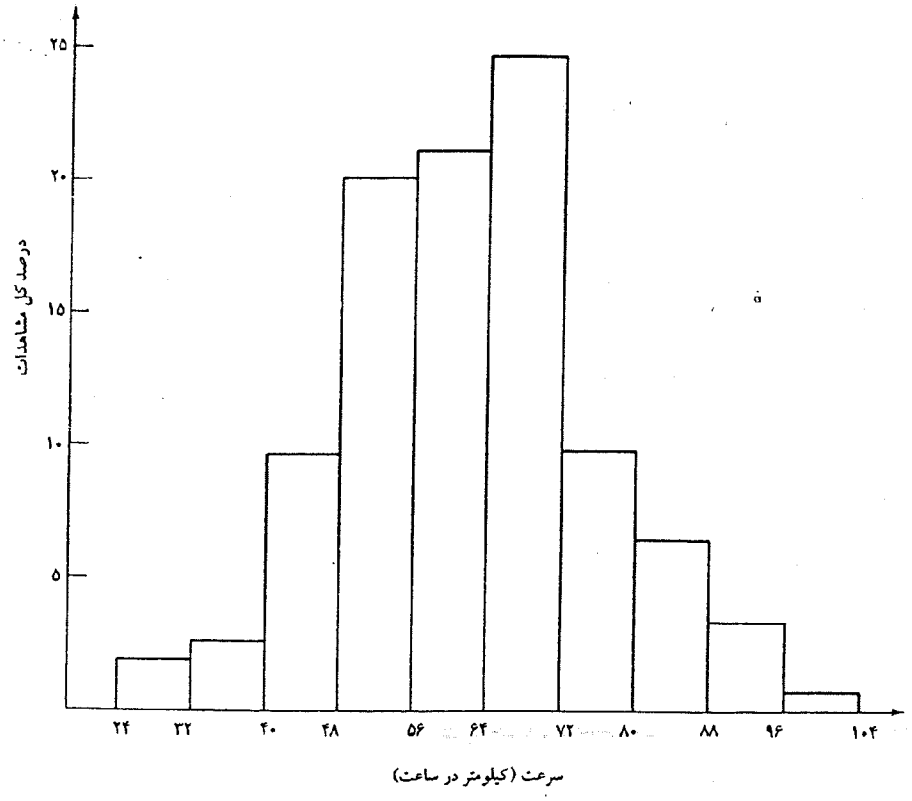
تنظیم جدول و جمع‌آوری اطلاعات سرعت لحظه‌ای

برداشت و ثبت سرعت هر وسیله نقلیه بصورت جداگانه کار راحتی نیست، خصوصاً در مواقعی که لازم است اندازه‌گیریهای متعددی در یک فاصله زمانی کوتاه انجام پذیرد. بدین دلیل گروههای سرعت یا طیف‌های سرعت (معمولاً ۲ یا ۴ کیلومتر در ساعت) تشکیل می‌شود و اطلاعات ضبط شده مربوط به تعداد وسائل نقلیه‌ای است که در هر گروه سرعت قرار دارند. این اطلاعات در یک نمودار توزیع فراوانی سرعت لحظه‌ای نشان داده می‌شوند. در مثالی که در جدول ۲ - ۸ آورده شده‌است گروههای سرعت ۵ کیلومتر درساعت در نظر گرفته شده و مجموع مشاهدات ۳۰۰ وسیله نقلیه است.

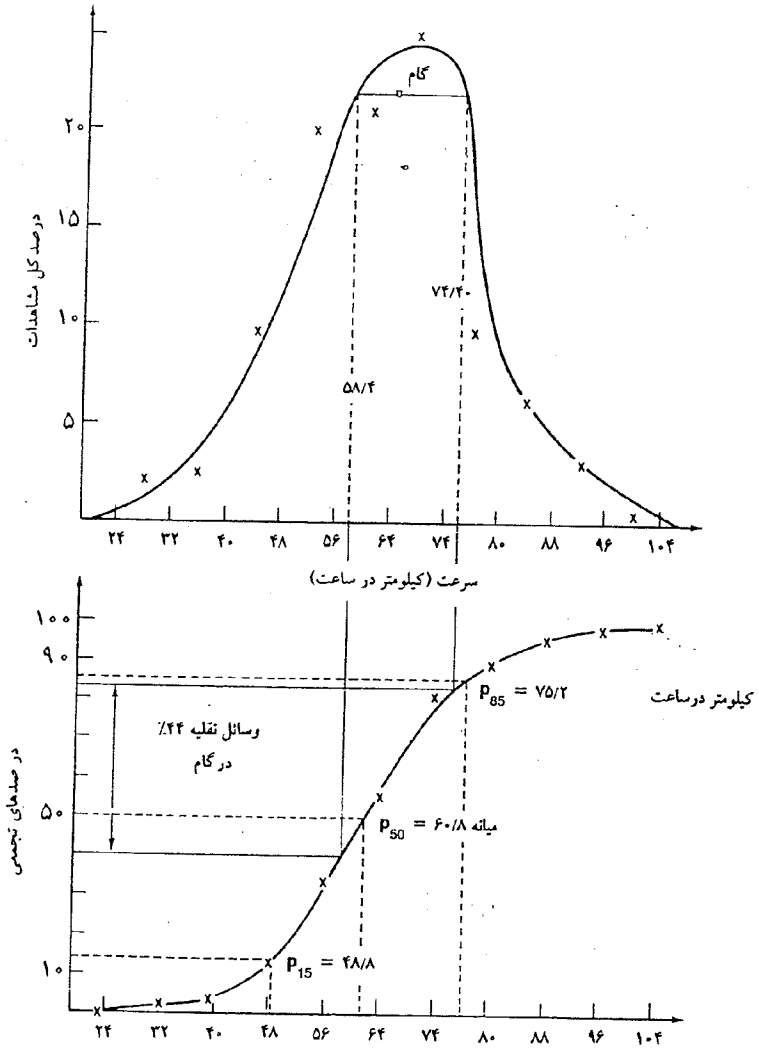
نمایش گرافیکی اطلاعات سرعت لحظه‌ای

هیستوگرام فراوانی. اطلاعات بدست آمده از ستونهای ۱ و ۴ جدول توزیع فراوانی جهت هیستوگرام مزبور مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱ - ۸). گروههای سرعت هر مستطیل فراوانی و درصدهای کل مشاهدات مربوطه نشان دهنده مقدار هر کدام است.

منحنی توزیع فروانی. از اطلاعات موجود در ستونهای ۲ و ۴ جدول توزیع فراوانی برای رسم این نمودار استفاده شده است (شکل ۲ - ۸). نقاط بدست آمده، از ترسیم متوسط سرعت هر گروه برحسب درصد مشاهدات آن حاصل شده‌است. سپس نقاط بدست آمده توسط یک منحنی به یکدیگر متصل شده‌اند.



شکل ۱ - ۸. هیستوگرام فراوانی سرعت.



شکل ۲ - ۸. منحنی‌های فراوانی تجمعی

"مساحت واحد" بصورت یک مستطیل که قاعده آن یکی از گروههای سرعت و ارتفاع آن ۱۰۰ درصد روی هیستوگرام‌فراوانی است تعریف می‌شود. بنابراین کل مساحت موجود در هیستوگرام مزبور یک واحد و یا ۱۰۰ درصد می‌باشد. بطور مشابه کل سطح زیر منحنی توزیع فراوانی نیز یک واحد است، زیرا منحنی مزبور از اتصال نقاط میانی چندین مستطیل فراوانی بدست آمده‌است.

منحنی توزیع فراوانی تجمعی. اطلاعات مربوط به ستونهای ۱ و ۵ برای ترسیم منحنی توزیع فراوانی تجمعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲ - ۸). چون درصدهای تجمعی نشان دهنده درصد وسائل نقلیه‌ای که با سرعتی مشخص و یا کمتر از آن حرکت می‌کنند است. درصدهای تجمعی برحسب حد بالای گروههای سرعت ترسیم می‌گردد. سپس نقاط حاصل با یک منحنی به یکدیگر متصل می‌شوند.

مقادیر نمایانگر

یک مهندس ترافیک علاقمند است خصوصیات سرعت یک جریان ترافیکی را بطور مختصر و مفید بصورت مدلهای ریاضی بیان نماید. اگر بخواهیم مشخصه‌های سرعت یک جریان ترافیکی را در مواقع لزوم با درنظر گرفتن کل جریان ترافیک توصیف نمائیم کاری مشکل و پرزحمت خواهد بود. بدلایل

فوق مهندسین ترافیک چندین مقدار قابل توجه را که به اندازه کافی نشان دهنده توزیع مورد نظر است انتخاب می‌کنند.

معیارهای تمایل به مرکز

میانگین ریاضی سرعت (میانگین زمانی سرعت): میانگین ریاضی بطور خلاصه عبارتست از میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری شده وسائل نقلیه عبوری، و باین ترتیب محاسبه می‌شود که سرعت متوسط هر گروه در تعداد وسائل نقلیه مشاهده شده ضرب و بر تعداد کل مشاهدات سرعت تقسیم می‌شود.

$$\bar{X}=\frac{\sum fv}{n} \qquad (۸-۳)$$:سرعت میانگین ریاضی

که در آن:

f= فراوانی مشاهدات در یک گروه سرعت خاص

v= سرعت میانگین هر گروه سرعت

n= تعداد کل مشاهدات سرعت

سرعت میانگین ریاضی تخمین سرعت هر وسیله نقلیه‌ای است که انتظار می‌رود بطور اتفاقی از نقطه مورد نظر عبور نماید. میانگین ریاضی سرعت درواقع تخمین آماری سرعت واقعی (اما ناشناخته) کل جمعیت عبوری را نشان می‌دهد.

سرعت میانه: حد میانی مقادیری است که در یک توزیع قرار گرفته و به ترتیب صعودی یا نزولی مرتب شده‌است. نصف مقادیر مشاهده شده بیشتر از حد میانی و نصف دیگر کمتر از آن خواهد بود.

سرعت میانه را می‌توان بدین صورت تعریف نمود که پنجاهمین درصد سرعت روی منحنی توزیع فراوانی تجمعی می‌باشد، به عبارت دیگر سرعت مربوط به خط عمودی که منحنی توزیع فراوانی را به دو سطح مساوی تقسیم می‌کند، یا می‌توان از طریق میان‌یابی در جدول توزیع طبق فرمول زیر آنرا بدست آورد:

$$\bar{x}=L+\left(\frac{(n/2)-f_L}{f_m}\right)C \qquad (۸-۴)$$

که در آن:

f_m = تعداد مشاهدات در گروهی که میانگین در آن قرار دارد.

L = حد پائین گروهی که میانگین در آن قرار دارد.

f_L = مجموع تعداد مشاهدات تا حد پائین گروهی که میانگین در آن قرار دارد.

C = فاصله گروهی سرعت که میانگین در آن قرار دارد.

در میان روش‌های فوق استفاده از پنجاهمین درصد روی منحنی توزیع فراوانی تجمعی ساده‌تر از سایر روش‌هاست. از آن جهت که میانه یک مقدار ناحیه‌ای است، نسبت به میانگین ریاضی کمتر تحت تاثیر مقادیر انتهائی قرار می‌گیرد.

سرعت‌نما: سرعت‌نما و یا مقدار نمائی عددی است که حداکثر فروانی را در توزیع داده شده دارد. در واقع سرعتی است که اغلب وسائل نقلیه در نقطه مشاهده با آن سرعت عبور می‌نمایند. مقدار واقعی نما را، در حالتی که اطلاعات گردآوری شده بصورت گروهی تهیه شده‌است، به سختی می‌توان تعیین نمود. فاصله‌ای که نما درآن ظاهر می‌شود را می‌توان به عنوان گروهی که بیشترین مشاهدات در آن صورت گرفته است تعیین نمود. بعضی اوقات نما را می‌توان فقط اوج منحنی توزیع درنظر گرفت.

اگر منحنی توزیع فراوانی نسبت به محور عمودی آن متقارن باشد. میانه، نما و میانگین با یکدیگر مساوی خواهند شد.

نما کمتر از میانگین و میانه تحت تاثیر ارقام انتهائی قرار می‌گیرد.

گام: گام به صورت فاصله سرعت ۱۶ کیلومتر در ساعت (۱۰ مایل در ساعت) که دارای حداکثر فراوانی است تعریف می‌گردد. گام با جزئی از سرعت ۱۶ کیلومتر در ساعت (۱۰ مایل در ساعت) که قسمت اوج منحنی فراوانی را قطع می‌کند نیز شناخته می‌شود.

انحراف معیار- نشانه پراکندگی. مشخص نمودن تمایل به مراکز برای شناسائی یک توزیع کافی نیست. اندازه‌گیری پراکندگی یا پهنای مقادیر لازم است. انحراف معیار (STD,S) با معادله زیر تعیین می‌شود:

$$STD(s)=\frac{\sqrt{\sum f\,(v-\bar{x})^2}}{n-1} \qquad (۸-۵)$$

با توجه به اینکه:

$$\bar{x}=\frac{\sum fv}{n}$$

$$\sum f\,(v-\bar{x})^2=\sum fv^2-\sum 2\,fv\left(\frac{\sum fv}{n}\right)+\sum f\,\frac{(\sum fv)^2}{n}$$

$$=\sum fv^2-\frac{2}{n}(\sum fv)^2+\frac{1}{n}(\sum fv)^2$$

$$=\sum fv^2-\frac{1}{n}(\sum fv)^2$$

با جاگذاری،

$$STD(s)=\sqrt{\frac{\sum fv^2}{(n-1)}-\frac{(\sum fv)^2}{n(n-1)}}$$

یا:

$$STD(s)=\sqrt{\frac{\sum fv^2}{n-1}-\left(\frac{n}{n-1}\right)(\bar{x})^2}$$

انحراف معیار نمونه (s) تخمین بدون خدشه‌ای از انحراف معیار کل جمعیت (σ)، که نامشخص است، می‌باشد.

گاهی اوقات راحت‌تر است که انحراف معیار به صورت درصد و کسری از میانگین بیان شود تا یک رابطه نسبی برای پراکندگی بدست آورد ضریب تغییرات از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \qquad (۸-۶)$$

یک تخمین سرانگشتی و اجمالی برای انحراف معیار را می‌توان بااستفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$STD(S_{est}) = \frac{P_{85} - P_{15}}{2.0} \qquad (۸-۷)$$

که در آن:

p_{85} = سرعت هشتادو پنجمین درصد روی منحنی توزیع تجمعی (سرعتی که ۸۵ درصد وسائل نقلیه کمتر از آن حرکت می‌کنند.

p_{15} = سرعت پانزدهمین درصد روی منحنی توزیع تجمعی

مقادیر مسئله نمونه از جدول ۲-۸ به صورت زیر خلاصه شده‌است. تمام مقادیر از روی منحنی تجمعی توزیع شکل ۲-۸ گرفته شده‌است.

میانگین ریاضی = $\bar{x} = \frac{\sum fv}{n} = \frac{۱۱۰۶/۵}{۳۰۰}$ = ۳۸/۷۲ کیلومتر درساعت

میانه = p_{50} = ۳۸ کیلومتر در ساعت (از روی منحنی توزیع تجمعی)

گام = ۳۶/۵ تا ۴۶/۵ کیلومتر در ساعت (از روی منحنی توزیع فراوانی)

نما = از ۴۰ تا ۴۴/۹ کیلومتر (از روی منحنی توزیع تجمعی)

$$S = \sqrt{\frac{۴۷۲/۲۵۰}{۳۰۰-۱} - \frac{۳۰۰}{۲۹۹}(۳۸/۷۲)^2} = ۸/۶$$ کیلومتر در ساعت

$$S_{est} = \frac{P_{85} - P_{15}}{2.0} = \frac{۴۷ - ۳۰/۵}{۲} = \frac{۱۶/۵}{۲} = ۸/۲۵$$ کیلومتر در ساعت

توزیع نرمال

یک عبارت ریاضی است که ممکن است برای توجیه نتایج احتمالی بعضی فرآیندها مورد استفاده قرار گیرد. اگر فرض بر این باشد که سرعتهای لحظه‌ای بااستفاده از فرمول توزیع نرمال بیان شود، ریاضیات آماری یک سری بیان‌ها و تحلیل‌هائی را موجب می‌شود که در غیر اینصورت امکان‌پذیر نمی‌بود. در باقیمانده این قسمت فرض بر این خواهد بود که اطلاعات سرعت لحظه‌ای بصورت نرمال توزیع می‌شود. یک آزمون آماری برای نشان دادن میزان دقت این فرض مورد نیاز است که متعاقباً آورده می‌شود.

توزیع نرمال بوسیله معادله زیر بیان می‌شود:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

که:

μ = میانگین حقیقی جمعیت ($\bar{x}$ میانگین نمونه است که یک تخمین بدون خدشه از μ می‌باشد)

σ = انحراف معیار حقیقی (s یک تخمین بدون خدشه از σ است)

σ^2 = واریانس (مربع انحراف معیار)

از آن جهت که معادله شامل دو پارامتر متغیر (μ,σ) است. تشخیص میانگین و واریانس بصورت کامل توزیع را مشخص می‌سازد. بدین دلیل توزیع نرمال بیشتر بصورت شکل استاندارد $N[\mu,\sigma^2]$ نمایش داده می‌شود، که منظور از آن توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 است. $N[25,100]$ نشان دهنده توزیع نرمالی است با میانگین ۲۵ و واریانس ۱۰۰، انحراف معیار σ برابر است با $\sqrt{۱۰۰} = ۱۰$. شکل کلی توزیع نرمال در شکل ۳ - ۸ نشان داده شده‌است. خواص عمده توزیع نرمال بشرح زیر است:

۱- مانند هر منحنی توزیع دیگر سطح زیر منحنی توزیع نرمال برابر واحد و یا ۱۰۰ درصد است.

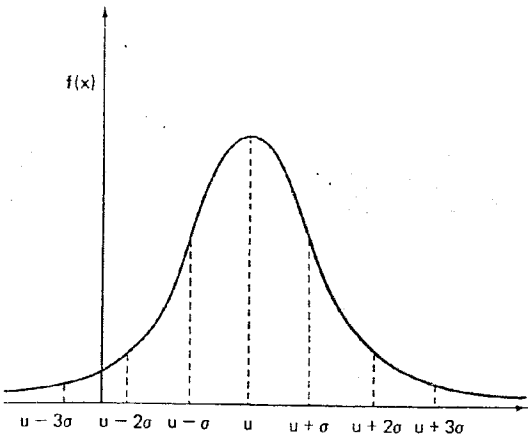
۲- احتمال وقوع بین مقادیر x_1 و x_2 بااستفاده از مساحت بین این دو عدد یعنی x_1 و x_2 بدست می‌آید.

۳- توزیع نرمال نسبت به میانگین قرینه بوده و مجانب با محور Xها می‌باشد.

۴- مساحت بین:

مساحت بین $\mu+\sigma$, $\mu-\sigma$	= ۰/۶۸۷۲۷
مساحت بین $\mu+۱/۹۶\sigma$, $\mu-۱/۹۶\sigma$	= ۰/ ۹۵۰۰
مساحت بین $\mu+۲\sigma$, $\mu-۲\sigma$	= ۰/ ۹۵۴۵
مساحت بین $\mu+۳\sigma$, $\mu-۳\sigma$	= ۰/ ۹۹۷۱
مساحت بین $\mu+\infty$, $\mu-\infty$	= ۱/ ۰۰۰۰

خاصیت آخر مهندسین را قادر می‌سازد که بیان‌های کمی ارزشمندی را ابراز نمایند. توزیعی را با میانگین حقیقی (μ) ۴۰ کیلومتر در ساعت و انحراف معیار حقیقی (σ) ۵ کیلومتر در ساعت در نظر بگیرید. اکنون امکان دارد که گفته شود ۶۸/۳ درصد وسائل نقلیه دارای سرعتی مابین ۴۵ = ۵ + ۴۰ کیلومتر درساعت و ۳۵ = ۵ - ۴۰ کیلومتر درساعت هستند. اگر سرعت



شکل ۳-۸. توزیع نرمال

یک وسیله نقلیه بصورت تصادفی در این محدوده قرار گیرد، این تخمین در ۶۸/۳٪ مواقع صحیح و در ۳۱/۷٪ مواقع اشتباه خواهد بود. اگر سرعت یک وسیله نقلیه برابر میانگین ۴۰ کیلومتر درساعت فرض شود، این تخمین در ۶۸/۳ درصد مواقع بیش از ۵ کیلومتر در ساعت و یا (۱۲/۵٪ = ۱۰۰ × $\frac{۵}{۴۰}$) خطا نخواهد داشت. در ۳۱/۷٪ تخمین‌هائی که زده می‌شود خطا بیش از ۵ کیلومتر درساعت، ۱۲/۵ درصد، خواهد بود. بطور مشابه خطای موجود در تخمین تصادفی سرعت یک وسیله نقلیه بعنوان میانگین (۴۰ کیلومتر در ساعت) برابر است با حداکثر ۱۰ = ۵ × ۲ کیلومتر درساعت (یا ۲۵ درصد) در ۹۵/۵ درصد اوقات، و حداکثر ۱۵ = ۵ × ۳ کیلومتر درساعت (یا ۳۷/۵ درصد) در ۹۹/۷ درصد اوقات.

این بیان‌های آماری برای مواقعی است که سرعت لحظه‌ای ارائه شده دارای منحنی توزیع نرمال با میانگین حقیقی ۴۰ کیلومتر درساعت و نیز انحراف میار ۵ کیلومتر درساعت باشد. در صورتیکه میانگین ($\bar{x}$) و انحراف معیار (s) نمونه بکار برده شود خطاهای دیگری نیز بوجود خواهد آمد. اگر بجای مشخصه‌های حقیقی مقادیر مربوط به نمونه مورد استفاده قرار گیرد حدود خطاها باید در $\sqrt{۱ + (\frac{۱}{n})}$ ضرب شود n اندازه نمونه است

دقت نمونه‌گیری

وقتی که نتایج یک نمونه‌گیری سرعت ارزیابی می‌شود، معمولاً یک مقدار مشخص یعنی میانگین سرعت به عنوان نماینده و بیانگر میانگین حقیقی تمام وسائل نقلیه موجود در ترافیک در نظر گرفته می‌شود. سئوالی که مطرح می‌شود اینست که تخمین زده شده تا چه اندازه قابل قبول است، و حدود احتمالی خطاها کدام است؟

دقت هر نمونه ارائه شده‌ای به دو عامل بستگی دارد. اولین عامل شانس مطلق است. بدین معنی که نمونه مشاهده شده ممکن است نماینده تمامی جریان ترافیک نباشد و بخاطر مشاهدات اتفاقی نمونه شامل تعداد نادرستی از رانندگان سریعتر از میانگین یا کندتر از میانگین باشد. این نوع خطا را ممکن است بصورت آماری مورد بررسی قرار داد که روش‌های آن در پاراگراف‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد. هر چه اندازه نمونه بزرگتر باشد شانس اینکه میانگین تخمین زده شده ($\bar{x}$) بطور مشخص با میانگین حقیقی (μ) متفاوت باشد کمتر است.

نوع دوم خطا وقتی اتفاق می‌افتد که وسائل نقلیه انتخاب شده برای اندازه‌گیری در حالت غیرتصادفی در نظر گرفته شوند، بنابراین نمونه به یک سمت سوق پیدا می‌کند. متداول‌ترین خطاهای نمونه‌گیری بشرح زیر هستند:

۱- انتخاب اولین وسیله نقلیه در یک دسته یا گروه. عموماً این وسیله اولین وسیله‌ای است که بسادگی در معرض دید قرار می‌گیرد و اغلب کندترین آنها می‌باشد. وسائل نقلیه انتخابی از گروههای مختلف باید با موقعیت‌ها متفاوت باشند تا اینکه از گرایش به سمت وسائل نقلیه کم سرعت اجتناب شود.

۲- انتخاب درصد بزرگی از کامیون‌ها. چون کامیون‌ها معمولاً در یک جریان ترافیکی کندتر از سایر وسائل نقلیه حرکت می‌کنند لذا باید به نسبت درصد وجود آنها در ترافیک درنظر گرفته شوند.

۳- تمایل به انتخاب وسائل نقلیه کند و یا سریع. از این کار باید اجتناب شود. در مطالعات سرعت لحظه‌ای هدف انتخاب سریعترین و یا کندترین وسیله نقلیه نیست.

فرض کنید که نمونه بصورت تصادفی انتخاب شده‌است، امکان اینکه حدود احتمالی خطاهای شانس سنجیده شده وجود دارد.

مطالعات سرعت لحظه‌ای منجر به تعیین مقدار میانگین ($\bar{x}$) که از نمونه‌ای شامل n وسیله نقلیه بدست آمده، شده‌است. بررسی حدود خطا در تخمین سرعت یک وسیله نقلیه تصادفی نسبت به میانگین، با مراجعه به توزیع مقادیر x، یعنی توزیع نرمال با میانگین $\bar{x}$ و انحراف معیار s امکان‌پذیر است. برای سنجش حدود خطا در تخمین سرعت میانگین تمام وسائل نقلیه که باید برابر با $\bar{x}$ باشد، توزیع مقادیر ($\bar{x}_n$) باید مورد استفاده قرار گیرد که n اندازه نمونه استفاده شده در محاسبه $\bar{x}$ است.

می‌توان نشان داد اگر متغیر x بصورت نرمال و با میانگین μ و

واریانس σ توزیع شده باشد $(STD = \sigma)$ یعنی:

$$x = N[\mu, a^2]$$

متغیر $\bar{x}$ که میانگین مقادیر x برای نمونه‌هائی به اندازه n می‌باشد نیز دارای یک توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2/n خواهد بود.

یعنی:
$$\bar{x} = N\left[\mu, \sigma^2/\sqrt{n}\right]$$

انحراف معیار این توزیع به عنوان خطای استاندارد میانگین درنظرگرفته می‌شود:

$$E = \frac{\sqrt{\sigma}}{n} \qquad (۸-۹)$$

در اینجا حدود احتمالی خطا برحسب توزیع نرمال قابل کاربرد ممکن است تعریف شود. مثال قبلی را در نظر بگیرید اگر $\bar{x} = ۳۸/۷$ کیلومتر درساعت و $\sigma = ۸/۶$ کیلومتر درساعت باشد، E بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$۰/۵ = \sqrt{۳۰۰} \div (۸/۶)$ کیلومتر درساعت. حال ممکن است بیان نمود که میانگین حقیقی جمعیت بین $\bar{x} \pm E$ و یا $۳۸/۷ \pm ۰/۵$ کیلومتر درساعت قرار دارد و احتمال آن نیز ۶۸/۳ درصد است. همچنین خواهیم داشت:

$\mu = ۳۸/۷ \pm (۲ \times ۰/۵)$ با ۹۵/۵ درصد اطمینان و $\mu = ۳۸/۷ \pm (۳ \times ۰/۵)$ با ۹۹/۷ درصد اطمینان. احتمال خطای ایجاد شده در تعیین میانگین دارای خطائی برابر ۱/۰ کیلومتر درساعت باشد، و فقط ۰/۳ درصد احتمال دارد که خطای میانگین ۱/۵ کیلومتر درساعت باشد.

ممکن است روابط آماری مزبور را برای تعیین اندازه لازم نمونه‌ای که دارای دقت و سطح اطمینان مورد نظر باشد بکار گرفت، بااستفاده از فرمول زیر:

$$e = k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

که:

n = اندازه نمونه

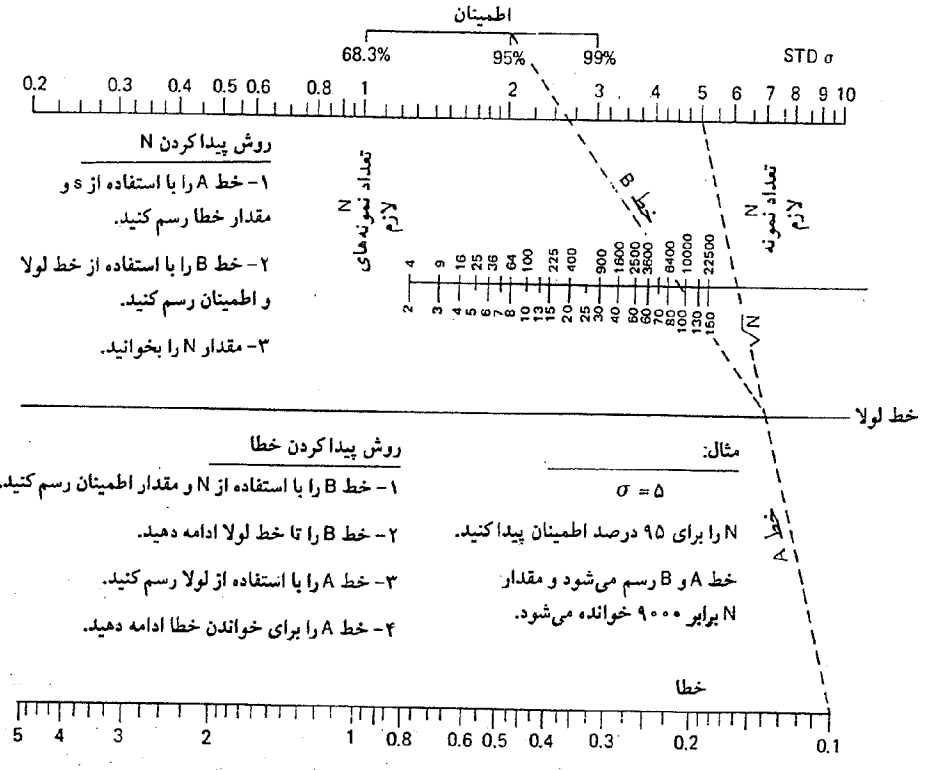
e =حدود خطای قابل قبول

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ = انحراف معیار مقادیر x که از نمونه‌هائی با بزرگی n محاسبه شده است (خطای استاندارد).

K = تعداد انحراف معیارها برای سطح اطمینان مطلوب

بنابراین اگر ۹۵ درصد اطمینان مورد نظر باشند، معادله بصورت زیر درخواهد آمد.

$$e = ۱/۹۶ \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$



شکل ۴ - ۸. نموگراف برای حدود اطمینان

جدول ۳ - ۸ . تعیین اندازه نمونه برای تخمین میانگین

معادله	سطح مطلوب اطمینان (درصد)
$n=\frac{\sigma^2}{e^2}$	68.3
$n=\frac{3.84\ \sigma^2}{e^2}$	95.0
$n=\frac{4\ \sigma^2}{e^2}$	95.5
$n=\frac{9\ \sigma^2}{e^2}$	99.7

اگر برای n معادله را حل کنیم: $n=\frac{۳/۸۴\ \sigma^2}{e^2}$

معادلات مشابهی برای سطوح مختلف اطمینان بدست خواهد آمد. این موارد در جدول شماره ۳ - ۸ نشان داده شده‌است.

معادلات مشابه دیگری جهت محاسبه اندازه نمونه‌هایی که برای برآورد سرعت درصدی (نه تنها میانگین) مورد نیاز است نیز بدست آمده‌است. معادله مزبور بشرح زیر است:

$$n=\frac{K^2\ \sigma^2(2+U^2)}{2e^2}$$

که در آن:

n = اندازه نمونه

K = انحراف نرمال باتوجه به سطح اطمینان مطلوب

U = انحراف نرمال با در نظر گرفتن سرعت درصدی مطلوب

مقادیر K و U در جدول ۴ - ۸ آورده شده‌است. مقدار σ از مطالعات سرعت قبلی و در یک محل خاص بدست آمده و یا ممکن است حدود ۸ کیلومتر درساعت تخمین زده شود. این مقدار پس از بررسی‌های جامع سرعت وسائل نقلیه مختلف و در شرایط گوناگون بدست آمده‌است. معلوم گردید که سرعت ۸ کیلومتر درساعت تخمین خوبی برای مقدار σ در اکثر حالات است.

برای مثال درصد اطمینانی معادل ۹۵/۵ درصد برای تخمین سرعت میانگین در یک موقعیت خاص مورد نظر است. خطای مجاز در این حالات ۱/۵ ± کیلومتر درساعت است.

اندازه نمونه مورد نیاز طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$n=\frac{4\ \sigma^2}{e^2}\ (\text{جدول } ۳-۸)=\frac{۴(۸)^۲}{(۱/۵)^۲}=۱۱۴$$

مطالعات قبل و بعد

اغلب ضرروی است که اهمیت تغییر در سرعت‌های میانگین مشاهده شده در یک محل خاص را که در آنجا یک معیار کنترل مورد استفاده قرار گرفته‌است بررسی نمود. فرض کنید سرعت‌های بدست آمده مربوط به محلی است که در آنجا

جدول ۴ - ۸ . تعیین اندازه نمونه در تخمین سرعت درصدی

تعیین مقدار U	U سرعت درصدی	تعیین مقدار K	K سطح اطمینان(درصدی)
۰/۰۰	پنجاهم	۱/۰۰۰	۶۸/۳
۱/۰۴	پانزدهم یا هشتادوپنجم	۱/۶۴۵	۹۰/۰
۱/۴۸	هفتم یا نودوسوم	۱/۹۶۰	۹۵/۵
۱/۶۷	پنجم یا نودوپنجم	۳/۰۰۰	۹۹/۷

فراوانی تصادف زیاد است. تقلیل سرعت مشاهده شده به علت نصب تابلوی جدید محدودیت سرعت می‌باشد. مهندس طراح می‌بایستی بررسی نموده و ارزیابی نماید که آیا تغییر در عادت‌های رانندگان در اثر نصب تابلوی محدودیت سرعت است. با فرض اینکه کلیه شرایط در نظر گرفته شده بجز نصب تابلو سرعت محدود قبل و بعد از انجام مطالعات سرعت یکسان است، بااستفاده از آزمون‌های آماری مختلف این بررسی‌ها قابل انجام است.

تقریب نرمال. مشاهده می‌شود که اگر نمونه به اندازه کافی بزرگ باشد ($n \geq ۳۰$) و هر دوی $\bar{x}_2$ و $\bar{x}_1$ (میانگین نمونه‌هائی که به ترتیب قبل و بعد از انجام مطالعات سرعت بدست آمده‌است) میانگین نمونه‌هائی باشند از جمعیت‌های مشابه و با توزیع یکسان، مقدار $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ دارای توزیع نرمال است با میانگین صفر و انحراف معیار σ_D.

یعنی می‌توان گفت که اگر $n \geq ۳۰$ باشد:

که در آن: $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = N[\,0,\ \sigma_D{}^2\,]$

$$\sigma_D=\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}}$$

فرض اینکه $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ میانگین نمونه‌هائی از یک جمعیت و یا توزیع هستند از موارد ضروری است که باید به آن توجه نمود. وقتی که از تقریب نرمال برای بررسی اهمیت اختلاف در میانگین‌ها استفاده می‌شود، اینطور فرض شده که اختلاف زیادی در نمونه‌ها وجود نداشته و آنها در واقع نماینده همان جمعیت مطالعه شده هستند. دقت این فرض متعاقباً آزمایش می‌شود. با استفاده از خواص توزیع نرمال می‌توان به موارد مشروح ذیل دست یافت:

۱- احتمال اینکه $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = ۰ + \sigma_D$ باشد ۶۸/۳ درصد است.

۲- احتمال اینکه $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = ۰ + ۱/۹۶\sigma_D$ باشد ۹۵ درصد است.

۳- احتمال اینکه $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = ۰ + ۲\sigma_D$ باشد ۹۵/۵ درصد

است.

۴- احتمال اینکه $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = ۰ + ۳\sigma_D$ باشد ۹۹/۷ درصداست.

اگر مقدار مشاهده شده $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ برابر $۱/۹۶\ \sigma_D$ و یا بزرگتر از آن باشد می‌توان گفت:

۱- اگر جمعیت‌های قبل و بعد یکسان باشند، اختلافی در میانگین‌ها به اندازه $۱/۹۶\sigma_D$ در ۵٪ اوقات بوجود خواهد آمد.

۲- اگر $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ بزرگتر از $۱/۹۶\sigma_D$ باشد. احتمال اینکه این موضوع تصادفی باشد ۵٪ است در صورتیکه دو نمونه بدست آمده نماینده یک توزیع باشند.

۳- به فرض اینکه $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$ از یک توزیع هستند، بنابراین رد می‌شود و اختلاف مشاهده شده بااهمیت در نظر گرفته می‌شود.

ضابطه کلی برای تائید قابل اهمیت بودن اختلاف مشاهده شده (یعنی رد نمودن فرض اینکه نمونه‌ها یکسان باشند) آن است که احتمال شانسی بودن اختلاف میانگین‌های بدست آمده نباید بیش از ۵ درصد باشد و بعضی اوقات این مورد را نقطه ۹۵ درصد می‌نامند، زیرا ۹۵ درصد تمام موارد شانسی اختلاف میانگینی کمتر از $۱/۹۶\ \sigma_D$ را نشان می‌دهند، البته در صورتی که از یک توزیع باشند. انتخاب نقطه ۹۵ درصد بعنوان نقطه تصمیم‌گیری تقریباً اختیاری است و ممکن است براساس قضاوت‌های مهندسی تغییر داده شود. بعنوان مثال، اگر احتمال اینکه اختلاف در میانگین‌ها بطور تصادفی بوجود آید ۱۰ درصد باشد (در نقطه ۹۰ درصد) مهندس طراح ممکن است بجای رد نمودن اهمیت اختلاف مشاهده شده مایل باشد مطالعات دیگری انجام دهد.

خصوصیات نقطه ۹۵ درصد را مجدداً می‌توان بشرح ذیل بیان نمود: اگر $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \geq ۱/۹۶\ \sigma_D$ باشد اختلاف میانگین قابل اهمیت می‌باشد.

مثال‌های زیر را در نظر بگیرید:

کیلومتردرساعت $\bar{x}_1 = ۳۸/۷۲$

کیلومتر درساعت $\bar{x}_2 = ۴۱/۲۲$

کیلومتر درساعت $\sigma_2 = ۸/۶$

کیلومتر درساعت $\sigma_2 = ۷/۹$

$n_1 = ۳۰۰$

$n_2 = ۳۳۰$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{(۸/۶)^۲}{۳۰۰} + \frac{(۷/۹)^۲}{۳۳۰}} = ۰/۶۶$$

مقدار واقعی اختلاف در میانگین به شرح زیر است:

کیلومتر درساعت ۲/۵۰ = ۳۸/۷۲ - ۴۱/۲۲

کیلومتر درساعت ۱/۳۰ = (۰/۶۶) ۱/۹۶ ≥

بنابراین اختلاف در میانگین قابل اهمیت است.

مثال فوق را می‌توان از طریق دیگری نیز حل نمود. توزیع نرمال استاندارد برای استفاده (نرمال استاندارد یک توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ ($N\ [0\ ,\ 1]$ می‌باشد) در جدول ۵ - ۸ آورده شده‌است. هر توزیع نرمالی ممکن است برحسب توزیع نرمال استاندارد بیان شود، به شرط اینکه محور آن به صفر منتقل شده و به انحراف معیار تقسیم گردد.

اگر یک متغیر با توزیع نرمال مانند X را در نظر بگیریم داریم:

$$x = N\ [\mu,\ \sigma]$$

لازم است احتمال اینکه متغیر x بین دو مقدار a و b قرار گیرد را درنظر بگیریم، یعنی:

$$Prob\ (a \leq x \leq b)$$

از آنجا که جدول قابل قبولی برای $N[\mu,\ \sigma_2]$ وجود ندارد لازم است از نرمال استاندارد استفاده شود. احتمال معادل در نرمال استاندارد بصورت زیر است:

$$Prob\ \left(\frac{a - \mu}{\sigma} \leq x' \leq \frac{a + \mu}{\sigma}\right)$$

که: $x' = N\ [0\ ,\ 1]$

در مساله نمونه، اختلاف واقعی در میانگین‌ها ۲/۵ کیلومتر در ساعت بود. نرمال استاندارد را می‌توان برای سنجش احتمال اینکه اختلاف بوجود آمده اتفاقی باشد مورد استفاده قرار داد. احتمال اینکه $۲/۵۰ + \leq \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \leq -۲/۵۰$ باشد باید محاسبه گردد، در صورتیکه بدانیم $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = N\ [0\ ,\ \sigma_2]$ و $\sigma_D = ۰/۶۶$ است. با انتقال به نرمال استاندارد خواهیم داشت:

$$Prob\ \left[\left(\frac{-۲/۵۰ - ۰}{۰/۶۶}\right) \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \leq \left(\frac{+۲/۵۰ - ۰}{۰/۶۶}\right)\right]$$

که: $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' = N\ [0\ ,1]$

و: $\frac{۲/۵۰}{۰/۶۶} = ۳/۷۹$

با مراجعه به جدول ۵-۸ نرمال استاندارد. سطح سمت چپ $Z = ۳/۷۹$ (احتمال اینکه $Z \leq + ۳/۷۹$ باشد) بزرگتر است از

۰/۹۹۹۸ (در جدول مقادیری برای ۳/۴۹ <Z وجود ندارد). برای اینکه تحلیل ادامه یابد فرض کنید مقدار مورد نظر دقیقاً برابر با ۰/۹۹۹۸ است. این مقدار احتمال اینکه اختلاف ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$) کمتر از ۲/۵+ کیلومتر درساعت باشد را نشان می‌دهد (و یا اختلافی برابر $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)'$ و کمتر از ۳/۷۹+ را بیان خواهد نمود). احتمال مطلوب برابر است با:

$$Prob\ [-۳/۷۹ \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \leq +۳/۷۹]$$

تبدیل بسادگی انجام می‌شود. چون نرمال استاندارد حول میانگین خود (۰) قرینه است، احتمال اینکه ۳/۷۹- ≤Z باشد به همان احتمال ۳/۷۹ + ≤Z است و یا ۰/۰۰۰۲ = ۰/۹۹۹۸ - ۱/۰۰۰، بنابراین:

$$Prob\ [-۳/۷۹ \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \leq +۳/۷۹]$$
$$= ۰/۹۹۹۸ - ۰/۰۰۰۲ = ۰/۹۹۶$$

و: $Prob\ [-۲/۵۰ \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \leq +۲/۵۰] = ۰/۹۹۹۶$

می‌توان گفت احتمال اینکه اختلاف کمتر از ۲/۵+ کیلومتر درساعت بطور شانسی رخ دهد ۹۹/۹۶٪ درصد است. احتمال بروز اختلاف برابر یا بزرگتر از ۲/۵۰+ کیلومتر درساعت بطور تصادفی فقط ۴٪ درصد احتمال وجود دارد که این اختلاف تصادفی باشد. بنابراین فرضیه میانگین‌های مساوی رد شده و با اهمیت بودن اختلاف تائید می‌شود.

آزمایش بیان شده فوق مقدار اختلاف در میانگین‌ها را بین ۷± کیلومتر درساعت محاسبه می‌نماید. در اغلب مواقع این روش غیر عملی است. اگر قانونی جهت تقلیل سرعت در یک محل خاص درنظر گرفته شود مقدار $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ که بصورت یک عدد منفی بوده‌است کاملاً متناقض خواهد شد. بنابراین موضوع مزبور درنظر مهندس طراح بدین صورت جلوه خواهد نمود که محدود نمودن سرعت نه تنها موجب کاهش آن نشده بلکه برعکس موجب افزایش سرعت در آن نقطه بخصوص نیز شده‌است.

هیچگونه محاسبات آماری جهت تائید شکست کوشش‌های انجام شده ضروری نمی‌باشد دربسیاری از موارد عملی، فقط یک طرف معادله مورد نظر می‌باشد و اصلاحات مختصری در تحلیل موارد ذکر شده نیاز است.

در مثالی که قبلاً شرح آن رفت، احتمال $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ کمتر از ۲/۵+ کیلومتر درساعت تنها مقدار با مفهومی است که وجود دارد و این مقدار مستقیماً از جدول ۵ - ۸ بزرگتر از ۰/۹۹۹۸ قرائت گردید. هنچگونه انطباق دیگری در این مورد لازم نیست. بیش از ۹۹/۹۸ درصد احتمال وجود دارد که این اختلاف بصورت شانسی باشد. بدین ترتیب بااهمیت بودن اختلاف دوباره تائید می‌گردد. در مورد اول، بااهمیت بودن اختلاف میانگین‌ها بدون در نظر گرفتن افزایش و یا تقلیل سرعت ارزیابی می‌گردد. در حالت بعدی فقط اختلاف مورد توجه ملحوظ می‌شود (که در این حالت تقلیل سرعت است.)

آزمون- t. وقتی اندازه نمونه‌ها کوچک باشد ($n < ۳۰$) تقریب نرمال قابل قبول نمی‌باشد. بهر حال می‌توان نشان داد که متغیر:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_p \sqrt{(1/n_1)+(1/n_2)}} \qquad (۸-۱۴)$$

بر اساس منحنی توزیع t توزیع می‌گردد، با این فرض که $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ میانگین نمونه‌هائی از یک جمعیت هستند. همانند نرمال استاندارد، توزیع t- نیز فرض می‌شود که پارامترهای $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ (نمونه‌های میانگین از یک جمعیت) مساوی هستند و سپس میزان دقت فرض انجام شده ارزیابی می‌گردد. در محاسبه t داریم:

$\bar{x}_1$ = میانگین نمونه از جمعیت ماقبل

$\bar{x}_2$ = میانگین نمونه از جمعیت مابعد

n_1 = اندازه ماقبل

n_2 = اندازه نمونه مابعد

S_p = انحراف معیار مشترک

که:

$$S_P = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\, S^2_1 + (n_2 - 1)\, S^2_2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

در آزمون t لازم است که پارامترهای σ_1 و σ_2 در واقعیت با یکدیگر معادل باشند. این فرض باید بصورت آماری کنترل شود. آزمونی که در این حالت لازم است استفاده شود آزمون f می‌باشد.

کاربرد مقادیر جدول بندی شده توزیع t در جدول ۶ - ۸ منوط به تعیین مقدار F یعنی درجه آزادی است. مقادیر درجه آزادی بستگی کامل به تعداد اطلاعات مستقل از یکدیگر دارد. در مورد مطالعات قبل و بعد درجه آزادی برابر است با مقدار $N_1 + N_2$ هر چند که دو درجه از آزادی اطلاعات از دست رفته‌است. توجه داشته باشید که مقادیر $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ اطلاعات ورودی جهت محاسبه t هستند اگر $\bar{x}_1$ میانگین معلوم باشد، تنها $n - 1$ مشاهده اول از $\bar{x}_1$ حقیقتاً مستقل هستند. اعداد ۴، ۶، ۴ را درنظر بگیرید. اگر چنین فرض شود که متوسط چهار عدد رقم ۵ است نتیجه می‌شود که عدد چهارم مفقود شده باید ۶ باشد. بنابراین یک درجه آزادی از اطلاعات بخاطر استفاده از

پارامترهای $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ در محاسبات از دست رفته‌است. پس درجه آزادی بدست آمده برای آزمون t برابر است با:

$$f = n_1 + n_2 - 2$$

در نمونه‌های کوچک (وقتی که $n_1 < 30$ و یا $n_2 < 30$) آزمون t بجای تقریب نرمال برای تعیین اهمیت اختلاف میانگین‌ها باید بکار برده شود. برای نمونه‌های کوچک استفاده از آزمون غلط ممکن است نتایج اشتباهی را نیز بدنبال داشته باشد. مثال زیر را در نظر بگیرید:

مثال: مقادیر زیر داده شده‌است.

$$x_1 = ۵۰ \qquad x_2 = ۴۲$$
$$\sigma_1 = ۶/۴۸ \qquad \sigma_2 = ۷/۴۸$$
$$n_1 = ۴ \qquad n_2 = ۸$$

بااستفاده از تقریب نرمال داریم:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{(۶/۴۸)^۲}{۴} + \frac{(۷/۴۸)^۲}{۸}} = ۴/۱۵$$

تعداد انحراف معیار استاندارد: $\frac{۵۰ - ۴۲}{۴/۱۵} = ۱/۹۲$

با مراجعه به جدول ۵ - ۸ (منحنی نرمال)، احتمال اینکه اختلافی به بزرگی $۱/۹۲\sigma$+ در میانگین بطور شانسی بوجود آید برابر است با: $۱/۹۲ = ۰/۹۷۲۵ - ۱/۰۰$
(و یا نقطه ۹۷/۲۶ درصد). بنابراین قابل توجه بودن خطا بااستفاده از تقریب نرمال تائید می‌شود. با آزمون t خواهیم داشت:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{(۴-۱)(۶/۴۸)^۲ + (۸-۱)(۱/۴۸)^۲}{۴ + ۸ - ۲}} = ۷/۲۰$$

$$t = \frac{۵۰ - ۴۲}{(۷/۲۰)\sqrt{\frac{۱}{۴} + \frac{۱}{۸}}} = ۱/۸۱۰$$

$$f = ۴ + ۸ - ۲ = ۱۰$$

با استفاده از جدول ۶ - ۸ احتمال اینکه t به بزرگی ۱/۸۱ و به طور شانسی اتفاق بیافتد اندکی بیش از ۵ درصد خواهد بود (۱/۸۱۲ مستقیماً به ۵ درصد مربوط می‌شود)، لذا مقدار t اندکی پائین‌تر از نقطه ۹۵ درصد است و از آنجاکه ۹۵ درصد معیار قابل قبولی است، اهمیت اختلاف مشاهده شده قابل تائید نمی‌باشد.

مثال فوق لزوم استفاده از آزمون t را در نمونه‌های کوچک نشان می‌دهد.(n_1 و یا n_2 کوچکترین از ۳۰). برای مقادیر بزرگتر از ۳۰ آزمون t اندکی با منحنی نرمال تفاوت دارد (در اعشار سوم) و ممکن است از تقریب نرمال استفاده شود.

بهرحال هر چه n بزرگتر باشد تقریب نرمال دقیق‌تر خواهد بود.

آزمون - F. چون برای استفاده از آزمون t باید مقادیر واریانس‌ها با یکدیگر مساوی باشند، آزمون F نیز باید تانجام گیرد تا میزان دقت این فرض بررسی شود. می‌توان نشان داد که متغیر:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

برحسب توزیع F توزیع می‌شود، در صورتیکه σ_1^2 و σ_2^2 واریانس‌های نمونه‌هائی از یک جمعیت باشند. توزیع F در جدول ۷ - ۸ مرتب شده‌است وبرای استفاده از آن نیاز به مقادیر f_1 درجه آزادی مربوط به مطالعه ماقبل و f_2 درجه آزادی مربوط به مطالعه مابعد می‌باشد، که:

$$f_1 = n_1 - 1 \qquad f_2 = n_2 - 1$$

دراستفاده از آزمون F مرسوم است که مقدار بزرگتر واریانس قرار گیرد، بدون توجه به اینکه مربوط به مطالعات ماقبل یا مابعد باشد.

با اعمال آزمون F به مثال قسمت قبل خواهیم داشت:

$$\sigma_1^2 = (۶/۴۸)^۲ = ۴۱/۸$$
$$\sigma_2^2 = (۷/۴۸)^۲ = ۵۵/۳$$
$$f_2 = ۸ - ۱ = ۷ \text{ (صورت کسر)}$$
$$f_1 = ۴ - ۱ = ۳ \text{ (مخرج کسر)}$$

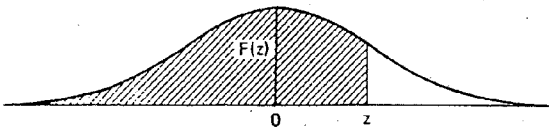
$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{۵۵/۳}{۴۱/۸} = ۱/۳۲$$

توجه: σ_2^2، مقدار بزرگتر در صورت قرار گرفته‌است. با مراجعه به جدول ۷ - ۸ برای درجه آزادی ۷ (صورت) و درجه آزادی ۳ (مخرج)، $F = ۵/۲۷$ برای $P(f) = ۰/۱۰$، $F = ۸/۸۹$ برای $P(f) = ۰/۰۵$ و $F = ۱۴/۶۲$ برای $P(f) = ۰/۲۵$ بدست می‌آید. چون مقدار محاسبه شده F کمتر از ۵/۲۷ است پیشنهاد می‌کند که احتمال اتفاق شانسی بیش از ۱۰ درصد است و اختلاف بین واریانس‌ها اهمیت ندارد.

توجه داشته باشید که در جدول ۷ - ۸، مقادیر f_1 و f_2 به صورت و مخرج اشاره دارد و نه به "قبل" و "بعد".

برازندگی تطابق

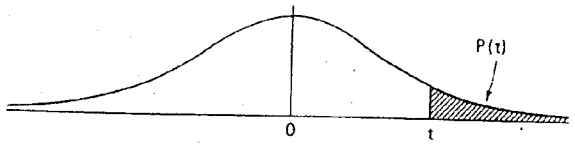
قسمت عمده مباحث قبلی بر این فرض استوار بود که نتایج



$$F(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}\, dz$$

جدول ۵ - ۸. توزیع نرمال تجمعی

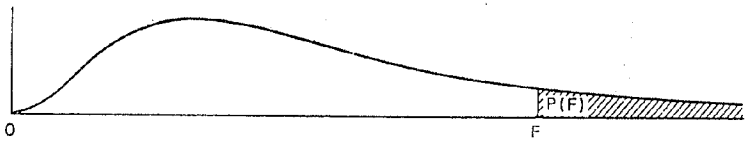
z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5539	.5276	.5316	.5356
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5569	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6661	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6919	.6950	.6985	.7019	.7054	.7083	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9046	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9432	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9682	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9716	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9712	.9817
2.1	.9812	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9854	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9887	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9937	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998



$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{(f-1/2)!}{(f-2/2)!\sqrt{\pi f}} (1+t^2/f)^{+(f+1)/2}\, dt$$

جدول ۶ - ۸. درصدهای حد بالای توزیع t

f P (t)	.40	.30	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.01	.005	.0003
1	.325	.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.289	.617	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.277	.584	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	.271	.569	.741	.941	1.190	1.8533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.287	.559	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	.265	.553	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.263	.549	.711	.869	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	.262	.546	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.401
9	.261	.546	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.260	.542	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.260	.540	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.259	.539	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.259	.538	.694	.870	1.079	1.350	1.177	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.258	.537	.692	.866	1.076	1.345	1.761	2.143	2.624	2.977	4.140
15	.258	.536	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.258	.535	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.257	.534	.689	.865	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.257	.534	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.257	.533	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.257	.533	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.257	.532	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	1.518	2.831	3.819
22	.256	.352	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.256	.532	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.256	.531	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.256	.531	.684	.856	1.058	1.316	1.708	1.060	2.485	2.787	3.725
26	.256	.351	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.256	.531	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.711	3.690
28	.256	.530	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.256	.530	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.256	.530	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.255	.529	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.254	.527	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.254	.256	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.253	.524	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291



$$P(F) = \int_F^\infty \frac{(f_1 + f_2 - 2)/2!}{(f_1 - 2)/2!\,(f_2 - 2)/2!} f^{f_1/2} f^{f_2/2} F^{(f_1-2)/2} (f_2 + f_1 F)^{-(f_1+f_2)/2}\, dF$$

جدول ۷ – ۸ نقاط بحرانی در توزیع F

$P(F) = 0.10$

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.20	60.70	61.22	61.74	62.00	62.25	62.53	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.67	9.48	9.46
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.76	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.04	3.01	2.98	2.96	2.94	2.99	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.40	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.30	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	3.28	3.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.68	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.60
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.38	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.88	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	162	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	2.89	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.64	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46

ادامه جدول ۷-۸

$P(F) = 0.10$

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.76	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.54	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.00	1.55	1.49	1.42	1.39	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00

$P(F) = 0.05$

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	199.50	215.71	224.56	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	243.91	245.95	248.01	249.05	250.09	251.14	252.20	253.25	254.32
2	18.51	19.00	19.16	19.12	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.00	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.55	4.53	4.50	4.46	4.43	4:40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.62	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.36	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	4.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.25	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.79	1.69	1.64	1058	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.1	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.64	2.48	2.29	2.18	2.09	2.02	1.69	1.61	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.23
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ادامه جدول ۷-۸

$P(F) = 0.025$

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	647.79	799.50	864.16	899.58	921.85	937.11	948.22	956.66	963.28	968.63	976.1	984.10	993.10	997.25	1001.4	1005.6	1009.8	1014.0	1018.3
2	38.51	39.00	39.16	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.37	39.40	39.42	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.74	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.26	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.34	8.31	8.26
5	10.01	8.83	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	9.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.06	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	4.06	4.52	4.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.50	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.50	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.37	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.36	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.76	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	2.96	2.96	2.88	2.76	2.70	2.58	2.58	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.88	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	2.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.67	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	5.79	3.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

بررسی‌های سرعت لحظه‌ای در واقع می‌تواند بصورت توزیع نرمال ارائه شود. این فرض را می‌توان بااستفاده از آزمون خی مربع (χ^2) برای برازندگی تطابق کنترل نمود. از این آزمون می‌توان برای کنترل خصوصیات اطلاعاتی که از هر نوع توزیع ریاضی حاصل می‌شود استفاده کرد. مقدار خی مربع ممکن است بصورت زیر محاسبه گردد.

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^{k} \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

که در آن:

f_o = فراوانی‌های مشاهده شده در گروه‌های سرعت مختلف

f_t = فراوانی‌های تئوری مربوط به گروه‌های مختلف سرعت در صورتیکه توزیع کاملاً نرمال باشد.

k = تعداد گروه‌های سرعت

تعداد درجات f، برای توزیع χ^2، وقتیکه تطابق با منحنی نرمال بررسی می‌شود، برابر است با $k - 3$، سه درجه آزادی از دست می‌رود زیرا میانگین $\bar{x}$، انحراف معیار σ و جمع فراوانی f_t در محاسبه فراوانی‌های تئوری مورد استفاده قرار می‌گیرد و باین ترتیب تعداد گروه‌های سرعت مستقل از هم را ۳ واحد کم می‌کند.

توزیع خی مربع زمانی که فراوانی‌های تئوری کم باشند دقیق نخواهد بود. قانون کلی اینست که فراوانی‌های تئوری نباید کمتر از ۵ باشد. این عمل حتی‌الامکان با نگهداری مقادیر درحد بزرگتر قابل اجرا خواهد بود. بهر حال اگر فراوانی‌های کوچک بوجود آید باترکیب گروه‌های سرعت و در بعضی مواقع خاص با حذف گروهای سرعتی که فراوانی کمی دارند، می‌توان جداول را تغییر داد.

برازندگی انطباق منحنی توزیع نرمال بااستفاده از آزمون خی مربع برای مطالعات سرعت نشان داده شده در جدول ۸ - ۸ انجام می‌شود. از روش سطح زیر منحنی نرمال برای توزیع مشاهده شده استفاده می‌گردد. مساحت مربوط به هر تعداد انحراف معیاری را می‌توان از جدولهای تهیه شده مساحت منحنی نرمال بدست آورد.

ستونهای جدول ۸ - ۸ در زیر تشریح شده‌است. توزیع χ^2 در جدول ۹ - ۸ گردآوری شده و مانند آزمون‌های قبل یک اطمینان ۹۵٪ برای اینکه اختلاف داده‌ها با آنچه از منحنی نرمال بدست می‌آید بااهمیت باشد، لازم است.

۱- گروههای سرعت هشت کیلومتر درساعت،

۲- تعداد سرعت‌های ضبط شده در هر گروه، با فراوانی‌های مشاهده شده،

۳- میزان انحراف حد بالای فاصله‌ها از میانگین،

۴- انحراف حدود فاصله‌ها از مقدار میانگین که برحسب تعداد انحراف معیار بیان می‌شود. ستون سوم تقسیم بر σ

۵- درصد سطح (احتمال) بین حد گروه و میانگین (بدست آمده از نرمال استاندارد جدول ۵ - ۸)

۶- درصد سطح (احتمال) در هر گروه، که از تفریق متوالی مقادیر ستون پنج بدست می‌آید.

۷- با ضرب کردن مقادیر ستون ۶ در مقدار کل مشاهدات، (۳۰۰ در مسئله نمونه)، درصد فراوانی‌های تئوری، f_t بدست می‌آید. فروانی‌های تئوری کمتر از ۵ در اینجا باید ترکیب شوند

۸- اختلاف‌های، $f_0 - f_t$

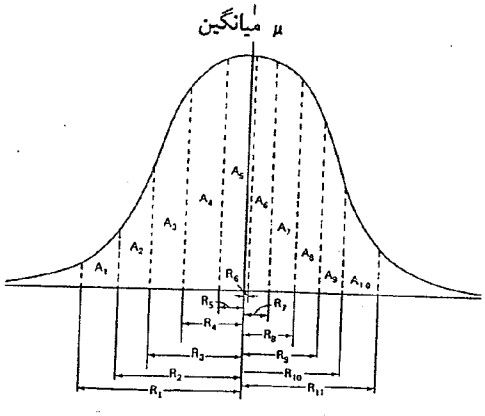
۹- مجذور اختلاف‌ها $(f_0 - f_t)^2$

۱۰- مجذور اختلاف تقسیم بر f_t یعنی $\frac{(f_0 - f_t)^2}{f_t}$

جمع مقادیر ستون ۱۰ مقدار χ^2 را می‌دهد.

روش مساحت برای محاسبه مقادیر فراوانی تئوری در شکل ۵ - ۸ نشان داده شده‌است.

مقادیر ستون ۵ درصد سطح یا احتمال بین حد گروه و میانگین را نشان می‌دهد. در شکل ۵ - ۸ این مقادیر به $R_1 R_2 R_3 R_4$ و غیره نشان داده شده‌است که بااستفاده از مقادیر ستون‌ها و جدول ۵ - ۸ تعیین شده‌اند.



شکل ۵ - ۸، روش مساحت در محاسبه فراوانی تئوری

جدول ۸ - ۸، آزمون خی مربع برای انطباق اطلاعات سرعت به منحنی نرمال

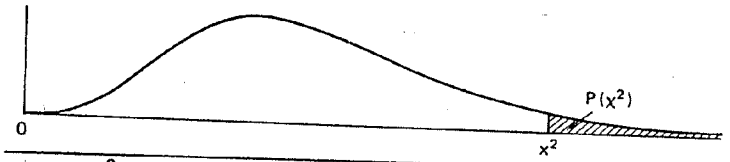
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
گروه سرعت	تعداد وسایل نقلیه مشاهده شده	انحراف حد گروه	انحراف بر حسب σ	درصدمساحت‌بین حدگروه‌ومیانگین	درصد مساحت در فاصله گروهی	فراوانی تئوری f_t	$f_o - f_t$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
24–31.9	6	−38.3	−2.76	49.71	1.17	3.51 } 15.90	−1.90	3.61	0.23
32–39–.9	8	−30.3	−2.18	48.54	4.13	12.39			
40–479	29	−22.3	−1.59	44.41	10.03	30.09	−1.09	1.19	0.04
48–55.6	60	−14.3	−1.01	34.38	17.74	53.22	6.78	45.97	0.86
56-63.9		−6.3	−0.43	16.64					
	63	+1.6	+0.14	5.57	22.21	66.63	−3.63	13.18	0.20
64–71.9	74	+9.6	0.72	26.42	20.85	62.55	11.45	131.10	2.10
72–79.9	29	+17.6	1.30	40.32	13.90	41.70	−12.70	161.29	3.86
80–87.9	19	+25.6	1.88	46.99	6.67	20.01	−1.01	1.02	0.05
88–95.9	10	33.6	2.46	49.31	2.32	6.96 } 8.67	3.33	11.09	1.28
96–103.9	2	+41.6	3.04	49.88	0.57	1.71			

۱- مقادیر معلوم نمونه برای مطالعات سرعت: $\bar{X} = ۶۲/۳$ ، $\sigma = ۱۳/۸۵$ ، $n = ۳۰۰$

۲- χ^2 = جمع ستون ۱۰ = ۸/۶۲

۳- سطح احتمال (جدول ۹ - ۸) = (۰/۱۵) $\frac{۰/۶۲}{۲/۶۱}$ + ۰/۱۰ = ۱۳/۶ درصد

۴- چون ۵ < ۱۳/۶ می‌توان فرض کرد که اطلاعات بدست آمده توزیع نرمال دارد.



$$P(\chi^2) = \int_{\chi^2}^{\infty} \frac{1}{(f-2/2)!\,2^{1/2}} (\chi^2)^{(f-2)/2} e^{-\chi^2/2}\, d(\chi^2)$$

جدول ۹ - ۸ . درصدهای حد بالائی توزیع خی مربع

$P(\chi^2)$	.995	.990	.975	.950	.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
1	3927×10^{-2}	1571×10^{-7}	9821×10^{-7}	3932×10^{-6}	0.01579	0.1015	0.4549	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01003	0.02010	0.05064	0.1026	.2107	.5754	1.386	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210	10.60
3	.07172	.1148	.2158	.3518	.5844	1.213	2.366	4.108	6.251	7.815	9.348	11.34	12.34
4	.2070	.2971	.4844	.7107	1.064	1.923	3.357	5.585	7.779	9.488	11.14	13.28	14.86
5	.4117	.5543	.8312	1.145	1.610	2.675	4.351	6.626	9.236	11.07	12.83	15.09	16.75
6	.6757	.8721	1.237	1.635	2.204	3.455	5.348	7.841	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	.9893	1.259	1.690	2.167	2.833	4.255	6.346	9.037	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.199	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.150	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.458	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.697	5.408	7.564	8.672	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.844	7.644	8.907	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.434	8.260	9.591	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.034	8.897	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.93	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.643	9.542	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.260	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.886	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.24	28.24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	43.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	33.66	39.34	45.62	51.80	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	42.94	49.33	56.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	52.29	59.33	66.98	79.08	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	61.70	69.33	77.58	85.53	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	71.14	79.33	88.13	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
60	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	80.62	89.33	98.65	107.56	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.00	74.22	77.93	82.36	90.13	99.33	109.14	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17
χ^r	-2.576	-2.326	-1.960	-1.645	-1.282	-0.6745	0.0000	+0.6745	+1.282	+1.645	+1.960	+2.326	12.576

مقادیر ستون ۶، A_1، A_2 و غیره نشان دهنده مساحت یا درصد رویداد هر یک از گروه‌های سرعت می‌باشند. که بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$A_1 = R_1 - R_2$$
$$A_2 = R_2 - R_3$$
$$A_3 = R_3 - R_4$$
$$A_4 = R_4 - R_5$$
$$\boxed{A_5 = R_5 - R_6}$$

توجه کنید که این حالت خاص گروه سرعت‌هاست که در دو طرف میانگین می‌باشد.

$$A_6 = R_1 - R_6$$
$$A_7 = R_8 - R_1$$
$$A_8 = R_9 - R_8$$
$$A = R_{10} - R_9$$
$$A_{10} = R_{11} - R_{10}$$

آزمون χ^2 در جدول ۸ - ۸ انجام شده‌است.

مشخصات سرعت لحظه‌ای

روندهای سرعت

تغییر مشخصات وسائل نقلیه موتوری در رابطه با سرعت و قابلیت ترمزها و پیشرفت‌های بوجود آمده در روش‌های طراحی راه باعث افزایش پیوسته سرعت‌های عملی در تمام راه‌هاشده است. سرعت متوسط (میانگین ریاضی) در راه‌های اصلی برون شهری افزایش یافته است (براساس نتایج ۳۶۸ مطالعه سرعت که بوسیله *BPR* برای ۲۶ ایالت آمریکا در سال ۱۹۵۷ انجام شده‌است.) همانطور که دیده می‌شود مقادیر سرعت میانگین برای کلیه وسائل نقلیه در سطح کل آمریکا افزایش پیدا کرده و از ۷۵/۸ کیلومتر در ساعت برای سال ۱۹۴۸ به ۷۹/۷ کیلومتر درساعت برای سال ۱۹۵۲ و به ۸۹/۸ در سال ۱۹۶۳ رسیده‌است. (به جدول ۱۰ - ۸ مراجعه کنید.)

جدول ۱۰ - ۸ سرعت‌های متوسط ملی در آمریکا، سال ۱۹۶۳

نوع وسیله	سرعت متوسط کیلومتردرساعت	درصد بیش از ۸۰ کیلومتردرساعت
ماشینهای سواری	۹۱/۹	۷۷/۵
کامیونها	۸۲/۶	۵۵/۰
انوبوس‌ها	۹۳/۵	۷۷/۵

اگرچه سرعت، میانگین ملی در راه‌های اصلی برون شهری آمریکا در سال ۱۹۶۴ اندکی کمتر از میانگین سرعت‌های بدست آمده برای اتومبیل‌ها و اتوبوسها در سال ۱۹۶۳ بوده، لیکن سرعت میانگین کامیون‌ها اندکی اضافه گردیده است.

توزیع سرعت

رانندگان علاوه بر محدودیت‌های قانونی در انتخاب سرعت تحت تاثیر عوامل دیگری نظیر حجم ترافیک، چگالی ترافیک، شرایط وسیله نقلیه و شرایط محیطی هستند. هرگاه ترافیک و شرایط جاده بگونه‌ای باشند که راننده بتواند سرعت دلخواه خود را انتخاب نمایند، یعنی شرایط تردد آزاد، همیشه محدوده بزرگی از سرعت‌ها وجود دارد که رانندگان با آن سرعت‌ها وسیله نقلیه خود را میرانند تحت این شرایط توزیع سرعت یک توزیع نرمال می‌باشد. (اهمیت قسمتهای مختلف منحنی توزیع سرعت قبلاً بحث گردیده است.)

همانگونه که روندهای سرعت نشان داده است، سرعت متوسط بیش از ۸۰ کیلومتر درساعت امری غیر عادی می‌باشد. برای مقایسه، تعداد کمی از رانندگان مایل هستند اتومبیل‌های خود را با حداکثر سرعت ممکن که وسیله نقلیه آنها اجازه می‌دهد، حتی در مواردی که از نظر ترافیک و جاده شرایط قابل قبولی حاکم باشد، رانندگی کنند. بیشترین سرعت قابل دسترسی در اتومبیل‌های تولید شده از ۱۲۰ کیلومتر درساعت در مدلهای سال ۱۹۳۰ تا ۱۸۵ کیلومتر درساعت در مدلهای سال ۱۹۵۸ بوده‌است.

تاثیر حجم ترافیک درسرعت

بررسی‌های انجام شده در مقیاس وسیع نشان داده‌است که یک رابطه خطی بین حجم ترافیک و سرعت متوسط، وقتی که سایر شرایط ترافیک یکسان بوده و چگالی نیز از شرایط بحرانی آن تجاوز نکرده باشد، وجود دارد. چگالی بحرانی ترافیک در سرعت حدود ۵۰ کیلومتر درساعت و حجم ترافیکی تقریباً برابر ۲۰۰۰ اتومبیل درساعت برای یک جاده دوخطه معمولی دو طرفه و یا ۲۰۰۰ اتومبیل درساعت برای یک خط عبور بزرگراه چهار خطه، اتفاق می‌افتد. سرعت متوسط هنگامیکه حجم ترافیک افزایش می‌یابد، بصورت خطی کاهش پیدا می‌کند. تاثیر خط عبور در سرعت برای دو مورد بدست آمد، یکی خط عبور با عرض ۲/۹۷ متر و دیگری با عرض ۳/۴۳ متر. هر دو پارامتر حجم ترافیک و سرعت متوسط برای خط عبور عریض‌تر بیشتر بود.

خط عبورهای عریض سرعت متوسط ۶۳ کیلومتر درساعت را نشان دادند، در حالیکه خطهای باریکتر سرعت متوسط ۴۳ کیلومتر در ساعت را بوجود آوردند. محل‌های انتهائی پل‌ها ممکن است تاثیری در حالت‌ها و مقادیر ذکر شده بوجود آورند.

جدول ۱۱ - ۸، سرعت در بزرگراه‌های ایالت ایلینویز آمریکا (کیلومتر درساعت)

	اتومبیل سواری	کامیون سبک	کامیون متوسط	کامیون سنگین	اتوبوس
سرعت‌متوسط(روز)	۸۸/۴	۷۴/۸	۷۲/۰	۷۵/۴	۸۴/۵
سرعت‌متوسط (شب)	۸۵/۳	۷۸/۹	۷۷/۱	۷۶/۸	۹۰/۶

این مکان وجود دارد که یک پل سیستم توزیع خیابانی بهتری نسبت به پل دیگر داشته باشد.

تغییر سرعت در زمان‌های روز

در یک مورد مطالعه آزاد راه‌ها این نتیجه بدست آمد که سرعت متوسط در اوقات شب و روز اساساً یکسان هستند، اما آنچه که قابل توجه می‌باشد اختلاف بین توزیع سرعت در روز و شب است. نتایج مشابه از یک مطالعه دیگر نیز گزارش شده است، اما این شامل تسهیلات شهری از بزرگراه‌های با دسترسی کامل تا یک شریانی با پارکینگ حاشیه‌ای و توسعه تجاری کناری در طول آن می‌شود. تغییرات نسبت زیادی در اوقات صبح زود درسرعت اتفاق می‌افتد و دلیل آن حجم پائین ترافیک در این زمان‌ها می‌باشد. برای اکثر مناطق اندازه تغییرات سرعت در اوقات روز نسبتاً کم و کوچک بودند مگر در زمان‌های حداکثر حجم ترافیکی.

در یک منطقه انتقالی از شرایط برون شهری به شهری این نتیجه بدست آمد که سرعت‌های متوسط در طول قسمت انتقالی از یک منطقه تا منطقه دیگر تغییر می‌کند. در هیچکدام از مناطق حجم ترافیک به اندازه کافی به ظرفیت جاده نزدیک نبوده است تا تقلیل عمده‌ای را در سرعت، بخاطر فقط حجم باعث گردد.

در محل‌های پر سرعتی از راه‌های برون شهری ایالت ایلینویز آمریکا در سال ۱۹۵۵، تغییراتی که در جدول ۱۱ - ۸ دیده می‌شود بدست آمد.

تغییرات سرعت متوسط برای انواع وسایل نقلیه

در ترافیک با جریان آزاد، سرعت متوسط اتوبوس‌ها از سرعت متوسط اتومبیل‌های شخصی تجاوز می‌نماید، همانگونه که از سرعت متوسط کامیون‌ها بیشتر است. در یک مقایسه انواع مختلف اتومبیل‌های شخصی، اختلاف چندان زیادی درسرعت اتومبیل‌های کوچک و خارجی در مقایسه با اتومبیل‌های استاندارد آمریکائی در بزرگراه‌های شهری به چشم نمی‌خورد.

تغییرات سرعت با توجه به شرایط جاده

در ایالت نیویورک در راه‌های برون شهری، مشاهده گردید که رانندگان هنگام نزدیک شدن به قوس قائم با مسافت دید کم (بین ۵۰ تا ۱۷۰ متر) سرعت خود را تا حدی کاهش می‌دهند. بهر حال این کاهش سرعت خیلی کمتر از آنست که جهت تامین شرایط عملکرد ایمن لازم است. در مطالعات دیگری رانندگان هنگام نزدیک شدن به قوس‌های افقی با مسافت دید کم مقدار بیشتری از سرعت خود را در مقایسه با قوس‌های قائم کاهش می‌دهند.

کاهش سرعت قابل توجه هنگامی اتفاق می‌افتد که مسافت دید کمتر از ۳۳۰ تا ۴۰۰ متر باشد.

در رابطه با اثرات لوازم انعکاسی جاده‌ها در سرعت، بعد از اینکه از این نقطه نظر طرح‌های بهبودسازی برای نقاط خطرناک به اجرا درآمد تغییرات قابل توجهی در الگوهای سرعت مشاهد نشد، ولی بطور کلی سرعت اتومبیل‌های مشخصی در شب به اندازه حدود ۲ تا ۸ کیلومتر در ساعت از سرعت در روز کمتر است. در بررسی اثرات روشنائی و لوازم انعکاسی نتایج مشابهی بدست آمد، بطوریکه هیچگونه تغییر مهمی در سرعت متوسط شبانه بدلیل روشنایی و لوازم انعکاسی پدید نیامد. بهر حال این نتیجه بدست آمد که جاده‌های دوخطه با خط کشی میانی سرعت متوسطی به اندازه ۶ کیلومتر درساعت بیشتر از جاده‌های فاقد آن دارند.

در بررسی خطوط تغییر سرعت در نقاط مختلف، تفاوت‌های عمده‌ای در سرعت ترافیک بین خط ازدیاد و کاهش سرعت در زمان ورود و خروج و خطوط مستقیم وجود دارد، ولی ترافیک خط ازدیاد یا کاهش سرعت تاثیر کمی روی سرعت ترافیک خط عبوری بجا می‌گذارد.

در بررسی خط ازدیاد سرعت نوع مستقیم - باریکشو و نوع موازی، مشخص شد که نوع مستقیم - باریکشو، از نظر خصوصیات سرعت، بطور قطع خیلی بهتر از نوع موازی می‌باشد، در حالیکه شیبراهه‌های خروجی سمت چپ در بزرگراه‌ها هیچگونه اثر منفی درسرعت ترافیک عبوری ندارند. اساساً سرعت، زمانیکه فاصله بین تقاطع‌های همسطح زیاد می‌شود، بیشتر خواهد بود. فاصله بین تقاطع‌های غیر همسطح با بستن شیبراهه‌های بینابینی انجام می‌شود. بستن شیبراهه‌ها هیچگونه بهبودی در شرایط عملکردی کل ترافیک بوجود نیاورد.

در بدست آوردن مدل‌هائی (معادلات برگشتی خطی چند متغیره) که بتوان برای تخمین سرعت میانگین لحظه‌ای راه‌های دو خطه برون شهری از آنها استفاده نمود مشخص گردید که از هشت متغیر در نظر گرفته شده، قوس‌ها بیشترین تاثیر را در خصوصیات سرعت داشته‌اند. متغیرهای دیگر عبارت بودند از اتومبیل خارج از ایالت، کامیون‌های ترکیبی، شیب، مسافت دید،

عرض خط عبور، توسعه کنار جاده، و حجم ترافیک. همچنین مشخص گردید که اصطکاک جریان ترافیک (خصوصاً اجزاء هندسی مقاطع عرضی) و ترکیب ترافیک بیشترین سهم را در تغییرات سرعت میانگین دارند.

نصب گاردریل در میانه‌های باریک (با عرض ۴ فوت) اگرچه هیچگونه تاثیری در خصوصیات سرعت نداشت اما باعث افزایش فراوانی تصادفات گردید. اجسام قرار داده شده در شانه‌های راه، بدون توجه به اینکه فاصله آنها تالبه جاده چقدر باشد، باعث کاهش سرعت برای اتومبیل‌های شخصی در جاده‌های با عرض روسازی ۴/۹۰ تا ۶/۱۰ متر برابر با حدود ۵ کیلومتر در ساعت، و در جاده‌های با عرض روسازی ۶/۷۰ تا ۷/۹۰ متر برابر با حدود ۱/۵ کیلومتر در ساعت بوده‌است. نوع روسازی شانه‌های با عرض تقریباً یکسان تاثیر چندانی در سرعت ندارد، ولی سرعت در جاده‌های معمولی دوخطه با عرض شانه‌های ۳ متر در مقایسه با ۱/۲۰ متر کمی افزایش پیدا نمود (۳ تا ۸ کیلومتر درساعت).

اثرات نوع توسعه اطراف در سرعت

گسترش مداوم نقاط مسکونی باعث کاهش سرعت گشته است. شدت کاهش سرعت بیشتر بستگی به محدودیت‌های جانبی است که بوجود می‌آید تا تراکم نسبی این توسعه‌ها. پوشش گیاهی انبوه شامل درختان و بوته زارهای نزدیک به جاده به حصول این نتایج کمک می‌نماید. توسعه تجاری متمرکز در مناطق انتقالی سبب کاهش قابل توجه در سرعت‌ها می‌گردد.

همچنین این نتیجه بدست آمده است که رانندگان سریع در مناطق برون شهری معمولاً در مناطق انتقالی نیز سریع هستند و سرعت وسایل توصیه‌ای که دائماً در حال سفر در مناطق توسعه یافته هستند اصولاً از سرعت وسایل نقلیه‌ای که از میان مناطق توسعه یافته عبور می‌کنند کمتر می‌باشد.

سرعت کلی سفر اساساً تحت تاثیر چهار عامل قرار دارد. توسعه تجارتی، توسعه شهری، و اصطکاک جریان که تاثیر منفی بر سرعت سفر می‌گذارند و توسعه غیر شهری که بطور مثبت بر سرعت سفر اثر دارد. توسعه تجاری عبارتست از قسمت‌هائی که از میان مناطق شهری عبور می‌کند. اصطکاک جریان آن قسمت‌هائی را تشریح می‌کند که شرایط ترافیک باعث ایجاد تراکم می‌گردد، و توسعه غیر شهری شامل بخشهایی است با توسعه کم مناطق کنار جاده. توسعه تجاری بیشترین اثر منفی را روی سرعت سفر دارد، و لذا تا ۳۰٪ کاهش سرعت نیز ممکن است به این دلیل باشد.

تاثیر آب و هوا روی سرعت

هوای بد سرعت راکاهش می‌دهد و مقدار این کاهش بستگی به شدت بدی هوا دارد. تاثیر هوای طوفانی به آن حد است که سرعت متوسط را تا ۴۰٪ کاهش می‌دهد و در این حالت تراکم تا حدود ۶۰٪ چگالی بحرانی می‌رسد. این درصدها براساس شرایط تردد آزاد در آب و هوای مناسب بدست آمده است.

اثرات راننده در سرعت

هشتادوچهار درصد رانندگان وسائل نقلیه شخصی در یک تحقیق احساس می‌نمودند که حداکثر سرعت مجاز حدود ۱۰۵ کیلومتر در ساعت منطقی است، و جالب است که سرعت هشتادوپنجمین درصد برای تعیین سرعت مجاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک تحقیق دیگر رانندگان به سرعت‌های مختلف، بدون داشتن سرعت سنج، هدایت شدند و از آنها خواسته شد تا سرعت را تخمین بزنند. مقادیر تخمین زده شده در سرعت‌های بالا بیشتر از مقادیر واقعی و در سرعت‌های پائین کمتر از آن بود، دو معادله برگشتی خطی در حوالی سرعت ۶۵ کیلومتر در ساعت یکدیگر را قطع نمودند. تخمین سرعت در دید پیرامونی دقیق‌تر است تا زاویه تیزبینی، و کاهش شتاب به نحو موثرتری نسبت به ازدید شتاب احساس می‌شود.

اگرچه رانندگان قادر نیستند سرعت وسیله نقلیه مقابل را بطور دقیق تخمین بزنند، ولی قادرند قضاوت خوبی در مورد فاصله با وسیله نقلیه مقابل داشته باشند. تجربه‌های مختلف نشان داده‌اند که رانندگان می‌توانند استفاده موثری از اطلاعات راجع به سرعت وسیله نقلیه مقابل در هنگام سبقت‌گیری داشته باشند.

تغییرپذیری اندازه‌گیری‌های سرعت لحظه‌ای

در تعیین اعتبار نمونه‌های سرعت لحظه‌ای برای پیش‌بینی سرعت جریان ترافیک و نیز در ارزیابی تغییرات رفتار سرعت که بطور مصنوعی ایجاد می‌شوند، ملاحظه می‌گردد که یک نوع تغییرپذیری ذاتی درسرعت وجود دارد. مشاهده گردید که نمونه‌های گرفته شده در زمان‌های مختلف را، حتی اگر شرایط محیطی قابل مقایسه باشند. نمی‌توان برای تفسیر تفاوت‌های موجود در میانگین نمونه‌ها مورد استفاده قرار داد.

تفاوت‌های عمده‌ای بین میانگین‌های مختلف ساعتی، روزانه و ماهانه، اگرچه محل‌های مطالعه درطول زمان نمونه‌گیری عاری از تراکم ترافیکی باشد، وجود دارد.

فصل ۹
مطالعات حجم ترافیک

مطالعات حجم ترافیک مربوط به بدست آوردن اطلاعات دقیق در مورد تعداد و چگونگی حرکت وسائل نقلیه و یا پیاده‌ها در یک منطقه یا نقاط انتخاب شده‌ای در داخل منطقه می‌شود.

تعاریف

حجم: تعداد وسائل نقلیه‌ای که از یک نقطه معین و در مدت زمان مشخص عبور می‌کند، و یا تعداد وسائل نقلیه‌ای که از یک مقطع معین یک خط عبور و یا کل خیابان در طی مدت زمانی مشخص عبور می‌کند را حجم ترافیک می‌گویند.

ترافیک متوسط روزانه در سال: عبارت است از حجم کل سالیانه تقسیم بر تعداد روزهای سال، که بطور خلاصه شده با *AADT* نشان داده می‌شود.

ترافیک متوسط روزانه: عبارت است از حجم کل ترافیک در یک مدت زمان داده شده که بیشتر از یک روز و کمتر از تعداد روزهای سال باشد، تقسیم بر تعداد روزهای آن مدت زمانی که بطور خلاصه شده با *ADT* نشان داده می‌شود.

حداکثر حجم ساعتی سالیانه: بالاترین حجم ساعتی که طی یک سال مشخص در یک جاده دیده می‌شود.

سی امین حجم حداکثر ساعتی در سال: حجم ساعتی که ۲۹ حجم ساعتی بیشتر از آن در طی یکسال مشخص دیده شود. تعاریف مشابه برای سایر حجم‌های حداکثر مانند حجم حداکثر مرتبه دهم، دوازدهم و غیره نیز وجود دارد.

چگالی: تعداد وسائل نقلیه‌ای که واحد طول یک خط عبور یا خطوط عبور یک مسیر را در یک لحظه زمانی مشخص اشغال می‌کنند. معمولاً بر مبنای تعداد وسائل نقلیه در کیلومتر یا مایل بیان می‌گردد.

چگالی متوسط: تعداد متوسط وسائل نقلیه در واحد طول مسیر برای یک مدت زمانی مشخص را گویند.

حجم و چگالی را نباید با یکدیگر اشتباه گرفت و این دو قابل جایگزینی نیز نمی‌باشند. سه پارامتر اساسی جریان ترافیک عبارتند از حجم *(V)* سرعت *(S)* و چگالی *(D)*.

رابطه بین این سه پارامتر هنگامی که حجم بر حسب میزان وسائل نقلیه در ساعت بیان می‌گردد. به صورت $V = D.S$ است. دانسیته (برحسب وسیله نقلیه در ساعت) تقسیم بر میانگین سرعت کل (بر حسب کیلومتر در ساعت). این امکان وجود دارد که یک حجم خیلی پایین ترافیک با یک چگالی بالای ترافیک همراه باشد. در واقع بالاترین چگالی‌های ترافیک هنگامی اتفاق می‌افتد که وسائل نقلیه عملاً در حال توقف هستند. در چنین مواردی حجم ترافیک تقریباً صفر می‌گردد. بنابراین چگالی را می‌توان معیار بهتری برای سرویس دهی یک خیابان دانست تا حجم، چرا که همراه با بالا رفتن انبوه وسائل نقلیه افزایش پیدا می‌کند. برای هر حجم داده شده کارآئی جریان ترافیک با مشاهده چگالی بدست می‌آید. چگالی کمتر جریان سریع تر ترافیک و کارآئی بیشتر آن را همراه دارد.

چگالی بحرانی: چگالی ترافیک هنگامی که حجم ترافیک به اندازه ظرفیت خیابان یا خط عبور مربوطه باشد. در یک چگالی بیشتر یا کوچکتر از چگالی بحرانی حجم ترافیک کاهش خواهد یافت. چگالی بحرانی هنگامی اتفاق می‌افتد که تمام وسائل نقلیه در حال حرکت در سرعتی مساوی یا حدوداً مساوی حرکت می‌کنند.

نیاز به اطلاعات در مورد حجم ترافیک

اطلاعات مربوط به حجم ترافیک در برنامه ریزی ترافیک، اجرا و تحقیق بسیار مهم است. انواع اطلاعات در مورد حجم بر اساس نوع کاربرد آنها تفاوت می‌کنند.

حجم‌های ترافیک سالیانه در موارد زیر مورد استفاده هستند:

۱- اندازه‌گیری و تشخیص روند تغییرات حجم ترافیک

۲- تعیین میزان مسافرت سالیانه بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر به عنوان توجیه اقتصادی هزینه‌های پیشنهادی

۳- محاسبه میزان تصادف در هر صد میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر.

۴- تخمین درآمدهای بزرگراه‌ها.

حجم‌های *AADT* یا *ADT* در موارد ذیل استفاده می‌شوند:

۱- کارهای طراحی و برنامه ریزی راه‌ها، مانند توسعه سیستم راه‌های شریانی و یا بزرگراه‌ها و انتخاب مسیرهای عبوری در شهر و یا انتخاب بهترین مسیر برای یک راه جدید و یا توسعه آن.

۲- برنامه ریزی بزرگراه‌ها جهت تعیین نیازها و تقدم اصلاح خیابانها.

۳- اندازه‌گیری میزان تقاضا برای سرویس دهی خیابان‌ها یا بزرگراه‌ها.

۴- بررسی وضعیت سرویس دهی سیستم بزرگراه‌ها و خیابان‌های موجود.

استفاده مستقیم از *AADT* در طرح هندسی امکان پذیر نیست زیرا که *AADT* نمی‌تواند نشان دهنده تغییرات اساسی که در جریان ترافیک و در ماههای مختلف سال، روزهای مختلف هفته، ساعات مختلف روز و در طی لحظات ساعت اتفاق می‌افتد باشد.

حجم‌های ساعت اوج برای موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱- طرح هندسی در رابطه با تعداد و عرض خط‌های عبور، مسیر دهی ترافیک، طرح تقاطع‌ها، طرح شیبراهه‌ها و شانه‌ها، و سایر موارد طرح هندسی راه‌ها.

۲- تعیین کمبودهای ظرفیت.

۳- توجیه برنامه ریزی و مکان یابی لوازم کنترل ترافیک مانند چراغ‌های راهنمایی، تابلوها و علائم.

۴- توسعه برنامه‌های عملکردی ترافیک مانند تشخیص خیابان‌های عبوری، خیابانهای یکطرفه، تردد نابرابر در دو جهت، و مسیردهی به ترافیک.

۵- توجیه سایر موارد مقرراتی مانند پارکینگ، محدودیت‌های دور زدن و توقف.

۶- طبقه بندی راه‌ها.

۷- توجیه و برنامه ریزی برای اعمال مقررات.

حجم‌های طبقه بندی شده که نوع وسائل نقلیه، تعداد محورهای، آنها و وزن و ابعاد آن‌ها را بدست می‌دهند در موارد زیر استفاده می‌شوند:

۱- طرح هندسی مسیر در رابطه با حداقل مسیرهای دور زدن، فواصل ایمن، شیب‌ها و غیره.

۲- طرح سازه‌ای روسازی، پل‌ها، و تسهیلات دیگر راه‌ها.

۳- تخمین در آمدهای بزرگراه.

۴- تعدیل و میزان نتایج دستگاه‌های شمارش.

حجم‌های کوتاه مدت برای مدت‌های کمتر از یک ساعت (۱، ۵، ۶، ۱۰ و یا ۱۵ دقیقه) در موارد زیر استفاده می‌شوند:

۱- تجزیه و تحلیل مقدار حداکثر جریان و تغییرات جریان در ساعت‌های اوج.

۲- تعیین محدودیت‌های ظرفیتی در مناطق شهری، زیرا که ترددهای ساعتی ترافیک، تغییرات جریان را بطور کاملاً معینی نشان نمی‌دهند.

۳- تعیین ویژگی‌های حجم ساعت اوج.

۴- فراهم نمودن روش‌های اقتصادی برای کسب اطلاعات حجم ترافیک.

شمارش‌های حجم در تقاطع برای موارد زیر انجام می‌شود:

۱- کل ترافیک وارد به تقاطع از تمام شاخه‌ها.

۲- کل ترافیکی که حرکت‌های چرخشی (دور زدن)، ممکن را انجام می‌دهند.

۳- ترافیک کل در مدت‌های زمانی.

۴- طبقه بندی وسائل نقلیه بر حسب نوع.

اطلاعاتی که در رابطه با حجم و طبقه بندی وسائل نقلیه‌ای که در حال حرکت‌های گردشی (دور زدن) هستند در طراحی تقاطع همسطح، طراحی تقاطع غیر همسطح، مسیر دهی ترافیک، تحلیل تصادفات (برای پیدا کردن راه‌های علاج) تحلیل ظرفیت، تحلیل تراکم، برنامه ریزی و طراحی وسائل کنترل موثر (مانند زمان بندی چراغ‌های راهنمایی و فاز بندی) و محدودیتهای دور زدن و پارک کردن اهمیت دارند.

شمارش‌های حجمی بین دو تقاطع جهت تعیین موارد ذیل انجام می‌گردند:

۱- ترافیک کلی از دو طرف.
۲- ترافیک کلی در مدت زمان‌های مختلف.
۳- طبقه بندی وسائل نقلیه بر حسب نوع.

اطلاعات در مورد توزیع ترافیک در امتدادهای گوناگون و تقسیم بندی وسائل نقلیه برای تحلیل ظرفیت، طراحی خیابانهای یکطرفه، جریان ترافیک نامتعادل، سیستم چراغ‌های راهنمایی و زمان بندی آنها، محدودیت‌های پارک و توجیه انواع مختلف ابزار کنترل ترافیک مهم هستند.

شمارش‌های خط محدوده. جهت تعیین میزان تجمع وسائل نقلیه و یا اشخاص در طی یک مدت زمانی نمونه و در داخل یک ناحیه که منطقه محدوده نامیده می‌شود انجام می‌گیرد. خط محدوده منطقه مزبور را تعریف می‌کند و هر خیابانی که این خط را قطع کند یک ایستگاه شمارش است، بطوری که تمام وسائل نقلیه و یا اشخاصی که وارد شده و یا خارج می‌گردند شماره می‌شوند. اطلاعات شمارش محدوده برای طراحی پارکینگ مورد نیاز، برنامه ریزی بلند مدت بزرگراهها و راه‌های شریانی، طراحی سرویسهای حمل و نقل عمومی مورد نیاز، فراهم نمودن مبنائی برای ارزیابی و معرفی تکنیکهای عملکردی ترافیک شامل ابزار کنترل ترافیک و ضوابط مقرراتی ترافیک و برنامه ریزی برای ضوابط خاص اجرائی مورد استفاده می‌باشد.

شمارش‌های خط تقسیم در تقاطع با موانع طبیعی یا مصنوعی مانند آبراهها، خطوط راه‌آهن، بزرگراهها، پارک‌ها یا تقاطع‌ها با یک خط فرضی انجام می‌شود، خط‌های تقسیم برای تقسیم ناحیه تحت مطالعه به بخش‌های گسترده به منظور توسعه اطلاعات مبدأ و مقصد و تخصیص ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عمل با شناسائی تغییرات بلند مدت در حجم و جهت ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عمل با شناسائی تغییرات بلند مدت در حجم و جهت ترافیک که ناشی از تغییرات اساسی در کاربری زمین و الگوهای سفر است انجام می‌گیرد.

شمارش‌های حجم پیاده در محل‌های مشکل زا (اغلب در جایی که پیاده‌ها در معرض تصادف هستند)، در پیاده‌روها، در ایستگاه‌های اتوبوس و مترو در فاصله بین دو تقاطع انجام می‌شود. شمارش‌های پیاده‌ها اطلاعات اساسی مورد نیاز جهت ارزیابی کفایت پیاده روهای موجود، عرض پیاده روها، و امکانات کنترل و حفاظت مانند نرده‌های پیاده‌روها، چراغهای راهنمایی پیاده‌ها و زمان بندی این چراغها را فراهم می‌کند. این داده‌ها اطلاعات اساسی را برای طراحی تسهیلات لازم در آینده مانند پل‌های روگذر، و زیرگذر مخصوص پیاده‌ها و مطالعه عوامل تصادف آنها را فراهم می‌کنند.

روش‌های انجام شمارش‌های وسایل نقلیه

شمارشگرهای مکانیکی

شمارشگرهای ثابت یا دائمی: جهت شمارشهای مداوم، ضبط توزیع ترافیک در ساعات مختلف روز، روزهای هفته، ماه‌های سال و سال به سال بکار برده می‌شوند. این گونه شمارش‌ها تا حد زیادی در تعیین روند و خصوصیات ترافیک، همچنین برای پیداکردن ضرایب تعدیل جهت تبدیل شمارش‌های کوتاه مدت به AADT تخمینی اهمیت دارند. برای شناسائی و یا دریافت علامت حضور وسیله نقلیه، شمارشگرهای دائمی یکی از ابزار زیر را مورد استفاده قرار می‌دهند:

دستگاه تماس الکتریکی: این ابزار شمال یک شناسگر زیر سطحی است که به ازای عبور هر محور از وسیله نقلیه یک اتصال الکتریکی ایجاد می‌کند. این دستگاه شامل یک صفحه فلزی است که در بالای آن یک بالشتک لاستیکی در یک قاب (که هم سطح خیابان است) و بوسیله یک سری فنر در طول نوار فلزی نگهداشته می‌شود. این اتصال در هر خط عبور نصب می‌گردد.

دستگاه فتو الکتریک: در این دستگاه شناسائی بوسیله عبور وسیله نقلیه بین یک منبع نور و یک فتوسل که قادر است بین وجود و عدم نور فرق بگذارد انجام می‌گردد. این ابزار الزاماً در بالای سطح خیابان نصب می‌گردد.

دستگاه راداری: در این نوع دستگاه شناسائی با مقایسه مداوم یک فرکانس رادیوئی ارسالی با فرکانس برگشتی انجام می‌شود. هنگامی که یک وسیله نقلیه در حال حرکت وارد این جریان راداری می‌شود یک اختلاف فرکانس ایجاد می‌گردد. این دستگاه طبیعتاً در مرکز یک خط عبور یا خطوط عبور مورد نیاز نصب می‌شود.

دستگاه مغناطیسی: در این دستگاه شناسائی بوسیله یک سیگنال یا پالس بوجود آمده از وسیله نقلیه در حال حرکت در میدان مغناطیسی انجام می‌شود. این دستگاه در هر خط عبور درست در زیر سطح خیابان نصب می‌گردد.

دستگاه مافوق صوت: این دستگاه از لحاظ عملکرد و محل نصب مثل دستگاه راداری است.

دستگاه مادون قرمز: این نوع دستگاه از یک سلول گیرنده استفاده می‌کند که شبیه سلول فتو الکتریک است. اما نسبت به اشعه

مادون قرمز (حرارت) حساس است تا نور قابل مشاهده. این دستگاه به همراه منبع انرژی و سلول مربوطه در بالای سطح جاده، روی یک پل، سازه نصب تابلوهای راهنما، پایه‌هایی که دارای بازو هستند و غیره نصب می‌شود.

محل نصب شناسگر اهمیت زیادی دارد در حالت کلی محل نصب با توجه به هدف، نوع شناسگر نوع وسیله نقلیه یا پیاده مورد نظر و نوع محل تعیین خواهد شد. انواع مختلف دستگاه‌های ثبات را می‌توان با شناسگرهای فوق جهت بدست آوردن حجم ترافیک مورد استفاده قرار داد. که عبارتند از:

۱- نوار چاپ شده، دستگاه‌های ثباتی وجود دارند که علائم ارسالی را از شناسگر دریافت کرده و آنها را در یک حافظه ذخیره می‌کنند، و شامل صفحات استوانه‌ای چاپگر است که بطور متناوب نتایج را روی یک نوار ممتد چاپ می‌کند. شمارش‌ها برای یک مدت زمان مشخص مثلاً ۱۵ دقیقه یا یک ساعت جمع‌آوری می‌شود.

۲- نمودارهای ترسیمی دوار، که قادرند حجمهای ترافیک از صفر تا هزار وسیله نقلیه را برای مدتهای زمانی ۵، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۶۰ دقیقه و همینطور برای مدت‌های، ۲۴ ساعته یا ۷ روزه ضبط کنند. اساس کار این دستگاه بر این قاعده استوار است که فاصله محل قلم دستگاه از مرکز نمودار تابعی است از حجم و چرخش تابعی است از زمان.

۳- نوارهای مخصوص کامپیوتری، که به هنگام اتصال به یک دستگاه سوراخگر کارت هائی را که قابل استفاده در کامپیوترهای معمولی است تولید می‌کند.

در سال ۱۹۶۵ وزارت راه ایالت جورجیای آمریکا اولین سیستم اتوماتیک مربوط به کسب و پردازش اطلاعات حجم را مورد استفاده قرار داد. چهار ایستگاه شمارش ممتد از طریق خطوط تلفن مخصوص به یک سیستم کامپیوتری مدل ۱۷۱۰ *IBM* که برای دریافت، تنظیم، ویرایش و تحلیل اطلاعات دریافتی برنامه ریزی شده بود متصل شدند در دو ایستگاه شناسگرهائی از نوع لوله‌های هوای فشرده و در دوتای دیگر شناسگرهای مافوق صوت و مغناطیسی مورد استفاده قرار گرفتند. در تمامی موارد دستگاه‌های شمارش الکتریکی نصب شده بودند. بعد از یک سال آزمایش خسته کننده سیستم تله متری و عملیات کامپیوتری بکار گرفته شده موفقیت آمیز تشخیص داده شد و کارائی بیشتری را نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده در ایالت جورجیا نشان داد.

شمارشگرهای قابل حمل، جهت شمارش‌های کوتاه مدت در محلهای مختلف یک ناحیه بکار برده می‌شوند. این شمارشگرها بوسیله باطری کار می‌کنند و از شناسگرهای لوله هوای فشرده که در تمام عرض یا قسمتی از عرض خط عبور قرار داده شده و دارای کلیدهای مخصوص هوای فشرده برای مکانیزم شمارش است استفاده می‌کند. هنگامی که این شمارشگرها همراه با نوارهای چاپی بکار می‌روند آنها را شمارگرهای ثبات می‌نامند و حجم‌ها هر پانزده دقیقه یا یک ساعت روی نوار ضبط می‌شود. هنگامی که شمارگر همراه با یک ثبات قابل رویت مورد استفاده قرار می‌گیرد آن را شمارشگر غیر ثبات می‌نامند و حجم ترافیک را به صورت تجمعی روی صفحه مدرج شده قابل رویت نشان می‌دهند. این صفحه مدرج شده باید بوسیله یک نفر در لحظات دلخواه قرائت شود.

مزایای شمارشگرهای مکانیکی عبارت‌اند از:

۱- این شمارشگرهای هزینه نسبتاً پائینی را به ازای هر ساعت شمارش دارند.

۲- این شمارشگرها یک پوشش وسیع زمانی فراهم می‌آورند که در نتیجه روندهای تغییرات ترافیک را بدست می‌دهند.

۳- با استفاده از بعضی شناسگرها حجم ترافیک وسایل نقلیه به تفکیک خط‌های عبور بدست می‌آید، ولی با شیلنگ‌های هوای فشرده احتمال خطا به خاطر عبور همزمان وسایل نقلیه زیاد جدی نیست (برای حجم‌های تا ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت).

معایب شمارنده‌های مکانیکی عبارت اند از:

۱- به کمک آنها نمی‌توان حجم ترافیک گردشی یا حجم ترافیک طبقه بندی شده را بدست آورد.

شناسگرهای مافوق صوت جهت بدست آوردن نوع وسیله نقلیه از رله‌ای که یک اتصال را بهنگام عبور وسیله نقلیه بکار می‌اندازد استفاده می‌کنند (برای وسیله نقلیه‌ای که بالاترین نقطه‌اش از حد مشخص بالاتر است). بطور طبیعی این سیستم‌ها طوری تنظیم می‌شوند که وسائل نقلیه با ارتفاع بیش از ۱۷۳ سانتیمتر باعث اتصال رله شوند. عملکرد این رله نشانگر حضور یک وسیله نقلیه مرتفع (وسیله نقلیه تجاری) در حوزه شناسگر است.

۲- شناسگرها و دستگاه‌های ثبات در معرض خطر خرابکاری و صدمات ناشی از ترافیک هستند که در نتیجه نیاز به برنامه نگهداری منظم دارند.

۳- با دستگاه‌ها غیر ثبات هیچگونه راهی برای تشخیص عدم فعال بودن آن ما بین قرائت‌های مختلف وجود ندارد.

۴- برای بعضی شناسگرها لازم است درصد وسائل نقلیه‌ای که دارای بیش از دو محور هستند، به منظور بدست آوردن حجم

ترافیک صحیح، مشخص شود.

شمارش‌های دستی

در این نوع شمارش از تعدادی مشاهده کننده برای بدست آوردن داده‌های حجمی، که آنها را نمی‌توان با شمارشگرهای مکانیکی بدست آورد استفاده می‌کنند.

برای حجم‌های سبک مشاهدات با علامت زدن روی برگ‌های از قبل آماده شده ضبط می‌شود و برای حجم‌های سنگین‌تر از شمارشگرهای مکانیکی دستی استفاده می‌شود. شمارش‌های دستی در موارد زیر مورد استفاده واقع می‌شوند.

۱- حرکات گردشی در تقاطع.
۲- طبقه بندی وسائل نقلیه بر حسب نوع.
۳- مطالعات سرنشین (تعداد سرنشین‌های وسائل نقلیه).
۴- شمارش‌های عابرین پیاده.

شمارش‌های دستی منجر به هزینه‌های نسبتاً زیادی می‌شود و تحت تاثیر محدودیت‌های عوامل انسانی قرار دارد، معمولاً قبل از شمارش‌های ۲۴ ساعته ممتد انجام می‌شود.

روش وسیله نقلیه متحرک

این روش و نمونه‌ای از تحلیل اطلاعات برای بدست آوردن حجم ترافیک در فصل هفتم، زمان مسافرت و تاخیر، شرح داده شده است.

روش‌های عکسبرداری

این موارد در فصل هشتم، مطالعات سرعت لحظه‌ای، بحث شده‌اند. مقامات بندر نیویورک جهت بدست آوردن داده‌های ترافیکی سیستمی را با استفاده از عکسبرداری قائم هوائی که شمارش هوایی نامیده می‌شود گسترش داده‌اند. در این نوع مطالعه به دو صورت عمل می‌شود. در حالت اول از یک هواپیما که در ارتفاع نسبتاً بلندی، جهت پوشش بیشتر، پرواز می‌کند استفاده می‌کنند، در حالت دوم از یک هلیکوپتر که بر فراز مناطق مساله دار پرواز می‌کند و اطلاعات کامل را برای تحلیل‌ها بدست می‌آورد استفاده می‌شود. بعلاوه برای بدست آوردن اطلاعات در مورد حجم پیاده‌ها و وسایل نقلیه روشهایی برای مطالعه خصوصیات جریان و مقاصد مختلف برنامه ریزی حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته است.

همبستگی رویدادهای رانندگی سنج و حجم

بر اساس اطلاعات گردآوری شده از یک آزمایش رانندگی سنج در یک راه شریانی شهری، یک ارتباط بین وقایعی که توسط رانندگی سنج ضبط می‌شود و حجم ترافیک بدست آمد. رانندگی سنج یک ابزار الکترو مکانیکی است که، بر اساس زمان یا فاصله، معیاری قابل رویت را از عملکرد راننده و حرکت وسیله نقلیه فراهم می‌کند. این مشخصات شامل کل زمان سفر، تغییر در سرعت، زمان حرکت، نوسانات کوچک فرمان (یک سانتیمتر در موقعیت چرخهای جلو)، نوسانات بزرگ فرمان (۲/۵ سانتیمتر تغییر)، کاربردهای ترمز و پدال گاز و تغییرات در جهت حرکت می‌شود. متغیرهایی که بیشترین ارتباط را با حجم ترافیک داشتند عبارت بودند از نوسانات بزرگ فرمان و کاربردهای ترمز. با ترکیب این دو متغیر و استفاده از تحلیل برگشتی خطی چندگانه معادله زیر برای پیش بینی حجم ترافیک در تسهیلات مورد نظر بدست آمد:

$$y = ۰/۱۸۳۶۴ + ۰/۱۶۰۲۷x_1 + ۰/۱۱۹۹۲x_2$$

که در آن:

y = حجم ترافیک ۱۵ دقیقه‌ای

x_1 = تعداد نوسانات بزرگ در فرمان

x_2 = تعداد دفعات ترمزگیری

مقایسه بین حجمهای اندازه‌گیری شده و محاسبه شده نشان داد که برای ۱۲ مورد از ۳۰ آزمایش مقادیر محاسبه شده اختلافی در حدود ۱۰٪ ± نسبت به مقادیر واقعی داشتند.

برنامه ریزی مدت زمان شمارش

مدت زمان شمارش در یک محل بستگی به روش استفاده شده جهت بدست آوردن داده‌ها و هدف از بدست آوردن آنها دارد. مدت زمان شمارش باید مستقل از شرایط خاص زمانی همانند تعطیلات، زمان برگزاری ورزش‌ها، نمایش‌ها و نمایشگاه‌ها، اعتصابهای سیستم حمل و نقل، خرابی‌های خاص، آب و هوای غیر عادی و راه‌بندهای موقتی باشد، مگر اینکه شمارش برای بررسی تاثیر بعضی از این رویدادهای خاص روی ترافیک باشد. شمارش مکانیکی معمولاً برای مدت زمانی ۲۴ ساعته یا بیشتر انجام می‌شود. شمارش دستی، شامل حرکتهای گردشی و تفکیک وسائل نقلیه و پیاده‌ها در زمان‌های زیر انجام می‌شود:

۱-۱۲ ساعت: ۷ صبح تا ۷ بعدازظهر
۲-۸ ساعته: ۷ تا ۱۱ صبح، ۲ تا ۶ بعد از ظهر
۳-۴ ساعته: ۷ تا ۹ صبح، ۴ تا ۶ بعد از ظهر

برنامه ریزی برای شمارش‌های دوره‌ای در مناطق برون شهری

روش اداره راههای عمومی (BPR) در زیر بطور خلاصه آمده است:

۱- ایستگاه‌های دائمی: بطور متوسط ۳۰ الی ۴۰ ایستگاه شمارش دائمی جهت پوشش انواع راه‌ها در سطح یک ایالت (استان) در نظر گرفته می‌شود. محل این دستگاه‌های دائمی به دقت باید تعیین گردد تا منعکس کننده الگوهای سفر روی انواع راه‌های استان باشد، زیرا از این اطلاعات برای بسط شمارش‌های کوتاه مدت سایر محل‌ها استفاده می‌شود.

۲- ایستگاههای کنترل شمارش: این ایستگاه‌ها جهت تعیین مشخصات حجمی روزانه و فصلی ترافیک و بدست آوردن ضرایبی، برای بسط داده‌های بدست آمده از یک شمارش در ایستگاه‌های پوشاننده مورد نیاز هستند. دو نوع مختلف شمارش‌های کنترل توصیه می‌گردد.

الف- شمارش‌های کنترل اصلی: یک شمارش ماهانه یا هر دو ماه یک مرتبه باید انجام شود بطوریکه هر شمارش شامل سه روز معمولی هفته و دو روز تعطیل (پنجشنبه و جمعه) باشد. شمارش باید همراه با شمارشگرهای ضبط کننده انجام بشود. تخمین زده می‌شود که یک ایستگاه اصلی کنترل به ازای هر ۹۰ ایستگاه پوشاننده مورد نیاز باشد.

ب- شمارش‌های کنترل فرعی: این شمارش‌ها باید ۴ تا ۶ بار در سال بطوریکه هر شمارش فقط ۴۸ ساعت در روزهای معمولی هفته را پوشش دهد، انجام شود. شمارش‌ها همراه شمارشگرهای ضبط کننده انجام می‌شوند. تخمین زده می‌شود که دو ایستگاه فرعی کنترل به ازای هر ۹۰ ایستگاه پوشاننده مورد نیاز باشد.

۳- ایستگاههای شمارش پوشاننده: این ایستگاه‌ها جهت فراهم کردن اطلاعات کافی برای تخمین‌های صحیح و قابل قبول از ADT در هر قسمت راه مورد نیاز می‌باشند. شمارش‌ها معمولاً در جاده‌هایی که ADT آنها کمتر از ۲۵ است انجام نمی‌شود. شمارش‌ها برای یک مدت ۴۸ ساعته (حداقل ۲۴ ساعته) سالی یک بار در روزهای معمولی هفته و معمولاً با شمارشگرهای غیر ثبات انجام می‌شوند.

تعداد ایستگاههای پوشاننده مورد نیاز می‌تواند بطور تقریبی با تقسیم طول کل راههای برون شهری بر حسب کیلومتر بر سه، با حذف راه‌های با حجم پائین ترافیک و سپس تقسیم دوباره بر طول متوسط یک قطعه راه (که ۳ کیلومتر فرض می‌شود) بدست آید. بنابراین تعداد تقریبی ایستگاه‌های پوشاننده می‌تواند با تقسیم طول کل راههای برون شهری بر حسب کیلومتر به ۶ بدست آید.

در استانی که ۶۰۰۰۰ کیلومتر راه برون شهری دارد تقریباً ۱۰ هزار ایستگاه پوشاننده، ۲۲۰ ایستگاه کنترل فرعی و ۱۱۰ ایستگاه کنترل اصلی مورد نیاز خواهد بود.

۴- شمارش‌های طبقه بندی: شمارش‌های دستی در ایستگاه‌های کنترل انتخاب شده انجام می‌شود. برنامه توصیه شده جهت شمارش‌های تفکیکی در ایستگاه‌های شمارش دائمی به صورت زیر است:

الف- در جائی که حجم ترافیک ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت یا بیشتر باشد یک شمارش طبقه بندی ۲۴ ساعته در دو روز معمولی هفته، یک پنجشنبه و یک جمعه، ۶ بار در سال در ماه‌های متناوب که همچنین شامل یک شمارش در تعطیلات است انجام می‌شود.

ب- در $\frac{1}{5}$ از ایستگاه‌های باقی مانده یک شمارش ۱۶ ساعته در یک روز معمولی هفته و یک روز پنجشنبه و یک روز جمعه یک مرتبه در هر ۴ فصل سال انجام می‌شود.

(ج) در ایستگاه‌های باقی مانده یک شمارش ۸ ساعته در یک روز معمولی هفته یک مرتبه در هر ۴ فصل سال انجام می‌شود.

برنامه ریزی شمارش‌های حجمی دوره‌ای در مناطق شهری

روش توصیه شده بوسیله کمیته ملی حمل و نقل شهری آمریکا (NCUT) بطور خلاصه بشرح زیر است:

۱- طبقه بندی خیابان‌ها: اولین قدم در برنامه ریزی شمارش تعیین نوع خیابان از نظر استفاده است.

الف- خیابان‌های اصلی شامل بزرگراه‌ها، راه‌های شریانی اصلی، و خیابان‌های جمع آورنده.

ب- خیابان‌های فرعی یا محلی شامل انواع مسکونی، تجاری و صنعتی

۲- انتخاب ایستگاه‌های کنترل: شمارش‌های حاصل از این ایستگاه‌ها ضرایب کنترل لازم جهت ضبط شمارش‌های حجم را با یک مبنای مشترک فراهم می‌آورد. روشی که توصیه می‌شود یک روش نمونه گیری است و شمارش‌های مخصوص جهت بسط ضرایبی که ممکن است بر شمارش‌های نمونه‌ای به منظور بدست آوردن ADT اعمال شوند، مورد نیاز است.

الف- ایستگاه‌های کنترل اصلی جهت نمونه گیری از حجم ترافیک روی خیابان‌های اصلی سیستم انتخاب می‌شوند. یک ایستگاه اصلی کنترل باید بر روی هر خیابان اصلی قرار

گیرد. حداقل مدت شمارش و تناوب شمارش ۲۴ ساعت ترجیحاً با شمارشگر ثبات و در هر دو ساعت یک بار است. هدف از شمارش کنترل اصلی بدست آوردن الگوی تغییرات ساعتی و جهتی حجم ترافیک برای یک قسمت نمونه از کل مسیر است.

ب- ایستگاه‌های کنترل فرعی به منظور نشان دادن نمونه‌های مختلف از هر گروه خیابان‌ها انتخابی می‌شوند. حداقل ۹ ایستگاه کنترل فرعی جهت مجموعه خیابان‌های فرعی و محلی یک شهر خیلی کوچک باید در نظر گرفته شود. سه ایستگاه باید برای هر گروه از خیابان‌ها انتخاب شود. تعداد اولیه ایستگاههای انتخاب شده با توجه به اندازه شهر و نیز میزان اهمیت حجم‌های خیابان‌های محلی متفاوت خواهد بود. یک شمارش ۲۴ ساعته بدون توجه به جهت و با دستگاه ثبات در هر ایستگاه و هر دو سال یک بار لازم است.

ج- شمارش‌های کلیدی جهت بدست آوردن شاخص تغییرات روزانه و فصلی حجم ترافیک برای هر نوع از خیابان انجام می‌شود. حداقل یک ایستگاه کلیدی از بین ایستگاههای کنترل جهت هر نوع از خیابان در هر دو سیستم اصلی و فرعی باید انتخاب شود. مدت تناوب شمارش‌ها جهت تعیین تغییرات روزانه به صورت یک شمارش با دستگاه ثبات، بدون جهت و برای یک دوره هفت روزه در هر سال است. برای تعیین اختلاف‌های فصلی یک شمارش ۲۴ ساعته با ماشین ثبات، بدون جهت و در روز معمولی هفته با فواصل سه ماه در سال انجام می‌شود. در نواحی که آب و هوا تحت تاثیر تغییرات مشخص است یک شمارش ۲۴ ساعته باید در هر ایستگاه کلیدی در هر ماه انجام شود.

۳- شمارشهای پوشاننده روی سیستم خیابان‌های اصلی: سیستم خیابان‌های اصلی به قطعات کنترل که از نقطه نظرهای برداشت و ثبت اطلاعات یکنواخت باشند تقسیم می‌شود. کتاب دستی *1A* روش تقسیم بندی خیابان‌ها و طراحی ایستگاههای کنترل را شرح می‌دهد. یک شمارش ماشینی بدون توجه به جهت و ۲۴ ساعته، در یک روز معمولی هفته باید در هر ایستگاه کنترل انجام شود. شمارش‌ها باید هر چهار سال تکرار شوند. هدف از این شمارش‌ها تخمین حجم *ADT* در سیستم است.

۴- شمارش پوشاننده روی سیستم خیابان‌های فرعی: برای بدست آوردن یک پوشش وسیع از سیستم خیابان فرعی، یک شمارش ۲۴ ساعته، بدون توجه به جهت و غیر ثبات باید برای هر ۱/۶ کیلومتر از خیابان فرعی انجام شود. هیچ گونه تناوب بخصوصی پیشنهاد نمی‌شود اما شمارش‌ها باید هنگامی که موقعیت محلی نیاز به شمارش را نشان می‌دهد انجام شود. به جای شمارش‌های ایستگاهی روش وسیله نقلیه متحرک جهت بدست آوردن شمارش‌های پوشاننده خیابان‌های فرعی قابل استفاده است.

۵- شمارش ترافیک ناحیه مرکزی تجاری: این شمارش جهت اندازه‌گیری فعالیت‌های حمل و نقلی که بوسیله بخش مرکزی کسب و کار *(CBD)* ایجاد می‌شود انجام می‌گیرد.

این عمل با شمارش اشخاص و وسائل نقلیه وارد شونده و خارج شونده به *CBD*، با هر نوع وسیله انجام سفر و در یک مدت زمان نمونه انجام می‌گیرد. روش بدست آوردن اطلاعات در مورد اشخاص وارد شونده با هر طریقه حمل و نقلی به استثناء وسائل حمل و نقل عمومی قابل دسترسی است. روش کسب اطلاعات در مورد اشخاصی که با سیستم حمل و نقل عمومی وارد می‌شوند در کتاب دستی *4A* تشریح شده است. اطلاعات بدست آمده از شمارش‌های خط محدوده در تعیین نیازهای حمل و نقلی منطقه در رابطه با سیستم حمل و نقل عمومی، طراحی راه‌های شریانی، و نیاز به پارکینگ اهمیت خاصی دارد. ایستگاههای شمارش محدوده در حد وسط تمام خیابان‌هائی که خط محدوده را قطع می‌کنند واقع می‌شوند. نقاط حد وسط جهت سهولت شمارش و حذف حرکت‌های گردشی انتخاب می‌شوند. در ایستگاه‌هایی که حجم ساعت اوج آنها از ۶۰۰ وسیله نقلیه تجاوز می‌کند یک شمارش جهت دار باید انجام شود. شمارش‌ها معمولاً از هفت صبح تا ۶ بعد از ظهر در روز معمولی هفته (یکشنبه، دوشنبه و سه شنبه) انجام می‌شود. شمارش‌ها به وسیله شمارشگرهای ثبات انجام می‌گیرد، و مطالعات سرنشین و طبقه بندی بر حسب نوع وسیله نقلیه با شمارش‌های دستی انجام می‌شود. شمارش خط محدوده باید هر دو سال یک مرتبه انجام شود.

۶- مطالعات خط تقسیم: شمارش‌هایی که در این نقاط انجام می‌گیرد جهت نشان دادن تغییرات بلند مدت در حجم و جهت ترافیک در اثر تغییرات مهم در کاربری زمین و الگوهای سفر است. شمارش خط تقسیم به همان روشی که در خط محدوده تشریح شد انجام می‌شود. یک شمارش ۱۸ ساعته باید در هر ایستگاه از ساعت ۶ صبح تا نیمه شب انجام شود. در خطوط جداکننده باید هر دو سال یکبار شمارش انجام گیرد.

ارائه اطلاعات حجمی

نقشه‌های تردد ترافیک

این نقشه‌ها حجم ترافیک در طول مسیرهای مختلف را با استفاده از نوارهائی با عرض متناسب با میزان ترافیک نشان می‌دهند. این روش یک دید سریع از حجم‌های نسبی که در خیابان‌های مختلف و بزرگراه‌های موجود در منطقه جریان دارد را نشان می‌دهد. رقم حجم‌ها، جهت دقت بیشتر، اغلب روی نوارها نوشته می‌شود. همینطور جهت نشان دادن جریان ترافیک در جهت‌های مخالف نوارهای جداگانه بکار می‌رود زیرا که اختلاف‌های زیادی ممکن است بین حجم‌های متقابل وجود داشته باشد. حجم‌های نشان داده شده روی یک نقشه تردد ممکن است برای ساعت اوج، *ADT*، یا حجم‌هائی در فواصل زمانی دیگر باشد.

نقشه‌های تردد تقاطع

این نقشه‌ها جهت و تردد ترافیک را در کلیه حرکت‌های عبور یک تقاطع بوسیله نوارهائی نشان می‌دهند. بطور کلی، شمارش‌های ساعت اوج برای وقتی که تقاطع دارای مشکل باشد یا از اطلاعات حجم بدست آمده برای کنترل ترافیک استفاده گردد، نشان داده می‌شوند. برای بررسی‌های کلی، ممکن است تهیه نقشه‌های تردد دیگری مانند نقشه تردد برای نشان دادن متوسط ترافیک روزانه *(ADT)*، یا ترافیک در سایر فواصل زمانی لازم باشد.

انواع نمودارهای تغییرات

این نمودارها تغییرات ساعتی، روزانه یا ماهیانه حجم عبوری یک منطقه را در امتداد یک مسیر مشخص یا نقاط مختلف یک خط تقسیم میدان نشان می‌دهند. بدین ترتیب زمان‌های اوج از روی این نمودارها مشخص می‌شوند.

نمودارهای روند

این نمودارها تغییرات حجم را در دوره‌های زمانی چند ساله نشان می‌دهند.

جداول خلاصه

این جداول اطلاعات حجم ترافیک را از قبیل *ADT*(متوسط جریان یا ترافیک روزانه)، جریان ساعت اوج، شمارش‌های طبقه بندی شده و شمارش‌هایی برای دوره‌های زمانی مختلف بطور خلاصه نشان می‌دهند.

نقشه‌های ترسیمی ساده تقاطع

این نقشه‌ها یک تصویر کلی از مقدار جریان‌های ترافیکی که از تقاطع عبور می‌کنند و امتداد و جهت آنها را برای ساعت اوج، *ADT* یا مدت زمان کامل بررسی نشان می‌دهند و نهایتاً در مطالعات تصادف، زمان بندی چراغ راهنمایی و دیگر مطالعات تقاطع مورد استفاده دارند، بطور کلی از نقشه‌های ترسیمی تقاطع یا دیاگرام تردد تقاطع استفاده می‌شود. برای مثال اطلاعات خلاصه شده تردد در یک تقاطع را مطابق شکل برای جریان ساعت اوج در نظر بگیرید. نمودار خلاصه برای اطلاعات نشان داده شده در جدول (۱-۹) و در شکل (۱-۹) نمایش داده شده است.

جدول ۱-۹ . خلاصه اطلاعات حجم در تقاطع، ترددهای ساعت اوج

از جنوب - خیابان پلی						از غرب - خیابان سیویل					
چپ به‌سیویل		مستقیم به‌پلی		راست به‌سیویل		چپ به‌پلی		مستقیم به‌سیویل		راست به‌پلی	
T	PC	T	PC	T	PC	T	PC	T	PC	T	PC
۹	۲۰	۷۳	۵۹۳	۲۰	۳۷	۶	۴۴	۴۰	۴۰۰	۳۲	۵۸
از شمال - خیابان پلی						از شرق - خیابان سیویل					
چپ به‌سیویل		مستقیم به‌پلی		راست به‌سیویل		چپ به‌پلی		مستقیم به‌سیویل		راست به‌پلی	
T	PC	T	PC	T	PC	T	PC	T	PC	T	PC
۱	۱۹	۱۴	۵۱۶	۵	۶۵	۲	۵۸	۴۱	۲۹۹	۵	۷۰

خصوصیات حجم ترافیک

احجام ترافیک را هرگز نمی‌توان ایستا در نظر گرفت، بنابراین اطلاعات حجم فقط برای زمان شمارش صحیح می‌باشد. از آنجائیکه تغییرات حجم ترافیک معمولاً متناوب و تکراری است، دانستن خصوصیات حجم در برنامه ریزی شمارش ترافیک، از نقطه نظر مرتبط نمودن حجم و زمان شمارش آن در یک محل با زمان و محل شمارش دیگری، بسیار مهم است.

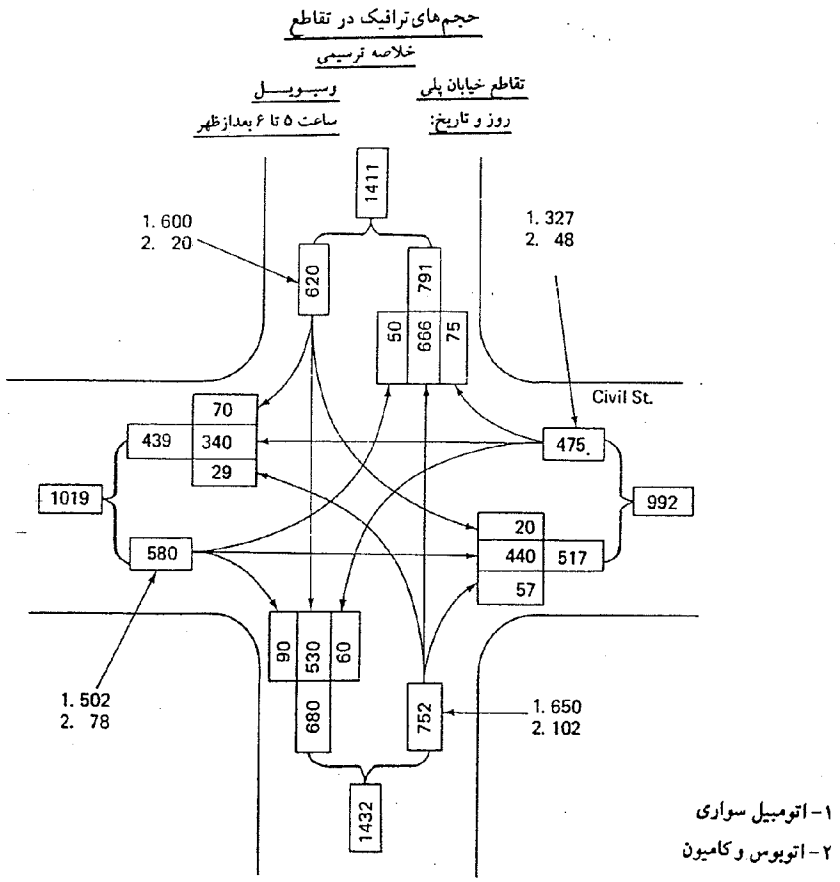
عناصر موثر در تغییرات حجم

درک تغییرات حجم ترافیک در ساعات اوج، در ساعت‌های روز، در روزهای هفته، در ماههای سال، توزیع در دو طرف و توزیع روی خط‌های عبور در مهندسی ترافیک، از نقطه نظر عملکرد و طراحی بسیار مهم است.

الگوی ترافیک. الگوی ترافیک ارائه تغییرات حجم ترافیک در یک دوره زمانی مشخص به صورت جدول یا نمودار ترسیمی می‌باشد. حجم ترافیک در اثناء اجزاء زمانی مورد استفاده در الگو ممکن است به صورت تعداد وسائل نقلیه و یا درصدی از تعداد متوسط برای کل اجزاء زمانی تشکیل دهنده الگو بیان شود. تسهیلات مختلف می‌توانند الگوهای ترافیکی مشابه داشته باشند در صورتی‌که با نشان دادن حجم‌های ترافیک به شکل درصدی از متوسط حجم برای دوره زمانی الگو، منحنی‌های مشابهی نتیجه شده باشد.

الگوی ساعتی ترافیک. احجام ترافیک برای اجزاء زمانی متوالی کمتر از یک ساعت (به عنوان نمونه، یک، پنج، شش، یا ۱۵ دقیقه) معمولاً در ساعت اوج برای کل ساعت نشان داده می‌شود.

الگوی روزانه ترافیک. احجام ترافیک برای هر ۲۴ ساعت متوالی نشان داده شده‌اند. اگر دوره زمانی به ۱۶۸ ساعت متوالی



شکل ۱-۹. نقشه ترسیمی ساده تقاطع، اطلاعات جدول ۱-۹

فصل ۱۸
قوانین و مقررات ترافیکی

نیاز به مقررات ترافیکی هنگامی آشکارتر می‌شود که شخص در نظر بیاورد در ایالات متحده ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه موتوری شماره گذاری شده وجود دارد که بوسیله ۱۰۳ میلیون راننده رانده می‌شوند و بیش از ۱۶۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر را در هر سال روی بیش از ۶ میلیون کیلومتر از راهها و خیابانها طی می‌کنند. علاوه بر آن، تصادفات وسایل نقلیه موتوری در سال ۱۹۶۸ منجر به ۵۵۲۰۰ نفر کشته و ۷۰ میلیون زخمی شده است. تمامی این حقایق نیاز به مقررات برای ترافیک، رانندگی و عابرین پیاده را بطور کامل تأیید می‌کنند. هر تقاطع و هر کیلومتر از راه یک نقطه احتمالی تصادف با تراکم می‌تواند باشد.

مبحث مقررات مناسب ترافیکی، ارتباط نزدیکی با مسئله امنیت و کارآیی جابجایی افراد و کالا دارد. عامه مردم از مقررات رنجیده خاطر هستند و از دیدگاه آنها رعایت قوانین ترافیکی تا حد زیادی بستگی به وضوح، منطق و یکنواختی مقررات دارد. هدف از قانون گذاری ترافیکی اعمال محدودیت‌های غیر منطقی و غیر ضروری برای ترافیک راهها نبوده بلکه تضمین حرکت راحت، سریع و ایمن برای ترافیک و اینکه هیچ استفاده کننده قانونی از راه چه سواره و چه پیاده در اثر سوء رفتار دیگران کشته، مجروح یا معلول می‌گردد. از نظر مقامات مسئول، اداره ترافیک فقط در صورتی می‌تواند کارآیی داشته باشد که عملکردهای اساسی ملازم با صلاحیت و مسئولیت‌های قانونی باشد.

مقررات و قوانین ترافیکی هر دو به نوعی قانون گذاری شده‌اند. تفاوت آنها صرفاً در تعابیر قانونی آنها است. قوانین ترافیکی معمولاً بوسیله قانون گذاران ایالتی وضع می‌شوند. مقررات به عنوان اسناد قانونی طبقه‌بندی می‌شوند و عموماً بوسیله مقامات قانونی محلی تصویب می‌گردند. به این ترتیب مورد دوم می‌تواند، با سرعت بیشتری نسبت به مورد اول تنفیذ و یا لغو شود.

اختیارات قانونگذاری

اختیارات قانون گذاری از چند منبع سرچشمه می‌گیرد:

۱ - برخی از بخش‌های حمل و نقل جاده‌ای درگیر با مقررات و قوانین فدرال هستند. دولت فدرال اختیارات مربوط به معاملات بین ایالتی را در دست دارد و بنابراین بسیاری از عوامل حمل و نقل جاده‌ای کالاها را کنترل می‌نماید. بعلاوه "مقررات جاده‌ای فدرال" و "مقررات ایمنی راهها" دولت را در مسائل ترافیکی درگیر کرده است زیرا دفتر راههای عمومی موظف است استانداردهای اجرایی و کاربرد وسایل کنترل ترافیکی خود را منطبق بر قوانین فدرال نماید.

۲ - اختیارات اصلی مستقیماً از مجلس قانونگذاری ایالتی سرچشمه می‌گیرد.

۳ - بخشی از قدرت از اختیارات محلی مقامات سرچشمه می‌گیرد.

۴ - بخشی از قدرت به نیروهای پلیس تفویض شده است. نیروهای پلیس در ایالات مختلف تفاوت‌های بسیاری با یکدیگر دارند. آنها بستگی به قانون اساسی ایالتی، منشور شهر و تعابیر و نظریات قضایی دارند.

در نهایت، مقررات اصلی ترافیک می‌باید در سطح ایالت یکنواخت باشند. با این وجود، مقامات محلی نیز می‌بایست دارای اختیارات کافی برای وضع مقررات لازم ترافیکی باشند بطوریکه ایمنی و رفاه عمومی را تأمین کرده و با مقررات

ترافیکی ایالتی نیز در تضاد نباشد.

مقررات، احکام و قوانین ترافیکی سه هدف عمده را دنبال می‌کنند:

۱ - کنترل رانندگان بر حسب سن، توانایی رانندگی و مسئولیت مالی

۲ - کنترل وسایل نقلیه از نقطه نظر مالکیت و مشخصات مکانیکی

۳ - کنترل عملکرد وسایل نقلیه در جریان ترافیک

اینها در مجموع حقوق افراد را تعریف و مسئولیت افراد نسبت به یکدیگر را مشخص می‌کنند.

یکنواختی مقررات

ضرورت یکنواختی

ضرورت یکنواختی کامل مقررات و ابزارهای قانونی واضح می‌باشد. مقررات بدیهی مانند رانندگی در سمت راست راه می‌باید در کلیه مناطق بصورت یکنواخت باشد. با این وجود، بواسطه حجم زیاد و پیوسته جریان ترافیک میان شهرستان‌ها و ایالات، نیاز به یکنواختی در کلیه زمینه‌های کنترلی بسیار حیاتی است. بدنبال آن نیاز به تجهیزات استاندارد، رنگها، شکل‌ها و پیام‌های یکنواخت مطرح می‌گردد بطوریکه مثلاً راننده‌ای از نیویورک قادر باشد براحتی قوانین و مقرراتی راکه در یک ایالت دیگر مثلاً کالیفرنیا دریافت می‌کند درک و تعبیر نماید. یکنواختی در صدور گواهینامه و شماره‌گذاری نیز مطلوبیت دارد. سردرگمی ناشی از این تناقضات یکی از مسائل اساسی مسافرانی است که اعتبار گواهینامه آنها در خارج از ایالت نامشخص می‌باشد بویژه در رابطه با رانندگان جوان ترکه مقررات سنی ایالات مختلف در مورد آنها متفاوت است. همچنین، مشکلات مربوط به تعویض گواهینامه برای رانندگانی که ایالت محل سکونت خود را تغییر می‌دهند می‌تواند با یکنواخت شدن مقررات به حداقل برسد.

تاریخچه گسترش یکنواختی

نیروی محرکه اولیه برای گسترش قوانین ترافیکی "نخستین کنفرانس ملی ایمنی راهها و خیابان‌ها" بود که در سال ۱۹۲۴ در واشنگتن برگزار شد. این کنفرانس انحصاراً تحت حمایت صنایع و اتحادیه‌ها بود و چندین توصیه مهم ارائه نمود که شامل موارد زیر است:

۱ - ایالتها قوانین صدور گواهینامه رانندگی را تدوین کنند.

۲ - در ایالتها اداره وسایل نقلیه موتوری تأسیس شود.

۳ - برای وسایل نقلیه کارت شناسایی صادر شود.

۴ - گزارش‌دهی تصادفات اجباری شود.

۵ - استانداردهای اساسی راهسازی تدوین شود.

۶ - رنگ‌های یکنواختی برای تابلوها و چراغ‌های راهنمایی در نظر گرفته‌شود.

دومین کنفرانس در سال ۱۹۲۶ برگزار شد و از مقامات دولتی ۴۸ ایالت نیز دعوت به عمل آمد. نمایندگان ۴۳ ایالت حضور بهم رسانیدند و مهمترین واقعه کنفرانس پذیرش آیین‌نامه و مقررات یکنواخت رانندگی بود، آئین‌نامه یکنواخت‌رانندگی بازتاب ضرورت یکنواختی مقررات ترافیکی در کل ایالات متحده بود. برای رسیدن به این هدف، این آئین‌نامه به عنوان یک راهنمای معتبر برای استفاده قانون گذاران ایالات مختلف قرار گرفت، از آن هنگام تا کنون این آیین نامه و مقررات هراز چندی بواسطه پیشرفت‌های جدید و تجربیات عملی مورد جرح و تعدیل و تجدیدنظر قرار گرفته است.

در سال ۱۹۴۷ کنفرانس ملی منحل شد و ادامه کار بوسیله کمیته ملی مقررات و قوانین ترافیکی یکنواخت انجام گردید این کمیته متشکل از بیش از ۱۰۰ نماینده مؤسسات فدرال، ایالتی و دولت‌های محلی (وکلا، افسران پلیس، مهندسان ترافیک، مدیران ادارات ذیربط، دانشگاهیان، شهرداران، قضات و مقامات استانی) کارخانجات اتومبیل‌سازی و فروشندگان اتومبیل، شرکت‌های بیمه، باشگاه‌های اتومبیل‌رانی، شوراهای ایمنی، اتحادیه‌های تجاری، اتحادیه‌های حمل و نقل ملی و سایر سازمان‌های کشوری، قانونی، مهندسی و کارگری بوده است.

این آئین‌نامه و مقررات بر اساس تئوری بدست نیامده بلکه مبتنی بر تجربیات واقعی تحت قوانین ایالتی مختلف بوده است. اعضاء کمیته ملی افرادی هستند که بطور روزانه درگیر با مسائل پیچیده حمل و نقل جاده‌ای می‌باشند.

مبانی مقررات

کنترل رانندگان

روشهای کنترل . حل مسئله تصادفات درگرو روابط پیچیده‌ای است. از جمله آنها می‌توان به این عوامل اشاره کرد: طراحی و کاربرد راهها و خیابان‌ها، عملکرد و ساختمان وسایل نقلیه، سیاست‌های اجرایی و کاربرد آنها، صدور گواهینامه رانندگی و قانون استفاده از وسیله نقلیه، آموزش همگانی، انتخاب و آموزش رانندگان و ماهیت و محدودیت‌های رانندگان از نظر جسمانی، روانی و کیفیات و مشخصات حسی. در حالیکه کلیه

این عوامل در مسئله کاهش تصادفات حائز اهمیت هستند ولی اولویت اول با مشخصات راننده است. اگر تمامی رانندگان بطور صحیح خود را در ارتباط با شرایط و طرح وسیله نقلیه و راه قرار می‌دادند تعداد کمی تصادف بوقوع می‌پیوست.

کنترل رانندگان عمدتاً در ارتباط‌های زیر انجام می‌شود:

۱ - صدور گواهینامه رانندگی

۲ - مسئولیت مالی رانندگی

۳ - بلوغ اجتماعی

ضوابط صدور گواهینامه رانندگی، تعریف و تعیین مسئولیت مالی، تعریف و تعیین بلوغ اجتماعی، مسئولیت مالک وسیله نقلیه در ارتباط با استفاده دیگران از وسیله نقلیه او و مسئولیت جراحت بدنی یا مرگ یک مهمان سوار بر وسیله نقلیه، همگی در آئین‌نامه یکنواخت رانندگی یافت می‌شوند. در این آئین‌نامه دستورالعمل صحیح کنترل رانندگان تعریف و تعیین می‌شود. اگر کلیه ایالات توصیه‌های آئین‌نامه را بپذیرند بویژه در مورد صدور گواهینامه تصادفات وسایل نقلیه موتوری بسیار کمتر خواهد شد. دلایل عمده عدم دقت در صدور گواهینامه عبارتند از:

۱ - بسیاری از ایالات هنوز از مقرراتی پایین‌تر از استانداردهای آئین‌نامه استفاده می‌کنند.

۲ - بسیاری از ایالت‌هایی که قوانین نزدیک یا معادل با استانداردها وضع کرده‌اند موفق به تأمین بودجه کافی برای اجرای دقیق این قوانین نشده‌اند.

۳ - اجرای دقیق مقررات صدور گواهینامه رانندگی حتی بعد از تأمین بودجه کافی وجهه عمومی نداشته و اغلب از نظر سیاسی مغایر مصالح است.

۴ - آزمایش کنندگان گواهینامه رانندگی بعضاً بنا به مصالح سیاسی انتخاب می‌شوند و نه صلاحیت فردی.

۵ - حجم متقاضیان اغلب نسبت به تعداد آزمایش کنندگان آنقدر زیاد است که عملاً گرفتن آزمایش کامل و دقیق از آنها غیرممکن است.

۶ - بسیاری از آزمایش‌های جاده که تحت قوانین صدور گواهینامه انجام می‌شود برای سنجش مهارت‌های رانندگی کفایت نمی‌کنند.

۷ - بسیاری از تسهیلاتی که برای صدور گواهینامه تأمین می‌شوند قطعاً ناکافی هستند.

مسئله صدور گواهینامه رانندگی یکی از مشکل ترین و جدی‌ترین مسائل است. پر واضح است که هنوز می‌باید کارهای زیادی انجام شود تا حتی بتوان اطمینان حاصل کرد که فقط به افراد نسبتاً صلاحیت‌دار گواهینامه اعطا می‌شود.

یکی از قدم‌های مثبتی که در سطح ملی بدان توجه زیادی شده است کنترل رانندگان در حال تعلیق است. تمایل زیادی برای به تعلیق درآوردن گواهینامه رانندگانی که به کرات دچار تخلف، دستگیری و تصادف شده‌اند بوجود آمده است. در سال ۱۹۶۰ بیش از یک میلیون گواهینامه رانندگی توقیف شده است ولی بجرات می‌توان گفت که نیمی از آنها علیرغم تعلیق با وسیله نقلیه خود رانندگی می‌کنند.

به منظور جلوگیری از رانندگانی که گواهینامه خود را در یک ایالت گم کرده و در ایالت دیگر اقدام به اخذ گواهینامه دیگری می‌کنند، کنفرانس ملی در سال ۱۹۵۲ اداره ملی ثبت رانندگان را تأسیس نمود. این اداره ثبت که زیر نظر BPR فعالیت می‌کند مانند اداره تشخیص هویت، برای ایالت‌های مختلف رانندگانی را که گواهینامه آنها عمدتاً بخاطر رانندگی در حالت مستی یا محکومیت در تصادفات مرگبار باطل شده است معرفی می‌کند. این اداره ثبت به عنوان یک کارگزار افتخاری ایالتی - فدرال عمل می‌کند. ایالتهای ذینفع، BPR را با اطلاعات جدید مربوط به رانندگانی که گواهینامه آنها بنا به علل خاصی در حال باطل شدن است تجهیز کرده و BPR می‌تواند متقاضیان جدید گواهینامه را با لیست گواهینامه‌های ابطالی قبلی کنترل کند. اداره ملی ثبت رانندگان در اول جولای ۱۹۶۱ کار خود را آغاز کرد. در حال حاضر ایالتهای مختلف، متقاضیان صدور گواهینامه خود را با نرخی معادل با /۳۰۰/۰۰۰ در ماه به وسیله اداره ثبت کنترل می‌کنند.

کنترل رانندگان در صورتی که بتوان آزمایش‌های روانشناسی را عملاً در صدور گواهینامه اعمال کرد پیشرفت شایانی خواهد نمود. گرچه آزمایش روانی به تنهایی حلال مشکلات نیست ولی: یک راه مناسب برای تعیین برخی از خصوصیات فردی است که مشاهدات طولانی آنها را به عنوان علائم مهم تمایل به رانندگی خطرناک تایید کرده است. بسیاری از رانندگان خطرناک دارای خصوصیات خاصی هستند از جمله تجاوزگری، تحریک پذیری، رانده شدن از محیط کار، بدون کنترل استعمال مشروبات، نقض مقررات، بی‌توجه به آینده، و دارای مسئله‌ای در دوران کودکی، از سوی دیگر رانندگان مطمئن معمولاً دارای خصوصیات متضاد با اینها هستند.

گام مثبتی که ایالت نیویورک در جهت الزام رانندگان به انجام آزمایش دوره‌ای چشم برداشت می‌باید به وسیله سایر ایالت نیز مورد توجه قرار گیرد. به موجب این قانون، رانندگان ملزم هستند که هر ۹ سال یکبار آزمایش قدرت بینایی انجام دهند. اگر راننده‌ای در این آزمایش مردود شود نماینده راهنمایی و رانندگی

ایالتی گواهینامه او را باطل کرده و صدور گواهینامه جدید برای راننده را ممنوع می‌سازد. آزمایش قدرت بینایی ضروری است ولی به تنهایی برای رانندگی ایمن یک وسیله نقلیه کفایت نمی‌کند. میزان قابل قبول در آزمایش تیزبینی اسنل ۲۰/۴۰ و میدان دید ۱۳۰ درجه است. آزمایش مجدد از تصادف کنندگان مکرر الزامی است و بر حسب تغییرات سنی قدرت بینایی مناسب‌ترین زمان برای آزمایش مجدد بینایی رانندگان در حد فاصل سنین ۵۰ تا ۵۵ سال می‌باشد.

یک وسیله شبیه به جلو - داشبورد ابداع شده است که می‌توان به کمک آن مهارت‌های رانندگی را با سرعت و دقت اندازه‌گیری نمود. این وسیله با ثبت حرکات و ایجاد ضربه و پاسخ مهارت‌های رانندگی را اندازه‌گیری کرده و و می‌تواند در آزمایش‌های صدور گواهینامه رانندگی و آموزش رانندگان بخوبی مورد استفاده قرار گیرد.

موانع اجرای مقررات . دلایل اجرای مقررات رانندگی روشن است. راننده نالایق می‌تواند خطرات جدی برای سرنشینان وسیله نقلیه خود و سایر وسایل نقلیه و نیز عابرین پیاده ایجاد نماید. با این وجود تکیه به مقررات و محدودیت‌های شدید در صدور گواهینامه رانندگی چندان خوشایند بنظر نمی‌آید. شخصی که از داشتن گواهینامه محروم می‌شود معمولاً احساس می‌کند که از یک حق اساسی محروم شده است. بنابراین، سختگیری در مقررات گواهینامه رانندگی که بدون شک ایمنی راهها را بهبود می‌بخشد از نظر سیاسی ناخوشایند است. علی‌الخصوص در نواحی برون شهری، محرومیت از گواهینامه بشدت تحرک را محدود می‌کند. در جایی که وسایل حمل و نقل عمومی موجود نباشد افراد ناآشنا با رانندگی باید برای جابجایی به دوستان، بستگان یا اتومبیل‌های کرایه تکیه نمایند.

یکی دیگر از موانع اجرای دقیق مقررات رانندگی امکان ناپذیری اقتصادی برنامه‌ریزی برای آزمایش و آزمایش مجدد رانندگان در شرایط مختلف است. همچنین تکنولوژی آزمایشات روانی آنقدر پیشرفت نکرده است که بتوان رانندگان را بر اساس آن ارزیابی نمود.

بواسطه این موانع، گواهینامه رانندگی احتمالاً کم توان‌ترین عامل کنترل می‌باشد هر چند که تأثیر این عامل می‌تواند دارای بیشترین اهمیت باشد.

کنترل وسایل نقلیه

خصوصیات فیزیکی وسایل نقلیه مختلفی که از راه استفاده می‌کنند یک کنترل مثبت در طرح هندسی است. برخی از کنترل‌های ترافیکی برای مهندس ترافیک بیشتر از سایر روش‌ها حائز اهمیت می‌باشد. ارقام و حقایق آماری، مبنای اطلاعاتی لازم برای ارتباط اطلاعات برداشت شده را برای مهندس فراهم می‌کنند. محدودیت‌هایی که برای وسایل نقلیه از نظر وزن، اندازه و حداقل نیازهای مربوط به تجهیزات و لوازم وجود دارد در طراحی، کنترل و عملکرد جریان ترافیک بسیار حائز اهمیت هستند. کنترل وسایل نقلیه همواره تمایل به بهبود وسایل نقلیه دارد و در رابطه با موارد زیر عمل می‌کند:

۱ - کارت مشخصات و ثبت وسایل نقلیه
۲ - قوانین ضد سرقت
۳ - صدور پروانه برای فروشندگان، اوراقچی‌ها و تعمیرکاران
۴ - لوازم وسایل نقلیه
۵ - بازرسی وسایل نقلیه
۶ - اندازه، وزن و بار وسایل نقلیه

در آئین نامه یکنواخت وسایل نقلیه یک مدل منطقی و بهنگام برای تدوین و تعریف ضوابط کنترل وسایل نقلیه موجود است.

یکی از قوانین ایالت نیویورک، رانندگی با لاستیک بدون آج را غیر مجاز اعلام کرده است. نماینده راهنمایی و رانندگی ایالتی میزان آج قابل قبول را معین نموده است. براساس این ضوابط، افسران مجری قانون قادر خواهند بود بازرسی چشمی لاستیک چرخ و اندازه‌گیری آج آن را انجام دهند. در سال ۱۹۶۳ قانون دیگری نیز در مجلس ایالتی نیویورک به تصویب رسید که براساس آن محدودیت وزنی وسایل نقلیه در راهها از ۳۲ تن به مقدار ۳۲/۵ تن افزایش یافت.

یکی از استانداردهای پیشنهادی کاربرد تجهیزات که مورد حمایت بسیاری قرار گرفته است استفاده از کمربندهای ایمنی است. طبق برآورد شورای ملی ایمنی اگر کمربند ایمنی در کلیه وسایل نقلیه نصب و مورد استفاده قرار گیرد بیش از ۸۰۰۰ نفر از آمار کشته شدگان سالیانه کاسته شده و جراحتهای شدید نیز به یک سوم تقلیل خواهد یافت. این ادعا بر این مبنا استوار است که در تصادفات، پرتاب شدن افراد آنها را بیشتر در معرض جراحات شدید یا مرگ قرار می‌دهد و کمربندهای ایمنی امکان پرتاب را کاهش می‌دهد. از سال ۱۹۶۸ کمربند ایمنی برای حدود سه چهارم از سرنشینان اتومبیلهای سواری تأمین شده است. بر طبق آمار شورای ملی ایمنی استفاده از کمربندهای ایمنی تعداد تلفات ترافیکی را از ۱۹۶۲ به ۷۵۰ تقلیل داده و تقریباً ۳۰ درصد وسایل نقلیه مجهز به کمر بند ایمنی بوده‌اند که حدود ۵۰ درصد

از اوقات مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند.

در ایالت نیویورک بازرسی اجباری وسایل نقلیه شامل کنترل هفت نکته ایمنی است: ترمزها، جلوبندی بالانس چرخها، چراغها، لاستیک چرخها، برف پاک کنها و شیشه‌ها. آخرین تغییرات در قانون بازرسی، الزام کرده است که کلیه وسایل نقلیه بدون در نظر گرفتن عمر و زمان خرید یا فروش آن حداقل یکبار در سال مورد بازرسی قرار گیرند.

اخیراً دولتهای فدرال و ایالتی تلاشهای قابل توجهی در زمینه الزام تولید کنندگان اتومبیل برای ایمن سازی بیشتر وسایل نقلیه صورت داده‌اند. در یکسری مقالاتی که در "مجله کار بران راه" بچاپ رسیده گزارشاتی در زمینه تلاشهای تولید کنندگان اتومبیل، کامیون و اتوبوس و لاستیک چرخ در جهت هرچه ایمن‌تر کردن وسایل نقلیه درج گردیده است. در این مقالات صرفاً نقطه نظرها و عقاید مدیران کمپانیهای مختلف بیان شده است.

زمینه دیگری که توجه مسئولان را بخود جلب کرده است آلوده‌سازی هوا توسط خودروها است. بنظر می‌رسد که بزودی قوانین ملی برای الزامی کردن تجهیز وسایل نقلیه جدید به سیستمهای کنترل آلودگی وضع خواهد شد. با این وجود لازم است قوانین صریحی در مورد برنامه‌های بازرسی و نگهداری دوره‌ای در سطح ایالتها تدوین شود تا ضامن حسن انجام کار سیستمهای کنترل دود وسایل نقلیه باشد.

کنترل عملکردهای وسایل نقلیه

در قوانین اساسی راه، حقوق فردی تعریف و مسئولیتهای افراد در استفاده از راههای عمومی بیان شده است. این قوانین که می‌باید در سطح ایالتی اعمال شوند معمولاً شامل کلیه وسایل نقلیه و افراد استفاده کننده از راهها است. قوانین اساسی موجود در آئین نامه و مقررات راهنمایی و رانندگی عمدتاً یکسان هستند. با این وجود، قوانین اساسی در مناطق شهری کمی متفاوت هستند.

قوانین اساسی که در مهندسی ترافیک مورد توجه قرار می‌گیرند، عبارتند از:

وسایل کنترل ترافیک . در آئین نامه مسئولیت نصب، معانی و نمایش غیر مجاز تابلوها، چراغها و خط کشی‌های راهنمایی بیان شده است.

مقررات کاربری راه

۱ - رانندگان ملزم به استفاده از طرف راست راه هستند مگر در هنگامی که:

الف - سبقت گیری و عبور از وسیله نقلیه دیگر انجام شود

ب - برخورد با یک مانع، رانندگی در طرف چپ را الزامی نماید.

ج - مسیر راه به سه خط تقسیم بندی شده باشد.

د - مسیر راه به ترافیک یکطرفه اختصاص داشته باشد.

ه - گرش بچپ ضورت می‌گیرد.

و - مأموران کنترل ترافیک اجازه استفاده از بخش دیگر راه را که بطور عادی به جریان مخالف اختصاص دارد داده باشند.

۲ - رانندگان ملزم به سبقت گیری و عبور از سمت راست فقط در شرایط زیر مجاز است.

الف - هنگامی که وسیله نقلیه سبقت گرفته شده قصد گردش بچپ داشته باشد.

ب - در راههایی که عرض آنها اختصاص به دو یا چند خط حرکتی داشته باشد.

ج - در راههایی که به ترافیک یکطرفه اختصاص دارند.

۳ - در کاربری راه محدودیتهای نیز در سبقت‌گیری از سمت چپ بخاطر عدم دید کافی در مسیرهای مسطح یا در قوسهای افقی و قائم وجود دارد. رعایت فاصله ایمنی از وسیله نقلیه جلو نیز برای رانندگان الزامی است. مقررات استفاده صحیح از راههای با کنترل دسترسی تعریف شده است.

حق تقدم

۱ - وسایل نقلیه‌ایکه به یک تقاطع رسیده یا به آن وارد می‌شوند به طرق زیر محدود می‌گردند:

الف - راننده وسیله نقلیه‌ای که به یک تقاطع می‌رسد می‌باید حق تقدم را به وسیله نقلیه‌ای که از رویکرد دیگر وارد تقاطع شده است بدهد.

ب - در صورتی که دو وسیله از رویکردهای مختلف بطور همزمان وارد تقاطع شوند، راننده وسیله نقلیه واقع در سمت چپ می‌باید حق تقدم را به وسیله نقلیه سمت راست بدهد.

ج - اصول الف و ب در تقاطعهای بدون کنترل کاربرد دارد.

د - راننده وسیله نقلیه‌ای که قصد گردش بچپ داشته باشد می‌باید حق تقدم را به کلیه وسایل نقلیه که از جهت مخالف فرا می‌رسند بدهد.

هـ - کلیه رانندگان در هنگام رسیدن به تـابلوی ایست مـلزم بـه توقف کامل و دادن حق تقدم به وسایل نقلیه‌ای هستند کـه وارد تقاطع شده‌اند و یا آنقدرنزدیک به آن می‌باشند که خطر برخورد وجود داشته باشد.

۲ - در هنگام نزدیک شدن وسایل نقلیه مجاز اورژانس، رانندگان سایر وسایل نقلیه باید با دادن حق تقدم عبور در نزدیکترین نقطه از سمت راست راه توقف کنند.

حقوق و وظایف عابرین پیاده

۱ - در تقاطعهای بدون چراغ، عـابرین پـیاده پس از ورود بـه گذرگاههای خط کشی شده و یا نشده حق تقدم عبور خواهند داشت.

۲ - عابرین پیاده‌ای که قصد عبور از راه در نقاطی غیر از محل گذرگاههای خط کشی شده یا نشده تقاطعهای را داشته باشند می‌باید حق تقدم عبور را به وسایل نقلیه بدهند.

۳ - هر عابر پیاده‌ای که قصد عبور از عرض راه را در نقاط دارای زیر گذر یا روگـذر مـخصوص عـابرین پـیاده داشـته بـاشد می‌باید حق تقدم عبور را به وسایل نقلیه بدهد.

۴ - در حد فاصل تقاطعهای چراغدار مجاور، عابرین پیاده حق عبور از عرض راه را نخواهند داشت.

۵ - در صورت وجود پـیاده رو مـوجود نـباشد عـابرین پـیاده می‌باید در سمت چپ مسیر راه و رود رو با ترافیک مقابل حرکت نمایند.

محدودیتهای سرعت . قوانین مربوط به کنترل سـرعت در یک فصل بعدی مورد بحث قرار می‌گیرند.

ایست، توقف و پارکینگ . قوانین مربوط به کنترل ایست، توقف و پارکینگ در فصلهای بعدی تـحت عـنوان جـداگـانه مـطرح خواهند شد.

فصل ۱۹
پیش درآمدی بر وسایل کنترل ترافیک

وسایل کنترل ترافیک شامل کلیه تابلوها، چراغ‌های راهنمایی، خط‌کشی‌ها و لوازم نصب شده در کنار یا روی خیابان یا راه می‌باشند که بوسیله مقامات و مسئولان کشوری تنفیذ شده‌اند تا جریان ترافیک را تنظیم، راهنمایی یا آگاه نمایند.

کاربردهای وسایل کنترل ترافیک

ایمنی یک راه و قابلیت آن در عبور تعداد کافی وسایل نقلیه با حداقل تاخیر و ناراحتی، تا حد زیادی بستگی به منظم بودن جریان ترافیک دارد.

اکثریت رانندگان بصورت منظم و ایمن رانندگی می‌کنند به شرط آنکه به آنها مقررات و اطلاعات منطقی و قابل اعتماد ارائه شود تا مطابق آن عمل نمایند. از طرف دیگر، عامه مردم واکنش خوبی در مقابل عملکردهای غیر منطقی نشان نداده و بی‌احترامی و عدم اطاعت موجود که برخی از وسایل کنترل ترافیک با آن مواجه هستند بدون شک ناشی از این حقیقت است که در طراحی و کاربرد آنها دقت کافی صورت نگرفته است. یکی از مهمترین عوامل موثر در فرمانبرداری رانندگان، استانداردها هستند. یک راننده حق دارد انتظار داشته باشد که هر وسیله کنترل ترافیک مفروض همواره دارای معنی یکسانی بوده و از طرف او واکنش یکسانی را بطلبد. بکار بردن اصول صحیح در وضع مقررات و انتخاب، نصب و کارکرد وسایل کنترل ترافیکی نهایت اهمیت را داراست. عدم کاربرد صحیح آنها علاوه بر اتلاف سرمایه‌های ملی، در بسیاری موارد منجر به نتایجی برخلاف اهداف اولیه می‌گردد. مانند ایجاد تاخیر، سردرگمی و بی‌احترامی و بی‌توجهی به کلیه وسایل کنترل ترافیکی.

امکان کاربری وسایل کنترل ترافیک را نمی‌توان تحت هیچ شرایطی بطور حدسی تعیین نمود. بدین منظور می‌باید بر اساس اصول اساسی مهندسی و مطالعات دقیق انواع جریان‌های ترافیکی، تصادفات، سرعت‌ها، تاخیرات و شرایط فیزیکی، ماهیت دقیق مسئله را کشف و لوازم و روش‌های خاص کنترل ترافیک مورد نیاز را مشخص نمود. بعد از انجام این مراحل، وسایل و کنترل‌ها می‌باید با اصول مندرج در کتاب راهنمای وسایل یکنواخت کنترل ترافیک (*MUTCD*) انطباق داده شوند.

به کمک مطالعه و تحلیل دقیق اطلاعات مستند، میدان قضاوت محدودتر می‌گردد ولی در آخرین تحلیل، عامل قضاوت شخصی می‌باید بالاجبار وارد گردد. بنابراین کلیه راه‌حل‌های ترافیکی باید صرفاً به عنوان آزمایشی در نظر گرفته شوند و بعد از تحقیق یافتن آن باید در عمل مورد مطالعه قرار گیرند تا واکنش ترافیک در مقابل آنها معین شده و تغییرات لازم برای حصول نتایج مطلوب مشخص گردد.

در کاربرد وسایل کنترل ترافیک مانند سایر مقررات پیشنهادی ترافیک، کسب حمایت ملی و دولتی (رئیس واحد حکومتی محل) هر دو حائز اهمیت هستند. قبل از اعمال مقررات و کنترل‌های ترافیکی جنجال برانگیز، لازم است کسب حمایت از طرف مقامات شده باشد. همچنین تدوین برنامه آموزش عمومی به منظور آگاه نمودن جامعه و سازمان‌های دولتی از اهداف و معانی برنامه پیشنهادی بسیار حیاتی خواهد بود.

وظیفه وسایل کنترل ترافیک

وظیفه وسایل کنترل ترافیک دادن اطلاعات عملکردی لازم برای استفاده‌کنندگان راه در طول مسیر سفر آنها می‌باشد. وسایل

کنترل ترافیک می‌تواند مکمل و یا اصلاح کننده قوانین اساسی راه باشند و این می‌باید از طریق وسایل مقتضی در زمان و مکان خاصی انتقال داده شود. وسایل کنترلی به سه گروه عملکردی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

وسایل مقرراتی

اینها استفاده‌کنندگان راه را از قوانین و مقررات ترافیکی حاکم بر یک محل مفروض و یا یک راه مفروض مطلع می‌سازند. عدم توجه به این وسایل تحت عنوان قانون شکنی، تخلف یا بزهکاری قابل مجازات خواهد بود.

وسایل هشدار دهنده

اینها توجه رانندگانی را به شرایط موجود در طول مسیر یا در مجاورت آن که می‌تواند منشاء خطرات احتمالی برای عملکرد ترافیک باشد جلب می‌کند.

وسایل راهنمایی کننده

این وسایل به منظور ارائه راهنمایی و اطلاعات لازم برای استفاده‌کنندگان راه از نظر مشخصات مسیر، مقاصد، مسافات، توصیف مسیر، نقاط مهم و سایر اطلاعات جغرافیایی و فرهنگی بکار می‌روند.

ضوابط وسایل کنترل ترافیک

هر وسیله کنترل ترافیک باید حائز شرایط زیر باشد:

۱ - قادر به برآورده ساختن یک نیاز اساسی باشد.

۲ - جلب توجه کند.

۳ - یک پیام ساده و روشن القا کند.

۴ - جلب احترام استفاده‌کنندگان راه را بنماید.

۵ - در محلی قرار گیرد که فرصت کافی برای پاسخ به پیام وجود داشته باشد.

برای تضمین شرایط فوق چهار نکته اساسی می‌باید رعایت شود که عبارتند از:

طراحی وسایل

۱ - جلب توجه وسیله به کمک جنبه‌هایی مانند اندازه، تضاد رنگ‌ها، رنگ، شکل، ترکیب، روشنایی و در صورت نیاز بازتاب و در برخی موارد به کمک حرکت و صدا

۲ - مفهوم روشن از طریق ساده‌سازی علائم و پیام‌ها، خوانا بودن، شکل، اندازه و رنگ بوجود می‌آید.

۳ - جلب احترام بستگی به یکنواختی، منطقی بودن، اندازه، خوانایی و روشنی دارد.

۴ - زمان لازم برای پاسخ بستگی به خوانایی، اندازه، محل مناسب در ارتباط با جریان و سرعت ترافیک دارد.

موقعیت وسایل

۱ - به منظور جلب توجه هرچه بیشتر باید وسیله به گونه‌ای نصب شود که در داخل مخروط بینایی واضح استفاده‌کنندگان عادی (۱۰ تا ۱۲ درجه) واقع شود زیرا در خارج از این مخروط، بینایی بصورت تار صورت می‌گیرد.

۲ - برای کمک به انتقال مفهوم واقعی وسیله باید با توجه به نقطه، شی، خط، جدول و یا وضعیتی که اشاره می‌کند نصب شود.

۳ - برای جلب احترام باید وسیله در محلی نصب شود که بتواند بطور منطقی پیام خود را به استفاده‌کنندگان راه انتقال دهد و در برخی موارد ممکن است پیش آگهی مورد نیاز باشد.

۴ - برای تامین زمان واکنش باید محل نصب وسیله با توجه به خوانایی، سرعت و فاصله از نقطه واکنش مورد بررسی قرار گیرد.

نگهداری وسایل

۱ - برای جلب توجه هرچه بیشتر باید وسیله تمیز، خوانا و بدور از موانع باشد.

۲ - برای انتقال مفهوم وسیله در یک نگاه و تامین فرصت کافی برای واکنش باید آن را در حد خوبی نگهداری کرد تا تمیزی و روشنی آن در حدی باشد که خوانایی و قابلیت رویت آن حفظ شود.

۳ - برای جلب احترام باید وسیله تمیز، خوانا، در وضعیت مناسب و در شرایط کارکرد خوب باشد. وسیله باید القا کند که دارای رسمیت و قوه اجرایی است. در صورتیکه یک وسیله دیگر مورد نیاز نباشد باید برداشته شود تا استفاده‌کنندگان احترام خود نسبت به سایر وسایل رااز دست ندهند.

یکنواختی وسایل

۱ - جلب توجه تا حدی بستگی به یکنواختی در کاربرد وسایل دارد.

۲ - مفهوم روشن وسیله بستگی به استفاده‌هایی که از همان وسیله برای مقاصد و در همان موقعیت‌ها می‌شود، دارد.

یکنواختی در کاربرد وسایل به درک و تشخیص آنی وسایل کمک می‌کند.

۳ - جلب احترام بستگی به استاندارد بودن وسایل و استفاده منطقی از آنها در شرایط مجاز ترافیکی دارد.

۴ - زمان کافی برای واکنش بستگی به استانداردهای طراحی، محل قرارگیری و کاربرد وسایل دارد.

یکنواختی وسایل کنترل ترافیک

مزایای یکنواختی

کارآیی و روشنی در انتقال پیام به رانندگان بستگی به آن دارد که رانندگان قادر به درک مفهوم هریک از پیام‌ها بطور خودکار و بدون نیاز به تصمیم‌گیری‌های خاص، باشند. یکنواختی در وسایل به این اثر و سایر کارآیی‌ها کمک می‌کند. یکنواختی وسایل از طرق زیر نیز به این مسئله کمک می‌کند:

۱ - کمک به درک و تشخیص آنی - با توجه به حجم‌ها وسرعت‌های بالای ترافیکی موجود، لازم است رانندگان پیام یک وسیله را هرچه سریع تر دریافت کنند. استفاده‌کننده راه باید فرصت کافی برای واکنش صحیح قبل از رسیدن به نقطه‌ای که نیاز به واکنش دارد داشته باشد. این مستلزم سادگی و روشنی پیام‌ها است. یکنواختی این اهداف را تسهیل می‌کند.

۲ - افزایش ایمنی - وسایل یکنواخت با کاربرد صحیح می‌توانند برای استفاده‌کنندگان راه اطلاعات و راهنمایی‌ها و کنترل‌های مورد نیاز را در زمان، مکان و مسیر مناسب تامین کنند. همه اینها باعث افزایش ایمنی ترافیک می‌شوند.

۳ - کمک به استفاده‌کنندگان نا آشنا با منطقه - بسیاری ازاستفاده‌کنندگان راه در سفرهای روزانه خود از راه‌های استانی عبور می‌کنند و در سفرهای طولانی‌تر از راه‌های ایالتی می‌گذرند. این‌گونه استفاده‌کنندگان انتظار دارند وسایل کنترل ترافیک بصورت یکنواخت و قابل درک باشند.

۴ - کمک به عملکردهای ترافیکی - کاربرد منطقی و مجازوسایل یکنواخت باعث انضباط و کارآیی بیشتر در حرکت ترافیک و سهولت و راحتی بیشتر در رانندگان می‌شود.

۵ - جلوگیری از سردرگمی - یکنواختی وسایل کمک شایانی‌در جلوگیری از سردرگمی و نامطمئنی رانندگان که اغلب منجر به وقوع تصادف می‌شوند می‌کند.

۶ - کسب حمایت عمومی - وسایل یکنواخت با کاربرد صحیح، کمک زیادی به جلب حمایت عمومی برای کنترل‌ترافیک می‌کند. حمایت عمومی ارزش زیادی در کسب حمایت سیاسی و غلبه بر مخالفان خواهد داشت.

۷ - صرفه‌جویی - یکنواختی باعث اقتصادی شدن تولید، نصب، جابجایی، نگهداری و بهره‌برداری وسایل می‌شود.

۸ - جلوگیری از سوء تعابیر - اتکا به وسایل استاندارد به پلیس، دادگاه‌های ترافیکی و استفاده‌کنندگان راه تعابیر یکسانی از مقررات بدست می‌دهد.

۹ - جلوگیری از خسارات اموال دولتی - کاربرد صحیح وسایل یکنواخت از طرح دعوی خسارت اموال دولتی بر علیه واحدهای مسئول دولت محلی جلوگیری می‌کند.

۱۰ - تامین راهنمایی - استانداردهای یکنواخت کمک زیادی در تصمیم‌گیری‌های مهندسی و نیز قانون‌گذاری می‌کند. یکنواختی از وسایل غیرمجاز جلوگیری می‌کند زیرا در بسیاری از مجامع مهندسی ترافیک آموزش دیده وجود ندارد و به این ترتیب مقامات محلی قادر به استفاده صحیح از وسایل خواهند بود.

۱۱ - تشویق کنترل محلی - اگر ایالت‌ها و شهرستان‌ها استانداردهای نسبتاً یکنواختی را بپذیرند نیازی به استانداردهای فدرال برای وسایل کنترل ترافیک نخواهد بود.

مزایای یکنواختی خیلی بیشتر از جنبه‌های نامطلوب و معایب آن می‌باشد. با این وجود، باید معایب یکنواختی کامل را نیز شناخت و حتی‌الامکان از آنها اجتناب کرد. معایب اصلی عبارتند از:

۱ - امکان تنزل از یک استاندارد بالاتر - یکنواختی بخاطر یکنواختی نمی‌باید هدف کار قرار گیرد. زیرا ممکن است منجر به عدم پذیرش یک روش یا وسیله پیشرفته صرفاً بخاطر عدم رواج آن گردد.

۲ - ایجاد وقفه احتمالی در تحقیقات - درجاتی از یکنواختی مطلوب می‌باشد زیرا باعث گسترش دامنه تحقیقات و آزمایشات می‌شود که خود می‌توانند منجر به ابداع روش‌ها و تجهیزات پیشرفته‌تر گردند.

۳ - احتمال حذف قضاوت مهندسی - یکنواختی می‌تواند قضاوت‌های خوب مهندسی و کاربردهای ابتکاری وسایل را تضعیف کند. استانداردها و کتاب‌های مرجعی مانند *MUTCD* باید فقط به عنوان راهنما و ابزار مهندسان بکار گرفته شوند و نباید جایگزین تجربیات و قضاوت‌های مهندسی گردند.

۴ - افزایش احتمالی در هزینه‌ها - یکنواختی می‌تواند باعث

منسوخ شدن بسیاری از تجهیزاتی که در حال کار هستند گردد زیرا استانداردها ممکن است تغییر یافته و بهنگام شوند.

توسعه استانداردها و یکنواختی ملی

استاندارد و یکنواخت نمودن وسایل کنترل ترافیک در سطح ملی بسیار مطلوب است. یکنواختی ملی یکی از مبانی اصلی رفع نیازهای آتی حمل و نقل جاده‌ای است. ایمنی رانندگی در شرایط فعلی ترافیکی حتی بدون در نظر گرفتن مسائل مربوط به غیریکنواختی وسایل کنترل ترافیک که رانندگان را دچار سردرگمی کرده و باعث ایجاد تصادف می‌شوند، خود دارای مشکلات عدیده‌ای است. این مسائل در آینده دقیقاً حادتر خواهند شد. مگر آنکه گام‌های مثبتی در جهت یکنواختی ملی برداشته شود. با این وجود پیش نیاز توسعه استاندارد ملی برای وسایل کنترل ترافیک عبارت است از تامین مقررات و قوانین یکنواخت ملی که واحدهای مختلف دولتی بتوانند بر اساس آن اختیارات قانونی لازم برای کاربرد موثر وسایل کنترل ترافیک را داشته باشند. یکنواختی ملی در مقررات و قوانین، زیربنای یکنواختی در کاربرد وسایل را تشکیل می‌دهد.

کارآیی و موثر بودن اقدامات و وسایل کنترل ترافیک را می‌توان با اعمال همزمان آنها در پروژه‌های اصلاحی خیابان‌ها و راه‌ها تضمین نمود. بسیار مناسب خواهد بود که طراحی و مکان‌یابی وسایل کنترل ترافیک قبل از اجرای نقشه‌های پروژه‌های اصلاحی صورت گیرد.

چندین گام بنیادی برای تشویق یکنواختی ملی برداشته شده است با این وجود برای رسیدن به این هدف نیاز شدیدی به همکاری میان ایالت‌های مختلف و واحدهای دولتی متعدد وجود دارد. حتی با وجود این همکاری‌ها، پیشرفت واقعی برنامه بستگی به میزان حمایت عامه خواهد داشت. گام‌های اساسی که در جهت یکنواختی ملی برداشته شده است عبارتند از:

کتابچه راهنمای یکنواختی ملی وسایل کنترل ترافیک

MUTCD. اولین چاپ *MUTCD* در سال ۱۹۳۵ بوسیله یک کمیته مشترک *AASHO* و کنفرانس ملی ایمنی راه‌ها و خیابان‌ها صورت گرفت. انجمن مهندسان ترافیک (*ITE*) در سال ۱۹۴۲ به این کمیته ملحق شد و تغییرات زیادی در چاپ اول به عمل آمد و در سال ۱۹۴۸ نسخه تجدید نظر شده آن تحت حمایت این سه سازمان منتشر گردید. چاپ بعدی *MUTCD* در سال ۱۹۶۱ بوسیله کمیته‌ای مرکب از *ITE* و *AASHO*، کمیته ملی مقررات و قوانین یکنواخت ترافیکی، انجمن ملی مقامات کشوری و انجمن شهرداران آمریکایی صورت گرفت.

برخی از ارجاعات *MUTCD* به استانداردهای سیستم بین ایالتی بخاطر تجدید نظر در کتابچه راهنمای تابلو گذاری و خط‌کشی روسازی سیستم راه‌های بین ایالتی و دفاعی کشور از درجه اعتبار ساقط شده‌اند. این کتابچه راهنمای بین ایالتی می‌بایست برای تابلو گذاری و خط‌کشی سیستم بین ایالتی مد نظر قرار گیرد.

در سال ۱۹۷۱ کتابچه راهنمای جدیدی انتشار یافت. جنبه‌های مهم این کتابچه عبارتند از:

۱ - تعریف دقیق کلمات باید، می‌باید و می‌تواند - اگر استانداردی بوسیله یک باید مقید شود آن استاندارد اجباری تلقی می‌شود. اگر می‌باید بکار رود استاندارد قابل توصیه است و در صورتی که "می‌تواند" استفاده شود به معنای اختیاری بودن استاندارد است.

۲ - تدوین یک آیین‌نامه رنگ

قرمز : ایست یا ممنوعیت

سبز : اجازه عبور، راهنمای جهت

آبی : راهنمای خدمات رانندگی

زرد : هشدار کلی

سیاه : مقررات

سفید : مقررات

نارنجی : هشدار عملیات ساختمانی و نگهداری

قهوه‌ای : راهنمای تفریح‌گاههای عمومی

معنای رنگهای زیر نامشخص است:

ارغوانی

زرد - سبز

آبی روشن

کرم

۳ - تدوین استانداردهای مختص نواحی آموزشی

۴ - پذیرش چند علامت بین‌المللی به عنوان تلاشی در جهت هماهنگی بیشتر با استانداردهای بین‌المللی

۵ - بهنگام نمودن کلیه استانداردها از جمله تابلوها، چراغ‌های راهنمایی و خط‌کشی‌ها

استانداردهای راهنمای جدید باید به تدریج اعمال شوند. استانداردهای جدید می‌بایست قبل از تاریخ‌های زیر به صورت کامل عمل شوند: خط‌کشی ۳۱ دسامبر ۱۹۷۴، تابلو گذاری ۳۱ دسامبر ۱۹۷۵، چراغ‌های راهنمایی ۳۱ دسامبر ۱۹۷۶. در محل‌هایی که تابلوهایی با علامات جدید نصب می‌شوند باید

پیام‌هایی نوشتاری به منظور آشنایی رانندگان با این علائم اضافه شوند.

آیین‌نامه یکنواخت رانندگی . *MUTCD* فقط در صورتی کارآیی خواهد داشت که محل قانونی اجرای آن بوسیله قوانین ایالتی تامین شده باشد. یکی از گام‌های اساسی در جهت یکنواختی وسایل کنترل ترافیک پذیرش یک آیین‌نامه یکنواخت از سوی ایالت‌های مختلف بوده است. بخش‌هایی از این آیین‌نامه که در ارتباط با وسایل کنترل ترافیک هستند عبارتند از بخش‌های ۲۰۱ - ۱۱ تا ۲۰۶ - ۱۱ و بخش‌های ۱۰۴ - ۱۵ تا ۱۰۸ - ۱۵، این بخش‌ها حاوی موارد زیر هستند:

۱ - ضوابط مربوط به وسایل کنترل ترافیک و تعریف مفهوم وسایل مختلف کنترل ترافیک

۲ - ضوابط مربوط به کاربرد وسایل کنترل ترافیک بوسیله موسسات کاملاً اداری

۳ - ضوابط تشکیل کمیسیون راه‌های ایالتی برای تدوین یک کتابچه راهنمای ایالتی برای یکنواختی وسایل کنترل ترافیک

۴ - الزام هماهنگی وسایل کنترل ترافیک نصب شده بوسیله کلیه موسسات با استانداردهای ایالتی

مقررات ترافیکی . برای تکمیل گام قانونی بسوی یکنواختی وسایل کنترل ترافیک ضروری است هر ایالت برای واحدهای مختلف محلی خود مقررات ترافیکی تدوین کند بطوریکه با چارچوب کلی مقررات ترافیکی هماهنگی داشته باشد. بخش‌های مربوط به وسایل کنترل ترافیک عبارتند از بخش‌های ۱ - ۴ تا ۱۳ - ۴.

کتابچه راهنمای ایالتی مربوط به وسایل یکنواخت کنترل ترافیک - یکنواختی واقعی وسایل کنترل ترافیک فقط در صورتی می‌تواند تحقق یابد که دولت‌های ایالتی مختلف کتابچه‌های ایالتی هماهنگ با کتابچه ملی تدوین کنند. باید توجه داشت که کتابچه ملی بیانگر مجموعه عقاید متخصصان با تجربه در زمینه مهندسی ترافیک است. این کمیته شامل مهندسان ترافیک کارآزموده مهندسان طراحی و نگهداری، مقامات محلی و ایالتی، مقامات *BPR* ، مقامات پلیس و متخصصان ایمنی و دانشگاهیان سراسر کشور است.

هنوز اقدامات زیادی می‌باید بوسیله دولت‌های ایالتی صورت گیرد تا یکنواختی ارتقاء یابد. تخصیص بودجه کافی برای جایگزین کردن وسایل مورد نیاز است.

کتابچه راهنمای بین ایالتی AASHO برای تابلوگذاری و خط کشی . کتابچه راهنمای بین ایالتی برای نخستین بار بوسیله *AASHO* تدوین شد و در سال ۱۹۵۸ بوسیله *BPR* مورد تایید قرار گرفت. چاپ دوم آن در سال ۱۹۶۱ منتشر شد و در سال ۱۹۶۲ مورد تجدید نظر قرار گرفت. این کتابچه به منظور یکنواخت کردن تابلوگذاری و خط کشی سیستم راه‌های بین ایالتی تهیه شده است.

نسخه موجود کتابچه راهنمای بین ایالتی در سال ۱۹۷۰ به چاپ رسیده است. در راستای هدف یکنواختی، کتابچه راهنمای جدید و *MUTCD* سال ۱۹۷۱ بصورت هماهنگ با یکدیگر طرح شده‌اند. به عنوان مثال بسیاری از تابلوهای رنگی که در کتابچه بین ایالتی سال ۱۹۶۲ بدعت گذارده شده بود در *MUTCD* - ۱۹۷۱ پذیرفته شده‌اند.

آگاهی همگانی . برخی از نتایج بدست آمده در یک مطالعه روی وسایل کنترل رانندگان و ترافیک عبارتند از:

۱ - رانندگان اطلاعات محدودی در مورد نیات مهندسی ترافیک از خط کشی و تابلوگذاری دارند.

۲ - برنامه‌های آموزش رانندگان می‌باید شامل اطلاعات جامعی در مورد وسایل کنترل ترافیک و مدرک آموزگاران رانندگان می‌باید حداقل شامل یک درس بنیادی در زمینه مهندسی ترافیک باشد.

۳ - جزواتی می‌باید میان آموزشگاه‌های تعلیم رانندگی توزیع گردد و این جزوات می‌باید مبانی طراحی نصب و هدف از وسایل کنترل ترافیک را برای رانندگان تشریح کنند.

۴ - تحقیقات در زمینه "درک رانندگان از وسایل کنترل ترافیک" می‌باید صورت گیرد تا بر اساس آن وسایل بی‌ارزش و قوانین و کنترل‌های نادرست حذف شوند.

یکنواختی بین المللی . مباحث جدی در مورد تهیه یک برنامه فعال برای تهیه یک سیستم یکنواخت بین‌المللی وسایل کنترل ترافیک صورت گرفته است. موانع شدیدی بر سر راه یکنواختی بین‌المللی وجود دارد از جمله مقاومت در مقابل جایگزینی وسایل موجود بواسطه آشنایی و سرمایه گذاری‌های محلی. در رابطه با این موضوع مجمع عمومی سازمان ملل از ۱۳۲ کشور و ۶۰ سازمان بین‌المللی دعوت نمود تا نمایندگان خود را به کنفرانس سازمان ملل در وین تحت عنوان ترافیک جاده‌ای اعزام کنند تا موافقت‌های بین‌المللی جدیدی در مورد ترافیک جاده‌ای و تابلوها و چراغ‌های راه‌ها به عمل آید.

برای حصول یکنواختی ظاهری بین‌المللی باید ضرورتاً تاکید بیشتری روی علائم تصویری صورت می‌گرفت تا مشکلات ناشی از چند زبانی رفع شود. از نظر علامت شناسی می‌باید استفاده بیشتری از تصاویر، اشکال و رنگ‌ها انجام می‌شد. استانداردهای آمریکایی در حد وسیعی از پیام‌های نوشتاری استفاده می‌کنند در حالیکه کشورهای اروپایی عمدتاً متکی بر علائم تصویری هستند زیرا آنها با مسائل ناشی از چند زبانی مواجه بوده‌اند.

کانادا پیشرفت‌های زیادی در زمینه یکنواختی ملی کرده و نخستین کتابچه راهنمای خود را در سال ۱۹۶۰ منتشر کرده است. تفاوت عمده‌ای که میان کتابچه‌های آمریکا و کانادا وجود دارد تکیه بیشتری است که در کتابچه کانادایی روی پیام‌های تصویری شده که خود ناشی از خصلت دو زبانی بودن کانادا است.

در کشور انگلستان تغییرات عمده‌ای در تابلو گذاری بوقوع پیوسته که منجر به تعویض ۱۵ میلیون تابلو به ارزش ۲۰ میلیون پوند و صرف ۱۰ سال وقت شده است. این نوگرایی در جهت بالا بردن سرعت‌ها و حجم‌های ترافیکی برای حال و آینده و هماهنگ سازی سیستم علائم انگلیس با سیستم اروپایی است.

اختیارات قانونی

علاوه بر ضوابط فوق لازم است وسایل کنترل ترافیک بوسیله قانون ضمانت اجرایی یابند. مفهوم هر وسیله مقرراتی و واکنش رانندگان و عابرین پیاده در مقابل آنها می‌باید، بوسیله مقررات محلی یا قوانین ایالتی مشخص گردند.

آیین‌نامه و مقررات یکنواخت راهنمایی و رانندگی دارای لحن و زبان قانونی لازم برای کاربرد وسایل کنترل ترافیکی بوده و اصول اساسی را بیان می‌کنند.

تاثیر کاربرد نادرست وسایل کنترل ترافیک

استفاده غلط از وسایل کنترل ترافیک می‌تواند منجر به نتایج زیانباری شود از جمله:

۱ - اتلاف سرمایه‌ها
۲ - تاخیر بیش از حد
۳ - سردرگمی
۴ - تصادفات
۵ - بی‌توجهی نسبت به کلیه وسایل

کاربرد غلط یا استفاده بیش از اندازه وسایل کنترل ترافیک معمولاً ناشی از فشارهای سیاسی، فقدان ضوابط معین برای هر نوع از وسایل و تمایل اداره‌های پلیس برای صرفه‌جویی در نیروی انسانی است. بررسی دقیق عوامل زیر می‌تواند از اینگونه مسائل جلوگیری کند:

۱ - شرایط ترافیکی تعیین حجم، سرعت، توزیع جهتی، تاخیرات و تصادفات
۲ - شرایط فیزیکی یعنی مسافت دید، شعاع گردش، شیب، برف و یخ
۳ - ناتوانی استفاده کنندگان راه در پیگیری دستورات و وسایلی که در فواصل کم یا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند.
۴ - خصوصیات وسایل نقلیه مانند محدودیت دید چراغ‌های راهنمایی بالاسری بخاطر ارتفاع شیشه جلوی وسایل نقلیه تجاری، سرعت و مسافت ترمز.

فصل ۲۰
تابلوها و علامت گذاریهای ترافیکی

تابلوها و علامت گذاریهای ترافیکی وسایل کنترل غیرفعال هستند. به استثناء تابلوهای اعلانات این وسیله یک پیام ثابت و دائمی را به راننده می‌دهد که می‌تواند آگاه کردن او از مقررات، هشدار دادن او نسبت به خطرات و یا راهنمایی او در هدایت وسیله نقلیه‌اش باشد. حتی در تابلوهای با پیام متغیر، پیامی که داده می‌شود بمدت طولانی ثابت باقی می‌ماند. بنابراین تابلوها و علامت گذاریها وسایل دائمی هستند و پیامهای دائمی ارائه می‌دهند تا اینکه پایین آورده و یا تعویض شوند. برخلاف چراغهای راهنمایی که عملکرد آنها می‌تواند برحسب شرایط مختلف تنظیم شود تابلوها و خط‌کشی‌ها بعد از نصب انعطاف ناپذیر خواهند بود.

علامت گذاریهای ترافیکی

علامت گذاریهای ترافیکی شامل کلیه خطوط، کلمات، رنگ‌آمیزیها و یا سایر وسایل به استثناء تابلوها است که در داخل یا سطح روسازی، جدول بندی یا اشیاء کنار جاده نصب یا ترسیم می‌شوند و هدف از آنها، تنظیم، هشدار دهی و یا راهنمایی ترافیکی است.

کارکردها و محدودیتهای علامت گذاری

علامت گذاریها کارکردهای مشخصی در سیستم کنترل ترافیک بر عهده دارند. از آنها به منظور تنظیم و راهنمایی ترافیک و بالا بردن ایمنی راه استفاده می‌شود. در برخی موارد، از آنها به عنوان مکمل مقررات و هشدارهای سایر وسایل کنترل بهره برداری می‌شود. در سایر موارد آنها فقط می‌توانند یک وسیله موثر برای انتقال مقررات، هشدارها و اطلاعات به رانندگان برحسب پیامهای روشن و قابل درک باشند بدون آنکه توجه رانندگان را از مسیر راه منحرف سازند. علاوه بر این، ظرفیت راهها معمولاً در اثر جریان ترافیک مرتب و منظم که از کاربرد صحیح علامت گذاری روسازی نتیجه می‌شود افزایش می‌یابد.

کاربرد علامت گذاری بیشتر از یک خط‌کشی ساده است. در حقیقت به کمک این علائم، سیستم مقررات ترافیکی در سطح یک راه پیاده می‌شود. همانند سایر وسایل کنترل ترافیک، علامت گذاریها باید به سهولت قابل درک و تشخیص باشند و این هدف فقط بااستفاده از یک سیستم علامت گذاری یکنواخت می‌تواند مسیر شود. یک راننده می‌باید به هر کجا مسافرت کرد با علامت گذاریهای مشابهی روبرو شود و این علامت گذاریها می‌باید در هر کجا که با آنها مواجه می‌شوند معانی دقیقاً مشابهی را انتقال دهند.

علامت گذاری روسازی دارای محدودیتهای خاصی است. بارش برف می‌تواند آنها را بطور کامل پنهان کند، تر شدن یا پوشش آنها بوسیله روغن یا کثافات وضوح دید آنها را از بین می‌برد و هنگامی که در سطوح راهها تحت فرسایش ترافیکی قرار می‌گیرند عمر زیادی نخواهند داشت. علاوه بر اینها، علامت گذاری روسازیها باید در فواصل زمانی نسبتاً کوتاهی تجدید شود و بخصوص در مورد راههای پرحجم که این خود می‌تواند مسئله چند خطی شدن را بهمراه داشته باشد.

علامت گذاریها عمدتاً برای کنترل موقعیت عرضی وسایل نقلیه در راهها بکار می‌رود. این کارکرد شامل خط‌کشی مسیر بندی و ممنوعیت‌های عبور در راههای دو خطه دو طرفه است. علامت گذاریها برای مشخص کردن لبه روسازی و موانع موجود در روی یا کنار روسازی نیز بکار می‌روند.

طراحی علامت گذاری

مصالح . رایج ترین روش علامت گذاری روسازی، جدول و

اشیاء رنگ آمیزی آنها است. پیشرفتها و توسعه‌های دائمی در صنعت رنگ سازی و در تجهیزات از نظر کاربرد کلی آنها دارای زوایای مختلفی هستند بدین لحاظ که ممکن است آنها یک، دو یا چند خط را در سطح جاده، بصورت توپر یا خط چین، در رنگهای مختلف و در سرعتهای اجرایی ۱۰ تا ۱۶ کیلومتر در ساعت، نقاشی کنند. خط کشی‌ها خودکاری وجود دارند که قادر به کشیدن سه خط بطور همزمان هستند ولی سرعت عملیاتی آنها حدود ۲/۵ کیلومتر در ساعت است. از لوازم دستی نیز می‌توان برای کشیدن علامتهای عرضی و ویژه در تقاطعها یا در سایر محلها استفاده نمود.

در برآورد ارزشهای نسبی یک رنگ بخصوص باید قیمت، خرید هزینه اجرا، دوام، قابلیت دید در شب، ظاهر و فرمول شیمیایی آن در نظر گرفته شود. یک موسسه براساس این منطق فرمولی برای تعیین هزینه مصالح در هر کیلومتر در هر روز از عمر مفید علامت گذاری پیشنهاد کرده‌است. نتیجه نه چندان غیر منتظره این بوده‌است که استفاده از رنگهای گرانتر با کیفیت بالاتر دارای بیشترین صرفه اقتصادی می‌باشد.

مواد ترموپلاستیک خصوصیات بسیار مطلوبی در علامت گذاری نشان داده‌اند بخصوص در مواردی که فرسایش ترافیکی شدیدی وجود داشته است مانند خط‌کشی عرضی در تقاطعها. ترکیبات ترموپلاستیک در دمای بالا اجرا می‌شوند و پس از سرد شدن سخت شده و یک خط نسبتاً دائمی در سطح روسازی باقی می‌گذارند. مقایسه آنها با خطهای رنگی استاندارد نشاندهنده عمر مفیدی بالاتر از سه برابر عمر خطوط رنگی ولی با هزینه‌ای در حدود شش برابر آن است. سهولت کاربرد و کاهش نگهداری می‌تواند در بلند مدت استفاده از ترموپلاستیکها را توجیه اقتصادی نماید.

برخی اوقات برای علامت گذاری روسازی از کفپوشها استفاده می‌شود. آنها باید به گونه‌ای قرار گیرند که سطح بالای آنها تقریباً هم سطح با سطح روسازی باشد و می‌توان آنها را بطور پیوسته و یا با فواصل کوتاهی بکار برد. برای اطمینان از ظاهر مناسب باید مسیربندی و فواصل آنها بدقت تنظیم شود اینگونه کفپوشها می‌توانند از جنس پلاستیک، گونی - پلاستیک و یا سایر مواد انعطاف‌پذیر باشند.

گلمیخهای روسازی نیز می‌توانند برای علامت گذاری مورد استفاده قرار گیرند. آنها در اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و معمولاً از جنس فلز یا پلاستیک ساخته می‌شوند. در صورت گرد بودن باید قطر آنها بزرگتر از ۱۰ سانتیمتر بوده و در اشکال دیگر حداقل دارای سطحی معادل با آن باشند و فواصل محوری آن‌ها بیش از ۴۰ سانتیمتر نباشد. آنها باید دارای سطحی مدور بوده و نمی‌باید بیش از ۲ سانتیمتر از سطح روسازی برجستگی داشته باشند. نصب آنها بوسیله بولت - گذاری یا سیمانکاری بصورت دائمی صورت می‌گیرد. چسبهای رزینی اپوکسی ثابت کرده‌اند که در چسباندن گلیمخها به سطح روسازیهای بتن و آسفالتی بسیار موثر هستند.

گلیمخهای فلزی و پلاستیکی و کفپوشها عمدتاً در نواحی شهری بکار می‌روند که در آنها ترافیک سنگین بسرعت علامت گذاریهای رنگی را از بین برده و تجدید نقاشی آنها نه تنها پر هزینه بوده بلکه تاخیر زیادی برای جریان ترافیک بوجود می‌آورد. با این وجود، به علت سهولت و سرعت اجرا کماکان نقاشی به عنوان رایج ترین شکل علامت گذاری شناخته شده‌است.

بازتابندگی . دید شبانه علامت گذاریهای روسازی بااستفاده از دانه‌های شیشه‌ای در داخل رنگ آنها به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، استفاده از این دانه‌ها عمر علامت گذاری روسازی را طولانی‌تر می‌سازد. بار تابندگی رنگ را می‌توان با پخش کردن دانه‌ها در سطح خیس رنگ‌کاری بدست آورد. بااستفاده از این روشها یک سطح بازتابش واگردانی بدست می‌آید که باعث می‌شود علامت گذاری در شبها در مقابل نور چراغ وسایل نقلیه درخشان آید.

اندازه قطر دانه‌ها معمولاً در حدفاصل ۰/۰۴۸ تا ۰/۰۸۲ سانتیمتر قرار دارد. در صورت پاشیدن دانه‌ها روی رنگ، باید اندازه دانه‌ها کوچکتر از ۰/۰۲۹ سانتیمتر باشد. با این وجود در روش مخلوط سازی قبل از اجراء، باید اندازه دانه‌ها کوچکتر از ۰/۰۲۹ باشد تا از گرفتگی سوراخ رنگپاش جلوگیری شود. دانه‌های ریزتر را می‌توان بهتر با رنگ مخلوط کرد و زمان خشک شدن رنگ بعد از پاشیدن آن بروی روسازی کاهش می‌یابد. هنگامی که دانه‌ها به روی رنگ پاشیده می‌شوند بازتابندگی اولیه آن زیاد بوده و سپس بتدریج از آن کاسته می‌گردد. افت بازتابندگی عمدتاً در اثر کنده شدن دانه‌ها از روی رنگ می‌باشد. هنگامی که دانه‌ها از قبل با رنگ مخلوط می‌شوند بازتابندگی آن افزایش می‌یابد و ممکن است حصول بازتابندگی کامل حدود یکماه بطول بیانجامد.

باید کلیه علامت گذاریهای روسازی که در شب مورد استفاده قرار می‌گیرند بازتابنده شوند. بطور کلی در محلهایی که از روشنایی زیادی برخوردار باشند نیازی به بازتابندگی علائم وجود ندارد. ولی در نواحی شهری حتی در خیابانهایی که دارای نورپردازی خوبی هستند بهتر است علامتگذاریهایی که باید در شبها دیده شوند بازتابنده گردند. گرچه بازتابندگی به هزینه اولیه می‌افزاید ولی افزایش عمر مفید و بهبود دیدوری شبانه علامتهای بازتابنده تفاوت هزینه را توجیه می‌کنند.

رنگ علامت گذاریها . MUTCD سه رنگ اصلی برای استفاده در علامت گذاری روسازی مشخص کرده‌است: سفید: زرد و قرمز. استفاده از رنگ قرمز برای علامت گذاری روسازی بدعتی است که در ۱۹۷۱ - MUTCD پذیرفته شده‌است. قبل از آن فقط سفید و زرد مجاز بودند. از رنگ سیاه می‌توان در روسازیهای روشن برای جلوه‌گر شدن سایر علامت گذاریها استفاده کرد ولی خود به تنهایی یک رنگ قابل قبول علامت گذاری نمی‌باشد. هنگامیکه علامت گذاری جلوه کافی ندارد بسیار مهم است که کارایی علامت گذاری بااستفاده از برخی روشهای جلوه‌گر سازی افزایش یابد.

MUTCD استفاده از رنگ زرد را برای جداسازی جریانهای مخالف ترافیکی، سفید را برای جدا سازی جریانهای هم جهت و قرمز را برای نشان دادن راههایی که نمی‌باید بوسیله بیننده مورد استفاده از رنگهای فلوئورسان مورد توجه قرار گیرد.

علامت گذاری روی سطوح قائم اشیاء واقع در روی راه یا بسیار نزدیک به آن می‌باید بوسیله یک بازتابنده مستطیلی رنگ یا یک بازتابنده مستطیلی با نوارهای ۴۵ درجه سیاه و سفید یا زرد انجام شود.

انواع خطوط . بطور کلی خطوط منقطع دارای خصلت مجاز بوده و راننده می‌تواند بنا به ضرورت از آن عبور کند. خطوط ممتد دارای خصلت محدود کنندگی هستند و نمی‌توان از آنها عبور کرد. به عنوان مثال اگر خطوط وسط راههای دو خطه بصورت یک خط زرد منقطع باشند عبور از آنها مجاز است و اگر یک خط زرد ممتد باشد عبور از آن ممنوع است. در محلهایی که عبور از خط وسط فقط برای یک جهت مجاز باشد از یک خط زرد ممتد و یک خط زرد منقطع (در طرفی که عبور مجاز است) استفاده می‌شود. در اینجا رنگ زرد به این دلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد که جریانهای مقابل از یکدیگر جدا شده‌اند (طبق MUTCD - ۱۹۶۱). یک خط ممتد سفید بیانگر یک خط جداکننده جریانهای ترافیکی هم جهت است که قابل عبور نمی‌باشد. به عنوان مثال یکی از کاربردهای چتین خطوطی به منظور علامت گذاری خطوط گردشی مجزا است.

عرض و الگوی خط کشی . بطور کلی عرض یک خط تاکیدی بر پیام آن است. هر چه عرض این خط بیشتر باشد تاکید بیشتری صورت می‌گیرد. عرض متعارف خطوط از ۱۰ - ۱۵ سانتیمتر است. عرض خطوط پهن معمولاً دو برابر این مقدار است. خطوط دوبله، مرکب از دو خط با عرض معمولی است که با یک فاصله قابل تشخیص از یکدیگر جدا شده‌اند. خطوط منقطع متشکل از یکسری قطعه خطها و فواصل است و معمولاً به نسبت ۳:۵ می‌باشند. در راههای برون شهری معمولاً از ۵ متر و ۸ متر استفاده می‌شود.

نگهداری از علامت گذاریها

برای تشخیص و رعایت علامت گذاریها بوسیله رانندگان لازم است علامت گذاریها بخوبی نگهداری شده و در صورت نیاز تجدید رنگ شوند تا قابلیت دید و جلوه کافی داشته باشند. همچنین ضروری است که علامتها بطور منظم و در محل صحیح ترسیم شوند. بسامد تجدید رنگ بستگی به نوع رویه ترکیب و مقدار کاربرد رنگ، آب و هوا و حجم ترافیک دارد. در هنگام نقاشی روی علامت گذاریهای قبلی می‌باید دقت زیادی بعمل آید تا این کار هر چه دقیق تر صورت گیرد. معمولاً علامت گذاریها در فواصل زمانی کمتر از یکسال تجدید رنگ می‌شوند. با این وجود ممکن است علامت گذاریهایی که تحت ترافیک سنگین قرار دارند دو یا سه مرتبه در سال و حتی بیشتر نیاز به تجدید رنگ داشته باشند.

کتاب راهنمای نگهداری MUTCD راهنمای خوبی برای عملیات نگهداری است و در آن کلیه مراحل نگهداری انواع مختلف علامت گذاریها و نیز تجهیزات و روشهای لازم برای اجرای صحیح علامت گذاریها مطرح شده‌اند.

کاربری‌های علامت گذاریهای ترافیکی و روسازی

خطوط وسط . خط وسط، سطح یک راه را میان جریانهای مخالف تقسیم می‌کند. براساس MUTCD - ۱۹۷۱ کلیه خطوط وسط می‌باید برنگ زرد باشند. خط وسط برای کلیه راههای شوسه مطلوب است ولی به عنوان یک حداقل می‌باید در تمام طول راههای زیر اجرا گردد:

۱- راههای دوخطه با ADT بیشتر از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در روز،

۲- راههای دو خطه باریکتر از ۷ متر با ADT بیشتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه در روز،

۳- راههای دوخطه با عرضی در حدود ۵ تا ۶ متر و ADT بیش از ۳۰۰ وسیله نقلیه در روز در راههای باریکتر از ۵ متر نباید خط وسط مورد استفاده قرار گیرد.

۴- کلیه راههای چهار، شش و هشت خطه جدا نشده

۵- در سایر محلهایی که آمار تصادفات نیاز به آنها را تایید می‌کند و در مناطقی که احتمال کاهش قدرت دید رانندگان مثلاً در اثر مه آلودگی هوا وجود دارد.

مطالعات رفتار رانندگان نشان داده‌است که سرعت، حجم و فواصل عرضی وسایل نقلیه در یک راه بستگی به خطوط وسط و خطوط میانی دارند.

خطوط میانی . یک خط میانی، جداکننده دو خط ترافیکی مجاور هم جهت است. برطبق *MUTCD* خطوط میانی باید به رنگ سفید باشند. خطوط میانی کمک زیادی به تنظیم جریان ترافیک کرده و می‌توانند کارایی عرض موجود راه را افزایش دهند.

خطوط میانی می‌باید در هر محلی که شرایط ترافیکی از نظر حجم، ایمنی و راحتی بااستفاده از آنها بهبود می‌یابد مورد استفاده قرار گیرند و بخصوص در شرایط زیر:

۱- در کلیه راههای برون شهری که دارای خطوط ترافیکی فرد باشند.

۲- در کلیه راههای برون شهری که دارای چهار خط یا بیشتر باشند.

۳- در محل تقاطعهای مهم و گذرگاههای عابرین پیاده و محلهای خطرناک واقع در راههای برون شهری و نیز خیابانهای شهری

۴- در نقاط شلوغ، بخصوص در خیابانهای شهری که در آنها مسیر راه بوسیله خطوط ترافیکی بیشتری نسبت به حالتی که از این خطوط استفاده نگردد اشغال خواهد شد.

۵- خیابانهای یکطرفه و راههایی که حداکثر کارایی در استفاده از عرض راه مورد نظر باشد.

مناطق سبقت ممنوع . مناطق سبقت ممنوع در قوسهای افقی و قائم و سایر نقاطی که در آنها مسافت دید سبقت محدود بوده و یا سایر شرایط خطرناک وجود داشته باشد برقرار می‌شوند. منطقه سبقت ممنوع بوسیله یک خط زرد ممتد که در طرف راست خطوط ترکیبی در امتداد خط وسط یا خط میانی کشیده می‌شود مشخص می‌گردد. خطوط ترکیبی متشکل از یک خط زرد ممتد در امتداد یک خط زرد منقطع هستند.

در راههای دوخطه این خط ترکیبی، در طول منطقه سبقت ممنوع در وسط راه کشیده می‌شود. در راههای سه خطه خط ترکیبی قبل از منطقه سبقت ممنوع از کنار خط میانی سمت چپ شروع و بصورت قطری عرض خط وسط را طی کرده و در آغاز منطقه سبقت ممنوع به خط میانی سمت راست می‌رسد و سپس تا انتهای منطقه در امتداد همین خط ادامه می‌یابد.

منطقه سبقت ممنوع در قوسهای افقی و قائم در صورتی توصیه می‌شود که مسافت دید، برابر یا کمتر از مقادیری باشد که در زیر براساس هشتاد و پنجمین درصد سرعت بدون اوج موجود ارائه شده است:

هشتادوپنجمین درصد سرعت	حداقل فاصله دید
۵۰	۱۵۰
۶۵	۱۸۰
۸۰	۲۴۰
۹۵	۳۰۰
۱۱۰	۳۶۰

تحت هیچ شرایطی نباید طول علامت گذاری منطقه سبقت ممنوع کمتر از ۱۵۰ متر باشد معیار اندازه‌گیری فاصله دید سبقت در قوسهای قائم عبارت است از طول خط دید از چشم راننده (که فرض می‌شود در ۱۲۰ سانتیمتری سطح راه واقع است) تا شیء به ارتفاع ۵۰ سانتیمتر. در قوسهای افقی مسافت دید موجود، در حد فاصل نقاطی واقع بر خط وسط به ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتر و در امتداد خط مماس بر مانع دید اندازه‌گیری می‌شود.

محل استاندارد خط مانع منطقه سبقت ممنوع در مجاورت خط وسط یا خط میانی می‌باشد. در یک مطالعه، دو نوع علامت گذاری منطقه سبقت ممنوع مورد مقایسه قرار گرفتند. نوع اول مطابق با توصیه‌های ۱۹۶۱ - *MUTCD* یعنی کشیدن خط مانع در امتداد خط وسط بود و در نوع دیگر خط مانع در وسط خطی که سبقت‌گیری از آن ممنوع بود کشیده شد. نتایج مطالعه نشان داد که مشخصات سرعتی این دو نوع علامت گذاری کمی با یکدیگر متفاوت هستند. با این وجود، شرایط بحرانی قرارگیری عرضی همواره برتری با استاندارد ملی بوده‌است. استاندارد ملی عملکرد بهتری در مقایسه رانندگی روزانه و شبانه و شکایت رانندگان از محدودیت سبقت داشته است.

یک روش عملی برای تعیین محل دقیق مناطق سبقت ممنوع پیشنهاد شده است. در این روش از دو وسیله نقلیه مجهز به کیلومتر شمار و بی‌سیم استفاده می‌شود. این دو وسیله نقلیه در فاصله‌ای معادل با مسافت دید طرح از یکدیگر حرکت کرده و راننده اتومبیل جلو دائماً اتومبیل عقب را مشاهده می‌کند. هنگامی که اتومبیل عقب از دید او پنهان شد نقطه شروع منطقه سبقت ممنوع مشخص می‌شود و پایان منطقه سبقت - ممنوع محلی است که وسیله نقلیه عقبی مجدداً ظاهر شود.

در برخی از ایالتها حداقل فاصله دید برابر ۲۴۰ متر در نظر گرفته می‌شود تا منطقه سبقت ممنوع پاسخگوی هشتاد و پنجمین سرعت درصدی برابر با ۸۰ کیلومتر در ساعت باشد.

خطوط لبه روسازی . این خطوط لبه راه را مشخص کرده و در سمت راست راه برنگ سفید و در سمت چپ راه برنگ زرد ترسیم می شوند. استفاده از خط‌کشی لبه در موارد زیر موثر است:

۱- کاهش حرکت روی شانه‌ها که دارای مقاومت سازه‌ای کمتری نسبت به روسازی مجاور خود هستند

۲- ایجاد شرایط رانندگی راحت تر، بخصوص در شبها و شرایط نامساعد جوی

۳- کاهش در تصادفات (بخصوص تصادفات انحراف-از-جاده)

نیاز به خط‌کشی لبه سمت راست بستگی به کفایت شانه راه دارد. عدم کفایت شانه (عدم وجود شانه یا عرض کمتر از ۲/۵

متر یا شانه بدون روکش) خط‌کشی لبه را الزامی می‌سازد. شانه‌های روکش شده می‌بایست بااستفاده از روسازی رنگی یا یک خط لبه سفید از سرخ راه متمایز گردند.

خط‌کشی لبه سمت چپ روسازی برای مشخص کردن ناحیه میانه راههای جدا شده بکار می‌رود. در صورتی که در مجاورت جدولها، در نواحی با محدودیت دید و یا در میانه‌ها با عرض کمتر از ۵ متر تاکید بیشتری مورد نظر باشد می‌باید از خطوط مانع زرد رنگ دوبله استفاده شود. در صورتی که میانه هم سطح با راه روکش شده باشد نیز از خط مانع دوبله استفاده می‌گردد.

تقاضای شدیدی از طرف رانندگان برای خط‌کشی لبه روسازیها وجود دارد. یک مطالعه نشان داده است که در سال ۱۹۶۱ یک افزایش ۴۵ درصدی در کشیدن خطهای سفید لبه در ایالات متحده وجود داشته است. این مطالعه مشخص کرده است که تا قبل از ژانویه ۱۹۶۲ تقریباً ۱۴۳۰۰۰ کیلومتر از راه‌های ایالتی و بزرگراه‌های عوارضی دارای خط‌کشی لبه بوده و در برنامه‌های سال ۱۹۶۲ خط‌کشی ۲۷۰۰۰ کیلومتر دیگر از راهها پیش‌بینی شده‌است.

مطالعه‌ای در مورد تعیین تاثیر خط‌کشی لبه روسازی در جابجایی عرضی وسایل نقلیه صورت گرفته است. در قطعات دو خطه مستقیم با عرض روسازی ۶ و ۸ متر، خط‌کشی ممتد لبه منجر به نزدیکتر شدن جریان ترافیک به خط وسط روسازی شده و این اثر در شبها بیشتر بوده است. مرحله دیگری از این مطالعه روی یک قوس افقی ۴ درجه‌ای بعرض ۶ متر با خط‌کشی منطقه سبقت ممنوع صورت گرفت. تاثیر خط لبه ممتد در قوس همان نزدیکتر شدن جریان ترافیک به خط وسط بود ولی در خط سرعت - بالا منجر به عبور وسایل نقلیه از خط مانع سبقت - ممنوع گردید. مرحله آخر تحقیقات روی قطعه مستقیمی از یک راه چهار خطه مجزا صورت گرفت. قبل از کشیدن خطوط لبه در امتداد شانه‌ها و میانه، روسازی بوسیله خطوط میانی تقسیم‌بندی شده بود. در یک جهت دو خط ۴ متری وجود داشت و تاثیر خط‌کشی لبه، نزدیکتر شدن وسایل نقلیه واقع در خط حرکتی سمت راست به خط‌کشی میانی بود ولی در خط حرکتی سمت چپ، وسایل نقلیه بطرف میانه حرکت کردند. در جهت مخالف دو خط حرکتی ۳ متری وجود داشت و تاثیر خط‌کشی لبه، نزدیکتر شدن وسایل نقلیه هر دو خط حرکتی به خط‌کشی میانی بود. براساس نتایج این مطالعه اداره راههای لوئیزیانا - سیاست خط‌کشی لبه کلیه راههای دوخطه با عرض ۷/۲۰ متر و بیشتر را اتخاذ نمود.

تغییرات عرض خطوط عبور . خط‌کشی خطوط حرکتی در نقاطی که عرض روسازی به تعداد خط کمتری تقلیل می‌یابد می‌بایست برای راهنمایی ترافیک مورد استفاده قرار گیرد. طول خط‌کشی همگرایی می‌باید حداقل برابر با مقدار حاصل از معادله $L = S \times W$ باشد که در آن L طول مورد نظر برحسب متر، و S هشتاد و پنجمین سرعت درصدی (یا سرعت طرح) برحسب کیلومتر در ساعت و W جابجایی جانبی برحسب متر است.

علامت گذاری در نزدیکی موانع . علامت گذاری روسازی برای تکمیل تابلوگذاری و علامت گذاری روی موانع و هدایت ترافیک به طرفین موانع واقع در داخل مسیر راه بکار می‌روند. طول خط‌کشی مورب موانع باید حداقل برابر با مقدار حاصل از معادله $L = S \times W$ باشد که متغیرهای آن دارای همان معانی هستند. در هیچ شرایطی نباید طول این خط‌کشی مورب کمتر از ۶۰ متر برای راههای برون شهری و ۳۰ متر برای نواحی شهری گردد و می‌توان جریان یابد. خطوط مسیر بندی برای مشخص کردن جزایر ترافیکی و جداسازی خطوط گردش از خطوط اصلی ترافیک در محلهایی که سایر روشهای محدود کننده غیر عملی بوده و یا خطرساز می‌باشند بکار می‌رود. همچنین می‌توان بجای خط‌کشی‌های منقطع در نواحی بحرانی از این نوع خط‌کشی‌ها استفاده کرد تا علامت گذاری مورد تاکید بیشتری قرار گرفته و خطوط ترافیکی مشخص‌تر بیان شوند.

استفاده از یک خط مسیربندی به منظور جداسازی دو خط گردشی در محل تقاطع دو خیابان یکطرفه نتایج مثبت زیر را بهمراه خواهد داشت:

۱- حرکتهای گردشی دوتایی از فضای موجود بهتر استفاده می‌کنند زیرا وسایل نقلیه می‌توانند در سر پیچ نزدیکتر به یکدیگر حرکت کنند.

۲- کاهش چشمگیری در حرکات ضربدری ایجاد خواهد شد.

۳- زمان لازم برای عبور وسایل نقلیه از تقاطع کاهش خواهد یافت.

علامت گذاریهای شیبراهه آزاد راهها . خطوط مسیربندی برای مشخص کردن یک ناحیه خنثی در دماغه شیبراهه بکار می‌روند تا احتمال برخورد با نوک جدول کاهش یابد. آنها ترافیک خروجی و ورودی را تحت زاویه مناسب هدایت می‌کنند تا همگرایی و واگرایی به نرمی صورت گیرد.

برای کاربری صحیح و ایمن شیبراهه‌های ورودی، ضروری است به راننده در مورد ناحیه‌ای که برای استفاده انحصاری او در هنگام ورود به بزرگراه کنار گذاشته شده‌است آگاهی داد. علامت گذاریها به راننده کمک می‌کنند تا بتواند بخوبی میان خطوط ترافیک عبوری و بخشی از شیبراهه ورودی که مشخصاً برای

استفاده او طراحی شده تمایز قائل شود به این ترتیب تردید راننده از بین رفته و عملکرد شبیراهه با ایمنی و کارایی کامل صورت خواهد گرفت.

خطوط عرضی . خط‌کشی‌های عرضی برای مقاصد مختلفی بکار می‌آیند و بویژه در محل تقاطع‌ها، انواع خط‌کشی‌های عرضی عبارتند از:

خطوط توقف - در محلهایی که مشخص کردن نقطه توقف مورد نیاز باشد. چه در نواحی شهری و چه برون شهری، می‌باید از خطوط سفید توپر استفاده شود. خطوط توقف باید حداقل در فاصله ۱/۲ متری جلوی نزدیکترین گذرگاه عابرین پیاده یا خط جدول تقاطعها ترسیم شوند. فاصله آنها از لبه راه در تقاطع نمی‌باید بیشتر از ۱۰ متر باشد.

خط‌کشی‌های مخصوص عابرین پیاده - گذرگاهها به منظور تامین یک مسیر قانونی و معین برای عابرین پیاده و تامین یک محل ایمن برای عبور از عرض خیابان مورد استفاده قرار می‌گیرند. گذرگاهها باید حداقل دارای ۲ متر عرض بوده و بوسیله خطوط سفید گذرگاه مشخص شوند. از آنها باید در محلهایی که برخورد میان وسایل نقلیه و عابرین پیاده زیاد بوده و یا در محلهایی که عابرین پیاده از نقاط نامشخصی عبور می‌کنند (مثلاً میان - قطعه) استفاده شود.

تقاطع مسیر با خط راه‌آهن - تقاطع مسیر با گذرگاه راه‌آهن باید بوسیله خطوط عرضی، نمادها (مثلاً *RR, X*) و پیامهای نوشتاری علامت گذاری شوند تا مکمل تابلوها، چراغهای راهنمایی و یا دروازه‌های مربوطه باشند.

محدوده فضای پارکینگ - در نواحی مرکزی شهر، معمولاً لازم است محدوده هر یک از فضاهای پارکینگ، بخصوص آنهایی که دارای پارکومتر هستند مشخص گردد. در اینصورت از خطوط سفید استفاده می‌شود.

خط‌کشی عرضی در نزدیکی باجه‌های اخذ عوارض - در محل ورودی و محوطه اخذ عوارض راهها به منظور آگاه سازی رانندگان و کاهش سرعت وسایل نقلیه از خطوط عرضی پهن استفاده بعمل می‌آید.

علامت گذاری جدولها برای محدودیتهای پارکینگ . از آنجایی که علامتهای زرد و سفید علامت گذاری استاندارد لبه‌ها هستند. نمی‌توان از آنها برای نشان دادن محدودیت پارکینگ استفاده کرد. معمولاً مقررات پارکینگ بوسیله تابلوهای استاندارد بیان می‌شوند ولی می‌توان برای تکمیل آنها از رنگ آمیزی مخصوص جدولها نیز استفاده کرد.

پیامهای نوشتاری و نمادین . از علامت گذاریهای نوشتاری و نمادین روسازی می‌توان به عنوان مکمل تابلوها و سایر وسایل کنترل ترافیک و به منظور راهنمایی، هشدار و یا تنظیم ترافیک استفاده کرد. تعداد کلمات آنها باید در حداقل ممکن و حداکثر به سه کلمه محدود شود. در راههای سریع‌السیر پیامها نمی‌باید بیشتر از یک خط باشند. حروف و نمادها باید در جهت حرکت ترافیک کشیده‌تر باشند زیرا رانندگان تحت زاویه کوچکی آنها را مشاهده می‌کنند. لازم است خطوط عرضی حروف و نمادها به نسبت پهن‌تری در نظر گرفته شوند تا با خطوط طولی یکسان بنظر آیند.

علامت گذاریهای کاربری خطوط در تقاطعها به عنوان مکمل تابلوهای کنترل کاربری خطوط بیانگر نوع حرکاتی است که برای خطوط مشخصی مجاز هستند.

یک مطالعه در انگلستان نشان داده است که در محلهایی که کلمه ایست روی روسازی ترسیم شده بوده تصادفات به میزان ۵۰ درصد کاهش داشته است.

علامت گذاری اشیاء . اشیاء خطرساز واقع در روی یا نزدیک به لبه راه باید علامت گذاری شوند. انواع علامت گذاریهایی که می‌توان استفاده نمود در قسمتهای قبلی این فصل مطرح شده‌اند و جزئیات آنها در *NUTCD* موجود است. اشیائی مانند پایه پلها و زیر گذر خیابانی در واشنگتن *DC* به میزان قابل توجهی از تصادفات آنها کاسته است. در طول نخستین سال کاربرد این رنگ‌آمیزی ، کاهش تصادفهای شبانه به میزان ۷۱ درصد و کاهش تصادفهای روزانه ۴۴ درصد بوده‌است.

رهنمایه‌ها . رهنمایه یک وسیله باز تابنده نور است که در کنار راهها به صورت ردیفی نصب می‌شود تا نشان‌دهنده مسیر راه باشد. رهنمایه‌ها را می‌توان هم در قطعات طولانی راهها و هم در محلهایی که تغییرات افقی مسیر راه وجود دارد در فواصل کوتاه بکار برد.

رهنمایه‌های سفید رنگ برای مشخص کردن طرف راست جاده و باز تابنده‌های زرد رنگ برای طرف چپ جاده می‌باید مورد استفاده قرار گیرند. رهنمایه‌ها باید در ارتفاع ۱/۲۰ متری از لبه روسازی و در فاصله جانبی ۶/۰ تا ۳/۶ متری لبه روسازی بسته به پروفیل عرضی مجاور نصب شود. یکی از مزایای مهم رهنمایه‌ها این است که در صورت نشستن برف بر روی زمین کماکان قابل رویت خواهند بود ولی اگر خیلی نزدیک به راه نصب شوند ممکن است توده‌های برف آنها را پنهان سازد. اصولاً رهنمایه‌ها می‌بایست در فواصل ۶۰ تا ۱۶۰ متری نصب شوند

هر چند ممکن است در نزدیکی یا وسط قوسهای افقی فواصل کمتری مورد نیاز باشد.

تابلوهای ترافیک

یک تابلوی ترافیکی، وسیله‌ای است که روی یک پایه ثابت یا قابل حمل نصب شده و پیام خاصی را بااستفاده از کلمات یا نمادها انتقال داده و هدف از آن قانونمندی، هشداردهی یا راهنمایی ترافیکی است.

کاربرد تابلوهای ترافیک

تابلوهای ترافیکی رایج ترین وسایل کنترل، ایمن‌سازی و تسریع ترافیک بوده و جزو قدیمی‌ترین وسایل کنترل ترافیک هستند. تابلو گذاری صرفاً برای بیان مقررات کلی راه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه می‌توان از آن در مواردی که مقررات خاصی فقط در محلهای خاص و یا در زمانهای خاص صادق باشد، یا در صورتی که خطراتی در کمین باشند و یا برای دادن آگاهیهای لازم نیز استفاده نمود. علت وقوع بسیاری از تصادفات مواجه شدن ناگهانی رانندگان با موارد پیش بینی نشده‌است. بنابراین اگر شرایط رانندگی نامساعدی در پیش باشد باید راننده را هر چه زودتر آگاه نمود.

تابلوهایی که اطلاعات لازم در مورد مسیر، جهت و نقاط مهم راه بدست می‌دهند باید بعنوان یک عامل ایمنی بخش ارزیابی شوند. راننده‌ای که وارد یک تقاطع راه می‌شود اگر به جهت‌گیری خود اطمینان نداشته باشد، دچار سردرگمی شده و مبدل به یک عامل بروز تصادفات خواهد شد. اگر قبل از ورود به تقاطع اطلاعات لازم به او داده شود این سردرگمی به حداقل رسیده و یا از بین خواهد رفت.

تابلوگذاری صرفاً باید در محلهایی صورت گیرد که کاربرد آنها بر اساس اصول مهندسی و مطالعات مستند مورد تایید قرار گرفته و مسجل شده باشد. برای آگاه سازی رانندگان باید از تعداد کافی تابلو استفاده شود. تابلوهای مقرراتی و هشداری می‌باید بصورت محتاطانه بکار روند زیرا استفاده بیش از اندازه آنها منجر به بی‌توجهی نسبت به تمامی تابلوها خواهد شد. بنابراین استفاده محافظه کارانه اینگونه تابلوها توصیه می‌شود. با این وجود، کاربرد وسیع تابلوهای راهنمایی در نقاط مناسب از نظر عامه رانندگان بسیار پسندیده بوده و از ارزش آنها نخواهد کاست.

پس از نصب یک تابلو، باید تاثیر آن مورد بررسی قرار گیرد و در صورتی که نتایج مطلوب حاصل نشده باشد تغییرات لازم صورت گیرد، با نصب و برداشتن یک تابلو یا چراغ راهنمایی و بررسی تاثیرات این عمل در ترافیک محل می‌توان تغییرات مورد نیاز را تعیین نمود.

طراحی تابلوها

یکنواختی در طراحی شامل شکل، رنگ، اندازه، نمادها، نوشتارها، حروف بندی و روشنائی یا بازتابندگی می‌شود. جزئیات تابلوهای استاندارد و تصاویر آنها در *MUTCD* موجود است.

شکل تابلوها . در مطالعه‌ای که روی تاثیرات نسبی شکل، اندازه، رنگ و پیام تابلوها صورت گرفت این نتیجه بدست آمد که شکل و رنگ مهمترین عوامل در ایجاد شناخت هستند. در ایالت نیویورک ۸۷ نفر از ۱۰۰ راننده نتوانستند پیام انحرافی "لیست" را روی یک تابلوی ایست استاندارد تشخیص بدهند.

۱- هشت ضلعی: انحصاراً برای تابلوی ایست
۲- مثلث متساوی الاضلاع (با یک راس در پایین): انحصاراً برای تابلوی احتیاط
۳- دایرهٔ پیش آگهی یک تقاطع راه‌آهن
۴- پیکان شکل: (مثلث متساوی الساقین باریک و خوابیده): هشدار منطقه عبور ممنوع
۵- لوزی: تابلوهای هشدار خطر یا خطرات احتمالی در مسیر راه یا در مجاورت آن
۶- مستطیل (طول در جهت افقی): کلیه تابلوهای راهنمایی به استثناء تابلوهای عملیات ساختمانی و نواحی تفریحی
۸- پنج ضلعی (یک راس در بالا): کلیه تابلوهای هشدار دهنده گذرگاه مدارس
۹- ذوزنقه: تابلوهای راهنمایی مناطق تفریحی
۱۰- اشکال خاص را می‌توان برای مقاصد خاص بکار برد مثلاً ضربدر برای گذرگاه راه‌آهن و شکلهای مختلف سپری برای علامت گذاری راههای ایالتی و بین ایالتی

رنگهای تابلو . استاندارد رنگها در ۱۹۷۱ - *MUTCD* هماهنگ با کتابچه بین ایالتی ۱۹۷۰ مشخص شده است. اینکار بنا به دلایل: (۱) افزایش یکنواختی و (۲) برتری رنگهای بین ایالتی از نظر قابلیت دید و خوانایی بخصوص در شبها، صورت گرفته است.

در *MUTCD* رنگهای و کاربردهای زیر مشخص شده‌اند:

۱- قرمز: رنگ زمینه برای تابلوی ایست، پیام "وارد نشوید" و تابلوی "بیراهه": رنگ نقش برای تابلوهای ممنوعیت پارکینگ، عملیات راهسازی و احتیاط
۲- سیاه: رنگ زمینه برای تابلوی "یکطرفه"، تابلوی ایستگاه توزین و تابلوی محدودیت سرعت در شب، رنگ نقش روی زمینه‌های سفید، زرد و نارنجی
۳- سفید - رنگ زمینه برای عملیات راهسازی، تابلوی

پناهگاههای هسته‌ای و تابلوهای مقرراتی (به استثناء تابلوی ایست)، رنگ نقش روی زمینه‌های قهوه‌ای، سبز، آبی، سیاه و قرمز

۴- نارنجی: فقط به عنوان زمینه برای تابلوهای عملیات ساختمانی و نگهداری

۵- زرد: رنگ زمینه برای تابلوهای هشدار دهنده به استثناء تابلوهای عملیات ساختمانی، نگهداری و مدارس

۶- قهوه‌ای: رنگ زمینه برای تابلوهای راهنمای مناطق تفریحی، فرهنگی و حفاظت شده

۷- آبی: رنگ زمینه برای تابلوهای اطلاعاتی یا راهنمای تعمیرگاه وسایل نقلیه

۸- سبز: رنگ زمینه برای تابلوهای راهنمایی و پستهای بین راه: رنگ نقش برای تابلوهای پارکینگ مجاز. چهار رنگ دیگر (ارغوانی، آبی روشن، کرم و مغز پسته‌ای) برای استفاده در راهها مفید تشخیص داده شدند ولی برای آینده مورد استفاده قرار خواهند گرفت، پذیرش زمینه سفید برای تابلوهای راهنمایی تنها تفاوت موجود میان استانداردهای بین ایالتی و ۱۹۷۱ *MUTCD* است.

اندازه تابلوها . اندازه یک تابلو در درجه اول بستگی به طول پیام و اندازه و فواصل حروف متشکله آن و یا اندازه نماد مربوطه دارد. برای خوانایی هر چه کاملتر پیام باید با نقش مناسبی طراحی گردد.

استاندارد اندازه‌های *MUTCD* برای تامین خوانایی کافی تابلوها در شرایط عادی راه طراحی شده‌اند. در صورتی که خوانایی یا تاکید بیشتری مورد نیاز باشد اندازه‌های بزرگتر از استاندارد مطلوب خواهند بود. در مورد بزرگراهها تابلوهای بزرگ خاصی توصیه می‌شوند. برای تعیین کفایت اندازه‌های استاندارد باید عواملی مانند سرعتها و حجمهای حاکم، عرض یا تعداد خطوط راه، میزان خطرات، و شرایط سایر تابلوها، روشنایی و یا رنگ زمینه مورد توجه و بررسی قرار گیرند.

نمادهای تابلو . نمادهایی که سریعاً قابل تشخیص باشند برتریهای بسیاری نسبت به پیامهای نوشتاری دارند. نمادها ایمنی و سهولت بیشتری را برای جریان ترافیک تامین می‌کنند و استفاده از آنها شدیداً توصیه می‌گردد. این دیدگاهها با توجه به کاربردهای وسیع و موفقیت آمیز نمادها در سایر کشورها تحکیم شده‌اند. بدین سبب ۱۹۷۱ - *MUTCD* استفاده از تابلوهای نمادین را تشویق و آنها را استاندارد نموده‌است. باید توجه داشت که نمادشناسی همگانی مستلزم یک زمان طولانی همراه با آموزشها و تعالیم لازمه است. در راستای این فرآیند بر طبق استاندارد *MUTCD* باید در محلهایی که نماد جدیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد تابلوهای نوشتاری کمکی نیز نصب گردند.

پیامهای نوشتاری . حتی‌الامکان باید از نوشتار استاندارد *MUTCD* در تابلوها استفاده گردد. بسیاری از پیامها، بویژه در تابلوهای مقرراتی و اطلاعاتی، نمی‌توانند بخوبی فقط بااستفاده از نمادها انتقال یابند. پیامهای نوشتاری باید حتی‌الامکان خلاصه بوده و حروف بندی آنها آنقدر بزرگ باشد که در فاصله لازم خوانایی داشته باشند. استفاده از حروف اختصاری باید در حداقل بوده و فقط از آنهایی استفاده شود که قابل تشخیص و درک برای عموم مردم باشند.

مطالعاتی در مورد اثرات خط‌کشی زیر کلمات در خوانایی تابلوهای مقصد راهها صورت گرفته است. این بررسیها نتایج زیر را بهمراه داشته است:

۱- کشیدن خط تاکید احتمال آنکه یک مقصد در تابلو راهنما با کلمه‌ای دارای طول نامساوی با آن اشتباه شود کاهش می‌دهد. ولی در مورد نام محلهایی که دارای طول نامساوی با آن اشتباه شود، کاهش می‌دهد. ولی در مورد نام محلهایی که دارای طول برابر با آن هستند کشیدن خط تاکید تاثیر چندانی ندارد.

۲- احتمال اشتباه خواندن یک تابلو راهنمایی در صورتی که نام آن محلها دارای طول یکسانی باشند بیشتر از حالتی است که طول آنها نامساوی باشد.

۳- خطاهای اشتباه خوانی متناسب با تعداد مقصدهایی است که روی یک تابلو نوشته می‌شود. توصیه شده‌است که تعداد این مقصدها حداکثر به سه عدد محدود گردد. این مطلب دقیقاً اهمیت خلاصه بودن پیامها را نشان می‌دهد.

نکته سوم: در دو مطالعه زیر مورد بررسی بیشتری قرار گرفته است:

۱- به کمک یک شبیه ساز رانندگی در هدایت وسایل‌نقلیه هنگامی که در حال جستجو برای یک تابلوی خاص هستند مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه عبارتند از:

الف- در مواردی که شراکت زمانی میان دو عمل مورد نیاز بوده هر کدام از آنها ضعیف‌تر از حالتی عمل می‌شدند که فقط یک عمل مورد نیاز بوده‌است.

ب- افزایش تعداد واحدهای پیامی در روی تابلو در عمل هدایت تاثیر نداشته ولی زمان لازم برای تشخیص کلمه مورد نظر را افزایش داده است.

ج- با افزایش سرعت عمل هدایت، زمان تشخیص کاهش یافته است.

۲- در یک مطالعه آزمایشگاهی و عمل این نتیجه بدست آمد که با افزایش تعداد مقصدها از ۴ به ۶ فاصله خوانایی کاهش می‌یابد ولی هنگامی که تعداد نقشها را ۲ به ۴ افزایش می‌یابد تفاوتی نمی‌کند.

حروف بندی . به استثناء نام مقصدها در تابلوهای راهنما، حروف بندی تابلوها می‌بایست واضح، با فاصله مناسب و حروف بزرگ صورت گیرد. نام مقصدها می‌تواند با حروف ریز نوشته شود ولی ابتدای آنها باید با حرف بزرگ شروع شود.

وزارت راههای فدرال استاندارد الفبای بزرگ و کوچک را تهیه کرده‌است. این استاندارد الفبایی شامل یکسری حروف درجه‌بندی شده از سری باریک و فشرده A تا حروف درشت و پهن در سری F می‌باشند. نسبت ارتفاع به عرض از مقدار ۱۱ :۱ برای سری A تا ۵ :۱ برای سری F تغییر می‌کند. الزامات بیشتر تابلوها با حروف سری C , D برآورده می‌شود.

روشنسازی و شبنمائی . کلیه تابلوهایی که باید پیام خود را در ساعات تاریکی انتقال دهند، به غیر از تابلوهای پارکینگ شهری می‌باید شبنما یا روشن شوند. اکثر تابلوها آنقدر اهمیت دارند که می‌باید در شبها همانند روزها برای رانندگان قابل دیدن و خواندن باشند. با این وجود روشنایی خیابانها معمولاً در حدی است که تابلوهای پارکینگ قابل دیدن باشند.

تابلوهای بالا سری که حداقل ۴/۵ متر بالاتر از سطح راه قرار می‌گیرند نمی‌توانند به اندازه کافی از نور چراغ اتومبیلها روشنایی کسب کنند. بنابراین لازم است در صورتی که شبنمایی نتیجه خوبی در برنداشته باشد تابلوهای بالا سری به طریق دیگر روشن سازی شوند.

روشهای تامین روشنایی - روشنائی را می‌توان به طریق زیر تأمین نمود:

۱- روشن سازی داخلی که در آن یک لامپ واقع در پشت تابلو، پیام یا نماد اصلی، زمینه تابلو و یا هر دو از طریق یک ماده نیمه شفاف روشن می‌کند.

۳- روشن سازی خارجی که در آن یک منبع نوری بطور مستقل به تابلو نصب می‌شود تا یک روشنایی یکنواخت در سطح تابلو ایجاد کند.

۳- سایر روشهای موثر مانند استفاده از لامپهای نئون که به شکل حروف یا نماد مورد نظر درآمده‌اند، رشته‌های لامپهای حباب ، و یا نور افکنهایی که تابلو را در شب کاملاً قبل رویت می‌سازند.

روشنایی عادی خیابان یا راه تکافوی نیاز نورپردازی تابلوها را نمی‌کند. نورپردازی باید به گونه‌ای باشد که تابلو در هنگام شب و روز دارای رنگ یکسانی باشد. چراغ چشمک زنی که در کنار تابلوها نصب می‌شود اگر در کنار تابلوی ایست باشد باید برنگ قرمز و اگر در کنار یک تابلوی هشدار دهنده و یا سایر تابلوهای مقرراتی قرار گیرد باید برنگ زرد باشد.

توصیه‌ها و نتایج زیر می‌توانند به عنوان یک راهنمای انتخاب نورپردازی بسیار مفید واقع شوند:

۱- تجربیات مربوط به استفاده از لامپهای رشته‌ای برای نورپردازی تابلوها تاکنون رضایت بخش نبوده‌است . عمر کوتاه، حساسیت نسبت به تغییرات ولتاژ و نوسانات از جمله اشکالات آنها هستند.

۲- لامپهای لوله‌ای، بخصوص لامپهای فلورسنت از نوع زرد روشن شونده از کارایی خوبی برخوردار هستند. این نوع لامپ حائز شرایط لازم برای روشن سازی داخلی و خارجی تابلو بوده و استفاده از آنها توصیه می‌گردد.

۳- با توجه به اتصالات موجود در بازار می‌توان نورپردازی خارجی تابلو را از نقطه‌ای بفاصله $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ ارتفاع تابلو در مقابل تابلو به گونه‌ای انجام داد که از دیدگاه رانندگان سطح تابلو دارای نورپردازی یکنواختی باشد. نورپردازی از پایین، از افتادن سایه‌های مزاحم روی تابلو در هنگام روز جلوگیری می‌کند.

روشن سازی داخلی تابلوها بااستفاده از مواد نیمه شفاف کارایی زیادی دارد. این مواد بویژه برای تابلوهای بالا سری که قسمت شکننده تابلو در معرض خطرات ترافیک قرار ندارد بسیار مناسب هستند.

۱- در شهر سینسیناتی تابلوهای ترافیکی بالا سری با روشن سازی داخلی از کارایی زیادی برخوردار بوده‌اند. باز تابندگی این تابلوها ضعیف بوده است زیرا نور چراغ اتومبیلها بسوی پایین بوده و روشنایی خیابان نیز کفایت نمی‌کرده است.

۲- استفاده از نورپردازی داخلی برای نواحی با حجم زیاد ترافیک، راههای عریض، محلهایی که نور خیابان و چراغ اتومبیلها پیام را منعکس نمی‌کنند، محلهایی که نورپردازی موضعی برای غلبه بر روشنایی زمینه مورد نیاز است و محلهایی که پیام متغیر مورد نیاز باشد توصیه می‌شود.

۳- خصوصیات ویژه پانلهای پلاستیکی آکرولیک (پلکسی گلاس) کاربرد آنرا برای تابلوهای با نور پردازی داخلی گسترش داده است. این ماده دارای خصوصیات مطلوبی از قبیل مقاومت دراز مدت در مقابل عوامل جوی، وزن سبک، پایداری، ضربه پذیری، کار پذیری و سهولت نصب می‌باشد. ضمناً خاصیت نورگذردهی و پخش نور عالی آن خوانایی و قابلیت دید بدون خیره کنندگی به آن می‌بخشد.

۴- آزمایشگاه تحقیقات جنرال موتورز یک تابلوی حد سرعت متغیر ساخته است که می‌تواند بطور لحظه‌ای هر یک از اعداد ۱ تا ۹۹ را نشان دهد. این تابلو متشکل از لامپهایی است که ترکیبات عددی مختلفی را می‌توانند ارائه کنند.

۵- موفقیتهای قابل توجهی در زمینه کاربرد چراغهای چشمک‌زن در این تابلوها نصب شده است. رنگ قرمز برای تابلوهای ایست و رنگ زرد برای سایر انواع تابلوها.

۶- در یک مطالعه روی بازتاب چراغهای چشمک‌زن با فرکانسهای مختلف از روی یک زمینه باز تابنده این نتیجه بدست آمد که خاصیت جلب توجه کنندگی در فرکانسهای بالاتر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

۷- در کالیفرنیا یک سیستم جدید هشدار دهنده سمعی - بصری در حال آزمایش است. این سیستم برای آگاه کردن رانندگان از مسیر اشتباه طراحی شده‌است. بمحض تماس چرخهای وسیله نقلیه با شناسگر که در داخل روسازی راه تعبیه شده‌است یک چراغ قرمز ۳۰ سانتی روشن و یک شیپور بوقی نواخته و سپس پیام "برگردید - شما بیراهه می‌روید" روشن خواهد شد.

روشهای تأمین شب نمایی . در یک تابلوی شب نما بسته به طرح تابلو و موقعیت محل ممکن است نقش و حاشیه، زمینه و یا هر دو بازتابنده شوند. در کلیه راهها باید از یک سیاست واحدی در مورد تابلوهای یکسان تبعیت شود. با این وجود باید تفاوتهای میان نیازهای درون شهری و برون شهری مد نظر قرار گیرند. به عنوان یک قاعده کلی باید نقش و زمینه تابلوهای شهری، در صورت سیاه نبودن، هر دو شب نما شوند. شب نمایی را می‌توان به یکی از طرق زیر تامین کرد:

۱- دکمه‌های شب نما یا چیزهایی مشابه آنرا می‌توان روی نماد یا پیام نصب کرد.

۲- ورقه‌های شب نما را می‌توان هم برای زمینه و هم برای نماد یا پیام و حاشیه بکار برد.

مواد بازتابنده‌ای که در تابلوها بکار می‌روند باید نور سفید منعکس کنند و در صورتی که زمینه رنگی یا تابلو با پوشش بازتابنده پوشیده شود رنگ زمینه بازتاب یابد. یک ماده بازتابنده خوب، بخش عمده نور تابیده شده را بصورت مخروط باریکی با واگرایی کم بطرف منبع نور بازتابانده تا به چشم راننده که بالاتر از چراغهای جلو اتومبیل قرار دارد برسد که این را بازتابش واگردانی می‌نامند.

دکمه‌های شب نما، قطعات کوچک شب نما هستند که در روی تابلو در ردیفهایی نصب می‌شوند تا شکل حروف، نمادها و یا حاشیه را تشکیل بدهند. در فواصل و اندازه‌های مناسب، آنها بصورت خطوط پیوسته روشن بنظر می‌آیند. این بازتابنده‌ها از جنس شیشه یا پلاستیک شفاف ساخته می‌شوند و همراه با عدسیها یا منشورهایی که بازتابش واگردانی انجام می‌دهد هستند.

پوششهای شب نما ورقه‌هایی هستند که روی قسمتی از تابلو کشیده می‌شوند تا بازتابندگی ایجاد کنند. این پوششها یا ورقه‌ها معمولاً دارای گلوله‌های شیشه‌ای ریزی هستند که روی یک سطح رنگ شده پخش شده‌اند و یا عدسیهای ریزی هستند که در داخل یک ورق پلاستیک قالب ریزی شده‌اند. هر دانه یا عدسی مانند یک واحد بازتاب مجزا عمل می‌کند ولی هنگامی که تحت نور چراغ اتومبیل دیده شوند یک سطح درخشان یکنواخت ارائه می‌کنند. با ترکیب کردن رنگ در پوششهای شب نما می‌توان بازتاب رنگی ایجاد کرد. برآورد درخشندگی تابلوهای شب نما براساس موقعیت تابلو و مسافت صورت می‌گیرد. ثابت شده‌است که پوششهای شب نما در فواصل نزدیک دارای درخشندگی کم، در فواصل ۴۵ تا ۱۲۰ متری برحسب نوع پوشش شب نما دارای درخشندگی حداکثر بوده و در فواصل بیشتر درخشندگی آنها کاهش می‌یابد. اندازه حروف عامل مهمی در انتخاب پوشش شب نما است. در مورد تابلوهای با اندازه حروف کوچک، استفاده از شب نماهای با درخشندگی زیاد و گران قیمت بازدهی اندکی دارد زیرا بواسطه کوچک بودن حروف در فواصل دورتر درخشندگی تاثیری در خوانایی نخواهد داشت. با این وجود، در مورد تابلوهای بزرگ که در دور دست قابل رویت و خواندن هستند استفاده از مواد گران قیمت‌تر قابل توجیه می‌باشد.

مطالعه‌ای در مورد ارزیابی خوانایی نسبی پوششهای شب نما و نورپردازی خارجی تابلوها صورت گرفته است. مشاهده تابلوی آزمایشی از درون وسیله نقلیه‌ای با سرعت ۲۴ کیلومتر در ساعت انجام شد. این مطالعه در شرایط نسبتاً ایده‌الی صورت گرفت زیرا مشاهدات در یک منطقه تاریک برون شهری و بدون خیره‌گی ناشی از نور وسایل نقلیه مقابل انجام پذیرفت. شرایط فوق را باید برای اعمال نتایج این مطالعه در نواحی شهری که نورپردازی اطراف بسیار شدیدتر بوده و منبعهای خیره‌کننده در میدان دید وجود دارند در نظر گرفت. تحت این شرایط یک نورپردازی بهتری مورد نیاز خواهد بود. حروف الفبایی که مورد استفاده قرار گرفت عمدتاً از سری E بوده و میانگین فاصله خوانایی روزانه حدود ۱۰ متر برای هر سانتیمتر از ارتفاع حروف بدست آمد (ارتفاع حروف از ۲۰ تا ۴۵ سانتیمتر متغیر بوده‌است). مقدار نورپردازی خارجی بهینه برابر ۹۵۴۰ متر - شمع بر متر مربع بدست آمد که منجر به یک فاصله خوانایی در حدود ۸۵ درصد مقدار روزانه می‌شود. در مقایسه پوششهای

شب نما با نورپردازی این نتیجه حاصل شد که تابلوی بالا سری تحت نور بالای چراغهای اتومبیلها تقریباً در یک فاصله معادل قابل خواندن می‌باشد. ولی برای نور پایین این فاصله به مقدار قابل توجهی کمتر از نورپردازی است مقدار کاهش این فاصله در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد بوده‌است. به این ترتیب بنظر می‌رسد که استفاده از تابلوهای بالا سری شب نما با مواد درخشنده برای نواحی تاریک برون شهری که دارای شرایط مطلوب مسیربندی هستند مناسب می‌باشد. مطالعه دیگری نشان داده است که فاصله خوانایی میانگین برای حروف ۳۰ سانتیمتری تحت شرایط نورپردازی متوسط (که در نواحی حومه‌ای یافت می‌شود) و تاریک مطلق (که در نواحی درون شهری یافت می‌شود) تفاوت چندانی با پوششهای شب نما ندارد.

یک مطالعه در مورد تعیین اینکه زمینه‌های شب نما در کارایی شبانه تابلوهای راهها موثر هستند یا نه نشان داده‌است که تفاوت چندانی میان سه درجه بازتابندگی مورد آزمایش مشاهده نشده‌است. کلیه تابلوهای آزمایش دارای نقش سفید و زمینه سبز بوده‌اند. این سه درجه بازتابندگی زمینه عبارت بوده‌اند از:

۱- یک زمینه سبز غیرشب نما
۲- یک زمینه سبز شب نما با درخشندگی متوسط
۳- یک زمینه سبز شب نما، درخشندگی نسبتاً زیاد

حاشیه تابلوها . بغیر از چند مورد استثناء، کلیه تابلوهای MUTCD دارای حاشیه باریک به همان رنگ نقش در لبه تابلو هستند. حاشیه، ظاهر تابلو را جالبتر و نمایان تر می‌سازد.

محل تابلوگذاری

استانداردهای محل نصب تابلوها به تفصیل در MUTCD ارائه شده‌اند. با این وجود شرایط محلی اغلب رعایت این استانداردها را با مشکل مواجه می‌سازد. معمولاً تابلوها در طرف راست جاده که رانندگان بهتر می‌توانند آنها را ببینند نصب می‌شوند. آنها در محلهایی نصب می‌شوند که در داخل مخروط دید واضح رانندگان (۱۲ درجه) واقع شده و نور چراغ جلوی اتومبیل را به طرف راننده بازتابند. تابلوهای راهنمایی و جهت یابی باید به اندازه کافی جلوتر از نقطه تصمیم‌گیری راننده نصب شوند تا راننده فرصت کافی برای واکنش نسب به پیام تابلو را داشته باشد.

تابلوهای بالاسری نیاز به سازه‌های گرانقیمت در عرض راه دارند تا روی آنه نصب شوند کاربرد آنها در شرایط مختلفی قابل توصیه است. به عنوان مثال:

۱- در مواردی که پیام به یک خط عبور خاص از راه ابلاغ می‌شود.
۲- در نواحی شهری که فواصل نزدیک تقاطعها و تراکم تابلوها نصب تمامی تابلوها در طرف راست را غیر عملی سازد.
۳- در محلهایی که فاصله دید تابلوهای کنار راه کافی نباشد.
۴- در نقاطی که سرعتهای بالا و حجمهای زیاد دیدن تابلوهای کنار راه را برای رانندگان مشکل یا خطرناک سازد.
۵- در محل دماغه‌ها برای اجتناب از نصب سازه‌های خطرناک.
۶- برای هماهنگی در محلهایی که شرایط موجود استفاده وسیع از تابلوهای بالا سری را ایجاب نماید.

در راههای عریض، بهتر است تابلوگذاری طرف راست بوسیله تابلوگذاری در میانه تکمیل گردد. معمولاً تابلوگذاری مسیر بندی در روی جزایری که برای جداسازی حرکتهای خاصی در نظر گرفته می‌شوند صورت می‌گیرد.

نگهداری تابلوها

کلیه تابلوهای ترافیکی باید همواره در وضعیت مناسب، تمیز و خوانا نگهداری شوند. تابلوهای خسارت دیده باید فوراً تعویض شوند. باید دقت زیادی بخرج داد تا علفهای هرز، تپه‌ها، مصالح ساختمانی، گل و لای و برف چهره تابلوها را مخدوش نکنند. تابلوهای خسارت دیده، بدشکل، مخدوش، کثیف و ناپیدا بی‌اثر بوده و سازمان مسئول آنها را بی‌اعتبار می‌سازند. علاوه بر آن، نگهداری ضعیف تابلوها از قدرت اجرایی آنها به عنوان وسایل کنترل ترافیک کاسته، در بروز تصادفات وسایل نقلیه موثر بوده و می‌تواند عواقب حقوقی برای سازمان مسئول نگهداری آنها ببار آورد. تابلوهای نگهداری - شده چهره عمومی راه را بهبود می‌بخشد. به منظور تضمین نگهداری لازم، باید جدول مناسبی برای بازرسی، پاکسازی و تعویض تابلوها تهیه کرد. کلیه تابلوها باید حداقل دو بار در سال بازدید شوند و آنهایی که دارای معایبی هستند باید پاکسازی تعویض و یا تحت تعمیر و بازسازی قرار گیرند. در مورد تابلوهای نور پردازی شده باید یک جدول منظم برای تعویض عناصر روشن سازی تهیه شود به گونه‌ای که قبل از آنکه بخودی خود بسوزند تعویض شده باشند.

کتاب سیاست نگهداری AASHO راهنمای خوبی برای نگهداری تابلوها است. در این کتاب تعمیرات در محل، تعمیرات کارخانه‌ای و روشهای نصب تابلوها مورد بررسی قرار گرفته است.

طبقه‌بندی عملکردی تابلوها

MUTCD تابلوها را براساس عملکرد آنها طبقه‌بندی کرده‌است. برای هر تابلوی استاندارد مشخصاتی مانند اندازه، شکل، رنگ، نقش و محل نصب و نیز ضوابط کاربرد آنها در

MUTCD آمده‌است. کاربرد و نقش تابلوها در کنترل ترافیک در سایر فصلهای این کتاب مورد بررسی قرار گرفته است.

تابلوهای مقرراتی . تابلوهای مقرراتی به منظور آگاه سازی کاربران راه از قوانین و مقرراتی که در مکانها و زمانهای خاصی حاکم هستند و یا مقررات قانونی که نادیده گرفته می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود، نمی‌توان انتظار داشت که تابلوهای مقرراتی بدون اجرای کامل مقررات قادر به جلب احترام و اطاعت باشند. تابلوهای مقرراتی باید علی الاصول در محلهایی نصب شود که در آنها مقررات مربوطه اعمال می‌شوند و باید به گونه‌ای نصب شوند که برای رانندگان بسهولت قابل رویت و خواندن باشند. پیام روی تابلو باید بوضوح الزامات قانونی آن را مشخص کند.

جزییات خاص مربوط به طراحی و نصب تابلوهای مقرراتی بطور کامل در MUTCD ارائه شده‌اند. کلیه تابلوهای مقرراتی به استثناء آنهایی که در مشخصات تابلو صریحاً قید شده است باید نورپردازی یا بازتابنده شوند. آنها به شکل مستطیلی بوده (طول در جهت عمودی) و دارای نقشهای سیاه در روی زمینه سفید هستند (مگر آنکه خلاف اینها در مشخصات قید شود) تابلوهای مقرراتی طبقه‌بندی شده و شامل موارد زیر می‌باشند:

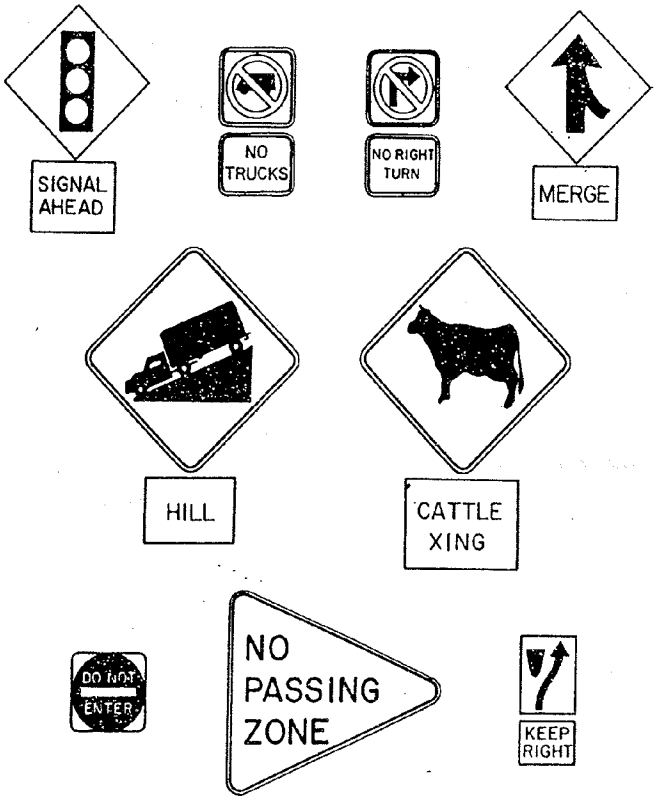
۱- سری حق تقدم: تابلوی ایست، تابلوی احتیاط
۲- سری سرعت - تابلوهای حد سرعت، تابلوی سرعت شبانه، تابلوی حداقل سرعت،
۳- سری حرکت: تابلوهای ممنوعیت یا محدودیت گردشی، تابلوهای کنترل (کاربری خط، تابلوی عبور ممنوع، تابلوی عبور با احتیاط، تابلوهای "از سمت راست حرکت کنید". تابلوهای "وارد نشوید". تابلوهای "بیراهه"، تابلوی "یکطرفه"
۴- سری پارکینگ: تابلوهای ممنوعیت پارکینگ، تابلوی "توقف ممنوع"، تابلوی فقط ویژه پارکینگ اورژانس
۵- سری عابر پیاده، تابلوی محل عبور عابر پیاده،
۶- سری خاص: تابلوهای مکمل چراغ راهنمایی، تابلوی "راه بسته است" تابلوی محدودیت وزن، تابلوی ضربدری راه‌آهن، سایر تابلوهای مقرراتی

تابلوهای هشدار دهنده . تابلوهای هشدار دهنده در محلهایی نصب می‌شوند که مصلحت باشد به ترافیک نسبت به پیشامد یک حادثه یا یک خطر احتمالی هشدار داده شود. تابلوهای هشدار دهنده به شکل لوزی همراه با نمادها یا پیامهای سیاه رنگ روی یک زمینه زرد می‌باشند. تابلوهای هشدار دهنده را نباید در حد وسیع و بدون توجه بکار برد زیرا کارایی آنها تضعیف می‌گردد.

تابلوهای هشدار دهنده، رانندگان را نسبت به پیشامد خطراتی مانند تغییرات ناگهانی در مسیر بندی افقی و قائم، تقاطعات، راههای بن‌بست، نزدیکی با وسایل کنترل ترافیک در محلهایی که سرعتهای بالا و فاصله دید ضعیف پیش‌آگهی را ضروری سازد. محلهای تقاطع با راه‌آهن، گذرگاههای حیوانات، تغییرات هندسه راه و سایر موارد آگاه می‌سازند. مشخصات تابلوهای استاندارد در MUTCD ارائه شده‌است.

تابلوهای راهنما. تابلوهای راهنما به منظور جهت دادن به مسیرهای رانندگان، آگاه سازی آنها نسبت به مسیرهای تقاطع، هدایت آنها بطرف مقصد مورد نظر و جلوگیری از سر درگمی و خطرات احتمال ناشی از تردید رانندگان در مسیریابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نکته حائز اهمیت زیادی است که یک راننده باید قبل از ورود به یک تقاطع از مسیر آینده خودآگاهی یابد و اینکه متناوباً مسیری راکه می‌پیماید مورد تایید قرارگیرد. به این ترتیب، کلیه، تابلوهای راهنما، باید به گونه‌ای نصب شوند که اهداف آنها تامین گردد. برخلاف بسیاری از تابلوهای دیگر تابلوهای راهنما در اثر تکرار کاربرد کارایی خود را از دست نمی‌دهند. در صورت وجود هر گونه تردید نسبت به مصلحت‌آمیز بودن هر یک از این تابلوهایی که در نزدیکی یکدیگر قرار دارند نباید بیشتر از حدی باشد که رانندگان قادر به درک سریع آنها هستند، متن روی تابلوهای راهنما باید محدود به سه خط باشد.

تابلوهای راهنما به سه دسته تقسیم می‌شوند: نشانه‌های راه، تابلوهای مقصد و تابلوهای اطلاعاتی. تابلوهای نشانه در فواصل مورد نیاز نصب شوند تا رانندگان با تعقیب این نشانه‌ها از مسیر و موقعیت خود اطمینان حاصل نمایند. نشانه‌های راه باید در محل کلیه تقاطعهای اصلی نصب شوند. نشانه‌های تائیدی راه باید در فواصل تقاطعها و درست بعد از فواصل تقاطعها و درست بعد از نواحی توسعه یافته نصب گردند. نشانه‌های تائیدی راه باید در فواصل تقاطعی که در آن یک راه نشانه‌دار با یک راه نشانه‌دار دیگر برخورد یا متصل می‌گردد نصب شوند. تابلوهای جهت‌یابی معمولاً در گوشه سمت راست نزدیک تقاطع قرار داده می‌شوند ولی در تقاطعهای اصلی بهتر است تابلوهای اضافی در گوشه دور دست راست و چپ تقاطع نیز نصب گردد. تابلوهای مقصد باید خیلی جلوتر (قبل) از محل تقاطع قرار داده شوند تا راننده فرصت کافی برای تصمیم‌گیریهای لازمه را قبل از رسیدن به تقاطع داشته باشد. تابلوهای مسافت باید در راههای اصلی در نزدیکی شهرها و درست بعد از تقاطعهای راههای برون شهری و در فواصل ۱۵ کیلومتری نصب شوند. نام خیابانها باید در کلیه



شکل ۱-۲۰- تابلوهای جدید در ۱۹۷۱ MUTCD

(ماخذ: کتابچه راهنمای وسایل کنترل ترافیک ۱۹۷۱)

تقاطعهای خیابانها نصب گردند. تابلوهای اطلاعاتی باید قبل و در محل نقطه مورد نظر قرار داده شوند.

در *MUTCD* جزئیات مشخصات طرح و نصب تابلوهای راهنما در راههای معمولی، بزرگراهها و آزاد راهها ارائه شده‌است. در مورد تابلوهای راهنمای سیستم بین ایالتی، باید براساس کتابچه بین ایالتی عمل شود.

کنترل ناحیه مدارس

بواسطه حساسیت مسئله ایمنی و کنترل در نواحی مدرسه‌ای ، در *MUTCD* - ۱۹۷۱ بخش جداگانه‌ای به نواحی مدرسه‌ای اختصاص داده شده است. تقاضای شدید عامه مردم و اولیاء دانش آموزان در مورد کنترل این نواحی، از نظر مهندسی شرایطی متفاوت با کنترل عادی عابرین پیاده را فراهم می‌سازد.

با توجه به نیاز مبرمی که برای تدوین یک استاندارد ویژه نواحی مدرسه‌ای وجود داشت در *MUTCD* استانداردها و مشخصات زیر ارائه شده‌است:

۱- مشخص کردن راهها مدرسه‌ای
۲- علامت گذاری گذرگاههای مدارس
۳- مطالعات مهندسی مورد نیاز
۴- تابلوهای ویژه و استاندارد تابلوگذاری
۵- کاربرد چراغهای راهنمایی
۶- حد سرعت در نواحی مدرسه‌ای
۷- برنامه‌های گذربانی

تابلوهای جدید

همانگونه که اشاره شد در *MUTCD* جدید، استفاده از نمادها در تابلوگذاری افزایش یافته است. در محلهایی که تابلوهای نمادین جدید نصب می‌شوند استفاده از تابلوهای نوشتاری

کمکی توصیه شده‌است. درکتابچه جدید چندین تابلوی‌جدید نیز معرفی شده‌که مجموعه‌ای از آنها در شکل ۱-۲۰نشان داده شده‌است.

انواع ساخت تابلو

تابلوهای پیام - ثابت . تابلوهای پیام - ثابت آنهایی هستند که یک پیام ثابت یا دائمی را برای کاربران راه ارائه می‌کنند. این نوع تابلو تاکنون دارای بیشترین کاربرد بوده و تولید و نگهداری آنها نیز ارزان است.

تابلوهای پیام - متغیر . تابلوهای متغیر که در زمانهای خاصی پیامهای اضطراری مانند مه‌آلودگی و یخبندان سطح راه، یا مقررات خاص سرعت، ممنوعیتهای گردشی و یا حرکتهای خطی را نمایش می‌دهند اهمیت روز افزونی در راههای سریع‌السیر یافته‌اند. اینگونه تابلوها می‌توانند بطور دستی، به وسیله کنترل از راه دور و در بعضی موارد بوسیله کنترل خودکار بااستفاده از عناصر حساس نسبت به شرایطی که نیاز به پیام خاص دارد تغییر کنند. از سال ۱۹۶۲، ۶۷ تابلو در شبکه آزاد نیوجرسی بوسیله بی‌سیم از راه دور کنترل می‌شوند تا آگاهسازی رانندگان از شرایط خطرناک راه به سرعت و دقت هر چه بیشتر صورت گیرد.

تابلوهای پیام - متغیر، می‌توانند دارای یک پیام خاص باشند که در فقط در صورت لزوم خوانا می‌شود و یا چندین پیام مختلف داشته باشند که برحسب مورد یک یا چند پیام قابل رویت می‌گردد. روشهای مختلفی برای انجام اینکار وجود دارد از جمله کاربرد الگوهایی از لامپهای رشته‌ای یا نئون یا فلورئورسنت که می‌توانند در صورت لزوم روشن شوند، پانلهای نیمه شفافی که نقش روی آنها فقط هنگامی قابل رویت است که از پشت به آن نور تابانیده شود و یا وسایل مکانیکی برای پنهان کردن قسمتهایی از تابلو و یا جابجا کردن پانلها.

مطالعات مربوط به کارایی تابلوها

پیش‌بینی کارایی تابلوها . برای برآورد صحیح کارایی وسایل کنترل ترافیک مدت زمانی در حدود چند ماه برای تفسیر اطلاعات مربوطه مورد نیاز است. در یک مطالعه، پیش‌بینی کارایی مقایسه‌ای تابلوها با استفاده از یک روش فیلمبرداری در یک مدت نسبتاً کوتاهی صورت گرفته است. در این روش تابلوهای مختلفی که برای یک هدف طراحی شده بودند به ترتیب در مسیر راه نصب شده و پس از هر نصب، مسیر راه بوسیله یک دوربین ۱۶ میلی‌متری واقع در یک وسیله نقلیه متحرک فیلمبرداری شده‌است. حلقه فیلمهایی که به این ترتیب بدست آمده در معرض تماشای گروههایی از رانندگان قرار داده شده تا به سوالات مطرح شده پاسخ گویند. از تجزیه و تحلیل پاسخها توانسته‌اند برآوردی از کارایی نسبی مجموعه تابلوهای مختلف بدست آورند. در این مطالعه یک ارزیابی مقایسه‌ای نیز روی یکسری تابلوهای هشدار دهنده در محل باریک شدن راه از چهار خطه به سه خطه صورت گرفته است. تابلوهای بکار رفته در این مطالعه به چهار گروه زیر تقسیم می‌شده‌اند:

۱- گروه *A* - در تابلوی لوزی شکل واقع بر پایه‌هایی به فاصله ۲۰ متر: در روی تابلوی اول عبارت "جاده باریک می‌گردد" خوانده می‌شود. در روی تابلوی دوم عبارت "جاده از سمت چپ باریک می‌شود" نوشته شده‌است.

۲- گروه *B* - مشابه گروه *A* با این تفاوت که در روی تابلوی دوم عبارت "انحراف از سمت چپ" خوانده می‌شود.

۳- گروه *C* - یک تابلوی منفرد لوزی شکل که روی آن نوشته شده‌است "خطوط" و در زیر آن چهار پیکان عمودی قرار دارند که روی پیکان سمت راست یک خط مورب کشیده شده‌است.

۴- گروه *D* - یک تابلوی مستطیل شکل منفرد که روی آن عبارت "انحراف خط آخر به سمت چپ" مشاهده می‌شود.

پاسخهای کتبی گروههای رانندگان نشاندهنده برتری چشمگیر تابلوی *D* بوده‌است.

نشانه‌های پیش‌رس گردش مسیر . این مطالعه به منظور تعیین کارایی نشانه‌های پیش‌رس گردش در خیابانهای شهری صورت گرفته‌است. طراحی تابلوی مرکب جهت‌یابی براساس ۱۹۶۱ *MUTCD* صورت گرفت. تعداد نشانه‌های پیش‌رس گردش مسیر میان هیچ، یک و دو متغیر بوده‌است. به عنوان یک نتیجه مطالعه مشخص شده که در صورت وجود یک قوس در راه نیاز به نصب نشانه گردش مسیر در قبل از تقاطعهای شهری وجود دارد. نشانه جهت‌یابی منفرد در محل تقاطع به راننده فرصت کمی برای واکنش می‌دهد و بنابراین می‌تواند باعث ایجاد سردرگمی، ازدحام و خطرات احتمالی گردد. با این وجود شواهد چندانی برای اثبات نیاز به دومین نشانه پیش‌رس بدست نیامده‌است.

تابلوها و تصادفات

۱- یک بررسی آزمایشگاهی برای تعیین تاثیر تابلوهای تبلیغاتی در کارایی رانندگی صورت گرفته است. این مطالعه نشان می‌دهد که تابلوهای بیشماری که در محدوده دید رانندگان قرار دارند تاثیرات منفی در کارایی رانندگی بجا نمی‌گذارند. در یک تجزیه و تحلیل دقیق آمار تصادفات در امتداد یک قطعه ۱۵۰ کیلومتری راه نیز مشخص شد که تابلوهای

تبلیغاتی تاثیر چندانی در وقوع تصادفات نداشته‌اند.

۲- با ایجاد یک تغییر در طرح یک تابلو ترکیبی شامل یک تابلوی قوس و یک تابلوی سرعت مجاز در قوس کاهش چشمگیری در تلفات ترافیکی مربوطه بدست آمده است. اندازه هر دو تابلو افزایش یافته و رنگ زمینه تابلوی سرعت مجاز از زرد به سفید تغییر یافت. علاوه بر آن، تابلوی سرعت مجاز در بالای تابلوی قوس نصب گردید. این دو تغییر مغایر با *MUTCD* بوده‌اند ولی کاهش چشمگیر تلفات ترافیکی می‌تواند آنها را توجیه کند.

فصل ۲۱
چراغ‌های راهنمایی

کلیه لوازم برقی کنترل ترافیک برای اعلام مقررات، جهت نمایی یا هشداردهی به رانندگان یا عابرین پیاده (به استثناء تابلوها) به عنوان چراغ راهنمایی ترافیکی طبقه‌بندی می‌شوند. این باور در میان عامه مردم وجود دارد که چراغهای راهنمایی راه حل کلیه مسائل مربوط به کنترل ترافیک و تصادفات در محل تقاطعات می‌باشند. در بسیاری موارد چراغهای راهنمایی در نقاطی نصب شده‌اند که ضروری نبوده و نتیجتاً باعث بروز تأخیر بیش از حد، عدم اطاعت از چراغ، انحراف به مسیرهای دارای عدم کفایت و افزایش فراوانی تصادفات شده‌اند به عنوان یک راهنما برای کاربرد صحیح چراغهای راهنمایی در *MUTCD* حداقل شرایط لازم برای نصب چراغهای راهنمایی براساس احجام وسایل نقلیه و عابر پیاده خطوط تصادفات، حرکتهای هماهنگ و قطع جریان پیوسته بیان شده است. توصیه‌های جداگانه‌ای برای مناطق برون شهری که در آنها طبیعتاً ترافیک سبک و سرعتها بالا است و برای مناطق شهری که شرایط عکس آن وجود دارد صورت گرفته است.

در صورتی که چراغ راهنمایی در محلی که شرایط موجود کاربرد آنرا توجیه می‌کند نصب شود وسیله با ارزشی برای کنترل ترافیک و حرکت ایمن و کارا خواهد بود. بنابراین نکته حائز اهمیت انتخاب و کاربرد این وسیله کنترل ترافیک براساس یک مطالعه دقیق ترافیکی و جاده‌ای و تعیین نوع کنترل و روشهای عملکردی براساس عوامل ترافیکی بدست آمده در مطالعه است. نیاز به استانداردهای صحیح نگهداری و کنترل کارایی چراغهای راهنمایی بعد از نصب نیز به همان اندازه مهم است. تا براساس آنها نوع نصب، عملکرد و برنامه زمانبندی معین شده و امکان تصمیم آگاهانه در مورد اصلاحات عملکردی ایجاد شود.

مزایای چراغهای راهنمایی

چراغهای راهنمایی مثبت‌ترین وسیله کنترل ترافیک هستند (به استثناء دروازه‌های راه بند راه‌آهن). یک چراغ راهنمایی هم کنترل مثبت و هم منفی را اعمال می‌کند و با خود یک پیام چه باید کرد و چه نباید کرد یدک می‌کشد. چراغهای راهنمایی در تأمین راه چاره برای وضعیتهای راه‌بندان که هیچ وسیله کنترلی قادر به رفع آنها نیست مفید می‌باشد. تخصیص متناوب حق عبور به مسیرهای تقاطع می‌تواند تمامی یا اکثر حرکتهای برخوردی ناحیه تقاطع را حذف نماید. با این وجود از آنجایی که هر حرکت ترافیک، تقاطع را فقط برای بخشی از زمان مورد استفاده قرار می‌دهد تأخیر افزایش و ظرفیت کاهش می‌یابد. چراغهای راهنمایی دارای بالاترین درجه کنترل ترافیک هستند (به غیر از موانع فیزیکی). یک روش عمومی برای کاربرد لوازم کنترل استفاده از حداقل کنترل لازم برای تأمین ایمنی و کارایی حرکت وسایل نقلیه و عابرین پیاده است.

با تخصیص متناوب حق عبور به حرکتهای مختلف ترافیکی، چراغهای راهنمایی تأمین حرکت منظم برای جریانهای برخوردی و یا سنگین ترافیکی می‌کنند. آنها می‌توانند جریانهای بسیار سنگین را قطع کنند تا امکان عبور برای جریانهای فرعی که در غیر این صورت قادر به عبور ایمن از جریان حاکم نبودند را فراهم می‌سازند. با هماهنگ سازی سیستمهای چراغهای مجاور می‌توان جریان یکنواخت و پیوسته‌ای برای دسته‌های ترافیکی ایجاد کرد. برای تنظیم سرعت روی خیابانها و شریانی‌های اصلی می‌توان از زمانبندی چراغهای پیشروی نیز استفاده نمود.

نصب چراغهای راهنمایی می‌تواند به مقدار قابل توجهی از فراوانی برخی تصادفات و بویژه تصادفات ۹۰ درجه بکاهد. با

این وجود سایر انواع تصادفات مثلاً برخورد از عقب ممکن است در اثر نصب چراغ راهنمایی افزایش یابد.

چراغ‌های راهنمایی باید فقط در محل‌هایی که سایر اشکال کنترل کفایت نمی‌کنند مورد استفاده قرار گیرند. همانگونه که قبلاً اشاره شد چراغ‌های راهنمایی همواره باعث افزایش تاخیر کل تقاطع می‌گردند. به علاوه ممکن است به حرکت‌های فرعی در اثر عدم زمانبندی صحیح چراغ تاخیر بیش از حد وارد شود. تاخیر ممکن است باعث انحراف جریان ترافیک به مسیرهای دارای عدم کفایت بشود. ضمناً همانند سایر وسایل استفاده بیش از حد یا کاربرد ناصحیح از چراغ‌ها باعث عدم احترام به کلیه آنها می‌شود. در مواردی که عدم کفایت سایر اشکال، کنترل ثابت شود استفاده از چراغ راهنمایی مورد توجه قرار می‌گیرد. توانایی چراغ‌ها در جلوگیری از راه‌بندان، تامین دسترسی ایمن برای حرکت‌های برخوردی و تامین جریان منظم و ملایم باید مد نظر قرار گیرد. در *MUTCD* مشخصات چراغ‌های راهنمایی و محل نصب آنها و همچنین ضوابط کاربرد آنها مفصلاً تشریح شده است. این ضوابط در فصل ۲۳ بیان خواهند شد.

طبقه بندی چراغ‌های راهنمایی

چراغ‌های راهنمایی را می‌توان بر اساس عملکرد آنها و نه خصوصیت فیزیکی طبقه‌بندی کرد زیرا این خصوصیات با توجه به کارخانه سازنده متفاوت است. طبقه‌بندی چراغ‌ها معمولاً بصورت زیر صورت می‌گیرد:

چراغ‌های راهنمای ترافیک (ایست و حرکت)

۱ - چراغ‌های راهنمایی با زمان ثابت . این نوع چراغ، جریان ترافیک را متوقف و سپس مطابق یک برنامه زمانبندی مشخص یا یکسری زمان‌بندی‌ها اجازه حرکت می‌دهد. این چراغ برای تکرار یک سری علائم معین تنظیم می‌شود.

۲ - چراغ‌های راهنمایی متغیر . عملکرد این نوع چراغ مطابق با تقاضای ترافیکی ثبت شده بوسیله شناسگر حساس در مقابل وسایل نقلیه یا عابرین پیاده روی یک یا چند رویکرد متغیر خواهد بود.

۳ - چراغ‌های راهنمایی مرکزی . این چراغ‌ها از یک مرکز مثلاً بوسیله یک کامپیوتر کنترل می‌شوند و تنظیم آنها بر اساس اندازه‌گیری‌های سیستم بوسیله شناسگر بهنگام می‌شود.

چراغ‌های عابرین پیاده

این چراغ‌ها را انحصاراً به منظور هدایت ترافیک عابرین پیاده در تقاطع‌های چراغدار بکار می‌روند.

چراغ‌های راهنمایی ویژه

۱ - چراغ چشمک زن . یک عدسی زرد یا قرمز که بوسیله یک‌لامپ چشمک زن روشن می‌شود تا در محل‌های خطرناک به ترافیک هشدار دهد. اخیراً یک مطالعه نشان داده است که یک وسیله چشمک زن بصورت یک "گوی شناور" که بطور افقی یا عمودی نصب می‌شود در نقاط خطرناک نسبت به سایر وسایل چشمک زن کاهش بیشتری در تصادفات ایجاد می‌کند.

۲ - چراغ کنترل کاربری خط - این چراغ جهت حرکت ترافیک روی خطوط برگردان را مشخص و کنترل می‌کند و بیشتر برای پل‌ها بکار می‌رود.

۳ - چراغ پل متحرک - این چراغ در پل‌های متحرک برای هشدار باز شدن پل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴ - چراغ گذرگاه‌های راه‌آهن - چراغ‌های نزدیکی قطار در تقاطع‌های همسطح راه‌آهن

طراحی و نصب چراغ‌های راهنمایی

مشخصات دقیقی برای طراحی و نصب چراغ‌های راهنمایی بر اساس رنگ، موقعیت، قطر، روشنایی قابل دید، سپرگذاری، تعداد عدسی‌ها و معانی علائم استاندارد ارائه کرده است. برخی از این علائم استاندارد عبارتند از:

۱ - قرمز ممتد
۲ - زرد ممتد
۳ - سبز ممتد
۴ - علائم پیکانی
۵ - علائم چشمک‌زن
۶ - سایر ترکیب‌های مجاز

برای آگاهی از استانداردهای خاص با *MUTCD* مشورت کنید. برای اطلاعات بیشتر در مورد طرح و نصب چراغ‌ها به متون مربوطه مراجعه شود.

نگهداری چراغ‌های راهنمایی

نگهداری کلیه لوازم کنترل و بویژه چراغ‌های راهنمایی یک امر حیاتی است زیرا شهرداری یا سازمان مربوطه دارای مسئولیت قانونی در مقابل تصادفاتی است که ممکن است در اثر نقص عملکردی چراغ اتفاق بیافتد. نقص عملکردی یا خرابی خطرناک‌تر از خرابی‌های سایر لوازم است. زیرا چراغ‌ها هم پیام

مثبت و هم منفی می‌دهند. به عنوان مثال چراغ سبز همزمان برای دو سوی یک تقاطع یک عامل مثبت برای تصادف‌های خطرناک خواهد بود. یک تابلوی ایست شکسته یا مخدوش چندان خطرناک نیست زیرا رانندگان مسیر فرعی بهرحال ناچار به توقف هستند. راننده‌ای که به یک چراغ سبز نزدیک می‌شود هیچ دلیلی برای خرابی چراغ نمی‌بیند و حرکت او بر اساس حق عبور او است.

یکی از مسائل بسیار با اهمیت پاکسازی منظم عدسی‌ها و جایگزینی لامپ‌های آنها قبل از خرابی است برای آگاهی از ضوابط نگهداری چراغ‌ها با *MUTCD* مشورت نمایید. اخیراً یک مطالعه روش نگهداری چراغ، نتایج زیر را در بر داشته است:

۱ - یک برنامه نگهداری چراغ‌های راهنمایی و چشمک‌زن با استفاده از روش‌های تحلیل سیستم‌ها تهیه گردید. این برنامه فواصل زمانی بهینه تعویض لامپ‌ها، کوتاهترین مسیر برای نگهداری و گروه و سازمان مورد نیاز برای تضمین عملکرد صحیح چراغ‌ها را معین می‌کرد.

۲ - برنامه نگهداری پیشگیرانه دارای مزایای اقتصادی بوده و ایمنی تقاطع را با کاهش احتمالی خرابی چراغ بهبود می‌بخشد.

۳ - لامپ‌های با عمر طولانی توصیه می‌شوند زیرا عملکرد آنها کم‌هزینه‌تر بوده و احتمال خرابی آنها در واحد زمان کوچکتر است.

۴ - یک سیستم ثبت نگهداری خوب ضامن برنامه‌ریزی اقتصادی و موثر برای نگهداری چراغ‌های راهنمایی و چشمک‌زن است.

چراغ‌های راهنمایی با زمان ثابت

همانگونه که قبلاً اشاره شد، یک چراغ ثابت راهنمایی، ترافیک را متوقف و سپس بر اساس یک زمانبندی مشخص با یکسری زمانبندی اجازه حرکت می‌دهد. هر برنامه زمانبندی شامل یکسری علائم راهنمایی تکراری منظم است.

برای تعیین ضرورت نصب چراغ و تهیه اطلاعات لازم برای طراحی و عملکرد صحیح چراغ راهنمایی یک مطالعه جامع در مورد شرایط ترافیکی و جاده‌ای توصیه می‌گردد. طبق *MUTCD* اطلاعات مورد نیاز عبارتند از:

۱ - حجم ترافیک ساعتی - از هر رویکرد برای ۱۶ ساعت متوالی از یک روز میانگین

۲ - حجم‌های طبقه‌بندی شده برای هر حرکت در حین هر دوره ۱۵ دقیقه‌ای صبحگاهی یا عصرگاهی اوج

۳ - حجم‌های عابرین پیاده، روی کلیه پیاده‌روها در حین دوره‌های اوج عبور وسایل نقلیه و عابرین پیاده

۴ - هشتاد و پنجمین سرعت درصدی روی رویکردهای بدون کنترل تقاطع

۵ - یک نمودار وضعیت که نشان دهنده طرح فیزیکی تقاطع است.

۶ - یک نمودار تصادف که نشان دهنده آمار تصادفات بر حسب نوع، محل، جهت، شدت، تاریخ و زمان روز حداقل برای یک سال است.

۷ - میانگین تاخیر وسایل نقلیه برای هر رویکرد در دوره اوج

۸ - توزیع فواصل عبور در جریان‌های اصلی در محل‌هایی که عبور جریان‌های فرعی دچار اشکال است.

در حالیکه کلیه اطلاعات فوق در تعیین نیاز برای نصب چراغ سودمند است اغلب کسب اطلاعات در تمامی موارد امکان‌پذیر نبوده و یا غیرعملی است. اطلاعات مربوط به حجم‌های ساعت اوج، هندسه و آمار تصادفات از نظر ضوابط حائز اهمیت هستند. اگر حجم عابرین پیاده در دسترس نباشد یک آگاهی عمومی از میزان جریان عابرین پیاده و سبک و سنگین) در دوره اوج کفایت خواهد کرد. اطلاعات مربوط به تاخیر و توزیع فواصل عبور فقط در مواردی که مطالعات تحلیلی دقیق صورت می‌گیرد مورد نیاز است.

ضوابط مربوط به چراغ‌های ثابت

MUTCD حداقل ضوابطی که نصب چراغ را توجیه می‌کند ارائه کرده‌است. این ضوابط عبارتند از:

۱- حداقل حجم وسایل نقلیه

۲- قطع پیوستگی ترافیک (برای ایجاد امکان عبور ایمن جریان فرعی

۳- حداقل حجم عابرین پیاده

۴- گذرگاههای مدارس

۵- حرکت پیشرونده

۶- آمار تصادفات

۷- سیستمها

۸- ترکیبهای ضوابط

معیارهای هر ضابطه در *MUTCD* ارائه شده‌است. معمولاً وجوب یک یا چند ضابطه نصب چراغ را توجیه می‌کند. ضوابط فوق به عنوان یک راهنمای عالی کاربرد وسایل عمل می‌کنند ولی نباید به عنوان جایگزینی برای قضاوت مهندسی تلقی شوند.

کنترل کننده‌های زماندار

یک کنترل کننده، یک مکانیزم الکتریکی برای کنترل عملکرد چراغهای راهنمایی است که شامل یک تایمر و کلیه ملحقات مربوط واقع در یک جعبه می‌باشد. نوع کنترل کننده انتخابی برای یک چراغ زماندار عمدتاً بستگی به وجود هماهنگی میان چراغها دارد. با این وجود اصول عملکرد انواع مختلف کنترل کننده‌های زماندار اساساً یکی است.

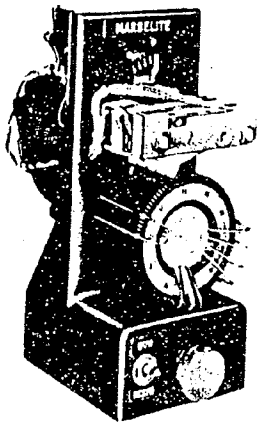
واحد زمانبندی یک کنترل کننده زماندار، متشکل از یک موتور الکتریکی القایی یا همزمانی است که یک صفحه زمان سنجی را از طریق یک چرخ دنده استاندارد طول چرخه‌هایی از ۳۰ تا ۱۲۰ ثانیه را بدست می‌دهند. ابعاد چرخدنده‌ها دارای یک روند افزایش ۵ ثانیه هستند. با این وجود بعد از ۹۰ ثانیه چرخ دنده‌ها معمولاً رشد ۱۰ ثانیه‌ای دارند. یک دور کامل صفحه زمانبندی نمایانگر یک چرخه کامل است. صفحه زمانبندی یک استوانه‌ای است که در روی محیط آن ۱۰۰ شیار طولی هم فاصله وجود دارد. این شیارها امکان تقسیم طول چرخه را به صد قسمت فراهم می‌کنند. با قرار دادن کلیدها یا پین‌ها روی شیارهای مقتضی می‌توان چرخه را با فازها متناسب کرد و هر صفحه می‌تواند برای طول چرخه‌های متفاوت بااستفاده از چرخ دنده‌های مقتضی و برای قسمتهای مختلف چرخه با قرارگیری کلیدها یا پین‌ها تنظیم شود.

کلیدهای واقع در روی صفحه زمانبندی یک میکرو سوئیچ را بکار می‌اندازد که خود میله چرخدنده متصل به آنرا در زمان مربوط به هر کلید به جلو می‌راند. هر میله دارای ۱۶ زائده است که ۱۶ فاصله زمانی ایجاد می‌کند.

سوئیچهای متصل به میله‌ها هنگامی که زائده رانده می‌شود بسته می‌گردند. میله‌های دیگر رنگ چراغ را کنترل می‌کند. یکی برای سبز خیابان اصلی، دیگری برای قرمز خیابان اصلی، دیگری زرد خیابان اصلی و قس علیهذا...

برخی از کنترل کننده‌ها مجهز به وسیله‌ای برای کنترل ناپیوسته و کنترل دستی جایگزین هستند. این وسیله به استفاده کننده امکان تغییر طول چرخه و فازبندی را می‌دهد. با این وجود کنترل دستی باید حتی‌المقدور بطور محدود مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۱-۲۱ وضعیت صفحه زمانبندی استاندارد را برای کنترل کننده‌های زماندار نشان می‌دهد. در زیر مکانیزمهای مختلف زمانبندی تشریح می‌شوند.



شکل ۱-۲۱- صفحه یک کنترل کننده زماندار استاندارد

کنترل کننده‌های زماندار غیر همزمان برای تقاطعهای منفرد. این نوع کنترل کننده‌ها که معمولاً بوسیله یک موتور القایی زمانبندی می‌شوند کاربرد اندکی دارند زیرا زمانبندی آن تحت تاثیر تغییرات ولتاژ برق و همچنین دمای محیط قرار دارد. از این وسیله باید فقط برای تقاطعهای فرعی منفردی که هیچ نیازی برای هماهنگ سازی آن با سایر تقاطعها وجود ندارد استفاده شود.

کنترل کننده‌های زماندار همزمان برای تقاطعهای منفرد. در این نوع کنترل کننده از یک موتور زمانبندی همزمان که فقط وابسته به فرکانس بوده و لذا دارای سرعت ثابت است استفاده می‌شود. کلیه چراغهایی که از یک خط تغذیه می‌شوند می‌توانند در آینده هماهنگ شده یا بوسیله یک کنترل کننده مرکزی هدایت شوند. این کنترل کننده‌ها معمولاً نسبت به ناهمزمانها حتی در نقاط کاملاً منفرد ارجحیت داده می‌شوند زیرا آنها طول چرخه و فازبندی را ثابت نگاه می‌دارند.

وسایل برنامه‌ریزی عملیات همزمان نیز موجود است که بااستفاده از آنها می‌توان تغییر طول چرخه و تناسب فازها را تا چند مرتبه در طول صورت داد.

کنترل کننده‌های هماهنگ ساز. هماهنگ سازی چراغها را می‌توان با استفاده از کنترل کننده‌های همزمان غیر مرکزی انجام داد. هر یک از کنترل کننده‌ها متناسب با فازبندی هماهنگ تنظیم

می‌شود. با این وجود هماهنگ سازی نامرتبط برای شرایط ترافیک سنگین توصیه نمی‌شود زیرا فاقد انعطاف‌پذیری لازم در مقابل تغییرات جریان ترافیک است و هیچ تضمینی برای تداوم هماهنگی مطلوب وجود ندارد. این مسئله مستلزم کنترل ادواری سیستم می‌باشد.

علی‌الاصول باید هماهنگ سازی چراغهای زماندار بااستفاده از کنترل کننده‌های همزمان مرتبط صورت گیرد. هماهنگ سازی بااستفاده از کنترل کننده‌های ثانویه و یک کنترل کننده مادر صورت می‌گیرد. ارتباط میان کنترل کننده‌های ثانویه و کنترل کننده مادر بااستفاده از کابل یا سیمهای تلفن یا بی‌سیم صورت می‌گیرد. بسته به بودجه موجود می‌توان از کابلها یا سیمهای هوایی یا زیرزمینی استفاده نمود. البته ارتباط رادیویی نیازی به کابل کشی ندارد. ارتباطات داخلی انعطاف‌پذیری کامل سیستم در مقابل تغییرات ترافیکی را ایجاد می‌کند.

تغییرات برنامه‌ای طول چرخه و نسبتهای زمانی را می‌توان براحتی با نصب زمان سنج در کنترل کننده مادر سیستم مرتبط انجام داد. ولی سیستمهای غیر مرتبط را نمی‌توان برای تغییر در کل سیستم برنامه‌ریزی کرد.

وظیفه کنترل کننده مادر، سرپرستی کنترل کننده‌های ثانویه، حفظ ارتباطات زمانی و یا انجام سایر وظایف سرپرستی مانند کنترل دستی سیستم، خاموش کردن سیستم، قرار دادن سیستم در وضعیت چشمک‌زن و غیره است. او می‌تواند بطور خودکار طول چرخه هر کنترل کننده ثانویه را تغییر دهد واگر کنترل کنندگان ثانوی مجهّز به بیش از یک صفحه زمانبندی باشند بطور خودکار کنترل را به صفحات مختلف انتقال دهد. کنترل کننده مادر دارای مرجع زمانی صفر است که بر مبنای آن شروع چراغ سبز کلیّه کنترل کننده‌های ثانویه سیستم در محدوده ۰ تا ۱۰۰ درصد طول چرخه پس و پیش می‌شوند.

تغییرات شرایط ترافیکی ممکن است نه فقط در طول یک روز بلکه از یک روز تا روز دیگر و به ویژه در هنگام مقایسه روزهای هفته با روزهای آخر هفته بوجود آید. برای ایجاد انعطاف‌پذیری در مقابل این تغییرات از یک کنترل کننده برنامه‌ای استفاده می‌شود. کنترل کننده برنامه‌ای، کنترل روی طول چرخه، تقسیمات، جابجایی‌ها و سایر وظایف کنترل کننده مادر را بر مبنای روز به روز یا در طول یک روز اصلاح می‌کند.

چراغهای ترافیک - حساس

چراغهای ترافیک - حساس، شامل کلیه چراغهای متغیر و مرکزی می‌شود. *MUTCD* برای چراغهای حساس ضوابطی مشابه با چراغهای ثابت ارائه کرده‌است. با این وجود چون چراغهای حساس تاخیر بیمورد ایجاد نمی‌کنند می‌توان در مواردی که چراغهای زماندار توجیه نمی‌شوند کاربرد آنها را مورد توجه و بررسی قرار داد. ملاحظاتی که می‌توان درنظر گرفت عبارتنداز:

۱- حجم وسایل نقلیه - در تقاطعهایی که حجم ترافیک آنقدار زید نیست که ضابطه چراغ زماندار صدق کند می‌توان بشرط آنکه سایر شرایط نیاز به چراغ کنترل ترافیک را نشان دهند و هزینه نصب نیز توجیه شود از چراغهای متغیر استفاده کرد.

۲- ترافیک عرضی - در صورتی که ترافیک خیابان اصلی آنقدر زیاد باشد که حرکت ترافیک عرضی وسایل نقلیه یا عابرین پیاده خیابان فرعی را به مخاطره افکند می‌توان بااستفاده از چراغ متغیر برای جریان خیابان فرعی حق عبور تخصیص داد.

۳- حجم ساعت اوج - در صورتی که یک تقاطع فقط در طول بخش کوچکی از روز مانند دوره اوج جریان ترافیک، نیاز به چراغ راهنمایی ترافیک داشته باشد بشرط توجیه اقتصادی، می‌توان از چراغ متغیر استفاده نمود. زیرا آنها در سایر اوقات تاخیر بیمورد ایجاد نمی‌کنند. توجیه اقتصادی را می‌توان با تحلیل منافع استفاده کنندگان بدست آورد.

۴- ترافیک عابرین پیاده - در صورتی که فقط ضابطه حداقل مربوط به حجم عابرین پیاده برای چراغهای زماندار صدق کند باید کاربرد چراغ متغیر مورد توجه قرار گیرد. این چراغها فقط در هنگامی که عابرین پیاده چراغ را بکار اندازند برای حرکتهای وسایل نقلیه تاخیر ایجاد می‌کنند.

۵- خطر تصادفات - در صورتی که فقط ضابطه حداقل آمار تصادفات برای چراغ زماندار صدق کند باید استفاده از چراغهای متغیر مورد توجه قرار گیرد زیرا آنها توقفها و تاخیرها را که معمولاً جزو عوامل بروز تصادف هستند کاهش می‌دهند.

۶- نوسانات ترافیکی وسیع میان رویکردها- در صورتی که نسبت حجمهای ترافیک میان خیابانهای ورودی یک تقاطع در چراغهای زماندار دارای نوسان زیاد باشد برای کارایی بیشتر از کنترل کامل با چراغهای متغیر استفاده می‌شود.

۷- تقاطعهای پیچیده - در صورتی که چراغهای ترافیکی تقاطعهای پیچیده مستلزم فازبندی متعدد باشد باید استفاده از چراغهای متغیر مورد توجه قرار گیرد زیرا علاوه بر مزایای عمومی آن می‌توان در مواقعی که تقاضای ترافیکی برای یک فاز وجود ندارد فاز مربوطه را حذف کرد.

۸- سیستم چراغهای پیشرونده- در صورتی که فواصل یا خصوصیات یک تقاطع در یک سیستم پیشرونده به گونه‌ای است که یک زمانبندی رضایتبخش امکان‌پذیر نگردد می‌توان از چراغ متغیر استفاده نمود.

چراغهای متغیر می‌توانند برای گذرگاههای میان قطعه‌ای عابرین پیاده و گذرگاههای باریکی که در هر زمان فقط امکان عبور یک طرفه را می‌دهند نیز مورد استفاده قرار گیرند.

کنترل کننده‌های نیمه متغیر

این وسیله امکان کنترل ترافیکی متغیر را در یک یا چند رویکرد تقاطع و نه در همه آنها می‌دهد. این نوع کنترل عمدتاً در تقاطعهای با حجم ترافیکی زیاد و یا ترافیک اصلی پر سرعت با خیابان یا جاده فرعی نسبتاً کم ترافیک بکار می‌آید. جنبه‌های اساسی عملکردی این کنترل کننده‌ها عبارتند از:

۱- شناسگر فقط در رویکردهای فرعی قرار دارند.

۲- در هر چرخه خیابان اصلی حداقل دوره سبز را دریافت می‌کند.

۳- چراغ سبز خیابان اصلی بعد از حداقل دوره سبز تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد مگر آنکه بوسیله شناسگر خیابان فرعی قطع گردد.

۴- فاز فرعی در صورتی پس از تحریک سبز می‌شود که دوره حداقل سبز فاز اصلی کامل شده باشد.

۵- فاز فرعی بخش اولیه سبز را می‌گیرد.

۶- سبز فاز فرعی با تحریکهای اضافی تمدید می‌شود تا اینکه حد نهایی تمدید آن فرا برسد.

۷- اگر سبز فاز فرعی بوسیله حد نهایی قطع شود. بعد از دوره حداقل سبز فاز اصلی حافظه دستگاه، تحریک اضافی را بخاطر آورده و چراغ سبز به فاز فرعی باز خواهد گشت.

۸- زمان تخلیه (زرد) هر دو فاز از قبل روی صفحه زمانبندی تنظیم می‌شود.

این نوع کنترل برای استفاده در مواردیکه حجم خیابان فرعی علیرغم چراغگذاری قادر به عبور ایمن از جریان اصلی نمی‌باشد عالی است. اگر جریان خیابان فرعی پراکنده باشد قطع منظم جریان اصلی بوسیله چراغ زماندار توجیه ناپذیر است. در صورتی که حجم هر دو خیابان در حد وسیع انگیزش ایجاد می‌کنند نباید از کنترل نیمه متغیر استفاده شود زیرا در یک یا چند رویکرد شناسگر وجود ندارد.

کنترل کننده‌های تمام متغیر

این وسیله امکان تحریک را برای وسایل نقلیه کلیه مسیرهای تقاطع ایجاد می‌کند. کاربرد آن عمدتاً در تقاطع خیابانها و راههایی است که تقریباً دارای حجم ترافیکی یکسانی هستند ولی توزیع آن میان رویکردها متغیر و نوسانی بوده و لذا ضروری است که تقاضای کلیه رویکردها مدنظر قرار گیرد.

جنبه‌های اصلی عملکرد این کنترل کننده‌ها عبارتند از:

۱- شناسگر روی کلیه رویکردها قرار دارند.

۲- هر فاز دارای یک بخش اولیه مشخص است که امکان بحرکت درآمدن و ورود به تقاطع را به وسایل نقلیه می‌دهد.

۳- بعد از انقضای بخش اولیه دوره سبز در اثر هر تحریک به اندازه یک واحد مشخص به آن افزوده می‌گردد.

۴- تمدید سبز بوسیله یک حد تمدید مشخص محدود می‌گردد.

۵- زمان تخلیه برای هر فاز مشخص است.

۶- هر فاز دارای یک سوئیچ فراخوان است.

الف - در صورت خاموش بودن کلیه سوئیچها، چراغ سبز روی آخرین فازی که فرا خوانده شده‌بود باقی می‌ماند بشرط آنکه هیچ تحریکی روی سایر رویکردها صورت نگیرد.

ب - در صورت روشن بودن یک سوئیچ، چراغ سبز در هر موقعیتی که باشد به فاز انتخابی منتقل می‌گردد.

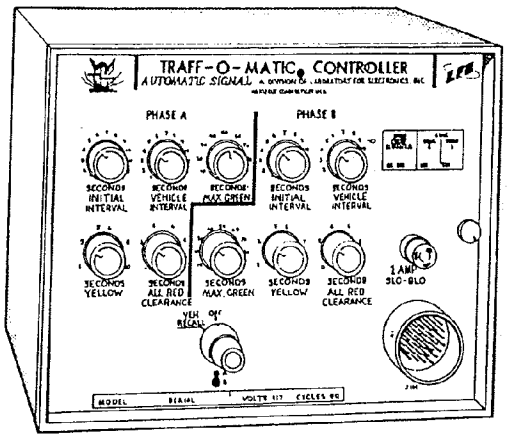
ج- در صورت روشن بودن سوئیچ هر دو فاز یک کنترل کننده بصورت چراغ ثابت زماندار عمل می‌کند به شرط آنکه هیچ تقاضایی در سایر فازها وجود نداشته باشد.

کنترل کننده‌های تمام متغیر به واسطه سرشت متغیر خود، قادر نیستند بدون از دست دادن انعطاف‌پذیری با سایر چراغها هماهنگ شوند. الگوی تقاضا و ناتوانی در هماهنگ سازی، کاربرد این وسیله را محدود به نقاط منفرد می‌کند (فاصله چراغها در حدود ۱/۶ کیلومتر).

در شکل ۲ - ۲۱ یک کنترل کننده تمام - متغیرنشان داده شده‌است.

کنترل کننده‌های حجم - چگالی

این وسیله دارای نهایت حساسیت در چراغگذاری تقاطعهای منفرد است. زمان سبز بر مبنای حجمهای نسبی مسیرهای تقاطع تخصیص می‌یابد. برعکس چراغهای متغیر ساده، چراغ حجم - چگالی تقریباً هیچگاه بصورت از پیش تعیین شده نسبت به یک



شکل ۲-۲۱ یک کنترل کننده دو فاز تمام متغیر

تحریک واکنش نشان نمی‌دهد ولی قادر به ثبت و نگهداری اطلاعات مربوط به حجم، طول صف و زمانهای تاخیر است. به علاوه هر فاز ممکن است سبز خود را به یکی از طرق زیر از دست بدهد:

۱- هیچ وسیله نقلیه‌ای که تقاضای اضافی در رویکرد ایجاد کند وجود نداشته باشد.

۲- حداکثر فاز سبز فرا رسیده باشد.

۳- فاصله زمانی عبور میان وسایل نقلیه رویکرد از حداکثر استاندارد تجاوز کند.

مورد سوم، عملکرد "چگالی" چراغ را نشان می‌دهد. در آغاز یک فاز سبز، حداکثر فاصله زمانی عبور می‌تواند مثلاً ۵ ثانیه باشد. با تداوم فاز سبز حداکثر فاصله زمانی عبور کاهش می‌یابد. در صورتی که از حداکثر فاصله عبور تخطی شود و یا اینکه حداکثر طول فاز به اتمام رسد فاز از دست می‌رود. این نوع کنترل بالاترین انعطاف‌پذیری را در کنترل کننده‌های ترافیک - حساس- ایجاد می‌کند زیرا قادر به درنظر گرفتن تعداد وسایل نقلیه منتظر در هر رویکرد و همچنین حجم رویکرد با فاز سبز می‌باشد.

استفاده از آن عمدتاً د تقاطعهای منفرد با توسانات شدید ترافیکی میان خیابانها و راههای آن است . نکات اصلی عملکرد این کنترل کننده‌ها عبارت از:

۱- شناسگر کلیه رویکردها در فاصله کافی از تقاطع نصب می‌شوند تا امکان شمارش صفهای طویل وسایل نقلیه وجود داشته باشد.

۲- هر فاز دارای یک زمان سبز تضمینی است که بوسیله سه صفحه زمانبندی تنظیم می‌شود.

الف - حداقل دوره سبز

ب - تعداد تحریکها قبل از افزایش دوره سبز حداقل

ج - مقدار افزایش حداقل دوره سبز برای هر تحریک در حین فاز قرمز

۳- زمان‌گذر واحد تمدید است که بوسیله هر تحریک بعد از پایان زمان سبز اولیه ایجاد می‌شود. این زمان برای حرکت یک وسیله نقلیه از محل شناسگر تا خط توقف تنظیم می‌شود. ضمناً این مقدار حداکثر فاصله عبور قابل قبول میان وسایل نقلیه‌ای که سبز را رد می‌کنند نیز می‌باشد. این حداکثر فاصله عبور یا زمان گذر را می‌توان به طرق مختلف کاهش داد. سبز در شرایط زیر از دست می‌رود:

الف- فرا رسیدن حد پایین زمان گذر از پیش تعیین شده هنگامی که تعداد وسایل نقلیه منتظر در فاز قرمز از مقدار مشخصی تجاوز کند.

ب - فرا رسیدن حد پایین زمان‌گذر از پیش تعیین شده هنگامی که وسایل نقلیه فاز قرمز یک زمان معینی در انتظار بسر برده باشند.

ج - فرا رسیدن حد پایین زمان گذر از پیش تعیین شده هنگامی که تعداد وسایل نقلیه فاز سبز در هر ۱۰ ثانیه کمتر از یک مقدار مشخص شود.

اینها عملکرد چگالی کنترل کننده را تشکیل می‌دهند. تنظیم صفحه زمانبندی بستگی به مدل دستگاه دارد.

۴- پدیده حرکت دسته‌ای، کنترل کننده را قادر به یادآوری درصد دوره سبز قبلی کرده و اینکه تعداد وسایل نقلیه منتظر درفاز قرمز را به هنگام تحریک شناسگر بوسیله دسته بعدی بخوبی وارد کند تا بازگشت بموقع به فاز سبز صورت گیرد.

۵- تمدید سبز بوسیله یک حد مشخص تمدید محدود می‌گردد ولی این مورد بخاطر اثر عوامل کاهش دهنده زمان گذری بندرت عمل می‌کند.

۶- زمان تخلیه برای هر فاز از قبل تنظیم می‌شود.

۷- هر فاز دارای یک کلید باز خوانی است که به همان روش کنترل کننده‌های تمام متغیر عمل می‌کند.

کنترل کننده‌های مرکزی ترافیک

با استفاده از یک سیستمی که مجهز به یک کنترل کننده مادر ترافیک - حساس برای سرپرستی کنترل کننده‌های محلی ثابت یا نیمه متغیر است می‌توان ترکیبی از مزایای چراغهای ثابت، سیستم پیشروی انعطاف‌پذیر و چراغهای متغیر بدست آورد شناسگر در صورتی که یک شریانی کنترل شود در نقاط مناسب

سیستم پیشرونده و در صورتی که یک سیستم شبکه‌ای کنترل شود در نقاط مناسب واقع در سطح ناحیه نصب می‌شوند. این شناسگر اطلاعات مربوز به حجم و جهت ترافیک را به یک کامپیوتر واقع در کنترل کننده مادر منتقل می‌کنند. این اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و کنترل کننده مادر مناسبت‌ترین طول چرخه و ترکیب اختلاف فازها برای توزیع جهتی و خصوصیات حجمی ترافیک در آن لحظه مطابق طول چرخه و اختلاف فاز انتخاب شده توسط کنترل کننده مادر عمل می‌نمایند. این سیستم در بسیاری از شهرها در حال فعالیت می‌باشد.

لوازم کمکی کنترل کننده‌های متغیر

زمانسنج عابرین پیاده . این وسیله همراه با کنترل کننده‌های متغیر بکار می‌رود تا زمان سبز کافی برای عبور ایمن عابرین پیاده تامین شود. با این وجود چراغ سبز فقط با فشار دادن تکمه مخصوص تمدید می‌شود و نیازی به تمدید در هر فاز وجود ندارد.

کنترل کننده حرکت فرعی . کاربرد اصلی این وسیله در کنترل کننده‌های متغیر به منظور اضافه کردن یک فاز برای عبور جریان فرعی در هر سیکل رد می‌شود مگر آنکه تحریک صورت گیرد.

زمانسنج سبز پیشایند . این قطعه برای تامین یک سبز پیشایند ثابت برای یک رویکرد بکار می‌آید. این دستگاه می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. در حالت کنترل متغیر، چراغ سبز پیشایند فقط بعد از آنکه یک وسیله نقلیه آنرا تحریک کند ظاهر می‌گردد. در حالت کنترل غیرمتغیر سبز پیشایند در هر چرخه ظاهر خواهد شد.

شناسگر

کلیه تجهیزات ترافیک - حساس مبتنی بر دریافت اطلاعات تقاضا از طریق شناسگرهای وسیله نقلیه یا عابر پیاده هستند. بنابراین کلیه تجهیزات تقاضا- حساس وابستگی کامل به عملکرد صحیح شناسگرها در کلیه شرایط دارند. در زیر انواع مختلف شناسگرهای رایج مطرح شده‌اند.

شناسگرهای فشاری . شناسگرهای فشاری روی راه نصب می‌شوند و بوسیله فشار وارد از طرف وسایل نقلیه گذرنده از روی آنها تحریک می‌شوند. تحریک آنها بوسیله وسایل نقلیه متحرک در سرعتهای کمتر از ۱۰۰KM/hr صورت می‌گیرد ولی اگر وسیله نقلیه‌ای روی آن متوقف شود از کار می‌افتد.

شناسگر ممکن است غیر جهتی باشد یعنی عملکرد آن بوسیله عبور ترافیک در هر جهت صورت بگیرد و یا اینکه جهتی باشد یعنی شناسگر فقط با حرکت ترافیک در یک جهت خاص کار کند.

شناسگر راداری . این نوع شناسگر در بالای راه نصب می‌شود و در اثر عبور وسایل نقلیه از داخل میدان امواج رادیویی منتشره تحریک می‌شوند. تحریک آن بوسیله وسایل نقلیه با سرعت ۳ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت صورت می‌گیرد و عملکرد آن تحت تاثیر وسایل نقلیه متوقف شده یا سایر اشیاء ساکن در مسیر راه قرار نمی‌گیرد.

شناسگر مافوق صوتی (اولتر اسونیک) . این شناسگر در بالا و یا کنار جاده نصب می‌شود و در اثر عبور وسایل نقلیه از درون امواج مافوق صوتی منتشره تحریک می‌شوند.

شناسگر مادون قرمز . این شناسگر در بالا و یا کنار راه نصب می‌شود و در اثر عبور وسایل نقلیه از درون اشعه مادون قرمز منتشره تحریک می‌گردند.

شناسگر القایی . شناسگر القایی در سطح راه نصب می‌شود و با عبور وسایل نقلیه تغییری در خاصیت القایی حلقه سیمی آن ایجاد می‌شود که باعث تحریک شناسگر می‌گردد.

شناسگر ضربه‌ای . شناسگر ضربه‌ای در سطح راه نصب می‌شود و در اثر عبور وسایل نقلیه که در فشار هوای داخل آن تغییر ایجاد می‌کنند تحریک می‌شود.

شناسگر فتو - الکتریک . از سلولهای فتوالکتریک همراه با یک منبع نوری برای درک حضور وسایل نقلیه یا عابرین پیاده استفاده می‌شود.

شناسگر عابرین پیاده . این شناسگر که معمولاً از نوع تکمه فشاری است در نزدیکی راه نصب شده و با فشار دست کار می‌کند.

محل نصب شناسگرها با توجه به خط توقف بستگی به خصوصیات و عملکردی و نوع کنترل کننده سرعت وسایل نقلیه، شیب و عرض راه، قابلیت دید و وجود مسیربندی در راه

دارد. دراین زمینه بعمل آمده است.

هماهنگ سازی چراغهای ترافیک [۵] - حساس

علاوه بر هماهنگ سازی خوبی که بوسیله کنترل مرکزی امکانپذیر است می‌توان چراغهای ترافیک حساس را همانند چراغهای ثابت با ایجاد ارتباط درونی و یا با استفاده از کنترل همزمان یکسری کنترل کننده نیمه متغیر و یا یکسری کنترل کننده متغیر هماهنگ ساخت. هماهنگ سازی چراغهای متغیر یا چگالی - حجم به معنای از دست رفتن آن انعطاف‌پذیری است که سیستم بخاطر آن نصب شده‌است این سیستم‌ها همانند یک سیستم زماندار ثابت عمل می‌کند.

کنترل مرکزی . تعریف کنترل مرکزی و ارتباط آن با شیوه‌های کامپیوتری قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است.

ارتباط درونی یا موتور همزمانی . یک کنترل مادر مرتبط با کلیه کنترل کننده‌های ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرد. واکنش نسبت به تحریک خیابان فرعی، فقط در مقدار جابجایی مجازی که بوسیله دیاگرام زمان - مسافت بدست می‌آید مقدور خواهد بود. زمان مازاد بر تقاضای خیابان فرعی به خیابان اصلی افزوده می‌گردد. در سیستمهای هماهنگ سازی با زمان ثابت می‌توان در نقاط مورد نظر از کنترل نیمه متغیر استفاده نمود. این می‌تواند یک وسیله مفید برای برخی تقاطعات که دارای فواصل نامناسب پیشروی هستند باشد زیرا کنترل کننده‌های ترافیک حساس می‌توانند براساس پهن کردن باند عبور مستقیم عمل نمایند. ارتباط درونی کنترل کننده‌های نیمه متغیر از نظر هماهنگ سازی دارای این محدودیت است که در اثر کمبود فراخوان از طرف خیابان فرعی کیفیت دسته‌ای ترافیک اصلی از دست می‌رود. زمانبندی موتورهای همزمانی برای هماهنگ سازی به همان شیوه ارتباط درونی صورت می‌گیرد.

کنترل کننده‌های حجم - چگالی . توالی یکسری کنترل کننده تمام متغیر روی یک خیابان، برقراری جریان پیشرونده را تسهیل می‌کند به شرط آنکه ترافیک خیابان اصلی بیشتر از حرکتهای خیابانهای فرعی بوده و دارای مشخصه دسته‌ای باشد. اگر این کنترل کننده‌ها از نوع حجم - چگالی باشند امکان برقراری حرکت دسته‌ای پیشرونده بمراتب بیشتر خواهد بود. این اصل در مورد خیابانهای با ترافیک سنگین و تقاطعهای زیاد و با فواصل نامنظم نیز صادق است.

می‌توان از قابلیت کنترل تمام - متغیر در برقراری حرکت دسته‌ای برای بهبود سیستم پیشرونده ثابت در تقاطعی که فواصل تقاطعات به گونه‌ای است که عبور ایمن و رضایتبخش را با مشکل روبرو می‌سازد بهره جست. استفاده از کنترل کننده‌های حجم چگالی در این گونه موارد باید با احتیاط صورت گیرد و فقط بعد از مطالعه دقیق خصوصیات تقاطع مورد نظر انجام شود.

مقایسه کنترل ثابت و متغیر

در کنترل ثابت یک توالی پیوسته و منظم از رنگهای چراغ برای ترافیک ارائه می‌شود. با استفاده از لوازم کمکی یا تجهیزات کنترل راه دور، عملکرد سیستم کنترل ثابت تا حدود مشخصی قابل تغییر بوده و نیازهای ترافیکی بیشتر ملحوظ می‌شود.

کنترل ثابت برای تقاطعهایی مناسب است که الگوی ترافیک نسبتاً ثابت بوده و یا اینکه تغییرات ترافیک بدون ایجاد تاخیر یا تراکم از طریق برنامه زمانی ثابت قابل عبور باشد. کنترل ثابت علی‌الخصوص قابل انطباق با تقاطعهایی است که هماهنگ سازی چراغها با تسهیلات موجود و یا نصب تسهیلات جدید روی یک یا چند خیابان مورد نظر باشد.

شیوه کنترل ترافیک - حاس اساساً از این جهت با کنترل ثابت متفاوت است که رنگ چراغها دارای مدت ثابت نبوده ولی در محدوده مشخصی بوسیله تغییرات جریان ترافیک ثبت شده بوسیله اشکال مختلف شناسگرهای وسایل نقلیه و عابرین پیاده تعیین و تعدیل می‌گردد. طول چرخه و توالی دوره‌ها بسته به نوع کنترل کننده و لوازم الحاقی بکار رفته می‌تواند در چرخه‌های مختلف متفاوت باشد. در برخی موارد ممکن است بعضی از رنگها بواسطه عدم وجود تحریک یا تقاضا از سوی وسایل نقلیه یا عابرین پیاده حذف گردد.

مزایای کنترل ثابت

۱- ثبات زمان شروع و تداوم دوره‌های کنترل ثابت هماهنگ سازی با چراغهای مجاور را تسهیل کرده و هماهنگ سازی دقیقتری نسبت به کنترل ترافیک است. ثابت شده‌است که میانگین تاخیر توقف بر وسیله نقلیه برای کنترل ثابت کمتر از انواع مختلف کنترل متغیر تقاطعات می‌باشد.

۲- کنترل کننده‌های ثابت برای عملکرد صحیح، وابسته به حرکت وسایل نقلیه از روی شناسگرها نیستند. بنابراین عملکرد این کنترل کننده تحت اثرات سوء ناشی از شرایط بازدارنده حرکت عادی از مقابل شناسگرها مانند توقف وسایل نقلیه یا

وسایل نقلیه یا کارهای ساختمانی قرار نمی‌گیرد.

۳- کنترل ثابت ممکن است در نواحی که حجم زیاد و پیوسته عابرین پیاده وجود داشته و یا اینکه احتمال خرابی دکمه‌های فشاری عابرین پیاده موجود باشد قابل قبولتر از کنترل متغیر باشند.

۴- اصولاً هزینه نصب تجهیزات کنترل ثابت بمراتب کمتر از تجهیزات متغیر است (حداقل یک دوم) و نگهداری لوازم کنترل ثابت نیز بسیار ساده‌تر می‌باشد.

مزایای کنترل ترافیک - حساس

۱- در صورتی که نوسانات ترافیکی، قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای کنترل ثابت نباشد کنترل متغیر می‌تواند حداکثر کارایی را در تقاطع داشته باشد. این یک اصل اساسی در مطالعه تاخیر تقاطعهای چراغدار و تاثیر نوع کنترل در تاخیر می‌باشد. در صورتی که تقاطعهای چراغدار در فواصلی قرار گرفته باشند که چراغها قابل زمانبندی حرکت پیشرونده باشند کنترل ثابت حداقل تاخیر را بدست خواهد داد.

۲- در تقاطعهای پیچیده حداکثر کارایی را بدست خواهد داد.

۳- در محل تقاطع خیابانهای اصلی و فرعی با قطع جریان اصلی فقط در هنگام نیاز به عبور وسایل نقلیه و عابرین پیاده فرعی و همچنین با محدود کردن زمان قطع جریان به حداقل مقدار مورد نیاز حداکثر کارایی را در تقاطع ایجاد خواهد نمود.

۴- در تقاطعهای نامطلوب واقع در سیستمهای ثابت پیشرونده حداکثر کارایی را بدست خواهد داد.

۵- این وسیله کنترل دارای مزایای سیستم توقف و حرکت بدون ایجاد تاخیر بیمورد برای ترافیک خیابان فرعی است در حالیکه برخی اوقات چراغهای ثابت منفرد در هنگام سبک بودن ترافیک بصورت چشمک زن تنظیم می‌شوند.

۶- این سیستم کنترل بویژه در محلهایی کاربرد دارد که کنترل با چراغ راهنمایی فقط برای دوره کوتاهی از روز تجویز می‌شود.

۷- اصولاً کنترل ترافیک - حساس تاخیر در تقاطعهای منفرد را بویژه در صورتیکه تقاضا متغیر باشد حداقل می‌کند.

روشهای ارتباط میان چراغهای راهنمایی

کنترل رادیویی چراغها

کلیه خصوصیات عملکردی ارتباط کابلی در مورد ارتباط رادیویی نیز صادق است. یک سیستم کنترل ترافیک رادیویی هماهنگ، متشکل از تجهیزات ایستگاه مرکزی، یک فرستنده و گیرنده رادیوی *VHF - FM* و یک دستگاه نصب شده در محل هر تقاطع است. تجهیزات ایستگاه مرکزی شامل یک کنترل کننده مادر، یک وسیله برنامه ریزی، ژنراتور و یک فرستنده رادیویی است. هر دستگاه تقاطع شامل یک موتور همزمان کنترل کننده، یک گیرنده کریستالی *VHF - FM* رادیویی یک آنتن و کلیدهای تنظیم است. تنظیم کلیدها برای انتخاب عملکرد مورد نظر بااستفاده از علائم دوگانه که حدوداً برای یک ثانیه بطور همزمان ارسال می‌شوند صورت می‌گیرد.

همگام سازی ترافیک

یک روش تسهیل جریان ترافیک بدون ایجاد توقف و افزایش راه تمرکز وسایل نقلیه یک خط در دسته‌هایی است که برای رسیدن به هنگام چراغ سبز تقاطع در حرکت هستند. این کار به کمک یک تابلوی سرعت‌نمای روشن شونده، واقع در نقاطی قبل از تقاطع، صورت می‌گیرد و به رانندگان مقدار سرعت لازم برای رسیدن به چراغ سبز بعدی را نشان می‌دهد. این تابلوهای سرعت نما و چراغهای راهنمایی در کل سیستم به یکدیگر مرتبط و همزمان هستند.

فصل ۲۲
روشنایی خیابان و بزرگراه

منافع و مزایای روشنایی

کاهش حوادث و تصادفات

خیابانها و جاده‌ها برای تامین حرکت ایمن و تردد وسائل نقلیه برای هم شب و هم روز طراحی شده‌اند. بدلیل محدودیت دید در هنگام شب مخاطرات متعددی استفاده کنندگان از خیابانها و بزرگراهها را تهدید می‌کند. رانندگی در شب چه در شهر و چه در بین شهرها به میزان قابل توجهی مخاطره آمیزتر از رانندگی در روز است.

در سال ۱۹۶۸ از ۵۵۲۰۰ حادثه ناگوار ۲۹۳۰۰ حادثه در ساعات شب و ۲۵۹۰۰ حادثه در ساعات روز رخ داده‌است. اگرچه مرگهای ناشی از حوادث وسیله نقلیه در شب فقط چند هزار از مرگهای مشابه در روز بیشتر است لیکن نسبت مرگهای در شب به وضوح بیشتر از نسبت مرگهای در روز است. این نسبت همانطوریکه در جدول ۱-۲۲ نمایش داده شده‌است بیش از ۲/۵ برابر بیشتر است.

در تمام مناطقی که روشنائی و نورپردازی مناسب برای ایمنی و دید بیشتر در تردد به عنوان یک نیاز شناخته شده‌است باید نور مصنوعی تامین گردد. مطالعات قبل و بعد به روشنی نشان داده‌است که روشنائی کافی خیابانها نسبت حوادث در شب را کاهش داده‌است.

استفاده از روشنائی خیابانها در مناطق شهری خصوصاً در مناطقی که تردد و سائط نقلیه و پیاده‌روها سنگین است یک عمل پذیرفته شده و معمول می‌باشد. بر اساس منافع استفاده کنندگان از مسیر و کاهش قابل توجه حوادث ترافیکی، جرائم و ضرر و زیان مالی، هزینه‌های لازم برای روشنائی خیابانها براحتی قابل دفاع و توجیه است.

تا زمانیکه نتایج مطالعات روی نسبت حوادث نهائی نشده و واقعیت‌های کافی برای توجیه هزینه‌ها در دسترس نیست نورپردازی مداوم جاده‌های بین شهری بطور وسیع صورت نمی‌گیرد.

مطالعات گسترده‌تری برای درک بهتر آثار ایمنی و مزایای اقتصادی نورپردازی جاده‌های بین‌شهری مورد نیاز است.

در انگستان یک قانون عملی، حق تقدم مناطق مختلف برای تامین و استقرار روشنائی در جاده‌های آنها را تعیین می‌نماید. استرالیا نیز یک قانون مشابه دارد.

تحقیقات در کشورهای اروپای مرکزی در حال منجر شدن به یک استاندارد دربهترین شکل و ترکیب چراغها، فاصله و ارتفاع تیرهای چراغ برق و غیره برای استفاده در راههای بین‌المللی آنها می‌باشد.

راحتی و آسایش

راننده در هنگام رانندگی در شب به زحمت بیشتری می‌افتد. روشنائی کافی در جاده‌ها به افزایش دید و در مقابل به کاهش خستگی راننده کمک نموده و حرکت و چرخش ترافیک را تسهیل می‌نماید. نورپردازی جاده‌ها باعث مشخص کردن موقعیت وسائل نقلیه، مسیر مقابل وسیله نقلیه و سرعتها می‌شود و به توسعه ظرفیت آنها کمک می‌کند بطوریکه هر چه بیشتر با شرایط زمان روز قابل رقابت می‌گردند.

ممانعت از وقوع جرائم

اکثر جرائم در شبها اتفاق می‌افتد. روشنائی مناسب خیابانها محدود شدن تعداد جرائم، افزایش حفاظت و ایمنی و راحتی برای پیاده‌ها را نتیجه داده و همچنین به ماموران انتظامی جهت مبارزه با انواع گوناگون جرائم یاری می‌رساند. این مزیت بیشتر مناطق شهری و شهرها، تا جاده‌های بین شهری و مجزا، را در برمی‌گیرد.

جدول ۱-۲۲. نسبت حوادث روز و شب هنگام

نسبت مرگ به ۱۰۰ میلیون مایل حرکت وسیله نقلیه	درصد نسبت به کل	تعداد مرگ	
			: ملی
۳/۷	۴۷	۲۵۰۰۰	روز
۹/۷	۵۳	۲۸۱۰۰	شب
			: درون شهری
۲/۲	۴۶	۷۶۰۰	روز
۶/۲	۵۴	۹۱۰۰	شب
			: برون شهری
۵/۲	۴۸	۱۷۴۰۰	روز
۱۳/۲	۵۲	۱۹۰۰۰	شب

توسعه ارزش زمین در منطقه تجاری مرکز شهری

روشنائی خیابانها به تجارت کمک نموده و ارزش املاک را بالا می‌برد. همچنین با بالا بردن غرور شهریت و همچنین امنیت عمومی به زندگی خوب یاری می‌نماید.

تعاریف

زاویه پخش نور: زاویه پخش نور عبارت است از زاویه بین شعاع پخش یک منبع نور و سطحی که این نور روی آن می‌افتد و یا زاویه بین شعاع پخش نور با خط قائم.

شمع : شمع عبارت است از: واحد شدت روشنائی یک منبع نور.

قدرت شمع: قدرت شمع عبارت است از شدت روشنائی ناشی از شمع‌ها. یک منبع با قدرت شمع واحد روشنائی کافی را برای یک صفحه نزدیک آن فراهم می‌نماید. هر منبع نور جایگزین دیگری همین روشنائی را تامین نماید همچنین یک قدرت شمع ارزیابی می‌شود.

فوت شمع: فوت شمع عبارت است از واحد روشنائی وقتی که فوت بعنوان واحد طول منظور می‌گردد، و آن مقدار روشنائی به شدت یک لومن را تامین می‌نماید. فوت از منبع شمع معادل یک لومن بر فوت مربع است.

لومن: واحد مقدار بازده روشنائی را لومن می‌گویند و آن مقدار روشنائی است که روی یک منطقه به وسعت یک فوت مربع افتاده و هر نقطه از آن منطقه یک فوت از منبع نور به شدت یک شمع فاصله دارد.

ضریب انعکاس یا انعکاس: نسبت نوری که از یک سطح یا یک شی منعکس می‌شود به میزان نور منتشره روی آن را ضریب انعکاس می‌گویند.

درخشندگی: مقدار روشنائی ساطع شده از یک منبع نور است که معمولاً بصورت فوت لامبرها خارج می‌گردد.

فوت لامبرت: روشنائی یکنواخت و همگن یک سطح که از یک جهت داده شده دیده می‌شود و از هر فوت مربع یک لومن منعکس می‌نماید. میانگین درخشندگی هر سطح انعکاس به فوت لامبرت حاصل روشنائی بوسیله ضریب انعکاس سطح در یک زاویه دیدخاص به واحد شمع فوت می‌باشد.

لامپ: منبع نور بکار گرفته شده را لامپ گویند.

لومینه: لومینه یک ابزار روشنائی کامل است که روشنائی حاصل از منبع را هدایت، شکل دهی و قطع و وصل می‌نماید. این وسیله شامل منبع نور و تمام ملزومات مکانیکی، الکتریکی و تزئینی آن می‌باشد.

واحد روشنائی: پایه عمودی با بازوی افقی و چراغ برق یک واحد روشنائی است.

ارتفاع منبع نور: فاصله عمودی بین سطح جاده و مرکز تولید نور در لومینه است.

فاصله: فاصله بین نقاط تمرکز نور روی خط محور جاده ناشی از چراغها به فوت را فاصله می‌گویند.

عوامل اساسی مؤثر در توانایی دید

درک اشیاء از سایه روشن

در جائی که درخشندگی اشیاء کمتر از زمینه اطراف آن است بینائی اصولاً از نیمرخ صورت می‌گیرد. برای افزایش بینائی از طریق فوق، درخشندگی سطح روسازی و روشنائی یکنواخت در طول و عرض تمام مقطع روسازی جاده ضروری است. مقدار نور منعکس شده یا درخشندگی سطح جاده بستگی به شدت و زاویه پخش نور از منبع آن، صیقلی بودن سطح جاده و انعکاس روی زاویای دید همسان دارد.

مطالعهٔ مشخصات انعکاس نور روی نمونه‌های سطح روسازی به نتایج زیر رسیده است:

۱- یک دسته نور روی سطح روسازی عمدتاً به دو بخش برای مرئی نمودن سطح جاده و همچنین بینائی و درک اشیاء از نیمرخ تقسیم می‌گردد. میزان انعکاس نور برای روسازی‌های مختلف از ۳ تا ۲۰ درصد تغییر می‌نماید. روسازی بتنی با سیمان پرتلند دارای انعکاسی حدود ۲۰ درصد بوده و روسازی‌های آسفالتی انعکاسی بین ۳ تا ۱۰ درصد با درجه‌بندی فشرده و سطوح بتن آسفالتی با درجه بالاتر دارند.

۲- روسازیها در مواقعی که مرطوب هستند دارای ترکیب صیقلی زیاد بوده و در طول روسازی بجز قوسها دید به میزان زیادی با استقرار منابع نور با ارتفاع چند فوت بالای روسازی افزایش می‌یابد.

درک اشیاء با جزئیات ظاهری

در جائی که حجم بالای نورپردازی مستقیم روی سطحی از شبی که مقابل بیننده است انجام می‌گیرد، بینائی و درک با جزئیات ظاهری انجام می‌شود. شی با تغییرات درخشندگی و رنگ روی سطح خودش بدون یک اختلاف عمومی با زمینه مشاهده می‌گردد. در زیر نورپردازی فراهم شده برای ترافیک سنگین، پیاده و وسیله نقلیه، بینائی و درک توسط جزئیات ظاهری غالب و حاکم است. روشنی علائم ترافیکی درشب بستگی به درخشندگی جزئیات ظاهری دارد.

اندازه اشیاء

ابعاد اشیاء و تشخیص جزئیات بطوریکه بیشتر مشخص باشند فاکتور مهمی در دید شب است. اجزاء اشیاء مهم برای ایمنی ممکن است از یک آجر تا یک کامیون بزرگ تغییر کند.

زمان قابل دسترسی برای تشخیص

فاکتور مهم دیگر برای دید در شب زمان لازم و موجود برای تشخیص اشیاء یا وضعیت ترافیک است. حداقل زمان لازم برای ایمنی مقدار زمان *PIEV* و حداقل فاصله زمانی برای توقف است. بنابراین زمان قابل دسترسی برای راننده باسرعت وسیله محدود می‌شود. زمان لازم برای تشخیص بموازات کاهش سطح نورپردازی افزایش می‌یابد و همچنین با توسعه درخشندگی در زمینه دید راننده نیز اضافه می‌گردد.

رنگ نور

قابلیت دید اشیاء روی یا کنار یک جاده به میزان قابل توجهی و از تمام جهات، به درجهٔ نور رنگی تولید شده بوسیله لامپهای مختلف، وقتی که مقایسه براساس مقادیر متعادل از نوری که بطور یکسان توزیع شده انجام می‌شود شباهت دارد.

برای بهترین قابلیت دید، یک علامت ترافیکی باید روشنتر از زمینه و فضای اطراف در شب باشد. تغییر و تفاوت رنگ تاثیر روشنائی را افزایش می‌دهد.

تشعشع و خیره‌کنندگی

تاثیرات خیره کنندگی توانائی دید راکاهش می‌دهد و باعث ناراحتی چشم می‌گردد. میزان تقابل و تخالف خیره کنندگی با قابلیت دید بستگی به روشنائی ساطع شده بطرف چشم بوسیه منبع خیره کننده، زوایای پخش نور با زاویه دید چشم در جهت طول جاده و نوسان ناشی از حرکت نسبت به منبع خیره کننده دارد. تقابل خیره کنندگی با دید، با کاهش درخشندگی روشنائی کاهش می‌یابد. این امر ممکن است با توسعه سطح موثر روشنائی و یا محدود شدن شدت نور در زوایای بالاتر از میزان نیاز روسازی کامل گردد.

تمام آثار خیره‌کنندگی به محض اینکه منابع نور و روشنائی از خط طبیعی دید راننده و یا از مرکز منطقه تحت دید راننده برداشته شوند کاهش می‌یابد. کار مدون در تنظیم ارتفاع منبع نور از سطح جاده، محدودیت روشنائی در زوایای قائم و بالاتر در جایی که تداخل آن با قدرت دید راننده بیشترین معنی را دارد به این مقایسه و نسبت کمک می‌نماید، نابینائی خیره‌گی در چشم راننده ناشی از منبع نور در زوایه بین خط دید و منبع نور ۲۰ درجه یا کمتر، بزرگترین مقدار ممکن است. این تاثیر با افزایش ارتفاع منبع نور که زوایه را گسترش می‌دهد کاهش می‌یابد. نقاب خیرگی ناشی از نور خیابانها در ارتفاعات مختلف در حالیکه قدرت نور مفروض ثابت باشد در جدول ۲-۲۲ نشان داده شده است. نابینائی ناشی ازخیرگی در یک ارتفاع ۴/۵ متری بیش از ده برابر بزرگتر از نابینائی خیره‌گی ناشی از یک منبع نور در ارتفاع ۱۲ متری است. افزایش درخشندگی محیط اطراف مثل سطح روسازی و سایر عوامل که زمینه و محیط اطراف راننده را تشکیل می‌دهند، مغایرت ناشی از خیره‌گی را کاهش داده و به گسترش قدرت بینائی و راحتی دید کمک می‌کند.

خیره‌گی ناشی از نور بالای چراغهای جلو یک ماشین از روبرو مخاطراتی ایجاد می‌کند، اگرچه تامین نور مناسب چراغ جلو برای یک مسافت دید کافی ضروری است. روش‌های مختلف از کاهش خیره‌گی چراغهای جلو یک ماشین روبرو منصرف شده‌اند. این روشها از استفاده از میانگین‌های عرضی و پرده‌های خیره‌گی (تور فلزی نازک که بطور موثر به عنوان پرده ضد خیره‌گی برای کاهش توالی حوادث استفاده شده‌است) تا استفاده از لامپهای قطبی و سپر بادی کمرنگ و عدسی‌های مخصوص برای راننده‌ها در شب و نقص دید آنها در نور قرمز دارد می‌گردد. برای مشاهده بعضی اخبار و اطلاعات این مشکلات و راه حلهای پیشنهادی به مطبوعات و مراجع مراجعه و مشورت نمائید.

برای فراهم آوردن دید بهتر با نور وسیله نقلیه، نور مهار شده چراغهای جلو مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از وسائط نقلیه به چراغ جلو مجهز شده‌اند. گسترش و پیشرفت دید علائم وسیله نقلیه از افزایش شدت علائم بدست آمده‌است. یکی از مخاطرات رانندگی در شب روبرو شدن با وسائط نقلیه با یک چراغ جلو است. مواد منعکس کننده احاطه شده با نور چراغ جلو مهار شده، به تقلیل این مشکل کمک می‌کند.

مقدار نور مورد نیاز

مطلوبترین حالت این است که در شب همان قدرت دید را

جدول ۲-۲۲. رابطه بین نابینائی ناشی از خیرگی وارتفاع منبع نور

میزان نابینائی ناشی از خیرگی	ارتفاع منبع نور (فوت)
۱/۰	۴۰
۱/۴	۳۵
۱/۹	۳۰
۲/۹	۲۵
۵/۱	۲۰
۱۰/۷	۱۵

داشته باشیم که در روز داریم، بر مبنای ایمنی ترافیک یک میزان و مقیاس می‌تواند برای مقدار نور مورد نیاز بکار گرفته شود.

مطالعات نسبت حوادث شب به روز در شمع با مقادیر مختلف، حاکی از آن است که این نسبت بیش از ۷ برای صف فوت شمع بوده و تا رسیدن قدرت روشنائی به نزدیک یک فوت شمع این نسبت به سرعت کاهش می‌یابد. در این فوت شمع این نسبت به مقدار کمی بالای یک است. افزایش روشنائی به بالاتر از یک فوت شمع رشد کمتری در کاهش نسبت حوادث شب به روز ایجاد می‌نماید.

معیارهای بیشتری که برای تعیین مقدار نور مورد نیاز در محدوده اقتصادی اجرائی می‌توان مورد توجه قرار داد عبارت از حداقل نیازمندیها و تجهیزات وسائل نقلیه و پیاده‌ها هستند. با این حساب پیشنهادات موسسه استاندارد آمریکا (ASA) راهنمائی خوبی برای سطح روشنائی و نورپردازی استفاده شده در انواع مختلف خیابانها و جاده‌های واقع در مناطق مختلف ارائه می‌نماید. یک نشریه قبلی از مؤسسه استاندارد آمریکا که در سال ۱۹۵۳ چاپ شده و بحث‌های مقایسه‌ای بین نشریات ۱۹۵۳ تا ۱۹۶۴ در مطبوعات و مراجع یافت می‌شود. گرچه در چاپ آخر مقادیر قابل توجهی تغییرات براساس نتایج تحقیقات داده شده‌است لیکن از اصول اساسی ثابت و ارائه شده در اولین چاپ انحرافی حاصل نشده است. از آنجا که انعکاس سطحی روسازی تاثیر معینی بر تاثیرات نورپردازی دارد در روی خیابانهائی که ترافیک روشن حرکت می‌کند وبینائی عمدتاً از طریق نیمرخ صورت می‌گیرد این امر باید در محاسبه مقدار روشنائی مورد توجه قرار گیرد. مناطق به منطقه مرکزی شهر، میانه و حاشیه و مناطق حومه و خارج از شهر طبقه‌بندی می‌گردد. جاده‌ها به اصلی، جمع کننده، محلی و بزرگراه و آزاد راه طبقه‌بندی می‌گردند. پیشنهادات ASA برای نورپردازی جاده‌ها در جدول ۳-۲۲ نشان داده شده است.

میانگین مقادیر پیشنهادی در جدول ۳-۲۲ میانگین روشنائی روی روسازی زمانیکه منبع روشنائی در پائین‌ترین سطح بازده قرار داشته و چراغ روشنائی در حالت خود قرار دارد را بیان می‌کنید. در استفاده از این مقادیر عوامل زیر باید مورد

جدول ۳-۲۲ . مقادیر پیشنهادی میانگین فوت شمع قائم $(L/ft)^2$

جاده‌های غیر از بزرگراه و آزاد راه

طبقه‌بندی منطقه			طبقه بندی جاده
حاشیه و حومه	میانه	مرکز شهر	
۰/۹	۱/۲	۲	اصلی
۰/۶	۰/۹	۱/۲	جمع کننده
مسکونی ۰/۲	۰/۶	۰/۹	محلی

بزرگراه و آزاد راه

مقدار روشنائی	طبقه‌بندی
۱/۴	مسیر ممتد شهری
۱	مسیر ممتد حومه
۲	مسیردارای تقاطع شهری
۲/۴	مسیردارای تقاطع شهری

توجه قرار گیرد:

۱- در رتبه‌بندی مناطق با جاده‌های متقاطع به روشنایی بیشتری از آنچه در جدول پیشنهاد شده نیاز می‌باشد. روشنائی در این مناطق حداقل باید به میزان مجموع روشنائی تامین شده برای جاده‌هائی که تقاطع را تشکیل می‌دهند باشد.

۲- حداقل فوت شمع روی هر نقطه از روسازی نباید از $\frac{1}{3}$ میانگین لازم کمتر باشد. تنها استثناء در این مورد برای جاده‌های مناطق مسکونی است که حداقل مقدار فوت شمع لازم در هر نقطه باید $\frac{1}{6}$ میانگین مقادیر پیشنهادی باشد.

۳- مسلم است که مقدار روشنائی از اعمال نگهداری خوب و مناسب نیز پیروی می‌نماید مانند:

الف: بکارگیری منبع نور در شدت جریان و ولتاژ تنظیم شده برای آن

ب : جایگزینی مرتب لامپهای از کار افتاده

ج : تمیز کردن مرتب چراغها

میزان کارآیی لامپ برای تعویض از اطلاعات چاپ شده توسط کارخانجات سازنده تعیین می‌گردد. آزمایشات نشان داده‌اند که چراغهای نصب شده در بزرگراههای با ترافیک سنگین ممکن است ۲۰ درصد از توان و بازده خود را در طول یک دوره شش ماهه از دست بدهند و بصورت تقویت در همین مدت در بزرگ راههای مناطق مسکونی حدود ۵ درصد از بازده آنها کاهش می‌یابد. در بعضی خیابانهای مرکزی شهر حدود ۱۰ درصد کاهش در بازده نوری لامپها در پایان شش ماه مشاهده شده‌است.

توزیع نور چراغ

برای بهترین انجام طرح به منظور ایجاد حداکثر توانایی دید در ازای هر دلار هزینه، توزیع مناسب نور از چراغ ضروری است. هدف عبارت از جمع‌آوری تمام نور ساطع شده از لامپ،

هدایت آن تحت زاویه مفروض و سپس ساختن یک طرح معین روی جاده می‌باشد. بنابراین توزیع باید رو به پائین باشد بطوریکه یک درصد بالائی از نور لامپ برای روشن کردن و نورپردازی روسازی و مناطق اطراف مورد استفاده قرار گیرد. نوع توزیع انتخابی باید حداکثر یکنواختی را در در خشندگی سطح روسازی در طول و عرض تمام جاده با حداقل خیره‌کنندگی لازم تولید نماید: توزیع نور از چراغ باید سطح روسازی در قوسها را بپوشاند و نور کافی قابل قبول برای مناطق کناری ۱۰ تا ۱۵ فوتی از ورای کنار روسازی فراهم نماید. این نورپردازی برای علائم رانندگی، همچنین برای نمایاندن حضور و حرکت پیاده‌ها و برای روشن کردن تمام بلندی وسائط نقلیه پارک شده ضروری است.

چند روش برای تعیین چگونگی و شکل توزیع نور از یک چراغ توسعه یافته‌اند:

توزیع عمودی

طبقه‌بندی چراغها بوسیله مناطقی که توسط خطوط عرضی جاده‌ها *(TRL)* در زیر محدود شده‌اند تعیین می‌گردد. یک چراغ با داشتن یکی از توزیع‌های زیر و چنانچه نقطه حداکثر قدرت شمع آن در منطقه تعیین حدود شده باشد طبقه‌بندی می‌گردد.

از	MHTRL۱	تا	۲/۲۵ MHTRL :توزیع کوتاه
از	۲/۲۵ MHTRL	تا	۳/۷۵ MHTRL :توزیع متوسط
از	۳/۷۵ MHTRL	تا	۶ MHTRL :توزیع بلند

بنابراین حداکثر فاصله بین تیر چراغها ۴/۵ برابر ارتفاع چراغ در توزیع کوتاه و ۷/۵ برابر ارتفاع در توزیع متوسط و ۱۲ برابر در توزیع بلند می‌باشد.

حداقل نمودن میزان خیره کنندگی برای کنترل قدرت شمع ساطع شده از لامپ در قسمتهای بالاتر نور و بالای حداکثر قدرت شمع ضروری است. این کنترل عمودی توزیع قدرت شمع به سه شکل زیر تقسیم می‌گردد.

۱ - حالت قطع: وقتی قدرت شمع بالای حد *TRL* از ده درصد مقدار لومن منبع نور مورد استفاده تجاوز نمی‌کند.

در این حالت محدوده *TRL* عبارت است از:

۳/۷۵ برابر ارتفاع چراغ	: توزیع کوتاه
۶ برابر ارتفاع چراغ	: توزیع متوسط
۸ برابرارتفاع چراغ	: توزیع بلند

۲ - حالت نیمه قطع: وقتی قدرت شمع بالای حد *TRL* از سی درصد مقدار لومن منبع نور مورد استفاده تجاوز نمی‌کند محدوده *TRL* مانند حالت قطع است.

۳- حالت غیر قطع: وقتی محدودیتی برای قدرت شمع در منطقه بالای حداکثر قدرت شمع وجود ندارد. در یک جاده نیمه روستائی بدون روشنائی احاطه کننده زمینه دید، یک نورپردازی نصب شده با حالت قطع بدلیل آثار کاهش خیره‌کنندگی قدرت نمایان سازی بهتری از حالت نیمه قطع ایجاد می‌نماید. ترتیب اولویت با ۱- حالت قطع ۲- حالت نیمه قطع، ۳- حالت غیر قطع است.

توزیع جانبی نور

توزیع جانبی نور براساس چگونگی استقرار منبع نور نسبت به منطقه‌ای که باید روشن شود بدو گروه تقسیم می‌گردد: گروه اول اینکه چراغ و منبع نور بالا و یا نزدیک مرکز منطقه‌ای قرار گیرد که باید روشن شود و دوم اینکه منبع نور بالا و یا نزدیک کنار آن منطقه قرار گیرد. هر دو گروه بسته به عرض منطقه‌ای که باید روشن شود خود به چند زیرگروه نسبت به ارتفاع منبع نور تقسیم و مرزهای عرض جانبی با حداکثر خط قدرت شمع روشن می‌گردد.

۴- گروه چراغهای بالا یا نزدیک مرکز منطقه. این گروه از طبقه‌بندی عرضی جانبی، توزیع نور یکسانی در دو طرف منتهی به خانه‌ها و منتهی به خیابان از خط مبنا دارد که آن خط با مسیر یک سطح قائم موازی با منحنی گذرنده از مرکز منبع نور متقاطع است.

۱- نوع *I*: این نوع دارای دو راه توزیع جانبی است. دو نور موافق اصلی در دو جهت مخالف در طول یک مسیر قرار می‌گیرند. سطح قائم حداکثر قدرت شمع با امتداد جدول منحنی موازی است. توزیع نور در دو طرف این سطح مبنای قائم یکسان و معمولاً برای یک چراغ در وضعیت نزدیک به محور جاده قابل اجرا می‌باشد. این روش ممکن است در فضاهای با شدت نور کم، در مناطق مسکونی و در مسیرهای با ترافیک خیلی سبک مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً ارتفاع منبع نور تقریباً معادل عرض جاده است. بنابراین عرض جاده نباید از ۲ برابر ارتفاع منبع تجاوز نماید.

۲- چهار چراغه نوع *I*: این واحد دارای توزیعی با ۴ چراغ اصلی موافق با زوایایی جانبی تقریباً ۹۰ درجه بین هر کدام است. هر یک این چراغها عرض مخصوص بخود همانطوریکه در بالا طرح داده شده‌است را روشن می‌نماید. این توزیع معمولاً برای چراغهای واقع در یک تقاطع با زوایه قائمه قابل استفاده می‌باشد.

۳- نوع *V*: این توزیع نور یک قدرت شمع قرینه دایره‌ای شکل دارد که لزوماً در تمام زوایای جانبی یکسان است. این توزیع نور برای یک چراغ قرار گرفته در بالا و یا نزدیک محور جاده، در مرکز جزایر جداکننده بزرگراهها، در تقاطعات و در

نواحی تجاری که افزایش جذابیت عمومی آن مورد نظر است قابل استفاده می‌باشد.

چراغهای نزدیک کنار منطقه . این گروه از طبقه‌بندی عرضی جانبی به نسبت مقادیر عرض توزیع نور روی کنار جاده از خط مبنا تغییر می‌نماید.

۱- نوع *II* : این نوع توزیع، نور اصلی جلو به طرف خیابان را نشان می‌دهد و معمولاً برای چراغهای واقع در بالا و یا نزدیک کنار خیابانهای باریک با کمتر از ۶۰ فوت عرض یا در جائی که عرض خیابان از ۱/۷۵ برابر ارتفاع چراغ تجاوز نمی‌نماید مورد استفاده قرار می‌گیرد. این همچنین می‌تواند در جاده‌های عریض که در جهات مختلف تنظیم و مرتب شده باشند (دو جهت آن از یکدیگر مجزا شده‌باشد) مورد استفاده قرار گیرد.

۲- چهار چراغه نوع *II* : در این واحد توزیع نور دارای ۴ محل تمرکز اصلی تورم می‌باشد. ۴ نور اصلی بسمت خیابان تنظیم شده که بخشهایی از نور آن برای نورپردازی محلهای نزدیک یک گوشه از یک تقاطع با زاویه قائمه استفاده می‌شود.

۳- نوع III : این واحد شبیه نوع *II* است لیکن نور اصلی را در مسیرهای دورتری از خیابان منتشر می‌نماید. این توزیع برای نورپردازی بالا و یا نزدیک کنار خیابانهای با عرض متوسط تا ۷۵ فوت که در آن عرض مسیز از ۲/۷۵ برابر ارتفاع چراغ تجاوز نمی‌کند طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴- نوع *IV*: این نوع شبیه نوع III است. این توزیع نور برای بالا یا نزدیک کنار خیابانهایی که عرض آنها از ۲/۷۵ برابر ارتفاع چراغ تجاوز می‌نماید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اطلاعات نورسنجی منابع روشنایی

انجمن مهندسین روشنائی نشریه‌ای به نام "راهنمایی آزمایش روشها" آماده کرده که روشهای اندازه‌گیری و نمایش سنجش نوردهی منابع روشنائی و نورپردازی را معین می‌کند و همچنین یک فرم ارائه اطلاعات نیز تنظیم نموده است. برگه اطلاعات نورسنجی، تمام اطلاعات مورد نیاز برای مقایسه میزان نوردهی چراغها را فراهم نموده، نوع توزیع را معین می‌نماید و اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات را تامین می‌کند. برگه اطلاعات نور سنجی حاوی مطالب زیر است.

۱- منحنی‌های توزیع قدرت شمع : اینها منحنی‌های عمودی و جانبی توزیع هستند که قبلاً راجع به آنها بحث شده و برای تنظیم و برقراری نوع طبقه‌بندی چراغها بکار می‌رود.

۲- نمودارهای قدرت شمع یکسان : این نمودارها روش توزیع‌نور روی یک سطح افقی از یک چراغ تک واحدی را نمایش می‌دهند. تمام نقاط با نوردهی متعادل بیکدیگر متصل شده‌اند و در نتیجه خطوط با مقدار لوکس یکسان و یا قدرت شمع یکسان بوجود آمده‌اند. نمودار هم لوکس از سریهای خطوط هم لوکس تشکیل شده که شبیه خطوط منحنی میزان است. این نمودارها برای تعیین یکنواختی روشنائی متناسب باالاندازه لامپ و ارتفاع منبع نور بسیار مفید است.

۳- منحنی‌های مصرف : این منحنی‌ها یک اندازه‌گیری از مقدار نوری است که به یک صفحه افقی در مقابل و پشت منبع نور می‌رسد. این منحنی‌ها مقادیر واقعی بازدهی منابع نور است. منحنی مصرف نشان می‌دهد که چه میزان نور روی جاده می‌افتد لیکن چگونگی و توزیع این نور را نشان نمی‌دهد. بنابراین این منحنی‌ها باید همراه با دیاگرام هم لوکس و یا منحنی توزیع بکار رود تا میزان بازدهی واقعی منبع نور را تصویر نماید. در هر صورت میانگین فوت شمعهای افقی تابیده بر روی خیابان می‌تواند از منحنی مصرف و از تقسیم لومن‌های موثر بوسیله منطقه پوشیده شده از منبع نور تعیین شود. واحدهای نوری یکسان مانند نوع ۱ و ۵ برای نشان دادن توزیع خود فقط یک منحنی نیاز دارند. در یک واحد نوری غیر یکسان مانند ۲ و ۳ و ۴ یک منحنی برای نوردهی و روی خیابان ویک منحنی برای نوردهی روی منطقه منتهی به خانه‌ها مورد نیاز است.

۴ - نمودار هم شمعی : این یک روش دیگری برای نشان دادن توزیع قدرت شمع یک منبع نور است. منحنی‌ها نقاط دارای قدرت شمع معادل روی یک سطح کروی دور منبع نور را نشان می‌دهند. نقاطی از صفحه که روشنائی یکسانی را نشان می‌دهند با خطوط هم شمعی به یکدیگر متصل شده‌اند این خطوط دیاگرام هم شمعی را تشکیل می‌دهند و اطلاعات به دست آمده از این دیاگرام شبیه اطلاعاتی است که از دیاگرام هم لوکسی به دست می‌آید.

مثالهای این منحنی‌ها و دیاگرامها درمراجع یافت می‌شود.

طراحی روشنایی خیابان و بزرگراه

ارتفاع منبع نور

دو معیار برای تعیین ارتفاع نور مناسب و ارجح وجود دارد. معیار اول مربوط به ارتفاع منبع نور است. یک تصور شناخته شده عمومی برای به حداقل رساندن اثرات خیره کنندگی روی توانائی دید، بالا بردن منبع نور به مقدار کافی در بالای جاده برای دور کردن آن از خط دید طبیعی است. معیار دوم مربوط به تمرکز و توزیع قدرت شمع است.

به موازات توسعه تیرهای چراغ برق و ارتفاع منابع نور و به تناسب، فاصله‌های بزرگتر بین تیرهای چراغ برق یا واحدهای نوری ممکن است مجاز شوند. البته فواصل بزرگتر، لامپهای

بزرگتری برای تامین سطح مورد نظر روشنائی نیاز دارند. ارتفاع منابع نور کوتاهتر به فواصل کوتاهتری برای ارائه توزیع نور مناسب بر روی جاده نیازمندند. براساس توجه به این عوامل موسسه حداقل ارتفاع منبع نور را براساس جدول ۴-۲۲ توصیه می‌نماید:

مطالعات و تحقیقات اخیر روشن ساخته است که سیستم‌های روشنائی با چراغهای با ارتفاع بین ۴۰ تا ۵۰ فوت اقتصادی‌تر و موثرتر از سیستم‌های با ارتفاع ۳۰ فوت هستند. نوع قبلی نور بی‌خطرتر و زیباتری را فراهم می‌سازد.

فواصل چراغها

فاصله واحدهای روشنائی شهری اغلب تحت تاثیر موقعیت قطبهای منافع حیاتی طول قطات تقسیمی و مناطق ثروتمند است. استفاده از لامپهای کوچکتر و با تکرار بیشتر فواصل و با ارتفاع کوتاهتر است. تنظیم نسبت فاصله به ارتفاع چراغ متناسب با تغییرات توزیع نوری است که چراغ برای آن طراحی شده‌است.

مورد استفاده خیابان و سطح روشنائی طراحی شده برای آن نیز ممکن است فاصله بین چراغها را تحت تاثیر قرار دهد. در یک خیابان مسکونی ممکن است افزایش فاصله بین چراغها تا حدی که نورهای اصلی بین واحدها بندرت با یکدیگر تلاقی کنند مجاز باشد. برای یک خیابان اصلی یا تجاری که به نسبت هماهنگی روشنائی مهمتر است ممکن است نزدیک کردن فواصل برای تامین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد پوشش در چراغهای مجاور مورد نظر قرار گیرد.

موقعیت عرضی چراغ

موثرترین توزیع روشنائی زمانی است که چراغ روی جاده معلق است. موقعیت مورب چراغ نیز البته متاثر از طبقه‌بندی توزیع است. انواع ۱ و ۵ منابع نور برای مناطقی که خط محوری جاده باید روشن شود منظور شده‌اند در حالیکه انواع ۲ و ۳ و ۴ برای بالا و یا نزدیک خط جدول طراحی شده‌اند.

برای روشنائی نوع آخر فاصله افقی بین خط جدول و محور قائم گذرنده از لامپ حداقل ۴ فوت پیشنهاد شده‌است.

ترتیب خاص روشنایی خیابانها

تنظیم مخصوص واحدهای روشنائی جاده‌ها در استاندارد ASA نشان داده شده‌است. مثالهای خاص بیشتر در کتابهای مرجع نشان داده شده‌اند.

برای بحث بیشتر درباره طراحی روشنائی جاده‌ها و تاثیرات سیستم‌های روشنائی مختلف به منابع مراجعه نمائید.

یک طراحی جامع آن است که توسط وزارت راه تکزاس

جدول ۴-۲۲ . حداقل ارتفاع منبع نور پیشنهادی

حداکثر ارتفاع منبع نور(فوت)			حداکثر روشنائی
حالت غیر قطع	حالت نیمه قطع	حالت قطع	(قدرت شمع)
۲۵	۲۰	۲۰	کمتر از ۵۰۰۰
۳۰	۲۵	۲۰	بالای ۱۰۰۰۰
۳۵	۳۰	۲۵	کمتر از ۱۵۰۰۰
۴۰	۳۵	۳۰	بالای ۱۵۰۰۰

مورد استفاده قرار گرفته است. آنها از سیستم روشنائی نوع ۳ با چراغ جیوه‌ای ۴۰۰ وات و با ارتفاع ۴۰ فوت و فواصل چراغهای ۲۰۰ فوت برای جاده‌های ۲ تا ۳ خطه در هر طرف و از سیستم روشنائی نوع ۳ با چراغ ۱۰۰۰ وات و با ارتفاع ۵۰ فوت و فواصل ۳۰۰ فوت برای جاده‌های ۳ تا ۶ خطه در هر طرف استفاده می‌کنند.

حالتهائی که دقت خاص را ایجاب می‌نماید.

تمام مشکلات جاده‌ها نمی‌توانند بطور تمام و کمال بااستفاده از معیارهائی که قبلاً تعیین گردید بررسی و آنالیز شده و طراحی گردند. این اطلاعات طراحی ممکن است به تغییراتی برای فراهم نمودن دید کافی در شرایط خاص و واقعی نیاز داشته باشد. این تغییرات برای مواقع خاص در ضمیمه‌ای از استاندارد ASA برشمرده شده‌است. موقعیت خاص شامل، خیابانهای با درختکاری و یا جنگل انبوه، قوسها، تپه‌ها،تقاطعات، تقاطع جاده با راه‌آهن، کوچه‌ها، پلها، روگذرها، پلهای بتنی روی دره‌ها، میادین عمومی، دوایر ترافیکی، زیرگذرها، تونلها و خطوط تغییر مسیر در بزرگراهها می‌گردد.

برای تامین بهترین نتیجه از روشنائی در ارتباط با دیدن و دید عمومی موارد زیر باید به خاطر سپرده شود:

۱- از محدودیت قطع کوتاه کاهش بینائی ناشی از خیره‌کنندگی D.V.B (ناتوانی بینائی) یا (تابینائی ناشی از خیره‌کنندگی) استفاده نمایید. این راحتی دید را نیز فراهم می‌نماید.

۲- ارتفاع منبع نور بزرگتر را برای تامین نسبت فاصله به ارتفاع نور مناسب مانند ۳/۵ برابر ارتفاع نور با چند قطب در هر مایل و برای از بین بردن آثار D.V.B و ناراحتی ناشی از خیره کنندگی بپذیرید.

۳- توصیه‌های G.I.E در مورد سطح میانگین و حداقل دید که باید برای تعادل دید برای رانندگی در شب فراهم شود را مدنظر قرار دهید.

۴- توصیه‌های A.S.A برای سطوح عملی مثل حداقل دید در یک رانندگی طبیعی را مدنظر قرار دهید.

۵- نسبت منطقی و معتدل فاصله به ارتفاع و پوشش توزیع نور

را برای تامین حداقل کافی دید بکار گیرد.
۶- لامپهای جدید و پیشرفته مانند لامپهای سدیمی با فشار بالا را برای فراهم کردن حداکثر تاثیر دهی استفاده نمائید.

انتخاب نوع لامپ برای منبع نور

انواع لامپهای زیر برای روشنائی خیابانها و بزرگراهها در دسترس هستند:

لامپ برقی یا رشته‌ای

این نوع لامپ زمانی عمومی‌ترین منبع نور برای روشنائی جاده‌ها بوده است. رشته‌های بهم فشرده کنترل عالی و بازدهی بالای آنرا ممکن می‌سازد. این نوع لامپ کمترین قیمت را دارا بوده و نیاز به اجزاء و لوازم کمکی و ترکیب کننده جریان برق ندارد.

در هر حال سودمندی کلی آن از نظر اقتصادی در مقایسه با تعداد بالای جایگزینی سالانه و هزینه‌های انرژی آن از تمام لامپهای قابل دسترسی کمتر است.

لامپ با بخار جیوه

این نوع لامپ در سطح وسیعی در حال استفاده شدن است. سودمندی بالای آن در حدود دو برابر لامپ برقی است. در قدرت وات معادل لامپ جیوه‌ای دو برابر لامپ رشته‌ای نور تولید می‌نماید. این لامپ همچنین دارای عمر طولانی‌تری است که به مزایای آن در یک بررسی هزینه روشنائی کمک می‌نماید. خصوصیت نور مفید مثمایل به آبی لامپ بخار جیوه‌ای به خاصر ارزش زیبایی‌اش به مطلوبیت آن می‌افزاید. در جائی که نور سفید ترجیح دارد، لامپ جیوه‌ای فلورسنت توصیه می‌شود. لامپهای بخار جیوه‌ای به اجزاء و لوازم کمکی و قطعات ترکیب کننده جریان برق بیشتری نیاز دارند.

لامپ فلورسنت

مصرف این نوع لامپ بطور وسیعی برای روشنائی خیابانها خصوصاً برای استفاده در خیابانها مرکزی و تجاری شهر در حال افزایش است. این لامپ یک نور سفید ساطع می‌کند، جلوه جدیدی فراهم می‌نماید و تقریباً ۲/۵ برابر مفیدتر از لامپ رشته‌ای است. نور سفید آن طبیعی‌ترین نور را برای چشم انسان تولید می‌کند و مفیدترین لامپ قابل دسترس در ارتباط با تجهیزات انرژی است، هر چند به طور مطلوب و از نقطه نظر اندازه لامپ و وسائل کمکی مورد نیاز برای حفظ در هوای سرد با لامپهای رشته‌ای و جیوه‌ای قابل مقایسه نیست. هر دو نوع لامپ فلورسنت و بخار جیوه‌ای به ترانسی که شدت جریان بالای مورد نیاز برای روشن شدن را فراهم آوردند نیازمندند.

لامپ بخار سدیم

این واحد نوری مضار فراوانی دارد که بیشتر از منافع و ارزشهای آن می‌باشد. نور سدیم جلوه و شکل را آنقدر بدنما می‌کند که بندرت برای محلهای عبور پیاده‌ها توصیه می‌شود. نور باصطلاح زرد لامپ سدیم فراسایش در مناطق خطر آفرین مورد استفاده قرار گرفته است، گرچه لامپهای بخار سدیمی ۴۰۰ واتی با فشار زیاد یک رنگ کرمی داشته و نور خروجی بالائی هم رنگ کیفیت ارائه شده توسط لامپهای رشته‌ای دارد و آنها را برای استفاده در مناطق مهم خرید و فروش مناسب می‌سازد.

مقایسه اقتصادی لامپ

اطلاعات مقدار لومن خروجی، عمر مفید و قیمت برای انواع مختلف لامپ در مراجع ذکر شده‌است

تخمین‌زده می‌شود که بیش از ۷ درصد از وسائل مربوط به وسائط نقلیه موتوری بوسیله تصادف با پایه‌ها و نگهدارنده‌های چراغ‌های روشنائی از بین می‌رود. پایه‌ها و ستونهای شکننده برای کاهش چنین مخاطراتی توسعه پیدا کرده‌اند لیکن اینها نمی‌توانند در مناطق و خیابانهای شلوغ مراکز خرید مورد استفاده قرار گیرند.

روابط محاسبه روشنایی جاده

چنانچه قبلاً ذکر شد ارقام بدست آمده از منحنی‌های بازده می‌تواند برای محاسبه معدل قدرت شمع (لومن بر هر فوت مربع) برای جاده پیوسته و کامل بکار رود. فرمول زیر برای لامپ بدست آوردن این رقم بکار می‌رود:

$$\text{معدل قدرت شمع} = \frac{\text{ضریب نگهداری چراغ} \times \text{ضریب بازدهی} \times \text{لومنهای لامپ}}{\text{عرض جاده به فوت} \times \text{فاصله بین چراغها به فوت}} \qquad (۱-۲۲)$$

لومنهای لامپ ممکن است یکی از موارد زیر باشد:

۱- اولین لومن ساطع شده از لامپ اگر جواب مورد نظر در دوره نوردهی اولیه باشد.
۲- متوسط لومن ساطع شده از لامپ اگر جواب مورد نظر در دوره نوردهی در عمر منظور شده لامپ باشد.
۳- لومن لامپ در زمان تعویض آن وقتی گروهی از لامپها تعویض می‌گردند ارزش متوسط آنها باید ۸۰ درصد ارزش اولیه آنها باشد. نسبت ارزش لامپ در زمان تعویض می‌تواند از کارخانه سازنده لامپ بدست آید.

در واقع حداقل ۵۰ درصد سوددهی و نور خروجی لامپ باید از بین رفته باشد وقتی که سیستم روشنائی یک بزرگراه

بصورت مناسب نگهداری نمی‌گردد.

عوامل بوجود آوردن این وضع دو علت اصلی هستند:

۱- کاهش لومن لامپ: این یک خصوصیت منابع نور است. یک اطلاعات از منحنی کاهش لومن و منحنی عمر لامپ مخصوص مورد استفاده نیز است. با این اطلاعات یک طرح جایگزینی و تعویض لامپ می‌تواند تنظیم شود. عمل تعویض لامپ اتفاقی در زمانیکه می‌سوزد نیز در بعضی مواقع می‌تواند انجام گیرد. در هر حال بزرگراهها که فواصل لازم برای طی کردن بوسیله گروههای تعویض کننده بزرگ است از نظر اقتصادی تعویض گروهی لامپها در پایان عمر مفیدشان به صرفه است.

۲- کثیفی، گردوغبار و استهلاک: این یک امر بدیهی برای چراغ و لوازم آن است. تصور حذف نیاز به تمیز کردن این تجهیزات غیر واقعی است.

ارتباط متقابل تعویض لامپ و جدول برنامه تمیز کردن هر دو معمول و منطقی هستند در هر حال با تعویض لامپ مناسب و جدول برنامه تمیز کردن خوب است که یک ضریب نگهداری خوب بکار ببریم، ترجیحاً با توجه به مقدار نور تولید شده و مورد نیاز می‌توان ضریب نگهداری مناسب را تخمین زد.

۳- فواصل بین چراغها: این فواصل معادل فاصله بین چراغهااست در صورتیکه چراغها در یک طرف خیابان نصب شده باشند و معادل نصف طولی چراغها است وقتی که چراغها در دو طرف و مقابل هم قرار گرفته باشند.

فصل ۲۳
تقاطع

شبکه خیابانها و جاده‌های موجود با یک مجموعه مرکب از اجزاء مرتبط بهم کار می‌کند. مشخصات کاربردی این سیستم بصورت ارگانیک به تعداد و انواع استفاده کنندگان از خدمات آن بستگی دارد. بطور خاص این موضوع در مواقعی که اجزاء این سیستم بیکدیگر می‌رسند یعنی تقاطع صحت دارد. زمانیکه حجم ترافیک افزایش و یا تغییر می‌یابد همانند افزایش در تعداد تریلی‌ها و یا اتوبوسها و یا هر دو - معمولاً اولین محلی که عدم توانایی خود را در دادن خدمات به تقاضای اضافه شده و یا جانشین شده نشان می‌دهد تقاطع است. این موضوع خیلی زود با افزایش تراکم و تاخیرات و مشاهده یک تصادف که وضع را بدتر می‌کند روشن می‌گردد. از آنجا که تقاطع یک نقطه برخورد فشرده است که معمولاً با ظرفیت و سطح سرویس پائین‌تر از هر یک از قطعات راهی که به آنها خدمات می‌دهد کار می‌کند این وقایع منطقی است.

وقتی معلوم می‌شود که یک تقاطع در واقع به یک گلوگاه تنگ برای عمل کردن مطلوب سیستم مجاور جاده تبدیل شده‌است، باید یک مطالعات جزیی از توانائیهایی فیزیکی و کاربردی و محدودیتهای آن بعمل آید. براساس این مطالعات می‌توان تصمیمات مقتضی در رابطه با موجودیت و درجه اصلاح ممکن و یا به مورد اتخاذ نمود.

در برخورد با این نوع تقاطع و یا سایر مناطق با تغییرات محدود معمولاً اصلاحات نقطه‌ای یا لکه‌ای ترجیح داده می‌شود. اصلاحات لکه‌ای بدو سطح، فرعی (محدود) و اصلی (توسعه یافته) تقسیم می‌گردد. اصلاحات لکه‌ای فرعی آن دسته از اصلاحات هستند که همراه با حق عبور از ملک دیگران موجود و با هزینه کم صورت می‌گیرند. مثالهای این اصلاحات فرعی شامل نصب ابزار کنترل ترافیک، کانالیزه کردن، خطوط گردش براست و گردش به چپ، کنترلهای توقف کردن و روشنائی جاده‌ها می‌گردد. اصلاحات لکه‌ای اصلی معمولاً به خرید حق عبور از ملک دیگران به میزان بیشتری و هزینه مقدار بیشتری پول نیاز دارد. مثالهای اصلاحات لکه‌ای اصلی شامل جداسازی سطح عبور وسائط نقلیه و پیاده‌ها، دوباره سازی تقاطع، تعویض و تقسیم سازی خیابانهای منتهی به تقاطع و خرید حق عبور از ملک دیگران برای توسعه سطح تقاطع می‌گردد.

کنترل‌های تقاطع

ملاحظات عمومی

تقاطع یک منطقه بحرانی در استفاده موثر از خیابانها و بزرگراههاست. تقاطع نقطه مرکزی برخوردها و تراکم است زیرا که معمولاً بین دو یا چند جاده مشترک است. به موازات افزایش تناوب و تعداد برخوردها در تقاطع، کنترل و تنظیم حرکت‌ها بیشتر ضروری می‌گردد.

بعضی تقاطعات برای معرفی حق تقدم عبور وسائط نقلیه، کاهش سرعت وسائط نقلیه ورودی به تقاطع، محدود نمودن حرکات چرخشی، معرفی چگونگی استفاده از خطها و کانالیزه کردن تردد پیاده و سواره نیاز به کنترل دارند.

کنترل مناسب تقاطع برای تامین اهداف زیر بکار گرفته می‌شود:

۱- توسعه در ظرفیت تقاطع
۲- کاهش و جلوگیری از حوادث
۳- ایجاد و محافظت از خیابانهای اصلی

توسعه در ظرفیت تقاطع . بدلیل اینکه برخورد حرکات مختلف در تقاطعات بوقوع می‌پیوندد معمولاً ظرفیت تقاطع کمتر از مسیرهای منتهی به آن است کنترلهای تقاطع از راههای گوناگون برای افزایش ظرفیت تقاطع بکار گرفته می‌شود. بطور مثال محدودیت توقف در مجاورت تقاطع خطوط بیشتری برای وسائط در حال حرکت تامین می‌نماید، محدود نمودن گردش به چپ برخوردها را با تلاطم وابسته به آنها در عمل کاهش می‌دهد، استفاده از علائم ترافیکی برای واگذاری منظم حق تقدم عبور به حرکتهای دارای برخورد می‌تواند تاثیر این برخوردها را کاهش داده و در نتیجه ظرفیت را افزایش دهد.

کاهش و جلوگیری از حوادث . عبور، همگرایی و واگرایی حرکات جریان ترافیک در تقاطع به میزان قابل توجهی خطرناشی از حوادث را افزایش می‌دهد. بیش از یک سوم تصادفات و حوادث ترافیکی در تقاطعات مناطق شهری روی می‌دهد. نزدیک به ۲۵ درصد از تمام تصادفات حدود ۱۵ درصد از حوادث ترافیکی در تقاطعات مناطق خارج از شهر روی می‌دهد. کنترل مناسب، سرعت، جانمائی وسائط نقلیه و زمانبندی حرکات می‌تواند کمک مهمی به کاهش بسیاری از انواع تصادفات در تقاطعات بنماید که آنها عبارت از: راست گوشه، شاخ به شاخ شدن، برخورد جانبی و تصادم پیاده با وسائط نقلیه می‌باشند.

ایجاد و محافظت از خیابانهای اصلی . کنترل تقاطعات بیشتر حرکت ممتد در طول جاده اصلی با سرعتهای بالاتر را تامین نموده و ایمنی را افزایش می‌دهد. ایجاد خیابانهای اصلی جریان ترافیک را به استفاده از آنها ترغیب می‌نماید. این امر ایمنی بیشتری برای استفاده کنندگان از خیابانهای فرعی مجاور بواسطه کاهش و حذف وسائط نقلیه موجود در طول این خیابانها فراهم می‌نماید.

وظیفه اصلی مسیر مستقیم تمرکز و تسهیل ترافیک روی یک مسیر و حفاظت این نوع ترافیک از ترافیک راههای همجوار که برای حجم بالا و با سرعت زیاد ترافیک مستقیم نا مناسبند می‌باشد. بعضی مزایای مسیرهای مستقیم عبارتند از:

۱- تاخیرات در ترافیک مستقیم کاهش می‌یابند.

۲- کنترل ترافیک روی خیابانهای مجاور برای ترافیک کلی و اصلی مناسب‌تر است، بهمین جهت تاخیرات را روی این نوع ترافیک کاهش می‌دهد.

۳- تناوب تصادف روی تمام مسیرها کاهش می‌یابد.

۴- بدلیل کنترل کافی، ظرفیت در مسیر افزایش می‌یابد.

- مضرات مسیرهای مستقیم عبارتند از:

۱- سرعت افزایش یافته در ترافیک مستقیم ممکن است باعث افزایش تصادفات سخت ترافیکی گردد.

۲- جریان حرکت وسائط نقلیه و پیاده قطع کننده مسیر مستقیم ممکن است در تناوب ترافیک سنگین در مسیر مستقیم با تاخیر مواجه شوند.

در معرفی مسیرهای مستقیم، حجم ترافیک مجاز و روشنی عنوان نشده است، گرچه یک نظریه پیشنهادی این است که یک خیابان تا زمانیکه در یک روز معمول هفته و در دو جهت خود بطور متوسط حداقل ۳۰۰ وسیله در ساعت و در ساعت اوج ۴۵۰ وسیله در ساعت در طول طراحی شده‌اش عبور ندهد بعنوان یک مسیر مستقیم مجاز شناخته نمی‌شود.

انواع کنترل تقاطع

انواع روش‌ها برای کنترل برخورد حرکتها در تقاطعات که شامل موارد زیر می‌گردد می‌تواند مورد استفاده واقع گردد، این روش‌ها به منظور افزایش میزان کنترل و محدودیت ارائه شده‌اند:

قانون اصلی حق تقدم عبور . قوانین اصلی حق تقدم عبور برای محدودیت و کنترل ترافیک وسائط نقلیه و پیاده در تقاطعات کنترل نشده عبارتند از:

۱- راننده یک وسیله نقلیه که در حال نزدیک شدن به تقاطع است باید حق تقدم وسیله‌ای راکه از مسیر دیگر وارد تقاطع شده است رعایت نماید.

۲- زمانیکه دو وسیله نقلیه از دو مسیر مختلف همزمان وارد تقاطع می‌گردند راننده وسیله‌ای را که از مسیر دیگر وارد تقاطع شده است رعایت نماید.

۳- راننده‌ای که تصمیم به گردش به چپ دارد باید حق تقدم عبور هر وسیله‌ای که از روبرو می‌آید را رعایت نماید.

۴- در تقاطعاتی که هیچ علامتی ندارند، عابر پیاده بعد از ورود به خط عابر پیاه - چه خط کشی شده و یا نشده باشد - حق تقدم عبور دارد.

در واقع این نوع کنترل فقط برای تقاطعات فرعی که مسافت دید کافی دارند مناسب است.

علامت حق تقدم عبور . هر راننده‌ای که به علامت حق تقدم نزدیک می‌گردد ملزم به کاهش سرعت و رعایت حق تقدم هر

وسیله نقلیه‌ای است که وارد تقاطع شده و یا بطوری نزدیک تقاطع می‌شود که در صورت ورود این راننده خطری به وقوع می‌پیوندد می‌باشد. وسائط نقلیه‌ای که بوسیله علام حق تقدم کنترل می‌گردند فقط تا زمان مورد نیاز برای احتراز از تصادم و تداخل با وسائط نقلیه‌ای که حق تقدم عبور دارند ملزم به توقف می‌باشند. علامت حق تقدم ابتدا در سال ۱۹۵۱ در این کشور مودر استفاده قرار گرفت. این علامت یک کنترل بین علامت توقف و قانون اصلی حق تقدم را ارائه می‌دهد.

دفترچه ملی ابزار یکنواخت کنترل‌ترافیک (*M. U. T. C. D*) برای اولین بار علامت حق تقدم عبور را در چاپ ۱۹۶۱ خود تجویز می‌نماید. این اجازه در آن دفترچه که در حال اجرا است بطور اصولی تغییری نکرده و در جزئیات آن به بحث پرداخته شده است.

ایست دو طرفه . عامل اصلی برای تقاضای علائم حق تقدم سرعت مناسب و ایمنی ترافیک در مسیر فرعی است وقتیکه این سرعت از ۱۶/۵ کیلومتر بر ساعت بیشتر باشد مسیر فرعی با یک علامت حق تقدم کنترل می‌گردد و در زمانی که این سرعت از ۱۶/۵ کیلومتر بر ساعت کمتر باشد یک تابلو ایست بکار می‌رود. آئین نامه بعضی ایالت‌ها با دفترچه ملی ابزار یکنواخت کنترل ترافیک کمی تفاوت دارد. به عنوان مثال ایالت نیویورک سرعت ۱۳/۲ کیلومتر بر ساعت را مبنای انتخاب علامت حق تقدم و یا ایست برای تجزیه سرعت ایمن ورود به تقاطع بکار می‌برد.

اجازه استفاده بیشتری نیز برای علامت حق تقدم پیشنهاد شده است. این پیشنهادات مبتنی بر حجم کلی ورودی به تقاطع، محدودیت مسافت دید و خطر تصادف می‌باشند.

علائم حق تقدم معمولاً نباید برای کنترل یک جریان ترافیک اصلی بکار رود. این علائم معمولاً نباید برای بیش از یکی از مسیرهای تقاطع مورد استفاده قرار گیرد. بهمین صورت این علائم نباید برای مسیرهایی که در مسیرهای جنبی آنها در تقاطع علامت ایست بکار رفته مورد استفاده قرار گیرد.

مطالعات روی آثار و نتایج علائم حق تقدم در مراجع یافت می‌گردد.

هر راننده‌ای که به علامت ایست می‌رسد تا قبل از حصول اطمینان نسبت به اینکه تقاطع برای ورود ایمن است موظف به توقف کامل است. بنابراین علامت ایست برای وسائط نقلیه موتوری زحمت جدی ایجاد نمی‌نماید. مهم است که این نوع کنترل صرفاً در محلهای مجاز همانطوریکه در دفترچه ملی ابزار یکنواخت کنترل ترافیک اشاره شده مورد استفاده قرار گیرد.

علامت توقف عموماً در یک مسیر اصلی که یک مسیر اصلی دیگر را قطع کرده بکار می‌رود. این علامت همچنین ممکن است یک نوع کنترل موثر در یک تقاطع بدون چراغ در یک منطقه‌ای که ترافیک با چراغ کنترل باشد. عواملی مانند، سرعت بالای ورود به تقاطع، محدودیت مسافت دید و تصادفات جوی ممکن است بر نیاز به علامت ایست تاکید داشته باشند. روشن شده است که تابلوی ایست برای محلهایی که در یک روز متوسط که حدود ۸ ساعت یا بیشتر است - حجم ترافیک خیابان اصلی به میزانی است که حداقل ۵۰ درصد وسائط نقلیه عبوری از خیابان فرعی دچار تاخیر می‌گردند مجاز شمرده می‌شود.

این ضابطه بدلیل نیاز به تعیین توزیع فواصل عبور در خیابان اصلی برای تامین عبور ایمنی وسائط نقلیه عبوری از مسیر فرعی و نیاز به شمارش وسائط نقلیه در هر دو مسیر در بخش مناسبی از روز در عمل با پیچیدگی روبرو است.

ایست چند طرفه . این نوع کنترل به عنوان یک ابزار ایمن در بعضی نقاط مفید واقع می‌گردد عیب آن این است که تمام وسائط نقلیه‌ایکه به تقاطع نزدیک می‌گردند باید قبل از عبور از تقاطع به حالت توقف کامل درآیند. هنگامیکه وسائط نقلیه در حال توقف هستند تصمیم راننده، برای حرکت توسط قانون حق تقدم تنظیم می‌گردد. ضوابط برای استفاده از ایست چند طرفه بطور مشروح در دفترچه یکنواختی ابزار کنترل ترافیک (*M. U. T. C. D*) توضیح داده شده است. ایست چند طرفه ممکن است برای تقاطعاتی که نیاز به چراغ راهنمایی دارند -لیکن این چراغها نمی‌توانند سریعاً نصب شوند به عنوان یک ابزار موقتی مورد استفاده قرار گیرد. ضوابط برای این نوع کنترل در حال نزدیک شدن به توافق هستند، به بیان بهتر، ضوابط چراغهای راهنمائی که در آنها حداقل حجمهای ترافیک و ترکیب پیاده رو و حجمهای ترافیکی که برای توجیه این نوع کنترل لازم است در حال نزدیک شدن بیکدیگر هستند. ایست دو طرفه که بیشتر معمول است به این میزان اجازه برای استفاده ندارد.

تعدادی از آزمایشات ایست چهار طرفه در منابع گزارش شده است.

چراغهای راهنمایی ترافیک . به موازات توسعه محدودیت‌ها در تردد استفاده از چراغهای راهنمایی گسترش می‌یابد که این چراغها بصورت مرتب استفاده از تقاطع را به جریانهای مختلف

ترافیک تخصیص می‌دهد. حق تقدم عبور با جدا سازی زمان عبور مسیرهای دارای برخورد رعایت شده است.

از آنجائیکه چراغ راهنمایی بصورت منظم حق تقدم را بر حرکتهای متقابل توزیع می‌کند تاخیر معینی را بر وسائل عبوری از تقاطع اعمال می‌نماید. خیلی مهم است که یک چراغ راهنمایی قبل از پیشنهاد شدن کاملاً توجیه شده باشد. دفترچه یکنواختی ابزار کنترل ترافیک (*M. U. T. C. D*) ۸ ضابطه را بصورت مختلف و با جزئیات بیان می‌کند بطوریکه هر چراغ راهنمایی قبل از نصب باید حداقل یکی از آن ضوابط احراز کرده باشد. این ضوابط به عوامل زیر مرتبط می‌گردد:

۱- حداقل حجم وسائط نقلیه
۲- قطع جریان پیوسته ترافیک
۳- حداقل حجم پیاده
۴- عبور دانش آموزان
۵- گروهی کردن ترافیک
۶- آمار تصادفات
۷- روش‌ها و امکانات
۸- ترکیب ضوابط

هرکدام از این ضوابط مختصراً در زیر توضیح داده شده‌اند. برای جزئیات بیشتر به بخشهای مرتبط در دفترچه یکنواختی ابزار کنترل ترافیک (*M. U. T. C. D*) مراجعه نمائید.

ضابطه ۱- حداقل حجم وسائط نقلیه . برای هر هشت ساعت یک روز متوسط مجموع حجم ترافیک دو جهت اصلی حداقل ۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت (۶۰۰ در صورتی که بیش از یک خط عبور باشد) و حجم ترافیک جهت فرعی با ترافیک سنگینتر حداقل ۱۵۰ وسیله نقلیه در ساعت (۲۰۰ در صورتیکه بیش از یک خط عبور باشد).

ضابطه ۲- قطع جریان پیوسته ترافیک . برای هر هشت ساعت یک روز متوسط، مجموع حجم ترافیک دو جهت اصلی حداقل ۷۵۰ وسیله نقلیه در ساعت (۹۰۰ در صورتی که بیش از یک خط عبور باشد) و حجم ترافیک جهت فرعی با ترافیک سنگینتر حداقل ۷۵ وسیله نقلیه در ساعت (۱۰۰ در صورتیکه بیش از یک خط عبور باشد). این ضابطه برای زمانی است که تاخیر روی وسائل نقلیه‌ای که برای پیدا کردن فاصله مناسب در مسیر متقاطع متوقف شده‌اند زیاد شود.

ضابطه ۳- حداقل حجم پیاده . برای هر هشت ساعت یک روز متوسط، مجموع حجم ترافیک دو جهت اصلی حداقل ۶۰۰ وسیله نقلیه در ساعت (۱۰۰۰ در صورتی که قسمت جاده‌کننده وسط بصورت مرتفع و با عرض حداقل ۱/۲۰ متر وجود داشته باشد) و ترافیک عابرین پیاده در عرض شلوغ‌تر خیابان اصلی حداقل ۱۵۰ نفر در ساعت باشد. این ضابطه برای زمانی است که فاصله بین وسائط نقلیه و فراوانی آن کافی برای عبور پیاده‌ها از عرض خیابان نباشد.

ضابطه ۴- عبور دانش آموزان . در محلهای احداث مدرسه که مطالعات نشان از عدم کفایت فواصل عبور برای عبور این دانش‌آموزان از خیابان دارد ممکن است نصب چراغ راهنمایی مجاز شمرده شود. بطور خاص اگر فواصل عبور مناسبی در بین جریان ترافیک برای عبور بدون برخورد با ترافیک بطور متوسط کمتر از یک بار در دقیقه اتفاق افتد ممکن است دانش‌آموزان دچار بی‌تابی شده و برای عبور از خیابان در یک فاصله عبور ناکافی خود را به خطر اندازند. در چنین شرایطی بعضی از اشکال کنترل برای ایجاد فاصله عبور کافی در جریان ترافیک مورد نیاز است.

ضابطه ۵- گروهی کردن ترافیک . در خیابان‌های اصلی که دارای تقاطعهای زیاد و با فاصله کم می‌باشند و نصب چراغ راهنمائی در تمام تقاطعها، به دلیل توقفهای پی در پی و تاخیرهای زیاد، امکان پذیر نیست، با نصب چراغ راهنمائی در بعضی تقاطعهای بزرگتر (که فاصله آنها از ۳۰۰ متر کمتر نباشد) حرکت ترافیک را بصورت گروهی در می‌آورند. این عمل باعث می‌شود که توزیع فاصله‌های عبوری از حالت یکنواخت خارج شود و با بوجود آمدن فاصله عبوری طولانی‌تر در بقیه تقاطعها ترافیک مسیر دیگر بدون چراغ راهنمائی بتواند عبور کند.

ضابطه ۶- آمار تصادف . این ضابطه را با دقت بیشتری باید مورد استفاده قرار داد، زیرا چراغ راهنمائی بعنوان یک وسیله ایمنی همیشه موفق نبوده است. در شرایطی که چراغ راهنمائی خوب طرح شده باشد تعداد تصادف‌های ۹۰ درجه را تقلیل می‌دهد که معمولاً درصد زیادی از تصادف‌ها را تشکیل نمی‌دهد و غالباً تصادف‌ها از نوع جلو به عقب می‌باشد. این ضابطه در صورتی برقرار می‌شود که اولاً بقیه راههای چاره برای کم کردن

تعداد تصادف‌ها موثر واقع نشده باشد، ثانیاً حجم ترافیک موجود کمتر از ۸۰ درصد مقادیر داده شده در ضوابط ۱ و ۲ و ۳ باشد و به حرکت گروهی ترافیک (ضابطه ۴) نیز لطمه وارد نکند و ثالثاً تعداد تصادف‌هائی که در یک سال اتفاق افتاده و میزان خسارت و جراحت ایجاد شده در هر کدام از آنها از ۱۵۰۰۰۰ ریال بیشتر بوده حداقل ۵ باشد.

ضابطه ۷- سیستم چراغها . وقتی یک تقاطع جزئی از یک سیستم چراغهای راهنمائی باشد. اگر تقاطع دو یا چند مسیر اصلی در ساعت اوج یک روز هفته یا پنج ساعت یک روز تعطیل دارای حداقل حجم ترافیک ۸۰۰ وسیله نقلیه یا بیشتر است این ضابطه برقرار می‌شود. مسیر اصلی که از آن صحبت شد باید دارای یک یا چند مورد از خصوصیات زیر باشد:

- جزئی از سیستم خیابانها یا بزرگراهها که بعنوان شبکه اصلی ترافیک عبوری عمل می‌کند باشد.
- مناطق اصلی تولید ترافیک را به یکدیگر وصل کند.
- شامل راههای خارج شهری یا کنار شهری که وارد شهر می‌شوند یا از آن عبور می‌کنند باشد.
- دارای ورودی از بزرگراهها باشد.
- در یک نقشه رسمی که مثلاً از مطالعات ترافیک و حمل و نقل شهری به دست آمده است بعنوان مسیر اصلی در نظر گرفته شده باشد.

این موضوع بصورت تفصیلی در فصل ۲۴ مورد بررسی قرار گرفته است.

ضابطه ۸- ترکیب ضوابط . در بعضی مواقع یک ضابطه از (*M.U.T.C.D*) بطور کلی کافی نیست در این مواقع چنانچه شرایطی وجود داشته باشد که ترکیب سه عامل اول با حدود ۸۰ درصد از حجم واقعی ترافیک مطابقت داشته باشد یک چراغ راهنمایی قابل توجیه است. توصیه شده است که سایر ابزار قابل جایگزین و یا تکمیلی که باعث کاهش تاخیر در ترافیک گردد. قبل از نصب چراغ راهنمائی مورد بررسی قرار گیرد.

کنترل با افسر پلیس . کنترل حرکت در چهارراه توسط افسر پلیس گرانترین روش اعمال حق تقدم عبور است، در بعضی شرایط مثل قطع چراغهای راهنمایی در تقاطعاتی که معمولاً با این چراغها کنترل می‌گردند، تامین عبور ایمن برای مدارس، محلهایی که در زمانهای کوتاه حجم زیادی از اتومبیل و یا پیاده غیر معمولی برای ورود یا خروج به یک محل تجمع عمومی داریم (مانند محلهای مسابقات، استادیومها، سایر مراکز تفریحی و مراکز خرید) و در طول ساعت اوج ترافیک در مسیرهای انحرافی ممکن است کنترل تقاطع توسط افسر پلیس قابل توجیه باشد.

تعاریف

خیابان اصلی : در یک تقاطع خیابانی که معمولاً حجم اصلی ترافیک وسائط نقلیه را بطرف چهار راه عبور می‌دهد خیابان اصلی گویند.

خیابان فرعی:در یک تقاطع خیابانی که معمولاً حجم کمتر ترافیک وسائط نقلیه را بطرف چهارراه عبور می‌دهد خیابان فرعی می‌گویند.

علامت چراغ راهنمایی: دستگاه چراغ راهنمایی با یک چراغ و یا ترکیبی از چراغها در یک زمان را علامت چراغ راهنمایی می‌گویند

زمان چرخه: تعداد ثانیه‌های پیش بینی شده برای یک چرخش کامل چراغ از یک حالت به همان حالت یا یک دوره تناوب در چراغ را زمان چرخه می‌گویند.

زمان هر چراغ: هر یک از چند بخشی از زمان چرخه که در آن فاصله رنگ چراغها تغییر نمی‌کند را زمان یک چراغ گویند

زمانبندی چراغ: یک برنامه تنظیم شده قبلی برای زمان هر چراغ در طول یک چرخه کامل زمان بندی چراغ گویند.

فاز ترافیک (حرکت ترافیک): به یک بخش از زمان چرخه که در آن به یک یا ترکیبی از حرکتهای ترافیک اجازه استفاده یکسان از حق تقدم عبور در طول زمان یک چراغ یا چند چراغ را می‌دهد فاز ترافیک می‌گویند. یک حرکت ترافیکی می‌تواند به یک حرکت وسائط نقلیه بصورت مجزا، یک حرکت پیاده‌ها بطور مجزا و یا ترکیبی از حرکت وسائط نقلیه و پیاده‌ها اطلاق شود. حجم تمام فازهای ترافیک معادل زمان چرخه چراغ است.

زمان تخلیه تقاطع: زمانیکه رنگ چراغ جایگزین می‌شود (معمولاً زرد) که بدنبال زمان سبز می‌آید زمان تخلیه تقاطع نامیده می‌شود. این زمان در زمان چرخه فقط برای تخلیه تقاطع توسط وسائط نقلیه بعد از زمان سبز تعبیه شده است.

زمان تمام قرمز: زمان چراغ قرمز برای تمام ترافیک ورودی به تقاطع را زمان تمام قرمز می‌گویند. در بعضی مواقع این زمان برای تخلیه یک تقاطع بزرگ از وسائط نقلیه و پیاده‌ها قبل از حرکت سایر وسائط نقلیه در زمان سبزشان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بعضی مواقع زمان برای ایجاد یک فاز مخصوص پیاده‌ها بکار می‌رود.

زمانبندی چراغ برای یک تقاطع مجزا

اهداف زمان بندی چراغ

اهداف اصلی از زمانبندی یک چراغ عبارت از: حداقل نمودن تاخیر و تراکم در تقاطع و در طول مقطع از شبکه و یا مقاطعی از شبکه، و افزایش ایمنی برای تمام استفاده کنندگان از مسیر می‌باشد. بهره وری کامل از کنترل ترافیک بوسیله چراغ راهنمایی فقط زمانیکه آنها در حد امکان با نیازهای واقعی ترافیک مطابقت داشته باشند عملی است.

معمولاً زمان چرخه‌های کوتاه بدلیل کاهش در تاخیر وسائط نقلیه متوقف مورد نظر می‌باشد. طول زمان چرخه معمولاً بین ۳۰ تا ۱۲۰ ثانیه تغییر می‌کند لیکن آزمایش خوب انتخاب زمانی بین ۳۵ تا ۵۰ ثانیه برای تقاطع قائمه ساده که متوسط عرض تقاطع بین ۹ تا ۱۲ متر بوده و حجم ترافیک سنگین نیست را دیکته می‌نماید. در جائیکه خیابانهای تقاطع عریض‌تر هستند و الزاماً عبور پیاده‌ها از عرض بازمان بیشتری مواجه و یا حجم ترافیک سنگین بوده، و یا چرخش‌ها بطور اصولی تداخل می‌کنند، زمان چرخه بین ۴۵ تا ۶۰ ثانیه است. زمان چرخه تقاطعات با سه خیابان یا سه فاز بین ۵۵ تا ۸۰ ثانیه تغییر می‌کند.

حجم‌های سنگین‌تر وسائط نقلیه نیاز به زمان چرخه طولانی‌تر دارند زیرا جمع زمانهای سبز یا عبور آزاد برای ایجاد ظرفیت مناسب باید بزرگتر باشد. حجم زمانهای سبز درصد بیشتری از مجموعه زمان چرخه در زمان چرخه‌های طولانی‌تر را تشکیل می‌دهد زیراکه زمانهای تخلیه تقاطع معمولاً ثابت تعبیه می‌شوند.

تعدادی گزارش برای بهینه کردن عملکرد چراغ چاپ شده است.

زمانبندی یک چراغ ثابت

زمان بندی یک چراغ ثابت نیاز به فرض چند عامل دارد. این عوامل در پاراگرافهای زیر مورد بحث قرار گرفته‌اند.

فازبندی چراغ . تعداد فازهای مورد نیاز برای عملکرد مناسب و کافی یک تقاطع چراغ‌دار با ترکیب و جهت جریانهای ترافیکی به همان مقدار که با تعداد خیابانهای منتهی به تقاطع و موقعیت فیزیکی آن بستگی دارد متناسب است.

معمولاً بیشتر چراغهای راهنمایی با دو فاز کار می‌کنند که در آنها حق تقدم عبور بصورت متناوب به هر یک از دو حرکت عبوری اختصاص داده می‌شود. برای جداسازی برخوردها بین وسائط نقلیه و یا بین وسائط نقلیه و پیاده‌ها در تقاطعاتی که حجم سنگین و متراکم گردش به چپ دارند، یا حجم بالا و غیر معمول پیاده دارند و در تقاطعاتی که بیش از ۴ خیابان به آنها منتهی می‌شود ممکن است به یک نوع زمان‌بندی چراغ با بیش از دو فاز نیاز باشد.

هرجا ممکن است باید زمانبندی با بیش از ۲ فاز حذف گردد. زیرا هر افزایش فاز مدت زمان چرخه را افزایش داده و به تبع آن میزان تاخیر را افزایش می‌دهد.

زمان تخلیه تقاطع . منظور از تعبیه این زمان بعد از هر زمان سبز مجبور نمودن وسائط نقلیه مواجه با چراغ قرمز به یک توقف کامل و ادامه مسیر با ایمنی است. این زمان باید فرصت کافی برای تخلیه تقاطع قبل از شروع حرکت وسیله نقلیه طرف مقابل را تامین نماید. از نظر تئوری این زمان باید باندازه کافی طولانی باشد تا یک وسیله نقلیه اجازه حرکت با سرعت معمول در تقاطع و در مسافتی بطول معادل عرض خیابان از جدول تا جدول بعلاوه فاصله توقف ایمن بیابد. این زمان مورد نیاز است زیرا زمان باید آنقدر طولانی باشد تا یک وسیله نقلیه در حال حرکت که تنها چند متر کمتر از مسافت ایمن توقف با تقاطع فاصله داشته و با تغییر چراغ مواجه می‌گردد فرصت یابد تا عرض جاده بعلاوه فاصله ایمن توقف را بپیماید قبل از آنکه مسیر مقابل اجازه عبور با چراغ سبز را بیابد.

اگر زمان تخلیه خیلی طولانی باشد ممکن است به عنوان بخشی از زمان سبز مورد استفاده قرار گیرد و در این صورت هدف اصلی‌اش را از دست بدهد. اگر این زمان خیلی کوتاه باشد ممکن است باعث خطر و یا برخورد انتهای ترافیک باشد. در بیشتر تقاطع‌های شهری زمان تخلیه‌ای معادل ۳ ثانیه نتایج خوبی در بردارد. در مواقعی که سرعتها بالاست و یا اینکه عرض مسیر بطور خاص زیاد است ۴ تا ۶ ثانیه زمان تخلیه ممکن است مجاز باشد.

کتاب راهنمای مهندسی ترافیک رابطه زیر را برای تشکیل یک فاصله توقف مناسب و ایمن توصیه می‌نماید.

این رابطه از منابع استخراج شده است.

$$y = t + \frac{1}{2}\frac{v}{a} + \frac{W + L}{v} \qquad (۲۳-۱)$$

که در آن :

y = زمان تخلیه به ثانیه

t = زمان دید و عکس العمل به ثانیه، زمان مفروض یک ثانیه است.

v = سرعت ورود به تقاطع برای تخلیه به متر بر ثانیه
a = شتاب وسیله نقلیه تخلیه کننده تقاطع به متر بر ثانیه بتوان۲، مقدار مفروض ۵ متر بر ثانیه بتوان ۲
W = عرض تقاطع (از جدول تا جدول) به متر
L = طول وسیله نقلیه به متر، طول مفروض ۶/۵ متر

این رابطه براساس ضریب اصطکاک لغزشی حدود ۰/۵ استوار است.

مواقعی که زمان تخلیه حدود ۶ ثانیه در تقاطعات ترکیبی و یا عریض مورد نیاز است این امر باعث تحریک خستگی و ناشکیبایی در رانندگان که منتظر چراغ سبز هستند می‌گردد و ممکن است قبل از روشن شدن چراغ سبز شروع به ورود به تقاطع کنند. در این شرایط بدست آمده است که جایگزینی یک زمان کوتاه تمام قرمز بلافاصله بعد از زمان تخلیه «معمولاً ۱ یا ۲ ثانیه) و قبل از شروع زمان سبز بعدی برای تخلیه تقاطع مناسب است. قوانین اعمال کننده زمان تمام قرمز بصورت گسترده در ایالات مختلف تغییر می‌کند. بسیاری از ایالت‌ها ترافیک وسائط نقلیه را ملزم می‌کنند قبل از پایان زمان تمام قرمز تقاطع را تخلیه نمایند و در حالیکه بعضی دیگر به وسائط نقلیه در طول زمان قرمز بطور قانونی اجازه ورود به تقاطع را می‌دهند. دیگران قوانینی بین دو مثال فوق دارند. «ترافیک مواجه شده با چراغ زرد قبل از نزدیک‌ترین خط عابر پیاده در تقاطع توقف خواهند کرد لیکن اگر این توقف بصورت ایمن ممکن نباشد یک وسیله ممکن است با احتیاط از تقاطع عبور داده شود.»

در آزمایشات گزارش شده انگلیس تقریباً تمام زمانهای تمام قرمز به عنوان افزایش و توسعه زمان سبز استفاده شده است. وضعیت ایالات متحده همانطوریکه درکتاب راهنمای مهندسی ترافیک آمده است بدینصورت است که معمولاً بهیچ وسیله‌ای در زمان زرد اجازه ورود به تقاطع نمی‌دهند اگر چه در شرایط حداکثر جریان ترافیک این امر صحت ندارد. مطالعات بر اساس چگونگی استفاده رانندگان از زمان تخلیه انجام شده است. یک کار قبلی این اطلاعات را از محلهای مختلف جمع آوری نموده و معادله همگرایی زیر را بدست آورده است.

$$y' = ۱/۳۲ + ۰/۰۳/۴۷$$

که در آن:
y' = زمان زرد موثر که بعنوان سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد،ثانیه
v = سرعت ورود به تقاطع به کیلومتر بر ساعت

نیازمندیهای پیاده‌ها . به عنوان یک اصل کلی در زمان بندی چراغ راهنمایی هیچ زمان سبزی نباید کوتاهتر از زمان مورد نیاز برای گروه پیاده‌ها که منتظر شروع حرکت ایمن برای عبور از تقاطع هستند باشد مگر اینکه یک زمان عبور پیاده انحصاری برای پیاده‌ها نیز تعبیه شده باشد. آزمایشات روی زمانبندی چراغهای راهنمایی نشان داده است که تا آنجا که به حرکت وسائط نقلیه در زمانهای غیر اوج مربوط می‌گردد در زمان سبز کوتاه تا ۱۵ ثانیه کارایی و بازده عالی قابل حصول است. اگر چه معمولاً زمان سبز باید مقداری طولانی‌تر باشد تا به پیاده‌ها فرصت برای عبور ایمن از جاده را بدهد.

در جائیکه زمان عبور پیاده‌ها همساز با زمان سبز وسائط نقلیه -که امری معمول است- می‌باشد، زمان سبز کلی باید بحد کافی - تا جائیکه حداقل ۵ ثانیه برای شروع حرکت پیاده‌ها منظور شود (زمان شروع حرکت پیاده‌ها) و زمان اضافی لازم برای رسیدن پیاده‌های وارد شده به تقاطع به محلی امن با یک زمان اضافی برای تخلیه تقاطع توسط وسائط نقلیه - طولانی باشد. بنابراین اگر ۱۴ ثانیه برای بیشترین زمان مورد نیاز جهت عبور پیاده‌ها منظور شده و زمان تخلیه وسائط نقلیه ۳ ثانیه فرض شود زمان کلی سبز باید حداقل برابر ۱۶ = ۳ - ۱۴ + ۵ ثانیه: باشد سرعت راه رفتن پیاده‌ها معمولاً با معدلی بین ۱/۰۵ تا ۱/۲ متر بر ثانیه برای عبور از تقاطع منظور می‌گردد.

در خیابانی که توقف وسائط نقلیه در کنار خیابان ممنوع است باید زمان کافی برای عبور پیاده‌ها در طول جدول به جدول تقاطع فراهم گردد. در جائی که توقف در کنار خیابان مجاز باشد صرفاً تامین زمان کافی برای عبور پیاده‌ها از مسافت قابل پیمودن ضروری است. این عمل سبز مورد نیاز را تا حدود ۲ ثانیه کاهش می‌دهد.

در بسیاری از چراغهای نصب شده در مناطق شهری حجم ترافیک وسائط نقلیه نیست که حداقل زمان‌های عبور را تعیین می‌کند بلکه نیازمندیهای پیاده‌ها تعیین کننده آن است. این امر خصوصاً در تقاطعات عریض که وسائط نقلیه سریعتر از پیاده‌ها آنرا تخلیه می‌کنند صادق است. در بسیاری از مناطق شهری عامل پیاده باید وارد محاسبات شده و مورد نظر قرارگیرد.

در محلهایی که چراغهای راهنمایی پیاده (حرکت - توقف) مورد استفاده یک زمان حرکت یا عکس العمل برابر ۷ ثانیه برای تامین زمان کلی عبور پیاده‌ها توصیه شده است و زمان تخلیه وسائط نقلیه از زمان کلی برای عبورکسر می‌گردد تا حداقل زمان سبز را معین کند.

در یک خیابان با یک جزیره وسط با حداقل ۱/۲ متر عرض

صرفاً تامین زمان کافی برای تخلیه پیاده‌ها از کنار جدول تا جزیره وسط ضروری است. در هر صورت اگر چراغ فاز معینی برای پیاده‌ها دارد، ممکن است نصب یک چراغ در جزیره وسط ضروری باشد.

فاصله زمانی وسائط نقلیه ورودی به یک تقاطع با چراغ راهنمایی . حداقل حرکت پیشرونده، فاصله زمانی بین وسائط نقلیه متوالی که در حال انتظار در خط چراغ راهنمایی بوده و یا وارد تقاطع می‌گردند را تعیین می‌کند. وقتی یک خط ممتد از وسائط نقله منتظر سبز شدن یک چراغ هستند یک تاخیر ابتدائی برای اولین گروه وسائط نقلیه‌ای که با فواصل معادل یکدیگر را تعقیب می‌کنند وجود دارد. معدل حداقل پیشروی بسته به تعداد حرکتهای چرخشی، کیفیت ترافیک، شرایط توقف و سایر عوارض تغییر می‌کند. نتایج مطالعات تفصیلی روی فواصل پیشروی حرکت توسط گرین شیلدز گزارش شده است.

برای وسائط نقلیه در حال انتظار برای سبز شدن چراغ روشن شده است که زمانهای ورود نشان داده شده در جدول ۱-۲۳ برای هر وسیله نقلیه عبوری مورد نیاز است. حرکتهای عبوری از تقاطع شامل وسائط نقلیه دارای گردش به چپ نبوده است.

همچنین روشن شده است که هر حرکت گردش به چپ وسیله نقلیه باعث ایجاد و افزایش تاخیر نه تنها در مسیر خودش بلکه در جریان ترافیک مقابل هم می‌گردد. نتایج مطالعه نشان داده است که هر حرکت گردش به چپ بدون توجه به جهت آن حدود ۱/۳ ثانیه زمان اضافی تلف می‌کند و هر اتوبوس و یا تریلی در گردش به چپ حدود ۱/۵ برابر یک وسیله نقلیه سواری زمان تلف می‌نماید. بنابراین با فرض ده وسیله نقلیه در مسیر و تقاطع که سومی یک اتوبوس و هشتمی یک تریلی و ۲ تا دارای گردش به چپ می‌باشند زمان کلی مورد نیاز برای این ده وسیله جهت ورود به تقاطع برابر خواهد بود با:

$$(2/1\times1/5) + (2\times2/1) + 2/4+2/2+ (2/7\times1/5) + 3/1+3/8+2+1/3\times2 + (2\times2/1) = 29/7$$ ثانیه

این محاسبه صرفاً زمان لازم برای ورود وسائط نقلیه به تقاطع را ارائه می‌دهد. به این مقدار زمان سبز باید زمان تخلیه نیز اضافه شود تا به وسائط نقلیه اجازه دهد قبل از دریافت چراغ سبز توسط ترافیک طرف مقابل تقاطع را تخلیه نمایند.

چنانچه فرض کنیم تمام وسائط نقلیه نشان داده شده در جدول ۱-۲۳ در یک فاصله زمانی مساوی و معادل ۲/۱ ثانیه

جدول شماره ۱-۲۳. میانگین فواصل پیشروی در یک تقاطع با چراغ راهنمایی

زمان سبز تلف شده بطور متوسط	تعداد وسیله نقلیه در خط حرکت
۳/۸	۱
۳/۱	۲
۲/۷	۳
۲/۴	۴
۲/۲	۵
۲/۱	۶ و بیشتر

حرکت نمایند زمان مورد نیاز برای ۵ وسیله اول برای عبور ۱۰/۵ = ۵ × ۲/۱ ثانیه خواهد بود در حالیکه در واقع این میزان ۱۴/۲ ثانیه بوده است. بنابراین زمان ۳/۷ ثانیه اضافی ممکن است برای نشان دادن تاخیر شروع باشد که در هر فاز سبز برای شروع مورد نیاز است. محاسبه زمان مورد نیاز در این روش مانند این است که بگوئیم زمان سبز مورد نیاز برای وسیله نقلیه برابر (۳/۷ + ۲/۱) ثانیه است. اگر بخواهیم دقیق شویم این رابطه فقط برای ۵ صادق است. برای بیشتر چراغها، زمان سبز به میزان کافی طولانی هستند که حداقل ۵ وسیله نقلیه بتواند عبور نماید. منطقی است که از رابطه (۳/۷ + ۲/۱) برای محاسبه زمان سبز مورد نیاز در تعیین زمان چرخه استفاده نمائیم.

مطالعات دیگر روی فاصله زمانی وسائط نقلیه تغییراتی در فاصله زمانی وسائط نقلیه نسبت به آنچه ابتدا توسط گرین شیلدز گزارش شده بود نشان داده است.

بطور مطلوب زمانیکه ملزومات طول زمان چرخه پیشرفت و توسعه می‌نماید اطلاعات مربوط به شروع حرکت در تقاطع مورد مطالعه نیز باید جمع‌آوری شود. عموماً مقادیر نشان داده شده در جدول برای معدل بسیاری از وضعیت‌ها منطقی است و برای توسعه طول زمان چرخه قابل قبول مجاز است.

تعیین طول زمان چرخه مناسب . چرخ دنده‌های دایره‌ای شکل برای کنترل چراغهای قابل زمانبندی تجهیزه شده و به عنوان یک وسیله استاندارد با مضربی از ۵ ثانیه برای زمان چرخه تا ۹۰ ثانیه و با مضربی از ۱۰ ثانیه برا زمان چرخه از ۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه بکار می‌روند. چرخ دنده‌های مخصوص برای زمانهای چرخه جزیی‌تر مورد نیاز است که گردان هستند. برای رعایت صرفه اقتصادی زمان چرخه باید نزدیک به مضربی از ۵ و یا ده ثانیه بسته به طول زمان چرخه انتخاب گردد.

زمان چرخه بهینه باید به ترافیک امکان عبور از تقاطع با حداقل تاخیر را بدهد. در تعیین تعداد وسائط نقلیه‌ای که با زمان

سبز حرکت می‌کنند لازم است که نه تنها تعداد وسائط نقلیه‌ای که در زمان قرمز منتظر سبز شدن آن می‌مانند بلکه وسائط نقلیه‌ای که در زمان سبز به تقاطع می‌رسند را نیز باید شمرد (همانطوریکه در زمان تخلیه عمل می‌شد)، بنابراین زمان چرخه کلی باید برای تعیین تعداد وسائط نقلیه‌ای که از یک زمان سبز عبور می‌کنند بکار رود.

در زمان بندی چراغ بسیار لازم است که تنوع و تغییرات در جریان ترافیک در طول ساعات اوج مورد نظر قرار گیرد. یک زمان اوج ۱۵ دقیقه‌ای به عنوان کوتاهترین زمان عملی برای اعمال این تغییرات منظور شده است. ضریب ساعت اوج (*PHF*) از نسبت تعداد وسائط نقلیه وارد شده در تقاطع در زمان اوج ۱۵ دقیقه‌ای بدست می‌آید. چنانچه جریان ترافیک در طول ساعت اوج یکنواخت باشد، بنابراین هر ۱۵ دقیقه مقدار ترافیک مشابهی را عبور می‌دهد و ضریب ساعت اوج برابر یک خواهد بود، $PHF = 4N/4N = ۱$ با فرض دیگر چنانچه تمام ترافیک ساعت اوج در ۱۵ دقیقه اوج عبور کنند ضریب ساعت اوج برابر ۰/۲۵ است. ($PHF = N/4N = ۰/۲۵$) در بیشتر مواقع ضریب ساعت اوج برابر ۰/۸۵ است. بنابراین جریان ترافیک در طول ۱۵ دقیقه اوج برابر است با $\frac{N}{۴} \times ۰/۸۵ = ۰/۲۹۴$ و یا حدود ۰/۳ که معدل حجم جریان ترافیک در ساعت اوج است. استفاده از فواصل زمانی ارائه شده در جدول ۱-۲۳ ممکن است یک معدل تقریبی فاصله عبور برای هر وسیله نقلیه را توسعه دهد. در استفاده برای تعیین زمان چرخه نمودار ۱-۲۳ معدل فاصله عبور برای هر وسیله را به عنوان یک تابعی از تعداد وسائط عبوری نشان می‌دهد. نمودار ۲-۲۳ معدل فاصله عبوری برای هر وسیله را به عنوان تابعی از زمان سبزنشان می‌دهد. از نموداری آخری می‌توان مشاهده کرد که برای زمان سبزهای بین ۲۰ تا ۳۰ ثانیه معدل فاصله عبور برای هر وسیله نقلیه بین ۲/۴ تا ۲/۵ ثانیه است.

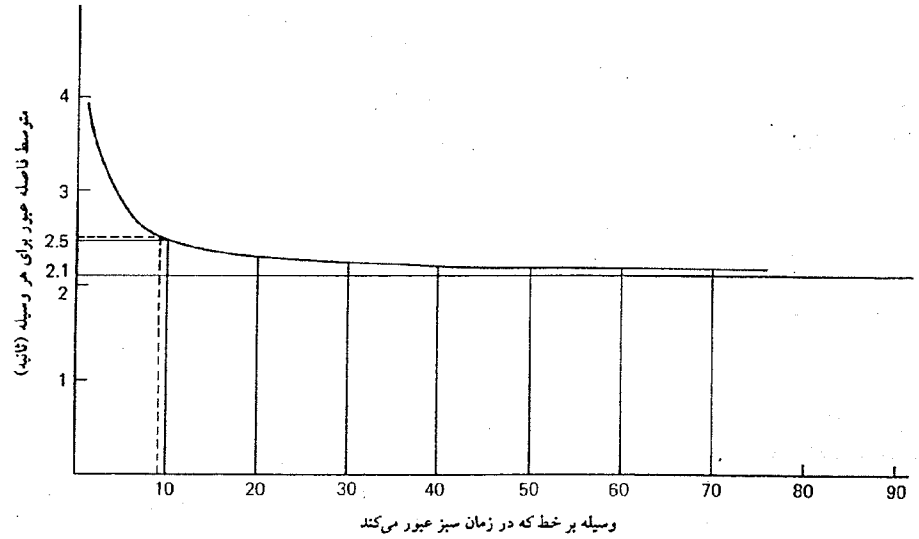
چنانچه تقریباً فواصل، معادل مورد نظر باشد این مقدار فاصله عبور برای چراغهای دو فازی با زمان چرخه بین ۴۰ تا ۶۰ ثانیه و چراغهای سه فازی با زمان چرخه ۶۰ تا ۹۰ ثانیه منطقی است. این معمول‌ترین زمان چرخه در چراغهای زمان بندی شده است. چنانچه معلوم شود که زمان چرخه و یا زمان سبز خیلی طولانی‌تری نیاز است باید فاصله عبور کمتری (از نمودار ۲-۲۳) مورد استفاده قرار گیرد. برای اهداف نور پردازی معدل فاصله عبور ۲/۵ ثانیه برای هر وسیله عبوری منظور می‌گردد مگر اینکه مقدار دیگری معین شده باشد.

همانگونه که قبلاً یادآوری شد وسائط نقلیه گردش به چپ و وسائط نقلیه تجاری نیاز به زمان سبزی بیشتر از سواری‌های مسیر مستقیم عبوری دارند. یک روش حل این مشکل قبلاً ارائه شده بود. آن روش نیاز به معلوماتی از تعداد وسائط نقلیه عبوری از هر چرخه را دارد. این تابعی از زمان چرخه است و نمی‌تواند قبلاً تعیین شود مگر اینکه یک زمان چرخه تقریبی قبل از آن تعیین شده باشد.

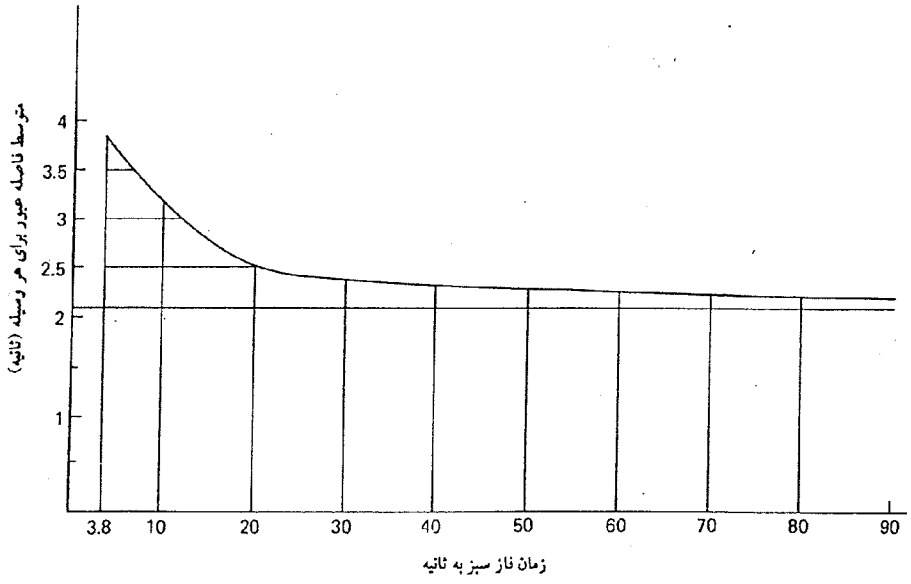
روش مورد عملی برای محاسبه آثار منفی وسائط نقلیه تجاری و حرکت‌های دارای گردش روی زمان شروع حرکت یا متوسط فاصله عبور- در تعیین زمان چرخه - تبدیل نمودن حجم وسائط نقلیه که بصورت ترکیبی از وسائط نقلیه عبوری و درصد گردش به چپ و وسائط تجاری است به سواری عبوری با حرکت مستقیم می‌باشد. این روش تمام وسائط نقلیه عبوری را به معادل سواری تبدیل می‌نماید (*pce*). در این روش هر سواری عبوری (غیر گردش به چپ) معادل یک *pce* است. اتوبوس‌ها و کامیونها معادل *pce* ۱/۵ منظور شده‌اند زیرا که زمان شروع حرکت آنان ۱/۵ برابر زمان سواری است. وسائط نقلیه گردش به چپ تقریباً معادل *pce* ۱/۶ هستند. این موضوع مبتنی بر این است که هر حرکت گردش به چپ حدود ۱/۳ ثانیه زمان اضافی تلف می‌کند. با منظور نمودن حداقل زمان تلف شده فاصله عبور برابر ۲/۱ ثانیه مقادر معادل گردش به چپ برابر خواهد بود با:

$$\text{یک حرکت گردش به چپ} = \frac{۲/۱ + ۱/۳}{۲/۱} = ۱/۶\ pce$$

باید یاد آور شد که این ضریب جدایی ۱/۶ فقط برای آن دسته از وسائط نقلیه در مسیر ورودی که منظور تعیین حداقل زمان چرخه قابل قبول آن است معتبر می‌باشد. حرکتهای گردش به چپ از مقابل هم ۱/۳ ثانیه زمان اضافی نیاز دارد. مانند این است که فرض کنیم هر حرکت گردش به چپ خود علاوه بر یک حرکت معادل $\frac{۱/۳}{۲/۱} = ۰/۶\ pce$ است. چنانچه مقدار گردش به چپ مسیر مقابل خیلی زیاد نیست در محاسبه مقدار تقریبی زمان چرخه می‌توان از آن صرف نظر نمود. این مقدار می‌تواند در موقع استفاده از مقدار واقعی نیازهای وسائط نقلیه در کنترل زمان چرخه منتخب، مورد نظر قرار گیرد. این روشی است که در اینجا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مقدار خیلی محدودی اطلاع جمع آوری شده حاکی از این است که یک حرکت گردش براست تقریباً معادل *pce* ۱/۴است. این ضریب تقریبی به مقدار زیادی وابسته به شعاع قوس، سرعت ورود به تقاطع و تعداد عابرین پیاده حاضر که ممکن است با جریان چرخش براست برخورد کنند می‌باشد. عموماً در محلهایی که تعداد گردش



شکل ۱-۲۳ . متوسط فاصله عبور برحسب تعداد وسائل نقلیه



شکل ۲-۲۳ متوسط فاصله عبور بر حسب مدت زمان سبز چرخه

براست کم بوده و تعداد برخورد وسیله نقلیه با پیاده‌ها حداقل است معمولاً از منظور نمودن زمان اضافی لازم برای گردش براست صرف نظر می‌کنند. وقتیکه برخوردهای پیاده و گردش براست قابل توجه است، مقادیر تقریبی خصوصاً زمانیکه به اطلاعات محدودی مبتنی است نمی‌تواند مبنای عمل قرار گیرد. ارجح است که مطالعاتی برای تعیین جزیی‌تر اثرات واقعی این برخوردها روی منطقه مورد مطالعه صورت گیرد.

با فرض یک تقاطع ساده با ۴ مسیر ورودی و چراغ دو فازی روش زیر برای تعیین مقادیر تقریبی زمان چرخه ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. لازم بیادآوری است که اصطلاح «تقریب» مناسب است. بعد از تقسیم زمان چرخه به فازهای مورد نیاز، زمان چرخه باید مجدداً با سایر ملزومات که در اینجا بحث می‌گردد کنترل گشته و در مواقع ضروری تائید شود.

فرض می‌کنیم:

$N1$ = حجم بحرانی ترافیک در یک خط از خیابان اصلی، تعداد وسائط نقلیه ورودی به تقاطع از یک خط واحد از خیابان اصلی و در طول ساخت اوج. $N1$ بزرگترین حجم ترافیک در یک خط از دو خیابان اصلی منتهی به تقاطع می‌باشد.

$N2$ = حجم بحرانی در یک خط از خیابان فرعی، تعداد وسائط نقلیه ورودی به تقاطع در یک خط واحد از مسیر فرعی در زمان معادل ورود $N1$. مقدار $N2$ بزرگترین مقدار ورودی در یک از دو خیابان فرعی متهی به تقاطع است.

C = زمان چرخه به ثانیه

$S1$ = معدل تقریبی فاصله عبور بین وسائط نقلیه ورودی به تقاطع به میزان $N1$

$S2$ = معدل تقریبی فاصله عبور بین وسائط نقلیه ورودی به تقاطع به میزان $N2$

$Y1$ = زمان تخلیه به ثانیه برای $N1$ حرکت

$Y2$ = زمان تخلیه به ثانیه برای $N2$ حرکت

K = تعداد چرخش‌های چراغ در یک فاصله زمانی ۱۵ دقیقه

با فرض فوق مجموع زمان مورد نیاز برای عبور تمام وسائط نقلیه از تقاطع در طول ۱۵ دقیقه زمان اوج برابر است با:

$$T = \frac{N_1S_1+N_2S_2}{4(PHF)} \qquad (۲۳-۲)$$

و مقدار کلی زمان تخلیه مورد نیاز برابر است با:

$$K(y1+y2) \qquad (۲۳-۳)$$

مجموع این دو زمان باید مساوی و یا کمتر از ۹۰۰ ثانیه (یا زمانی کلی قابل دسترسی در طول ۱۵ دقیقه) باشد:

$$T+K(Y1+Y2) \le 900 \quad \text{ثانیه} \qquad (۲۳-۴)$$

بنابراین به عنوان یک شرط محدود کننده داریم:

$$K = \frac{900-T}{y1+y2} \qquad (۲۳-۵)$$

لیکن:

$$K = \frac{900}{C} \qquad (۲۳-۶)$$

با جایگزینی معادلات (۲-۲۳) و (۶-۲۳) در معادله (۵-۲۳) و بدست آوردن مقدار داریم:

$$C_{min} = \frac{y1+y2}{1-[(N1S1+N2S2)/3600(PHF)]} \qquad (۲۳-۷)$$

زمان چرخه بدست آمده از این رابطه برای تامین عملکرد غیر اشباع در زمان ساعت اوج نمونه یا یکنواخت که با معدل حجم ساعت اوج و ضریب ساعت اوج تعیین می‌گردد بکار می‌رود.

در یک تقاطع پیچیده بطور مثال یک تقاطع دارای ۵ یا بیشتر ورودی یا یک تقاطع با حرکت گردش به چپ قابل توجه تعداد ۳ یا بیشتر فاز در یک چرخه ممکن است مورد نیاز باشد. معادله فوق ممکن است برای محاسبه این تقاطع تنظیم گردد. بطور مثال برای یک چراغ سه فازی معادله بصورت زیر در می‌آید:

$$C_{min} = \frac{y1+y2+y3}{1-[(N1S1+N2S2+N3S3)/3600(PHF)]} \qquad (۲۳-۸)$$

در حالت کلی معادله بصورت زیر در می‌آید:

$$Cmin = \frac{\sum_{i=1}^{M} y_i}{1-[\sum_{i=1}^{M} N_iS_i / 3600(PHF)]} \qquad (۲۳-۹)$$

معادله اصلی می‌تواند برای نیازهای خاص دیگر هم تنظیم گردد. بطور مثال، اگر یک زمان فشرده و مشخص باید برای پیاده‌ها در زمان چرخه پیش بینی شود معادله بصورت زیر در می‌آید:

$$C = \frac{y_1+y_2+P+y_P}{1 - 0/000333(N_1S_1 + N_2S_2)} \qquad (۲۳-۱۰)$$

که در این معادله زمان نیاز برای عبور پیاده و زمان تخلیه تقاطع توسط پیاده‌هاست. وقتی زمان عبور پیاده‌ها همزمان با زمان سبز نشان داده می‌شود این مقدار در محاسبه زمان چرخه موثر نیست و نیاز به تعبیه فاز اضافی ندارد.

وبستر یک معادله تقریبی برای تعیین زمان چرخه بهینه به منظور حداقل کردن تاخیر ارائه داده است:

$$C_o = \frac{1/5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{n} y_i} \qquad (۲۳-۱۱)$$

که در آن :

C_o = زمان چرخه بهینه به ثانیه

$L = nl+R$ = زمان تلف شده در تمام چرخه چراغ

n = تعداد فازها

l = متوسط زمان تلف شده در هر فاز (معمولاً فقط تأخیر شروع) بجز زمان‌های تمام قرمز

R = زمان تمام قرمز که تمام چراغها همزمان قرمزند

$Y_i = \frac{\text{حجم طراحی}}{\text{حجم اشباع}}$ برای فاز i

فرمول فوق یک تقریب ساده از رابطه پیچیده‌ای است که از مطالعات مورد نظر ناشی شده بود. این روش تمام و یا نزدیک به تمام زمان اضافی تخلیه را برای وسائط نقلیه در حال حرکت قابل استفاده منظور نموده شده است. با این ترتیب معمولاً زمان چرخه بدست آمده از این رابطه کوتاهتر از زمان چرخه بدست آمده از روش اول است.

تجزیه و تحلیل تأخیر توسط وبستر با استفاده از روش‌های معمول کاملاً جامع و فراگیر بود. تجزیه و تحلیل وبستر به اثبات یک حقیقت مهم منتهی شد که، تأخیر با تغییرات زمان چرخه حول مقدار بهینه به مقدار قابل توجه و به میزانی که در فاصله ۱/۵۲۰ - ۰/۷۵۲۰ تغییر می‌کند توسعه نمی‌یابد. این فقدان استحکام برای طول زمان چرخه، در یک فاصله قابل قبول (برای مثال اگر Co = ۶۰ باشد فاصله ۹۰-۴۵ است.) روشن می‌سازد که نیاز به ساده سازی تقریب‌ها در تعیین pce و معدل فاصله عبور ضروری نیست.

تقسیم بندی زمان چرخه . در طول ساعت اوج جریان ترافیک اگر معدل فاصله عبور بین وسائط نقلیه در مسیر اصلی و فرعی منتهی به تقاطع تقریباً یکسان باشد زمان سبز مؤثر در چرخه باید به نسبت حجم بحرانی در خطوط خیابانهای تقاطع تقسیم شود. برای مثال فرض کنید دو خیابان متقاطع A , B با حجم بحرانی در یک خط بترتیب N_a , N_b داریم. فرض کنید زمان فاصله عبور برای خیابان A برابر S_a و تقریباً برابر S_b برای خیابان B باشد. زمان مؤثر کل برابر است با:

$$G_a + G_b = C - (y_a+y_b) \qquad (۲۳-۱۲)$$

تقسیم زمان سبز به نسبت حجم بحرانی هر مسیر منجر می‌گردد به:

$$G_a = \frac{N_a}{(N_a+N_b)} \left[C - (y_a+y_b)\right] \qquad (۲۳-۱۳)$$

پس از ساده کردن این رابطه، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$G_a = \frac{C - (y_a+y_b)}{1 + (N_a+N_b)} \qquad (۲۳-۱۴)$$

و

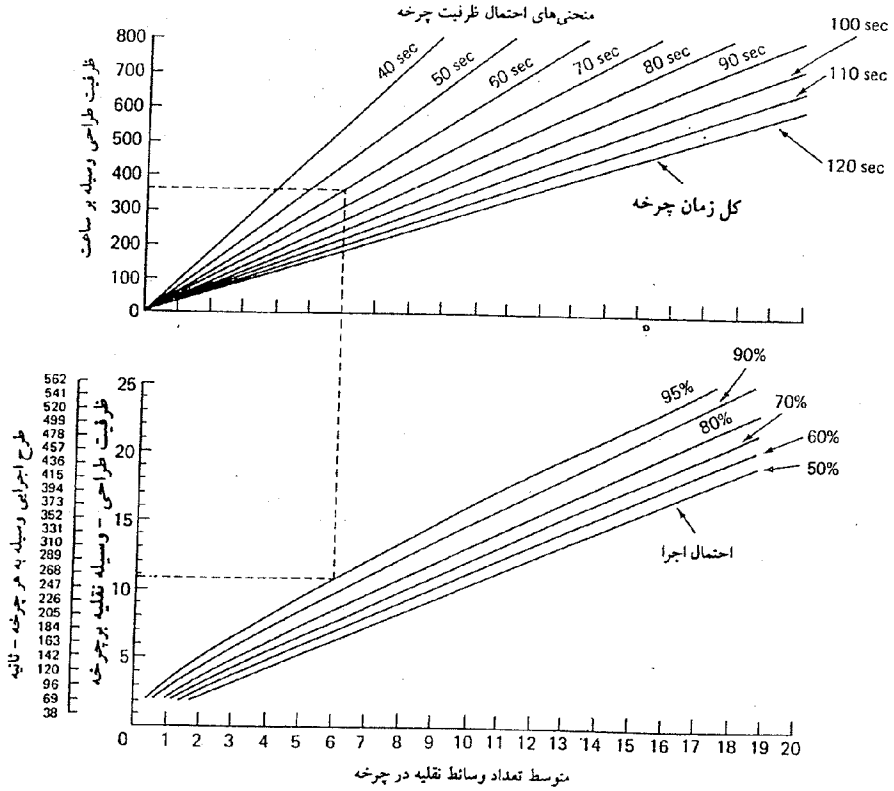
$$G_b = C - (y_a+y_b) - G_a \qquad (۲۳-۱۵)$$

هرگاه بهر دلیل مقدار S_a تقریباً معادل S_b نباشد برای مثال، اگر یک خیابان در مرتبه با اهمیتی است زمان سبز مؤثر باید به نسبت حجم ترافیک بحرانی تولید شده و معدل فاصله عبور تقسیم گردد به عبارت دیگر:

$$\frac{G_a}{G_b} = \frac{N_aS_a}{N_bS_b} \qquad (۲۳-۱۶)$$

یک نسبت مشابه از زمان سبز ممکن است بخوبی برای یک چراغ سه فازی (یا هر چند فاز) قابل استفاده باشد.

در هر صورت زمان توزیع شده با این روش اطمینان می‌دهد که هر مسیر بطور اصولی خدمات معادلی را دریافت می‌نماید. فرض بعدی در اینجا این است که نمونه‌های ترافیک روی هر دو خیابان اصلی و فرعی بطور اصولی یکسان هستند. چنانچه معلوم شود که نمونه‌های ترافیک در دو مسیر یکسان نیستند اگر چه دارای فاصله عبور مساوی باشند، ممکن است اعمال زمان در فازها با یک روش غیر از مستقیم به نسبت مناسب‌تر باشد. بجز این شرایط در هر صورت، توزیع نسبی، مزیت آشکار خدمات رسانی معادل به همه را داراست.



شکل شماره ۳-۲۳ . احتمال ارائه زمان چرخه

در اینجا ممکن است تأکید شود که در بی‌توجهی به نتایج حاصل از فوق، دیگر روش‌های توزیع زمان چرخه، یا احتمالات دیگر مثل زمان مورد نیاز برای عبور پیاده و محدودیتهای فیزیکی در تقاطع باید اقناع شوند.

تعیین ناتوانی و نقص یک زمان چرخه . ممکن است ناتوانی یک چرخه را از یکی از دو راه معلوم کرد (۱): وسائط نقلیه رسیده در آخرین زمان چرخه در زمان سبز یا حداقل در یک گام از آن نتوانند تقاطع را تخلیه نمایند. یک طرح می‌تواند با مقدار ۵ درصد یا کمتر از احتمال خطا ایجاد گردد که در آن طول زمان چرخه C، بوسیله روش قطع و وصل تعیین می‌گردد. نمودار (۳-۲۳) درصد اجرای طول زمان چرخه به حجم بحرانی را نشان می‌دهد. این نمودار با فرض یک توزیع یکنواخت برای وسائط نقلیه ورودی به تقاطع تنظیم شده است.

در اغلب موارد ناتوانی چرخه بصورت غیر مستقیم با نیاز به حجم زمان اوج ۱۵ دقیقه برای هر گام که در زمان سبز مؤثر معین شده است به زمان اوج ۱۵ دقیقه‌ای معلوم می‌گردد. این بدین معنی است که باید رابطه زیر برای تمام ورودیهای به تقاطع تأمین گردد،

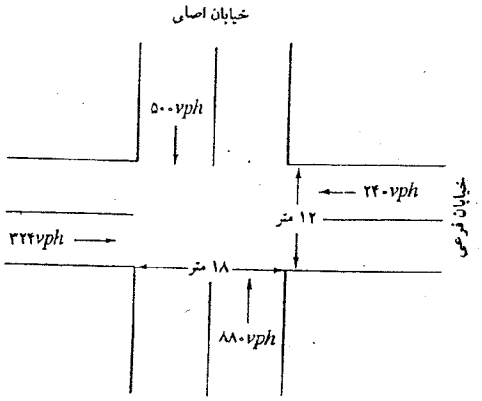
$$\frac{N_i S_i}{۴(PHF)} \leq \frac{۹۰۰}{C} G_i \qquad (۲۳-۱۷)$$

مسائل نمونه در چراغهای با زمان ثابت

مسائل آتی چگونگی استفاده از روشهای بحث شده در بخشهای قبل را روشن می‌سازد.

مسئله ۱: این مسئله یک تقاطع دو فازی ساده را نشان می‌دهد، (شکل ۴-۲۳). اطلاعات زیر داده شده است:

سرعت حرکت پیاده ۱/۰۵ متر بر ثانیه است.



شکل شماره ۴-۲۳.

۸۵ درصد سرعت ورودی به تقاطع از تمام ورودیها برابر ۴۱ کیلومتر بر ساعت است.
در تمام مسیرهای نزدیک به تقاطع توقف آزاد است.
ده درصد وسائط نقلیه کامیون هستند.
گردش براست جداگانه منظور نمی‌شود.
ضریب ساعت اوج برابر ۰/۸۵ است. *(PHF)*
حجم‌های عبوری در شکل نشان داده شده است.
چنانچه ممکن است یک چراغ دو فازی طراحی نمائید.

حل: محاسبه حجم‌های خطوط بحرانی:
با جایگذاری مقادیر حجم بحرانی ورودی عبارتند از:
حجم بحرانی در خیابان اصلی برابر است با ۸۸۰ وسیله بر ساعت
حجم بحرانی در خیابان فرعی برابر است با ۳۲۴ وسیله بر ساعت

با اعمال ضریب ۱/۵ برای کامیون و ضریب گردش به چپ ۱/۶ (گردش به چپ از جهت دیگر صرفنظر شده است) حجم معادل در *pce* عبارت است از:

خیابان اصلی:

$$pce \quad ۰/۱۵\ (۱/۶)\ (۸۸۰) + ۰/۱\ (۱/۵)\ ۸۸۰ + ۰/۷۵\ (۸۸۰) = ۱۰۰۰$$

خیابان فرعی:

$$pce \quad ۰/۱۵\ (۱/۶)\ (۳۲۴) + ۰/۱\ (۱/۵)\ (۳۲۴) + ۰/۷۵\ (۳۲۴) = ۳۷۰$$

خیابان اصلی ۱۸ متر عرض با توقف در دو طرف (عرض هر یک ۲/۱ متر) ۱۳ متر برای عبور باقی می‌ماند که در ۴ خط با عرض ۳/۳ متر است که دو به دو در یک مسیر هستند، خیابانهای فرعی دارای ۱۲ متر عرض هستند که با حذف دو خط توقف به عرض ۴/۲ متر مانده ۷/۸ متر است که برای هر جهت یک خط با عرض ۳/۹ متر باقی می‌ماند، توزیع یکسان مسیر خطوط برای هر جهت حجم بحرانی در خطوط را معین می‌کند:

$$N_1 = \frac{۱۰۰۰}{۲} = ۵۰۰\ pce$$

$$N_2 = \frac{۳۷۰}{۱} = ۳۷۰\ pce$$

برای بدست آوردن زمان تخلیه رابطه (۱-۲۳) را بکار می‌گیریم:

$$y = t + \frac{۱}{۲}\frac{v}{a} + \frac{w+l}{v}$$

که در آن ثانیه $t = ۱$ و $a = ۴/۵\ m/s^2$ و متر $l = ۶$ توصیه شده است:

$v = ۴۱\ km/h = ۱۱/۴\ m/s$ در هر دو جهت

w = عرض مسیر که برای y_1 برابر y_2 معادل ۱۸ متر است.

$$y_1 = ۱ + \frac{۱۱/۴}{۲\times۴/۵} + \frac{۱۲+۶}{۱۱/۴} = ۳/۸۵ \quad \text{ثانیه}$$

$$y_2 = ۱ + \frac{۱۱/۴}{۲\times۴/۵} + \frac{۱۸+۶}{۱۱/۴} = ۴/۳۷ \quad \text{ثانیه}$$

عبور عابر پیاده، زمان عبور عابر پیاده حداقل زمان قرمز را برای هر خیابان تعیین می‌کند.

۱ - عبور از خیابان اصلی $R_{1min} = ۵ + \frac{۱۸}{۱/۰۵} = ۲۲/۱۵$ ثانیه

که در آن ۵ ثانیه برای شروع حرکت پیاده‌ها و ۱۸ متر عرض برای خیابان اصلی منظور شده که عابرین پیاده با سرعت *m/s* ۱/۰۵ او آن عبور می‌کنند. در هر حال $R_1 = G_2 - ۱/۲$

در یک چراغ ساده دو فازی. بنابراین

$$G_{2min} = ۲۲/۱۱۵ - ۴/۳۷ = ۱۷/۷۸ \text{ ثانیه}$$

۲ - عبور از خیابان فرعی $R_{2min} = ۵ + \frac{۱۲}{۱/۰۵} = ۱۶/۴$

$$G_{1min} = ۱۶/۴ - ۳/۸۵ = ۱۲/۵۵ \text{ ثانیه}$$

مقدار تقریبی زمان چرخه از معادله (۷-۲۳) بدست می‌آید:

$$C_{min} = \frac{y_1 - y_2}{۱ - (N_1 S_1 + N_2 S_2)/۳۶۰۰(PHF)}$$

که در این مقدار صرفاً بسته به میزان وسائط نقلیه یک زمان چرخه در غیر جریان اشباع در طول ۱۵ دقیقه زمان اوج بدست می‌دهد:

$$\text{ثانیه} \quad ۲۸/۴۲ = \frac{۸/۲۲}{۰/۲۸۹} = \frac{۳/۸۵+۴/۳۷}{۱-(۵۰۰\times۲/۵+۳۷۰\times۲/۵)(۳۶۰۰\times۰/۸۵)}$$

بهر حال با بررسی نیازهای افراد پیاده حداقل زمان چرخه می‌تواند معادل:

$$G_{۱min} + G_{۲min} + y_۱ + y_۲$$

و برابر با ۱۲/۵۵ + ۱۷/۷۸ + ۴/۳۷ + ۳/۸۵ = ۳۸/۵۵ ثانیه باشد که این مقدار حاکم است.

توزیع زمان چرخه:

آیا یک زمان چرخه C = ۴۰ ثانیه می‌تواند انتخاب گردد ضرورتاً خیر. در نظر داشته باشید که یک زمان چرخه باید دو منظور را برآورده سازد، اول اینکه باید فازهای با طول کافی برای تأمین نیاز پیاده‌ها را داشته باشد و دوم اینکه باید زمان سبز در دو فاز را به نسبت حجم ترافیک در دو جهت و به میزان $N_۲$, $N_۱$ توزیع کند (با فرض $S_۱ = S_۲$).

روش زیر استفاده از هر دو واقعیت فوق را برای رسیدن به یک زمان چرخه بهتر با تقسیم بندی تأمین می‌کند.

روشن شد که حداقل زمان سبز در مسیر فرعی مبتنی بر عبور عابر پیاده دو برابر ۱۷/۷۸ ثانیه است. حال بترتیب خیابان اصلی و فرعی ۵۰۰ و ۳۷۰ وسیله بر ساعت حجم ترافیک دارند. اگر زمان سبز بین دو فاز به نسبت حجم وسائط نقلیه توزیع شود زمان سبز خیابان اصلی برابر خواهد بود با:

$$G_۱ = \frac{۵۰۰}{۳۷۰}(۱۷/۷۸) = ۲۴/۰۳ \text{ ثانیه} = \text{سبز در خیابان اصلی}$$

و در این حال زمان چرخه کلی برابر خواهد بود:

$$C=G_۱+G_۲+y_۱+y_۲$$

$$= ۲۴/۰۳ + ۱۷/۸۷ + ۳/۸۵ + ۴/۳۷ = ۵۰ \text{ ثانیه}$$

با این زمان چرخه امکان این وجود دارد، که حداقل زمان لازم برای پیاده و توزیع نسبی زمان چرخه فراهم آید.

کنترل زمان بندی: کنترل مقادیر ۱۵ دقیقه اوج برای هر فاز:

زمان سبز ایجاد شده (ثانیه)	زمان سبز مورد نیاز (ثانیه)
صحیح ۴۳۲ = $\frac{۹۰۰}{۵۰}(۲۴/۰۳)$	$\leq \frac{۵۰۰}{۴(۰/۸۵)}\times۲/۵ = ۳۶۸$
صحیح ۴۳۲ = $\frac{۹۰۰}{۵۰}(۱۷/۷۸)$	$\leq \frac{۳۷۰}{۴(۰/۸۵)}\times۲/۵ = ۲۷۲$

کنترل هر چرخه چراغ با استفاده از تأخیر زمان شروع حرکت وسائط نقلیه: در یک ساعت ۷۲ چرخه ۵۰ ثانیه‌ای وجود دارد. متوسط تعداد وسائط نقلیه در هر چرخه برابر حجم ترافیک در ساعت تقسیم بر ۷۲ است.

خیابان اصلی: ۸۸۰ وسیله نقلیه در ساعت در دو خط با ۱۰ درصد کامیون و ۱۵ درصد گردش به چپ در این خیابان حرکت می‌کنند. فرض کنید که کامیونها بصورت مساوی بین دو خط تقسیم شده‌اند و تمام گردش به چپ‌ها از خط سمت چپ عبور می‌کنند. همچنین فرض کنید حجم ترافیک بصورت مساوی در دو خط توزیع می‌گردد. جزایر خط بحرانی سمت چپ دارای ۴۴۰ وسیله باده درصد کامیون و ۳۰ درصد گردش به چپ است. به علاوه ۷۵ = (۰/۱۵) ۵۰۰ وسیله نقلیه گردش به چپ نیز از طرف مقابل داریم. در هر چرخه ۶/۱ = $\frac{۴۴۰}{۷۲}$ وسیله نقلیه از هر خط عبور می‌کنند که ۰/۶ آن کامیون و ۱/۸ آن گردش به چپ هستند. در فاز ۱ ≅ $\frac{۷۵}{۷۲}$ وسیله گردش به چپ از طرف مقابل داریم. با استفاده از مقادیر داده شده توسط گرین شیلدز حداقل زمان سبز کلی برابر با مقدار زیر خواهد شد:

زمان اصلی برای تمام وسائط‌نقلیه :

۲/۱ (۶/۱) + ۳/۷۸ = ۱۶/۵ ثانیه

زمان اضافی برای کامیون (۰/۵ وسیله نقلیه اضافی) :

۲/۱ (۶/۱) × ۱/۲ = ۰/۶ ثانیه

زمان‌اضافی لازم برای گردش به چپ (بدون توجه به جهت حرکت) ثانیه ۱/۳ (۱/۸ + ۱ ×) = ۳/۶

زمان کلی سبز برابر است با = ثانیه ۲۰/۷

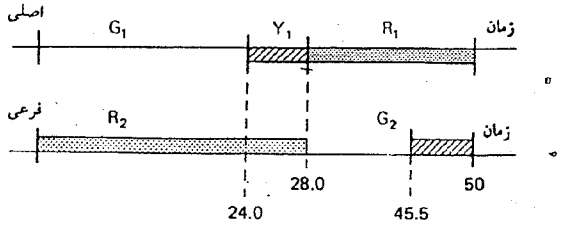
تا زمانیکه زمان سبز مورد نیاز برای خیابان اصلی برابر ۲۰/۷ ثانیه و کمتر از ۲۴/۰۳ ثانیه بدست آمده است این فاز مورد قبول است.

خیابان فرعی : حداقل زمان سبز مورد نیاز برای خیابان فرعی می‌تواند شبیه روش فوق محاسبه شود. در خیابان فرعی ۳۲۴ وسیله در هر ساعت داریم در یک خط که ۱۰ درصد آن کامیون و ۱۵ درصد گردش به چپ دارد.

در هر چرخه ۴/۵ = $\frac{۳۲۴}{۷۲}$ وسیله عبور می‌کند که ۰/۴۵ آن کامیون و ۰/۶۸ آن، گردش به چپ هستند. به علاوه ۰/۵ = ۰/۷۲ (۰/۱۵) ۲۴۰، وسیله عبوری به چپ در هر چرخه از طرف مقابل داریم. زمان سبز مورد نیاز در هر چرخه عبارت است از:

$$۲/۱(۴/۵) + ۳/۷۸ + \frac{۱}{۲}(۲/۱)(۰/۴۵) + ۱/۳(۰/۶۸+۰/۵۰) = ۱۵/۲۸ \text{ ثانیه}$$

که این مقدار کمتر از ۱۷/۷۸ ثانیه تأمین شده است. بنابراین



شکل ۵ - ۲۳ .

این فاز همچنان کافی است. زمانبندی نهایی برابر است با:

$G_1 = ۲۴/۰۳$ $Y_1 = ۳/۸۵$ $R_1 = ۲۲/۱۶$ ثانیه

$G_2 = ۱۷/۷۸$ $Y_2 = ۴/۳۸$ $R_2 = ۲۷/۸۸$ ثانیه

این روش را برای کنترل اکثر چراغهای با زمان ثابت که نزدیکترین یک درصد چرخه‌هاست قابل استفاده است زمان‌بندی و فازبندی واقعی باید قابل نمایش به شکل (۵ - ۲۳) باشد.

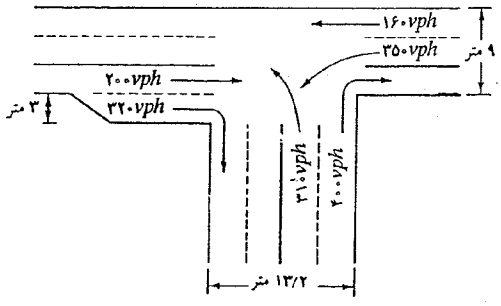
تقاطع T شکل را که عبور عابر پیاده قابل توجهی دارد فرض کنید. همانطوریکه در شکل ۶ - ۲۳ نشان داده شده است، یک چراغ با زمانبندی مناسب طراحی کنید. اطلاعات زیر داده شده است:

سرعت حرکت عابر پیاده ۱/۰۵ متر بر ثانیه

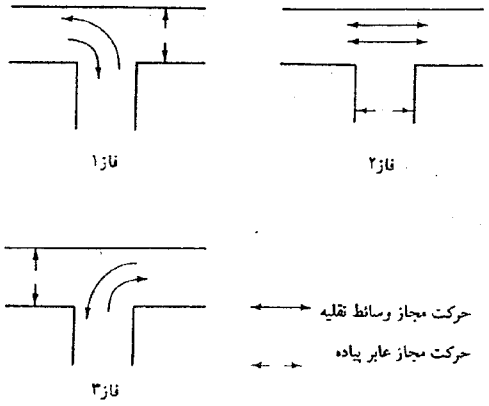
استفاده از چراغ حرکت - توقف (با فرض V ثانیه زمان اولی ضروری)

سرعت ورودی (۰/۸/۵۰ وسایط عبوری) برابر ۴۹/۲ کیلومتر بر ساعت در خیابان اصلی و برابر ۱۶/۲ در خیابان فرعی است.

مسئله ۲ - این مسئله یک تقاطع چندفازی سه راهی است.



شکل ۶ - ۲۳ . تقاطع مسئله ۲



شکل ۷ - ۲۳ . فازبندی تقاطع T شکل

توقف در کنار تقاطع نداریم.

تعداد کامیونها قابل صرفنظر کردن است.

ضریب ساعت اوج یا PHF برابر ۰/۸۵ است.

حل: فازبندی این چراغ T شکل مشخصاً به دلیل حجم سنگین ترافیک گردشی که مانع از عمل سیستم دوفازی می‌گردد و به دلیل فرض عبور عابران پیاده مشکل است. یادآوری می‌شود که حرکتهای گردشی از خیابان A همانگونه که حرکتهای گردشی در خیابان B با حرکت عابرین پیاده در عرض خیابان B تداخل می‌نماید. فازبندی مطابق شکل ۷ - ۲۳ می‌تواند جایگزین این برخوردها شود.

حجم خط بحرانی:

از آنجا که حرکات ترافیک تقریباً توسط خطوط از یکدیگر جدا شده‌اند، حجم‌های ترافیک نمی‌تواند در کل بصورت معدل باشد لیکن می‌تواند بر اساس خط به خط فرض گردد. تعداد کامیون قابل صرفنظر کردن و و حرکات گردش به چپ غیرتداخلی است بنابراین افزایش ضروری نیست. با این فرض داریم:

$N_1 = ۲۲۰$ $N_2 = ۲۰۰$ $N_3 = ۴۰۰$

و ملزومات پیاده‌ها بدین شکل است:

$$T_1 = G_1 + Y_1 \geq V + \frac{۹}{۱/۰۵} = ۱۵/۶ \quad \text{ثانیه}$$

$$T_2 = G_2 + Y_2 \geq V + \frac{۱۳/۲}{۱/۰۵} = ۱۹/۶ \quad \text{ثانیه}$$

$$T_3 = G_3 + Y_3 \geq V + \frac{۱۲}{۱/۰۵} = ۱۸/۴ \quad \text{ثانیه}$$

بیاد داشته باشید، ممکن بود که حرکتهای عبوری از عرض در یکی از فازهای ۱ و ۳ را ممنوع کرده و یکی از ملزومات فوق را در صورت ضرورت حذف کنیم.

زمان تخلیه وسائط نقلیه :

مقدار ثانیه $t = ۱$ و $a = ۴/۵ \frac{m}{s^۲}$ پس:

ثانیه $y_۱ = ۱ + \frac{۱}{۲} \times \frac{۴/۴۱}{۴/۵} + \frac{۶ + ۹۰}{۴/۴۱} = ۹/۴$

ثانیه $y_۲ = ۱ + \frac{۱}{۲} \times \frac{۱۳/۲}{۴/۵} + \frac{۶ + ۱۳/۲}{۴/۴۱} = ۳/۹$

ثانیه $y_۳ = ۱ + \frac{۱}{۲} \times \frac{۴/۴۱}{۴/۵} + \frac{۶ + ۹۰}{۴/۴۱} = ۴/۹$

توجه کنید که برای فازهای ۲ و ۳ حداقل سرعت (۱۲۶/۳ کیلومتر بر ساعت) مورد استفاده قرار گرفته است زیراکه این امر زمان محافظه کارانه تری برای زمان تخلیه ایجاد می‌نماید. همچنین بخاطر اینکه وسائط نقلیه گردشی موظف نباشند تا در تمام عرض تقاطع را تخلیه نمایند یک مقدار کاهش یافته ۹ متری بکار رفته است.

زمان چرخه تقریبی

$$C_{min} = \frac{۴/۹+۳/۹+۳/۹}{۱-۳۲۰(۲/۵)+۲۰۰(۲/۵)+۴۰۰(۲/۵)/۳۶۰۰(۰/۸۵)} = ۵۵$$ ثانیه

فاز بندی چراغ :

ثانیه $G_۱ + G_۲ + G_۳ = ۵۵ - ۱۳/۷ = ۴۱/۳$

$$G_۱ = \frac{N_۱}{N_۱ + N_۲ + N_۳}(۴۱/۳) = \frac{۳۲۰}{۹۲۰}(۴۱/۳) = ۱۴/۴$$

ثانیه $G_۲ = \frac{۲۰۰}{۹۲۰}(۴۱/۳) = ۹$

ثانیه $G_۳ = \frac{۴۰۰}{۹۲۰}(۴۱/۳) = ۱۸$

کنترل زمانبندی:

کنترل ملزومات پیاده‌ها:

	زمان سبز مورد نیاز		زمان سبز تامین شده
صحیح	$۱۵/۶-۴/۹=۱۰/۷$	$\geq$	$G_۱$ ۱۴/۴
غیر صحیح	$۱۹/۶-۳/۹=۱۵/۷$	$\geq$	$G_۲$ ۹
صحیح	$۱۸/۴-۴/۹=۱۳/۵$	$\geq$	$G_۳$ ۱۸

مانند مسئله قبل اگر در یک جا یکی از فازها توسط پیاده‌ها و ملزومات آن تعیین شود ممکن است مستقیماً زمان چرخه مورد نیاز را بدست آورد. حداقل زمان سبز مجاز برای فاز ۲ برابر ثانیه $G_۲ = ۱۵/۷$ و $N_۱ = ۳۲۰$ و $N_۲ = ۲۰۰$ و $N_۳ = ۴۰۰$ بنابراین:

ثانیه $G_۱ = G_۲ \frac{N_۱}{N_۲} = ۱۵/۷ \times \frac{۳۲۰}{۲۰۰} = ۲۵/۱$

و همچنین

ثانیه $G_۳ = G_۲ \frac{N_۳}{N_۲} = \frac{۴۰۰}{۲۰۰} \times ۱۵/۷ = ۳۱/۴$

پس حداقل زمان چرخه مورد قبول معادل است با:

$C = G_۱ + G_۲ + G_۳ + Y_۱ + Y_۲ + Y_۳$

ثانیه $۲۵/۱ + ۱۵/۷ + ۳۱/۴ + ۴/۹ + ۳/۹ + ۴/۹ = ۸۵/۹$

اگر زمان را بر اساس ۵ ثانیه بالاتر گرد کنیم زمان چرخه بالغ بر ۹۰ ثانیه می‌شود که هر دو حجم پیاده و سواره را پاسخگوست.

برای بدست آوردن مقادیر زمان سبز سه فاز برای ۹۰ ثانیه مدت چرخه لازم است زمانهای فوق را بشکل زیر توسعه دهیم:

در چرخه ۸۵/۹ ثانیه‌ای بطور مثال ۷۲/۲ ثانیه زمان سبز داریم. که مجموع زمان سبز در سه فاز است. در یک چرخه ۹۰ ثانیه‌ای زمان سبز قابل حصول می‌تواند معادل مقادیر زیر باشد:

ثانیه $۹۰ - (Y_۱ + Y_۲ + Y_۳) = ۹۰ - ۱۳/۷ = ۷۶/۳$

تمام زمانهای سبز محاسبه شده در قبل باید با ضریب $\frac{۷۶/۲}{۷۲/۷} = ۱/۰۶$ افزایش یابد. زمانهای جدید سبز عبارتند از:

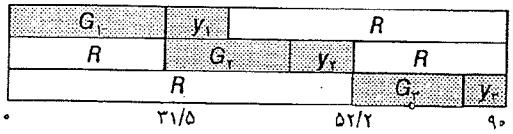
ثانیه $G_۱ = ۲۵/۱(۱/۰۶) = ۲۶/۶$

ثانیه $G_۲ = ۱۵/۷(۱/۰۶) = ۱۶/۶$

ثانیه $G_۳ = ۳۱/۴(۱/۰۶) = ۳۳/۳$

کنترل ملزومات ۱۵ دقیقه زمان اوج:

	زمان سبز محاسبه شده به ثانیه	*زمان سبز مورد نیاز به ثانیه*
صحیح	$\frac{۹۰۰}{۹۰}(۲۶/۶)=۲۶۶$	$G_۱ = \frac{۳۲۰}{۴(۰/۸۵)}(۲/۵) = ۲۳۵$
صحیح	$\frac{۹۰۰}{۹۰}(۱۶/۶)=۲۶۶$	$G_۲ = \frac{۲۰۰}{۴(۰/۸۵)}(۲/۵) = ۱۴۷$
صحیح	$\frac{۹۰۰}{۹۰}(۳۳/۳)=۳۳۳$	$G_۳ = \frac{۴۰۰}{۴(۰/۸۵)}(۲/۵) = ۲۹۴$



شکل ۸-۲۳ دیاگرام چراغ برای تقاطع T شکل

جزئیات تقسیم شده زمان چرخه مانند مسئله قبل می‌تواند کنترل گردد. زمانهای نهایی برابر است با:

$G_1 = ۲۶/۶$	$Y_1 = ۴/۹$	$R_1 = ۵۸/۵$
$G_2 = ۱۶/۶$	$Y_2 = ۳/۹$	$R_2 = ۶۹/۵$
$G_3 = ۳۳/۳$	$Y_3 = ۴/۹$	$R_3 = ۵۱/۸$

همانگونه که قبلاً اشاره شد زمان بندی چراغ معمولاً به یک درصد زمان چرخه نزدیک است. فازبندی نهایی تقاطع شکل بر اساس نزدیک به ۱ درصد چرخه ۹۰ ثانیه‌ای در شکل ۸-۲۳ نمایش داده شده است.

تعاریف برای چراغ با زمانبندی متغیر

زمان اولیه: اولین قسمت از زمان سبز که بصورت مجزا زمان بندی شده و یا بوسیله تاثیر از ترافیک کنترل می‌گردد قبل از اینکه زمان اصلی سبز تاثیر بپذیرد.

زمان افزایشی: آن قسمت از زمان سبز که بدنبال قسمت ابتدائی می‌آید.

واحد افزایش: حداقل زمان - در طول قسمت توسعه یافته - که در آن حق تقدم عبور باید برای هر فازی که یک زمانبندی متاثر از آن فاز را دنبال می‌کند باقی بماند لیکن با زمان حد بالای قسمت افزایشی محدود می‌گردد.

محدوده افزایشی: حداکثر زمان برای یک فاز که بعد از تاثیر پذیری از فاز بعدی می‌تواند ادامه یابد.

حداقل زمان تناوب: کوتاهترین تناوب که در آن زمان سبز می‌تواند با هر نوع فاز ترافیکی جایگزین شود.

انتقال: تاثیری که هر دسته عامل عبوری روی کنترل کننده برای بهره بری از ابزار و ادارکننده چراغ به دادن حق تقدم عبور به دسته عبوری بعدی خود در آن فاز ترافیکی می‌گذارد.

زمان اولیه، برای ایجاد امکان ورود وسائط نقلیه منتظر بین خط توقف و چراغ راهنمایی به تقاطع تنظیم شده است. واحد افزایش برای توسعه قسمت ابتدایی و ایجاد امکان عبور از فاصله بین چراغ و تقاطع زمان‌بندی شده است. حداقل زمان سبز حاصل جمع قسمت ابتدایی و یک واحد افزایش است. اگر هیچ وسیله نقلیه تحریک کننده‌ای در طول اولین واحد افزایش نباشد چراغ سبز بعد از تخلیه تقاطع در صورت وجود تقاضا در مسیر بعدی به رنگ دیگری تغییر می‌کند. بنابراین یک واحد افزایش مقدار فاصله عبور مجاز بین گروه‌های وسائط نقلیه در حال حرکت در یک مسیر را معین می‌کند که اجازه دارند قبل از اینکه کنترل کننده زمان سبز را به وسائط نقلیه منتظر در مسیر بعدی بدهد از زمان سبز استفاده کنند. اگر یک وسیله نقلیه در طول اولین واحد افزایش از چراغ عبور کند تعدیل واحد افزایش به تاخیر می‌افتد و کنترل کننده یک واحد افزایش جدید را شروع می‌نماید. چنانچه در مسیر دیگر عامل موثر بر چراغ نداشته باشیم و وسائط نقلیه با حداقل فاصله عبور و کمتر از یک واحد افزایشی از یکدیگر در مسیر اولی عبور کنند مادام که این فاصله حداقل حفظ شده و ترافیک جریان داشته باشد کنترل‌کننده زمان سبز را افزایش می‌دهد.

زمان بندی یک چراغ با زمان متغیر

فرضیات در زمانبندی یک چراغ کاملاً متغیر

یک چراغ ساده دو فازی مثل مسئله ۱ از بخش قبل را در نظر بگیرید. فرض کنید حجم ساعات اوج در شکل نشان داده شده است لیکن تقاطع با تغییرات تند در جریان ترافیک در طول ساعات مفید روز روبرو است. این نتیجه حاصل شده است که یک چراغ تمام متغیر می‌تواند بهترین پاسخ را به تقاضاهای متغیر در این تقاطع را بدهد. شناسگرها باید در تمام چهار مسیر و به فاصله ۳۶ متر قبل از خط توقف نصب شوند. تاثیر پذیری یک چراغ تمام متغیر بطور گسترده وابسته به زمان‌بندی قسمت ابتدایی و واحد افزایشی است واحد افزایشی مهمتر بوده و در نتیجه ابتدا مورد بحث قرار می‌گیرد.

واحد افزایش . زمان بندی مناسب واحد افزایش به فاصله شناسگرها از خط توقف و معدل سرعت ترافیک ورودی بستگی دارد. زمان واحد افزایش نباید از زمان مورد نیاز برای عبور یک وسیله نقلیه از شناسگر و رسیدن به خط توقف کمتر باشد. با این وصف خواهیم داشت.

(توجه شود که ۳۶ کیلومتر بر ساعت معادل ۱۰ متر بر ثانیه است.»

$$\text{ثانیه } ۳/۶ = \frac{۳۶}{۱۰}$$

این زمان دقیقاً به یک وسیله نقلیه اجازه می‌دهد که با سرعت متوسط ورودی ۳۶ کیلومتر بر ساعت و در انتهای زمان افزایشی

چراغ به خط توقف برسد. وسیله نقلیه پس باید در زمان تخلیه تقاطع را تخلیه نماید.

اگر کسی خواست مطمئن شود که یک وسیله با سرعت ۳۶ کیلومتر بر ساعت کاملاً تقاطع را تخلیه کرده است ضروری است که این زمان نه تنها فاصله بین شناسگر و خط توقف بلکه عرض خیابان عبوری، و طول وسیله نقلیه (۶ متر) را نیز شامل می‌گردد تا کاملاً تقاطع تخلیه گردد. این امر مستلزم واحد افزایشی معادل زیر است:

$$\text{ثانیه } ۵/۱ = \frac{۶ + ۹ + ۳۶}{۱۰}$$

در این مثال یک مقدار میانگین ۵ ثانیه می‌تواند استفاده شود. این زمان برای یک وسیله نقلیه با سرعت ۳۶ کیلومتر کافی است تا به نقطه نهایی تقاطع قبل از شروع زمان اضافی برسد که این روش قابل قبول است.

زمان اولیه . این زمان برای تخلیه وسائط نقلیه‌ای که در طول زمان قرمز در فاصله شناسگر و خط توقف بصورت ردیفی پشت سرهم قرار گرفته‌اند منظور شده است. در سیستم‌های متغیر حداقل زمانّ سبزی تامین شده که مقدار آن مجموع قسمت ابتدایی و یک واحد افزایش است. این حداقل زمان سبز باید برای تخلیه هر مقدار وسیله نقلیه که ممکن است بین شناسگر و خط توقف منتظر باشند کافی باشد زیرا که وسائط کنترل متغیر صرفاً یک تقاضا برای استفاده از چراغ را مثبت می‌کند. شناسگر یک یا دو و یا بیشتر وسیله در حال انتظار را نمی‌شناسد. در این مثال، فاصله بین شناسگر و خط توقف ۳۶ متر است. اگر هر وسیله نقلیه منتظر حدود ۶ متر را اشغال کند.
(طول وسیله با فاصله مقداری فاصله بین آنها) تعداد کل وسائط منتظر در یک خط برابر $۶ = \frac{۳۶}{۶}$ است.

اگر زمانهای مورد نیاز قبلی را استفاده کنیم این ۶ وسیله نقلیه $۱۶/۳ = ۳/۷ + ۶ \times ۲/۱$ ثانیه زمان لازم دارند. بنابراین حداقل زمان سبز باید ۱۶ ثانیه باشد. حال قسمت ابتدایی در برابر است با حداقل زمان سبز منهای یک واحد افزایش پس:

$$\text{ثانیه } ۱۱ = ۵ - ۱۶ = \text{قسمت ابتدایی}$$

محدوده افزایش . روش تنظیم محدوده افزایش تعیین حداکثر حجم اوج و تعیین زمان بندی یک چراغ ثابت برای آن شرایط است. محدوده افزایش با این مقادیر قابل محاسبه است. غیرقابل قبول نخواهد بود چنانچه فرض کنیم در ساعات اوج تاثیرات چراغ در دو مسیر متقاطع بسیار شبیه زمان ابتدای سبز و یا خیلی زود بعد از شروع آن است، بنابراین چراغ مانند یک چراغ با زمان‌بندی ثابت عمل می‌کند با این وصف روش مورد استفاده تعین دو زمان سبز است. حال هرآنچه برای زمان سبز مورد قبول در روش زمان بندی ثابت ذکر شده بود در اینجا به عنوان حداکثر زمان سبز مجاز به حساب می‌آید. فلسفه این امر کوتاه نگهداشتن هرچه بیشتر حداکثر زمان سبز برای حداقل کردن تاخیر است. در محاسبه محدوده افزایش با استفاده از ساعت اوج نیازهای پیاده‌ها کنترل نمی‌گردند. چنانچه پیاده‌ها در هر تعدادی حضور داشته باشند باید یک وسیله کنترل برای پیاده‌ها نیز تعبیه گردد. این کنترل کننده حداقل زمان سبز برای وسائط نقلیه و یا حداقل زمان لازم برای پیاده‌ها را بسته به نوع کنترل کننده تامین می‌کند.

زمان تخلیه وسائط نقلیه . این زمان مانند روش چراغ ثابت محاسبه می‌گردد.

زمان تخلیه پیاده‌ها . چنانچه تامین نیاز پیاده‌ها ضروری باشد لوازم کنترل شونده توسط پیاده‌ها فراهم می‌گردد.

حداقل زمان سبز برای پیاده‌ها مانند روش چراغ ثابت محاسبه می‌گردد.

ملاحظات در زمان بندی چراغهای نیمه متغیر (فقط برای وسائل نقلیه)

در یک کنترل کننده نیمه متغیر شناسگر صرفاً در خیابانهای فرعی قرار می‌گیرند. این کنترل بطور خاص برای محلهایی که عبور وسائط نقلیه عبوری از خیابان فرعی از عرض خیابان اصلی بدون چراغ ایمن نیست، بکار می‌رود. در بسیاری از این مواقع حجم جریان ترافیک خیابان فرعی بصورت معمول نصب یک چراغ را توجیه نمی‌رساند. یک چراغ نیمه متغیر مجموع زمانهای زیر را نیاز دارد،

۱- برای خیابانهای شریانی و یا اصلی
   الف - حداقل زمان سبز
   ب - زمان تخلیه
   ج - زمان تخلیه پیاده (اگر چراغ متغیر پیاده نصب شده است)
۲- برای خیابانهای جنبی یا فرعی
   الف - زمان اولیه
   ب - واحد افزایش
   ج - حداکثر سبز
   د - زمان تخلیه

روش زمان بندی یک چراغ نیمه متغیر کاملاً مشابه روش بکار رفته برای زمان بندی یک چراغ تمام متغیر است. تعیین

زمان اولیه در خیابان فرعی و واحد افزایش (زمان اولیه + واحد افزایش = حداقل سبز) یکسان هستند. در حالیکه در چراغ نیمه متغیر یک سبز حداکثر در خیابان فرعی و در خیابان اصلی فقط یک سبز حداقل داریم. در زمانبندی حداکثر افزایش سبز برای خیابان فرعی و حداقل زمان سبز برای خیابان اصلی روش دقیقی مانند آنچه که در گذشته بحث شد وجود ندارد و چند فرض جدید باید معرفی شوند.

باید یادآور شد که در طول تناوب‌های اوج خیابان فرعی دارای چراغ ممکن است به عنوان یک چراغ بازمانبندی ثابت عمل نماید که در آن حداکثر زمان سبز برای خیابان فرعی و حداقل زمان سبز برای خیابان اصلی تامین شده باشد. در چنین شرایطی حداقل و حداکثر زمان سبز تنظیم شده باید برای تامین ظرفیت کافی برای هر دو خیابان اصلی و فرعی مناسب باشد. همچنین باید یک طول زمان چرخه و فاز بندی برای این شرایط مفروض و قابل تصور باشد حرکتهای گروهی و ابعاد این گروه حرکت در طول جاده اصلی باید معین گردد. حداقل زمان سبز در خیابان اصلی نباید آنقدر کوتاه باشد که با این گونه حرکات ترافیکی تداخل پیدا نماید.

باید به خاطر سپرد که خیابان اصلی همواره از زمان سبز استفاده می‌نماید مگر اینکه چراغ در خیابان فرعی را ترافیک مواجه شده و تاثیر بپذیرد. در پایان تاثیر خیابان فرعی چراغ سبز بطور خودکار به خیابان اصلی بر می‌گردد.

کنترل گردش در تقاطعات

کنترلهای گردش یکی از ابزار هماهنگ و مفید ترافیکی را بیان می‌نماید. بهره‌برداری از کنترل‌های مناسب گردش می‌توانند اهداف زیر را تامین نماید:

۱ - حذف یا کاهش برخوردها در تقاطعات شامل برخورد وسیله با وسیله یا پیاده
۲ - کاهش خطر تصادف
۳ - کاهش تاخیر با توسعه ظرفیت تقاطع

منع یکی از حرکات برخوردی انعطاف فراوانی ایجاد می‌نماید به دو دلیل، یکی اینکه تغییرات فیزیکی مهمی ضروری نیست و دوم اینکه چنانچه این کنترل نامناسب باشد یا کنترل بهتری پیدا شود تنظیم قبلی به راحتی قابل بازگشت است. از آنجا که تغییر مسیر و هدایت وسایط نقلیه در یک تقاطع با ممنوعیت گردش ممکن است در سایر تقاطعات مشکلاتی ایجاد نماید ضروری است هر منطقه بصورت کامل مورد مطالعه قرار گیرد تا معین شود که آیا مزایای ممنوعیت گردش مضراتی را نیز ایجاد می‌نماید یا نه. ممنوعیت‌های نیمه وقت در تئوری و بیشتر در حفظ تناسب با حجم ترافیک خوبند ولی از دیدگاه عمومی بطور قابل ملاحظه‌ای بهتر است که مقرّرات تمام وقت باشند.

انواع کنترل گردش

دو نوع اصلی کنترل گردش، ممنوعیت گردش به چپ و گردش به راست است. ضوابط مشترک پذیرفته شده‌ای برای استفاده از کنترل گردش وجود ندارد لیکن گزارشهایی از بعضی آزمایشات در چند شهر به عنوان راهنما مفیدند.

ضوابط زیر برای بکارگیری محدودیت گردش گزارش شده است:

۱ - زمانی که حجم گردش به چپ از ۲۰ درصد کل حجم عبوری در مسیر تجاوز نماید.
۲ - وقتی که حجم گردشهای به چپ به ده درصد کل حرکتها در یک خیابان بالغ شود.
۳ - در جایی که حرکات گردش به چپ، با حرکت مستقیم ۱۵۰۰۰ وسیله در روز بدون توجه به تعداد خطها و در یک تقاطع چراغدار تداخل نماید.
۴ - در جایی که گردش به راست یا چپ با عبور حدود ۲۰۰۰ پیاده در ساعت تداخل نماید.
۵ - زمانی که ۶۰۰ وسیله نقلیه با ۱۰۰۰ یا بیشتر عابر پیاده در ساعت برخورد می‌نماید.
۶ - وقتی که وسایط نقلیه گردشی به طور متوسط به ۷ وسیله در هر زمان سبز و در چند چرخهٔ متوالی بالغ گردد.
۷ - وقتی که بیش از سه تصادف در رابطه با حرکات گردشی در طول ۱۲ ماه در تقاطع اتفاق افتد.
۸ - زمانی که تعداد خطوط ترافیکی قابل استفاده در تقاطع صرفاً برای یک حرکت در هر جهت تنظیم شده و مقدار قابل توجهی حرکات گردش به چپ داریم.

محدودیت گردش به چپ . ممنوعیت‌های گردش به چپ معمولاً در تقاطعات در طول خیابانهای اصلی که بار سنگینی از ترافیک را هدایت می‌کنند استفاده می‌شوند. در هر صورت باید در استفاده نامنظم و نامشخص از ممنوعیت گردش به چپ دقت نمود. تاثیر محدودیت گردش به چپ در یک تقاطع باید با احتمال ایجاد خطرات ناخواسته در سایر تقاطعات ارزیابی گردد. باید مسیرهای جانشین بسهولت در دسترس ترافیک دارای گردش به چپ قرار گیرد. برای تعیین میزان دسترسی اینگونه

مسیرها ضروری است که نمونه‌های جریان ترافیک و حجم آن در مجاورت منطقه محدودیت گردش مطالعه گردد.

صرف حجم بالای گردش به چپ نباید ضرورتاً ممنوعیت گردش باشد لیکن باید نیاز به بررسی تمام روشهای ممکن برای هدایت حرکت را روشن سازد. در تقاطعات چراغدار اغلب هدایت گردش به چپ با یک فاز مخصوص در چراغ راهنمایی ممکن می‌شود.

محدودیت گردش به راست . ممنوعیت گردش به راست بیشتر اوقات در محلهایی که برخورد جدی بین پیاده و وسایط نقلیه وجود دارد بکار گرفته می‌شود. خطر تصادف بالقوه، و تاخیر و تراکم در حرکت گردش به راست، و تناوب در حرکت مستقیم عواملی هستند که ممکن است ضابطه محدودیت گردش قرار گیرند. در هر صورت، فاز مخصوص چراغ و سایر لوازم کنترل محدودیت کمتر ممکن است بجای محدودیت چرخش مطالعه گردد.

ابزار محدود نمودن گردش

تابلوهای ممنوعیت گردش . تابلوهای با پیام‌های "گردش به راست ممنوع"، "گردش به چپ ممنوع" و "دور زدن ممنوع" ممکن است برای وادار کردن رانندگان به تبعیت از یک برنامه خاص ترافیکی مورد استفاده قرار گیرد. وقتی که محدودیت حرکت فقط در طول زمانهای معینی از روز مورد نیاز است دفترچه هماهنگی ابزار کنترل ترافیک *MUTCD* توصیه‌های جایگزین زیر را ارائه می‌دهد:

۱ - علایم روشن شونده که از داخل فقط در طول زمان محدودیت خصوصاً در تقاطعاتی که چراغ دارند روشن و خوانا می‌شود.

۲ - تابلوهای ایستاده دائمی به همراه یک نقش برجسته اضافی که ساعات ممنوعیت را نشان می‌دهد.

۳ - تابلوهای پایه‌دار قابل نقل و انتقال که زیر نظر پلیس در جای مورد نیاز بکار گرفته می‌شوند و در سایر ساعات جمع‌آوری می‌گردند.

چراغ شاخص ترافیک . زمانیکه محدودیت گردش در تمام مدت اعمال می‌شود منطقی است که یک چراغ سبز با پیکان (فلش) بجای چراغهای تمام سبز بکار رود.

علامت گذاری روسازی . خط‌کشی و علامت گذاری روی روسازی بجای تابلو و چراغ مفید است.

تفکیک ترافیک . در مواقعی که ممنوعیت گردش در تمام مدت اعمال می‌گردد ابزار تفکیک و تجزیه ترافیک ممکن است برای جلوگیری عملی از انجام گردش مورد نظر قرار گیرد.

گردش به راست در زمان قرمز

به منظور کم کردن و تخلیه تراکم در تقاطعاتی که حجم بالای پیاده‌ها حرکات گردش به راست را بلوکه می‌کند بعضی ایالات و شهرها اجازه داده‌اند که حرکات گردش به راست در زمان قرمز و پس از توقف صورت گیرد. این روش تنها در جایی بدون علامت گذاری موثر خواهد بود که در یک منطقه و با منبای متحد بکار گرفته شود و علامت راهنمای وسایط نقلیه باید تمام ترافیک گردش به راست را قبل از شروع حرکت در چراغ قرمز ملزم به توقف نماید. در بعضی نقاط این اقدام به دلیل نبود لوازم و امکانات برای علامت راهنمای وسایط نقلیه و خطر تصادف حذف شده است. روش دیگر بطور کلی به حرکات گردش به راست اجازه گردش می‌دهد بدون اینکه وسایط نقلیه موتوری ملزم به توقف قبل از حرکت باشند. این روش با استفاده از یک چراغ سبز گردش به راست همزمان با چراغ قرمز مسیر مستقیم و گردش به چپ امکان این امر را فراهم کرده است. استفاده ممتد از خط گردش به راست در یک تقاطع چراغدار به دلیل منافع فراوان آن در کاهش تاخیر در وسائط نقلیه و افزایش ظرفیت تقاطع است، لیکن این امر برخورد جدی بین وسایط نقلیه با پیاده‌های عبوری ایجاد می‌نماید. برخورد با حرکت مستقیم در جهت دیگر نیز ممکن است وجود داشته باشد. چنانچه طرح هندسی تقاطع هماهنگی مناسب بین این دو جریان ایجاد ننماید. یک بررسی کامل درباره حجم پیاده عبوری و وسایط نقلیه قبل از اجازه دادن گردش به راست باید به عمل آید. برای یک تقاطع و مسیر خاص دارای شکل به منابع مراجعه نمایید.

کنترل کاربری خطوط در تقاطعات

کنترلهای کاربری خطوط در تقاطعات عموماً خطوط حرکت را انحصاراً برای استفاده یک حرکت بکار می‌گیرد. یک خط اختصاصی گردش به چپ یا راست فقط در جایی که حرکت گردشی سنگین داریم مجاز شمرده می‌شود. زیرا چنانچه بطور

کامل از آن استفاده نشود ممکن است بطور محسوسی ظرفیت تقاطع را کاهش دهد. بصورت ایده‌آل جداسازی خطوط گردشی توسط تعویض روسازی مسیر انجام می‌گیرد تا از تداخل این مسیرها با مسیر مستقیم جلوگیری به عمل آید. در هر صورت این نوع از طراحی تقاطع برای بیشتر تقاطعات خیابانهای یکطرفه و در مسیرهای منشعب یا ورودی به آزادراهها اتفاق می‌افتد.

زمانیکه حجم حرکت گردشی در ساعات اوج نیاز به بیش از یک خط دارد، خط مجاور به خط حرکتهای گردشی باید بصورت انتخابی برای حرکات گردش به چپ یا راست و یا مستقیم مورد استفاده قرار گیرد.

روشهای مختلف برای استفاده از کنترل حرکت وسایل نقلیه در تقاطعات عبارتند از:

علایم کنترل کاربری خطوط: اینها علائمی هستند که بوسیله‌شکل یا کلمات انواع حرکاتی را که مجاز به گردش و یا حرکت از خطوط خاصی هستند را معین می‌نماید. چگونگی استفاده از علائم کنترل کاربری خطوط در دفترچه ابزار یکنواخت کنترل ترافیک (*MUTCD*) توضیح داده شده است. علایم ممکن است روی تیر یا بالای سر روی جاده نصب شوند. علایم بالای سر روی جاده به دلیل اینکه علامت می‌تواند در بالای خطوطی که می‌خواهند از آن استفاده کنند قرار گیرد ارجح است.

علامت گذاری روی روسازی: کنترل کاربری خطوط با علامت گذاری روسازی باید به عنوان مکمل علایم کنترل کاربری خطوط در یک مسیر بکار رود. *MUTCD* علایم و لغات بکار گرفته شده برای کنترل خطوط که توصیه شده است را ارائه می‌نماید. نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهد که استانداردهای توصیه شده توسط *MUTCD* برای کنترل تقاطعات چندگردشی موفق بوده است. نتایج مبنی بر آزمایشات در محل و در آزمایشگاه بوده است.

برای استانداردهای پیشنهادی کالیفرنیا در علامت گذاری روسازی برای خطوط گردش به چپ دوطرفه، و استفاده از نوارهای باریکه بصورت تنها و یا درکنار یک رفوژ به منابع مراجعه نمایید.

جداسازی خط گردش به چپ: ضوابط پذیرفته شده مشترکی‌برای ساخت رفوژ گردش به چپ وجود ندارد. بهرحال عواملی که قبل از هر نوع طراحی باید مورد نظر قرار گیرد عبارتنداز:

۱ - بررسی تصادفات ناشی از گردش به چپ با ترافیک روبرو، برخورد جانبی و برخورد انتهایی

۲ - حجم ترافیک گردش به چپ و روبرو

۳ - تاخیر در حرکات گردش به چپ و مستقیم

۴ - وضعیت فیزیکی و هندسی تقاطع

۵ - هزینه ساخت و ساز

علامت گذاری خطوط گردشی پیشرفته: خط گردش اغلب خودیک نوع تراکم و مشکل ترافیکی است. یک مطالعه انجام شده روی تقاطع روشن ساخته است که این خطوط تاثیر مفید و قابل توجهی روی موقعیت و قرارگیری رانندگان در خط مناسب قبل از رسیدن به تقاطع دارند.

فاز مخصوص در چراغ ترافیکی برای کنترل گردش

چراغ با زمان اضافی برای حرکات گردشی بصورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با ممنوعیت گردش این روش مزیت عدم نیاز به تغییر مسیر را دارد، لیکن به تناوب این روش نیاز به افزایش زمان چرخه پیدا می‌کند که به معنای تاخیر اضافی بر دیگر وسایط نقلیه و پیاده‌هاست. در مقایسه با ممنوعیت گردش فاز مخصوص چراغ به هرحال معمولاً به عنوان یک جانشین خوب معرفی می‌گردد. روشهای مختلف بکارگیری فاز مخصوص عبارتند از:

روش زود قطع کننده و دیر آزادکننده . زمان سبز ابتدا یا انتها در تناوب چراغ راهنمایی به گردش به چپ اجازه می‌دهد بدون برخورد با وسایط نقلیه روبرو تقاطع را تخلیه نماید. هر فاز چراغ سبز ابتدایی شامل اجازه دادن به تمام ترافیک در مسیر (مثلاً جنوب به شمال) برای عبور از تقاطع بدون حرکت مقابل و در یک تناوب زمانی ۷ تا ۲۰ ثانیه در ابتدای زمان اصلی فاز سبز می‌باشد. بعد از این زمان ابتدایی چراغ سبز به ترافیک شمال به جنوب اختصاص می‌یابد، و در تمام ترافیک دو جهت از تقاطع عبور می‌نمایند و اگر فواصل عبور کافی اتفاق افتد به هردو جهت مقابل اجازه گردش داده می‌شود. چراغ سبز برای هر دو جهت همزمان پایان می‌یابد. این روش بنام روش دیر آزادکننده برای مسیر شمال به جنوب نامیده می‌شود.

یک زمان سبز انتهایی عبارت است از به پایان رسانیدن یک مسیر (مثلاً جنوب به شمال) با یک تناوب زمانی ۷ تا ۲۰ ثانیه قبل از اینکه زمان سبز برای مسیر شمال به جنوب ترافیک پایان یابد که بر اساس آن تمام ترافیک شمال به جنوب بدون برخورد با ترافیک مقابل می‌تواند در تقاطع جریان یابد. زمان سبز برای هردو مسیر همزمان شروع می‌گردد. این روش به نام زود قطع کننده برای مسیر شمال به جنوب نامیده می‌شود.

استفاده از هریک از دو روش باید به دقت بررسی و ارزیابی گردد زیراکه وسایط نقلیه موتوری رسیده به تقاطع در زمان سبز کوتاهتر مایل به ادامه مسیربدر تقاطع برخلاف چراغ قرمز هستند چراکه ترافیک مقابل آزادانه در حرکت است. عوامل زیر قبل از اتخاذ تصمیم دربارهٔ یک فاز سبز زود قطع و یا دیر آزادکننده باید مد نظر قرار گیرد.

مزایای روش دیر آزادکننده :

۱ - ظرفیت یک تقاطع با محدودیت در عرض مسیرهای مختلف را افزایش می‌دهد.

۲ - تنظیم آن روی دستگاه کنترل چراغ آسانتر است.

۳ - بوسیله تخلیه تقاطع از حرکات گردش به چپ در ابتدای کار برخورد بین گردش به چپ و حرکت مستقیم را حذف و در نتیجه تراکم را کاهش می‌دهد.

۴ - زمان عکس‌العمل راننده سریعتر است.

۵ - صرفاً نیاز به یک زمان خاص سبز برای تخلیه دارد زیراکه فاز سبز برای هر دو مسیر همزمان پایان می‌یابد.

۶ - برای محلهایی که خطوط گردش به چپ جداگانه وجود ندارد قابل قبول است.

معایب روش دیر آزادکننده :

۱ - باعث ایجاد برخورد وسایط نقلیه و پیاده‌ها در طول زمان سبز اولیه می‌گردد.

۲ - حرکات گردش به چپ ممکن است بناحق، حق تقدم مسیر مستقیم مقابل را - به محض پایان یافتن زمان سبز اولیه - تصاحب کنند.

۳ - جریان ترافیک مقابل در زمان سبز اولیه دچار اشتباه شده و شروع به حرکت می‌نماید.

۴ - ممکن است در زمان بندی سیستم چراغهای پیشرفته - به دلیل اینکه حرکت مستقیم زمان حرکت را زودتر دریافت کرده احتمالاً قبل از زمان سبز به تقاطع چراغدار بعدی که چراغ آن یا این تقاطع هماهنگ است برسد - مشکل ایجاد نماید.

۵ - این روش با قانون حق تقدم عبور تطبیق نکرده و ممکن است وقتی زمان سبز اولیه خاتمه می‌یابد حرکت گردش به چپ را به اشتباه بیاندازد.

مزایای روش زود قطع کننده :

۱ - با قانون طبیعی حق تقدم عبور در گردش به چپ تطابق داشته و برای حرکات گردش به چپ ایجاد اشتباه نمی‌نماید.

۲ - به رفتار طبیعی رانندگی نزدیک‌تر است.

۳ - زمینه را برای تفکیک حرکت پیاده از سواره فراهم می‌نماید چراکه پیاده در ابتدای فاز سبز از عرض خیابان عبور می‌نماید.

۴ - زمان سبز برای هر دو مسیر همزمان آغاز می‌گردد.

۵ - امکان بالا بردن ظرفیت کلی را فراهم می‌نماید، زیراکه ابتدا گردش به چپ در داخل تقاطع حرکت کرده و مسیر مستقیم را در طول زمان سبز تخلیه می‌نماید و به تبع آن فاصله زمانی مورد نیاز برای وسایط نقلیه ورودی به تقاطع در مسیر مستقیم راکاهش می‌دهد.

۶ - حرکات گردش به چپ بدون دلیل حق تقدم عبور مسیر مستقیم را تصاحب نمی‌کنند.

۷ - صرفاً دسته‌های متفرق وسایط نقلیه تقاطع هماهنگ شده مجاور را قطع می‌کند.

۸ - در محلهایی که خط جداگانه گردش به چپ وجود دارد مطلوب است.

معایب روش زود قطع کننده :

۱ - به دو زمان اضافی تخلیه نیاز دارد زیراکه فاز سبز در دو زمان مختلف برای دو جهت مختلف در یک فاز به پایان می‌رسد.

۲ - در ابتدای زمان سبز انتهایی بین حرکات گردش به چپ متقابل برخورد ایجاد می‌شود چون که رانندگانی که دارای حرکت گردش به چپ مقابل هستند فکر می‌کنند که هر دو حرکت در یک زمان متوقف می‌شوند.

۳ - برای حرکت مستقیم در جایی که خط جداگانه گردش به چپ وجود ندارد تولید اشکال می‌نماید.

چند نوع تابلو که بصورت پیوسته باکنترل زود قطع کننده و دیر آزادکننده استفاده می‌گردد بصورت زیر است:

برای چراغ سبز منتظر بمانید.
دیر آزادکننده، زود قطع کننده
فقط در زمان سبز حرکت کنید.
منتظر باشید چراغ با تاخیر سبز می‌شود.
فقط از چراغ خود تبعیت نمایید.

مشهورترین این تابلوها، تابلوی "برای چراغ سبز منتظر باشید" در جایی که یک چراغ دیر آزادکننده داریم می‌باشد.

عملکرد سه فازی . این نوع عملکرد یک فاز اختصاصی برای گردش به چپ فراهم می‌نماید. چرخه چراغ به سه فاز تقسیم شده است، اولی برای حرکت مستقیم و گردش به راست در دو جهت مسیر اصلی، دومی اختصاصاً برای حرکتهای گردش به

چپ در مسیر اصلی و سومی برای تمام حرکات در مسیر فرعی تنظیم شده است. این معمول‌ترین عملکرد روش سه فازی است لیکن اشکال دیگر بسته به نیازهای خاص ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

روش سه فازی معمولاً برای کاهش تاخیر دو حرکات گردشی استفاده می‌گردد. یک مطالعه نشان داده است که اضافه کردن فاز گردش به چپ به طور اساسی تاخیر کلی را افزایش می‌دهد. تاخیر حرکات گردش به چپ به نسبت تاخیر ناشی از روش دو فازی بطور محسوسی کاهش نیافت.

یک بررسی روی استفاده و ظرفیت "خط گردش به چپ در یک فاز جداگانه روشن ساخت که هریک از دو خط مقدار معادلی از وسایل نقلیه را در ساعات اوج از خود عبور دادند. ظرفیت هر یک از خطوط مقداری کمتر از یک خط گردش به چپ منحصر به فرد بوده و ممکن است تقریباً تا ۷۵ درصد ظرفیت با اضافه نمودن خط گردش به چپ دوم کاهش یابد.

فازهای مخصوص پیاده . این فازها شامل ترکیب زمان مورد نیاز پیاده با زمان مورد نیاز وسایط نقلیه است. ۴ ترکیب اساسی برای کنترل پیاده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای اطلاعات بیشتر دربارهٔ فاز مخصوص چراغ و کنترل به منابع مراجعه نمایید.

جزایر کنترل ترافیک

یک جزیره کنترل ترافیک یک منطقه معین بین خطوط ترافیک برای کنترل حرکات وسایط نقلیه و یا سکوی پیاده‌هاست. ترافیک وسایط نقلیه همراه با تمام مناطق ورودی که توسط ابزار حفاظتی جداکننده یا هشدار دهنده اشغال شده از جزایر جدا شده است.

طبقه بندی جزایر

جزایر ممکن است از نظر عملکرد وضعیت فیزیکی بصورت زیر طبقه‌بندی شوند:

۱ - جزایر سکوی پیاده‌ها: یک جزیره سکوی پیاده برای استفاده و حفاظت از پیاده‌ها طراحی شده است.

یک جزیره پیاده شامل منطقه امن، با منطقه انتهای مسیر ورودی، اشغال و یا مجزا شده توسط ابزار حفاظتی هشدار دهنده و یا منحرف کننده می‌باشد.

منطقه امن، منطقه یا فضایی است که بصورت اصولی در کنار یک جاده منظور شده است. برای استفاده جداگانه پیاده‌ها و این منطقه حفاظت شده و یا علامت‌گذاری و مشخص شده است توسط علایم کافی، بطوریکه بصورت واضح در تمام اوقات قابل رویت باشد. یک جزیره بارگیری یک جزیره پیاده است که بطور خاص برای حفاظت استفاده‌کنندگان از وسایط عبوری اجرا شده است.

۲ - جزایر تقسیم ترافیک: یک جزیره ترافیکی وسیله‌ای است‌طولانی و باریک که در مسیر یک جاده حرکت کرده و حرکات ترافیکی در یک مسیر و یا مسیرهای متقابل را تفکیک می‌نماید.

۳ - جزایر هدایت کننده ترافیکی: این جزایر در یک جاده واقع‌شده و برای هدایت حرکات خاص ترافیکی و معمولاً حرکات گردشی به مسیرهای مربوطه بکار می‌روند.

کاربرد جزایر

بیشتر جزایر برای اهداف فراوانی بکار می‌روند گرچه معمولاً برای نیازهای خاص احداث می‌گردند. انواع جزایر در زیر مورد بحث قرار گرفته‌اند.

جزایر سکوی پیاده‌ها . جزایر سکو باید در مناطق شهری و اختصاصاً در خیابانهای عریض، در یک تقاطع بزرگ و نامنظم که در آن حجم زیاد پیاده و وسیله نقلیه امکان عبور را مشکل و خطرناک می‌سازد بکار رود. این جزایر ممکن است همچنین در خیابانهای عریض که در آنها تقاطع با چراغ کنترل می‌گردد و برای کاهش زمان تخلیه و تسریع در حرکت ترافیک مورد نظر قرار گیرد. جزایر پیاده‌ها همچنین ممکن است در محلهایی که بررسی تصادفات نشان دهنده وقوع تعدادی تصادف عابر پیاده، از نوعی که احتمالاً با نصب جزیره از بین رفته و یا کاهش یابد، مورد استفاده قرار گیرد.

جزایر تقسیم ترافیک . یک جزیره تقسیم کننده ترافیک یا میانی یک بخش مهم و ضروری در طراحی یک راه اصلی در مناطق شهری برای تامین ایمنی و ظرفیت کافی است. عموماً هیچ بزرگراه بین شهری با ۴ خط نهایی یا بیشتر بدون جزیره میانی ساخته نمی‌شود.

کاربردهای مهمتر یک جزیره میانی با تقسیم به شرح زیر است:

۱ - تامین آزادی حرکت از تداخل با حرکت مقابل و در نتیجه تامین آرامش، آسایش و اطمینان بیشتر برای وسایط نقلیه موتوری و کاهش تصادفات.

۲ - در جایی که عرض کافی است تامین حفاظت و کنترل برای

ترافیک عبوری و گردشی و فراهم کردن امکان احداث خط جداگانه گردش برای حرکت گردشی وسایط نقلیه و به همان نسبت افزایش ظرفیت تقاطع

۳ - ایجاد یک پناهگاه برای پیاده‌ها و کاهش نیاز به نصب چراغ راهنمایی

۵ - ممانعت از دور زدن

۶ - تعیین محدوده و روشن نمودن مسیر مناسب وسیله نقلیه که با حرکت با آرامش بیشتر و ایمنی در سرعت‌های بالاتر را ممکن می‌سازد.

میانی‌ها باید به اندازه کافی عریض، با قابلیت دیده شدن بالا و با تفاوت آشکار یا خطوط جریان ترافیک باشند. بجز برای میانی‌های خیلی باریک (۱/۲ متر یا کمتر) و در جایی که حفاظت پیاده‌ها کافی است، میانی‌ها باید همراه جداول مرتفع در جاییکه جدول مورد استفاده است طراحی شوند.

توجه به فهرست کتابهای مرجع که در آنها کاربری تمام جزئیات میانه‌ها با محدودیت‌ها و عملکرد مورد بررسی قرار گرفته ضروری است. در رابطه با مطالعه بررسی آزمایشات کامل میانی‌ها و حصارهای پل‌ها و آزمایشات انجام شده روی این حصارها به منابع مراجعه کنید. حصار کابل زنجیره‌ای بسیار موثر بوده است.

مطالعات فراوانی روی آزمایش رفتار ترافیک در جاده‌های باز و بدون حصار میانی و برای ارزیابی تاثیر وجود این حصارها در تصادفات انجام گرفته است.

جزایر هدایت کننده ترافیک . جزایر هدایت کننده عموماً در تقاطعات و برای هدایت ترافیک به مسیر مناسب از میان تقاطع استفاده می‌گردند. جزایر هدایت کننده معمولاً برای یک یا چند هدف زیر بکار گرفته می‌شود:

۱ - جداسازی برخوردها

۲ - کنترل زاویه برخورد

۳ - کاهش سطح اضافی

۴ - تنظیم جریان ترافیک و تعیین بهره‌برداری بهینه از تقاطع

۵ - اولویت دادن جریان گردشی غالب

۶ - حفاظت از پیاده‌ها

۷ - حفاظت و سازماندهی و جمع‌آوری حرکات گردشی عبوری

۸ - جایگذاری ابزار کنترل ترافیک

۹ - ممانعت از حرکت‌هایی خاص

۱۰ - کنترل سرعت

ضابطه‌ای اساسی برای نصب جزایر هدایت کننده مبتنی بر ابعاد تقاطع، مشخصات فیزیکی، و بهم ریختگی طبیعت محل و در جایی که استفاده از آنها برخوردها و خطرات غیرضروری و غیر قابل پیش‌بینی برای پیاده‌ها و وسایط نقلیه را حذف نموده و یا کاهش می‌دهد می‌باشد، همانطوریکه تلاطم و بی‌نظمی در جریان ترافیک را کاهش داده و از بین می‌برد.

در هر تقاطع برای تعیین موقعیت محل مناسب و شکل جزایر با هدف دست یابی به کنترل مورد نظر روی حرکات ترافیکی در منطقه تقاطع نیاز به مطالعات دقیق می‌باشد.

جزئیات یک طراحی کلی

طراحی یک جزیره باید به دقت انجام شده و شکل آن باید با مسیر طبیعی حرکت وسیله نقلیه مطابقت داشته و همچنین یک جزیره برجسته نباید یک خطر برای جاده ایجاد نماید یک جایگذاری منطقی و عاقلانه جزیره در یک تقاطع روی یک خیابان عریض ممکن است نیاز به نصب چراغ راهنمایی را با هدایت جریان ترافیک به حرکت‌های معمولی ملغی نماید.

نورپردازی و منعکس کنندگی . جزایر باید بطور وضوح قابل دیدن در تمام اوقات و همچنین به میزان کافی باشد بطوریکه رانندگان با حضور غیر مترقبه آن مواجه نشوند.

جزایر سکو بدون نورپردازی و منعکس کنندگی کافی نباید نصب گردند. نورپردازی در هر سکو باید به قدری بزرگ باشد که تمام جزئیات ورودی‌ها و موقعیت کلی جزایر و حرکات ناگهانی وسائط نقلیه را نشان داد. و تمرکز روشنایی روی خطرات متوجه پیاده و وسایط نقلیه را تامین نماید. منعکس کنندگی برای نشان دادن وجود جزایر در شب و وقتی که روشنایی وجود ندارد فوری است.

جزایر تقسیم و هدایت کننده ترافیک و خطوط مناسب حرکت در طول آنها ترجیحاً باید توسط روشنایی مستقیم مناسب و کافی بطور کامل وضوح قابل دیدن در شب گردند. چنانچه وسایل نورپردازی و روشنائی در دسترس نباشد جزایر باید در حد امکان قابلیت دیده شدن بالا و ابزار نشاندهنده انتهای مسیر طراحی شوند.

ابعاد و شکل . جزایر عموماً باریک و طولانی و یا سه گوشه هستند و معمولاً در خارج از مسیر عبور وسایط نقلیه واقع شده‌اند. ابعاد و شکل آنها برای دادن خدمات به اجزاء ترکیب کننده یک جاده و یا تقاطع طراحی می‌گردند.

ابعاد وقتی یک جزیره متناسب با شرایط خاص طرح

می‌شود لیکن باید به میزان کافی و برای جلب توجه بزرگ باشند. در مقاطع بین شهری یک جزیره باید حداقل ۷/۵ متر مربع و در شرایط با محدودیت خیلی زیاد حداقل ۵ متر مربع مساحت داشته باشد. در مقاطع شهری و جایی که سرعت‌ها پایین هستند مساحت مورد نظر باید ۵ و ۳/۵ متر مربع باشد. در حد امکان از حداقل ابعاد جزیره باید اجتناب کرد.

طراحی سطح. معمولاً طرح و مجزا سازی سطح جزایر به یکی از روشهای زیر صورت می‌گیرد:

۱ - جزایر ممکن است با جدول مرتفع شود، و یا با روسازی، چمن و یا سایر مواد پر شوند.

۲ - جزایر ممکن است با علامت گذاری روی روسازی، و یا دسته‌هایی از میله‌ها روی سطح روسازی و معمولاً در مناطق شهری که سرعت پایین و محدودیت فضا وجود دارد شکل داده شوند.

۳ - سطح جزایر ممکن است بدون رویه و صاف و هم‌تراز و در بعضی مواقع با لوازم انعکاسی، پایه‌ها و یا سایر شاخص‌ها تکمیل گردد. این شیوه معمولاً برای جزایر بزرگ بکار می‌رود.

رفتار انتهای مسیر. انتهای مسیر یک جزیره باید به دقت طراحی شود تا حداکثر توجه و هشدار را برای وسایط نقلیه نزدیک شونده نسبت به وجود جزیره فراهم نماید و همچنین یک شاخص یعنی از مسیریا مسیرهای مناسب وسیله نقلیه را برای ادامه راه ارائه دهد. رانندگان وسایط نقلیه موتوری باید عمیقاً از وجود جزیره آگاه شده و بوسیلهٔ یکی از ابزارهای زیر به اطراف آن هدایت شوند:

۱ - علامت گذاری روی روسازی
۲ - علامت گذاری هدف
۳ - علائم و تابلوها
۴ - علامت خطر منعکس شونده
۵ - چراغ زرد چشمک زن
۶ - روسازی با رنگ و یا بافت متفاوت
۷ - میله، دکمه و قطعات برجسته
۸ - ابزار نورپردازی

تعداد زیادی دکمه‌های قارچی یا میله‌های آهنی مشبک یا بتنی با چند سانتی‌متر ارتفاع با و یا بدون انعکاس نور ممکن است برای طراحی جزیره و یا مسیرهای ورودی آنها و برای کمک به هدایت وسایط نقلیه به اطراف آنها مورد استفاده قرار گیرد.

علایم هشدار دهنده جزایر در ابتدای آن ممکن است همچنین توسط میله‌های متحرک و تکان خورنده که بصورت معکوس از زمین بیرون آمده و ورود چرخ وسیله نقلیه به محوطه آنها بدون کاهش کنترل انجام می‌گردد اجرا گردد. یک روش شبیه میله‌های متحرک استفاده از نوارهای باریک سر و صداکننده است که شامل قطعات بزرگ و زاویه‌دار از روسازی است بطوریکه در برخورد با چرخ یک صداری وزوز رسا تولید می‌کند. نوارهای باریک سروصدا کننده بطور گسترده برای هشدار دادن به رانندگان در مسیرهای منتهی به تقاطعات خطرناک و برای کمک به کنترل مناسب عمل کرد بسیار سودمند است.

یک مطالعه روشن ساخت که رفتار انتهای مسیر خاص نسبت به یک جزیره هدایت کننده ترافیک را مجبور به کاهش سرعت از مسافت طولانی‌تر از تقاطع و ادامه حرکت با سرعت کم در قطعه هدایت کننده نمود.

برای کسب اطلاعات بیشتر دربارهٔ رفتار و جزئیات طراحی جزایر به *HRB* گزارش ویژه ۷۴ روی هدایت ترافیک، *AASHO* سیاست طرح هندسی بزرگراههای بین شهری و *AASHO* سیاست بزرگراههای شریانی در مناطق شهری مراجعه کنید.

نگهداری جزیره ترافیکی

روشها و ترتیب نگهداری جزایر بسته به ساختمان جزیره یک طیف گسترده را در برمی‌گیرد. نگهداری و تعمیر باید شامل حفظ و نگهداری جزیره در شرایط ساختمانی اصلی و مشخصات رفتاری انتهای مسیر باشد. این اعمال باید شامل تجدید روسازی همراه با جزایر، جایگذاری جداول، نصب پست‌ها و ریل یا مسیر ایمنی، جایگذاری دکمه‌ها و منعکس کننده‌ها و رنگ آمیزی متناوب جداول و علائم باشد. وقتی جزایر با چمن پوشیده شده‌اند باید رشد چمن به حدی باشد که آشکارا قابل دیدن باشد. میله‌های سروصدا کننده، دکمه‌های قارچی، و سایر قطعات بیرون آمده و نصب شده در روسازی باید قابل تعویض و تنظیم باشند.

کنترل‌های توقف در تقاطع

ممنوعیت و محدودیت توقف در و یا نزدیک تقاطعات می‌تواند نتایج سودمندی در عملکرد تقاطع داشته باشد. حذف یا محدودیت توقف نزدیک تقاطع خصوصاً در طول ساعات اوج جریان، احتمال برخورد وسایط نقلیه ورودی با جداول

خروجی را کاهش می‌دهد. این مقدار اضافی از تراکم در یک تقاطع از قبل متراکم اغلب در ساعات اوج قابل تحمل نیست.

ممنوعیت کامل توقف نزدیک تقاطعات یک خط گردش به راست و نتایج موثر خاصی در زمان داشتن حرکات سنگین در آن مسیر ایجاد می‌نماید. با حذف پارکینگ در نزدیک تقاطعات همچنین عرض اضافی برای تشکیل صف وسایط نقلیه ایجاد شده از طولانی شدن صفوف جلوگیری می‌نماید.

باید یادآور شد که در هر حال ممنوعیت توقف باید محدود به تقاطعاتی باشد که توقف در آنها خطرات جدی و یا مانعی در جریان ترافیک ایجاد می‌کند.

موضوع کنترل توقف کنار جدول در فصل ۲۷ بطور کامل بحث شده است.

کنترل پیاده

تصادفات پیاده - وسیله نقلیه

در حالی که مجموع تعداد حوادث ترافیکی پیاده‌ها بطور محسوسی طی ۳۰ سال اخیر رشد کرده است، مرگهای ناشی از این حوادث همچنان حدود ۳۷ درصد از تمام حوادث ترافیکی در مناطق شهری است.

به نظر می‌رسد که بیشتر افراد پیر (بالای ۶۵ سال) و جوانان (زیر ۱۵ سال) گرفتار حوادث ترافیکی می‌گردند تا سایر گروه‌های سنی. حوادث ترافیکی گروه در سنین بالا و جوان حدود ۵۷ درصد از کل حوادث را تشکیل می‌دهد.

تراکم ترافیک

در مناطقی که جریان سنگین وسایط نقلیه و پیاده‌ها وجود دارد، مانند تقاطعات مرکز تجاری شهر، برخوردهای ترافیکی می‌تواند باعث تراکم، تاخیر و خطر گردد. این شرط می‌تواند برای تقاطعاتی که چراغ دار هستند خصوصاً در زمانیکه حرکات گردشی سنگین با حجم سنگین پیاده‌های عبوری برخورد می‌کند مطابقت نماید. کنترل مناسب حرکات پیاده‌ها و سواره‌ها برای کاهش و حداقل نمودن تراکم و تاخیر ضروری است.

امدادهای مهندسی برای ایمنی و کنترل پیاده‌ها

مهندس باید نیاز و درخواست به انواع مشخص کنترل یا حفاظت فیزیکی در مناطقی که برخورد اصلی یا تعداد بالای تصادفات روی می‌دهد را معین نماید. بعضی از این کنترل‌ها و ابزار فیزیکی در ادامه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲ - ۲۳ . حجم پیاده و سواره برای طراحی عرض پیاده‌رو

حجم پیاده در هر روز وقتی که سرعت برابر مقادیر زیر است		حجم ترافیک وسایط نقلیه
۶۰ - ۷۰ mph	۳۰ - ۵۰ mph	حجم طراحی ساعتی
۱۰۰	۱۵۰	پیاده‌رو در یک طرف
		۵۰ - ۱۰۰
۵۰	۱۰۰	> ۱۰۰
۳۰۰	۵۰۰	پیاده‌رو در یک طرف
		۵۰ - ۱۰۰
۲۰۰	۳۰۰	> ۱۰۰

پیاده‌روهای کناری . پیاده‌روهای کناری یک نیاز شناخته شده برای مناطق شهری هستند لیکن در مناطق بین شهری صرفاً در بعضی نقاط ضروری هستند. بهرحال در بسیاری از مناطق بین شهری نیاز به پیاده‌روهای کناری به دلیل سرعت بالای وسایط نقلیه و عدم وجود نورپردازی بطور عمومی کاملاً بحرانی است. در مناطق شهری جایی که ساختمان پیاده‌رو بصورت گسترده‌ای منطقی و مورد نظر است شامل نقطه دارای تجمع و اجتماعات مثل: مدارس، سالنهای اجتماعات، کلیساها، مشاغل عمومی و مناطق صنعتی است. از کل حوادث پیاده‌های ناشی از ترافیک در سال ۱۹۶۷ تقریباً ۳۵ درصد در بزرگراههای خارج شهری اتفاق افتاده است. این امر زمانی مشخص‌تر می‌شود که دریابیم اگرچه مقدار صفر بر حسب وسیله - کیلومتر در مناطق شهری و بین شهری تقریباً یکسان است لیکن چگالی عبوری پیاده‌ها در مناطق شهری خیلی بیشتر است. بنابراین خطر در مناطق بین شهری به تناسب خیلی بیشتر است.

جدول ۲ - ۲۳ ضوابط احداث پیاده‌رو کناری بر حسب حجم پیاده عبوری و وسایط نقلیه و سرعت را نشان می‌دهد. برای تعیین عرض مورد نیاز پیاده‌رو کناری فرض می‌شود که ظرفیت در هر ۶ سانتی‌متر عرض بین ۱۸ تا ۲۷ پیاده در دقیقه و یا ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ پیاده در ساعت است. توصیه دیگر در این رابطه این است که بطور عموم عرض پیاده‌رو تمام شده باید حداقل ۱/۸ متر در مناطق شهری بوده و ترجیحاً این ارقام به ترتیب از ۲/۴ تا ۳/۶ متر و یا حداقل ۱/۸ متر باشد.

یک توصیه انگلیسی مبتنی بر ظرفیت پیاده‌ها در مناطق خرید ۰/۹ متر عرض اضافی را توصیه می‌کند به این دلیل که عرض کم برای حرکات پیاده‌ها کافی نیست بنابراین ۰/۹ متر عرض اضافی باید به مقادیر فوق اضافه شود.

خط کشی عابر پیاده . خط عابر پیاده - خط عبور پیاده منطقه

عبور پیاده‌ها در یک تقاطع یا در سایر نقاط یک جاده را محدود و تعیین می‌نماید، کاملاً منطقی و ضروری است که خط‌کشی عابر پیاده را طوری علامت‌گذاری نماییم که هم در روز و هم در شب قابل رویت باشند. عرض خط عابر پیاده که بوسیله دو خط پر معین شده است باید حداقل برابر و یا ترجیحاً عریض‌تر از عرض پیاده‌روها باشد. نورپردازی خطوط گردش به راست و یا چپ وسایط نقلیه در تقاطع بطور وضوح ظرفیت خط عابر پیاده را افزایش می‌دهد. استفاده از علامت‌گذاری روسازی برای تعیین خط عابر پیاده به افزایش پذیرش آن توسط پیاده‌ها کمک نموده و در عوض به عدم پذیرش وسایط نقلیه برای توقف در مقابل آن کمک می‌نماید. برای افزایش بهره‌وری مناسب از خط عابر پیاده در یک شهر منطقه بین دو خط پر عابر پیاده را با رنگ سبز رنگ‌آمیزی شده نشان داد که این کار باعث کاهش تخلف از حق تقدم عابر پیاده شده و عابرین در مقایسه ترجیح می‌دهند که از یک خط رنگ‌آمیزی شده عبور کنند.

آیین‌نامه انگلیس دریافته است که استفاده از خط‌کشی راه‌راه برای عابر پیاده می‌تواند موثر باشد.

خط عابر پیاده راه راه شامل خطوط موازی و با فاصله مساوی و معادل عرض خود به موازات جهت حرکت وسایط نقلیه در تمام عرض خط عابر پیاده است. این خطوط معمولاً دارای ۶۰ سانتی‌متر عرض و معادل فاصله بین خودشان می‌باشند.

ضوابط پذیرفته شده خاصی برای خط‌کشی این خطوط وجود ندارد لیکن این خطوط باید مبتنی بر موارد زیر باشند:

۱ - حجم عابر پیاده عبوری از خیابان
۲ - حجم، سرعت و حرکات گردشی وسایط نقلیه
۳ - تناوب حوادث در تقاطع
۴ - عرض و شکل تقاطع
۵ - استفاده به عنوان عبور دانش‌آموزان

حصار پیاده‌روها . حصار مانع از عبور پیاده‌ها از تقاطعی می‌گردد که عبور از آن نقاط باعث خطر و یا تاخیر در حرکت وسایط نقلیه می‌گردد. حصارها برای هدایت پیاده‌ها به خط عبور عابر پیاده، روگذر، و یا سایر نقاطی که ضرورتاً برای پیاده‌ها پیش‌بینی شده تا مانع از خطر و تاخیر گردد بکار می‌روند. حصارها فقط بعد از مطالعه دقیق حجم وسایط نقلیه و پیاده‌ها و برخوردهای حرکات آنها و تعداد حوادث باید نصب گردند.

مناطق و جزایر ایمنی پیاده‌ها . این شامل جزایر سکو، مناطق سوار شدن، مناطق ایمنی و تمام مناطقی که رسماً برای استفاده اختصاصی پیاده‌ها منظور شده می‌گردد.

روشنایی خیابان و جاده . نورپردازی و روشنایی خیابان در کاهش حوادث پیاده‌ها در شب موثر بوده است لیکن وسعت این تاثیر بطور عملی اندازه‌گیری نشده است. موقعیت و شدت روشنایی بزرگراه باید مبتنی بر حجم سواره و پیاده باشد لیکن تمام خیابانهای داخل شهری باید بر اساس استاندارد یکنواخت نورپردازی گردند. موضوع روشنایی خیابان‌ها و بزرگراه‌ها در سایر بخش‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

بطور مطلق تعداد حوادث پیاده‌ها در شب اصولاً با تعداد حوادث متفرقه در ساعات روز تفاوت ندارد. در سال ۱۹۶۷ حدود ۵۵ درصد از مرگهای پیاده‌ها در مناطق شهری و ۵۳ درصد مرگهای پیاده‌ها در مناطق بین‌شهری در شب اتفاق افتاده است. این درصدها تقریباً با مقایر مرگهای ناشی از وسایط نقلیه در شب یکسان است. اگرچه حوادث شب بطور کلی فقط چند هزار بیش از حوادث روز است لیکن اگر مبنا را بر اساس کیلومتر حرکت بسنجیم تصویر کاملاً دگرگون می‌گردد. تعداد مرگها در هر /۱۰۰/۰۰۰/۰۰۰ وسیله نقلیه - مایل سه برابر نسبت به روز برای شب را نمایش می‌دهد. در مناطق برون‌شهری وضعیت تقریباً مشابه است و نسبت مرگهای حادث در شب ۲/۵ برابر تعداد آن در روز است.

تونل پیاده‌رو - زیرگذر یا روگذر . تونلها و روگذرها برای حجم سواره و پیاده سنگین و حوادث و خطرات قابل توجه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تونلها و روگذرها وقتی که مشکل با راه‌حل ساده و اقتصادی‌تر قابل حل نباشد احداث می‌گردند. موارد استفاده از آنها محدود به مناطق خاصی مثال کارخانجات، مدارس، استادیومهای ورزشی، عبور از خط آهن یا آزادراه و غیره می‌گردد. آنها باید متصل به حصار پیاده‌رو و بارمپ بجای پله (در مواقعی که امکان دارد) برای تشویق به استفاده از آنها ساخته شوند.

روگذرها به دلیل هزینه کمتر، عدم نیاز به حفاری، عدم نیاز به تهویه و تسهیلات تخلیه فاضلات نسبت به تونلها ارجحیت دارند. روگذرها همچنین از نظر انجام اعمال خلاف ایمن‌تر هستند. به هرحال تونلها از نظر زیبایی‌شناسی مطلوبتر بوده و به

عمق قائم کمتری در مقایسه با ارتفاع قائم روگذر نیاز دارند و حفاظت بیشتری در مقابل سقوط اشیاء ایجاد می‌نمایند.

ملاحظات پیاده‌ها در استفاده از چراغ راهنمایی. یکی از عوامل تعیین کننده در نصب یک چراغ راهنمایی یک حداقل حجم پیاده عبوری است. جزئیات در دفترچه یکنواختی ابزار کنترل ترافیک *MUTCD* داده شده است. به علاوه طرح و کاربرد چراغ مخصوص پیاده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. چراغ مخصوص پیاده‌ها چراغهای راهنمایی هستند که برای اهداف معینی در هدایت ترافیک پیاده‌ها در مناطق کنترل شده با چراغ راهنمایی بکار می‌روند. چند راه برای منظور نمودن زمان و عبور و تخلیه پیاده‌ها در زمان عبور وسایط نقلیه وجود دارد. چهار ترکیب اصلی که در (*MUTCD*) توضیح داده شده در زیر مورد بحث قرار گرفته است.

الف . فاز ترکیب پیاده و سواره :

فازبندی چراغ‌ها بطوریکه پیاده‌ها همزمان و بطور موازی با عبور مستقیم از تقاطع عبور کنند و وسایط نقلیه مجاز به چرخش و عبور از روی خط عابر پیاده باشند در این دسته قرار می‌گیرند. این نوع عملکرد معمولاً برای شرایط زیر قابل استفاده است:

۱ - برای تامین شاخص زمان تخلیه پیاده‌ها برای تخلیه قبل از تغییر حق تقدم عبور به وسایط نقلیه منتظر حرکت.

۲ - برای تامین شاخص برای پیاده‌ها در خط عابر پیاده در جایی که چراغ وسیله نقلیه بوسیله مانعی قابل رویت نباشد.

۳ - تنظیم عبور پیاده‌ها با چراغ و با شاخص حرکت پیاده در مناطق با چراغ متغیر و با زمان پیاده موثر.

ب . فاصله عبور اختصاصی پیاده‌ها:

فازبندی چراغهایی که در آنها پیاده‌ها ممکن است از خطوط ویژه عابرین استفاده کنند لیکن وسایط نقلیه مجاز به تردد از روی آنها نیستند بنام فاصله عبور اختصاصی پیاده‌ها نامیده می‌شود. چراغ عابرین پیاده در طول این فازها کلمه "حرکت" را نمایش می‌دهد. این نوع عملکرد معمولاً برای شرایط زیر بکار گرفته می‌شود:

۱ - برای مواقعی که برخورد سنگین عابرین پیاده و وسایط نقلیه وجود داشته و گردش وسایط نقلیه از روی خط عابر پیاده در بخشی از زمان چرخه چراغ و یا در تمام طول آن است.

۲ - در تقاطعات عریض با برخورد سنگین پیاده و وسایط نقلیه که در آنها زمان لازم برای فاز اختصاصی پیاده‌ها دچار محدودیت است.

۳ - در بعضی از تقاطعاتی که (نه در همه آنها) خطوط عابر پیاده دارای برخورد پیاده با وسایط نقلیه است. تغییرات بکارگرفته شده در بعضی مواقع در این نوع عملکرد عبارتند از: کنترل حرکت مستقیم، گردش به چپ و راست وسایط نقلیه با چراغ‌های فلش دار، در یک تغییر و اصلاح پیاده‌ها برای مدت کوتاهی که به حرکت گردش به راست داده می‌شود منتظر نگاه داشته می‌شوند. بعد از این فاصله زمان اولیه هر دو حرکت سواره و پیاده انجام می‌گیرد. اصلاح دیگر این است که پیاده‌ها منتظر می‌مانند تا حرکت مستقیم و گردشی وسایط نقلیه انجام شود آنگاه حرکات وسایط نقلیه متوقف و پیاده‌ها حرکات خود را انجام می‌دهند. این اصلاح همچنین به نام تقسیم زمان سبز شناخته می‌شود. موفقیت این اصلاح در منابع گزارش شده است.

ج . ابتدا عبور پیاده‌ها:

فازبندی چراغها بطوریکه یک زمان اختصاصی در ابتدای چراغ و قبل از حرکت وسایط نقلیه به پیاده‌ها داده شود. شاخص ابتدا یک زمان "حرکت" ثابت و سپس "حرکت" چشمک زن وقتی که ترکیب فاز سواره و پیاده شروع می‌شود را به نمایش می‌گذارد.

د . فاز مخصوص پیاده‌ها:

پیاده‌ها دارای یک فاز اختصاصی هستند که در طول آن می‌توانند در هر جهتی حرکت کنند. در طول این فاز تمام وسایط نقلیه متوقف هستند. شاخص پیاده‌ها یک علامت "حرکت" ثابت را نشان می‌دهد. این نوع عملکرد معمولاً برای شرایط زیر بکار گرفته می‌شود:

۱ - در مناطق با برخورد سواره - پیاده سنگین

۲ - در تقاطع‌های با شکل غیر منظم

۳ - در تقاطعات *T* شکل که تمام وسایط نقلیه ورودی باید گردش کنند و حجم پیاده مربوطه سنگین است. این نوع عملکرد فقط در خیابانهای کم عرض (حدود ۱۸ - ۱۵۸ متر حداکثر) می‌تواند با موفقیت بکار گرفته شود زیرا که طول چرخه برای خیابانهای عریض‌تر بطور نامطلوب افزایش می‌یابد. این به راحتی تاخیر ناخواسته‌ای را به سواره‌ها و پیاده‌ها اعمال می‌نماید. گزارش مختلف (و اکثراً منفی) روی نتایج عملکرد از خصوصیات فاز اختصاصی پیاده‌ها در منابع وجود دارد.

در نقاط مختلف اختلافاتی در لغات و رنگ شاخص‌های چراغ پیاده‌ها وجود دارد. در *MUTCD* تصریح می‌نماید که تمام چراغ‌های پیاده باید در شکل بصورت مربع مستطیل بوده و باید بتوانند پیام "حرکت" و "توقف" را در خود جای دهند.

ملاحظات پیاده‌ها با منظور نمودن زمان‌بندی فازهای مختلف چراغها قبلاً بحث شده است.

وضع قانون و اجرای آن

به دلیل اینکه پیاده‌ها و سواره‌ها بطور منظم استفاده از خیابان را بین خود تقسیم می‌کنند مقتضی است که پیاده‌ها را متعهد به حفظ نوبت و عدم تجاوز به زمان‌بندی اعمال شده بر آنها نمود. جدی بودن و اهمیت این مشکل از مطالعه آمار تصادفات آشکار می‌گردد. حوادث و تصادفات ترافیکی پیاده‌ها همچنان به $\frac{1}{3}$ تمام حوادث ترافیکی در مناطق شهری بالغ می‌گردد.

درخواست اجرا و اعمال مناسب قانون برای تنبیه پیاده‌های مختلف در صورتی که اجبار و اعمال قانون توسط زور پیاده‌ها را وادار به پذیرش مسئولیت‌های خود نماید ضروری است. برنامه حفاظت از پیاده‌ها باید بطور کامل قبل از اجرا طراحی شود.

آموزش

قبل از تنظیم و اجرای قانون پیاده‌ها بسیار مهم است که آموزش‌های لازم داده شود. ضروری است که این برنامه‌های آموزشی بصورت مستمر و دائم صورت گیرد. پیشرفت اصولی در شرایط پیاده‌ها در آینده بطور گسترده مبتنی بر آموزش ترافیکی مستمر است.

ارزیابی مناسب آمار حوادث و تصادفات به روشنی نیاز به برنامه آموزشی را نشان داده و به روشن شدن حوزه آن یاری می‌کند. برنامه آموزشی باید شامل نکات زیر باشد:

۱ - عموم باید با قوانین بهره‌برداری مشترک از خیابان آشنا باشند.

۲ - مسئولیت‌های پیاده نیاز به جا افتادن در عموم و هرنوع ابتکاری برای پذیرش عمومی دارد.

۳ - آموزش باید برای طبقاتی که نیاز اصلی دارند مانند خردسالان، کودکان، پیاده‌ها و خارجیان و برای کسانی که بیشترین تصادفات ترافیکی پیاده‌ها را بوجود می‌آورند صورت گیرد.

۴ - عموم باید با اطلاعات اساسی و روشن آشنا باشند:

الف - آنها باید نسبت به فاصله زیاد سرعت بین وسیله نقلیه و پیاده آگاه باشند.

ب - پیاده‌ها معمولاً در شب برای رانندگان قابل رویت نیستند.

ج - پیاده‌ها باید فاصله مورد نیاز برای عکس‌العمل و توقف یک وسیله نقلیه را تشخیص دهند.

د - پیاده‌ها باید دریابند که رانندگی یک شغل مشکل بوده و راننده نمی‌تواند در تمام وقت به دنبال یافتن پیاده‌ها بگردد.

برنامه آموزش ترافیکی بدون انتشار بین عموم به طوریکه کاملاً فهمیده و روشن شود ارزشی ندارد. رسانه‌های مختلف که برای این منظور قابل استفاده‌اند عبارت است از:

۱ - رادیو و تلویزیون

۲ - روزنامه‌ها

۳ - مدارس

۴ - تبلیغات بیرونی، پوسترها، کارت‌های ماشینی، جزوات، دگمه، علایم خیابانی، شعار

۵ - گروه‌های کشوری و صنفی

حفاظت عبور مدرسه

هیچ حادثه ترافیکی بیش از گرفتار شدن یک کودک که در حال رفتن به و یا آمدن از مدرسه است احساسات عمومی را تحریک نمی‌نماید. پلیس و سازمان ترافیک با درخواست روزافزون برای تابلوهای بیشتر، خط کشی، چراغ راهنمایی و افسر پلیس در محل عبور دانش‌آموزان مواجه‌اند.

یک روش جزیی‌تر توسط موسسه مهندسی ترافیک برای بکارگیری یک برنامه در حفاظت عبور مدارس توصیه شده است. دفترچه یکنواختی ابزار کنترل ترافیک سال ۱۹۷۱ یک فصل مجزا برای کنترل مناطق عبور مدارس تنظیم نموده است.

فصل ۲۴
هماهنگی چراغهای راهنمایی

برای دستیابی بیک جریان یکنواخت ترافیک در یک سیستم خیابان یا بزرگراه کافی نیست مطمئن باشیم که تمام نقاط برخورد بطور کلی کنترل شده‌اند. تا زمانیکه کنترل‌ها روی هر یک از مناطق در شکل و تداوم هماهنگ نشده‌اند یک جریان یکنواخت غیر ممکن است. بطور خاص خیلی مهم است که چراغهای در فواصل نزدیک هماهنگ شوند تا از گسترش حالت حرکت - توقف جلوگیری شود.

MUTCD توصیه می‌کند که چراغهای با فاصله حدود ۸۰۰ متر در خیابانهای اصلی و بزرگراهها هماهنگ شوند. در فواصل بزرگتر بدلیل اینکه وسائط نقلیه از حالت گروهی خارج می‌گردند هماهنگی چراغهای کمتر موثر است. در این مواقع چراغهای فاصله گذار میانی برای تشکیل دسته‌های وسائط نقلیه قابل توجیه است. یک مطالعه روی یک بزرگراه ۴ خطه مجزا نشان داد که چراغ در فاصله ۱۴۰۰ متری برای هماهنگی قابل اجرا بود.

چراغهای فاصله گذار نصب شده در وسط که از جهت دیگر به چراغها برای ترغیب به تشکیل دسته‌های حرکت وسائط نقلیه اجازه نمی‌دهند باید بدقت مورد استفاده قرار گیرند زیرا که باعث افزایش تأخیر بر وسائط نقلیه می‌گردد.

از آنجا که زمانبندی چراغ باید تکرار گردد چراغهای ثابت معمولاً برای هماهنگی بکار می‌روند. بعضی از تجهیزات چراغ متغیر، و قبلاً لوازم نیمه متغیر، ممکن است با انعطافی که چراغها برای آنها طراحی شده‌اند هماهنگ گردند. همچنین ممکن است در شرایط غیر واقعی کنترل کننده حجم - چگالی را در مناطق حفاظت شده همراه با یک سیستم هماهنگ شده در جائیکه چراغ چند فازی و یا سایر تجهیزات کنترل ثابت چراغ بکار می‌رود بکار برد. تحت این شرائط دسته‌های وسائط نقلیه عبوری از چراغهای نزدیک از کنترل کننده حجم - چگالی عبور می‌کنند. این بهر صورت فقط تحت شرایط جریان سنگین ترافیک در یک جهت اتفاق می‌افتد و این گونه استفاده از کنترل کننده حجم - چگالی باید با دقت کامل انجام شود. چند فرض در تعیین طرح زمانبندی برای سیستم چراغ داده شده وجود دارد. اجزاء اولیه عبارت است از:

۱ - نوع سیستم چراغ: شریانی یک طرفه، شریانی دو طرفه یا نوع شبکه‌ای.

۲ - حرکات پیشرونده: در یک شریانی دو طرفه یک یا هر دو حرکت ممکن است پیشروندگی باشند، در یک شبکه مسیرهای ترجیحی باید تعیین و مشخص باشند.

۳ - مقاصد: پیشروندگی باید با چند مقصود در فکر تنظیم شده باشند، بطور مثال حداکثر نمودن عرض باند سبز ("پنجره‌های سبز" برای عبور وسائط نقلیه)، حداقل نمودن - تأخیر، حداقل نمودن ترکیب توقف‌ها و تأخیر یا سایر سیاستها.

۴ - شرایط اختصاصی: وسائط نقلیه موجود در صف تقاطعات ممکن است برای، تقاطعات بحرانی، فازبندی بخصوص، و طول چرخه یا ضریبی از زمان چرخه سیستم در نظر گرفته شوند.

باید یادآوری شود که تمام چراغهای سیستم باید عموماً دارای طول زمان چرخه یکسان باشند، با این هدف که الگوی زمان بندی در هر چرخه تکرار گردد. در شرایط خاص ممکن است تعداد محدودی بصورت ضریبی از زمان چرخه ایجاد نماید.

در فرض کنترل هماهنگ، طول چرخه برای یک سری کامل از فازها در هر تقاطع برای نمایش در کل سیستم تعیین می‌گردد و در واقع برای یک سیستم چراغ ثابت با زمان بندی بکار می‌رود.

فاصله زمانی بین هر دو چراغ به عنوان زمان بین آغاز حرکت پیشرونده فاز مشترک در دو تقاطع، و معمولاً در تقاطع قبلی در جریان ترافیک اندازه‌گیری می‌گردد. به منظور حداقل نمودن تفاوتها از مقادیر منظور شده، فاصله‌های زمانی، بدلیل اینکه عامل نارضای و عدم آسایش استفاده کنندگان از سیستم و رانندگان هستند، بین دو تقاطع همجوار اندازه‌گیری می‌شوند.

چراغهای نیمه متغیر ممکن است با سیستم‌های پیشرونده فقط در حالتی که عملکردشان تنظیم یافته بطوری که از سیستم خارج نشده، آنگونه که نتوانند و مانع حرکت پیشرونده در یک شریانی شوند. این بهر صورت در بخشی از انعطاف پذیری چراغ نیمه متغیر ممکن است اشکال ایجاد نماید.

شرایط واقعی می‌توانند بطور قابل ملاحظه راندمان به سیستم چراغ ثابت را کاهش دهد:

۱ - ظرفیت ناکافی جاده
۲ - تداخل عملیات پارکینگ و یادگیری
۳ - تقاطعات پیچیده که نیاز به کنترل چند فازی دارند.
۴ - حجم گردشی سنگین
۵ - تغییرات گسترده در سرعتهای ترافیکی
۶ - فاصله کوتاه چراغها که از سیستم‌های مشابه تأثیر نمی‌پذیرند.

انواع سیستم چراغهای هماهنگ

پیوستگی تک درجه‌ای

در این سیستم تنها یک درجه در هر کنترل کننده تقاطع وجود دارد که صرفاً یک طول زمان چرخه و یک زمانبندی را اجازه می‌دهد. یک تا سه فاصله زمانی نیز مجاز می‌باشد. تمام عملکردها در کل تقاطعات تنظیم شده، لیکن هماهنگی از یک تقاطع مبنا یا ساعت مبنای مرکزی گرفته می‌شود.

پیوستگی سه درجه‌ای

مکانیسم‌های سه زمانی در هر تقاطع وجود دارد که به سه زوج زمان چرخه زمانبندی مجزا اجازه عمل می‌دهد. برای هر زوج یک فاصله زمانی منظور می‌نماید. انتخاب زوج مناسب می‌تواند هم توسط یک ساعت زمان مشترک یا یک کنترل مرکزی از راه دور انجام گیرد. گرچه سه زمان چرخه در هر تقاطع به تفکیک ممکن است، لیکن خود سیستم به یک طول زمان چرخه مشترک در تمام تقاطعات و در تمام زمانهای داده شده وبر مبنای فرض هماهنگی محدود می‌گردد.

یک سیستم سه درجه‌ای مزیت اجازه دادن به الگو جدا در یک ساعت اوج داخلی و یا خارجی و یک تعادل نیم روزی برای یک شریانی را داراست. همچنین این سیستم می‌تواند براحتی برای جریانات مختلف ترافیکی و شرایط مورد نظر در یک شریانی یک طرفه مورد استفاده قرار گیرد.

سیستم تأثیر پذیر از ترافیک

سیستم *PR* نماینده یک گروه از سیستم‌هاست که طول زمان چرخه و زمان بندی آنرا در ارتباط با اطلاعات ورودی از در اوقات روز تنظیم می‌کند، لیکن توابع ساخته شدن از سخت افزار را داراست یا با نرم افزار کار می‌کند.

یک قسمت اساسی در سیستم *PR* کامپیوتر تنظیم کننده طول چرخه است که شبیه یک کامپیوتر با هدف خاص بوده و برای کار سیستم چراغ راهنمایی طراحی شده است.

این سیستم اطلاعات حجم ترافیک را از یک تا چهار شناسگر دریافت و یک طول چرخه معین را براین اساس توصیه می‌نماید. دامنه امکان پذیر حجم‌های ترافیک به شش قسمت توسط ۵ حد معین تقسیم شده است. بنا به یکی از حجم‌های مشاهده شده یک طول چرخه با رمز *(F,...C,B,A)* روشن می‌گردد. این رمز معادل یک زمان چرخه است که بستگی به مقدار برای پرهیز از توصیه‌های چراغ که به نوسان در طول چرخه منتهی می‌شود حد معین برای رفتن از *C* به *D* با رفتن از *D* به *C* تفاوت دارد بنابراین نوسانات حجم کوچکتر نمی‌تواند بسادگی نوسانات ممتد را باعث می‌شود.

توصیه‌های یک کامپیوتر چرخه مقایسه‌ای (بطور مثال در دو جهت از یک شریانی دو طرفه) به یک سیستم انتخابگر هدایت می‌گردد که آن بزرگترین طول چرخه و فاصله زمانی مناسب براساس رمز طول چرخه‌های مختلف تقاضا شده را انتخاب می‌نماید، این تنظیم به صورت امتیازی یا ترجیحی می‌تواند به صورت تعدیل شده، مشابه یا آزاد در دو جهت مسیر بکار رفته شود. عملکرد آزاد به معنی بدون هماهنگی است و فقط براساس تقاضای رمز (یعنی سبک‌ترین حجم) عمل می‌کند.

برای بدست آوردن یک طول چرخه منتخب برای هر تقاطع، یک زمانبندی از سه زمانبندی ممکن با یک تخصیص از قبل تعیین شده زمانبندی مشخص برای هر طول چرخه انتخاب شده است. این زمانبندی بطور موضعی تنظیم شده‌اند. فاصله زمانی نمونه داده شده، تخصیص مخصوص برای آن نمونه نیز موضعی تنظیم شده است.

توضیح اینکه، یک تقاضای چرخه کامپیوتری در یک جهت معادل *D* و یک تقاضای چرخه در جهت دیگر *B* باید منتج به طول زمان چرخهٔ برابر با *D* و احتمالاً (بسته به تنظیم اولیه)

ارجح گردد. در تقاطع محلی زمانبندی مربوط به طول چرخه D و همچنین درصد فاصله زمانی روی شماره معادل با جهت ارجح باید اعمال گردد.

باید یادآوری گردد که گرچه این بحث به طرف عملکرد چراغ با زمان ثابت هدایت می‌گردد، سیستم PR با عملکرد نیمه متغیر نیز می‌تواند جایگزین گردد.

سیستم هدایت شده با کامپیوتر

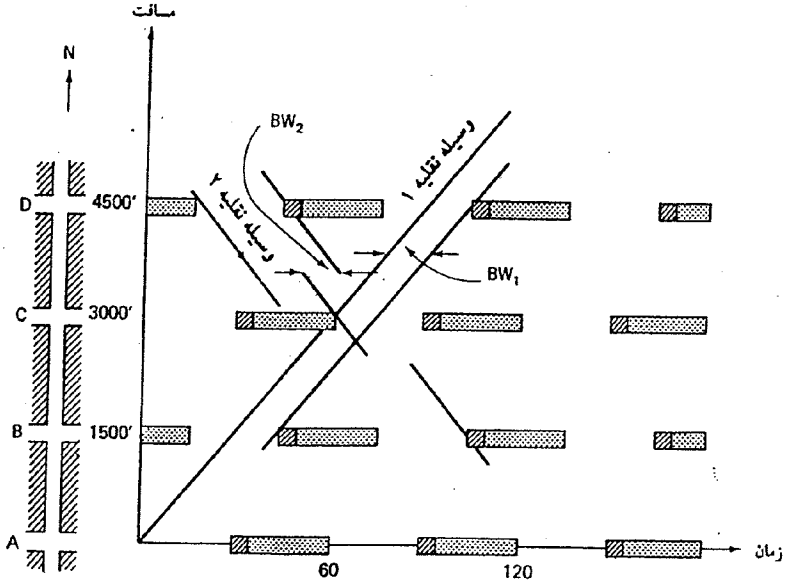
در دهه گذشته تعدادی سیستم با بهره‌گیری از یک هدف کلی استفاده از کامپیوتر، برای کنترل ترافیک بکار گرفته شده‌اند و تمایل روشنی برای سیستم‌های بیشتر وجود دارد. این تمایل متناسب با پیچیدگی وضعیت چراغ بعضی از مناطق و آزاد راه‌ها که باید به عنوان یک طرح هماهنگ اجرا شوند و تحت تأثیر کنترل کامپیوتری به عنوان یک سیستم اجرایی، با تأسیس نمایندگی‌ها و با کاهش قیمت و ابعاد کامپیوترها نوسان می‌نماید.

در شمال امریکا این سیستم‌ها در عمل متمایل به محبوس شدن در کتابخانه بهمراه بسیاری از راه‌حل‌های ذخیره شده گردیده‌اند و در عمل تمایل به تقلید از سیستم‌های چند درجه‌ای و سیستم‌های نوع PR است. این حالت در سیستم‌های تورونتو، ویچیتا و شهر نیویورک، و در تجربیات شهر سان خوزه دیده می‌شود. این سیستم‌ها پیشرفتهای قابل توجهی را در عملکرد ترافیک و صرفه جویی اساسی در نظارت و نگهداری از تجهیزات (خرابی چراغها و غیره) نشان داده است، لیکن این امر ابتدائاً توسط توسعه طرح بزرگ هماهنگی چراغهای تئاتر از ترافیک عمل شده است. کارهای بیشتری در پاسخ به این طرحها در حال اجراست، لیکن بیشترین تلاش‌های اولیّه که فرمول‌های کنترل را قابل قبول می‌سازد عبارتند از طرح UTCS در واشنگتن D.C. و طرح "بهینه سازی جریان در مسیر آزاد راههای شهری" در دالاس، تگزاس، هستند.

در اروپا تأکید بیشتری روی استفاده از کنترل‌های سریع بالا روی تقاطع‌های محلی با یک شبکه هماهنگ به عمل می‌آید. این امر به خوبی از طرحهای اجرا شده در غرب لندن و گلاسکو مشاهده می‌گردد. در مونیخ کار همچنان ادامه دارد. همچنین در مادرید و بارسلون نیز وضع همین گونه است.

دیاگرام زمان - فاصله: یک ابزار اساسی

در یک شریانی یا در یک مسیر از یک شبکه هدف اصلی معمولاً تسهیل حرکت وسائط نقلیه و استفاده مؤثر از زمان سبز به مقدار ممکن است. بطور کلی این به معنای آن است که فواصل زمانی باید بطوری زمان بندی شوند که دسته‌های وسائط نقلیه در حال حرکت، به محض اینکه فضای مناسب برای این کار فراهم آید، به شریانی هجوم آورند. تصویر این حالت به بهترین وجه با مفهوم دیاگرام مسافت - زمان مشاهده می‌گردد. بطور ساده این یک نمایش دو بعدی از (۱): مسافت چراغهای مختلف در طول شریانی یا جاده و (۲): شاخص چراغ از هر یک از این



شکل شماره ۱-۲۴. یک دیاگرام مسافت - زمان

چراغها به عنوان عملکرد در زمان است. در نمایش این شاخص زمان اضافی یا هاشور و زمان قرمز با خط پر و زمان سبز با قطع سایر علائم نشان داده می‌شود. یک دیاگرام ساده مسافت - زمان برای چهار چراغ در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است. برای چراغ نمونه نمایش داده شده توجه داشته باشید که فاصله زمانی بین چراغ A , B در مسیر جنوبی ۱۵ ثانیه است و بین A , C صفر ثانیه است. این نشان می‌دهد که میزان فاصله زمانی باید فشرده شود تا از طول یک چرخه کوچک‌تر گردد. همچنین عرض زمانی قابل عبور مانند عرض یک پنجره از زمان سبز در یک مسیر معین را روشن می‌کند، توجه شود که عرض عبور زمانی شمالی BW_1 تقریباً ۲۲/۵ ثانیه بوده و عرض عبور زمانی مسیر جنوبی BW_2 نیز در همین حدود اتفاق می‌افتد.

دیاگرام مسافت - زمان همچنین برای نمایش خط مسیر وسائط نقلیه و نمایش پیش بینی آن مفید است. اگر وسیله ۱ در چراغ A در زمان $T = 0$، و در مسیر شمالی با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه حرکت نماید می‌تواند از میان سیستم چراغها بدون توقف عبور نماید. با همین سرعت در هر صورت در مسیر جنوبی وسیله ۲ باید برای شروع از چراغ D تا زمان ۱۵ ثانیه توقف نماید و سپس باید در چراغ C توقف نماید.

طرح هماهنگی چراغ با زمان‌بندی ثابت برای شریانیها

چند طبقه‌بندی خاص از نمونه‌های چراغ که بطور سنتی از ابتدا بکار گرفته شده‌اند وجود دارند که همچنان بطور خاص مورد تقاضا هستند. آنان ممکن است به عنوان یک مورد ویژه از نمونه پیشرونده عمومی‌تر و یا منعطف‌تر توصیف گردند. این طبقه بندی‌ها عبارتند از هم زمان، متناوب، متناوب دوگانه پیشرونده ساده.

روش هم زمانی

تمام چراغها در یک سیستم هم زمانی شاخص مشابهی را در زمان نشان می‌دهند. بطور متناوب تمام فواصل زمانی صفر هستند و تمام زمانبندی‌ها معادلند، سرعت لازم برای رسیدن در زمان سبز به هر چراغ عبارت است از:

$$V = \frac{L}{C} \qquad (۱-۲۴)$$

V = سرعت متر بر ثانیه

L = فاصله چراغهااز هم - معمولاً فاصله مرکز تقاطعات

C = زمان چرخه بر حسب ثانیه

پیشروی می‌تواند براساس $\frac{1}{2}$، $\frac{1}{3}$، $\frac{1}{4}$ و غیره از سرعت فوق انجام شود که منتج به استفاده از ۲ و ۳ و ۴ برابر طول چرخه توسط یک وسیله برای عبور می‌گردد.

در جائیکه فواصل چراغها نزدیکند یا سرعت بطور غیر معمول بالاست، حرکت ممتد امکان پذیر است. بهر حال در شرایط عادی حرکت ممتد امکان پذیر نیست زیرا به طول چرخه خیلی کوتاه نیاز است. به علاوه، نیاز به داشتن چراغها با فواصل (طول قطعات) کاملاً یکنواخت است زیرا این مسافت در فرمول فوق ثابت فرض شده است.

روش همزمانی یکی از اولین انواع سیستم چراغها بوده و در شرایط پیشرفته امروزی تقاضای محدودی برای آن وجود دارد. در بسیاری مواقع روش همزمانی مضرات اجرایی جدی دارد:

۱ - توقف همزمان، تمام ترافیک در طول جاده مانع از حرکت ممتد وسائط نقلیه شده و منجر به سرعت بالا در بین توقف‌ها، خصوصاً در زمان‌های حجم ترافیک پائین و سرعت کلی کم می‌گردد.

۲ - طول چرخه و زمان تخلیه اغلب با توجه به نیازهای یک یا دو تقاطع اصلی در سیستم کنترل می‌گردند. این مسئله عموماً نارضایتی جدی در تقاطعات فرعی ایجاد می‌نماید.

۳ - وقتی که خیابان اصلی کاملاً با یک خط پیوسته ترافیک پر شده و این خط ترافیک در یک چراغ قرمز متوقف شده است وسائط نقلیه ورودی از خیابانهای فرعی اغلب برای ورود و یا چرخش در خیابان اصلی دچار مشکل هستند.

روش همزمانی در شرایط زیر به صورت مفید ممکن است بکار گرفته شود:

۱ - در یک منطقه با چراغهای نزدیک و مجاور که یک بخش از یک گروه هماهنگ شده هستند عملکرد روش همزمانی می‌تواند حرکت ممتد را تأمین نماید.

۲ - در یک شرایط با ترافیک خیلی سنگین که سایر سیستم‌ها به دلیل تراکم وسائط نقلیه بین چراغها موفق نیستند، یک روش همزمانی ممکن است بطور اساسی عملکرد ترافیک را افزایش دهد.

روش متناوب

روش متناوب یک سیستم چراغ است که در آن چراغهای متناوب یا گروه چراغهای متناوب شاخص‌های مختلف در یک زمان را نشان می‌دهند. در یک سیستم متناوب واحد چراغهای متوالی رنگهای متضادی نسبت به قبلی خود در همه زمانها نشان می‌دهند. در روش متناوب دوتایی هر جفت از چراغهای

همجوار بطور همزمان عمل می‌نمایند و شاخص‌های چراغها بین هر جفت از چراغهای متوالی جایگزین می‌گردد، به همین ترتیب در یک روش همزمانی سه تایی یک گروه سه تایی از چراغهای متوالی بطور همزمان مشابه عمل می‌کنند و شاخص چراغها بین گروهها جایگزین می‌گردد. برای تأمین حرکت ممتد در یک روش متناوب در یک خیابان دو طرفه ضروری است که یک تقسیم ۵۰-۵۰ از طول چرخه مورد استفاده قرار گیرد.

رابطه بین سرعت برای هر حرکت ممتد در دو جهت، طول چرخه و فاصله بین موقعیت چراغ در یک چراغ متناوب ساده به صورت زیر است:

$$V\left(\frac{C}{2}\right) = L$$

$$V = \frac{2L}{C} \qquad (۲۴-۲)$$

که در آن

V = سرعت حرکت، متر بر ثانیه

C = طول چرخه به ثانیه

پیشروی می‌تواند همچنین در $\frac{1}{3}$، $\frac{1}{5}$، $\frac{1}{7}$ و غیره از سرعت فوق صورت پذیرد که در نتیجه عبور وسیله به $1\frac{1}{2}$، $2\frac{1}{2}$، $3\frac{1}{2}$ زمان چرخه نیاز دارد.

رابطه بین سرعت برای حرکت ممتد در دو جهت، طول چرخه و فاصله بین چراغها در یک روش متناوب دوتایی بدین شکل است:

$$V = \left(\frac{C}{2}\right) = 2L$$

$$V = \frac{4L}{C} \qquad (۲۴-۳)$$

پیشروی با $\frac{1}{5}$، $\frac{1}{9}$، $\frac{1}{13}$ و غیره از سرعت نیز امکان پذیر است که در آن صورت حرکت وسیله نیاز به $1\frac{1}{4}$، $2\frac{1}{4}$، $3\frac{1}{4}$، طول چرخه زمان دارد.

روش متناوب معمولاً یک پیشرفت در پی روش همزمانی است، چرا که حرکت ممتد می‌تواند در یک سرعت بالاتر و منطقی‌تر در روش متناوب تأمین گردد. در هر حال این فقط در زمانی که طول قطعات، گروه بلوکهای متوالی، بطور اساسی یکسان بوده و یک تقسیم ۵۰-۵۰ در نظر باشد. این تقسیم طول چرخه ممکن است در جایی که دو خیابان اصلی یکدیگر را قطع می‌کنند موفق باشد لیکن در تقاطعات فرعی - اصلی زمان سبز زیادی را به خیابان فرعی اختصاص می‌دهد.

روش متناوب به دلایل زیر با تقاضای محدودی روبروست:

۱ - این روش زمان سبز یکسانی را برای خیابان اصلی و فرعی ایجاد می‌نماید که قابل تطبیق با اکثر تقاطعات نیست.

۲ - این روش در خیابانهای دارای طول قطعات نامساوی قابل تطبیق نیست.

۳ - در روش متناوب دوتایی (با گروه چراغها) ظرفیت خیابان در شرایط ترافیک سنگین ممکن است کاهش یابد زیرا که قسمت انتهایی گروه وسائط نقلیه با چراغ دوم وقتی که رنگ آن عوض می‌گردد متوقف می‌شوند.

۴ - ایجاد تعدیل برای شرایط تغییر ترافیک مشکل است. در یک مورد گزارش شده، یک برگردان از یک روش متناوب سه تایی به یک روش همزمانی منتج به یک افزایش در معدل سرعت، یک کاهش در زمان طی کردن خیابان و یک کاهش درتعداد توقف‌ها برای چراغهای ترافیکی در طول خیابان گردید.

روش پیشروی ساده

در روش پیشروی ساده تمام فواصل زمانی طوری تنظیم شده‌اند که یک وسیله ورودی به سیستم در مسیر رو به جلو که دقیقاً بعد از زمان سبز اولیه در اولین چراغ وارد می‌گردد، به تمام چراغها درست بعد از شروع زمان سبز آنها خواهد رسید. بنابراین فاصله زمانی بین هر دو چراغ (در مسیر رو به جلو) شبیه فاصله بین آنها که توسط سرعت وسائط نقلیه پیشرونده تقسیم شده است می‌باشد.

بر خلاف روش‌های قبلی محدودیتی در تقسیمات اختصاصی در چند تقاطع وجود ندارد، اینها ممکن است کاملاً منطقه‌ای و محلی محاسبه گردند. باید توجه داشت که بهر حال، حداقل زمان سبز در خیابان اصلی عرض عبور زمانی در مسیر پیشروی را معلوم می‌نماید.

روش پیشروی ساده مطلوب‌تر از روشهای همزمانی یا متناوب است، ولی انعطاف مورد نیاز در بسیاری از مواقع با تغییرات جریان ترافیک، مانند حرکت سنگین ورودی در طول صبح یا حرکت سنگین خروجی در عصرها را تأمین نمی‌کند. این انعطاف پذیری در سیستم چراغهای خیلی پیشرفته مورد انتظار است.

روش پیشروی انعطاف پذیر

در این روش عوامل روش پیشروی ساده ممکن است مجدداً در طول یک دوره عملکرد تعریف شوند (برای مثال یک روز)،

بطوری که تغییرات نیازها را در تقاطعات خاص در طول جهت پیشروی اصلی یا در یک جهت جدید (ورودی - خروجی) منعکس نماید. این طبقه بندی تصریح مجدد روش پیشروی ساده در فشار را بیش از هر چیز دیگر منعکس می‌نماید.

روش پیشروی عمومی

این روش برای این تعریف می‌گردد تا دلالت کند بر یک سیستمی که در آن فواصل زمانی تعیین شده‌اند تا جریان یک نواخت دسته‌های وسائط نقلیه را با فرض دانستن تغییرات در سرعت پیش بینی شده، وسائط نقلیه در طول شریانی، وسائط نقلیه انبار شده در پشت چراغ که نیاز به تخلیه دارند وسایر عوامل مشابه را تأمین نماید. برخلاف سه روش اول سرعت پیشرو چراغهای و حرکات وسائط نقلیه می‌توانند به صورت کاملاً جداگانه متفاوت باشد، بطوریکه اوّلی کاملاً نامنظم بوده و آخری (وسائل نقلیه) بتوانند می‌توانند منظم باشند.

پیشروی عمومی همانگونه که در بالا تعریف شد مزایای یک شکل واحد داشتن که می‌توانند انواع دیگر روش‌های پیشروی را نیز بدست دهد دارد. این روش همچنین بر اختلاف بین یکنواختی چراغ و حرکت وسیله نقلیه تأکید می‌نماید که این دو ایده در سایر روش‌ها نامشخص است.

استفاده از این روش پیشروی در شکل ۲-۲۴ نمایش داده شده است که در آن طول صف موجود در هر خط در تمام تقاطعات یکسان فرض شده است. در جائیکه طول صف‌ها صفر است

(مورد الف)، یک روش پیشروی ساده نتیجه می‌شود. طول صف به اندازه ۳ بدون گردش شریانی (مورد *B*)، یک پیشروی همزمان را نتیجه می‌دهد. افزایش بیشتر بطور طبیعی (مورد *C*) یک پیشروی رو به عقب را نتیجه می‌دهد، که به سمت بالا دست بیش از آنچه قرار داده شده می‌آید، یا انتظار می‌رود که جریان پائین دست را کاملاً عبور دهد. جالب است توجه نمائید که بهر حال ، سرعت پیشروی فیزیکی وسائط نقلیه ورودی در تمام موارد یکسان (۱۲ متر بر ثانیه) است.

مورد *D* روشن می‌سازد که یک دسته چراغ چگونه می‌تواند نامنظم بوده و در عوض پیشروی منظم و یکنواخت را تأمین نماید و جریانهای ورودی نامتعادل و یا چرخش فقط می‌تواند این الگو را مورد تأکید قرار دهد.

بعضی مزایای دیگر روش پیشروی عمومی بشرح زیر است:

۱ - حرکت ممتد تمام گروههای وسائط نقلیه با یک حداقل تأخیر و در هر سرعت متوسط طراحی شده برای سیستم امکان پذیر است.

۲ - درجه بالایی از کارآیی با متناسب نمودن زمانهای تخلیه برای تطبیق نیازهای ترافیکی در هر تقاطع قابل حصول است.

۳ - از افزایش سرعت جلوگیری می‌شود زیرا یک وسیله در صورت تجاوز از سرعت تعیین شده مجبور به توقف‌های متناوب خواهد بود.

۴ - اختلاف بین طول قطعات بهتر از سایر روش‌ها قابل تعبیه در سیستم است.

روش‌های پیشروی در طول خیابانهای اصلی شهری معمولاً برای سرعتهای بین ۳۲ تا ۴۸ کیلومتر بر ساعت تنظیم شده‌اند، در مناطق حاشیه شهر سیستم‌های با سرعت بالاتر امکان پذیر است.

عموماً سرعت طراحی توسط، افزایش در حجم ترافیک، تراکم و فعالیت منطقه، وضعیت پیچیده ترافیک، تداخل پیاده و سواره و کاهش عرض رو سازی محدود می‌گردد.

زمان بندی روش پیشروی

یک هدف مشترک از زمان بندی یک روش پیشروی اجازه دادن به دسته وسائط نقلیه برای حرکت در طول جاده با سرعت معین بدون توقف است. بنابراین فاصله زمانی در هر تقاطع باید طوری تعیین شود که وسیله اول از دسته زمان سبز را دریافت نماید درست در همان زمان که به تقاطع می‌رسد. تعداد وسائط نقلیه در دسته که می‌توانند از تقاطع عبور کنند بستگی به عرض زمان عبوری دارد. عرض زمان عبوری به ثانیه زمان بین اولین و آخرین وسیله عبوری ممکن است که هماهنگ با سرعت طراحی شده در یک روش پیشروی حرکت می‌نمایند. زمان عبوری باید به میزان ممکن عریض و به صورت ایده‌آل معادل فاز سبز باشد.

معیار ذکر شده در بالا - حداکثر حرکت گروهی - معمولاً فرض می‌نماید که دسته مورد نظر در سیستم با صف وسائط نقلیه در مسیر خود روبرو نخواهد شد. تحت این شرایط، میزان دستیابی به حداکثر عرض عبوری با هدف ایجاد تعادل بین دو جهت عبور کاملاً متناسب است. بهر صورت نشان داده شده است که حداکثر عرض عبور زمانی تأخیر کلی ناشی از جریان ترافیک و یا شرایط گردشی که صف‌های ترافیکی را شکل می‌دهد حداقل نمی‌سازد.

همانگونه که قبلاً بحث شد، دیاگرام مسافت - زمان یک روش گرافیکی برای توضیح طرح چراغ‌هاست. چنانچه

روش‌های گرافیکی باید بکار گرفته شوند، میزان حداکثر عرض عبور زمانی و یک روش استاندارد برای دسترسی به آن تنها گزینه ممکن برای دسترسی به این زمان بندی در شریانهای دو طرفه است. حل خیابانهای یک طرفه معمولاً ساده است.

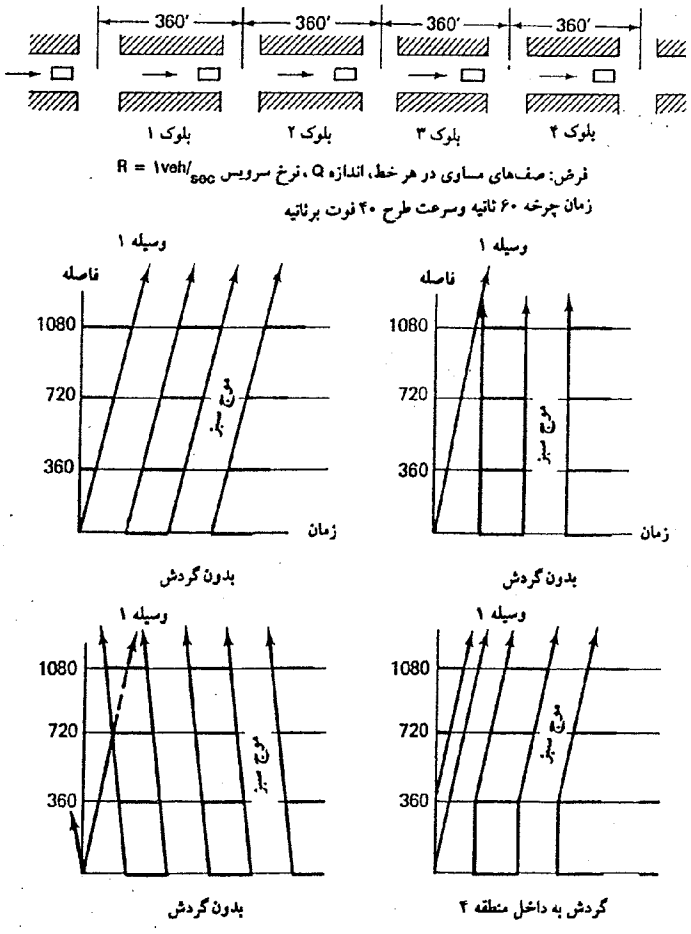
حجم قابل توجهی کار روی محاسبات کامپیوتری برای حداکثر نمودن عرض عبور زمانی و سایر ملاکها صورت گرفته است (۱۵-۱۷)، مانند، برنامه‌های محاسبات چراغ‌ها برای هماهنگی، یا محاسبات چراغ بکار رفته در ارتباط با کنترل‌های تنظیم ترافیک.

دو نکته در رابطه با حل کامپیوتری مسائل باید مد نظر قرار گیرند: (۱) مفروضات اساسی و ملاک‌ها باید بطور دقیق استخراج و پذیرفته شوند، اول اینکه خروجی‌ها و نتایج بطور ساده یک مجموعه‌ای از اعداد بی‌معنی باشد و (۲) یک حل گرافیکی جایگزین توصیه می‌گردد.

کاربرد در یک خیابان یکطرفه

با تصور مورد زمان بندی روش پیشرونده برای یک خیابان یکطرفه، بدیهی است بحث به اینجا خواهد رسید که این مورد یک وضعیت ایده‌آل برای زمان بندی یک سیستم پیشرونده است.

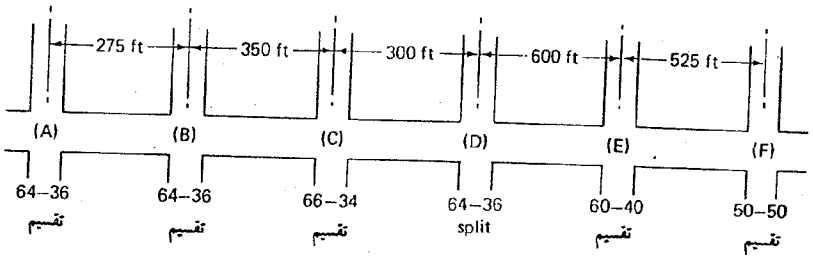
فرض کنید که سیستم موقعیتهای چراغ از A تا F تشکیل شده، همانطوری که در شکل (۳-۲۴) نمایش داده شده است. طول چرخه برای تقاضا در پر تراکم‌ترین تقاطع ۵۰ ثانیه است. سرعت منظور شده برای این سیستم ۲۹ کیلومتر بر ساعت و زمان تخلیه وسائط نقلیه در هر تقاطع ۳ ثانیه است.



شکل ۲-۲۴ . یک شریانی یک طرفه با جریان آرام

جدول ۱-۲۴. یک مسئله توضیحی، ثانیه $C = ۵۰$

فاصله‌زمانی تا چراغ	فاصله‌زمانی تا جریان بالادست	فاز ۲ قرمز اصلی	فاز ۱ زرد اصلی	فاز ۱ سبز اصلی	نسبت زمان	چراغ
–	–	۱۹	۳	۲۸	۶۴-۳۶	A
۱۰/۴	۱۰/۴	۱۹	۳	۲۸	۶۴-۳۶	B
۲۳/۶	۱۳/۲	۱۸	۳	۲۹	۶۶-۳۴	C
۳۵	۱۱/۴	۱۹	۳	۲۸	۶۴-۳۶	D
۷/۷	۲۲/۷	۲۰/۵	۳	۲۶/۵	۶۰-۴۰	E
۲۷/۶	۱۹/۹	۲۵	۳	۲۲	۵۰-۵۰	F



شکل ۳-۲۴. یک مسئله نمونه

برای خیابانهای یک طرفه، فاصله زمانی بین محلهای استقرار چراغها بدون هیچ خطا و تقریب تعیین شده است. این فاصله زمانی معادل است با:

$$T_{off} = \frac{L}{V}$$

که در آن V سرعت متر بر ساعت است. فاصله زمانی هم در بین دو چراغ متوالی و هم با یک چراغ A بطور قراردادی تعیین می‌شود. اطلاعات کلی درباره زمان بندی چراغ در جدول(۱-۲۴) آمده و در شکل (۴-۲۴) توضیح داده شده است.

کارآئی یک طرح زمان بندی از نسبت عرض عبور زمانی به طول چرخه به صورت درصد معلوم می‌گردد. از شکل (۴-۲۴) یا جدول (۱-۲۴) کارآئی یا بهره دهی $(\frac{۲۲}{۵۰}) \times ۱۰۰$ یا ۴۴ درصد است در حالیکه زمان زرد در محاسبات منظور نشده است این بهره دهی خوبی است که تغییرات آنها بین ۴۰ تا ۵۵ درصد باشد.

برای یک خیابان یک طرفه، توجه شود که، در هر سرعتی با یک محاسبه ساده مقدار فاصله زمانی براساس آن سرعت قابل محاسبه است. کارآئی کامل از یک طرح زمان بندی پیشرونده معمولاً فقط برای عملکرد یک طرفه قابل تحقق است، چرا که جریان حرکت روبرو برای پیچیده کردن زمان بندی سیستم وجود ندارد. همچنین واضح است که چرا حرکت مناسب ترافیکی یک معیار محکم برای عملکرد یک طرفه است.

کاربرد روش در شریانی دو طرفه

برای یک عملکرد دو طرفه با یک روش همزمانی یا متناوب، رسیدن به یک پیشروندگی ایده‌آل برای هر دو جهت، وقتی که موقعیت چراغها بطور یکنواخت فاصله بندی شده و زمانبندی بین موقعیت چراغها نصف طول چرخه و یا یک ضریبی از نصف طول چرخه باشند امکان پذیر است.

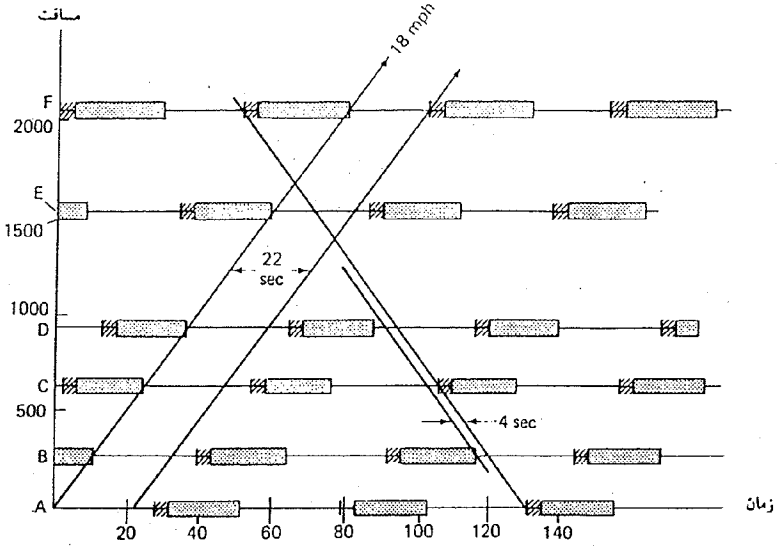
از بحث قبلی روی این روش‌ها روشن است که برای یک طول چرخه داده شده سرعت پیشروندگی مستقیماً متناسب با فاصله بین موقعیت استقرار چراغهاست.

خیلی مهم است متذکر شویم که زمان بندی یک سیستم چراغ دو طرفه وقتی که طول قطعات بطور اصولی معادل هستند بطور قابل توجهی ساده می‌شود. بنابراین باید در هر طرح جدید توسعه شهری توجه کافی باین عامل مبذول گردد.

متأسفانه در شرایط عادی و بطور معمول یک برنامه زمان‌بندی برای فواصل نامتعادل چراغها مورد نیاز است.

شکل ۴-۲۴ با فرض یک خیابان دو طرفه است. سیستم تشکیل شده از موقعیت چراغها از A تا F و مانند پیشروندگی یک طرفه زمان چرخه ۵۰ ثانیه، با تقسیمات نشان داده شده در شکل (۳-۲۴)، زمان تخلیه ۳ ثانیه و یک سرعت مطلوب ۲۹ کیلومتر بر ساعت در هر دو جهت فرض شده است.

معمولاً سه نوع طرح در چنین شرایطی بیشتر از بقیه مد نظر



شکل ۴-۲۴. یک مسئله تشریحی

قرار می‌گیرند: ورودی ترجیحی، خروجی ترجیحی و متعادل. برای معیار حداکثر عرض عبور زمانی، و بیشترین بازدهی (همانطور که برای طرح پیشروندگی شریانی یک طرفه مؤثر است)، طرح اولیه در بالا ارائه شده است و طرح دوم نیز بسادگی قابل ارائه است. در شکل (۴-۲۴) توجه کنید که فقط ۴ ثانیه عرض عبور زمانی برای مسیر بدون اولویت در مرحله اول باقی می‌ماند، لیکن این می‌تواند با شروع زودتر سبز خیابان اصلی در چراغهای B ، D ، E (در صورت نیاز)، بدون تأثیر روی عرض عبوری دارای اولویت، افزایش یابد.

علاوه بر این پیشرفتهای روشن در طرح ترجیحی، ممکن است یک نفر یک طرح متعادل یا با سعی و خطا یا روش گرافیکی (برای مثال روش باور) یا با یک روش کامپیوتری ارائه دهد. مهمتر اینکه در ارزیابی مجدد معیارها تحت شرائطی که راه حل ارائه می‌گردد باید دقت نمود. برای مثال، آیا حداکثر عرض عبور زمانی باید با یک راه حل کامپیوتری ادامه داشته باشد در حالی که الگوهای معینی را برای صف و وسایل نقلیه ذخیره شده ارائه می‌دهد؟

هماهنگی شبکه چراغهای ثابت

مسئله شبکه چراغهای زمان بندی شده پیشرونده در تقاطعات با طول قطعات غیر یکسان به صورت وسیعی پیچیده است. دلیل اصلی این امر شرط آخر بسته شدن است. یک طول چرخه داده شده و فاز بندی معین و بطور معمول چهار خیابان متقاطع، تعیین سه فاصله زمانی در حلقه که از قبل فاصله زمانی چهارم را تعیین می‌نماید. مانند همین مشکل در خیابان دو طرفه (جریان بالا دست جریان پائین دست را تعیین می‌کند) وجود دارد لیکن مانند حالت قبلی بحرانی نیست. مشکلات ناشی از بهم پیوستن دیاگرام‌های زمان - مسافت که در زمان بندی یک شبکه اتفاق می‌افتد را تصور نمائید.

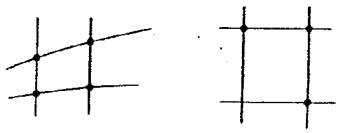
مشکل در آن موقع که هدف طراحی انتخاب بهترین فاصله‌های زمانی مناسب در طول این حلقه‌ها است اتفاق افتاده و رخ می‌نماید، در عوض چنانچه بجای آن هدف طراحی، تنظیم تمام خیابانهای یکطرفه شمال به جنوب در مانهاتان و یک خیابان شرق به غرب در همان منطقه باشد مشکلی روی نخواهد داد و در این صورت سایر خیابان‌های شرق به غرب آن منطقه نیز لاجرم تنظیم می‌گردند.

تعاریف

شبکه چراغ: هر دو یا بیشتر سیستم چراغ‌های متقاطع که دارای زمان چرخه یکسان هستند. لازمه اصلی برای هماهنگی سیستم چراغها بکارگیری یک زمان چرخه یکسان است.

شبکه بسته: یک شبکه چراغ راهنمایی که از حداقل ۳ سیستم چراغ راهنمایی تشکیل شده و هر یک از این چراغها یک زمان مشترک با دو چراغ دیگر شبکه دارد. یک حالت خاص شبکه

بسته با دو چراغ وجود دارد که در شکل ۵-۲۴ نمایش داده شده است.



ب: یک شبکه باز الف: یک شبکه بسته

شکل ۵-۲۴. شبکه بسته و باز

شبکه باز: یک شبکه چراغ راهنمایی که از ۲ یا بیشتر سیستم چراغ راهنمائی متقاطع تشکیل شده و یک شبکه بسته را شکل نمی‌دهد. این نوع شبکه در شکل ۵-۲۴ نمایش داده شده است.

لحظه مبنا: در شبکه چراغها برای هر خیابان دیاگرام مسافت‌زمان بطور طبیعی به فواصل زمانی شروع بین چراغهای مختلف سیستم و یک چراغ خاص به عنوان چراغ لحظه مبنا تقسیم شده است.

فاصله زمانی شبکه: زمان مربوط به دو سیستم دو چراغ متقاطع ممکن است به فواصل زمانی بین لحظه مبنا از دو چراغ تقسیم گردد. چنانچه فواصل زمانی بین لحظه مبنای هر دو سیستم ثابت باشد فاصله بین هر چراغ از یک سیستم با هر چراغ از سیستم دیگر ثابت است. بنابراین فاصله بین لحظه مبنای دو سیستم چراغ متقاطع زمان مربوط به دو سیستم را معلوم نموده و به عنوان فاصله زمانی شبکه تعریف می‌گردد.

شرط بهم پیوستن

برای روشن شدن رابطه کلّی شرط بهم پیوستن، چهار خیابان متقاطع یکطرفه مطابق شکل ۶-۲۴ را تصور نمائید. مقدار $T_{D,I}$ را به عنوان فاصله زمانی شروع زمان سبز (مرتبط با مبنا) در جهت D در تقاطع I فرض کنید. سپس $T_{NS,۱} = ۰$ را فرض نمائید و T_i را به عنوان فاصله زمانی بین چراغهای مجاور بنامید. بنابراین

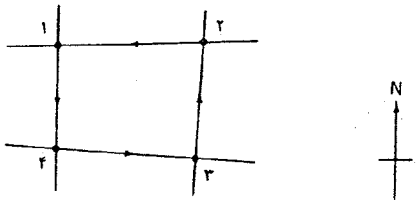
$$T_{NS,۲} = ۰ + t_۱$$

و $T_{EW,۲} = T_{NS,۲} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{NS,۱}$

به صورت چرخشی از گوشه‌ها حرکت نمود. و کار را در طول حلقه ادامه دهید. داریم:

$$T_{EW,۳} = T_{EW,۲} + t_۲$$

$$T_{NS,۳} = T_{EW,۳} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{EW,۳}$$



شکل ۶-۲۴. شرط به هم پیوستن شبکه

$$T_{NS,۴} = T_{NS,۳} + t_۳$$

$$T_{EW,۴} = T_{EW,۴} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{NS,۴}$$

$$T_{EW,۱} = T_{EW,۴} + t_۴$$

$$T_{NS,۱} = T_{EW,۱} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{EW,۱} \quad (۲۴-۴)$$

لیکن جمله آخری فقط می‌تواند با مضرب صحیحی از طول چرخه از $T_{N,S,I} = ۰$ فرق داشته باشد. بنابراین با جایگذاری در معادله (۲۴-۴۹) خواهیم داشت.

$$t_۱+t_۲+t_۳+t_۴ + (\text{زمان‌تخلیه + زمان‌سبز})_{NS,۲} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{EW,۳} + (\text{زمان‌تخلیه + زمان‌سبز})_{Ns,۴} + (\text{زمان تخلیه + زمان سبز})_{EW,۱} = MC$$

که در آن:

M = عدد صحیح

C = طول چرخه

بسیاری از این نوع معادلات وجود دارد چرا که حلقه‌های بسته زیادی در یک شبکه ترافیک و در یک خط طراحی شبکه مطلوب وجود دارد که در آنها فرض می‌شود برخورد مسیر مجزا در محل تقاطع‌ها وجود نداشته باشد.

الگوریتم‌هائی برای زمان بندی شبکه

مبنای اصولی برای حل دستی این نوع مشکل یک مقاله در سال ۱۹۴۷ راجع به نصب تسهیلات بالتیمور است. یک تحلیل گسترده برای نصب، در آنجا تشریح شده است. روش بکار گرفته شده برای زمان بندی شبکه ضرورتاً پیشرفت توزیع مناسب رویکرد و یک تفکیک سعی و خط یا قطع و وصل را در بردارد. این صرفاً شبکه اطلاعات گزارش شده در منابع را شامل می‌شود. محاسبات کامپیوتری برای حل این مشکل توسعه یافته و کاربردهای منطقه‌ای ساخته داشته است. در هر صورت به یک راه حل کاملاً موفق و عمومی پذیرفته شده تا کنون دسترسی

پیدا نشده است.

در حال حاضر ضوابط استاندارد برای کنترل کامپیوتری (کنترل تنظیمی ترافیک) شریانی‌ها و شبکه وجود ندارد و همچنین ضوابط استاندارد برای تعیین شرایطی که تحت آن یک مجموعه خیابان می‌توانند به عنوان یک شبکه در طراحی چراغ منظور شوند موجود نیست.

برنامه بهینه سازی چراغ راهنمایی (SIGOP). SIGOP یک برنامه کامپیوتری است که برای تعیین طول چرخه بهینه، فازبندی و هماهنگی چراغهای راهنمایی در یک شبکه خطی طراحی شده است. برنامه شامل توابع زیر است:

۱ - فازبندی مناسب هر تقاطع را محاسبه و ارائه می‌نماید.

۲ - فاصله زمانی مناسب و مختلف بین هر زوج از تقاطعات را محاسبه و ارائه می‌کند.

۳ - فاصله زمانی بهینه برای بهینه سازی مقادیر میانگین وزنی توقف‌ها و تأخیرها در شبکه را تعیین می‌کند.

۴ - یک شبیه سازی از عملکرد ترافیک در شبکه زمان بندی شده برای پیش بینی توقف‌ها، هزینه‌ها و تأخیرها ارائه می‌نماید.

۵ - یک برنامه زمان بندی توصیه شده را ارائه نموده، و دیاگرامهای مسافت - زمان مورد نظر برای شریانی‌های تحت طراحی را چاپ می‌کند.

روش تقدم حجمی. این الگوریتم شامل تنظیم و مرتب کردن تمام حلقه‌ها در شبکه به منظور تقلیل حجم حلقه‌ها می‌باشد. فواصل زمانی حلقه‌ها به صورت مطلوب زمان بندی شده‌اند که با سنگین‌ترین حجم شروع شده و به طرف کاهش حجم حرکت می‌کند، تا جائیکه حلقه‌ها به حلقه‌های محاسبه شده و قبلی می‌رسد. این روش در زمان بندی مطلوب برای حدود ۶۰ درصد از حلقه‌های شبکه‌هایی که مورد مطالعه بودند نتیجه داده است. در این روش هیچ فرضی برای تأخیرها در خیابان‌های با زمان‌بندی مطلوب وجود ندارد. این روش مزیت کاهش اعتماد به کامپیوترها را داراست.

روش خیابان ارجح. این روش شامل انتخاب آن دسته از خیابان‌ها که باید ترجیح داده شوند و زمان‌بندی پیشروندهٔ آنان، می‌گردد. خیابان‌ها به ترتیب کاهش ارجحیّت مرتب می‌شوند. باید توجه داشت که نه روش تقدم حجم و نه روش خیابان ارجح یک زمان بندی واقعی و حقیقی از زمان بندی شبکه نیستند، لیکن روش‌هایی برای ساده کردن شبکه‌ها برای تأثیر رابطه ساده طرح زمان بندی می‌باشند.

برای مروری بر استفاده از کامپیوتر در چراغ‌بندی شبکه به منابع مراجعه نمائید.

فصل ۲۵
کنترل سرعت و منطقه بندی

کنترل سرعت به منظور تامین ایمنی و کارآیی حرکت ترافیک به صورت گسترده‌ای مهم است. حداکثر سرعت ایمن در هر نقطه با حجم ترافیک، جاده، آب و هوا، نور و سایر شرایط واقعی تغییر می‌کند. کنترل سرعت به رانندگان در انتخاب سرعت مناسب که برای شرایط حاکم ایمن است کمک می‌کند. تجاوز از سرعت مطمئن بیشترین تخلفات گزارش شده در گزارش حوادث زیانبار را تشکیل می‌دهد. این مقدار حدود ۳۱/۷ درصد از تمام حوادث خسارتی در سال ۱۹۶۸ را تشکیل می‌دهد، این مقدار حدود ۲۷/۶ درصد از حوادث داخل شهری و ۳۲/۹ درصد از حوادث خارج شهری را در بر می‌گیرد. گزارش شده است که این معادل ۱۵/۹ درصد از کل تصادفات رانندگی را تشکیل می‌دهد، و حدود ۱۰/۷ درصد از تمام حوادث داخل شهری و ۲۸/۵ درصد از تمام حوادث خارج شهری را شامل می‌گردد. سختی تصادفات در سرعتهای بالاتر خیلی بیشتر از سرعتهای پایین است. سرعت خیلی بالا در شرایط حاکم بالای طیف سرعت مطمئن اتفاق می‌افتد و این عامل اصلی در کنترل حداکثر سرعتهای وسائط نقلیه برای توسعه ایمنی است. یک سرعت نامطمئن در واقع می‌تواند یک سرعت خیلی پائین در مقادیر کیلومتر بر ساعت هم باشد در حالی که سرعت‌های بالای مربوطه در شرایط مطلوب می‌تواند ایمن باشد.

- بعضی اصول بدست آمده از مطالعات جزئی روی جاده‌های دو و چهار خطه اصلی خارج شهر بسته به رابطه بین سرعت و حادثه به صورت زیر است:

۱- میزان گرفتاری، آسیب و خسارت ملکی تصادفات در سرعتهای خیلی پایین در بالاترین سطح خود و در سرعتهای متوسط در پایین‌ترین سطح خود بوده و در سرعتهای خیلی بالا خصوصاً در شب گسترش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله سرعت یک وسیله نقلیه از متوسط سرعتهای تمام ترافیک بیشتر باشد به همان میزان امکان گرفتار آمدن آن در تصادف بیشتر است. یکی از اهداف کنترل سرعت ایجاد یک جریان حرکت ترافیک یکنواخت است.

۲- شدت تصادفات با افزایش سرعت افزایش می‌یابد، خصوصاً در سرعتهایی که از ۹۶ کیلومتر بر ساعت تجاوز می‌نماید.

۳- میزان مرگ و میر در سرعتهای خیلی بالا در بالاترین حد و در سرعتهای متوسط پایین‌ترین حد است.

۴- تعداد کسانی که با سرعتهای خیلی متفاوت از سرعت معمولی ترافیک به صورت از جلو به عقب تصادف کننده بودند خیلی بیشتر از کسانی بود که سرعتشان در حد معمول ترافیک بود.

جاده‌های جدید در صورتی که طرح و کنترل آنها مناسب بوده و رانندگان همکاری کنند می‌توانند و باید یک حمل و نقل سریع، ایمن و راحت را فراهم نمایند. مهندسین ترافیک باید تمام مراحل مشکلات ناشی از سرعت را به خوبی درک کنند. نیازهای امروز، قوانین یکسان و هماهنگ، منطقه بندی سرعت و اعمال قانون است.

قوانین کنترل سرعت

کنترل سرعت قابل مباحثه و رد کردن است زیرا که نظرات مختلفی بین مهندسین، مامورین راهنمایی و رانندگی رانندگان و مردمی که در طول مسیر یا جاده زندگی می‌کنند در رابطه با حل مشکل سرعت و تاثیری که هر گروه از آن می‌پذیرد وجود دارد.

بواسطه وجود تغییرات بحث انگیز در ایالات مختلف برای تنظیم سرعتشان و توسعه و طبیعت آن، در مجموع سه دسته قوانین اصولی برای کنترل ترافیک داریم:

قانون اصلی سرعت

قانون اصلی سرعت آن است که هیچ شخصی حق ندارد یک وسیله را در یک جاده با سرعت بالاتر از حد منطقی و محتاطانه در هر شرایط حاکم که خطرات واقعی و بالقوه را ایجاد می‌نماید براند.

مناطق عمده محدودیت سرعت

این نوع از قانون کنترل سرعت دیکته می‌نماید که سرعت هر وسیله نقلیه در یک محدوده خاص به تبعیت از تغییرات قانون اصلی سرعت توصیه و وادار می‌گردد. با رو مسئولیت ناشی از آزمایش این امر به عهده راننده است تا اثبات نماید که در یک سرعت نامطمئن حرکت نمی‌کرده است. این مدرک که راننده‌ای با سرعتی بیش از سرعت طراحی شده در حرکت بوده برای اثبات خطاکار بودن او از قانون اصلی سرعت در نزد دادگاه کافی است، لیکن این رای را اعمال نمی‌نماید.

چنانچه قاضی چنین حکم کند، مدعی علیه ممکن است شروع به اثبات نماید که سرعتی که او رانندگی می‌کرده است در شرایط موجود ناصحیح نبوده است. بنابراین منطقه عمده محدودیت سرعت باین حقیقت اذعان دارد که در تمام زمانها هیچ سرعت مشخصی الزاماً ایمن یا غیرایمن نیست.

مشخصه منفی اصلی این نوع از محدوده سرعت آن است که معنای آن اغلب غیرقابل درک بوده و اعمال آن نسبتاً مشکل است.

محدودهٔ مطلق سرعت

یک محدودهٔ سرعت است که همواره حرکت با سرعت بالاتر از آن - بدون توجه به شرایط - غیرقانونی است. این نوع از سرعت زمینه‌ای برای سوال از اینکه آیا راننده وقتی از محدوده سرعت تجاوز کرد در یک سرعت ایمن حرکت می‌کرده یا نه باقی نمی‌گذارد.

مزایای محدوده مطلق سرعت، وضوح معنا، و راحتی نسبی که وصول به حکم برای قاضی را ممکن می‌سازد می‌باشد. محدوده مطلق سرعت به دلیل طبیعت و ملزومات آن تمایل بیشتری به تنظیم شدن نسبت به مناطق عمده محدودیت سرعت دارد.

قانون‌گذاری برای کنترل سرعت

طبیعت و مقررات قوانین سرعت به صورت گسترده‌ای در ایالات مختلف تغییر می‌کنند. هر ایالتی یک قانون خاص برای ضابطه اصلی سرعت دارد. طبقه‌بندی یکنواخت وسائط نقلیه و شیوه ترتیب ترافیک روش‌ها و الگوهای مختلفی برای قوانین سرعت و ترتیبات شهری فراهم می‌نماید. برای مطالعه انواع قوانین سرعت به منابع مراجعه نمائید.

محدوده‌های مطلق سرعت

آئین‌نامه طبقه‌بندی سرعت اساسی‌ترین قانونی است که با محدوده‌های مطلق سرعت تکمیل شده‌است. (قسمت ۸۰-۱۱):

۱- ۴۸ کیلومتر بر ساعت در هر منطقه شهری

۲- ۹۶ کیلومتر بر ساعت در هر منطقه دیگر در طول روز

۳- ۸۸ کیلومتر بر ساعت در هر منطقه دیگر در طول شب

منظور از طول روز از نیم ساعت به طلوع آفتاب تا نیم ساعت بعد از غروب آن است و طول شب سایر ساعات شبانه روز است.

مناطق سرعت ایالتی

آئین‌نامه سرعت بکارگیری مناطق سرعت ایالتی را مجاز می‌شمارد. (قسمت ۸۰۲-۱۱)

هرگاه برای ایالتی براساس کار مهندسی و مطالعات ترافیک معلوم شد که هر سرعت حداکثری بزرگتر یا کوچکتر از سرعت منطقی یا ایمن در شرایط موجود در هر تقاطع یا هر موقعیتی در سیستم جاده است، ایالت ممکن است حداکثر مناسب سرعت ایمن که بعد از نصب علائم مناسب موثر بوده را تعیین و اعلام نماید. یک چنین محدوده حداکثر سرعتی ممکن است اعلام شود که در تمام اوقات یا در اوقاتی که در تابلو معین شده موثر است و محدوده‌های متفاوت ممکن است برای زمانهای مختلف وسائط نقلیه مختلف، تغییرات شرایط آب و هوایی و سایر عوامل موثر بر چراغهای ایمن بکار گرفته شود.

محدوده‌های حداکثر سرعت

آئین‌نامه به مسئولین منطقه‌ای اجازه جایگزین محدوده‌های حداکثر را می‌دهد. (قسمت ۸۰۳-۱۱) هرگاه برای مسئولین محلی پس از بررسی ترافیکی و کار مهندسی معلوم شد که هر حداکثر سرعتی بیشتر یا کمتر از سرعت مطمئن و ایمن در هر شرایط در جاده یا قسمتی از آن است، مسئول محلی با موافقت ایالت ممکن است محدوده حداکثر سرعت مناسب ایمن را تعیین و اعلام نمایند که به یکی از اشکال زیر خواهد بود:

۱- کاهش محدوده در تقاطعات

۲- توسعه محدوده در یک منطقه شهری، لیکن نه بیشتر از ۹۶ کیلومتر در ساعت برای اوقات روز و ۸۸ کیلومتر بر ساعت در طول شب

۳- کاهش محدوده در خارج از منطقه شهری لیکن نه

جدول ۱-۲۵. استانداردهای مشخصات ترمز

مسافت ترمزاز سرعت kph ۳۲ (فوت)	کاهش سرعت ft/sec^2	نیروی ترمز (درصدی از وزن کل)	طبقه‌بندی وسائل نقلیه
۲۵	۱۷	۵۲/۸	سواری
۳۰	۱۴	۴۳/۵	موتور سیکلت
۳۰	۱۴	۴۳/۵	تک واحدی با بار کمتراز ۱۰۰۰۰lb
۴۰	۱۴	۴۳/۵	تک واحدی دو محوره بالای ۱۰۰۰۰ lb
۴۰	۲۴	۴۳/۵	دو تریلر زیر ۳۰۰۰۰lb و تمام اتوبوسها
۵۰	۱۴	۴۳/۵	سایر

کمتر از ۵۶ کیلومتر بر ساعت.

هر جایگزینی محدوده جدید باید در تمام ساعت‌ها، یا در طول تاریکی، یا در سایر زمانها که پس از نصب علائم مناسب تعیین می‌گردد موثر باشد.

محدوده‌های حداقل سرعت

آئین نامه، بکارگیری محدوده‌های حداقل سرعت را فراهم می‌نماید (قسمت ۸۰۴ - ۱۱.)

محدوده حداقل سرعت مبتنی برآن سرعتی است که مانع از حرکت طبیعی ترافیک می‌گردد، بجز مواقعی که کاهش سرعت برای عملکرد ایمن یا هماهنگی با قانون باشد. تعیین حداقل سرعت مبتنی بر کار مهندسی و مطالعات ترافیکی است. مقررات سرعت‌های حداقل از این حقیقت ناشی شده که سرعتهای خیلی پایین‌تر از سرعت معمولی ترافیک به خطرات تصادف منجر می‌گردد، زیراکه مانع از حرکت آزاد ترافیک شده و اغلب در مواقعی که حرکات عبوری، توسط سایر رانندگان هنگامی که شرایط برای آن ایمن نباشد ساخته می‌شود اتفاق می‌افتد.

محدوده‌های سرعت کامیون

از آنجاکه عملکرد ترمز برای انواع مختلف وسائط نقلیه تغییر می‌کند: مسافت توقف در یک شرایط اضطراری نسبت به سواریها نیاز دارند. در بررسی تفاوتهای مشخصات ترمز بین سواریها و کامیونها بعضی ایالتها مقرراتی برای سرعت وضع کرده‌اند که در آن محدوده سرعت برای کامیونها پایین‌تر از سواریهاست.

پس B.P.R انواع مختلف وسائط نقلیه در سطوح مختلف را درسال ۱۹۵۵ آزمایش کرد تا قدرت توقف آنان را با سرعت ۳۲ کیلومتر بر ساعت تعیین نماید. ملزومات آئین نامه (قسمت ۳۰۲-۱۲) در اجرای توانایی ترمزها در اغلب قسمتها مبتنی بر نتایج آزمایشات B.P.R است.

آئین نامه ملزم می‌سازد که هر وسیله نقلیه موتوری، در تمام زمانها و در تمام شرایط و در وضعیت مناسب ترمز باید دارای قابلیت‌های زیر باشد:

۱- توسعه قدرت ترمز که آن کمتر از درصد وزن ناخالصی که برای آن منظور شده نباشد.

۲-کاهش سرعت و شتاب منفی تا توقف تا ۳۲ کیلومتر بر ساعت سرعت معادل یا بیش از مقداری که در طبقه‌بندی آن منظور شده‌است.

۳- توقف با سرعت ۳۲ کیلومتر بر ساعت در مسافتی کوتاهتر از مسافتی که برای طبقه‌بندی آن منظور شده است، این فاصله از لحظه اول اعمال ترمز اندازه‌گیری می‌شود. این استانداردها در جدول (۱-۲۵) نشان داده شده‌است.

محدوده‌های غالب سرعت

محدوده‌های غالب سرعت در ایالتهای مختلف بین ۹۶ تا ۱۰۴ کیلومتر بر ساعت، در طول روز و برای سواریها در جاده‌های بین شهری، ۴۰ تا ۴۸ کیلومتر بر ساعت در مناطق تجاری است. بیش از ۳۰ ایالت محدوده‌های سرعت پایین‌تر در جاده‌های بین شهری در طول ساعات روز و برای کامیونها منظور کرده‌اند و بیست ایالت محدوده‌های سرعت در مسافت شبانه را کاهش داده‌اند.

حدود نیمی از ایالات در حال حاضر دارای قوانین حداقل سرعت هستند و این نوع کنترل سرعت در حال یکنواخت و هماهنگ شدن در جاده‌های و خیابانها در بین یک چهارم ایالت‌هاست.

آموزش برای کنترل مؤثر سرعت

آموزش عمومی و رانندگان توسط تمام امکانات عمومی و توسط تمام ارگانهای علاقه مند نقش مهمی در انتشار مفهوم قوانین سرعت، اهمیت رعایت محدودیتهای وضع شده برای منافع عمومی آن، چگونگی تطبیق سرعتها با شرایط و کار

مهندسی و اعمال مراحل مورد نیاز برای دستیابی به کنترل سرعت ایفا می‌نماید. هر چه رانندگان با مقررات ترافیکی آشنا شده و آنرا درک نمایند احترام بیشتری برای آن قائل خواهند بود.

جنبه‌های مهندسی کنترل سرعت

طراحی جاده

ضوابط طراحی شامل عواملی مانند، مسافت دید، قوسها، شیب بندی، ابعاد مقطع و سایر عوامل یک محدودیت برای سرعتهای ایمن ایجاد می‌نماید. هرگاه دسترسی به اصلاح خطرات از طریق پیشرفت جاده و یا شرایط محیط بر آن ممکن گردد آن روش بر محدودیت سرعت ارجحیت دارد.

منطقه بندی سرعت

بکارگیری محدوده‌های سرعت منطقی و ایمن برای مناطق خاص و یا مقاطعی از خیابانها و جاده‌ها که در آنها محدوده‌های عمومی سرعت ایالتی قابل تطبیق نیست اغلب مورد نیاز است. موقعیتهای مختلفی که منطقه‌بندی سرعت در آنها به صورت مشترک مورد نیاز است شامل مناطق زیر است:

۱- مناطق تغییر وضعیت از خارج شهر به داخل شهر

۲- شرایط غیر منعمول جاده یا سایر شرایطی که بکارگیری محدوده‌های سرعت مغایر با قوانین عمومی و کلی را توجیه می‌سازد. این شرایط باید شامل قسمت‌های مارپیچ جاده، قوسهای تیز، شیب های تند، مسافت دید محدود، مسافت دید جانبی محدود، روسازی ضعیف و سایر مناطق خطر خیز باشد.

۳- در تقاطعات و مناطقی که بخصوص وضعیت دید ضعیف است.

۴- جاده‌ها و خیابانهایی که دارای استانداردهای طراحی مشخصاً بالاتر یا پایین‌تر از سایر جاده‌ها در ایالتها یا شبکه‌های مشترک هستند. مثالهایی از این گونه عبارت از آزاد راه‌ها، بزرگراهها، توسعه خارج شهری از جاده‌های اولیه ایالتی، خیابانها و شریانهای اصلی است.

۵- منطقه بندی موقتی در مناطق در دست ساختمان و مدرسه‌ها

عوامل زیر باید در بکارگیری منطقه‌بندی سرعت و حداکثر محدوده سرعت مد نظر قرار گیرد.

سرعت غالب وسیله نقلیه. سرعت غالب وسیله نقلیه یک عامل کاملاً مهم در منطقه‌بندی سرعت است. اگر بناست منطقه‌بندی مفید و موثر باشد باید عموماً با سرعتی که رانندگان در آن احساس ایمنی و راحتی می‌کنند سازگار باشد. این امر اجباراً ما را وادار به مطالعه سرعت لحظه‌ای برای میانگین گیری، متوسط سرعت ۱۵ درصد، سرعت ۸۵ درصد و گام وا می‌دارد. میزان معمول و ارجح در تعیین محدوده اصلی حداکثر سرعت از مطالعات سرعت، سرعت ۸۵ درصد است. ملاک دیگری که برای انتخاب محدوده سرعت مناسب بکار می‌رود ۱۶ کیلومتر بر ساعت در هر گام است، همانگونه که محدوده شمارشی نباید در سطح ارزشی کمتری از حداقل سطح هر گام باشد.

خصوصیات فیزیکی. خصوصیات فیزیکی یک قطعه از جاده، باید در تعیین یک منطقه سرعت فرضی یا غیرفرضی و آنچه محدوده عددی آن باید باشد منظور نظر قرار گیرد. این کیفیات ممکن است به نیاز به انتخاب یک محدوده سرعت متفاوت از مبنای سرعتهای غالب منجر گردد. آزمایشات باید توسط یک شاخص گلوله‌ای برای تعیین حداکثر سرعت راحت در قوسها انجام گیرد. حداکثر سرعتی که در آن یک قوس به راحتی پیموده می‌گردد با قرائت یک شاخص گلوله‌ای ده درجه‌ای معین می‌گردد. برای قوسهای تیز حفاظت شده تابلوهای توصیه‌های سرعتی (که محدوده‌های سرعت نیستند) معمولاً قابل استفاده است.

فواصل بین تقاطعات باید اندازه‌گیری شوند چراکه جاده‌های با تقاطعات زیاد به محدوده سرعت پایین‌تری به دلیل وجود برخوردهای بالقوه نیاز دارند. رابطه بین این‌ها و محدوده سرعت مناسب در جدول ۲-۲۵ آمده‌است.

تعداد مغازه‌های کنار جاده در هر کیلومتر باید محاسبه شوند زیراکه تاسیسات تجاری در کنار جاده‌ها اصطکاک جنبی با ترافیک عبوری از جاده را توسعه می‌دهد. رابطه بین اینها با محدوده سرعت مناسب در جدول ۲-۲۵ آمده‌است.

شرایط روسازی جاده و مشخصات آن حداکثر سرعت ایمن را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باید مورد بررسی مجدد قرار گیرند، در زمانی‌که یک قضاوتی در این باره صادر می‌گردد. حتی اگر سرعت منظور شده مناسب یا غیر مناسب باشد. این عوامل شامل، لغزندگی روسازی، زبری روسازی، وجود عمقها و برآمدگی های مورب، وجود و شرایط شانه‌ها و وجود و عرض میانی‌هاست.

بررسی تصادف. بررسی تصادف باید از نقطه نظر تناوب، تعداد، نوع و عامل تصادف انجام شود.

کاهش محدوده سرعت، الزاماً کاهش سرعت وسائط نقلیه و تعداد تصادف را نتیجه نمی‌دهد. تناوب برخوردها و میزان تصادف همواره با افزایش محدوده سرعت به سطوح واقعی

جدول ۲-۲۵. برگ کنترل برای مناطق سرعت

بخش اول

تخمین اولیه از حداکثر سرعت	شرایط جاده (سه شرط یا بیشتر باید بررسی شوند)			سرعت طرح
	تعداد مشاغل کنار جاده در هر مایل	متوسط فاصله بین تقاطعات معادل یا بیش از (ft)	حداقل طول منطقه مورد مطالعه	mph
۲۰	–	–	٪۲	۲۰
۳۰	–	–	٪۲	۳۰
۴۰	۸	۱۲۵	٪۳	۴۰
۵۰	۶	۲۵۰	٪۵	۵۰
۶۰	۴	۵۰۰	٪۵	۶۰
۷۰	۱	۱۰۰۰	–	۷۰

بخش دوم

حداکثر سرعت پیش‌بینی شده	خصوصیات سرعت (۲ یا بیشتر باید بررسی شوند.)		
	متوسط سرعت	حدود ۱۰ مایل	۸۵ درصد
mph	حرکت آزمایشی (mph)	گام سرعت (mph)	سرعتهابین (mph)
۲۰	۱۷/۵	زیر ۲۵	زیر ۲۲/۵
۲۵	۲۲/۵	۱۱-۲۹	۲۲/۵-۲۷/۵
۳۰	۲۷/۵	۱۶-۳۴	۲۷/۵-۳۲/۵
۳۵	۳۲/۵	۲۱-۳۹	۳۲/۵-۳۷/۵
۴۰	۳۷/۵	۲۶-۴۴	۳۷/۵-۴۲/۵
۴۵	۴۲/۵	۳۱-۴۹	۴۲/۵-۴۷/۵
۵۰	۴۷/۵	۳۶-۵۴	۴۷/۵-۵۲/۵
۵۵	۵۲/۵	۴۱-۵۹	۵۲/۵-۵۷/۵
۶۰	۵۷/۵	۴۶-۶۴	۵۷/۵-۶۲/۵
۶۵	۶۲/۵	۵۱-۶۶	۶۲/۵-۶۷/۵
۷۰	۶۷/۵	بالای ۵۵	بالای ۶۷/۵

کاهش یافته است. توجه دقیقی باید به آن دسته از حوادثی معطوف گردد که در آن سرعتهای غیر قابل قبول به عنوان عامل یا یکی از عوامل تصادف ظاهر می‌گردند.

مشخصات و کنترل ترافیک. مشخصات و کنترل ترافیک برای تعیین مناسب بودن یک محدوده سرعت معلوم باید معین باشد. این عوامل شامل حجم ترافیک در زمان‌های اوج، توقف و بارگیری و سایر عملکردهای وسائط نقلیه در مجاورت خط حرکت، نسبت وسائط نقلیه تجاری در جریان ترافیک، کنترل و حرکات گردشی، چراغهای راهنمایی و سایر ابزار کنترل ترافیکی و برخورد پیاده - سواره می‌گردد.

تفاوتهای سرعتی در حجم‌های پایین در جاده‌ها مورد اعتراض نیستند لیکن این تفاوتها به تناسب افزایش حجم‌ها خطرناک می‌گردند.

تغییرات محدوده‌های سرعت اعلام شده. تغییر محدوده سرعتهای اعلام شده در ورودیهای با طول کمتر از ۳۲۰ متر غیرممکن است. این موضوع در حداقل طول یک منطقه سرعت و در جدول ۲-۲۵ منعکس شده‌است. حداقل طول منطقه سرعت مجاز به موازات توسعه سرعت افزایش می‌یابد.

تنظیم محدودیت

برگ کنترل مناطق سرعت، جدول ۲-۲۵، به مهندس برای ارزیابی شرایط قابل اندازه‌گیری در طول یک جاده به منظور طبقه‌بندی سرعت کمک می‌نماید. چنانچه سه یا بیشتر از شرایط جمع باشد منطقه سرعت با حداکثری مانند آنچه در جدول داده شده ممکن است مناسب باشد. بنابراین ارزش حد بالا فقط یک حدس است و باید در ارتباط با سایر مشخصات واقعی اندازه‌گیری در محل اصلاح شود.

در انتخاب حد عددی سرعت لازم است که مشخصات سرعت واقعی وسائط نقلیه اندازه‌گیری شود. مطالعات سرعت لحظه‌ای برای محاسبه سرعت ۸۵ درصد، وگام انجام شده‌اند. به علاوه به عنوان کنترل نتایج سرعت بدست آمده از مطالعه سرعت لحظه‌ای متوسط سرعت حرکت آزمایشی نیز باید بدست آید. متوسط سرعت حرکت آزمایشی به راحتی بااستفاده از یک اتومبیل سواری و دستگاه سرعت سنج قابل محاسبه است که توسط آن سرعتها در فواصل ۱۶۰ متری در طول جاده تحت مطالعه اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. حرکتها تحت شرایط ترافیکی سبک انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود که شرایط جاده و اقلیم آن بیش از شرایط ترافیکی سبک انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود که شرایط جاده و اقلیم آن بیش از شرایط ترافیکی سرعت رانندگان را تحت کنترل و تاثیر قرار می‌دهد. دوبار حرکت در هر جهت معمولاً کافی است.

حداکثر محدوده سرعت مبتنی بر ۸۵ درصد سرعت و ۱۶ کیلومتر در هر ساعت گام معمولاً با تمام استانداردها مطابقت دارد. حد بالای گام معمولاً به سرعت ۸۵ درصد نزدیک می‌گردد. توصیه شده است که حداکثر حد سرعت منتخب نباید بیش از ۴/۸ کیلومتر بر ساعت کمتر از حد بالای سرعت گام یا سرعت ۸۵ درصد - هر کدام کمتر است - باشد. زمانی که مقادیر بالا تعیین شدند، یک حدس دقیقتر از حد سرعت می‌تواند با وارد شدن به قسمت دوم برگ کنترل بدست آید، حد سرعتی که حداقل شرط نشان داده شده را ارضا نماید باید به عنوان منطقه سرعت درنظر گرفته شود.

محدوده‌های سرعت منطقه‌ای

به تفاوت توصیه شده‌است که بکارگیری حدود سرعت براساس یک منطقه نسبت به سرعت براساس یک جاده ارجحیت دارد. بسیاری از حوزه‌ها قوانینی دارند که حدود خاص سرعت در تمام جاده‌ها و خیابانها در مناطق و محلات در یک سطح ویژه را شرح می‌دهد. مواقعی که اغلب منطقه‌بندی سرعت بدین شکل در آنها انجام می‌شود شامل موارد زیر است:

۱- ارتباط مستحکمی بین وقوع تصادفات و توزیع سرعت در جاده‌های بین شهری ایالتی وجود دارد. میزان تصادفات بطور وضوح در جائی که توزیع سرعت نرمال نیست بالاتر و در جاهائیکه توزیع سرعت به یک توزیع نرمال تبدیل می‌گردد پائین‌تر است.

۲- بهترین عامل برای اندازه‌گیری در تعیین غیر نرمال بودن اریب بودن توزیع است.

۳- تغییر توزیع سرعت از غیرنرمال به نرمال باعث کاهش تصادفات به میزان نصف زمانی که قبل و بعد از توزیع نرمال داشته‌ایم می‌گردد.

۴- ضوابطی باید برای منطقه بندی بکار گرفته شود که در آن توزیع سرعت به عنوان یک عامل منظور شده‌است.

۵- توزیع قبلی سرعت به تنهایی به عنوان یک ضابطه برای منطقه‌بندی سرعت کافی نیست.

چراغهای کنترل سرعت

وقتی که سرعتهای بالای وسائط نقلیه در مناطق خطرآفرین مشکل ایجاد می‌کند چراغهای کنترل سرعت ممکن است مفید باشند.

غیرتقاطعات. چراغهای غیر تقاطع سرعت وسائط نقلیه را در محلهایی نظیر، قوسها، پلها، و مناطق مدرسه کنترل می‌کنند. شاخص چراغ معمولاً قرمز است و چراغ یا یک محرک متاثر از وسیله نقلیه قبل از چراغ تحت تاثیر قرار می‌گیرد. میزان تاخیر ثابت است بنابراین چراغ برای وسائط نقلیه با سرعت معادل یا کمتر از سرعت حداکثر سبز شده و اجازه عبور می‌دهد.

تقاطع. وقتی که در یک رویکرد اصلی سرعتها خطرات مشخصی ایجاد می‌کنند چراغ نصب می‌شود. کنترل تمام چراغها معمولاً در زمانی که ترافیک ورودی نداریم قرمزند. یک وسیله با سرعت منفرد ورودی به تقاطع و عبوری از محرک در انتهای زمان متناوب عبور وسیله به سبز می‌رسد. چنانچه یک وسیله با سرعت معادل یا کمتر از سرعتی که برای عبور ایمن طراحی شده‌است حرکت کند بدون نیاز به توقف عبور خواهد کرد.

روش دیگر برای هماهنگی چراغهای راهنمایی به منظور تنظیم موثر سرعت وسائط نقلیه، سیستم چراغهای پیشرفته است. راننده باید در سرعت تعیین شده حرکت کند تا بتواند بدون توقف از یک گروه از تقاطعات عبور نماید.

محاسبه سرعت بحرانی

قوسهای افقی. حداکثر سرعت ایمن برای قوسهای باید مبتنی بر، درجه قوس، میزان شیب عرضی، و ضریب اصطکاک جانبی باشد. رابطه مورد نظر به قرار زیر است:

$$V^2 = ۱۲۷/۵ R (e+f) \qquad (۲۵-۱)$$

که در آن:

V = سرعت کیلومتر

R = شعاع قوس متر

e = نسبت شیب عرضی

f = ضریب اصطکاک جانبی

سرعتهای ورودی به تقاطع. سرعتهای ایمن ورودی به تقاطع زمانی‌که محدودیت دید وجود دارد باید تعیین گردد. باید در طول دو جاده منتهی به تقاطع و در گوشه مربوط به هرکدام دید بدون مانع وجود داشته باشد، برای اینکه در فواصل کافی به رانندگان اجازه دهد در زمان مناسب و قبل از رسیدن: به تقاطع یکدیگر را مشاهده و از تصادف جلوگیری کنند، در این رابطه هیچ علامتی مانند تابلو احتیاط یا توقف یا چراغ راهنمایی نیست.

روابط مسافت، زمان و سرعت کوچکترین مثلث دیدی را معین می‌کند (شکل ۱-۲۵) که عاری از مانع است، یا چنانچه مثلث دید کوچکتر از حد مورد نظر باشد آنها می‌توانند در سرعتهای ورودی شکل دهی لازم را به عمل آوردند. وقتی در مسافت دید راننده مانعی وجود دارد و مانع باعث جلوگیری از دید افقی راننده در فاصله‌ای کوتاهتر از فاصله ایمن توقف نسبت به جاده می‌گردد ممکن است وسائط نقلیه (بعد از دیدن سایر وسائط نقلیه در خیابان متقاطع) فقط در وقتی که آنها در یک سرعت مناسب با فاصله دید حرکت می‌کنند متوقف گردند. وقتی‌که سرعت وسیله نقلیه در یکی از مسیرها مفروض است (بطور مثال سرعت طرح) سرعت بحرانی مربوطه در مسیر دیگر می‌تواند براساس این فرض و ابعاد مانع معلوم محاسبه گردد.

سرعت بحرانی وسائط نقلیه ورودی از مسیر فرعی می‌تواند محاسبه شده و سپس به عنوان مبنا در تعیین محدوده سرعت در آن نقطه استفاده شود. سرعت وسائط نقلیه در خیابان اصلی می‌تواند حد سرعت مقرر، سرعت طرح برای جاده و یا سرعت درصدی مانند سرعت ۸۵ درصد منظور شود.

سایر موارد استفاده از محاسبه سرعتهای بحرانی در خیابانهای تقاطعات بشرح زیر است:

۱- تعیین اینکه آیا یک مانع دید برای سرعتهای غالب در یک تقاطع وجود دارد یا نه

۲- تعیین اینکه یک مانع دید تا حد میزان می‌تواند برای ایجاد محدودیت غیرضروری بیشتر جابجا شود.

۳- تعیین اینکه توقف کنار جدول تا چه میزان باید حذف شود تا مانع دید ناشی از این وسائط نقلیه از بین برود.

۴- تصمیم براینکه آیا مانع دید به اندازه کافی برای نصب تابلو احتیاط یا توقف وجود دارد یا خیر.

۵- بکارگیری معیار برای از بین بردن خطرات ناشی از مانع دید در طراحی خیابانها یا جاده‌های جدید یا توسعه خیابانها و جاده‌های موجود.

چند روش برای محاسبه سرعت بحرانی وسائط نقلیه ورودی به تقاطعات در جائی‌که محدودیت دید داریم وجود دارد. تمام روش‌ها مبتنی بر فرضیات با اختلاف جزئی با توجه به عملکرد راننده و وسیله نقلیه هستند. در تمام روش‌های توضیح داده شده در زیر موقعیت نقاط A و B از مثلث دید، شکل ۱-۲۵، بهمان شکل تعیین شده‌اند. سرعت بحرانی برای وسیله B بعد از تعیین فاصله B تا نقطه برخورد قابل محاسبه است. با توجه به شکل ۱-۲۵ در وضعیت معمول عامل Va معلوم (یا مفروض) است و a , b فواصل معین موانع از دیوارهای جانبی وسائط نقلیه B و A هستند. مثلث ۱ و ۲ و ۳ شبیه مثلث ۱ و ۴ و ۵ است بنابراین داریم:

$$\frac{D_b}{D_a} = \frac{a}{D_a - b} \Rightarrow D_b = \frac{aD_a}{D_a - b} \qquad (۲۵-۲)$$

روش شورای ایمنی ملی. این روش برای خیابانهای متقاطع با هر زاویه‌ای چنانچه مقادیر b,a موازی با جدار وسائط نقلیه B و A فرض شود می‌باشند.

فرض برای این است که وسیله B با سرعت یکنواخت و کافی پایین در حرکت است. فاصله D_a معادل فاصله توقف ایمن برای سرعت وسیله A بعلاوه ۵ متر فاصله تخلیه منظور شده‌است.

فاصله تقریبی توقف وسیله روی سطح جاده بااستفاده از رابطه استاندارد بدست آید.

$$d = \frac{v^2}{۲۴۳f} \qquad (۲۵-۳)$$

که در آن:

d = فاصله ترمز به متر

v = سرعت به کیلومتر بر ساعت

f = ضریب اصطحکاک لغزشی

در NSC مقدار f معادل ۰/۵۳ مفروض شده پس داریم:

$$d = \frac{v^2}{۲۴۳ \times ۰/۵۳} = ۰/۰۰۷۸ v^2 \qquad (۲۵-۴)$$

فاصله توقف ایمن بااستفاده از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$s = ۰/۰۰۷۸ v^2 + ۰/۲۸ t.v \qquad (۲۵-۵)$$

که در آن:

s = فاصله توقف به متر

t = زمان دید و عکس العمل به ثانیه

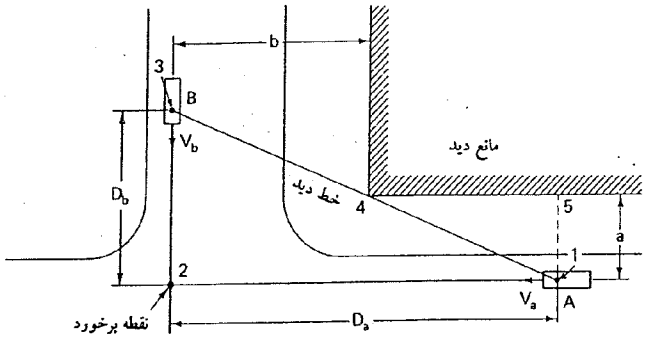
V (کیلومتر بر ساعت)	۰	۱۶	۳۲	۴۸	۶۴	۸۰	۹۶	
t (ثانیه)	۰/۰۷۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۱	۱/۲۲	۱/۵۵	۲	

بنابراین:

$$D_a = ۰/۰۰۷۸v^2 + ۰/۲۸vt + ۵$$

و سپس داریم:

$$D_b = \frac{aD_a}{D_a - b}$$



خیابان اصلی و مورد نظر

شکل ۱-۲۵. مثلث دید

از معادله (۲-۲۵) زمان تخلیه نقطه برخورد برای وسیله A برابر است با

$$t_a = \frac{D_a + ۳/۶}{V_a}$$

که در آن ۳/۶ متر نصف طول یک وسیله نقلیه است. این زمان مشابه می‌تواند برای وسیله B برای طی کردن مسافت (D_b-۵) بدست آید زیراکه وسیله B نباید از ۵ متر فاصله تخلیه به نقطه برخورد نزدیکتر باشد بنابراین داریم:

$$\frac{D_a + ۳/۶}{V_a} = \frac{D_b - d}{V_b}$$

و سرعت بحرانی ورودی برای وسیله B برابر است با:

$$V_b = \frac{(D_b - ۵)\, V_a}{D_a + ۳/۶}$$

روش *AAA* :

روابط داده شده برای این روش صرفاً برای مثلث دیدهای قائمه کاربرد دارد. در این روش فاصله مبتنی بر فاصله ایمن توقف است، در حالی که معادل ۰/۵ گرفته شده، بعلاوه یک فاصله تخله معادل ۴/۵ متر نیز منظور شده است. زمان دید و عکس العمل ۱ ثانیه برای تمام سرعتها منظور شده است. بنابراین:

$$D_a = ۰/۰۰۷۸ V^۲ + ۰/۲۸ V^۲ + ۴/۵$$

حد سرعت مجاز یا سرعت ۸۵٪ فرض شده است. سرعت بحرانی برای وسیله B بسته به فاصله از نقطه B تا نقطه برخورد بوده و این فاصله معادل فاصله توقف وسیله B بعلاوه یک فاصله تخلیه ۴/۵ متری فرض شده است.

$$D_b = \frac{aD_a}{D_a - b} = ۰/۰۰۷۸ V_b^۲ + ۰/۲۸ V_b + ۴/۵$$

که از این رابطه مقدار V_b بدست می‌آید.

روش *AASHO*:

این روش برای خیابانهای متقاطع با هر زاویه‌ای کاربرد دارد در صورتی‌که اندازه‌های a و b موازی جوانب وسائط نقلیه B و A به تفکیک منظور گردد. در این روش فاصله D_a مبتنی برفاصله ایمن توقف است در حالی‌که f معادل ۰/۴ فرض و زمان دید و عکس‌العمل برابر ۲ ثانیه در تمام سرعتها منظور شده‌است.

بنابراین: $D_a = ۰/۰۱۰۳ V_a^۲ + ۰/۵۶ V_a$

V_a معادل سرعت طراحی با تغییراتی از ۴۸ تا ۱۱۲ کیلومتر بر ساعت متغیرند. سرعت بحرانی برای وسیله B مبتنی بر فاصله B تا نقطه برخورد است، و این فاصله معادل فاصله توقف ایمن برای وسیله B منظور شده‌است.

$$D_b = \frac{aD_a}{D_a - b} = ۰/۰۱۰۳ V_a^۲ + ۰/۲۸ V_b$$

و Vb از این رابطه بدست می‌آید

مثال برای روش *NSC*:

فرض کنید $V_a = ۴۸\ km/h$ و متر $a = ۱۵$ و متر $b = ۱۸$

$$D_a = ۰/۰۱۰۳ (۴۸)^۲ + ۰/۲۸ \times ۴۸ + ۴/۸ = ۴۲ \text{ متر}$$

$$D_b = \frac{۱۵ \times ۴۲}{۴۲ - ۱۸} = ۲۶/۳m$$

$$V_b = \frac{(۲۶/۳ - ۴/۸) \times ۴۸}{۴۲ + ۳/۸۴} = ۲۲/۵\ km/h$$

اجرای محدودیت سرعت

تاثیر مناسب قانون وابسته به نحوه و چگونگی اجرای آن می‌باشد، اجرای صحیح آن بدون آموزش افراد جامعه میسر نخواهد بود دقت کافی در اجرای قانون یکی از اصولی است که باعث کنترل سرعت می‌شود و این قانون را می‌توان با این که بر اصول و تصمیمات و تجهیزات مناسب علمی نمود. آموزش افراد پلیس مبنی بر این که اعمال قوانین محدودیت سرعت، بسیار مفید می‌باشد و از اهمیت زیادی برخوردار است.

روش‌های اجرا

تعقیب متخلف. متداولترین روش در کنترل سرعت می‌باشد. برای این کار پلیس می‌بایست در فاصله مناسب از متخلف مستقر شده باشد تا بتواند سرعت آنرا تخمین بزند. در بعضی از مواقع قبل از جلب متخلف، نیاز به حاکم است. استفاده از این روش باعث کند شدن ترافیک شده و در مواردی که سرعت وسائل نقلیه بالا است. خطرناک می‌باشد و فاصله مورد نیاز برای این کار غالباً با صلاح دید افسر انتخاب می‌شود.

فاصله با توجه به زمان. اندازه‌گیری سرعت در این روش با توجه به مدت زمانی که وسیله نقلیه فاصله مشخصی را طی می‌نماید و روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری زمان وجود دارد.

اندازه‌گیری با رادار. یکی از موثرترین روشها می‌باشد و تعداد افراد لازم برای کنترل سرعت را کاهش می‌دهد جهت دستگیری متخلفین، نیاز به دو وسیله نقلیه است. افسری که در وسیله اول وجود دارد مجهز به رادار و بیسیم است که متخلف را ابتدا تشخیص داده و سپس مشخصات آنرا به افسر دوم اطلاع می‌دهد که در ایستگاه دیگری در فاصله‌ای از وسیله اول مستقر است. در نتیجه افسر دوم متخلف را با زیر نظر گرفتن اتومبیلهای عبوری شناسایی و متوقف می‌سازد. از این روش در تله‌های سرعت استفاده می‌کنند.

نوسان

در تعیین درست سرعت یک وسیله نقلیه متحرک عوامل متعددی موثر می‌باشند. زمانی که یک وسیله نقلیه با وسیله دیگری حرکت می‌کند، تعیین درست آن مشکل می‌باشد زیرا افزایش و کاهش شتاب در سرعت موتور تاثیر می‌گذارد و همچنین عوامل دیگری چون وضعیت ترافیک می‌توانند سرعت وسیله را تغییر دهند. در اندازه‌گیری سرعت با وسایل ویژه، تعیین حدود اندازه‌گیری و سلامت دستگاه و همچنین روشی که برای اندازه‌گیری بکار می‌رود، بسیار مهم است. توجه به این عوامل به مجریان این توانایی را می‌دهد که با توجه به سرعتهای مجاز، در موارد خاص از افزایش سرعت توسط رانندگان، تا حد معقول، چشم پوشی نمایند. غیر منطقی بودن سرعتهای مجاز تعیین شده در بعضی از موارد، عامل دیگری است که بواسطه آن می‌توان افزایش سرعت از حدود مجاز را قبول نمود. در بسیاری از موارد این نوسان تا ۸ کیلومتر در ساعت منطقی می‌باشد.

آزمایشات در حوزه سرعت

مطالعات زیادی روی این روش انجام گرفته است که بطور خلاصه در ذیل توضیح داده شده است.

ایلی نویز

در این ایالت تحقیقات زیادی روی تاثیر تغییر عرض جاده روی قوانین سرعت انجام گرفته است. در مطالعاتی که در ۳۰ حوزه سرعت انجام گرفت. افزایش سرعتی از ۴۸ تا ۶۴ کیلومتر در ساعت را نشان می‌دهد. انتخاب سرعت مجاز معقول مفید بوده و حوادث را کاهش می‌دهد.

در ۱۱ محل دیگر حوزه‌های جدیدی به وجود آمد و نتایج مطالعات حاکی از کاهش سرعتها می‌باشد. ۸۵٪ سرعتها به میزان ۵/۸ کیلومتر در ساعت کاهش یافت و حدود مجاز تعیین شده، توسط ۸۸٪ از رانندگان رعایت شد.

مطالعات سرعت در ۹ ایستگاه شامل ۵ ایستگاه برون شهری و ۴ ایستگاه شهری اجراء شد. سرعت مجاز مطلق ۱۰۴ کیلومتر درساعت تعیین شد که در طول مسیر تغییر می‌یافت. در مناطق برون شهری سرعت های مجاز ۷۲ و ۵۶، ۵۶ و ۶۴ کیلومتر در ساعت درنظر گرفته شدند. مجموع مطالعات شهری نشان می‌دهد که ایستگاههای حوزه‌های سرعت شهری در کنترل ترافیک موثر بوده‌اند.

نشویل

تعداد سه خیابان برای کنترل تاثیر علائم سرعت مجاز انتخاب شدند. نتیجه حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که حدود مجاز تعیین شده. اعداد واقعی نیستند و تا زمانی که رانندگان سرعتهای وسایل نقلیه خود را براساس وضعیت جاده تعیین می‌نمایند. این امکان وجود دارد که سرعتهای مجاز تعیین شده برای تمام حالتهای مطمئن ، مطلوب نباشد.

پنسیلوانیا

در دو منطقه از جاده دسترسی آلنتاون تاثیر علائم سرعت مجاز بررسی شد. هر دو جاده دارای شرایط و خصوصیات یکسان همراه با ایستگاههای خدماتی، رستوران و ... در دو

جدول ۳-۲۵. نتایج مطالعات قبل و بعد سرعت

سرعت ۵ درصد		متوسط سرعت		موقعیت بعد از حد سرعت			
۵ بعد	بعد	قبل	۵ تا سال بعد	۳-۲ سال بعد	قبل	بعد	قبل
۳۶	۴۱/۳	۴۸/۷	۳۴/۱	۳۳/۱	۴۲/۶	۳۵	—	۱A
۴۴/۲ ۵	۵۱/۸	۴۹/۴	۳۸/۸	۴۴/۵	۴۴	۴۰	—	۱B
۵۲/۱	۵۰/۷	۵۱/۶	۴۵/۱	۴۳/۳	۴۵/۴	۴۰	—	۱C
۵۴/۵	۵۸/۱	۵۷	۴۷/۳	۴۸/۸	۴۹/۳	۵۰	—	۱D
۵۲	۴۵/۴	۴۳/۲	۳۶/۲	۳۹/۷	۳۶/۴	۳۵	—	۲
۴۷/۱	۴۸/۱	۵۳/۷	۴۰/۱	۴۰/۷	۴۶/۶	۴۵	—	۳A
۴۸	۵۰/۲	۵۱/۵	۴۰/۸	۴۳/۵	۴۴/۶	۴۵	—	۳B
۴۶/۴	۴۹/۶	۴۹/۵	۳۹/۷	۴۳/۸	۴۳/۴	۴۵	—	۳C
	۴۹/۳	۵۱/۸		۴۲/۷	۴۳/۳	۵۰	—	۵

جدول ۴-۲۵. نتایج مطالعات در مناطق حومه

۳۰	۳۵	۴۰	منفی	خصوصیات سرعت
۳۴/۳۱	۳۳/۹۱	۳۳/۸	۳۱/۹۹	سرعت متوسط
۳۸/۴۹	۳۸/۴۲	۳۸/۴۴	۳۷/۳۸	سرعت ۸۵ درصد
۳۰/۳۹	۲۸ - ۳۷	۲۸ - ۳۷	۲۶ - ۳۵	طبقه‌بندی ۱۰ مایلی
۷۸/۹	۷۴/۶	۷۲/۸	۷۳	طبقه بندی درصدی
۳۷/۸	۱۰/۱	۱/۶		طبقه‌بندی در صدی با ۵ مایل بیشتر

طرف می‌باشند. تغییر سرعت مجاز ۵۶ کیلومتر در ساعت از ۸۰ کیلومتر در ساعت تاثیر مشخصی روی سرعت ترافیک داشت، هر چند تعداد قابل ملاحظه‌ای از رانندگان سرعت مجاز ۵۶ کیلومتر در ساعت را رعایت نکردند. در یک محل کنترل ۲۲ تا ۴۶ درصد از ترافیک عبوری سرعتی کمتر یا حدود ۵۶ کیلومتر در ساعت و در منطقه دیگر این درصد: ۱۳ تا ۳۹ درصد رسیده است. ۸۵ درصد سرعتها از ۷۲ به ۶۴ کیلومتر در ساعت کاهش یافته و در منطقه دیگر کاهش سرعت از ۷۸ به ۶۷ کیلومتر در ساعت بوده‌است.

ویکانسین

۱- یک کاهش قابل ملاحظه در تناوب و تداوم و حوادث ناشی از وسائط نقلیه وقتی حدود حوزه سرعت روی مبنائی مهندسی و ترافیک نباشد، و وقتی علائم محدودیت سرعت به میزان کافی تدارک شد، قابل انتظار است.

۲- با کاهش معقول سرعت مجاز، همراه با عملکرد صحیح در حوزه‌های سرعت، یک کاهش قابل توجه در سرعت متوسط ۸۵ درصد به وجود می‌آید. در حالی که این کاهش بدون استفاده از عوامل اجرایی خاص انجام گرفته است. نمودار ۳-۲۵ را ببینید.

پنج محله حومه نشین

در یک مطالعه که از پنج محله حومه نشین به عمل آمد مشخص شد که رانندگان سرعت اتومبیل خود را با توجه به موقعیت جاده و وضعیت ترافیک تنظیم می‌نمایند. نتایج مشاهده شده در یک محل در جدول ۴-۲۵ آورده شده است.

سنت پل

با افزایش سرعت مجاز از ۴۸ به ۵۶ در بعضی موارد ۶۴ کیلومتر در ساعت در ۱۱ خیابان شریانی بدست آمد که حدود سرعت جدید با ۸۵٪ از سرعت وسایل عبوری مطابقت داشته و ۸۵٪ موارد تعیین شده در حوزه‌ای سرعت، برای شریانهای شهری قابل اعتماد می‌باشند.

پست کنترل سرعت

این یک روش پیشرفته نصب چراغ در جاده‌های بین‌المللی برای کنترل سرعت بکار گرفته شده که بسیار مفید و موثر بوده‌است. عدم رعایت سرعت مجاز در مرحله اول ناشی از پایین بودن و حدود تعیین شده می‌باشد. نتایج چندین مطالعه نشان می‌دهد که ۸۵٪ رانندگان پس از عبور از پستهای کنترل سرعت: سرعت خود را به میزان ۳/۲ کیلومتر در ساعت -

بطور متوسط - افزایش‌می‌دهند.

نبراسکا

صدها مطالعه در این زمینه نشان می‌دهد که علائم سرعت مجاز، سرعت متوسط را تغییر نمی‌دهد. به عبارتی رانندگان براساس ارزیابی خود از جاده ترافیک، رانندگی می‌نمایند.

کالیفرنیا

در ۱۹۶۵ حداقل سرعت مجاز برای هر خط از بزرگراهها تعیین گردید. این امر به خاطر (۱) کاهش زمان سفر رانندگان سریع (۲) کاهش تعداد رانندگانی که کند حرکت می‌کنند و (۳) افزایش ایمنی انجام گرفت. حداقل سرعت مجاز برای رانندگانی که قصد عبور دارند اجازه ورود به سمت راست را نمی‌دهد و وسیله نقلیه می‌بایست از سمت چپ سبقت بگیرد. این کار باعث می‌شود که (۱) سرعتهایی که اتومبیلها برای عبور از سمت چپ دارند کاهش یابد (۲) گذر از سمت راست بیشتر شود (۳) افزایش، در مقابل کاهش نهان سفر، البته اتخاذ حداقل سرعت برای هر خط فقط در بزرگراهها قابل اجراء مفید می‌باشد.

مطالعات گوناگون

برای استفاده از علائم ایست در کنترل سرعت آشکار نمود که این علامت فقط در مسیرهای کوتاه می‌تواند کاربری داشته باشد که در ۳۰ متری این علامت سرعت به ۴/۸ کیلومتر در ساعت می‌رسد.

در مقایسه تاثیر اندازه علائم در میزان کاهش سرعت در مسیرهای برون شهری، مشخص گردید که علائم ۳۰ سانتی در مقایسه با علائم ۲۰ سانتی موثر می‌باشند و همچنین مشخص گردیده که رانندگانی که توسط رادیوی اتومبیلشان به اخطارهای ارسالی توجه می‌نمایند، با ایمنی بیشتری رانندگی می‌کنند.

فصل ۲۶
خیابانهای یکطرفه، جریان نامتعادل

تراکم در مناطق شهری اغلب بوسیله تعداد برخوردها در سیستم خیابانها شدیدتر می‌شود. مشکل در حرکت ترافیکی شامل برخورد در حرکات چرخشی، برخورد بین وسائل نقلیه و پیاده، برخورد بین پارکهای کناری و حرکات میانی، برخورد بین انواع وسایل (ترانزیت، کامیون، ماشینهای سواری) است. این موضوع وقتی روشن می‌شود که این برخوردها با مکانیزمهای کنترل موجود بطور موثر قابل کنترل نباشد. در پیشگیری و حذف این قبیل برخوردها، در تنظیم جریان ترافیک باید بطور جدی دقت شود. در فصل اولیه، تنظیم نقاط جریان مانند رفع توابع، مورد بحث قرار گرفت فصل ۲۷ مربوط به موضوع کنترل پارکهای کناری است. این بحث در جهت کنترل جریانهای بزرگ در طول خیابان‌های شریانی، خیابان یا شبکه ارتباطی طرح می‌شود که شامل خیابان‌های یک طرفه، جریانهای نامتعادل و اختصاص راههای عبوری می‌شود. اینها با نیت افزودن کارائی جریان در جهت حداقل کردن برخورد استفاده موثر بیشتری از فضای جاده تامین می‌شود.

انواع کنترل جریان که تحت این دسته ممکن است تصور شود شامل:

۱- خیابان یک طرفه معمولی: به ترافیک در تمام وقت در یک جهت اجازه داده می‌شود که حرکت کند.

۲- خیابان یک طرفه قابل برگرداندن: خیابان یک طرفه‌ای که جهت جریان در زمانهای مختلف روز بسته به نیاز برگردانده می‌شود.

۳- خیابان یک طرفه قابل برگرداند جزئی: خیابان یک جهت قابل برگرداندن که در آن جریان در زمان اوج (به جهت ترافیک سنگین) یک طرفه و به بقیه زمانها دو طرفه است.

۴- جریان نامتعادل: خیابان دو طرفه‌ای که در آن تعداد باندهای تخصیص داده شده به هر جهت در نقطه اوج صبح، نیمروز، اوج عصر بسته به نیاز تغییر می‌کند.

۵- خیابان یک طرفه ترجیح داده شده: یک خیابان دو طرفه که به صورت ثابت جریان قابل توجه‌ای را در یک جهت مشخص می‌کند.

۶- خطوط ویژه اتوبوسرانی: خطی در خیابان یا شریان اختصاص داده شده برای استفاده عبوری وسایل حمل و نقل عمومی.

از جدول ۱-۲۶ واضح است که خیابانهای یک طرفه با عرض کمتر از ۱۵ متر و با پارکینگ در دو طرف در روش موثر که بتوان ظرفیت حداکثر آنها را بدست آورد بکار انداخته نشده‌اند. اگرچه بیشتر موقعیتهای مناسب برای عملکرد دو طرفه فرض شده است، یک نشانه مشخص از امکان اینکه کنترل ترافیک در بعضی خیابانهای یک طرفه به حدی که باید کافی نیست روشن است.

مجموعه‌ای از اطلاعات ۱۹۶۲ نشان می‌دهد اثبات این نتیجه راکه بوسیله مقایسه در جدول ۲-۲۶ نشان داده شده‌است. این جدول روند مشابه‌ای با برگشت به خیابانهای یکطرفه با پارکینگ را نشان می‌دهد. با این وجود همچنین نشان می‌دهد که: ظرفیت حداکثر در خیابان یک طرفه پهن بدون پارکینگ حاصل نمی‌شود در این جهت در جدول برخوردها و نتایج ظاهراً غیرواقعی را بدست می‌دهد.

آئین نامه ترافیک برای تخصیص خیابانهای یکطرفه و کوچه‌ها (بخش ۷۲) و خیابانهای یک طرفه قابل برگرداندن و جریانهای غیر متعادل (بخش ۷۳) آماده شده‌است. مهندسی ترافیک یک توانائی بدست می‌دهد و درخواست می‌کند که علائمی را نصب کرده و نگهداری نمود تا نمایانگر جهت حرکت ترافیکی قانونی در هر تقاطع باشند. جائی که حرکت ترافیک در جهت مقابل ممنوع است. (بخش ۱-۷) اختصاص دادن خطوط

جدول ۱-۲۶ . مقایسه ظرفیت روی یک زوج خیابان (VPHG)

ممنوعیت توقف کناری			عرض خیابان جدول تا جدول	توقف کناری در دوطرف			عرض خیابان جدول تا جدول
درصد تغییر	یکطرفه	دوطرفه	(فوت)	درصد تغییر	یکطرفه	دوطرفه	(فوت)
۳۳	۴۴۲۰	۳۴۰۰	۳۰	-۲۶/۵	۲۴۰۰	۳۲۲۰	۴۰
۳۳/۸	۵۴۶۰	۴۰۸۰	۳۵	۱۷/۷	۲۹۲۰	۳۵۵۰	۴۵
۴۷/۵	۶۸۶۰	۴۶۵۰	۴۰	-۵/۷	۳۶۴۰	۳۸۶۰	۵۰
۵۵/۳	۸۸۱۰	۵۶۷۰	۴۵	-۹/۳	۴۶۰۰	۴۲۱۰	۵۵
				+۲۶/۹	۵۹۰۰	۴۶۵۰	۶۰
					۷۴۵۰	۵۱۳۰	۶۵

جدول ۲-۲۶. مقایسه ظرفیت روی یک زوج جاده - وسیله نقلیه در ساعت زمان سبز (VPHG)

توقف کناری ممنوع درصد تغییر از دوطرفه به یک طرفه	توقف کناری در دوطرف درصد تغییر از دوطرفه به یک طرفه	عرض خیابان جدول تا جدول(فوت)
۲۳	-۲۰	۳۵
۱۶/۴	۱۲/۳	۴۰
۱۰/۶	-۶/۱	۴۵
۵/۱	-۱/۷	۵۰
۱/۹	۱۱/۷	۵۵
۲/۹	۲۳/۱	۶۰

عبوری به صورت ویژه اجازه داده نمی‌شود اما تقاطعی که محدودیت نوع و وزن وسایل را دارند ممکن است که اجازه اختصاص خطوط تراتزیت را داشته باشند. در بسیاری از شهرداریها اصلاحات ویژه‌ای در احکام ترافیک خودشان را برای اجازه دادن این قبیل خطوط دارند.

خیابانهای یک طرفه

مزایا

رشد ظرفیت. خیابانهای یک طرفه معمولاً به دلیل آزادی حرکت بیشتر ترافیک را از خیابانهای موازی اطراف جذب می‌کند.

برای کاهش برخورد در تقاطع‌ها و برنامه زمانی موثرتر در علائم راهنمائی، خیابان یک طرفه می‌تواند با حجم ترافیک بیشتر از خیابانهای مشابه که به صورت دو جهته عمل می‌کنند هماهنگ گردد.

مزیت خیابانهای یکطرفه نسبت به دو طرفه بستگی خواهد داشت به بخش هدایتی، در خیابانهای دو طرفه عدد نسبی تغییر جهت که متناسب است با عرض خیابانها و شرایط پارکینگ، برای نشان دادن این جریانها دو خیابان دو طرفه مواردی انتخاب شده را با شرایط متوسط ۱۰ درصد وسایل نقلیه تجاری ۱۰ درصد گردش به چپ و ۱۰ درصد گردش براست و بدون ایستگاه اتوبوس فرض می‌کنیم. مقایسه کنید ظرفیت کاربردی را با درنظر گرفتن اینکه خیابانهای مشابه به عنوان خیابان یک طرفه عمل می‌کنند. محاسبات براساس منحنی در مطالعات ۱۹۵۸ می‌باشد توزیع ۵۰ به ۵۰ جهت حرکات برای ترافیک در خیابانهای دو طرفه فرض شده‌است، که شرایط مساعدتری را برای جریان دو طرفه نشان می‌دهد. به استثنای خیابانهای زیر عرض ۱۵۰ متر با پارکینگ در دو طرف ظرفیت زوج خیابانهای یک طرفه بیشتر از ظرفیت زوج خیابانهای دو طرفه است. تاثیرات مفید از کنترل مناسب ترافیک از مطالعه‌ای که در یک خیابان منحصر بفرد انجام گرفته قابل روئیت است. خیابان در داخل مرز در طول زمان اوج صبح و در خارج مرز در طول زمان اوج عصر یک طرفه عمل کرده و برای زمان مانده به صورت یک خیابان دو طرفه با پارکینگ در یک جهت عمل کرده‌است. نتایج تحقیق در جدول ۳-۲۶ نشان داده شده‌است و آنها نشان می‌دهند که ظرفیت بیشتر خیابانها (۱۲ متر عرض) به صورت قابل توجه‌ای تحت عملکرد یک طرفه رشد کرده‌اند. با این وجود حذف پارکینگ در بیشتر خیابانها تاثیر بیشتری در ظرفیت آنها دارد، تا تغییر از عملکرد دو طرفه به یک طرفه به اضافه ظرفیت خیابانهای متقاطع که چه به صورت یک‌طرفه یا دو طرفه عمل کند. این مسئله مربوط به کاهش برخورد در گردش است.

از آنجائیکه این مطالعات اولیه نتایج تا حدی ناسازگار را بوجود می‌آورد منحنی‌های نشان داده شده در کتاب ظرفیت راه‌های (HCM ۱۹۶۵) منتیج می‌شود به نتایجی باثبات بیشتر. با رجوع به تغییر از عملکرد دوطرفه، جدول ۴-۲۶ نشان می‌دهد که ظرفیتهای مقایسه شده برای خیابانهای واقع شده در یک شهر با جمعیت ۱،۰۰۰،۰۰۰ نفر و با فرض ضریب با ۷٪ و ضریب ساعت اوج ۸۵٪ و شرایط کاهش امکان برخورد حرکت.

جدول ۳-۲۶ . تغییر از عملکرد دوطرفه به یک‌طرفه

ظرفیت احتمالی خیابان	درصدپرشد در خیابان اصلی	تغییر در شرایط
		خیابان اصلی بدون توقف:
۱۲	۲۵	- خیابان فرعی با ترافیک دوطرفه
۲۰	۱۱	- خیابان فرعی با ترافیک دوطرفه
		خیابان فرعی:
۱۵	۰	- خیابان اصلی دوطرفه با دوطرف توقف
۱۵	۱۲	- خیابان اصلی دوطرفه با یک طرف توقف
۱۵	۱۲	- خیابان اصلی دوطرفه با بدون توقف
		حذف توقف در خیابان اصلی در دوطرف:
		از یک‌طرف:
۰	۴۸	- خیابان فرعی دوطرفه
۰	۲۷	- خیابان دو طرفه
		از دوطرف:
۰	۹۷	- خیابان فرعی یک طرفه
۰	۷۵	- خیابان فرعی دوطرفه

جدول ۴-۲۶ . مقایسه ظرفیت روی یک زوج خیابان

توقف کناری ممنوع		توقف کناری در دوطرف			عرض خیابان جدول تا جدول
درصد تغییر	یکطرفه	دوطرفه	درصد تغییر	یک طرفه	دوطرفه	
۱۹/۳	۶۶۸۰	۵۶۰۰	۱۴/۷	۴۲۲۰	۳۶۸۰	۳۵
۱۹/۸	۷۷۴۰	۶۴۶۰	۱۹/۶	۵۲۴۰	۴۳۸۰	۴۰
۲۰/۲	۸۸۰۰	۷۳۲۰	۲۵/۶	۶۳۸۰	۵۰۸۰	۴۵
۲۰/۴	۹۹۰۰	۸۲۲۰	۲۷/۶	۷۴۸۰	۵۸۶۰	۵۰
۲۰/۹	۱۱۰۰۰	۹۱۰۰	۲۹/۸	۸۶۵۰	۶۶۴۰	۵۵
۲۱/۷	۱۲۱۲۰	۹۹۶۰	۳۲/۹	۹۷۸۳	۷۳۶۰	۶۰

جدول ۵-۲۶ . تعداد حرکات برخوردی

تعداد برخورد	تعداد چرخش اصلی	خیابان	خیابان
۲۴	۱۲	دوطرفه دوخطه	- دوطرفه دوخطه
۱۱	۷	دوطرفه دوخطه	دوطرفه دوخطه
۶	۴	یک طرفه دوخطه	دوطرفه دوخطه

برخورد وسایل در هر تقاطع بصورت قابل ملاحظه‌ای وقتی عملکرد دوطرفه به یک طرفه تغییر داده می‌شود کاهش می‌یابد. این امر بعلت حذف حرکات گردشی ضد هم است (جدول ۵-۲۶) و برخوردهای بین راه‌ها کاهش می‌یابد. خیابانهای یک‌طرفه برخوردهای شاخ به شاخ وسایل در این جریانهای ترافیکی مقابل هم را حذف می‌کند. تعداد برخورد وسایل با پیاده کاهش مسیر مورد نیاز است. بعلت کاهش زیاد و حرکات گردشی در تقاطع‌ها وقتی یکی یا هر دو خیابان یک‌طرفه هستند، برخورد بسیار کمتری بین وسایل نقلیه و پیاده، وقتی در خط‌کشی عرضی خیابان هستند دارند.

خیابانهای یک‌طرفه تعدادی مشخصه دارند که در بزرگراهها دخالت دارند. امکان برخورد کمی در تقاطعهای آنها بین وسایل نقلیه و عبور و مرور پیاده‌ها دارند.

بدون هیچ‌گونه برخوردی با جریانهای ترافیک، احتمال برخورد شاخ به شاخ و پهلو به پهلو برطرف می‌شود. تصادف در تقاطعاتی با کنترل چراغ راهنمایی نیز برطرف می‌شود.

اثر دراز مدت تبدیل از دوطرفه به یک طرفه کاهش تعداد سوانح است، از یک گزارش جامع در ایمنی جاده‌ها این نتیجه بدست آمد که یکی از موثرترین عوامل برای کاهش خطر سوانح تدبیر خوب یک طرفه کردن خیابانهاست.

زمانبندی مناسب چراغها. برای چراغهای زمانبندی شده ممکن است ترافیک در هر کدام از مسیرهای یکطرفه سیر صعودی داشته باشد. زمانبندی تدریجی چراغها در مسیرهای یکطرفه ساده است، هر چند که بعضی مواقع بدست آوردن زمان چراغها برای هر مسیر مخصوصاً زمانی که خیابان دوطرفه باشد بسیار مشکل است.

جریان ملایم‌تر ترافیک طرح تدریجی (افزایشی) موثر بدست می‌آید سبب سلامت ترافیک رفت. توقف‌های ناگهانی کاهش می‌یابد و زمانبندی تدریجی چراغها یک روش موثر برای کنترل سرعت بوجود می‌آورد.

بهبود شرایط پارکینگ. زمانیکه پارکینگ زنجیره‌ای درکنار سایر خواص خود از اهمیت ویژه‌ای برخودار است یکطرفه کردن خیابانها ممکن است سبب به تعویق افتادن یا حذف یا کاهش نیاز به پارکینگ خیابانهای با ترافیک سنگین شود. تبدیل از دوطرفه به یکطرفه باقی ماندن یک طرف را به عنوان پارکنگ میسر می‌سازد، که در شرایط خیابان دوطرفه نمی‌توانست چنین نقشی داشته باشد. تعدادی از خیابانهای باریک می‌توانند با پارکینگ بغل، یکطرفه شوند. در صورتیکه در حالت دوطرفه بودن عملکرد خیلی کم اثرتری بدون پارکینگ داشتند.

رشد متوسط سرعت عبور. حذف جریانهای شاخ به شاخ ترافیک، زمان بندی‌های مناسب‌تر چراغهای ترافیکی، کاهش در تاخیر، و تراکم مربوط به افزایش برخوردها همگی در افزایش متوسط سرعت ترافیک وسایل نقلیه تأثیر دارند.

بهبود ترافیک. یکطرفه کردن خیابانها به وسایل کم سرعتی اجازه عبور می‌دهد که ممکن نیست به طرق دیگر اجازه مانور داشته باشند. عمل یکطرفه کردن خیابانها سرعت مناسب وسایل نقلیه و کاهش تأخیرهای هزینه آور و سوانح را به دنبال دارد. این عمل استفاده بهتر از خیابان‌هائی که دارای تعداد کمی از خطوط حرکت ترافیک هستند را اجازه می‌دهد. عمل یکطرفه کردن آماده‌سازی خطوط ترافیک ذخیره را ساده می‌کند.

تاثیر درکار و تجارت. معمولاً یکطرفه کردن خیابانها به صرفه اقتصادی نیست به هر حال مخالفت آنها برای بیشترین قسمتها نامعلوم است. چنین مخالفت‌هایی معمولاً پس از یکطرفه شدن خیابان در یک دوره موثر ناپدید می‌شود. ترس نامعلوم بودن، معمولاً دلیلی برای مخالفت تجار است، این یک عکس‌العمل غیرقابل فهم است یک ترکیب معین از عواملی که تاجر را قادر به نشان دادن در انتهای یک چند سال متوالی می‌کند و هر پیشنهاد برای مزاحم شدن حالت مربوطه آماده است که او را به شکل قابل توجهی در وضعیتی قرار دهد. مردم و تجار خیلی به هم وابسته‌اند. جمعیت آن را مجذوب خود نگه می‌دارد در حالیکه تاجر خیلی به عکس‌العمل جمعیت حساس است.

نتایج ثابت خیابانهای یکطرفه در افزایش حجم معاملات و متعاقباً افزایش تعداد تصادفات در نواحی پایین شهر است. منافع آن اصلاً مربوط به دسترسی بهتر و کاهش تراکم بدون بحث اقتصادی است. معمولاً نگهداشتن پارکینگ زنجیره‌ای کم ممکن است در تحت شرایط دوطرفه بودن حذف شود را ممکن می‌سازد.

عمل یکطرفه کردن ممکن است تاثیر معکوس بر روی جریاناتی که به صورت جزیی از جاهایی به مسیر وصل می‌شوند نظیر سرنوشت پارکینگ، گاراژها، فروشگاههای مواد غذایی، ایستگاههای پمپ بنزین، رستورانها و بنگاههای معامله ماشین آلات، بگذارد. وقتی مشکل اقتصادی ناگهان رخ می‌نماید برای یک خیابان یکطرفه به جهت غیراقتصادی بودن مقادیر فروش موقتاً کاهش می‌یابد. یک مطالعه انجام شده و نتیجه داد که تبدیل به یکطرفه هیچ اثر منفی از لحاظ میزان فروش بر روی خیابانهای تبدیل یافته ندارد.

معایب

افزایش مسافت سفر. رانندگان اتومبیل باید برای رسیدن به یک نقطه معلوم مسافت بیشتری را طی کنند و اطراف یک بلوک برای رسیدن به مقاصد خود دور بزنند. این فاصله‌های اضافی به اندازه تعداد خیابانهای یک طرفه در سیستم و طول بلوک‌ها می‌باشد. این موقعیت برای رانندگان غریبه گیج کننده و برای راننده‌های محلی ناراحتی‌آور است. در ساعاتی از روز که حجم ترافیک کم است، عمل یکطرفه کردن لزومی ندارد. عمل یکطرفه کردن ممکن است برای یک مشکل چهار ساعته علاجی باشد اما در ۲۰ ساعت بعدی شرایط نامساعدی را فراهم می‌کند.

کاهش احتمالی ظرفیت حمل ونقل عمومی. معمولاً در

خیابانهای یکطرفه عبور وسایل نقلیه بهتر عمل می‌کند به علت وجود تناوب توقف‌ها و حرکت‌ها یک مجموعه از خیابانهای شمالی - جنوبی برای عبور در هر جهتی آماده است مانند خیابانهای دوطرفه و فقط برای مسیرهای کناری سمت راست این حالت وجود ندارد. اگر چنین خطوطی دقیقاً یا تقریباً زیر ظرفیت دوطرفه بودن اداره شوند سپس چهار خط قابل دسترسی اتوبوس، در نصف فاصله ایستگاهها در یک بلوک و سایر نیم‌ایستگاهها و بین نقاط سوار شدن ممکن است افزایش یابد زیرا یک خط که معمولاً در یک خیابان دوطرفه است مجبور به آماده کردن خود برای انجام عمل یکطرفه بودن است. اگر طول خیابان (بلوک) بین یک جفت خیابان یکطرفه خیلی طولانی باشد، مانند خیابان مانهاتان، افزایش مسافت پیاده روی برای مسافران مهم است. تعییر روال عبورومرور بطورجزیی ناراحت کننده است.

به هر حال این اغتشاش موقتی است و با مطلع کردن مردم قبل از انجام تغییر می‌تواند در یک وسعت زیاد به حداقل برسد.

تاثیر معکوس در بعضی مشاغل. انواع معینی از بنگاههای تجاری، نظیر موارد مذکور در فوق، ممکن است بطور معکوس اثر کند. یعنی رسیدن به محل تجاری مشکل‌تر شود. تجاری که به شدن به رفت و آمد مردم وابسته‌اند. اگر خیابان در یک جهت یکطرفه شود کمتر به کاهش تن می‌دهند. یک مثال از تأثیر معکوس بر تجارت، بنگاهی است که در محل ایستگاه اتوبوس قرار دارد این تاجر به شدت به این توقف‌ها وابسته است اگر ایستگاه اتوبوس جابجا شود تاجر به میزان قابل توجهی به رنج می‌افتد. گهگاه خطوط اتوبوس ممکن است کاهش مالی مهمی را متحمل شوند به علت پایین آمدن تعداد زیادی مسافر در محل ایستگاه اتوبوس و همین می‌تواند برای مابقی به نحو قابل توجهی مشکل ساز باشد.

کاهش ظرفیت کاهش. تعداد فرصت‌ها برای خروج به سمت راست و گردش به چپ ممکن است به $\frac{1}{4}$ کاهش یابد زمانی که یک شبکه از خیابانهای دو طرفه تبدیل به شبکه‌ای از خیابانهای یکطرفه می‌شود. هنگامیکه حرکت دور زدن مشکل باشد تأخیر ترافیک یا تأخیر در عمل عبور و مرور ممکن است نتیجه شود. یک روش مورد استفاده برای کم کردن عبارت است از اجازه دادن به گردش به راست در دو خط مجاور با ترافیک در یک خط زنجیره‌ای گردش به راست لازم است و ترافیک در خط بعدی برای گردش به راست مجاز است و نیز دو خط مجاور ممکن است برای گردش به چپ مورد استفاده قرار گیرد.

در یک مجموعه خیابانهای یکطرفه طبیعی است که گردش‌ها در خیابانهایی که به هم نزدیکند بیشتر است از گردش‌ها در خیابانهای دو طرفه به علت افزایش جریان ترافیک.

لوازم کنترل اضافی مورد نیاز. زمانی که علائم یکطرفه بودن خیابان باید در هر مقطع نصب شود علائم اضافی لازم می‌شود. سایر علائم ویژه ممکن است مورد نیاز قرار گیرد نظیر علائم دور زدن ممنوع، علائم ورود ممنوع و علائم کنترل خط هنگامی که گردش به چپ یا راست از دو خط اجازه داده می‌شود.

مشکل عبور پیاده از خیابانهای عریض. در عرض خیابان یکطرفه (چهار خطه یا بیشتر) جزیره یا رفوژ پیاده مانند آنچه که در خیابانهای دو طرفه وجود دارد در وسط خیابان نمی‌تواند احداث شود. خطرات اضافی ممکن است وجود داشته باشد به علت ناتوانی عابر پیاده در ترک عادت خوب عبور از خیابان‌ها ابتدا به سمت چپ نگاه می‌کند و سپس به سمت راست. نگاه کردن به چپ در خیابان یکطرفه پرخطر است با وجود ترافیکی که از سمت راست جریان دارد.

ضوابط خیابانهای یک‌طرفه.

قبل از جایگزین سیستم خیابانهای یکطرفه تمام مزایا و معایب دقیقاً باید سنجیده شود باید به خاطر آورد عواملی را که در بعضی از درجات تسهیلات اتفاق می‌افتند. فقط باید زمانی مورد استفاده قرار گیرد. که کنترل محدودیت غیر عملی باشد یا حل آنها با دست میسر نباشد. ضوابط ویژه‌ای برای شروع خیابانهای یک‌طرفه در کتاب "مرجع مهندسی ترافیک" *(ITE)* و نظایر آن انتشار یافته است.

تضمین شرایط معینی که در خیابانهای یکطرفه مورد استفاده قار گیرند قبلاً بحث شد نظیر کاهش حرکات سازگار برای روش‌های کمتر کنترل غیر عملی هستند. سایر موقعیت‌ها ممکن است خیابانهای یکطرفه را ایجاب کند نظیر حریم آزاد راه‌ها و اتصالات شیبدار، راههای دورانی و خیابانهای باریک که هر جریان دوطرفه را خطرناک می‌کنند.

خیابانهای زوج باید قبل از شروع مانند یک زوج خیابان با عمل کرد یکطرفه مورد مطالعه دقیق قرار گیرد جفت خیابان باید همان مبدا و مقصد را سرویس دهد، ظرفیت معادل آن را داشته باشد و ترمینال‌های راحت برای ارتباط به خیابانهای یک طرفه و دوطرفه را داشته باشد. شبکه‌ای باید خواص مشابه داشته باشند. اگر عمل یکطرفه بودن موثر و جایگزین شود.

خیابانهای یکطرفه مخصوص یک نوع کوچکتر نیز می‌تواند برای ساده کردن مقاطع پیچیده و کنترل آنها مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال یک پنج راه اگر چراغ داشته باشد بالاخره سه فاز را ایجاب می‌کند در حالیکه همه مسیرها دوطرفه‌اند اگر مسیر کوچکتر به سمت خارج از پنج راه یکطرفه شود قاعدتاً دو فاز باید مورد استفاده قرار گیرد:

قبل از جایگزین طرح یک خیابان یک طرفه اطلاعات زیر باید به طور جزء به جزء مورد مطالعه قرار گیرد.

۱- مبداء و مقصد مسیر

۲- جریان (حجم) در هر کمان از سیستم: ساعات اوج، دسته‌بندی شده با حرکات گردشی

۳- زمان سفر و تاخیر درطول مسیرهای عادی درطی زمان‌های اوج و غیراوج

۴- ظرفیت تقاطع‌ها و خیابانها به تنهایی، یک‌طرفه یا دوطرفه

۵- شکل کامل فیزیکی سیستم

۶- ارزیابی اقتصادی فواصل اضافه شده سفر (به عنوان یکی از نتایج عمل یکطرفه کردن) بر حسب کاهش زمان سفر

۷- مکانهای اصلی تولید کننده سفر

۸- اثرات ممکن تجاری، نواحی بارگیری و سایر عملکردهای قابل دسترسی، سوانح، گردش‌ها، دسترسی ماشین‌های اوژانس، و حرکات عابر پیاده

نصب سیستم

برای بدست آوردن کامل منافع ناشی از نصب سیستم یکطرفه بهتر است که یک سیستم درسته و کامل در همان زمان نصب شود. به هر حال اگر چنین نشد نصب قدم به قدم برای اثبات ساده‌تر بدست آوردن منافع سیستم یکطرفه انجام شود.

یک دوره آزمایش ممکن است هنگامی که بین اندیشه احتیاج به سیستم یکطرفه و اندیشه منافع آن اختلاف وجود دارد، ضروری شود. برای اثبات یا شایستگی سیستم یکطرفه یک دوره امتحان سه ماهه لازم است اگر بیشتر باشد بهتر است درطی دوره امتحان، مطالعات ترافیکی باید با سایر مطالعات وابسته برای تعیین اثرات طرح یکطرفه همسو شود. تابلوها و علامت گذاری برای خیابانهای باید براساس توصیه‌های *MUTCD* باشد.

تبلیغات گسترده مناسب باید برای آگاهی عموم مردم، رانندگان و عابرین پیاده با یک طرح و دلایل برای شروع آن مهیا شود. خبرگذار ی، رادیو، تلویزیون و صحبتهای مراجع کشوری و شهری بیشتر بکار گرفته شود. یک برنامه آموزشی برای نزدیکی بین مراجع شهری، و مراجع سیاسی باید طرح شود بیش از انتخاب یک سیستم جامع از خیابانهای یکطرفه، مطالعات مناسبی روی تعیین اثرات سیستم[۵] یکطرفه انجام شود. این مطالعات باید این موارد را شامل شود، حجم، سرعت و تاخیر زمانبندی چراغ راهنمائی، پذیرش مردم و اثرات آن روی تجارت و حمل و نقل کالا.

جریان نامتعادل برگشتی و ارجح

خیابانهای یکطرفه برگشتی مقطعی

هر دو نوع عملکرد خیابانها فقط شرایطی را تضمین می‌کنند که یک توزیع خطی، نامتعادل و سنگین از ترافیک وجود داشته باشد. در این شرایط فقط یک خیابان مناسب می‌تواند جریان ماکزیمم را انتقال دهد. معمولاً نوع برگشتی جزیی از اداره خیابانها در مواقعی بکار می‌رود که در خیابانهای یکطرفه از محدوده ساعات اوج باشیم و یا در خیابانهای دوطرفه در سایر ساعات باشیم، زمانیکه جریان ترافیک متعادل‌تر و یکنواخت‌تر است. این نوع کنترل معمولاً برای هدایت خیابانهای عمده و اصلی و از یک مرکز تجاری زمانیکه جریان ترافیک در سبح سنگین است و خارج از محدوده ترافیک در عصرها جریان ترافیک سنگین است. عمل برگشتی باید حالت‌هایش محدود شود که جریان مستقیم دوره اوج در مازاد ظرفیت ترافیک خیابان دوطرفه است و خیابانهای مناسب موازی یک‌طرفه برای توزیع ترافیک وجود نداشته باشد و به هر حال لازم است که چند خیابان تقریباً موازی برای اصلاح جریان ترافیک در جهت خلاف وجود داشته باشد. نتیجه آزمایش ممکن است استفاده از کنترل برگشتی را بهتر از عمل عادی یکطرفه کردن بداند. به نظر می‌رسد به علت وجود فاصله اضافی سفر که برای راننده و عابر پیاده هر دو وجود دارد این کار عملی باشد. انگیزه‌های دیگر این انتقادات از اداره یکطرفه خیابان برای یک مسئله چهارساعته بیست وچهار ساعت برقرار است. به هر حال معایب جریان برگشتی که سبب دلسردی از استفاده از جریان یکطرفه است از این قرارند:

۱- نصب لوازم کنترل برای مرتب کردن و تعدیل ترافیک مشکل است.

۲- فهم و بکارگیری قوانین برای راننده‌ها بخصوص رانندگان غریبه بسیار مشکل است. این نتایج از تخلفات غیر عمدی از قوانین که توسط رانندگان انجام می‌شود و سبب می‌شود که آنها از مسیر دیگری استفاده کنند معلوم می‌شود.

۳- اگر قوانین، دقیق اجرا نشود سوانح زیاد می‌شود.

MUTCD لوازم استانداری را برای کنترل جریان برگشتی ارائه نمی‌کند. بیشترین کاربردهای آن در تابلوها و علائم و زمان هر کدام از قوانین و اطلاعات روز است.

علائم مربوط به استفاده از خطوط کنترل نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرند علائم تکمیلی برای تنظیم تغییرات، مطلوب هستند. مهمتر این که یک برنامه آموزش عمومی باید آغاز این عمل، تنظیم و هدایت شود.

حرکت در خارج از خط مرکزی (جریان نامتعادل)

هدف از این تکنیک میّسر ساختن استفاده موثرتر از عرض موجود خیابان است، وقتی که پریودهائی از ترافیک سنگین غیر متعادل وجود دارد. عملکرد خط خارج از مرکز برای غلبه بر عدم کارائی عملکرد خیابان دوطرفه بکار می‌رود، وقتی که دوره‌های اوج جریان اساساً یک جهته هستند و حرکت ترافیکی در جهت مقابل بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از ظرفیت نصف عرض خیابان است. تحت چنین شرایطی، فضای جاده متناسب با توزیع جهتی حرکات ترافیکی تقسیم و تعیین می‌شود. برای مثال، چهار خط از شش خط باید درطول ساعات اوج عصر ترافیک را در جهت مخالف میسر سازند و سه خط در هر یک از دو جهت باید در دوره‌های دیگر ترافیک را میسر سازند.

مزایا: مزایای عملکرد خط خارج از مرکز موارد زیر را شامل می‌شود:

۱- این کار ظرفیت اضافی را به هنگام نیاز در جهت مورد نظر ایجاد می‌کند.

۲- این کار مسافت سفرهای اضافی متحمل برای سواره‌ها و دردسر افراد پیاده، در عملکرد ترمال راهنمای یکطرفه را حذف می‌کند.

۳- اینکار برخی از مزایای عملکرد خیابان یکطرفه را بدون نیاز به داشتن یک خیابان موازی مناسب ایجاد می‌کند.

۴- ممکن است تجمع مجدد وسائط نقلیه‌ای که بصورت گروهی سفر می‌کنند، مورد نیاز نباشند.

معایب: بعضی از معایب عبارتنداز:

۱- این کار ممکن است ظرفیت ناکافی برای جریان ترافیک فرعی را نتیجه دهد.

۲- این کار ممکن است ممنوع شدن گردش به چپ از مسیر فرعی جریان و نیز توقف اتوبوسها درطول این مسیر را ضروری سازد.

۳- هزینه‌های تهیه ابزار کنترل مناسب، ممکن است بالا باشد.

۴- اینکار ممکن است تکرار و تعدد تصادفات و شدت آن‌ها را افزایش دهد.

ضوابط: ضوابط مخصوص برای جریان نامتعادل در نوشته‌ها و متون گسترش یافته است. چنین عملکردی تحت شرایط مختلفی توجیه شده‌است، اغلب در پلها و تونلها همراه با الگوهای جهتی سنگین.

شریانی‌ها که تراکم دوره‌ای را تحمّل می‌کنند و برای آنها راههای یک‌طرفه غیر عملی و یا توجیه ناپذیر است، اغلب برای جریان نامتعادل کاندیدا هستند.

مطالعه وسیعی باید انجام شود تا نیاز به جریان نامتعادل را تضمین کنند. گاهی قوانین کمتری کافی خواهد بود. اندازه‌گیریهایی نظیر منع پارک در ساعت اوج، محدودیت گردشها، حذف بارگذاری درطول دوره‌های اوج، علامت‌گذاری بهبود یافته و خط‌کشیهای بهتر باید همگی دقیقاً درنظر گرفته شوند.

در خیابانهای باریک (۳ تا ۴ خط)، جریان نامتعادل عموماً غیرعملی است. اگرچه، تحت شرایط معینی این‌کار ممکن است راه حل مناسبی برای یک مشکل باشد. بطور کلی سرعتها و چگالی در خیابان باید پایین باشد، و تمام توقفها در تنها خط مربوط به جریان فرعی باید ممنوع شود.

روشهای کنترل: تغییرات قابل ملاحظه‌ای در استفاده از ابزار کنترل ترافیک برای نمایان ساختن استفاده مناسب از خط وجود دارد. دلیل اولیه برای تفاوتهای عرض در کاربرد ابزار کنترل اقتصادی است. سه سیستم اصلی کنترل شامل موارد زیر است:

۱- نرده‌های فیزیکی

۲- علائم جهت - خط

۳- علائم

این سه سیستم کاملاً مستقل از یکدیگر نیستند. تقریباً تمام سیستمها از بعضی از مولفه‌های سیستمهای دیگر استفاده می‌کنند. اگرچه، هر یک از سیستمها در میزان انعطاف‌پذیری و کنترل حاصله، و در مسئله اقتصادی ایجاد و کاربرد آنها، با هم فرق می‌کنند.

نرده‌ها (موانع) فیزیکی: اینها شامل نصب دائمی، نرده‌های موقتی، و علائم خطی می‌شوند. یک نوع از موارد نصب دائمی

از جداول قابل صعود استفاده می‌کند تا یک خط مورد استفاده برگشتی را ایجاد کند. کف بالائی پل جرج واشینگتن همراه با هشت خط آن یک مثال از این نوع عملکرد می‌باشد. دو خط وسطی بوسیله جداول قابل صعود در طرف دیگر، از خطوط دیگر جدا می‌شوند بنابراین در راه یک ترکیب خط ۳-۲-۳ ارائه می‌شد. درطول دوره‌های جریان متعادل با ترافیک جاده در دو قسمت ۳-۳ یا ۴-۴ بسته به تقاضای ترافیک مورد استفاده قرار می‌گرفت. درطول دوره‌های اوج، همراه با جریان ترافیکی نامتعادل راه به دو قسمت ۵-۳ تقسیم می‌شد. پلیس در دو انتهای جاده تغییرات را با گذاشتن حائلهای هدایت کننده و مخروطهای ترافیکی عملی می‌کرد. این عملکرد با یک تقسیم کننده فولادی منفرد ثابت در پایین مرکز پل، به جهت بهره بیشتر آن، جایگزین شد. نوع دیگری از نصب دائمی، از پره‌های قابل حرکت که به بالا و پائین می‌روند استفاده می‌کند. یک قسمت از یک بزرگراه ۸ خطه در شیکاگو برای حرکات تغییر جهت خط بوسیله پره‌های ممتد که با عملکرد هیدرولیکی بالا (۸ اینچ) یا پائین می‌روند، تدارک دیده شده‌است.

با بالا یا پائین رفتن خطوط پره‌ها، جاده می‌تواند با سه ترکیب مختلف از خطوط ترافیکی مرتب شود که این سه ترکیب ۲-۴ یا ۶ خط را برای هر جهت ایجاد می‌کنند. نوع دیگری از نصب دائمی، از سکوی میانی و یا گارد ریل برای جدا کردن قسمت شاهراه، جاده برگشتی در آزاد راه از دو جاده معمولی، استفاده می‌کند. دسترسی به جاده برگشتی در آزاد راه از دو جاده معمولی، استفاده می‌کنند. دسترسی به جاده برگشتی برای مسافت نسبتاً طولانی برقرار می‌شود. استفاده از نصب دائمی معمولاً یک هزینه اولیه بزرگ و نیاز کم به کارگر برای نگهداری روزانه را دربرمی‌گیرد.

نرده‌ها یا موانع فیزیکی موقتی نظیر مخروطهای ترافیکی، حائلها، موانع مسدود کننده، و ستونچه‌های علائم متداولترین استفاده را در تأثیر گذاری بر بهره برداری از خط برگشتی دارند. استفاده از نرده‌های موقتی کمترین جداسازی قطعی را دارد، هزینه اولیه راکاهش می‌دهد هزینه‌های مربوط به کارگران برای نگهداری روزانه را افزایش می‌دهد. خطوط مربوط به خط‌کشی برای معین کردن استفاده از خط برگشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و اینکار با تغییر در پهنا، فضای خالی، رنگ و یا ترکیبی از این روشها انجام می‌شود.

یک روش بسیار متداول برای ایجاد عملکرد خط برگشتی استفاده از علائم لامپی (نوری) در بالای سر، برای نشان دادن و معین کردن جهتی کاربردی خطوط ترافیکی است. این سیستم هیچ مانع فیزیکی را برای جداسازی ارائه نمی‌دهد، اگرچه علائم خطی در بالای سر کاربرد بسیار موفقیت‌آمیزی داشته‌اند. علائم لامپی (نوری) می‌توانند بصورت اتوماتیک و یا دستی کار کنند، که استفاده از آن‌ها را به مقدار بسیار زیادی ساده می‌کند. هزینه اولیه زیادی در نصب این سیستم وارد می‌شود، ولی عملاً هیچ نیروی کاری برای نگهداری روزانه مورد نیاز نیست.

جزئیات در مورد طراحی، تعیین محل، و عملکرد علائم مربوط به جهت خط در *MUTCD* پیدا می‌شود.

علائم: علائم خبردهنده برای کنترل استفاده از خط یا بوسیله یک پایه بر روی جدول نصب می‌شوند و یا در بالای سر. صفحه جانبی علائم کمترین مقدار کنترل را ایجاد می‌کنند. آنها باید فقط وقتی مورد استفاده قرار گیرند که جاده بیشتر برای ترافیک محلی بکار رود برای اینکه آشنائی سریع با سیستم تضمین شود، این مسئله قابل توصیه است که یک کد رنگ برای علائم خبردهنده و علامت گذاریهای خط برگشت، اتخاذ شوند تا در اثر استفاده متداول تشخیص داده شوند. لازم است که درطول دوره اولیه کاربرد، اجراء دقیقی تدارک دیده شود.

علائم بالای سر بیشتر برای نشان دادن جهت خطوط ترافیکی مورد استفاده، بکار می‌روند. در یک راه عمومی، توضیحاتی در مورد علائم جهت خط نیز برای علائم بالای سر بکار می‌روند. پیامهای مبتنی بر روی علائم در شهرهای مختلف فرق می‌کند. برای مثال در دیترویت پیامهای ذیل، بر روی علائم بالای سر، کنترل موثری را ایجاد می‌کنند. علائم در فواصل حدوداً ۳۰۰ متری در بالای هر یک از دو خط برگشتی مرکزی از شش خط جاده نصب شده‌اند و علائم متناوب در مقابل ترافیک ورودی بصورت زیر خوانده می‌شوند:

از ورود به هر دو خط مرکزی خودداری کنید	از هردو خط مرکزی استفاده کنید
۴:۳۰ - ۶:۳۰	۷:۰۰ - ۹:۰۰
دوشنبه، سه‌شنبه، جمعه	دوشنبه، سه‌شنبه، جمعه

علائم متناوب در مقابل ترافیک خروجی بصورت زیر خوانده می‌شوند:

از ورود به هر خط مرکزی خودداری کنید	از هر دوخط مرکزی استفاده کنید
۷:۰۰ - ۹:۰۰	۴:۳۰ - ۶:۳۰
دوشنبه، سه‌شنبه، جمعه	دوشنبه، سه‌شنبه، جمعه

خیابانهای ترجیحی

استفاده از عملکرد سیستم دائمی خارج از مرکز، که در آن یک خیابان دوطرفه بطور دائمی برای جریان نامتعادل علامت‌گذاری می‌شود، می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای بسیاری از مزایای خیابانهای یکطرفه و دوطرفه را یکجا جمع کند البته تا وقتی که بعضی از معایب هر دو نوع عملکردها را حذف کند.

عملکرد سیستم خارج از مرکز دائمی باید بسیاری از مشکلاتی راکه همراه با عملکرد کنترل جریان نامتعادل برگشتی وجود دارند، به همان میزان که هزینه صرف این نوع کنترل می‌شود، حذف کند. وقتی خطوط بصورت دائمی علامت‌گذاری می‌شوند نباید هزینه اضافی ایجاد شود. این‌کار همچنین استفاده بسیار موثر از عرض خیابانی که دارای تعداد خطوط حرکتی فرد می‌باشد، را نتیجه می‌دهد. برای مثال در یک خیابان مربوط به آتش‌نشانی می‌توان سه خط را در جهت مورد نظر و دو خط را در جهت مخالف علامت گذاری کرد، بجای دو خط در هر طرف، که تحت شرایط عملکرد راه دوطرفه بطور طبیعی استفاده می‌شود. عملکرد سیستم خارج از مرکز دائمی همچنین یک مرحله میانی بسیار عالی را در تغییر از خیابانهای دوطرفه به خیابانهای یکطرفه ایجاد می‌کند. می‌توان از نوشته‌ها برای پیدا کردن یک روش مناسب برای عملی کدرن انتقال از خیابانهای دوطرفه به خیابانهای یکطرفه مقدماتی و از آن به خیابانهای یکطرفه طبیعی استفاده کرد.

آزمایشات با خیابانهای یک‌طرفه و جریان نامتعادل

شهر نیویورک اولین خیابان یک طرفه خود را در سال ۱۹۰۷ در بخش پارکرو (Park Row)از مانهاتان ایجاد کرد. تا سال ۱۹۳۹، ۸۵ درصد از خیابانهای مانهاتان یکطرفه شدند. امروز در شهر نیویورک مجموع خیابانهای یکطرفه بیش از ۱۶۰۰ کیلومتر است.

نقشه کنترل ترافیک برای خیابانهای شمالی، جنوبی مانهاتان ابتدا در سال ۱۹۵۱ مرسوم شدند که اهداف ذیل را دربرداشت:

۱- کاهش تصادفات

۲- کاهش تراکم و راه‌بندان

۳- افزایش ظرفیت خیابان

برای انجام این‌کار، طرح شامل موارد ذیل بود:

۱- عملکرد خیابانهای یکطرفه در خیابانهای شمالی جنوبی

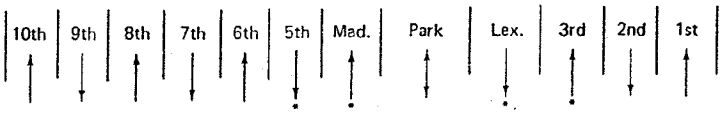
۲- زمانبندی مجدد علائم ترافیکی برای تهیه علائم زمانبندی پیشرفته‌در خیابانهای وسیع و خیابانهای بزرگ تقسیم‌کننده شهر

۳- تعیین و تخصیص مجدد زمان‌های‌چراغ راهنمائی برای کاهش زمان انتظار، و توزیع مناسبتر زمان موجود بین خیابانهای وسیع و خیابانهای تقسیم‌کننده شهر

اولین زوج از خیابانهای شمالی - جنوبی که به خیابانهای یکطرفه تبدیل شدند، اولین و دومین خیابانها بودند. این تبدیل در ژوئن ۱۹۵۱ رخ داد و نتیجه آن بهبود قابل ملاحظه در حرکت ترافیک شمالی - جنوبی بود.

در ۲۱ مه، ۱۹۵۹ دپارتمان معتبر ترافیک یک طرح را برای تکمیل عملکرد خیابانهای شمالی - جنوبی در مانهاتان به هئیت ارزیابی، تسلیم کرد. این طرح عملکرد خیابانهای یکطرفه را آنقدر گسترش داد تا شامل خیابان پنجم، خیابان خیابان مارسیون خیابان کلسینگتون و خیابان سوم شود ولی خیابان پارک را به عنوان تنها خیابان - شمالی - جنوبی با عملکرد دوطرفه، باقی گذاشت. در این نشست گزارشها و بیاناتی نیز بوسیله مخالفین و طرفداران عملکرد خیابانهای یکطرفه تسلیم شد. دپارتمان آلودگی هوا یکی از موافقان طرح بود. دلیل تائید آنها مبتنی براین حقیقت بود که آلودگی هوا در سیستمهای خیابان یکطرفه کمتر می‌شود زیرا زمان اتلاف شده برای وسیله نقلیه موتوری کمترین غلظت از آلودگی خود را به هنگام حرکت باسرعت ثابت، تولید می‌کند. این وسیله به هنگام کاهش سرعت و برای توقف دوبرابر زمانی که حرکت می‌کند آلودگی ایجاد می‌کند. (و حدود چهار برابر آلودگی، وقتی که می‌ایستد و وقت تلف می‌کند). (شکل ۱-۲۴ را ببینید)

هئیت ارزیابی این طرح مهم را در سال ۱۹۶۰ تصویب کرد. در ژانویه ۱۹۶۶ خیابانهای پنجم و مارسیون، به خیابان، با عملکرد یکطرفه تبدیل شدند که بدین وسیله طرحی که به هئیت ارزیابی تسلیم شده بود، تکمیل شد. این اقدام تراکم در خیابانهای پنجم و مارسیون را سبک کرد. مقدار این تراکم با مطالعات انجام شده برروی حرکات ترافیکی در خیابانها منعکس شد. این مطلب فهمیده شد که درطول ساعات پیک ترافیک زمان متوسط سفر در خیابان پنجم برای یک سفر سی قطعه‌ای از خیابان سی و سوم تا خیابان سی‌و ششم، ۲۵ دقیقه بود که یک وسیله نقلیه مجبور می‌شود توقف خود را به طور



شکل ۱-۲۶. طرح خیابانهای یکطرفه شهر نیویورک

جدول ۶-۲۶. نیویورک سیتی- بهبودیهای بدست آمده از عملکرد خیابان‌های یکطرفه

بهبودیهای خیابان یکطرفه	مینیمم بهبودی بدست آمده از طریق ایجاد تغییر (%)
پیاده	۲۰
کاهش تصادفات	
تعدیل تراکم که بصور زیر اندازه‌گیری شده :	
۱. مجموع کاهش زمان سفر	۲۲
۲. کاهش زمان توقف	۶۰
۳. کاهش تعداد توقفها	۶۵
کاهش تاخیر در خیابانهای تقسیم کننده شهر	۴۰
افزایش ظرفیت خیابانهای تقسیم کننده شهر	۲۰

جدول ۷-۲۶. تغییرات قیمت زمین در یک خیابان یک طرفه در نیویورک

خیابان	ارزش در سال مورد نظر قبل از تغییر (دلار)	ارزش در سال مورد ۱۹۶۵ (دلار)	درصد رشد در ارزش (٪)
سوم	۲۶۳۸۰۰۰۰	۵۷۴۰۹۰۰۰	۱۱۸
لگزینگتون	۳۸۶۳۵۰۰۰	۴۵۰۰۰۰۰۰	۱۶
امریکا	۸۶۶۲۷۰۰۰	۱۳۵۵۱۷۰۰۰	۵۶

متوسط در ۲۳ دقیقه کامل کند، که متوسط تاخیر ناشی از تراکم ۸۶ درصد از زمان کلی سفر ار شامل می‌شود که زمان تاخیر توقف ۷۱ درصد از زمان کلی سفر را شامل می‌شود و سرعت متوسط ۳/۵ مایل درساعت بود.

خیابانهای یکطرفه در شهر نیویورک ارزش خود را ثابت کردند. مطالعات بوضوح نشان داده‌اند که عملکرد خیابانهای یکطرفه نتایج قابل توجهی را در بهبود ایمنی و کارائی حرکات ترافیکی داشته‌اند.

مطالعات قبل و بعد که بوسیله دپارتمان ترافیک و گروههای علاقه‌مند دیگر (بخصوص) هدایت شدند این حقیقت را کاملاً ثابت کردند.

مطالعات انجام شده قبل و بعد از چند تغییر در خیابانهای یکطرفه که کمترین بهبودی را داشته‌اند در جدول ۲۶.۶ نشان داده شده‌اند. نتایج مشابهی از مطالعات برروی خیابانهای یکطرفه دیگر بدست آمده‌اند.

عملکرد خیابانهای یکطرفه به بالا بردن ارزش املاک در خیابانهای مانهاتان کمک کرده‌اند و این در جدول ۷-۲۶ نشان داده شده‌است. مقادیر نشان داده شده مجموع همه خواص واقعی قسمتها در دوطرف خیابانها از خیابانهای چهل و دوم تا پنجاه و نهم می‌باشند. شکلها تنها مقادیر معین خواص واقعی را نشان می‌دهد و مقادیر معین بهبودیها در ساختمانهای ساخته شد را شامل نمی‌شود.

فصل ۲۷
کاربرد تابلوها
و کنترل‌های خاص ترافیکی

هدف صحیح از نصب تابلوها رساندن اطلاعات لازم و دقیق به رانندگان است. در تمام تابلوهای به‌کار برده شده در یک جاده نشانه‌ها باید تحت زاویه‌ای قرار بگیرند که در حد امکان در کل مسیر به خوبی دیده شوند. علائم روی تابلوهای کنار جاده برای ترافیک بطور معمول باید بطور قائم بالا را نشان دهد. در علائم نصب شده هوائی بالا سری استاندارد نشانه‌هایی را توصیه می‌کند که پائین را نشان دهد، و باید مسیرهای مخصوص و یا مقصد خطوط عبور را نشان دهد.

تابلوهای تقاطعات غیر همسطح

تقاطع غیر هم سطح در یک بزرگراه معمولاً به خیابان و یا بزرگراه اسم گذاری شده و یا شماره‌گذاری شده متصل است. بعلاوه در تقاطع بزرگراه در اکثر موارد چند مقصد در یک یا در هر جهت وجود دارد. بنابراین معمولاً هم شماره مسیرها و هم مقصدها باید بر روی تابلوهای مربوط به تقاطع نشان داده شوند. در مناطق شهری نام یک خیابان را می‌توان بدون اینکه به مقصدی خاص اشاره شود نشان داد. علامت‌گذاری تقاطع‌ها با اسامی در مواردی می‌تواند مفید باشد، اما معمولاً تقاطع را می‌توان توسط نام‌ها و یا شماره بزرگراه قطع شده یا مسیر اصلی معرفی کرد. علامت تقاطع بخصوص مانند خروجی‌ها فقط به شرح تابلو اضافه می‌شود. اگر خروجی‌های زیادی وجود داشته باشد. شماره‌گذاری آنها باید از جنوب به شمال و از غرب به شرق باشد. در نیوجرسی شماره‌های سریال برای نشانه‌گذاری خروجی‌ها مورد استفاده قرار گرفته، و با حروف ۳۰ اینچی در تابلوها مشخص شده است.

در تابلوهای راهنمایی بزرگراهها اطلاعات مفید باید قید شود تا برای کسانی که با مسیر آشنا نیستند مفید واقع گردد. تابلوهای مهم در تقاطع‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند که در پاراگرافهای بعدی به شرح آنها می‌پردازیم.

تابلوهای پیش راهنما

این تابلوهای راننده را متوجه پیش رفتن به مسیر یا مسیرهائی خاص می‌کند. از قبیل مسیر اصلی در تقاطع و فاصله تا مقصد: ممکن است به بیش از یکی از تابلوها مورد نیاز باشد. گاهی وقتها تابلوی «خروجی بعدی» مورد نیاز است. اگر فاصله تا تقاطع بعدی آن سوی تقاطعی باشد که علائم پیش برنده بیش از ۵ مایل فاصله داشته باشند، استفاده از یک پانل که زیر علامت پیش برنده باشد مطلوب است.

تابلوهای راهنمای خروجی

این تابلوها مسیر و مقصد را تکرار می‌کند و اطلاعات اعلام شده در تابلوهای پیش راهنما را در مورد مقصد می‌دهد. و برای رانندگان اطلاعات خاص بیشتری را فراهم می‌آورد تا بدانند برای رسیدن به خروجی چه کارهایی را باید انجام داد. برای هر خروجی بیشتر از یک تابلو مورد نیاز نیست. و در جاهایی که علائم هوائی کافی نصب شده باشد و یا در مناطقی که فاصله بین تقاطع‌ها کم باشد، و یا جائی که حداقل دو تابلو خروجی پیش برنده باشد. وجود تابلوهای مسیر خروجی غیر ضروری است.

تابلوهای خروجی

تابلوهای علائم خروجی در نقطه انحراف یعنی جائی که رانندگان خطوط ترافیک اصلی را ترک می‌کنند نصب می‌شوند. بسته به شرایط خاص این تابلو لغت خروجی بر روی آنها نوشته شده. و مسیر و مقصد و اطلاعات قبلی که در تابلوهای قبل نیز وجود داشته تکرار می‌گردد. جزئیات طراحی، کار گذاری و کاربرد همه تابلوهای فوق در *MUTCD* داده شده است تقاطع‌های غیر همسطح شامل موارد زیر است:

۱ - غیر همسطح دو جاده بین ایالتی
۲ - غیر همسطح شبدری
۳ - غیر همسطح لوزوی
۴ - غیر همسطح شهری با یک خیابان شهری
۵ - دو غیر هم سطح لوزوی نزدیک به هم

تحقیقات در ۵۰ ایالت آمریکا نشان می‌دهد که تابلوهای استاندارد که در *MUTCD* از آن بحث شده کافی است. مشروط به اینکه دقیق اجرا شده و در مناطق مناسب نصب گردند و به هر حال ۱۵ درصد از ایالتها گفته‌اند که حرکت‌های اشتباه روی شیبراهه‌های خروجی برای آنان مشکل به وجود آورده است. یک بازبینی از جهت علائم جهت دار در تقاطعها به طور موفقیت آمیز در تمام بزرگراههای نیویورک در سال ۱۹۶۴ انجام شده است. در عرض دو ساعت جهت نشان دادن گردش به راست سریع یک تابلوی جهت دار مورد استفاده قرار گرفت و موقعی که نتیجه کار مثبت بود برای یا جلو رفتن سریع و نشان دادن جهت در عرض پنج تا هفت ساعت مورد استفاده قرار گرفت.

سایر تابلوهای راهنمایی در بزرگراهها

تابلوهای استراحتگاه. تابلوهایی هستند که به فضاهای مخصوص اختصاص دارند و بوسیله این تابلوها از به جاده‌ها دسترسی به محل راحتی و آسایش رانندگان را تأمین می‌کنند. برای این هدف یک علامت راهنما باید در یک یا دو مایل قبل از محل گذاشته شود، بایستی جهت نزدیک شدن از نقطه شروع خط کاهش سرعت ابتدا اختصاص داده شود و در آن مکان یک علامت مشابه جهت خارج شدن از مسیر موجود باشد.

تابلوهای خدماتی. به عنوان یک قانون عمومی، دسترسی به ایستگاههای سرویس وسیله نقلیه، رستورانها، مسافر خانه‌ها و دیگر تأسیسات عمومی فقط در تقاطعهای بزرگراهها قابل دسترسی است و یا در جائی که منطقه مخصوص برای آن فراهم شده باشد. غالباً لازم است که توسط تابلو موقعیت این مکانهای عمومی مشخص گردد.

تابلوهای دیگر راهنمایی. علامتهای دیگری نیز ممکن است در بزرگراهها استفاده شود و این بستگی به مفید بودن آنها دارد. مکانها و مقصدهای مجاور که در علائم پیش برنده نشان داده نشده‌اند را می‌توان بر روی تابلوی مخصوص نشان داد، که به سه صورت زیر می‌توان نوشت «خروجی بعدی»، «حرکت به سمت راست» یا «دومین دست راست» و حدود ۱/۵ مایل مانده به این مسیرها نصب می‌شوند.

نصب تابلوها و ایمنی جاده‌ها

در سال ۱۹۶۸، ۷/۷ درصد حوادث مرگ آور مربوط به برخورد اتومبیل با کناره‌های جاده بوده است. قسمت اعظم این برخوردها به سازه‌های نگهدارنده وسایل کنترل ترافیک کنار جاده بوده است. این مسئولیت مهندسین ترافیک است که در هنگام نصب علایم خصوصاً در بزرگراهها نه تنها موارد عملیاتی را در نظر بگیرد بلکه ایمنی مکان را نیز در نظر داشته باشد. علایم باید در جایی نصب شوند که درگیری ترافیک با سازه‌های نگهدارنده علائم یا صفر باشد و یا به حداقل خود برسد و این سازه‌ها باید طوری طراحی شوند که امکان برخورد وسیله نقلیه یا آن به حداقل برسد. فصل ۱۷ این کتاب را مطالعه کنید.

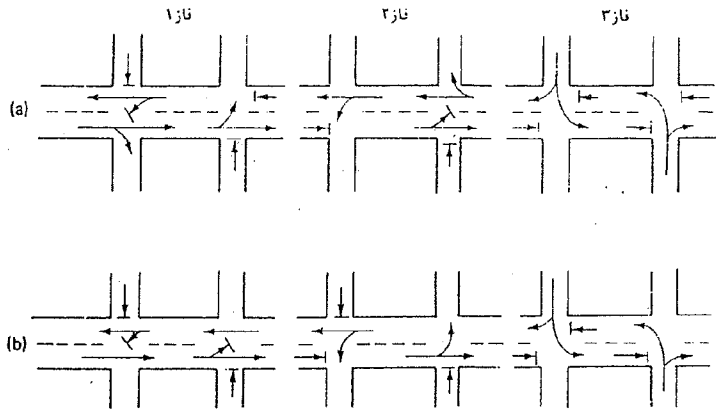
نصب چراغ در تقاطعات لوزوی

یکی از مشکلات مهندسین ترافیک چراغ نصب کردن تقاطع‌های لوزوی می‌باشد. هنگامی که یک ترافیک سنگین حکمفرما شود، تجمع وسایل نقلیه بین شیبراهه‌ها مشکل بزرگی را می‌آفریند دو فاز ممکن که در شکل ۱ - ۲۷ نشان داده شده‌اند را در نظر بگیرید.

الف) اگر حجم گذرنده از شیبراهه‌ها زیاد باشد تجمع قابل ملاحظه‌ای در فاز سه ایجاد می‌شود.

نصب چراغ باعث می‌شود که: ب) تجمع زیادی به فاز یک منتقل شود. در هر دو مورد تجمع بین شیبراهه‌ها می‌باشد، که در یک حوزه با طول شدیداً محدود واقع می‌شود. با ازدیاد حجم بین شیبراهه‌ها چراغ تماماً عمل نخواهد کرد.

نصب چراغ چهار فاز، با دو فاصله تجمع، وسایل نقلیه را بین شیبراهه از بین می‌برد و این در شکل ۲ - ۲۷ نشان داده شده است.



شکل ۱ - ۲۷ . چراغ چهار فازی

محاسبه ظرفیت

یک خط منفرد را در نظر بگیرید. اگر n برابر با تعداد وسایط نقلیه‌ای باشد که می‌توانند هنگام سبز بودن چراغ عبور نمایند، داریم:

$$n = \left\{ \frac{G - D}{H} + ۲ \right\} \quad \text{وسیله نقلیه در سیکل} \qquad (۲۸ - ۱)$$

که در آن:

G = طول زمان سبز

D = تاخیر شروع اولین وسیله نقلیه

H = فاصله عبور وسایل نقلیه باقی مانده

با فرض: $D = ۵/۸$ ثانیه و $H = ۲$ ثانیه . پس داریم:

$$n = \frac{G - ۵/۸}{۲} + ۲ = \frac{G - ۱/۸}{۲}$$

با ضرب کردن تعداد سیکلها در ساعت N تعداد وسایل نقلیه‌ای که در ساعت از این خط رد می‌شوند مشخص می‌شود.

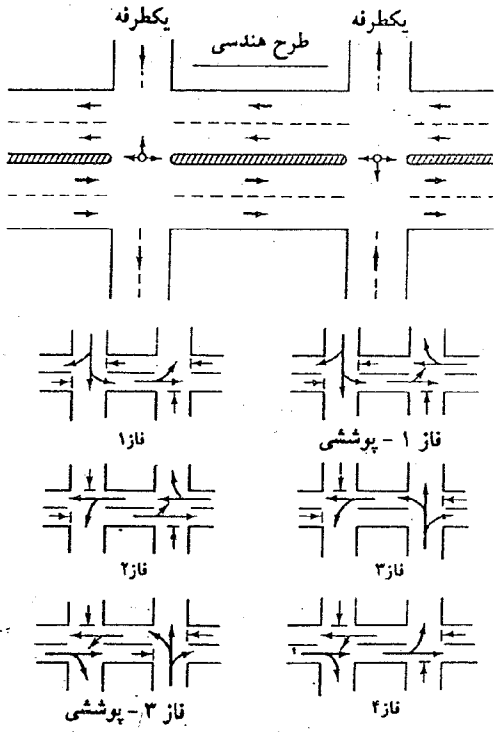
$$\text{تعداد وسایل نقلیه در ساعت } N = \frac{G - ۱/۸}{۲} \left(\frac{۳۶۰۰}{C}\right)$$

در چراغ چهار فاز، چهار حجم بحرانی وجود دارد (شکل ۳-۲۷) پس :

$$N_c = \sum_1^k N_i = \sum_1^k \left(\frac{G_i - ۱/۸}{۲}\right)\left(\frac{۳۶۰۰}{C}\right)$$

$$\text{یا } N_c = \frac{(\sum_1^k G_i - ۱/۸\, k)}{۲} \left(\frac{۳۶۰۰}{C}\right)$$

طول هر چرخه C برابر است با جمع زمان چراغ سبز بعلاوه زمان زرد منهای زمان همپوشی ϕ .



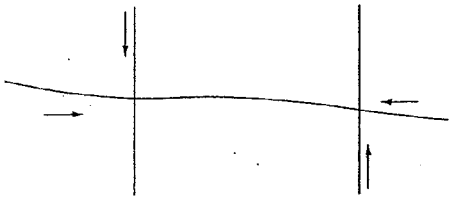
شکل ۲ - ۲۷ . غیرهمسطح لوزوی - فاز بندی چراغ

$$C = \sum G_i + A - \phi \qquad (۲۷ - ۲)$$

$$\sum G_i = C - A + \phi$$

با جایگزینی داریم:

$$N_c = \frac{C - A + \phi - ۱/۸\, k}{۲} \left(\frac{۳۶۰۰}{C}\right) \qquad (۲۸ - ۳)$$



شکل ۳-۲۷ . چهار حالت حرکت

برای k برابر چهار فاز و $A = ۱۲$ ثانیه :

$$N_c = ۱۸۰۰ - (۱۹/۲ - \phi)(\frac{۳۶۰۰}{۲C})$$

شرایط مطلوب زمانی است که $\phi > ۱۹/۲$ باشد. اگر $\phi > ۱۹/۲$ باشد N_c بزرگ شده و طول زمان سیکل کوچک می‌شود:

زمان بندی چهار فازه تقاطع غیر همسطح (لوزوی)

مثال: (شکل ۴ - ۲۷) حجم بحرانی:

$$N_A = ۳۳۸$$

$$N_B = \frac{۷۸۶ + ۵۰}{۲} = ۴۶۸$$

$$N_C = ۵۲۵ \qquad N_D = \frac{۱۰۵۰ + ۵۱۳}{۲} = ۷۸۲$$

کل = ۲۱۶۳

ظرفیت: $N = \frac{C - A + \phi - ۱/۸k}{۲}(\frac{۳۶۰۰}{C})$

اگر $\phi > ۲۰$ شود N افزایش یافته و C یا کاهش می‌یابد، بنابراین یک سیکل کوتاه ۶۰ ثانیه‌ای باید استفاده شود. به هر حال $N_c \geq ۲۱۶۳$ است با داشتن K,A,C و N ما می‌توانیم ϕ لازم را بدست آوریم جهت تطبیق کردن با N.

$$۲۲۰۰ = \frac{۶۰ - ۱۲ + \phi - ۷/۲}{۲}(\frac{۳۶۰۰}{۶۰})$$

$$\phi = \frac{۲۲۰۰}{۳۰} - ۶۰ + ۱۹/۲ \Rightarrow \phi = ۳۲/۵$$

بنابراین اگر تقاطعها طوری باشند که ϕ به ترتیب ۱۶/۲۵ ثانیه یا بیشتر در هر جهت شود این فاز مطلوبست:

اگر تقاطع‌ها از هم فاصله داشته باشند همچنین ϕ برابر ۱۶ ثانیه باشد، این زمان، زمان خوبی برای تقاطع‌ها نخواهد بود.

زمان‌بندی :

با فرض ۱۶/۲۵ ثانیه، برای تقاطع‌ها ۴۵۰ تا ۵۰۰ فوت از همدیگر فاصله لازم دارند. توجه کنید که:

$$N = \frac{G - ۱/۸}{۲}(\frac{۳۶۰۰}{C})$$

به این مفهوم که :

$$G = \frac{۲N \times c}{۳۶۰۰} + ۱/۸$$

$$G_B = \frac{۲(۳۸۸)۶۰}{۳۶۰۰} + ۱/۸ = ۱۴/۷$$

$$G_B = \frac{۲(۴۶۸)۶۰}{۳۶۰۰} + ۱/۸ = ۱۷/۴$$

$$G_C = \frac{۲(۵۲۵)۶۰}{۳۶۰۰} + ۱/۸ = ۱۹/۳$$

$$G_D = \frac{۲(۷۸۲)۶۰}{۳۶۰۰} + ۱/۸ = ۲۷/۹$$

شکل ۵-۲۷ را ببینید. یک سیستم چهارفازه‌نشان داده شده است.

فاز	زمان لازم	خواسته‌ها:
$۱ + \phi_۱$	۱۴/۷	
$\phi + ۲$	۱۷/۴	
$۳ + \phi_۲$	۱۹/۳	
$\phi_۳ + ۴$	۲۷/۹	

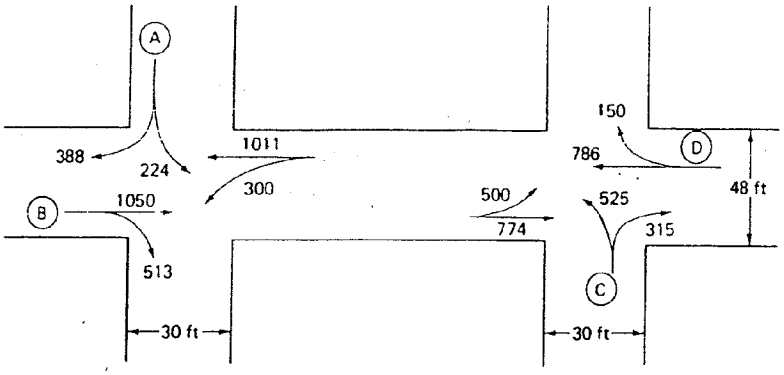
شکل ۶-۲۷ را ببینید. زمان فازها بوسیله شکل نشان داده شده، این شکل از روش سعی و خطا، و به کمک محاسبات انجام گرفته است.

کنترل شیبراهه و آزاد راه

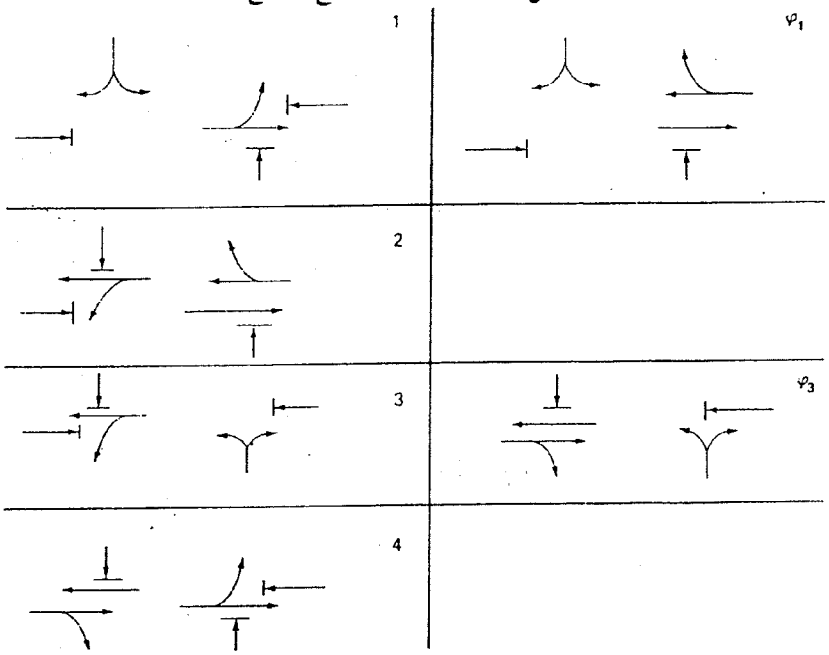
بسیاری از محدودیت‌های ترافیکی در مناطق شهری در نتیجه اختلال در ترافیک که در خلال ساعات اول سفر به وجود می‌آید، زیرا عبور و مرور بیش از ظرفیت آزاد راه می‌گردد. در اینجا دو راه حل وجود دارد:

(۱) افزایش ظرفیت بوسیله اصلاح شرایط فیزیکی یا افزایش تسهیلات، (۲) تنظیم میزان عبور و مرور. راه حل دوم در چند سال اخیر به مراتب بیشتر بکار گرفته شده و از مرحله تحقیق به مرحله بهره برداری عملی رسیده است. اینجا دو حالت وجود دارد: کنترل شیبراهه‌های خاص و کنترل و نظارت بر آزاد راه.

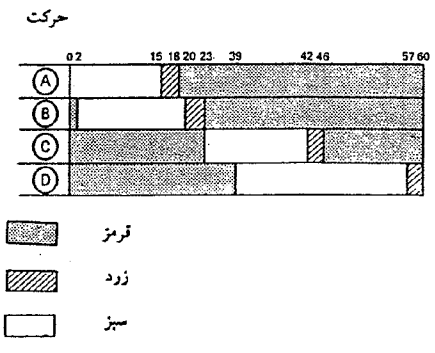
این حقیقت که برای کنترل و نظارت بر آزاد راه سیستم‌های



شکل ۴-۲۷. چهار حالت تقاطع همسطح



شکل ۵-۲۷. فازبندی یک تقاطع لوزوی



شکل ۶-۲۷. زمان‌بندی فازها

تحت بهره برداری وجود دارد به هیچ وجه دلالت بر کامل شدن توسعه در این نواحی ندارد. مسائل حل نشده زیادی موجود است بالاخص در ارتباط با طرحها و تدابیر مدیریتی مناسب آزاد راهها در ساعات شروع و در خلال زمان اوج ترافیک. برای مثال چه اندازه خدمات در شیبراهه‌های مختلف ارائه گردد و چگونه این سرویس رسانی مناسب با زمان تغییر یابد، سئوالاتی وجود دارد در زمینه جایگذاری و تعیین موقعیت‌ها از جمله تسهیلات آزاد راه، جاده‌های سرویس و خیابانهای اصلی در آغاز اختلال و در ترافیک. سیستم‌هایی که اکنون از آنها بهره برداری می‌شود تقریباً همه بطور تجربی جایگذاری گردیده‌اند به ویژه در مسائل مربوط به طرح و کارآئی آنها. بهترین سیستم‌های موجود، آزاد راه گلف در هستون است که با توسعه آن قابلیت پذیرش طرحهای مدیریتی بیشتری را و نیز برنامه‌ریزیهای مجدد مناسب و ساده‌ای را دارا می‌باشد. این یکی از مزایای کنترل بوسیله کامپیوترهای دیجیتال است نسبت به سیستم‌های سخت افزاری که روش کار عملاً در آنها تعبیه شده است.

کنترل و نظارت بر آزاد راهها

در فصل دوازدهم در ارتباط با ممانعت از توقف جریان ترافیک، به پروژه‌های گوناگونی اشاره شده است. اینها عمدتاً پروژه‌هایی در شیگاگو - دترویت و هستون می‌باشند. پروژه مهم دیگری نیز در دالاس، تگزاس موجود است که در آن یک بزرگراه مانند جزئی از یک دهلیز ترافیکی کنترل می‌شود که شامل جاده‌های کناری (سرویس) و خیابانها و شبکه‌های اصلی می‌باشد. علاوه بر این پروژه‌های عمده، در زمینه سرویس دهی و کنترل، پروژه قابل توجه دیگری نیز وجود دارد که یک تونل است و دو شهر نیویورک و نیوجرسی را بهم متصل می‌کند. اگرچه این پروژه یک آزاد راه نیست ولی مشخصاً میزان پیشرفت و افزایش دانش راجع به طراحهای کنترل و سرویس دهی چه در طرح و چه در اجراء را نشان می‌دهد.

در آغاز محدودیت‌ها بیشتر بود ولی امروزه در پروژه‌های مهمی در چولاویستا - کالیفرنیا ولس انجلس این محدودیت‌ها رفع شده است. برای کنترل بزرگراه ون وایک در شهر نیویورک مطالعات اولیه‌ای انجام شده‌است.

طرح دیترویت

دترویت اولین پروژه کنترل و سرویس دهی بزرگراهی را که ابتدا ۳۰۲ مایل طول داشت و در قسمتی دور دست از بزرگراه واقع بد در سال ۱۹۶۰ بنا نهاد. در آغاز سال ۱۹۶۷ طول مسیر تحت کنترل به ۸۰۵ مایل افزایش یافت.

در آزاد راه لاج در دترویت، جریان ترافیک بوسیله ۱۴ عدد تلویزیون مدار بسته عکسبرداری شده و سپس بوسیله دستگاههای حساس که مجهز به شناسگرهای ماوراء صوت هستند یک سری داده‌ها مربوط به سرعت و خط حرکت اتومبیل‌ها ثبت می‌شوند. اطلاعات ردیاب ها به یک کامپیوتر دیجیتال ۸۰۹۰ *CDC* منتقل گردیده و مشخصات جریان ترافیک روی نوارهایی حک گردیده و سپس روی صفحاتی چاپ می‌شوند.

اطلاعات تهیه شده بوسیله تلوزیزیون کامپیوترها و سیستم‌های شناسگر که قسمت کنترل پروژه با بکار بردن معیارهای تابلوهای سرعتهای متغیر - سیگنالهای کنترل شیبراهه خطوط حرکت و علائم کنترل ورودی بوسیله شخص ناظر تفسیر و تغییر می‌گردند. در طول ۸/۵ مایل آزاد راه کنترل شده ۸ عدد شیبراهه ورودی تحت کنترل بودند.

در فاز بعدی این پروژه تحقیقی تلویزیونها و علائم اخطار دهنده حذف گردیدند. هشت شیبراهه ورودی که همه آنها شمالی بودند بوسیله یک شمارشگر ساده کنترل می‌شوند. علائم انحراف دهنده وسیعاً بکار رفتند و تعدادی علائم اصلی به منظور تغییر مسیر حرکت تحت کنترل کامپیوتر قرار داده شدند. این پروژه به علت مسائل مالی در سال ۱۹۷۱ تعطیل شد. بعداً گزارش جامعی از این پروژه توسط گروه *NCHRP* تهیه گردید.

نتایجی که از این پروژه گرفته می‌شود به قرار زیرند:

۱- زمان سفر در مقطع ۸/۵ مایلی جاده در ساعات اوج از ۲۹ به ۱۷ دقیقه کاهش یافت.

۲- حجم اشغال کننده آزاد راه کاهش پیدا کرد.

۳- حجم اشغال کننده خیابانهای اصلی افزایش یافت اما تغییر ایجاد شده در زمان علائم ترافیکی در نتیجه کاهش زمان سفر بود.

۴- تراکم کاهش یافت.

طرح شیکاگو

شیکاگو تکنیک کنترل و نظارت بر آزاد راهها را برای نخستین بار در سال ۱۹۶۱ در طول ۵ مایل از بزرگراه آیزنهاور اجرا نمود. جریان ترافیک بوسیله ردیابهای ماوراء صوتی که اطلاعات خود را به کامپیوتر ۴۰۴۰ *GE* انتقال می‌دادند ثبت و ضبط می‌گردید. اطلاعات حاصله به منظور تعیین سرعت وسایل نقلیه، حجم آنها در مسیر و خط اشغال شده در چند نقطه از مقطع تحت کنترل تجزیه و تحلیل می‌گردید.

کامپیوتر بطور اتوماتیک عمل مجموعه شیبراهه راکه شامل علائم ترافیکی و موقعیت ردیابها در شیبراهه ورودی بود تحت نظر داشت. تعداد نسبتاً زیاد اتومبیل‌ها در شیبراهه که بطور اتوماتیک توسط سیستم کامپیوتر - ردیاب تعیین می‌شد باعث کاهش حجم ترافیک ورودی به آزاد راه در نواحی پر تراکم می‌گردید. در کوشش برای جلوگیری از ایجاد تراکم در بزرگراه، یک سری علائم آگاه کننده بطور سمبولیک میزان جریان ترافیک روزانه موجود در شیبراهه ورودی و در بزرگراه در محلهای از قبل تعیین شده و نیز در خیابانهای موازی را نشان می‌داد. کامپیوتر وظیفه کنترل ۴ مایل از بزرگراه دان ریان (Dan Rayan) را بر عهده داشت. نتایج حاصله از این پروژه به قرار زیر بود:

۱- حجم ترافیک در بزرگراه آیزنهاور بدون تغییر باقی ماند.

۲- زمان سفر در طول ۵ مایل در ساعت اوج از ۱۵ دقیقه به ۱۲ دقیقه کاهش یافت.

۳- میزان تصادفات تا ۱۶٪ کاهش یافت.

۴- زمان سفر در طول ۴ مایل از بزرگراه دان ریان در خلال ساعات اوج از ۲۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش یافت.

موفقیت‌های حاصله از این پروژه باعث توسعه و گسترش این طرح به سیستم بزرگراه ۷۵ مایلی شیکاگو گردید.

فاز اولیه این برنامه در هر دو جهت بزرگراه آیزنهاور در طول ۱۰ مایل به اجراء درآمد. در مجموع ۲۲ شیبراهه ورودی در این مقطع تحت کنترل بودند.

طرح بندر نیویورک

یک شبکه کنترل و نظارت در سال ۱۹۶۴ در تونل لینکلن که بین نیویورک و نیوجرسی قرار دارد تاسیس گردید. جریان ترافیک بوسیله اتومبیل‌های ردیاب که شرایط ترافیک را نیز تشریح می‌نمودند و وسایل کنترل و تلویزیونهای مدار بسته عکسبرداری می‌شد. یک کامپیوتر مخصوص اطلاعات را دریافت نموده و کنترل‌های لازم را به منظور جلوگیری از ایجاد تراکم در مسیر به عمل می‌آورد. یک رادیوی ارتباطی دو طرفه در بین دو نقطه کنترل از مسیر قرار می‌گیرد و ایستگاه واقع شده در تونل به منظور اعزام سریع پلیس به هر نقطه از تونل می‌باشد.

نتایج حاصله از این پروژه به قرار زیرند:

۱- حجم ترافیک در زمان اوج ۵ درصد افزایش یافت.

۲- زمان سفر در داخل تونل در زمان اوج ۱۲ درصد کاهش داشت.

۳- از میزان آلودگی هوا ۲۹ درصد کاسته شد.

طرح هوستون

آزاد راه گلف در هوستون یکی از دقیق‌ترین پروژه‌های کنترل و نظارت است. کنترل در هشت شیبراهه ورودی در طول ۶۰۵ مایل باند داخلی آزاد راه صورت می‌گیرد پروژه بر اساس مفاهیم و معیارهای اصلی برای طرح و بهره برداری بود. علائم راهنمایی شیبراهه توسط ردیابها در فواصل قابل قبول در شانه‌های راه تحریک می‌گردند. یک کامپیوتر ۱۸۰۰ - برای تکمیل و تثبیت محل کنترل کننده شیبراهه ورودی و انتخاب خط ترافیک به منظور تعین مشخصات آن بکار می‌رود. ورودیها بوسیله گروهی از ردیابها تهیه می‌شوند ۱۴۰ دوربین تلویزیونی مدار بسته در مطالعات مربوط به کنترل و نظارت بزرگراه بکار گرفته شده‌اند. موفقیت‌های حاصل از این پروژه با توجه به اصلاح و افزایش در ایمنی و کاهش تراکم مسیر مشخص می‌گردد. نتایجی حاصله از پروژه به قرار زیرند:

۱- حجم مسیر در زمان اوج ۱۰٪ افزایش یافت.

۲- سرعت در مقطع مورد آزمایش در خلال ساعات اوج ۳۰٪ افزایش یافت.

۳- زمان سفر در طول ۵۰ مایل بزرگراه در خلال ساعات اوج از ۱۶ دقیقه به ۱۱ دقیقه کاهش یافت.

۴- تعداد تصادفات اتفاق افتاده در خلال ساعات اوج از ۱۴۵ عدد در سال به ۷۵ عدد در سال در طول ۶۰۵ مایل مقطع کاهش یافت.

۵- در طول دو سال بعد از آغاز بکار نخستین کنترل کننده در شیبراهه ورودی هیچ تصادفی در شیبراهه اتفاق نیفتاد.

طرح چولاویستا

بخش اداره بزرگراهها در کالیفرنیا در ژوئیه ۱۹۶۸ در چهار محل در باند شمالی خط ۵ آزاد راه در ایالت چولاویستا کنترل شیبراهه‌ها را شروع کردند. این فقط مختص به جنوب سان دیاگو بود.

در هر موقعیت یک کنترل کننده زمان ثابت قرار داده شد. هر کنترل کننده در یک سیکل ۶ تا ۲۰ ثانیه کار می‌کرد. فاز سبز آن در حدود $\frac{1}{2}$ تا ۲ ثانیه - فاز زرد آن در حدود $\frac{1}{2}$ تا ۲ ثانیه بود.

کنترل کننده‌ها توانایی تغییر زمان چرخه چراغها را برای چهار بار در قبل از ظهر در ساعات اوج دارد.

نتایج در دسترس و که بطور کیفی مشخص شده است:

۱- سرعت بزرگراه افزایش یافت

۲- زمان خالص سفر کاهش یافت

۳- وسیله نقلیه مایل سفر در بزرگراه افزایش یافت.
۴- چگالی ترافیک و سرعت در خیابانهای موازی آن بدون تغییر باقی ماند.
۵- عکس العمل عمومی مساعد گردید.
۶- فراوانی تصادفات کاهش پیدا کرد،

مطابق گزارش دسته‌های گشتی بزرگراه کالیفرنیا و موقعیت و مکان افسرهای پلیس تصادفات زمان اوج ۵ تا ۱۰ مورد کمتر نسبت به زمان قبل از تاسیس کنترل کننده‌ها مشاهده گردید. رفع تصادفات کوچک و تاخیری که آنها ایجاد می‌کردند زمان سفر را افزایش می‌داد.

طرح لوس آنجلس

بخش بندی بزرگراههای کالیفرنیا دو پروژه کنترل را در ناحیه لوس انجلس ایجاب می‌کرد. پروژه آزاد راه هالیورد خیلی کوچک بود. (فقط دو شیبراهه) پروژه دیگر در آزاد راه هاربر وسیع‌تر و موفقیت آمیزتر بود و بعداً در نوشته‌ها فقط از سیستم کنترل آزاد راه هاربر نام برده می‌شد. سیستم اخیر نیاز به شمارشگر و احیاناً قطع و وصل جریان ترافیک در تعدادی از شیبراهه‌های باند جنوبی در طول ۵ مایل از بزرگراه در خلال ساعات اوج در بعد از ظهر داشت. در سیستم زمانبندی چراغها به نظر می‌رسید از چراغ‌های زمان ثابت استفاده می‌شود. استفاده از سه سیستم کنترل روزانه سه نسبت مختلف بدست می‌داد. وقتی‌که حرکت اتومبیل‌ها آزاد می‌گردید فازهای سبز و زرد اجرا شده و زمان آنها خیلی کوتاه بود (حدود ۲ ثانیه) نسبت‌های متغیر بوسیله تغییر فاز قرمز ایجاد می‌گردید.

وقتی از اندازه‌گیری دسته ترافیکی استفاده شد (این روش جایی لازم است که نسبت ورودیها در یک زمان بیشتر از حد قابل عبور باشد.) فازهای سبز و زرد هنوز موجود بودند اما در مدّت زمان مناسبی در که به هر مقدار دلخواه ترافیک سرویس داده شود.

انتهای شیبراهه از سنگر بندیهای موقتی و حائلها تاثیر می‌پذیرد زیرا معلوم شده است که نصب علائم به تنهایی نمی‌توانند موثر باشند.

نتایج اولیه از این نوع کنترل روزانه نشان داد که زمان سفر کاهش می‌یابد یا در حدود ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت تعدادی از رانندگان به ویژه سفر به طول ۵ مایل را در ظرف ۲ دقیقه انجام دادند. تاخیر وارده به رانندگان در پشت صف‌های تشکیل شده در شیبراهه رفع شد و در مقدار کمی از سطوح خیابانها، ترافیک در حدود ۱۳۰ وسیله نقلیه در ساعت بود.

مطالعات آزمایشی نیویورک

سازمان ترافیک شهر نیویورک در یک هماهنگی با انستیتو پلی‌تکنیک بروکلین یک سری مطالعات آزمایشی بر روی باند جنوبی بزرگراه ون ویک (در جهت فرودگاه بین المللی کندی) در سال ۱۹۶۹ انجام دادند.

یکی از شیبراهه‌های ورودی بسته شد و دو شیبراهه دیگر با یک کنترل کننده زمان ثابت کنترل شده و تحت مطالعه قرار گرفتند. علائم راهنمایی جاده برای ترافیک بیشتری تنظیم شده و یک سری علائم هشدار دهنده نصب گردیدند.

نتایج مطالعات آزمایشی به وضوح کاهش زمان سفر بین دو مقطعی که کنترل کننده در آن نقاط نصب شده بود را نشان داد و همچنین سرعت متوسط را افزایش داده و بطور قابل ملاحظه‌ای الگوی ورودیها را بهبود بخشید، و زیرا غرش اتومبیل‌ها در سطح جاده کناری اندازه‌گیری شد و جاده فضاهای مورد نیاز مشخص گردید. نصب دستگاهها تابعه از انجام آزمایش ادامه یافت و بعداً تصمیم گرفته شد که سیستم‌های کنترل و مراقبت را بطور کامل نصب نمایند. اگرچه زمان ارزیابی کوتاه بود ولی بهبود قابل ملاحظه‌ای در تصادفات ثبت شده دیده شد.

طرح دهلیز دالاس

آخرین پروژه انجام شده در زمینه کنترل و مراقبت از بزرگراهها در ژوئن سال ۱۹۷۱ در دالاس تگزاس اجرا شد. این پروژه قسمتی از یک پروژه عظیم کنترل در بزرگراه، خیابانهای اصلی و شبکه ترافیک بود که به منظور افزایش جریان ترافیک در دهلیزهای ترافیکی شهری به اجرا درآمده بود. این پروژه بزرگ بوسیله انستیتو حمل و نقل تگزاس و اداره راه شهر دالاس انجام شد. تسهیلات و امکانات کنترل براساس پذیرش فاصله‌ای کنترل و با یک کنار گذار برای اطمینان از حداقل حجم ترافیک به کار رفت. این همان روش به کار رفته در هوستون بود. نظارت تلویزیونی نیز به کار رفت.

ضـــمائـم

معادل فارسی اصطلاحات انگلیسی

A

Access Control	کنترل دسترسی
Acceleration Noise	شدت شتاب
Acceleration	خط افزایش سرعت
Actuated Signal	چراغ راهنمایی متغییر
Adjustment Factor	ضریب تصحیح
Annual Capital Recovery	بازگشت سالیانه سرمایه
Approach (Intersections)	رویکرد (تقاطع‌ها)
Arterial	شریانی
Auxilliary Lane	خط کمکی
Average Daily Traffic	ترافیک متوسط روزانه
Average Annual Daily Traffic	ترافیک متوسط روزانه در سال

B

Baised Sample	نمونه خدشه دار (آمار)
Band Width	فاصله زمانی عبور (چراغ‌های هماهنگ)
Base Year	سال پایه (برنامه ریزی)
Basic Freeway Section	قسمت اساسی آزاد راه
Before And After Study	مطالعه قبل و بعد
Bypass Route	مسیر کنارگذر

C

Car-Following Model	مدل خودرو به دنبال هم
Capacity	ظرفیت
CBD	ناحیه تجاری مرکزی
Chi-Squared Test	آزمون خی مربع
Channelization	مسیردهی
Clearance Interval	زمان تخلیه (در چراغ‌های راهنمایی)
Cloverleaf Interchange	تقاطع غیر همسطح شبدری
Coeffictient of Variation	ضریب تغییرات
Collector Street	خیابان جمع‌آورنده
Commuters	مسافرین دائمی
Compound Periods	دوره‌های مرکب (اقتصاد مهندسی)
Compound Amount Factor	ضریب مبلغ مرکب (اقتصاد مهندسی)

Constrained Operation	عملکرد درگیر
Control Count Station	ایستگاه شمارش کنترل
Congestion	تراکم
Coordinated Signals	چراغ‌های راهنمائی هماهنگ
Cordon Line	خط محدوده
Correlation Factor	ضریب همبستگی (آمار)
Crawl Speed	سرعت خزش
Crossing Guard	گذربان
Crossbuck	تابلو تقاطع با راه‌آهن
Crest Vertical Curve	قوس قائم محدّب
Cycle Length	زمان چرخه (در چراغ راهنمایی)

D

Deccelaration Lane	خط کاهش سرعت
Delay	تأخیر
Delineator	رهنمایه
Density (Traffic)	چگالی (ترافیک)
Design Speed	سرعت طرح
Design Vehicle	وسیله نقلیه طرح
Desire Lines	خطوط تمایل
Destination	مقصد
Detector	شناسگر
Diamond Interchange	تقاطع غیر همسطح لوزوی
Directional Interchange	تقاطع غیر همسطح جهت دهنده
Diverging Area	ناحیه واگرائی
Divided Highway	راه جدا شده
Doppler's Principle	اصل داپلر
Drivometer	رانندگی سنج

E

Efficiency Rating	درجه بندی قابلیت
Emotion (E in PIEV)	تصمیم (در تئوری دید و عکس العمل)
Enoscope	جعبه آینه
Evaluation	ارزیابی
Expressway	بزرگراه
External-External Trips	سفرهای خارج به خارج

F

Facilities	تسهیلات
Fixed Delay	تأخیر ثابت
Flat Curve	قوس صاف

Flow Rate	میزان تردد
Four-Leg Intersection	تقاطع چهار سو
Freeway	آزاد راه

G

Goals	اهداف
Goodness of Fit	برازندگی تطابق
Gore Area	دماغه (در ابتدای شیبراهه خروجی)
Grade Line	خط پروژه
Guard Rail	نرده حفاظ (گاردیل)

H

Headway	فاصله عبور (زمانی یا مکانی بین وسائل نقلیه)
Highway Allignment	مسیربندی راه
Highway Capacity Mannual	کتاب ظرفیت راه‌ها
Horizon Year	افق طرح (برنامه ریزی)

I

Induced Traffic	ترافیک الحاقی
Input Output Model	مدل داده ستانده
Interchange	تقاطع غیر همسطح
Intervening Oppurtunity Model	مدل فرصتهای بینابینی
Interrupted Flow	جریان منقطع
Inventory	بررسی وضع موجود
Isolated Intersection	تقاطع منفرد

J , K

Jam Density	چگالی تراکم

L

Lagging Green	سبز مؤخر (زود قطع کننده در چراغ راهنمایی)
Land Use	کاربری زمین
Landscaping	شکل دادن زمین
Leading Green	سبز مقدم (دیر آزادکننده در چراغ راهنمائی)
Level Terrain	منطقه هموار
Level of Service	سطح سرویس
Linear Regression Model	مدل برگشتی خطی
Load Factor	ضریب بار
Local Street	خیابان محلی

Luminaire	روشنائی

M

Macroscopic	جریان جمعی
Major Street	خیابان اصلی
Marking	علامت گذاری
Median	میانه (جزیره میانی)
Merging Area	ناحیه همگرائی
Measure of Effectiveness	معیار تأثیر پذیری
Modal Split	تفکیک سفر
Modes of Transportation	طریقه‌های حمل و نقل
Mountainous Terrain	منطقه کوهستانی
Multiple Weaving	تغییر خط مرکب

N

Normal Crown	مقطع عادی
Noise Pollution	آلودگی شنیداری

O

Objectives	مقاصد (در برنامه ریزی)
Offest	فاصله زمانی – تأخر (در چراغ‌های راهنمائی هماهنگ)
Off Tracking	خروج از مسیر
Operational Delay	تأخیر عملکردی
Operating Speed	سرعت عملکردی
Origin	مبدأ

P

Partial Cloverleaf Interchange	تقاطع غیر همسطح نیمه شبدری
Peak Hour Factor	ضریب ساعت اوج
Pedestrian	عابر پیاده
Permanent Count Station	ایستگاه شمارش دائمی
Perception Reaction Time	زمان دید و عکس العمل
Phase	مرحله وفاز (در چراغ راهنمایی
Phasing	چراغ‌دهی
Platoon	دسته (ترافیکی)
Progressive Movement	حرکت پیشرونده
Pretimed Signal	چراغ راهنمائی با زمان ثابت

Q

Queue	صف

R

Ramp	شیبراهه
Recreational Vehicle	وسیله نقلیه تفریحی
Refuge Island	جزیره ترافیکی (رفوژ)
Reflector	شب نما
Right of Way	حق تقدم
Rolling Terrain	منطقه تپه ماهوری
Rolling Resistance	مقاومت غلطشی
Rotary	میدان
Rural	برون شهری

S

Sag Vertical Curve	قوس قائم مقعر
Saturation Flow	تردد اشباع
Screen Line	خط تقسیم
Service Flow Rate	تردد سرویس
Semi Actuated Signal	چراغ راهنمائی نیمه متغیر
Signal	چراغ راهنمائی
Sinking Fund	صندوق ذخیره (اقتصاد مهندسی)
Spot Speed	سرعت نقطه‌ای
Speed Change Lane	خط تغیر سرعت
Spiral Curve	منحنی مارپیچ
Superelevation	بربلندی (دِور)

T

Terminal	پایانه
Through Trip	سفر عبوری
Tractor	کشنده
Tractive Resistance	مقاومت کشندگی
Travel Patterns	الگوهای سفر
Traffic Assignment	تخصص ترافیک
Traffic Operation	عملکرد ترافیک
Transition Curve	منحنی انتقالی
Trend Based Model	مدل روند مبنا
Trip Interchange	تبادل سفر
Trip Generation	تولید سفر
Trip Distribution	توزیع سفر

Turning Roadway — راه گردشی
Tunnel Vision — دید تونلی

U

Unbiased Sample — نمونه بدون خدشه
Underpass — زیرگذر
Unsignalized Intersection — تقاطع بدون چراغ راهنمائی
Uniterrupted Flow — تردد غیر منقطع
Unconstrained Operation — عملکرد غیر درگیر

V

Volition (V in PIEV) — اجرا (در تئوری دید و عکس العمل)
Volume Priority — تقدم حجمی (ترافیک)

W

Weaving Area — ناحیه همگذری (تغییر خط)

X , Y , Z

Yield Sign — تابلو احتیاط

ضمیمه ۲

مراجع

1- Pignataro, L.J., **"Traffic Engineering: Theory and Practice"**, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.

2- Homburger, W.S., Kell, J.H., **"Fundamentals of Traffic Engineering"** , 9th ed. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkely, California, 1977.

3- **"A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"**, AASHTO, Washington D.C., 1984.

4- **"A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"**, AASHTO, Washington D.C., 1990.

5- Baerwald, J.E., (ed.), **"Transportation and Traffic Engineering Handbook"** , Institue of Transportation Engineers, Prentice - Hall, Eaglewood Cliffs, N.J., 1976.

6- **"Highway and Transportation Engineering Handbook"** 2nd ed., Institue of Transportation Engineers, Washington D.C., 1982.

7- **"Highway Capacity Mannual, Special Report 209"** , Transportation Research Board, Washington D.C., 1985.

8- Dickey, J.W., **"Metropolitan Transportation Planning"** , 2nd ed., McGraw - Hill, New York, N.Y., 1983.

9- Kanafani, A., **"Transportation Demand Analysis"** ,McGraw - Hill, New York, 1983.

افزایش داده شود، الگوی روزانه ترافیک برای یک هفته، نامیده‌می‌شود. با روش مشابه، الگوهای روزانه ترافیک برای یک ماه، یک سال و یا هر دوره زمانی دیگر ممکن است بدست آید.

الگوی هفتگی ترافیک. احجام ترافیک روزانه برای هر هفت روز متوالی نشان داده می‌شود. در صورتی که دوره زمانی به سی روزمتوالی افزایش داده شود الگو به نام الگوی هفتگی ترافیک برای‌مدت یک ماه خوانده می‌شود، و اگر حجم برای ۳۶۵ روز متوالی نشان داده شود آن را یک الگوی هفتگی ترافیک برای یک سال می‌نامند.

الگوی ماهانه ترافیک. احجام ترافیک ماهانه برای هر ۱۲ ماه متوالی نشان داده می‌شود.

توزیع در جهت. توزیع حرکت‌ها در دو جهت تغییرات مشخصی را در ترددهای ساعت اوج نشان می‌دهد. شرایط به نحو گسترده‌ای در میان تسهیلات مختلف برای محل‌های مختلف درون شهری و برون شهری متفاوت است. در زمان‌های اوج احتمال دارد که حجم ترافیک آنقدر نامتعادل شود که بیش از هشتاد درصد ترافیک در یک جهت جریان داشته باشد. توزیع جهتی ترافیک روی یک مسیر مفروض معمولاً بطور عمده‌ای از یکسال به سال دیگر تغییر نمی‌کند.

توزیع در خط عبور. توزیع حجم کل ترافیک روی خطوط گوناگون یک راه چند خطه با محل خط و با تغییرات حجم تغییر می‌کند. این نتایج از مطالعه عملکرد چندین آزاد راه بدست آمده است. توزیعات خطی بدست آمده از مطالعات فوق کاملاً هماهنگی داشته و مقادیر متوسط آن برای آزاد راههای شش خطه شهری در جدول ۲-۹ آمده است دلایل وجود تفاوت‌های نسبتاً زیاد بین حجم ترافیک در خط عبور کنار شانه و دو خط دیگر وقتی مسیر به ظرفیت نزدیک می‌شود عبارتند از:

۱- نقاط برخورد، مربوط به شیبراهها، معمولاً مجاور خط عبور شانه هستند.
۲- بعضی از رانندگان ترجیح می‌دهند با سرعت‌های کمتر رانندگی کنند و معمولاً از خط عبور مجاور شانه استفاده می‌کنند.
۳- کامیون‌ها غالباً از خط عبور مجاور شانه استفاده می‌کنند و معمولاً با سرعتی کمتر از آنچه برای اتومبیل‌های سواری مطلوب است سفر می‌کنند.

جدول ۲-۹ . متوسط حجم بر حسب خط عبور

خط‌عبورشانه		خط‌عبوروسط		خط‌عبورمیانه		حجم کل ساعتی
حجم	درصد	حجم	درصد	حجم	درصد	
۳۱۰	۳۱	۴۷۰	۴۷	۲۲۰	۲۲	۱۰۰۰
۵۲۰	۲۶	۸۶۰	۴۳	۶۲۰	۳۱	۲۰۰۰
۷۵۰	۲۵	۱۲۰۰	۴۰	۱۰۵۰	۳۵	۳۰۰۰
۱۰۰۰	۲۵	۱۵۲۰	۳۸	۱۴۸۰	۳۷	۴۰۰۰
۱۳۰۰	۲۶	۱۸۵۰	۳۷	۱۸۵۰	۳۷	۵۰۰۰
۱۵۶۰	۲۶	۲۲۲۰	۳۷	۲۲۲۰	۳۷	۶۰۰۰

نوع و محل راه یا خیابان

الگوهای ترافیک به نوع و محل جاده بستگی دارد. الگوی راههای درون شهری و خیابان‌ها با راههای برون شهری متفاوت است. در نواحی برون شهری الگوها تغییرات متمایزی دارند که بطور کلی تکرار می‌شوند، اگر چه این تغییرات با نوع راه متفاوت است. آزاد راهها، راههای اصلی فرعی، محلی و همچنین جاده‌های عوارضی الگوهای مختلفی دارند، همانطور که برای جاده‌های تفریحی نیز صادق است. خیابان‌های شهری از قبیل بزرگراهها، شریانی‌های اصلی، خیابان‌های جمع آورنده، خیابان‌های مسکونی، خیابان‌های تجاری و خیابان‌های صنعتی الگوهای متمایزی دارند. بهرحال ترافیک نوسانات زیاد ولی منطقی و قابل پیش بینی را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

تغییرات ساعتی. در راههای برون شهری ساعت اوج قابل توجهی در صبح زود معمولاً وجود ندارد، ولی در نواحی شهری ساعت اوج مشخصی که معمولاً در فاصله زمانی بین ۷ تا ۹ صبح است وجود دارد. برای هر دو مناطق درون شهری و برون شهری بزرگترین اوج روزانه در فاصله زمانی ۴ تا ۶ بعد از ظهر اتفاق می‌افتد. جاده‌های برون شهری محلی تغییرات زیادتری نسبت به راههای اصلی استانی نشان می‌دهند. این نوع جاده‌ها در صبح نیز ساعت اوج مشخصی دارند در نواحی شهری صبحها اوج ترافیک زیاد در یک جهت بزرگراهها و راههای شریانی شعاعی به سمت ناحیه مرکزی تجاری *(CBD)*، و در بعد از ظهرها به سمت خارج از ناحیه مرکزی تجاری دیده می‌شود. در مسیرهای حلقوی اوج ترافیک مشخصی معمولاً وجود ندارد و توزیع ترافیک در دو جهت تقریباً متعادل‌تر است. برای بسیاری از نواحی شهری تغییرات ترافیک در یک ساعت ممکن است قابل توجه باشد. در یک مطالعه از هفت بزرگراه چند خطه

شهری از انواع مختلف، که در ایالت میشیگان انجام شد نشان داد که متوسط اوج‌های یک دقیقه‌ای، پنج دقیقه‌ای و پانزده دقیقه‌ای به صورت درصدی از حجم ترافیک ساعت اوج به ترتیب برابر با ۲/۸ و ۱۰/۷ و ۲۸/۵ درصد بودند. یک مطالعه از ۷۹۲ رویکرد و تقاطع‌های چراغ دار از انواع خیابان‌ها نشان داد که میانگین اوج حجم ۱۵ دقیقه‌ای برابر ۲۹/۳ درصد از کل حجم ساعتی بود. ارتباط حجم‌های اوج ۵ دقیقه‌ای با حجم‌های ساعت اوج برای آزاد راههائی که در نواحی مختلف شهرهای بزرگ (متروپلیتن) با جمعیت‌های مختلف قرار دارند قابل دسترسی است. در نواحی شهری بزرگتر که مدت زمان اوج در آزاد راهها از یک ساعت بیشتر است، درصدهای اوج ۵ دقیقه‌ای به متوسط درصدهای ۵ دقیقه‌ای یعنی $8\frac{1}{3}$ درصد می‌رسد. زمان‌های اوج کوتاه مدت برای تعیین فراوانی فواصل زمانی موجود در ترافیک که برای عبور عابرین، ورود و قطع جریان توسط وسائل نقلیه و اندازه‌گیری خصوصیات ساعت اوج در تحلیل‌های ظرفیت کاربرد دارد، بسیار مهم است.

مدت زمان جریان‌های اوج در طراحی سیستم‌های کنترل ترافیک، مانند محدودیت‌های پارکینگ در ساعت اوج، محدودیت‌های حرکات گردشی (دور زدن) و زمان بندی چراغ‌های راهنمایی بسیار مهم است. طول مدت ترددهای اوج زمان‌های مناسب روز که این کنترل‌ها باید اعمال شود را مشخص می‌کند.

تغییرات ساعتی برای یک نوع از خیابان‌ها نسبتاً هماهنگ است، ولی ممکن است به نحو قابل توجهی برای یک نوع از خیابان‌ها نسبت به نوع دیگر آن‌ها تفاوت وجود داشته باشد. گزارش برنامه شمارش ترافیک در شهر سین سیناتی آمریکا هماهنگی خوبی را در الگوهای ساعتی ماههای سال برای گروهی از خیابان‌های مختلف، نشان داده است. حدود هشتاد درصد کل ترافیک ۲۴ ساعت در مسیرهای برون شهری و حدود هفتاد درصد در مسیرهای درون شهری در ۱۲ ساعت روشنائی روز حرکت خود را انجام می‌دهند.

تغییرات روزانه. سنگین ترین حجم‌های ترافیک روزانه برای راههای اصلی برون شهری در تعطیلات آخر هفته اتفاق می‌افتد. الگوهای نمونه برای آزاد راههای برون شهری در کالیفرنیا نشان می‌دهد که حداکثر تردد در روز شنبه که حدود صد و دوازده درصد متوسط تردد روزانه می‌باشد، اتفاق می‌افتد. تغییرات کلی روزهای هفته نسبتاً کم است. جاده‌های برون شهری تفریحی در نزدیکی شهرهای بزرگ در معرض سفرهای زیادی در آخر هفته هستند. برخی جاده‌های تفریحی کالیفرنیا حدود ۱۹۰ درصد جریان متوسط روزانه را در روز یکشنبه و حدود ۱۲۶ درصد را روز شنبه از خود عبور می‌دهند. سفرهای روزهای هفته در این مسیرها بطور متوسط حدود هفتاد درصد است، البته با یک تفاوت عمده در روز جمعه که متوسط درصد جریان روزانه آن به ۹۴ درصد می‌رسد. اگر چه جاده‌های برون شهری محلی مانند جاده‌های متصل به مزارع تغییرات مهمی را در جریان ساعتی نشان می‌دهند ولی در جریان ترافیک روزانه، بجز در ماه‌های زمستان که تغییرات عمده‌ای در آب و هوا نسبت به بقیه سال اتفاق می‌افتد، تغییرات ناچیزی وجود دارد.

در راههای شریانی شهری تغییرات عمده‌ای در ترافیک روزانه برای روزهای مختلف هفته بوجود نمی‌آید بهرحال سنگین‌ترین حجم ترافیک برای روزهای هفته در روز جمعه (آخرین روز هفته قبل از تعطیلی) اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال، روزهای جمعه جریان ترافیک شریانی‌های شهری در کالیفرنیا ۱۰۹ درصد، در شهر سین سنیانی از ۱۰۳ تا ۱۱۶ درصد و در شهر نیویورک حدود ۱۰۸ درصد از متوسط جریان روزانه را تشکیل می‌دهد. جاده‌های تفریحی شهر نیویورک در معرض تغییرات مهم فصلی قرار دارند و حداکثر سفرهای روزانه در تمام یکشنبه‌های سال اتفاق می‌افتد.

تغییرات ماهانه. در جاده‌های اصلی برون شهری، عموماً بزرگترین حجم ترافیک در طی ماه‌های تیر و مرداد (تابستان)، کمترین آن در طی ماه‌های زمستان (دی وبهمن) و حدوداً برابر با متوسط ماهانه در طی ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان اتفاق می‌افتد در کالیفرنیا ترافیک اوج در آزاد راه‌های برون شهری حدود ۱۴۵ درصد میانگین ماهانه طی ماه اوت بوده و ترافیک اوج جاده‌های تفریحی در ماه ژوئیه حدود ۱۸۰ درصد جریان متوسط ماهانه بوده است. جاده‌های برون شهری محلی در معرض تغییرات بیشتری نسبت به جاده‌ها برون شهری اصلی هستند. در ایالت مینه سوتای آمریکا سفرهای فصلی از حدود ۳۷ درصد *ADT* در ماه ژانویه تا ۲۴۲ درصد *ADT* در ماه ژوئیه تغییر نموده است.

تغییرات ماهانه در نواحی شهری معمولاً خیلی کوچکتر از نواحی برون شهری است ولی در جاده‌های تفریحی تغییرات فصلی کاملاً مشخص هستند. برای مثال در ایالت‌های نیویورک و کالیفرنیا برای مسیرهای آمد و شدی سفرهای اوج ماهانه حدود ۱۱۰ درصد میانگین می‌باشد، در حالی که برای مسیرهای تفریحی سفرهای اوج ماهانه حدود ۱۹۰ درصد میانگین است.

روندهای حجم ترافیک

حجم ترافیک در مناطق برون شهری و درون شهری بدون هیچگونه نشانه‌ای از ثابت ماندن یک افزایش دائمی را نشان می‌دهد. این مساله همچنین با مقدار وسیله نقلیه - کیلومتر سفرها نیز مشخص می‌شود. بطور متوسط نصف کل وسیله نقلیه - کیلومتر سفرها در مناطق درون شهری صورت می‌گیرد و در آینده به خاطر افزایش حاشیه نشینی یا گسترش شهرها، زیاد می‌شود. به استثنای سالهای جنگ و چند سال بعد از آن روند تغییرات سفرهای مردم بطور نزدیک تابع روند اقتصادی که بوسیله تولید ناخالص ملی *(GNP)* مشخص می‌شود، خواهد بود. اگر چه طبق روند تاریخی افزایش ترافیک با افزایش تولید ناخالص ملی همراه بوده است، ولی یک واگرایی بین روند تغییرات این دو پارامتر نیز بوجود آمده که نشان می‌دهد رشد ترافیک دارای شدت بیشتری نسبت به رشد *GNP* بوده است. اطلاعاتی که در جدول (۳-۹) آمده است نمایانگر روند افزایش سفرها در سطح کشور آمریکا است. در طول ۱۰ سال، از سال ۱۹۵۶ تا ۱۹۶۶، سفرهای سالانه در ایالت نیویورک به مقدار ۴۰ درصد افزایش پیدا کرده است. تخمین‌های *AADT* و حجم ساعتی طرح (بر اساس سی‌امین ساعت اوج) برای تمام و قسمت‌های کنترل ترافیک مسیرهای این ایالت نیز انجام شده است.

ترکیب ترافیک

ترکیب ترافیک درصدهای مختلف ماشین سواری، کامیون‌های با اندازه مختلف و اتوبوس‌ها که در ترافیک وجود دارد را نشان می‌دهد. اشتو ترکیب ترافیک را برای راه‌های برون شهری داده است. این اطلاعات برای قسمت‌های مختلف کشور آمریکا و همچنین میانگین کل نیز داده شده که عبارت است از ۸۷/۴ درصد ماشین‌های سواری، ۱۲/۱ درصد کامیون و ۰/۵ درصد اتوبوس. توزیع وسایل نقلیه به ثبت رسیده و سفرهای انجام شده با انواع وسایل نقلیه در جدول ۴-۹ نشان داده شده است.

جدول ۳-۹. روند تغییرات سفرهای انجام شده بر حسب وسیله نقلیه - کیلومتر در آمریکا

سال	کل سفر انجام شده برحسب وسیله نقلیه-کیلومتر	درصد سفرهای شهری	درصد افزایش در کل سفرهانسبت‌به ۱۹۵۵
۱۹۵۵	۹۶۵۴۳×۱۰^{۶}	۴۴/۴	-
۱۹۶۰	۱۵۰۱۵×۱۰^{۷}	۴۶/۱	۱۹/۲
۱۹۶۵	۱۴۲۰۲۲×۱۰^{۷}	۴۷/۷	۴۷/۱
۱۹۸۰	۲۰۴۴۰۰×۱۰^{۷}	۶۰/۶	۱۲۲

جدول ۴-۹ . انواع وسایل نقلیه ثبت شده و سفر انجام شده

سال	نوع وسیله نقلیه	تعداد و درصد وسایل نقلیه ثبت شده	سفر وسیله نقلیه-کیلومتر	درصد افزایش سفر نسبت به سال ۱۹۵۰
۱۹۵۰	اتومبیل	۴۰۳۳۹×۱۰^{۳} (٪۸۲)	۵۸۱۷۸۱×۱۰^{۶} (٪۷۹/۳)	-
	کامیون	۸۵۹۹×۱۰^{۳} (٪۱۷/۵)	۱۴۴۸۸۳×۱۰^{۶} (٪۱۹/۸)	-
	اتوبوس	۲۲۴×۱۰^{۳} (٪۰/۴۵)	۶۵۳۰×۱۰^{۶} (٪۰/۹)	-
۱۹۶۰	اتومبیل	۶۱۶۸۲×۱۰^{۳} (٪۸۳/۴)	۹۴۰۹۳۳×۱۰^{۶} (٪۸۱/۸)	۶۲
	کامیون	۱۱۹۱۴×۱۰^{۳} (٪۱۶/۲)	۲۰۲۲۵۴×۱۰^{۶} (٪۱۷/۶)	۴۰
	اتوبوس	۲۷۱×۱۰^{۳} (٪۰/۳۷)	۶۹۵۲×۱۰^{۶} (٪۰/۶)	۶/۷
۱۹۶۷	اتومبیل	۸۰۴۱۴×۱۰^{۳} (٪۸۲/۹)	۱۲۳۳۵۵۴×۱۰^{۶} (٪۸۰/۵)	۱۱۱
	کامیون	۱۶۱۹۳×۱۰^{۳} (٪۱۶/۷)	۲۹۰۳۱۲×۱۰^{۶} (٪۱۹/۰)	۱۹۰
	اتوبوس	۳۳۸×۱۰^{۳} (٪۰/۴)	۷۹۹۵۲×۱۰^{۶} (٪۰/۵)	۲۲

مدت زمانی حجم ترافیک ساعت اوج

تغییرات روزانه در سال

بر اساس اطلاعات ترافیک جمع آوری شده در طی سالهای ۱۹۳۶ تا ۱۹۴۱ در سرتاسر ایالات متحده آمریکا، یک مطالعه از ۴۸ راه برون شهری انتخاب شده در ۴۵ ایالت نشان داد که حجم ترافیک در ۱۶۰ روز سال از AADT برای یک مکان متوسط بیشتر شده است. در بعضی نقاط کمی بیشتر از هفتاد روز در سال حجم ترافیک از AADT فزونی یافته و در دیگر مکان‌ها به تعداد ۲۲۸ روز در سال این افزایش اتفاق افتاده است. بدین ترتیب تسهیلاتی که فقط برای متوسط ترافیک یک روز طراحی شده‌اند، بطور حتم برای قسمت اعظمی از سال ترافیک بالایی خواهند داشت. در کمترین روز حجم بین ۳۰ تا ۵۰ درصد AADT و ترافیک روز اوج بین ۱۴۰ تا ۳۴۰ درصد (با یک متوسط ۲۳۰ درصد) AADT بود.

تغییرات ساعتی سالیانه

حجم ترافیک در طی فاصله زمانی کوتاه تر از یک روز بیشتر نشان دهنده شرایط عملکردی است که باید برای طراحی استفاده شود البته اگر قرار باشد طراحی بطور کامل برای ترافیک انجام شود. از این نقطه نظر زمان‌های غالباً کوتاه ولی مکرراوج روزانه دارای اهمیت هستند. تقریباً در تمام حالت‌ها یک دوره زمانی یک ساعته کافی و عملی می‌باشد.

الگوی ترافیک هر جاده تغییرات قابل ملاحظه‌ای در حجم‌های ترافیک در طی ساعت‌های مختلف روز و حتی تغییرات بزرگتری را در حجم‌های ساعتی سرتاسر سال نشان می‌دهد. در مورد اینکه کدام یک از این حجم‌های ساعتی برای طراحی مورد استفاده قرار گیرد باید تصمیم گیری شود؛ اینکه حجم ساعتی حداکثر که ممکن است فقط چند مرتبه در سال اتفاق افتد را در نظر بگیریم اقتصادی نخواهد بود. از طرف دیگر حجم ساعتی طرح نباید در اغلب مواقع پائین‌تر باشد. یک راهنمای عالی در تصمیم گیری در مورد بهترین ترافیک ساعتی مناسب برای طراحی، منحنی نمایش تغییرات حجم ترافیک ساعتی در طی سال است. مثال‌هایی از الگوهای ترافیک سالانه برای انواع مختلف راهها فراهم شده است. با در نظر گرفتن الگوی ترافیک سالیانه قابل استفاده ترین حجم ساعتی را برای اهداف طراحی می‌توان تعیین نمود. مطالعه این منحنی‌ها به ما نشان می‌دهد که در حدود سی‌امین ساعت حداکثر شیب منحنی به شدت تغییر می‌کند و در همین نقطه نسبت سود به هزینه حداکثر می‌باشد. طراحی برای حجم ترافیک ساعتی که بیش از ۳۰ مرتبه در سال حجم از آن بیشتر نشده باشد از نظر منافع استفاده کننده حداقل بازگشت را خواهد داشت، در صورتی که اگر طراحی برای پنجاهمین حجم ترافیک ساعتی در سال انجام نشده باشد، صرفه جوئی کمی در هزینه‌های اجرائی و ضرر زیادی در منافع استفاده کنندگان را به دنبال خواهد داشت با توجه به این مطلب طراحی برای حداکثر مرتبه پنجاهم معمولاً قابل توجیه است، در صورتیکه یک طرح که بتواند حجم‌های بیش از حداکثر مرتبه سی‌ام را سرویس دهد زیاد قابل دفاع نمی‌باشد.

نتایج تحلیل اطلاعات شمارش ترافیک برای ۱۷۱ ایستگاه در ۴۸ ایالت، در جاده‌های اصلی برون شهری، معلوم کرده است که با متوسط تغییر در جریان ترافیک، حجم ساعتی اوج در حدود ۲۵ درصد از AADT است. (با در نظرگرفتن اثرات آب و هوا، این مقدار در قسمت شمالی آمریکا۲۸ درصد و در قسمت جنوبی آن کشور ۲۵ درصد است). در ۱۵ درصد از نقاط حجم ساعتی اوج از ۳۲ درصد AADT بیشتر نشده است (مقدار حداکثر ۷۰ درصد AADT بوده است). در ۱۵ درصد از مکان‌ها حجم ساعتی اوج به کمتر از ۱۶ درصد AADT رسید (مقدار حداقل ۱۰ درصد AADT بوده است).

سی‌امین حجم ساعتی ماکزیمم بین هشت تا ۳۸ درصد AADT با میانگین برابر ۱۵ درصد AADT تغییر کرده است. سی‌امین حجم ساعتی کمتر از ۱۰ درصد فقط در دو درصد محل‌ها و بزرگتر از ۲۰ درصد فقط در ۱۶ درصد محل‌ها بود. بهرحال در جاده‌های تفریحی سی‌امین حجم ساعتی ممکن است به ۳۸ درصد AADT برسد. (جدول ۵-۹ را ببینید). قابل توجه است که خصوصیات حجم شبیه آنچه ذکر شد برای جاده‌های واقع در سوئیس نیز وجود دارد، که در جدول ۶-۹ نشان داده شده است.

جدول ۵-۹ . تخمین‌های ساعت اوج، درصدی از حجم AADT در آمریکا

نوع راه	ساعات اوج		
	سی امین	پنجاهمین	صدمین
راه عمدتاً تفریحی	۳۸	۳۴	۲۸
راه نیمه تفریحی	۲۳	۲۱	۱۸
راه محلی برون شهری	۲۰	۱۸	۱۷
راه‌های حاشیه شهری	۱۲	۱۱	۱۰
راه‌های عبوری شهری	۸	۸	۷/۵

جدول ۶-۹. تخمین‌های ساعت اوج، کشور سوئیس

نوع راه	ساعات اوج-درصد AADT		
	سی امین	پنجاهمین	صدمین
راه عمدتاً تفریحی	۳۲	۲۷	۲۲
راه نیمه تفریحی	۱۹	۱۷	۱۵
راه اصلی برون شهری	۱۷	۱۶	۱۴

مطالعات گذشته نشان می‌دهد که سی‌امین حداکثر حجم ساعتی، بر اساس درصد، تغییرات ناچیزی در سال داشته است. این خصوصیت ارزش آنرا، بعنوان یک معیار طراحی بسیار افزایش می‌دهد. بهرحال مطالعات اخیر نشان داده است که این پارامتر نسبت به زمان تمایل جزئی به کم شدن نشان می‌دهد.

تحلیل اطلاعات ترافیک جمع‌آوری شده در سال‌های ۱۹۶۱ و ۱۹۶۲ در سرتاسر ایالات متحده امریکا روابط نشان داده شده در جدول ۷-۹ بین ساعات اوج و *AADT* را، برای انواع مختلف تسهیلات، پدیدار نموده است. نتایج مشابهی از یک مطالعه در مورد روند تغییرات سی‌امین حجم حداکثر ساعتی در یک دوره ۱۰ ساله در ۱۶۹ ایستگاه شمارش در نیوجرسی آمریکا بدست آمده و نتایج زیرین گزارش شده است:

۱- ضریب سی‌امین ساعت اوج معمولاً، با افزایش *AADT*، کاهش نشان می‌دهد.

۲- نرخ کاهش برای ضرایب بالای سی‌امین ساعت اوج از ضرایب پائین سی امین ساعت اوج بیشتر است. برای مثال، میانگین نرخ تغییرات سالانه به ۰/۱۳۳- درصد وقتی که سی امین ساعت اوج ده تا ۱۵ درصد *AADT* باشد، و به ۰/۵۹- درصد وقتی که سی‌امین ساعت اوج ۳۰ تا ۴۰ درصد *AADT* باشد می‌رسد.

۳- جمعیت کم و مناطقی که بطور پراکنده توسعه یافته‌اند ضریب سی امین حداکثر حجم ساعتی بیشتری داشتند.

۴- روشی نیز برای تخمین تغییراتی که در ضریب ساعت اوج، برای یک مدت زمان مشخص، اتفاق می‌افتد بدست آمد.

یک منحنی نمایی برای پیش بینی روز / نرخ کاهش ضریب سی‌امین ساعت اوج بدست آمده است. نرخ کاهش ۲/۳ درصد، که به صورت ربح مرکب برای یکسال جمع شود، به بهترین شکل در رابطه زیر بیان شده است:

$$y = b^x (a - ۴/۲) + ۴/۲ \qquad (۹-۱)$$

که در آن:

y = فاکتور سی‌امین ساعت اوج برای آینده

b = نرخ کاهش (بطور ثابت برابر ۰/۹۷۷، بر اساس ۲/۳ درصد که به صورت ربح مرکب جمع شود)،

x = تعداد سال‌های آینده،

a = ضریب مرتبه سی‌ام موجود.

اطلاعات بدست آمده در چهار سال برای آزمایش و تائید فرمول فوق مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که بسیار رضایت بخش است. تحلیل اطلاعات یک ایستگاه شمارش در پنسیلوانیا نشان داده است که منحنی روند نمایی برای پیش بینی کاهش در ضریب سی‌امین ساعت اوج معتبر بوده ولی نرخ کاهش آن ۱/۴ درصد، در مقایسه با ۲/۳ درصد مربوط به ایالت نیوجرسی، شده است. برای یک دوره سه ساله از ۱۹۶۴ تا ۱۹۶۷، شواهد کافی مبنی بر وجود کاهش مشابه در ضریب سی‌امین ساعت اوج در ایالت نیویورک بدست نیامد.

یک تحلیل برگشتی خطی از اطلاعات بدست آمده از ایستگاه‌های شمارش دائمی که برای دوره‌ای چند ساله در جاده‌های اصلی برون شهری ایالت ویسکانسین آمریکا بعمل آمده است رابطه زیر را برای برآورد احجام سی امین ساعت اوج از حجم های *AADT* بدست می‌دهد. این ایستگاه‌ها به گروه‌هائی که الگوی ترافیکی مشابهی را منعکس می‌کردند تقسیم شدند. جدول (۸-۹) را ببینید.

y_c = حجم سی امین ساعت اوج

x = حجم *AADT*

PTR = ثبت کننده ترافیک ثابت

روش‌های شمارش کوتاه برای مطالعات حجم

دلایل روش‌های شمارش کوتاه

در موارد زیادی ممکن است نیروی انسانی، زمان و محدودیت‌های مالی انجام شمارش‌های طولانی را توجیه نکند. شمارش‌های دستی این مزیت را نسبت به شمارش‌های ماشینی دارد که در شمارش‌های دستی، طبقه بندی و حرکات گردشی بدست می‌آید. در صورتیکه با کاهش زمان لازم برای بدست آوردن اطلاعات قابل اطمینان بتوان هزینه‌ها را تقلیل داد. از این نوع شمارش‌ها غالباً استفاده خواهد شد. انجام شمارش کوتاه در چند نقطه و چندین دفعه در روز شمارش در نقاط بیشتری را، توسط افرادی که قاعدتاً در ایستگاه‌های شمارش دائمی انجام وظیفه می‌کنند، ممکن می‌سازد. در همان زمان اطلاعات شمارش دستی نیز تهیه خواهد شد.

جدول ۷-۹ . ساعت‌های اوج، درصد AADT

نوع تسهیلات	یک جهت			هردو جهت		
	حداکثر	سی‌امین	دویستمین	حداکثر	سی‌امین	دویستمین
آزاد راههای برون شهری	۲۳/۶	۱۵/۴	۱۱/۴	۱۸/۳	۱۳/۵	۱۰/۹
بزرگراه‌های برون شهری	۲۱/۵	۱۴/۱	۰/۶	۱۹/۲	۱۲/۷	۹/۷
راههای برون شهری بیش از دوخط	۲۱/۲	۱۳/۷	۱۰/۳	۱۶/۴	۱۲/۷	۹/۹
راههای دو خطه دوطرفه	-	-	-	۱۹/۷	۱۳/۶	۱۱/۲
آزاد راههای شهری	۱۵/۰	۱۲/۷	۱۰/۷	۱۳/۶	۱۱/۰	۹/۶
بزرگراههای شهری	۱۴/۶	۱۱/۴	۸/۹	۱۱/۶	۹/۵	۸/۳
خیابانهای با بیش از دو خط	۱۳/۸	۱۱/۱	۹/۶	۱۲/۰	۱۰/۰	۸/۷
خیابان‌های دوخطه دوطرفه	-	-	-	۱۳/۴	۱۰/۶	۹/۰

جدول ۸-۹ . رابطه بدست آمده برای تخمین سی امین ساعت‌های اوج

گروه الگو PTR	تعداد ایستگاه‌ها	AADT سال ۱۹۶۱	معادل برگشتی خطی	سی‌امین ساعت تخمین زده شده	درصد نسبت به AADT واقعی
۱	۴	۵۹۶۳	$y_c = ۵۶ + ۰/۱۱۶۵۸x$	۱۲/۷	۱۲/۲
۲	۶	۲۲۴۶۲	$y_c = ۴۶ + ۰/۱۱۴۳۹x$	۱۱۳/۲	۱۲/۲
۳	۸	۴۱۳۳	$y_c = ۶۰ + ۰/۱۳۴۳۷x$	۱۴/۹	۱۴/۹
۴	۵	۳۳۷۷	$y_c = ۱۶ + ۰/۱۵۹۱۲x$	۱۶/۴	۱۶/۲
۵	۳	۲۶۹۴	$y_c = ۸ + ۰/۱۸۷۴۷x$	۱۹/۰	۱۹/۳
۶	۵	۱۲۳۲	$y_c = ۲۶ + ۰/۱۳۲۲۵x$	۱۵/۴	۱۴/۶

روش‌های شمارش کوتاه شماره ۱

این روش مستلزم شمارش برای مدت‌های کوتاه ۵، ۶، ۱۰ یا ۱۲ دقیقه در هر محل یا ایستگاه برای هر ساعت است. اگر شمارش ترافیک در هر ایستگاه برای تمام ۵ دقیقه‌های هر ساعت از مدت شمارش، مثلاً ۷ صبح تا ۷ بعدازظهر انجام شده باشد، و با فرض اینکه مدت زمان پیمودن بین دو ایستگاه ۵ دقیقه باشد، آمارگیر می‌تواند ۶ ایستگاه را به اتمام برساند. تردد ساعتی در هر ایستگاه با ضرب نمودن شمارش ۵ دقیقه‌ای در ۱۲ بدست می‌آید.

در بعضی ایستگاه‌های کنترل نمونه، که در کل منطقه شمارش انتخاب می‌شوند، شمارش‌های روزانه در مدت آمارگیری، ولی نه بطور پیوسته، انجام می‌شود. شمارش حجم برای همان فاصله زمانی مانند دیگر ایستگاه‌ها مثلاً ۵ دقیقه انجام می‌گیرد. شمارش در این ایستگاه‌های کنترل برای تعدیل شمارش‌های انجام شده در قسمت‌های مختلف و در روزهای مختلف بر یک اساس مشترک مورد نیاز است، در صورتیکه تمام شمارش‌ها بطور همزمان و در یک روز تهیه نشده باشد.

دقت روش شمارش کوتاه مدت بسیار بستگی به مقدار ترافیک دارد. برای حجم ترافیک سنگینتر، دقت بیشتر لازم است به دلیل اینکه شمارش کوتاه مدت (مثلاً برای ۵ دقیقه) به درصد میانگین ۵ دقیقه‌ای $8\frac{1}{3}$ درصد می‌رسد. وقتی ترافیک سبک نباشد و یا نامنظمی زیاد وجود نداشته باشد، شمارش‌های ۵ یا ۶ دقیقه‌ای کاملاً رضایت بخش هستند.

روش‌های شمارش کوتاه شماره ۲

این روش مستلزم شمارش برای نیم ساعت بین ۹ تا ۱۱ صبح و نیم ساعت بین ۲ تا ۴ بعدازظهر در یک روز و در هر ایستگاه است. شمارش‌ها بر اساس این فرض منطقی به چهار ساعت غیر اوج محدود شده‌اند که حجم ترافیک در طی این اوقات روز معمولاً ثابت تر بوده و در معرض حداقل تفاوت از یک روز به روز دیگر هستند، بنابراین نمونه‌های قابل اعتمادی فراهم می‌شود. سپس این شمارش‌های ساعتی با در نظر گرفتن ضرایب متناسب بدست آمده از شمارش‌های انجام شده در ایستگاه‌های کنترل بسط داده می‌شوند. مبنای نظری این روش

این است که درصد ترافیک هر مدت مشخصی از روز نسبت به آن روز برای تمام مسیرها و نقاطی که قرار می‌گیرند ثابت است.

بسط و تعدیل شمارشهای حجم ترافیک

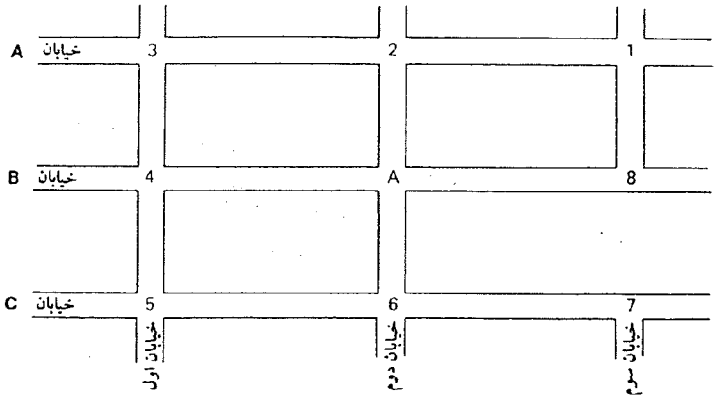
بسط و تعدیل شمارش‌های کوتاه مدت و شمارش‌های پوشاننده به یک مبنای مشترک ضروری است و در غیر این صورت ممکن نیست قابل مقایسه باشند. برای مثال، یک شمارش پوششی ۲۴ ساعته تهیه شده در یک روز چهارشنبه ماه ژانویه را نمی‌توان با یک شمارش پوشاننده ۲۴ ساعته تهیه شده در یک روز جمعه ماه اوت مقایسه کرد مگر اینکه بر یک مبنای مشترک تعدیل شده باشند. *AADT* مطلوب ترین مبنا می‌باشد به دلیل اینکه مقدار متوسط یک سال را نشان می‌دهد و پر استفاده‌ترین مقدار ترافیکی برای نشان دادن سطح سرویس فراهم شده در تسهیلات حمل و نقل است. برای مطالعات با جامعیت کم‌تر، روز متوسط از دوره شمارش را می‌توان برای مقایسه ایستگاه‌ها در یک ناحیه محدود مورد استفاده قرار داد.

فراوان‌ترین موقعیتی که اتفاق می‌افتد آنست که شمارش انجام شده در یک ایستگاه پوشاننده به یک *ADT* تخمینی تبدیل شود. این عمل با بکارگیری ضرایب بدست آمده در ایستگاه‌های کنترل در مورد شمارش‌های پوشاننده انجام می‌شود. ایستگاه‌های کنترل بر دو نوع هستند: ایستگاههای شمارش دائمی که در آنها ترافیک بطور پیوسته برای یک سال شمارش می‌شود، و ایستگاههای کنترل فصلی که شمارش‌های مختلف در آنها به شکلی انجام می‌شود که رابطه بین حجم ترافیک فصلی یا ماهانه و *ADT* را بتوان بدست آورد.

استفاده از ضرایب بدست آمده در ایستگاه‌های کنترل برای تعدیل شمارش‌های پوششی بر این فرض منطقی استوار است که تسهیلات مشابه در یک منطقه دارای الگوهای ترافیکی یکسان هستند. بنابراین فقط لازم است ایستگاه کنترلی را مورد شناسایی قرار داد که دارای الگوی ترافیک مشابه با ایستگاه پوششی، برای بدست آوردن ضرایب تعدیل مناسب، باشد کل حجم ۲۴ ساعته در محل‌های مختلف یک ناحیه ممکن است بطور قابل ملاحظه‌ای متغیر باشد، ولی درصد کل حجم ثبت شده در هر ساعت بخصوص روز احتمالاً در تمام ایستگاه‌های ناحیه مشابه یکدیگرند. اگر چه حجم‌های ترافیک از یک ماه به ماه دیگر تغییر می‌کنند، ولی ارتباط هر حجم ماهانه به حجم سالانه بطور نسبتاً خوبی در یک مدت زمان چند ساله یکنواخت می‌ماند.

تعدیل شمارش‌های انجام شده در یک ناحیه محدود

در بررسی حجم برای برنامه ریزی‌های اولیه ترافیک، چندین محل را در یک مطالعه قرار می‌دهند. رابطه میان حجم‌های نقاط مختلف اهمیت زیادی دارد، و باید آنها را تعدیل نمود تا اینکه نماینده یک روز متوسط برای مدت شمارش شده یا یک روز بخصوص باشند. برای رسیدن به این منظور لازم است شمارش‌های ایستگاه کنترل در همان روزهائی که شمارش‌های پوشاننده اطراف انجام می‌گیرد، انجام شود. لازم است در هر یک از مناطق مختلف یک ایستگاه کنترل، مثلاً یکی در منطقه مرکزی تجاری *(CBD)*، یکی در منطقه مسکونی، یکی در منطقه صنعتی و غیره در نظر گرفته شود، البته در صورتیکه ناحیه تحت پوشش شامل بیش از یک نوع منطقه باشد. در هر منطقه حداقل یک ایستگاه کنترل باید انتخاب شود، بطوریکه الگوی ترافیک نمایانگر تمام حرکت‌ها در هر منطقه‌ای از کل ناحیه باشد. بعنوان مثال، محدوده اطراف یک منطقه تجاری مرکزی *(CBD)* را، که از خیابان‌های مختلف تشکیل شده است، مانند شکل ۲-۹، در نظر بگیرید. فرض کنید برنامه شمارش برای ۱۲ ساعت در هر ایستگاه پوشاننده تهیه شده، و با تعداد مشاهده گرهای موجود در هر روز تنها می‌توان شمارش را در یک ایستگاه پوشاننده و در یک ایستگاه کنترل انجام داد. در نتیجه برای تکمیل شمارش‌های حجم، برای هشت ایستگاه شمارش هشت روز وقت لازم است. برنامه شمارش‌ها در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. شمارش در ایستگاه کنترل *A* برای ۱۲ ساعت هشت روزی که شمارش در ایستگاه پوشاننده انجام می‌گیرد، اجرا می‌شود. از شمارش‌ها در ایستگاه کنترل میانگین گرفته شده و یک ضریب تبدیل برای هر روز بدست می‌آید. این ضریب نشان می‌دهد که ترافیک در آن روز بخصوص نسبت به روز متوسط بدست آمده از ایستگاه کنترل چه مقدار کمتر و یا بیشتر است. فرض می‌شود که اگر شمارش‌ها در همان روز انجام می‌شد نسبت‌های یکسانی برای هر ایستگاه پوشاننده بدست می‌آمد. دقت تعدیل شمارش‌ها بر این فرض اساسی استوار است. برای تبدیل هر شمارش پوشاننده به روز متوسط، در هر دوره شمارش و برای یک منطقه، شمارش پوشاننده به نسبت بدست آمده در ایستگاه کنترل برای آن روز تقسیم می‌شود. به این ترتیب شمارش‌های تعدیل شده در هر ایستگاه پوشاننده قابل مقایسه خواهند بود، زیرا تغییرات حجم از یک روز به روز دیگر را منعکس نمی‌کند.



سیستم شمارش‌های حجم در یک ناحیه مرکزی تجاری

تعدیل شمارش‌های ایستگاه پوشاننده

روز	کل تردید ۱۲ ساعته در ایستگاه	نسبت روز متوسط کل شمارش ناحیه	ایستگاه پوشاننده	کل شمارش ۱۲ ساعته	حجم ترافیک تعدیل شده
دوشنبه	۹۰۰۰	۱/۰۵	۱	۲۵۰۰	۲۴۰۰
سه شنبه	۸۵۰۰	۰/۹۹	۲	۹۶۰۰	۹۷۰۰
چهارشنبه	۸۳۰۰	۰/۹۷	۳	۴۸۰۰	۵۰۰۰
پنجشنبه	۸۶۰۰	۱/۰۰	۴	۹۲۰۰	۹۲۰۰
جمعه	۹۱۰۰	۱/۰۶	۵	۵۲۰۰	۴۹۰۰
دوشنبه	۸۸۰۰	۱/۰۳	۶	۷۹۰۰	۷۷۰۰
سه شنبه	۸۳۰۰	۰/۹۷	۷	۲۱۰۰	۲۲۰۰
چهارشنبه	۸۱۰۰	۰/۹۵	۸	۳۵۰۰	۳۷۰۰

کل=۶۸۷۰۰، روز متوسط = ۸۵۸۸

برنامه شمارش برای $\frac{1}{2}$ ساعت بین ۹ تا ۱۱ صبح و $\frac{1}{2}$ ساعت بین ۲ تا ۴ بعد از ظهر در یک روز

ایستگاه پوشاننده	روز	ساعت‌های شمارش
۱	دوشنبه	۹ تا ۹:۳۰ صبح
۲	دوشنبه	۹:۴۵ تا ۱۱:۱۵ صبح
۳	دوشنبه	۱۰:۳۰ تا ۱۱:۰۰
۱	دوشنبه	۲:۰۰ تا ۲:۳۰ بعداز ظهر
۲	دوشنبه	۲:۴۵ تا ۳:۱۵ بعدازظهر
۳	دوشنبه	۳:۳۰ تا ۴:۰۰ بعداز ظهر
۴	سه شنبه	۹:۰۰ تا ۹:۳۰ صبح، ۲:۰۰ تا ۲:۳۰ بعدازظهر
۵	سه شنبه	۹:۴۵ تا ۱۰:۱۵ صبح، ۲:۴۵ تا ۳:۱۵ بعداز ظهر
۶	سه شنبه	۱:۳۰ تا ۱۱:۰۰ صبح، ۳:۳۰ تا ۴:۰۰ بعداز ظهر
۷	چهارشنبه	۹:۰۰ تا ۹:۳۰ صبح، ۲،۰۰ تا ۲:۳۰ بعد از ظهر
۸	چهارشنبه	۹:۴۵ تا ۱۰:۴۵ صبح، ۲:۴۵ تا ۳:۱۵ بعد از ظهر

شکل ۲-۹ . مثال تعدیل‌های شمارش منطقه

بسط شمارش‌های انجام شده با روش شمارش کوتاه شماره ۲

با در نظر گرفتن ناحیه تجاری مرکزی مثال قبل، همان ایستگاه کنترل و ایستگاههای پوشاننده انتخاب می‌شود، اگر چه برنامه شمارش متفاوت می‌باشد. بجای شمارش در ایستگاه پوشاننده برای ۱۲ ساعت شمارش برای نیم ساعت بین ۹ تا ۱۱ صبح و برای نیم ساعت بین ۲ تا ۴ بعدازظهر در یک روز انجام خواهد شد. برنامه شمارش همانگونه که در شکل ۲-۹ نشان داده شده است نشان داده شده است. در ایستگاه کنترل A شمارش برای ۱۲ ساعت در روزهای دوشنبه، سه شنبه و چهارشنبه انجام می‌شود تا اطلاعات اساسی برای تبدیل شمارش‌های کوتاه مدت ایستگاههای پوشاننده به حجم کل ۱۲ ساعته فراهم شود. جمع ترددهای نیم ساعته در ایستگاه کنترل برای اجزاء شمارش‌های انجام شده در ایستگاههای پوشاننده به صورت درصدی از کل تردد ۱۲ ساعته برای هر روز بیان می‌شوند.

از این درصدها برای بسط شمارش‌های کوتاه مدت و بدست آوردن جمع ۱۲ ساعته تخمینی برای روز شمارش استفاده می‌شود. با این ترددهای ۱۲ ساعته تخمینی درست همان برخوردی صورت می‌گیرد که با ترددهای ۱۲ ساعته بدست آمده در هر یک از ایستگاه‌های پوشاننده، بطوری که در قسمت‌های قبل تشریح گردیده، برخورد می‌شود.

روش تعدیل دیگری که می‌توان مورد استفاده قرار داد، با پیدا کردن ترددهای ۰/۵ ساعته در ایستگاه‌های کنترل (که به صورت درصدی بیان می‌شود) و ترکیب تمام شمارش‌های روزانه انجام شده در ایستگاه‌های کنترل، بدست می‌آید. استفاده از این درصدهای ۰/۵ ساعته تعدیل با ضرایب بدست آمده از ایستگاه‌های کنترل را ضروری نمی‌سازد، زیرا تعدیل لازم در شمارش‌های تخمینی با توجه به میانگین‌گیری از حجم‌های ۰/۵ ساعته در ایستگاه‌های کنترل انجام شده است.

مثال: فرض کنید شمارش کوتاه مدت انجام شده در ایستگاه شماره ۴ در روز سه شنبه نشان داده است که مجموعاً ۳۵۸ وسیله نقلیه بین ساعت ۹ تا ۹/۵ صبح و ۴۱۰ وسیله نقلیه بین ساعت ۲ تا ۲/۵ بعد از ظهر وارد محدوده مرکزی شده است. درصدهای مربوطه در ایستگاه کنترل برای همان روز سه شنبه ۳/۸۲ و ۴/۰۹ درصد می‌باشد.

تخمین تردد ۱۲ ساعته در ایستگاه شمارش ۴ بر اساس نمونه‌گیری صبح:

$$\frac{۳۵۸}{۰/۰۳۸۲} = ۹۴۰۰۰$$

تخمین تردد ۱۲ ساعته در ایستگاه شمارش ۴ بر اساس نمونه‌گیری بعد از ظهر:

$$\frac{۴۱۰}{۰/۰۴۰۹} = ۹۸۰۰$$

تخمین تردد ۱۲ ساعته در ایستگاه شمارش ۴ برای روز سه شنبه:

$$\frac{۹۴۰۰۰+۹۸۰۰}{۲} = ۹۶۰۰$$

تخمین تردد ۱۲ ساعته در ایستگاه شمارش ۴ برای مدت شمارش:

$$\frac{۹۶۰۰۰}{۰/۹۹} = ۹۷۰۰۰$$

تعدیل شمارش‌های ایستگاه پوشاننده به ADT

روش زیر همراه با روش توصیه شده توسط کمیته ملی حمل‌و نقل شهری برای برنامه‌ریزی شمارش‌های حجم دوره‌ای در نواحی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تبدیل شمارش‌های ایستگاه پوشاننده به ADT از ضرایب بدست آمده در ایستگاه کلیدی استفاده می‌شود. ایستگاه کلیدی برای یک شمارش ۲۴ ساعته نیز در همان روزهای هفته در هر ماه سال برای بدست آوردن ضرائب تغییرات فصلی انجام می‌گیرد.

$$DF = \text{ضریب روزانه} = \frac{\text{متوسط هفت‌روز برای شمارش ۲۴ ساعته}}{\text{شمارش ۲۴ ساعته برای یک روز بخصوص}}$$

$$DS = \text{ضریب روزانه} = \frac{\text{متوسط شمارش ۲۴ ساعته برای ۱۲ ماه}}{\text{شمارش ۲۴ ساعته برای یک ماه بخصوص}}$$

شمارش ۲۴ ساعته در یک ایستگاه پوشاننده در یک روز و ماه بخصوص را به شکل زیر می‌توان به ADT تبدیل نمود:

$$ADT = \text{شمارش پوشاننده} \times DF \times SF$$

حجم جهتی ساعت اوج برای ایستگاه پوشاننده را می‌توان با ضرب نمودن ADT تخمینی در ضریب بدست آمده از شمارش ایستگاه کنترل اصلی آن خیابان بدست آورد.

ضرایب بسط و تبدیل از ایستگاه‌های شمارش دائمی

تبدیل‌های ساعتی. درصد حجم کل روزانه برای هر ساعت و یا درصد متوسط حجم ساعتی برای هر ساعت تعیین می‌شوند. این مقادیر شبیه آنچه در جدول ۹-۹ آمده است مرتب می‌شود. در صد کل حجم روزانه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد کل حجم روزانه} = \frac{\text{متوسط حجم برای ساعت خاص}}{\text{متوسط حجم برای دوره ۲۴ ساعته}}$$

این مقادیر برای تعدیل ساعتی و بسط شمارش‌های دائمی کوتاهتر از ۲۴ ساعت برای کسب حجم تخمینی ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تعدیل‌های روزانه. درصد کل حجم هفتگی برای هر روز و درصد متوسط حجم روزانه برای هر روز تعیین می‌شوند. درصد دوم به یک ضریب افزایشی که حجم در یک روز خاص را به حجم متوسط روزانه در هفته تبدیل می‌کند منجر می‌شود.

$$\frac{\text{حجم متوسط در روز مشخصی}}{\text{حجم کل متوسط هفتگی}} = \text{درصد حجم کل هفتگی}$$

$$\frac{\text{حجم کل متوسط هفتگی تقسیم بر هفت}}{\text{حجم متوسط در روز مشخص}} = \text{ضریب}$$

تعدیل‌های فصلی. درصد حجم کلی سالانه برای هر ماه و در صد حجم متوسط ماهانه برای هر ماه تعیین می‌شوند.

$$\frac{\text{حجم کل در ماه مشخص}}{\text{حجم کل سالانه}} = \text{درصد حجم کل سالانه}$$

$$\frac{\text{حجم کل سالانه تقسیم بر دوازده}}{\text{حجم کل در ماه مشخص}} = \text{ضریب}$$

برای مثال، فرض کنید که شمارش هشت ساعته (۷ تا ۱۱ صبح و ۲ تا ۶ بعد از ظهر) در روز سه شنبه در ماه مه *(May)* انجام شده است. اگر این شمارش هشت ساعته معادل ۶۳۰۰ وسیله نقلیه باشد. مقدار *ADT* را برای این ایستگاه برآورد کنید. با توجه به جدول تغییرات ساعتی شمارش ۸ ساعته ۴۷/۶ درصد از کل حجم ۲۴ ساعته را تشکیل می‌دهد، و بنابراین ضریب برابر با: $\frac{۱۰۰}{۴۷/۶}$ = ۲/۰۹. حجم تخمینی ۲۴ ساعته برابر است با: ۱۳۲۰۰ = ۶۳۰۰ × ۲/۰۹ وسیله نقلیه با توجه به جدول تغییرات روزانه ضریب روز سه شنبه برابر با ۱/۱۲۱ بدست می‌آید. در نتیجه، حجم روزانه متوسط برابر خواهد شد با:

وسیله نقلیه ۱۴۸۰۰ = ۱۳۲۰۰ × ۱/۱۲۱

با توجه به جدول تغییرات ماهانه ضریب ماه مه برابر است با: ۰/۹۴۹، بنابراین *ADT* تخمینی برابر می‌شود با:

وسیله نقلیه ۴۱۰۰ = ۱۴۸۰۰ × ۰/۹۴۹

جدول (۹-۹) مثالی است از یک جدول ضریب تغییرات. چنین جدول‌هائی باید برای هر ناحیه‌ای از سیستم راه‌های با مشخصات همگن ترتیب داده شود.

ضرایب بسط و تعدیل برای ایستگاه‌های کنترل

دستورالعمل زیر که توسط *BPR* پیشنهاد شده، روشی را برای بسط شمارش‌های ایستگاه پوشاننده برون شهری با استفاده از ضرایب بدست آمده از شمارش‌های ایستگاه کنترل که در تمام طول سال ادامه دارد، توصیف می‌کند. این روش مشابه روشی است که بر مبنای اطلاعات بدست آمده از ایستگاه‌های شمارش دائمی استوار است.

دستور العمل اداره راه‌های عمومی (BPR)

موضوع: بسط شمارش‌های ترافیکی پوشاننده

تقاضای رسیده نیاز به یک روش عملی برای محاسبه ضرایب به منظور بسط شمارش‌های ترفیکی پوشاننده جاده‌های برون شهری را نشان داده‌اند. برای برطرف نمودن این نیاز دو جدول ضمیمه روش محاسبه این ضرایب را نشان می‌دهد.

به این منظور دو ایستگاه کنترل اصلی و چهار ایستگاه کنترل فرعی در نظر گرفته شده است، اگر چه در عمل معمولاً تعداد زیادی از ایستگاه‌ها در یک سیستم کنترل ترکیب می‌شوند. جدول ۱۰-۹، طرز عمل روزهای هفته و محاسبه ضرایب نهایی، و جدول ۱۱-۹ محاسبه مقدار ثابت که نشان‌دهنده ارتباط متوسط در سال از یک هفته با میانگین سالیانه است را نشان می‌دهند.

درجدول ۱۰-۹ تحت عنوان "وسایل نقلیه" میانگین‌های ۲۴ ساعته‌ای از شمارش ۴۸ ساعته یا طولانی‌تر در شمارش‌های روزانه هفته، و زیر عنوان "ضریب" نسبت *K* متوسط سالیانه به هر یک از میانگین‌های ماهانه گزارش شده است. اعتقاد بر این است که بقیه محاسبات گویا هستند. در محاسبه نسبت *M* همانطورکه در جدول ۱۱-۹ نشان داده شده، مقدار *K* برابر واحد است. می‌توان معادله را برای مقدار ثابت *C* به گونه‌ای نوشت که عدد ۵ در صورت معرف ۵ روز هفته باشد. با تقسیم صورت به هفت، مقدار میانگین یک روز از هفته بدست می‌آید.

اگر الگوی جریان ترافیک معلوم باشد، اطلاعات یک نقطه منفرد در الگو، تخمین بقیه الگو را ممکن می‌سازد. در عمل فرض بر این است که تعدادی از ایستگاه‌های پوشاننده الگوی ترافیکی مشابهی دارند. سپس از ایستگاه‌های کنترل که انتظار می‌رود دارای الگوهای مشابه با ایستگاه‌های پوشاننده باشند، الگوی معادل که همان متحمل‌ترین حالت برای گروه ایستگاه‌ها است محاسبه می‌شود. خصوصیات خوب این روش که در اینجا نشان داده شده، این است که برای هر ایستگاه کنترل الگو به صورت نسبت‌هایی محاسبه می‌شود. در نتیجه اطلاعات

تحت عنوان "میانگین" متوسط الگوهای تمام ایستگاه‌ها، با متحمل‌ترین الگوی قابل کاربرد برای ایستگاه‌های پوشاننده، با مشخصات مشابه را معرفی می‌کند. استفاده اصلی از اطلاعات ارائه نشده در اعمال ضرایب F به یک تعداد از شمارش‌های پوشاننده، همانطور که در مثال یک نشان داده شده است می‌باشد. استفاده دیگر انتخاب ضرایب از جدول ۱۰-۹ مربوط به هر ایستگاه‌کنترل، وقتی که ترافیک در ایستگاه پوشاننده دارای الگویی با حداکثر تشابه با ایستگاه کنترل مشخصی است، می‌باشد.

جدول ۹-۹ . ضرایب نمونه ساعتی، روزانه و فصلی برای بدست آوردن حجم‌های متوسط

تغییرات ساعتی حجم ترافیک در یک سیستم راه‌های ایالتی

ساعت	درصد حجم کل ۲۴ ساعته	ساعت	درصد حجم کل ۲۴ ساعته
6:00-7:00 A.M	2.53	6:00-7:00 P.M	6.12
7:00-8:00 A.M	3.69	7:00-8:00 P.M	5.72
8:00-9:00 A.M	4.42	8:00-9:00 P.M	4.74
9:00-10:00 A.M	5.34	9:00-10:00 P.M	3.85
10:00-11:00 A.M	5.73	10:00-11:00P.M	3.18
11:00-12:00 A.M	5.42	11:00-12:00	2.61
12:00-1:00 P.M	5.34	12:00-1:00 A.M	1.89
1:00-2:00 P.M	6.18	1:00-2:00 A.M	1.32
2:00-3:00 P.M	6.56	2:00-3:00 A.M	0.90
3:00-4:00 P.M	6.88	3:00-4:00 A.M	0.76
4:00-5:00 P.M	7.71	4:00-5:00 A.M	0.76
5:00-6:00 P.M	7.30	5:00-6:00 A.M	1.05

تغییرات روزانه حجم ترافیک در یک سیستم راه‌های ایالتی

روز	درصد حجم کل هفتگی	روز	درصد حجم کل هفتگی
یکشنبه	۱۸/۱۰	۱۲۶/۷۳	۰/۷۸۹
دوشنبه	۱۳/۳۲	۹۳/۲۵	۱/۰۷۲
سه شنبه	۱۲/۷۵	۸۹/۱۴	۱/۱۲۱
چهارشنبه	۱۲/۳۹	۹۰/۲۲	۱/۱۰۸
پنج شنبه	۱۳/۰۰	۹۱/۰۴	۱/۰۹۶
جمعه	۱۴/۶۶	۹۸/۴۴	۱/۰۱۵
شنبه	۱۵/۸۸	۱۱۱/۱۸	۰/۸۹۹

تغییرات فصلی در ماه

ماه	درصد متوسط	ضریب ماهیانه	ماه	درصد متوسط	ضریب ماهیانه
ژانویه	۸۲/۲۴	۱/۲۱۵	جولای	۱۰۹/۵۱	۰/۹۱۳
فوریه	۸۳/۹۴	۱/۱۹۱	اوت	۱۱۳/۳۸	۰/۸۸۲
مارس	۹۰/۸۹	۱/۱۰۰	سپتامبر	۱۱۳/۱۰	۰/۸۸۴
آوریل	۱۰۰/۷۹	۰/۹۹۲	اکتبر	۱۰۷/۴۶	۰/۹۳۱
مه	۱۰۵/۲۹	۰/۹۴۲	نوامبر	۹۷/۳۸	۱/۰۲۶
ژوئن	۱۰۸/۸۹	۰/۹۱۸	دسامبر	۸۷/۱۳	۱/۱۱۴

جدول ۱۰-۹ . محاسبات ضرایب برای بسط شمارش‌های پوشاننده (روزهای هفته و ضرایب نهائی)

	ایستگاه‌های کنترل															
	اصلی				فرعی								ضریب	ضریب	مجموع	
	A		B		۱		۲		۳		۴		نهائی	متوسط	ضرایب	
ماه	وسیله	ضریب	وسیله	ضریب	وسیله	ضریب	وسیله	ضریب	وسیله	ضریب	وسیله	ضریب	F=NC*	N		
ژانویه	631	1.177	558	1.213			472	1.252			589	1.241	1.275	1.221	4.883	
فوریه	586	1.268	543	1.247	366	1.372			572	1.332			1.362	1.305	5.219	
مارس	665	1.117	608	1.113			488	1.211			614	1.191	1.209	1.158	4.632	
اوریل	745	0.997	674	1.004	486	1.033			628	1.118			1.084	1.38	4.125	
مه	776	0.957	683	0.991			543	1.088			721	4.014	1.057	1.012	4.50	
ژوئن	811	0.916	737	0.919	536	0.937			0.853			3.625	0.946	0.906	3.625	
ژولای	818	0.908	786	0.861			708	0.835			859	0.851	0.902	0.864	3.455	
اوت	893	0.832	822	0.824	825	0.803			897	0.783			0.847	0.811	3.242	
سپتامبر	881	0.843	798	0.848			684	0.864			852	0.858	0.891	0.853	3.413	
اکتبر	770	0.965	696	0.973	506	0.992			750	0.963			1.010	0.967	3.866	
نوامبر	684	1.086	637	1.063			652	0.906			751	0.973	1.051	1.007	4.025	
دسامبر	656	1.133	578	1.171	491	1.022			589	1.192			1.180	1.130	4.518	
کل	8196		8122		3010		3547		4219		4386					
متوسط	743		677		502		591		702		731					

* جدول ۱۱-۹

اگر ضرایب با میانگین‌گیری از حجم‌ها در ایستگاه‌های کنترل مختلف بجای میانگین‌گیری از الگوها محاسبه شده باشند این ضرایب الگوی حجم کل ترافیک در تمام ایستگاه‌های مورد استفاده را منعکس می‌نماید. ایستگاهی که دارای حجم ترافیکی بزرگتری نسبت به بقیه باشد، تأثیر بیشتری بر ضرایب نهایی خواهد داشت. الگویی که به این ترتیب محاسبه می‌شود متمایل به سمت ایستگاه‌هایی است که دارای بزرگترین حجم‌های ترافیکی هستند و بنابراین محتمل‌ترین الگوی گروه ایستگاه‌ها نخواهد بود، مگر آنکه الگوها مشابه باشند.

مثال ۱ - شمارش ۴۸ ساعته روز هفته در ایستگاه شمارش پوشاننده در ماه مارس ۱۱۴۴ وسیله نقلیه یا میانگین ۲۴ ساعته برابر با ۵۷۲، حجم تخمینی برای روز متوسط سالیانه = ۵۷۲×۱/۲۰۹ = ۷۹۲ وسیله نقلیه.

مثال ۲ - شمارش ۴۸ ساعته روز هفته، ۷۱۸ وسیله نقلیه در ماه ژوئن در یک ایستگاه پوشاننده مشابه ایستگاه کنترل شماره ۳، یا میانگین ۳۵۹ وسیله نقلیه برای ۲۴ ساعت. حجم تخمینی برای روز متوسط در سال = ۳۵۹ × ۰/۸۵۳ (از ایستگاه فرعی شماره ۳) = ۳۰۶ وسیله نقلیه. حجم تخمینی برای میانگین روزانه در سال = ۳۰۶ × ۱/۰۴۴ (ضریب C از جدول ۱۱-۹) = ۳۱۹ وسیله نقلیه.

دقت آماری تخمین‌های AADT

هنگامیکه ترافیک به صورت پیوسته برای یک سال کامل شمارش شده باشد، AADT بدون هیچگونه خطایی بدست می‌آید. در صورتیکه حجم ترافیک برای دوره‌ای کوتاهتر از یک سال بدست آمده باشد این شمارش یک "نمونه" در نظر گرفته می‌شود. کاربرد تحلیل آماری برای ارزیابی مقدار خطای مربوط به نمونه شمارش‌های حجم که با ضرایب بدست آمده از ایستگاه‌های شمارش دائمی بسط داده و تعدیل شده‌اند، نخستین باردر ایالت ارگان آمریکا پیشنهاد شد. ارزیابی مقدار خطا برای یک ایستگاه بخصوص بوسیله تحلیل آماری ممکن نیست، ولی این روش را می‌توان برای تعیین اندازه خطای تعدادی یا گروهی از ایستگاه‌های مورد نظر بکار گرفت. تجربه نشان می‌دهد که تخمین AADT با خطای اندازه‌گیری شده بوسیله انحراف معیار

جدول ۱۱-۹ . محاسبه ضرایب بسط شمارش‌های پوشاننده آخر هفته (شنبه و یکشنبه)

ماه	شنبه‌ها		یکشنبه‌ها	
	وسیله نقلیه، ایستگاه			
	A	B	A	B
ژانویه	640	562	651	609
فوریه	595	548	615	531
مارس	685	636	697	685
آوریل	810	750	875	873
مه	835	786	979	898
ژوئن	876	813	1.096	984
ژوئیه	892	881	1.156	1.003
اوت	968	931	1.203	1.112
سپتامبر	954	856	1.182	971
اکتبر	840	742	950	806
نوامبر	743	675	810	715
دسامبر	701	603	764	794
کل	9549	8783	10980	9982
متوسط L	796	732	9/5	832
متوسط K	743	677	743	677
L ÷ K = M	1.071	1.081	1.231	1.229
	1.076		1.23	

$$C \text{ ثابت} = \frac{5.000+1.076+1.20}{7} = 1.044$$

(ضریب تغییرات) برابر حدوداً ۱۰ تا ۱۲ درصد برای جاده‌های برون شهری پر حجم (بیش از ۵۰۰ وسیله نقلیه بر چگالی) برای استفاده کنندگان از داده‌ها رضایت بخش می‌باشد. روش تحلیل آماری داده‌های حجم بطور خلاصه در زیر می‌آید:

۱ - در هر ایستگاه شمارش دائمی، ضرایب بسط ماهانه محاسبه می‌شود. این ضرایب نسبت‌های *ADT* به حجم متوسط روزهای هفته در هر ماه را نشان می‌دهند. شایان ذکر است که ضرایب تعدیل بر حسب ترافیک متوسط روزهای هفته قرار دارند. شمارش‌های پوشاننده اغلب در روزهای هفته انجام می‌گیرد، در صورتیکه روزهای تعطیل را نیز شامل شود فقط شمارش‌های انجام شده در روزهای غیر تعطیل باید برای تخمین *AADT* بکار رود. بعنوان یک قاعده کلی تغییرات روزهای تعطیل آخر هفته در طی یک ماه بیش از روزهای معمولی هفته می‌باشد، بدین ترتیب برآورد *AADT*، براساس شمارش‌هایی که شامل روزهای آخر هفته باشد، دارای دقت کمتری نسبت به آنهایی است که بر مبنای روزهای هفته قرار دارند.

۲ - سپس ایستگاه‌های شمارش دائمی طوری گروه بندی می‌شوند که دامنه تغییرات ضرایب برای هر ماه بیش از ۱۰ ± درصد انحراف نداشته باشد. از آنجایی که هدف نهایی تعیین ضرائب بسط برای شمارش‌های پوشاننده می‌باشد، فقط ماه‌هایی که در طی آنها ایستگاه‌هائی پوشاننده عمل کرده‌اند در گروه بندی ایستگاه‌های شمارش دائمی در نظر گرفته می‌شوند. اگر در طی این ماه‌ها ضرایب بین دو ایستگاه شمارش دائمی بیش از ۱۰ ± درصد تفاوت نداشته باشند در یک گروه قرار داده خواهند شد.

۳ - سپس ضرایب گروهی متوسط برای هر ماه و برای آن گروه محاسبه می‌شود و این ضرایب به منظور بسط و توسعه شمارش‌های پوشاننده که در محدوده پوششی این گروه قرار گرفته شده‌اند، بکار می‌روند.

۴ - اثبات شده است که انحراف معیار برای یک گروه معیار بسیار خوبی برای خطاهای تخمین *AADT* بدست آمده از ایستگاه‌های پوشاننده می‌باشد. این خطاها خود را مطابق با منحنی نرمال توزیع می‌کنند، و این براساس نتایج حاصل از تعداد زیادی آزمون خی مربع (χ^2) که سطوح احتمالی بیش از ۵ درصد را نشان داده‌اند، قرار داد.

۵ - بر مبنای تجارب حاصل از ایستگاه‌های کنترل فصلی این فرض تأئید می‌شود که ایستگاه‌های شمارش دائمی، تا جائی که به ضرایب بسط ماهانه مربوط می‌شود، نماینده کل جمعیت هستند.

در جایی که ثابت شده است بسط شمارش‌های پوشاننده می‌تواند فقط براساس داده‌های شمارش دائمی صورت پذیرد دیگر لزومی ندارد که ایستگاه‌های فصلی کنترل راه‌اندازی شوند. ایستگاه‌های کنترل فصلی را می‌توان بگونه‌ای گروه‌بندی نمود که ضرایب بیش از ۱۵+ درصد نسبت به میانگین ضرایب برای هر ماه، تغییر نکنند.

۶ - از آنجائیکه خی مربع تناسب خوبی را برای توزیع نرمال نشان داده است، انحراف معیارها ضوابط قابل اعتمادی را برای مقادیر و فراوانی خطای توزیع تشکیل می‌دهند.

یک مثال برای نشان دادن میزان تطابق (برازندگی) توزیع نرمال دریک گروه از ایستگاه‌های شمارش دائمی در جداول ۱۲-۹ و ۱۳-۹ آمده است. در اینجا $d = ۱۰۰ \times (A-B)$ که در آن A نسبت *AADT* ایستگاه‌ها به میانگین روزهای ماه است و B نسبت میانگین ماهانه تمام ایستگاه‌ها است.

کل $\sum d^2 = ۵۰۴$

$$n = ۴۰ \qquad \sigma = \sqrt{\frac{۵۰۴}{۴۰}} = \pm ۳/۵۵$$

از آنجائیکه میانگین تمام نسبت‌ها در عمل واحد است، انحراف معیار تقریباً برابر است با ضریب تغییرات. بنابراین هنگامی که یک شمارش حجم ترافیک ۲۴ ساعته در یک روز

جدول ۱۲-۹ . گروه‌بندی ایستگاه‌های شمارش دائمی

ایستگاه	آوریل		مه		ژوئن		ژوئیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر	
	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d	نسبت	d
152	1.03	-5	1.02	-1	0.93	+1	0.90	+1	0.86	-1	0.92	0	1.02	-2	1.14	+3
189	1.18	+10	1.03	0	0.94	+2	0.92	+3	0.94	+7	0.94	+2	1.11	+7	1.20	+9
197	1.04	-4	1.02	-1	0.91	-1	0.90	+1	0.86	-1	0.93	+1	1.01	-3	1.07	-4
198	1.05	-3	1.01	-2	0.92	0	0.87	-2	0.88	+1	0.91	-1	1.00	-4	1.07	-4
205	1.09	+1	1.06	+3	0.91	-1	0.84	-4	0.82	-5	0.92	0	1.06	+2	1.09	-2
Mean	1.08		1.03		0.92		0.89		0.87		0.92		1.04		1.11	
$\sum d^2$		151		15		7		40		77		6		82		126

جدول ۱۳-۹ . آزمون خی مربع برای تناسب تطبیق

فاصله گروه‌ها	حدگروه	درصد مساحت بین $\frac{x}{\sigma}$ و میانگین	درصد مساحت	فراوانی تئوری		فراوانی مشاهده شده			
d	x	$\frac{x}{\sigma}$		f_t		f_o	f_o-f_t	$(f_o-f_t)^2$	$\frac{(f_o-f_t)^2}{f_t}$
0-1.99	2.00	0.56	42.46	17.0	17.0	17	0	0	0
2-3.99	4.00	1.13	74.36	29.7	12.7	12	-0.7	0.49	0.039
4-5.99	6.00	1.69	90.90	36.4	6.7	7	0.3	0.09	0.13
6-7.99	8.00	2.25	97.56	39.0	2.6	2	0.6	0.36	0.106
8-9.99	10.00	2.82	99.52	39.8	0.8	2			

3.4

DF = 4 - 3 = 1 سطح احتمال = 71 precent $\sum = 0.158 = \chi^2$

مشخص یا متوسط روزهای هفته در آن ماه مقایسه می‌شود، می‌توان انتظار داشت که حدود $\frac{2}{3}$ (در حقیقت ۶۸/۳ درصد) این شمارش‌ها در روزهای هفته که به صورت ۲۴ ساعته هستند بیش از ۳/۵۵+ درصد نسبت به میانگین‌های ماهانه مربوط به خود تغییر نخواهد کرد، و حدود ۹۵ درصد این شمارش‌ها نباید بیشتر از ۷/۱+ درصد نسبت به میانگین‌های ماهانه مربوط به خود تفاوت داشته باشند.

دقت شمارش در جاده‌های برون شهری کم حجم نیز مانند دقت شمارش‌های حجم در محدوده‌های شهری مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش آماری BPR برای تخمین AADT از شمارش‌های نمونه

BPR راهنمایی را منتشر کرده است که اساساً بر مبنای مطالعاتی بجز آنهایی است که برای تخمین حجم‌های AADT انجام گرفته است. هدف اصلی این راهنما فراهم نمودن روشی برای تخمین آماری دقیق AADT و بر مبنای شمارش‌های نمونه می‌باشد.

روش‌های دیگری برای بزرگراههای برون شهری با حجم AADT بیش از ۵۰۰، برای بزرگراههای برون شهری با حجم AADT بین ۲۵ تا ۵۰۰ و برای جاده‌ها و خیابان‌های شهری پیشنهاد شده است.

بزرگراههای برون شهری دارای AADT بزرگتر از ۵۰۰: این روش که برای جاده‌های با ترافیک بالا پیشنهاد شده است، ضریب تغییراتی کوچکتر از ۱۰ ± درصد در تخمین AADT بدست می‌دهد و می‌تواند به سه گام مهم تقسیم شود:

۱ - گام اول گروه‌بندی ایستگاه‌های شمارش دائمی به صورت الگوهای مشابهی از تغییرات حجم ترافیک ماهانه می‌باشد. این امر با پیروی از مراحلی که تحت عنوان بسط و تعدیل شمارش‌های حجم ترافیک در این فصل آمده است تحقق می‌یابد.

۲ - گام بعدی تخصیص قسمت‌های جاده به گروه‌هایی از الگوهای مشابه تغییرات ماهانه می‌باشند، این امر با تخصیص رنگ‌های مختلف به هر گروه و علامت گذاری هر ایستگاه شمارش دائمی با رنگ مناسب خودروی یک نقشه

موقعیت انجام می‌پذیرد. ایستگاه‌های هم گروه اغلب در امتداد مسیر یا مسیرهای پیوسته‌ای هستند. قسمت‌های مختلف جاده بر روی این مسیرهای پیوسته بوسیله همان رنگ‌های تخصیص داده شده به ایستگاه‌هایی که در امتداد این مسیرها هستند، مشخص و به یکدیگر متصل می‌شوند.

به منظور الگوبندی گروه‌ها در حالیکه *AADT* بزرگتر از ۵۰۰ باشد، تعداد ایستگاه‌های شمارش دائمی برای تخصیص تمام قسمت‌های جاده بطور معمول کافی نیست از این رو ایستگاه‌های شمارش دائمی بوسیله ایستگاه‌های کنترل فصلی که در آن‌ها شمارش‌های ترافیکی در فواصل زمانی مساوی و در طول سال صورت می‌پذیرد، تکمیل می‌شوند. ایستگاه‌های فصلی کنترل با روشی مشابه آنچه که در گروه بندی ایستگاههای شمارش دائمی آمد گروه بندی می‌شوند. سپس قسمت‌های باقی مانده جاده با حجم بالا با استفاده از شمارش‌های ایستگاه‌های کنترل فصلی به گروه‌های الگو تخصیص داده می‌شوند.

از آنجائیکه نسبت‌های ماهانه در یک دوره چند ساله باقی می‌مانند می‌توان انتظار داشت که بیشتر قسمت‌های جاده پس از گذشت هر سال در همان گروه الگوی ماهانه قرار خواهند گرفت.

۳ - آخرین گام شامل تعیین محل و راه اندازی ایستگاه‌های شمارش ترافیکی می‌باشد.

الف - ایستگاه‌های شمارش دائمی: در حالت کلی حداقل ۳ ایستگاه باید در هر گروه از قسمت‌های جاده با مجموعه مستقلی از ضرایب ماهانه، قرار داده شوند. برای مثال، بکارگیری روش *BPR* در ایالت ویسکانسین آمریکا منجر به شش گروه از ایستگاه‌های شمارش دائمی شد. در سال ۱۹۶۱، ۳۵ ایستگاه شروع بکار نمود. در سال ۱۹۶۳ بکارگیری روش *BPR* در ایالت جورجیا از ۲۶ ایستگاه شمارش پیوسته چهار گروه نتیجه شد. در سال‌های ۶۷-۱۹۶۶ بکارگیری روش *BPR* در دِلاور والی ایالت پنسیلوانیا منجر به چهار گروه از ۲۴ ایستگاه شمارش دائمی گردید.

ب - ایستگاههای کنترل فصلی: بعد از آنکه تمام قسمت‌های جاده گروه‌بندی شدند، بیشتر ایستگاه‌های کنترل فصلی را می‌توان حذف نمود، زیر الگوی تغییرات ماهانه حجم‌های ترافیک در طول زیادی از جاده ثابت می‌ماند.

ج - ایستگاه‌های پوششی: حجم داده‌های *ADT* زیادی از شمارش‌های ایستگاه پوشاننده بدست می‌آید. در حالت کلی تقریباً ۱۵ ایستگاه پوشاننده برای هر ۱۰۰ کیلومتر جاده‌های برون شهری مورد نیاز است. در یک بررسی همه جانبه از حجم ترافیک، اطلاعات برای هر قطعه واقع در بین دو تقاطع مورد نیاز است. بنابراین توصیه می‌شود که ایستگاه‌های پوشاننده بطور متناوب در تقاطع‌ها قرار داده شوند. یک برنامه شمارشی ایستگاهی پوشاننده می‌تواند در مدت یکسال به اتمام برسد، و یا چندین سال بطول انجامد. اگر یک دوره ۵ ساله استفاده شود، یک پنجم شمارش‌های پوشاننده در هر سال می‌تواند انجام شود.

یک تحلیل گسترده از شمارش‌های پوشاننده برون شهری با بکارگیری روش فوق نشان داد که شمارش‌های پوشاننده انجام شده برای ۴۸ ساعت در روزهای هفته وقتی با میانگین روزانه در ماه مقایسه شود دارای ضریب تغییرات متوسط سالانه ۹+ تا ۹/۵ درصد خواهد بود. این مطالعه همچنین نشان داد که یک ضریب ۱۰+ درصد یا کمتر را برای شمارش‌های ۲۴ ساعته پوشاننده که در روزهای هفته گرفته شده باشند نباید انتظار داشت.

راه‌های برون شهری با حجم AADT بین ۲۵ تا ۵۰۰. روش پیشنهادی برای جاده‌های کم ترافیک ضریب تغییراتی بین ۲۰ تا ۲۵ درصد در تخمین *AADT* را بدست می‌دهد. مطالعات گذشته نشان داده است که وقتی حجم ترافیک کمتر از ۵۰۰ باشد ضریب تغییرات با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد، و بنابراین جاده‌های با ترافیک کم را نسبت به جاده‌های با حجم ترافیک زیاد به گونه‌ای دیگر باید مورد مطالعه قرار داد.

تمام جاده‌های برون شهری با حجم کم را، صرف نظر از سیستم اداری، می‌توان به منظور محاسبه ضرایب تعدیل ماهانه برای بدست آوردن تخمین *AADT*، بطور کلی دریک گروه نشان داد. بطور عادی داده‌های بدست آمده از ۵ یا ۶ ایستگاه شمارش دائمی برای محاسبه ضرایب تعدیل متوسط، مناسب می‌باشند. تعداد مساوی از ایستگاه‌های کنترل فصلی را می‌توان بجای ایستگاه‌های شمارش دائمی بکار گرفت اگر شمارش‌های ایستگاه کنترل در هر ماه انجام شود. این ایستگاه‌ها نباید در جاده‌هایی که دارای *AADT* کمتراز ۱۰۰ هستند قرار داده شوند. روش مکان یابی ایستگاههای پوشاننده شبیه روش جاده‌های با حجم بالاست.

ضرایب تعدیل. شمارش‌های ایستگاه پوشاننده که در قسمت‌های مختلف جاده‌ای از یک گروه مشخص انجام شده

است، با ضرب نمودن شمارش پوشاننده در ضریب متوسط گروهی مناسب تعدیل می‌شود. برای مثال اگر یک شمارش ۴۸ ساعته در ماه مرداد و در یک ایستگاه پوشاننده از یک گروه که توسط یک ایستگاه شمارش دائمی تعریف گشته و در جدول بخش قبل نشان داده شده است ۴۰۰۰ وسیله نقلیه گزارش شده باشد، AADT تخمینی برای این ایستگاه شمارش پوشاننده برابر است با:

$$\frac{۴۰۰۰}{۲} \times ۰/۸۹ = ۱۷۸۰ \quad \text{وسیله نقلیه}$$

داده‌پردازی مکانیکی. تحلیل مکانیکی داده‌های شمارش ترافیک با استفاده از کامپیوتر دست‌یابی به آمار بیشتر و افزایش دقت تخمین AADT را فراهم می‌سازد. کامپیوتر استفاده از ضرایب تعدیل روزانه یا هفتگی را بجای ضرایب تعدیل ماهانه ممکن می‌سازد. روشی برای تخمین AADT و ترافیک ساعات اوج انواع مختلف راه‌های برون شهری، با استفاده از منحنی‌های الگوی ترافیک و بکارگیری روش‌های آماری بر مبنای ضرایب تعدیل، در سوئیس ارائه شده است. کاربردهای دیگری از کامپیوتر برای تحلیل اطلاعات شمارشی ترافیک نیز صورت پذیرفته است.

خیابان‌ها و جاده‌های شهری. براساس تحلیل‌های عمیق بر روی شمارش‌های طولانی مدت در خیابان‌های پر حجم، ثابت شده است که می‌توان حجم‌های ترافیک عادی در روزهای هفته را برابر با AADT و بدون بکارگیری ضرایب تعدیل در نظر گرفت. دقت این شمارش‌ها بگونه‌ای اندازه‌گیری شده بود تا ضرایب تغییرات معادل ۱۰٪ ± درصد داشته باشد. این خطا را می‌توان با بکارگیری ضرایب تعدیل ماهانه که بر مبنای داده‌های بدست آمده از ایستگاه‌های کنترل می‌باشند، به حدود ۷ ± درصد کاهش داد. اگر روش‌های شمارش کوتاه مدت بکار رود تخمین AADT می‌تواند با خطای ۱۲ ± درصد مشخص شود.

فصل ۱۰
تئوری ترافیک: جریان و کنترل

تئوری ترافیک (تئوری جریان ترافیک) دانشی است که به برقراری روابط تحلیلی پدیده ترافیک و مکانیسم‌های آن و بسط این روابط به منظور درک وسیعتر یا استفاده در ترافیک مربوط می‌شود. ویژگی مشخص این خط مشی خاص، استفاده از تحلیل ریاضی و مدل سازی، استفاده از تکنیک‌های مهندسی سیستم و کنترل، شبیه‌سازی کامپیوتری و کنترل فرآیند است. مطالعاتی که در این زمینه صورت می‌گیرد از ریاضیات محض تا تقریباً تمام روشهای تجربی ساخت مدل را شامل می‌گردد. جایگاه بسیاری از مقالات و شاخه‌های مختلف مطالعه تنها زمانی اطمینان‌بخش تر خواهد بود که این زمینه بیشتر شناخته شده و پیشرفت نماید.

در این فصل، زمینه تئوری ترافیک بطور جامع بررسی نخواهد شد زیرا مطالعات صورت گرفته و منابع آن گسترده بوده و از طرف دیگر وضعیت اکثر قسمت‌های این تئوری معلوم نیست. در این فصل تنها برخی از مطالعات توصیفی و مطالعاتی که ارتباط بیشتری به مسئله دارند انتخاب گردیده و تأکید عمده بر کاربرد در عملیات کنترل ترافیک می‌باشد.

برای مطالعه گسترده‌تر تئوری ترافیک به مقالات نوشته شده توسط *GAZIS* و *EDIE* و کتاب‌های نوشته شده توسط *DREW* و *ASHTON* و مراجع آنها مراجعه نمائید. مراجع دیگر عبارتند از: گزارش ویژه شماره *HRB 79* نشریات "علم حمل و نقل" و "تحقیق در زمینه حمل و نقل"، نشریات انجمن تحقیق در عملیات آمریکا، و "گزارش‌های تحقیقی در زمینه راه" *(HRR)*. علاوه بر این. کتابهایی نیز در زمینه جریان ترافیک یک جهتی منتشر شده است و برای بدست آوردن اطلاعات در مورد موضوع‌های خاص می‌توان به "سرویس اطلاعات تحقیقات راه" *(HRIS)* مراجعه کرد.

جریان جمعی و خودرو به دنبال هم

مدل خودرو به دنبال هم عبارت است از یک رابطه ریاضی که حرکت یک وسیله نقلیه را به حرکت وسیله نقلیه‌ای که بدنبال آن حرکت می‌کند ارتباط می‌دهد. این عبارت‌های ریاضی را می‌توان با تغییراتی به یک رابطه توضیحی جهت جریان کامل ترافیک تبدیل نمود.

کار اصلی در زمینه مدل خودرو بدنبال هم در آزمایشگاههای تحقیقاتی جنرال موتورز آمریکا توسط هرمن و روتری انجام گرفته است. هدف اصلی این است که الگوی حرکت یک راننده را بتوان از طریق معادلاتی به سایر رانندگان موجود در یک خط عبور ارتباط داده و مدل کرد. یک نمونه از این معادلات بصورت زیر است.

$$\frac{dV_n(t)}{dt} = K\{\frac{V_n(t-T)-V_{n-1}(t-T)}{x_n(t-T)-x_{n-1}(t-T)}\} \quad (۱۰-۱)$$

که در آن:

V_i = سرعت راننده i ام

x_i = موقعیت راننده i ام

T = عقب ماندگی یا تأخیر در عکس العمل

این معادله گویای آن است که شتاب یک راننده (شماره n) بوسیله اختلاف بین سرعت او و سرعت وسیله‌ای که در جلوی او (شماره $n-1$) در حرکت است تعیین می‌شود، و این شتاب به اختلاف سرعت‌ها که به وسیله ثابت K تعیین می‌شود و فاصله بین دو وسیله نقلیه بستگی دارد. هرچه فاصله بین دو وسیله نقلیه کمتر باشد، این وابستگی کمتر می‌شود. آزمایش نشان داده است که رابطه فوق مدل توصیفی مناسبی است، بطوریکه از یک مدل ساده با حساسیت ثابت مناسبتر بوده و نیازی به داشتن ارتباط با

سایر و سایل نقلیه که در بالا دست یا پایین دست در حال حرکت هستند ندارد.

در طی آزمایشهائی با مدل‌های خودرو بدنبال هم مقادیر نمونه K و T برای یک مسیر آزمایشی، و تونلی در شهر نیویورک تعیین گردید. از نقطه نظر تحلیلی، پایداری یک جفت و ردیفی از وسایل نقلیه به ازای مقادیر گوناگون K و T مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعاتی که توسط محققین دیگر صورت گرفته، اثر شکل هندسی راه‌ها را در الگوهای مشاهده شده ترافیکی (تغییرات حجم ترافیک و سرعت) از طریق خودرو بدنبال هم و استفاده از آن در مدلهای شبیه سازی نشان داده است.

نتایج جالب دیگری که از مطالعات خودرو بدنبال هم گرفته می‌شود عبارتند از: (۱) رابطه مقیاس کوچک خودرو بدنبال هم را می‌توان دستکاری نموده تا رابطه متوسط در مقیاس بزرگ بر حسب تردد ساعتی Q و چگالی D بدست آید، (۲) این روابط مقیاس بزرگ می‌توانند دارای نمودارهای چگالی - تردد با مفهومی باشند. با استفاده از مقادیری که به صورت مقیاس بزرگ تعیین شده‌اند (مثلاً مقدار K) می‌توان مقادیر مقیاس کوچک بامفهومی بدست آورد (مثلاً سرعت آزاد، یا سرعت در تردد حداکثر).

برای نشان دادن این رابطه در عبارات مقیاس بزرگ، معادله (۱-۱۰) را برای شرایطی که ردیف وسایل نقلیه در حال تعادل باشند، یعنی هیچکدام شتاب نداشته باشند، فاصله همه یکسان و سرعت آنها یکی باشد در نظر می‌گیریم. توجه داشته باشید که:

$$\frac{dv}{dt} = K\frac{\Delta v}{\Delta x} \qquad (۱۰-۲)$$

که در این رابطه v سرعت، Δv اختلاف سرعت، و Δx فاصله است. با یک تغییر دیفرانسیلی در سرعت داریم:

$$dv = K\frac{\Delta v}{\Delta x}\,dt = K\frac{d(\Delta x)}{\Delta x}$$

بنحوی که برای هریک از زوج اطلاعات معلوم $(v_0 , \Delta x_0)$ می‌توان نوشت:

$$\int_{v0}^{v} dv = K\int_{\Delta x}^{\Delta x0} \frac{d(\Delta x)}{\Delta x}$$

یا:

$$V_0 - V = K\ln \frac{\Delta X}{\Delta X_0} = K\ln \frac{D_0}{D} \qquad (۱۰-۳)$$

که در این رابطه D عبارت است از چگالی (تعداد وسائل نقلیه در کیلومتر) و $D = \frac{1}{\Delta X}$ با نشان دادن تردد بصورت Q، و با توجه به اینکه $Q = VD$، و با توجه به اینکه در چگالی تراکم، $V = 0$, D_j است از معادله (۳-۱۰) می‌توان نتیجه گرفت که:

$$Q = KD\ln \frac{D_j}{D} \qquad (۱۰-۴)$$

همانطور که در شکل ۱-۱۰ دیده می‌شود منحنی این معادله بصورت یکی از شکل‌های چگالی - تردد قله‌ای است. با مشتق‌گیری از معادله می‌توان نشان داد که سرعت در موقعی که تردد ماکزیمم است، برابر K می‌باشد. در این مثال با گذاشتن مقدار $V = ۳۰$ کیلومتر در ساعت با چگالی $D = ۳۰$ وسیله نقلیه در کیلومتر، مقدار $K = ۲۰/۶$ کیلومتر در ساعت و تردد ماکزیمم ۹۹۰ وسیله نقلیه در ساعت (تنها در یک مسیر) بدست می‌آید.

سایر مدل‌های چگالی - تردد

علاوه بر روابط مقیاس بزرگ تردد مانند مدل خودرو بدنبال هم، با استفاده از فرضیات تطبیق منحنی، با ملاحظه فواصل زمانی عبور ایمن و با استفاده از تشابهات جریان حرارت و جریان - سیالات روابط دیگری نیز بدست آمده است. تشابهات حرارت و سیالات، بر شرایط تعادل برای معادلات دیفرانسیل جزئی تمرکز یافته و بیانگر موازنه جرم یا حرارت هستند (معادلات پیوستگی). بدست آوردن معادله با استفاده از فواصل عبور مطمئن، مستلزم استفاده از فاصله عبوری است که شامل طول اتومبیل، L و یک فاصله جهت زمان عکس‌العمل راننده C_1V (که در این رابطه C_1 عبارت است از زمان عکس‌العمل یا زمان "مرده")، و یک فاصله مربوط به ترمزگرفتن C_2V (که در آن C_2 به توانایی ترمزگیری وسیله نقلیه ارتباط دارد) می‌باشد:

$$\Delta X = L + C_1V + C_2V^2$$

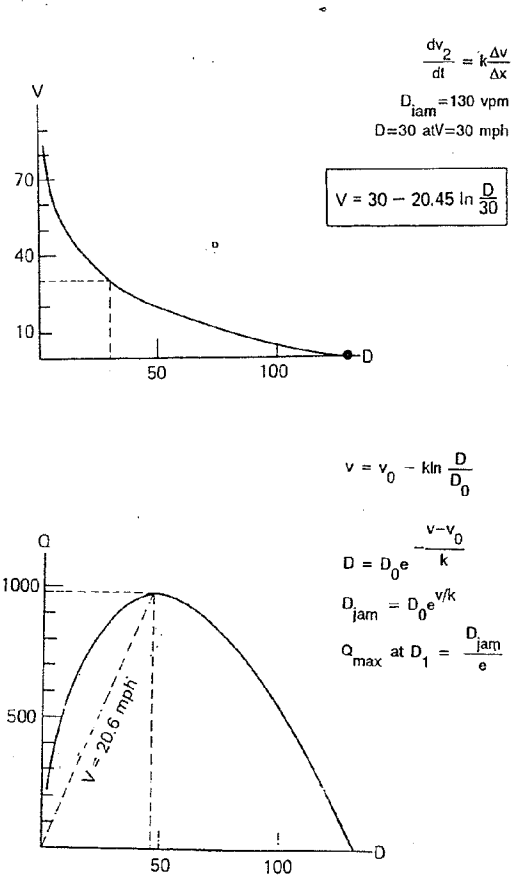
از آنجاکه $Q = VD = V/X$ داریم:

$$Q = \frac{V}{L + C_1V + C_2V^2} \qquad (۱۰-۵)$$

و می‌توان دید که تردد ماکزیمم، Q_m در سرعت :

$$V = \sqrt{L/C_2}$$ ، $\Delta X = 2L + C_1\sqrt{L/C_2}$ بدست می‌آید.

باید توجه داشت که عموماً فرض بر این است که چگالی جریان (D) یک متغیر مستقل اساسی است که سرعت V و تردد Q به آن وابسته هستند. این موضوع در معادلات فوق منعکس است.



شکل ۱-۱۰. روابط تردد مقیاس بزرگ

سایر مدلهای جالب توجه در زمینه رابطه چگالی - تردد، عبارتند از روش کلاسیکی که توسط لایت هیل و ویتمن از طریق امواج سینماتیک و انتشار و رشد اغتشاش امواج ضربه پدید آمده، و معادلاتی که توسط پریگوگین بر اساس توصیف احتمالاتی سرعت هر یک از وسائل نقلیه بدست آمده است. روش اول همچنین تئوری جالبی در مورد گلوگاه‌ها و نکات دیگری در مورد تردد ترافیک در تقاطع‌ها را در بردارد.

تکنیک فرموله کردن گلوگاه ترافیکی که توسط لایت هیل و ویتمن بدست آمد، در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است. در این شکل روابط چگالی - تردد راههای اصلی و گلوگاه‌های آنها نشان داده شده است. با داشتن حجم ترافیک ورودی (نقطه A) که بیش از ظرفیت گلوگاه است، بالای ناحیه گلوگاه در حد ظرفیت عمل می‌کند (نقطه B) حجم ترافیکی برابر در پایین دست آن (نقطه F) به وجود می‌آید، اما سطح سرویس در این نقطه خیلی بهتر است. دلیل این امر این است که شیب خط DF که سرعت را نشان می‌دهد، بیشتر از شیب خط OB می‌باشند. انتشار "موج شوک" در یک سرعت خاص، با برخورد دو جریان ترافیکی (خط اتصال AB) صورت می‌گیرد و شیب خط اتصال منفی است یعنی جریان ترافیک بالا دست "پس می‌زند". محل این موج را می‌توان با استفاده از مدت و سرعت انتشار آن تعیین نمود. وسائل نقلیه‌ای که بین محل این موج و گلوگاه فیزیکی قرار گرفته‌اند، مجبورند که با سرعت OB "بخزند". این ناحیه "خزش" خودروهای بالادست را پراکنده کرده تا جائی که جریان ورودی که در وضعیت اولیه به وسیله A مشخص شده، به پائین‌تر از ظرفیت گلوگاه (نقطه F) سقوط نماید و مثلاً به نقطه C برسد. در این موقع ناحیه‌ای که تحت تأثیر قرار گرفته با سرعت CB کم می‌شود تا وقتی که به وضعیت اولیه گلوگاه برسد. این اطلاعات را در صورتی که توزیع خودروهای وارد شونده (نسبت به زمان) معلوم باشد می‌توان برای محاسبه مدت زمان "خزش" یا سطح سرویس ناحیه F هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی (وسعت)، مورد استفاده قرار داد. در مورد این تکنیک‌ها و مکانیسم‌ها و از جمله پراکندگی در مقاله اصلی بیشتر بحث شده است.

مدل‌های احتمالی

استفاده از توصیف‌های احتمالی، هم به شکل ساده و هم به روش‌های خاص (کاربرد تئوری صف و نوگردانی)، بخش اعظم تئوری جریان ترافیک را در برمی‌گیرد. در این بخش بنا نداریم که در مورد تمامی این کاربردهای بحث نمائیم، بلکه می‌خواهیم استفاده و روش بعضی از موارد را که در بخش‌های دیگر نمی‌توان به آنها پرداخت بیان کنیم.

جریان خروجی از یک مقطع بزرگراه

در دو بخش قبلی این فصل، روابط چگالی - تردد مورد بحث قرار گرفته و توضیح داده شد که این روابط غالباً توسط تحلیل‌گران برای تخمین عملکرد یک راه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این روابط بطور کلی می‌توان دریافت که: (۱) تردد و چگالی در واقع در محدوده دوره‌های زمانی تقریباً "نامنظم" نوسان می‌کنند، (۲) گردش‌های چگالی - تردد به قسمت سمت راست منحنی (سطح سرویس F) عموماً نامطلوب است زیرا در

این قسمت تسهیلات ترافیکی متمایل به ماندن در ناحیه و ضایع شدن هستند.

یکی از روشهایی که برای بررسی این عناصر به کار رفته این است که یک رابطه جبری برای تردد بدست آورده، $Q = Q(D)$، و چگالی D را به عنوان یک متغیر تصادفی با میانگین μ_D و واریانس σ^2 در نظر گرفت. با معلوم بودن این مقادیر، مقدار میانگین جریان، μ_Q، محاسبه شد و سایر معیارهای احتمالاتی نیز معین می‌شود. روش بهتر این است که جریان Q را طوری در نظر بگیریم که دارای یک مؤلفه وابسته به چگالی و یک مؤلفه تصادفی باشد و به مؤلفه قبلی افزوده شود. بنابراین با استفاده از منحنی اساسی (شکل (ج) ۳-۱۰) می‌توان نوشت:

$$Q = Q_{FIX}^{(D)} + Q_{RANDOM} \qquad (۱۰-۶)$$

برای اینکه کاربرد ساده‌ای از معادله (۱۰-۶) را نشان دهیم، فرض می‌کنیم $Q = KD(D_0 - D)$ و می‌دانیم که:

$$\mu_Q = E(Q) = E[KD(D_0 - D)] = KD_0E(D) - KE(D^2)$$

اما:

$$\sigma_x^2 = E(X^2) - [E(X)]^2$$

و بطور کلی داریم:

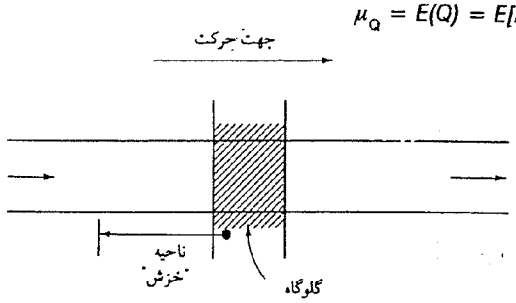
$$\mu_Q = KD_0\mu_D - K(\sigma_D^2 + \mu_D^2)$$

یا:

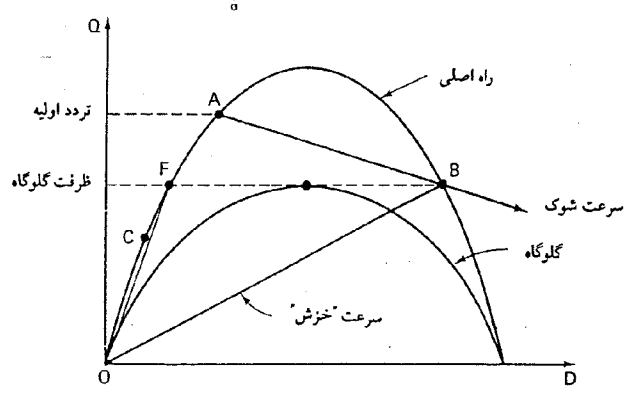
$$\mu_Q = Q(\mu_D) - K\sigma_D^2 \qquad (۱۰-۷)$$

که در این رابطه $Q(\mu_D)$ از جایگذاری μ_D در رابطه تعریف شده $Q = KD(D_0 - D)$ بدست می‌آید.

توجه داشته باشید که به ازای یک μ_D خاص، تردد با به حداقل رساندن نواسانات موجود در چگالی ترافیک، به حداکثر مقدار خود می‌رسد. برای یک دامنه ممکن چگالی، حداکثر تردد در $\mu_D = \frac{D_0}{2}$ یا در نزدیکترین مقدار قابل حصول بدست می‌آید. به شکل (الف) ۳-۱۰ مراجعه نمائید.



الف- محل گلوگاه



ب- رابطه تردد - چگالی

شکل ۲-۱۰ اثرات تردد در گلوگاه

باید توجه داشت که تردد ماکزیمم تنها ضابطه موجود نبوده و نمی‌توان آنرا به سادگی بدست آورد. دقت نمائید که به ازای $\mu_D = \frac{D_0}{2}$، گردش‌ها در جهت سطح سرویس F فوق‌العاده عادی است. چنانچه توزیع چگالی متقارن باشد (مثلاً توزیع نرمال) این گردش‌ها در ۵۰ درصد زمانی اتفاق خواهند افتاد. این همان چیزی است که بطور قطع باید از آن اجتناب کرد.

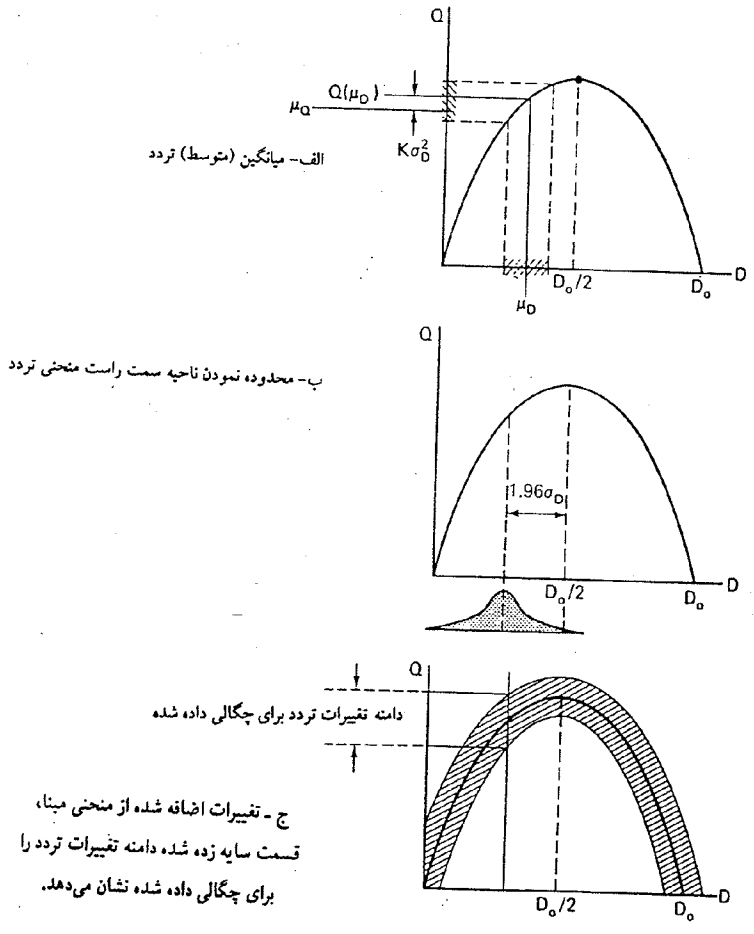
با دانستن این توضیح D یک توزیع نرمال است (البته بطور تقریبی) و نیز با دانستن اینکه باید حداقل در ۹۷/۵ درصد از اوقات از انجام گردش‌ها به قسمت سمت راست منحنی اساسی پرهیز شود، لازم است داشته باشیم:

$$\mu_D \leq \frac{D_0}{2} - 1.96\sigma_D \qquad (۱۰-۸)$$

همانطور که در شکل (ب) ۳-۱۰ نشان داده شده است.

کنترل با چراغ راهنمائی

جهت بررسی تأخیرهایی که در تقاطع‌های با چراغ راهنمایی بوجود می‌آید و نیز برای تحقیق در مورد سایر ضوابط مربوط به چراغ راهنمایی مدلهای بسیار زیادی بوجود آمده است. در غالب این تحقیقات مسئله تأخیر در چراغ‌های راهنمایی با زمان‌های ثابت، زمان‌بندی چراغ‌های راهنمائی و تأخیر در پشت تقاطع‌هایی که چراغ‌های آنها با جریان ترافیکی فعال می‌گردند. مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰. عناصر تصادفی در چگالی - تردد

علاوه بر مطالعه در زمینه تأخیر و زمان چرخه بهینه چراغ راهنمائی، در ارتباط با موضوعاتی چون متراکم نبودن تقاطع دارای چراغ راهنمایی از وسایل نقلیه، می‌توان مدل‌های احتمالی بوجود آورد. در مورد خلوت نگه‌داشتن تقاطع در فصل ۱۷، بخش زمان بندی چراغ راهنمایی، بر اساس ترافیک ساعت اوج (اوج ۱۵ دقیقه‌ای) بحث می‌شود. جهت بدست آوردن روشی برای غیر اشباع سازی تقاطع با توزیع ورودی پواسون، باید توجه کرد که احتمال $P_r(X)$ اینکه X اتومبیل در طی یک چرخه چراغ (C) به تقاطع وارد شوند برابر است با:

$$P_r(X) = \frac{e^{-\lambda c}(\lambda C)^X}{X!} \qquad (۱۰-۹)$$

که در این رابطه λ عبارت است از سرعت متوسط ورود وسائل نقلیه، در یک چرخه مشخص و بیان حالت غیر اشباع تقاطع (مثلاً لازم باشد اتومبیل‌هایی که در چرخه‌ای به اندازه C وارد می‌شوند در طی مدت G سبز موجود، در حداقل ۹۵ درصد مواقع قادر به عبور باشند). تعداد ورودی‌های که بایستی صورت پذیرد از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_r(X \le N) = \sum_{X=0}^{N} \frac{e^{-\lambda c}(\lambda C)^X}{X!} \ge ۰/۹۵$$

که در این رابطه $P_r(X \le N)$ نشان دهنده احتمال آن است که X وسیله نقلیه کمتر یا مساوی با N وارد تقاطع شوند، و N کوچکترین عددی است که در این رابطه صدق می‌کند. سپس می‌توان زمان سبز، G لازم را از $۲/۵\ N$ یا $۳\ N$، هر کدام که مناسبتر باشد محاسبه نمود (۲/۵ ثانیه برای اتومبیل‌های کوچک و ۳/۰ ثانیه برای مخلوطی از انواع وسائل نقلیه).

برای مثال فرض کنید $C = ۶۰$ ثانیه و $\lambda = ۳۶۰$ وسیله نقلیه در هر ساعت باشد. در این صورت $۶ = (۶۰$ ثانیه) (یک وسیله نقلیه در هر ۱۰ ثانیه) $= (۶۰)\ (۳۶۰/۳۶۰۰) = \lambda C$، با استفاده از جدول توزیع پواسون بدست خواهیم آورد که:

$$P_r\ (X \le ۹) = ۰/۹۱۶$$

$$P_r\ (X \le ۱۰) = ۰/۹۵۷$$

بنابراین برای آنکه احتمال غیر اشباع بودن تقاطع ۹۵ درصد باشد لازم است که در هر چرخه چراغ راهنمائی حداکثر ۱۰ اتومبیل وارد تقاطع شود.

ظرفیت ورود ترافیک

توانایی مسیرهای بزرگراه برای جذب ترافیک اضافی یکی از عوامل مهم در مهندسی ترافیک است. در فصل ۸ کتاب "راهنمای ظرفیت راهها" (تحت عنوان شیبراهه‌ها)، و تا حدی در فصل ۷ آن (تحت عنوان تغییر خط) در مورد این توانایی از نقطه نظر عملی بحث شده است. روش‌های فصل ۸ کتاب فوق را می‌توان بطور خاص یک مدل سازی تجربی در زمینه تئوری ترافیک در نظر گرفت. این روش‌ها در طی قرارداد *NCHRP* مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

از دیدگاه محدودتری *DREW* برای حداکثر تردد شیبراهه (ظرفیت ورودی یا شیبراهه) یک مدل احتمالاتی ارائه کرده است که بر حسب توزیع فواصل در خط عبور کناری و الگوی پذیرش فاصله بیان می‌شود. بطور بخصوص فرض می‌شود که اگر در خط شانه، یک فاصله زمانی t بین صفر و T وجود داشته باشد $(o \le t \le T)$ هیچ کس آن را نخواهد پذیرفت. اگر t بزرگتر از T ولی کوچکتر از $T+T_1$ باشد، در اینصورت یک وسیله نقلیه آن را می‌پذیرد، و اگر بین $T+T_1$, $T+2T_1$ باشد، دو وسیله نقلیه آن را قبول می‌کنند و همینطور الی آخر. برای هر فاصله احتمال اینکه $(i + ۱)$ وسیله نقلیه وارد آن شود از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_r(T + iT_1 < t \le T + \{i+1\}\ T_1)$$

تعداد وسایل نقلیه‌ای که وارد هر فاصله می‌شوند برابر است با:

$$\sum_{i=0}^{\infty} (i+1)\ P_r(T+iT_1 < t < T + \{i+1\}\ T_1)$$

در مورد یک خط شانه اگر تردد آن q وسیله نقلیه در ساعت باشد، بنابراین q تعداد فاصله‌هایی است که در ساعت وجود خواهد داشت، به نحوی که ظرفیت شیبراهه (حجم ترافیک ورودی) q_R از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$q_R = q\sum_{i=0}^{\infty} (i+1)\ P_r(T+iT_1 < t \le T + \{i+1\}\ T_1) \qquad (۱۰-۱۱)$$

برای توزیع فواصل خط شانه بصورت نهایی (تابع چگالی احتمال $f(t) = qe^{-qt}$) معادله اخیر بصورت زیر خواهد بود:

$$q_R = q \sum_{i=0}^{\infty} (i+1)e^{-iqT1}(1-e^{-qT1})e^{-qT}$$

یا:

$$q_R = q\frac{e^{-qT}}{1-e^{-qT1}} \qquad (۱۰-۱۲)$$

این تحلیل را برای هر توزیع فاصله دیگری می‌توان انجام

داد، عقیده بر این است که توزیع ارلنگ (Erlang) به شکل رابطه $f(t) = (aq)^a t^{a-1} e^{-aqt}/(a-1)!$ قادر است توزیع فاصله‌ها را خوب توصیف نماید، که در آن عدد a بر تردد خط شانه را همبستگی دارد. در شکل ۴-۱۰ رابطه q ، q_R و T برای توزیع نمایی به ازای $T = T_1$ نشان داده شده است. توجه کنید که حساسیت q_R به T در ازای یک q خاص قابل توجه است. مثلاً در تردد $q = ۱۰۰۰$ وسیله نقلیه در ساعت، اگر T از ۳/۵ به ۳/۰ ثانیه کاهش یابد، q_R به میزان ۱۵۰ وسیله نقلیه در ساعت افزایش خواهد یافت.

سایر کاربردها

مدل سازی احتمالاتی موارد استفاده دیگری چه در زمینه مسائل ترافیکی (پارکینگ، پذیرش فاصله وضعیت صف و مسائل دیگر بزرگراهها) و چه در زمینه تعمق در موضوعاتی خارج از موارد فوق دارند. از میان مقالاتی که در سالهای اخیر منتشر شده، می‌توان تحلیل‌هایی از چندین حالت پذیرش فاصله و یک مدل مارکوف (Markov)، در زمینه تغییر خط در بزرگراههای چند خطه بدست آورد.

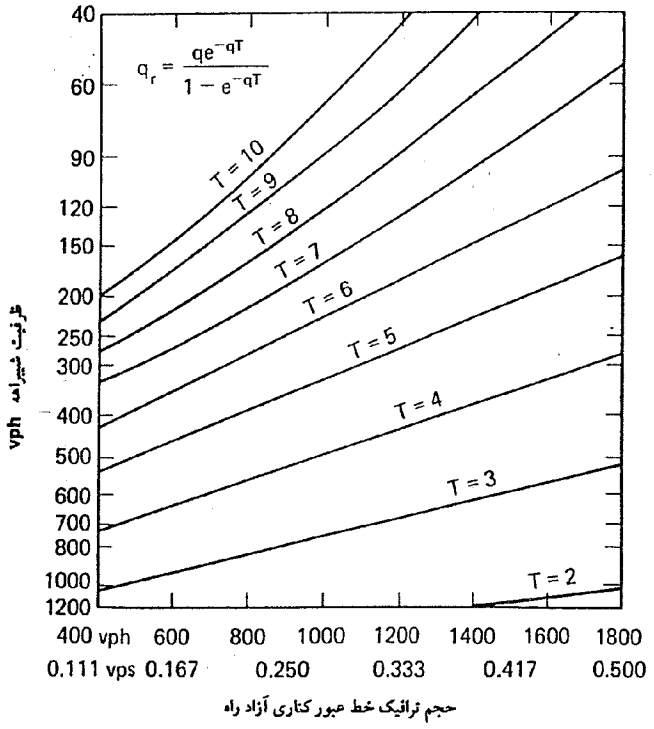
شیبراهه‌ها و بزرگراه‌ها

مطالعه بزرگراهها در سه زمینه اصلی صورت گرفته است: (۱) مکانیزمها و معیارهای اساسی در طول یک مسیر آزمایشی تعریف کرده‌اند:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \{a(t) - a_{av}\}^2 dt} \qquad (۱۰-۱۴)$$

شدت شتاب علاوه بر اینکه به انرژی از دست رفته مربوط است، به تمایل راننده و ایمنی نیز وابسته است، زیرا مشاهده شده که اکثر راههای ناامن دارای σ بالا بوده‌اند.

در آزادراه گلف واقع در هستون آمریکا، مشاهده گردیده که شدت طبیعی شتاب به پستی و بلندی بزرگراه بستگی دارد (به شکل ۵-۱۰ رجوع کنید). برای این منظور بزرگراه فوق به تعدادی قطعه کوتاه جهت آزمایش تقسیم شده و وسایل نقلیه آزمایشی کل مسیر را طی کردند و موارد مختلف ضبط و به نحو مناسبی تقسیم شدند. در نهایت معلوم شد که شدت کل شتاب (از جمله عکس‌العمل راننده) متناسب با تغییر کنترل بزرگراه، تغییر می‌نمود (به شکل ۶-۱۰ مراجعه کنید).



شکل ۴-۱۰ . مسأله‌ای از ظرفیت ورود

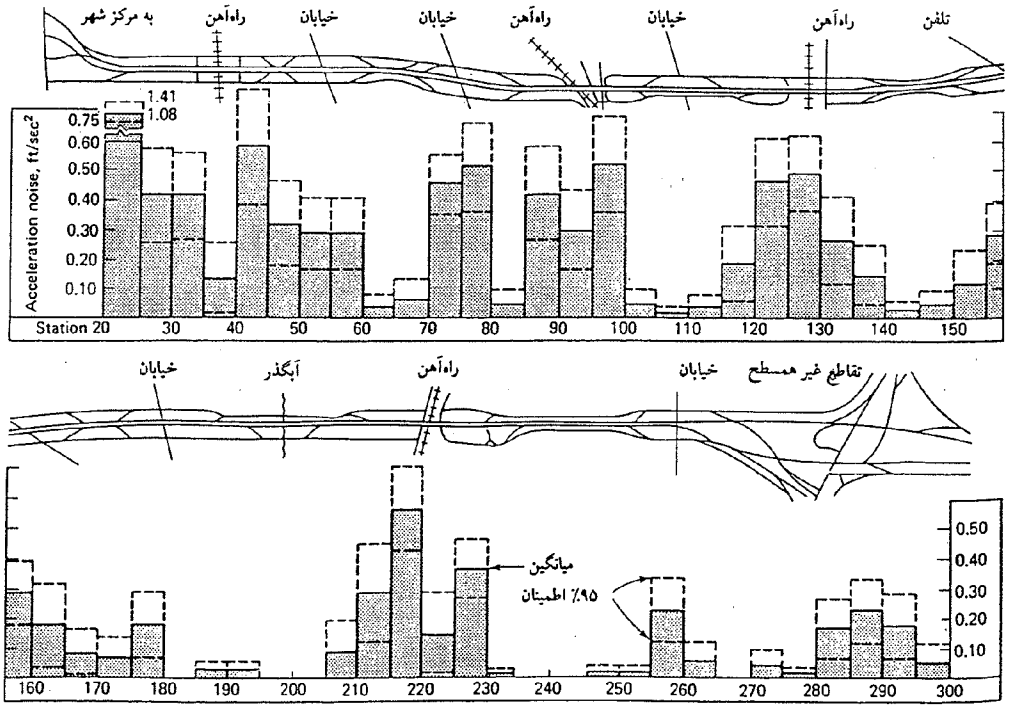
بررسی هریک از شیبراهه‌ها

در حال حاضر این شیوه‌ها جهت کنترل شیبراهه استفاده می‌شود، (۱) اندازه‌گیری معمولی، (۲) اندازه‌گیری پاسخ به تقاضا، (۳) اعمال پذیرش فاصله، و (۴) اعمال گام بردارنده یا تعقیب خرگوش. در رابطه با شیوه‌های اعمال (۳) و (۴) نکته جالب توجه این است که با استفاده از این شیوه‌ها دو کار انجام می‌شود: (۱) محدودیت دسترسی به عنوان بخشی از برنامه بزرگراه مد نظر قرار می‌گیرد، (۲) هر یک از وسایل نقلیه با راحتی بیشتری بداخل جریان ترافیک راه می‌یابند. همانطوری که از معادله (۶-۱۰) می‌توان دید، شیوه (۴) به تنهایی و مستقیماً سبب بالا رفتن عملکرد بزرگراه می‌شود.

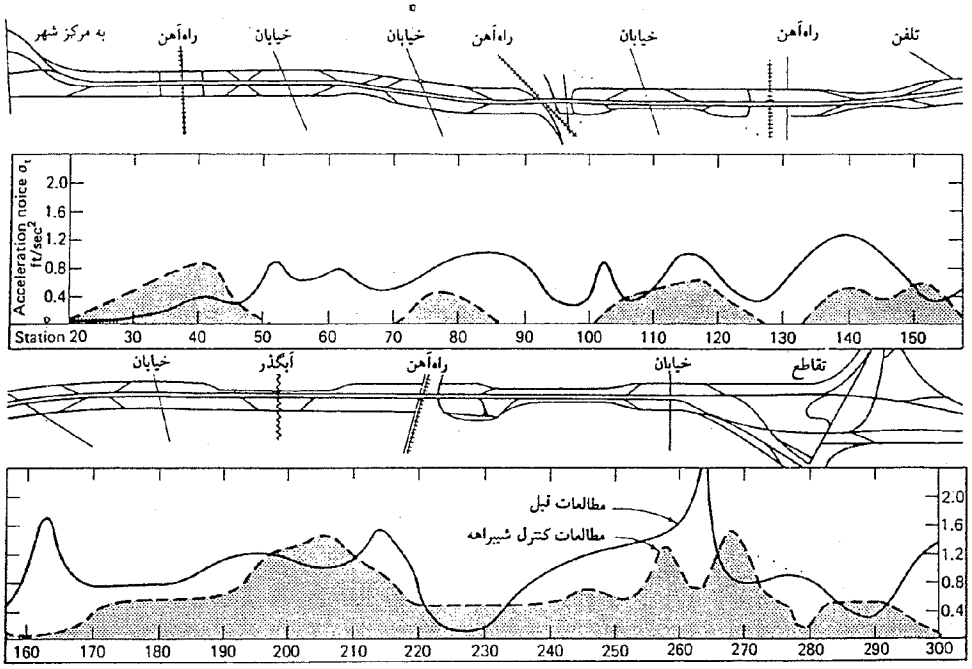
همانطور که در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده، چندین وظیفه به عهده کنترل کننده پذیرش فاصله می‌باشد: (۱) مشخص نمودن وسایل نقلیه‌ای که در شیبراهه بناست سرویس داده شوند، (۲) شناسائی کردن فاصله‌های قابل پذیرش برای وسیله نقلیه مورد نظر در شیبراهه (بصورت احتمالاتی)، (۳) جلو کشیدن فاصله مورد نظر به محل پیوستن وسیله نقلیه به ترافیک بزرگراه، و اظهار نظر در مورد احتمال باقی ماندن آن (ناپایداری)، و (۴) رها سازی زمانی وسیله نقلیه مورد نظر در شیبراهه به نحوی که احتمال ورود (پذیرش) آن بهینه شود. هرکدام از این کارها مستلزم وجود شناسگر است. وظیفه دوم برای اینکه بطور کامل اجرا گردد مستلزم وجود یک ردیف شناسگر می‌باشد، زیرا زمان سفر وسیله نقلیه از استقرار در شیبراهه تا پیوستن به ترافیک عبوری بزرگراه نسبتاً ثابت است و فاصله را باید در مسافتی که بستگی به سرعت آزاد راه دارد، و باندازه یک مدت زمان T ثانیه قبل از ورودی شناسائی نمود. مسئله این نیست که از تمامی شناسگرها استفاده شود بلکه این است که از کدام یک استفاده گردد.

شناسگرها علاوه بر کارهایی که عنوان شد قادرند کارهای دیگری نیز بقرار زیر انجام دهند:

(۱) تعیین اینکه پیوستن وسیله نقلیه به ترافیک بزرگراه بطور کامل انجام شده است یا نه، (۲) اطمینان از اینکه آیا واقعاً یک وسیله نقلیه چراغ راهنمائی را پشت سر گذاشته است یا نه، و (۳) تعیین بعضی از اندازه‌های حداکثر، از قبیل شروع بسته شدن



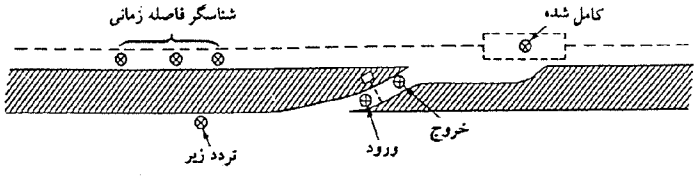
شکل ۵-۱۰، شدت طبیعی شتاب در منطقه تپه ماهوری بزرگراه گلف



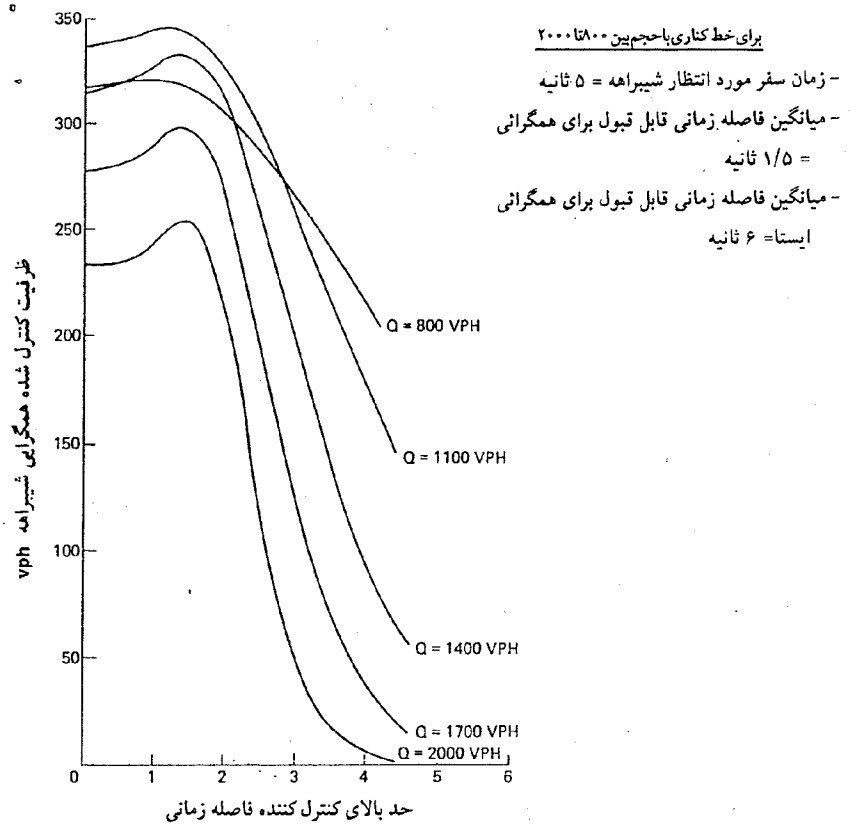
شکل ۶-۱۰. اثر کنترل در پروفیل شدت شتاب، بزرگراه گلف

تقاطع، محل‌های بالقوه استقرار شناسگرها در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده است. اولین نوع شناسگرها برای اجرای شیوه‌های خاص پذیرش فاصله از اهمیت زیادی برخوردارند، این شیوه‌های می‌توانند، چند صورت از قبیل رها سازی بعد از تکمیل (هیچ اتومبیلی از شیبراهه خارج نمی‌شود مگر اینکه اتومبیل قبلی از محل پیوستن به بزرگراه گذشته باشد)، رهاسازی قبل از تکمیل و رهاسازی چند اتومبیل با هم می‌باشد. جنبه‌های تئوری پذیرش فاصله در مراجعه مختلف مورد بحث قرار گرفته است. شکل ۸-۱۰ کاربرد تنظیم پذیرش فاصله را در استفاده مؤثر از پذیرش فاصله جهت اندازه‌گیری نشان می‌دهد.

مطالعه کنترل‌کننده شیبراهه به روش پاسخ به تقاضا (نوع ۲) نیز مطالعه جالبی است. سرعت اندازه‌گیری را که با زمان تغییر



شکل ۷-۱۰ روش و کنترل پذیرش فاصله زمانی عبور



شکل ۸-۱۰. کنترل ظرفیت ورود بر حسب کنترل حد تنظیمی

می‌کند می‌توان برای تغییرات معلوم تقاضا از قبل برنامه‌ریزی‌نمود، یا اینکه می‌توان از یک شناسگر در بالا دست برای واکنش‌مستقیم استفاده کرد. روش اول در مطالعه‌ای شامل تحلیلی از تأخیر اتومبیل‌های گرفتار شده، و اشاره به میزان آن (صف)، نشان داده شده است.

کنترل و نظارت بزرگراهها

در بخش کنترل شیپراهه و بزرگراه از فصل ۱۷، بحث مختصری در مورد کنترل و نظارت بزرگراه ارائه گشته و در مورد پروژه‌های موجود توضیح داده می‌شود. در اینجا معلوم می‌شود که علیرغم پیشرفت‌های زیادی که با اجرای این پروژه‌ها وتحقیقات صورت گرفته، تا این زمان هیچ روش جامع مدیریتی که بتواند آن را برای شرایطی غیر از شرایط متوسطی که بار ثابت‌است (یعنی برای نمودار متغیر ورودی زمان اوج، یا برای ظرفیت تغییر یافته بخاطر وقوع حادثه) بکار برد وجود نداشته است. این زمینه تحقیق امروزه مورد توجه زیادی قرار گرفته‌است. از زمره بهترین مطالعاتی که تا به امروز انجام شده می‌توان از فرموله کردن تخصیص جریان‌ها به صورت یک برنامه خطی برای تقاضاهای ثابت و استفاده محدود از یک "تابع نمائی" (که با روش مومنتم انرژی قابل قیاس است) برای اعمال یک تخصیص بین دو تسهیلات موازی نام برد.

کنترل شبکه و راه‌های شریانی

هر چند که در زمینه کنترل مسیردهی و مسیردهی مشورتی یک سری مقالات تئوری و مقالاتی در ارتباط با امکان سنجی سیستم‌های آن وجود دارد، با این وجود غالب موضوعات

مربوط به تئوری ترافیک و نیز کاربردهای جاری آن به طور کلی در رابطه با جنبه‌های زمان‌بندی چراغ راهنمائی، در رابطه با روش‌ها و الگوریتم‌های الگوی چراغ‌ها، و در رابطه با طبقه‌بندی ساختاری سیاست‌های کنترل و ابزارهای کنترل (کامپیوترها) بوده است. در مورد غالب این مطالب در بخش "کنترل چراغ‌های هماهنگ" در فصل ۱۶ بحث شده است. این موضوع شامل: (۱) ارائه ضوابط مشخص (حداکثر عرض باند سبز، تخلیه صف، توقف‌ها و تأخیر)، (۲) الگوریتم‌ها زمان‌بندی چراغ از جمله *SIGOP* و (۳) رقمی کردن پروژه‌های کنترل و کنترل با کامپیوتر می‌باشند.

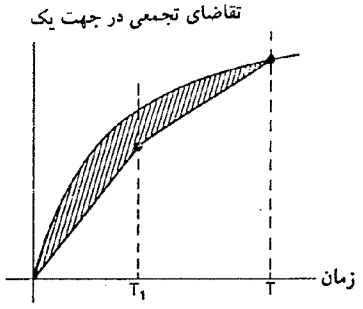
کنترل تقاطع‌های فوق اشباع

موارد متعددی از تقاطع‌های فوق اشباع وجود دارد که در یک مدت زمانی اوج در تمامی مسیرهای منتهی به تقاطع صف طویلی از اتومبیل‌ها انتظار می‌کشند. در طول این زمان، تشخیص اینکه یک اتومبیل پس از وارد شدن در زمان سبز از تقاطع می‌گذرد یا نه امکان پذیر نمی‌باشد. این مسئله توسط *Gazis* و *Potts* مورد مطالعه قرار گرفت و روشن شد که استراتژی کنترل نباید به اندازه‌گیری همزمان صف‌ها در مسیرهای ورودی به تقاطع وابسته باشد، بلکه باید به سابقه تقاضا جهت عبور از تقاطع در طول مدت زمان اشباع وابسته باشد. در این مسئله یک تقاطع فوق‌العاده شلوغ که منحنی‌های تقاضای سرویس آن یک منحنی محدب و تجمعی است (این منحنی‌های رفتار واقعی یکنواخت شده است) بطوریکه در شکل (۹-۱۰) نشان داده شده، زمان‌های سبز آن دارای محدودیت (حداکثر، حداقل در چرخه چراغ) و با زمان چرخه ثابت بوده، مورد بررسی قرار گرفت. ضابطه مورد نظر عبارت بود از به حداقل رساندن تأخیر کلی بر وسایل نقلیه، از روش‌های تئوری کنترل بهینه استفاده گردید و روشن شد که کنترل کننده بهینه، همان چیزی است که از آن در رشته کنترل بعنوان "کنترل کننده تق تق" یاد شده است. یعنی تخصیص حداکثر (حداکثر زمان سبز) در یک مدت به یک جهت داده می‌شود تا موقعی که مدت کنترل پایان یافته و جهت جریان عوض شود و تخصیص به حداقل برسد (در جهت دیگر حداکثر است). این شیوه کنترل در شکل ۹-۱۰ نشان داده شده است. کنترل کننده تا زمان مشترک T، که ترافیک شلوغ هر دو جهت به پایان می‌رسد، باید عمل کند.

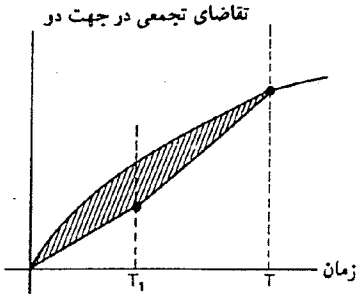
بعضی معیارهای تأثیرپذیری

معیار تأثیرپذیری *(MOE)* شاخصی است برای عملکرد یک سیستم. معیارهای تأثیرپذیری متداول عبارتند از سرعت، زمان سفر، و تعداد توقف‌ها. تعدادی از معیارهای تأثیرپذیری که برای مهندسین ترافیک شناخته شده مورد تحلیل قرار گرفته‌اند تا بدین طریق معیارهای اصلی بدست آید. یک مجموعه سه عضوی پیشنهاد شد که عبارتند از: زمان سفر T، نسبت انرژی موجود μ_E، و سرعت سرویس‌دهی R. R بیانگر سرعت سرویس دهی به وسایل نقلیه یک تقاطع است.

از میان این سه عنصر، نسبت انرژی، μ_E، پارامتری است که جدیداً تعریف شده است. تعریف آن عبارت است از نسبت انرژی جنبشی مؤثر E_{eff} به انرژی جنبشی اندازه‌گیری شده E_{meas} انرژی جنبشی مؤثر بر حسب زمان سفر (یکی از شاخص‌های سرعت)، بصورت $E_{eff} = D\{L/T\}^2$ تعریف می‌شود. که در این رابطه D چگالی ترافیک و L طول مقطع است. انرژی جنبشی اندازه‌گیری شده بر حسب سرعت لحظه‌ای حرکت آزاد V_F بصورت $E_{mas} = DV^2_F$ تعریف می‌شود. بنابراین



هدف: حداقل نمودن ناحیه سایه زده شده (کل تأخیر)



شکل ۹-۱۰ . روشی برای چراغ راهنمائی یک تقاطع فوق اشباع

نسبت انرژی عبارت است از:

$$\mu_E = \frac{E_{eff}}{E_{meas}} = \{\frac{L/T_2}{V_F}\} \qquad (۱۰-۱۵)$$

توجه داشته باشید که حدود تغییرات μ_E بین صفر و یک می‌باشد. μ_E معیاری برای انرژی از دست رفته است، همانطور که شدت شتاب مقیاسی برای آن می‌باشد [معادله (۱۰-۱۴)]، و انرژی از دست رفته با حداکثر شدن μ_E به حداقل مقدار خود می‌رسد. یکی از مزایای μ_E این است که محاسبه آن از محاسبه شدت شتاب ساده‌تر است زیرا فقط به V_F و T بستگی دارد.

در مورد خطای اندازه‌گیری و تأثیرات آن مفصلاً بحث شده است و نتیجه گرفته می‌شود که خطاهای اندازه‌گیری صف باعث پیدایش خطاهای عمده‌ای در معیارهای تأثیرپذیری می‌گردد. در سیستم *UTCS* نیز مشکلات مربوط به اندازه‌گیری و آشکار سازی مفصلاً مورد بحث قرار گرفته است.

یکی از دیگر معیارهای تأثیرپذیری، گرادیان سرعت متوسط G می‌باشد که بدین صورت تعریف می‌شود:

$$G = \sigma/V \qquad (۱۰-۱۶)$$

که در این رابطه σ عبارت است از شدت شتاب و V عبارت است از سرعت متوسط، این معیار برای راههای شریانی شهری پیشنهاد گردیده، زیرا شدت شتاب هر چند که برای معیارهای تأثیرپذیری *(MOE)* که پیوسته در جریانند مفید است، ولی نمی‌تواند وضعیت‌هایی از قبیل توقف‌ها در راه شریانی خلوت با یک زمان بندی ضعیف و توقف‌هایی که در یک شریانی یا زمان بندی خوب و با عکس‌العمل معمولی و ترافیک سنگین وجود دارد تفاوت زیادی قائل شود، هر چند که خشنودی راننده در هریک از دو مورد فوق به اندازه خیلی زیادی فرق می‌کند.

جنبه‌های دیگر

همانطور که در مقدمه خاطر نشان شد، این فصل که در زمینه معرفی مطالعات تئوریک ترافیکی است هم از لحاظ موضوعات مطروحه و هم از لحاظ عمق موضوعات محدود گردیده است. به ویژه جای بحث مربوط به کاربردهای تئوری صف، مطالعه دقیق مدل سازی احتمالاتی در مورد مسائل چراغ راهنمائی و مدلهای ایمنی و افراد پیاده در این مقوله خالی است. برای بدست آوردن اطلاعاتی در این زمینه و سایر زمینه‌ها می‌توانید به کتاب‌های عمومی و به کتاب‌هایی که در مقدمه از آنها نام برده شده، مراجعه نمائید.

فصل ۱۱
ظرفیت راه‌ها: مقدمه و پیش زمینه‌ها

موضوع ظرفیت راه‌ها نه تنها با حداکثر توانائی تسهیلات حمل و نقل در جابجایی، بلکه با خصوصیات نسبی تسهیلاتی که در ظرفیت کامل عمل نمی‌کنند نیز در ارتباط است. بنابراین یک مطالعه ظرفیت، در نگاه اول، مطالعه‌ای است کمی و کیفی که کیفیت سرویس فراهم شده توسط سیستم مورد نظر و کافی بودن آن را ارزیابی می‌کند.

کتاب ظرفیت راه‌ها (*Highway Capacity M.*) کامل‌ترین مرجع در مورد ظرفیت است که روش‌های آن تا حد زیادی بر اساس اطلاعات تجربی، تا روابط تئوریک، استوار است.

تحلیل‌های ظرفیت در بسیاری از مسائل مهندسی ترافیک قسمتی از اطلاعات اولیه را مشخص می‌کند. از جمله:

۱ - کمبودهای سیستم راه‌های موجود را می‌توان با مقایسه حجم ترافیک اندازه‌گیری شده با ظرفیت آن تسهیلات تعیین نمود.
۲ - تغییرات مفروض در سیستم خیابان‌های موجود، مانند تغییرات طرح هندسی، چراغ راهنمائی، مقررات پارک وسایل نقلیه، تبدیل به یکطرفه، محدودیت‌های دور زدن و غیره باید با توجه به تأثیراتی که در ظرفیت می‌گذارند بررسی شوند.
۳ - طرح تسهیلات جدید همیشه باید بر اساس تحلیل‌های ظرفیت و همراه با تقاضای پیش‌بینی شده انجام گیرد.
۴ - مقایسه نسبی طریقه‌های مختلف حمل و نقل از نظر میزان تأثیر آنها در رفع نیازها، معمولاً بر اساس تحلیل‌های ظرفیت انجام می‌گیرد.

تعریف‌ها و مفاهیم

ظرفیت

بطور کلی، ظرفیت عبارت است از حداکثر تردد ساعتی وسایل نقلیه‌ای که بطور معقول از یک نقطه یا قسمت یکنواختی از یک خط عبور یا کل جاده، در مدت زمان مشخص و تحت شرایط موجود راه، ترافیک و شرایط کنترل می‌تواند عبور کند. مدت زمانی که در اکثر تحلیل‌های ظرفیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد ۱۵ دقیقه می‌باشد و کوتاه‌ترین مدت زمانی است که در آن تردد یکنواخت و پایدار وجود دارد.

ظرفیت برای شرایط موجود راه، ترافیک و کنترل تعریف می‌شود. شرایط روسازی و آب و هوا خوب فرض می‌شود.

شرایط راه. منظور از شرایط راه اشاره به مشخصات هندسی راه یا خیابان شامل نوع تسهیلات مورد نظر و توسعه محیط اطراف آن، خطهای عبور در هر طرف، عرض خطهای عبور و شانه‌ها، فاصله مانع کنار جاده، سرعت طرح و مسیربندی‌های افقی و عمودی است.

شرایط ترافیک. منظور مشخصات ترافیک عبور کننده می‌باشد که توسط توزیع انواع وسائل نقلیه در ترافیک، نحوه توزیع و مقدار ترافیک در خطهای عبور مختلف، و توزیع ترافیک در دو جهت تعریف می‌شود.

شرایط کنترل. منظور انواع خصوصیات طراحی وسایل کنترل و مقررات ترافیکی حاکم است. محل و زمان‌بندی چراغ‌های راهنمائی، همچنین تابلوهای ایست و احتیاط، محدودیت‌های

استفاده از خط، محدودیت‌ها دور زدن و موارد مشابه در ظرفیت تأثیر دارند.

انواع تسهیلات

کتاب ظرفیت راه‌ها روش‌های تحلیل ظرفیت را برای انواع تسهیلات حمل و نقل ارائه می‌دهد. بطورکلی این تسهیلات به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱ - تسهیلات با جریان غیر منقطع - این تسهیلات دارای عناصر ثابتی از قبیل چراغ راهنمائی یا عوامل خارج از ترافیک که در جریان آن اختلال ایجاد می‌کنند، نیستند. به عبارت دیگر شرایط موجود ترافیک از اثرات متقابل وسایل نقلیه موجود در ترافیک، و اثرات بین وسائل نقلیه و طرح هندسی و خصوصیات محیط اطراف راه ناشی می‌شود. این نوع تسهیلات را بصورت زیر می‌توان مشخص کرد:

الف - بزرگراه شامل:

۱ - قسمت‌های اساسی بزرگراه

۲ - نواحی تغییر خط

۳ - شیبراهه‌ها و محل‌های اتصال آنها به بزرگراه

۴ - سیستم بزرگراه

ب - جاده‌های چند خطه

ج - جاده‌های دو خطه

۲ - تسهیلات با جریان منقطع - این نوع تسهیلات دارای عناصر ثابتی هستند که بصورت دوره‌ای اختلال‌هایی را در جریان ترافیک ایجاد می‌کنند. ای عناصر عبارتند از: چراغ‌های راهنمائی، تابلوهای ایست و سایر انواع کنترل که باعث می‌شوند ترافیک بطور متناوب متوقف شود و یا خیلی کند حرکت کند، بدون اینکه حجم ترافیک در آنها مؤثر باشد. تحلیل ظرفیت در این حالت باید اثرات این عوامل را در نظر بگیرد. تسهیلاتی از این نوع که ظرفیت را می‌توان برای آنها محاسبه نمود. عبارتند از:

الف - تقاطع‌های دارای چراغ راهنمائی

ب - تقاطع‌های بدون چراغ راهنمائی (با دو یا چهار تابلو ایست)

ج - راه‌های شریانی اصلی

د - سیستم حمل و نقل عمومی

هـ- عابرین پیاده

و - دوچرخه‌ها

سطوح سرویس

مفهوم سطح سرویس بصورت یک معیار کیفی که بیان کننده شرایط عملکرد ترافیک و استنباط مسافرین و رانندگان می‌باشد، تعریف می‌شود. سطح سرویس معمولاً این شرایط را بر حسب عواملی مانند سرعت، زمان سفر، آزادی مانوور، اختلالات ترافیکی و راحتی و ایمنی تشریح می‌کند، بطور کلی شش نوع سطح سرویس، برای انواع تسهیلات، وجود دارد. این سطوح از A تا F که سطح سرویس A بهترین وضعیت عملکرد و سطح سرویس F بدترین آنها را نشان می‌دهد تقسیم‌بندی می‌شود.

تعاریف سطح سرویس. در حالت کلی، سطوح مختلف سرویس برای جریان‌های غیر منقطع بصورت زیر تعریف می‌شوند:

سطح سرویس A جریان آزاد ترافیک را نشان می‌دهد. رانندگان بدون تأثیرپذیری از یکدیگر در جریان ترافیک قراردارند. آزادی انتخاب سرعت و مانور خیلی بالاست. سطح کلی راحتی و آسایش فراهم شده برای رانندگان، مسافرین و عابرین پیاده عالی است.

سطح سرویس B محدوده جریان پایدار است ولی حضور سایر استفاده کنندگان در جریان ترافیک محسوس می‌باشد. آزادی انتخاب سرعت نسبتاً راحت و بدون تأثیر از دیگر وسایل نقلیه بوده ولی کاهش ناچیزی در آزادی حرکت و مانوور در جریان ترافیک، نسبت به سطح سرویس A وجود دارد. میزان راحتی و آسایش ایجاد شده تا اندازه‌ای کمتر از سطح سرویس A است، و این به دلیل حضور دیگران در ترافیک بوده که بر رفتار تک تک آنها اثر می‌گذارد.

سطح سرویس C نیز در محدوده جریان پایدار است ولی نشانه شروع محدوده جریانی است که در آن عملکرد استفاده کنندگان مختلف بطور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر اعمال متقابل یکدیگر قرار می‌گیرد. انتخاب سرعت، تحت تأثیر حضور سایرین در ترافیک بوده و مانوور دادن نیاز به مهارت و تهور قابل ملاحظه‌ای از جانب راننده دارد. سطح کلی راحتی و آسایش به نحو قابل ملاحظه‌ای پایین می‌آید.

سطح سرویس D نشان دهنده چگالی ترافیک بالا، ولی جریان پایدار است. انتخاب سرعت و قدرت مانوور نیز بسیار محدود می‌باشد. رانندگان، مسافرین و عابرین پیاده یک سطح کلاً پایین را از نظر راحتی و آسایش تجربه می‌کنند. افزایش جزئی در میزان تردد ترافیک باعث بروز مشکلات عملکردی در این سطح سرویس خواهد شد.

سطح سرویس E نشان دهنده عملکرد ترافیک در سطح ظرفیت و یا نزدیک آن است. سرعت‌ها تا یک حد پایین ولی به مقدار نسبتاً یکنواختی کاهش می‌یابد. قابلیت مانوور در درون

جریان ترافیک بی‌نهایت مشکل بوده و معمولاً به صورت مجبور نمودن یک وسیله نقلیه یا عابر پیاده به راه دادن امکان‌پذیر می‌باشد. سطح راحتی و آسایش بسیار پایین بوده و سرخوردگی رانندگان و عابرین پیاده معمولاً زیاد است. عملکرد ترافیک در این سطح سرویس معمولاً ناپایدار است و افزایش جزئی در میزان تردد و آشفتگی جزئی در ترافیک باعث فلج شدن جریان خواهد شد.

سطح سرویس F برای تعریف جریان تحت فشار یا از هم گسیخته بکار رفته و زمانی وجود دارد که مقدار ترافیک وارد به یک نقطه بیشتر از مقدار باشد که می‌تواند عبور کند، و در چنین محل‌هائی صف ایجاد می‌گردد. عملکرد ترافیک به صورت امواج توقف - حرکت بوده و بسیار ناپایدار است. وسایل نقلیه ممکن است سرعتشان را برای چند صد فوت یا بیشتر و بطور مناسبی افزایش دهند و سپس لازم باشد که بطور متناوب متوقف شوند. سطح سرویس F برای تشریح حالات عملکردی با صف و همچنین نقطه از هم گسیختگی می‌گردد. باید توجه داشت که در بسیاری از موارد، شرایط عملکرد وسایل نقلیه و یا عابرین پیاده که از صف خارج شده‌اند کاملاً خوب باشد، با این وجود نقطه‌ای را مشخص می‌کند که جریان ورودی بیش از جریان خروجی است و صف ایجاد می‌شود.

تردد سرویس. تردد سرویس حداکثر میزان ترددی را نشان می‌دهد که با حفظ یک سطح سرویس مشخص، افراد و یا وسایل نقلیه می‌توانند بطور معقولانه انتظار داشته باشند که از یک نقطه جاده یا قسمت یکنواختی از آن، یا یک خط عبور، و در مدت زمانی مشخص، تحت شرایط موجود راه، ترافیک و شرایط کنترل، عبور می‌کنند. مانند ظرفیت، تردد سرویس نیز برای مدت ۱۵ دقیقه حداکثر در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که ترددهای سرویس مقادیر مشخصی می‌باشند، در حالی که سطح سرویس نشانگر دامنه‌ای از شرایط و ضعیت‌هاست. در واقع تردد سرویس به صورت مقدار حداکثر برای هر سطح سرویس تعریف می‌شود و مرزهای تردد را بین سطوح گوناگون سرویس تعریف می‌کند.

معیار تأثیرپذیری. برای انواع تسهیلات که قبلاً نام برده شد سطح سرویس را می‌توان با یک یا چند پارامتر ترافیکی مشخص کرد که کیفیت سرویس را در آن حالت به بهترین وجه نشان می‌دهد اگر چه مفهوم سطح سرویس بر آن است که دامنه‌ای از پارامترهای مختلف را در تشریح کیفیت سرویس بکار گیرد، ولی محدودیت‌های وجود داده‌ها و جمع‌آوری آنها کار با تمام پارامترهای مؤثر در ترافیک را برای انواع تسهیلات غیرممکن می‌کند. پارامترهای انتخاب شده برای تعریف سطوح سرویس در هر نوع از تسهیلات را معیار تأثیرپذیری می‌نامند. این معیارها در جدول ۱-۱۱ نشان داده شده است.

اصول اساسی جریان ترافیک

معیارهای اندازه‌گیری جریان ترافیک

عملکرد هر جریان ترافیک توسط سه معیار اولیه زیر اندازه‌گیری می‌شود. این معیارها عبارتند از ۱ - سرعت، ۲ - حجم و تردد، ۳ - چگالی.

۱ - سرعت بصورت شدت حرکت تعریف می‌شود و عبارت است از مسافت در واحد زمان که معمولاً بر حسب کیلومتر در ساعت بیان می‌شود.

در مشخص نمودن سرعت جریان ترافیک یک مقدار نمایانگر باید مورد استفاده قرار گیرد، زیرا معمولاً طیف گسترده‌ای از سرعت‌های منفرد ر جریان ترافیک وجود دارد. در مباحث ظرفیت معیار عبارت است از متوسط سرعت سفر. این معیار به این علت مورد استفاده قرار می‌گیرد که از روی مشاهدات انجام گرفته به سادگی قابل محاسبه بوده و از نظر آماری نیز بیشترین ارتباط و نزدیکی را در مقایسه با دیگر متغیرها دارد. سرعت متوسط سفر با در نظر گرفتن یک طول مشخص از مسیر و تقسیم آن بر متوسط زمان سفر وسایل نقلیه‌ای که آن طول را می‌پیمایند بدست می‌آید. بنابراین اگر زمان‌های سفر t_1 و t_2 و t_3 و ... و t_n برای n وسیله نقلیه که طول L را می‌پیمایند اندازه‌گیری شده باشد، متوسط سرعت سفر بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{L}{\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i/n}{n}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad (۱۱-۱)$$

که در آن:

S = متوسط سرعت سفر، برحسب کیلومتر در ساعت

L = طول قطعه مسیر، برحسب کیلومتر

t_i = زمان سفر وسیله نقلیه i ام که طول قطعه را طی می‌کند برحسب ساعت

n = تعداد مشاهدات زمان‌های سفر

جدول ۱-۱۱ . معیارهای تأثیرپذیری برای انواع تسهیلات

انواع تسهیلات	معیار مؤثر بودن
بزرگراه‌ها:	
قسمت‌های اساسی بزرگراه	چگالی در اتومبیل در واحد طول در خط عبور
نواحی تغییر خط	سرعت متوسط سفر (کیلومتر در ساعت)
اتصال شیبراهه‌ها	میزان تردد (اتومبیل در ساعت)
راه‌های چند خطه	چگالی
راه‌های دو خطه	درصد تأخیر (درصد) و سرعت متوسط سفر (کیلومتر در ساعت)
تقاطع‌های چراغ‌دار	تأخیر توقف متوسط (ثانیه بر وسیله نقلیه)
تقاطع‌های بدون چراغ راهنمائی	ظرفیت ذخیره شده (اتومبیل در ساعت)
شریانی‌ها	سرعت متوسط سفر (کیلومتر در ساعت)
سیستم حمل و نقل عمومی	ضریب بار (نسبت افراد به صندلی)
عابرین پیاده	فضا (متر مربع فضا برای هر عابر)

۲ - حجم و میزان تردد دو معیار هستند که مقدار ترافیک عبوری از یک نقطه را بر روی یک خط عبور و یا جاده، در طول مدت زمان مشخص، نشان می‌دهند. این اصطلاحات بصورت زیر تعریف می‌شوند:

حجم- کل وسایل نقلیه‌ای که از یک نقطه یا مقطع از خط یا جاده در مدت زمان معینی عبور می‌کنند. حجم‌های ترافیک ممکن است بصورت سالیانه، روزانه یا ساعتی یا مدت زمانی کمتر از ساعت بیان شوند.

میزان تردد- معادل تردد ساعتی که وسایل نقلیه از یک نقطه یا قسمت یکنواختی از یک خط عبور یا کل راه در مدت زمانی کمتر از یک ساعت، معمولاً ۱۵ دقیقه، عبور می‌کنند. اختلاف بین حجم و میزان تردد نکته مهمی است که باید به آن توجه شود. حجم تعداد واقعی وسایل نقلیه‌ای است که در یک مدت زمان از یک نقطه جاده عبور می‌کنند، در صورتیکه میزان تردد حداکثر شدت عبور ترافیک را نشان می‌دهد که معمولاً در یک ۱۵ دقیقه ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود ولی همیشه بصورت تعداد وسایل نقلیه در ساعت بیان می‌گردد. مثال زیر این موضوع را بهتر روشن می‌کند.

شمارش‌های زیر در طول مدت یک ساعت (بین ساعت ۵ تا ۶) انجام شده است:

میزان تردد (وسیله نقلیه درساعت)	حجم (وسیله نقلیه)	زمان
۴۰۰۰	۱۰۰۰	۵:۰۰-۵:۱۵
۴۸۰۰	۱۲۰۰	۵:۱۵-۵:۳۰
۴۴۰۰	۱۱۰۰	۵:۳۰-۵:۴۵
۴۰۰۰	۱۰۰۰	۵:۴۵-۶:۰۰

مجموع حجم ترافیک برای یک ساعت جمع شمارش‌ها (۴۳۰۰ وسیله نقلیه) یا ۴۳۰۰ وسیله نقلیه در ساعت بوده است. میزان تردد در طول یکساعت تغییر کرده و در ۱۵ دقیقه دوم حداکثر بوده است، بنابراین میزان تردد برابر است با ۴۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، در نتیجه ضریب ساعت اوج را نیز به صورت زیر می‌توان تعریف کرد:

$$PHF = \frac{\text{حجم ساعتی}}{\text{حداکثر میزان تردد (در یک ساعت)}}$$

بنابراین اگر دوره زمانی ۱۵ دقیقه مورد استفاده قرار گرفته باشد، ضریب ساعت اوج عبارت خواهد بود از:

$$PHF = \frac{V}{4(V_{15})} \qquad (۱۱-۲)$$

PHF = ضریب ساعت اوج

V = حجم ساعتی، وسیله نقلیه در ساعت

V_{15} = حجم در مدت ۱۵ دقیقه حداکثر ساعت اوج، بر حسب وسیله نقلیه در ۱۵ دقیقه

۳ - چگالی - عبارت است از تعداد وسایل نقلیه‌ای که طول مشخصی از یک خط عبور یا کل جاده را اشغال می‌کنند و معمولاً بصورت وسایل نقلیه در کیلومتر یا مایل بیان می‌شود.

اندازه‌گیری چگالی بطور مستقیم و در محل مورد نظر مشکل است و احتیاج به نقطه‌ای مرتفع دارد که از آنجا طول قابل توجهی از مسیر قابل عکسبرداری، فیلمبرداری ویدئوئی یا مشاهده باشد. چگالی را می‌توان از متوسط سرعت سفر و میزان تردد که خیلی ساده‌تر اندازه‌گیری می‌شوند، محاسبه نمود.

$$V = S \times D \qquad (۱۱-۳)$$

که در آن:

V = میزان تردد، وسیله نقلیه در ساعت

S = متوسط سرعت سفر، کیلومتر در ساعت

D = چگالی وسیله نقلیه در کیلومتر

چگالی یک پارامتر مهم است و عملکرد ترافیک را تشریح می‌کند. چگالی نزدیک بودن وسایل نقلیه را به یکدیگر توضیح داده و میزان آزادی مانوور را در یک جریان ترافیک منعکس می‌کند.

خصوصیات جریان غیر منقطع

معادله ۳-۱۱ رابطه اصلی میان سه پارامتر را که نشان‌دهنده یک جریان غیرمنقطع است را بیان می‌کند. هرچند که رابطه مزبور از نظر جبری باعث بوجود آمدن میزان تردد مشخصی برای محدوده‌ای از ترکیبات سرعت و چگالی می‌شود، روابط دیگری نیز وجود دارد که تنوع شرایط تردد موجود در هر محل را محدود می‌کند.

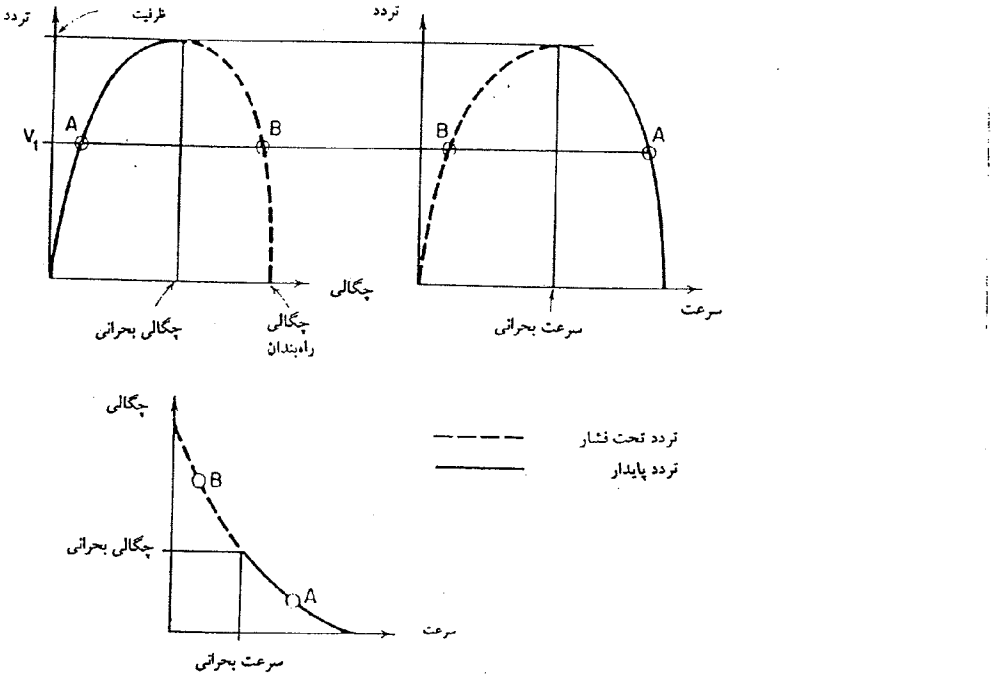
شکل ۱-۱۱ شکل کلی این روابط، که اساس فلسفی لازم برای تحلیل ظرفیت تسهیلات با جریان غیرمنقطع را تشکیل می‌دهد، مشخص می‌کند. شکل کلی و واقعی این منحنی‌ها و کالیبره کردن عددی آنها بستگی به ترافیک متداول و وضعیت موجود جاده در طول قسمت تحت مطالعه دارد. باید توجه داشت که منحنی‌های کالیبره شده برای تسهیلات مشخص ممکن است در نزدیکی ظرفیت ناپیوسته باشند.

منحنی‌های شکل ۱-۱۱ تعدادی از نقاط مهم را تشریح می‌کند. دقت کنید که میزان تردد صفر تحت دو وضعیت خیلی متفاوت بوجود می‌آید:

۱ - زمانی که هیچ وسیله نقلیه‌ای وجود ندارد چگالی صفر است و تردد نیز صفر می‌شود. سرعت برای این حالت بطور کلی نظری است و مقدار آن همان است که اولین راننده اختیار می‌کند و احتمالاً مقدار زیادی خواهد بود.

۲ - زمانی که چگالی آنقدر زیاد است که تمام وسایل نقلیه متوقف می‌شوند (سرعت صفر است)، میزان تردد نیز صفر است. زیرا حرکتی وجود ندارد و وسایل نقلیه نمی‌توانند از جاده عبور کنند. چگالی در موقعی که تمام حرکت‌ها متوقف می‌شوند، چگالی تراکم نامیده می‌شود.

بین این دو نقطه حدّی، حرکات و پویایی جریان ترافیک حداکثر اثر را ایجاد می‌کند. با افزایش چگالی از مقدار صفر میزان



شکل ۱-۱۱ . رابطه بین سرعت، چگالی و میزان تردد در تسهیلات با جریان غیرمنقطع

تردد نیز افزایش می‌یابد، زیرا وسایل نقلیه بیشتری در جاده وجود دارد. هنگام وقوع این وضعیت سرعت کاهش می‌یابد (به علت اصطکاک بین ماشین‌ها)، این کاهش در چگالی و میزان تردد کم واقعاً ناچیز است. همزمان با افزایش چگالی به نقطه‌ای‌می‌رسیم که سرعت به شدت کاهش می‌یابد: حداکثر میزان تردد زمانی حاصل می‌شود که حاصلضرب چگالی در حال افزایش و سرعت در حال کاهش به کم شدن تردد منجر شود.

همانطورکه در شکل ۱-۱۱ دیده می‌شود هر میزان تردد بجز ظرفیت تحت دوگونه شرایط متفاوت ایجاد می‌شود. یکی با چگالی بالا و سرعت پایین و دومی با چگالی پایین و سرعت بالا. تمام قسمت چگالی بالا و سرعت پایین منحنی‌ها به عنوان ناپایدار در نظر گرفته می‌شود و حالت جریان تحت فشار یا گسیخته را نشان می‌دهد. این همان ناحیه‌ای است که در تحلیل ظرفیت به آن توجه می‌شود. سطوح سرویس A تا E روی قسمت پایدار منحنی‌ها تعریف می‌شود و حداکثر تردد حد نهایی سطح سرویس E را در ظرفیت برای تسهیلات با تردد غیرمنقطع مشخص می‌کند.

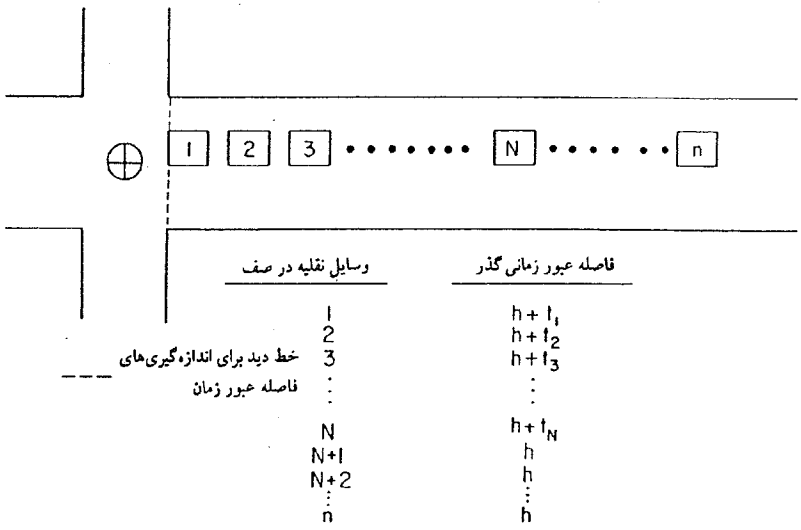
خصوصیات جریان منقطع

جریان منقطع خیلی پیچیده‌تر ازجریان پیوسته غیرمنقطع است. تردد روی جاده با جریان منقطع معمولاً تحت تأثیر نقاطی است که عملکرد ثابتی دارند مانند چراغهای راهنمائی و تابلوها ایست و احتیاط. این وسایل کنترل بطور کاملاً متفاوت عمل کرده ودارای تأثیرات مختلفی بر روی کل جریان هستند.

۱ - مفهوم سبز در تقاطع‌های با چراغ راهنمائی- مهمترین منبع ایجاد اختلال ثابت در تسهیلات با جریان منقطع چراغ راهنمائی می‌باشددر چراغ های راهنمائی تردد هر مسیر حرکت یا چند مسیر حرکت بطور متناوب متوقف می‌شود. بنابر این حرکت در چند خط عبور فقط برای مدتی از زمان امکان پذیر است. زیرا چراغ راهنمائی در مدتی از زمان از حرکت ممانعت می‌کند. برای مثال اگر تعدادی از خط های عبور در تقاطع از کل ۹۰ ثانیه زمان چرخه، ۳۰ ثانیه سبز داشته باشند، فقط ۳۰/۹۰ یا یک سوم از کل زمان امکان حرکت برای خط های مربوطه وجود دارد.

چون زمان بندی چراغ راهنمائی دستخوش تغییر است بهتر است ظرفیت و میزان تردد را برای تقاطع چراغ دار بصورت تعداد وسیله نقلیه در ساعت سبز (Vphg) بیان می‌کنیم.

۲ - میزان تردد اشباع و زمان تلف شده در تقاطع با چراغ راهنمائی- در تقاطع های چراغدار ترافیک در تمام خط‌های



شکل ۲-۱۱ شرایط حاکم در یک اختلال ترافیکی

عبور بطور متناوب متوقف می‌شود. وقتی چراغ سبز می‌شود دینامیک شروع به حرکت یک صف متوقف باید مورد بررسی قرار گیرد. شکل ۲-۱۱ صف وسایل نقلیه متوقف پشت چراغ راهنمائی راتشریح می‌کند. وقتی که چراغ سبز می‌شود صف شروع به‌حرکت می‌کند و فاصله زمانی بین وسایل نقلیه در حال عبور ازخط جدول تقاطع را می‌توان مشاهده نمود. اولین فاصله‌عبور زمانی همان زمان سپری شده بر حسب ثانیه بین شروع سبز و عبور انتهای اولین وسیله نقلیه از خط جدول خواهد بود. بقیه فواصل عبور زمانی بطور مشابهی اندازه‌گیری می‌شوند.

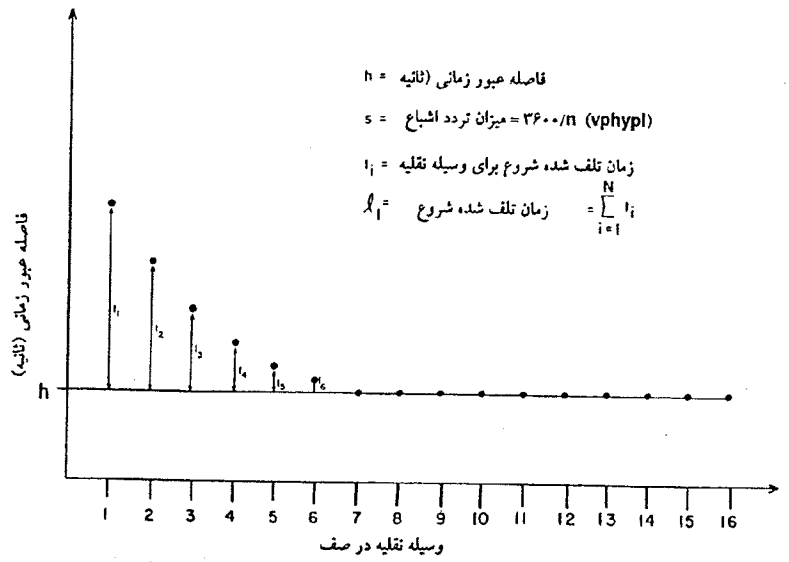
راننده اولین وسیله نقلیه موجود در صف باید تغییر چراغ راهنمایی را به سبز مشاهده نموده و با برداشتن پای خود از روی ترمز و شتاب گیری برای عبور از تقاطع عکس العمل نشان دهد. در نتیجه این عمل فاصله زمانی عبور اول نسبتاً طولانی خواهد بود. راننده وسیله نقلیه دوم فرآیند مشابهی را دنبال می‌کند، بجز اینکه قسمتی از عکس‌العمل و شتاب گیری آن در زمانی انجام می‌شود که اولین وسیله نقلیه در حال شروع به حرکت است. وسیله نقلیه دوم سریعتر از وسیله نقلیه اول از خط جدول عبور خواهد کرد، زیرا به اندازه یک وسیله نقلیه مسافت اضافی برای شتاب گیری دارد. فاصه عبور آن هنوز نسبتاً طولانی است و معمولاً کمتر از وسیله نقلیه اول است. وسیله نقلیه سوم و چهارم روش مشابهی را دنبال می‌کنند و فاصله عبور هر کدام جزئی کمتر از وسیله نقلیه ما قبل آن می‌باشد. پس از عبور تعدادی از وسایل نقلیه، N در شکل ۲-۱۱، اثرات عکس‌العمل و شتاب گیری از بین رفته و وسایل نقلیه متوالی با یک سرعت مطلوب و بصورت یک صف یکنواخت حرکت می‌کنند تا آخرین وسیله نقلیه نیز عبور کند. فاصله زمانی عبور برای این وسایل نقلیه ثابت می‌باشد.

در شکل ۲-۱۱ مقدار ثابت فاصله زمانی عبور به h نشان داده شده است که بعد از عبور N وسیله نقلیه حاصل می‌شود. شکل ۳-۱۱ نیز فاصله‌های زمانی عبور را بصورت یک نمودار نشان می‌دهد. مقدار h را می‌توان «فاصله زمانی اشباع» نامید و آن را بعنوان فاصله زمانی متوسط که برای وسیله نقلیه ششم اتفاق می‌افتد و تا عبور آخرین وسیله نقلیه موجود در صف ثابت می‌ماند، در نظر گرفت.

تردد اشباع همان میزان تردد در خط عبوری است که وسایل نقلیه می‌توانند با حفظ یک صف پایدار در حال حرکت، از تقاطع چراغدار عبور کنند. میزان تردد اشباع تعداد وسایل نقلیه‌ای را نشان می‌دهد که در یک ساعت و از یک خط عبور می‌توانند عبور کنند درصورتیکه چراغ در طول ساعت سبز باشدو تردد وسایل نقلیه هرگز متوقف نشود.

در این تعریف فرض بر اینست که علاوه بر فراهم بودن زمان سبز برای یک ساعت کامل، فاصله عبور زمانی متوسط برای تمام وسایل نقلیه‌ای که به تقاطع وارد می‌شوند نیز h ثانیه باشد.

در شکل ۳-۱۱، شش وسیله نقلیه اول که در صف ایستاده بودند فاصله زمانی بیش از h ثانیه را تجربه می‌کنند. زمان‌های جزئی t_i را زمانهای تلف شده شروع می‌نامند.



شکل ۳-۱۱، تردد اشباع و زمان تلف شده

کل زمان تلف شده شروع جمع این مقادیر است، یا:

$$l_1 = \sum_{i=1}^{N} t_i$$

که:

l_1 = کل زمان تلف شده شروع، ثانیه

t_i = زمان تلف شده برای وسیله نقلیه iام، ثانیه

هر زمان که صف وسایل نقلیه چراغ سبز را دریافت می‌کند به اندازه h ثانیه برای هر وسیله نقلیه و کل زمان تلف شده شروع l_1 ثانیه، به فرض اینکه حد اقل N وسیله نقلیه در صف باشد، مصرف خواهد شد.

۳ ـ تردد با وجود تابلوهای ایست و احتیاط ـ یک راننده هنگام برخورد با تابلوی ایست یا احتیاط مواجه با یک وظیفه داوری خواهد بود. برای عبور از بین وسایل نقلیه در حال حرکت در خیابان اصلی یک فاصله زمانی مناسب باید انتخاب شود. بنا براین ظرفیت رویکردی از یک تقاطع که با تابلوی ایست یا احتیاط کنترل می‌شود به دو عامل بحرانی بستگی دارد:

الف ـ فواصل موجود در جریان ترافیک خیابان اصلی

ب ـ توزیع فواصل قابل قبول برای رانندگان خیابان فرعی

توزیع فواصل موجود در جریان ترافیک خیابان اصلی به کل حجم ترافیک موجود، توزیع آنها در دو جهت، تعداد خطهای عبور در خیابان اصلی، اندازه و نوع دسته‌های ترافیکی که در مسیر هستند بستگی دارد. مشخصات فاصله قابل قبول به نوع حرکت (چپ، راست و مستقیم) که توسط وسیله نقلیه خیابان فرعی انجام می‌شود، تعداد خطهای عبور خیابان اصلی، سرعت ترافیک در خیابان اصلی، مسافت دید، مدت زمان انتظار وسیله نقلیه خیابان فرعی و خصوصیات راننده (دید چشم، زمان عکس‌العمل، سن و غیره) دارد.

۴ ـ تأخیر یک شاخص کارائی بسیار مهم برای تسهیلات با جریان منقطع تأخیر است. تأخیر یک اصطلاح کلی است که می‌توان آن را به معانی مختلف تعبیر نمود. متوسط تغییر زمان توقف معیار اصلی در تعیین سطح سرویس تقاطع های چراغ‌دار است.

تأخیر زمان توقف زمانی است که یک وسیله نقلیه در حال توقف در صف، وقتی که برای وارد شدن به تقاطع انتظار می‌کشد، سپری می‌کند.

متوسط تأخیر زمان توقف عبارت است از تأخیر توقف مربوط به تمام وسایل نقلیه در یک خط عبور یا رویکرد تقاطع در مدت زمان معین تقسیم بر کل حجم ترافیک وارد به تقاطع از خط عبور یا رویکرد مزبور در همان مدت زمان که بر حسب ثانیه بر وسیله نقلیه بیان می‌شود.

از این پارامتر به یک شکل کلی در تعیین سطح سرویس تقاطع‌های بدون چراغ نیز استفاده می‌شود. معیار تأثیر پذیری در این مورد "ظرفیت ذخیره" یعنی تفاوت ظرفیت تقاطع بدون چراغ و تقاضا است که در این روش فرض می‌شود به تأخیر مربوط است.

عوامل مؤثر در ظرفیت، میزان تردد و سطح سرویس

شرایط ایده‌آل

بسیاری از روشهای محاسباتی ظرفیت که در کتاب ظرفیت راه‌ها آمده است بر اساس جداول و منحنی‌هائی که برای یک سری شرایط استاندارد تدوین شده و برای هر گونه شرایط غیر منطبق به آنها باید تصحیح گردد. این شرایط تعریف شده را "شرایط ایده‌آل" می‌گویند.

در اصل یک شرط ایده‌آل شرطی است که بهتر نمودن آن هیچگونه افزایشی را در ظرفیت باعث نخواهد شد. این شرایط در هر قسمت آورده شده است. نمونه‌هایی از شرایط ایده‌آل را در زیر برای تسهیلات با جریان غیر منقطع و تقاطع‌های چراغدار ملاحظه می‌کنید.

شرایط ایده‌آل برای تسهیلات با جریان غیر منقطع شامل:

۱ـ عرض خط عبور برابر ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت)

۲ـ فاصله ۱/۸۳ متر (۶ فوت) بین لبه و روسازی و نزدیکترین مانع موجود در کناره جاده یا میانه راه

۳ـ حد اقل سرعت ۱۱۰ کیلومتر در ساعت (۷۰ مایل در ساعت) برای جاده‌های دوخطه

۴ـ تمام ترافیک متشکل از اتومبیل سواری

شرایط ایده‌آل برای رویکردهای تقاطع‌های چراغ‌دار شامل:

۱ـ عرض خط عبور برابر ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت)

۲ـ شیب افقی

۳ـ عدم وجود هرگونه پارک حاشیه‌ای در رویکردهای تقاطع

۴ـ ترافیک متشکل از اتومبیل سواری، هیچگونه اتوبوس شهری در محدوده تقاطع توقف نکند.

۵ـ تمام ترافیک در تقاطع مستقیم حرکت کند.

۶ـ تقاطع در ناحیه تجاری مرکزی قرار نداشته باشد.
۷ـ چراغ راهنمائی همیشه سبز باشد.

در بسیاری از تحلیلهای ظرفیت شرایط حاکم ایده‌آل نیست و محاسبات ظرفیت، میزان تردد سرویس یا تعیین سطح سرویس باید با توجه به شرایط حاکم انجام شود. شرایط موجود معمولاً به سه گروه شرایط راه، شرایط ترافیک و شرایط کنترل تقسیم می‌شوند.

شرایط راه

شرایط شامل تمام پارامترهای هندسی است که در تشریح راه مؤثرند، شامل:

۱ـ *نوع تسهیلات و توسعه محیط اطراف آن.* نوع تسهیلات اهمیت دارد. جریان منقطع باشد یا غیر منقطع، ترافیک دردو جهت با میانه تقسیم شده باشد، و سایر عوامل اصلی مؤثر در نوع تسهیلات در خصوصیات جریان و ظرفیت مؤثر هستند. توسعه محیط نیز نشان داده شده است که در عملکرد جاده‌های چند خطه و تقاطع‌های چراغ‌دار مؤثر است.

۲ـ *مسیر خطهای عبور و مانع جانبی.* عرض خطهای باریک باعث می‌شود که وسایل نقلیه نزدیک به یکدیگر حرکت کنند و در نتیجه این اثرات را با کندتر حرکت کردن جبران نمود و یا برای حفظ سرعت خود فاصله طولی را زیاد کنند. عرض شانه کم و موانع کناری دو اثر مهم دارند. بسیاری از رانندگان از موانع کناری دور می‌شوند و فکر می‌کنند خطر ایجاد می‌کند، این عمل آنها را به سمت وسایل نقلیه در خط عبور کناری کشانده و موجب اثرات مشابه خط عرض باریک می‌شود. در جاده‌های دوخطه، در بسیاری از مناطق، از شانه بعنوان محلی برای عبور وسائل نقلیه کند رواستفاده می‌شود و عرض کم شانه اثر منفی در تردد خواهد گذاشت.

۳ـ *سرعت طرح.* سرعت‌های محدود طراحی بر عملکرد و سطح سرویس جاده اثر می‌گذارند، زیرا رانندگان مجبور به حرکت با سرعت پائین‌تر بوده و در مواجه شدن با قوس‌های افقی یا قائم تند که با سرعت پائین طرح شده‌اند باید هشیارانه‌تر عمل کنند. مشخص شده است که در حالات حدی ظرفیت جاده‌های چند خطه تحت تأثیر سرعت‌های طراحی پائین قرار دارند.

۴ـ *نوع منطقه.* قرارگیری افقی و عمودی یک راه حاصل سرعت طرح استفاده شده و نوع منطقه‌ای (توپوگرافی) است که جاده در آن باید ساخته شود. روش‌هایی که برای تسهیلات غیر منقطع مورد استفاده قرار می‌گیرد شکل کلی منطقه را به سه دسته زیر تقسیم می‌کند:

منطقه هموار: ترکیبی از شیب هاو قرارگیری افقی و عمودی که در آن وسایل نقلیه سنگین می‌توانند سرعتی تقریباً برابر با اتومبیل‌های سواری داشته باشند، که معمولاً شامل شیب‌های کوتاه که بیش از ۱ یا ۲ درصد نباشد می‌شود.

منطقه تپه ماهوری: ترکیبی از شیب‌های قرارگیری افقی و عمودی که موجب می‌شود وسایل نقلیه سنگین سرعت کمتری نسبت به اتومبیل‌های سواری داشته‌باشند ولی اختلاف سرعت به حدی نیست که وسائل نقلیه سنگین برای مدت قابل توجهی با سرعت خزش حرکت کنند.

منطقه کوهستانی : ترکیبی از شیبهای قرارگیری افقی و عمودی که سبب می‌شود وسایل نقلیه سنگین در مسافت‌های قابل توجه برای فواصل زمانی مکرر با سرعت خزش حرکت کنند.

وسائل نقلیه سنگین. وسایل نقلیه‌ای هستند که بیش از چهار چرخ در تماس با سطح جاده داشته باشند.

سرعت خزش : حد اکثر سرعتی است که وسائل نقلیه سنگین در سر بالائی‌های طولانی با شیب مشخص، بطور ممتد می‌توانند برقرار کنند.

شرایط ترافیکی

۱ـ *انواع وسیله نقلیه.* مشخصه اصلی ترافیک که در ظرفیت، میزان تردد سرویس و سطح سرویس مؤثر است توزیع ترافیک از نظر انواع وسائل نقلیه است. وسائل نقلیه سنگین که قبلاً تعریف شد، از دو نقطه نظر در ترافیک اثر منفی دارند:

الف – از اتومبیل سواری بزرگترند و بنابر این سطح بیشتری از سطح جاده را اشغال می‌کنند.

ب ـ از نظر قابلیتهای عملکردی، خصوصاً شتابگیری، شتاب منفی، و قابلیت حفظ سرعت در سر بالائی از اتومبیل سواری ضعیف‌ترند.

وسائل نقلیه سنگین در عملکرد ترافیک در سرا زیری نیز اثر می‌گذارند، مخصوصاً زمانی که سرازیری به اندازه‌ای تند است که وسایل نقلیه سنگین مجبورند با دنده سنگین حرکت کنند. در این حالت نیز این ماشینها با سرعتی کمتر از سرعت اتومبیل‌های سواری حرکت کرده و در نتیجه در جریان ترافیک فاصله ایجاد

خواهد شد.

الف - کامیون: یک کامیون وسیله نقلیه سنگینی است که عمدتاً در حمل کالا یا توزیع یک خدمت درگیر است (البته بجز حمل و نقل عمومی). عملکرد کامیونها بسته به نوع کالایی که حمل می‌کنند متفاوت است. روشهای تحلیل برای هر یک از تسهیلات حمل و نقل بستگی به ترکیب ترافیکی دارد. در بعضی از تحلیل‌ها از کامیون متوسط که نسبت وزن به اسب بخار آن حدود ۹۰ کیلوگرم بر اسب بخار است استفاده می‌شود.

ب - اتوبوس: یک اتوبوس وسیله نقلیه سنگینی است که برای حمل مسافر بصورت گروهی و بر اساس کرایه، دربستی یا بصورت سوبسید دار در سیستم اتوبوس‌رانی شهر درگیر است. اتوبوس‌ها بصورت بین شهری و اتوبوس‌های عمومی طبقه‌بندی می‌شوند. اتوبوس‌های بین شهری عملکرد بهتری نسبت به کامیون‌ها دارند. اتوبوس‌های شهری به شکل کاملاً متفاوتی در ظرفیت تأثیر می‌گذارند و منحنی‌ها و جداول مخصوصی برای تعیین اثر آنها وجود دارد.

ج - وسیله نقلیه تفریحی: عبارت است از یک وسیله نقلیه سنگین که توسط یک راننده بطور خصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای حمل تسهیلات و تجهیزات تفریحی بکار می‌رود. وسایل نقلیه تفرجی نیز دامنه وسیعی از انواع مختلف را شامل می‌شود از جمله کاروانهای پیک نیک (بصورت یدک کش یا خود کششی)، خانه‌های موتوری، و اتومبیل‌های سواری و کامیون‌های کوچک که یکی از انواع یدکهای تفریحی مانند قایق، موتورهای مخصوص برف، و موتور سیکلت را بدنبال می‌کشند. در حالیکه وسایل نقلیه تفریحی قابلیتهای عملکردی بهتری نسبت به کامیونها دارند ولی بی‌تجربگی رانندگان سبب افت کارائی آنها شده است.

۲ـ استفاده از خط و توزیع در دو طرف. علاوه بر توزیع ترافیک از نظر انواع وسایل نقلیه دو مشخصه دیگر ترافیک یعنی میزان استفاده از خط عبورهای مختلف و توزیع ترافیک در دو جهت نیز از عواملی هستند که بر ظرفیت تأثیر دارند. حالت بهینه زمانی اتفاق می‌افتد که توزیع ترافیک در دو جهت بصورت ۵۰/۵۰ می‌باشد، زمانیکه تفکیک ترافیک در دو جهت نا متعادل باشد ظرفیت کاهش می‌یابد. تحلیل ظرفیت برای جاده‌های چند خطه بر اساس یک جهت عبور قرار دارد با وجود این هر طرف مسیر طوری طراحی می‌شود که بتواند ترافیک ساعت اوج را از خود عبور دهد. معمولاً زمان اوج در یک جهت و زمان اوج بعد از ظهر در جهت دیگر اتفاق می‌افتد. توزیع خطهای عبور نیز در جاده‌های چند خطه از عوامل مهم است معمولاً خط عبور مجاور شانه یک جاده چند خطه کمتر از سایر خطها ترافیک را از خود عبور می‌دهد. روش‌های تحلیل معمولاً یک توزیع نمونه از خطهای عبور را برای بسیاری از تسهیلات در نظر می‌گیرد.

شرایط کنترل

برای تسهیلات با جریان منقطع، کنترل زمان موجود برای حرکت مسیرهای مختلف ترافیکی عنصری است که در ظرفیت بسیار مهم است. مهمترین نوع کنترل چراغ راهنمایی است. عملکرد ترافیک بر حسب نوع کنترل مورد استفاده، فاز بندی چراغ، مقدار زمان سبز و طول زمان چرخه تغییر می‌کند. در این مقدمه کافی است بگوئیم که زمان بندی چراغ راهنمائی مقدار زمان فراهم شده را برای حرکت وسائل نقلیه در خطهای عبور یک تقاطع مشخص می‌کند. تابلوهای ایست و احتیاط هم در ظرفیت تأثیر دارند، ولی به شکلی نه چندان تعیین کننده. در حالیکه چراغ راهنمائی زمان مشخص شده را به هر حرکت تخصیص می‌دهد، تابلوهای احتیاط و ایست فقط حق تقدم عبور را بطور دائمی به مسیر اصلی اختصاص می‌دهند، وسایل نقلیه خیابان فرعی باید با یافتن فاصله‌های زمانی در جریان مسیر اصلی حرکت خود را تکمیل نمایند. بنا براین ظرفیت چنین رویکردی از تقاطع بستگی به وضعیت ترافیک در خیابان اصلی دارد.

انواع دیگری از لوازم کنترل و مقرراتی که می‌توانند در ظرفیت مؤثر باشند نیز وجود دارد. محدودیت پارک حاشیه‌ای می‌تواند باعث ازدیاد خط های عبور شود. محدودیت حرکات گردشی باعث حذف نقاط برخورد و در نتیجه ازدیاد ظرفیت خواهد شد.

فصل ۱۲
ظرفیت راه‌ها: آزاد راه‌ها

در آزاد راه‌ها، با توجه به عدم وجود دسترسی مستقیم به زمین‌های اطراف و دادن اولویت به ترافیک در حال حرکت، معمولاً سطح سرویس بالائی برقرار می‌شود. این تسهیلات به شرایط ایده‌آل برای جریان‌های غیر منقطع (عرض خط عبور ۳/۶۵ متر، نبودن موانع جانبی در فاصله ۱/۸۳ متری و ...) بسیار نزدیک هستند.

آزاد راه‌ها از قسمت‌های اساسی آزاد راه، نواحی تغییر خط و محل‌های اتصال شیبراهه‌ها، تشکیل می‌شوند. برای ارزیابی کامل ظرفیت این تسهیلات، ابتدا باید ظرفیت هر قسمت را مشخص نمود و سپس ترکیب کل را در نظر گرفت کتاب "ظرفیت راه‌ها" برای هر کدام از این قسمت‌ها روش‌های خاصی را ارائه می‌کند. در صورتی که یک آزاد راه با خصوصیات ترافیکی مشخص وجود داشته باشد، با استفاده از روش‌های این کتاب می‌توان ظرفیت و سطح سرویس آنرا بدست آورد. مهم‌تر اینکه یک مهندس ترافیک می‌تواند با در نظر گرفتن مقدار ترافیک و انتخاب سطح سرویس مناسب بزرگراه جدیدی را طرح نماید که آن سطح سرویس را تأمین کند. البته موفقیت چنین طرحی بستگی زیادی به میزان دقت در پیش بینی ترافیک دارد.

در طراحی لازم است که یک سطح سرویس متعادل در قسمت‌های مختلف برقرار باشد. این بدین معنی نیست که اگر یک آزاد راه برای سطح سرویس قسمت‌های مختلف باید از مقبولیت مساوی برای رانندگان برخوردار باشد. برای مثال اگر سطح سرویس پایه برای طراحی B در نظر گرفته شود، بسیاری از رانندگان در نواحی تغییر خط و اتصال شیبراهه‌ها عملکرد ترافیک را در سطح سرویس C نیز قبول خواهند نمود. بطور کلی اختلاف سطح سرویس در قسمت‌های مختلف بیش از یک مرتبه نباید باشد.

بطور کلی محاسبه ظرفیت و حجم سرویس شامل دو مرحله است. در مرحله اول مقدار تصحیح نشده برای شرایط ایده‌آل تعیین می‌شود و در مرحله دوم این مقدار، با توجه به میزان عدول وضع موجود از شرایط استاندارد، توسط ضرایب متعددی تصحیح می‌گردد. شرایط ایده‌آل برای آزاد راه‌ها عبارت است از:

۱ - عرض هر خط عبور ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت)،

۲ - فاصله مانع کنار جاده تا لبه خط حداقل برابر با ۱/۸۳ متر (۶ فوت)،

۳ - تمام وسایل نقلیه موجود در ترافیک متشکل از اتومبیل سواری،

۴ - تمام رانندگان به صورت استفاده کنندگان منظم هفتگی یا ترددی باشند.

قسمت‌های اساسی آزاد راه

سطوح سرویس و ظرفیت ایده‌آل

ضوابط اصلی برای سطح سرویس قسمت‌های اساسی آزاد راه‌ها در جدول ۱-۱۲ داده شده است. در این جدول حداکثر حجم قابل عبور در هر سطح سرویس و نسبت حجم قابل عبور به ظرفیت *(V/C)* برای سرعت‌های ۱۱۰، ۹۶ و ۸۰ کیلومتر در ساعت (۷۰، ۶۰ و ۵۰ مایل در ساعت) دیده می‌شود. اگر چه سرعت پارامتر اصلی مورد نظر رانندگان است ولی در رابطه با کیفیت سرویس، آزادی مانوور و میزان نزدیک شدن وسایل نقلیه به یکدیگر نیز به همان اندازه مهم است.

عوامل مذکور به چگالی ترافیک نزدیکتر است واز طرف دیگر با افزایش چگالی، میزان تردد نیز بیشترخواهد شد. به این دلایل چگالی بعنوان معیار تأثیر پذیری، یعنی بهترین پارامتر برای نشان دادن سطح سرویس آزاد راه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ظرفیت یک خط عبور بزرگراه در شرایط ایده‌آل ۲۰۰۰ (اتومبیل سواری در ساعت برای سرعت طرح ۱۱۰ کیلومتر در ساعت (۷۰ مایل در ساعت) و ۱۹۰۰ اتومبیل سواری در ساعت برای سرعت طرح‌های ۹۶ و ۸۰ کیلومتر در ساعت (۶۰ و ۵۰ مایل در ساعت) می‌باشد.

جدول ۱-۱۲ . سطوح سرویس برای قسمت‌های اساسی آزاد راه

سطح سرویس	چگالی Pc/km/ln	۱۱۳ KPH = سرعت طرح			۹۷ KPH = سرعت طرح			۸۰ KPH = سرعت طرح		
		سرعت* (kph)	$\frac{V}{C}$	MSF Pc/hr/ln	سرعت* (kph)	$\frac{V}{C}$	MSF Pc/hr/ln	سرعت* (kph)	$\frac{V}{C}$	MSF Pc/hr/ln
A	≤۷	≥۹۷	۰/۳۵	۷۰۰	-	-	-	-	-	-
B	≤۱۳	≥۹۲	۰/۵۴	۱۱۰۰	≥۸۰	۰/۴۹	۱۰۰۰	-	-	-
C	≤۱۹	≥۸۷	۰/۷۷	۱۵۵۰	≥۷۶	۰/۶۹	۱۴۰۰	≥۶۹	۰/۶۷	۱۳۰۰
D	≤۲۶	≥۷۴	۰/۹۳	۱۸۵۰	≥۶۸	۰/۸۴	۱۷۰۰	≥۶۴	۰/۸۳	۱۶۰۰
E	≤۴۲	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥۴۵	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	≤۴۲	≥۴۸	**	**	≥۴۸	**	**	≥۴۵	**	**

* میانگین سرعت سفر

** بسیار متغیر و ناپایدار است.

جدول ۲-۱۲ . ضریب تصحیح برای عرض خط عبور و مانع کنار جاده

فاصله مانع از کنار خط عبور (متر)	ضریب تصحیح Fw							
	مانع در یک طرف جاده				مانع در دو طرف جاده			
	عرض خط عبور (متر)				عرض خط عبور (متر)			
	۳/۶۵	۳/۳۰۰	۳/۰۰	۲/۷۰	۳/۶۵	۳/۳۰	۳/۰۰	۲/۷۰
آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر جهت)								
≥ ۱/۸۰	1.00	0.97	0.91	0.81	1.00	0.97	0.91	0.81
۱/۵۰	0.99	0.96	0.90	0.80	0.99	0.96	0.90	0.80
۱/۲۰	0.99	0.96	0.90	0.80	0.98	0.95	0.89	0.79
۰/۹۰	0.98	0.95	0.89	0.79	0.96	0.93	0.87	0.77
۰/۶۰	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
۰/۳۰	0.93	0.90	0.85	0.76	0.87	0.85	0.80	0.71
۰	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
آزاد راه شش یا هشت خطه (سه یا چهار خط در هر جهت)								
≥ ۱/۸۰	1.00	0.96	0.89	0/78	1.00	0.96	0.89	0.78
۱/۵۰	0.99	0.95	0.88	0.77	0.99	0.95	0.88	0.77
۱/۲۰	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
۰/۹۰	0.98	0.94	0.87	0.76	0.97	0.93	0.86	0.76
۰/۶۰	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
۰/۳۰	0.95	0.92	0.86	0.75	0.93	0.89	0.83	0.72
۰	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

جدول ۳-۱۲. معادل سواری وسائل نقلیه سنگین برای طول کلی آزاد راه

ضریب	نوع منطقه		
	هموار	تپه ماهوری	کوهستانی
کامیون (E_T)	۱/۷	۴/۰	۸/۰
اتوبوس (E_B)	۱/۵	۳/۰	۵/۰
وسیله نقلیه تفریحی (E_R)	۱/۶	۳/۰	۴/۰

جدول ۴-۱۲ . معادل سواری برای کامیون‌ها

شیب	کیلومتر طول	چهار خط عبور							شش و هشت خط عبور						
	درصد کامیون	2	4	5	6	8	10	15	2	2	4	5	6	8	10	15	20
	هر طول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	۰-۰/۸۰	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	۰/۸۰-۱/۶۰	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	≥۱/۶۰	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
2	۰-۰/۴۰	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	۰/۴-۰/۸	5	4	4	3	3	3	3	3	5	4	4	3	3	3	3	3
	۰/۸۰-۱/۲۰	6	5	5	4	4	4	4	4	6	5	5	4	4	4	4	4
	۱/۲۰-۲/۴۰	7	6	6	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	4	4
	≥۲/۴۰	8	6	6	6	5	5	4	4	8	6	6	5	4	4	4	4
3	۰-۰/۴۰	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	5	4	4	4	3
	۰/۴-۰/۸۱	8	6	6	6	5	5	5	4	7	6	6	6	5	5	5	4
	۰/۸-۱/۶	9	7	7	6	5	5	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	۱/۶-۲/۴	9	7	7	7	6	6	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	≥۲/۴۰	10	7	7	7	6	6	5	5	10	7	7	6	5	5	5	5
4	۰-۰/۴	7	6	6	5	4	4	4	4	7	6	6	5	4	4	4	4
	۰/۴-۰/۸	10	7	7	6	5	5	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	۰/۸-۱/۶	12	8	8	7	6	6	6	6	10	88	7	6	5	5	5	5
	≥۱/۶	13	9	9	9	8	8	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
5	۰-۰/۴	8	6	6	6	5	5	5	5	8	6	6	6	5	5	5	5
	۰/۴-۰/۸	10	8	8	7	6	6	6	6	8	7	7	6	5	5	5	5
	۰/۸-۱/۶	12	11	11	10	8	8	8	8	12	10	9	8	7	7	7	7
	≥۱/۶	14	11	11	10	8	8	8	8	12	10	9	8	7	7	7	7
6	۰-۰/۴۰	9	7	7	7	6	6	6	6	9	7	7	6	5	5	5	5
	۰/۴-۰/۸	13	9	9	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	۰/۸-۱/۲	13	9	9	8	7	7	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
	≥۱/۲۰	17	12	12	11	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8

جدول ۵-۱۲ . معادل سواری برای وسایل نقلیه تفریحی، E_R

شیب	فاصله (کیلومتر)	چهار خط عبور									شش و هشت خط عبور						
٪	درصد کامیون	2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
	هرطول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	۰-۰/۸۰	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	≥۰/۸۰	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
4	۰-۰/۴۰	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
	۰/۴۰-۱/۲۰	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	≥۱/۲۰	5	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3
5	۰-۰/۴۰	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	2	2	2
	۰/۴۰-۱/۲۰	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
	≥۱/۲۰	6	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
6	۰-۰/۴۰	5	4	4	4	3	3	3	3	5	4	4	3	3	3	3	3
	۰/۴۰-۱/۲۰	6	5	5	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4
	≥۱/۲۰	7	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	4	4	4	4

جدول ۶-۱۲. معادل سواری برای اتوبوس

شیب (٪)	معادل اتومبیل سواری (E_B)
صفر تا ۳	۱/۶
۴	۱/۶
۵	۳/۰
۶	۵/۵

محاسبات ظرفیت

روابط اصلی برای محاسبه ظرفیت بزرگراه‌ها را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$C = c_j N f_w f_{HV} f_p \qquad (۱۲-۱)$$

$$MSF_i = c_j \left(\frac{V}{C}\right)_i \qquad (۱۲-۲)$$

$$SF_i = C \left(\frac{V}{C}\right)_i = c_j \left(\frac{V}{C}\right)_i N f_w f_{HV} f_p \qquad (۱۲-۳)$$

که در آنها:

C = ظرفیت در شرایط موجود بر حسب وسیله نقلیه در ساعت (بصورت ترفیک مرکب و در یک جهت آزاد راه)

N = تعداد خطهای عبور در یک جهت آزاد راه.

f_w = ضریب تصحیح برای عرض خط عبور و مانع کنار جاده که مقدار آنرا می‌توان از جدول ۲-۱۲ بدست آورد.

f_{HV} = ضریب تصحیح برای وسایل نقلیه سنگین (کامیون، اتوبوس و وسائل نقلیه تفریحی) موجود در ترافیک. طریقه تعیین آن در قسمت‌های دیگر توضیح داده شده است.

f_p = ضریب تصحیح برای نوع رانندگان که مقدار این ضریب از جدول ۸-۱۲ بدست می‌آید. در مورد این ضریب نیز توضیح لازم خواهد آمد.

MSF_i = حداکثر حجم سرویس در سطح سرویس i و در شرایط ایده‌آل بر حسب اتومبیل سواری در یک ساعت و در یک خط عبور، مقادیر آن در جدول ۱-۱۲ برای سطوح سرویس مختلف داده شده است.

$\left(\frac{V}{C}\right)_i$ = حداکثر نسبت حجم به ظرفیت برای سطوح سرویس i که در جدول ۱-۱۲ آمده است.

SF_i = حداکثر حجم سرویس i و در شرایط موجود.

ضریب تصحیح برای نوع رانندگان. خصوصیات جریان ترافیک که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است بر اساس استفاده کنندگان منظم هفتگی از آزاد راه قرار دارد. در مواقعی که خصوصیات جریان مقداری متفاوت باشد (استفاده کنندگان آخر هفته، تفریحی و در نیمه‌های روز) استفاده از آزاد راه با کارآئی کمتری همراه خواهد بود. اگرچه اطلاعات مربوط به این مقوله بسیار پراکنده است ولی می‌توان گفت که در چنین شرایطی

جدول ۷-۱۲، ضریب تصحیح وسایل نقلیه سنگین (فقط یک نوع)

PCE[a] E_T E_R Or E_B	f_{HV} ضریب تصحیح کامیون — درصد کامیون یا وسیله نقلیه تفریحی یا اتوبوس														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63
5	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33
12	0.90	0.82	0.75	0.69	0.65	0.60	0.57	0.53	0.50	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31
13	0.89	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28
15	0.88	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26
16	0.87	0.77	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24
18	0.85	0.75	0.66	0.60	0.54	0.49	0.46	0.42	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21
21	0.83	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
22	0.83	0.70	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19
23	0.82	0.69	0.60	0.53	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18
25	0.80	0.67	0.58	0.51	0.46	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17

جدول ۸-۱۲ ضریب تصحیح برای نوع رانندگان در آزاده راه

نوع تردد ترافیک	ضریب (f_p)
هر روز هفته یا ترددی	۱/۰
غیره	۰/۹۰-۰/۷۵*

* قضاوت مهندسی و یا اطلاعات محلی برای انتخاب مقدار دقیق باید بکار رود.

ظرفیت هر خط عبور در شرایط ایده‌آل به ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ اتومبیل سواری در ساعت خواهد رسید، مخصوصاً در تعطیلات آخر هفته و در مناطق تفریحی.

ضریب f_p برای منظور نمودن اثرات نوع رانندگان در نظر گرفته شده است. تعیین این ضریب نیاز به قضاوت و شم کارشناسی دارد. تحلیل‌گران ترافیک باید با استفاده از اطلاعات موجود در مورد بزرگراه و شرایط محیطی آن این ضریب را تعیین کنند، که مقدار آن بین ۰/۷۵ تا ۱/۰۰ تغییر می‌کند (جدول ۸-۱۰). در صورتیکه دقت بیشتری لازم باشد مطالعات وضعیت ترافیک در روزهای هفته و مقایسه با جریان ترافیک در آخر هفته می‌تواند مفید واقع شود.

ضریب تصحیح برای وسایل نقلیه سنگین. اثرات وسایل نقلیه سنگین در فصل ۱۱ توضیح داده شد. بطور کلی برای تعیین f_{HV} ابتدا باید معادل وسایل نقلیه سنگین (کامیون، اتوبوس و یا تفریحی) را بر حسب سواری تعیین نمود. این مقادیر را به ترتیب می‌توان به E_R ، E_B ، E_T نشان داد و تعداد اتومبیل سواری را مشخص می‌کند که همان درصدی از آزاد راه را که یک کامیون، یک اتوبوس یا یک وسیله نقلیه تفریحی در شرایط موجود راه و ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، اشغال می‌کنند. سپس f_{HV} با توجه به مقادیر مذکور و درصد وجود این وسائل نقلیه در ترافیک یعنی P_R ، P_B ، P_T محاسبه می‌شود. برای تعیین f_{HV} دو حالت زیر را می‌توان تعیین نمود.

۱ - طول کلی آزاد راه - غالباً امکان پذیر است که یک طول کلی

بزرگراه شامل سربالائی‌ها، سرازیری‌ها و قسمت‌های افقی را به عنوان یک قسمت یکنواخت گرفت. این در مکان‌هائی امکان پذیر است که شیب‌ها به اندازه‌ای طولانی و یا زیاد نباشند که روی عملکرد طول کلی تأثیر بگذارند.

بعنوان یک قاعده باید طول شیب‌های مساوی یا بزرگتر از ۳ درصد کمتر از ۸۰۰ متر ($\frac{1}{2}$ مایل) و طول شیب‌های کمتر از ۳ درصد، کمتر از ۱۶۰۰ متر (یک مایل) باشد. در این حالت یکی از سه نوع منطقه یعنی هموار، تپه ماهوری یا کوهستانی باید مشخص گردد. خصوصیات این نوع مناطق در فصل ۱۱ توضیح داده شده است. معادل سواری را در این حالت می‌توان از جدول ۳-۱۲ بدست آورد.

۲ - شیب مشخص - اگر شیب‌های کمتر از ۳ درصد با طول بیش از ۱۶۰۰ متر (۱ مایل) و یا شیب‌های بیش از ۳ درصد یا طول بیشتر از ۸۰۰ متر (۰/۵ مایل) در محدوده مورد مطالعه وجود داشته باشد، هر قسمت بطور مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این حالت می‌توان معادل سواری وسایل نقلیه سنگین (یعنی: E_T , E_B , E_R) را به ترتیب از جدول‌های ۴-۱۲، ۵-۱۲، ۶-۱۲ بدست آورد.

پس از تعیین مقادیر E_T , E_B , E_R مقدار f_{HV} از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_B(E_B-1)+P_R(E_R-1)} \qquad (۱۲-۴)$$

که در آن:

E_T , E_B , E_R = معادل سواری برای کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی

P_T , P_B , P_R = نسبت کامیون، اتوبوس و وسیله نقلیه تفریحی در ترافیک

در بسیاری از مواقع فقط یک نوع وسیله نقلیه سنگین ممکن است به نحو قابل ملاحظه‌ای در ترافیک موجود باشد و یا درصد وسایل نقلیه تفریحی و اتوبوس در مقایسه با کامیون کم باشد. در چنین حالت‌هائی می‌توان تمام وسایل نقلیه سنگین را کامیون فرض کرد. مثلاً اگر ۱۵ درصد کامیون و ۲ درصد وسائل نقلیه تفریحی و یک درصد اتوبوس در ترافیک باشد به جای آن می‌توان ۱۸ درصد کامیون در نظر گرفت. این عمل در صورتی مجاز است که درصد کامیون‌ها حداقل ۵ برابر مجموع درصد اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی باشد. در این صورت می‌توان ضریب f_{HV} را از جدول ۷-۱۲ بدست آورد.

مسائل نمونه

مساله ۱. یک آزاد راه شهری قدیمی با چهار خط عبور و سرعت طرح ۹۶ کیلومتر در ساعت (۶۰ مایل در ساعت) دارای حجم ترافیک ۲۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت اوج، با ۶ درصد کامیون و ضریب ساعت اوج ۰/۹۵ می‌باشد. این آزاد راه دارای عرض خط عبور ۳/۳۰ متر (۱۱ فوت) و موانعی بدون فاصله در کنار و قسمت میانه راه می‌باشد. منطقه مورد نظر را می‌توان تپه ماهوری فرض کرد. سطح سرویس عملکرد آزاد راه را تعیین کنید. تا رسیدن به ظرفیت چه مقدار حجم ترافیک دیگر را می‌تواند تحمل کند؟ مطالعات محلی نشان می‌دهد که سرعت متوسط حرکت در حداکثر ۱۵ دقیقه ساعت اوج ۵۶ کیلومتر در ساعت (۳۵ مایل در ساعت) می‌باشد.

حل:

$$C = c_i N f_w f_{HV} f_p$$

از جدول ۳-۱۲ منطقه تپه ماهوری: $E_t = ۴$

از جدول ۷-۱۲ برای ۶٪ کامیون و ۴ = E_T : $f_{HV} = ۰/۸۵$

از جدول ۲-۱۲ برای عرض ۳/۳۰ و مانع صفر در دو طرف:

$f_w = ۰/۷۹$

از جدول ۸-۱۲ برای منظم هفتگی: $f_p = ۱/۰$

$$C = ۲۰۰۰(۲)(۰/۷۹)(۰/۸۵)(۱/۰۰) = ۲۶۸۶$$

وسیله نقلیه در ساعت

حجم سرویس (وسیله نقلیه در ساعت):

$$SF = \frac{۲۱۰۰}{۰/۹۵} = ۲۲۱۱$$

$$\frac{V}{C} = \frac{۲۲۱۱}{۲۶۸۶} = ۰/۸۲$$

با توجه به جدول ۱-۱۲ نتیجه می‌شود که ترافیک بزرگراه مزبور در سطح سرویس D عمل می‌کند. با داشتن سرعت می‌توان چگالی را نیز تعیین نمود:

وسیله نقلیه در مایل آزادراه $= \frac{۲۲۱۱}{۳۵} = ۶۳/۲$ چگالی

وسیله نقلیه در کیلومتر $= ۳۹/۳۵$

برای یک خط عبور:

وسیله‌نقلیه‌درکیلومتر ۱۹/۶= وسیله‌نقلیه‌درمایل ۳۲/۶ = چگالی

با توجه به ترکیب ترافیک می‌توان چگالی را به سواری تبدیل نمود:

چگالی = ۳۱/۶ [(۰/۰۶)(۴)+۰/۹۴] = ۳۷/۳

سواری در مایل یک خط عبور

سواری در کیلومتر $= ۲۳/۲$

مجدداً از جدول ۱-۱۲ نتیجه می‌شود که ترافیک آزاد راه در سطح سرویس D عمل می‌کند.

مقدار حجم قابل تحمل تا رسیدن به ظرفیت:

$$۲۶۸۶-۲۲۱۱ = ۵۷۵ \ vph$$

مساله ۲. ظرفیت را برای یک آزاد راه دو خطه (در هر طرف) با شرایط زیر حساب کنید:

عرض هر خط عبور = ۳/۷۰ متر،

فاصله مانع کنار جاده در قسمت شانه ۱/۵ متر و در قسمت وسط ۰/۵ متر.

طول این قسمت آزاد راه ۸۰۰ متر و شیب ثابت ۴ درصد،

سرعت طرح ۱۲۰ کیلومتر در ساعت،

ترکیب ترافیک ۱۰ درصد کامیون، ۲ درصد اتوبوس و بقیه اتومبیل سواری می‌باشد.

فوت ۱۲ = متر ۳/۶۵ > ۳/۷۰

فوت ۱/۶۴ = متر ۰/۵۰

فوت ۴/۹۲ = متر ۱/۵۰

$$fw = \begin{cases} \text{فاصله مانع} = ۴/۹۲ \text{ فوت} & ۰/۹۹ \\ \text{فاصله مانع} = ۲ \text{ فوت} & ۰/۹۷ \\ \text{فاصله مانع} = ۱ \text{ فوت} & ۰/۹۳ \end{cases}$$

با میان یابی برای ۱/۶۴ فوت: $fw = ۰/۹۵۶$

بنابراین: $fw = \frac{۰/۹۹+۰/۹۵۶}{۲} = ۰/۹۷۳$

از جدول ۴-۱۲ $E_T = ۶$

از جدول ۶-۱۲ $E_B = ۱/۶$

$$f_{HV} = \frac{۱}{۱+(۰/۱۰)(۶-۱)+(۰/۰۲)(۱/۶-۱)} = ۰/۷۰۸$$

از جدول ۸-۱۲ $f_p = ۱$

$$C = ۲۰۰۰ \ (۲) \ (۰/۹۷۳) \ (۰/۷۰۸) \ (۱) = ۲۷۵۵$$

وسیله نقلیه در ساعت

نواحی تغییر خط

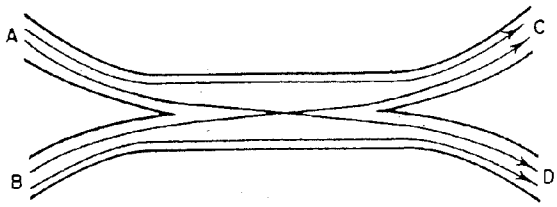
تغییر خط به معنی تقاطع دو یا چند جریان ترافیکی است که در یک جهت کلی، در طول قابل توجهی از مسیر بدون کمک وسایل کنترل ترافیک در حرکت هستند. نواحی تغییر خط زمانی بوجود می‌آیند که یک ناحیه همگرائی در نزدیکی یک ناحیه واگرائی قرار می‌گیرد، یا زمانی که یک شیبراهه ورودی در مجاورت یک شیبراهه خروجی، که هر دو با یک خط اضافی به یکدیگر متصل شده‌اند، واقع می‌شود.

در نواحی تغییر خط نیاز شدیدی به مانوورهای تغییر خط است، زیرا رانندگان برای رسیدن به خروجی مورد نظر باید به خط عبور مربوطه دسترسی پیدا کنند. بنابراین در نواحی تغییر خط، بر خلاف قسمت‌های اساسی بزرگراه‌ها، نوعی اغتشاش در ترافیک ایجاد می‌شود که باعث بوجود آمدن مسائل خاصی در عملکرد ترافیک می‌گردد، و در نتیجه نیاز به اعمال روش‌های خاصی در طراحی خواهد بود که در این فصل به آنها پرداخته شده است.

شکل ۱-۱۲ یک ناحیه تغییر خط را نشان می‌دهد. اگر راه‌های ورودی و خروجی به عنوان "شاخه" مورد اشاره قرار گیرند، حرکت وسایل نقلیه از شاخه A به شاخه D باید مسیر وسائل نقلیه از شاخه B به شاخه C را قطع کند. بنابراین به جریان‌های مسیر A-D و B-C جریان‌های تغییر خط و به جریان‌های A-C و B-D که در مسیر حرکت خود از ناحیه سایر مسیرهای حرکت را قطع نمی‌کنند جریان‌های غیر تغییر خط می‌گویند. شکل ۱-۱۲ یک ناحیه تغییر خط ساده را نشان می‌دهد، که متشکل از یک نقطه همگرائی منفرد و به دنبال آن یک نقطه واگرائی منفرد می‌باشد. ناحیه تغییر خط مرکب که متشکل از یک جریان همگرا و متعاقب آن دو جریان واگرا، یا دو جریان همگرا و به دنبال آن یک جریان واگرا می‌باشد در قسمت‌های دیگر این فصل مورد بحث قرار خواهد گرفت. نواحی تغییر خط ممکن است در انواع راه‌ها، بزرگراه‌ها، جاده‌های چند خطه، جاده‌های دو خطه و راه‌های شریانی وجود داشته باشد، ولی بیشتر به عنوان قسمتی از آزاد راه‌ها متداول است. روش‌های ارائه شده در این بخش برای نواحی تغییر خط آزاد راه‌ها تدوین شده، البته ممکن است این روش‌ها را برای موقعیت‌های دیگر نیز بکار برد. در چنین کاربردهائی تفاوت خصوصیات عملکردی پیش‌بینی شده برای موقعیت‌های مختلف را ممکن است بطور معقولانه‌ای، با استفاده از روش‌های ارائه شده، با تقریب مشخص نمود.

طول تغییر خط

نیاز رانندگان به انجام مانوورهای تغییر خط یک پارامتر هندسی جدید به نام طول تغییر خط را معرفی می‌کند. طول تغییر خط زمان و فاصله‌ای را که در آن راننده باید تمام تغییر خط‌های لازم را انجام دهد محدود می‌کند. بنابراین هرچه طول



شکل ۱-۱۲. تشکیل یک ناحیه تغییر خط

ناحیه تغییر خط کاهش یابد و سایر پارامترها ثابت بمانند شدت تغییر خط و میزان اغتشاش افزایش پیدا می‌کند.

طول تغییر خط از دماغه همگرائی در نقطه‌ای که لبه راست شانه آزاد راه از لبه سمت چپ خط همگرا ۶۰ سانتی‌متر (دو فوت) فاصله دارد، تا نقطه‌ای در دماغه واگرائی که دو لبه از یکدیگر ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت) فاصله دارند اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های ارائه شده در این بخش عموماً برای نواحی تغییر خط با طول کمتر از ۷۵۰ متر (۲۵۰۰ فوت) می‌باشد. تغییر خط ممکن است در طول‌های بیشتر نیز انجام شود اما حرکات همگرائی و واگرائی غالباً تفکیک شده و عمل تغییر خط در نزدیکی دماغه‌های همگرائی و واگرائی متمرکز می‌شود.

ترکیب

خصوصیات عملکردی در ناحیه تغییر خط اثر مشخصه هندسی "ترکیب" را با اهمیت زیاد نشان می‌دهد. ترکیب به قرارگیری نسبی و تعداد خط‌های عبور در ورودی و خروجی ناحیه تغییر خط اشاره می‌کند، و می‌تواند اثر عمده‌ای روی تعداد تغییر خطی که باید انجام شود داشته باشد.

روش‌های این بخش سه نوع ترکیب را برای نواحی تغییر خط معین می‌کند، که به نوع الف، نوع ب، و نوع ج تقسیم می‌شوند. انواع تغییر خط که در شکل‌های ۲-۱۲، ۳-۱۲، ۴-۱۲ نشان داده شده بر اساس حداقل تعداد تغییر خط‌هائی که بایستی در ناحیه توسط وسایل نقلیه انجام شود تعریف می‌گردد.

ناحیه تغییر خط نوع الف . در نواحی تغییر خط نوع الف هر وسیله نقلیه به منظور انجام حرکت مورد نظر یک تغییر خط انجام می‌دهد. در شکل ۲-۱۲ (الف) شیبراهه ورودی قبل از یک شیبراهه خروجی قرار دارد و با یک خط عبور کمکی به یکدیگر متصل می‌شوند. وسائل نقلیه شیبراهه ورودی یک تغییر خط از خط کمکی به خط عبور شانه، و وسائل نقلیه شیبراهه خروجی یک تغییر خط از خط شانه آزاد راه به خط کمکی انجام می‌دهند. عمل تغییر خط ممکن است از یا به خط‌های عبور دیگر آزاد راه نیز انجام شود که مورد لزوم نبوده و در نظر گرفته نمی‌شود.

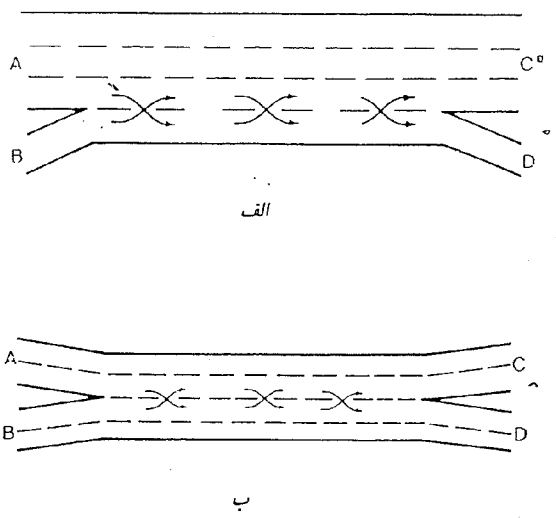
شکل ۲-۱۲ (ب) یک ناحیه تغییر خط اصلی را نشان می‌دهد. نواحی تغییر خط اصلی دارای بیش از دو ورودی و خروجی، هر کدام با چند خط عبور، هستند. توجه داشته باشید که وسایل نقلیه حداقل یک تغییر خط باید انجام دهند و این تغییر خط عبور از روی خط تاج است. خط تاج خطی است که نوک دماغه ورودی را به نوک دماغه خروجی متصل می‌کند و در هر دو حالت الف و ب شکل ۲-۱۲ وجود دارد.

تفاوت دو ناحیه تغییر خط مورد بحث به اثرات طرح هندسی شیبراهه در سرعت مربوط می‌شود. در بسیاری از نواحی تغییر خط سرعت طرح شیبراهه‌ها بسیار کمتر از سرعت طرح آزادراه است، بنابراین وسایل نقلیه‌ای که در حال تغییر خط و عبور از روی خط تاج هستند تغییر سرعت نیز می‌دهند. در نواحی تغییر خط اصلی سرعت طرح ورودی و خروجی به سرعت طرح آزاد راه بسیار نزدیکتر بوده و اثرات تقلیل و ازدیاد سرعت وسایل نقلیه حداقل است.

معمولاً خط عبورهای مجاور خط تاج بطور مشترک توسط وسائل نقلیه در حال تغییر خط و وسایل نقلیه غیر تغییر خط مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی وسائل نقلیه تغییر خط فقط محدود به استفاده از همین خط عبورها هستند. یکی از مهمترین اثرات ترکیب ناحیه در عملکرد آن محدود نمودن تعداد خط عبورهائی است که وسائل نقلیه در هنگام عبور از ناحیه تغییر خط اشغال می‌کنند.

ناحیه تغییر خط نوع ب. مشخصات اصلی و متمایز ناحیه تغییر خط نوع ب عبارتند از:

۱ - یک حرکت تغییر مسیر، بدون اینکه هیچگونه تغییر خطی صورت گیرد، ممکن است انجام شود.



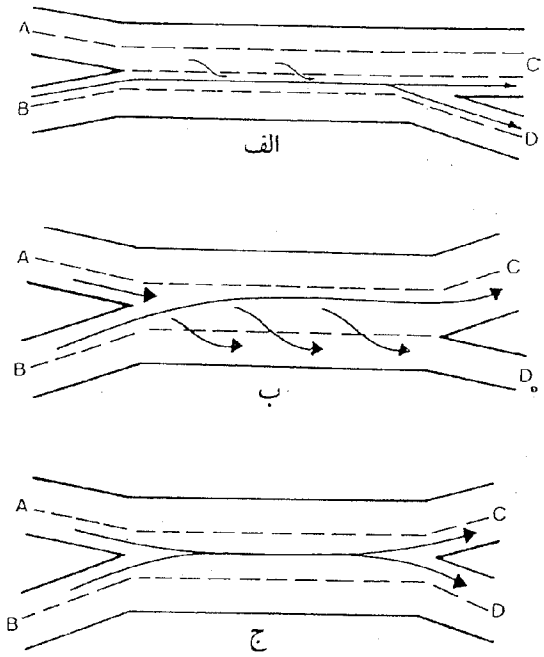
شکل ۲-۱۲ نواحی تغییر خط نوع الف: تغییر خط یک جانبه در شیبراهه (الف) و تغییر خط اصلی با خط تاج (ب)

۲ - حرکت تغییر خط دیگر نیاز به حداکثر یک تغییر خط دارد.

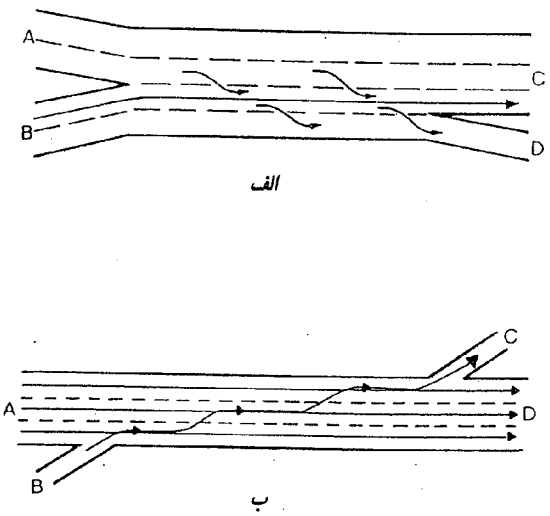
شکل‌های ۳-۱۲ (الف) و (ب) دو نمونه از این نوع نواحی را نشان می‌دهند. در هر دو شکل حرکت B-C می‌تواند بدون انجام تغییر خط صورت گیرد، در حالیکه حرکت A-D نیاز به یک تغییر خط دارد. در شکل ۳-۱۲ (الف) با ایجاد یک خط عبور در دماغه واگرائی این حرکت انجام شده است. این روش طراحی را تعدیل می‌نامند.

نواحی تغییر خط نوع ب در انتقال حجم زیاد وسائل نقلیه‌ای که تغییر خط می‌دهند بسیار مؤثرند، به دلیل اینکه در این حالت یک خط عبور ممتد فراهم می‌گردد. مانوورهای تغییر خط می‌تواند با یک تغییر خط از یک خط یا خطوط مجاور به این خط ممتد انجام شود. بنابراین وسایل نقلیه می‌توانند تعداد قابل توجهی از خطوط را در ناحیه اشغال کنند و از این نظر، مانند نواحی نوع الف دارای محدودیت نیستند.

شکل ۳-۱۲ (ج) یک ترکیب غیر معمول را نشان می‌دهد که در آن همگرائی دو خط عبور در دماغه ورودی و تعادل خط‌های عبور در دماغه خروجی وجود دارد. در این حالت هر دو حرکت تغییر خط بدون عوض کردن خط می‌تواند انجام شود. همچنین حرکات تغییر خط می‌تواند با یک تغییر خط منفرد از خطوط مجاور به خط عبور ممتد انجام گیرد. این ترکیب معمولاً در قسمت‌های توزیع کننده - جمع‌آورنده جاده‌ها دیده می‌شوند.



شکل ۳-۱۲. نواحی تغییر خط نوع ب: (الف) تغییر خط اصلی با تعدیل خط در دماغه خروجی، (ب) تغییر خط اصلی با همگرائی درناحیه ورودی، و (ج) تغییر خط اصلی با همگرائی در دماغه ورودی و تعدیل خط در دماغه خروجی.



شکل ۴-۱۲. نواحی تغییر خط نوع ج - (الف) تغییر خط اصلی بدون تعدیل خط با همگرائی و (ب) تغییر خط دو طرفه.

تغییر خط نوع ج. نواحی تغییر خط نوع ج از نقطه نظر اینکه یک یا چند خط عبوری ممتد در آن وجود دارد شبیه تغییر خط نوع ب می‌باشد. وجه تمایز نواحی نوع ب و ج تعداد تعویض خط‌های لازم برای حرکت تغییر خط است. ناحیه تغییر خط نوع ج بصورت زیر مشخص می‌شود:

۱ - یک حرکت تغییر خط ممکن است بدون تعویض خط انجام شود.

۲ - تغییر خط دیگر نیاز به بیش از دو تعویض خط دارد.

شکل ۴-۱۲ دو ناحیه تغییر خط نوع ج را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۱۲ (الف) حرکت *B-C* نیاز به تغییر خط نداشته و حرکت *A-D* به دو تغییر خط نیاز دارد. این ناحیه تغییر خط زمانی ایجاد می‌شود که نه در دماغه ورودی همگرائی خط وجود دارد و نه در دماغه خروجی تعدیل خط، و بین دو دماغه خط تاج نیز یافت نمی‌شود. در حالیکه در چنین ناحیه‌ای حرکات تغییر خط در امتداد خط عبور ممتد با کارآئی نسبتاً خوبی انجام می‌شود، در جهت حجم‌های زیاد تغییر خط با کارآئی چندانی انجام نمی‌گیرد.

شکل ۴-۱۲ (ب) یک ناحیه تغییر خط دو طرفه را نشان می‌دهد. این ناحیه زمانی تشکیل می‌شود که به دنبال یک شیبراهه ورودی از سمت راست یک شیبراهه خروجی در سمت چپ، و یا بالعکس وجود داشته باشد. در چنین حالت‌هائی، حجم ترافیک عبوری آزاد راه عملاً یک حرکت تغییر خط است و وسائل نقلیه‌ای که از یک شیبراهه به شیبراهه دیگر می‌روند باید تمام خط‌های عبوری آزاد راه را قطع کنند. از نظر فنی اطلاعات کمی در مورد این گونه نواحی تغییر خط وجود دارد و روش‌های ارائه شده تقریبی است. در صورتیکه حجم ترافیک تغییر خط از یک شیبراهه به شیبراهه دیگر زیاد باشد از این نوع تغییر خط باید اجتناب نمود.

جدول ۹-۱۲ با توجه به خصوصیات تغییر خط نوع ترکیب ناحیه را نشان می‌دهد.

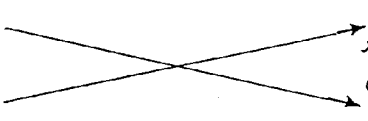
تعیین عرض ناحیه تغییر خط و نوع عملکرد

سومین خصوصیت هندسی که اثر قابل توجهی در عملکرد ناحیه تغییر خط دارد عرض ناحیه است که با تعداد خط‌های عبور اندازه‌گیری می‌شود. البته نه فقط تعداد خط‌ها بلکه نسبت استفاده از آنها توسط وسایل نقلیه تغییر خط و غیر تغییر خط نیز در عملکرد ناحیه مؤثر است. طبیعت حرکات تغییر خط ایجاد اغتشاش در جریان ترافیک است و منجر می‌شود به اینکه یک وسیله نقلیه در حال تغییر خط فضای بیشتری از مسیر را نسبت به یک وسیله غیر تغییر خط اشغال کند. استفاده نسبی از فضا بستگی به حجم نسبی وسائل نقلیه در حال تغییر خط و غیر تغییر خط و تعداد تعویض خط‌هائی که باید انجام شود دارد. این تعداد، همانطور که قبلاً بحث شد بستگی به ترکیب ناحیه دارد. بنابراین استفاده نسبی از فضا نه تنها به نسبت حجم‌ها، بلکه به ترکیب ناحیه تغییر خط نیز وابسته است.

بطور کلی وسائل نقلیه در یک ناحیه تغییر خط بطوری از خط‌های موجود استفاده می‌کنند که تمام حرکت‌ها دارای میانگین سرعت حرکت تقریباً مساوی، و وسائل نقلیه در حال تغییر خط با سرعت تقریباً کمتر، باشند. گاهی اوقات، ترکیب موجود مانع وسائل نقلیه در حال تغییر خط برای اشغال خط‌های عبور در جهت تأمین عملکرد متعادل می‌شود. در چنین مواقعی وسائل نقلیه تغییر خط فضای کمتری از خط‌های عبور را، نسبت به آنچه که لازم است، اشغال می‌کنند. اگر چنین باشد، عملکرد ناحیه تغییر خط به صورت "درگیر" طبقه‌بندی می‌شود. نتیجه عملکرد درگیر این است که وسائل نقلیه غیر تغییر خط با سرعت‌های بیشتر نسبت به وسائل نقلیه در حال تغییر خط حرکت می‌کنند.

اگر ترکیب ناحیه طوری باشد که وسائل نقلیه تغییر خط را از اشغال متناسب خط‌های عبور باز ندارد عملکرد به صورت "غیردرگیر" طبقه‌بندی می‌شود. اختلاف میانگین سرعت حرکت وسایل نقلیه تغییر خط و غیر تغییر خط معمولاً کمتر از ۸ کیلومتر در ساعت است، بجز در نواحی نوع الف و با طول کم که تقلیل و ازدیاد سرعت وسایل نقلیه سرعت متوسط را، بدون توجه به میزان استفاده از خط‌های موجود، محدود می‌کند.

جدول ۹-۱۲. نوع ترکیب بر حسب حداقل تعداد لازم تغییر خط



حرکت	حداقل تعداد تغییر خط لازم برای حرکت *b*		
	صفر	۱	۲ ≥
صفر	ب	ب	ج
۱	ب	الف	-
۲	ج	-	-

روش محاسبه

محاسبات نواحی تغییر خط در چند مرحله انجام می‌گیرد و پیچیدگی مفاهیم موجود باعث ایجاد روش محاسبه پیچیده نگردیده است. در واقع روش ارائه شده مکانیزم‌های پیچیده را به کمک معادلات ریاضی نسبتاً ساده نشان می‌دهد.

این روش فقط در حالت تحلیل عملکرد مورد استفاده دارد و بر اساس تعیین شکل هندسی و تقاضا (احجام ترافیک) سطح سرویس پیش‌بینی می‌شود. مسائل طراحی معمولاً به کمک سعی و خطا انجام می‌گیرد زیرا نواحی تغییر خط غالباً بعد از طراحی مسیرهای اصلی متقاطع طرح می‌شوند. تعداد انتخاب‌ها معمولاً محدود است و می‌توان آنها را بدون مشکل تحت مطالعات سعی و خطا قرار داد، مخصوصاً اگر از نرم‌افزار کامپیوتری استفاده گردد. مراحل تحلیل در قسمت‌های زیر خلاصه شده است.

۱ - *نمودار تغییر خط و تبدیل ترددها.* تحلیل نواحی تغییر خط با تبدیل تمام حجم‌ها به معادل تردد برای ۱۵ دقیقه ساعت اوج مورد نظر در شرایط ایده‌آل شروع می‌شود. این عمل به خاطر این انجام می‌شود که حجم‌های با توزیع مختلف از نظر نوع وسایل نقلیه و نواحی با عرض خط‌ها، فواصل و نوع منطقه متفاوت را بتوان به یک شکل ثابت بیان نمود و در روش محاسبه بکار گرفت.

هر کدام از مؤلفه‌های تقاضای حجم بصورت زیر تبدیل می‌شود:

$$v_i = \frac{V_i}{PHF \times f_W \times f_P \times f_{HV}} \qquad (۱۲-۵)$$

که در آن:

v_i = تردد معادل برای حرکت i در شرایط ایده‌آل (سواری در ساعت)

V_i = حجم تقاضای یک ساعت برای حرکت i (وسیله نقلیه در ساعت)

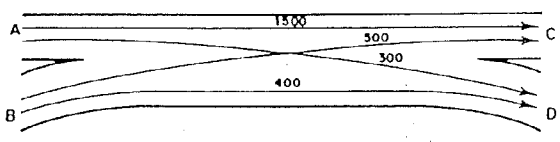
PHF = ضریب ساعت اوج

f_w = ضریب تصحیح برای عرض خط محدود و مانع کناری، از جدول ۲-۱۲

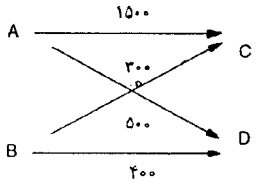
f_p = ضریب تصحیح برای نوع رانندگان از جدول ۸-۱۲

f_{HV} = ضریب تصحیح برای وسایل نقلیه سنگین که از روش‌های مربوط به آزادراه‌ها بدست می‌آید.

با استفاده از ترددهای تبدیل شده نمودار تغییر خط برای ساده شدن تحلیل آماده می‌شود. نمودار تغییر خط حجم‌های موجود در ناحیه را با توجه به موقعیت نسبی آنها نشان می‌دهد وبه شناخت متغیرهای اصلی کمک می‌کند. شکل ۵-۱۲ یکی از این نمودارها را با متغییرهای مهم نشان می‌دهد. به VR و R توجه داشته باشید زیرا این متغیرها در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.



ناحیه تغییر خط و حجم‌ها



نمودار تغییر خط

و:

V_{W1} = تردد تغییر خط با بیشترین مقدار عددی (۵۰۰)

V_{W2} = تردد تغییر خط با کمترین مقدار عددی (۳۰۰)

V_W = کل تردد تغییر خط (۸۰۰=۳۰۰+۵۰۰)

V = کل تردد در ناحیه تغییر خط

(۵۰۰+۳۰۰+۱۵۰۰+۴۰۰=۲۷۰۰)

VR = نسبت حجم‌ها = V_W/V (۸۰۰/۲۷۰۰=۰/۲۹۶)

R = نسبت تغییر خط = V_{W2}/V_W (۳۰۰/۸۰۰=۰/۳۷۵)

L = طول تغییر خط = ۳۶۵ متر = ۱۲۰۰ فوت

N = تعداد خط‌ها = ۴

شکل ۵-۱۲، تهیه و استفاده از نمودار تغییر خط

۲ - *پیش‌بینی سرعت‌های میانگین وسائل نقلیه تغییر خط و غیر تغییر خط* . برای پیش بینی سرعت‌ها در ناحیه تغییر خط معادلاتی بر حسب نوع ترکیب و عملکردهای درگیر و غیر درگیر توسط کتاب ظرفیت راه‌ها تهیه شده است. شکل کلی تمام این معادلات یکسان است.

$$S_{nw} \text{ یا } S_w = \frac{۸۰}{۱ + \frac{a(۱+VR)^b (v/N)^c}{L^d}} \qquad (۱۲-۶)$$

که:

S_{nw} = سرعت میانگین وسایل نقلیه غیرتغییرخط (کیلومتر در ساعت)

S_w = سرعت میانگین وسایل نقلیه تغییر خط (کیلومتر در ساعت)

VR = نسبت حجم‌ها، V_w/v

v = تردد کل در ناحیه تغییر خط، بر حسب معادل سواری در ساعت تحت شرایط ایده‌آل.

N = تعداد خط‌های عبور در ناحیه تغییر خط

L = طول تغییر خط بر حسب متر

d,c,b,a = ضرایب ثابت طبق جدول ۱۰-۱۲

دوازده معادله در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد: سه نوع ترکیب و دو نوع عملکرد (درگیر و غیردرگیر) و هر کدام برای محاسبه سرعت وسایل نقلیه تغییر خط و غیرتغییر خط. این دوازده معادله در ثابت‌های لازم برای کالیبره کردن (d,c,b,a) متفاوت هستند.

در شروع یک محاسبه نوع ناحیه تغییر خط با استفاده از جدول ۹-۱۲ تعیین می‌شود. دو معادله برای پیش‌بینی سرعت تغییر خط و غیرتغییر خط لازم است. البته نوع عملکرد (درگیر و غیردرگیر) مشخص نیست. تمام محاسبات با فرض عملکرد غیر درگیر انجام می‌شود و سپس این فرض کنترل می‌گردد.

تخمین سرعت‌های میانگین وسائل نقلیه در حال تغییر خط و غیرتغییر خط، اگر عملکرد غیردرگیر باشد، در یک مرحله انجام می‌گیرد. وقتی که فرض اشتباه باشد سرعت‌ها را باید برای مرتبه دوم و با استفاده از معادلات مناسب حالت درگیر محاسبه نمود.

۳ - *تعیین نوع عملکرد.* عملکرد درگیر و غیردرگیر قبلاً تعریف گردید و توضیح داده شد. تعیین نوع عملکرد حاکم بر اساس زیر استوار است:

اگر N_w بیشتر از حداکثر تعداد خط‌ها باشد عملکرد درگیر است.

اگر N_w کوچکتر یا مساوی با حداکثر تعداد خط‌ها گردد عملکرد غیردرگیر می‌باشد.

N_w تعداد خطی است که وسایل نقلیه تغییر خط، در صورتیکه لازم باشد بطور متناسبی از فضای خط‌ها استفاده شود، اشغال می‌کنند. جدول ۱۱-۱۲ روش پیدا کردن N_w و حداکثر N_w را نشان می‌دهد.

۴ - *محدودیت‌های نواحی تغییر خط* . نواحی تغییر خط دارای محدودیت‌های مشخصی می‌باشند. این محدودیت‌ها را باید کنترل نمود تا مشخص شود که هیچکدام از متغیرها شرایط غیرواقعی را نشان نمی‌دهند. جدول ۱۲-۱۲ محدودیت‌های نواحی تغییر خط و عملکرد آنها را نشان می‌دهد. معنی این محدودیت‌ها یکسان نبوده و دامنه تغییراتی را نشان می‌دهند که زوش‌ها بر اساس آنها کالیبره شده‌اند. این محدودیت‌ها، بعضی مواقع حدودی را نشان می‌دهند که در ورای آنها ناحیه تغییر خط نمی‌تواند کارآیی لازم را داشته باشد.

هرکدام از محدودیت‌های جدول ۱۲-۱۲ در زیر توضیح داده شده است:

الف - ظرفیت تغییر خط (v_w) - حداکثر تردد تغییر خط را نشان می‌دهد که بیش از آن نواحی تغییر خط نمی‌توانند بطور مؤثر عمل نمایند. ناحیه تغییر خط نوع الف برای ترددهای جزئی تغییر خط باید یک تعویض خط داشده باشد، این ترکیب دارای حداکثر محدودیت از کل تردد می‌باشد، در حالیکه انواع ب و ج می‌توانند حجم‌های بیشتری را عبور دهند.

اگر ترددها از حدود جدول ۱۲-۱۲ بیشتر شد نوع دیگری از نقاطع باید مورد توجه قرار گیرد.

ب - حداکثر تردد در یک خط (V/N) - بخاطر وجود اغتشاش موجود در ناحیه تغییر خط تردد ۲۰۰۰ سواری در ساعت در هر خط عبور را نمی‌توان بطور موثر و بدون افت ترافیک برقرار نمود اگر کل تردد از ۱۹۰۰ سواری در ساعت در خط تجاوز نماید افت ترافیک، بدون توجه به سرعت‌های پیش‌بینی شده، محتمل خواهد بود.

ج - حداکثر نسبت حجم (VR) - نواحی نوع الف برای عبور حجم‌های زیاد ترافیک طراحی نمی‌شوند و به احتمال زیاد وقتی که VR از مقادیر داده شده در جدول ۱۲-۱۲ بیشتر شود، عملکرد بسیار ضعیفی خواهد داشت. نوع ب تنها نوعی از ناحیه تغییر خط آزاد راه است که انعطاف‌پذیرترین نوع استفاده از خط‌ها را توسط وسایل نقلیه مجاز می‌کند و در آن بیش از ۵۰ درصد ترافیک در حال تغییر خط است.

د - حداکثر نسبت تغییر خط (R) - عبارت است از نسبت حجم کمتر تغییر خط به کل تردد. برای نوع الف و ب محدودیتی وجود ندارد (۰/۵ حداکثر مقدار R است وقتی که دو تردد تغییر خط برابر باشند). نواحی نوع ج به شدت متمایل به تردد غالب تغییر خط می‌باشند، در حالیکه تردد دیگر تغییر

جدول ۱۰-۱۲، معادلات لازم برای پیش بینی سرعت میانگین وسایل نقلیه تغییر خط و غیرتغییر خط

شکل کلی معادله

$$S_{nw} \text{ و } S_w = \frac{۸۰}{۱ + \frac{a(۱+VR)^b (v/N)^c}{L^d}}$$

نوع ترکیب	ضرایب سرعت تغییر خط S_w				ضرایب سرعت غیرتغییر خط S_{nw}			
	a	b	c	d	a	b	c	d
نوع الف:								
غیردرگیر	۰/۰۷۸	۲/۲	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۰۰۶	۴/۰	۱/۳	۱/۰۰
درگیر	۰/۰۹۶	۲/۲	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۰۱۰	۴/۰	۰/۸۸	۰/۶۰
نوع ب:								
غیردرگیر	۰/۰۵۵	۱/۲	۰/۷۷	۰/۵	۰/۰۰۶	۲/۰	۱/۴۲	۰/۹۵
درگیر	۰/۰۸۸	۱/۲	۰/۷۷	۰/۵	۰/۰۰۵	۲/۰	۱/۳۰	۰/۹۰
نوع ج:								
غیردرگیر	۰/۰۵۵	۱/۸	۰/۸	۰/۵۰	۰/۰۰۳	۱/۸۰	۱/۱۰	۰/۵
درگیر	۰/۰۵۵	۲/۰	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/۰۰۲	۱/۵۰	۱/۰۰	۰/۵

جدول ۱۱-۱۲، مقادیر N_w و حداکثر آن برای تعیین نوع عملکرد

ترکیب	* تعداد خط‌های لازم برای عملکرد غیر درگیر N_w	حداکثر تعداد خط‌ها
نوع الف	$۱/۲۱N(VR)^{۰/۵۷۱}L^{۰/۲۳۴}/S_w^{۰/۴۳۸}$	۱/۴
نوع ب	$N\ [\ ۰/۰۸۵+۰/۷۰۳۷VR+(۷۱/۵۷V/L)-۰/۰۱۱(S_{nw}-S_w)]$	۳/۵
نوع ج	$N\ [۰/۷۶۱ - ۰/۰۰۵\ L - ۰/۰۰۳\ (S_{nw}-S_w) + ۰/۰۴۷۷\ VR]$	۳/۰ **

* تمام طول‌ها بر حسب متر و سرعت‌ها کیلومتر در ساعت

** برای نواحی تغییر خط دو طرف تمام خط‌های آزاد راه ممکن است بعنوان خطوط تغییر خط در نظر گرفته شود.

جدول ۱۲-۱۲ . محدودیت‌های عملکرد ناحیه تغییر خط

نوع ترکیب	حداکثر ظرفیت تغییر خط pcph	حداکثر $\frac{V}{N}$ pcph		حداکثر نسبت حجم VR	حداکثر نسبت تغییر خط R	حداکثر طول تغییر خط L
الف	۱۸۰۰	۱۹۰۰	N	VR	۰/۵	۲۰۰۰ ft = ۶۶۰ متر
			۲	۱/۰۰		
			۳	۰/۴۵		
			۴	۰/۳۵		
			۵	۰/۲۲		
ب	۳۰۰۰	۱۹۰۰		۰/۸	۰/۵	۲۵۰۰ ft = ۸۲۰ متر
ج	۳۰۰۰	۱۹۰۰		۰/۵	۰/۴	۲۰۰۰ ft = ۸۲۰ متر

توجه: محدودیت‌های نوع ج برای نواحی تغییر خط دو جانبه صادق نیست.

خط نیاز به دوتعویض خط دارد، در این حالت‌ها وقتی $R > ۰/۴۰$ باشد. بدون توجه به سرعت‌های پیش بینی شده، ناحیه تغییر خط احتمالاً ضعیف عمل خواهد کرد.

هـ- حداکثر طول تغییر خط - البته هیچگونه محدودیت عملی برای طول تغییر خط وجود ندارد، ولی سئوال این است که حداقل طول چقدر باشد تا بتوان عملکرد دو قسمت همگرائی و واگرائی را مستقل از هم دانست. اعداد جدول این مقادیر را نشان می‌دهند، و برای مقادیر بیشتر نواحی را باید بطور جداگانه تحلیل کرد.

۵ - *ضابطه سطح سرویس* . ضابطه سطح سرویس در نواحی تغییر خط بستگی به متوسط سرعت وسائل نقلیه تغییر خط و غیر تغییر خط دارد. مشخصه‌های جداگانه‌ای برای سطح سرویس ترافیک تغییر خط و غیرتغییر خط، با توجه به اینکه محدودیت‌ها معمولاً باعث می‌شود وسائل نقلیه تغییر خط با سرعت کمتری حرکت کنند، داده شده است. این ضوابط در جدول ۱۳-۱۲ آمده است.

بطور کلی، انتظار می‌رود که وسائل نقلیه در حال تغییر خط مقداری کندتر از وسائل نقلیه غیرتغییر خط حرکت کنند، حتی وقتی که عملکرد متعادل برقرار باشد. در بعضی مواقع وسائل نقلیه تغییر خط از وسائل نقلیه غیر تغییر خط سریعتر حرکت می‌کنند. این مسأله معمولاً در قسمت‌های تغییر خط شیبراهه‌ها در سطح سرویس‌های ضعیف‌تر اتفاق می‌افتد. در چنین موقعیت‌هائی وسایل نقلیه تغییر خط معمولاً از خط کمکی برای سبقت‌گیری از وسائل نقلیه کندرو که در آزادراه حرکت می‌کنند استفاده می‌نمایند.

جدول ۱۳-۱۲ . ضوابط سطح سرویس برای نواحی تغییر خط

سطح سرویس	حداقل متوسط سرعت تغییر خط S_w kph	حداقل متوسط سرعت غیرتغییر خط و S_{nw} kph
A	۸۸	۹۷
B	۸۰	۸۷
C	۷۲	۷۷
D	۶۴	۶۸
E	۵۶یا۴۸	۵۶یا۴۸
F	۵۶یا۴۸	۵۶یا۴۸

با پایین آمدن سطح سرویس، سرعت وسایل نقلیه در حال تغییر خط و غیرتغییر خط (در حالت غیردرگیر) به تساوی نزدیک می‌شوند. حد سرعت برای سطح سرویس F برابر ۴۸ کیلومتر در ساعت است که با ضابطه آزادراه مطابقت دارد. روش ارائه شده[۵] سرعت‌ها را کمی اضافه‌تر، مخصوصاً در سرعت‌های پایین، پیش بینی می‌کند. بنابراین، به منظور جبران این مسأله حد سرعت در سطح سرویس F ، زمانی که از سرعت‌های پیش‌بینی شده استفاده می‌شود، ۵۶ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود.

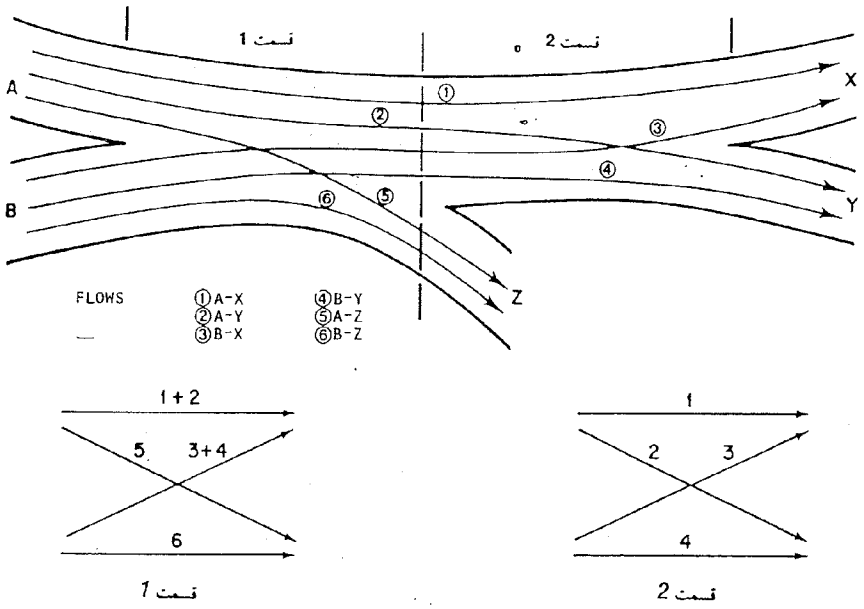
نواحی تغییر خط مرکب

نواحی تغییر خط مرکب زمانی تشکیل می‌شوند که یک نقطه همگرائی در فاصله نزدیک و قبل از دو نقطه واگرائی، یا دو نقطه واگرائی در فاصله نزدیک و قبل از یک نقطه همگرائی قرار می‌گیرند. در چنین حالت‌هائی چند مرحله تغییر خط در یک قسمت آزاد راه اتفاق می‌افتد و اغتشاش‌های مربوط به تغییر خط ممکن است بیش از مقداری باشد که در نواحی تغییر خط ساده یافت می‌شود.

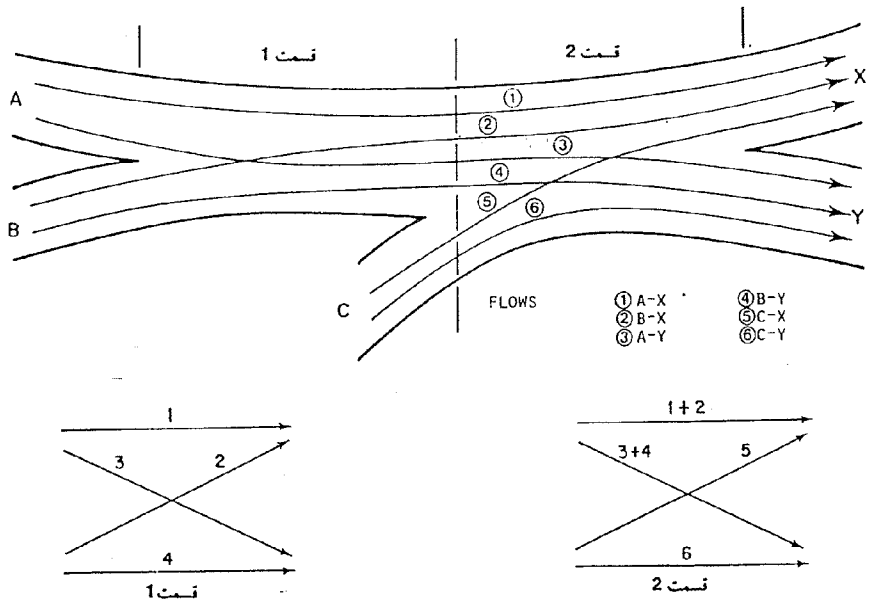
رانندگان با دقت محل انجام تغییر خط خود را انتخاب می‌کنند بطوری که حداقل تداخل با سایر حرکت‌ها بوجود آید. شکل ۶-۱۲ دو نوع نواحی تغییر خط مرکب را نشان می‌دهد، که منجر به تهیه نمودارهای تغییر خط برای هر قسمت ناحیه می‌شود. هر کدام از این قسمت‌ها را می‌توان، با استفاده از روش‌های ارائه شده، بصورت یک ناحیه تغییر خط ساده تحلیل کرد.

شکل ۶-۱۲ (الف) یک همگرائی را نشان می‌دهد که دو واگرائی بعد از آن قرار گرفته است. برخورد حرکت ۵ با حرکت‌های ۳ و ۴ باید در قسمت اول انجام شود زیرا وسایل نقلیه حرکت شماره ۵ در اولین واگرائی خارج می‌شوند. برخورد حرکت ۲ با حرکت ۳ در هر نقطه‌ای از دو قسمت ممکن است اتفاق بیافتد ولی، برای اجتناب از اغتشاش تغییر خط که در قسمت اول بوجود می‌آید. این وسایل نقلیه سعی می‌کنند که تغییر خط خود را در قسمت دوم ناحیه انجام دهند.

شکل ۶-۱۲ (ب) یک واگرائی را نشان می‌دهد که بعد از دو همگرائی قرار گرفته است. در این حالت برخورد حرکت‌های ۳ و ۴ با ۵ باید در قسمت دوم ناحیه انجام شود، زیرا حرکت ۵ از شیبراهه دوم وارد ناحیه تغییر خط می‌شود. برخورد حرکت‌های ۲ و ۳ در هر نقطه‌ای از کل ناحیه ممکن است اتفاق بیافتد، ولی با توجه به اینکه رانندگان از اغتشاش بوجود آمده در قسمت دوم اجتناب می‌کنند این برخورد بیشتر در قسمت اول متمرکز می‌شود.



(الف) - یک همگرائی که قبل از دو واگرائی قرار داد.



(ب) یک واگرائی که بعد از دو واگرائی قرار دارد.

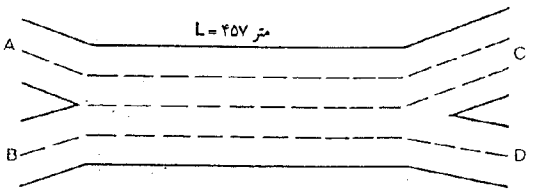
شکل ۶-۱۲، تحلیل نواحی تغییر خط مرکب

به این ترتیب تحلیل مناطق تغییر خط مرکب شامل تهیه نمودارهای تغییر خط برای هر قسمت ناحیه و با استفاده از شکل ۶-۱۲ می‌شود. پس از آماده شدن این نمودارها هر قسمت را بااستفاده از شکل ۶-۱۲ می‌شود. پس از آماده شدن این نمودارها هر قسمت را با استفاده از روش ارائه شده بصورت یک ناحیه تغییر خط ساده تحلیل می‌کنند.

محاسبات نمونه

مسأله - ۱. ناحیه تغییر خط نشان داده شده در شکل ۷-۱۲ دارای حجم‌های زیر است:

$AC = ۱۸۱۵$، $AD = ۶۹۲$، $BC = ۱۰۳۷$، $BD = ۱۲۹۷$ وسیله نقلیه در ساعت با ۷ درصد کامیون و ضریب ساعت اوج برابر ۰/۹۱ ناحیه در منطقه هموار قرار دارد، عرض خط‌های عبور ۳/۶۵ متر (۱۲ فوت) و بدون مانع کناری است. رانندگان عبوری عمدتاً ترددی هستند. ناحیه در چه سطح سرویسی عمل می‌کند؟



شکل ۷-۱۲. ناحیه تغییر خط مربوط به مسأله - ۱

حل:

شکل هندسی و حجم‌های ترافیک، با توجه به جدول ۹-۱۲ نوع ترکیب را ب مشخص می‌کند. تمام حجم‌ها به ترددهای ساعت اوج در شرایط ایده‌آل و بر حسب سواری در ساعت باید تبدیل شود:

$$v = \frac{V}{PHF \times f_{HV} \times fw \times f_p}$$

از جدول ۳-۱۲ $E_T = ۱/۷$

از جدول ۲-۱۲ $f_w = ۱/۰۰$

از جدول ۸-۱۲ $f_p = ۱/۰۰$

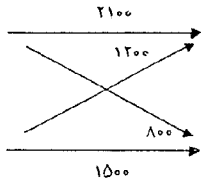
$$f_{HV} = \frac{۱}{۱+۰/۰۷(۱/۷-۱)} = ۰/۹۵$$

سواری در ساعت $AC = ۱۸۱۵/(۰/۹۱\times۰/۹۵\times۱/۰۰\times۱/۰۰) = ۲۱۰۰$

سواری در ساعت $AD = ۶۹۲/(۰/۹۱\times۰/۹۵\times۱/۰۰\times۱/۰۰) = ۸۰۰$

سواری در ساعت $BC = ۱۰۳۷/(۰/۹۱\times۰/۹۵\times۱/۰۰\times۴/۰۰) = ۱۲۰۰$

سواری در ساعت $BD = ۱۲۹۷/(۰/۹۱\times۰/۹۵\times۱/۰۰\times۱/۰۰) = ۱۵۰۰$



نسبت‌های بحرانی برای کاربرد در تحلیل را می‌توان محاسبه نمود:

سواری در ساعت $v_w = ۱۲۰۰ + ۸۰۰ = ۲۰۰۰$

سواری در ساعت $v = ۲۰۰۰ + ۲۱۰۰ + ۱۵۰۰ = ۵۶۰۰$

$R = ۸۰۰ \div ۲۰۰۰ = ۰/۴۰۰$

$VR = ۲۰۰۰ \div ۵۶۰۰ = ۰/۳۵۷$

سرعت های حالت "غیر درگیر" برای وسایل نقلیه تغییر خط و غیر تغییر خط را می‌توان برای ترکیب نوع ب محاسبه نمود:

کیلومتر در ساعت

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۵۵(۱+۰/۳۵۷)\left(\frac{۵۶۰۰}{۴}\right)^{۰/۷۷}}{(۴۵۷)^{۰/۵}}} = ۶۴/۲$$

کیلومتر در ساعت

$$S_{mw} = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۰۶(۱+۰/۳۵۷)^{۲/۰}\left(\frac{۵۶۰۰}{۴}\right)^{۱/۲۲}}{(۴۵۷)^{۰/۹۵}}} = ۶۳/۵$$

با استفاده از سرعت‌های تغییر خط در حالت غیر درگیر، تعداد خط‌های لازم برای عملکرد محاسبه شده و با حداکثر مقدار ۳/۵ خط برای ترکیب نوع ب مقایسه می‌گردد.

معادله لازم از جدول ۱۱-۱۲:

$$N_w = N\,[۰/۰۸۵+۰/۷۰۳VR+(\frac{۷۱/۵۷}{L})-۰/۰۱۱(S_{mw}-S_w)]$$

$$N_w=۴[۰/۰۸۵+۰/۷۰۳(۰/۳۵۷)+(\frac{۷۱/۵۷}{۴۵۷})$$
$$-۰/۰۱۱(۶۳/۵-۶۴/۲)]$$

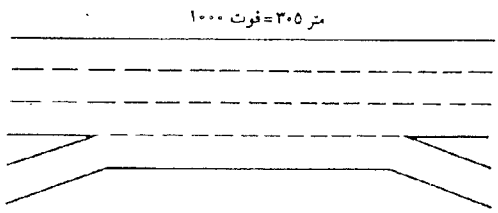
$N_w = ۲/۰۲ < ۳/۵$ خط

بنابراین ناحیه تحت شرایط "غیر درگیر" عمل می‌کند و

سرعت‌های محاسبه شده صحیح است. تمام مقادیر کمتر از حدود داده شده در جدول ۱۲-۱۲ می‌باشد و عملکرد همانی است که در محاسبات مشخص شد.

در مقایسه با جدول ۱۳-۱۲ معلوم می‌شود که سطح سرویس برای وسایل نقلیه تغییر خط و برای وسایل نقلیه غیر تغییر خط E می‌باشند.

مسأله - ۲. ناحیه نشان داده شده در شکل ۸-۱۲ حجم‌های زیر را منتقل می‌کند: $AC = ۹۷۵$، $AD = ۶۵۰$، $BC = ۵۲۰$ و $BD = ۰$ وسیله نقلیه در ساعت. ترافیک ۱۰ درصد کامیون دارد و از نوع ترددی روزانه است. ضریب ساعت اوج ۰/۸۵ است. عرض خط ۳/۶۵ متر و بدون مانع کناری و در منطقه تپه ماهوری قرار دارد. سطح سرویس ناحیه را تعیین کنید.



شکل ۸-۱۲ ناحیه تغییر خط مسأله ۲

حل: چون هر دو حرکت AD و BC یک تغییر خط لازم دارند ترکیب از نوع A می‌باشد،

حجم‌ها را به تردد ساعت اوج بر حسب اتومبیل در ساعت تبدیل می‌کنیم.

$$v = \frac{V}{PHF \times f_{HV} \times f_w \times f_p}$$

از جدول ۳-۱۲ $PHF = ۰/۸۵$

از جدول ۲-۱۲ $E_T = ۴$

$f_w = ۱/۰۰$

از جدول ۸-۱۲ $f_p = ۱/۰۰$

$$f_{HV} = \frac{۱}{۱+۰/۱۰(۴-۱)} = ۰/۷۷$$

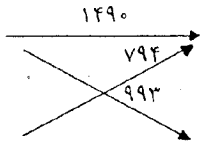
سواری در ساعت $AC = ۹۷۵ \div (۰/۸۵ \times ۰/۷۷ \times ۱/۰۰ \times ۱/۰۰) = ۱۴۹۰$

سواری در ساعت $AD = ۶۵۰ \div (۰/۸۵ \times ۰/۷۷ \times ۱/۰۰ \times ۱/۰۰) = ۹۹۳$

سواری در ساعت $BC = ۵۲۰ \div (۰/۸۵ \times ۰/۷۷ \times ۱/۰۰ \times ۱/۰۰) = ۷۹۴$

$BD = ۰$

نمودار تغییر خط:



نسبت‌های بحرانی را می‌توان حساب نمود:

سواری در ساعت $v_w = ۹۹۳ + ۷۹۴ = ۱۷۸۷$

سواری در ساعت $v = ۱۷۸۷ + ۱۴۹۰ = ۳۲۷۷$

$VR = ۱۷۸۷ \div ۳۲۷۷ = ۰/۵۵$

$R = ۷۹۴ \div ۱۷۸۷ = ۰/۴۴$

سرعت‌ها برای تغییر خط و غیر تغییر خط در حالت عملکرد غیر درگیر و ترکیب نوع الف:

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱+۰/۰۷۸۱+(VR)^{۳/۲}(v/N)^{۱/۰}/L^{۰/۹}}$$

$$S_{nw} = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱+۰/۰۰۶+(۱+VR)^{۴/۰}(v/N)^{۱/۳}/L^{۱/۰۰}}$$

کیلومتر در ساعت

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۷۸(۱+۰/۵۵)^{۳/۲}(\frac{۳۲۷۷}{۳})^{۱/۰}}{(۳۰۵)^{۱/۰}}} = ۵۸/۸۱$$

کیلومتر در ساعت

$$S_{nw} = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۰۶(۱+۰/۵۵)^{۴/۰}(\frac{۳۲۷۷}{۳})^{۱/۰}}{(۳۰۵)^{۱/۰}}} = ۶۳/۷۶$$

تعداد خط‌های مورد نیاز برای حالت غیر درگیر نوع الف محاسبه شده و بامقدار حداکثر آن ۱/۴ مقایسه می‌شود:

$$N_w = ۲/۱۹\, NVR^{۰/۵۷۱} LH^{۰/۲۳۴} / S_w^{۰/۴۳۸}$$

$$N_w = ۲/۱۹(۳)(۰/۵۵)^{۰/۵۷۱}(۱۰)^{۰/۲۳۴} \div (۵۸/۸۱ \div ۱/۶۱)^{۰/۴۳۸}$$

$N_w = ۱/۶۴ > ۱/۴۰$ خط

بنابراین ناحیه تحت شرایط "درگیر" عمل می‌کند زیرا تعداد

خط‌های لازم برای عملکرد غیر درگیر رانمی‌توان تأمین کرد.

سرعت‌ها را باید مجدداً برای حالت "درگیر" محاسبه نمود:

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۹۶(۱+VR)^{۲/۲}(v/N)^{۱/۰}}{L^{۹/۰}}}$$

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۹۶(۱+۰/۵۵)^{۲/۲}(\frac{۳۲۷۷}{۳})^{۱/۰}}{(۳۰۵)^{۰/۹}}} = ۵۴/۸۰$$

کیلومتر در ساعت

$$S_{nw} = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۱+(۱+VR)^{۲/۰}(v/N)^{۰/۸۸}}{L^{۰/۶}}}$$

$$S_{nw} = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۱(۱+۰/۵۵)^{۲/۰}(\frac{۳۲۷۷}{۳})^{۰/۸۸}}{(۳۰۵)^{۰/۶}}} = ۶۶/۵۵$$

با مراجعه به جدول ۱۱-۱۲ برای محدودیت‌های ناحیه تغییر خط مشخص می‌شود که ظرفیت ۱۸۰۰ سواری در ساعت به مقدار کمی بیش از تردد ناحیه مورد بحث است. همچنین VR برابر با ۰/۵۵ از مقدار حداکثر ۰/۴۵ برای سه خط عبور ناحیه الف بیشتر است. بنابراین انتظار می‌رود که عملکرد ناحیه بدتر از حالتی است که توسط سرعت‌های پیش‌بینی شده بدست می‌آید.

اگر سرعت‌های محاسبه شده را در نظر بگیریم سطح سرویس وسائل نقلیه غیر تغییر خط D و برای وسایل نقلیه تغییر خط E می‌باشد. بهر حال وسایل نقلیه در حال تغییر خط در حالت افت قرار می‌گیرند زیرا سرعت آنها در مرز بین سطح سرویس‌های E و F است. عملکرد این ناحیه تغییر خط قابل قبول نبوده و با توجه به اینکه بیش از حداکثر لازم برای ترکیب نوع الف بوده و تقاضا نزدیک به ظرفیت تغییر خط این ناحیه است. تأمین ترکیب نوع ب یا نوع ج را برای بهبود عملکرد موجود باید مد نظر قرار داد.

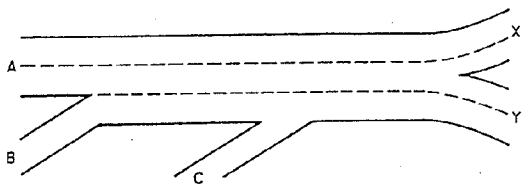
مسأله ۳ - ناحیه تغییر خط مرکب.

شکل زیر یک ناحیه تغییر خط مرکب را نشان می‌دهد. ترددهای ساعت اوج برحسب سواری در ساعت عبارت است از:

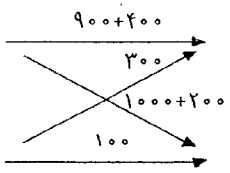
$$A_x=۹۰۰ \text{ و } Bx=۴۰۰ \text{ و } Ay=۱۰۰۰ \text{ و } By=۲۰۰ \text{ و } Cx=۳۰۰ \text{ و } Cy=۱۰۰$$

تمام شرایط ایده‌آل بوده و منطقه هموار است. این ناحیه تغییر خط در چه سطح سرویسی عمل می‌کند؟

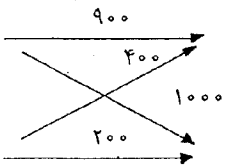
$$L_1 = ۱۰۰۰' = ۳۰۵^m \text{ و } L_2 = ۱۵۰۰' = ۴۵۷^m$$



حل: قدم اول مشخص کردن نمودارهای تغییر خط برای دو قسمت ناحیه مرکب تغییر خط است. بعلت اینکه تمام ترددها برای ساعت اوج و تحت شرایط ایده‌آل داده شده است، هیچگونه تبدیلی لازم نیست. ناحیه تغییر خط مورد مطالعه از نوع شکل ۶-۱۲، که دو ناحیه همگرائی قبل از یک ناحیه واگرائی قرار می‌گیرند، می‌باشد. نمودارهای تغییر خط با توجه به شکل مزبور بصورت زیر است:



$$R = ۳۰۰ \div ۱۵۰۰ = ۰/۲۰۰$$
$$VR = ۱۵۰۰ \div ۲۹۰۰ = ۰/۵۱۷$$



$$R = ۴۰۰ \div ۱۴۰۰ = ۰/۲۸۶$$
$$VR = ۱۴۰۰ \div ۲۵۰۰ = ۰/۵۶۰$$

توجه داشته باشید که هر دو قسمت تغییر خط از نوع ترکیب ب هستند. در قسمت اول، حرکت Ay ممکن است بدون تغییر خط انجام شود در حالیکه حرکت Bx نیاز به یک تغییر خط دارد. در قسمت دوم، حرکت‌های Ay و By بدون هرگونه تغییر خط انجام می‌شوند و Cx نیاز به یک تغییر خط دارد.

محاسبات سرعت برای هر قسمت انجام می‌گیرد.

قسمت - ۱

معادلات سرعت غیر درگیر برای ترکیب نوع ب:

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۵۵(۱+VR)^{۱/۲}(v/N)^{۰/۷۷}}{L^{۰/۵}}}$$

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۵۵(۱+۰/۵۶)^{۱/۲}(\frac{۲۵۰۰}{۳})^{۰/۷۷}}{(۳۰۵)^{۰/۵}}} = ۶۵/۲$$

کیلومتر در ساعت ۰

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{\frac{۰/۰۶۶(۱+VR)^{۲/۰}(v/N)^{۱/۴۲}}{L^{۰/۹۵}}}$$

کیلومتر در ساعت

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۵۵(۱+۰/۵۶)^{۱/۲}(\frac{۲۵۰۰}{۳})^{۰/۷۷}}{(۳۰۵)^{۰/۵}}} = ۶۵/۰۴$$

تعداد خط‌های لازم برای وسایل نقلیه تغییر خط در عملکرد غیر درگیر با استفاده از معادله مناسب بدست آمده و با مقدار حداکثر ۳/۵ خط عبور که از جدول ۱۲-۱۲ برای ترکیب نوع ب بدست می‌آید مقایسه می‌شود:

$$N_w = N\,[۰/۰۸۵ + ۰/۷۰۳VR + (\frac{۷۱/۵۷}{L}) - ۰/۰۱۱(S_{mw} - S_w)]$$

$$= ۳\,[۰/۰۸۵ + ۰/۷۰۳(۰/۵۶) + (\frac{۷۱/۷۵}{۳۰۵}) - ۰/۰۱۱(۶۵/۰۴ - ۶۵/۲)]$$

$$N_w = ۲/۱۵ < ۳/۵ \text{ خط}$$

بدین ترتیب این قسمت غیر درگیر است.

هیچکدام از حدود جدول ۱۲-۱۲ نقض نشده است. از جدول ۳-۱۲ سطح سرویس E برای غیر تغییر خط و سطح سرویس D برای تغییر خط بدست می‌آید.

قسمت-۲

محاسبه سرعت‌ها با استفاده از معادلاتی که در قسمت ۱ مورد استفاده قرار گرفت انجام می‌شود، زیرا هر دو قسمت از نوع ترکیب ب می‌باشند.

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{۱ + \frac{۰/۰۶۶(۱+۰/۵۱۷)^{۱/۲}(\frac{۲۹۰۰}{۳})^{۰/۷۷}}{(۴۵۷)^{۰/۵}}} = ۶۷/۶$$

کیلومتر در ساعت

$$S_w = ۲۴ + \frac{۸۰}{\frac{۰/۰۶۶(۱+۰/۵۱۷)^{۲/۰}(\frac{۲۹۰۰}{۳})^{۱/۲۳}}{۱ + \frac{}{(۴۵۷)^{۹/۵}}}} = ۶۹/۷$$

تعداد خطهای لازم برای وسایل نقلیه تغییر خط:

$$N_w = ۳[۰/۰۸۵ + ۰/۷۰۳(۰/۵۱۷) + (\frac{۷۱/۷۵}{۴۵۷}) - ۰/۱۱(۶۹/۷ - ۶۷/۶)]$$

$$N_w = ۱/۷۵ < ۳/۵۰ \text{ خط}$$

بنابراین عملکرد غیر درگیر است، محدودیت‌های جدول ۱۲-۱۲ نقض نشده از جدول ۱۳-۱۲ سطح سرویس D برای وسایل نقلیه غیر تغییر خط و تغییر خط بدست می‌آید.

این تحلیل نشان می‌دهد که ناحیه تغییر خط در محدوده سرعت ۶۴ تا ۶۹ کیلومتر در ساعت عمل می‌کند. فاصله‌ای که حدود مرزهای بین سطح سرویس D و E را نشان می‌دهد.

شیبراهه و محل اتصال آن

شیبراهه‌ها بعنوان راه‌های اتصالی برای تأمین حرکت وسایل نقلیه از یک راه به راه دیگر عمل می‌کنند. شیبراهه‌ها ممکن است قسمتی از یک تقاطع همسطح یا غیرهمسطح باشند ولی معمولاً مربوط به تقاطع‌هایی می‌شوند که یکی از راه‌ها با دسترسی کنترل شده یا آزاد راه باشد.

در اتصال یک مسیر به یک آزاد راه معمولاً سه قسمت زیر مورد توجه است:

۱ - تقاطع شیبراهه و آزاد راه

۲ - شیبراهه

۳ - تقاطع شیبراهه و خیابان

وقتی که دو آزاد راه ارتباط پیدا می‌کنند دو محل اتصال شیبراهه و آزاد راه وجود دارد. در این بخش اتصال شیبراهه به آزاد راه و مسیر شیبراهه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و اتصال شیبراهه به خیابان بر حسب مورد طبق روش‌های ارائه شده برای تقاطع‌های بدون چراغ یا چراغدار تحلیل می‌شود.

تقاطع شیبراهه و آزاد راه

تقاطع شیبراهه و آزاد راه معمولاً طوری طراحی می‌شود که حرکت‌های واگرائی و همگرائی را در سرعت‌های بالا و با حداقل مزاحمت برای ترافیک عبوری آزاد راه، فراهم نماید.

خصوصیات هندسی محل اتصال شیبراهه و آزاد راه می‌تواند متفاوت باشد. اجزائی از قبیل خط افزایش سرعت و طول آن یا خط کاهش سرعت در حالت واگرائی، زاویه همگرائی و واگرائی، شیب آزاد راه و شیبراهه و سایر خصوصیات آنها در عملکرد شیبراهه مؤثر است. روش‌های ارائه شده برای سرعت‌های بالا کاربرد دارد ولی چون معادلات بدست آمده برای طرح‌های هندسی مختلف کالیبره شده است می‌توان آنها را در حالت‌های "زیر استاندارد" نیز مورد استفاده قرار داد.

تقاطع شیبراهه و آزاد راه ناحیه رقابت ترافیک برای اشغال فضا می‌باشد. ترافیک شیبراهه در یک ناحیه همگرائی با ترافیک بالا دست رقابت می‌کند و سعی دارد با استفاده از فواصل موجود برای وارد شدن به جریان عبوری استفاده نماید. با توجه به اینکه اغلب شیبراهه‌ها از سمت راست وارد آزاد راه می‌شوند خط عبور شانه، که در این بخش خط شماره یک نامگذاری می‌شود، حداکثر تاثیر را نسبت به سایر خطهای آزادراه می‌پذیرد. با افزایش تردد، وسایل نقلیه ورودی به منظور اجتناب از اغتشاش در ناحیه واگرائی شباهت‌هائی با ناحیه همگرائی دارد. وسائل نقلیه باید خط مجاور شیبراهه (یا خط اختصاصی شیبراهه) را اشغال کنند، بطوری که اثر توزیع وسایل نقلیه روی سایر خطها بوجود آید. وقتی که دو خط عبور برای خروج وجود داشته باشد. اثر حرکت‌های واگرائی روی خطوط بیشتری از آزاد راه تخصیص می‌شود.

یک شیبراهه تنها وقتی خوب عمل می‌کند که تمام قسمتهای آن یعنی محل اتصال با آزاد راه و یا خیابان و خود شیبراهه خوب طراحی شده باشند. باید توجه داشت که هرگونه افت ترافیک روی یکی از قسمتها، روی سایر قسمت‌ها تأثیر می‌گذارد و ممکن است به مسیر اصلی نیز کشانده شود.

ترکیب شیبراهه

چون خصوصیات ترافیک بالا دست و پائین دست شیبراهه‌ها در عملکرد آنها مؤثر است در تحلیل بجای یک شیبراهه بطور منفرد، چند شیبراهه با هم در نظر گرفته می‌شوند. برای اجتناب از منظور نمودن ترکیب‌های مختلف و غیر منطقی شیبراهه‌ها، معمولاً آنها را بصورت جفت در نظر می‌گیرند. بنابراین اگر یک شیبراهه هم در بالا دست و هم در پائین دست نزدیک به شیبراهه‌های دیگری باشد. معمولاً دو مرتبه در نظر گرفته می‌شود، یک مرتبه با شیبراهه بالا دست و سپس در ارتباط با شیبراهه پائین دست.

ترکیب‌های زیر را برای شیبراهه‌ها می‌توان در نظر گرفت:

۱ - *شیبراهه ورودی منفرد.* یک شیبراهه ورودی بدون وجود شیبراهه دیگری در فاصله نزدیک که بتواند در عملکرد آن تأثیر داشته باشد. فواصل بیش از ۲۰۰۰ متر را می‌توان خارج از دامنه تأثیر در نظر گرفت.

۲ - *شیبراهه خروجی منفرد.* یک شیبراهه خروجی بدون وجود شیبراهه دیگری در فاصله نزدیک که بتواند در عملکرد آن تأثیر داشته باشد.

۳ - *شیبراهه‌های ورودی مجاور.* دو شیبراهه خروجی متوالی و به اندازه کافی نزدیک که در عملکرد متقابل یکدیگر تأثیر داشته باشد.

۵ - *شیبراهه ورودی قبل از شیبراهه خروجی* . دو شیبراهه ورودی و خروجی در فاصله‌ای که عملکرد آنها روی یکدیگر تأثیر داشته باشد. اگر شیبراهه با یک خط کمکی به یکدیگر مربوط شده باشند، ناحیه باید به صورت یک ناحیه تغییر خط تحلیل شود، ولی اگر خط کمکی بین آنها وجود نداشته باشد از روش‌های این بخش استفاده می‌گردد.

۶ - *شیبراهه خروجی قبل از شیبراهه ورودی.* دو شیبراهه خروجی و ورودی در فاصله‌ای که عملکرد آنها روی یکدیگر تأثیر داشته باشد. چنین ترکیبی از شیبراهه‌ها معمولاً طوری عمل می‌کند که شیبراهه‌ها منفرد هستند.

۷ - *افزایش خط.* یک شیبراهه ورودی یک خطه که منجر به افزایش یک خط عبور ممتد به آزاد راه در محل اتصال شیبراهه می‌شود.

۸ - *کاهش خط.* یک شیبراهه خروجی یک خطه که باعث حذف یک خط عبور ممتد آزاد راه در محل اتصال شیبراهه می‌شود.

۹- *نقطه واگرائی اصلی* . تقسیم یک قسمت آزاد راه به دو آزاد چند خطه یا راه‌های جمع آورنده توزیع کننده. این ترکیب فقط برای زمانی است که مجموع خط‌های قسمت‌های تقسیم شده برابر باشند با تعداد خط‌های آزاد راه اصلی بعلاوه یک.

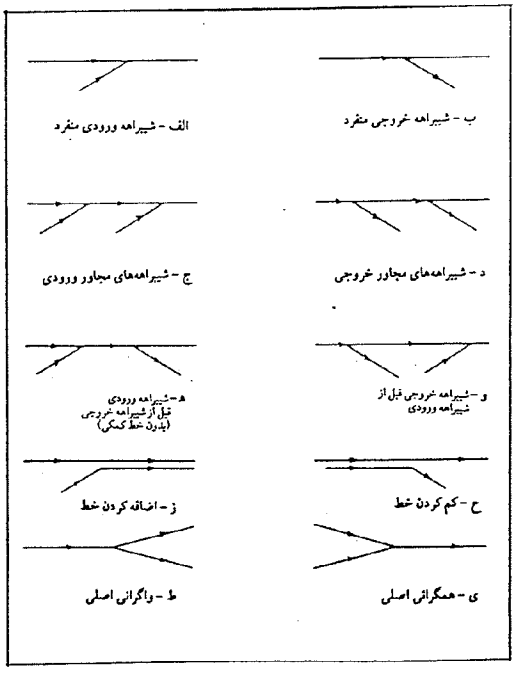
۱۰- *نقطه همگرائی اصلی.* اتصال دو آزاد راه چند خطه یا راه‌های جمع آورنده - توزیع کننده. این ترکیب فقط برای زمانی است که دو خط عبور (یک خط از هر ورودی) به یک خط عبور منفرد وارد شوند.

۱۱- *شیبراهه‌های دو خطه.* شیبراهه‌های دو خطه ورودی یا خروجی که در محل اتصال آنها با آزاد راه هیچگونه افزایش یا کاهش خط وجود نداشته باشد.

این ترکیب ها در شکل ۹-۱۲ با تصویرهای نمونه نشان داده شده‌اند.

اجزاء بحرانی برای تحلیل

تحلیل ظرفیت تقاطع شیبراهه با آزاد راه بستگی به سه جزء مشخص دارد که بعنوان نقاط کنترل برای اطمینان از عملکرد کافی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اجزاء عبارتند از:



شکل ۹-۱۲ . ترکیب‌های مختلف شیبراهه‌ها

۱ - **حجم همگرائی** V_m . در شیبراهه ورودی حجم همگرائی برابر است با مجموع حجم شیبراهه، V_r ، و حجم آزاد راه در خط شماره یک ، V_1 . این حجم از معادل تردد در شرایط ایده‌آل (۲۰۰۰ سواری در ساعت) نباید افزایش پیدا کند.

۲ - **حجم واگرائی** V_d. در شیبراهه‌های خروجی حجم واگرائی برابر است با حجم آزاد راه خط شماره یک، V_1 ، درست قبل از شیبراهه . این حجم نیز از معادل تردد در شرایط ایده‌آل (۲۰۰۰ سواری در ساعت نباید افزایش یابد.

۳ - **حجم آزاد راه** V_f . در هر نقطه واگرائی یا همگرائی، حجم کل آزاد راه باید در نظر گرفته شود. این مقدار عبارت است از مجموع آزاد راه در مقطع بعد از محل اتصال ($N \times ۲۰۰۰$ ، N تعداد خط‌ها بعد از محل اتصال) نباید بیشتر باشد. در حالت شیبراهه خروجی حجم کل ترافیک که به نقطه واگرائی نزدیک می‌شود نباید بیش از ظرفیت آزاد راه باشد (در این حالت N تعداد خط عبور قبل از محل اتصال است).

شکل ۱۰-۱۲ رابطه بین این حجم‌ها را نشان می‌دهد. حجم همگرائی، حجم واگرائی و حجم آزاد راه را حجم‌های "نقاط کنترل" می‌نامند، زیرا به کمک این مقادیراست که سطح سرویس را مشخص می‌کنند.

روش تحلیل تقاطع شیبراهه

روش تحلیل تقاطع شیبراهه - آزاد راه شامل چهار مرحله اصلی است:

۱ - محاسبه حجم خط شماره یک آزاد راه درست قبل از شروع شیبراهه،

۲ - بررسی حضور ماشین‌های سنگین در ترافیک تمام اجزاء و تبدیل حجم‌ها به معادل سواری در ساعت.

۳ - محاسبه تردد نقاط کنترل،

۴ - تعیین سطح سرویس برای همگرائی، واگرائی و عملکرد آزاد راه

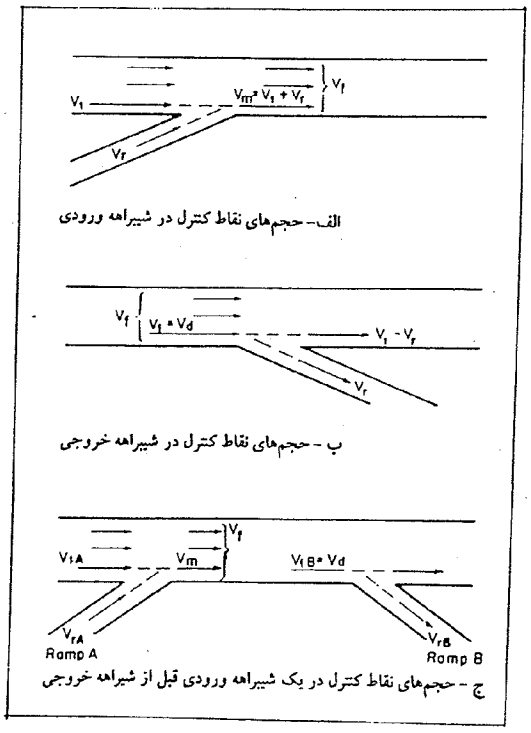
این مراحل در قسمت‌های زیر بطور مشخص‌تر توضیح داده شده است.

۱ - تعیین حجم خط شماره یک

تعیین حجم خط شماره یک V_1 قدم اصلی در تحلیل عملکرد شیبراهه است و می‌توان آن را پس از تعیین نوع ترکیب شیبراهه و با استفاده از جدول ۱۴-۱۲ و یکی از ۱۳ نموگراف مربوطه یا روش تقریبی بدست آورد. انتخاب یک نمی‌گراف بخصوص یا استفاده از روش تقریبی بستگی به (۱) ترکیب شیبراهه، (۲) تعداد خط‌های عبور در آزاد راه، (۳) اینکه آیا شیبراهه مورد نظر شیبراهه اول است یا دوم دارد.

هر کدام از نموگراف‌ها شامل یک سری دستورات و شرایط استفاده است. این دستورات و شرایط را باید به دقت مورد توجه قرار داد. در صورتی که دقت بیشتری لازم باشد از معادلات داده شده می‌توان استفاده نمود. باید توجه داشت که تمام نموگراف‌ها بر حسب حجم ترافیک ترکیبی (وسیله نقلیه در ساعت) کالیبره شده‌اند و بنابراین در مرحله بعد باید این حجم را به معادل سواری در ساعت تبدیل نمود.

روش تقریبی. روش تقریبی فقط در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هیچکدام از نموگراف‌ها ترکیب مورد نظر را نشان ندهند. این مسأله اغلب در مواقعی اتفاق می‌افتد که خصوصیات هندسی داده شده خارج از فاصله‌ای که متغیرهای نموگراف کاربرد دارد قرار گیرد. جدول ۱۵-۱۲ و شکل ۱۱-۱۲ در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۱۵-۱۲ درصد وسائل نقلیه عبوری راکه‌درخط شماره یک و در نزدیکی شیبراهه‌مورد



الف- حجم‌های نقاط کنترل در شیبراهه ورودی

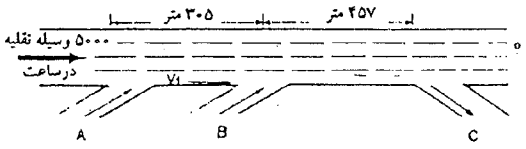
ب - حجم‌های نقاط کنترل در شیبراهه خروجی

ج - حجم‌های نقاط کنترل در یک شیبراهه ورودی قبل از شیبراهه خروجی

شکل ۱۰-۱۲ . حجم نقاط کنترل برای نقاط انتهائی شیبراهه-آزادراه

نظرباقی می‌مانند نشان می‌دهد. وسیله نقلیه عبوری در این حالت وسیله‌ای است که تا فاصله ۲۵۰۰ متری (۴۰۰۰ فوتی) شیبراهه مورد نظر درگیر هیچ حرکت شیبراهه‌ای دیگری نباشد.

شکل ۱۱-۱۲ درصد وسایل نقلیه شیبراهه ورودی با خروجی را در خط شماره یک و در فواصل مختلف تا محل تقاطع آنها با آزاد راه را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن حجم خط شماره یک حجم عبوری و شیبراهه‌ها تا فاصله ۲۵۰۰ متری باید در نظر گرفته شود. مثال زیر را در نظر بگیرید:



۷۵۰ وسیله نقلیه درساعت ۵۰۰ وسیله نقلیه درساعت ۶۰۰ وسیله نقلیه درساعت

شیبراهه دیگری در فاصله ۲۵۰۰ متری (۴۰۰۰ فوتی) وجود ندارد. دراین مسأله حجم خط یک درست قبل از شیبراهه B مورد نیاز است. در چنین مسائلی فرض می‌شود که تمام وسائل نقلیه‌ای که وارد آزاد راه می‌شوند در همان محدوده خارج نمی‌شوند و بنابراین حجم ۷۵۰ وسیله نقلیه در ساعت قسمتی از ترافیک اصلی ۵۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت محسوب می‌گردد.

بنابراین حجم ترافیک عبوری برای این مسأله برابر است با:

$$۵۰۰۰ - ۷۵۰ = ۴۲۵۰ \ VPH$$

از جدول ۱۵-۱۲ برای آزاد راه ۸ خطه با ۴۲۵۰ وسیله نقلیه در ساعت، هشت درصد حجم ترافیک عبوری در خط شماره یک قرار می‌گیرد و:

$$V_{1B} = ۰/۰۸ \times ۴۲۵۰ = ۳۴۰ \ VPH \text{ عبوری}$$

شیبراهه B ۳۰۵ متر (۱۰۰۰ فوت) قبل از شیبراهه A که ۶۰۰ وسیله نقلیه در ساعت را وارد می‌کند، قرار داد. از شکل ۱۱-۱۲، ۶۰ درصد وسایل نقلیه شیبراهه ورودی در این فصل در خط یک باقی می‌مانند. بنابراین:

$$V_{1B} = ۰/۶ \times ۶۰۰ = ۳۶۰ \ vph \text{ شیبراهه } A$$

شیبراهه B نیز ۴۵۷ متر (۱۵۰۰ فوت) قبل از شیبراهه C قرار داد و از شکل ۱۱-۱۲ مشخص می‌شود که ۷۹ درصد وسائل نقلیه شیبراهه خروجی در خط شماره یک در این فاصله قبل از تقاطع شیبراهه قرار می‌گیرند. بنابراین:

$$V_{1B} = ۰/۷۹ \times ۷۵۰ = ۵۹۳ \ vph \text{ شیبراه } C$$

روش تقریبی سهم هر شیبراهه را در حجم عبوری خط یک و در هر نقطه مشخص می‌کند. این روش اگر چه به دقت روش نموگراف‌ها نیست ولی جواب‌های قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

۲ - حضور کامیون در خط شماره یک

پس از تعیین حجم ترافیک خط شماره یک قبل ازتقاطع شیبراهه مورد نظر، لازم است حضور کامیون در این خط نیز بررسی شود. کامیون‌ها وسایر وسایل نقلیه سنگین تمایل به حضور در خط شماره یک دارند و حضور آنها در خط‌های دیگر به ترتیب کم می‌شود. در بعضی آزاد راه‌ها شش خطه یابزرگتر ورود کامیون‌ها به خط مجاور میانه ممنوع است. بنابراین خط شماره یک معمولاً دارای درصد بالا و نامتناسبی، نسبته به سایر خط‌ها، از کامیون می‌باشد. در تحلیل شیبراهه‌ها و بخاطر ساده شدن تمام وسائل نقلیه سنگین را کامیون فرض می‌کنیم.

شکل ۱۲-۱۲ منحنی‌هائی را نشان می‌دهد که درصد کل حضور کامیون در خط شماره یک را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که این درصد کامیون‌های موجود در حجم ترافیک خط شماره یک نیست و این درصد با محاسبات بعدی و نتایج حاصل از شکل ۱۲-۱۲ بدست می‌آید. مثال زیر که یک شیبراهه ورودی منفرد در یک آزاد راه شش خطه است را در نظر بگیرید:

قبل از همگرائی با ۸ درصد کامیون و $V_f = ۴۰۰۰ \ vph$

با ده درصد کامیون $V_r = ۴۰۰$

بدست آمده از نموگراف شماره ۶: $V_1 = ۸۵۶$

نسبت کامیون‌ها را در خط شماره یک و نسبت آنها را در کل ترافیک آزاد راه، پس از همگرائی حساب کنید.

شکل ۱۲-۱۲ برای حجم ۴۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت و آزاد راه شش خطه ۵۲ درصد را روی محور قائم نشان می‌دهد. یعنی ۵۲ درصد تمام کامیون‌های آزاد راه در خط شماره یک قرار خواهند گرفت.

۱ - تعداد کامیون‌ها در آزاد راه: $۴۰۰۰ \times ۰/۰۸ = ۳۲۰$

۲ - تعداد کامیون‌ها در آزاد راه: $۳۲۰ \times ۰/۵۲ = ۱۶۶$

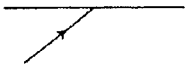
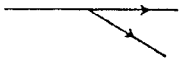
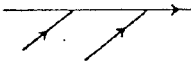
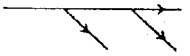
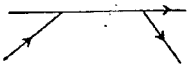
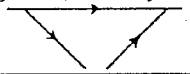
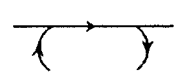
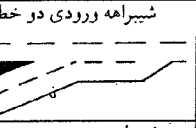
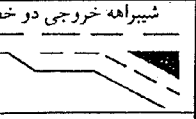
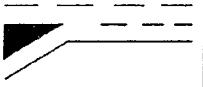
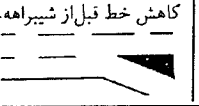
۳ - نسبت کامیون‌ها در خط شماره یک:

$۱۶۶ \div ۸۵۶ = ۰/۱۹۴ =$ درصد ۱۹/۴

۴ - تعداد کامیون‌ها در آزاد راه پس از همگرائی:

$۳۲۰ + ۰/۱۰ \times ۴۰۰ = ۳۶۰$

جدول ۱۵-۱۲ . راهنمای استفاده از نموگراف‌ها و روش تقریبی در محاسبه حجم خط شماره یک

آزاد راه هشت خطه		آزاد راه شش خطه		آزاد راه چهار خطه		ترکیب
شیبراهه دوم	شیبراهه اول	شیبراهه دوم	شیبراهه اول	شیبراهه دوم	شیبراهه اول	
-	نموگراف - ۹	-	نموگراف - ۶	-	نموگراف - ۱	شیبراهه منفرد، ورودی یک خطه 
-	روش تقریبی	-	نموگراف - ۷	-	نموگراف - ۲	شیبراهه‌منفرد، خروجی یک‌خطه 
روش تقریبی	روش تقریبی	نموگراف - ۸	نموگراف - ۶	نموگراف - ۵	نموگراف - ۱	دوشیبراهه‌مجاور،ورودی‌یک‌خطه 
روش تقریبی	روش تقریبی	نموگراف - ۷	نکته - ۲	نموگراف - ۲	نکته - ۱	دوشیبراهه مجاور،خروجی‌یک‌خطه 
روش تقریبی	نموگراف - ۱۰	نموگراف - ۷	نموگراف - ۶	نموگراف - ۳	نموگراف - ۱	شیبراهه‌خروجی بعد از ورودی 
مانند شیبراهه‌های منفرد عمل شود		نموگراف - ۶	مانند شیبراهه‌های منفرد عمل شود			شیبراهه ورودی بعد از خروجی 
روش تقریبی	نموگراف - ۱۰	نموگراف - ۷	نموگراف - ۶	نموگراف - ۳	نموگراف - ۴	شیبراهه حلقوی 
-	نکته - ۳	-	نموگراف - ۱۱	-	نکته - ۳	شیبراهه ورودی دو خطه 
-	نکته - ۴	-	نموگراف - ۱۲	-	نکته - ۴	شیبراهه خروجی دو خطه 
ضوابط همگرائی جدول ۱۷-۱۲ را ممکن است مستقیماً برای میزان تردد در نقطه کنترل شیبراهه ورودی بکار گرفت						اضافه کردن خط بعد از شیبراهه ورودی 
ضوابط واگرائی جدول ۱۷-۱۲ را ممکن است مستقیماً برای میزان تردد در نقطه کنترل شیبراهه خروجی بکار گرفت						کاهش خط قبل از شیبراهه خروجی 

ادامه جدول ۱۵-۱۲ . راهنمای استفاده از نموگراف‌ها و روش تقریبی در محاسبه حجم خط شماره یک

آزاد راه هشت خطه		آزاد راه شش خطه		آزاد راه چهار خطه		ترکیب
شیبراهه دوم	شیبراهه اول	شیبراهه دوم	شیبراهه اول	شیبراهه دوم	شیبراهه اول	
فرض کنید که خط B ترافیک برابر حجم همگرائی نقطه کنترل جدول ۱۷-۱۲ را در سطح سرویس مفروض عبور می‌دهد. بنابراین خط عبور A بقیه ترافیک را عبور خواهد داد. حجم خط شماره یک را با استفاده از نموگراف - ۱ (چهار خطه) حساب کنید، نموگراف - ۶ (شش خطه)، یانموگراف - ۹ (هشت خطه) با وارد کردن حجم شیبراهه = حجم خط A سطح سرویس نقطه کنترل را پیدا کنید. محاسبات را ادامه دهید تا سطح سرویس فرض شده با نتیجه یکسان شود.						تقاطع اصلی
وجود ندارد		نموگراف - ۱۳		وجود ندارد		واگرائی اصلی

نکات :

۱- از نموگراف شماره ۲ برای پیدا کردن نمودن حجم V_1 قبل از شیبراهه شماره یک، با حجم V_2 برابر با کل حجم. دو شیبراهه استفاده کنید. این در حالتی صحیح است که فاصله بین دو شیبراهه کمتر از ۵۰۰ متر (۸۰۰ فوت) باشد. اگر فاصله بین ۵۰۰ متر باشد تا ۲۵۰۰ متر (۴۰۰۰ فوت) باشد از روش تقریبی استفاده کنید. اگر فاصله بیش از ۲۵۰۰ متر باشد شیبراهه را بصورت منفرد در نظر بگیرید.

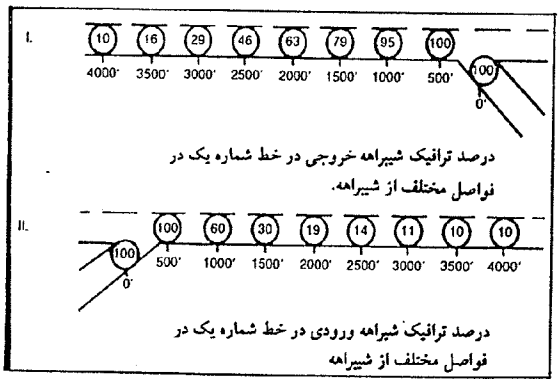
۲- از نموگراف شماره ۷ برای پیدا نمودن قبل V_1 از شیبراهه اول استفاده کنید، ولی با حجم V_2 برابر با کل حجم دو شیبراهه خروجی وارد شوید. این در حالتی صحیح است که فاصله بین دو شیبراهه کمتر از ۵۰۰ متر (۸۰۰ فوت) باشد. برای سایر فواصل به توضیح شماره ۱ مراجعه کنید.

۳- مانند دو شیبراهه ورودی متوالی با فاصله ۲۵۰ متر (۴۰۰ فوت) عمل شود، حجم ترافیک شیبراهه را بطور مساوی بین دو خط عبور تقسیم کنید.

۴- مانند دو شیبراهه خروجی متوالی با فاصله ۲۵۰ متر (۴۰۰ فوت) عمل شودع حجم ترافیک شیبراهه را بطور مساوی بین دو خط عبور تقسیم کنید.

جدول ۱۶-۱۲ . درصد تقریبی وسایل نقلیه عبوری باقیمانده در خط شماره یک قبل از تقاطع شیبراهه

باقیمانده حجم ترافیک عبوری در خط شماره یک			کل حجم عبوری در یک جهت
چهارخطه	شش خطه	هشت خطه	(VPH)
-	-	10	≥ 6500
-	-	10	6000-6499
-	-	10	5500-5999
-	-	9	5000-5499
-	18	9	4500-4999
-	14	8	4000-4499
-	10	8	3500-3999
40	6	8	3000-3499
35	6	8	2500-2999
30	6	8	2000-2499
25	6	8	1500-1999
20	6	8	≤ 1499



توضیح: اگر درصد پیدا شده از این شکل کمتر از درصدی است که از جدول ۱۵-۱۲ بدست می‌آید، از درصد داده شده در جدول برای حجم عبوری خط یک استفاده کنید.

شکل ۱۱-۱۲ درصد وسایل نقلیه شیبراهه در خط شماره یک

۵ - کل حجم آزاد راه پس از همگرائی:

۴۰۰۰ + ۴۰۰ = ۴۴۰۰ *vph*

۶ - نسبت کامیون‌ها در حجم آزاد راه پس از همگرائی:

درصد ۸/۲ = ۰/۰۸۲ = ۴۴۰۰ ÷ ۳۶۰

توجه داشته باشید که در محاسبات درصد کامیون‌ها با نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌شود تا از میان‌یابی در جدول‌های معادل اتومبیل سواری اجتناب شود. با تقسیم به ضریب تصحیح ماشی‌های سنگین، f_{HV} تمام حجم‌ها به معادل اتومبیل سواری در ساعت تبدیل می‌شوند (با استفاده از جداول مربوطه در قسمت‌های اساسی آزاد راه‌ها)، بنابراین:

	مورد	حجم	نسبت	*	**	حجم معادل
		vph	کامیون	E_T	fHV	سواری در ساعت
قبل از همگرائی	Vf	۴۰۰۰	۰/۰۸	۱/۷	۰/۹۵	۴۲۱۱
بعد از همگرائی	Vf	۴۴۰۰	۰/۰۸	۱/۷	۰/۹۵	۴۶۳۲
	V_2	۴۰۰	۰/۱۰	۱/۷	۰/۹۳	۴۳۰
	V_1	۸۵۶	۰/۱۹	۱/۷	۰/۸۸	۴۳۰

* از جدول ۳-۱۲

** با استفاده از رابطه $\frac{1}{1+P_T(E_T-1)}$

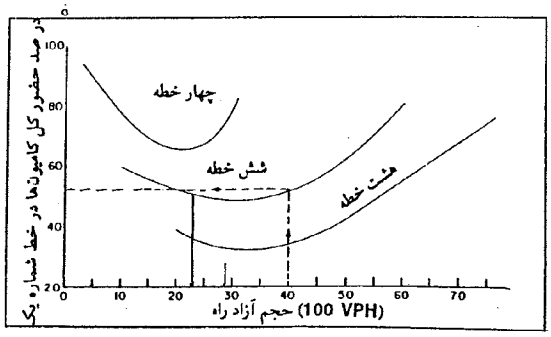
۳ - محاسبه ترددهای نقاط کنترل

پس از محاسبه حجم خط شماره ۱ و تبدیل تمام حجم‌ها به معادل اتومبیل سواری در ساعت، حجم‌های نقاط کنترل محاسبه شده و پس از تبدیل به معادل سواری به ضریب ساعت اوج، *PHF* تقسیم می‌گردد. حجم‌های نقاط کنترل عبارتند از: حجم همگرائی، V_m، حجم واگرائی V_d، و حجم آزاد راه V_f که در قسمت‌های قبل تحت عنوان "اجزاء بحرانی برای تحلیل" و شکل ۱۰-۱۲ توضیح آنها داده شد.

قبل از استفاده از حجم‌های بدست آمده برای محاسبه سطح سرویس باید به تردد ساعت اوج بر حسب اتومبیل سواری در ساعت تبدیل شوند. این عمل با تقسیم حجم‌ها به ضریب ساعت اوج انجام می‌شود. در زمان‌های غیر اوج نیز به شکل مشابه می‌توان عمل نمود.

۴ - تعیین سطح سرویس

سطح سرویس با مقایسه ترددهای نقاط کنترل همگرائی، واگرائی و کل آزاد راه با ضوابط جدول ۱۷-۱۲ بدست می‌آید. در بسیاری از حالت‌ها عملکرد قسمت‌های مختلف متعادل نخواهد بود، یعنی در یک سطح سرویس قرار نخواهد داشت. در این گونه موارد بدترین سطح سرویس مورد قبول، یعنی قسمتی که دارای حداقل سطح سرویس است در اولویت توسعه قرار می‌گیرد. بنابراین اگر یک همگرائی عامل ایجاد تراکم ترافیک در قسمتی از یک آزاد راه باشد، کوشش‌های بهبودی و توسعه باید روی طرح و عملکرد نقطه همگرائی مشکل زا متمرکز گردد.



شکل ۱۲-۱۲. حضور کامیون در خط شماره یک

جدول ۷-۱۲ . ضوابط سطح سرویس برای ترددهای نقاط کنترل در تقاطع شیبراهه - آزاده راه

سطح سرویس	تردد همگرائی pcph	تردد واگرائی pcph	تردد آزاد راه (اتومبیل سواری در ساعت)								
			سرعت طرح ۱۲۰ کیلومتر در ساعت			سرعت طرح ۹۶ کیلومتر در ساعت			سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت		
	v_m	v_d	۴ خط	۶ خط	۸ خط	۴ خط	۶ خط	۸ خط	۴ خط	۶ خط	۸ خط
A	≤600	≤650	≤1.400	≤2.100	≤2.800	d	d	d	d	d	d
B	≤1.450	≤1.050	≤2.200	≤3.300	≤4.400	≤2.000	≤3.000	≤4.000	d	d	d
C	≤1450	≤1500	≤3100	≤4650	≤6200	≤2800	≤4200	≤5600	≤2600	≤3900	≤5200
D	≤1750	≤1800	≤3700	≤5550	≤7400	≤3400	≤5100	≤6800	≤3200	≤4800	≤6400
E	≤2000	≤2000	≤4000	≤6000	≤8000	≤4000	≤6000	≤8000	≤3800	≤5700	≤7600
F	بسیار متغیر										

d- سطح سرویس مفروض در این شرایط به خاطر محدودیت سرعت بدست نمی‌آید.

بهترین حالت از نظر سطح سرویس‌ها زمانی است که سطح سرویس شیبراهه‌های ورودی و خروجی بالاتر از سطح سرویس آزاد راه باشد.

شیبراهه

در مواد خصوصیات عملکردی شیبراهه‌ها اطلاعات کمی وجود دارد. چون اکثر مشکلات عملکردی در تقاطع شیبراهه تو آزاد راه وجود دارد بیشتر مطالعات کمی در این مورد انجام شده است. شیبراهه‌ها از نقطه نظرهای زیر با آزاد راه متفاوت‌اند:

۱- شیبراهه‌ها راه‌هائی با طول و عرض (معمولاً یک خط) محدود هستند.

۲- سرعت طرح شیبراهه غالباً کمتر از سرعت طرح جاده‌ای است که به آن متصل می‌شود.

۳- در شیبراهه‌های یک خطه که سبقت‌گیری امکان ندارد، اثرات منفی کامیون‌ها و سایر وسائل نقلیه کندرو مؤثرتراست.

۴ - ازدیاد و تقلیل شتاب معمولاً روی شیبراهه انجام می‌گیرد.

۵ - در تقاطع شیبراهه و خیابان، ممکن است صف روی شیبراهه تشکیل گردد.

بخاطر خصوصیات فوق از ضوابط اساسی آزاد راه‌ها نمی‌توان برای شیبراهه‌ها استفاده نمود. جدول ۷-۱۲ ترددهای تقریبی را در سطح سرویس‌های مختلف برای شیبراهه نشان می‌دهد. با استفاده از ظرفیت منظور شده و نسبت‌های V/C سطح سرویس‌های مختلف آزاد راه ترددهای دیگر محاسبه شده است. این مقادیر را می‌توان با توجه به ضریب ماشین‌های سنگین و محدودیت‌های عرض خط آزاد راه‌ها تعدیل نمود. اگرچه طبق جدول ظرفیت یک شیبراهه یک خطه ممکن است تا ۱۷۰۰ اتومبیل سواری در ساعت برسد ولی طبق قانون کلی رایج اگر حجم شیبراهه بیش از ۱۵۰۰ سواری در ساعت شد یک شیبراهه دو خطه باید طراحی گردد. همچنین در شرایط زیر نیز شیبراهه دو خطه طراحی می‌شود، حتی اگر از نظر ظرفیت هم لازم نباشد:

۱ - طول شیبراهه بیش از ۳۰۵ متر (۱۰۰۰ فوت باشد)، برای تأمین فرصت‌های سبقت‌گیری از یک وسیله نقلیه متوقف یا کندرو.

۲ - انتظار می‌رود روی شیبراهه، بخاطر کنترل تقاطع شیبراهه و خیابان، صف تشکیل شود.

جدول ۸-۱۲، تردد سرویس تقریبی برای شیبراهه با یک خط عبور* (pcph)

سطح سرویس	سرعت طرح شیبراهه (کیلومتردرساعت)				
	≤ ۳۲	۳۳-۴۸	۴۹-۶۴	۶۵-۸۰	≥ ۸۱
A	-	-	-	-	۶۰۰
B	-	-	-	۹۰۰	۹۰۰
C	-	-	۱۱۰۰	۱۲۵۰	۱۳۰۰
D	-	۱۲۰۰	۱۳۵۰	۱۵۵۰	۱۶۰۰
E	۱۲۵۰	۱۴۵۰	۱۶۰۰	۱۶۵۰	۱۷۰۰
F	بسیار متغیر				

* برای شیبراهه با دو خط مقادیر جدول را در فاصله سرعت‌های داده شده به ترتیب از چپ در اعداد ۱/۷، ۱/۸، ۱/۹، و ۲ ضرب نمائید.

- سطح سرویس در این قسمت‌ها بخاطر محدودیت سرعت امکان پذیر نیست.

۳ - شیبراهه دارای شیب سر بالائی تند و با طرح هندسی بد باشد.

اگر یک شیبراهه به خاطر یکی از دلایل فوق دو خطه طراحی شده باشد، معمولاً در محل اتصال به آزاد راه بصورت یک خط باریکشو در می‌آید.

تقاطع شیبراهه و خیابان

در این فصل موضوع تقاطع شیبراهه و خیابان بررسی نمی‌شود. این تقاطع ممکن است چراغدار یا بدون چراغ راهنمائی باشد که در فصل‌های بعد به آن پرداخته می‌شود. اگر تقاطع شیبراهه و خیابان دارای طرح خوب و بصورت همگرائی یا واگرائی باشد، از روش‌های این فصل با تقریب می‌توان استفاده نمود.

مسائل نمونه

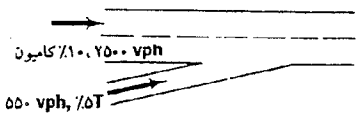
مسأله ۱ - شیبراهه ورودی منفرد. شیبراهه ورودی زیر را که هیچگونه شیبراهه دیگری در فاصله ۲۰۰۰ متری آن نیست در نظر بگیرید. چه سطح سرویس ممکن است برقرار باشد؟

منطقه هموار

ضریب ساعت اوج = ۰/۹۰

سرعت طرح = ۷۰ مایل در ساعت

= ۱۱۳ کیلومتر در ساعت



حل: با استفاده از جدول ۱۵-۱۲ مشخص می‌شود که از نموگراف شماره یک باید استفاده نمود. بنابراین حجم ترافیک خط شماره یک درست قبل از شیبراهه محاسبه می‌شود:

$$V_1 = ۱۳۶+۰/۳۴۵\ V_f - ۰/۱۱۵V_r$$

$$V_1^{\circ} = ۱۳۶+۰/۳۴۵(۲۵۰۰)-۰/۱۱۵(۵۵۰) = ۹۳۵\ Vph$$

این مقدار از روی نموگراف تقریباً برابر با ۹۳۰ بدست می‌آید.

با توجه به شکل ۱۲-۱۲، حدود ۶۷ درصد تمام کامیون‌های آزاد راه در خط شماره یک قرار می‌گیرند.

بنابراین:

کامیون ۲۵۰ = (۰/۱۰) ۲۵۰۰ = کل کامیون‌های آزاد راه

کامیون ۱۶۸ = (۰/۶۷) ۲۵۰ = کامیون‌های خط شماره یک

٪۱۸ یا ۰/۱۸ = ۹۳۵÷۱۶۸ = نسبت کامیون‌ها در خط شماره یک

در اینجا حجم خط شماره یک و آزاد راه باید به اتومبیل در ساعت تبدیل شود. مقدار E_T از جدول ۳-۱۲ و f_{HV} از رابطه زیر بدست آمده است.

$$f_{HV} = \frac{۱}{۱+P_T(E_T-۱)}$$

مورد	حجم	E_T	نسبت کامیون	f_{HV}	حجم pcph
V_l	۹۳۵	۱/۷	۰/۱۸	۰/۸۹	۱۰۵۱
V_r	۵۵۰	۱/۷	۰/۰۵	۰/۹۷	۵۶۷
V_f	۲۵۰۰	۱/۷	۰/۱۰	۰/۹۳	۲۶۸۸

حجم‌های نقاط کنترل:

$$V_m = V_r+V_l = ۵۶۷+۱۰۵۱ = ۱۶۱۸$$

$V_f = V_f+V_r = ۲۶۸۸ + ۵۶۷ = ۳۲۵۵\ pcph$ (قبل از همگرائی)

(بعداز همگرائی) این مقادیر با تقسیم به ضریب ساعت اوج تبدیل به تردد ساعت اوج می‌شوند. سطح سرویس با مقایسه ترددهای نقاط کنترل همگرائی و آزاد راه با ضوابط جدول ۱۷-۱۲ بدست می‌آید:

سطح سرویس $E \Rightarrow V_m = \frac{۱۶/۸}{۰/۹۰} = ۱۷۹۸\ pcph$

سطح سرویس $D \Rightarrow V_f = \frac{۳۲۵۵}{۰/۹۰} = ۳۶۱۷\ pcph$

در این مسئله سطح سرویس همگرائی کنترل کننده است. این سطح سرویس E می‌باشد که مطلوب نیست.

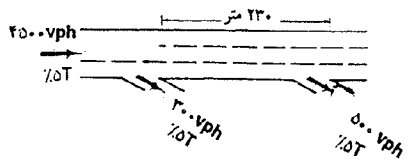
مسأله ۲ - شیبراهه‌های متوالی خروجی. ترکیب شیبراهه‌های زیر را در نظر بگیرید. شیبراهه دیگری در ناحیه تأثیر این شیبراهه‌ها نیست.

منطقه تپه ماهوری

ضریب ساعت اوج = ۰/۹۵

سرعت طرح = ۷۰ مایل در ساعت

= ۱۱۳ کیلومتر در ساعت



حل: از جدول ۱۵-۱۲ نتیجه می‌شود که برای شیبراهه اول از نکته شماره ۲ باید استفاده شود. نکته شماره ۲ نموگراف شماره ۷ را توصیه می‌کند با این شرط که V_r برابر با مجموع حجم ترافیک دو شیبراهه خروجی در نظر گرفته شود. نموگراف شماره ۷ برای شیبراهه دوم نیز باید استفاده گردد.

شیبراهه اول: چون شیبراهه ورودی در بالادست وجود ندارد مقدار "$۲۱۵V_u/V_D$" با توجه به شرایط نموگراف شماره ۷ برابر ۲ فرض می‌شود. بنابراین:

$$V_r = ۵۰۰+۳۰۰ = ۸۰۰$$

$$V_r = ۹۴+۰/۲۳۱V_f+۰/۴۷۷۳V_r+۲۱۵V_u/V_D$$

$$V_1 = ۹۴+۰/۲۳۱(۴۵۰۰)+۰/۴۷۳(۸۰۰)+۲ = ۱۵۱۴\ vph$$

شیبراهه دوم: برای این شیبراهه نیز "$۲۱۵vu/V_D$" برابر ۲ منظور می‌شود:

$$V_f = ۴۵۰۰-۳۰۰ = ۴۲۰۰\ vph$$

$$V_1 = ۹۴+۰/۲۱۳(۴۲۰۰)+۰/۴۷۳(۵۰۰)+۲ = ۱۳۰۳\ vph$$

نسبت کامیون در حجم ترافیک خط شماره یک به ترتیب محاسبه می‌شود:

شیبراهه اول:

شکل ۱۱-۱۲: ۵۶٪ = درصد کل کامیون‌ها در خط شماره یک

کامیون ۲۲۵ = (۰/۰۵) ۴۵۰۰ = کل کامیون در آزاد راه

کامیون ۱۲۶ = ۰/۵۶ + ۲۲۵ = کامیون‌های خط یک

۸٪ یا ۸۳٪ = ۱۵۱۴ ÷ ۱۲۶ = نسبت کامیون‌هادرخط شماره یک

شیبراهه دوم:

شکل ۱۱-۱۲: ۵۳٪ = درصد کل کامیون‌ها در خط شماره یک

کامیون ۲۱۰ = (۰/۰۵) ۴۲۰۰ = کل کامیون‌ها درخط یک

کامیون ۱۱۱ = ۰/۵۳ + ۲۱۰ = کامیون‌های خط یک

۹٪یا ۸۵٪ = ۱۳۰۳ ÷ ۱۱۱ = نسبت کامیون‌ها در خط شماره‌یک

بنابراین:

مورد	حجم Vph	E_T	درصد کامیون	f_{HV}	حجم pcph
V_f	۴۵۰۰	۴	۰/۰۵	۰/۸۷	۵۱۷۲
$V_r(1)$	۳۰۰	۴	۰/۰۵	۰/۸۷	۳۴۵
$V_r(2)$	۵۰۰	۴	۰/۰۵	۰/۸۷	۵۷۵
$V_1(1)$	۱۵۱۴	۴	۰/۰۸	۰/۸۷	۱۸۶۹
$V_1(2)$	۱۳۰۳	۴	۰/۰۹	۰/۷۹	۱۶۴۹

سه حجم نقطه کنترل مورد نظر است: (۱) حجم آزاد راه در نقطه ماکزیمم، قبل از شیبراهه‌ها و (۲) حجم واگرائی قبل از شیبراهه خروجی. هرکدام از حجم‌های نقاط کنترل را باید به تردد ساعت اوج تبدیل نمود و با ضابطه‌های جدول ۱۷-۱۲ مقایسه نمود:

$$V_f = \frac{۵۱۷۲}{۰/۹۵} = ۵۴۴۴\ pcph \Rightarrow D$$ از جدول ۱۷-۱۲ سطح سرویس

$$V_d(1) = V(1) = \frac{۱۸۶۹}{۰/۹۵} = ۱۹۶۷\ pcph \Rightarrow$$

از جدول ۱۷-۱۲ سطح سرویس E

$$V_d(۲) = V_1(۲) = \frac{۱۶۴۹}{۰/۹۵} = ۱۷۳۶\ pcph \Rightarrow D$$ سطح سرویس

در این مسأله حجم واگرائی شیبراهه بحرانی و کنترل کننده عملکرد در سطح سرویس کلی E می‌باشد. حجم سنگین خط شماره یک در این نقطه به اندازه زیادی تحت تأثیر وجود شیبراهه خروجی دوم با حجم سنگین و در فاصله نزدیک (۲۳۰ متر) است. حجم شیبراهه اول مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی کل حجم خط شماره یک در آن نقطه مشکل‌زا می‌باشد. این موقعیت به سادگی اصلاح پذیر نیست، اگرچه می‌توان تغییر محل شیبراهه‌ها و ازدیاد فاصله بین آنها را مطرح نمود. اثرات تغییر محل شیبراهه‌ها روی تقاضا باید در نظر گرفته شود. اضافه کردن یک خط عبور به آزادراه در نزدیکی این شیبراهه‌ها می‌تواند به جداسازی وسایل نقلیه خروجی از حجم عبوری در خط شماره یک کمک کند. این خط عبور را می‌توان در شروع شیبراهه اول یا دوم قطع نمود.

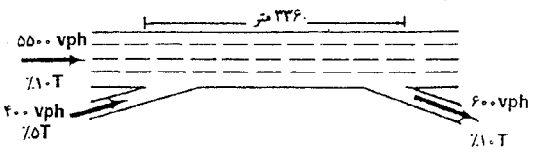
مسأله ۳ - شیبراهه ورودی قبل از شیبراهه خروجی. ترکیب زیر را در نظر بگیرید. شیبراهه دیگری در وضعیت نشان داده شده تأثیر ندارد. این قسمت در چه سطح سرویسی قرار دارد؟

منطقه هموار

$PHF = ۰/۹۰$

سرعت طرح = ۷۰ مایل در ساعت

= ۱۱۳ کیلومتر در ساعت



حل: جدول ۱۵-۱۲ مشخص می‌کند که برای شیبراهه ورودی از نموگراف شماره ۱۰، برای شیبراهه خروجی از روش تقریبی جدول ۱۶-۱۲ و شکل ۱۱-۱۲ باید استفاده گردد.

شیبراهه ورودی: با توجه به اینکه فاصله ۳۶۶ متری بین دو شیبراهه خارج از فاصله ۴۶۰ تا ۹۲۰ متر که نموگراف ۵ برای آن کالیبره شده است قرار دارد یا با افزایش دامنه نموگراف و استفاده از آن و یا با روش تقریبی باید تحلیل را انجام داد. هر دو روش در زیر می‌آید:

با استفاده از رابطهٔ نموگراف:

$$V_1 = -۳۵۳+۰/۱۹۹V_f-۰/۰۵۷V_r+۰/۴۸۶V_d$$

$$V_1 = -۳۵۳+۰/۱۹۹(۵۵۰۰)-۰/۰۵۷(۴۰۰)+۰/۴۸۶(۶۰۰)$$

$$= ۱۰۱۰ vph$$

با استفاده از روش تقریبی:

$۵۵۰۰ - ۶۰۰ = ۴۹۰۰ vph$ = حجم عبوری

جدول ۱۶-۱۲: درصد ۹ = درصد حجم عبوری در خط یک

شکل ۱۱-۱۲: ۸۹٪ = درصد حجم عبوری در خط شماره ۱، ۳۶۶ متر بالادست شیبراهه دوم

$V_1 = ۴۹۰۰ \times ۰/۰۹ = ۴۴۱ vph$ عبوری

$V_1 = ۶۰۰ \times ۰/۸۹ = ۵۳۴ vph$ شیبراهه خروجی

$V_1 = ۴۴۱ + ۵۳۴ = ۹۷۵ vph$

چون حجم خط شماره یک وقتی از نموگراف استفاده می‌شود بیشتر است، مقدار ۱۰۱۰ بعنوان بدترین وضعیت تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از شکل ۱۲-۱۲ درصد کل کامیون‌ها در خط شماره یک ۴۹ درصد است. بنابراین:

کامیون $۵۵۰ = ۰/۱۰ \times ۵۵۰۰$ = کل کامیون‌ها در آزادراه

کامیون $۲۷۰ = ۰/۴۹ \times ۵۵۰$ = کامیون‌ها در خط یک

۲۷٪ یا $۰/۲۶۷ = ۱۰۱۰ + ۲۷۰$ = نسبت کامیون‌ها در حجم خط یک

شیبراهه خروجی: حجم آزادراه قبل از شیبراهه خروجی:

$۵۵۰۰ + ۴۰۰ = ۵۹۰۰ Vph$

حجم عبوری $۵۹۰۰ - ۶۰۰ - ۴۰۰ = ۴۹۰۰ Vph$

حجم خط عبور شماره یک درست قبل از شیبراهه خروجی تشکیل شده است از:

۹ درصد حجم عبوری (از جدول ۱۶-۱۲)

۱۰۰ درصد حجم شیبراهه خروجی (شکل ۱۱-۱۲ - الف)

۴۸ درصد حجم شیبراهه ورودی (شکل ۱۱-۱۲ ب با میان‌یابی)

بنابراین:

$V_1 = ۰/۰۹(۴۹۰۰)+۱/۰۰(۶۰۰)+۰/۴۸(۴۰۰) = ۱۲۳۳ Vph$

با توجه به شکل ۱۲-۱۲ این حجم خط شماره یک ۵۴ درصد کل کامیون‌های آزادراه را در خود دارد:

= کل کامیون‌های آزادراه

کامیون $۵۷۰ = (۵۵۰۰)۰/۱۰+(۴۰۰)۰/۰۵+$

کامیون $۳۰۸ = ۵۷۰ \times ۰/۵۴$ = کامیون‌های خط شماره یک

۲۵٪ یا $۰/۲۵ = ۱۲۳۳ \div ۳۰۸$ = نسبت کامیون‌ها در حجم خط شماره یک

اکنون تمام حجم‌ها باید به معادل سواری در ساعت تبدیل شده و با تقسیم بر PHF برای ساعت اوج محاسبه گردد. این دو عمل در جدول زیر انجام گرفته است. توجه داشته باشید که حجم آزادراه بین دو شیبراهه، در حداکثر خود، کنترل شده است. نسبت کامیون‌ها در حجم آزادراه در این نقطه برابر است با $۵۹۰۰ \div ۵۷۰ = ۰/۰۹۷$، یا ۱۰ درصد.

مورد	حجم Vph	نسبت کامیون	E_T	f_{HV}	PHF	تردد pcph
$V_1(1)$	۱۰۱۰	۰/۲۷	۱/۷	۰/۸۴	۰/۹۰	۱۳۳۶
$V_1(2)$	۱۲۳۳	۰/۲۵	۱/۷	۰/۸۵	۰/۹۰	۱۶۱۲
V_f	۵۹۰۰	۰/۱۰	۱/۷	۰/۹۳	۰/۹۰	۷۰۹۴
$V_r(1)$	۴۰۰	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۰	۴۵۸
$V_r(2)$	۶۰۰	۰/۱۰	۱/۷	۰/۹۳	۰/۹۰	۷۱۷

حجم نقاط کنترل را می‌توان محاسبه نمود و با ضوابط جدول ۱۷-۱۲ مقایسه نمود.

$$V_m = V_1(1)+V_r(1) = ۱۳۳۶+۴۵۸ = ۱۷۹۴ pcph$$

$$\Rightarrow LOS\ E$$

$$V_d = V_1(2) = ۱۶۱۲ pcph \Rightarrow LOS\ D$$

V_f = ۷۰۴۹ *pcph* ⇒ *LOS D*

در این مسئله سطح سرویس *E* حاکم است.

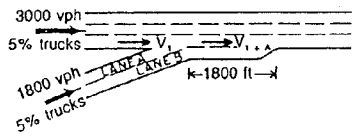
مسأله ۴ - شیبراهه دو خطه. شیبراهه دو خطه زیر را در نظر بگیرید. شیبراهه دیگری در فاصله ۱۸۰۰ متری وجود ندارد. در این محل چه سطح سرویسی وجود دارد؟

منطقه هموار

PHF = ۰/۹۵

سرعت طرح = ۷۰ مایل در ساعت

= ۱۱۳ کیلومتر در ساعت



حل: طبق جدول ۱۵-۱۲ از نموگراف شماره ۱۱ باید استفاده نمود. توجه داشته باشید که در این مسأله دو همگرائی وجود دارد. یکی وقتی که خط شماره یک با خط *A* می‌پیوندد، و دیگری زمانی که خط *B* به کل حجم ناشی از همگرائی اول اضافه می‌گردد. همگرائی دوم بحرانی‌تر است. نموگراف برای حل V_1 و V_{1+A} مورد استفاده قرار می‌گیرد:

V_f = ۳۰۰۰ و V_r = ۱۸۰۰ *Vph*

بنابراین: V_{1+A} = ۱۷۰۰*Vph* , V_1 = ۳۵۲ *Vph*

V_A = ۱۷۰۰-۳۵۲ = ۱۳۴۸ *Vph*

V_B = ۱۸۰۰-۱۳۴۸ = ۴۵۲ *Vph*

V_f = ۴۸۰۰ *Vph* (پس از همگرائی)

با در نظر گرفتن توزیع مساوی کامیون‌ها در شیبراهه (در هر دو خط ۵ درصد) تمام حجم‌ها به سواری در ساعت تبدیل می‌شود. با توجه به شکل ۱۲-۱۲، ۴۹ درصد کل کامیون‌های آزادراه در خط شماره یک، درست قبل از شیبراهه، خواهند بود. بنابراین:

کامیون = ۱۵۰ (۰/۰۵) ۳۰۰۰ = کل کامیون‌های بزرگراه

کامیون = ۷۴ (۰/۴۹) ۱۵۰ = کامیون‌های خط شماره یک

٪۲۱ = ۰/۲۱ = ۳۵۲ + ۷۴ = نسبت کامیون‌ها به حجم خط شماره یک

بنابراین:

مورد	حجم Vph	نسبت کامیون‌ها	E_T	f_{HV}	PHF	تردد pcph
V_1	۳۵۲	۰/۲۱	۱/۷	۰/۸۷	۰/۹۵	۴۲۶
V_{1+A}	۱۷۰۰	۰/۰۸	۱/۷	۰/۹۵	۰/۹۵	۱۸۸۴
V_A	۱۳۴۸	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۱۴۶۳
V_B	۴۵۲	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۴۹۱
V_f	۴۸۰۰	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۵۲۰۹

تردد‌های نقاط کنترل را می‌توان محاسبه نمود و با ضوابط جدول ۱۷-۱۲ مقایسه کرد:

$V_m(1) = V_1 + V_A$ = ۴۲۶+۱۴۶۳ = ۱۸۸۹*pcph* ⇒ *LOS E*

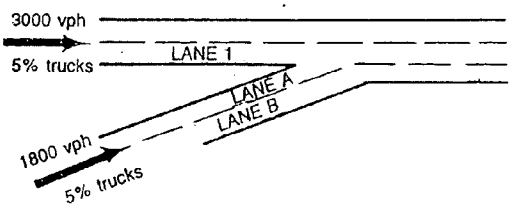
$V_m(2) = V_{1+A} + V_B$ = ۱۸۸۴+۴۹۱ = ۲۳۷۵ *pcph*

⇒ *LOS F*

V_f = ۵۲۰۹ *pcph* ⇒ *LOS E*

واضح است که حجم همگرائی دوم (۲۳۷۵ سواری در ساعت) واقعاً اتفاق نخواهد افتاد، ولی در ساعت‌های اوج تراکم ترافیکی عظیمی در حوالی این نقطه همگرائی بوجود خواهد آمد. بهرحال سطح سرویس *F* بسیار محتمل خواهد بود.

اضافه کردن یک خط عبور، که برای مساحت قابل توجهی ادامه داشته باشد ممکن است مورد توجه قرار گیرد. اگر این امکان‌پذیر نباشد حذف یک خط عبور قبل از نقطه همگرائی از آزادراه ممکن است مفید واقع شود. در این حالت یک تقاطع اصلی به شکل زیر بوجود خواهد آمد:



از جدول ۱۵-۱۲ نتیجه می‌شود که این گزینه را با یک روش چند مرحله‌ای سعی و خطا می‌توان تحلیل نمود.

اگر سطح سرویس را *D* فرض کنیم، تردد خط *B*، ۱۷۵۰ سواری در ساعت یا (۰/۹۵) ۱۷۵۰ = ۱۶۶۲ وسیله نقلیه در ساعت می‌شود. بنابراین خط *A* فقط ۱۳۸ = ۱۶۶۲ - ۱۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت را از خود عبور می‌دهد. در سطح سرویس *C* خط *B* تردد ۱۴۵۰ سواری در ساعت یا حجم (۰/۹۵)(۱۴۵۰)=۱۳۷۸ وسیله نقلیه در ساعت را از خود عبور می‌دهد و خط *A* دارای حجمی برابر با ۱۳۷۸-۱۸۰۰=۴۲۲

وسیله نقلیه در ساعت می‌شود. در سطح سرویس B خط B دارای حجم (۰/۹۵) ۱۰۰۰ = ۹۵۰ وسیله نقلیه در ساعت و خط A دارای حجم ۸۵۰=۹۵۰-۱۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت خواهد بود. این مقادیر از جدول ۱۷-۱۲ بدست آمده است. چون این مقادیر برای سعی اولیه انتخاب گردیده از اثر کامیون‌ها صرف نظر شده، ولی در محاسبات بعدی منظور خواهد شد.

جدول ۱۵-۱۲ نموگراف شماره یک را برای محاسبه حجم V_1 توصیه می‌کند، ولی برای حجم V_r فقط استفاده از حجم خط A را مجاز می‌داند:

$$V_1 = ۱۳۶+۰/۳۴۵V_f-۰/۱۱۵V_r$$

چون سطح سرویس B در نگاه اول منطقی‌ترین توزیع ترافیک را روی شیبراهه نشان می‌دهد، از این حالت محاسبات را شروع می‌کنیم:

$$V_1=۱۳۶+۰/۳۴۵(۳۰۰۰)-۰/۱۱۵(۸۵۰)=۱۰۷۳\ Vph$$

از شکل ۱۲-۱۲ خط شماره یک ۸۰ درصد کامیون‌های آزاد راه را شامل می‌شود، یا:

کامیون ۱۲۰ = (۰/۸۰) (۰/۰۵) (۳۰۰۰) = کامیون‌های خط شماره یک

۰/۱۱ یا ۰/۱۲ = ۱۰۷۳ ÷ ۱۲۰ = نسبت کامیون‌ها در حجم خط یک

نقطه کنترل مورد نظر در اینجا حجم همگرائی شامل حجم خط یک بعلاوه خط A می‌باشد با تبدیل این حجم‌ها به سواری در ساعت و تقسیم بر ضریب ساعت اوج:

مورد	حجم Vph	نسبت کامیون	E_T	f_{HV}	PHF	تردد pcph
V_1	۱۰۷۳	۰/۱۱	۱/۷	۰/۹۳	۰/۹۵	۱۲۱۴
V_A	۸۵۰	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۹۲۲

جدول ۱۶-۱۲: $V_m = ۱۲۱۴ + ۹۲۲ = ۲۱۳۶\ Vph \Rightarrow LOS F$

چون سطح سرویس B فرض شد و با محاسبات سطح سرویس F بدست آمد، یک سعی دیگر با فرض سطح سرویس میانگین D منطقی به نظر می‌رسد. با این فرض V_A برابر با ۱۳۸ وسیله نقلیه در ساعت و:

$V_1 = ۱۳۶ + ۰/۳۴۵ (۳۰۰۰) - ۰/۱۱۵ (۱۳۸) = ۱۱۵۵\ Vph$

مانند قبل خط شماره یک شامل ۱۲۰ یا $\frac{۱۲۰}{۱۱۵۵}$ = ۰/۱۰۴ یا ۱۰ درصد کامیون است. تبدیل V_1 و V_A به اتومبیل سواری در ساعت و تقسیم بر ضریب ساعت اوج:

مورد	حجم Vph	نسبت کامیون‌ها	E_T	f_{HV}	PHF	تردد pcph
V_1	۱۱۵۵	۰/۱۰	۱/۷	۰/۹۳	۰/۹۵	۱۳۰۷
V_A	۱۳۸	۰/۰۵	۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۱۵۰

از جدول ۱۶-۱۲: $V_m=۱۳۰۷ +۱۵۰=۱۴۵۷\ pcph \Rightarrow LOS\ D$

چون این نتیجه با سطح سرویس فرض شده یکی است، ترکیب فرض شده در سطح سرویس D عمل می‌کند و نسبت به شکل موجود، که سطح سرویس F را نشان می‌دهد، برتری دارد. طرح اول وسایل نقلیه روی شیبراهه را بیشتر به خط A می‌فرستد، در حالیکه طرح دوم استفاده از خط B را بیشتر تشویق می‌کند. علاوه بر این با اضافه کردن یک خط ترافیک خط B در خط ممتد حرکت می‌کند و به جریان اصلی نمی‌پیوندد. حذف یک خط از آزاد راه و در بالادست شیبراهه مشکلی ایجاد نمی‌کند زیرا سطح سرویس اولیه تفاوت زیادی با شرایط پائین دست و نقطه همگرائی دارد.

مسأله ۵ - شیبراهه حلقوی. یک شیبراهه حلقوی با سرعت طرح ۴۰ کیلومتر در ساعت (۲۵ مایل در ساعت) ترافیک ۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت را از خود عبور می‌دهد، که ۱۰ درصد آن کامیون است. اگر ضریب ساعت اوج ۰/۹۰، شیبراهه با طول ۴۲۷ متر (۱۴۰۰ فوت) و شیب سربالائی ۴ درصد باشد چه طرحی باید انتخاب شود و چه سطح سرویسی از آن انتظار می‌رود؟

حل: قبل از شروع تحلیل، حجم تقاضا تبدیل به سواری در ساعت برای اوج می‌شود. توجه داشته باشید که از جدول ۴-۱۲، $E_T = ۵$ برای شیب ۴ درصد، کامیون ۱۰ درصد و طول ۴۲۷ متر ($\frac{۱}{۴}$ مایل) بدست می‌آید:

$$f_{Hv} = \frac{۱}{۱+P_T(E_T-۱)} = \frac{۱}{۱+۰/۱۰(۵-۱)} = ۰/۷۱$$

وحجم تبدیل شده به تردد:

$$\frac{۸۰۰}{۰/۷۱\times۰/۹۰} = ۱۲۵۲\ pcph$$

از جدول ۱۷-۱۲ برای شیبراهه یک خطه سطح سرویس E با سرعت طرح ۴۰ کیلومتر در ساعت بدست می‌آید. چون شیبراهه طولانی‌تر از ۳۰۵ متر (۱۰۰۰ فوت) است، شانه‌های

آسفالته به عرض کافی که سبقت از وسایل نقلیه متوقف یا کندرو را اجازه دهد باید فراهم گردد.

فراهم کردن سطح سرویس بهتر نیاز به تجدید نظر در سرعت طراحی دارد. اگر سرعت طرح حدود ۶۶ تا ۸۰کیلومتر در ساعت باشد سطح سرویس D نتیجه خواهد شد که سطح سرویس بهتری است. شیبراهه حلقوی با سرعت حدود ۶۶ تا ۸۰کیلومتر در ساعت دارای طول بسیار زیادی خواهد بود و سطح زمین وسیعی را طلب می‌کند. طراح با انتخاب‌های زیر روبروست:

۱ - سطح سرویس پائین را، با شیبراهه حلقوی و سرعت طرح ۴۰کیلومتر در ساعت قبول کند.

۲ - سرعت طرح ۶۶ تا ۸۰کیلومتر در ساعت و شیبراهه حلقوی را با کارآئی ناقص بپذیرد.

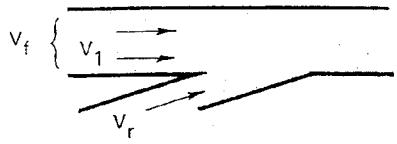
۳ - از یک تقاطع غیر همسطح جهت دهنده که شامل شیبراهه حلقوی نباشد استفاده کند که نیاز به سازه‌های پر هزینه دارد.

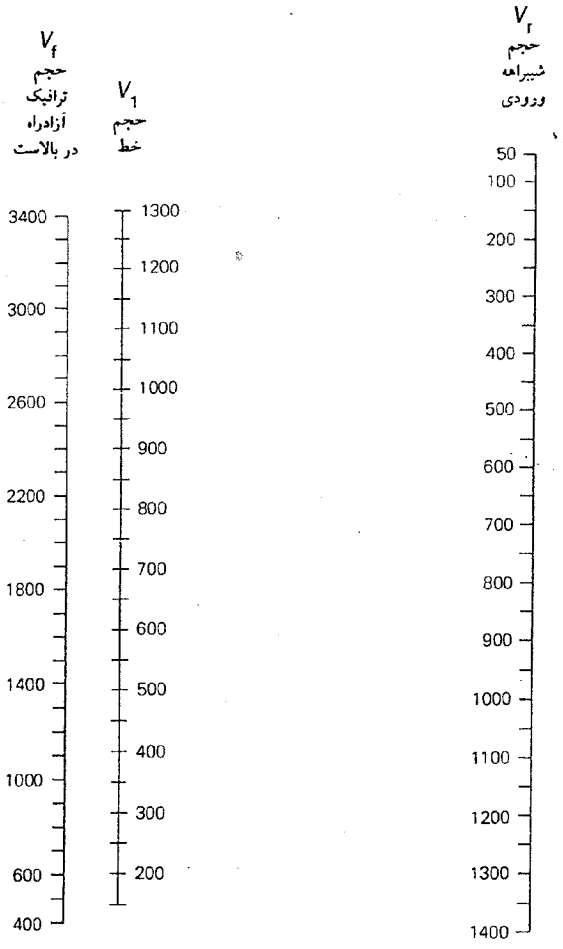
تصمیم نهایی بر اساس مطالعات وسیع اثرات اقتصادی، کاربری زمین، عوامل محیطی و ظرفیتی باید انجام شود.

معادله

$$V_1 = 136 + 0.345V_f - 0.115V_r$$

دیاگرام





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه ورودی یک خطه (غیر حلقوی) به آزاد راه چهار خطه، با، یا بدون خط افزایش سرعت.

۲ - فقط برای مواردی که در فاصله ۶۱۰ متری (۲۰۰۰ فوتی) بالادست هیچگونه شیبراهه ورودی دیگری وجود نداشته باشد.

۳ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۴۰۰ تا ۳۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
V_r = ۵۰ تا ۱۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

طریقه استفاده:

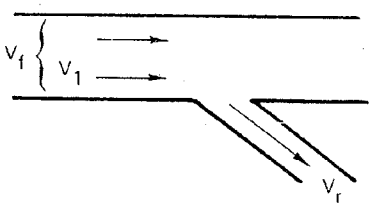
۱ - امتداد خطی که مقدار V_f را به مقدار V_r وصل می‌کند مقدار V_1 رامشخص می‌کند.

نموگراف شماره - ۱، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر طرف دربالا دست شیبراهه ورودی یک خطه

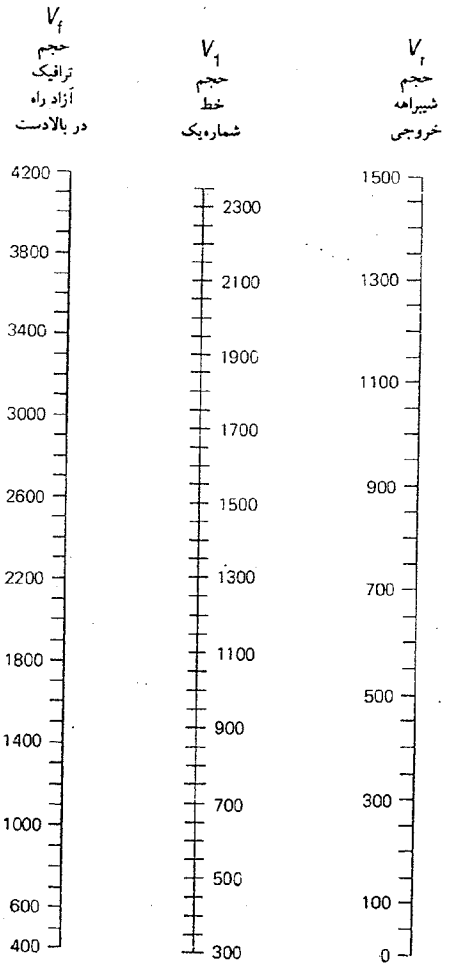
نموگراف شماره - ۱، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر طرف)دربالا دست شیبراهه ورودی یک خطه

$$V_1 = 165 + 0.345V_f + 0.520V_r$$

معادله:



دیاگرام:



شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه خروجی یک خطه از آزادراه چهار خطه، با، یا بدون خط کاهش سرعت.

۲ - فقط برای مواردی که در فاصله ۹۷۰ متری (۳۲۰۰ فوتی) بالادست هیچگونه شیبراهه ورودی وجود نداشته باشد.

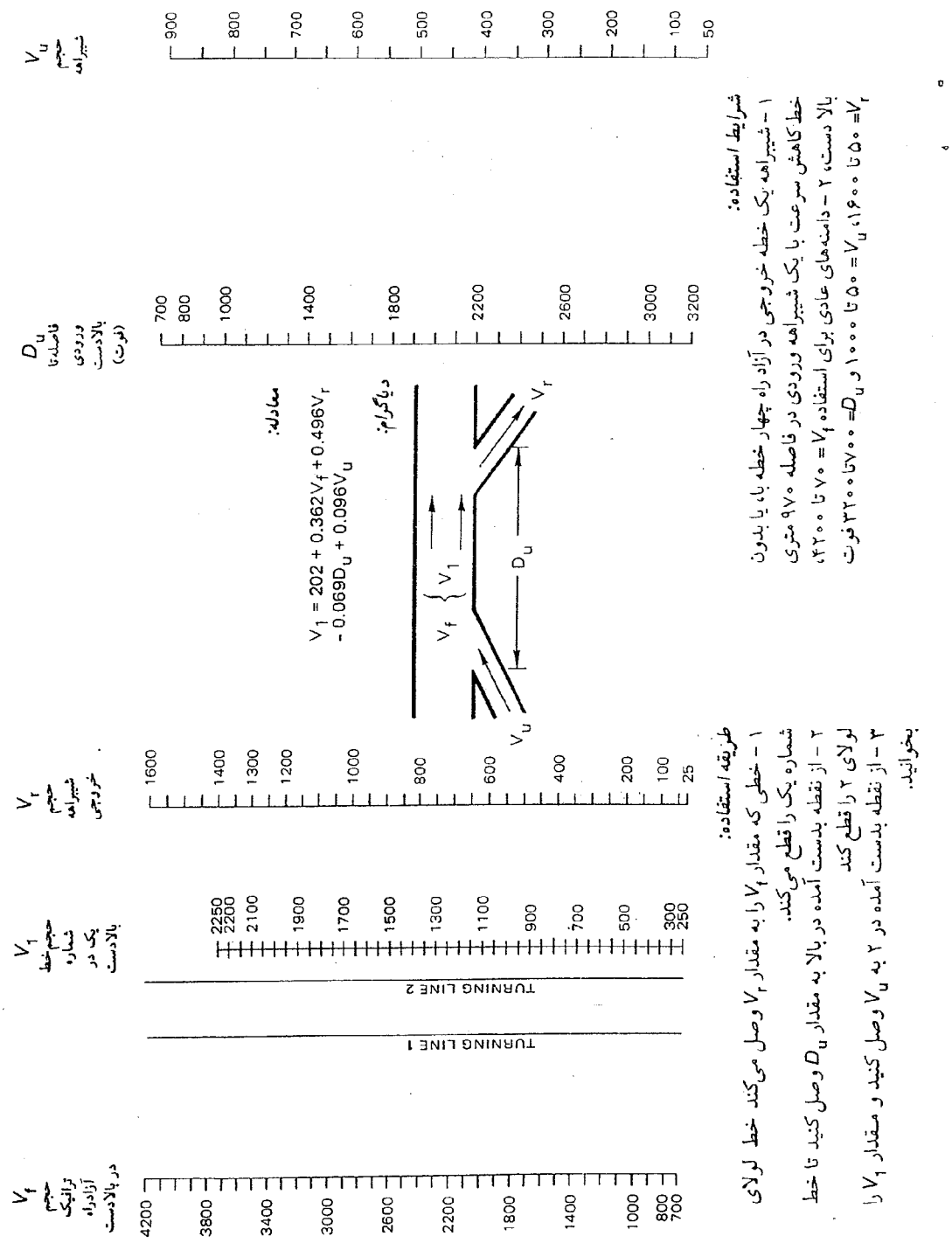
۳ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۴۰۰ تا ۴۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
V_r = ۵۰ تا ۱۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

طریقه استفاده:

۱ - امتداد خطی که مقدار V_f را به مقدار V_r وصل می‌کند مقدار V_1 را مشخص می‌کند.

نمودار شماره - ۲، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر طرف) در بالادست شیبراهه خروجی یک خطه



نموگراف شماره – ۳،تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه در بالادست شیبراهه خروجی یک خطه با شیبراهه ورودی مجاور در بالاست

معادله:

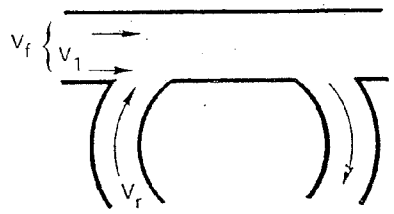
برای $V_r < ۶۰۰$

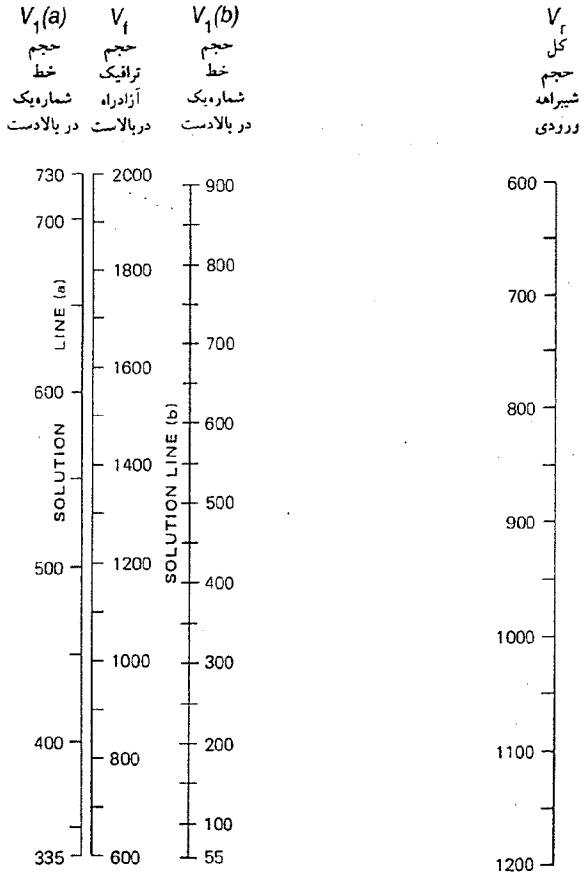
$$aV_1 = 166 + 0.280V_f$$

برای $۶۰۰ < V_r < ۱۲۰۰$

$$bV_1 = 128 + 0.482V_f - 0.301V_r$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه ورودی حلقوی یک خطه به آزاد راه چهار خطه با، یا بدون خط افزایش سرعت.

۲ - دامنه‌های عادی استفاده:

V_f = ۶۰۰تا ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

V=۶۰۰تا ۱۲۰۰vphبرای (b)و ۰تا ۶۰۰vph برای (a)

طریقه استفاده:

۱ - اگر V_rکمتر از ۶۰۰ باشد مقدار V_1 را در امتداد افقی روی محور کنار V_f بخوانید.

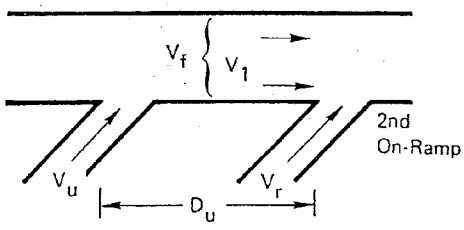
۲ - اگر V_r بین ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ باشد خطی از V_f به V_r وصل کنید و مقدار V_1 را در محل تقاطع آن روی محور b بخوانید.

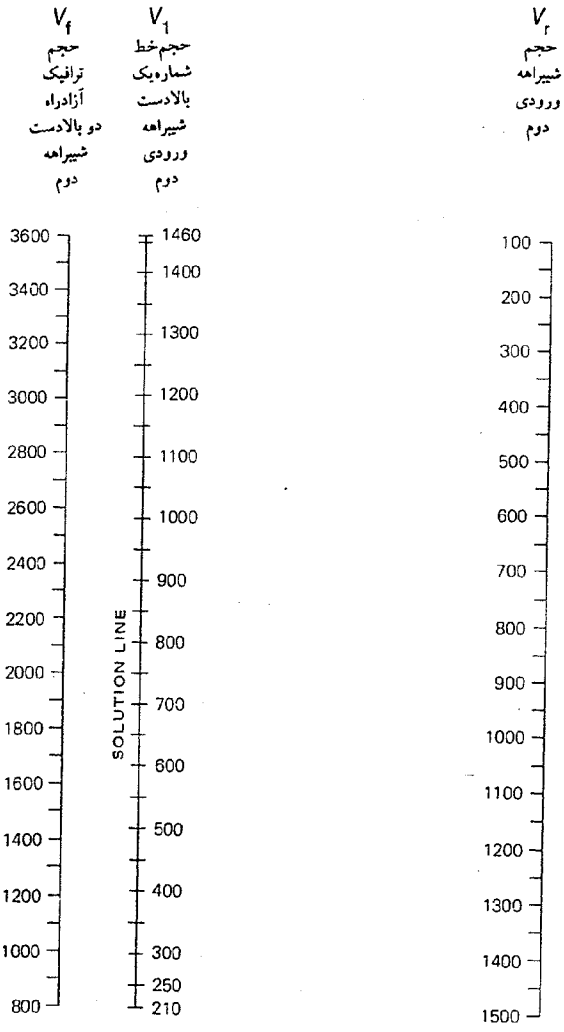
نموگراف شماره - ۴، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه (دو خط در هر طرف) در بالا دست شیبراهه ورودی حلقوی یک خطه

معادله:

$$V_1 = 123 + 0.376V_f - 0.142V_r$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ – شیپراهه ورودی یک خطه به آزاد راه چهار خطه با شیپراهه ورودی مجاور در بالادست و در فاصله ۱۲۰ الی ۶۱۰ متری (با، بدون خط افزایش سرعت).

۲ – اگر D_u کمتر از ۴۰۰ یا V_u بیش از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت باشد دقت ندارد.

۳ – دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۸۰۰ تا ۳۶۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
V_r = ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
V_u = ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
و D_u = ۱۲۰ تا ۶۱۰ متر

طریقه استفاده:

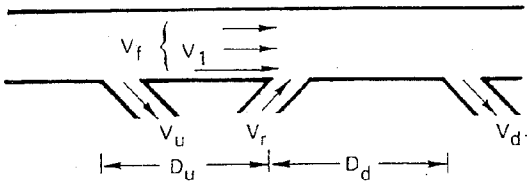
۱ – مقدار V_f را با یک خط به مقدار V_r وصل کنید و مقدار V_1 را بخوانید.

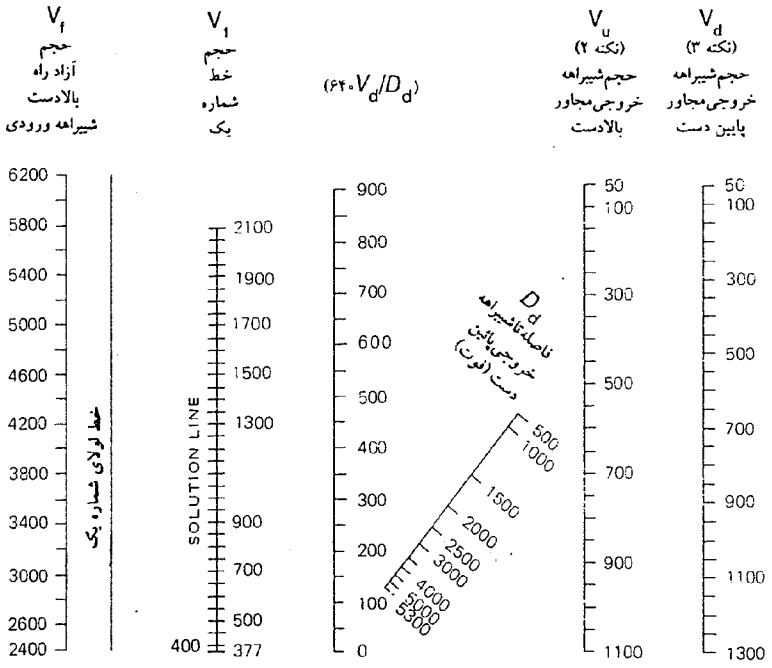
نموگراف شماره – ۵، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه چهار خطه در بالا دست شیپراهه ورودی یک خطه با شیپراهه ورودی مجاور در بالا دست

معادله:

$$V_1 = -121 + 0.244V_f - 0.085V_u + 640\ V_d/D_d$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه ورودی یک خطه به آزاد راه‌های ۶ خطه با، یا بدون شیبراهه‌های خروجی در بالا یا پائین دست، با، یا بدون خط افزایش سرعت.

۲ - اگر شیبراهه خروجی بالا دست در فاصله ۸۰۰ متری وجود نداشته باشد از $V_u = ۵۰$ استفاده کنید.

۳ - اگر شیبراهه خروجی در فاصله ۱۷۴۰ متری پائین دست وجود نداشته باشد و $V_f \leq ۵۰۰۰$ مقدار $۶۴۰\ V_d / D_d$ را برابر ۵ در نظر گرفته و از مرحله دوم طریقه استفاده صرف نظر کنید.

۴ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۲۴۰۰ تا ۶۲۰۰ وسیله در ساعت

V_u = ۵۰ تا ۱۱۰۰ وسیله در ساعت،

V_d = ۵۰ تا ۱۳۰۰ وسیله در ساعت

V_r = ۱۰۰ تا ۱۷۰۰ وسیله در ساعت،

D_d = ۹۰۰ تا ۵۷۰۰ فوت

طریقه استفاده:

۱ - از مقدار V_f به مقدار V_u خطی رسم کنید که لولای یک را قطع کند.

۲ - از مقدار V_d به مقدار D_d خطی رسم کنید که محور $\frac{۶۴۰V_d}{D_d}$ را قطع کند.

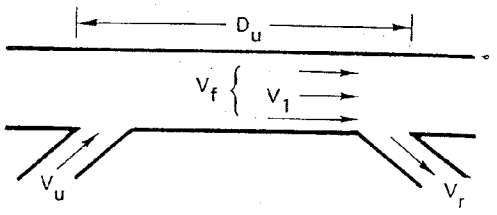
۳ - از نقطه بدست آمده در مرحله اول به مقدار بدست آمده در مرحله دوم خطی رسم کنید و نقطه تقاطع آنرا با V_1 بخوانید.

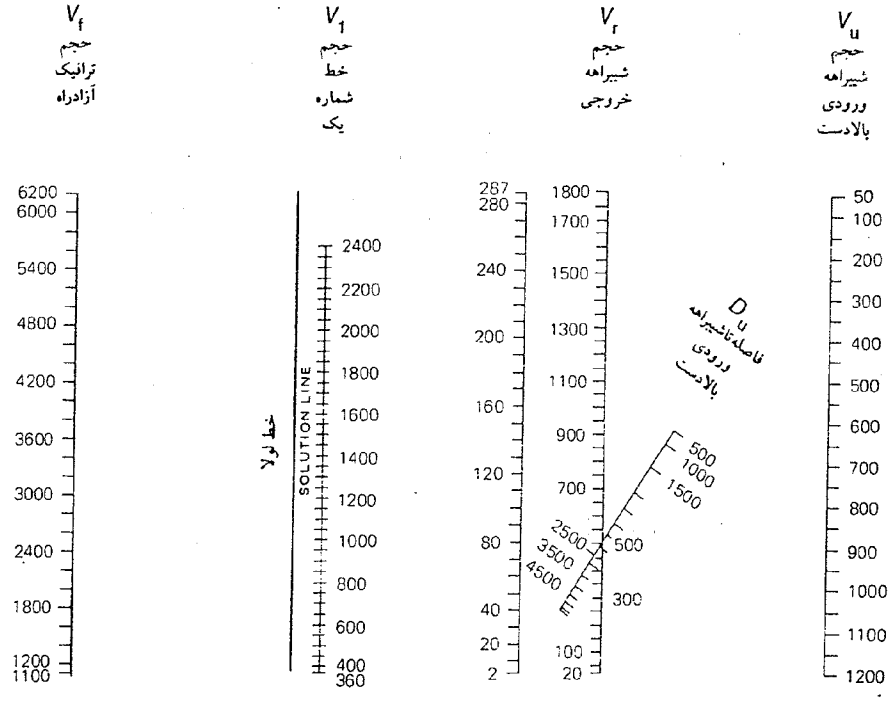
نموگراف شماره ۶، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه شش خطه در بالا دست شیبراهه ورودی یک خطه با یا بدون شیبراهه‌های مجاور

معادله:

$$V_1 = 94 + 0.231V_f + 0.473V_r + 215\ V_u/D_u$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه خروجی یک خطه از آزادراه شش خطه با، یا بدون شیبراهه ورودی در بالا دست، با، یا بدون خط کاهش سرعت.

۲ - اگر شیبراهه وروی در فاصله ۱۷۴۰ متری (۵۷۰۰ فوتی) وجود نداشته باشد. از مرحله ۲ در طریقه استفاده صرف نظر نموده و مقدار $215\ V_u/D_u$ را برابر ۲ فرض کنید.

۳ - دامنه عادی برای استفاده: V_f = ۱۱۰۰ تا ۶۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت V_r = ۲۰ تا ۱۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، V_r = ۵۰ تا ۱۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، D_u = ۹۰۰ تا ۵۷۰۰ فوت

طریقه استفاده:

۱ - از مقدار V_f به مقدار V_r خطی رسم کنید تا خط لولا را قطع کند.

۲ - از مقدار V_u به مقدار D_u خطی رسم کنید تا محور $215V_u/D_u$ را قطع کند.

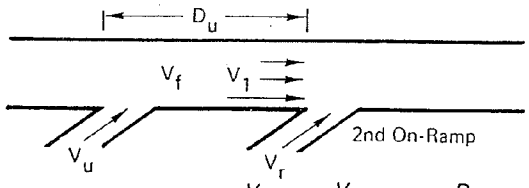
۳ - از نقطه تقاطع با خط لولا در مرحله یک مقدار $215\ V_u/D_u$ در مرحله ۲ خطی رسم کنید و مقدار V_1 را بخوانید.

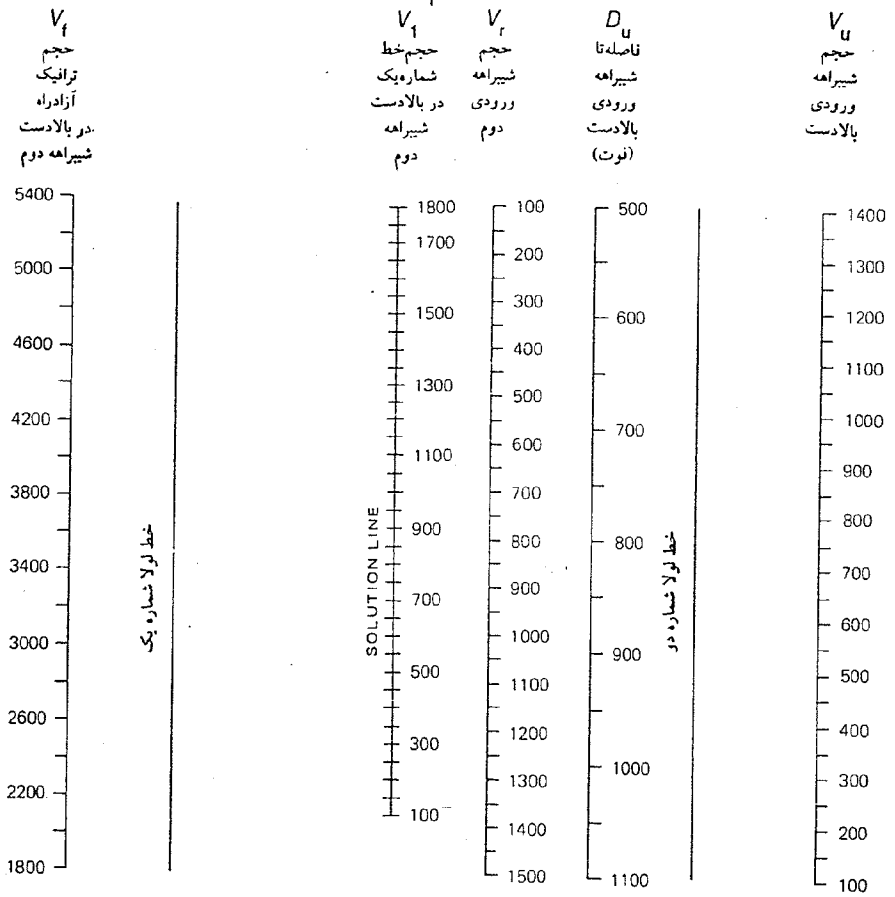
نموگراف شماره ۷، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه شش خطه (سه خط در هر طرف) در بالادست شیبراهه خروجی یک خطه

$$V_1 = 574 + 0.228V_f - 0.194V_r - 0.714D_u + 0.274\ V_u$$

معادله:

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه ورودی یک خطه به آزاد راه ۶ خطه یا شیبراهه‌های ورودی مجاور، با، یا بدون خط افزایش سرعت.

۲ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

Vf = ۱۸۰۰ تا ۵۴۰۰ Vr = ۱۰۰ تا ۱۵۰۰

V_u = ۱۰۰ تا ۱۴۰۰ D_u = ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت

طریقه استفاده:

۱ - خطی از مقدار V_f به مقدار V_r رسم کنید تا خط لولای شماره یک را قطع کند.

۲ - از مقدار V_u به مقدار D_u خطی رسم کنید که خط لولای شماره ۲ را قطع کند.

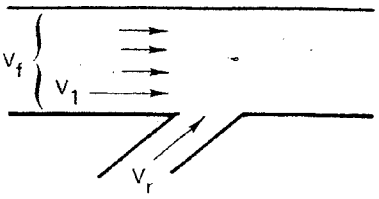
۳ - از نقطه تقاطع خط لولای شماره یک به نقطه تقاطع روی خط لولای شماره ۲ وصل کنید و مقدار V_1 را بخوانید.

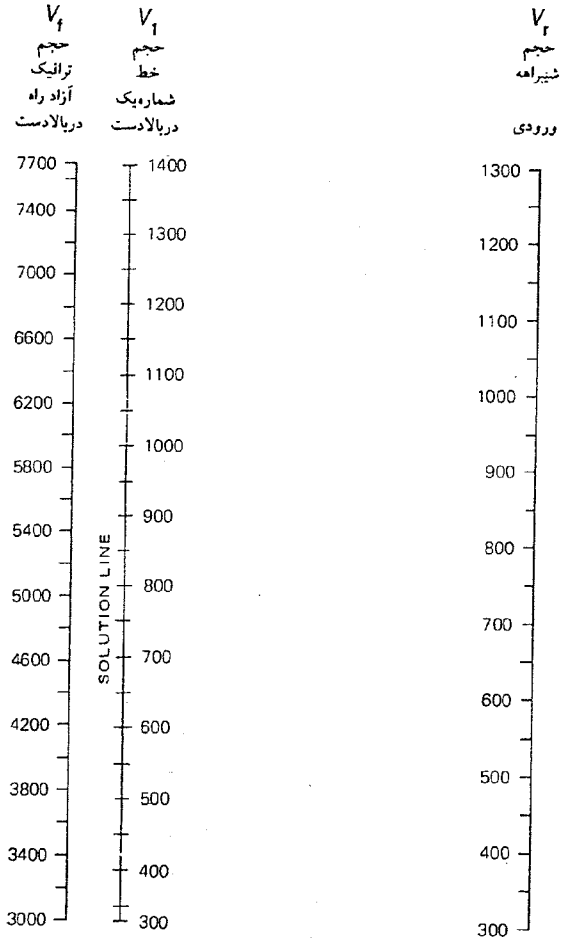
نموگراف شماره - ۸، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه شش خطه (سه خط در هر طرف) در بالا دست شیبراهه ورودی یک خطه

معادله:

$$V_1 = -312 + 0.201V_f + 0.127V_r$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه ورودی یک خطه به آزاد راه هشت خطه با، یا بدون خط افزایش سرعت

۲ - در مواردی که شیبراهه خروجی مجاور در پایین دست تا فاصله ۹۲۰ متری (۳۰۰۰ فوتی) وجودنداشته باشد قابل استفاده است.

۳ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۳۰۰۰ تا ۷۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت
V_r = ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

طریقه استفاده:

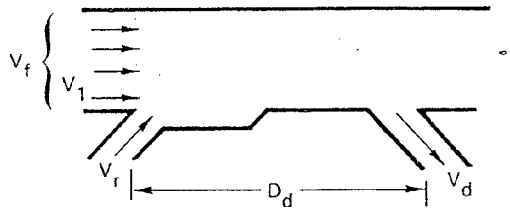
۱ - خطی از مقدار V_f به مقدار V_r وصل کنید و مقدار V_1 را بخوانید.

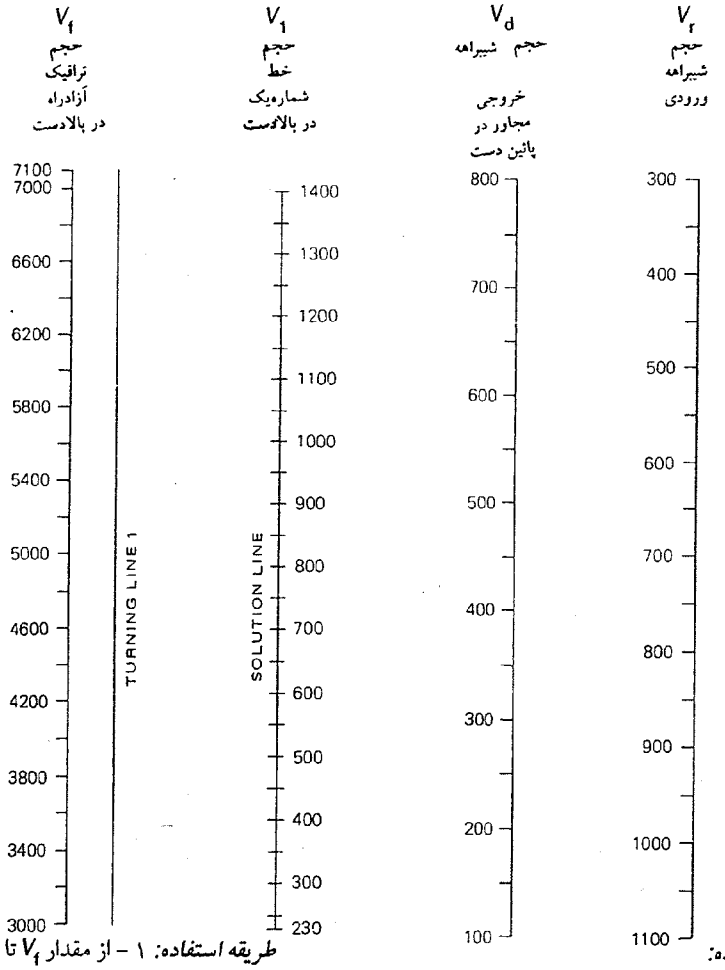
نموگراف شماره - ۹، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه ۸ خطه (چهار خط در هر طرف) در بالا دست شیبراهه ورودی یک خطه

معادله:

$$V_1 = -353 + 0.199V_f - 0.057V_r + 0.486V_d$$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه یک خطه ورودی به آزاد راه ۸ خطه با خط افزایش سرعت و شیبراهه خروجی در پائین دست و در فاصله ۴۵۰ الی ۹۲۰ متری. ۲ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۳۰۰۰ تا ۷۱۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

V_r = ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ V_d = ۱۰۰ تا ۸۰۰ D_d = ۴۵۰ تا ۹۲۰ متر

طریقه استفاده: ۱ - از مقدار V_f تا مقدار V_r خطی رسم کنید که خط لولا را قطع کند.

۲ - از نقطه تقاطع با خط لولا به مقدار V_d وصل کنید و مقدار V_1 را بخوانید.

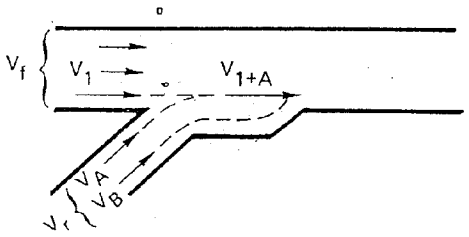
نموگراف شماره - ۱۰، حجم خط شماره‌یک آزادراه هشت خطه (۴ خطه درهرطرف) دربالادست شیبراهه ورودی،باشیبراهه خروجی درپایین دست.

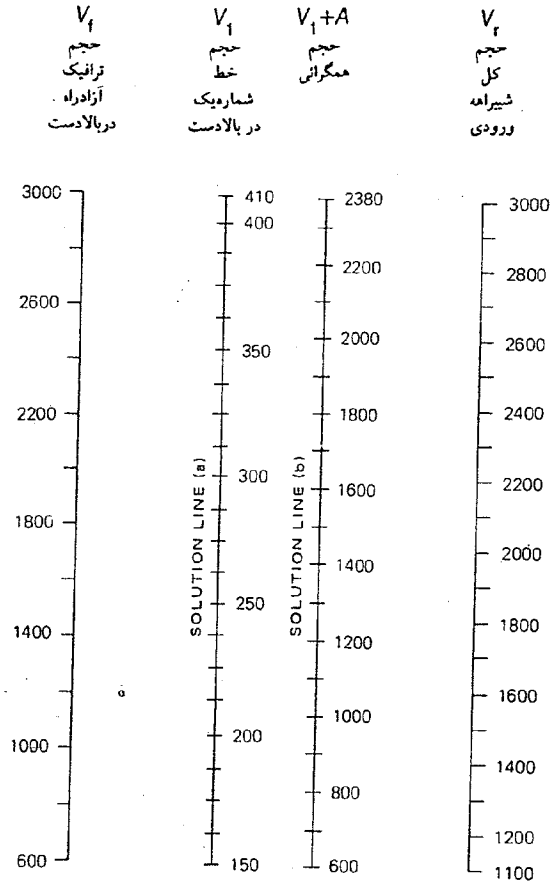
معادلات:

(a) $V_1 = 54 + 0.070V_f + 0.049V_r$

(b) $V_{1+A} = -205 + 0.287V_f + 0.575V_r$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ – شیپراهه ورودی دو خطه به آزاد راه ۶ خطه افزایش سرعت به طول حداقل ۲۴۵ متر.

۲ – دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

V_r = ۱۱۰۰ تا ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

طریقه استفاده:

۱ – از مقدار V_f به مقدار V_r وصل کنید و مقدار V_1 را روی محور V_1، مقدار V_{1+A} را روی محور V_{1+A} بخوانید:

۲ – مقادیر V_A ، V_B را به ترتیب زیر پیدا کنید:

$$V_B = V_r - V_A, V_A = V_{1+A} - V_1$$

۳ – سطح سرویس را برای دو نقطه همگرائی

$$V_{m2} = V_{1+A} + V_B, V_{m1} = V_1 + V_A$$

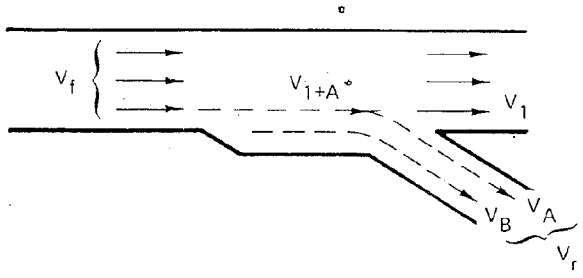
نموگراف شماره ۱۱، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه شش خطه (سه خطه در هر طرف) در بالادست شیپراهه ورودی دو خطه

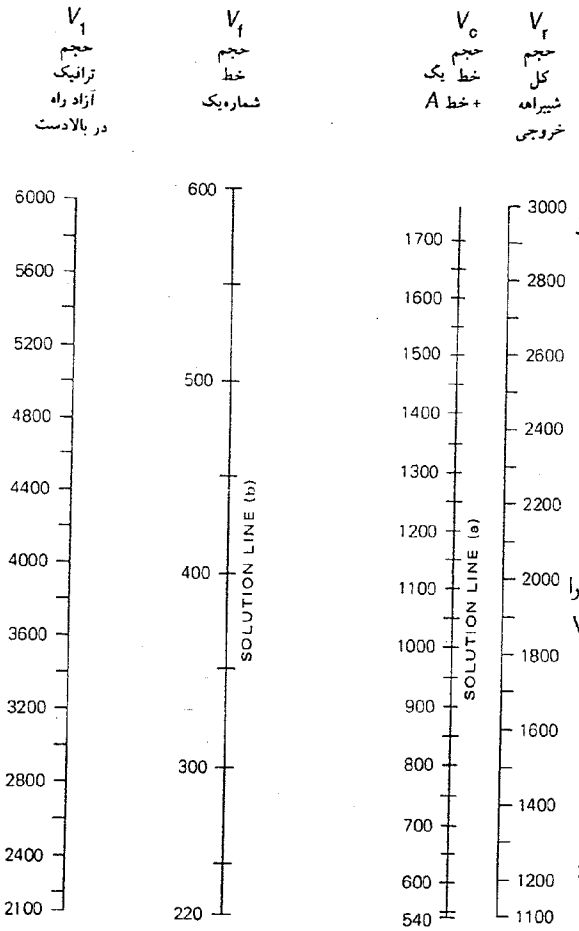
معادلات:

(a) $V_{1+A} = -158 + 0.035V_f + 0.567V_r$

(b) $V_1 = 18 + 0.060V_f + 0.072V_r$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - شیبراهه خروجی به آزاد راه شش خطه با خط کاهش سرعت به طول حداقل ۲۱۰ متر

۲ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۲۱۰۰ تا ۶۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

V_r = ۱۱۰۰ تا ۶۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

طریقه استفاده:

۱ - از مقدار V_f به مقدار V_r خطی رسم کنید، مقدار V_1 را روی محور V_1، و مقدار V_{1+A} را روی محور V_{1+A} بخوانید.

۲ - مقدار V_A ، V_B را به ترتیب زیر پیدا کنید:

$$V_A = V_{1+A} - V_1 \; ; \; V_B = V$$

۳ - سطح سرویس را در دو نقطه واگرائی کنترل کنید:

$$V_{d2} = V_B \; , \; V_{d1} = V_{1+A}$$

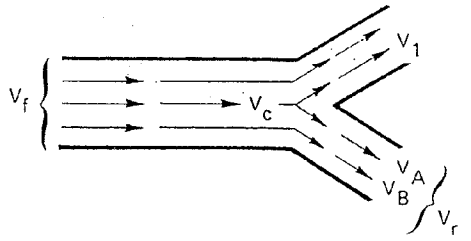
نموگراف شماره ۱۲، تعیین حجم خط شماره یک آزاد راه (شش خطه در اطراف) در بالا دست شیبراهه خروجی دو خطه

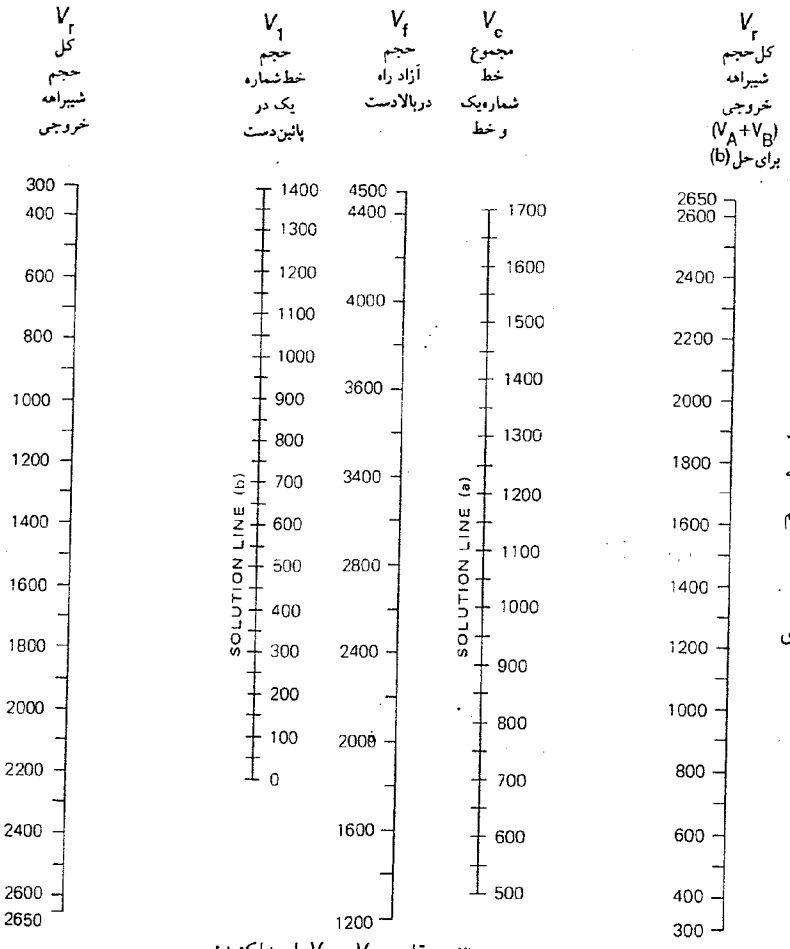
معادله:

(a) $V_c = 64 + 0.285V_f + 0.141V_r$

(b) $V_1 = 173 + 0.295V_f - 0.320V_r$

دیاگرام:





شرایط استفاده:

۱ - تقاطع واگرائی اصلی در آزاد راه ۶ خطه با سه خط عبور که به دو مسیر دو خطه تقسیم می‌شود.

۲ - دامنه‌های عادی برای استفاده:

V_f = ۱۲۰۰ تا ۴۵۰۰

V_r = ۳۰۰ تا ۲۶۵۰

طریقه استفاده:

۱ - از V_f به مقدار V_r در منتهی الیه سمت راست خطی رسم کنید و مقدار V_c را روی محور *(a)* بخوانید.

۲ - از V_f به مقدار V_r در منتهی الیه سمت چپ خطی رسم کنید و مقدار V_1 را روی خط *(b)* بخوانید.

۳ - مقادیر V_A ، V_B را پیدا کنید:

$V_A = V_c - V_1$ ، $V_B = V_r - V_A$

۴ - سطح سرویس را در دو نقطه واگرائی:

$V_{d1} = V_c$ ، $V_{d2} = V_B$ کنترل کنید.

نموگراف شماره - ۱۳، تعیین حجم‌های بحرانی در تقاطع دو شاخه‌ای اصلی آزاد راه شش خطه (سه خط در هر طرف) که به دو مسیر دو خطه در هر طرف) تقسیم می‌شود.

فصل ۱۳
ظرفیت راه‌ها:
خیابان‌ها و راه‌های شریانی شهری

عملکرد خیابانها و راههای شریانی شهری تفاوت بسیاری با آزاد راه‌ها و بزرگراهها دارد. این تسهیلات صرفاً برای عبور دادن ترافیک طراحی نمی‌شوند بلکه برای مناطق مجاور نیز باید تامین دسترسی کنند. تمامی یا اکثر تقاطع‌های آنها همسطح بوده و در جریان ترافیک ایجاد ناپیوستگی می‌کنند. پارک کردن وسایل نقلیه، ورودی خیابان‌های فرعی به اصلی، اتوبوسهای شهری، حرکات گردشی، عابرین پیاده و سایر عوامل مشابه نیز در جریان ترافیک آنها ایجاد وقفه می‌کنند.

همانند تحلیل آزاد راه‌ها، در این مورد نیز نمی‌توان عملکرد کلی خیابان‌ها یا راه‌های شریانی را بدون بررسی هریک از قطعه‌ها و یا نقاط مهم آنها ارزیابی دقیق نمود. در مورد خیابانها و راههای شریانی شهری این نقاط پر اهمیت شامل تقاطع‌ها و گرهگاههای میان - قطعه‌ای هستند. در کتاب راهنمای ظرفیت راهها روشهایی برای تحلیل تقاطع‌های چراغ دار و بدون چراغ و نیز تحلیل ترکیبی خیابانهای مرکزی و راه‌های شریانی شهری و برون شهری ارائه شده است.

ظرفیت تقاطع‌های چراغدار

روش کتاب راهنمای ظرفیت راهها

در تقاطع‌ها، ظرفیت برای هر یک از رویکردها تعریف می‌شود. ظرفیت یک رویکرد تقاطع عبارت است از حداکثر ترددی که (برای رویکرد مورد نظر) می‌تواند تحت شرایط حاکم ترافیکی، هندسی و زمانبندی چراغ‌ها از تقاطع بگذرد. این تردد معمولاً برای یک دوره ۱۵ دقیقه‌ای سنجیده می‌شود و ظرفیت بر حسب وسیله نقلیه در ساعت بیان می‌گردد.

ظرفیت در تقاطع‌های چراغدار مبتنی بر مفهوم جریان اشباع و تردد اشباع است. تردد اشباع عبارت است از حداکثر ترددی که ممکن است از یک رویکرد مفروض تقاطع یا یک گروه خطوط مورد نظر ۱۰۰ درصد زمان واقعی را به عنوان زمان سبز موثر در اختیار داشته باشند عبور کند. تردد اشباع با علامت S نشان داده می‌شود و بر حسب وسیله نقلیه در ساعت بیان می‌گردد.

نسبت تردد یک رویکرد یا گروه خطوط مفروض عبارت است از نسبت تردد واقعی رویکرد یا گروه خطوط، V، به تردد اشباع، نسبت تردد با علامت $(V/S)_i$ برای رویکرد یا گروه خطوط i بیان می‌شود.

ظرفیت یک رویکرد یا گروه خطوط مفروض را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$C_i = S_i \times (g/C)_i \qquad (۱۳-۱)$$

که در آن:

C_i = ظرفیت گروه خطوط رویکرد i بر حسب vph

S_i = تردد اشباع برای گروه خطوط یا رویکرد i بر حسب $vphg$

$(g/C)_i$ = نسبت سبز برای گروه خطوط یا رویکرد i

نسبت تردد به ظرفیت V/S در تحلیل تقاطع‌ها با حرف X نشان داده می‌شود. این کمیت نشان دهنده رابطه شدید میان ظرفیت و شرایط زمانبندی چراغ‌ها بوده و بیانگر درجه اشباع است. برای یک رویکرد یا گروه خطوط مفروض داریم:

$$X_i = (V/C)_i = V_i / [S_i \times (g/C)_i]$$

$$X_i = V_i\, C / S_i\, g_i = (V_i / S_i) / (g / C)_i \qquad (۱۳-۲)$$

که در آن:

X_i = نسبت V / C برای رویکرد یا گروه خطوط i

S_i = تردد اشباع برای رویکرد یا گروه خطوط i بر حسب $vphg$

V_i = تردد واقعی برای رویکرد یا گروه خطوط i بر حسب vph

g_i = زمان سبز موثر برای گروه خطوط i یا رویکرد i برحسب ثانیه

تغییرات مقدار X_i از ۱/۰۰ برای هنگامی که تردد برابر ظرفیت است تا صفر برای تردد صفر می‌باشد.

ظرفیت کل تقاطع دارای اهمیت چندانی نیست و در اینجا تعمداً مورد بحث قرار نمی‌گیرد. بندرت ممکن است که در تقاطع‌ها تمامی جریانها در یک زمان از روز با هم به حالت اشباع برسند. با این وجود در تحلیل تقاطع‌های چراغدار مفهوم X_c نسبت بحرانی V / C حائز اهمیت است. این یک نسبت V / C برای کل تقاطع است و در آن فقط رویکردها یا گروه خطوطی که دارای بالاترین نسبت تردد V / C برای فاز مفروض هستند در نظر گرفته می‌شوند.

برای مثال در یک چراغ دوفازه رویکردهای مقابل در یک زمان سبز حرکت می‌کنند. معمولاً یکی از این دو رویکرد نیاز به زمان سبز بیشتری دارد (همین دارای نسبت تردد بزرگتری است). این به معنای بحرانی بودن رویکرد مذکور برای فاز مورد نظر است. هر فاز چراغ دارای یک رویکرد یا گروه خطوط بحرانی است که نیاز زمان سبز را برای فاز مربوطه معین می‌کند. در صورتی که فازهای چراغ همپوشانی داشته باشند، تعیین این رویکردها یا گروه خطوط بحرانی تا حدی پیچیده خواهد شد. نسبت V / C بحرانی تقاطع بر حسب رویکردها یا گروه خطوط بحرانی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$X_c = \sum (V / S)_{ci} \times [C / (C - L)] \qquad (۱۳-۳)$$

که در آن:

X_c = نسبت V / C بحرانی برای تقاطع

$\sum (V / S)_{ci}$ = مجموع نسبت‌های تردد برای کلیه رویکردها یا گروه خطوط بحرانی

C = طول چرخه چراغ بر حسب ثانیه

L = کل زمان تلف شده در هر چرخه که برابر است با مجموع زمانهای راه افتادن و تعویض چراغ منهای بخشی از زمان تعویض که وسایل نقلیه در هر فاز بحرانی مورد استفاده قرار می‌دهند.

معادله فوق برای ارزیابی وضعیت کلی تقاطع با توجه به هندسه و طول چرخه چراغ و نیز محاسبه زمانبندی چراغها بکار می‌آید. این رابطه مقدار V / C را برای کلیه جریانهای بحرانی با فرض اینکه زمان سبز بطور مناسب تقسیم‌بندی شده باشد بدست می‌دهد. بنابراین ممکن است نسبت بحرانی V / C مقداری کمتر از ۱/۰۰ داشته باشد ولی بعضی از جریانها در چرخه چراغ، فوق اشباع باشند.

با این وجود یک مقدار V / C بحرانی کوچکتر از یک، نشان می‌دهد که می‌توان تمامی جریانهای تقاطع را با تقسیم صحیح زمان سبز در همان طول چرخه تعیین شده براحتی عبور داد.

تحلیل ظرفیت در این فصل عمدتاً متکی بر محاسبه تردد اشباع، نسبت‌های V / C و ظرفیت‌های رویکردها یا گروه خطوط مختلف تقاطع است.

سطح سرویس تقاطع‌های چراغدار

سطح سرویس برای تقاطع‌های چراغدار بر حسب تاخیر تعریف می‌شود. تاخیر شاخصی از ناراحتی رانندگان، مصرف سوخت و زمان سفر تلف شده است. معیارهای سطح سرویس معمولاً برحسب میانگین تاخیر بر وسیله نقلیه برای یک دوره ۱۵ دقیقه‌ای است. این معیارها در جدول ۱ - ۱۳ ارائه شده‌اند.

تاخیر را می‌توان هم در محل اندازه‌گیری کرد و هم از طریق محاسباتی بدست آورد. تاخیر یک شاخص پیچیده است و وابسته به متغیرهای زیادی می‌باشد از جمله: نحوه سر رسیدن وسایل نقلیه، طول چرخه چراغ، نسبت سبز، نسبت V / C برای رویکرد یا گروه خطوط مورد بحث.

جدول (۱ - ۱۳) . معیارهای سطح سرویس تقاطع‌های چراغدار

سطح سرویس	تاخیر توقف بر وسیله (ثانیه)
A	۵/۰
B	۵/۱ - ۱۵/۰
C	۱۵/۱ - ۲۵/۰
D	۲۵/۱ - ۴۰/۰
E	۴۰/۱ - ۶۰/۰
F	۶۰/۰

رابطه ظرفیت و سطح سرویس

از آنجایی که تاخیر شاخصی پیچیده است رابطه آن با ظرفیت نیز از پیچیدگی خاصی برخوردار است. سطوح سرویس

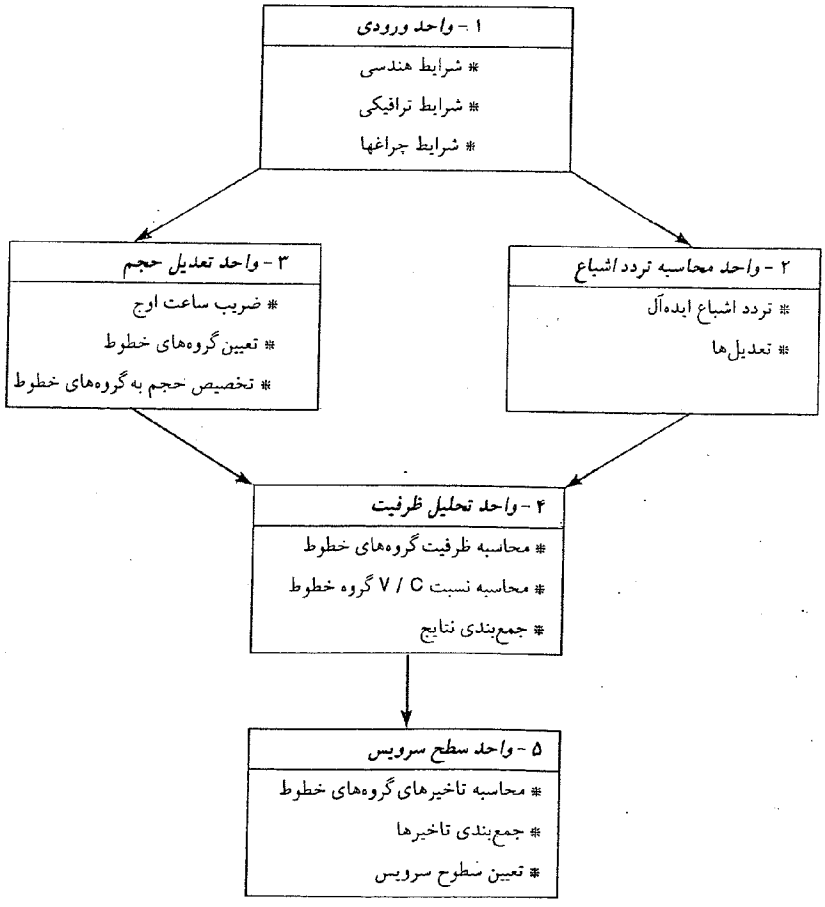
جدول (۱ - ۱۳) بر حسب قابل قبول بودن تاخیرها برای رانندگان معین شده است و رابطه آنها با ظرفیت بهیچ وجه یک رابطه ساده یک به یک نیست.

در اینجا نمی‌توان حد پایین سطح سرویس E را به عنوان ظرفیت تلقی کرد، زیرا ممکن است برای مثال تاخیرهایی در سطح سرویس F وجود داشته باشد در حالی که نسبت V / C کمتر از یک است. یک چنین تاخیرهایی می‌تواند در اثر وجود شرایط زیر بوجود آید: (۱) طولانی بودن چرخه. (۲) گروه خطوط مورد بحث زمانبندی نامناسبی داشته باشد (زمان قرمز طولانی) (۳) نحوه فرارسید جریان مورد نظر نامناسب باشد. حالت عکس نیز امکان‌پذیر است: یک رویکرد یا گروه خطوط اشباع (یعنی $V / C = ۱/۰۰$) می‌تواند دارای تاخیر کمی باشد در صورتی که (۱) طول چرخه کوتاه باشد و یا (۲) فرارسید جریان مورد نظر به چراغ مطلوب باشد. بنابراین تعیین سطح سرویس F بخودی خود مستلزم فوق اشباع بودن تقاطع، رویکرد و یا گروه خطوط نیست و همچنین سطح سرویس‌های A تا E مستلزم بلا استفاده ماندن ظرفیت نمی‌باشد.

انواع تحلیل

در کتاب راهنمای ظرفیت راهها دوگونه تحلیل معرفی شده است که هریک دارای اهداف و روشهای خاص خود می‌باشد.

گونه اول، تحلیل عملکردی است. در این روش وضعیت موجود یا آینده یک تقاطع با توجه به شرایط ترافیکی، هندسی و چراغگذاری تقاطع مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد بنابراین برای تحلیل عملکردی نیاز به اطلاعات دقیق در مورد چهار عامل، تقاضا یا تردد، سرویس، چراغبندی تقاطع، طرح هندسی



شکل (۱ - ۱۳) . روش کار تحلیل عملکردی

تقاطع و تاخیر یا سطح سرویس ناشی از اینها وجود دارد. هریک از این چهار عامل می‌تواند به عنوان مجهول تلقی شده و با معلوم بودن سه عامل دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. یعنی:

۱ - تعیین سطح سرویس با معین بودن جزئیات مربوط به تردد تقاطع، چراغ‌بندی و طرح هندسی

۲ - بدست آوردن تردد سرویس برای سطح سرویس انتخابی با معلوم بودن زمانبندی چراغها و طرح هندسی

۳ - تعیین زمانبندی چراغها (برای یک فاز بندی مفروض)، با معلوم بودن سطح سرویس مطلوب و جزئیات ترددها و طرح هندسی

۴ - تعیین طرح اصلی هندسی(تعداد و ترکیب خطوط) با معلوم بودن سطح سرویس مطلوب و جزئیات جریان‌ها و چراغ‌بندی

معمولاً ترکیبی از حالت‌های فوق پیش می‌آید که در آن دو یا چند پارامتر نامعلوم بوده و باید با استفاده از یک روش آزمون و خطا جواب مناسب بدست آید.

روش دیگر، تحلیل طراحی است. در اینگونه تحلیل صرفاً ظرفیت مورد نظر است و اطلاعات دقیق برای محاسبه تاخیر موجود نیست. اطلاعات مربوط به هندسه و ترافیک نیز در حد کلی هستند.

در اینجا روش تحلیل عملکردی برای حالت ۱ یعنی تعیین سطح سرویس مورد بحث قرار می‌گیرد. دستورالعمل کتاب راهنمای ظرفیت راهها شامل پنج واحد است. (شکل ۱ - ۱۳)

۱ - واحد ورودی

در شکل ۲ - ۱۳، خلاصه‌ای از اطلاعات مورد نیاز در تحلیل عملکردی نشان داده شده است. اطلاعات مورد نیاز به سه گروه اصلی تقسیم بندی شده‌اند:

۱ - اطلاعات مربوط به شرایط هندسی : این اطلاعات شامل نوع ناحیه شهری، تعداد خطوط، شیب، وجود خطوط مجزای

نوع شرایط	پارامتر	علامت
شرایط هندسی	نوع ناحیه شهری	CBD
	تعداد خطوط	N
	عرض خطوط	W
	شیب ٪	+ (سر بالا)
	وجود خطوط اختصاصی گردش به چپ یا گردش به راست	- (سرپایین)
	طول خط اضافی گردش به چپ یا گردش به راست	L_s
	شرایط پارکینگ	Y or N
شرایط ترافیکی	حجم جریان	V_i
	ضریب ساعت اوج	PHF
	درصد وسایل نقلیه سنگین	% HV
	تردد عابرین پیاده تداخل‌کننده (عابر در ساعت)	PEDS
	تعداد اتوبوسهای محلی توقف‌کننده در تقاطع	N_b
	پارک کردن (تعداد پارک در ساعت)	N_m
	نوع فرارسید	
شرایط چراغ‌ها	طول چرخه (ثانیه)	C
	زمان سبز (ثانیه)	G_i
	متغیر یا ثابت	A or P
	چراغ مخصوص عابرین پیاده	Y or N
	حداقل زمان سبز عابرین پیاده	G_p
	طرح فازبندی	

شکل (۲ - ۱۳) . اطلاعات لازم برای تحلیل گروه خطوط

جدول ۲ - ۱۳ . رابطه میان نوع فرارسید و نسبت دسته

نوع فرارسید	محدوده نسبت دسته R_p
۱	۰/۰۰ - ۰/۵۰
۲	۰/۵۱ - ۰/۸۵
۳	۰/۸۶ - ۱/۱۵
۴	۱/۱۶ - ۱/۵۰
۵	۱/۵۱

گردش به چپ یا راست، طول انباشت برای خطوط گردش به چپ و به راست و شرایط پارکینگ است.

۲ - شرایط ترافیکی : حجم ترافیک در هر رویکرد تقاطع باید مشخص شود. توزیع نوع وسیله نقلیه بوسیله درصد وسایل نقلیه سنگین (HV %) در هر جریان بیان می‌شود. وسیله نقلیه سنگین به هر وسیله دارای بیش از چهار چرخ اطلاق می‌گردد. تعداد اتوبوس‌های محلی، در هر رویکرد نیز باید تعیین گردد. در این حالت فقط اتوبوسهایی که برای سوار و پیاده‌کردن مسافر در تقاطع توقف می‌کنند مورد نظر هستند. اتوبوسهایی که توقفی ندارند جز وسایل نقلیه سنگین محسوب می‌شوند.

جریان عابرین پیاده در رابطه با گردشهای آزاد به چپ و به راست مورد نیاز است. جریان عابرین پیاده مربوط به یک رویکرد مفروض عبارت است از جریانی که گردش به راست رویکرد را قطع می‌کند.

یکی از مهمترین خصوصیات ترافیکی نحوه فرارسید هر رویکرد است. پنج نوع فرارسید برای جریان ورودی تعریف می‌شود:

نوع ۱ - ورود یک دسته فشرده در آغاز فاز قرمز - این بدترین شرایط ورود است.

نوع ۲ - رسیدن یک دسته فشرده به تقاطع در اواسط فاز قرمز یا رسیدن یک دسته متفرق در کل فاز قرمز - این حالت بهتر از نوع ۱ است ولی هنوز شرایط نامطلوبی می‌باشد.

نوع ۳ - این حالت بیانگر فرارسید کاملاً اتفاقی است و هنگامی بوجود می‌آید که فرارسیدها در فازهای قرمز و سبز بسیار متفرق بوده و یا رویکرد با سایر تقاطع‌ها ناهماهنگی داشته باشد. در این حالت شرایط معمولی است.

نوع ۴ - در این شرایط یک دسته فشرده در اواسط فاز سبز سر می‌رسد و یا یک دسته متفرق در کل فاز سبز. در این حالت نسبتاً مطلوب برای فرارسید است.

نوع ۵ - فرارسید یک دسته فشرده در آغاز فاز سبز. این حالت مطلوبترین شرایط است.

نحوه فرارسید را می‌توان در محل اندازه‌گیری کرد. با این وجود روشهای تقریبی نیز برای محاسبه آن وجود دارد. نسبت زیر یک مقدار شاخص برای برآورد نوع فرارسید است.

$$R_p = PVG / PTG \qquad (۱۳ - ۴)$$

که در آن:

R_p = نسبت دسته

PVG = درصد وسایل نقلیه‌ای که در فاز سبز سر می‌رسند

PTG = درصد سبز چرخه چراغ برای عبور جریان

$$PTG = (G / C) \times ۱۰۰$$

در جدول (۲ - ۱۳) مقادیر تقریبی R_p در رابطه با نوع فرارسید ارائه شده است.

یکی دیگر از شرایط ترافیکی میزان توقف‌های انجام شده در گروه خطوط مورد نظر است. میزان توقف بر حسب تعداد توقف در ساعت در محدوده ۷۵/۰ متری تقاطع N_m بیان می‌شود. هر وسیله‌ای که توقف کند یا از پارک خارج شود به عنوان یک واحد محسوب می‌شود.

۳ - شرایط چراغ‌ها: این اطلاعات شامل طرح فازبندی چراغ‌ها، طول چرخه، زمان سبز و زمانهای تعویض می‌گردد. فازهای خودکار مانند فاز خودکار عابرین نیز باید در نظر گرفته شوند. در صورتی که فاز دستی مخصوص عابرین پیاده وجود نداشته باشد لازم است حداقل زمان سبز برای عابرین پیاده تعیین شده و در زمان‌بندی چراغ در نظر گرفته شود، حداقل زمان سبز لازم برای یک فاز را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$G_p = 7.0 + (W / 1.2) - Y \qquad (۱۳ - ۵)$$

که در آن:

G_p = حداقل زمان سبز

W = فاصله از جدول تا خط میانی یا جزیره میانی خیابانی که عابرین عبور می‌کنند.

Y = زمان تعویض (زمان زرد + زمان قرمز) بر حسب ثانیه

در رابطه فوق فرض شده است که پانزدهمین درصد سرعت عبور عابرین پیاده از خیابان ۱/۳ متر در ثانیه است.

در صورتی که فازهای چراغ متغیر باشند طول دوره و زمان سبز بر اساس تقاضا متغیر است. در این حالت مقادیر میانگین پارامترهای فوق بر اساس مشاهدات بدست می‌آیند.

۲ - واحد تعدیل حجم

در واحد تعدیل حجم سه مرحله تحلیلی اصلی وجود دارد: (۱) حجم جریان برای یک تردد در ۱۵ دقیقه اوج تعدیل می‌شود، (۲) گروه‌های خطوط برای تحلیل معین می‌شوند. (۳) جریان هر گروه خطوط برای احتساب استفاده نامتعادل از خطوط تعدیل می‌شود.

۱ - تعدیل حجم جریان برای بدست آوردن تردد اوج : نخست تقاضاهایی که بصورت حجم‌های ساعتی هستند تبدیل به تردد برای دوره ۱۵ دقیقه‌ای اوج در همان ساعت می‌شوند. بدین منظور حجم جریان بر ضریب ساعت اوج که ممکن است برای کل تقاطع یا هر یک از رویکردها معرفی شود تقسیم می‌گردد:

$$V_p = V / PHF$$

که در آن:

V_p = تردد در دوره ۱۵ دقیقه‌ای اوج بر حسب وسیله نقلیه

V = حجم ساعتی بر حسب وسیله نقلیه در ساعت

PHF = ضریب ساعت اوج

۲ - تعیین گروه‌های خطوط: در تحلیل عملکردی، رویکردهای تقاطع بصورت منفرد در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین لازم است گروه‌های خطوط بطور مناسبی تفکیک و دسته‌بندی شوند.

یک گروه خط عبارت است از یک یا چند خط از یک رویکرد تقاطع که به یک یا چند جریان ترافیکی اختصاص دارد. دسته‌بندی خطوط معمولاً با توجه به طرح هندسی و شرایط ترافیکی به سهولت صورت می‌گیرد. بطور کلی باید از حداقل تعداد گروه خطوط لازم برای توصیف عملکرد تقاطع استفاده شود. در این مورد نکات زیر لازم الاجرا است:

الف) یک یا چند مورد گردش به چپ انحصاری به عنوان یک گروه خطوط مجزا در نظر گرفته می‌شود. در مورد گردش به راست‌ها نیز وضع چنین است.

ب) در رویکردهایی که دارای خطوط گردش به چپ یا به راست انحصاری هستند بقیه خطوط بعنوان یک دسته خط در نظر گرفته می‌شوند.

ج) در صورتی که یک رویکرد چندخطه شامل خطی باشد که هم برای گردش به چپ و هم عبور مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. باید بررسی شود که آیا شرایط موجود شرایط متعادل است یا این خط عمدتا به عنوان یک خط انحصاری گردش به چپ عمل می‌کند.

بدین منظور تردد گردش به چپ به تردد مستقیم‌رو معادل تبدیل می‌شود:

$$V_{le} = V_l \times \frac{1800}{1400 - V_0} \qquad (۶ - ۱۳)$$

که در آن:

V_{le} = تردد گردش به چپ تقریباً معادل بر حسب vph

V_l = تردد گردش به چپ واقعی بر حسب vph

V_0 = کل تردد مخالف بر حسب vph

باید توجه داشت هنگامی که V_0 برابر یا بزرگتر از vph ۱۴۰۰ گردد V_{le} بی‌معنی می‌شود. در این حالت گردش به چپ از میان جریان مخالف غیرممکن شده و باید برای گردش به چپ فاز مخصوصی در چرخه چراغ در نظر گرفته شود.

فرض بر این است که دز بیشتر شرایط این جریان گردش به چپ معادل، تمامی خط منتهی‌الیه چپ رویکرد را اشغال می‌کند. بقیه جریان میان سایر خطوط بطور مساوی تقسیم می‌شود. اگر تردد معادل در خط منتهی الیه چپ بیشتر از تردد میانگین در سایر خطوط باشد فرض می‌شود که این خط به عنوان یک خط انحصاری گردش به چپ عمل می‌کند و باید به عنوان یک گروه خطوط در نظر گرفته شود. اگر تردد گردش به چپ معادل، کوچکتر از میانگین تردد در سایر خطوط باشد فرض می‌شود که جریان مستقیم در خط منتهی‌الیه چپ تا رسیدن به حد تعادل شریک است و کل رویکرد به عنوان یک گروه خط ارزیابی می‌گردد. بنابراین اگر:

$$V_{le} \geq (V_a - V_l) / (N - 1)$$

که در آن:

V_a = کل تردد رویکرد بر حسب vph

N = تعداد کل خطوط رویکرد

آنگاه فرض می‌شود که خط چپ به عنوان یک خط گردش به چپ انحصاری عمل می‌کند و در تحلیل به عنوان یک گروه مجزا در نظر گرفته می‌شود. اگر:

$$V_{le} \leq (V_a - V_l) / (N - 1)$$

آنگاه فرض بر استفاده اشتراکی از خط چپ خواهد بود. در اینصورت این خط به عنوان جزیی از رویکرد تحلیل می‌شود.

عملکرد یک خط مشترک برای گردش به چپ و عبور مستقیم همراه با آزادی گردش به چپ کاملاً پیچیده است. وسایل نقلیه، گردش به چپ‌های خود را در فواصل موجود میان جریان ترافیک مخالف انجام می‌دهند. ولی نخستین فاصله بعد از عبور صف وسایل نقلیه مخالف و تخلیه امکان‌پذیر می‌گردد. اگر در

حین تخلیه شدن صف جریان مخالف، یک وسیله چپگرد سر برسد باعث بسته شدن خط هم برای جریان مستقیم و هم گردش به چپ می‌شود، تا آنکه نخستین فاصله عبور فرا رسد، بعد از آن وسایل نقلیه چپگرد می‌توانند در فواصل موجود در جریان مخالف عبور کنند تا فاز سبز پایان یابد و بعد از آن دو وسیله نقلیه چپگرد دیگر نیز می‌توانند در فاصله تعویض چراغ عبور کنند. هرگونه بسته شدن خط مشترک، توزیع جریان میان خطوط را به هم می‌زند زیرا وسایل نقلیه به خطوط مجاز منحرف می‌شوند تا دچار تاخیر نگردند. عامل دیگری نیز در توزیع جریان موثر است. اگر یک وسیله نقلیه مستقیم، هنگامی به تقاطع برسد که یک فاصله عبور در جریان ترافیک مقابل موجود باشد هیچ وسیله چپگردی قادر به استفاده از آن نخواهد شد. تعداد زیادی از وسایل نقلیه مستقیم واقع در خط مشترک ممکن است بسیاری از این فواصل را بسته و ظرفیت گردش به چپ را کاهش دهند. اندرکنش کلیه این مکانیزمها منجر به یک تعادل در عبور وسایل نقلیه می‌گردد.

۳ - تعدیل برای توزیع جریان میان خطوط : پس از تعدیل حجم عبور برای تردد ۱۵ دقیقه اوج و تعیین گروه خطوط، باید تعدیل برای استفاده نامساوی از خطوط انجام شود. در صورتیکه بیش از یک خط وجود داشته باشد جریان بطور مساوی میان آنها تقسیم نمی‌شود. تعدیل مربوط به توزیع جریان ، مقدار تردد را تا حد مقدار مربوط به بیشترین کاربری خط بالا می‌برد. بنابراین:

$$V = v_g \times U \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن:

V = تردد تقاضای تعدیل شده برای گروه خط موردنظر برحسب vph

v_g = تردد تقاضای تعدیل نشده برای گروه خط موردنظر برحسب vph

U = ضریب کاربری خط

ضریب کاربری خطوط (جدول ۳ - ۱۳) فقط در صورتی بکار می‌رود که بخواهیم میان دو یا چند خط از یک گروه خط، بدترین خط را تحلیل کنیم. اگر شرایط میانگین خطوط مورد نظر باشد از ضریب ۱/۰۰ استفاده می‌شود. این ضریب هنگامی که نسبت V / C برای گروه خط مربوطه به ۱/۰۰ برسد نیز برابر ۱/۰۰ خواهد بود و در چنین شرایطی خطوط بطور یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. با اعمال این ضرایب فرض می‌شود که بیشترین کاربری خط در یک گروه دوخطه ۵۲/۵ درصد از کل جریان و در یک گروه سه‌خطه ۳۶/۷ درصد کل جریان است.

جدول ۳ - ۱۳ . ضرایب کاربری خطوط

تعداد خطوط عبور مستقیم در گروه خطوط (به استثناء خطوط مشترک با گردش به چپ‌کنندگان)	ضریب کاربری خطوط
۱	۱/۰۰
۲	۱/۰۵
≥ ۳	۱/۱۰

۳ - واحد محاسبه جریان اشباع

در این واحد برای هر گروه خط یک تردد اشباع محاسبه می‌شود. تردد اشباع عبارت است از جریانی که گروه خط مورد نظر می‌تواند از خود عبور دهد با فرض اینکه فاز سبز بطور دائم برای رویکرد موجود باشد یعنی نسبت سبز g / C برابر ۱/۰۰ باشد. محاسبات با انتخاب یک مقدار ایده‌آل برای تردد اشباع شروع می‌شود. این مقدار معمولاً برابر ۱۸۰۰ اتومبیل سواری در هر ساعت سبز برای هر خط ($pcphgpl$) در نظر گرفته شده و سپس برای سایر شرایط حاکم بر ترافیک که ایده‌آل نیستند، تبدیل می‌شود.

$$s = s_0 N f_w f_{hv} f_g f_p f_{bb} f_a f_{rt} f_{lt} \qquad (۱۳-۸)$$

که در آن:

s = تردد اشباع گروه خط مورد نظر که برای کلیه خطوط تحت شرایط ترافیکی مفروض بدست می‌آید بر حسب $pcphgpl$

s_0 = تردد اشباع ایده‌آل در هر خط که معمولاً ۱۸۰۰ ($pcphgpl$) در نظر گرفته می‌شود.

N = تعداد خطوط در گروه خط

f = ضریب تصحیح برای عرض خط، خطوط ۳/۶ متری استاندارد هستند (به جدول ۴ - ۱۳ مراجعه شود)

f_w = ضریب تصحیح برای وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک. (به جدول ۵ - ۱۳ مراجعه شود.)

f_{hv} = ضریب تصحیح برای شیب رویکرد (به جدول ۶ - ۱۳ مراجعه شود.)

f_p = ضریب تصحیح برای وجود یک خط پارکینگ در کنار گروه خطوط و عملیات پارکینگ در آن خط (به جدول ۷ - ۱۳ مراجعه شود.)

f_{bb} = ضریب تصحیح برای بسته شدن راه در اثر توقف اتوبوس‌های محلی در محدوده تقاطع (به جدول ۸ - ۱۳ مراجعه شود)

f_a = ضریب تصحیح برای نوع ناحیه شهری (به جدول ۹ - ۱۳ مراجعه شود)

f_{rt} = ضریب تصحیح برای گردش به راست‌های گروه خطوط (به جدول ۱۰ - ۱۳ مراجعه شود)

f_{lt} = ضریب تصحیح برای گردش به چپ‌های گروه خطوط (به جدول ۱۱ - ۱۳ مراجعه شود)

ضریب عرض خط f_w برای منظور کردن تاثیر باریک بودن خطوط در کاهش تردد، اشباع و افزایش جریان در خطوط عریض بکار می‌رود. خطوط ۳/۶۰ متری استاندارد هستند.

تاثیر وسایل نقلیه سنگین و شیب بوسیله f_{hv} و f_g اعمال می‌شوند. تاثیر جداگانه این ضرایب نشان می‌دهد که اتومبیل‌های سواری نیز همانند وسایل نقلیه سنگین تحت تاثیر شیب واقع می‌شوند. ضریب وسایل نقلیه سنگین برای منظور کردن حجم اضافی اشغال شده توسط این گونه وسایل و نیز تفاوت‌های عملکردی وسایل نقلیه سنگین و اتومبیل‌های سواری استفاده می‌شود. ضریب شیب تاثیر شیب بر عملکرد کل وسایل نقلیه را منظور می‌کند.

ضریب پارکینگ f_b برای در نظر گرفتن تاثیر اصطکاکی یک خط پارکینگ بر جریان خطوط مجاور و بسته شدن احتمالی خط مجاور در اثر خروج یا ورود وسایل نقلیه به پارکینگ است.

ضریب راه‌بندان اتوبوس f_{bb} بواسطه تاثیر اتوبوس‌های شهری در هنگام پیاده یا سوار کردن مسافر در ایستگاه قبل یا بعد از تقاطع در کاهش جریان بکار می‌رود. در صورتیکه اتوبوسهای محلی یکی از عوامل اصلی در عملکرد تقاطع باشند بهتر است از روشهای دقیق‌تری برای برآورد تاثیر آنها استفاده شود.

ضریب نوع ناحیه شهری f_a برای منظور کردن تاثیر منفی تجاری بودن منطقه تقاطع در مقایسه با سایر نواحی بکار می‌رود. این تاثیر عمدتاً به علت پیچیدگی و تراکم محیط در نواحی تجاری است.

ضرایب گردش بستگی به پارامترهای زیادی دارند. مهمترین مشخصه نحوه انجام گردش‌ها در تقاطع است. گردش‌ها می‌توانند از طریق خطوط انحصاری و یا مشترک، با فاز چراغ مجزا یا بصورت آزاد و یا ترکیبی از این شرایط انجام گیرند. تاثیر گردش‌ها در تردد اشباع شدیداً بستگی به نوع عملیات گردشی دارد.

ضریب گردش به راست f_{rt} بستگی به عوامل زیادی دارد از جمله:

الف - اینکه گردش به راست‌ها از خطوط انحصاری انجام می‌شوند یا خطوط مشترک

ب - نوع فازبندی چراغ‌ها (بطور مجزا، آزاد یا فاز مجزا بعلاوه آزاد)، در یک فاز مجزا برای گردش به راست تداخل حرکت عابرین پیاده وجود ندارد.

ج - حجم عابرین پیاده‌ای که جریان گردش به راست را قطع می‌کنند.

د - نسبت گردش به راست در خط مشترک

ه - نسبت گردش به راست در بخش چراغدار از فاز چراغدار بعلاوه آزاد

مورد "ه" را باید از طریق مشاهده بدست آورد ولی می‌توان با توجه به زمانبندی چراغ با تقریب زیاد نیز تخمین زد. بدین منظور فرض می‌شود که بخشی از گردش به راست‌ها با استفاده از فاز چراغ صورت می‌گیرند تقریباً برابر با نسبت فاز چراغدار گردش به راست هستند.

در صورتیکه گردش به راست در قرمز (RTOR) آزاد باشد باید بجای حجم گردش به راست از حجم وسایل نقلیه راستگرد در فاز قرمز استفاده شود.

ضریب گردش به چپ f_{lt} نیز وابسته به عوامل مشابهی است از جمله:

الف - اینکه گردش به چپ‌ها از خطوط انحصاری انجام می‌شوند یا خطوط مشترک

ب - نوع فازبندی چراغ‌ها (فاز مجزا، آزاد یا مجزا بعلاوه آزاد)

ج - نسبت وسایل نقلیه میانگذر در یک خط مشترک

د - تردد مخالف در هنگامیکه گردش به چپ بصورت آزاد انجام می‌شود.

این ضرایب تصحیح در جدول‌های ۴ - ۱۳ تا ۱۱ - ۱۳ ارائه شده‌اند.

دستور العمل ویژه: ضریب تصحیح گردش به چپ آزاد.

در صورتیکه در یک گروه خط گردش به چپ مجاز باشد ضریب تعدیل گردش به چپ، با استفاده از یکسری معادلات پیچیده بدست می‌آید. این معادلات جریان‌های تعادلی ناشی از اندرکنش جریان‌های وسایل نقلیه چپگرد، مستقیم و مخالف را بدست می‌دهند. این دستورالعمل برای کلیهٔ حالت‌های گردش به چپ مجاز اعم از خطوط انحصاری یا مشترک بکار می‌آید. متغیرهای زیر برای بدست آوردن این ضریب گردش به چپ F_{LT} مورد استفاده قرار می‌گیرند.

C = طول چرخه چراغ برحسب ثانیه

g = زمان سبز موثر بر حسب ثانیه

g_q = بخشی از زمان سبز که حرکت گردش به چپ‌کنندگان بوسیله صف وسایل نقلیه مقابل مسدود می‌شود.

g_u = بخشی از زمان سبز که حرکت گردش به چپ‌کنندگان بوسیله صف وسایل نقلیه مقابل مسدود نمی‌شود، برحسب ثانیه

جدول ۴ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای عرض خط f_w

عرض خط m	۲/۴۰	۲/۷۰	۳/۰	۳/۳۰	۳/۶۰	۳/۹۰	۴/۲۰	۴/۵۰	۴/۸۰
ضریب عرض خط	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۷	۱	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۱۰	۲

جدول ۵ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای وسایل نقلیه سنگین f_{hv}

درصد وسایل نقلیه سنگین	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
ضریب وسایل نقلیه سنگین	۱/۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۷

جدول ۶ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای شیب f_g

	سربالا			تراز	سرپایین		
شیب	۶ +	۴ +	۲ +	۰	۲ -	۴ -	۶ -
ضریب شیب	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۳

جدول ۷ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای پارکینگ f_b

تعداد خطوط	بدون	تعداد عملیات پارکینگ در ساعت N_m				
در گروه خط	پارکینگ	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
۱	۱/۰۰	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۷۰
۲	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۵
۳	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۹

جدول ۸ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای راه‌بندان اتوبوس f_{bb}

تعداد خطوط	تعداد توقف اتوبوس در ساعت N_b				
در گروه خط	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰
۱	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۳
۲	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۲
۳	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴

جدول ۹ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای نوع ناحیه شهری f_a

نوع ناحیه	ضریب f_a
CBD	۰/۹۰
سایر نواحی	۱/۰۰

جدول ۱۰ - ۱۳ . ضریب تصحیح برای گردش به راست

حالت	نوع گروه خط	f_{RT} ضرایب گردش به راست
1	خط گردش به راست انحصاری فازبندی مخصوص گردش به راست	0.85
2	خط گردش براست انحصاری : گردش به راست آزاد	$f_{RT} = 0.85 - (peds / 2,100)$ peds ≤ 1,700 $f_{RT} = 0.05$ peds > 1,700

تعداد عابر پیاده برخوردی (نفر)	0	50 (Low)	100	200 (Mod)	300	400 (High)	500
ضریب	0.85	0.83	0.80	0.75	0.71	0.66	0.61
تعداد عابر پیاده برخوردی (نفر)	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	≥ 1,700
ضریب	0.56	0.47	0.37	0.28	0.18	0.05	0.05

حالت	نوع گروه خط	f_{RT} ضرایب گردش به راست
3	گردش به راست انحصاری: فازبندی مخصوص گردش به راست بعلاوه گردش به راست آزاد	$f_{RT} = 0.85 - (1 - P_{RTA}) (peds / 2,100)$ $f_{RT} = 0.85$ - (حداقل)

تعداد عابر پیاده برخوردی (نفر)	P_{RTA} نسبت گردش به راست که از فاز حفاظت شده استفاده می‌کنند					
	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
50 (Low)	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85
100	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
200 (Mod)	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85
300	0.71	0.74	0.76	0.79	0.82	0.85
400 (High)	0.66	0.70	0.74	0.77	0.81	0.85
600	0.56	0.62	0.68	0.74	0.79	0.85
800	0.47	0.55	0.62	0.70	0.77	0.85
1,000	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.85
1,400	0.18	0.32	0.45	0.58	0.72	0.85
≥ 1,700	0.05	0.20	0.36	0.53	0.69	0.85

حالت	نوع گروه خط	f_{RT} ضرایب گردش به راست
4	خط گردش به راست مشترک: فازبندی مخصوص	$f_{RT} = 1.0 - 0.15\ P_{RT}$

نسبت گردش به راست در خط P_{RT}	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
ضریب	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85

حالت	نوع گروه خط	f_{RT} ضرایب گردش به راست
5	خط گردش به راست مشترک : گردش به راست آزاد	$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} [0.15 + (peds / 2,100)]$ $f_{RT} = 0.05$ - (حداقل)

تعداد بر پیاده رو برخوردی (نفر)	P_{RT} نسبت گردش به راست در گروه خطوط					
	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
50(Low)	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
100	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80
200(Mod)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
400(High)	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66
600	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56
800	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47
1,000	1.00	0.87	0.75	0.62	0.50	0.37
1,400	1.00	0.84	0.67	0.51	0.35	0.18
≥1,700	1.00	0.81	0.62	0.42	0.23	0.05

جدول ۱۰ - ۱۳ (ادامه) ضریب تصحیح برای گردش به راست

حالت	نوع گروه خطوط	ضرایب گردش به راست f_{RT}						
6	خط گردش به راست مشترک: فازبندی مخصوص بعلاوه گردش به راست آزاد	$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} [0.15 + (peds / 2,100) (1 - P_{RTA})]$ $f_{RT} = 0.05 - (minimum)$						
		نسبت گردش به راست در فاز مخصوص	تعداد عابر پیاده برخوردی (نفر)	نسبت گردش به راست در گروه خطوط P_{RT}					
				0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0.00	All	Same as Case 5					
		0.20	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
			200	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77
			400	1.00	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70
			600	1.00	0.92	0.85	0.77	0.70	0.62
			1,000	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47
			1,400	1.00	0.86	0.73	0.59	0.45	0.32
			≥ 1,700	1.00	0.81	0.62	0.42	0.23	0.20
		0.40	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.91	0.87	0.84
			200	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79
			400	1.00	0.95	0.89	0.84	0.79	0.74
			600	1.00	0.94	0.87	0.81	0.74	0.68
			1,000	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56
			1,400	1.00	0.89	0.78	0.67	0.56	0.45
			≥ 1,700	1.00	0.87	0.75	0.62	0.49	0.36
		0.60	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84
			200	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81
			400	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77
			600	1.00	0.94	0.89	0.84	0.79	0.74
			1,000	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66
			1,400	1.00	0.92	0.93	0.75	0.67	0.58
			≥ 1,700	1.00	0.91	0.81	0.72	0.62	0.53
		0.80	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			200	1.00	1.97	1.93	0.90	0.86	0.83
			400	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81
			600	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79
			1,000	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
			1,400	1.00	0.94	0.89	0.83	0.77	0.72
			≥ 1,700	1.00	0.94	0.88	0.81	0.75	0.69
		1.00	All	مانند حالت ۴					
7	رویکرد یک خطه	$f_{RT} = 0.90 - P_{RT} [0.135 + (peds / 2,100)]$ $f_{RT} = 0.05 - (minimum)$							
		تعداد عابر پیاده برخوردی		نسبت گردش به راست در یک خط					
				0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0		1.00	0.87	0.85	0.82	0.79	0.77
		50 (Low)		1.00	0.87	0.84	0.81	0.77	0.74
		100		1.00	0.86	0.83	0.79	0.76	0.72
		200 (Mod)		1.00	0.86	0.81	0.77	0.72	0.68
		300		1.00	0.85	0.79	0.74	0.69	0.64
		400 (High)		1.00	0.84	0.78	0.72	0.65	0.59
		600		1.00	0.82	0.74	0.66	0.59	0.51
		800		1.00	0.80	0.71	0.61	0.52	0.42
		1,000		1.00	0.79	0.67	0.56	0.45	0.34
		1,200		1.00	0.77	0.64	0.51	0.38	0.25
		1,400		1.00	0.75	0.61	0.46	0.31	0.16
		≥ 1,700		1.00	0.73	0.55	0.38	0.21	0.05
8	خط گردش به راست دوگانه: فازبندی مخصوص	0.75							

جدول ۱۱ - ۱۳ . ضرایب تصحیح برای گردش به چپ

حالت	نوع گروه خطوط	ضریب گردش به چپ
1	خط گردش به چپ انحصاری : فاز بندی مخصوص	0.95
2	خط گردش به چپ انحصاری : فاز بندی آزاد	روش خاص : به کار برگ مراجعه شود
3	خط گردش به چپ انحصاری : فاز بندی مخصوص و آزاد	0.95 #
4	خط گردش به چپ مشترک فاز بندی مخصوص	$f_{LT} = 1.0 / (1.0 + 0.05\ P_{LT})$

Prop. of LT s in Lane. P_{LT}	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95

5	خط گردش به چپ مشترک فاز بندی آزاد	روش خاص : به کار برگ مراجعه شود
6	خط گردش به چپ مشترک فاز بندی مخصوص بعلاوه آزاد	$f_{LT} = (1,400 - V_0) / [(1,400 - V_0) + (235 + 0.435\ V_0)\ P_{LT}]$ $V_0 \leq 1,220$ vph $f_{LT} = 1/ [1 + 1 + 4.525\ P_{LT}]$ $V_0 > 1,220$ vph

حجم مقابل	نسبت گردش به چپ					
	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78
400	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
600	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61
800	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49
1,000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.39
1,200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20
≥ 1,220	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18

7	رویکرد یک خطه	روش خاص : به کار برگ مراجعه شود
8	خط گردش به چپ انحصاری دو تایی : فاز بندی مخصوص	0.92

* این مقدار برآورد اولیه است. برای این حالت جوابها برروش تکرار بدست می آیند.

g_f = بخش اولیه زمان سبز که در آن وسایل نقلیه مستقیم می‌توانند از یک خط مشترک عبور کنند. این حرکت تا هنگام رسیدن نخستین وسیله چپگرد که منتظر پایان صف وسایل نقلیه مخالف مانده است ادامه یافته و سپس عبور از خط برای سایر وسایل عبور مستقیم، در مدت g_q مسدود می‌شود.

E_L = وسیله نقلیه مستقیم معادل برای گردش به چپ‌کنندگان

V_a = تردد کل رویکرد بر حسب vph

V_m = تردد خط اصلی رویکرد که حداکثر آن ۱۳۹۹ است.

V_{LT} = تردد گردش به چپ بر حسب vph

P_{LT} = نسبت گردش به چپ در جریان گروه خط

P_{LTO} = نسبت گردش به چپ در جریان مخالف

P_L = نسبت گردش بچپ در خط گردش به چپ یا میانه مشترک

P_T = نسبت وسایل نقلیه، مستقیم در خط گردش به چپ یا میانه مشترک

N = تعداد خطوط در رویکرد یا گروه خط

N_0 = تعداد خطوط در خط اصلی مخالف با گردش به چپ‌های آزاد

V_0 = تردد مخالف به استثناء گردش به چپ‌های خطوط انحصاری یا رویکرد یک خطه، حداکثر مقدار V_0 برابر ۱۳۹۹ است.

S_{op} = تردد اشباع برای رویکرد مخالف بر حسب $vphg$

Y_0 = تردد برای رویکرد مخالف $Y_0 = V_0 / S_{OP}$

f_s = ضریب اشباع گردش به چپ

این ضریب تعدیل گردش به چپ، منعکس کننده تاثیر سه جریان متشکله زیر در هر دوره سبز چراغ است: (۱) جریان مستقیم در خط مشترک در آغاز سبز تا هنگامیکه وسیله نقلیه چپگردی که خط خود را مسدود کرده و منتظر فرصت مناسب است حرکت کند. (۲) جریان در خط گردش به چپ یا خط مشترک در دوره غیراشباع جریان مخالف و (۳) گردش به چپ در پایان دوره سبز بوسیله وسایل نقلیه‌ای که در تقاطع توقف کرده و منتظر فاصله مناسب میان جریان مخالف هستند.

محاسبه ضریب تعدیل گردش به چپ مناسب طی مراحل زیر صورت می‌گیرد:

الف - تردد اشباع برای جریان مخالف از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S_{op} = \frac{1800\ N_0}{1 + P_{LTO}(400 + V_m)/(1400 - V_m)} \qquad (۱۳-۹)$$

که در آن N_0 شامل خطوط گردش به چپ یا به راست در رویکرد مخالف نمی‌شود و V_m عبارت است از جریان در خط اصلی رویکرد مورد بحث که شامل گردش به چپ‌های خط انحصاری یا یک رویکرد یک خطه نمی‌شود.

ب - نسبت جریان را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$Y_0 = V_0 / S_{op} \qquad (۱۳-۱۰)$$

ج - بخشی از زمان سبز که بوسیله صف وسایل نقلیه مخالف مسدود نمی‌شود برابر است با:

$$g_u = \frac{C(g/C - Y_0)}{1 - Y_0} = \frac{(g - CY_0)}{1 - Y_0} \qquad (۱۳-۱۱)$$

$$g_u = 0 \quad \text{if} \quad Y_0 \geq g / C$$

د - ضریب اشباع گردش به چپ با استفاده از جریان مخالف محاسبه می‌شود:

$$f_s = (875 - 625\ V_0) / 1000 \qquad (۱۳-۱۲)$$

که در آن V_0 کل جریان ترافیک مخالف است. وسایل نقلیه چپگرد فقط هنگامی باید در نظر گرفته شوند که گردش به چپ‌ها از یک خط مشترک واقع در یک رویکرد چندخطه در یک فاز مخصوص صورت بگیرند. در صورتی که گردش به چپ‌ها در یک رویکرد یک خطه یا یک خط گردش به چپ انحصاری صورت گیرند در نظر گرفته نخواهند شد.

هـ - در صورتی که گردش به چپ مورد نظر از یک خط مشترک انجام شود نسبت جریان گردش به چپ در خط مشترک از رابطه زیر بدست می‌آید:

(۱۳-۱۳)

$$P_L = P_{LT}\ [\ 1 + (N - 1)\ g / f_s\ g_u + 4.5\ )\ ]$$

اگر گردش به چپ از یک خط انحصاری صورت گیرد $P_L = 1.0$ زیرا صد در صد ترافیک این خط گردش به چپ می‌کنند.

و - بخشی از زمان سبز که در آن وسایل نقلیه مستقیم می‌توانند در یک خط مشترک عبور کنند تا اینکه وسیله نقلیه گردش به چپ کننده فرا رسد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$g_f = \frac{2P_T}{P_L}\left[1 - P_T^{0.5gq}\right] \qquad (۱۳-۱۴)$$

که در آن $g_q = g - g_u$ اگر خط گردش به چپ مجزا باشد $P_T = 0$ و $g_f = 0$ خواهد بود.

ز - در مدت زمانی که عبور جریان مخالف در فاز سبز بصورت غیراشباع است، g_u تعداد وسیله نقلیه مستقیم معادل با گردش به چپ‌کنندگان در برخورد با جریان مخالف، برابر است با:

$$E_L = \frac{1800}{1400 - V_0} \qquad (۱۳-۱۵)$$

ح - ضریب گردش به چپ برای یک خط مشترک گردش به چپ / عبور مستقیم یا یک خط گردش به چپ انحصاری از رابطه زیر بدست می‌آید:

(۱۳-۱۶)

$$f_m = \frac{g_f}{g} + \frac{g_u}{g}\left\{\frac{1}{1+P_L(E_L-1)}\right\} + \frac{2}{g}\left\{1 + P_L\right\}$$

($f_m \leq 1$:تذکر)

این ضریب فقط برای خط‌های منفرد گردش به چپ اعمال می‌شود. بنابراین اگر رویکرد یک خطه باشد $f_{LT} = f_m$ در مورد خطوط مشترک در رویکردهای چند خطه ضریب گردش به چپ برای گروه خط یا رویکرد برابر است با:

$$f_{lt} = (f_m + n - 1) / N \qquad (۱۳-۱۷)$$

گرچه این دستورالعمل تعیین ضریب گردش به چپ برای گردش به چپ‌های آزاد تا حدی پیچیده می‌نماید ولی بیان تحلیلی منطقی از یک فرایند تعادلی پیچیده است.

باید توجه داشت که برآورد دقیق ضریب تعدیل گردش به چپ مستلزم آگاهی از پارامترهای زمانبندی چراغ‌ها، بالاخص طول چرخه و زمان سبز است. در صورتیکه زمانبندی چراغ نامعلوم باشد می‌توان یک دوره ۹۰ - ۶۰ ثانیه‌ای با زمان‌های سبز متناسب با میانگین جریان خطوط در هر فاز فرض نمود. این فرضیات را می‌توان پس از بدست آوردن یک زمانبندی دقیق‌تر تکرار نمود. ولی این کار ضرورت چندانی ندارد زیرا تاثیر آن روی ضریب تهایی قابل توجه نیست.

۴ - *واحد تحلیل ظرفیت*

در واحد تحلیل ظرفیت نتایج محاسباتی واحدهای قبل، برای محاسبه پارامترهای ظرفیت بکار می‌آیند. این پارامترها عبارتند از:

۱ - نسبت تردد برای هر گروه خط

۲ - ظرفیت هر گروه خط

۳ - نسبت V / C برای هر گروه خط

۴ - نسبت V / C بحرانی برای کل تقاطع

نسبت‌های تردد از تقسیم کردن جریان تقاضای تبدیل شده V در "واحد تعدیل حجم" بر تردد اشباع تعدیل شده S در واحد "تردد اشباع" بدست می‌آید.

ظرفیت هر گروه خط برابر است با:

$$C_i = S_i \times (g / C)_i$$

در صورتیکه زمانبندی چراغ نامعلوم باشد برای این محاسبات یک طرح زمانبندی فرض خواهد شد.

نسبت V / C برای هر گروه خط مستقیماً از تقسیم کردن ترددهای تعدیل شده بر ظرفیت‌های محاسباتی بدست می‌آید:

$$X_i = V_i / C_i$$

آخرین پارامتر ظرفیت نسبت V / C بحرانی X_c برای تقاطع است. این پارامتر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$X_c = \sum (V / S)_{ci} \times [C / (C - L)]$$

این نسبت بیانگر بخشی از ظرفیت موجود است که وسایل نقلیه در گروه خط بحرانی مورد استفاده قرار می‌دهند. اگر این نسبت بیشتر از ۱/۰۰ شود یک یا چند گروه خط بحرانی، فوق اشباع خواهد بود. بنابراین نشاندهنده عدم کفایت طرح تقاطع، طول چرخه، طرح فازبندی و یا زمانبندی چراغ‌ها برای تقاضای موجود یا مورد نظر است. یک نسبت کوچکتر از ۱/۰۰ نشاندهنده این است که طرح تقاطع، طول چرخه چراغ و طرح فازبندی برای عبور جریان بحرانی بدون تجاوز از ظرفیت و با فرض تخصیص متناسب زمانهای سبز کفایت خواهد داشت. در صورتیکه تفکیک فازها متناسب نباشد ممکن است بعضی از تقاضاها علیرغم نسبت بحرانی V / C کوچکتر از ۱/۰۰ از ظرفیت تجاوز کنند.

برای محاسبه این نسبت لازم است گروه خطوط بحرانی معین شوند. در صورتیکه فازهای چراغ همپوشانی نداشته باشند تعیین گروه خطوط بحرانی به سهولت انجام می‌شود. در فازهای همپوشا، براسطه اینکه گروه خط‌های مختلف می‌توانند در چند

فاز چراغ حرکت داشته باشند، موضوع پیچیده می‌گردد. برای تعیین گروه خط‌های بحرانی نکات زیر حائز اهمیت است:

۱ - در صورتی که فازها همپوشانی نداشته باشند:

الف - برای هر فاز چراغ یک گروه خط بحرانی وجود خواهد داشت.

ب - در یک فاز مفروض چراغ، گروه خطی بحرانی خواهد بود که دارای بالاترین نسبت تردد V / C باشد.

ج - برای محاسبه یا فرض زمانبندی چراغ از گروه خطوط بحرانی استفاده به عمل می‌آید.

۲ - در صورتی که فازها همپوشانی داشته باشند:

الف - بر اساس طرح فازبندی، ترکیب‌های مختلفی از گروه خطهایی که ممکن است بالاترین مقدار مصرف ظرفیت موجود را داشته باشند بدست می‌آید، در صورت نیاز به محاسبه زمانبندی چراغ از همین گروه خطها استفاده می‌شود.

ب - در آزمون طرح فازبندی برای بدست آوردن ترکیب‌های احتمالی گروه خط بحرانی، هیچ فاز یا بخشی از یک فاز نمی‌تواند بیش از یک گروه خط بحرانی داشته باشد. بنابراین، اگر یک گروه خط برای مجموع فازهای X و Y بحرانی باشد هیچکدام از فازهای X یا Y نمی‌توانند دارای گروه خط بحرانی دیگری برای همان فاز یا هر ترکیب دیگری از فازها داشته باشد.

ج - در صورتیکه محاسبه زمانبندی چراغ مورد نیاز باشد از گروه خطوط بحرانی استفاده به عمل می‌آید.

۵ - واحد محاسبه سطح سرویس

در واحد سطح سرویس میانگین تاخیر توقف بر وسیله برای کلیه گروه خطها محاسبه شده و سپس برای کل رویکردها یا تقاطع، میانگین گرفته می‌شود. سطح سرویس مستقیماً به مقدار تاخیر ارتباط داشته و از جدول ۱ - ۱۳ بدست می‌آید.

۱ - تاخیر با فرض فرارسید اتفاقی : تاخیر برای هر گروه خط از رابطه زیر بدست می‌آید:

(۱۸ - ۱۳)

$$d = 0.38C \frac{[1-g/C]}{[1-(g/C)(X)]} + 173X^2 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/C)} \right]$$

که در آن:

d = میانگین تاخیر توقف بر وسیله برای گروه خط برحسب ثانیه بر وسیله نقلیه

C = طول چرخه برحسب ثانیه

g / C = نسبت سبز برای گروه خط؛ نسبت زمان سبز موثر به طول چرخه

X = نسبت V / C برای گروه خط

C = ظرفیت گروه خط

معادله فوق میانگین تاخیر توقف بر وسیله را برای یک الگوی اتفاقی فرارسیدن وسایل نقلیه بدست می‌دهد. جمله اول معادله بیانگر تاخیر یکنواخت است یعنی تاخیری که اگر فرارسیدن تقاضا در گروه خط مورد نظر بصورت یکنواخت در زمان توزیع می‌شد بدست می‌آمد. جمله دوم معادله بیانگر اضافه تاخیر فرارسید اتفاقی نسبت به فرارسید یکنواخت و نیز تاخیر اضافی ناشی از اشکالات چرخه چراغ است. این معادله برای مقادیر X میان ۰/۰ و ۱/۰ نتایج معقولی بدست می‌دهد. در صورتیکه برای مدت طولانی (> ۱۵ دقیقه) حالت فوق اشباع رخ دهد، محاسبه دقیق تاخیر مشکل می‌گردد زیرا ممکن است ازدحام به سایر تقاطع‌های مجاور نیز سرایت کند. می‌توان از این معادله تا مقادیر X نزدیک به ۱/۲ با احتیاط استفاده نمود ولی برای مقادیر بالاتر توصیه نمی‌شود.

معمولاً محاسبات جمله‌های مربوط به تاخیر یکنواخت و تاخیر اضافه بطور مجزا صورت می‌گیرد. تحلیلگر می‌تواند با استفاده از این مقادیر نسبت تاخیر اشکالات چرخه به کل تاخیر را بسنجد. بنابراین:

$$d = d_1 + d_2 \qquad (۱۹ - ۱۳)$$

که در آن:

d_1 = جمله اول تاخیر یکنواخت بر حسب sec / veh

d_2 = جمله دوم تاخیر اضافه بر حسب sec / veh

۲ - ضریب تعدیل پیشروی : معادلات ۱۸ - ۱۳ و ۱۹ - ۱۳، تاخیر را در شرایط فرارسید اتفاقی بدست می‌دهند. در بیشتر حالات، فرارسیدها اتفاقی نبوده بلکه بواسطه هماهنگی چراغ‌ها و سایر عوامل بصورت دسته‌ای هستند. برای هر گروه خط پنج نوع فرارسید تعریف شده است که یکی از آنها به عنوان اطلاعات ورودی مشخص می‌شود. تاخیر بدست آمده از معادله ۱۸ - ۱۳ یا ۱۹ - ۱۳ در ضریب تعدیل فرارسید که از جدول ۱۲ - ۱۳ بدست می‌آید ضرب می‌شود.

در صورتیکه هماهنگی چراغها برای یک گروه خط مطلوب باشد، تاخیر به مقدار قابل توجهی کمتر از حالت فرارسید اتفاقی خواهد بود. به همین ترتیب اگر هماهنگی چراغها نامطلوب باشد تاخیر می‌تواند خیلی بیشتر از حالت فرارسید اتفاقی باشد. میزان تغییرات تاخیر نسبت به کیفیت هماهنگی با نزدیک شدن نسبت V / C ، (X) ، به یک کاهش یافته و برای چراغهای پیشرونده بیشتر از سایر انواع چراغها است. معمولاً تاخیر گردش به چپ تحت تاثیر پیشروی قرار ندارد.

تاخیر، متغیر پیچیده‌ای است که بستگی به بسیاری از شرایط محلی و محیطی دارد. روشهای موجود یک برآورد منطقی از تاخیر مورد انتظار در شرایط میانگین بدست می‌دهند. بیشترین کاربرد آنها در مقایسه شرایط عملکردی طرح‌های مختلف هندسی یا چراغبندی تقاطع است. در صورتیکه ارزیابی شرایط موجود مورد نظر باشد توصیه می‌شود که تاخیر در محل اندازه‌گیری شود.

۳ - برآورد تاخیر جمعی : روشی که برای برآورد تاخیر ارائه شد میانگین تاخیر توقف بر وسیله نقلیه را برای هر گروه خط بدست می‌دهد. مجموع این مقادیر نیز برای بدست آوردن میانگین تاخیر در یک رویکرد تقاطع و در کل تقاطع مورد نیاز است. معمولاً این کار با محاسبه میانگین وزنی که در آن وزن مربوط به تاخیر هر گروه خط جریان‌های تعدیل شده آن گروه خطوط است صورت می‌گیرد.

بنابراین تعدیل هر رویکرد بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_A = \sum d_i V_i / \sum V_i \qquad (۱۳-۲۰)$$

که در آن:

d_A = تاخیر برای رویکرد A بر حسب sec / veh

d_i = تاخیر برای گروه خط i (واقع در رویکرد A) بر حسب sec / veh

V_i = تردد تعدیل شده برای گروه خطوط i بر حسب vph

سپس می‌توان میانگین تاخیر رویکرد را نیز بدست آورد تا تاخیر میانگین برای کل تقاطع حاصل شود:

$$d_I = \sum_A d_A V_A / \sum V_A \qquad (۱۳-۱۲)$$

که در آن:

d_I = میانگین تاخیر بر وسیله نقلیه برای تقاطع برحسب sec / veh و

V_A = جریان تعدیل شده رویکرد A بر حسب vph

جدول ۱۲ - ۱۳ . ضریب تعدیل پیشروی

نوع چراغ راهنمایی	نوع گروه خط	نسبت X ، V/C	نوع فرا رسید				
			1	2	3	4	5
زمان ثابت	TH, RT	≤ 0.6	1.85	0.35	1.00	0.72	0.53
a		0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.67
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.82
متغیّر	TH, RT	≤ 0.6	1.54	1.08	0.85	0.62	0.40
		0.8	1.25	0.98	0.85	0.71	0.50
		1.0	1.16	0.64	0.85	0.78	0.61
نیمه متغیّر	خیابان اصلی	≤ 0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	0.42
	TH,RT	0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.53
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.65
نیمه متغیر	خیابان فرعی	≤ 0.6	1.48	1.18	1.00	0.86	0.70
	TH,RT	0.8	1.20	1.07	1.00	0.98	0.89
		1.0	1.12	1.04	1.00	1.00	1.00
	کل LT	all	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

۴ - تعیین سطح سرویس : سطح سرویس تقاطع ارتباط مستقیمی با میانگین تاخیر توقف بر وسیله نقلیه دارد. پس از برآورد تاخیرهای گروه خطوط و تاخیر جمعی رویکردها و کل تقاطع با استفاده از جدول، سطوح سرویس مربوطه معین می‌شود.

تفسیر نتایج

نتایج حاصل از تحلیل عملکردی دو نتیجه کلیدی به دست می‌دهد که باید مورد توجه قرار گیرد:

۱ - نسبت V / C برای کلیه گروه خطوط و کل تقاطع

۲ - میانگین تاخیر توقف برای کلیه گروه خطوط، رویکردها و سطح سرویس مربوطه.

هر نسبت V / C بزرگتر از ۱/۰۰ موید یک نابسامانی بالفعل یا بالقوه و نیاز به انجام اصلاحات است. اگر نسبت V / C بحرانی کوچکتر از ۱/۰۰ باشد ولی برخی از گروه خطوط دارای نسبت V / C بزرگتر از ۱/۰۰ باشند احتمالاً زمان سبز بطور متناسبی تقسیم نشده و باید زمانبندی مجدد چراغدهی موجود مورد توجه قرار گیرد.

در صورتیکه نسبت V / C بحرانی بزرگتر از ۱/۰۰ باشد این نشاندهنده ناکافی بودن ظرفیت طرح هندسی چراغگذاری برای جریان موجود یا مورد انتظار خواهد بود. اصلاحاتی که باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

۱ - تغییرات کلی در هندسه تقاطع (تعداد کاربرد خطوط)

۲ - افزایش طول چرخه چراغ

۳ - تغییر طرح چراغدهی

باید توجه داشت که نسبت‌های V / C نزدیک به ۱/۰۰ نمایانگر کمبود ظرفیت برای جذب افزایش تقاضا هستند. بویژه در صورتیکه طراحی بر اساس حجم‌های پیش‌بینی شده انجام شود خطاهای معمول در این گونه پیش‌بینی‌ها می‌تواند باعث شود که تقاطع نزدیک به ظرفیت یا فوق اشباع عمل کند.

مسئله نمونه

تحلیل عملکردی یک چراغ ثابت سه فازه

صورت مسئله : در شکل ۳ - ۱۳ تقاطع خیابان ششم و بلوار غربی و حجم تقاضاهای پیش‌بینی شده برای آنها نشان داده شده است. خیابان ششم یک‌طرفه و دارای دو خط عبور و دو پارکینگ است. بلوار غربی یک شریانی دو طرفه مجزا، بدون خطوط پارکینگ، با دو خط عبور در هر جهت و یک خط گردش به چپ برای رویکرد رو به شرق است.

مطلوب است زمانبندی مجدد طرح چراغ سه فازه موجود و بررسی این که آیا این زمانبندی می‌تواند بدون اصلاحات هندسی پاسخگوی تقاضای پیش‌بینی شده باشد یا نه.

حل مسئله : راه حل مسئله بصورت واحد به واحد ارائه می‌شود:

الف - واحد ورودی - در شکل ۳ - ۱۳ کاربرگ واحد ورودی نشان داده شده است. قسمت فوقانی کاربرگ نشاندهنده شرایط هندسی موجود و حجم تقاضای پیش‌بینی شده و نیز حرکت‌های گردشی می‌باشد. در بلوار غربی در محدودهٔ تقاطع ایستگاه‌های اتوبوس نیز وجود دارد.

در قسمت میانی کاربرگ سایر اطلاعات هندسی و ترافیکی ارائه شده است. رویکرد رو به شمال (*NB*) در یک سراشیبی ۲ درصدی واقع شده و در خطوط پارکینگ آن ۲۰ عمل پارکینگ در ساعت انجام می‌شود. در هر ساعت ۲۰ اتوبوس از هر ایستگاه واقع در رویکردهای رو به شرق و غرب (*WB* و *EB*) استفاده می‌کنند. حجم پیاده‌روندگان سبک بوده و برای کلیه رویکردها از مقدار جایگزین ۵۰ *peds / hr* استفاده می‌شود. چون چراغ مخصوص عابرین پیاده وجود ندارد حداقل زمان سبز برای عابرین پیاده از رابطه ۵ - ۱۳ بدست می‌آید:

$$G_p = 7.0 + W / 4.0 - Y$$

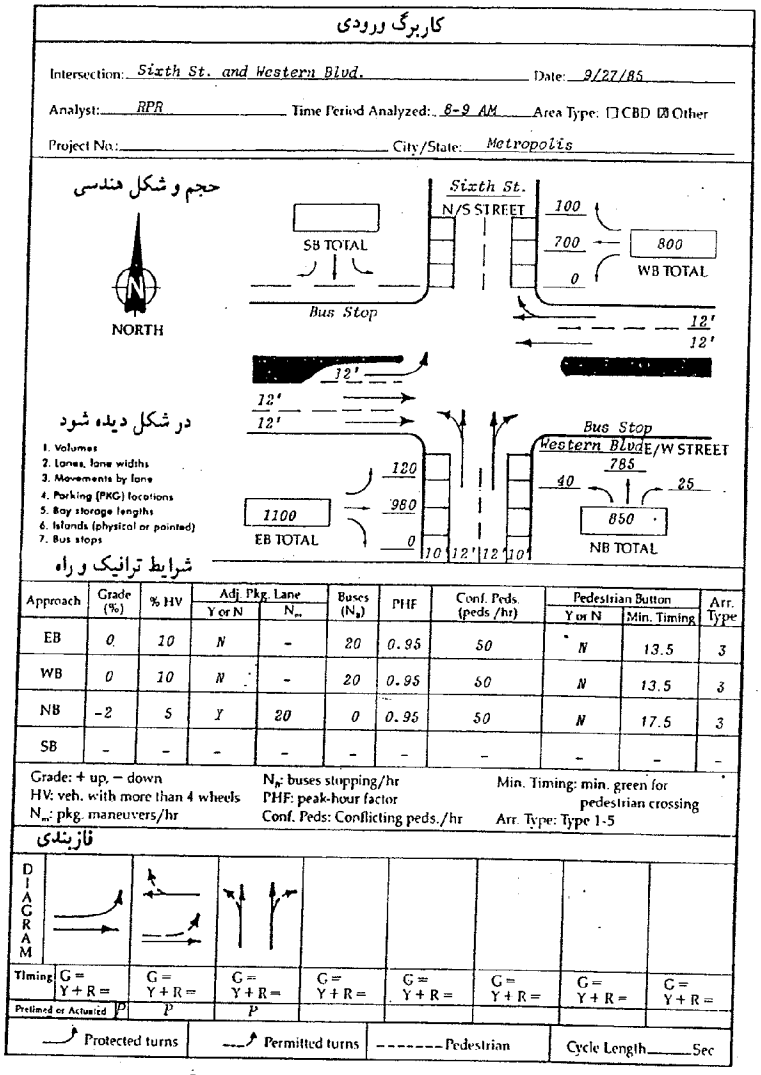
G_p *(Western Blvd. E-W)=7.0+38/4.0-3.0=13.5 sec*

G_p *(Sixth Street N-S)=7.0+54/4.0-3.0=17.5 sec*

این چراغ در هیچ سیستم پیشروی هماهنگ نشده و بنابراین فرارسید از نوع سوم است.

در قسمت پایینی کاربرگ واحد ورودی، طرح فازبندی چراغ نشان داده شده است. این طرح شامل یک سبز برای جریان رو به شرق، (*EB*) یک جریان فاز عبور مستقیم شرق - غرب (*EB - WB*) که در حین آن گردش به چپ‌های جریان رو به شرق (*EB*) آزاد است و فاز سوم مربوط به حرکت‌های رو به شمال (*NB*) است.

ب - واحد تعدیل حجم- در شکل ۴ - ۱۳ کاربرگ واحد تعدیل حجم نشان داده شده است. حجم‌های تردد در ستون ۳ وارد شده و بر *PHF* تقسیم می‌شوند تا ترددهای ستون بدست آیند. حال می‌توان گروه‌بندی خطوط را انجام داد.



کاربرگ ورودی

Intersection: Sixth St. and Western Blvd. Date: 9/27/85

Analyst: RPR Time Period Analyzed: 8-9 AM Area Type: ☐ CBD ☒ Other

Project No.: City/State: Metropolis

حجم و شکل هندسی

در شکل دیده شود

1. Volumes
2. Lanes, lane widths
3. Movements by lane
4. Parking (PKG) locations
5. Bay storage lengths
6. Islands (physical or painted)
7. Bus stops

NORTH

Sixth St. N/S STREET

SB TOTAL

Bus Stop

100 700 0 800 WB TOTAL

12' 12' 12' 12'

Bus Stop Western Blvd E/W STREET

120 980 0 1100 EB TOTAL

40 785 25 850 NB TOTAL

10 12' 12 10

شرایط ترافیک و راه

Approach	Grade (%)	% HV	Adj. Pkg. Lane Y or N	Adj. Pkg. Lane N_m	Buses (N_b)	PHF	Conf. Peds. (peds/hr)	Pedestrian Button Y or N	Pedestrian Button Min. Timing	Arr. Type
EB	0	10	N	-	20	0.95	50	N	13.5	3
WB	0	10	N	-	20	0.95	50	N	13.5	3
NB	-2	5	Y	20	0	0.95	50	N	17.5	3
SB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Grade: + up, − down
HV: veh. with more than 4 wheels
N_m: pkg. maneuvers/hr
N_b: buses stopping/hr
PHF: peak-hour factor
Conf. Peds: Conflicting peds./hr
Min. Timing: min. green for pedestrian crossing
Arr. Type: Type 1-5

فازبندی

DIAGRAM								
Timing	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =	G = Y + R =
Pretimed or Actuated	P	P	P					

Protected turns ---→ Permitted turns ------- Pedestrian Cycle Length ____ Sec

شکل ۳ - ۱۳. کاربرگ واحد ورودی مسئله نمونه

رویکرد رو به شرق (*EB*) دارای یک گروه خط مجزا برای خط گردش به چپ (*LT*) انحصاری است. دو خط گردش به راست - عبور مستقیم (*RT / TH*) تشکیل یک گروه خط مجزا می‌دهند هریک از رویکردهای رو به غرب و رو به شمال را (*WB* و *NB*) را می‌توان با یک گروه خط نمایش داد. زیرا هیچکدام از آنها در برخورد با گردش به چپ‌های مخالف که می‌توانند باعث برهم خوردن تعادل توزیع خطوط شوند نیستند. گروه‌های خطوط در ستون ۶ کاربرگ مشخص شده‌اند.

تردد کل هر گروه خطوط، در ستون ۷ کاربرگ وارد شده است. کلیه گردش به چپ‌های رو به شرق به گروه خط گردش به چپ تخصیص یافته‌اند.

تعداد خط‌های هر گروه خط در ستون ۸ کاربرگ وارد شده است. گروه خط چپگرد رو به شرق دارای یک خط بوده در حالیکه سایر گروه‌ها مرکب از دو خط هستند.

ضریب کاربری خطوط بدست آمده از جدول ۳ - ۱۳ در ستون ۹ کاربرگ آمده است. این ضریب برای گروه خطوط یک خطه برابر ۱/۰۰ و برای گروه خطوط دو خطه ۱/۰۵ است.

تردد تعدیل یافته برای هر گروه خط در ستون ۱۰ کاربرگ‌ها محاسبه شده است. تردد هر گروه خط در ضریب کاربری خط مربوطه *U* ضرب شده است. آخرین ستون محتوی نسبت‌های گردش به چپ و یا به راست در هر گروه خط است که با تقریب کمتر از ۰/۰۱ گرد شده‌اند.

ج - واحد محاسبه تردد اشباع - در شکل ۵ - ۱۳ کاربرگ مربوط به واحد محاسبه تردد اشباع نشان داده شده است. گروه‌های خطوط مجدداً در ستون ۲ مشخص شده‌اند. ستون سوم محتوی تردد اشباع ایده‌آل برای هر گروه خط است.

در این محاسبات برای کلیه گروه خط‌ها از مقدار *pcphgpl* ۱۸۰۰ استفاده شده خواهد شد. ستونهای بعدی مربوط به تعداد خطوط در هر گروه خط و تعدیل‌های تردد اشباع هستند:

* تعداد خطوط - تعداد خطوط در هر گروه خط در ستون ۴ کاربرگ ثبت می‌شود.

* ضریب عرض خط - ضریب تعدیل عرض خط با استفاده از جدول ۴ - ۱۳ بدست می‌آید. چون عرض کلیه خطوط ۳/۶ متر است تمامی ضریب‌ها برابر ۱/۰۰ خواهند بود.

* ضریب ترافیک سنگین - با استفاده از جدول ۵ - ۱۳ ضریب وسایل نقلیه سنگین برای ۱۰ درصد وسیله نقلیه سنگین در رویکرد رو به شمال برابر ۰/۹۷۵ بدست می‌آید.

* ضریب شیب - ضریب شیب از جدول ۶ - ۱۳ انتخاب می‌شود. این مقدار برای شیب صفر در رویکردهای شرقی و غربی برابر ۱/۰۰ و برای ۲ درصد سراشیب در رویکرد رو به شمال برابر ۱/۰۱ خواهد بود.

*ضریب پارکینگ - ضریب پارکینگ از جدول ۷ - ۱۳ بدست آمده است. برای رویکردهای شرقی و غربی که در آنها پارکینگ وجود ندارد این ضریب برابر ۱/۰۰ است. در مورد رویکرد رو به شمال این ضریب برای یک گروه دو خطه و ۲۰ عمل پارکینگ در ساعت برابر ۰/۸۹ است.

* ضریب راه‌بندان اتوبوس - ضریب راه‌بندان اتوبوس برای گروه خطوط شرقی و غربی برابر ۰/۹۶ است، زیرا هریک از آنها دارای ۲۰ اتوبوس در ساعت هستند.

* ضریب نوع ناحیه - ضریب نوع ناحیه از جدول ۹ - ۱۳ برای یک محل خارج از *CBD* بدست آمده است. این ضریب برای کلیه حرکت‌ها برابر ۱/۰۰ است.

* ضریب گردش به راست - ضریب گردش به راست از جدول ۱۰ - ۱۳ بدست آمده است. برای گروه خطوط شرقی و غربی و رو به شمال حالت ۵ مورد استفاده قرار گرفته است. این ضریب بر اساس نسبت گردش به راست‌ها در هر گروه خط (که در کاربرگ تعدیل حجم محاسبه شده است) و تعداد عابرین پیاده در ساعت (۵۰ برای کلیه رویکردها) بدست آمده است.

* ضریب گردش به چپ - ضریب‌های گردش به چپ، با استفاده از جدول ۱۱ - ۱۳ بدست آمده‌اند. برای گروه خط گردش به چپ رو به شرق حالت ۳ (خطوط انحصاری، فاز مجزا + آزاد) در نظر گرفته شده است. برای رویکرد رو به شمال فقط یک حالت وجود دارد. مانند یک خیابان یکطرفه گردش به چپ‌ها با جریان وسایل نقلیه مقابل برخورد نداشته بلکه در برخورد با عابرین پیاده هستند. برای این حالت ضریب گردش به راست معادل، از جدول ۱۰ - ۱۳ بدست می‌آید.

تردد اشباع ایده‌آل در کلیه ضریب‌های تبدیل فوق ضرب شده و نتیجه آن در ستون آخر کاربرگ وارد شده است.

د - واحد تحلیل ظرفیت - در این واحد نسبت‌های تردد محاسبه خواهند شد که با استفاده از آنها زمانبندی مجدد چراغ و تعیین زمان‌های سبز متناسب امکان‌پذیر می‌گردد. پس از محاسبه زمانبندی می‌توان ظرفیت و نسبت *V / C* را برای هر گروه خط بدست آورد.

در شکل ۶ - ۱۳ کاربرگ مربوط به این واحد نشان داده شده است. در ستون ۲ کاربرگ گروه خطوط مشخص شده‌اند. باید توجه داشت که فاز مربوط به گردش به چپ با چراغ +گردش به چپ آزاد در کاربرگ تفکیک شده است، هرچند در آغاز فرض شده بود که تمامی تقاضا در بخش چراغدار عبور می‌کنند. در ستون ۳ کاربرگ، جریانهای تعدیل شده مربوط به هر گروه با استفاده از کاربرگ تعدیل حجم وارد شده‌اند. در ستون ۴ تردد اشباع با استفاده از کاربرگ تردد اشباع وارد شده است. در ستون ۵ نسبت تردد برای هر گروه خط از تقسیم تردد تعدیل شده بر تردد اشباع محاسبه شده است.

در این مرحله گروه خطوط بحرانی مشخص می‌شوند. برای طرح فازبندی سبز نشان داده شده مجموع گروه خطوط بحرانی می‌تواند یکی از صور زیر باشد:

خط رو به شمال + خط گردش به راست ÷ عبور مستقیم رو به شرق

EBTH / RT + NB

کاربرگ تعدیل حجم

① رویکرد	② حرکت	③ حجم حرکات vph	④ ضریب ساعت اوج PHF	⑤ تردد V_p vph	⑥ گروه خط ③÷④	⑦ جریان در گروه خطوط v_s (vph)	⑧ تعداد خطوط N (vph)	⑨ ضریب کاربری خط U جدول 9-4	⑩ جریان تعدیل شود (vph) V ⑦ × ⑨	⑪ نسبت LT یا RT P_{LT} یا R_{RT}
EB	LT	120	0.95	126	↰	126	1	1.00	126	1.00
	TH	980	0.95	1032	⟶	1032	2	1.05	1084	0.0 LT 0.0 RT
	RT									
WB	LT									
	TH	700	0.95	737	⟵	842	2	1.05	884	0.0 LT .125 RT
	RT	100	0.95	105						
NB	LT	40	0.95	42						
	TH	785	0.95	826	↑↑	894	2	1.05	939	.05 LT .03 RT
	RT	25	0.95	26						
SB	LT									
	TH									
	RT									

شکل ۴ - ۱۳ . کاربرگ واحد تردد اشباع مسئله نمونه

کاربرگ تعدیل جریان اشباع

گروه خطوط		ضرایب تعدیل										
① رویکرد	② حرکتهای گروه خطوط	③ جریان اشباع ایده آل pcphgpl	④ تعداد خطوط N	⑤ عرض خطوط f_w جدول 9-5	⑥ وسایل نقلیه سنگین f_{HV} جدول 9-6	⑦ شیب f_g جدول 9-7	⑧ f_p جدول 9-8	⑨ راه‌بندان اتوبوس f_{bb} جدول 9-9	⑩ نوع منطقه f_a جدول 9-10	⑪ گردش براست f_{RT} جدول 9-11	⑫ گردش به چپ f_{LT} جدول 9-12	⑬ جریان اشباع تعدیل s (Vphg)
EB	↰+⟶	1800	1	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1625
	⟶	1800	2	1.00	0.95	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	3283
WB	⟵	1800	2	1.00	0.95	1.00	1.00	0.96	1.00	0.98	1.00	3218
NB	↑↑	1800	2	1.00	0.975	1.01	0.89	1.00	1.00	0.99	0.99	3092
SB												

شکل ۵ - ۱۳ . کاربرگ واحد تعدیل حجم مسئله نمونه

یا خط رو به شمال + خط رو به غرب + خط گردش به چپ رو به شرق $EBLT + WB + NB$

حداکثر مجموع با استفاده از گروه خطوط گردش به چپ رو به شرق، رو به غرب و رو به شمال حاصل می‌شود و اینها به عنوان گروه خطوط بحرانی مشخص می‌شوند. بنابراین مجموع نسبت‌های تردد گروه خطوط بحرانی برابر است با:

$$0.078 + 0.275 + 0.304 = 0.675$$

حال می‌توان زمانبندی چراغ را محاسبه نمود. فرض می‌شود زمان تلف شده برابر زمان‌های تعویض یعنی ۳ ثانیه در هر فاز باشد. طرح چراغدهی شامل ۳ فاز است. سبز پیشایند برای گردش به چپ رو به شرق در فاز عبور مستقیم نیز ادامه می‌یابد. بنابراین برای این فاز هیچ زمان تعویضی وجود نداشته و کل زمان تلف شده چرخه L برابر ۳ × ۲ یا ۶ ثانیه خواهد بود.
طول چرخه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = L X_c - \sum (V / S)_{ci}$$

حداقلِ طول چرخه با قرار دادن $X_c = 1.0$ بدست می‌آید.

یعنی: $C = 6\ (1.0) / [\ 1.0 - 0.657] = 17.43\ sec$

اگر یک نسبت V / C بحرانی برابر با ۰/۸ مورد نظر باشد طول چرخه حداقل برابر خواهد بود با:

$$C = 6\ (0.8) / [\ 0.8 - 0.657\ ] = 33.6\ sec$$

چون این مقدار هنوز برای یک چراغ سه فازه کوتاه است، از نسبت V / C بحرانی برابر با ۰/۷۵ استفاده می‌شود:

$$C = 6\ (0.75) / [\ 0.75 - 0.657\ ] = 48.4\ sec$$

این مقدار به نظر معقول می‌آید و بنابراین یک طول چرخه ۵۰ ثانیه‌ای انتخاب می‌شود. معمولاً طول چرخه را مضربی از ۵ ثانیه انتخاب می‌نمایند. اگر طول چرخه ۵۰ ثانیه‌ای بکار رود نسبت V / C بحرانی دقیقاً برابر خواهد شد با:

$$X_c = 0.657\ (50) / (50 - 6) = 0.746$$

زمانبندی چراغ‌ها بر اساس سیاست تساوی نسبت V / C خطوط بحرانی با مقدار ۰/۷۴۶ صورت می‌گیرد:

$$g_i = V_i\ C / S_i\ X_i = (V / S)_i\ (C / X)_i \qquad g/C$$

$$g_1 = 0.078\ (50 / 0.746) = 5.2\ sec \qquad 0.104$$
$$g_2 = 0.275\ (50 / 0.746) = 18.4\ sec \qquad 0.368$$
$$g_3 = 0.304\ (50 / 0.746) = 20.4\ sec \qquad 0.408$$
$$\underline{6.0\ sec} \qquad \text{زمان تلف شده}$$
$$50.\ sec$$

باید توجه داشت که حرکت‌های عبور مستقیم و گردش به راست در رویکرد رو به شرق، هم در فاز اول و هم دوم انجام می‌شوند. بنابراین:

$$g\ (EB\ TH/RT) = 5.2 + 18.4 = 23.6\ sec$$
$$g / C = 0.472$$

در این تخصیص سبز، فرض بر این است که کلیه فازها در یک نسبت V / C یکسانی عمل نمایند. زمانهای سبز بدست آمده باید در مقابل حداقل زمان سبز عابرین پیاده مندرج در کاربرگ واحد ورودی کنترل شوند. مشاهده می‌شود که کلیه فازهای سبز طولانی‌تر از حداقل زمان عابرین پیاده هستند.

بنابراین زمانهای سبز بدست آمده همگی قابل قبول بوده و مقادیر g / C محاسبه شده وارد پنجمین ستون کاربرگ تحلیل ظرفیت می‌شوند.

ظرفیت گروه خطوط را می‌توان با ضرب کردن نسبت سبز در تردد اشباع بدست آورد و نسبت V / C مربوط به هر گروه خط از تقسیم کردن تردد تعدیل شده بر ظرفیت محاسبه می‌شود. مشاهده می‌شود که هیچیک از نسبت‌های V / C گروه خطوط از مقدار ۰/۷۴۶ تجاوز نمی‌کند.

در این تحلیل ظرفیت، هیچ دلیلی برای عدم کفایت زمانبندی پیشنهادی برای شرایط هندسی موجود و جریان‌های پیش‌بینی شده وجود ندارد. بعلاوه مشاهده می‌شود که تمامی گردش به چپ‌های رو به شرق می‌توانند در سبز پیشایند شوند. در مرحله بعد محاسبات مربوط به تاخیرها و سطوح سرویس در واحد سطح سرویس صورت می‌گیرد.

هـ - واحد سطح سرویس - در شکل ۷ - ۱۳ کاربرگ واحد سطح سرویس نشان داده شده است. مقادیر X ، g / C ، C و c از کاربرگ تحلیل ظرفیت برای کلیه خطوط وارد شده‌اند.

جمله اول تاخیر d_1 از جمله اول معادله ۱۸ - ۱۳ بدست می‌آید:

$$d_1 = 0.38C\ (1 - g / C)^2 / [\ 1 - g / C)\ (X)\ ]$$

نتایج این محاسبات در ستون ۶ کاربرگ ارائه شده است.

جمله دوم تاخیر d_2 با استفاده از دومین جمله معادل ۱۸-۱۳ محاسبه می‌شود:

$$d_2 = 173\ X^2\ [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (16\ X / C)}$$

نتایج این محاسبات در ستون ۸ کاربرگ وارد شده است.

ضریب پیشروی (PF) بر اساس نوع کنترل چراغ‌ها، نسبت V / C، و نوع فرارسید از جدول ۱۲ - ۱۳ انتخاب می‌شود. برای فرارسید نوع ۲ این ضریب برابر ۱/۰۰ است.

میانگین تاخیر توقف بر وسیله با جمع کردن اولین و دومین جمله تاخیر و ضرب کردن در ضریب پیشروی بدست می‌آید:

$$Delay = d_1 + d_2$$

$$Delay\ (EB\ LT) = (8.15 + 10.85) = 19.0\ \ sec / veh$$

$$Delay\ (EB\ TH) = (7.90 + 0.99)\ 1.0 = 8.9\ \ sec / veh$$

$$Delay\ (WB) = (10.46 + 1.84)\ 1.0 = 12.3\ \ sec / veh$$

$$Delay\ (NB) = (9.56 + 1.70)\ 1.0 = 11.27\ sec / veh$$

برای بدست آوردن تاخیر رویکرد رو به شرق (EB) و کل تقاطع لازم است میانگین تاخیرهای فوق محاسبه شود.

این میانگین بر اساس وزن حجم‌های تعدیل شده در گروه خطوط بدست می‌آید:

$$Delay\ (EB) = [19.0\ (126)+8.9(1084)] / [126+1084]$$
$$= 9.95\ say\ 10.0\ sec / veh$$

$$Delay\ (Intersection) = \frac{[9.95(1210)+12.3(884)+11.27(939)]}{1210+884+939} =$$
$$= 11.0\ sec / veh$$

سطوح سرویس از مقایسه مقادیر تاخیر با ارقام جدول ۱-۱۳ بدست می‌آیند و در ستون سیزدهم کاربرگ نمایش داده شده‌اند. چون تمامی سطوح سرویس خطوط رویکردها و کل تقاطع از نوع B و برای خط گردش به چپ رو به شرق از نوع D است عملکرد در کل قابل‌قبول بوده و می‌توان زمانبندی چراغ پیشنهادی را برای طرح هندسی تقاطع موجود و حجم‌های ترافیکی پیش‌بینی شده پذیرفت.

ظرفیت تقاطع‌های بدون چراغ

روش کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها

در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها روشی برای تحلیل ظرفیت تقاطع‌های دارای تابلوی ایست و احتیاط در دو طرف ارائه شده است. نمی‌توان از این روش برای تحلیل تقاطع‌های دارای تابلوی ایست در چهار طرف و یا تقاطع‌های بدون تابلو استفادهٔ نمود. چون این روش مبتنی بر استفاده از فواصل موجود در جریان ترافیک اصلی بوسیله وسایل نقلیه فرعی است که قصد عبور از عرض یا گردش در جریان اصلی را دارند، لازم است که حق تقدم بوضوح مشخص شده باشد و جریان اصلی نیز بدون تغییر بماند.

روش تحلیل ظرفیت تقاطع‌های دارای تابلوی ایست و احتیاط در دو طرف مبتنی بر یک روش آلمانی است که برای نخستین بار در سال ۱۹۷۲ مطرح شده و سپس بوسیله کمیته تقاطع‌های بدون چراغ دفتر تحقیقات حمل و نقل ایالات متحده آمریکا طی یک‌سری مطالعات، اصلاحاتی در آن صورت گرفته است.

تقاطع‌های بدون چراغ، در هر سیستم خیابان‌بندی اکثریت تقاطع‌های همسطح را تشکیل می‌دهند. در این‌گونه تقاطع‌ها تابلوهای ایست و احتیاط حق تقدم را نشان می‌دهند. این علایم رانندگان خیابان‌های فرعی را مکلف می‌کنند که با رعایت حق تقدم در یک فاصله مناسب در میان جریان خیابان اصلی عبور یا گردش خود را انجام دهد. بنابراین ظرفیت خیابان‌های فرعی بستگی به دو عامل دارد:

۱ - توزیع فواصل موجود در جریان ترافیک خیابان اصلی

۲ - قضاوت راننده در انتخاب فاصله مناسب برای انجام حرکت مورد نظر

روش‌های محاسباتی نیز بستگی به این دو عامل دارند: توزیع فواصل در جریان ترافیک اصلی و رفتار رانندگان در انتخاب فواصل. فرض بر این است که توزیع فواصل در جریان اصلی کاملاً اتفاقی است. به این دلیل در مواردی که جریان اصلی بصورت دسته‌ای بوده و مانند حالتی که خیابان اصلی جزیی از یک شبکه هماهنگ باشد این روش چندان قابل استفاده نیست.

تاثیر پیشروی در توزیع فواصل در جریان ترافیک اصلی می‌تواند بسیار متغیر باشد. در شریانی‌های یکطرفه فواصل دوره‌ای بزرگی میان دسته‌ها وجود دارد که ترافیک خیابان فرعی می‌تواند به راحتی در این فواصل حرکت‌های عبوری و گردشی

کاربرگ تحلیل ظرفیت

گروه خط		③ تردد تصحیح شده vph v (vph)	④ تردد اشباع تصحیح شده s (vphg)	⑤ نسبت تردد v/s ③÷④	⑥ نسبت زمان سبز g/C	⑦ ظرفیت گروه خط (vph) ④×⑥ c	⑧ نسبت $\frac{v}{c}$ x ③÷⑦	⑨ گروه خط بحرانی
① رویکرد	② حرکات گروه خط							
EB		126	1625	0/078	0.104	169	0.745	✓
		1084	3283	0.330	0.472	1550	0.699	
WB								
		883	3218	0.275	0.368	1184	0.764	
								✓
NB								
		939	3092	0.304	0.408	1262	0.774	✓
SB								

$\Sigma(v/s)_{cr} =$ 0.657

زمان چرخه، C = 50 sec

زمان تلف شده در هر چرخه، L = 6 sec

$x_c = \frac{\Sigma(v/s)_{cr} \times C}{C-L} =$ 0.746

شکل ۶ - ۱۳. کاربرگ تحلیل ظرفیت مسئله نمونه

خود را انجام دهد. در یک چنین شرایطی ظرفیت بیشتر و عملکرد بهتری برای خیابان فرعی انتظار می‌رود.

در شریانی‌های دوطرفه ترافیک خیابان فرعی ممکن است با شرایط مختلفی روبرو شود. دسته‌های وسایل نقلیه در خیابان اصلی در هر دو جهت حرکت می‌کنند. این دسته‌ها می‌توانند دارای فواصل نسبتاً زیادی باشند و یا بصورت پی در پی فرابرسند. در حالت اول عبور از عرض خیابان به مراتب راحت‌تر از حالت دوم است.

در شکل ۸ - ۱۳ یک دیاگرام زمان - مسافت برای عبور دسته‌های مختلف‌الجهت در قطعه‌ای از یک شریانی رسم شده است. بسته به موقعیت خیابان فرعی نسبت به این جریان‌ها، توزیع فواصل تفاوت‌های چشمگیری دارد. وسیله نقلیه ۱ قصد عبور از محلی را دارد که هیچ فاصله مناسبی در میان دسته‌های وسایل نقلیه وجود ندارد. به محض پایان یافتن عبور دسته‌های رو به شمال دسته‌های رو به جنوب فرا می‌رسند و برعکس. وسیله نقلیه ۲ از شرایط بهتری برخوردار است. در آن محل وسایل نقلیه فرعی وجود دارد. تاثیر حرکت دسته‌ای می‌تواند بسیار پیچیده باشد و این بستگی به درصدی از ترافیک خیابان اصلی که به صورت دسته‌ای فرا می‌رسند، تردد ترافیک اصلی در میان و در فواصل دسته‌ها و سایر عوامل دارد.

روش کار

در این روش فرض بر این است که جریان خیابان فرعی تاثیری بر ترافیک خیابان اصلی نمی‌گذارد. این فرض برای مواقعی که عبور و مرور اندک باشد مناسب است. ولی در تراکم ترافیکی این احتمال وجود دارد که جریان اصلی تحت تاثیر

کل تأخیر و سطح سرویس			جمله دوم تأخیر					جمله اول تأخیر				گروه خط	
⑬ سطح سرویس رویکرد جدول 9-1	⑫ تأخیر رویکرد sec-veh	⑪ سطح سرویس گروه خط جدول 9-1	⑩ تأخیر گروه خط sec-veh (⑥+⑧)×⑨	⑨ ضریب پیشروندگی PF جدول 9-13	⑧ تأخیر d_2 sec/veh	⑦ ظرفیت گروه خط c vph	⑥ تأخیر d_1 sec/veh	⑤ زمان چرخه C sec	④ نسبت زمان سبز g/C	③ نسبت v/c x	② حرکتهای گروه خط	① رویکرد	
		D	19.00	1.00	10.85	169	8/15	50	472	.742		EB	
B	9.95	B	8.90	1.00	0.99	1550	7.90	50	472	.699			
B	12.30	B	12.30	1.00	1.84	1184	10.46	50	368	.746		WB	
B	11.27	B	11.27	1.00	1.70	1262	9.56	50	.408	.744		NB	
												SB	

(Table 9.1) B = سطح سرویس تقاطع

11.04 sec/veh = تأخیر تقاطع

شکل ۷ - ۱۳. کاربرگ سطح سرویس مسئله نمونه

ترافیک خیابان فرعی قرار بگیرد. گردش به چپ‌های خیابان اصلی و جریان ترافیک فرعی نیز تحت تاثیر حرکت‌های مخالف قرار می‌گیرند.

در این روش کار تاثیر منفی جریانهای مختلف خیابان فرعی‌بر روی یکدیگر و استفاده مشترک دو یا چند حرکت مختلف از یک خط (مثلاً استفاده مشترک از یک خط برای عبور مستقیم، گردش به چپ و به راست) نیز در نظر گرفته می‌شود.

به منظور برآورد صحیح این تاثیرات متقابل، در این روش استفاده از فواصل بر اساس رعایت حق تقدم در نظر گرفته شده است. فاصله‌ای که بوسیله یکی از وسایل نقلیه مورد استفاده قرار گیرد، برای دیگری قابل استفاده نخواهد بود. وسایل نقلیه بر اساس تقدم‌های زیر از فواصل استفاده می‌کنند:

۱ - گردش به راست‌های خیابان فرعی

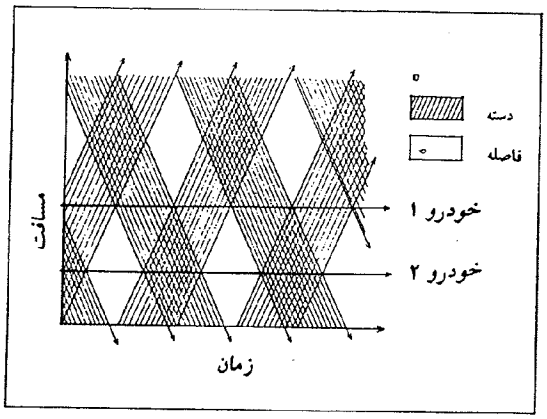
۲ - گردش به چپ‌های خیابان اصلی

۳ - عبور مستقیم‌های خیابان فرعی

۴ - گردش به چپ‌های خیابان فرعی

به عنوان مثال، اگر یک وسیله نقلیه خیابان اصلی قصد عبور مستقیم از عرض خیابان اصلی را داشته باشد، اولین فاصله قابل استفاده متعلق به وسیله چپگرد خواهد بود. وسیله نقلیه خیابان فرعی باید منتظر دومین فاصله قابل عبور باشد. اگر تعداد زیادی از این وسیله نقلیه چپگرد وجود داشته باشند تمامی فواصل مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرند و وسایل نقلیه خیابان فرعی بشدت بازداشته شده و قادر به حرکت ایمن نخواهند بود.

گردش به راست‌های خیابان فرعی می‌توانند در فواصل موجود در جریان خط سمت راست وارد خیابان اصلی شوند. بعلاوه فواصل موجود در کل جریان اصلی می‌توانند بطور



شکل ۸-۱۳. تأثیر جریان دسته‌ای بر توزیع فواصل

همزمان مورد استفاده وسیله نقلیه دیگری هم واقع شوند. به این دلیل در این روش فرض می‌شود که گردش به راست‌های خیابان فرعی در هنگام استفاده از فواصل خیابان اصلی هیچ‌گونه کندی در جریان‌های دیگر بوجود نمی‌آورند.

ساختار اصلی این روش کار به صورت زیر است:

۱ - تعریف شرایط هندسی و حجمی تقاطع مورد نظر

۲ - تعیین "ترافیک مخالف" که باید جریان فرعی یا گردش به چپ خیابان اصلی از آن عبور کنند.

۳ - تعیین اندازه فاصله‌ای که وسایل نقلیه قطع کننده، برای عبور از ترافیک مخالف نیاز دارند.

۴ - تعیین ظرفیت فواصل موجود در جریان ترافیک اصلی برای عبور دادن هر یک از جریان‌های قطع کننده

۵ - تعدیل این ظرفیت‌ها برای احتساب کندکنندگی و استفاده از خطوط مشترک

در زیر هریک از موارد فوق به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

اطلاعات ورودی مورد نیاز

اطلاعات اساسی مورد نیاز برای تحلیل تقاطع‌های بدون چراغ مشابه با سایر روش‌های تحلیل ظرفیت است. مشخصات دقیق هندسی، کنترلی و حجمی تقاطع مورد نیاز است.

مشخصات هندسی عبارتند از:

۱ - تعداد و کاربرد خطوط

۲ - جداسازی مسیرها

۳ - درصد شیب

۴ - شعاع گردش و زاویه رویکرد

۵ - مسافت دید

کلیه این عوامل تاثیر قابل توجهی در نحوه استفاده از فواصل و اندازه فاصله مورد نیاز برای حرکت‌های مختلف دارند. مسافت دید، شعاع گردش و زاویه رویکرد را می‌توان بطور تقریبی ارزیابی کرد.

تعداد و کاربرد خطوط یک عامل پراهمیت است. وسایل نقلیه خطوط مجاور می‌توانند بطور همزمان از یک فاصله استفاده کنند (مگر آنکه فاصله بوسیله یکی از استفاده‌کنندگان انحصاری شود). در صورتیکه حرکت‌ها دارای خطوط مشترک باشند فقط یکی از وسایل نقلیه آن‌ها می‌توانند از هر فاصله استفاده کند. جداسازی مسیرها نیز حائز اهمیت است زیرا جدا کردن جریان‌های مخالف از کندی حرکت جلوگیری می‌کند.

برای تحلیل تقاطع‌های بدون چراغ باید حجم جریان‌ها در ساعت مشخص شود، زیرا معمولاً تغییرات کوتاه‌مدت نشاندهنده مشکلات اساسی این نقاط نیست. با این وجود تحلیل‌گر می‌تواند قبل از شروع محاسبات برای آگاهی از ترددهای ۱۵ دقیقه‌ای، حجم‌ها را بر ضرایب ساعت اوج (*PHF*) تقسیم کند. حجم جریان i با V_i نشان داده می‌شود. بطور قراردادی، از زیرنویس‌های ۱ تا ۶ برای حرکت‌های خیابان اصلی و از زیرنویس‌های ۷ تا ۱۲ برای حرکت‌های خیابان فرعی استفاده می‌شود. تبدیل وسیله نقلیه در ساعت به سواری در ساعت با استفاده از ضرایب معادل سواری مندرج در جدول ۱۲ - ۱۳ انجام می‌شود. باید توجه داشت که این جدول بر اساس شیب و نوع وسیله نقلیه طبقه‌بندی شده است.

ترافیک برخوردی

مطالعه جریان‌های برخوردی در تقاطع‌های بدون چراغ نسبتاً پیچیده است. هریک از حرکت‌ها در برخورد با یکسری جریان‌هایی است که وابسته به ماهیت آن حرکت می‌باشد. برای مثال حرکت گردش به راست از خیابان فرعی فقط در برخورد با حرکت عبور مستقیم خط دست راست خیابان اصلی است. در شکل ۹ - ۱۳ این برخوردها نشان داده شده و نحوه محاسبه پارامتر V_{ci} نیز در آن ارائه شده است.

V_{ci} = حجم برخوردی i که عبارت است از کل حجمی که در برخورد با حرکت i است بر حسب وسیله نقلیه در ساعت.

در شکل ۹ - ۱۳ یک دوم حرکت گردش به راست از خیابان اصلی به عنوان ترافیک برخوردی در نظر گرفته شده است، زیرا مشاهده شده است که این جریان نیز تاثیر کندکننده در حرکت گردش به راست از خیابان فرعی دارد. علت این امر می‌تواند یا

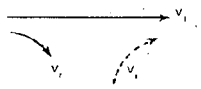
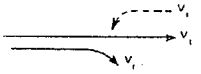
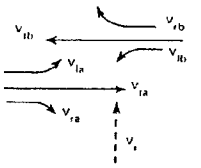
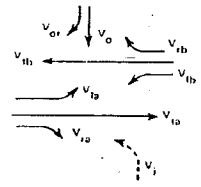
وسایل نقلیه‌ای باشند که بدون استفاده از چراغ راهنما گردش می‌کنند و راننده منتظر در خیابان فرعی فکر می‌کند که او قصد عبور مستقیم دارد و یا اصطکاک جانبی که در اثر گردش آن‌ها به داخل خط مجاور با وسایل نقلیه منتظر ایجاد می‌شود.

گردش به چپ‌های خیابان اصلی در برخورد کامل با جریان عبور مستقیم مقابل و گردش به راست‌ها هستند زیرا آنها باید جریان مستقیم را قطع و با جریان گردش به راست مخلوط شوند. در این روش گردش به چپ‌های خیابان اصلی و گردش به راست‌های طرف مقابل در خیابان اصلی بدون توجه به تعداد خطوط راه خروجی به عنوان مخلوط شونده در نظر گرفته می‌شوند.

حرکت عبور مستقیم خیابان فرعی، با کلیه حرکت‌های خیابان اصلی به استثناء گردش به راست به طرف فرعی در برخورد است. در محاسبه ترافیک برخوردی یک دوم گردش به راست منظور شده است.

گردش به چپ از خیابان فرعی مشکلترین حرکت در یک تقاطع بدون چراغ بوده و در برخورد با مجموعه پیچیده‌ای از جریان‌ها است. در این مورد حجم برخوردی شامل کلیه جریان‌های خیابان اصلی بعلاوه گردش به راست‌های مقابل و حرکت‌های مستقیم در خیابان فرعی می‌شود.

هنگام استفاده از شکل ۹ - ۱۳ برای محاسبه حجم‌های

حرکت مورد نظر	ترافیک برخوردی	تصویر
۱ - گردش به راست از خیابان فرعی	$1/2\,(V_r)^{**} + V_t^{*}$	
۲ - گردش به چپ از خیابان اصلی	$V_r^{***} + V_t$	
۳ - عبور مستقیم خیابان فرعی	$1/2\,(V_{ra})^{***}{}^{**} + V_{ta} + V_{la} + V_{rb} + V_{tb} + V_{lb}$	
۴ - گردش به چپ از خیابان فرعی	$1/2\,(V_{ra})^{**} + V_{ta} + V_{la} + V_{rb}^{***} + V_{tb} + V_{lb} + V_o + V_{or}$	

* V_t فقط شامل حجم خط دست راست می‌شود.

** در صورتیکه یک خط گردش به راست در خیابان اصلی موجود باشد V_r یا V_{ra} حذف می‌شوند.

*** در صورتیکه شعاع گردش به راست بطرف خیابان فرعی بزرگ بوده و یا اینکه حرکت‌ها بوسیله تابلوهای ایست / احتیاط کنترل شوند مقادیر V_r (حالت ۲) و V_{ra} و V_{rb} (حالت ۴) حذف می‌شوند. V_{rb} را نیز می‌توان برای خیابان‌های چند خطه اصلی حذف کرد.

شکل ۹ - ۱۳ . مشخصات و محاسبات حجم ترافیک برخوردی

برخوردی، تحلیل‌گر باید توجه به زیرنویس‌ها داشته باشد زیرا آنها امکان تعدیل معادلات را در شرایط خاص می‌دهند.

فاصله بحرانی

"فاصله بحرانی" عبارت است از میانگین فاصله زمانی میان دو وسیله نقلیه متوالی در جریان ترافیک خیابان اصلی که بوسیله رانندگان جریان فرعی برای عبور یا وارد شدن در جریان ترافیک اصلی یافته می‌شود. این مقدار با علامت T_c و بر حسب ثانیه بیان می‌شود.

فاصله بحرانی بستگی به چند عامل دارد از جمله:

۱ - نوع حرکتی که انجام می‌شود.
۲ - نوع تابلوی کنترل کننده خیابان فرعی (ایست یا احتیاط)
۳ - میانگین سرعت عبور در خیابان اصلی
۴ - تعداد خطوط خیابان اصلی
۵ - شرایط هندسی و محیطی تقاطع

جدول ۱۳ - ۱۳ . معیارهای فاصله بحرانی برای تقاطع‌های بدون چراغ

فواصل بحرانی پایه برای اتومبیلهای سواری، ثانیه

نوع حرکت وسیله نقلیه و نوع کنترل	میانگین سرعت حرکت، راه اصلی			
	۵۰ km/hr		۹۰km/hr	
	تعداد خطوط در راه اصلی			
	2	4	2	4
گردش به راست از خیابان فرعی				
ایست	5.5	5.5	6.5	6.5
احتیاط	5.0	5.0	5.5	5.54
گردش به چپ از خیابان اصلی	5.0	5.5	5.5	6.0
عبور از عرض خیابان اصلی				
ایست	6.0	6.5	7.5	8.0
احتیاط	5.5	6.0	6.5	7.0
گردش به چپ از خیابان اصلی				
ایست	6.5	7.0	8.0	8.5
احتیاط	6.0	6.5	7.0	7.5

تصحیح و تعدیل فاصله بحرانی، ثانیه

تصحیح	شرایط
- 0.5	گردش براست از خیابان فرعی : شعاع جدول > ۱۵ متر یا زاویه گردش < ۶۰
- 1.0	گردش براست از خیابان فرعی : تأمین خط افزایش سرعت
- 0.5	کلیه حرکات : جمعیت ≤ ۲۵۰۰۰
تا ۱/۰ +	محدودیت مسافت دید *

توجه : حداکثر کل کاهش در فاصله بحرانی = ۱/۰ ثانیه
حداکثر فاصله بحرانی = ۸/۵ ثانیه
برای بدست آوردن مقادیر مربوط به سرعت‌های حد فاصل ۵۰ و ۹۰کیلومتر در ساعت از درونیابی استفاده می‌شود.
* این تعدیل در حالت خاص که حرکت براسطه مسافت دید کم محدود می‌شود بکار می‌رود.

نوع حرکت مهمترین عامل است. با پیچیده‌تر شدن نوع حرکت، رانندگان نیاز به فواصل طولانی‌تری برای انجام حرکت‌مورد نظر را دارند. به این ترتیب، فاصله مورد نیاز برای یک گردش به راست از خیابان فرعی که فقط درگیر با یک برخورد جانبی است کوتاهتر از فاصله مورد نیاز برای گردش به چپ از خیابان فرعی که دچار برخوردهای پیچیده‌ای می‌گردد می‌باشد. در حالت دوم فرایند تصمیم‌گیری راننده در هنگام انتخاب فاصله مناسب نیز پیچیده‌تر می‌گردد.

نوع کنترل تقاطع نیز حائز اهمیت است. در تقاطع‌های دارای تابلوی ایست، رانندگان از حالت توقف شروع به حرکت می‌کنند در حالیکه در محل تابلوی احتیاط، بخشی از وسایل دارای سرعت کمی هستند. بدیهی است که عبور از یک تقاطع در هنگامی که حرکت از سکون آغاز شود نسبت به حالتی که وسیله نقلیه سرعت اندکی داشته باشد بطور متوسط نیاز به زمان بیشتری دارد و بنابراین در محل تابلوی ایست فاصله بحرانی بزرگتری مورد نیاز خواهد بود.

سرعت در ترافیک خیابان اصلی تاثیر عمده‌ای در فاصله مورد نیاز دارد. هنگامی که یک راننده فاصله‌ای را برای انجام یک حرکت انتخاب می‌کند قضاوت او بر اساس اندازه فواصل موجود و اطمینان از پایداری فواصل در طول زمان عبور صورت می‌گیرد. با افزایش سرعت ترافیک در خیابان اصلی رانندگان تصور می‌کنند که فواصل طولانی‌تری مورد نیاز است. به عبارت دیگر با افزایش سرعت، رانندگان با توجه به افزایش خطر عبور از جریان ترافیک، در انتخاب فاصله عبور محافظه‌کارتر می‌شوند.

با افزایش تعداد خطوط خیابان اصلی، اندازه فاصله بحرانی نیز افزایش می‌یابد. انتخاب و کاربرد یک فاصله در یک جریان ترافیک چندخطه به مراتب مشکلتر از یک خیابان یک‌خطه است و رانندگان نیاز به فاصله طولانی‌تری دارند.

شرایط هندسی نیز می‌تواند نقش مهمی در کاهش اندازه فاصله بحرانی ایفا کند. تسهیلاتی از قبیل جداسازی خطوط گردشی، شعاع گردش بزرگ و امثالهم، حرکت‌ها را ساده‌تر کرده و باعث کاهش اندازه فاصله مورد نیاز خواهد شد. برای مثال یک خط گردش به راست مجزا، می‌تواند در نقطه ورود زاویه گردش را از ۹۰ به مقادیر بسیار کمتری کاهش دهد. تسهیلاتی مانند خطوط کاهش یا افزایش سرعت نیز تاثیر مشابهی دارند. از سوی دیگر، شرایط هندسی که مسافت دید را محدود می‌کنند تاثیر معکوس دارند یعنی در جهت افزایش اندازه فاصله بحرانی و مشکل کردن مشاهده و انتخاب فواصل بوسیله رانندگان.

شرایط محیطی همواره در جریان ترافیک موثر هستند و تقاطع‌های بدون چراغ نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشند. مانند سایر روش‌های تحلیل ظرفیت، روش‌های این فصل نیز تحت شرایط آب و هوایی خوب، نور روز، بدون برخورد ترافیکی و روسازی مناسب صادق هستند. شرایط آب و هوایی بد، تاریکی، برخورد ترافیکی و شرایط بد روسازی در جهت کاهش ظرفیت و سطح سرویس عمل می‌کنند. بطور کلی هرکدام از این شرایط باعث می‌شود که راننده فاصله عبور بزرگتری نیاز داشته باشد ولی هنوز معیارهای عددی مناسب برای آن ارائه نشده است و استفاده‌کننده باید از تاثیر شرایط محیطی نامطلوب آگاه باشد.

مقادیر فواصل بحرانی

انتخاب مقدار فاصله بحرانی با استفاده از جدول ۱۳ - ۱۳ و طی دو مرحله زیر صورت می‌گیرد:

۱ - مقدار پایه فاصله بحرانی، از نیمه اول جدول برای نوع حرکت، نوع وسیله و سرعت خیابان اصلی در محل تقاطع بدست می‌آید.

۲ - از نیمه دوم جدول ضریب تصحیح و اصلاح مقدار پایه فاصله بحرانی برای شرایط مختلف و با توجه به زیرنویس‌های جدول انتخاب می‌شود.

ضریب جمعیت به این علت گنجانده شده است که بر اساس مشاهدات تجربی رانندگانی که آشنایی بیشتری با شرایط ترافیکی سنگین دارند فواصل کوتاهتری انتخاب می‌نمایند. تحلیل‌گر باید آگاهی کافی از خصوصیات و عادات رانندگان در محل مورد نظر داشته باشد تا بتواند در اعمال این ضرایب از قضاوت خود نیز استفاده کند.

تاثیر منفی نامناسب بودن مسافت دید نیز عامل مهمی است که تا حدی نیاز به قضاوت دارد. تحلیل‌گر می‌تواند قبل از تصمیم‌گیری در مورد نحو اعمال این تاثیرات یکسری مشاهدات محلی انجام دهد.

ظرفیت بالقوه یک حرکت

ظرفیت بالقوه یک حرکت که با C_{pi} (برای حرکت i) نشان داده می‌شود عبارت است از ظرفیت ایده‌آل یک حرکت خاص با فرض وجود شرایط زیر:

۱ - ترافیک راه اصلی باعث مسدود شدن راه فرعی نمی‌شود.

۲ - ترافیک تقاطع بعدی روی تقاطع مورد نظر تأثیر ندارد.

۳ - برای هر یک از حرکتهای انحصاری خیابان فرعی یک خط مجزا در نظر گرفته شده است.

۴ - سایر حرکات تأثیری در حرکت مورد نظر نمی‌گذارند.

ظرفیت بالقوه بر حسب اتومبیل سواری در ساعت با استفاده از شکل ۱۰-۱۳ براساس حجم ترافیک برخوردی، V_c برحسب وسیله نقلیه در ساعت و فاصله بحرانی T_c بر حسب ثانیه بدست می‌آید. برای ورود به این شکل نخست مقدار V_c روی محور افقی مشخص شده و سپس از آن خطی عمودی تا منحنی "فاصله بحرانی" مربوطه رسم می‌شود. آنگاه یک خط افقی از نقطه برخورد تا محور عمودی کشیده شده و نتیجه بر حسب اتومبیل سواری در ساعت قرائت می‌شود.

اثرات بازدارندگی

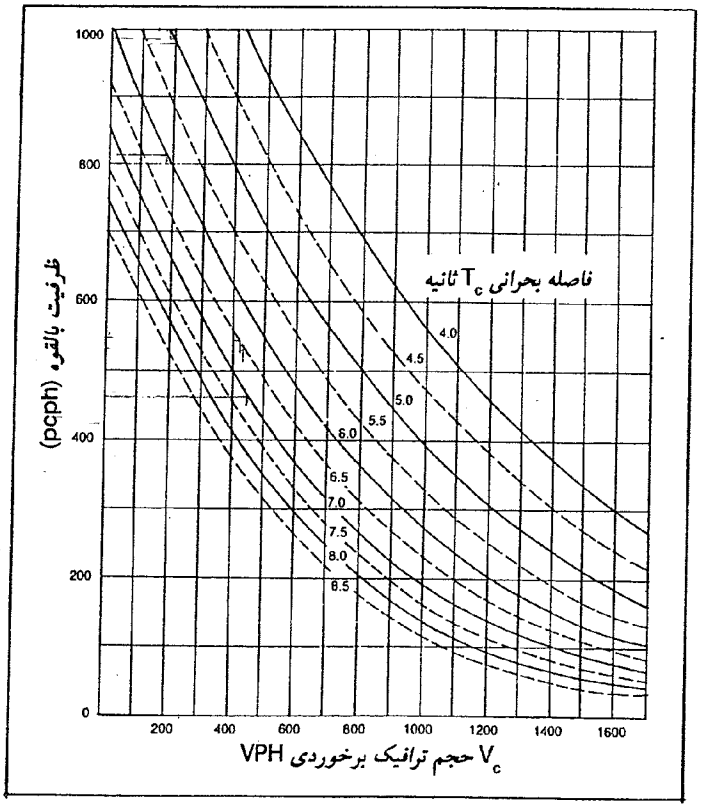
همانگونه که قبلاً اشاره شد استفاده وسایل نقلیه از یک تقاطع بدون چراغ، براساس یک سری حق تقدم صورت می‌گیرد. در صورتی که جریان مقدم دارای ترافیک سنگین باشد می‌تواند در جریانهای ترافیکی دارای اولویت کمتر ایجاد کندی کرده و ظرفیت بالقوه آنها را کاهش دهد. باید توجه نمود که فرض بر این است که ترافیک خیابان اصلی در هیچ زمانی بوسیله جریان ترافیک فرعی دچار کندی نمی‌شود و اثر "باز دارندگی" فقط در مورد خیابان فرعی صورت می‌گیرد.

گردش براست های خیابان فرعی معمولاً برای جریانهای ترافیکی ایجاد کندی نمی‌کنند البته، باستثناء گردش به چپهای خیابان فرعی مقابل که هر دو داخل یک جریان می‌شوند. با توجه به اولویت استفاده از فاصله خواهیم داشت:

۱ - گردش به چپهای خیابان اصلی، هم حرکت مستقیم و هم حرکت مستقیم و هم گردش بچپ خیابان فرعی را باز می‌دارند.

۲ - حرکت مستقیم از خیابان فرعی گردش بچپ خیابان فرعی مقابل را باز می‌دارد.

بطور کلی تأثر باز دارندگیها در ظرفیت بالقوه یک حرکت C_{pi} برای هر یک از جریانهای باز دارنده گنجانده می‌شود. این محاسبات در شکل ۱۱-۱۳ نشان داده شده است. در اینجا نیز فرض بر این است که حرکتهای انحصاری در خط مجزا انجام می‌شوند.



شکل ۱۰-۱۳ ظرفیت بالقوه براساس حجم ترافیک برخوردی و اندازه فاصله بحرانی

ضرایب باز دارندگی p_i از شکل ۱۲-۱۳ بدست می‌آیند. این ضرایب صرفاً براساس درصدی از ظرفیت بالقوه حرکت بازداشته که بوسیله تقاضای موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد بدست می‌آید. به عنوان مثال فرض کنید که یک حرکت گردش به چپ از یک خیابان فرعی یک سه راه بوسیله گردش بچپ خیابان اصلی باز داشته شود. اگر ظرفیت بالقوه گردش بچپ خیابان اصلی ۵۰۰ pcph و تقاضای موجود ۲۰۰ pcph باشد این حرکت از $\frac{۲۰۰}{۵۰۰}$ = ۰/۴ یا ۴۰ درصد ظرفیت موجود استفاده می‌کند بنابراین با این مقدار وارد شکل ۱۲-۱۳ شده و ضریب باز دارندگی ۰/۶۸ قرائت می‌شود. سپس این رقم در ظرفیت بالقوهٔ گردش بچپ خیابان فرعی ضرب می‌شود تا اثر باز دارندگی گردش بچپ خیابان اصلی منظور گردد.

اصولاً در محاسبات ظرفیت بالقوه فرض بر این است که کلیه حرکتها، برای استفاده از فواصل، دارای خط انحصاری هستند، قابلیت استفاده از این فواصل برای حرکتهای دارای اولویت کمتر کاهش می‌یابد. این کاهش در محاسبه ضرایب بارندگی در نظر گرفته شده است.

ظرفیت خطوط مشترک

تاکنون در روش کار ارائه شده فرض بر این بود که هر حرکت خیابان فرعی از یک خط انحصاری استفاده می‌کند. این فرض همیشه صادق نیست و معمولاً دو یا چند حرکت مشترکاً از یک خط رویکرد فرعی استفاده می‌کنند. در این صورت وسایل نقلیه حرکتهای مختلف، نمی‌توانند بطور همزمان به فواصل دسترسی داشته باشند و ضمناً بیش از یک وسیله نقلیه نیز نمی‌تواند از یک فاصله استفاده کند.

در برخی از تقاطع‌هایی که دارای شعاع گردش بزرگ هستند وسایل نقلیه هم خط می‌توانند در کنار یکدیگر توقف کنند. این موضوع در جهت کاهش یا حذف اثر خط مشترک عمل می‌کند. در صورتی که چند حرکت در یک سهیم باشند و نتوانند در محل تقاطع در کنار یکدیگر توقف کنند برای ظرفیت خط مشترک از معادله زیر استفاده می‌شود:

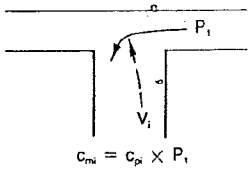
$$C_{sh} = \frac{V_l + V_t + V_r}{[V_l/C_{mt}] + [N_t/C_{mt}] + [V_r/C_{mr}]} \qquad (۱۳-۲۲)$$

که در آن:

C_{sh} = ظرفیت خط مشترک برحسب pcph

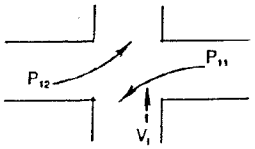
V_l = حجم یا نرخ جریان حرکت گردش بچپ در خط مشترک بر حسب pcph

۱- گردش بچپهای خیابان فرعی در یک تقاطع T شکل



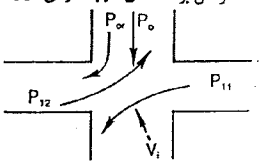
$c_{mi} = c_{pi} \times P_1$

۲- ترافیک مستقیم از خیابان فرعی در یک تقاطع چهارراهی



$c_{mi} = c_{pi} \times P_{11} \times P_{12}$

۳- گردش براست‌های خیابان فرعی در یک تقاطع چهارراهی



$c_{mi} = c_{pi} \times P_{11} \times P_{12} \times P_o \times P_{or}$

شکل ۱۱-۱۳. نمایش محاسبات بازدارندگی

V_t = حجم یا نرخ جریان حرکت مستقیم در خط مشترک برحسب pcph

C_r = حجم یا نرخ جریان حرکت گردش براست در خط مشترک بر حسب pcph

C_{mi} = ظرفیت حرکت گردش بچپ در خط مشترک برحسب pcph

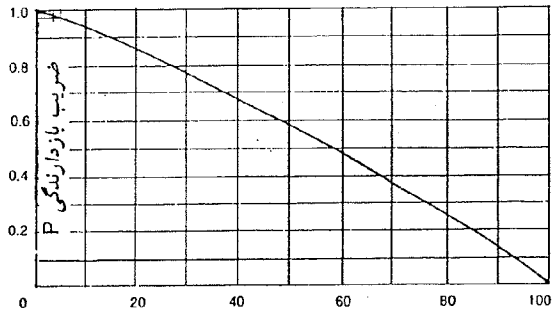
C_{mt} = ظرفیت حرکت مستقیم در خط مشترک بر حسب pcph

C_{mr} = ظرفیت حرکت گردش براست در خط مشترک برحسب pcph

فقط حرکتهایی که در خط مشترک وجود دارند در معادله در نظر گرفته می‌شوند. اگر خط مشترک فقط شامل گردش براست و حرکت مستقیم باشد در صورت و مخرج معادله جملات مربوط به گردش بچپ حذف می‌گردند.

معیارهای سطح سرویس

حاصل محاسبات فوق تعیین ظرفیت مربوط به هر یک از خطوط رویکرد فرعی تقاطع بدون چراغ است. معیارهای سطح سرویس برای این روش بصورت عام بیان می‌شوند و



ظرفیت استفاده شده بوسیله تقاضای موجود، درصد

شکل ۱۲-۱۳. ضرایب باز دارندگی در نتیجه حرکتهای پرازدحام

بستگی به حدود کلی تأخیرها دارند. این معیارها در جدول ۱۴-۱۳ ارائه شده‌اند و مبتنی بر ظرفیت بدون استفاده خطوط مورد نظر هستند. این مقدار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_R = C_{sh} - V \qquad (۱۳-۲۳)$$

که در آن:

C_R = ظرفیت بدون استفاده یا ذخیره خط برحسب $pcph$

C_{sh} = ظرفیت خط مشترک برحسب $pcph$

V = نرخ جریان یا حجم کلی خط بر حسب $pcph$

تفسیر این معیارها نیاز به دقت عمل فراوانی دارد. این معیارها بدون استناد مقادیر عددی مشخصی بصورت عام بیان شده‌اند. بنابراین نمی‌توان مستقیماً سطح سرویس یک تقاطع بدون چراغ را با یک تقاطع چراغ دار مقایسه کرد. سطوح سرویسی که در اینجا بیان شده‌اند هماهنگ با مقادیر تأخیر مربوط به تقاطعهای چراغ دار نمی‌باشند.

در برخی مواقع بواسطه عام بودن تعریف تأخیر ممکن است نتایج نامعقولی برای سطوح سرویس بدست آید. مثلاً اگر بعضی از حرکتها مانند حرکت گردش بچپ دارای یک خط مجزا باشند ممکن است برای آنها سطح سرویس کمتری نسبت به حالتی که با جریان دیگری در همان خط اشتراک داشته باشند (معمولاً حرکت مستقیم) بدست آید. این با معیارهای ارائه شده مغایرت دارد. حرکت گردش بچپ معمولاً تأخیرهای بیشتری نسبت به سایر حرکتها تحمل می‌کند، اگر گردش بچپ در یک فرعی فواصل کوتاه تر از حد معمول را انتخاب کنند. در این موارد،

جدول ۱۴-۱۳ - معیارهای سطح سرویس تقاطعهای بدون چراغ راهنمایی

ظرفیت باقیمانده $(PCPH)_c$	سطح سرویس	تأخیر چشمداشت برای ترافیک خیابان فرعی
۴۰۰ و	A	تأخیر اندک یا بدون تأخیر
۳۹۹ - ۳۰۰	B	تأخیر ترافیکی کوتاه
۲۹۹ - ۲۰۰	C	تأخیر ترافیکی متوسط
۱۹۹ - ۱۰۰	D	تأخیر ترافیکی زیاد
۹۹ - ۰	E	تأخیر ترافیکی بسیار زیاد
*	F	*

* در صورتی که حجم تقاضا از ظرفیت خط تجاوز کند، تأخیر بیش از حد همراه با صف ایجاد می‌شود که ممکن ازدحام شدید ناشی از آن سایر حرکات ترافیکی تقاطع را تحت تأثیر قرار دهد. این شرایط معمولاً نیاز به اصلاح تقاطع را نشان می‌دهد.

ایمنی یک مسئله جدی بوده و ممکن است در جریان ترافیک اصلی نیز وقفه ایجاد شود. این نکته حائز اهمیت است که سطح‌سرویس F همیشه منتهی به صفهای طولانی نشده بلکه ممکن است منتهی به تغییر رفتار رانندگان در انتخاب فاصله عبور مناسب شود. در این صورت مشاهده و برآورد آن مشکل تر می‌گردد.

مسائل نمونه

مسئله ۱ - تقاطع سه راهی

صورت مسئله. در این مثال تقاطع دو خیابان اصلی و فرعی که در یک ناحیه شهری با جمعیت ۱۰۰۰۰۰/ نفر واقع است مورد بررسی قرار می‌گیرد. خیابان اصلی یک جمع کننده دو خطه و خیابان فرعی یک خیابان محلی دو خطه است که به محلات مسکونی سرویس می‌دهد. این تقاطع بوسیله یک تابلوی-ایست کنترل می‌شود. در نزدیکی تقاطع هیچ تعریضی صورت نگرفته و شعاع گوشه تقاطع ۶ متر است. در شکل ۱۳-۱۳ جزئیات این تقاطع رسم شده است.

ساکنین این ناحیه از تأخیر زیادی که در عصرها هنگام گردش براست بطرف خیابان اول وجود دارد شکایت دارند. آنها ادعا می‌نمایند که این وضعیت بخاطر مشترک بودن خط گردش براست و چپ بوجود آمده و پیشنهاد تأمین یک خط انحصاری گردش براست را می‌کنند.

حل مسئله: به منظور خلاصه کردن و سازمان دادن محاسبات

مربوط به این مسئله از کاربرگ مخصوص استفاده می‌شود. در اینجا باید پیشنهادات اصلاحی مطرح شده مورد ارزیابی قرار گیرد تا مشخص شود که آیا این تغییرات هیچ کاهش قابل توجهی در تأخیر وارد بر ساکنین محله که از این محل عبور می‌کنند بوجود می‌آورد یا نه.

۱ - حجم‌های ساعتی موجود برای دوره اوج عصر جمع‌آوری شده و در گوشه بالایی کاربرگ نشان داده شده است. سرعت ترافیک خیابان اصلی نیز بر اساس مشاهدات برابر *Km/hr* ۵۰ بدست آمده است.

۲ - از آنجایی که هیچ طبقه‌بندی برای وسایل نقلیه صورت نگرفته و درصد شیب نیز مشخص نیست برای منظور کردن ترکیب معمولی ترافیک، حجم‌های ۴ ، ۷ و ۹ (که باید تعدیل شوند) در یک ضریب ۱/۱ ضرب شده‌اند. این حجم‌های تعدیل شده در گوشه بالایی کاربرگ رسم شده‌اند تا در مراحل بعدی بسهولت قابل دسترس باشند.

۳ - حرکت گردش براست از خیابان فرعی اولین حرکتی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. حجم برخوردی این جریان برابر است با یک دوم حجم گردش براست خیابان اصلی بعلاوه حجم عبور مستقیمی که جریان گردش براست خیابان فرعی به آن وارد می‌شود. به این ترتیب ترافیک برخوردی برابر *Vph* ۲۷۰ بدست می‌آید.

فاصله بحرانی با استفاده از جدول ۱۳-۱۳ برای گردش براست خیابان فرعی، خیابان اصلی دو خطه و سرعت *Km/hr*۵۰ بدست می‌آید. این مقدار برابر ۵/۵ ثانیه است. با توجه به شرایط موجود نیازی به تعدیل این فاصله بحرانی وجود ندارد.

ظرفیت بالقوه این حرکت با استفاده از شکل ۱۰-۱۳ برای ترافیک برخوردی *Vph* ۲۷۰ و فاصله بحرانی ۵/۵ ثانیه بدست می‌آید و مقدار آن *pcph* ۸۲۵ است.

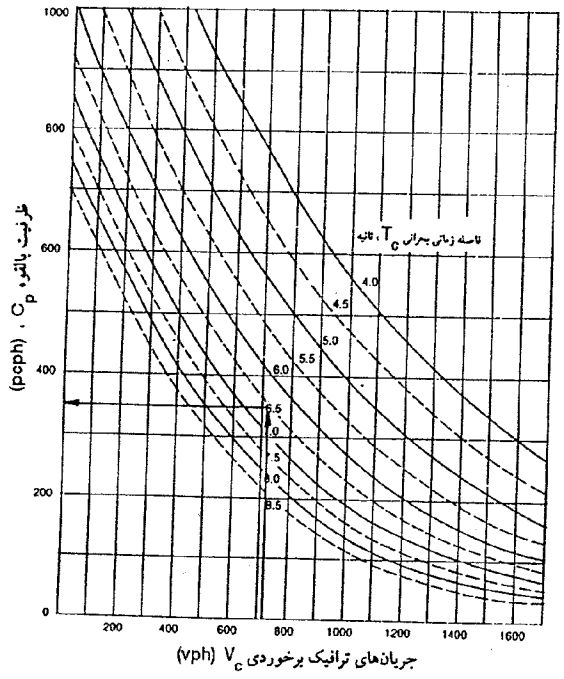
چون در اینجا حرکت باز دارنده‌ای برای گردش براست خیابان فرعی وجود ندارد، ظرفیت حرکت برابر ظرفیت بالقوه یعنی *pcph* ۸۲۵ خواهد بود.

۴ - دومین حرکتی که مورد بررسی قرار می‌گیرد گردش به چپ از خیابان اصلی است. جریان برخوردی در کاربرگ محاسبه شده و برابر *Vph* ۲۹۰ است. فاصله بحرانی برابر ۵/۰ ثانیه بوده با استفاده از جدول ۱۳-۱۳ برای گردش به چپ خیابان اصلی، در خط در خیابان اصلی و سرعت *km/hr* ۵۰ و ظرفیت بالقوه با استفاده از شکل ۱۰-۱۳ برابر ۹۰۰ بدست آمده است.

در این مورد نیز هیچ حرکت باز دارنده گردش به چپ خیابان اصلی وجود ندارد و ظرفیت حرکت برابر ظرفیت بالقوه یعنی *pcph* ۹۰۰ خواهد بود.

با این وجود باید یک ضریب باز دارندگی برای این حرکت محاسبه شود زیرا به نوبه خود گردش بچپ از خیابان فرعی را بازمی‌دارد. حجم تعدیل شده حرکت ۴ (گردش به چپ خیابان اصلی) برابر *pcph*۱۶۵ است. بنابراین درصد ظرفیت بالقوه مورد استفاده برابر ۱۶۵/۹۰۰=۰/۱۸۳ (۱۸/۳درصد) است. از این مقدار برای ورود به شکل ۱۲-۱۳ استفاده می‌شود تا ضریب باز دارندگی برابر ۰/۸۸ بدست آید.

۵ - گردش به چپ از خیابان فرعی آخرین حرکتی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. حجم برخوردی مطابق شکل ۱۳-۱۳ برابر *Vph* ۷۲۰ محاسبه شده است. فاصله بحرانی از جدول ۱۳-۱۳ برابر ۶/۵ ثانیه و ظرفیت بالقوه از شکل ۱۰-۱۳ برابر *pcph* ۳۵۰ بدست آمده است.



گردش بچپ خیابان فرعی بوسیله گردش به چپ خیابان اصلی باز داشته می‌شود (شکل ۱۱-۱۳ را ملاحظه کنید). بنابراین ظرفیت حرکت با ضرب کردن ظرفیت بالقوه با ضریب باز دارندگی گردش بچپ خیابان اصلی که در مرحله قبل برابر ۰/۸۸ بدست آمده بود حاصل می‌شود. به این ترتیب ظرفیت

کاربرگ برای تحلیل تقاطع - T

LOCATION: *Market and Jones* NAME: *Jim Jones*

حجم‌های ساعتی

Major Street: *Market* N

N = 1

Grade __%

250 V_2 → ← V_5 300

40 V_3 ← → V_4 150

N = 1

V_7 V_9

40 120

Date of Counts: *6/20/84*

Time Period: *4-5 PM*

Average Running Speed: *30mph*

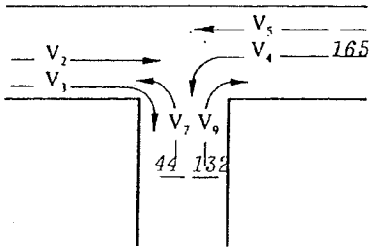
Pop: *100,000*

PHF: ____ Grade ____ %

☒ STOP ☐ YIELD

N = ☐ Minor Street: *Jones*

حجم‌ها



تصحیحات حجم

Movement No.	2	3	4	5	7	9
Volume (vph)	250	40	150	300	40	120
Vol. (pcph), see Table 10-1			165		44	132

مرحله ۱: گردش به راست از خیابان فرعی — V_9

Conflicting Flow, V_c: $1/2\ V_3 + V_2 = 20 + 250 = 270$ vph (V_{c9})

Critical Gap, T_c, and Potential Capacity, c_p: $T_c = 5.5$ sec (Table 10-2) $c_{p9} = 825$ pcph (Fig. 10-3)

Actual Capacity, c_m: $c_{m9} = c_{p9} = 825$ pcph

مرحله ۲: گردش به چپ از خیابان اصلی — V_4

Conflicting Flow, V_c: $V_3 + V_2 = 40 + 250 = 290$ vph (V_{c4})

Critical Gap, T_c, and Potential Capacity, c_p: $T_c = 5.0$ sec (Table 10-2) $c_{p4} = 900$ pcph (Fig. 10-3)

Percent of c_p Utilized and Impedance Factor (Fig. 10-5): $(v_4/c_{p4}) \times 100 = 18.3\%$ $P_4 = 0.88$

Actual Capacity, c_m: $c_{m4} = c_{p4} = 900$ pcph

مرحله ۳: گردش به چپ از خیابان فرعی — V_7

Conflicting Flow, V_c: $1/2\ V_3 + V_2 + V_5 + V_4 = 20 + 250 + 300 + 150 = 720$ vph (V_{c7})

Critical Gap, T_c, and Potential Capacity, c_p: $T_c = 6.5$ sec (Table 10-2) $c_{p7} = 350$ pcph (Fig. 10-3)

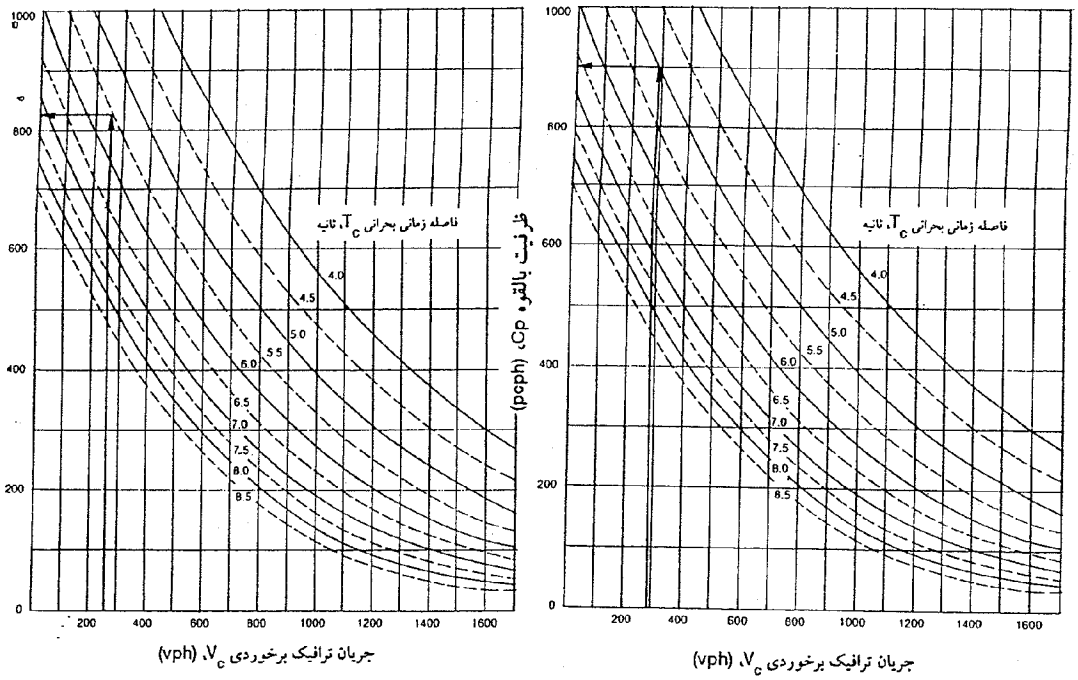
Actual Capacity, c_m: $c_{m7} = c_{p7} \times P_4 = 350 \times 0.88 = 308$ pcph

ظرفیت خط مشترک

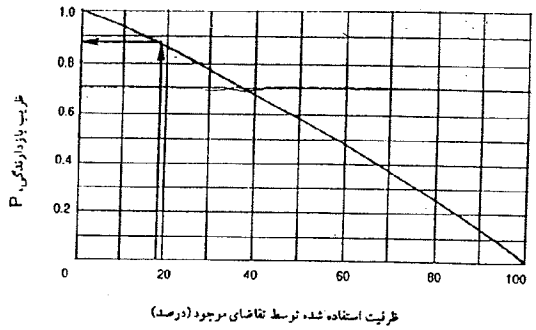
$$C_{SH} = \frac{v_7 + v_9}{(v_7/c_{m7}) + (v_9/c_{m9})} \quad \text{if lane is shared}$$

Movement No.	v(pcph)	c_m (pcph)	c_{SH} (pcph)	c_R	LOS
7	44	308	581	405	A
9	132	825	825	693	C
4	165	900	--	735	A

شکل ۱۳-۱۳. کاربرگ مسئله ۱



شکل ۱۴-۱۳ - مربوط به مسأله ۱



شکل ۱۵-۱۳ - مربوط به مسأله ۱

حرکت ۸۸/۰×۳۵۰ و یا ۳۰۸ pcph خواهد بود.

۶ - مرحله نهایی تعیین ظرفیت خط مشترک، ظرفیت ذخیره و خط سرویس تقاطع است. چون هدف این مسئله بررسی تأثیر خط گردش براست پیشنهادی است، ظرفیت‌های ذخیره در هر دو حالت خط مشترک موجود و خط مجزای پیشنهادی محاسبه می‌شوند.

در حالت خط مشترک:

$C_{sh} = [44+132]/[44/308)+(132/825)] = 581$ pcph

$C_R = 581-(44+132) = 405$ pcph

$LOS = A$

برای حالت خط مجزا:

C_R (گردش براست) $= 825-132 = 639$ pcph : $LOS=A$

C_R (گردش بچپ) $= 308-44 = 264$ pcph : $LOS=A$

این جواب نشان می‌دهد که یک خط انحصاری چندان بهبودی در حرکت گردش براست وسایل نقلیه ایجاد نمی‌کند. در حقیقت در صورت تأمین این خط انحصاری، در سطح سرویس گردش بچپها کاهش مشاهده خواهد شد. در حالیکه هر وسیله نقلیه گردش بچپ کننده بواسطه این خط انحصاری دچار تأخیر کمتری می‌شود ولی تأخیر آنها بزرگتر از میانگین تأخیر وسایل نقلیه در خط مشترک خواهد بود.

در صورت استفاده از خطوط مجزا برای گردش کنندگان براست و چپ، کلیه وسایل نقلیه دچار تأخیر کمتری خواهند شد. این تحلیل نشان می‌دهد که کاهش تأخیر حاصله اندک بوده و بنظر نمی‌رسد که رافع شکایات ساکنین باشد.

راههای شریانی شهری و حومه‌ای

راههای شریانی شهری و حومه‌ای خیابانهایی هستند که در درجه اول به ترافیک عبوری سرویس می‌دهند به عنوان دومین عملکرد، برای املاک مجاور تأمین دسترسی می‌کنند. در اینگونه راهها فواصل تقاطعهای چراغدار کمتر از ۱/۶ km بوده و حرکتهای گردشی در تقاطعها معمولاً از ۲۰ درصد کل حجم ترافیک تجاوز نمی‌کنند. توسعه نواحی اطراف شریانی‌ها می‌تواند شدید باشد و این باعث افزایش اصطکاکهای ترافیکی و محدود شدن سرعت رانندگی می‌گردد.

در طبقه‌بندی راههای حمل و نقل شهری، خیابانهای شریانی در حد واسط خیابانهای جمع آورنده و اصلی از یک سو و راههای حومه‌ای و جاده‌های برون شهری از سوی دیگر هستند. تفاوت اینها صرفاً بر اساس عملکرد آنها و میزان ونحوه توسعه نواحی اطراف مشخص می‌شود.

خیابان‌های جمع آورنده در ناحیه‌های مسکونی، تجاری و صنعتی، هم تأمین دسترسی می‌کنند و هم گردش ترافیک. عملکرد دسترسی آنها مهمتر از عملکرد شریانی است و برخلاف شریانی‌ها، عملکرد آنها همواره تحت تأثیر چراغهای راهنمایی نمی‌باشد.

خیابانهای اصلی معمولاً دارای تقاطع‌های چراغدار بوده و شباهتهایی با شریانی‌ها دارند. ولی عملکرد اصلی آنها عبور ترافیک نبوده بلکه تأمین دسترسی به محله‌های تجاری بوسیله اتومبیل‌های سواری، اتوبوسهای مسافربری و کامیونها است. حرکت‌های گردشی در تقاطع‌های اصلی، اغلب بیشتر از ۲۰ درصد کل ترافیک است زیرا جریان ترافیک نواحی مرکزی و تجاری مستلزم مقدار قابل توجهی ترافیک گردشی است.

خصیصه اصلی خیابانهای اصلی، برخورد بسیار زیاد عابرین پیاده و موانع ناشی از توقف یا ایستادن تاکسی‌ها، اتوبوسها، کامیونها و پارکینگ وسایل نقلیه است که در جریان ترافیک ایجاد اغتشاش می‌کنند. عملکرد خیابان اصلی می‌تواند در طول روز تغییر کند و بدین منظور برخی از خیابانهای اصلی راهبردی در ساعات اوج ترافیک تبدیل به شریانی می‌شوند.

راههای حومه‌ای چند خطه و جاده‌های برون شهری به لحاظ زیر از شریانی‌های حومه‌ای متمایز می‌گردند: (۱) توسعه نواحی اطراف آنها کمتر است، (۲) تراکم نقاط دسترسی ترافیکی در آنها کمتر است و (۳) فواصل تقاطع‌های چراغدار آنها از ۱/۶ km بیشتر است و در نتیجه شرایط فوق در این گونه راهها تعداد برخوردهای ترافیکی کمتر با جریان یکنواخت تر و بدون ساختار حرکت دسته‌ای است.

در این بخش، یک روش کار برای ارزیابی سطح سرویس (LOS) شریانیهای موجود یا پیشنهادی ارائه می‌شود. با استفاده از این روش نمی‌توان ظرفیت شریانی را بدست آورد زیرا ظرفیت شریانی‌ها اصولاً وابسته به ظرفیت تقاطع‌های چراغدار آنها است. در بعضی موارد نیز ممکن است شرایط میان - قطعه‌ای ظرفیت را محدود کند. بطور کلی، برای تحلیل ظرفیت شریانی‌ها باید ظرفیت تقاطع‌های چراغدار و سایر نقاط مشابه آنها را تحلیل نمود.

مشخصه‌های تردد در شریانی‌ها

عملکرد وسایل نقلیه در خیابانهای شریانی تحت تأثیر سه عامل قرار دارد: (۱) محیط اطراف شریانی، (۲) اندرکنش وسایل نقلیه و (۳) تأثیر چراغهای راهنمایی. این عوامل ظرفیت و سطح

سرویس یک شریانی را معین می‌کنند و مبانی اصلی روش کار این بخش را تشکیل می‌دهند.

محیط شریانی شامل خصوصیات هندسی راه و کاربری زمین‌های مجاور است. تعداد خطوط، عرض خط، نوع میانه، تراکم نقاط دسترسی و فواصل میان تقاطع‌های چراغدار از جمله عوامل محیطی هستند و همچنین وجود پارکینگ، عملکرد عابرین پیاده، حد سرعت و جمعیت شهر.

محیط شریانی، در تصور رانندگان از سرعت ایمن، مؤثر است. حتی اگر تأثیر سایر عوامل ناچیز باشد شرایط محیطی، سرعت مطلوب رانندگان را محدود می‌کند. سرعت مطلوب حداکثر سرعتی است که راننده مایل است تحت یکسری شرایط محیطی مفروض داشته باشد.

اندرکنش میان وسایل نقلیه، بوسیله چگالی ترافیک، نسبت کامیونها، اتوبوسها و حرکتهای گردشی معین می‌شود. این اندرکنش‌ها در عملکرد وسایل نقلیه در تقاطع و تا حدی درحد فواصل چراغها مؤثر هستند.

بندرت یک راننده می‌تواند در سرعت مطلوب خود سفر کند. در بیشتر اوقات حضور سایر وسایل نقلیه سرعت یک وسیله نقلیه متحرک را محدود می‌کند و این بخاطر تفاوت میان سرعت‌های مطلوب رانندگان و یا شتاب‌گیری وسایل نقلیه‌ای است که هنوز به سرعت مطلوب خود نرسیده‌اند. بنابراین میانگین سرعت یک وسیله نقلیه در طول مشخصی از راه، یا سرعت حرکت، معمولاً به واسطهٔ اندرکنش وسایل نقلیه دارای مقدار کمتری نسبت به سرعت مطلوب راننده آن می‌باشد. به همین ترتیب "سرعت میانگین حرکت" کلیه وسایل نقلیه در یک قطعه از شریانی معمولاً کمتر از سرعت جریان آزاد آن قطعه است.

چراغ‌های راهنمایی، وسایل نقلیه را وادار به توقف در یک زمان مشخص کرده و سپس آنها را به صورت دسته‌ای رها می‌کنند. تأخیرها و تغییرات سرعت ناشی از عملکرد چراغ‌های راهنمایی، کاهش قابل توجه‌ای در ظرفیت راههای شریانی شهری ایجاد کرده و کیفیت جریان ترافیک آنها را پایین می‌آورند.

میانگین مدت توقف بر وسیله، یا میانگین تأخیر توقف، عمدتاً بستگی به نسبت زمان قرمز مربوط به قطعهٔ شریانی، نسبت وسایل نقلیه‌ای که در زمان سبز فرا می‌رسند (یا کیفیت هماهنگی چراغهای راهنمایی) و حجم تردد دارد. اصولاً سرعت سفر در یک قطعه از شریانی (که شامل زمان‌های تلف شده در تقاطع‌ها و تأخیرهای مربوط می‌شود) کمتر از سرعت حرکت مربوطه است. به همین ترتیب، میانگین سرعت سفر کلیه وسایل نقلیه قطعه کمتر از میانگین سرعت‌های حرکت آنها خواهد بود.

در شکل ۱۵-۱۳ نمودارهای زمان - مسافت تعدادی از وسایل نقلیه واقع در یک خط از یک شریانی نشان داده شده است. وسایل نقلیه ۱ و ۲ از خیابان فرعی وارد شریانی شده و بقیه آنها از چراغ پایین دست تخلیه شده‌اند. وسایل نقلیه ۱ و ۲ و ۳ در حین زمان قرمز چراغ پایین دست به تقاطع رسیده و توقف کرده‌اند. وسیله نقلیه ۴ می‌توانسته در زمان سبز به خط توقف برسد ولی مجبور به توقف شده است زیرا وسیله نقلیه ۳ هنوز بحرکت در نیامده و راه او را مسدود کرده است. وسایل نقلیه ۵، ۶ و ۷ توقف نکرده ولی بخاطر تأثیر توقف‌های قبلی از سرعت خود کاسته‌اند. وسیله نقلیه ۸ بعلت آنکه سرعت مطلوب راننده‌اش بیشتر از وسیله نقلیه ۷ بوده دچار تأخیر شده است. وسایل نقلیه ۹ و ۱۰ در سرعت مطلوب راننده‌هایشان سفر کرده‌اند.

سرعت سفر وسایل نقلیه ۱، ۲، ۳ و ۴ کمتر از سرعت حرکت مربوطه بوده و آن نیز به نوبه خود کمتر از سرعت مطلوب رانندگان آنها است. سرعت سفر وسایل نقلیه ۵، ۶، ۷ و ۸ برابر با سرعت حرکت مزبوطه بوده ولی هر دو این سرعتها کمتر از سرعت مطلوب رانندگان آنها است. نهایتاً در مورد وسایل نقلیه ۹ و ۱۰ که رانندگان آنها در سرعت مطلوب خود سفر می‌کردند این سه نوع سرعت دارای مقدار یکسانی هستند.

سطح سرویس شریانی

سطح سرویس شریانی بستگی به میانگین سرعت سفر در قطعه، بخش و یا کل شریانی مورد نظر دارد. میانگین سرعت سفر با استفاده از زمان حرکت در قطعه شریانی و تأخیر تقاطع‌ها بدست می‌آید.

سطح سرویس شریانی‌ها در بخش روشکار بصورت جدولی ارائه شده است. با این وجود در اینجا بطور اجمالی مورد بحث قرار می‌گیرند.

سطح سرویس شریانی‌ها بر حسب میانگین سرعت سفر کلیه وسایل نقلیه مستقیم شریانی تعریف می‌شود و به شدت تحت تأثیر چراغ‌های راهنمایی در هر کیلومتر و میانگین تأخیر تقاطع‌ها قرار دارد. در یک راه مفروض، عواملی مانند زمان‌بندی نامناسب چراغ‌ها، هماهنگی ضعیف، و افزایش جریان ترافیک می‌توانند سطح سرویس شریانی را بشدت تنزل دهند. شریانی‌هایی که دارای چراغهای راهنمایی با تراکم زیاد هستند نسبت به این عوامل حساس‌تر می‌باشند. سطح سرویس D در شریانی‌ها حتی قبل از بروز مسائل تقاطع‌ها قابل مشاهده است

جدول ۱۶-۱۳ . سطح سرویس شریانی‌ها

طبقه‌بندی شریانی‌ها	I	II	III
محدوده سرعت جریان آزاد (km/hr)	۵۵ تا ۷۰	۵۰ تا ۵۵	۴۰ تا ۵۰
سرعت جریان آزاد نمونه (km/hr)	۶۵	۵۳	۴۵
سطح سرویس	میانگین سرعت سفر (کیلومتر در ساعت)		
A	≥۵۵	≥۵۰	≥۴۰
B	≥۴۵	≥۴۰	≥۳۰
C	≥۳۵	≥۳۰	≥۲۰
D	≥۲۷	≥۲۲	≥۱۴
E	≥۲۰	≥۱۶	≥۱۱
F	<۲۰	<۱۶	<۱۱

ولی بروز این مسائل و حتی سطح سرویس‌های پایین‌تر فاصله زیادی با سطح سرویس D نخواهند داشت.

سطح سرویس A عمدتاً بیانگر عملکرد جریان آزاد همراه با یک میانگین سرعت سفر در حدود ۹۰ درصد سرعت جریان آزاد شریانی است. وسایل نقلیه براحتی قادر به جابجایی در جریان ترافیک هستند. تأخیر توقف در تقاطع‌های چراغدار در حد کمینه است.

سطح سرویس B نشان دهنده عملکرد خوب وسایل نقلیه با میانگین سرعت سفر در حدود ۷۰ درصد سرعت جریان آزاد مربوط به طبقه‌بندی شریانی است، قابلیت جابجائی در جریان ترافیک فقط اندکی محدود شده و تأخیر توقف‌ها قابل توجه نمی‌باشند. رانندگان نیز بطور کلی تحت تنش قرار نمی‌گیرند.

سطح سرویس C بیانگر عملکرد پایدار است. با این وجود، قابلیت جابجائی و تغییر خط در نقاط میانی قطعه می‌تواند محدودتر از سطح سرویس B بوده و در اثر صفهای طویل و ناهماهنگی چراغها سرعت سفر میانگین می‌تواند به حدود ۵۰ درصد میانگین سرعت جریان آزاد در طبقه‌بندی شریانی مربوطه برسد. رانندگان در حین رانندگی دچار تنش قابل توجهی می‌گردند.

سطح سرویس D در مرز محدوده‌ای واقع شده است که در آن اندکی افزایش در جریان باعث افزایش قابل توجه تأخیر و بنابراین کاهش سرعت شریانی خواهد شد. علت این امر می‌تواند ناهماهنگی چراغها، نامناسب بودن زمانبندی چراغ، تردد زیاد و یا ترکیبی از اینها باشد. میانگین سرعت سفر حدود ۴۰ درصد سرعت جریان آزاد است.

سطح سرویس E بوسیله تأخیرهای شدید و سرعت سفر میانگین کمتر از یک سوم سرعت جریان آزاد مشخص می‌شود. اینگونه عملکرد در اثر ناهماهنگی چراغها، تراکم زیاد چراغهای راهنمایی، صف هائی طولانی و راه بندان در تقاطع‌های بحرانی، زمان‌بندی نامناسب چراغها و یا ترکیبی از اینها بوجود می‌آید.

سطح سرویس F مشخص کننده جریان بسیار کم سرعت در شریانی بوده و میانگین سرعت سفر کمتر از یک چهارم سرعت جریان آزاد است. راه بندان در تقاطع‌های بحرانی چراغدار محتمل بوده و نتیجه آن تأخیرهای شدید است. ناهماهنگی چراغها نیز همواره وجود خواهد داشت.

روشکار

این روشکار یک دستورالعمل برای ارزیابی شریانی‌ها است. در صورت وجود اطلاعات محلی می‌توان با استفاده از این دستورالعمل، سطح سرویس یک شریانی مفروض را بدون محاسبه زمان حرکت و تأخیر تقاطع‌ها بدست آورد، طبقه‌بندی شریانی را معین کرده و زمان سفر در هر کیلومتر را بدست می‌دهد. در صورتی که یک شریانی هنوز احداث نشده باشد می‌توان از اطلاعات مربوط به سرعت جریان آزاد در راههای مشابه استفاده نمود.

همانگونه که در شکل ۱۶-۱۳ مشاهده می‌شود دستورالعمل تعیین سطح سرویس دارای هفت مرحله زیر است:

۱ - تعیین موقعیت و طول شریانی مورد نظر

۲ - تعیین طبقه‌بندی شریانی با استفاده از نمودار مربوطه.

۳ - تقسیم‌بندی شریانی به بخش‌هایی که قابل ارزیابی بوده و هر یک شامل یک یا چند قطعه شریانی می‌باشند.

۴ - محاسبه زمان سفر شریانی برای هر قطعه و هر بخش (بسته به اینکه بخش‌هایی بزرگتر از قطعه‌ها وجود داشته باشد)

۵ - جمع‌آوری اطلاعات لازم در هر تقاطع و محاسبه تأخیر رویکرد در تقاطع‌ها با توجه به:

الف - پارامترهای تقاطع برای حرکت مستقیم

C، طول چرخه چراغ

g/c، نسبت سبز

X، نسبت v/c

c، ظرفیت گروه خط مستقیم

ب - کیفیت هماهنگی چراغها

ج - رابطه میان تأخیر رویکرد و تأخیر توقف

۶ - محاسبه میانگین سرعت سفر

الف - در هر بخش برای تهیه پروفیل

ب - در کل راه

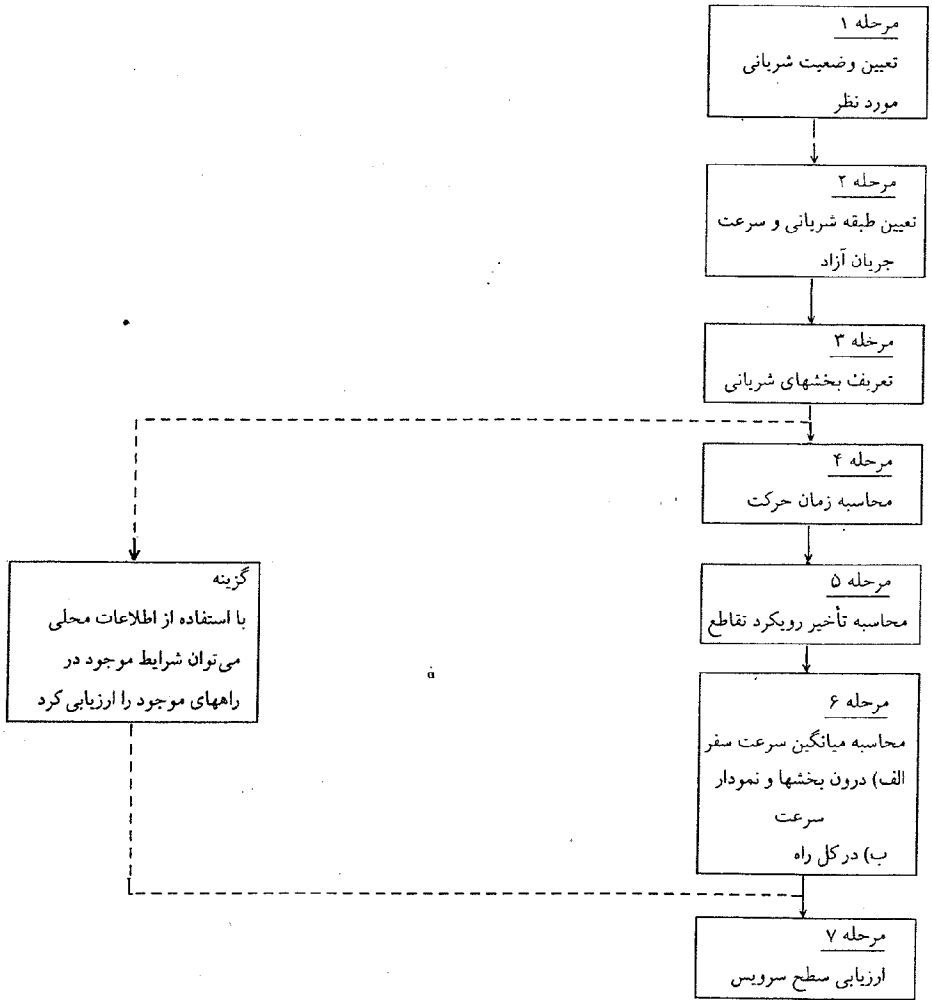
۷ - تعیین سطح سرویس راه (LOS) با استفاده از جدول مربوطه

در مورد شریانی‌های دو طرفه این روشکار دو مرتبه بکار می‌رود (یکبار برای هر جهت).

می‌توان با مطالعه زمان سفر و تأخیر در طول شریانی و اندازه‌گیری میانگین سرعت در مجل، مراحل ۴ تا ۶ را دور زد. در زیر هر یک از این مراحل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مرحله ۱ - تعیین وضعیت شریانی موردنظر

به عنوان یک پیشنیاز، لازم است موقعیت و طول شریانی مورد نظر و کلیه اطلاعات فیزیکی و ترافیکی مربوطه معین شود. در این رابطه باید بررسی دقیق شود که آیا طول شریانی مورد مطالعه کافی است یا بخش‌های دیگری باید اضافه شود.



شکل ۱۶-۱۳ - روشکار تعیین سطح سرویس شریانی‌ها

مرحله ۲ - طبقه‌بندی شریانی و تعیین سرعت جریان آزاد

در این فصل بر اساس عملکرد و طرح شریانی‌ها، سه طبقه در نظر گرفته شده است. در هر طبقه یک محدوده سرعت جریان آزاد مشخص شده است.

در کلیه موارد، شریانی باید نخست بر اساس عملکرد و سپس طرح آن طبقه‌بندی گردد. در بعضی موارد، بخاطر ابهامات موجود در طبقه‌بندی، اندازه‌گیری سرعت جریان آزاد، طبقه صحیح شریانی را معین می‌کند.

سرعت جریان آزاد میانگین سرعت سفر با استفاده از مطالعات زمان سفر شریانی بدست می‌آیند. بنابراین، کاربرد این روش تنها با استفاده از اندازه‌گیریهای واقعی میسر می‌شود.

سرعت جریان آزاد عبارت است از میانگین سرعت وسایل نقلیه در بخشهایی از شریانی که فاقد تقاطع‌های چراغدار بوده و بواسطه حجم کم ترافیک، رانندگان بوسیله سایر وسایل نقلیه محدود نمی‌شوند. میانگین سرعت جریان آزاد، تقریباً برابر با سرعت مطلوب رانندگان در راه مفروض است. سرعت جریان آزاد را می‌توان با استفاده از اتومبیل‌های آزمون و یا مشاهدات نقطه‌ای سرعت در نقاط دور از تقاطع‌ها، اندازه‌گیری کرد.

در مطالعه عملکردی باید نخست مشخص شود که آیا راه مورد نظر یک شریانی اصلی است یا یک شریانی فرعی.

شریانی اصلی، عمدتاً به حرکت‌های عبوری میان مراکز مهم فعالیت در یک ناحیه شهری و بخش عمده‌ای از سفرهای ورودی و خروجی ناحیه سرویس می‌دهد. این نوع شریانی‌ها، آزاد راههای پرترافیک را نیز به هم متصل می‌کنند. در شهرهای کوچک (با جمعیت کمتر از ۵۰۰۰۰ نفر) اهمیت آنها در عبور ترافیک از ناحیه شهری است. سرویس دادن به زمین‌های مجاور نسبت به عملکرد عبوری ترافیک دارای اهمیت کمتری است.

جدول ۱۷-۱۳. راهنمای تعیین طبقه‌بندی شریانی

معیار	طبقه بندی عملکردی	
	شریانی اصلی	شریانی فرعی
عملکرد جابجایی	بسیار مهم	مهم
عملکرد دسترسی	خیلی فرعی	اساسی
اتصال نقاط	آزادراهها - مراکز مهم فعالیت - تولید کنندگان اصلی ترافیک	شریانی‌های اصلی
نوع سفرهای انجام شده	سفرهای نسبتاً بلند میان نقاط فوق و سفرهای عبوری وارد شونده، خارج‌شونده، گذرنده از میان شهر	سفرهای با طول متوسط میان نواحی نسبتاً کوچک

معیار	طبقه بندی طراحی		
	طرح حومه‌ای	طرح واسط	طرح درون شهری .
کنترل دسترسی	نسبی تا کامل	نسبی	ناچیز یا بدون کنترل
نوع شریانی	چند خطه جداشده - جدانشده یا دو خطه	چندخطه جدا شده یا نشده یکطرفه دو خطه	جداشده چندخطه- جدا نشده یا دو خطه با شانه
پارکینگ	بدون پارکینگ	تعدادی پارکینگ	پارکینگ مجاز
خط گردش بچپ	دارد	تعدادی	ندارد
تعداد چراغ در هرکیلومتر	۱ تا ۳	۳ تا ۵	۵ تا ۸
محدودیت سرعت	۶۵ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت	۵۰تا۶۵ کیلومتر در ساعت	۴۰ تا ۵۵ کیلومتر در ساعت
تداخل عابر پیاده	ندارد	ندارد	تاحدی
توسعه نواحی اطراف	کم تراکم	متوسط	پرتراکم

شریانی فرعی، راههای هستند که سیستم شریانی‌های اصلی را به هم ارتباط و گسترش می‌دهند. گرچه عملکرد اصلی آنها کماکان برقراری تحرک ترافیکی است ولی نسبت به شریانی‌های اصلی دسترسی بیشتری برای زمین‌های مجاور تأمین می‌کنند.

سیستم شریانی‌های فرعی به سفرهای با طول متوسط سرویس داده و نسبت به شریانی‌های اصلی سفرها را میان نواحی کوچکتری توزیع می‌کنند. در داخل طبقه‌بندی عملکردهای شریانی، طبقه‌بندی دیگری بر اساس طرح آن صورت می‌گیرد.

نمونه طرح حومه‌ای بیانگر شریانی‌های با کنترل نسبی یا کامل دسترسی، خطوط گردش بچپ مجزا و بدون پارکینگ است و می‌تواند شامل یک راه چند خطه جدا شده، جدا نشده و یا دو خطه شانه‌دار باشد. فواصل چراغها در حد مناسب برای هماهنگی (یک یا دو چراغ در هر کیلومتر) یا بیشتر قرار دارند. توسعه نواحی اطراف راه از تراکم کم برخوردار بوده و حد سرعت معمولاً ۶۵ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت است.

طرح واسط نشان دهنده یک شریانی با کنترل نسبی دسترسی است و می‌تواند یک راه چند خطه جدا شده و یا دو خطه باشد. این طرح می‌تواند دارای چند خط گردش بچپ مجزا یا پیوسته و بعضی قسمت‌های مجاز برای پارکینگ باشد. توسعه نواحی اطراف راه در این طرح از تراکم بالاتری نسبت به نمونه طرح حومه‌ای برخوردار است. تراکم چراغها برابر ۲ تا ۵ چراغ در هر کیلومتر بوده و سرعت حدی آن معمولاً ۵۰ تا ۶۵ کیلومتر در ساعت است.

نمونه طرح درون شهری بیانگر شریانی‌های بدون کنترل دسترسی است. این شریانی‌ها راههای جدا نشده یک طرفه یا دو طرفه دو خطه یا بیشتر هستند. معمولاً پارکینگ در آنها مجاز است. بطور کلی فاقد خطوط گردش به چپ مجزا بوده و برخوردهایی با جریان عابرین پیاده دارند. اغلب دارای ۵ تا ۸ چراغ در هر کیلومتر هستند. توسعه نواحی مسکونی و تجاری اطراف فشرده بوده و حد سرعت آنها ۴۰ تا ۵۵ کیلومتر در ساعت است.

همانگونه که قبلاً اشاره شد ممکن است ابهاماتی در تعیین طبقه‌بندی صحیح پیش آید. در این صورت اندازه‌گیری یا برآورد سرعت جریان آزاد تعیین کننده است زیرا هر طبقه شریانی دارای یک محدوده سرعت جریان مشخصی است. این محدوده‌ها در صفحه قبل شرح داده شده است.

طبقه شریانی	محدوده سرعت جریان آزاد
I	۵۵ → ۷۰
II	۵۰ → ۵۵
III	۴۰ → ۵۵

سرعت جریان آزاد به تنهایی برای تعیین طبقه شریانی کافی نیست ولی می‌تواند به عنوان کنترل کننده جدول طبقه‌بندی بکار رود.

جدول ۱۸-۱۳. طبقه‌بندی شریانی‌ها بر اساس عملکرد و طرح آنها

نوع طرح	نوع عملکرد: شریانی اصلی	نوع عملکرد: شریانی فرعی
نمونه طرح و کنترل حومه‌ای	I	II
طرح واسط	II	III
نمونه طرح شهری	III	III

مرحله ۳- تعیین بخش‌های شریانی

واحد اساسی شریانی "قطعه" می‌باشد، که فاصله جهت دار را از یک تقاطع چراغدار تا تقاطع چراغدار بعدی نشان می‌دهد. اگر دو یا چند قطعه پشت سر هم از نظر طبقه شریانی، طول قطعه، سرعت مجاز، و کاربری کلی زمین و فعالیت‌ها قابل مقایسه باشند، ممکن است آنها را در جمع بعنوان یک "بخش" در نظر گرفت. بدین ترتیب تمام نتایج، بجای قطعات تشکیل‌دهنده، به آن بخش مرتبط خواهد شد.

در حالت‌هائی که طول قطعات پشت سرهم بیش از ۲۰ درصد تفاوت داشته باشد، نمی‌توان "قطعات" را در یک "بخش" جمع نمود. بخش‌های جدا باید تعریف کردند. وقتی که یک بخش تعریف می‌شود، از طول متوسط قطعه در پیدا نمودن زمان حرکت شریانی که در مرحله بعدی انجام می‌شود باید استفاده گردد.

مرحله ۴ - محاسبه زمان حرکت شریانی

کل زمانی که یک وسیله نقلیه در یک بخش شریانی و در کل آن می‌گذراند به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود: زمان حرکت شریانی و تأخیر رویکرد تقاطع. در این مرحله نحوه محاسبه

بخش اول تشریح می‌شود تا با استفاده از معادله زیر بتوان میانگین سرعت سفر را بدست آورد.

$$ART\ SP = [(۳۶۰۰) \times (\text{طول})] / [\text{زمان حرکت درکیلومتر}) \times (\text{طول}) + (\text{کل تأخیر رویکرد تقاطع})] \quad (۱۳-۲۴)$$

که در آن:

$ART\ SP$ = میانگین سرعت سفر در بخش یا کل شریانی

طول = طول بخش یا شریانی بر حسب km

زمان حرکت در کیلومتر = کل زمان حرکت در قطعه‌های شریانی یا بخش (بر حسب ثانیه) کل تأخیر رویکرد تقاطع = مجموع تأخیرهای رویکرد کلیه تقاطع‌های بخش یا شریانی بر حسب ثانیه عدد ۳۶۰۰ ضریب تبدیل واحد است.

در موارد خاصی ممکن است بعضی تأخیرهای میان قطعه‌ای مانند تأخیر ناشی از توقف وسایل نقلیه در مقابل عبور عابرین پیاده وجود داشته باشد. این گونه تأخیرها را می‌توان در مخرج معادله ۲۴-۱۳ بعنوان جمله سوم وارد کرد.

برای محاسبه زمان حرکت در یک قطعه اطلاعات زیر ضروری است:

* طبقه شریانی
* طول قطعه، بر حسب کیلومتر
* سرعت جریان آزاد، بر حسب کیلومتر در ساعت

زمان حرکت قطعه از جدول ۱۹-۱۳ بدست می‌آید.

جدول ۱۹-۱۳ - زمان حرکت قطعه در هر کیلومتر

طبقه شریانی	I			II		III		
سرعت جریان‌آزاد (km/hr)	۷۰	۶۵	۵۵	۵۵	۵۰	۵۵	۵۰	۴۰
میانگین طول‌قطعه (km)	زمان حرکت در هر کیلومتر (Sec/km)							
۰/۰۸							۱۴۲	۱۶۶
۰/۱۶				۹۱	۹۷	۱۰۳	۱۱۲	۱۳۸
۰/۲۴				۸۴	۸۸	۸۸	۹۴	۱۱۲
۰/۳۲	۶۸	۷۲	۷۸	۸۰	۸۴	۸۱	۸۸	۱۰۳
۰/۴۰	۶۵	۶۹	۷۴	۷۵	۷۹	۷۶	۸۲	۹۶
۰/۴۸	۶۲	۶۴	۶۹					
۰/۶۴	۵۹	۶۰	۶۶					
۰/۸۰	۵۵	۵۸	۶۴					
۱/۶۰	۵۰	۵۶	۶۴					

تذکر:

۱ - در صورتی که برآوردی از سرعت جریان آزاد موجود نباشد می‌توان با فرض مقادیر زیر از جدول بالا استفاده نمود:

برای درجه	سرعت جریان آزاد (کیلومتر در ساعت)
I	۶۵
II	۵۵
III	۵۰

۲ - در مورد قطعات طولانی شریانی‌های طبقه I (بیش از ۱/۶ کیلومتر) با توجه به سرعت جریان آزاد، از زمان حرکت قطعه ۱/۶ کیلومتری استفاده می‌شود.

۳ - اگر یک شریانی درجه I دارای قطعه‌ای کوتاهتر از ۰/۳۲ کیلومتر باشد باید: (۱) درجه‌بندی مجدد صورت گیرد و اگر بعنوان یک قطعه مجزا باقی ماند آنگاه (۲) از مقدار مربوط به ۰/۳۲ کیلومتر استفاده می‌شود.

۴ - به همین ترتیب در مورد شریانی‌های درجه II و III برای قطعات بزرگتر از ۰/۴ کیلومتر در صورت نیاز برون‌یابی صورت می‌گیرد.

اگر یک بخش شریانی شامل چندین قطعه متفاوت باشد برای بدست آوردن زمان حرکت در هر کیلومتر آن از میانگین طول قطعه‌ها استفاده می‌شود. در این صورت باید در طول بخش ضرب گردد.

یک ارتباط منطقی میان زمان حرکت قطعه و تردد ترافیک وجود دارد. تا کنون هیچ رابطه‌ای برای این وابستگی پیشنهاد نشده است. با این وجود، این رابطه چندان قوی نیست. در عمل، محاسبه سرعت سفر شریانی برای مقادیر مختلف تردد ترافیک تحت تأثیر تأخیر رویکرد تقاطعها قرار می‌گیرد بدون آنکه وابستگی زمان حرکت قطعه بتواند خود را نشان دهد.

مرحله ۵ - تنظیم اطلاعات مربوط به تقاطع و محاسبه تأخیر

به منظور محاسبه سرعت یک بخش یا کل شریانی تأخیر کلیه تقاطع‌ها مورد نیاز است. چون عملکرد شریانی عمدتاً سرویس دادن به ترافیک عبوری است برای تعیین مشخصات شریانی از گروه خطوطی که ترافیک مستقیم را عبور می‌دهند استفاده می‌شود.

در ارزیابی شریانی از کل تأخیر رویکرد استفاده می‌شود که رابطه آن با تأخیر توقف تقاطع چنین است:

(جمله‌درجه‌دوم)+(تأخیرتوقف‌تقاطع)×۱/۳ = کل‌تأخیررویکرد

جمله درجه دوم در حقیقت تصحیح تأثیر هماهنگی چراغها روی تأخیر رویکرد است. با توجه به خطاهای موجود در محاسبه تأخیر توقف، می‌توان از این تصحیح صرفنظر کرد. بنابراین تأخیر رویکرد توقف از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D = 1.3d \qquad (۱۳-۲۵)$$

که در آن:

D = تأخیر رویکرد تقاطع بر حسب sec/veh

d = تأخیر توقف تقاطع بر حسب sec/veh

مرحله ۶ - محاسبه میانگین سرعت سفر

میانگین سرعت باید در بخش‌ها و در کل شریانی بدست آیند. توصیه می‌شود که تحلیلگر یک نمودار سرعت برای کل راه همراه سرویس‌های قطعه‌ها و تقاطع‌ها تهیه نماید.

مرحله ۷ - ارزیابی سطح سرویس

برای هر طبقه از شریانی‌ها، سطح سرویس‌های مختلفی وجود دارد که بر اساس توقعات رانندگان از طبقه‌های مختلف شریانی‌ها بدست آمده‌اند.

برای بدست آوردن سطح سرویس هم سرعت جریان آزاد در طبقه مربوطه و هم سطح سرویس تقاطع‌ها در نظر گرفته می‌شوند. بطور کلی سطح سرویس شریانی‌ها بستگی به کیفیت و کارآیی و حرکت ترافیک عبوری در کل شریانی دارد. بنابراین باید انتظار تأخیر کمتری نسبت به تأخیر تقاطع مشابه داشت.

در جدول ۱۹-۱۳ سطح سرویس شریانی‌ها ارائه شده است. این سطح سرویس‌ها با توجه به درجه شریانی تغییر می‌کنند: هر چه درجه شریانی پایین‌تر باشد توقعات رانندگان کمتر بوده و سرعت مربوط به سطح سرویس مفروض کمتر خواهد بود. به این ترتیب یک شریانی III سطح سرویس B را در سرعت پایین‌تری نسبت به یک شریانی طبقه I تامین می‌کند.

در ارزیابی شریانی‌ها قبل و بعد از انجام توسازی باید به این نکته توجه داشت که، اگر نتیجه بازسازی افزایش طبقه شریانی از

جدول ۲۰-۱۳. معیارهای سطح سرویس برای تقاطع‌ها و شریانی‌ها

سطح سرویس	سطح سرویس تقاطع: تأخیر توقف بر وسیله نقلیه (ثانیه)
A	≤۵/۰
B	۵/۱ تا ۱۵/۰
C	۱۵/۱ تا ۲۵/۰
D	۲۵/۱ تا ۴۰/۰
E	۴۰/۱ تا ۶۰/۰
F	۶۰ <

سطح سرویس شریانی

طبقه شریانی	I	II	III
محدوده سرعت جریان آزاد (km/hr)	۷۰-۵۵	۵۵-۵۰	۵۰-۴۰
سرعت جریان آزاد نمونه	۶۵	۵۳	۴۵
A	≥۵۵	≥۵۰	≥۴۰
B	≥۴۵	≥۴۰	≥۳۰
C	≥۳۵	≥۳۰	≥۲۰
D	≥۲۷	≥۲۲	≥۱۴
E	≥۲۰	≥۱۶	≥۱۱
F	<۲۰	<۱۶	<۱۱

طبقه II به I باشد ممکن است علیرغم افزایش سرعت میانگین و سایر بهبودها سطح سرویس تغییر نکند (یا احتمالاً کاهش یابد) زیرا سطح توقعات بالاتر رفته است.

باید توجه داشت که مفهوم سطح سرویس کلی شریانی فقط در صورتی با معنی خواهد بود که کل قطعات آن دارای طبقه‌بندی مشابهی باشند. در صورتی که طبقه آنها متفاوت باشد سطح سرویس هم مختلف خواهد بود.

مسئله نمونه

محاسبه سطح سرویس شریانی

صورت مسئله. یک شریانی چند خطه جدا شده که بصورت شریانی اصلی عمل می‌کند مفروض است. این شریانی دارای کنترل کامل دسترسی و ممنوعیت پارکینگ بوده و فاصله چراغ‌های ثابت آن در حدود ۰/۵ کیلومتر است. نواحی اطراف این راه کم توسعه بوده و در هر جهت آن دو خط وجود دارد. سرعت جریان آزاد اندازه‌گیری شده برای این شریانی ۶۲ کیلومتر در ساعت بوده است.

در شکلهای ۱۸-۱۳ و ۱۹-۱۳ اطلاعات کامل مربوط به پارامترهای تقاطع‌ها و قطعه‌های این شریانی برای جریان رو به جنوب ارائه شده است. در جهت رو به جنوب هماهنگی خوبی وجود دارد.

مطلوب است سطح سرویس شریانی بصورت قطعه‌ای و کلی، قطعه‌ها را در یکدیگر ادغام نکنید.

خلاصه تخمین‌های تأخیر تقاطع‌های شریانی

جهت: جنوب — شریانی: مسأله نمونه

تاریخ: _____ — شماره پرونده: _____

تهیه شده: _____

قسمت	طول چرخه C	g/C	v/c نسبت X	ظرفیت‌گروه خط C	تأخیرورود تصادفی	نوع‌ورود	ضریب پیشروندگی	تأخیرتوقف تضمینی	سطح‌سرویس تقاطع	تأخیرتخمینی رویکرد
1	70	0.60	0.583	.....	6.9	5	0.53	3.7	A	4.8
2	70	0.60	0.611	.....	7.2	5	0.53	3.8	A	4.9
3	70	0.60	0.611	.....	7.2	5	0.53	3.8	A	4.9
↓ 4	70	0.60	0.611	.....	7.2	5	0.53	3.8	A	4.9
5	70	0.60	0.547	.....	7.0	5	0.53	3.7	A	4.8
6	70	0.60	0.583	.....	6.9	5	0.53	3.7	A	4.8
7	70	0.60	0.583	.....	6.9	5	0.53	3.7	A	4.8
8	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
9	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
10	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
11	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
12	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
13	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
14	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....
15	____	____	____	____	____	____	.....	.....	.....	.....

شکل ۱۸-۱۳. استفاده از کاربرگ تخمین تأخیر تقاطع‌های شریانی مربوط به مسأله نمونه

کاربرگ محاسبات سطح سرویس شریانی

$$\text{ART SPD} = \frac{(\text{جمع طول})3600}{(\text{جمع زمان})}$$

جهت : جنوب — شریانی: مسأله نمونه

تاریخ : _____ — شماره پرونده : _____

تهیه شده: _____

قسمت	طول mi	طبقه شریانی	سرعت آزاد mph	قسمت	زمان حرکت sec	تأخیرورویکرد تقاطع	تأخیرهای دیگر sec	جمع زمان درقسمت	جمع طول در قسمت	سرعت شریانی mph	سطح‌سرویس شریانی
1	0.20	I	39	1	23.4	4.8	———	28.2	0.20	25.5	C
2	0.20	I	39	2	23.4	4.9	———	28.3	0.20	25.4	C
3	0.30	I	39	3	31.1	4.9	———	36.0	0.30	30.0	B
4	0.30	I	39	4	31.1	4.9	———	36.0	0.30	30.0	B
5	0.30	I	39	5	31.1	4.8	———	35.9	0.30	30.1	B
6	0.40	I	39	6	39.5	4.8	———	44.3	0.40	32.5	B
7	0.40	I	39	7	39.5	4.8	———	44.3	0.40	32.5	B
8	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
9	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
10	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
11	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
12	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
13	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
14	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....
15	———	———	———	.....	———	———	———	.....	.....	.....	.....

B : سطح سرویس

253.1 =جمع کل زمان

2.10 = جمع کل طول

$$\frac{3{,}600 \times 2.10}{253.1} = 29.9 \text{ mph}$$

شکل ۱۹ -۱۳. استفاده از کاربرگ محاسبه سطح سرویس شریانی مربوط به مسأله نمونه

راه حل مسئله: راه حل این مسئله مطابق مراحل نشان داده شده در شکل ۱۶-۱۳ پیش می‌رود. در بعضی موارد ممکن است نیازی به انجام تمام این مراحل نباشد و یا اینکه برای سهولت بعضی مراحل جلوتر از دیگران انجام شوند. برای مثال، اگر ارزیابی تقاطع از قبل انجام شده باشد (یا اینکه خلاصه اطلاعات لازم موجود باشد) می‌توان آن اطلاعات را وارد کاربرگ مربوطه کرده و تأخیر رویکرد را قبل از محاسبه زمان حرکت شریانی بدست آورد.

مرحله ۱ - بررسی وضعیت شریانی مورد نظر:

این کار در صورت مسئله انجام شده است.

مرحله ۲ - تعیین طبقه شریانی:

این شریانی از لحاظ عملکردی یک شریانی اصلی است. از نظر طرح، مشخصات این شریانی عبارتند از:

* چند خطه جدا شده
* کنترل کامل دسترسی
* ممنوعیت پارکینگ
* کم توسعه‌گی نواحی اطراف راه
* ۲ چراغ در هر کیلومتر

این راه بوضوح دارای یک طرح حومه‌ای است.

با توجه به عملکرد "شریانی اصلی" و طرح "حومه‌ای" و با

استفاده از جدول ۱۸-۱۳ این شریانی درجه I محسوب می‌شود.

مرحله ۳ - تعیین بخش‌های شریانی:

از این مرحله می‌توان جهید زیرا در صورت مسئله خواسته شده بود "قطعه‌ها را دریک دیگر ادغام نکنید".

با این وجود، باید توجه داشت که در اینجا می‌توان بر اساس میانگین طول قطعه‌ها و الگوی حجم، برخی قطعه‌ها را در یکدیگر ادغام کرد. برای مثال ادغام‌های زیر را می‌توان صورت داد:

بخش	قطعه
۱	۱
۱	۲
۲	۳
۲	۴
۲	۵
۳	۶
۳	۷

اگر تفاوت‌های حجم در این ادغام مسئله‌ساز باشد می‌توان بعد از محاسبه تأخیر تقاطع‌ها یکبار دیگر آن راکنترل نمود.

مرحله ۴ - محاسبه زمان حرکت:

این شریانی طبقه I بوده و سرعت جریان آزاد در آن ۶۲ کیلومتر در ساعت است. بنابراین می‌توان با استفاده از جدول ۱۹-۱۳ زمان حرکت را بدست آورد.

قطعه ۱ را در نظر بگیرید. برای یک شریانی درجه یک با طول قطعه ۰/۳۲ کیلومتر و یک سرعت جریان آزاد ۶۴ کیلومتر در ساعت با استفاده از جدول (۱۹-۱۳) زمان حرکت در هر کیلومتر برابر ۷۲ sec/km بدست می‌آید. برای سرعت جریان آزاد ۵۵ km/hr زمان حرکت در هر کیلومتر برابر ۷۸ sec/km محاسبه می‌شود. با درون یابی برای ۶۲ km/hr زمان حرکت ۷۳ sec/km حاصل می‌شود. زمان حرکت در قطعه ۰/۳۲ کیلومتری برابر است با: ثانیه ۲۳/۴=۰/۳۲×۰/۷۳ این مقدار واردکاربرگ سطح سرویس شریانی می‌شود تا خلاصه اطلاعات بدست آید (شکل ۱۹-۱۳).

مرحله ۵ - محاسبه تأخیر تقاطع:

در شکل ۱۸-۱۳ کاربرگ "خلاصه محاسبات تأخیر تقاطع" برای این مسئله نشان داده شده است. باید توجه داشت که این اطلاعات باید برای گروه خطوط مربوط به حرکت مستقیم تنظیم شود زیرا این یک ارزیابی شریانی است. این اطلاعات را می‌توان بر اساس روشهای بخشهای قبل برای هر گروه خط دلخواه بدست آورد.

برای بدست آوردن "تأخیر فرا رسید اتفاقی" از معادله ۱۸-۱۳ استفاده می‌شود و سپس وارد خلاصه محاسبات می‌گردد. در انتخاب "نوع فرا رسید" وسایل نقلیه ملاحظات خاص وجود دارد. البته در این مورد، این کار به سهولت انجام می‌شود زیرا در اطلاعات اولیه تصریح شده بود که "در جهت رو به جنوب هماهنگی خوبی وجود دارد". با انطباق این مطلب بر تعاریف انواع فرا رسید، نوع ۵ انتخاب می‌شود زیرا طبق تعریف عبارت از" ... یک دسته فشرده از وسایل نقلیه که در آغاز فاز سبز فرا می‌رسند. این مطلوب ترین شرایط فرا رسید است."

با استفاده از جدول ۱۲-۱۳ ضریب پیشروی PF برای چراغ زمان دار مفروض و فرا رسید نوع ۵ مطابق زیر بدست می‌آید:

همانگونه که در شکل ۱۸-۱۳ مشاهده می‌شود کلیه تقاطعها دارای نسبت V/C نزدیک به ۰/۶ هستند بنابراین برای همه آنها از PF = ۰/۵۳ استفاده می‌شود.

نسبت V/C	ضریب پیشروی PF
۰/۶۰	۰/۵۳
۰/۸۰	۰/۶۷
۱/۰۰	۰/۸۲

نتایج محاسبات تقاطع‌ها در شکل ۱۸-۱۳ نشان داده شده و به کاربرگ شریانی شکل ۱۹-۱۳ نیز منتقل شده‌اند.

مرحله ۶ - محاسبه سرعت سفر میانگین:

با استفاده از زمان حرکت مرحله ۴ و تأخیر تقاطع مرحله ۵، می‌توان محاسبه میانگین سرعت سفر را در کاربرگ سطح سرویس شریانی انجام داد. در شکل ۲۰-۱۳ کاربرگ تکمیل شده نشان داده شده است.

شکل ۲۰-۱۳ نشان دهنده نمودار سرعت شریانی است. این شاخص مهمی از عملکرد است و باید به عنوان بخشی از هر محاسبات تهیه شود.

مرحله ۷ - ارزیابی سطح سرویس:

پس از اتمام کارهای مقدماتی، تعیین سطح سرویس چندان مشکل نمی‌نماید. با مراجعه به جدول ۱۶-۱۳ سرعت‌های بدست آمده در کاربرگ سطح سرویس شریانی با مقادیر مربوط به درجه شریانی مفروض مقایسه و سطح سرویس مربوطه بدست می‌آید.

همانگونه که در ابتدای این بخش اشاره شد سطح سرویس تقاطع‌ها معمولاً بهتر از سطح سرویس شریانی است.

فصل ۱۴
ظرفیت راه‌ها:
راههای برون شهری بدون کنترل دسترسی

بسیاری از راههای برون شهری بدون کنترل دسترسی ساخته می‌شوند زیرا باید علاوه بر تامین سرویس برای ترافیک، برای کاربری زمین نیز سرویس بدهند. لذا روش تعیین ظرفیت، حجم سرویس و سطح سرویس آنها تا حدی نسبت به راههای با کنترل دسترسی متفاوت است. در مورد راههای دو خطه و چند خطه‌ای که تحت شرایط نسبتاً پیوسته جریان هستند لازم است ملاحظات دیگری درنظر گرفته شود. همانند آزاد راهها، در اینجا نیز از سرعت عملکردی و نسبت v/c برای تعریف سطح سرویس استفاده می‌شود. مقادیر پایه نسبت v/c در مورد یک راه ایده‌آل با میانگین سرعت مجاز ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت صادق هستند. برای شرایطی که راه از استانداردهای پایین‌تری برخوردار باشد نسبتهای v/c متناسب با سرعتهای میانگین پایین‌تر معین شده‌اند.

راههای چند خطه برون شهری

در این بخش ظرفیت راههای چند خطه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد که بخاطر جدا نبودن خطوط و یا فقدان کنترل کامل دسترسی نمی‌توان آنها را در رده آزاد راهها طبقه بندی نمود. اینگونه راهها نواحی مختلفی را تحت پوشش قرار می‌دهند از نواحی کم - تراکم خارج شهر گرفته تا نواحی حومه که در آنها هم تراکم بالاتر است و هم اصطکاکهای ترافیکی ناشی از گردش وسایل نقلیه و سایر عوامل.

راههای چند خطه در حد فاصل نقاط ثابت قطع جریان، همانند شرایط بدون قطع جریان عمل می‌کنند. البته این جریان به اندازه جریان آزاد راهها کارایی ندارد زیرا در راههای چند خطه عوامل مختلفی تولید اصطکاک جانبی و میانی می‌کنند، از جمله:

۱- وسایل نقلیه ای که به منظور دسترسی به خطوط پارکینگ، راههای فرعی، تقاطعهای بدون چراغ و غیره از کنار جاده خارج یا وارد می‌شوند. اینگونه حرکتها می‌توانند گردش بچپ یا براست باشند که گردش بچپ‌های آنها تاثیر منفی بیشتری روی جریان خواهند داشت.

۲- اصطکاک ناشی از وسایل نقلیه مقابل در راههای چند خطه جدا نشده.

۳- تاثیر رویت نواحی در حال توسعه شهری در رفتار رانندگان و کاهش کارایی راه در مقایسه با آزاد راهها. میزان تاثیر این عوامل بشدت بستگی به شرایط توسعه ناحیه اطراف راه چند خطه دارد. مهمترین شاخص‌های این تاثیر، نوع و تراکم کاربری زمین در امتداد راه هستند.

در تحلیل راههای چند خطه نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

۱- طبقه بندی راه: راههای چند خطه در نواحی مختلفی احداث می‌شوند که در هر یک اصطکاک متفاوتی به جریان پیوسته وارد می‌شود. به منظور تحلیل ظرفیت، راههای چند خطه به چهار نوع تقسیم می‌شوند:

الف: کلیه راههای چند خطه به دو دسته "جداشده" و "جدانشده" تقسیم می‌شوند. راههای جدا شده اصطکاک میانی راکاهش می‌دهند.

ب: کلیه راههای چند خطه به دو دسته "برون شهری" و "حومه‌ای" تقسیم می‌شوند. راههای حومه‌ای معمولاً تحت اصطکاک کناری و میانی بیشتری نسبت به راههای برون شهری هستند.

ج: بنابراین چهار گروه اصلی راههای چند خطه عبارتند از: (۱) برون شهری، (۲) برون شهری جدا نشده، (۳) حومه‌ای جدا شده و (۴) حومه‌ای جدا نشده.

با این وجود در طراحی راههای چند خطه عوامل وسیعی دخالت دارند که همه آنها قابل طبقه بندی نیستند. به عنوان مثال نحوه اجرای جدول میانه گزینه‌های مختلفی دارد. خطوط گردش بچپ در میانه‌های پهن باعث کاهش اصطکاک میانی نسبت به یک راه جدا شده مشابه و بدون خط گردش بچپ می‌شود. تعداد بریدگیهای جدول میانه و محل آنها و نیز تعداد عبور از این بریدگیها در میزان اصطکاک موثر می‌باشد.

از سوی دیگر راههای چند خطه جدا نشده فقط دارای یک خط میانی به عنوان جدا کننده جریانهای مقابل هستند. در این شرایط، گردش بچپها کنترل نشده است و جریان مقابل نیز اصطکاک قابل توجهی ایجاد می‌کند.

روشهای دیگری نیز برای اجرای میانه وجود دارد از جمله میانه‌های خط کشی شده و خطوط گردش بچپ پیوسته. روش دوم از این نظر جالب توجه است که جریانهای مقابل را بوسیله یک خط کامل جدا می‌کند ولی تعداد گردش بچپها را کنترل یا محدود نمی‌نماید، از این روشها بیشتر در مواردی که اصطکاک موجود در حد فاصل مقادیر مربوط به راههای جدا شده و جدا نشده باشد استفاده می‌شود.

طبقه بندی راهها بر اساس برون شهری یا حومه‌ای بودن نیز چندان ساده نمی‌باشد و عوامل زیر در آن نقش دارند:

الف- فراوانی تقاطعهای بدون چراغ

ب- فراوانی خطوط فرعی و سایر نقاط بدون کنترل دسترسی

ج- تعداد گردش بچپهای تقاطعها و راههای فرعی و غیره

د- تعداد گردش براستهای تقاطعها و راههای فرعی و غیره

چون اطلاعات عددی این متغیرها و ارتباط آنها با سایر جنبه‌های راه بسیار پیچیده است در اینجا از همان طبقه بندی چهارگانه‌ای که قبلاً شرح داده شد استفاده می‌شود. در این طبقه بندی قضاوت نقش مهمی خواهد داشت. بطور تقریب راههایی که دارای بیش از ۶ نقطه بدون کنترل دسترسی در هر کیلومتر (در هر طرف) باشند به عنوان "راه حومه‌ای" در نظر گرفته می‌شوند. همچنین کلیه راههایی که گردش براستها و بچپهای آنها، تاخیر قابل توجهی به وسایل نقلیه عبور مستقیم وارد کند به عنوان "حومه‌ای" طبقه بندی می‌شود.

۲- قطعه راههای با جریان غیر منقطع: قطعه‌هایی از راههای چند خطه که در حد فاصل نقاط ثابت قطع جریان مانند تقاطعهای چراغ دار واقع هستند، همانند قطعه‌هایی با جریان تحلیل می‌شوند.

۳- نواحی تغییر خط: گاهگاهی در راههای چند خطه مقاطع تغییر خط ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه هیچ دستورالعمل خاصی برای تحلیل نواحی تغییر خط در راههای چند خطه وجود ندارد می‌توان به عنوان یک تقریب از روش عمومی تحلیل آنها استفاده کرد.

۴- شیبراهه‌های تقاطع: راههای چند خطه معمولاً در محل تقاطعهای غیر همسطح با آزاد راهها و سایر راههای چند خطه، دارای شیبراهه‌های ورودی و خروجی هستند که می‌بایست در نظر گرفته شوند.

۵- تقاطعهای چراغدار: معمولاً تقاطعهای چراغدار در بیشتر راههای چند خطه در فواصل طولانی قرار دارند.

در این فصل یک روش تقریبی برای تحلیل این تقاطعها ارائه شده است. برای تحلیل دقیق می‌توان به فصل ۱۳ مراجعه کرد.

مشخصه‌های جریان ناپیوسته در راههای چند خطه

در شکلهای ۱-۱۴ و ۲-۱۴ منحنی‌های سرعت- چگالی و سرعت- جریان برای یک قطعه جریان پیوسته از یک راه چند خطه در شرایط ایده‌آل نشان داده شده است. شرایط ایده‌آل برای راههای چند خطه عبارتند از:

۱- تراز بودن سطح راه

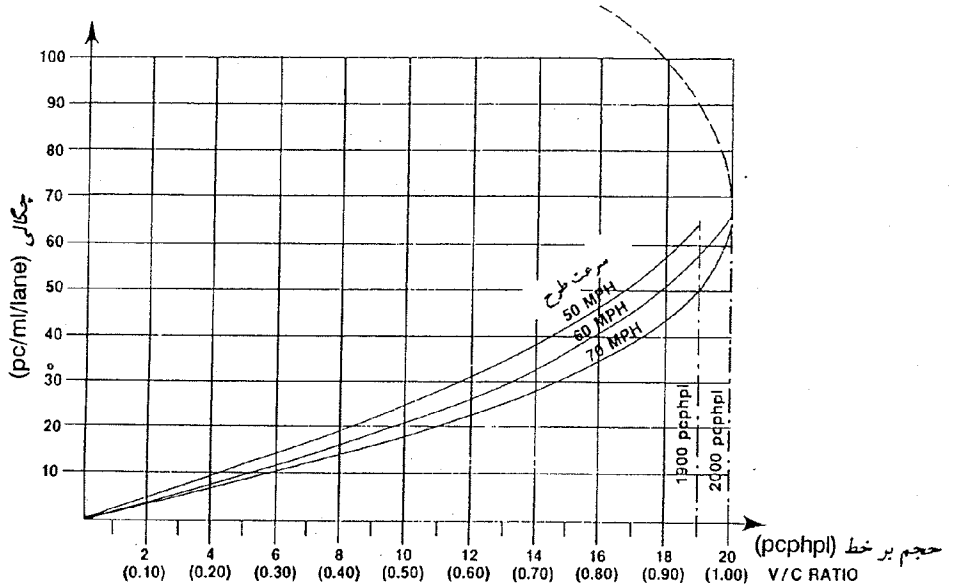
۲- خطوط با عرض ۳/۶ متر

۴- حداقل یک فاصله ۱/۸۰ متری میان لبه راه و موانع کنار راه یا میانه راه

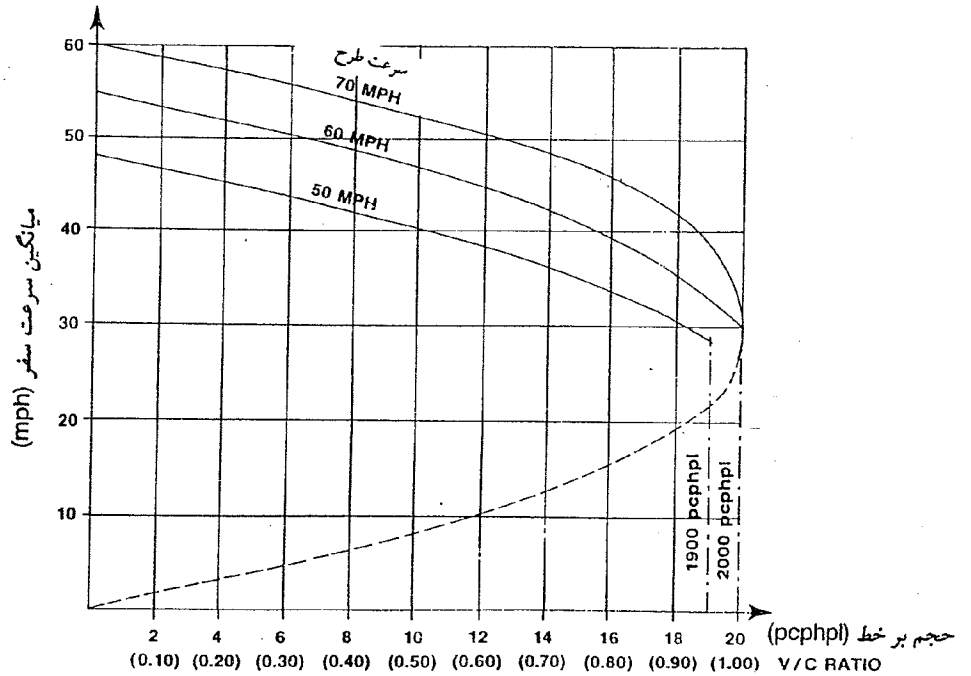
۴- جریان ترافیک فقط شامل اتومبیلهای سواری

۵- در محیط برون شهری جدا بودن خطوط راه

بایستی توجه داشت که شکل ۲-۱۴ نشان می‌دهد که میانگین سرعت سفر برای کلیه ترددها تابع سطح جریان است، ولی میزان حساسیت آن با نزدیک شدن به ظرفیت افزایش می‌یابد. این مطلب با منحنی سرعت- جریان مربوط به آزاد راههای با جریان پیوسته که در آن منحنی تا حد جریان pcphpt ۱۶۰۰ تقریباً افقی است مغایرت دارد و این بخاطر تاثیر اصطکاکهای جانبی و میانی در جریان عادی چند خطه است. همانگونه که در شکل ۱-۱۴ مشاهده می‌شود، چگالی نیز در تمام محدوده تابع جریان است و حساسیت آن با نزدیک شدن به



شکل ۱-۱۴ - خصوصیات چگالی - جریان قطعه راههای چندخطه جریان پیوسته



شکل ۲-۱۴- خصوصیات سرعت - جریان برای قطعه راههای چند خطه با جریان پیوسته

ظرفیت افزایش می‌یابد.

شکلهای ۱-۱۴ نشاندهنده خصوصیات عملکردی میانگین در شرایط ایده‌آل هستند. با این وجود خصوصیات محلی رانندگی در هر ناحیه متفاوت است و این مشخصه‌های عملکرد نیز می‌تواند در یک ناحیه مفروض از حد میانگین بدور باشد.

روشکار

معیارهای سطح سرویس

معیارهای سطح سرویس (*LOS*) برای راههای چند خطه بر حسب چگالی بیان می‌شوند. چگالی شاخصی برای اندازه‌گیری تراکم وسایل نقلیه در یک جریان ترافیک است. این شاخص بیانگر قابلیت مانور در جریان ترافیکی است.

در زیر مقادیر حدی چگالی برای سطوح مختلف سرویس ارائه شده‌اند. اینها مشابه مقادیر مربوط به آزاد راهها هستند.

سطح سرویس	حداکثر چگالی (pc/km/ln)
A	۸
B	۱۲
C	۱۹
D	۲۶
E	۴۲

در جدول ۱-۱۴ معیارهای کامل *LOS* ارائه شده‌اند. در این جدول برای سرعتهای طرح *km/hr* ۱۱۰، *km/hr* ۹۰ و *km/hr* ۸۰ سرعت سفر میانگین، حداکثر مقدار *v/c* و حداکثر تردد سرویس *MSF* مربوطه برای هر سطح سرویس داده شده است.

معیار سطح سرویس بستگی به سرعت طرح قطعه راه مورد مطالعه دارد. یک قطعه راه می‌تواند شامل یک عنصر هندسی مجزا مانند یک قوس یا یک سربالایی با سرعت طرح پایین باشد و یا یکسری از اینگونه عناصر هندسی که در طول بیشترین شرایط عملکردی راه را معین می‌کنند. سرعت طرح قطعه‌های مستقیم و مسطح راه برابر *km/hr* ۱۱۰ در نظر گرفته می‌شود.

سطح سرویس *A* بیانگر شرایط کاملاً آزاد جریان است. در این حالت عملکرد وسایل نقلیه تحت تاثیر سایر وسایل نقلیه قرار نداشته و عملکرد آنها صرفاً بوسیله خصوصیات هندسی راه و رانندگان معین می‌شود. فواصل وسایل نقلیه بطور متوسط ۱۳۲ متر یا ۲۲ برابر طول استاندارد اتومبیل خواهد بود. قابلیت مانور در جریان ترافیک زیاد است. قطع جزیی در این سطح بدون تاخیر قابل توجه و ایجاد صف بسهولت رفع می‌شود.

سطح سرویس *B* نیز نمایانگر جریان آزاد است ولی حضور سایر وسایل نقلیه نیز می‌بایست در نظر گرفته شود. میانگین سرعت سفر نسبت به سطح *A* کاهش یافته ولی هنوز بالاتر از *km/hr* ۸۵ برای قطعات با سرعت طرح *km/hr* ۱۱۰ می‌باشد. فواصل وسایل نقلیه بطور متوسط ۸۰ متر یا ۱۳ برابر طول اتومبیل استاندارد خواهد بود.

سطح سرویس *C* نمایانگر محدوده‌ای است که در آن تاثیر چگالی ترافیک در عملکرد وسایل نقلیه قابل توجه شده است. قابلیت مانور در جریان ترافیک و انتخاب سرعت حرکت تحت تاثیر سایر وسایل نقلیه قرار دارد. سرعت سفر میانگین تا *km/hr* ۸۰ در قطعه‌های با سرعت *km/hr* ۱۱۰ کاهش یافته و میانگین فواصل وسایل نقلیه به حدود ۵۵ متر یا ۹ برابر طول اتومبیل می‌رسد. قطع جزیی جریان می‌تواند منجر به کاهش سطح سرویس و ایجاد صف راه بندان گردد. قطع شدید جریان ترافیک همراه با سقوط سطح سرویس به حد *F* خواهد بود.

سطح سرویس *E* در مرز جریان ناپایدار قرار دارد. سرعت و قابلیت مانور بشدت محدود به شرایط تراکم ترافیکی هستند. سرعت سفر میانگین در قطعات با سرعت طرح *km/hr* ۱۱۰ به مقدار *km/hr* رسیده و میانگین فواصل وسایل نقلیه حدود ۳۶ متر و یا ۶ برابر طول اتومبیل خواهد بود. در این حالت فقط وقفه‌های جزیی جریان می‌تواند بودن تشکیل صفهای طویل و سقوط سطح سرویس به سطح *F* رفع شود.

سطح سرویس *E* نمایانگر عملکرد نزدیک یا مساوی با ظرفیت است و کاملاً ناپایدار می‌باشد. در حد ظرفیت وسایل نقلیه در فواصل ۲۴ متری یا طول اتومبیل قرار دارند. این حداقل فاصله‌ای است که جریان یکنواخت می‌تواند داشته باشد و معرف جریانهای بدون فاصله عبور قابل استفاده می‌باشد. بنابراین قطع جریان، قابل جذب یا میرایی نبوده و هرگونه قطع جریان صرفنظر از کیفیت آن باعث ایجاد صف و سقوط سرویس به حد *F* خواهد شد. میانگین سرعت سفر در حد ظرفیت تقریباً برابر *km/hr* ۵۰ است.

سطح سرویس *F* نمایانگر جریان پرازدحام و راه بندان است و معمولاً در نقاطی پیش بینی شده بیش از ظرفیت محاسباتی باشد. در حالیکه در این نقاط (و در نقاط پایین) عملکرد در حد ظرفیت یا بالاتر است در بالادست تشکیل صف‌های طولانی می‌شود. عملکرد وسایل نقلیه در داخل صف شامل حرکتهای کوتاه و سپس توقف می‌باشد. سرعت سفر میانگین در داخل

صف معمولاً کمتر از ۵۰ km/hr بوده و چگالی آن بالاتر از ۴۰ pc/km/n خواهد بود. بایستی توجه داشت که عبارت "سطح سرویس F" هم برای نقطه راه بندان و هم برای عملکرد وسایل نقلیه در صف راه بندان بکار می‌رود.

روابط اساسی

جدول ۱-۱۴ مقادیر مربوط به حداکثر تردد سرویس و نسبت v/c را برای راههای چند خطه بدست می‌دهد. این مقادیر نمایانگر حداکثر ترددی است که در شرایط ایده‌آل عبور می‌کند. برای محاسبه تردد سرویس در شرایط هندسی و ترافیکی موجود راه از معادلات ۱-۱۴ تا ۳-۱۴ استفاده می‌شود.

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_E \times f_P \qquad (۱۴-۱)$$

$$MSF_i = C_i \times (v/c)_i \qquad (۱۴-۲)$$

$$SF_i = C_i \times (v/c)_i \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_E \times f_P \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن:

SF_i = تردد سرویس، حداکثر ترددی که یک قطع راه چند خطه مفروض می‌تواند در یک جهت، تحت شرایط هندسی و ترافیکی راه و با حفظ سطح سرویس i عبور دهد، بر حسب vph

MSF_i = حداکثر تردد سرویس، حداکثر ترددی که قطعه راه چند خطه مورد نظر می‌تواند در هر خط تحت شرایط ایده‌آل و با حفظ سطح سرویس i از خود عبور دهد بر حسب pcphpl

C_i = ظرفیت هر خط یک راه چند خطه با سرعت طرح i ۲۰۰۰pcphpl برای ۹۵km/hr یا ۱۱۰ = j . ۱۹۰۰pcphpl برای j=۸۰km/hr

N = تعداد خطوط در یک جهت

$(v/c)_i$ = حداکثر نسبت حجم به ظرفیت بدست آمده با حفظ خصوصیات سطح سرویس i

f_W = ضریب تصحیح عرض خط و یا محدودیت فاصله جانبی

f_{HV} = ضریب تصحیح برای حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک

f_E = ضریب تصحیح توسعه ناحیه و نوع راه چند خطه و

f_P = ضریب تصحیح برای مقصود راننده

معادله ۱-۱۴ با استفاده از جدول ۱-۱۴ مقدار MSF را تعدیل می‌کند تا شرایط حاکم بر راه و ترافیک، در آن منعکس گردد.

معادله ۲-۱۴ MSF را از مقدار حدی نسبت v/c برای سطح سرویس مربوطه بدست می‌آورد. مقادیر MSF موجود در جدول ۱-۱۴ از این رابطه بدست آمده‌اند و به نزدیکترین pcphpl ۵۰ گرد شده‌اند.

معادله ۳-۱۴ ترکیبی از معادلات ۱-۱۴ و ۲-۱۴ است و هنگامی بکار می‌آید که v/c یا N مجهول باشند.

جدول ۱-۱۴ . معیارهای سطح سرویس برای راههای چند خطه

سطح سرویس	چگالی (pc/km/ln)	سرعت طرح ۱۱۰km/hr			سرعت طرح ۹۵km/hr			سرعت طرح ۸۰km/hr		
		* سرعت km/hr	v/c	MSF** (pcphpl)	* سرعت km/hr	v/c	MSF	*سرعت km/hr	v/c	MSF
A	≤۸	≥۹۱	۰/۳۶	۷۰۰	≥۸۰	۰/۳۳	۶۵۰	-	-	-
B	≤۱۲	≥۸۵	۰/۵۴	۱۱۰۰	≥۷۷	۰/۵۰	۱۰۰۰	≥۶۷	۰/۴۵	۸۵۰
C	≤۱۹	≥۸۰	۰/۷۱	۱۴۰۰	≥۷۰	۰/۶۵	۱۳۰۰	≥۶۲	۰/۶۰	۱۱۵۰
D	≤۲۶	≥۶۴	۰/۸۷	۱۷۵۰	≥۶۴	۰/۸۰	۱۶۰۰	≥۵۶	۰/۷۶	۱۴۵۰
E	≤۴۲	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	≥۴۸	۱/۰۰	۲۰۰۰	<۴۵	۱/۰۰	۱۹۰۰
F	≤۴۲	≥۴۸	***	***	<۴۸	***	***	۴۵	***	***

* سرعت میانگین سفر

** حداکثر تردد در هر خط تحت شرایط ایده‌آل که به نزدیکترین pcphpl ۵۰ گرد شده است.

*** بشدت متغیر

تصحیح‌های حداکثر تردد سرویس

تصحیح برای عرض خط و فاصله با موانع جانبی

در شرایط ایده‌آل برای راههای چند خطه، عرض خطوط برابر ۳/۶ متر و فاصله جانبی ۱/۸ متر در نظر گرفته شده است.

طرحهایی که حائز این معیارها نباشند تاثیر منفی در جریان ترافیک می‌گذارند. این تاثیر بوسیله ضریب تصحیح F_W که در جدول ۲-۱۴ ارائه شده است منظور می‌شود.

موانع جانبی می‌توانند شامل اشیایی که بطور متناوب کنار جاده قرار دارند مانند چراغها، تابلوهای راهنمایی، درختها، پایه‌ها لبه پلها و سایر اشیاء باشند. آنها می‌توانند اشیاء پیوسته‌ای مانند حفاظهای ترافیکی یا دیوارهای حائل نیز باشند. در جدول ۲-۱۴ منظور از عبارت "موانع واقع در دو طرف راه" یک لبه جاده و میانه جاده است. این حالت در راههای چند خطه جدا شده‌ای پیش می‌آید که در میانه آنها حفاظ یا موانعی قرار گرفته باشد.

همانند سایر تسهیلات در این مورد نیز باید برای تعیین و تشخیص وجود موانع کناری تا حدی از قضاوت مهندسی استفاده نمود بطور کلی، اگر وجود موانع کناری یا میانی باعث نشود که رانندگان از آنها دوری کرده یا سرعت خود راکاهش دهند تاثیر قابل توجهی روی جریان ترافیک نخواهند گذاشت.

تصحیح برای حضور وسایل نقلیه سنگین

دومین مورد از شرایط ایده‌آل مفروض در معیارهای پایه سطح سرویس راههای چند خطه این است که جریان ترافیک فقط متشکل از اتومبیلهای سواری می‌باشد. یک چنین جریانی بندرت ممکن است در راههای چند خطه بوجود آید. بنابراین باید تردد سرویس را برای انعکاس ترکیب واقعی تعدیل نمود.

روشها و ضرایبی که بدین منظور بکار می‌روند مشابه قطعه‌های آزاد راهها هستند و در اینجا بطور مختصر شرح داده می‌شوند.

برای تعدیل حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک سه نوع وسیله نقلیه در نظر گرفته می‌شود: کامیون، وسایل نقلیه تفریحی *(RV)* و اتوبوس. برای بدست آوردن ضریب دو مرحله زیر ضروری است:

۱- یافتن معادل اتومبیل سواری *(PCE)* برای کامیونها، وسایل نقلیه *(RV)* و اتوبوسها در شرایط حاکم ترافیکی.

۲- با استفاده از مقادیر مرحله ۱، محاسبه یک ضریب تعدیل که تصحیح مربوط به کلیه وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک را انجام دهد.

در بخشهای زیر این مراحل به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱- ***یافتن معادل سواری*** . مقادیر معادل سواری در شرایط مختلف با استفاده از جدولهای ۳-۱۴ تا ۸-۱۴ بدست می‌آیند.

در مورد قطعه راههای طولانی که هیچیک از شیبهای آنها تأثیر قابل توجهی در عملکرد جریان نداشته باشد از جدول ۳-۱۴ برای انتخاب مقادیر معادل - سواری کامیونها، E_T، وسایل نقلیه تفریحی، E_R و اتوبوسها E_B استفاده می‌شود. یک قطعه راه چند خطه طولانی در صورتی " قطعه کلی" نامیده می‌شود که هیچیک از شیبهای ۳ درصدی یا کمتر آن بیشتر از ۱/۶ *km* طول نداشته و هیچیک از شیبهای بیش از ۳ درصد آن طولی بیشتر از ۰/۸ *km* نداشته باشند. این قطعه‌ها بصورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف - ناحیه هموار - هر ترکیبی از قطعه‌های افقی و شیبدار است که وسایل نقلیه سنگین بتوانند در آن سرعتی معادل با اتومبیلهای سواری داشته باشند که این معمولاً شامل شیبهای کوتاه از ۱ یا ۲ درصد می‌شود.

ب - ناحیه ناهموار - هر ترکیبی از قطعه‌های افقی و شیبدار مسیر که باعث شود وسایل نقلیه سنگین کاهش سرعت قابل توجهی نسبت به اتومبیلهای سواری بدهند ولی باعث نشود که وسایل نقلیه سنگین برای مدت طولانی یا در فواصل زمانی نزدیک در سرعت خزش حرکت کنند.

ج- ناحیه کوهستانی- هر ترکیبی از مسیر که باعث شود وسایل نقلیه سنگین برای مسافتهای طولانی یا در فواصل نزدیک بهم با سرعت خزشی حرکت کنند.

مقادیر E_T ،E_B ،E_R مربوط به قطعه راههای کلی از جدول ۳-۱۴ بدست می‌آیند.

کلیه شیب‌های ۳ درصدی یا کمتر در طول بزرگتر از ۱/۶ کیلومتر و یا شیبهای بزرگتر از ۳ درصد در طول بزرگتر از ۰/۸ کیلومتر می‌بایست به عنوان شیبهای تند بصورت مجزا در نظر گرفته شوند. سر بالایی و سر پایینی‌ها نیز باید بصورت جداگانه در نظر گرفته شوند زیرا تاثیر وسایل نقلیه سنگین در این دو حالت بطور کلی متفاوت خواهد بود.

در جدولهای ۴-۱۴ تا ۸-۱۴ معادلهای سواری در سر بالائی ارائه شده است. جدولهای ۴-۱۴ تا ۶-۱۴ مقادیر E_T را برای انواع مختلف کامیون بدست می‌دهند:

الف - جدول ۴-۱۴ کامیونهای معمولی ($\frac{\text{وزن}}{\text{توان}} = ۲۰۰\ lb/hp$)

ب - جدول ۵-۱۴ کامیونهای سبک ($\frac{\text{وزن}}{\text{توان}}$ = ۱۰۰ lb/hp)

ج - جدول ۶-۱۴ کامیونهای سنگین ($\frac{\text{وزن}}{\text{توان}}$ = ۳۰۰ lb/hp)

با استفاده از این جداول می‌توان عملکرد کامیونها در یک نقطه مفروض را در تحلیل منعکس نمود. ولی باید فقط یک مقدار برای E_T انتخاب کرد و نمی‌باید کامیونها را به سه دسته تقسیم نمود. این مقدار انتخابی می‌باید از جداولی بدست آید که نزدیکی بیشتری با میانگین نسبتهای وزن به اسب بخار کامیونها در شرایط مفروض دارد. این معادلها برای نمایش جریان ترافیکی با ترکیب کامیونهای مختلف و میانگین نسبت وزن به اسب بخار معلوم بکار می‌روند.

جدول ۲-۱۴. ضریب تصحیح برای محدودیت عرض خط و فاصله موانع جانبی

فاصله مانع از لبهٔ سواره رو (متر)*	ضریب تصحیح f_w							
	***مانع در هر دو طرف راه				**مانع در یک طرف راه			
	عرض خط (متر)							
	2.75	3.05	3.35	3.65	2.75	3.05	3.35	3.65
راه چهار خطه مجزا (دو خط هر طرف)								
1.8	0.81	0.91	0.97	1.00	0.81	0.91	0.97	1.00
1.2	0.79	0.89	0.95	0.98	0.80	0.90	0.96	0.99
0.6	0.76	0.86	0.91	0.94	0.79	0.88	0.94	0.97
0	0.66	0.74	0.79	0.81	0.73	0.82	0.87	0.90
راه شش خطه مجزا (سه خط هر طرف)								
1.8	0.78	0.89	0.96	1.00	0.78	0.89	0.96	1.00
1.2	0.77	0.87	0.94	0.98	0.77	0.88	0.95	0.99
0.6	0.75	0.85	0.92	0.96	0.76	0.87	0.93	0.97
0	0.70	0.81	0.87	0.91	0.74	0.85	0.91	0.94
راه چهار خطه مجزا (دو خط هر طرف)								
1.8	NA	NA	NA	NA	0.77	0.89	0.95	1.00
1.2	NA	NA	NA	NA	0.76	0.88	0.94	0.98
0.6	NA	0.86	0.91	0.94	0.75	0.86	0.92	0.95
0	0.66	0.74	0.79	0.81	0.70	0.80	0.85	0.88
راه شش خطه مجزا (سه خطه هر طرف)								
1.8	NA	NA	NA	NA	0.77	0.89	0.95	1.00
1.2	NA	NA	NA	NA	0.76	0.88	0.94	0.99
0.6	NA	0.85	0.92	0.96	0.75	0.86	0.93	0.97
0	0.70	0.81	0.87	0.91	0.72	0.83	0.90	0.94

* در صورتیکه فاصله مانع دو طرف نامساوی است از میانگین فاصله‌ها استفاده می‌شود.

** استفاده از ضرایب مربوط به موانع یکطرفه برای تعیین تأثیر جریان مقابل مجاز است.

*** موانع دو طرفه شامل یک مانع در کنار راه و دیگری در میانه است. مانع میانه ممکن است در میانه راه چند خطه مجزا یا در مرکز یک راه جدا شده که هر از گاهی برای عبور از کنار پایه پلها یا سایر اشیاء مرکزی تقسیم می‌شود.

با استفاده از جدول ۷-۱۴ مقدار E_R و از جدول ۸-۱۴ مقدار E_B بدست می‌آید.

جدولهای ۴-۱۴ تا ۸-۱۴ مقادیر معادل سواری را برای سر بالایی‌های یکنواخت بدست می‌دهند. در صورتی که چندین شیب متوالی تشکیل یک شیب مرکب را بدهند می‌باید برای آنها یک شیب یکنواخت معادل محاسبه کرد و با استفاده از آن وارد جداول شد. معمولترین روش برای این کار، "روش میانگین شیب" است. میانگین شیب از تقسیم کل ارتفاع نسبت به مبدا شیب بر کل فاصله افقی مربوطه بدست می‌آید.

جدول ۳-۱۴ . معادل اتومبیل سواری در قطعه راههای چند خطه کلی

ضریب		نوع ناحیه		
		هموار	ناهموار	کوهستانی
E_T	برای کامیونها	۱/۷	۴/۰	۸/۰
E_B	برای اتوبوسها	۱/۵	۳/۰	۵/۰
E_R	برای وسایل تفریحی	۱/۶	۳/۰	۴/۰

مثال زیر را در نظر بگیرید. سه سربالایی متوالی مطابق زیر مفروض است. مطلوب است شیب میانگین.

الف- ۳ درصد شیب - ۳۰۰ متر طول

ب- ۴ درصد شیب - ۱۰۰ متر طول

ج - ۲ درصد شیب - ۳۰۰ متر طول

کل ارتفاع شیب ۴۰۰۰ متری برابر است با:

$۳۰۰ \times ۰/۰۳ = ۹/۰$

$۶۰۰ \times ۰/۰۴ = ۲۴/۰$

$۳۰۰ \times ۰/۰۲ = ۶/۰$

۳۹/۰ متر

بنابراین "شیب میانگین" به اینصورت محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد} = ۱۰۰ \times \left(\frac{۳۹}{۱۲۰۰}\right) = \text{شیب میانگین}$$

و معادلهای اتومبیل سواری برای شیب ۳/۲۵ درصد با طول ۱۲۰۰ متر انتخاب می‌گردد. روش شیب میانگین فقط برای شیبهای کمتر از ۴ درصد و ۱۲۰۰ متر طول یا کمتر دارای دقت هستند. برای شیبهای تندتر و طولانی‌تر از روشهای دقیقتری استفاده می‌شود.

شرایط سر پائینی تندتر و طولانی تر پیشنهاد می‌شود. برای شیبهای کمتر از ۱۰۰۰ متر یا ۳ درصد می‌توان عملکرد قطعه‌های سرپائینی را مشابه نواحی هموار در نظر گرفت و مطابق آن تحلیل گردد.

در مورد سرپائینی‌های تندتر و طولانی‌تر پیشنهاد می‌شود که سرعت وسایل نقلیه سنگین در آنها اندازه‌گیری محلی شده و با استفاده از آن شیب سربالایی معادل بدست آید. در صورتی که امکان چنین اندازه‌گیری عملاً وجود نداشته باشد می‌توان بطور تقریب معادل سواری سرپائینی را نصف مقادیر سربالائی مربوطه در نظر گرفت.

۲- *محاسبه ضریب تعدیل وسایل نقلیه سنگین* . پس از تعیین مقادیر E_T ، E_R ، E_B می‌توان ضریب تعدیل وسایل نقلیه سنگین را بصورت زیر محاسبه نمود:

(۱۴-۴)

$$f = 1/\,[1+P_T\,(E_T-1) + P_R\,(E_R-1)+ P_B\,(E_B-1)]$$

که در آن:

f_{HV} = ضریب تعدیل برای حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک

$E_{T,R,B}$ = معادلهای سواری برای کامیونها، وسایل نقلیه تفریحی و اتوبوسها

$P_{T,R,B}$ = نسبت کامیون، وسیله نقلیه تفریحی و اتوبوس در جریان ترافیک

در صورتی که فقط یک نوع از وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک وجود داشته باشد می‌توان با استفاده از جدول ۹-۱۴ معادل اتومبیل سواری را مستقیماً به ضریب تعدیل تبدیل کرد. در صورتی که نسبت کامیونهای جریان ترافیک به مجموع تعداد اتوبوسها و وسایل نقلیه تفریحی بزرگتر از ۱ : ۵ باشد، کلیه وسایل نقلیه سنگین همانند کامیون در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین یک جریان ترافیک با ۱۵ درصد کامیون، ۲ درصد وسایل نقلیه تفریحی و ۱ درصد اتوبوس برای ۱۸ درصد کامیون تحلیل می‌شود. بنابراین می‌توان با استفاده از جدول ۹-۱۴ ضریب f_{HV} را بدست آورد.

تصحیح برای توسعه نواحی اطراف و نوع راه چند خطه

در موارد راههای چند خطه مجزا در نواحی برون شهری از معیارهای پایه حداکثر تردد سرویس در شرایط ایده‌آل استفاده می‌شود. برای راههای مجزا نشده و یا نواحی حومه ضریب f_E که از جدول ۱۰-۱۴ بدست می‌آید اعمال می‌گردد.

کلیه راههای چند خطه‌ای که دارای تقاطعهای چراغدار با فاصله کمتر از ۳ کیلومتر باشند بعنوان شریانی قلمداد و با استفاده از روشهای مربوطه تحلیل می‌گردند.

جدول ۴-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای کامیونهای معمولی (۲۰۰ LB/HP)

شیب (%)	طول (MI)	معادل اتومبیل سواری E_T															
		راههای چهار خطه								راههای شش خطه							
درصد کامیون		2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
<1	هر طول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	0-1/2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1/2-1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	≥1	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
2	0-1/4	4	4	4	3	3	3	3	3	5	4	4	4	3	3	3	3
	1/4-1/2	5	4	4	3	3	3	3	3	5	4	4	3	3	3	3	3
	1/2-3/4	6	5	5	4	4	4	4	4	6	5	5	4	4	4	4	4
	3/4-1½	7	6	6	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	4	4
	≥1½	8	6	6	6	5	5	4	4	8	6	6	5	4	4	4	4
3	0-1/4	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	5	4	4	4	3
	1/4-1/2	8	6	6	6	5	5	5	4	7	6	6	6	5	5	5	4
	1/2-1	9	7	7	6	5	5	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	1-1½	9	7	7	7	6	6	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	≥1½	10	7	7	7	6	6	5	5	10	7	7	6	5	5	5	5
4	0-1/4	7	6	6	5	4	4	4	4	7	6	6	5	4	4	4	4
	1/4-1/2	10	7	7	6	5	5	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	1/2-1	12	8	8	7	6	6	6	6	10	8	7	6	5	5	5	5
	≥1	13	9	9	9	8	8	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
5	0-1/4	8	6	6	6	5	5	5	5	8	6	6	6	5	5	5	5
	1/4-1/2	10	8	8	7	6	6	6	6	8	7	7	6	5	5	5	5
	1/2-1	12	11	11	10	8	8	8	8	12	10	9	8	7	7	7	7
	≥1	14	11	11	10	8	8	8	8	12	10	9	8	7	7	7	7
6	0-1/4	9	7	7	7	6	6	6	6	9	7	7	6	5	5	5	5
	1/4-1/2	13	9	9	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	1/2-3/4	13	9	9	8	7	7	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
	≥3/4	17	12	12	11	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8

توجه:

در صورتی که طول شیب در یک مقدار مرزی قرار داشته باشد از معادل سواری طبقه بالاتر استفاده می‌شود. در مورد هر شیب تندتر از درصد ذکر شده باید از طبقه شیب بالاتر استفاده گردد.

جدول ۵-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای کامیونهای سبک (LB/HP ۱۰۰)

شیب	طول	معادل اتومبیل سواری ، E_T															
(%)	(MI)	راههای چهار خطه								راههای شش خطه							
درصد کامیون		2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
≤2	هر طول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	0-1/4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	1/4-1/2	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	1/2-3/4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	3/4-1	4	4	4	4	3	3	3	5	4	4	4	4	3	3	3	3
	≥1	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	4	4	4	3	3
4	0-1/4	4	4	4	3	3	3	3	3	5	4	4	4	3	3	3	3
	1/4-1/2	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
	1/2-1	6	5	5	5	4	4	4	4	6	5	5	4	4	4	4	4
	≥1	7	6	6	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	4	4
5	0-1/4	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	5	4	4	4	3
	1/4-1	8	7	7	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
	≥1	9	7	7	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
6	0-1/4	7	5	5	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	3	3
	1/4-1	9	7	7	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
	≥1	9	7	7	7	6	6	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5

توجه:

در صورتی که طول شیب در یک مقدار مرزی قرار داشته باشد از معادل سواری طبقه بالاتر استفاده می‌شود. در مورد هر شیب تندتر از درصد ذکر شده باید از طبقه شیب بالاتر استفاده گردد.

جدول ۶-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای کامیونهای سنگین (۳۰۰ L B/HP)

شیب (%)	طول (MI)	معادل اتومبیل سواری E_T															
		راههای چهار خطه								راههای شش خطه							
درصد کامیون‌ها		2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
<1	هر طول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	0-1/4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1/4-1/2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	1/4-1/2	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	1/2-3/4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	$1\frac{1}{2}$	6	5	5	5	4	4	4	4	3	6	5	5	4	4	3	3
	$\geq 1\frac{1}{2}$	7	5	5	5	4	4	4	3	7	5	5	5	4	4	3	3
2	0-1/4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	1/4-1/2	7	6	6	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	4	4
	1/2-3/4	8	6	6	5	5	4	4	4	8	6	6	6	5	5	4	4
	$1-1\frac{1}{2}$	9	7	7	7	6	6	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	$\geq\frac{1}{2}$	10	7	7	7	6	6	5	5	10	7	7	6	5	5	5	5
3	0-1/4	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	5	4	4	4	3
	1/4-1/2	8	7	7	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
	1/2-3/4	12	8	8	7	6	6	6	6	10	8	7	6	5	5	5	5
	3/4-1	13	9	8	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	≥1	14	10	10	9	8	8	7	7	12	9	9	8	7	7	7	7
4	0-1/4	7	5	5	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	3	3
	1/4-1/2	12	8	8	7	6	6	6	6	10	8	7	6	5	5	5	5
	1/2-3/4	13	9	9	8	7	7	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
	3/4-1	15	10	10	9	8	8	8	8	12	10	10	9	8	7	7	7
	≥1	17	12	12	10	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8
5	0-1/4	8	6	6	6	5	5	5	5	8	6	6	6	5	5	5	5
	1/4-1/2	13	9	9	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	1/2-3/4	20	15	15	14	11	11	11	11	14	11	11	10	9	9	9	9
	≥3/4	22	17	17	16	13	13	13	13	17	14	14	13	12	11	11	11
6	0-1/4	9	7	7	7	6	6	6	6	9	7	7	6	5	5	5	5
	1/4-1/2	17	12	12	11	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8
	≥1/2	28	22	22	21	18	18	18	18	20	17	17	16	15	14	14	14

توجه:

در صورتی که طول شیب در یک مقدار مرزی قرار داشته باشد از معادل سواری گروه بالاتر استفاده می‌شود. در مورد هر شیب تندتر از درصد ذکر شده باید از دو گروه شیب بالاتر استفاده گردد.

جدول ۷-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای کامیونهای تفریحی

شیب	طول	معادل اتومبیل سواری															
(%)	(MI)	راههای چهار خطه								راههای شش خطه							
درصد کامیون‌ها		2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
<2	هر طول	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	0-1/2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	≥1/2	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
4	0-1/4	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
	1/4-3/4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	≥3/4	5	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3
5	1/4-1/3	5	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	2	2	2
	1/4-3/4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
	≥3/4	6	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
6	0-1/4	5	4	4	4	3	3	3	3	5	4	4	3	3	3	3	3
	1/4-3/4	6	5	5	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4
	≥3	7	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	4	4	4	4

توجه:

در صورتی که طول شیب در یک مقدار مرزی قرار گرفته باشد از معادل سواری گروه بالاتر استفاده می‌شود. در مورد هر شیب تندتر از درصد داده شده باید از شیب بالاتر استفاده گردد.

جدول ۸-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای اتوبوسها

شیب	E_B
۰-۳	۱/۶
۴ *	۱/۶
۵ *	۳/۰
۶ *	۵/۵

* عموماً کاربرد محدود به شیبهای طولانی‌تر از ۴۰۰ متر است.

جدول ۹-۱۴ . ضریب تصحیح برای تأثیر کامیونها، اتوبوسها و وسایل تفریحی در جریان ترافیک

PCE* E_T , E_R , E_B	ضریب تصحیح f_{HV}														
	درصد کامیون P_T، وسایل نقلیه تفریحی P_R یا اتوبوس P_B														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63
5	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33
12	0.90	0.82	0.75	0.69	0.65	0.60	0.57	0.53	0.50	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31
13	0.89	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28
15	0.88	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26
16	0.87	0.78	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24
18	0.85	0.75	0.66	0.60	0.54	0.49	0.46	0.42	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21
21	0.83	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
22	0.83	0.70	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19
23	0.82	0.69	0.60	0.53	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18
25	0.80	0.67	0.58	0.51	0.46	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17

* معادل اتومبیل سواری بدست آمده از جداول ۳-۱۴، ۴-۱۴، ۵-۱۴ و ۶-۱۴

توجه: در صورتی که درصد ترکیبی اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی در جریان ترافیک بیش از یک پنجم درصد کامیون باشد این جدول قابل استفاده نیست.

جدول ۱۰-۱۴ . ضریب تصحیح برای نوع راه چند خطه و توسعه نواحی اطراف

نوع راه	مجزا شده	مجزانشده
برون شهری	۱/۰	۰/۹۵
حومه‌ای	۰/۹۰	۰/۸۰

جدول ۱۱-۱۴ . ضریب تصحیح مقصود رانندگان

مقصود راننده	ضریب
رانندگان دائمی و حرفه‌ای	۱/۰۰
رانندگان تفریحی و غیر دائمی	۰/۹۰ - ۰/۷۵

تصحیح برای مقصود راننده

ضریب تصحیح برای مقصود راننده از جدول ۱۱-۱۴ بدست می‌آید. انتخاب مقدار ضریب برای جریانهای ترافیکی که عمدتاً شامل رانندگان غیر دائمی باشند نیازمند قضاوت است. برای بدست آوردن مقدار دقیق می‌باید از اطلاعات محلی بهره‌گرفت. در صورت فقدان چنین اطلاعاتی باید شرایط عمومی محل در نظر گرفته شود.

مسائل نمونه

مسئله ۱- تحلیل یک راه چند خطه برون شهری مجزا با یک شیب مشخص

صورت مسئله. قطعه راه چند خطه شکل ۳-۱۴ را در نظر بگیرید. این یک راه برون شهری چند خطه مجزا با یک مقطع عرضی ایده‌آل است. مطلوب است تحلیل عملکرد و سطح سرویس حاکم در قطعه‌ای از این راه که دارای شیب ۳ درصد با طول ۱۵۰۰ متر می‌باشد.

تقاضای جهتی در این قطعه برابر vph ۲۲۰۰ در دوره اوج و دارای ۱۰ درصد کامیون، ۵ درصد وسایل نقلیه تفریحی و یک PHF برابر ۰/۸۵ می‌باشد.

راه حل. چون این قطعه دارای شیب قابل توجهی است سربالایی‌ها و سرپایینی‌های آن می‌باید بصورت جداگانه در نظر گرفته شوند. با توجه به فقدان اطلاعات محلی در مورد سرعتهای سرازیری، مقادیر E_T و E_R سرازیری برابر یک دوم مقادیر سر بالائی متناظر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین :

$$v/c = SF/[C_j \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_E \times f_p]$$

که در آن:

$SF = 2200/0.85 = 2588\ vph$

$C_j = 2000\ pcphpl$

$N = 3$

$f_W = 1.00$ (جدول ۲-۱۴ شرایط ایده‌آل)

E_T (سربالائی) $= 5$ (جدول ۴-۱۴)

E_T(سرازیری) $= 2.5$

E_R (سربالائی) $= 3$ (جدول ۷-۱۴)

E_R (سرازیری) $= 1.5$

f_{HV} (سربالایی) $= 1/[1 + 0.10(5-1)+0.05(3-1)] = 0.65$

f_{HV} (سرازیری) $= 1/[1 + 0.10(2.5-1)+0.05(1.5-1)] = 0.85$

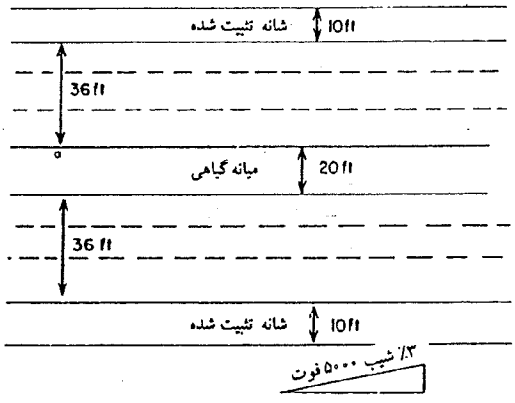
$f_E = 1.0$ (جدول-۱۰-۱۴)

$f_p = 0.82$ (جدول-۱۱-۱۴)

به این ترتیب:

v/c(سربالایی) $= 2588/[2000 \times 3 \times 1.0 \times 0.67 \times 1.0 \times 0.82] = 0.75$

v/c(سرازیری) $= 2588/[2000 \times 3 \times 1.0 \times 0.85 \times 1.0 \times 0.82] = 0.59$



محیط برون شهری

سرعت طرح ۱۱۰ km/hr

شکل ۳-۱۴ . راه چند خطه مسئله ۱

کاربرگ تحلیلی عملکرد

Facility Section: *Allen Highway*

Date: *1/7/83* Time: *8-9 AM* (of analysis data)

I. هندسه شکل

10 ft — Distance to Roadside Obstructions

36 ft — DIR. 1 *UP* — N = *3*

20 ft

36 ft — DIR. 2 *DOWN* — N = *3*

10 ft — Distance to Roadside Obstructions

جهت شمال

	Highway Classification D or U, S or R	Design Speed (mph)	Lane Width (ft)	Terrain Type (L, R, or M)	or Grade (%)	Length (mi)	Median Type
Dir. 1	*D, R*	*70*	*12*		*3*	*0.95*	*Grass*
Dir. 2	*D, R*	*70*	*12*		*3*	*0.95*	*Grass*

II. حجم‌ها

	Vol. (vph)	PHF	SF=Vol./PHF	% Trucks	% Buses	% RV's	Driver Population
Dir. 1	*2,200*	*0.85*	*2,588*	*10*	-	*5*	☐ Commuter ☒ Other
Dir. 2	*2,200*	*0.85*	*2,588*	*10*	-	*5*	☐ Commuter ☒ Other

III. تحلیل

$v/c = SF/[c_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_E \times f_p]$

$c = c_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_E \times f_p$

$f_{HV} = 1/[1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)]$

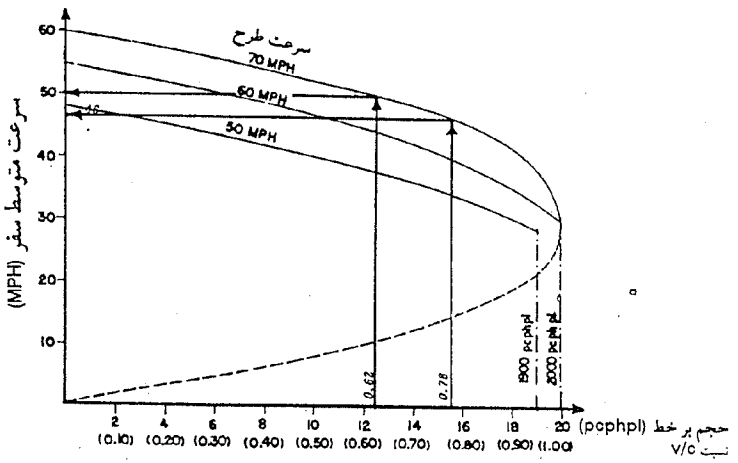
	v/c	SF	c_i Table 7-1	N	f_w Table 7-2	f_E Table 7-10	f_p Table 7-11	f_{HV}	E_T	E_B	E_R
Dir. 1	*0.79*	*2538*	*2000*	*3*	*1.0*	*1.0*	*0.82*	*0.67*	*5*	-	*3*
Dir. 2	*0.62*	*2588*	*2000*	*3*	*1.0*	*1.0*	*0.82*	*0.85*	*2.5*	-	*1.5*

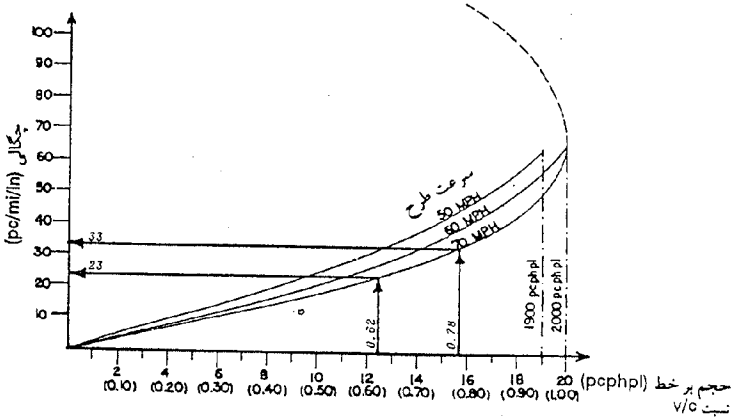
	c	v/c	LOS (Table 7-1)	Speed (Fig. 7-2)	Density (Fig. 7-1)
Dir. 1	*3,296*	*0.78*	*D*	*46*	*33*
Dir. 2	*4,182*	*0.62*	*C*	*50*	*23*

COMMENTS on back of page.

Name: *Jennifer Smith* Date:

Checked by:





شکل ۴-۱۴ - تصاویر مربوط به مسئله ۱

با مراجعه به جدول ۱-۱۴ مشخص می‌شود که این قطعه در سرازیری دارای سطح سرویس C و در سربالایی سطح سرویس D است با استفاده از نسبتهای v/c بدست آمده می‌توان وارد شکل ۱-۱۴ و ۲-۱۴ شد و شرایط تقریبی عملکرد جریان ترافیک را بدست آورد. در این صورت، انتظار می‌رود که قطعه سربالایی در سرعت ۷۲km/hr و چگالی ۲۲pc/km/ln و سرازیری در ۸۲km/hr و ۱۵pc/km/ln عمل کنند. این جوابها در کار برگ شکل ۴-۱۴ نشان داده شده‌اند.

این راه در سرازیری بهتر از سربالایی عمل می‌کند. اگر افزایش تقاضا باعث بدتر شدن عملکرد سربالایی شود یک خط مجزا برای صعود کامیون می‌باید در نظر گرفته شود. با این وجود، وضعیت موجود پایدار است زیرا چگالی هنوز به حد مرزی سطح سرویس E یعنی ۲۶pc/km/ln نرسیده است.

مسئله ۲- طراحی یک راه چند خطه حومه‌ای

صورت مسئله. مطلوب است طراحی یک راه چند خطه حومه‌ای برای یک DDHV برابر با ۱۸۰۰۰ vph با ۵ درصد کامیون و یک PHF برابر با ۰/۹ مقصود رانندگان این راه عمدتاً کاری است.

این راه در یک ناحیه ناهموار واقع است. نسبت v/c طرح برابر ۰/۷۵ می‌باشد. این مقدار مطابق توصیه AASHTO برای طراحی راههای چند خطه و در محدوده سطح سرویس D است.

راه حل. در این راه حل استانداردهای طراحی زیر در نظر گرفته شده‌اند: الف) عرض خطوط ۳/۶ متر (ب) کفایت فاصله جانبی شانه‌ها (ج) مجزا بودن خطوط راه و (د) سرعت طرح ۱۱۰km/hr.

بنابراین:

$$N = SF/\ [c_i \times (v/c) \times f_W \times f_{HV} \times f_E \times f_P]$$

که در آن:

$SF = 1800/0.90 = 2000\ vph$

$v/c = 0.75$

$C_i = 2000\ pcphpl$

$f_W = 1.00$ (جدول ۲-۱۴)

$E_T = 4$ (جدول ۳-۱۴)

$f_{HV} = 0.87$ (جدول ۹-۱۴)

$f_E = 0.90$ (جدول ۱۰-۱۴)

$f_P = 1.00$ (جدول ۱۱-۱۴)

آنگاه:

خط

$$N = 2000/\ [2000 \times 0.75 \times 1.0 \times 0.87 \times 0.90 \times 1.00] = 1.7$$

برای هر جهت دو خط مورد نیاز است و راه بصورت چهار خطه طراحی می‌شود

چون تعداد دو خط در هر جهت بیش از مقدار مورد نیاز برای رسیدن به v/c برابر با ۰/۷۵ است، مقدار v/c واقعی تعیین می‌شود. بنابراین:

$$v/c = SF\ /\ [C_i \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_E \times f_P]$$

$$= \ /\ [2000 \times 2 \times 1.0 \times 0.87 \times 0.90 \times 1.00] = 0.64$$

این مقدار در محدوده سطح سرویس C واقع است ولی خیلی بهتر از مقدار حداقلی است که در ابتدا مورد نظر بود. محاسبات مشابهی نیز برای مقطع عرضی مجزا نشده صورت می‌گیرد. تنها مقداری که تغییر می‌کند f_E است که برابر ۰/۸ می‌شود. بنابراین:

$$N = 2000\ /\ [2000 \times 0.75 \times 1.0 \times 0.87 \times 0.8 \times 1.00] = 1.9$$

به این ترتیب هنوز یک راه چهار خطه قابل قبول می‌باشد. ولی این راه بخوبی مقطع عرضی جدا شده عمل نخواهد کرد زیرا:

$$v/c = 2000\ /\ [2000 \times 2 \times 1.0 \times 0.87 \times 1.80] = 0.72$$

این مقدار کمی خارج از محدوده سطح سرویس C یعنی ۰/۷۱ است و عملاً در سطح سرویس D واقع است. می‌توان با استفاده از شکلهای ۱-۱۴ و ۲-۱۴ اختلاف عملکرد این دو گزینه را معین کرد: (الف) طرح جدا شده تقریباً در سرعت ۸۲km/hr و چگالی ۱۶pc/km/ln عمل خواهد کرد. (ب) طرح جدا نشده تقریباً در سرعت ۷۹km/hr و چگالی ۱۸pc/km/ln عمل خواهد کرد.

در شکل ۵-۱۴ کار برگ طرح و نتایج بدست آمده نشان داده شده است.

راههای دو خطه برون شهری

یک راه دو خطه، جاده‌ای است که در هر جهت دارای یک خطه برای عبور ترافیک می‌باشد. سبقت گرفتن از وسایل نقلیه‌ای که کند حرکت می‌کنند مستلزم استفاده از خط عبور مقابل در محلهائی است که مسافت دید کافی و فاصله مناسب

کاربرگ طراحی

Facility Section: *Washington Road*

Date: *6/83* Time: *5-6 PM* (of analysis data)

معیارهای طرح

	LOS	v/c Table 7-12	Highway Classification D or U, S or R	Design Speed	Lane Width	Lateral Clearance (ft) Roadside	Median	Terrain or Grade Type L, R, or M	(%)	Length (mi)
Dir. 1	*D*	*0.75*	*D, S*	*70*	*12*	*Ideal*	*Ideal*	*R*		
Dir. 2	*D*	*0.75*	*D, S*	*70*	*12*	*Ideal*	*Ideal*	*R*		

پیش بینی‌های ترافیک

	DDHV (vph)	PHF	SF=(DDHV/PHF)	% Trucks	% Buses	% RV's	Driver Population
Dir. 1	*1,800*	*0.90*	*2,000*	*5*	*-*	*-*	☑ Commuter ☐ Other
Dir. 2	*1,800*	*0.90*	*2,000*	*5*	*-*	*-*	☑ Commuter ☐ Other

$$N = SF/[c_i \times v/c \times f_w \times f_{HV} \times f_E \times f_p]$$

تحلیل طراحی

$N = SF \quad /c_i \times (v/c) \times f_w \times f_E \times f_p \times f_{HV}$

$$f_{HV} = 1/[1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)]$$

			Table 7-1		Table 7-2	Table 7-10	Table 7-11		E_T	E_B	E_R
Dir. 1	*1.7*	*2000*	*2000*	*0.75*	*1.00*	*0.90*	*1.00*	*0.87*	*4*		
Dir. 2	*1.7*	*2000*	*2000*	*0.75*	*1.00*	*0.90*	*1.00*	*0.87*	*4*		

شکل طرح

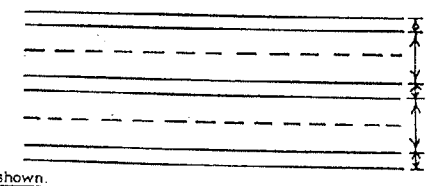
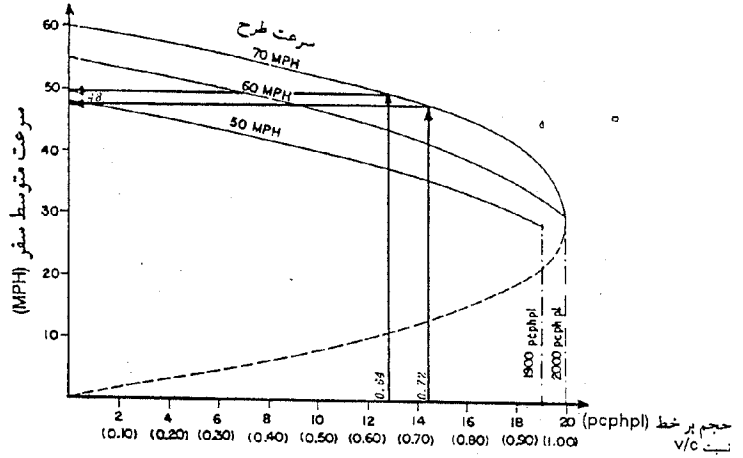
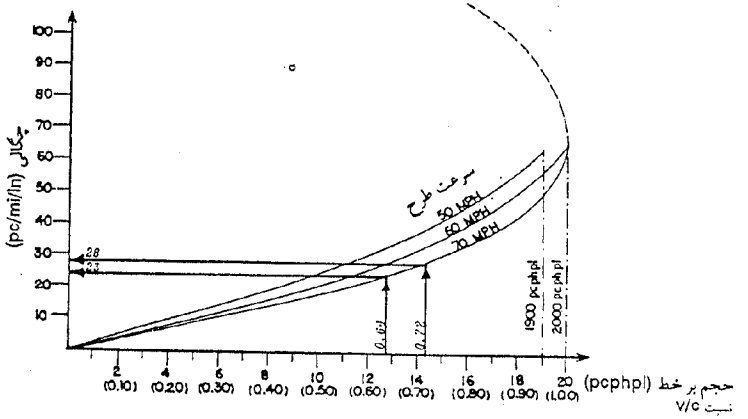


*Table 7-9 or compute as shown.

Name: *Arthur Jones* Date:

Checked by:





شکل ۵-۱۴. تصاویر مربوط به مسئله ۲

بین وسائل نقلیه مقابل وجود داشته باشد. در صورتی که محدودیت‌های حجم ترافیک و یا طرح هندسی زیاد شود توانائی سبقت گرفتن کم شده و نتیجتاً دسته‌های ترافیکی تشکیل می‌شود. وسائل نقلیه‌ای که در این دسته‌های ترافیکی قرار می‌گیرند به دلیل عدم توانائی در سبقت گیری، تحت تاثیر تاخیرهای بیش از اندازه واقع می‌شوند.

تعیین کیفیت سرویس

بنا به دلایل فوق سه پارامتر زیر برای تعیین کیفیت سرویس جاده‌های دو خطه معمولی بکار برده می‌شود که عبارتند از درصد تاخیر، سرعت متوسط حرکت و استفاده از ظرفیت.

درصد تاخیر. درصد تاخیر نشان دهنده تحرک و دسترسی بوده و برابر است با متوسط درصد زمانی که کل وسائل نقلیه بدلیل عدم توانائی در سبقت گرفتن و حرکت دسته‌ای از دست می‌دهند. چون اندازه‌گیری مستقیم آن در محل امکان پذیر نیست، درصد کل وسائل نقلیه‌ای که فاصله زمانی عبور آنها از پنج ثانیه کمتر است بعنوان درصد تاخیر ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سرعت متوسط حرکت. سرعت متوسط حرکت نشان دهنده میزان تحرک در جاده‌های دو خطه می‌باشد و برابر است با طول قسمت تحت مطالعه تقسیم بر متوسط زمان حرکت کل وسائل نقلیه‌ای که آن قسمت جاده را در هر دو جهت (در مدت مشخصی) پیموده‌اند.

استفاده از ظرفیت. نشان دهنده میزان دسترسی به جاده می‌باشد و برابر است با نسبت تردد موجود به ظرفیت.

در تعیین سطح سرویس هر سه معیار فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. درصد تاخیر بعنوان معیار اصلی (معیار کارایی) تعیین کیفیت سرویس و دو معیار دیگر بعنوان معیارهای فرعی می‌باشند.

شرایط ایده‌آل

بطور کلی شرایط ایده‌آل برای جاده‌های دو خطه عبارت است از شرایط عدم وجود محدودیت در طرح هندسی، ترافیک یا شرایط محیطی. بطور اخص این شرایط عبارتند از:

(۱) سرعت طرح مساوی یا بیشتر از ۹۵ کیلومتر در ساعت
(۲) عرض خط عبور مساوی یا بیشتر از ۳/۶۵ متر
(۳) شانه‌های بدون مانع با عرض مساوی یا بیشتر از ۱/۸۳ متر
(۴) سبقت آزاد در طول جاده (درصد مناطق سبقت ممنوع برابر صفر)
(۵) تمام وسائل نقلیه موجود در ترافیک از نوع اتومبیل *(pcu)*
(۶) توزیع ترافیک در دو جهت بصورت ۵۰/۵۰
(۷) هیچگونه عامل بازدارنده‌ای مانند وسائل کنترل ترافیک یا دور زدن وسائل نقلیه وجود نداشته باشد.
(۸) منطقه هموار

در شرایط ایده‌آل ظرفیت یک جاده دو خطه برون شهری برابر ۲۸۰۰ اتومبیل سواری در ساعت برای هر دو جهت است. این ظرفیت نشان دهنده اثر ترافیک مقابل در فرصت‌های سبقت‌گیری می‌باشد. توزیع جهتی ترافیک مشاهده شده در بیشتر جاده‌ها بین ۵۵/۴۵ تا ۷۰/۳۰ تغییر می‌کند، در جاده‌های تفریحی و در روزهای تعطیل یا در ساعات اوج دیگر ممکن است این رقم به مقدار ۸۰/۲۰ نیز برسد.

فراوانی درصد مناطق سبقت ممنوع در طول جاده برای مشخص کردن طرح و شرایط ترافیکی جاده بکار می‌رود. منطقه سبقت ممنوع عبارت است از هر منطقه‌ای که سبقت گرفتن درآنها ممنوع اعلام شده است و یا هر قسمتی که در آن مسافت دید سبقت برابر ۴۶۰ متر یا کمتر باشد. متوسط درصد مناطق سبقت ممنوع برای هر دو جهت قسمت تحت مطالعه جاده در نظر گرفته می‌شود. مقدار آن در جاده‌های دو خطه بین ۲۰ تا ۵۰ درصد تغییر می‌کند ولی در مناطق کوهستانی و جاده‌های مارپیچ ممکن است به ۱۰۰ درصد نیز برسد.

سطوح سرویس

همانطور که قبلاً گفته شد ضوابط تعیین سطح سرویس در جاده‌های دو خطه بمنظور نشان دادن میزان دسترسی و تحرک جاده است. درصد تاخیر بعنوان معیار اصلی، سرعت و نسبت *v/c* بعنوان معیارهای ثانویه برای تعیین سطح سرویس مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۱۳-۱۴ معیارهای سطوح سرویس را برای یک طول کلی جاده و جدول ۱۴-۱۴ معیار تعیین سطح سرویس را برای یک شیب مشخص جاده بیان می‌کند. در حالت دوم سرعت متوسط در جهت سر بالائی نشان دهنده سطح سرویس است.

سطح سرویس *A*: بالاترین سطح سرویس است که رانندگان می‌توانند سرعت مورد نظر خود را برقرار کنند. سرعت متوسط نزدیک ۹۵ کیلومتر در ساعت و نیاز به سبقت گرفتن خیلی کم تراز ظرفیت موجود سبقت‌گیری می‌باشد. دسته‌های ترافیکی

متشکل از سه وسیله نقلیه یا بیشتر تقریباً دیده نمی‌شود. تاخیر ایجاد شده توسط وسائل نقلیه کندرو هیچوقت بیشتر از ۳۰ درصد نخواهد شد. حداکثر میزان تردد در این سطح سرویس ۴۲۰ اتومبیل در ساعت، برای شرایط ایده‌آل و هر دو جهت حرکت، می‌باشد.

سطح سرویس *B* : نشان دهنده شرایطی است که سرعت‌های حدود ۹۰ کیلومتر در ساعت یا بیشتر و در منطقه هموار قابل تامین می‌باشد. در پایین‌ترین حد سطح سرویس *B* نیاز به سبقت گرفتن تقریباً برابر ظرفیت موجود سبقت‌گیری است. تاخیر وارد بر رانندگان بطور متوسط تا ۴۵ درصد زمانی می‌رسد. حداکثر میزان تردد در این سطح سرویس ۷۵۰ اتومبیل در ساعت و در شرایط ایده‌آل می‌باشد.

سطح سرویس *C* : ازدیاد قابل ملاحظه‌ای در تعداد و اندازه دسته‌های ترافیکی و در نتیجه ازدیاد در فراوانی موانع برای سبقت گیری بوجود می‌آید. سرعت متوسط از ۸۵ کیلومتر در ساعت بیشتر است اگر چه نیاز به سبقت گیری وجود دارد ولی بعلت تشکیل زنجیره‌ای از دسته‌های ترافیکی کاهش عمده‌ای در ظرفیت سبقت گیری ایجاد می‌شود. درصد تاخیر تا ۶۰ درصد می‌رسد و حداکثر میزان تردد شرایط ایده‌آل در این سطح سرویس ۱۲۰۰ اتومبیل در ساعت برای مجموع دو جهت است.

سطح سرویس *D* : با این سطح سرویس تردد ناپایدار شروع می‌شود و در حجمهای بیشتر مسیرهای متقابل ترافیک، بعلت مشکل شدن سبقت گیری، تقریباً مستقل از هم عمل می‌کنند. نیاز به سبقت بسیار زیاد است در صورتی که ظرفیت سبقت گیری نزدیک به صفر می‌باشد. در حالیکه سرعتهای حدود ۸۰ کیلومتر در ساعت هنوز قابل برقراری است (در شرایط ایده‌آل)تشکیل دسته‌های ترافیکی باندازه ۵ تا ۱۰ وسیله نقلیه تقریباً عادی است. درصد تاخیر به ۷۵ می‌رسد. حداکثر حجم ترافیک در یک منطقه هموار و در شرایط ایده‌آل می‌تواند وجود داشته باشد ۱۸۰۰ اتومبیل در ساعت می‌باشد.

سطح سرویس *E* : شرایط ترافیکی را مشخص می‌کند که تاخیر زمانی بیش از ۷۵ درصد وجود داشته باشد. در شرایط ایده‌آل سرعت‌ها از ۸۰ کیلومتر در ساعت کمتر خواهد شد. سرعت متوسط در شرایط غیر ایده‌آل و در فرازهای طولانی به حدود ۴۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد. سبقت گیری در این سطح سرویس تقریباً غیر ممکن است. دسته‌های ترافیکی خیلی فشرده تشکیل می‌شود. حداکثر حجم ترافیک قابل عبور در این سطح سرویس برابر ظرفیت است و در شرایط ایده‌آل برای مجموع دو طرف ۲۸۰۰ اتومبیل سواری در ساعت می‌باشد. با تغییر توزیع ترافیک از ۵۰/۵۰ ظرفیت بصورت زیر کاهش می‌یابد.

تقسیم ترافیک	ظرفیت کل *(pcph)*	نسبت ظرفیت به ظرفیت ایده‌آل
۵۰/۵۰	۲۸۰۰	۱/۰۰
۶۰/۴۰	۲۶۵۰	۰/۹۴
۷۰/۳۰	۲۵۰۰	۰/۸۴
۸۰/۲۰	۲۳۰۰	۰/۸۳
۹۰/۱۰	۲۱۰۰	۰/۷۵
۱۰۰/۰	۲۰۰۰	۰/۷۱

سطح سرویس *F*: مانند انواع جاده‌های دیگر سطح سرویس *F* نشان دهنده تردد با تراکم زیاد و ترافیک بیش از ظرفیت است. سطح سرویس *E* بندرت در یک قسمت از جاده پایدار می‌ماند و معمولاً به سطح سرویس بالاتر و یا سریعاً به سطح سرویس *F* که نماینده تراکم ترافیک است می‌رسد.

محاسبات

ظرفیت برای دو حالت قطعه کلی راه و شیب مشخص قابل محاسبه است.

۱- ***قطعه کلی راه.*** در این روش با توجه به شرایط منطقه‌ای، هندسی و ترافیکی مقدار متوسطی بعنوان ظرفیت برای یک قطعه کلی محاسبه می‌شود. شرایط منطقه‌ای به هموار، تپه‌ماهوری و کوهستانی تقسیم می‌شود. این روش را برای قسمتهائی از جاده با حداقل طول ۳۲۰۰ متر می‌توان بکار برد. رابطه کلی در این روش بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$SF_i = 2800\ (v/c)_i\ f_d\ f_W\ f_{HV}$$

SF_i = کل حجم سرویس برای دو جهت در شرایط موجود راه و ترافیک و برای سطح سرویس *i* بر حسب وسیله نقلیه در ساعت. در صورتیکه سطح سرویس *E* انتخاب شود معادل ظرفیت خواهد شد.

$(v/c)_i$ = نسبت تردد به ظرفیت در شرایط ایده‌آل برای سطح سرویس *i* که از جدول ۱۳-۱۴ بدست می‌آید.

f_d = ضریب تصحیح برای توزیع ترافیک در دو جهت که از جدول ۱۵-۱۴ بدست می‌آید.

f_W = ضریب تصحیح برای عرض خط عبور و مانع کنار جاده که جدول ۱۶-۱۴ می‌توان آنرا بدست آورد.

جدول ۱۳-۱۴ . سطوح سرویس برای قطعه کلی جاده‌های دو خطه

		نسبت v/c*																	
		ناحیه هموار							ناحیه تپه - ماهور							ناحیه کوهستانی						
			درصد مناطق سبقت ممنوع							درصد مناطق سبقت ممنوع							درصد مناطق سبقت ممنوع					
LOS	درصد زمان تاخیر	سرعت متوسط**	0	20	40	60	80	100	سرعت متوسط**	0	20	40	60	80	100	سرعت متوسط**	0	20	40	60	80	100
A	≤30	≥۹۶	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	≥۹۵	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	≥۹۴	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	≤46	≥۹۲	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	≥۹۰	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	≥۹۰	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	≤60	≥۸۷	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	≥۸۵	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.26	≥۸۲	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	≤75	≥۸۴	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	≥۸۲	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	≥۷۵	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	≤75	≥۷۵	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	≥۶۷	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	≥۵۸	0.91	0.87	0.84	0.82	0.82	0.78
F	100	<۷۵	—	—	—	—	—	—	<۶۷	—	—	—	—	—	—	<۵۸	—	—	—	—	—	—

* نسبت تردد به یک ظرفیت ایده‌ال ۲۸۰۰ وسیله نقلیه در ساعت در هر دو جهت.

** میانگین سرعت سفر کلیه وسایل نقلیه (برحسب کیلومتر بر ساعت) برای راههای با سرعت طرح ≤ ۱۰۰/km/hr : در مورد راههای با سرعت طرح کمتر از ۱۰۰/km/hr باید به ازاء هر ۱۶/۵ کیلومتر در ساعت کاهش در سرعت طرح، سرعت متوسط $_{km/hr}$ ۶/۵ کاهش یابد.

جدول ۱۴-۱۴ . سطوح سرویس برای شیب مشخص

سطح سرویس	میانگین سرعت سربالایی (km/hr)
A	≥ ۹۲
B	≥ ۸۴
C	≥ ۷۵
D	≥ ۶۷
E	≥ ۴۲-۶۷*
F	<۴۲-۶۷*

* سرعتی که در آن ظرفیت فرا می‌رسد بسته به درصد و طول شیب، ترکیب ترافیک و حجم متغیر است: روند محاسباتی برای یافتن این مقدار موجود است.

جدول ۱۵-۱۴ . ضریب تصحیح برای توزیع ترافیک در دو طرف برای قطعه کلی راه

توزیع جهتی	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
ضریب تصحیح f_d	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1.00

f_{HV} = ضریب تصحیح برای وسائل نقلیه سنگین در ترافیک که با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{HV} = 1/\,[1 + P_T\,(E_T - 1) + P_R\,(E_R - 1) + P_B(E_B - 1)]$$

که P_T، P_B و P_R درصد کامیون، اتوبوس و وسائل نقلیه تفریحی در ترافیک است و E_T، E_B و E_R بترتیب معادل اتومبیل سواری برای کامیون، اتوبوس و وسائل نقلیه تفریحی می‌باشد و آنها را می‌توان از جدول ۱۷-۱۴ بدست آورد.

مثال - یک جاده دو خطه در خارج شهر دارای مشخصات زیر می‌باشد:

سرعت طرح ۱۱۰ کیلومتر در ساعت، عرض خط ۳/۶ متر، عرض شانه‌ها ۳/۰ متر، منطقه هموار، درصد مناطق سبقت ممنوع صفر و طول ۸ کیلومتر.

تقسیم ترافیک ۷۰/۳۰، ده درصد کامیون، ۵ درصد وسیله نقلیه تفریحی، یک درصد اتوبوس و ۸۴ درصد اتومبیل.

ظرفیت این قسمت جاده چقدر است؟ حداکثر حجم سرویس در سطح سرویس C چقدر است؟

حل:

$$SF_i = 2800\,(v/c)_i\,f_d\,f_W\,f_{HV}$$

از جدول ۱۳-۱۴ $(v/c)_C = .0.43$

$(v/c)_E = 1.00$

از جدول ۱۵-۱۴ برای تقسیم ترافیک ۷۰/۳۰ $f_d = 0.89$

از جدول ۱۶-۱۴ $f_W = 1.00$

جدول ۱۶-۱۴ . ضریب تعدیل برای عرض خط عبور و مانع کنار جاده

عرض شانه*	عرض خط ۳/۶۵ متر		عرض خط ۳/۳۵ متر		عرض خط ۳/۰۵ متر		عرض خط ۲/۷۵ متر	
قابل استفاده (متر)	LOS A-D	LOS** E	LOS A-D	LOS** E	LOS A-D	LOS** E	LOS A-D	LOS** E
≥۱/۸	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
۱/۲	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
۰/۶	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
۰	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

* در صورتی که عرض شانه در طرفین راه متفاوت باشد از عرض متوسط استفاده می‌شود.

** این ضریب در مورد کلیه سرعتهای کمتر از ۷۵km/hr قابل استفاده است.

جدول ۱۷-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای کامیون اتوبوس و وسیله نقلیه تفریحی برای قطعه کلی جاده

نوع وسیله نقلیه	سطح سرویس	نوع منطقه		
		هموار	تپه - ماهوری	کوهستانی
کامیون E_T	A	2.0	4.0	7.0
	B و C	2.2	5.0	10.0
	D و E	2.0	5.0	12.0
وسایل تفریحی E_R	A	2.2	3.2	5.0
	B و C	2.5	3.9	5.2
	D و E	1.6	3.3	5.2
اتوبوس E_B	A	1.8	3.0	5.7
	B و C	2.0	3.4	6.0
	D و E	1.6	2.9	6.5

از جدول ۱۷-۱۴ برای سطح سرویس C و E:

$$Los\ C: f_{HV}=\frac{1}{1+0.10(2.2-1)+0.05(2.5-1)+0.01(2.0-1)}$$

$$Los\ E: f_{HV}=\frac{1}{1+0.10(2.0-1)+0.05(1.6-1)+0.01(1.6-1)}$$

$$SF_C = 2800(0.43)(0.89)(1.00)(0.83) = 889 \quad vph$$

$$SF_E = 2800(1.00)(0.89)(1.00)(0.88) = 2193\ vph$$

بنابراین ظرفیت این قسمت جاده در مجموع برای دو طرف ۲۱۹۳ وسیله نقلیه در ساعت می‌باشد.

۲- شیب مشخص . آنالیز شیبهای مشخص جاده‌های دو خطه کمی پیچیده‌تر از قطعات کلی راه بوده و تحلیل بر اساس فرازهایی که از شیب قبلی افقی شروع شده باشد انجام می‌شود. از آنجایی که در فرازها اثرات عملکرد وسائل نقلیه خیلی بیشتر است تا نشیبها، لذا جدول ۱۴-۱۴ بر اساس سرعت متوسط در سربالائی تنظیم شده است.

در صورتی که شیبهای متعدد موجود باشد می‌توان برای قسمت تحت مطالعه یک شیب متوسط از تقسیم کل اختلاف ارتفاع به طول، محاسبه نمود.

رابطه تعیین حجم سرویس برای یک شیب متوسط سربالائی در این حالت بصورت زیر می‌باشد:

$$SF_i = 2800\ (v/c)_i\ f_d\ f_w\ f_g\ f_{HV}$$

SF_i = حجم سرویس برای سطح سرویس i و بر حسب vph برای دو طرف و برای شرایط موجود راه و ترافیک.

$(v/c)_i$ = نسبت v/c برای سطح i که از جدول ۱۸-۱۴ بدست می‌آید.

f_d = ضریب تصحیح برای توزیع ترافیک در دو طرف جاده که از جدول ۱۹-۱۴ به دست می‌آید.

f_w = ضریب تصحیح برای عرض خط عبور و مانع کنار جاده که از جدول ۱۶-۱۴ بدست می‌آید.

f_g = ضریب تصحیح برای تاثیر شیب روی اتومبیل‌ها که محاسبه آن بعداً توضیح داده خواهد شد.

f_{HV} = ضریب تصحیح برای وسائل نقلیه سنگین در سربالائی که روش محاسبه آن در قسمت‌های بعد توضیح داده می‌شود.

ضریب v/c - مقادیر نشان داده شده در جدول ۱۸-۱۴ نسبت تردد به ظرفیت ایده‌آل (۲۸۰۰ اتومبیل در ساعت) و با فرض اینکه شیب روی اتومبیل‌ها تاثیر ندارد بدست آمده است. ضریب تصحیح دیگری برای در نظر گرفتن اثر شیب روی عملکرد اتومبیل‌ها در نظر گرفته شده است. مقادیر صفر در جدول باین معنی است که برقرار کردن سرعت متوسط تعیین شده در چنین شیبهائی عملاً مشکل یا غیر ممکن است.

ضریب f_g - نسبت‌های v/c که در جدول ۱۸-۱۴ آمده است با این فرض است که سرعت اتومبیل‌ها در شیب ثابت باقی می‌ماند. مطالعات اخیر نشان داده است که عملکرد اتومبیل‌ها در شیب، حتی اگر وسائل نقلیه سنگین هم موجود نباشد یکنواخت نیست و متاثر از مقدار شیب می‌باشد. ضریب f_g برای تصحیح مقادیر v/c است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f_g = \frac{1}{1+P_p I_p}$$

P_p = نسبت اتومبیل در ترافیک سر بالائی بصورت اعشاری

I_p = ضریب بازدارندگی برای اتومبیل که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_p = 0.02\ (E-E_O)$$

E = معادل اتومبیل برای یک شیب، سرعت و طول شیب مشخص که از جدول ۲۰-۱۴ بدست می‌آید.

E_O = معادل اتومبیل برای شیب صفر درصد و سرعت مشخص که از جدول ۲۰-۱۴ بدست می‌آید.

ضریب f_g - ضریب تصحیح برای وسائل نقلیه سنگین در اینحالت از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$f_g \frac{1}{1+P_{HV}\ (E_{HV}-1)}$$

f_g = ضریب تصحیح برای حضور وسائل نقلیه سنگین در ترافیک سربالائی.

P_{HV} = نسبت کل وسائل نقلیه سنگین (کامیون، اتوبوس و وسیله نقلیه تفریحی) در جهت سربالائی.

E_{HV} = معادل اتومبیل سواری برای کل وسائل نقلیه سنگین موجود در ترافیک سربالائی. که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$E_{HV} = 1 + (0.25 + P_{T/HV})\ (E-1)$$

$P_{T/HV}$ = نسبت کامیونها در کل وسائل نقلیه سنگین، یعنی درصد کامیونهای موجود در ترافیک تقسیم بر کل درصد وسائل نقلیه سنگین ترافیک:

$$P_{T/HV} = \frac{P_T}{P_T + P_B + P_R}$$

E = معادل اتومبیل برای شیب، طول شیب و سرعت مشخص که از جدول ۲۰-۱۴ بدست می‌آید.

جدول ۱۸-۱۴ . مقادیر V/C* با توجه به سرعت، درصد شیب و درصد مناطق سبقت ممنوع برای شیب مشخص

درصد شیب	میانگین سرعت سربالایی (km/hr)	درصد مناطق سبقت ممنوع					
		0	20	40	60	80	100
3	۹۲	0.27	0.23	0.19	0.17	0.14	0.12
	۸۸	0.42	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27
	۸۴	0.64	0.59	0.55	0.52	0.49	0.47
	۷۵	1.00	0.95	0.91	0.88	0.86	0.84
	۷۱	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94
	۶۷	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	۹۲	0.25	0.21	0.18	0.16	0.13	0.11
	۸۸	0.40	0.36	0.31	0.29	0.27	0.25
	۸۴	0.61	0.56	0.52	0.49	0.47	0.45
	۷۵	0.97	0.92	0.88	0.85	0.83	0.81
	۷۱	0.99	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
	۶۷	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
	۵۸	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	۹۲	0.21	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08
	۸۸	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20
	۸۴	0.57	0.49	0.45	0.41	0.39	0.37
	۷۵	0.93	0.84	0.79	0.75	0.72	0.70
	۷۱	0.97	0.90	0.87	0.85	0.83	0.82
	۶۷	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
	۵۸	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	۹۲	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
	۸۸	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.13
	۸۴	0.48	0.40	0.35	0.31	0.28	0.26
	۷۵	0.49	0.76	0.68	0.63	0.59	0.55
	۷۱	0.93	0.84	0.78	0.74	0.70	0.67
	۶۷	0.97	0.91	0.87	0.83	0.81	0.78
	۵۸	1.00	0.96	0.65	0.93	0.91	0.90
	۵۰	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
7	۹۲	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	۸۸	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04
	۸۴	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12
	۷۵	0.77	0.65	0.55	0.46	0.40	0.35
	۷۱	0.86	0.75	0.67	0.60	0.54	0.48
	۶۷	0.93	0.82	0.75	0.69	0.64	0.59
	۵۸	1.00	0.91	0.87	0.82	0.79	0.76
	۵۰	1.00	0.95	0.92	0.90	0.88	0.86

* نسبت تردد به ظرفیت ایده‌آل pcph ۲۸۰۰ با این فرض که عملکرد اتومبیل سواری تحت تأثیر شیب قرار ندارد.

توجه: برای مقادیر بینابینی "درصد مناطق سبقت ممنوع" درون یابی صورت می‌گیرد. "درصد شیب" به عدد صحیح بالاتر گرد می‌شود.

جدول ۱۹-۱۴ . ضریب تصحیح برای توزیع ترافیک در دو طرف درحالت شیب مشخص

درصد ترافیک در سربالایی	ضریب تصحیح
۱۰۰	۰/۵۸
۹۰	۰/۶۴
۸۰	۰/۷۰
۷۰	۰/۷۸
۶۰	۰/۸۷
۵۰	۱/۰۰
۴۰	۱/۲۰
۳۰	۱/۵۰

جدول ۲۰-۱۴ . معادل اتومبیل سواری برای شیب مشخص جاده‌های دو خطه

شیب (%)	طول شیب (Mi)	سرعت متوسط سربالایی (km/hr) ۹۲	۸۸	۸۴	۷۵	۶۷	۵۰
0	ALL	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3
3	¼	2.9	2.3	2.0	1.7	1.6	1.5
	½	3.7	2.9	2.4	2.0	1.8	1.7
	¼	4.8	3.6	2.9	2.3	2.0	1.9
	1	6.5	4.6	3.5	2.6	2.3	2.1
	1½	11.2	6.6	5.1	3.4	2.9	2.5
	2	19.8	9.3	6.7	4.6	3.7	2.9
	3	71.0	21.0	10.8	7.3	5.6	3.8
	4	*	48.0	20.5	11.3	7.7	4.9
4	¼	3.2	2.5	2.2	1.8	1.7	1.6
	½	4.4	3.4	2.8	2.2	2.0	1.9
	¼	6.3	4.4	3.5	2.7	2.3	2.1
	1	9.6	6.3	4.5	3.2	2.7	2.4
	1½	19.5	10.3	7.4	4.7	3.8	3.1
	2	43.0	16.1	10.8	6.9	5.3	3.8
	3	*	48.0	20.0	12.5	9.0	5.5
	4	*	*	51.0	22.8	13.8	7.4
5	¼	3.6	2.8	2.3	2.0	1.8	1.7
	½	5.4	3.9	3.2	2.5	2.2	2.0
	¼	8.3	5.7	4.3	3.1	2.7	2.4
	1	14.1	8.4	5.9	4.0	3.3	2.8
	2	91.0	28.3	17.4	10.2	7.5	4.8
	3	*	*	70.0	38.0	23.9	11.3
	4	*	*	*	55.0	25.0	11.5
6	¼	4.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.8
	½	6.5	4.8	3.7	2.8	2.4	2.2
	¼	11.0	7.2	5.2	4.9	4.0	3.3
	1	20.4	11.7	7.8	4.9	4.0	3.3
	1½	60.0	25.2	16.0	8.5	6.4	4.7
	2	*	50.0	28.2	15.3	10.7	6.3
	3	*	*	70.0	38.0	23.9	11.3
	4	*	*	*	90.0	45.0	18.1
7	¼	4.5	3.4	2.7	2.2	2.0	1.9
	½	7.9	5.7	4.3	3.1	2.7	2.4
	¼	14.5	9.1	6.3	4.3	3.6	3.0
	1	31.4	16.0	10.0	6.1	4.8	3.8
	1½	*	39.5	23.5	11.5	8.4	5.8
	2	*	88.0	46.0	22.8	15.4	8.2
	3	*	*	*	66.0	38.5	16.1
	4	*	*	*	*	*	28.0

* در شیب مشخص شده این سرعت غیر قابل حصول است.

توجه: "درصد شیب" باید به عدد صحیح بالاتر گرد شود.

مثال ۱ - یک جاده دو خطه در یک منطقه کوهستانی دارای شیب ۷ درصد در یک طول ۳/۲ کیلومتر می‌باشد.

سایر مشخصات به شرح زیر می‌باشد:

سرعت طرح ۹۵ کیلومتر در ساعت، عرض خط عبور ۳/۳۰ متر، عرض شانه‌ها ۱/۲ متر، درصد مناطق سبقت ممنوع ۸۰ درصد.

تقسیم ترافیک ۸۰/۲۰، ۴ درصد کامیون، ۱۰ درصد وسائل نقلیه تفریحی، ۲ درصد اتوبوس و ۸۴ درصد اتومبیل.

ظرفیت و حداکثر حجم سرویس را در سطح سرویس C حساب کنید.

حل:

LOS E:

$v/c = 0.88$ برای سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت ازجدول ۱۸-۱۴

$f_d = 0.07$ ازجدول ۱۹-۱۴

$f_w = 0.92$ ازجدول ۱۶-۱۴

$E = 8.2,\ E_0 = 1.3$ ازجدول ۲۰-۱۴

$P_p = 0.84$

$$P_{HV} = P_T + P_B + P_R = 0.04 + 0.02 + 0.10 = 0.16$$

$$P_{T/HV} = \frac{0.04}{0.16} = 0.25$$

$$I_p = 0.02(E-E_o) = (8.20 - 1.30) = 0.138$$

$$f_g = \frac{1}{1 + I_p P_p} = \frac{1}{1 + 0.84\ (0.138)} = 0.90$$

$$E_{HV} = 1+(0.25+P_{T/HV})(E-1) = 1+(0.25+0.25)(8.2-1) = 4.6$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_{HV}(E_{HV} - 1)} = \frac{1}{1 + 0.16\ (4.6 - 1)} = 0.63$$

$$SF_E = 2800(0.88)(0.70)(0.92)(0.63) = 900\ vph$$

بنابراین ظرفیت این جاده دو خطه در مجموع برای کل دو طرف تقریباً برابر ۹۰۰ وسیله نقلیه در ساعت است. برای محاسبه حداکثر حجم سرویس در هر سطح سرویس تمام ضرایب باید مجدداً از جداول استخراج شود، زیرا بعضی از این ضرایب بسته به سطح سرویس تغییر نمی‌کنند (برخلاف جاده‌های اتوبانی)، بنابراین در سطح سرویس C خواهیم داشت:

LOSC:

$v/c = 0.40$ از جدول ۱۸-۱۴

$f_d = 0.70, f_w = 0.85$ از جدول ۱۹-۱۴، ۱۶-۱۴

$E = 22.8\ ,\ E_0 = 1.40$ از جدول ۲۰-۱۴

$P_p = 0.84$

$$E_{HV} = 1 + (0.25 + \frac{0.40}{0.16})(22.8 - 1) = 11.90$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.16(11.9 - 1)} = 0.36$$

$$SF_c = 2800(0.40)(0.70)(0.85)(0.74)(0.36) = 178\ vph$$

مثال ۲ - یک جاده دو خطه برون شهری در یک قسمت به طول ۱۶۰۰ متر دارای شیب ۶ درصد است. عرض هر خط عبور ۳ متر و عرض شانه‌ها در هر طرف ۰/۵ متر می‌باشد. تقسیم ترافیک ۵۰/۵۰، ۲۰ صد کامیون، ۴ درصد اتوبوس و بقیه (۷۶ درصد) از اتومبیل تشکیل شده است. درصد مناطق سبقت ممنوع نیز ۶۰ درصد محاسبه شده است. ظرفیت جاده را حساب کنید:

حل:

$v/c = 0.98$ از جدول ۱۸-۱۴

$f_d = 1.00$ از جدول ۱۹-۱۴

$f_w = 0.782$ با میان یابی از جدول ۱۶-۱۴

$E = 3.3\ ,\ E_0 = 1.3$ از جدول ۲۰-۱۴

$I_p = 0.02(3.3 - 1.3) = 0.04$

$$f_g = \frac{1}{1+0.76(0.40)} = 0.97$$

$$P_{HV} = 0.24$$

$$P_{T/HV} = \frac{0.20}{0.24} = 0.833$$

$$E_{HV} = 1 + (0.25 + 0.833)(3.3 - 1) = 0.626$$

$$SF_E = 2800(0.98)(1.00)(0.782)(0.97)(0.626) = 1303\ vph$$

فصل ۱۵
مطالعات پیاده‌روی

یکی از مسائلی که در مهندسی ترافیک مورد توجه قرار می‌گیرد پیاده‌روی است. در مناطق شهری بویژه در مراکز تجاری شهر، عابرین پیاده در برخورد با ترافیک وسائل نقلیه قرار داشته که نتیجه آن خطر تصادف برای عابرین و تأخیر ترافیکی برای وسایل نقلیه است. مطالعات خصوصیات حرکت عابرین پیاده به منظور ارائه طرحهایی است که برخوردهای عابرین با وسایل نقلیه را کاهش داده، ایمنی عابرین را افزایش و تاخیر وسایل نقلیه را به حداقل برساند.

عابرین پیاده باید در شرایط مختلفی مورد بررسی قرار گیرند. در کلیه تقاطعهایی که عبور عابرین از عرض خیابان بصورت همسطح می‌باشد باید عبور آنها در نهایت ایمنی و راحتی صورت گیرد. در محلهایی که حجم زیاد عابرین پیاده موجود باشد لازم است به تعداد کافی گذرگاههای عرضی تامین شود. در اینگونه موارد تعیین حجم عبور اوج و مقدار اوج صف انتظار عابرین بسیار حائز اهمیت بوده و براساس آنها فضا و زمان عبور کافی تعیین می‌گردد. در مراکز تجاری عرض پیاده روها باید برای عبور حجم عابرین کافی باشد. سرعت عابرین پیاده نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد زیرا در زمان بندی چراغهای راهنمایی و میزان فضای لازم موثر است. در محل سوار شدن پیادگان به وسایل نقلیه عمومی مطالعه زمان سوار شدن و سایر خصوصیات آنها برای طراحی صحیح اندازه و موقعیت ایستگاهها اهمیت زیادی دارد.

در اینگونه موارد عابر پیاده و خصوصیات او اطلاعات مهمی برای مهندس ترافیک بوده و براساس آن تحلیل و تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد.

اندازه‌گیری پیاده‌روی

بواسطه پیچیدگی‌های مربوط به اندازه‌گیری حرکتهای عابرین پیاده، این کار به روش دستی بهتر صورت می‌گیرد. شمارش حجمی را می‌توان بوسیله آمارگرهای مجهز به شمارنده‌های دستی و مستقر در ایستگاههای مناسب انجام داد. معمولاً به هر آمارگر فقط شمارش یک نوع حرکت در هر زمان سپرده می‌شود. برای مطالعات تقاطعها استفاده از ایستگاههای شمارش مرتفع مفید خواهد بود.

اندازه‌گیریهای سرعت با زمان سنجی پیاده روی اشخاص (به کمک یک زمان سنج) در یک مسافت معین صورت می‌گیرد. مشاهده عابرین پیاده را می‌توان از ایستگاههای مرتفع انجام داد با این فرض که خطای دید در مشاهده دقیق ورود و خروج عابرین از مسافت اندازه‌گیری شده ناچیز می‌باشد. در مطالعه ترمینال اتوبوس نیویورک آمارگران، عابرین پیاده را در فاصله نزدیک تعقیب کرده و زمان لازم برای عبور آنها از یک مسافت معین را اندازه‌گیری می‌کردند. اشکال این روش در آن است که اشخاص هنگامیکه از تعقیب خودآگاه می‌شوند الگوی حرکت طبیعی خود را تغییر می‌دهند.

در صورتی که ایستگاههای مرتفع موجود باشد می‌توان از روشهای عکسبرداری نیز استفاده نمود. در مطالعات فوق از عکسبرداری برای بررسی چگالی، حجم و سرعت استفاده بعمل آمده است. استخراج اطلاعات در این روش وقت‌گیر بوده ولی می‌توان از یک قطعه فیلم اطلاعات بسیاری را بدست آورد.

برای مطالعه گذرگاهها می‌توان از روشی که برای مطالعه گذرگاههای مدارس ابداع شده‌است استفاده نمود. در این روش جمعیت دسته‌های دانش‌آموزی شمارش می‌شود. برای تطابق با

سایر موارد، این دسته‌ها می‌توانند متعلق به هر گروهی از پیاده روندگان باشند. جمعیت دسته برحسب تعداد ردیفهای پنج نفره مشخص می‌شود و سپس هشتاد و پنجمین درصد جمعیت دسته معین می‌گردد. فرض می‌شود خطوط عابرین پیاده با عرض ۳/۰ متر اجازه عبور ردیفهای پنج نفره عابرین پیاده را می‌دهند. در شکل ۱ - ۱۵ یک نمونه کاربرگ نشان داده شده‌است.

پس از بدست آوردن هشتاد و پنجمین درصد جمعیت دسته، تعیین فاصله زمانی لازم در جریان ترافیک برای عبور ایمن این دسته از عرض خیابان ضروری خواهد بود.

این فاصله زمانی لازم بااستفاده از معادله زیر بدست می‌آید:

$$G=\frac{W}{1.05}+3+(N-1)\,2$$

که در آن:

G = فاصله زمانی لازم برحسب ثانیه

W = عرض روسازی خیابان برحسب متر

1.05 = سرعت مفروض پیاده روی، برحسب متر در ثانیه

3 = زمان عکس‌العمل عابرین پیاده، برحسب ثانیه

N = تعداد ردیفهای پنج نفره که قصد عبور از عرض خیابان را دارند

2 = فواصل زمانی میان ردیفها برحسب ثانیه

شکل ۱ - ۱۵-کاربرگ

مطالعه جمعیت دسته‌های عابرین پیاده

تاریخ ..... زمان کار ..... تا ..... محل .....

خط عبور در عرض ..... فاصله جدول تا جدول .....

آیا راه مجزاست؟ بله..... خیر ..... عرض جزیره میانی.....

جمعیت دسته	تعداد ردیفها	تعداد دسته‌ها: چوبخط	تعداد دسته‌ها: کل		
۴۶-۵۰	۱۰				
۴۱-۴۵	۹				
۳۶-۴۰	۸	1	۱	۱	
۳۱-۳۵	۷	111	۳	۴	
۲۶-۳۰	۶	11 11111	۷	۱۱	
۲۱-۲۵	۵	111 11111 11111	۱۳		
۱۶-۲۰	۴	111 1111 1111 1111	۱۸		
۱۱-۱۵	۳	11 11111 11111	۱۲		
۶-۱۰	۲	11111	۵		
۵ و کمتر	۱	1	۱		
		تعداد کل دسته‌ها	۶۰		

مطالعه فواصل زمانی واقعی در جریان ترافیک، کفایت وسایل کنترل موجود و یا نیاز به ایجاد کنترل در محلهای بدون کنترل را نشان خواهد داد.

تأخیر واقعی وارد به عابرین پیاده نیز یک شاخص مفید برای تحلیل نقاط کنترل شده‌است. در تقاطعهای بدون چراغ، این مقدار با اندازه‌گیری فواصل موجود در جریان ترافیک و تعیین درصد زمانهایی که در آنها یک فاصله زمانی حداقل برابر با G موجود است محاسبه می‌شود. این درصد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D=\frac{T-t}{T} \qquad (۱۵-۲)$$

که در آن:

D = درصد زمانی که هشتاد و پنجمین درصد دسته عابرین پیاده نمی‌توانند عبور ایمن داشته باشند.

T = زمان کل مطالعه، برحسب ثانیه

t = مجموع کلیه فواصل زمانی $\leq G$ برحسب ثانیه

این نکته حائز اهمیت است که فواصل زمانی باید با توجه به کلیه خطوط و جهتهای ترافیکی اندازه‌گیری شوند.

در مورد گذرگاههای مدارس معمولاً در صورتی که فرا رسید فواصل، کمتر از یک فاصله در دقیقه باشد اعمال کنترل ضروری تشخیص داده می‌شود.

خصوصیات عابرین پیاده

بر اساس نتایج یک مطالعه مندرج در کتاب مرجع مهندسی ترافیک "سرعتهای پیاده‌روی برای افراد مختلفی که از خیابان عبور می‌کنند مطابق جدول ۱ - ۱۵ می‌باشند.

جدول ۱ - ۱۵ نمونه ساعتهای عابرین در حین عبور از عرض خیابان (m/s)

گروه	پانزدهمین درصد	میانه	هشتاد و پنجمین درصد
مردان	۱/۱۲	۱/۳۴	۱/۵۸
زنان	۱/۰۲	۱/۲۰	۱/۴۲
عموم	۱/۰۶	۱/۲۶	۱/۵۰

جدول ۲-۱۵- سرعت عبور عابرین در محل میانی قطعه و تقاطعها (m/s)

گروه	میان قطعه	تقاطع
مردان	۱/۴۸	۱/۴۸
زنان	۱/۳۹	۱/۳۶
عموم	۱/۴۴	۱/۴۲

جدول ۳-۱۵- سطح سرویس استاندارد برای ستون عابرین پیاده

سطح سرویس	مساحت سرانه هر عابر m^2	فواصل میان افراد m	امکان پیش گرفتن در صف
A	بیش از ۱/۱۷	۱/۲	بدون محدودیت
B	۰/۹-۱/۱۷	۱/۰۵-۱/۲	کمی محدودیت
C	۰/۶۳-۰/۹	۰/۹-۱/۰۵	محدود و امکانپذیر
D	۰/۲۷-۰/۶۳	۰/۶-۰/۹	بشدت محدود
E	۰/۱۸-۰/۲۷	۰/۶	امکان ناپذیر
F	کمتر از۰/۱۸	-	امکان ناپذیر

جدول ۴-۱۵ .سطح سرویس استاندارد برای پیاده‌روها

سطح سرویس	سرانه‌مساحت عابر (m^2)	حجم‌عابر (pp/m)	جریان عادی *	جریان معکوس **	جریان عبور +
A	بیش از ۳/۱۵	۲۳	F	F	F
B	۲/۲۵-۳/۱۵	۲۳-۲۳	F	F	R
C	۱/۳۵-۲/۲۵	۳۳-۵۰	F	R	R
D	۰/۹-۱/۳۵	۵۰-۶۰	R	R	S
E	۰/۴۵-۰/۹	۶۰-۸۳	R	S	S
F	کمتر از ۰/۴۵	متغیر تا ۸۳	S	S	S

PPm/m = نفر در دقیقه در هر متر عرض پیاده‌رو
F = نسبتاً آزاد. حداقل محدودیت یا ناراحتی
R = محدودیت، احتمال بیشتر برخورد و ناراحتی
S = بشدیت محدود
* = جهت جریان اصلی
** = جهت مقابل جریان اصلی
+ = جهت عمود بر جریان اصلی

جدول ۵-۱۵ . زمان تقریبی لازم برای سوار شدن هر مسافر بر اساس نوع دریافت کرایه

کرایه	ثانیه
ژتون یا کارت	۲-۳
سکه نقدی	۳-۴
بلیط	۴-۶
پول خرد	۶-۸

جدول ۶-۱۵ . تعداد دروازه‌های لازم برای سوار شدن به اتوبوس

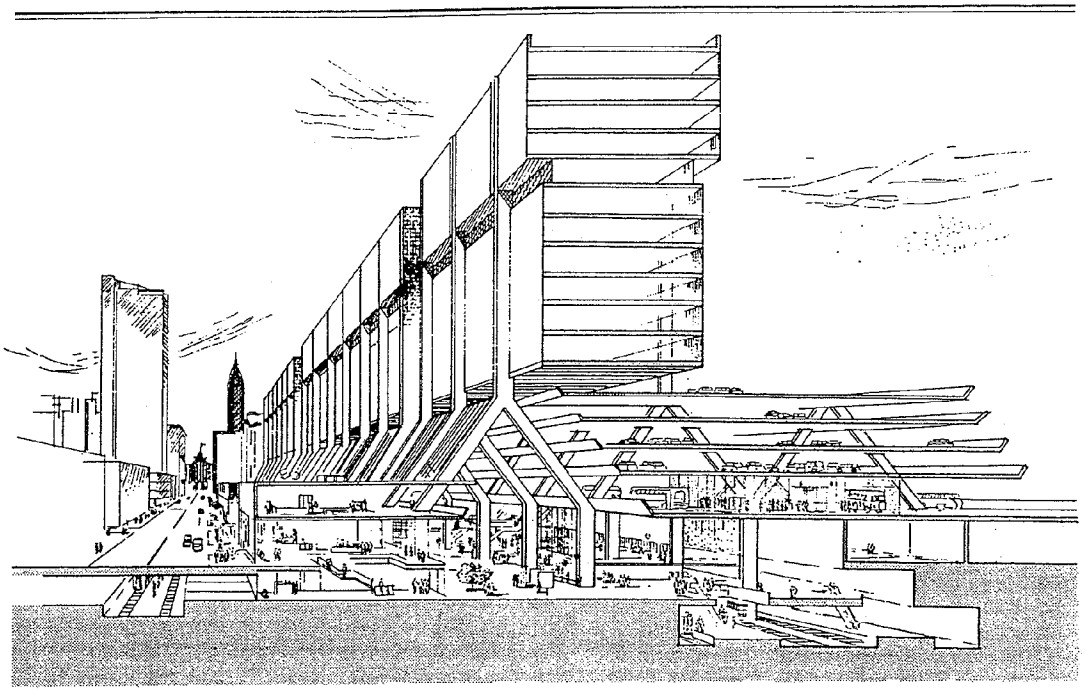
زمان‌سوارشدن(ثانیه)		۳	۵	۷
مسافردراتوبوس		۶۰و۴۵و۳۰	۶۰و۴۵و۳۰	۶۰و۴۵و۳۰
برنامه سرفاصله	۲	۱و۲و۲	۳و۲و۲	۳و۳و۲
اتوبوسها(Min)	۵	۱و۱و۱	۱و۱و۱	۲و۲و۱
	۱۰	۱و۱و۱	۱و۱و۱	۱و۱و۱

جدول ۷-۱۵ . حداقل طول لازم برای ایستگاههای اتوبوس کنار خیابان

طول اسمی اتوبوس(m)	طول برحسب متر برای یک ایستگاه اتوبوس		دوایستگاه اتوبوس		
	طرف نزدیک*	طرف دور**	میان قطعه	طرف نزدیک*	طرف دور**	میان قطعه
۷/۵	۲۷	۱۶/۸	۳۷/۵	۳۶	۲۷	۴۵
۹	۲۸/۵	۲۱	۳۹	۳۹	۳۰	۴۸
۱۰/۵	۳۰	۲۲/۵	۴۰/۵	۴۲	۳۳	۵۱
۱۲	۳۱/۵	۲۴/۰	۴۲	۴۵	۳۶	۵۴

* طول ایستگاه طرف نزدیک در صورت نیاز به گردش براست باید ۴/۵ متر افزایش یابد. در صورت وجود جریان سنگین گردش براست وسایل نقلیه ۹ متر افزایش می‌یابد.
** طولهای ایستگاههای طرف دور براساس عرض خیابان ۱۲ متری یا پهن‌تر می‌باشند.

ضمناً مشاهده شده‌است که عابرین پیاده بسته به فاصله خود با وسایل نقلیه در حین عبور از خیابان سرعت خود را تغییر می‌دهند. سرعت میانگین عبور از مقدار ۱/۹ متر در ثانیه برای فاصله عبور ۲ ثانیه‌ای میان وسایل نقلیه تا مقدار ۱/۱۵ متر در ثانیه برای فاصله عبور ۹ ثانیه‌ای یا بیشتر تغییر می‌کند.



شکل ۲-۱۵ - مجموعه پن (ماخذ: کمیسیون برنامه‌ریزی شهر فیلادلفیا ۱۹۶۴)

در مطالعه سرعت پیاده روندگان در ترمینال اتوبوس و ایستگاه راه آهن پنسیلوانیا، سرعت عبور میانگین بدست آمده در شرایط عبور آزاد به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۳۵ متر در ثانیه بوده‌است. در هر دو محل سرعت عبور خانمها کمتر از آقایان بوده‌است.

نتایج مندرج در جدول ۲ - ۱۵ براساس مطالعات دیگری که بر روی ناحیه مرکزی تجاری انجام شده بدست آمده‌اند.

ظرفیت و حجم عابرین پیاده

تاکنون استانداردهایی برای ظرفیت و سطح سرویس عابرین پیاده تهیه شده‌است. سطحهای سرویس A تا F مشابه با سطح سرویس جریان وسایل نقلیه در کتاب راهنمای ظرفیت راهها تعریف شده‌اند. طبق این کتاب سطح سرویس از حد B برای نمایش حرکت آزاد تا حد F برای نمایش جریان ازدحام تغییر می‌کنند. سطح سرویس E مربوط به ظرفیت یا شرایط حداکثر جریان می‌باشد.

معیارهایی برحسب مساحت سرانه عابرین *(M)* یا مساحت لازم برای هر عابر در هر سطح سرویس مطلوب ارائه شده‌است. بر خلاف سطح سرویس وسایل نقلیه که بوسیله سرعت و حجم تعریف می‌شود سطح سرویس عابرین پیاده براساس معکوس چگالی (تعداد عابرین پیاده در واحد سطح) تعریف می‌گردد.

معیارهایی نیز برای صفهای عابرین و برای پیاده‌روها ارائه شده‌است. این معیارها در جدولهای ۳-۱۵ و ۴-۱۵ نمایش داده شده‌اند.

مشخصه‌های سوار شدن به وسایل نقلیه همگانی

یکی دیگر از مسائل مورد توجه مهندسان ترافیک، نحوه سوار شده پیادگان به وسایل نقلیه همگانی است. در محلهای سوار شدن، می‌بایست فضای کافی برای پیادگان و نیز وسایل نقلیه تامین نمود. تمهیدات ناکافی چه برای وسایل نقلیه و چه پیادگان می‌تواند باعث افزایش تاخیر ساعت اوج برای کلیه تقاطعها یا خیابانهای مرکزی گردد.

در جدول ۵-۱۵ زمانهای سوار شدن پیادگان نشان داده شده‌است.

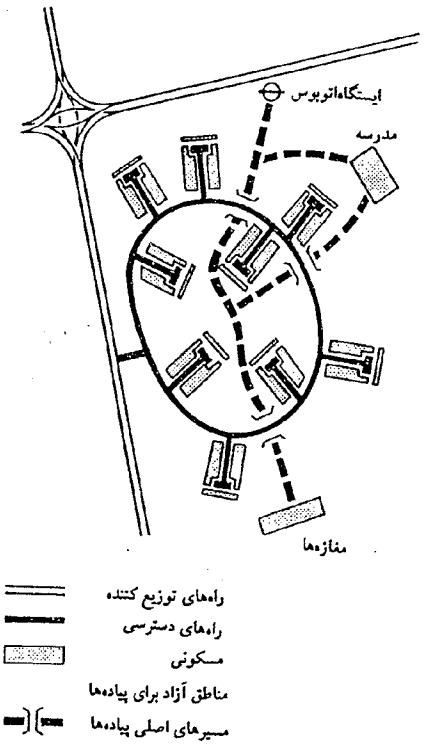
جدول ۶-۱۵ تعداد دروازه‌های لازم برای سوار شدن به اتوبوس را برحسب برنامه سر فاصله زمانی و زمان لازم برای سوار شدن بدست می‌دهد.

اگر خطوط اتوبوسرانی مختلفی وجود داشته و هر کدام دارای دروازه مجزایی باشند ممکن است یک اتوبوس دروازه اتوبوس خط دیگر را مسدود کند. در این شرایط فضای اضافی مورد نیاز خواهد بود.

جدول ۷-۱۵ طول لازم برای دروازه‌های یک و دو اتوبوس در کنار خیابان ارائه شده است.

آخرین نتایج

در قسمتهای قبل رایج ترین اندازه‌گیریهای مهندسی که ممکن است در تحلیل و طراحی حرکتهای عابرین پیاده در پیاده‌روها، خطوط عبور عرضی و در سوار شدن به وسایل نقلیه عمومی بکار آید مورد بحث قرار گرفته‌اند. برخی از معیارهای ارائه شده از منابعی اخذ شده‌اند که عمدتاً درگیر با مطالعات ترافیکی برخوردهای عابرین پیاده و وسایل نقلیه در گذرگاههای مسطح بوده‌اند. سایر آنها عمدتاً مرتبط با مفهوم سطح سرویس عابرین پیاده در جریان ترافیک بوده‌اند. با این وجود در هیچیک از آنها مفهوم گردش ترافیکی مطلوب عابرین پیاده مطرح نشده‌است.



شکل ۳-۱۵- نمونه‌ای از طرح گردش ترافیک رادبرن (مأخذ: ترافیک شهرکها - انتشارات پنگوئن ۱۹۶۳)

در نواحی پر توسعه اراضی شهری، می‌توان به کرات شاهد توقفهای کامل ترافیکی در زمانهایی که اوج حرکت عابرین پیاده با اوج حرکت وسایل نقلیه در یک زمان واقع می‌شوند بود. معمولاً این حالت در صبحها، در ظهرها و در عصرها که دوره‌های اوج هستند بوجود می‌آید. در این گونه مواقع از طریق روشهای کنترل و طراحی مهندسی ترافیک نمی‌توان برخوردهای وسایل نقلیه - عابرین پیاده را حذف نمود زیرا نمی‌توان شبکه موجود خیابانها و پیاده روها را بدون صرف هزینه‌های زیاد بطور قابل توجهی تغییر داد.

با این وجود می‌توان از مزایای طرحهایی که تکیه بر حذف برخوردهای همسطح عابرین و وسایل نقلیه دارند بهره گرفت. اینکار از نظر علمی هم امکان‌پذیر و هم مطلوب می‌باشد بویژه در پروژه‌های کلان بازسازی شهری در نواحی تجاری مرکزی شهرها. در این روش حرکت وسایل نقلیه و حرکتهای عابرین پیاده بطور فیزیکی بوسیله رو گذر یا زیرگذرهای پیاده‌رو از یکدیگر جدا می‌شوند تا جریان وسایل نقلیه بوسیله عابرین قطع نگردد. در شکل ۲-۱۵ کاربرد این روش در طرح یک مجتمع تجاری در فیلادلفیا نشان داده شده‌است. واژه مناسب برای این طرح ترافیکی "معماری ترافیکی" است. طرح مرکز "پن" نمایانگر مطلوبیت ایده طراحی گسترش راههای ارتباطی در داخل ساختمان به منظور کسب کارایی ترافیکی برای وسایل نقلیه و عابرین پیاده است.

یک مثال جالب دیگر از مطلوبیت طرح گردش ترافیکی در یک مجتمع حومه‌ای در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده‌است. این مثال از طرح رادبرن نیوجرسی اخذ شده‌است. در اینجا پیاده‌روها بطور کامل از مسیرهای عبور وسایل نقلیه جدا شده‌اند و به این ترتیب خطر برخورد عابرین پیاده با وسایل نقلیه که منشاء بیشتر جراحات و مرگ و میرهای ترافیکی است از بین رفته است.

در بسیاری از مواقع مهندسان ترافیک ناچار می‌شوند نظرات و دانسته‌های فنی خود را برای تحلیل مسائل ناشی از ضعف طراحی شهر سازی بکار برند. در این گونه موارد مهندس ترافیک، امید زیادی برای حل تمامی مسائل مربوط به برخورد وسایل نقلیه و عابرین پیاده نخواهد داشت. موثرترین مشارکتهای مهندسی ترافیک صرفاً می‌تواند و باید بصورت همگام در فاز طراحی شهری هر پروژه بزرگ کشوری اعمال شود. مهندسان ترافیک باید با طراحان شهری و منطقه‌ای همکاری داشته و دفاتر آنها نیز می‌بایست کار مشترکی را به انجام برسانند. فقط از این طریق است که می‌توان انتظار بهبود قابل توجهی در ترافیک نواحی شهری در آینده داشت.

فصل ۱۶
مطالعات پارکینگ

پارکینگ یکی از کاربریهای اصلی زمین است. تمامی کسانی که با رانندگی آشنا هستند از مشکل یافتن یک فضای پارکینگ در نواحی پر تراکم تجاری و مسکونی آگاه هستند. در مراکز خرید مجتمعها یا مناطق مسکونی، در پارکهای صنعتی، در فرودگاهها، مراکز اجتماعی و یا استادیومها مسئله پارکینگ بطور گسترده مطرح خواهد بود.

مسئله پارکینگ با افزایش ابعاد شهر نمایان تر می‌شود. شکل ۱-۱۶ نشان می‌دهد که تعداد فضاهای پارکینگ برای هر ۱۰۰۰ نفر جمعیت در ناحیه مرکزی تجاری با افزایش اندازه شهر کاهش می‌یابد هر چند که تعداد کل فضاها در CBD با بزرگتر شدن شهر افزایش می‌یابد.

اصولاً سرمایه‌گذاری در تسهیلات پارکینگ همگام با توسعه راهها انجام نشده است و این عدم تعادل در سرمایه‌گذاری منتهی به تراکم ترافیکی موجود شده است که همه روزه در بیشتر مراکز شهری با آن مواجه هستیم.

ماهیت مسئله

پایانه، راه و وسیله نقلیه عوامل اصلی سیستم حمل و نقل جاده‌ای را تشکیل می‌دهند. آرایش و طراحی هر یک از این عوامل در عملکرد کل سیستم موثر خواهد بود. لذا مسئله طراحی ترمینالها و مقررات و کنترل آنها باید در تنگاتنگ مسائل مربوط به جریان ترافیک و خصوصیات وسایل نقلیه مورد بررسی قرار گیرد.

فضایی از اراضی شهری را که برای وسایل نقلیه موتوری تخصیص یافته است می‌توان به فضای حرکت و فضای توقف تقسیم‌بندی نمود. مانند هر کالای اقتصادی، منبع این فضاها در نواحی پر تراکم مانند CBD کمیاب است. در اینگونه نواحی وسایل نقلیه از نظر نیازهای فضایی در رقابت با خود بسر می‌برند. به عنوان نمونه‌ای از این رقابت می‌توان به مسئله پارکینگ کنار جدول خیابان و مسئله چگونگی تخصیص و تقسیم کل فضای خیابان به فضای مربوط به وسایل نقلیه متحرک و فضای مربوط به وسایل نقلیه متوقف اشاره نمود. با این وجود هیچ راه حل صریحی برای این مسئله وجود ندارد زیرا معیارهایی که باید در تدوین یک راه حل دنبال شوند بستگی به اهداف اجتماع داشته و میان جوامع مختلف متفاوت هستند.

با این وجود فلسفه‌های متفاوتی برای راه حلهای مختلفی که بنفع یکی از دو طرف قضیه نیازهای رقابتی وسایل نقلیه متحرک عمل می‌کنند ارائه شده‌است، ولی می‌توان با تلفیق آنها به اصولی رسید که باید در طراحی صحیح نیازهای وسایل نقلیه متحرک و متوقف پیگیری شوند. به عنوان مثال، شبکه راهها را می‌توان به عنوان ترکیبی از سه زیر سیستم شریانی‌ها، جمع‌آورنده‌ها و راههای محلی درنظر گرفت که هر یک عملکرد متفاوتی را انجام می‌دهند:

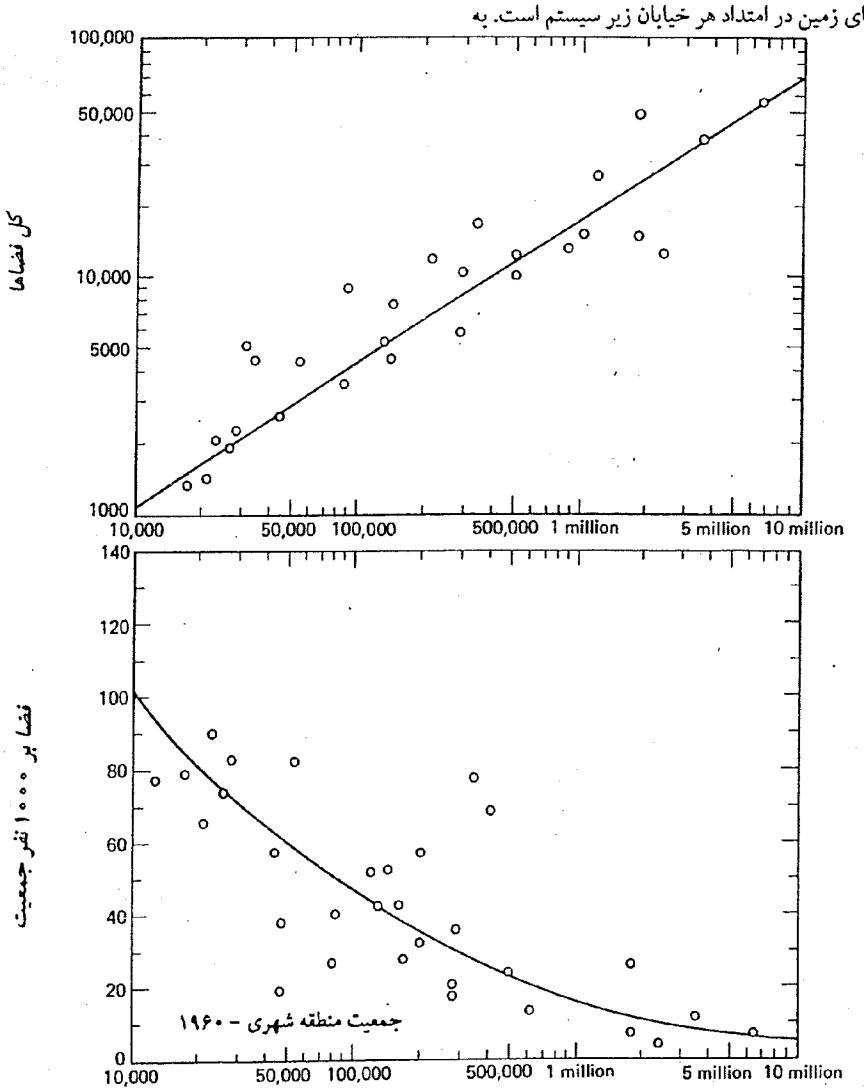
۱- زیر سیستم شریانی: خیابانهای شریانی برای ترافیک عبوری احداث می‌شوند. مهندس ترافیک مسئولیت تضمین حداکثر جریان در شرایط ایمن را در کلیه راههای شریانی بعهده دارد. برخورد میان وسایل نقلیه متحرک و وسایل نقلیه ساکن در شریانی‌ها باید بنفع وسایل نقلیه متحرک حل گردد.

۲- زیر سیستم جمع‌آورنده: - خیابانهای جمع‌آورنده به منظور هدایت ترافیک میان زیر سیستم شریانی و زیر سیستم خیابانهای محلی احداث می‌شوند. در بعضی موارد این خیابانها به کاربریهای مجاور سرویس می‌دهند. تعارض میان حرکت ترافیک و پارکینگ را نمی‌توان همواره بنفع وسایل نقلیه در حرکت حل نمود.

۳- زیر سیستم محلی: عملکرد اصلی خیابانهای محلی سرویس دادن به کاربریهای زمانی مجاور آنهاست. در اینجا تعارض میان وسیله نقلیه متحرک و وسیله نقلیه‌ایکه قصد توقف دارد باید بنفع وسایل نقلیه ساکن حل گردد.

اگر اهداف و مقاصد هر زیر سیستم قبل از دست زدن به هر گونه اقدام اصلاحی در مورد جریان ترافیک و پارکینگ مناطق، بوضوح تعریف شده و مورد بررسی قرار گیرند می‌توان سیستم گردشی خیابانها را براساس آن و باتوجه به اصول اولیه هر زیر سیستم طراحی نمود. بنابراین مسئله آشتی دادن نیازهای متضاد وسایل نقلیه متحرک و متوقف به حداقل خواهد رسید. آنچه که باید مورد تاکید قرار گیرد ضرورت تدوین معیارهای توسعه در کنترل کاربریهای زمین در امتداد هر خیابان زیر سیستم است. به عنوان مثال اگر بخواهیم عملکرد زیر سیستم شریانی بخوبی صورت گیرد کنترل کاربری زمین در امتداد زمینهای مجاور شریانی باید به گونه‌ای باشد که استفاده از این زمینها با عملکرد راه سازگار باشد.

فقدان کنترل کاربری زمین در امتداد زمینهای مجاور با تسهیلات اصلی ترافیک، سهم عمده‌ای در ایجاد مشکل در جریان ترافیک این راهها بعهده دارد. در مراکز تجاری موجود گزینه‌های محدودی می‌توان یافت، ولی موقعیتهای فراوانی برای کسب تعادل عملکردی میان نیازهای وسایل نقلیه متحرک و متوقف در نواحی حومه‌ای در حال توسعه و یا در سایر نواحی شهری تحت بازسازیهای وسیع وجود دارند.



شکل ۱ - ۱۶ - فضاهای پارکینگ مرکز تجاری و جمعیت ناحیه شهری

گروهها و منافع متأثر از پارکینگ

گروهها و منافع بسیاری در رابطه و تحت تاثیر پارکینگ قرار دارند. همراه با این گستره منافع، مجموعه وسیعی از دیدگاههای مختلف در مورد چگونگی حل مسئله پارکینگ وجود دارد. برخی از این گروهها و منافع عبارتند از:

بازرگانیهای مرکز شهر
رانندگان
مالکین
عاملین ناوگان تجاری
تاکسیها
وسایل نقلیه اضطراری
حمل و نقل عمومی
مسافران دائمی
ضررهای اقتصادی ناشی از پارکینگ
مالکین پارکینگهای عمومی و گاراژها
پلیس
مهندسان ترافیک
طراحان شهری و شوراهای طراحی

انواع تسهیلات پارکینگ

چندین روش برای تامین پارکینگ وجود دارد. این روشها عبارتند از:

تسهیلات خیابانی یا جدولی

۱- پارکینگ جدولی بدون محدودیت
۲- پارکینگ جدولی با محدودیت

تسهیلات غیر خیابانی پارکینگ

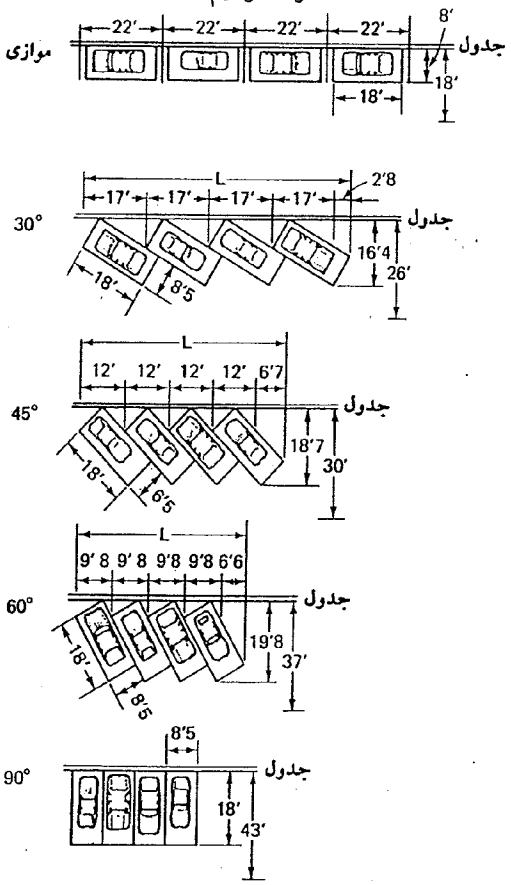
دو نوع تسهیلات پارکینگ غیرخیابانی وجود دارد:

۱- پارکینگهای رو باز
۲- پارکینگهای سرپوشیده (گاراژ)

گاراژها براساس طبقه بندی عمومی عبارتند از:

۱- رو زمینی
۲- زیر زمینی
۳- ترکیبی

اگر گاراژها براساس وسیله ارتباطی بین - طبقات طبقه‌بندی شوند خواهیم داشت:



L = طول جدول

N = تعداد فضاها

$N = \frac{L}{22}$

$N = \frac{L - 2.8}{17}$

$N = \frac{L-6.7}{12}$

$N = \frac{L-6.6}{9.8}$

$N = \frac{L}{8.5}$

شکل ۲-۱۶- فضای مورد نیاز برای پارکینگهای مختلف

۱- مکانیکی
۲- شیبراهه‌ای

تقسیم‌بندی تسهیلات غیرخیابانی براساس عملکرد عبارتند از:
۱- پارکینگ خدمه‌دار
۲- پارکینگ خود سرویس

تسهیلات غیر خیابانی بزحسب مالکیت سایر طبقه‌بندیها را بصورت زیر توسعه می‌دهند:
۱- مالکیت و اداره خصوصی
۲- مالکیت دولتی و اداره خصوصی
۳- مالکیت و اداره دولتی

طرح هندسی پارکینگ‌های پایانه‌ای

دو نوع اصلی پارکینگهای پایانه‌ای عبارتند از کنار جدولی و تسهیلات پارکینگ غیر خیابانی.

پارکینگ کنار جدولی

در شکل ۲-۱۶ هندسه پارکینگ کناری نشان داده شده‌است و نمایانگر تعداد فضاهایی که می‌توان در واحد طول جدول با افزایش زوایه پارکینگ بدست آورد می‌باشد. با این وجود پارکینگ زاویه‌ای (مورب) بیشتر از پارکینگ موازی در جریان ترافیک ایجاد مزاحمت می‌کند و میزان تصادفات برای پارکینگ مورب بیشتر از پارکینگ موازی است. بنابراین پارکینگ مورب برای خیابانهای محلی که دارای عرض زیاد، فاصله دید مناسب و حجم ترافیکی کم هستند قابل توصیه می‌باشد.

طرح هندسی توقفگاههای اتوبوسها، کامیونها، و تاکسیها باید براساس ابعاد و خصوصیات عملکردی وسایل نقلیه مربوطه صورت گیرد.

جدول ۱-۱۶. نمونه ظرفیت پارکینگهای روباز

	خطوط پارکینگ منفرد					خطوط پارکینگ چندگانه			
∝	L	D	W	A	upd	N	D_i	A_i	upd	N_i
زاویه پارکینگ (درجه)	طول جدول اتومبیل (m)	عمق پارکینگ (m)	عرض گذرگاه (m)	سطح کل برای هراتومبیل (m^2)	عمق کل پارکینگ (m)	تعداد تقریبی اتومبیل در هر ۱۰۰۰ m^2	عمق پارکینگ (m)	سطح کل برای هر اتومبیل (m^2)	عمق کل پارکینگ (m)	تعداد تقریبی اتومبیل در هر ۱۰۰۰ m^2
۰	۶/۶	۲/۴	۳/۶	۲۷/۷	۸/۴	۳۶	۲/۴	۲۷/۷	۸/۴	۳۶
۲۰	۷/۵	۴/۳	۳/۶	۴۵/۳	۱۲/۱	۲۲	۳/۰	۳۶/۱	۹/۷	۲۸
۲۵	۶/۰	۴/۶	۳/۶	۳۸/۷	۱۲/۸	۲۶	۳/۲	۳۱/۵	۱۰/۴	۳۲
۳۰	۵/۱	۴/۹	۳/۶	۳۴/۳	۱۳/۴	۲۹	۳/۸	۲۷/۹	۱۱/۲	۳۶
۳۵	۴/۴	۵/۲	۳/۶	۳۱/۰	۱۴/۳	۳۲	۴/۱	۲۶/۲	۱۱/۸	۳۸
۴۰	۴/۰	۵/۴	۳/۶	۲۸/۶	۱۴/۵	۳۵	۴/۴	۲۴/۷	۱۲/۵	۴۰
۴۵	۳/۶	۵/۶	۳/۶	۲۶/۷	۱۴/۸	۳۷	۴/۷	۲۳/۵	۱۳/۱	۴۲
۵۰	۳/۳	۵/۸	۳/۶	۲۵/۲	۱۵/۱	۴۰	۵/۰	۲۲/۶	۱۳/۶	۴۴
۵۵	۳/۱	۵/۹	۳/۶	۲۴/۰	۱۵/۴	۴۲	۵/۲	۲۱/۷	۱۳/۹	۴۶
۶۰	۲/۹	۵/۹	۴/۴	۲۳/۸	۱۶/۲	۴۲	۶/۳	۲۲/۱	۱۴/۹	۴۵
۶۵	۲/۸	۶/۰	۵/۱	۲۴/۰	۱۷/۰	۴۲	۵/۵	۲۲/۶	۱۶/۰	۴۴
۷۰	۲/۷	۵/۹	۶/۰	۲۴/۲	۱۷/۹	۴۱	۵/۵	۲۳/۰	۱۷/۰	۴۳
۷۵	۲/۶	۵/۹	۶/۹	۲۴/۶	۱۸/۷	۴۰	۵/۶	۲۳/۸	۱۸/۰	۴۲
۸۰	۲/۶	۵/۸	۷/۲	۲۴/۱	۱۸/۷	۴۱	۵/۵	۲۳/۵	۱۸/۲	۴۲
۸۵	۲/۶	۵/۶	۷/۲	۲۳/۵	۱۸/۴	۴۲	۵/۵	۲۳/۲	۱۸/۲	۴۳
۹۰	۲/۶	۵/۴	۷/۲	۲۳/۰	۱۸/-	۴۳	۵/۴	۲۳/۰	۱۸/۰	۴۳

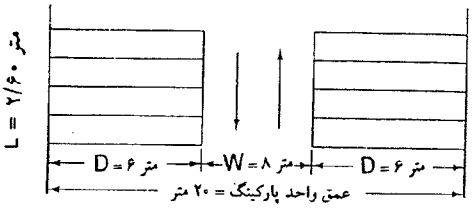
پارکینگهای روباز خیابانی

پارکینگهای رو باز باید برای حصول اهداف زیر طراحی گردند:

۱- تامین حداکثر تعداد فضای پارکینگ

۲- کاهش مشکلات سفر در رابطه با پارک کردن، خارج شدن از پارک و رانندگی در پارکینگ.

۳- کاهش تداخل خطوط ورودی و خروجی با حرکت عابرین پیاده و وسایل نقلیه خارج از پارکینگ. طرحهای مختلفی برای توقف وسایل نقلیه در یک پارکینگ جمعی وجود دارد.



شکل ۳-۱۶ - نمونه یک پارکینگ روباز با زاویه ۹۰

در طرح پارکینگهای خود- سرویس عرض توقفگاهها نباید کمتر از ۲/۵ متر در نظر گرفته شود. توقفگاههای با عرض ۲/۷۰ متر بسیار مطلوب هستند. برای سهولت و راحتی عملیات ورود و خروج توقفگاه، حداقل عرض گذرگاه برای حرکت یکطرفه باید ۳/۶ متر و برای حرکت دو طرفه ۷/۲ متر در نظر گرفته شود. "عمق کل پارکینگ" یک واحد سنجش مناسب برای انتخاب بهترین طرح پارکینگ در یک زمین مفروض است.

پارکینگ ۹۰ درجه: در این طرح بهترین استفاده از فضا بعمل می‌آید. اتومبیلها می‌توانند از گذرگاه در هر دو جهت استفاده کنند و مسافت سفرها کاهش می‌یابد. در اینجا گذرگاههای بن‌بست استفاده بعمل آمده و لذا فضای مرده کاهش می‌یابد.

سایر پارکینگهای مورب: در صورتی که زاویه پارکینگ کمتر از ۹۰ باشد گذرگاهها باید یکطرفه در نظر گرفته شوند. جریان یکطرفه برای پارکینگهای شلوغ مطلوب است زیرا زاویه‌های ۳۰ و ۴۰ برای پارک کنندگان سهولت دسترسی بیشتری دارند. این گونه طرحها معمولاً برای پارکینگ مشتریها و محلهایی که فضای کافی موجود باشد بکار می‌روند.

با این وجود، علیرغم هر زاویه‌ای که برای پارکینگ بکار رفته باشد، مهندس ترافیک باید بررسی نماید که آیا سیستم جابجایی پارکینگ امکان حرکت راحت و مناسب را برای اتومبیلها و عابرین پیاده فراهم می‌کند یا نه. ورودیها و خروجیها باید براساس حداقل شدن نقاط برخورد در درون پارکینگ و همچنین میان ترافیک پارکینگ و ترافیک دسترسی مکان یابی شوند.

با این وجود انتخاب مناسب‌ترین زاویه پارکینگ عمدتاً بستگی به اندازه و شکل زمین پارکینگ دارد، می‌توان به منظور حداکثر بهره‌برداری از فضای پارکینگ، از طرحهایی با زاویه‌های مختلف استفاده نمود.

در جدول ۱-۱۶ نمونه ظرفیت پارکینگهای جمعی روباز به عنوان تابعی از زاویه پارکینگ نشان داده شده‌است.

پارامترهای جدول ۱-۱۶ در شکل ۲-۱۶ برای یک پارکینگ عمودی نمایش داده شده‌اند.

ورودیها و خروجیهای پارکینگهای جمعی باید در اواسط خیابان واقع شوند تا حداقل تداخل را با ناحیه تقاطعی خیابان که در آن بالاترین نیاز به فضای خیابانی برای وسایل نقلیه و عابرین پیاده وجود دارد داشته باشند.

سطوح پارکینگ باید ترجیحاً در زیر سیستم خیابانهای محلی واقع بوده و در خیابانهای شریانی اصلی که عملکرد اصلی آنها عبور ترافیک و نه سرویس دادن به کاربری زمین است اجتناب گردد.

سطح انباشت: تسهیلات پارکینگ خدمه‌دار باید به گونه‌ای طراحی گردند که در آنها فضای انباشت کافی برای جلوگیری از تشکیل صف اتومبیل در خیابان دسترسی برای وارد شدن به پارکینگ وجود داشته باشد. میزان فضای انباشت براساس نرخ ورود اتومبیل در دوره اوج، تعداد خدمه و میزان توقف وسایل نقلیه معین می‌شود. برای تعیین فضای انباشت براساس متغیرهای فوق می‌توان از شکل ۴-۱۶ استفاده نمود.

پارکینگهای سرپوشیده (گاراژ): بسیاری از مفاهیمی که برای پارکینگهای روباز شرح داده شد، در مورد گاراژها نیز صادق هستند. با این وجود، سطح سرانه لازم برای هر اتومبیل در گاراژها بزرگتر از مقدار لازم برای پارکینگهای سطحی است. این بواسطه فضای اضافی مزبور به لامپها، بالابرها، راه پله‌ها، ستونها و غیره است. در مورد گاراژهای خود - سرویس سطح سرانه هر اتومبیل از ۳۲ تا ۳۶ متر مربع متغیر است.

کاربری تسهیلات پارکینگ

جدول ۲-۱۶ نشان دهنده توزیع فضاهای پارکینگ موجود و توزیع پارک کنندگان برحسب نوع پارکینگ است. مشاهده می‌شود که در شهرهای بزرگ فضاهای جدولی فقط ۱۶ درصد کل فضاها را تشکیل می‌دهند در حالیکه ۵۰ درصد کل پارک کنندگان از آنها استفاده می‌کنند. در بزرگترین شهرها، گاراژها ۲۴ درصد تامین فضا می‌کنند ولی فقط ۱۲ درصد پارک کنندگان از

پارکینگ‌ها جدولی بوده و گاراژ وجود ندارد.

جدول ۳-۱۶ نشان می‌دهد که با رشد شهر مدت زمان پارک یک وسیله نقلیه بدون درنظر گرفتن هدف از سفر پارک کننده، افزایش می‌یابد. کوتاهترین زمان پارک مربوط به حرفه‌های خدماتی و فروشگاهی بوده و میانگین توقف برای خرید و فروش کمتر از یک ساعت و زمان توقف کارگران بیشترین بوده است. در شهرهای کوچک سفر به مرکز شهر معمولاً کمتر از چند دقیقه بطول می‌انجامد و پارکینگ بسهولت انجام می‌شود.

تعاریف

برای تحلیل یک مسئله پارکینگ ضروری است که واحدهای اندازه‌گیری رایج که در توصیف حالتهای مختلف عمل پارکینگ بکار می‌آیند بیان شوند. رایج ترین عباراتی که بکار می‌روند عبارتند از:

فضا - ساعت: یک فضای پارکینگ برای یک ساعت

جمعی پارکینگ: تعداد کل وسایل نقلیه پارک شده در یک ناحیه مشخص در یک دوره معین زمانی که معمولاً برحسب وسیله نقلیه در روز بیان می‌شود.

بار پارکینگ: تعداد کل فضا - ساعت‌هایی که در یک دوره زمانی مفروض مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار آن برابر با سطح زیر منحنی جمعی پارکینگ بوده و اوج آن به هنگامی است که ظرفیت کامل مورد استفاده واقع شود.

ظرفیت عملی: مقدار آن همواره کمتر از ظرفیت موجود است. این بواسطه زمان تلف شده در عملیات ورود به و خروج از پارکینگ و عدم آگاهی از فضاهای خالی موجود است. ظرفیت عملی معمولاً ۵-۱۵ درصد کمتر از ظرفیت نظری است.

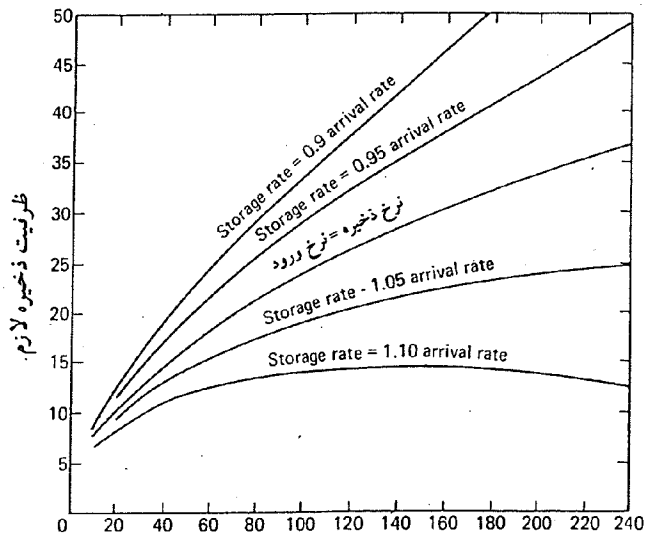
واگردان: میانگین تعداد دفعاتی که یک فضای پارکینگ بوسیله وسایل نقلیه مختلف در یک دوره زمانی مفروض مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال اگر ۱۰۰ فضا بوسیله ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در یک دوره مطالعاتی ۱۰ ساعته مورد استفاده قرار گیرند، واگردان برابر است با:

وسیله نقلیه در هر فضا ۱۰ = (۱۰۰) : ۱۰۰۰

مدت توقف: میانگین زمان صرف شده در یک فضای پارکینگ است و شاخصی از فراوانی فضاهای پارکینگ در دسترس است. تعداد وسایل نقلیه‌ای که می‌توانند در یک ناحیه مفروض پارک نمایند با استفاده از رابطه زیر و برحسب میانگین مدت توقف بدست می‌آید:

$$\text{تعداد وسایل نقلیه‌ایکه می‌توانند در یک ناحیه مفروض توقف کنند} = \frac{[\text{دوره پوشش (برحسب ساعت)}] \text{ (تعداد فضا)}}{\text{میانگین مدت توقف (برحسب ساعت بر وسیله نقلیه)}} \times (۰/۸۵ \text{ تا } ۰/۹۵)$$

مدت توقف بستگی به نوع تسهیلات پارکینگ نیز دارد. به عنوان مثال ۸۰-۷۰ درصد پارکینگهای جدولی به مدت کمتر از یکساعت بوده ولی پارکینگهای خارج خیابانی به میزان ۲۰-۱۰ درصد دارای مدت زمانهای کمتر از یک ساعت هستند.



شکل ۴-۱۶ فضای انباشت

جدول ۲-۱۶ . عرضه پارکینگ و موارد استفاده

درصد توزیع پارک کنندگان بر حسب نوع پارکینگ				درصد توزیع تقاضای موجود فضاهای پارکینگ				گروه جمعیت
غیر خیابانی	گاراژ	رو زمینی	جدولی	غیر خیابانی	گاراژ	رو زمینی	جدولی	
7	7	7	93	12	0	12	88	5-10
15	1۰	14	85	36	4	32	64	10-25
16	1	15	84	39	4	35	61	25-50
21	2	19	79	45	7	38	38	50-100
24	4	20	76	56	14	42	44	100-250
34	6	28	66	70	16	54	30	250-500
37	11	26	63	77	26	51	23	500-1000
50	12	38	50	84	24	60	16	1,000 بالای

جدول ۳-۱۶ . طول متوسط زمان پارک برای مقاصد مختلف سفر

کل	سایر	فروش و خدمات	کار	تجارت	خرید	تعداد شهرها	گروه جمعیت
1.0	0.7	0.5	2.8	0.5	0.5	2	5-10
1.1	0.9	0.6	3.1	0.6	0.6	14	10-25
1.3	1.0	0.6	3.4	0.7	0.6	16	25-50
1.4	1.1	0.6	3.8	0.7	0.7	5	50-100
1.6	1.3	0.5	3.8	0.9	1.0	13	100-250
1.9	1.4	0.7	4.8	1.1	1.3	6	250-500
2.2	1.4	1.0	4.8	1.3	1.3	4	500-1,000
3.0	1.9	1.0	5.6	1.5	1.8	3	1,000 بالای

روابط مربوط به عرضه، کاربری و تقاضای پارکینگ

در مطالعات جامع پارکینگ، محلهای پارک رانندگان، مدت زمان پارک و مقصد بعد از پارکینگ، آمار برداری می‌شود. بنابراین تعیین تقاضای موجود در هر قطعه از مرکز تجاری شهر (CBD) برای تعداد وسایل نقلیه و فضا - ساعت مورد نیاز امکان پذیر خواهد بود.

در جدول ۵-۱۶- فضای پارکینگ عرضه شده در CBD با تقاضای آن برحسب فضا- ساعت مقایسه شده‌است. تقاضای کل با افزایش جمعیت افزایش می‌یابد ولی در یک روند بسیار کندتر همراه با نزول در تقاضای سرانه است. شهرهای بزرگتر دارای وسایل حمل و نقل همگانی مناسبتر و جاذبه در خارج CBD هستند. اینها دلایل افول تقاضای سرانه بوده و علاوه بر اینها میزان تاخیر، ازدحام و هزینه بالای پارکینگ غیر خیابانی نیز موثر می‌باشند.

بسیاری از مراکز تجاری دارای فضای پارکینگ کافی هستند ولی نه در محلهای مورد نیاز. وجود مغازه‌ها بانکها و ساختمانهای اداری در هسته شهر علت بالا بودن قیمت زمین است که از عوامل جلوگیری از احداث تسهیلات پارکینگ هستند و در عین حال برای آنها تولید تقاضا می‌کند. در جدول ۶-۱۶ این عوامل نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۱۶ . متوسط زمان پارک بر حسب تسهیلات مختلف پارکینگ

گروه جمعیت	تعداد شهرها	طول زمان پارک بر حسب ساعت				
		جدولی	باز	گاراژ	غیر خیابانی	تمام فضاها
25 زیر	17	0.9	2.1	5.2	2.2	1.1
25-50	15	1.0	2.5	4.3	2.6	1.2
50-100	5	1.1	2.5	5.1	2.7	1.4
100-250	12	1.0	3.2	4.9	3.5	1.6
250-500	8	1.1	3.7	4.5	3.9	2.1
500-1000	5	1.0	4.0	4.5	4.4	2.1
1,000 بالای	3	1.3	4.5	4.6	4.5	2.9

فاصله پیاده‌روی در پارکینگ

در کلیه تصمیم‌گیریهای مربوط به مکان یابی فضاهای پارکینگ جدید، عامل فاصله پیاده روی موثر است. اگر فاصله پیاده روی عامل مهمی نمی‌بود مسئله پارکینگ نیز در هیچ شهری وجود نداشت زیرا می‌توان در فواصل دورتر فضای کافی یافت. جدول ۷-۱۶ اطلاعاتی در مورد عادتهای پیاده روی پارک کنندگان بدست می‌دهد. بدیهی است با افزایش جمعیت، فواصلی که افراد باید بعد از پارک وسیله نقلیه خود پیاده طی کنند افزایش می‌یابد. در شهرهای با جمعیت کمتر از ۲۵۰۰۰ نفر، میانگین این فاصله فقط ۶۷ متر بوده و ۷۷ درصد پارک کنندگان فاصله کمتر از یک کوچه را طی می‌کنند. در شهرهای بزرگ، میانگین این فاصله ۱۶۵ متر بوده و ۴۵ درصد فاصله کمتر از یک کوچه را طی می‌کردند.

بسته به مدت زمان توقف، پارک کنندگان با افزایش مدت توقف، فاصله پیاده روی بیشتری را می‌پذیرند. تسهیلات پارکینگی که عمدتاً در جهت سرویس دادن به پارک کنندگان کوتاه مدت هستند، مانند خریداران، باید با توجه به بزرگی شهر در فاصله یک تا دو کوچه دورتر مکان یابی شوند.

جدول ۵-۱۶ . تقاضا و عرضه فضاهای پارک

گروه جمعیت	تعداد شهرها	عرضه فضا-ساعت	تقاضا (فضا - ساعت) تعداد	تقاضا (فضا - ساعت) بر هزارنفر
5-10	2	6380	3600	426
10-25	17	13200	7970	451
25-50	16	21400	13430	372
50-100	5	39970	31800	397
100-250	13	44200	30520	189
250-500	7	94960	63340	175
500-1000	5	104740	79670	145
1,000 بالای	3	185510	146660	112

مطالعات پارکینگ

هدف از یک مطالعه پارکینگ، تهیه راه بردها و توصیه‌های مربوط به برنامه توسعه پارکینگ برای رفع نیازهای یک ناحیه است. برای انجام یک مطالعه پارکینگ، داشتن اطلاعات کافی در زمینه‌های زیر ضروری خواهد بود:

۱- تسهیلات پارکینگ موجود و نوع آنها
۲- چگونگی استفاده از تسهیلات پارکینگ
۳- میزان تقاضای فضای پارکینگ
۴- خصوصیات تقاضای پارکینگ
۵- موقعیت پارکینگ سازان
۶- مسائل قانونی، مالی و اداری مربوط به وضعیت پارکینگها

یک مطالعه‌ای که هدف آن تهیه کلیه اطلاعات لازم برای تدوین یک برنامه توسعه پارکینگ می‌باشد. باید لزوماً در حد جامع صورت گیرد. ولی در اثر محدودیتهای مالی، انسانی و یا زمانی ممکن است برای بدست آوردن اطلاعات اصلی و اساسی مربوط به شرایط پارکینگ در یک ناحیه و یا یک شهر، مطالعات محدود پارکینگ مورد نیاز باشد.

اصولاً مطالعات پارکینگ بیشتر برای تحلیل نیازهای مرکز تجاری شهر *(CBD)* صورت گرفته‌اند. بدین منظور روشها متعددی ابداع شده‌اند که از حد بسیار جامع تا حد مطالعات محدود گسترش یافته‌اند. در زیر برخی از این روشها همراه با مقاصد آنها ارائه می‌شوند.

جدول ۶-۱۶ . عرضه و تقاضا در مرکز شهر

گروه جمعیت	تعداد شهرها	تقاضا فضا-ساعت	عرضه فضا-ساعت	نسبت تقاضا به عرضه
25 زیر	17	3930	3050	1.4
25-50	15	7040	4280	1.6
50-100	4	22670	11730	2.0
100-250	13	14460	8850	1.8
250-500	7	37400	19950	2.2
500-1,000	4	45500	11040	4.5
1,000 بالای	3	83380	22940	3.8

جدول ۷-۱۶ . طول متوسط پیاده روی بر حسب منظور از سفر (فوت)

جمعیت	منظور سفر: کار	خرید	فروش و خدمات
25,000-50,000	408	295	216
100,000-250,000	539	539	221
500,999-1,000,000	698	656	419

تقاضای پارکینگ در CBD

در جدول ۸-۱۶ میانگین نیازهای برخی از موسسات *CBD* نشان داده شده‌است. تفاوت‌های احتمالی در شهرهای مختلف ایالات متحده در جدول ۹-۱۶ روابط میان نیازهای پارکینگ و *CBD* جمعیت شهری داده شده است. مطالعات پارکینگ *CBD* بصورت زیر صورت می‌گیرد.

مطالعه جامع پارکینگ . دستورالعمل تیپ مطالعات جامع بوسیله دفتر راههای عمومی *(BPR)* تهیه شده است :

جدول ۸-۱۶- میانگین فضای پارکینگ لازم برای هر یک از تاسیسات مرکز شهر

نوع کاربری	فضا بر هر ۱۰۰ متر مربع	
	میانگین	محدوده
بانک	۵/۴	۱/۸-۱۰/۸
پارکینگ اتوبوس	۴/۸	۱/۷-۷/۹
کتابخانه	۴/۱	۳/۹-۴/۳
ساختمانهای درمانی	۳/۸	۱/۱-۸/۶
فروشگاههای کوچک	۳/۷	۱/۴-۷/۵
ادارات دولتی	۳/۶	۱/۲-۶/۰
دفاتر پستی	۳/۴	۲/۰-۴/۹
داروخانه	۲/۹	۱/۴-۵/۵
فروشگاه بزرگ	۲/۸	۱/۴-۵/۱
فروشگاه لباس	۲/۵	۱/۱-۶/۳
رستوران	۲/۱	۰/۹-۳/۳
دفاتر کار	۱/۵	۰/۴-۲/۹
نمایشگاه اتومبیل	۱/۲	۰/۹-۱/۵
هتلها	۰/۶	۰/۴-۱/۰
مبل فروشی	۰/۶	۰/۳-۱/۲

الف - دستورالعمل کلی و مراحل مقدماتی :

قبل از انجام فازهای مختلف مطالعاتی یکسری کارهای مقدماتی و سازمانی در حد کلی مورد نیاز می‌باشد که شامل موارد زیر است:

۱- انتخاب پرسنل بالاسری. پرسنل بالاسری مورد نیاز برای برنامه‌ریزی مطالعه پارکینگ، هدایت عملیات آن و تحلیل نتایج مربوطه باید حداقل مرکب از افراد زیر باشد: سرپرست، دستیار سرپرست، مدیر مطالعات ترافیکی، مدیر اداری، یک یا دو نقشه‌کش و تندنویس.

۲- تامین فضای دفتری

۳- ترسیم ناحیه مورد مطالعه. این ناحیه اصولاً در برگیرنده ناحیه مرکزی پارکینگ خواهد بود که در تعریف وسیع آن شامل مراکز تجاری با خیابانهای اطراف همراه با جبهه تجاری و ... ناحیه حاشیه آن می‌شود که در آن وسایل نقلیه بوسیله اشخاص در نزدیکی مقصد تجاری خود پارک می‌شوند. ناحیه حاشیه‌ای معمولاً تا حد ۲ یا ۳ قطعه خارج از CBD گسترش می‌یابد.

۴- تهیه نقشه ناحیه مرکزی پارکینگ. یک نقشه بزرگ مقیاس (حدود ۱:۲۵۰۰) از ناحیه مرکزی پارکینگ می‌بایست تهیه گردد تا برای آمار برداری و تعیین ایستگاههای مصاحبه مورد استفاده قرار گیرد.

۵- تهیه یک سیستم برای مشخص کردن قطعه‌ها. اگر در مطالعات قبلی مبدا - مقصد از یک سیستم شماره‌گذاری خاص استفاده شده باشد باید از همان تبعیت شود. یکی از سیتمهای خوب شماره‌گذاری قطعه‌ها این است که هر قطعه شامل دو طرف یک خیابان در حدفاصل دو تقاطع بوده و جدولهای کناری و کلیه پارکینگهای روباز، ساختمانها یا کوچه‌های منشعب شده از جدول جز قلمرو قطعه باشند.

۶- تهیه نقشه‌های کاربری و ارزش اراضی در ناحیه مورد مطالعه

۷- تدوین برنامه عملیاتی

۸- مطالعه پارکینگهای موجود و ضوابط منطقه بندی

۹- تهیه فرمهای مصاحبه

۱۰- تهیه نیروی انسانی، تجهیزات فرمهای لازم برای شمارشهای ایستگاهی

۱۱- تهیه کتابچه برای پرسنل میدانی

۱۲- جلب همکاری سازمانها و موسسات ذیربط. موفقیت هر مطالعه پارکینگ و نیز برنامه توسعه و نتایج آن بستگی زیادی به همکاری اداره پلیس، مسئولین شهری، مغازه‌داران گرداتندگان پارکینگهای روباز و گاراژها، اتاق اصناف، شورای بازرگانی، شورای برنامه‌ریزی و سایر احاد شهری و کشوری دارد.

۱۳- انجام تبلیغات و زمینه‌سازی

۱۴- انتخاب و آموزش پرسنل میدانی

۱۵- تجهیز دفتر میدانی

ب - آمار برداری تسهیلات پارکینگ موجود:

در یک آمار برداری فیزیکی از تسهیلات موجود در ناحیه مرکزی پارکینگ، در کنار جدول و غیر خیابانی، موقعیت و ظرفیت (برحسب تعداد و فضا - ساعت)، جنبه‌های عملکردی، مقررات و جدول نرخهای آنها صورت برداری می‌شود. علاوه بر اینها، اطلاعات مربوط به کاربری و ارزیابی ارزش زمین و نیز نواحی مناسب برای احداث تسهیلات مورد نیاز می‌باشند. اهداف این آمار برداری عبارتند از تعیین (۱) فضاهای موجود و کسب اطلاعات لازم برای ارزیابی آنها و (۲) نواحی محلهای مستعد برای احداث فضاهای پارکینگ جدید.

اطلاعات بدست آمده در جداول و یا نقشه ناحیه مورد مطالعه خلاصه می‌شوند. بااستفاده از این اطلاعات می‌توان ظرفیت فضا - ساعت پارکینگ را برای کلیه تسهیلات موجود بطور نظری بدست آورد. معمولاً ظرفیتهای فضا - ساعت برای دوره‌های ۸ ساعته (۱۰ صبح تا ۶ بعد از ظهر) یا ۱۰ ساعته (۸ صبح تا ۶ بعداز ظهر) بیان می‌شوند. بنابراین هر فضای موجود برای کل دوره ۸ یا ۱۰ ساعته بدون در نظر گرفتن محدودیتهای

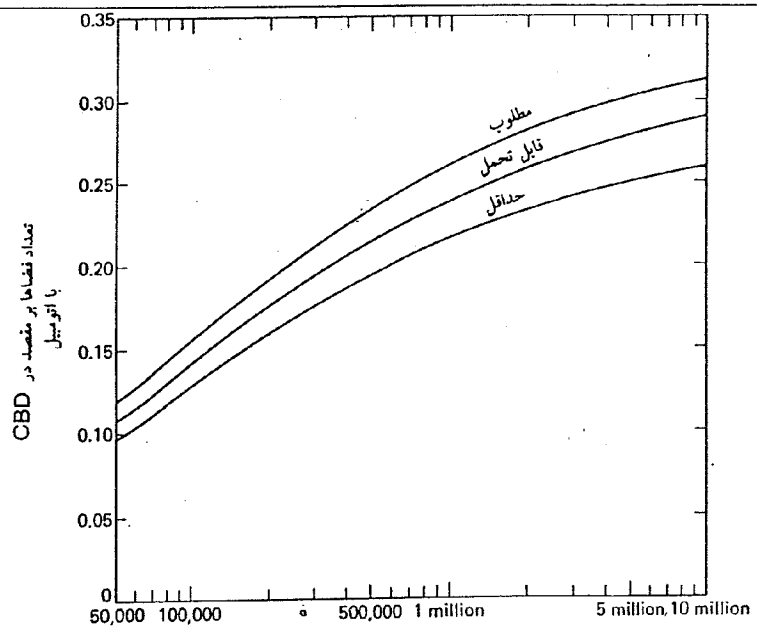
زمانی برابر با ۸ یا ۱۰ فضا ساعت پارکینگ خواهد بود.

ج - مصاحبه‌های پارکینگ:

اهداف این فاز مطالعاتی عبارتند از تعیین (۱) دامنه کاربرد و استفاده از تسهیلات آمار برداری شده و (۲) میزان و موقعیت

جدول ۹-۱۶. مقادیر کسری و مازاد فضای پارکینگ موجود و پیش‌بینی شده در چند ناحیه مرکزی شهر

ناحیه شهری	کل فضای	کسری (-) یا مازاد(+) در سال مطالعه (فضا)		سال طرح	کسری (-) یا مازاد(+) در سال پیش بینی (فضا)	
		سال مطالعه	CBD	هسته	CBD	هسته
چاتانوگا	۶۹۰۸	۱۹۶۰	+۱۰۷۰	-۸۰۰	۱۹۷۰	-۱۵۶۰
هارتفورد	۱۰۴۲۳	۱۹۶۱	-۷۷۳	=۱۲۹۴	۱۹۷۱	-۱۶۴۵
نشویل	۱۵۰۸۹	۱۹۵۹	+۱۹۹۰	-۷۲۰	۱۹۷۰	-۱۱۵۲
شارلوت	۱۲۱۱۷	۱۹۶۱	+۷۶۳	-۵۸۰	۱۹۶۶	-۱۹۴۰
پیتسبورگ	۱۴۸۳۰	۱۹۵۵	-۲۳۵۸	-۳۴۶۴	۱۹۶۵	-۸۶۵
نیواورلین	۱۳۶۳۴	۱۹۶۰	+۷۷۱	-۹۲۰	۱۹۷۰	-۲۶۰۰
فیلادلفیا	۳۹۰۲۴	۱۹۵۸	-۹۹۹	-۲۹۹۷	۱۹۷۰	-۶۱۷۷



شکل ۵-۱۶- ضریب تقاضای فضای پارکینگ

تقاضا برای تسهیلات پارکینگ. اطلاعات مربوط به تقاضا و موقعیت آن را صرفاً می‌توان از رانندگان که آنرا بوجود می‌آورند بدست آورد. این اطلاعات از طریق مصاحبه‌هایی که در تسهیلات مختلف پارکینگ (کنار جدولی، پارکینگهای روباز و گاراژها) صورت می‌گیرد بدست می‌آید.

رانندگان در محل پارکینگهای ناحیه، مورد مصاحبه قرار می‌گیرند. سعی می‌شود که در یک دوره ۸ یا ۱۰ ساعته از یک روز عادی هفته که، معمولاً از ۸ یا ۱۰ صبح تا ۶ بعد از ظهر است تا ۱۰۰ درصد پارک کنندگان مصاحبه صورت گیرد تا (۱) مبدا سفر، آدرس منزل و هدف از توقف و (۲) مقصدی که راننده قصد دارد پیاده برود بدست آید و این همراه با محلهای پارکینگ مشاهده شده، فاصله پیاده روی پارک کنندگان را مشخص خواهد نمود.

اطلاعات مشاهداتی مصاحبه‌گر علاوه بر موقعیت پارکینگ شامل وارد زیر است:

(۱) زمانهای ورود و خروج به منظور بدست آوردن مدت توقف.(۲) نوع وسیله نقلیه و (۳) نوع فضای پارکینگ، مثلاً اینکه آیا پارکینگ در کنار یک جدول بدون محدودیت است، در

یک محل پارکومتردار است، در یک محل غیر قانونی است یا در یک پارکینگ روباز یا گاراژ. معمولاً هر مصاحبه ۳۰ ثانیه به طول می‌انجامد و برای هر ۱۵ فضا یک مصاحبه‌گر مورد نیاز است. بااستفاده از پاسخهای سئوالها و اطلاعات مشاهداتی می‌توان مقدار واگردان، نقض مقررات مکانی و زمانی و استفاده از مناطق بارگذاری و سایر تسهیلات خاص را بدست آورد.

واگردان، شاخصی از روند استفاده از یک تسهیلات است و از تقسیم کردن تعداد وسایل نقلیه پارک شده در آن در دوره مورد مطالعه بر تعداد فضاهای موجود بدست می‌آید.

د - شمارش مرزی:

یک شمارش مرزی عبارت است از شمارش کلیه وسایل نقلیه داخل و خارج شونده از محدوده در یک خیابان مرزی CBD یا هر ناحیه پر تراکم دیگری که برای مطالعه مشخص شده‌است. اهداف شمارش مرزی عبارتند از:

۱- تعیین حجم و طبقه‌بندی ترافیک داخل و خارج شونده از محدوده در یک خیابانی که از مرز ناحیه مورد مطالعه عبور می‌کند.

۲- برآورد کل بار پارکینگ وارد به ناحیه در یک روز کاری یا دوره‌های زمانی دیگر و در طول دوره‌های نیم‌ساعته از یک روز معین.

اطلاعات لازم با انجام شمارش دستی و طبقه‌بندی ترافیک در محلهایی که خیابانها خط مرزی مطالعاتی را قطع می‌کنند حداقل در دوره‌هائی از روز که مصاحبه‌های پارکینگ انجام می‌شوند بدست می‌آیند. شمارشهای ۱۲ ساعته (از ۷ صبح تا ۷ بعد از ظهر) دارای ارجحیت هستند. بعلاوه شمارشهای ماشینی ۲۴ ساعته نیز بطور ساعتی ثبت شوند و ترجیحاً در فواصل ۱۵دقیقه‌ای. شمارشهای پیوسته برای بسط و اصلاح شمارشهای مرزی و بدست آوردن حجمهای میانگین روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اطلاعات بدست آمده از شمارش مرزی در جدولهایی خلاصه می‌شوند که نشاندهنده جمعی وسایل نقلیه (باتوجه به طبقه‌بندی) در دوره‌های نیم ساعته در ناحیه مطالعاتی است و به کمک آن می‌توان کل حجم وسایل نقلیه درون مرز را در هر زمان مشخصی بدست آورد. برای محاسبه جمعی وسایل نقلیه لازم است تعداد وسایل نقلیه در حرکت و تعداد وسایل نقلیه متوقف در ناحیه را در آغاز شمارش مرزی معین نمود.

اطلاعات حاصل از شمارش‌های مرزی و مصاحبه‌های پارکینگ ترکیب شده و معمولاً ترسیم می‌شوند تا حجم کل وسایل نقلیه، تعداد کل فضاهای پارکینگ (در خیابانی)، تعداد وسایل نقلیه تجاری، تعداد وسایل نقلیه پارک شده در خارج خیابانها و تعداد وسایل نقلیه تجاری پارک شده بدست آید.

ه تجزیه و تحلیل اطلاعات:

این شامل کدبندی و جدول بندیهای لازم برای خلاصه کردن اطلاعات و نیز تفسیر اطلاعات برای بدست آوردن راهبردها و تدوین برنامه اصلاحی است.

تقاضا برای پارکینگ:

از تجزیه و تحلیل اطلاعات، میزان تسهیلات پارکینگ موجود (در هر قطعه از CBD) میزان استفاده از این تسهیلات و میزان استفاده از این تسهیلات و میزان تقاضای فضا - ساعت برای پارکینگ با توجه به اندازه‌گیریهای زیر بدست می‌آید:

۱- تعداد رانندگانی که بطور مجاز پارک کرده‌اند و مدت زمان توقف آنها

۲- تعداد رانندگانی که بطور غیر مجاز پارک کرده‌اند و مدت زمان توقف آنها

۳- تعداد رانندگانی که در خارج از CBD پارک کرده‌اند و مدت زمان توقف آنها

از مقایسه مجموع این تقاضاها با فضاهای پارکینگ موجود، اولویتهای و فوریتهای نیاز به فضای اضافی پارکینگ معین خواهد شد. این اطلاعات، نیاز پارک کنندگان را به پارکینگهای دراز مدت و یا کوتاه مدت روشن خواهد نمود.

اطلاعات مربوط به کاربری پارکینگ، محل و نوع تخلف از مقررات پارکینگ، مدت زمانهای توقف، تاثیر پارکینگهای پولی در مقدار واگردان در مقایسه با پارکینگهای مجانی، مزایای نسبی تسهیلات غیر خیابانی، میزان کارایی مقررات موجود و میزان پارکینگهای روزانه مربوط به کارگران را آشکار خواهد ساخت.

تعیین مقدار عملی عرضه فضا - ساعت:

آمار برداری از تسهیلات پارکینگ مقادیر عرضه فضا - ساعت را بطور نظری بدست می‌دهد ولی عملاً رسیدن به ۱۰۰ درصد کارایی در استفاده از این فضا امکان پذیر نمی‌باشد. این بواسطه زمان تلف شده در هر واگردان و مهمتر از آن در نتیجه این حقیقت است که عرضه و تقاضای پارکینگ در طول روز بموازات یکدیگر به پیش نمی‌روند. بنابراین فضا- ساعت موجود باید با اعمال ضرایبی براساس حداکثر کارایی که می‌توان از یک نوع تسهیلات خاص (کنار جدول، پارکینگ روباز و گاراژ)

انتظار داشت کاهش یابد.

ضریب کارآیی (ضریبی که فضا - ساعت نظری موجود را تبدیل به فضا - ساعت عملی می‌کند) مربوط به جدولها را می‌توان از مقایسه فضا - ساعت عرضه شده با فضا - ساعتی که بطور مجاز در قطعه‌های دارای تقاضای شدیدتر مورد استفاده قرار گرفته بدست آورد. در این قطعه‌ها معمولاً کاربری در حد فاصل ۸۰ تا ۹۵ درصد (با فرض میانگین ۹۰ درصد) متغیر بوده و این تصویر به عنوان ضریبی برای کلیه جدولهای ناحیه پذیرفته می‌شود. با استفاده از همین روش می‌توان ضرایب مربوط به پارکینگهای روباز و گاراژها را بدست آورد که مقدار آن میان ۷۵ تا ۹۰ درصد متغیر است (رقم ۸۵ درصد برای پارکینگهای روباز و ۸۰ درصد برای گاراژها پذیرفته می‌شود). فضا - ساعت عملی از ضرب کردن فضا - ساعت موجود در ضریب کارایی بدست می‌آید.

کمبود فضای پارکینگ در هسته CBD. ممکن است در داخل ناحیه تجاری شهر (CBD) بخش یا بخشهایی وجود داشته باشد که کمبود فضای پارکینگ در آنها شدید باشد. این معمولاً در هسته اتفاق می‌افتد که در آن بلندترین ساختمانها قرار داشته و دارای بالاترین قیمت زمین بوده و در آن پارکینگهای روباز و گاراژهای اندکی وجود دارد.

محدوده هسته را می‌توان با مقایسه پارامترهای آماری کلیه قطعه‌ها مانند میزان کاربری (فضا - ساعت استفاده شده بوسیله وسایل نقلیه پارک شده)، تقاضا (فضا - ساعت مورد نیاز پارک کنندگان با توجه به مقصدهای بدست آمده در مصاحبه) و عرضه عملی (فضا - ساعت موجود ضرب در ضریب کارایی) تعیین نمود. نتیجه اینکار بدست آمدن کمبود خالص یا مازاد خالص فضا - ساعت پارکینگ در هر قطعه خواهد بود.

برخی از قطعه‌هایی که دچار کمبود خالص فضای پارکینگ هستند ممکن است در مجاورت یا نزدیکی قطعه‌هایی باشند که دارای مازاد فضا هستند. شرایطی که در آن می‌توان مازاد یک قطعه را با کمبود قطعه دیگر سرشکن نمود بستگی به فاصله میان دو قطعه دارد. هیچ استانداردی در مورد فاصله پیاده روی قابل قبول وجود ندارد. ولی هر چه شهر بزرگتر باشد، فاصله بیشتری می‌توان روا داشت. در جدول ۱۰-۱۶ معیارهای پیشنهادی برای فاصله پیاده روی قابل برای رفع مشکل پارکینگ باشد.

هر راهبردی که مستلزم تملیک یا توسعه مستغلات باشد متکی به اطلاعات و علل انتخاب آن و اطلاعات مربوط به مالکیت آن، شرایط و قیمت آن، و محاسبه هزینه‌های توسعه و اجرای آن باشد. مطالعه مقررات منطقه بندی شهر و قوانین ایالتی، اطلاعات لازم در رابطه با امکان ضبط املاک برای تسهیلات پارکینگ را بدست می‌دهد.

کنترل صحت مطالعات: با یک کنترل ساده می‌توان دقت کار میدانی مطالعه را آشکار ساخت. تعداد وسایل نقلیه‌ای که وارد ناحیه مطالعاتی شده ولی برای پارک متوقف نشده‌اند بعلاوه تعداد وسایل نقلیه‌ای که فضاهای پارکینگ را ترک گفته‌اند، باید بسیار نزدیک به تعداد وسایل نقلیه خارج شده از مرز در هر فاصله زمانی مفروض باشد. هیچگاه برابری کامل میان این دو رقم وجود نخواهد داشت، زیرا برآورد تعداد وسایل نقلیه‌ای که برای سرویس و تعمیر پارک کرده‌اند و یا از پارکینگهای خصوصی استفاده می‌کنند غیر عملی است. بعلاوه همواره یک فاصله زمانی میان حرکت ترافیک در خیابانها در ابتدا و انتهای دوره زمانی مفروض وجود خواهد داشت.

جنبه‌های قانونی، اداری و مالی: این مرحله از مطالعه پارکینگ شامل دو بخش کلی است. بخش اول شامل بررسی قوانین و مقررات موجود، ماشین اداری موجود و روشهای حل مسائل مالی تسهیلات پارکینگ در شهر مورد نظر خواهد بود. کفایت این جنبه‌ها در سایه برآورد نیاز به تسهیلات پارکینگ قابل اندازه‌گیری است. ضعفها و کمبودهای قوانین، نظام اداری و مالی نیز ظاهر خواهند شد. دومین بخش ارائه توصیه‌ها و پیشنهادات در جهت رفع کمبودها و نقاط ضعف قوانین در رابطه با مسئله پارکینگ، ماشین اداری و امکانات مالی است.

مطالعه پارکینگ در زمان اوج

مطالعه جامع پارکینگ که در بالا شرح داده شد مستلزم مصاحبه حضوری با کلیه افرادی است که وسیله نقلیه خود را در یک روز کاری در مراکز تجاری شهر (CBD) پارک می‌کنند و این نسبتاً پر هزینه است.

روش دیگر مصاحبه، مطالعه پارکینگ در زمان اوج است که در این روش مطالعه محدود به پارکهایی می‌شود که در زمان بیشترین تجمع اتومبیلهای پارک شونده که معمولاً حوالی ۲ بعد از ظهر است صورت می‌گیرد. مصاحبه‌گرها در این زمان مستقر شده و لیست کاملی از وسایل نقلیه پارک شده تهیه می‌کنند. آنها تا هنگامی که مصاحبه با کلیه وسایل نقلیه مذکور به اتمام برسد به کار خود ادامه می‌دهند. این نمونه‌گیری شامل کلیه وسایل نقلیه‌ای که بعداً فرا می‌رسند خواهد بود. مصاحبه‌ها با همان کیفیت مطالعه جامع صورت گرفته و اطلاعات مشابهی ثبت می‌شود. آمار برداری نیز به همان صورت مطالعه جامع انجام می‌شود.

این روش گرچه بسیار ساده‌تر و ارزانتر است ولی تمامی اطلاعات پرارزش مطالعه جامع را بدست نمی‌دهد و تا حدی که میزان نیاز به فضای پارکینگ و محلهایی که باید بعنوان پارکینگ در نظر گرفته شوند مشخص گردد وظیفه اصلی مطالعه به انجام رسیده و رضایت بخش خواهد بود. با این وجود هیچ اطلاعاتی در زمینه پارکینگهای غیر مجاز، پارکینگهای دراز مدت، اهداف سفرها و یا نیازهای کامیونها به مناطق باراندازی بدست نخواهد آمد.

مطالعه ساده برای شهرهای کوچک

در شهرهای بزرگ که فاصله پیاده روی یک عامل مهم

جدول ۱۰-۱۶ . معیار پیشنهادی برای قبول مسافت‌های پیاده‌روی

مسافت پیاده‌روی (فوت)	گروه جمعیت (مناطق شهری)
300	25000 زیر
345	25000-50000
490	50000-100000
530	100000-250000
740	250000-500000
750	500000 بالای

می‌باشد تعیین مقصدهای پارک کنندگان ضروری است. این فقط از طریق مصاحبه میسر می‌شود که بسیار پر هزینه است. در شهرهای کوچکتر (با جمعیت کمتر از ۲۵۰۰۰ نفر) مرکز تجاری شهر (CBD) با تعداد قطعه‌های کمتر دارای فواصلی کوتاه است و می‌توان اطلاعات منطقی و رضایت بخشی در مورد رفتار پارکینگ را بدون صرف هزینه مصاحبه بدست آورد.

دستورالعمل پیشنهادی شامل فازهای زیر خواهد بود:

آمار برداری از تسهیلات پارکینگ: این آمار برداری به همان روش مطالعه جامع صورت می‌گیرد.

کاربری تسهیلات پارکینگ: هر کنار جدول و هر پارکینگ روباز یا گاراژ از ساعت ۱۰ صبح تا ۶ بعد از ظهر در هر ۱۵ دقیقه یکبار بازدید می‌شود. در نخستین بازدید، مشاهده‌گر کلیه وسایل نقلیه پارک شده مجاز یا غیرمجاز را ثبت می‌کند (نوع وسیله نقلیه و شماره پلاک آن ثبت می‌شود). در بازدیدهای بعدی وسیله‌های نقلیه‌ای که در بازدید قبل وجود داشته‌اند کنترل شده و وسایل نقلیه جدید نیز ثبت می‌شود.

شمارش مرزی: شمارش مرزی به همان صورت مطالعه جامع انجام می‌شود.

محدودیتها: از آنجائی که در این روش هیچ اطلاعاتی در مورد مقصدها کسب نمی‌شود، برآورد قطعه - به - قطعه تقاضای پارکینگ و کمبودهای فضای پارکینگ میسر نخواهد بود. با این وجود در این مطالعه می‌توان اطلاعات مربوط به عرضه، کاربری، مدت پارکینگ و پارکینگهای غیرمجاز را قطعه - به قطعه بدست آورد.

مطالعه محدود پارکینگ

"کمیسیون ملی حمل و نقل شهری" روشی برای مطالعه محدود پارکینگ ارائه نموده است که مرکب از مراحل زیر است:

آمار برداری از تسهیلات پارکینگ: این آمار برداری به همان صورتی است که در مطالعه جامع انجام می‌شود.

مطالعه کاربری و مدت پارکینگ: اطلاعات مربوط به کاربری فضاهای پارکینگ و مدت پارکینگ از طریق بازدیدهای ساعتی

جدول ۱۱-۱۶ . کاربری برحسب وسیله نقلیه مسافران پروازهای داخلی (درصد)

وسیله نقلیه	فرودگاه لاگواردیا	فرودگاه نیووارک	فرودگاه بین‌المللی جان-اف-کندی	درصد کل
اتومبیل	۳۷	۶۰	۴۴	۴۵
تاکسی	۴۶	۱۲	۳۱	۳۲
اتوبوس فرودگاه	۹	۱۳	۱۲	۱۱
اتوبوس	۲	۱۰	۳	۴
لیموزین	۵	۴	۸	۶
سایر وسایل	۱	۱	۲	۲
کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

کنار جدولها و پارکینگهای روباز و گاراژها از ساعت ۷ صبح تا ۶ بعد از ظهر بدست می‌آید: بازدیدها بوسیله اتومبیل انجام شده و اطلاعات بوسیله دو مشاهده‌گر ثبت می‌شوند.

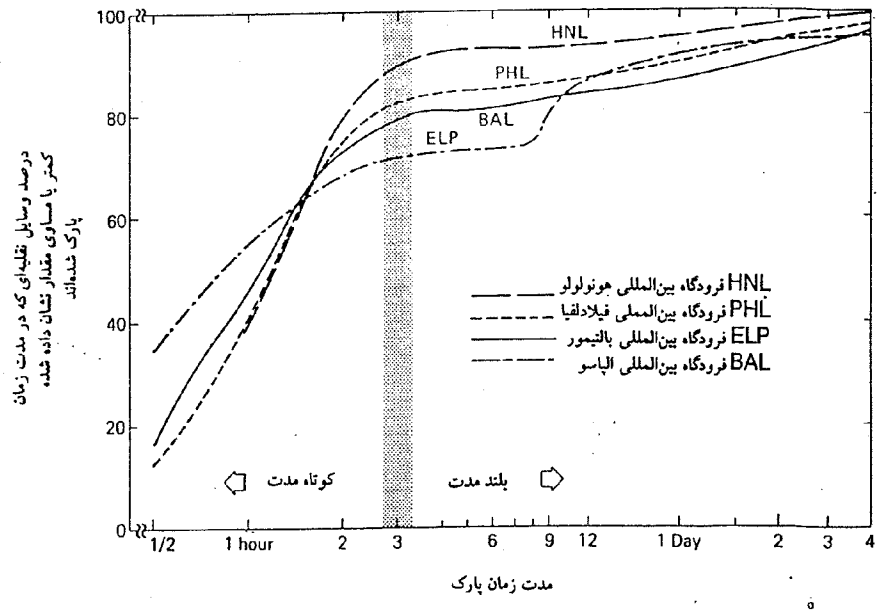
مطالعه درآمد پارکومترها: تجزیه و تحلیل درآمد پارکومترها به‌منظور تعیین میانگین روزانه اشغال فضاها در مناطق مختلف ناحیه مطالعاتی صورت می‌گیرد.

تولید کنندگان تقاضای پارکینگ در خارج از مرکز تجاری شهر

برنامه‌ریزی پارکینگ مورد نیاز تولید کنندگان ترافیک در خارج از مرکز تجاری مستلزم آگاهی از خصوصیات عملکردی آن تسهیلات، اندازه آنها و نوع تقاضای ترافیکی که تولید می‌کنند است. مهمترین منبع مطالعه و تحلیل الگوهای سفر برای فرودگاهها، مراکز خرید و کارخانه‌های صنعتی، گزارش شماره ۲۴ NCHRP است.

جدول ۱۲-۱۶ . توزیع منظورهای سفرهای افراد به و از فرودگاههای منتخب توسط کلیه وسایل نقلیه

فرودگاه	سفر به فرودگاه (٪)			سفر از فرودگاه (٪)		
	کاری	تفریحی	سفر هوایی	به خانه	به محل کار	به سایر مقصدها
آتلانتا	۶۷/۸	۵/۸	۲۶/۴	–	–	–
بوفالو	۲۳/۳	۳۳/۷	۴۳/۰	۵۵/۷	۱۴/۱	۳۰/۲
شیکاگو	۳۴/۷	۲۵/۷	۳۹/۵	۸۲/۶	۶/۰	۱۱/۴
مینیاپولیس	۴۶/۸	۱۹/۷	۳۳/۶	۸۰/۳	۷/۹	۱۲/۶
فیلادلفیا	۲۴/۲	۳۲/۸	۴۳/۱	۷۰/۰	۹/۷	۲۰/۳
پتسبورگ	۴۳/۰	۲۰/۶	۳۶/۵	۸۵/۹	۴/۷	۹/۳
پروویدنس	۳۹/۸	۳۷/۷	۲۲/۵	–	–	–
ساندیگو	۴۵/۹	۲۱/۶	۳۲/۴	–	–	–
سیاتل -تاکوما	۳۵/۰	۲۴/۲	۴۰/۸	۸۱/۳	۱۲/۴	۶/۳
واشنگتن	۶۹/۸	۱۵/۸	۱۴/۴	۸۰/۱	۹/۹	۱۰/۰



شکل ۶-۱۶ - توزیع تجمعی مدت پارکینگ در چهار فرودگاه

مراکز خرید . نیازهای پارکینگ مراکز خرید بوسیله Alan M.Voorhees در این گزارشی که برای موسسه اراضی شهری تهیه کرده است مورد مطالعه قرار گرفته است. میانگین تولید سفر مراکز خرید در ساعت اوج (۷ تا ۸) حدود ۱۶ درصد کل تولید سفر روزانه آنها است. ترافیک مراکز خرید در طول دوره اوج معمولی راهها (۴ تا ۶ بعد از ظهر) تقریباً بالغ بر ۷ درصد سفرهای روزانه آن می‌شود.

اتومبیل تنها وسیله سفر به مراکز خرید است و در محلهایی که عملاً امکان دسترسی پیاده یا با وسایل حمل و نقل همگانی نباشد پیش‌بینی ۵/۵ فضای پارکینگ به ازاء هر ۱۰۰ متر مربع مساحت مفید مرکز خرید به عنوان یک استاندارد برای پاسخگویی به تقاضای پارکینگ کفایت می‌کند.

کارخانه‌های صنعتی . حدود ۹۵ درصد از کل سفرهای تولیدی در یک کارخانه معمولی مربوط به سفرهای کاری است. در مطالعات جدیدی که بوسیله یک کمیسیون از موسسه مهندسان ترافیک انجام شده است حداقل دو فضای پارکینگ به ازاء هر سه نفر از کارکنان برای پاسخگویی به تقاضای پارکینگ پیشنهاد

شده‌است. با این وجود، تامین فضای اضافی برای پارکینگ ملاقات کنندگان ضروری بنظر می‌رسد. کمیسیون برای برآورد دقیق تر حداکثر نیاز روزانه پارکینگ در هر کارخانه روش زیر را پیشنهاد نمونه است:

۱- آمار مستخدمین را برحسب نوع شغل بدست آورید: اجرایی، دفتری و کارگران کارخانه در هر شیفت

۲- نیاز پارکینگ هر طبقه شغلی را با توجه به وسایل حمل و نقل عمومی و شخصی برآورد کنید.

۳- زمان شروع و پایان شیفت را برای تعیین حداکثر تقاضای پارکینگ مورد مطالعه قرار دهید.

۴- احتمال تغییرات فصلی، استفاده نامناسب از فضا، برنامه‌های اضافی کاری و ... را به کمک متغیرهایی در نظر بگیرید.

فرودگاهها . طراحی تسهیلات پارکینگ در فرودگاهها مستلزم آگاهی دقیق از خصوصیات کاربران است. کاربران، باید به گونه‌ای طبقه‌بندی شوند که نیازهای هر طبقه را بتوان بطور مجزا و در مجموع تعیین و ارزیابی نمود.

هر طبقه از کاربران فرودگاه دارای نیازهای پارکینگ متفاوتی هستند. این نیاز بستگی به هدف از رفتن به فرودگاه و دسترسی به سایر وسایل حمل و نقل برای رسیدن به فرودگاه از نقاط مختلف منطقه دارد.

در جدول ۱۱-۱۶ وسایل حمل و نقل مختلفی که مسافران سه فرودگاه ناحیه نیویورک مورد استفاده قرار می‌دهند، نشان داده‌شده است. می‌توان مشاهده کرد که مسافران برای رسیدن به هر فرودگاه از وسایل مختلف استفاده یکسانی نکرده‌اند.

در مطالعه‌ای که در مورد ۱۳ فرودگاه انجام شده است محدوده وسیعی از کاربری وسایل حمل و نقل بدست آمده است:

اتومبیل شخصی یا کرایه‌ای	۳۸-۸۸	درصد
تاکسی:	۵-۴۷	درصد
اتوبوس همگانی:	۱-۱۰	درصد
تاکسی یا اتوبوس فرودگاه	۵-۲۵	درصد

همانگونه که در جدول ۱۲-۱۶ مشاهده می‌شود علل رفتن به فرودگاه نیز در فرودگاههای مختلف یکسان نبوده است. این نشان می‌دهد که ارزیابی نیازهای پارکینگ هر فرودگاه باید بطور جداگانه صورت گیرد زیرا در فرودگاههای مختلف، پارک کنندگان متفاوتی وجود دارند. با این وجود می‌توان از جدول ۱۳-۱۶ به عنوان یک راهنمای کلی برای بدست آوردن دیدگاههایی در زمینه نیازهای پارکینگ طبقات مختلف در فرودگاهها استفاده نمود.

پارکینگهای عمومی در فرودگاههای اصلی بخش اعظم کاربرانی که کمتر از سه ساعت توقف می‌کنند را بخود اختصاص می‌دهند. در شکل ۶-۱۶ توزیع مدت زمان توقف در پارکینگهای عمومی چهار فرودگاه اصلی نمایش داده شده است.

سایر روشهای برآورد نیاز پارکینگ

همانگونه که در روشهای قبل اشاره شد، تقاضای پارکینگ و کاربری پارکینگ معمولاً بوسیله مصاحبه با پارک کنندگان و بااندازه گیری زمان توقف اتومبیل برآورد می‌شود. با این وجود، روشهای دیگری نیز برای بدست آوردن اطلاعات مشابه وجود دارد.

شاخص‌های تقاضای پارکینگ

در مواردی که انجام مطالعه پارکینگ امکانپذیر نباشد، یا هیچ مطالعه مبدا - مقصد موجود نباشد و یا تسهیلات در دست بهره برداری بوده و برآوردی از تقاضای پارکینگ مورد نیاز باشد معمولاً از نتایج سایر مطالعات استفاده می‌شود. کتاب "پارکینگ در مرکز شهر" *(Wilbur Smith)* راهنمای مفیدی برای برآورد نیازهای پارکینگ در *CBD* است.

فصل ۱۷
مطالعات تصادفات

تجزیه و تحلیل تصادفات ترافیکی برای مهندسان ترافیک نهایت اهمیت را داراست. تلفات سنگین تصادفات وسایل نقلیه موتوری نه تنها یک عامل رنج و بدبختی است بلکه خسارات اقتصادی زیادی نیز به بار می‌آورد. در سال ۱۹۶۷ خسارات اقتصادی ایالات متحده آمریکا در نتیجه تصادفات وسایل نقلیه موتوری بالغ بر ۱۲/۴ بیلیون دلار بوده و در سال ۱۹۶۸ این رقم به ۱۴/۲ بیلیون رسیده که افزایش ۱۴ درصدی را در طول یکسال نشان می‌دهد.

با ارائه آمار تلفات ناشی از تصادفات وسایل نقلیه موتوری در ایالات متحده می‌توان به اهمیت موضوع پی برد. مرگ و میر ترافیکی در راه‌های ملی در سال ۱۹۶۷ برابر ۵۳۱۰۰ و در سال ۱۹۶۸ برابر ۵۵۲۰۰ نفر بوده است. بیش از دو برابر تعداد کشته شدگان آمریکایی در جنگ‌هایی که از سال ۱۷۷۶ به بعد برای آمریکا به وقوع پیوسته در تصادفات وسایل نقلیه موتوری کشته شده‌اند. از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۷ حدود ۱,۷۰۰,۰۰۰ نفر در تصادفات جان خود را از دست داده‌اند و با توجه به روند موجود این رقم تا سال ۱۹۷۵ به ۲ میلیون نفر خواهد رسید. در سال ۱۹۶۸ آمار تلفات در ایالت نیویورک ۳۰۸۱ و در شهر نیویورک ۸۶۸ نفر بوده است.

تجزیه و تحلیل دقیق تصادفات تا حد زیادی بستگی به آگاهی کامل از خصوصیات رانندگان، وسایل نقلیه و راه‌ها و ارتباط میان آنها و نیز گزارش دقیق و کامل تصادفات دارد.

پس از تصویب قانون ایمنی ترافیک و وسایل نقلیه موتوری در سال ۱۹۶۶، تحرک زیادی در زمینه ایمنی ترافیک بوجود آمده است. در سال ۱۹۶۷ در وزارت حمل و نقل یک دفتر ایمنی راه‌های ملی گشایش یافت. در سال ۱۹۷۱ این دفتر به یک اداره زیر نظر وزارتخانه ارتقاء یافت.

این دفتر ۱۳ برنامه استاندارد ایمنی راه‌ها در رابطه با ثبت و بازدید وسایل نقلیه موتوری، ایمنی موتورسیکلت سواری، آموزش رانندگان در صدور گواهینامه رانندگی، مقررات و آیین‌نامه‌های رانندگی، دادگاه‌های ترافیکی، الکل، تشخیص و نظارت بر محل‌های تصادف خیز، آمارهای ترافیکی، خدمات پزشکی، طراحی راه‌ها و وسایل کنترل ترافیک منتشر نموده است.

چون برنامه‌های ایمنی راه‌ها می‌باید کلیه این مسایل را تحت پوشش قرار می‌داد نشریه بنیاد ایمنی خودروها برای هماهنگی کل برنامه انتشار یافت.

در جامعه جهانی نیز این موضوع مورد توجه قرار گرفته است. در ایالات متحده این توجه معطوف به قانون گذاری شده و کنفرانس‌هایی در رابطه با نیروی انسانی لازم، راهبردهای عملکردی، خطوط راهنمای برنامه ریزی‌ها، بهبود طرح هندسی و خطرات کنار جاده‌ای برگزار شده است.

علل تصادفات ترافیکی

بیشتر تصادفات ناشی از ترکیبی از عوامل موثر هستند: تخلفات یا اعمال خطرناک رانندگان و عابرین پیاده، معایب جاده، وسیله نقلیه، راننده یا عابر پیاده: شرایط جوی نامساعد و یا دید ناکافی.

عوامل انسانی

رانندگان . در سال ۱۹۶۸ حدود ۹۰/۶ درصد از کل تصادفات در سطح ملی ناشی از رانندگی نامناسب بوده است. انواع اصلی

تخلفات رانندگی عبارت بوده‌اند از:
تصادفات مرگبار - سرعت غیرمجاز، عدم رعایت حق تقدم و انحراف به چپ
تصادفات جراحتی - عدم رعایت حق تقدم، سرعت غیرمجاز، عدم رعایت فاصله ایمنی
تصادفات خسارتی (عمدتاً خسارات مالی) - عدم رعایت حق تقدم، سرعت غیرمجاز و عدم رعایت فاصله ایمنی.

طبق گزارشات، الکل در نیمی از تصادفات مرگبار کشور یکی از عوامل موثر بوده است. بر اساس مطالعه‌ای که موسسه وسایل نقلیه موتوری ایالت واشنگتن در سال ۱۹۶۸ انجام داده است، مصرف‌کنندگان مواد مخدر، در رانندگی بی‌باک و مسامحه‌کار بوده و در فرار از صحنه تصادفات و تخلفات مربوط به نقص تجهیزات بیشتر دخالت داشته‌اند.

در سال ۱۹۶۸ حدود ۳۳ درصد از کل تصادفات ایالت نیویورک در اثر سرعت غیرمجاز، ۱۷ درصد در اثر رانندگی بی‌پروا و ۱۰ درصد در اثر انحراف به چپ به وقوع پیوسته‌اند.

بر اساس گزارشات رسیده از ۲۳ ایالت، برای ۶۷ در ۱۰۰۰۰۰ نفر از رانندگان سنین مختلف، تصادفات مرگبار به وقوع پیوسته است. نرخ دخالت رانندگان گروه سنی ۲۴ - ۲۰ ساله برابر ۱۱۸ بوده که بالاترین نرخ می‌باشد.

رانندگان زیر ۲۵ سال حدود ۲۱ درصد کل رانندگان هستند و در ۳۴ درصد از تصادفات مرگبار دخالت داشته‌اند. بر اساس مطالعه‌ای که روی توزیع تصادفات بر حسب گروه‌های سنی در سال ۱۹۶۸ در ایالت نیویورک صورت گرفته این نتیجه به دست آمده است که گرچه رانندگان زیر ۲۹ سال فقط ۲۸ درصد از کل رانندگان را تشکیل می‌دهند ولی آنها در ۴۳ درصد از تصادفات مرگبار، ۳۵ درصد از تصادفات جراحتی و ۳۱ درصد از تصادفات خسارتی دخالت داشته‌اند. با این وجود در درصدها و نرخ‌های دخالت فوق، تاثیر مربوط به رانندگی بوسیله گروه‌های سنی مختلف و یا شرایط محیطی رانندگی در نظر گرفته نشده است. هر دو این عوامل می‌توانند نتایج را تغییر دهند. تجزیه و تحلیل دقیقی که بوسیله *BPR* در مورد خصوصیات تصادفات در ۶۰۰ مایل از راه‌های اصلی برون شهری در ۱۱ ایالت انجام گرفته است نشان می‌دهد که رانندگان زیر ۲۵ سال سن، بالاترین نرخ دخالت در تصادفات را نسبت به گروه‌های سنی به خود اختصاص می‌دهند.

گرچه تقریباً ۵۹ درصد از رانندگان در سال ۱۹۶۸ مرد بوده‌اند ولی آنها ۷۵ درصد از کلیه رانندگانی را که در تصادفات دخالت داشته‌اند تشکیل می‌دادند. علت این امر در آن است که نزدیک سه چهارم از کل رانندگی‌ها بوسیله مردان انجام می‌شود و بیشتر رانندگی زنان در روز و خارج از ساعات اوج ترافیک صورت می‌گیرد. نرخ دخالت در تصادفات خسارتی بر اساس وسیله نقلیه - مایل نشان می‌دهد که نرخ مردان حدود ۱/۳ برابر نرخ زنان است.

مطالعات انجام شده توسط دفتر راه‌ها در مورد راه‌های اصلی برون شهری نشان داده است که رانندگان مرد حدود ۸۷ درصد از کل رانندگیهای روزانه و ۹۳ درصد از شبانه را انجام می‌دهند. با در نظر گرفتن رانندگان انواع مختلف وسایل نقلیه، نرخ دخالت در تصادفات خسارتی در روز برای مردان ۲۱۰ و برای زنان ۲۴۷ و در شب برای مردان ۴۱۹ و برای زنان ۵۷۹ بوده‌است. با این وجود در شب‌ها نرخ دخالت رانندگان دائمی کامیون‌ها بطور چشمگیری پایین بود. بنابراین برای بدست آوردن یک مقایسه معنی دار، می‌باید نرخ‌ها فقط برای اتومبیل‌های سواری محاسبه می‌شد. نتیجه این مقایسه نرخ دخالت ۲۰۰ برای مردان و ۲۴۶ برای زنان در طول روز و شب نرخ ۵۷۸ برای مردان و ۵۹۳ برای زنان را نشان داد.

عابرین پیاده - در سال ۱۹۶۸ عابرین پیاده ۳۱ درصد از کل کشته شدگان تصادفات ترافیکی در ایالت نیویورک و ۱۸ درصد در سطح ملی و ۸ درصد از کل مجروحین در ایالت نیویورک و در سطح ملی را تشکیل می‌داده‌اند. افراد مسن‌تر دخالت بیشتری داشته‌اند. بیش از ۸۳ درصد از مرگ و میرهای ناشی از عبور از تقاطعات در ایالت نیویورک و شهر نیویورک مربوط به افراد ۴۵ ساله و بیشتر بوده است. عابرین پیاده ۱۴ ساله و کمتر بیش از ۴۵ درصد از مجروحانی راکه در راه ایستاده و یا بازی می‌کرده‌اند و حدود ۶۸ درصد از کسانی که از پشت اتومبیل‌های پارک شده بیرون آمده‌اند تشکیل می‌داده‌اند.

عوامل مربوط به وسیله نقلیه

اصولاً درصدهای مربوط به دخالت وسایل نقلیه در تصادفات برحسب نوع آنها، تقریباً مساوی با سهم آن‌ها در کل شماره‌گذاری است. با این وجود برخی از مطالعات نشان داده‌اند که نرخ دخالت آنها متغیر می‌باشد. در سال ۱۹۶۸ نرخ دخالت در تصادفات خسارتی بر حسب نوع وسیله نقلیه در ایالت نیویورک مطابق جدول ۱ - ۱۷ بدست آمد. مطالعه دفتر راه‌ها در مورد راه‌های اصلی برون شهری نشان داد که نرخ دخالت در کل تصادفات در ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه مایل بر حسب نوع وسیله نقلیه تقریباً نزدیک به مقدار مربوط به رانندگی در روز بوده است. ولی این وضعیت در مورد رانندگی در شب تفاوت چشمگیری

جدول ۱ - ۱۷ . انواع وسایل نقلیه درگیر در تصادفات ایالت نیویورک ۱۹۶۸

نوع وسیله نقلیه	درصد از کل شماره گذاری	درصد وسایل نقلیه درگیر در تصادف
اتومبیل‌های سواری	۸۷/۰	۸۸/۹
کامیون و تریلر	۱۰/۱	۷/۵
تاکسی و اتوبوس	۱/۷	۲/۸
سایرین	۱/۲	۰/۸

جدول ۲ - ۱۷ . نوع وسیله نقلیه درگیر در تصادف برحسب روز یا شب

نوع وسیله نقلیه	روز		شب	
	درصد وسایل نقلیه درگیر در تصادف	نرخ دخالت	درصد وسایل نقلیه درگیر در تصادف	نرخ دخالت
اتومبیل‌های سواری	۷۵/۷	۲۰۷	۸۰/۲	۵۸۰
کامیون‌چهارچرخ	۹/۴	۲۸۱	۶/۲	۳۹۸
کامیون‌شش‌چرخ‌یابیشتر	۱۳/۱	۲۰۸	۱۲/۶	۱۶۴
اتوبوس	۰/۸	۲۶۶	۰/۳	۱۱۹
سایرین	۱/۰		۰/۷	

دارد که در جدول ۲ - ۱۷ منعکس است.

نسبت تصادفاتی که به معایب وسیله نقلیه نسبت داده شده زیر ۲ درصد بوده و اکثر این تصادفات در اثر معایب ترمز و خراب بودن چراغ‌ها بوده است. در چند سال اخیر دولت فدرال تغییراتی در طرح وسایل نقلیه مشخص کرده است.

عوامل محیطی

گرچه شرایط نامساعد جوی یا جاده‌ای تاثیر زیادی در تصادفات ترافیکی دارد ولی دامنه این تاثیرات در حال حاضر معین شده است. با این وجود راننده و عابر پیاده عوامل اصلی در تصادفات ترافیکی هستند. به این ترتیب، مهندس ترافیک باید در جهت تغییر رفتارهای راننده و عابر پیاده از طریق مقررات و محدودیت‌های منطقی تلاش کند تا بدینوسیله عملکردهای خطرناک آنها کاهش یابد. طراحان راه‌ها مسئولیت اعمال هرچه بیشتر نکات ایمنی در طرح را بر عهده دارند تا تعداد تصادفات ناشی از هندسه ضعیف به حداقل برسد. در جدول ۳ - ۱۷ تعداد کل تصادف‌های ایالت نیویورک در سال ۱۹۶۸ برای شرایط مختلف جوی و جاده‌ای ارائه شده است.

جدول ۳ - ۱۷ . وقوع تصادف برحسب شرایط جاده‌ای و آب و هوایی

	درصد وقوع کل تصادفات ایالت نیویورک
شرایط جوی	
صاف	۷۸/۲
بارانی - برفی	۲۰/۶
مه آلود	۱/۲
شرایط جاده‌ای	
خشک	۶۴/۸
تر - برفی	۳۵/۲
خصوصیات راه	
مستقیم	۸۸/۶
قوس	۱۱/۴

گزارش‌های تصادف - سیستم‌های گزارش‌دهی

آمارهای تصادف

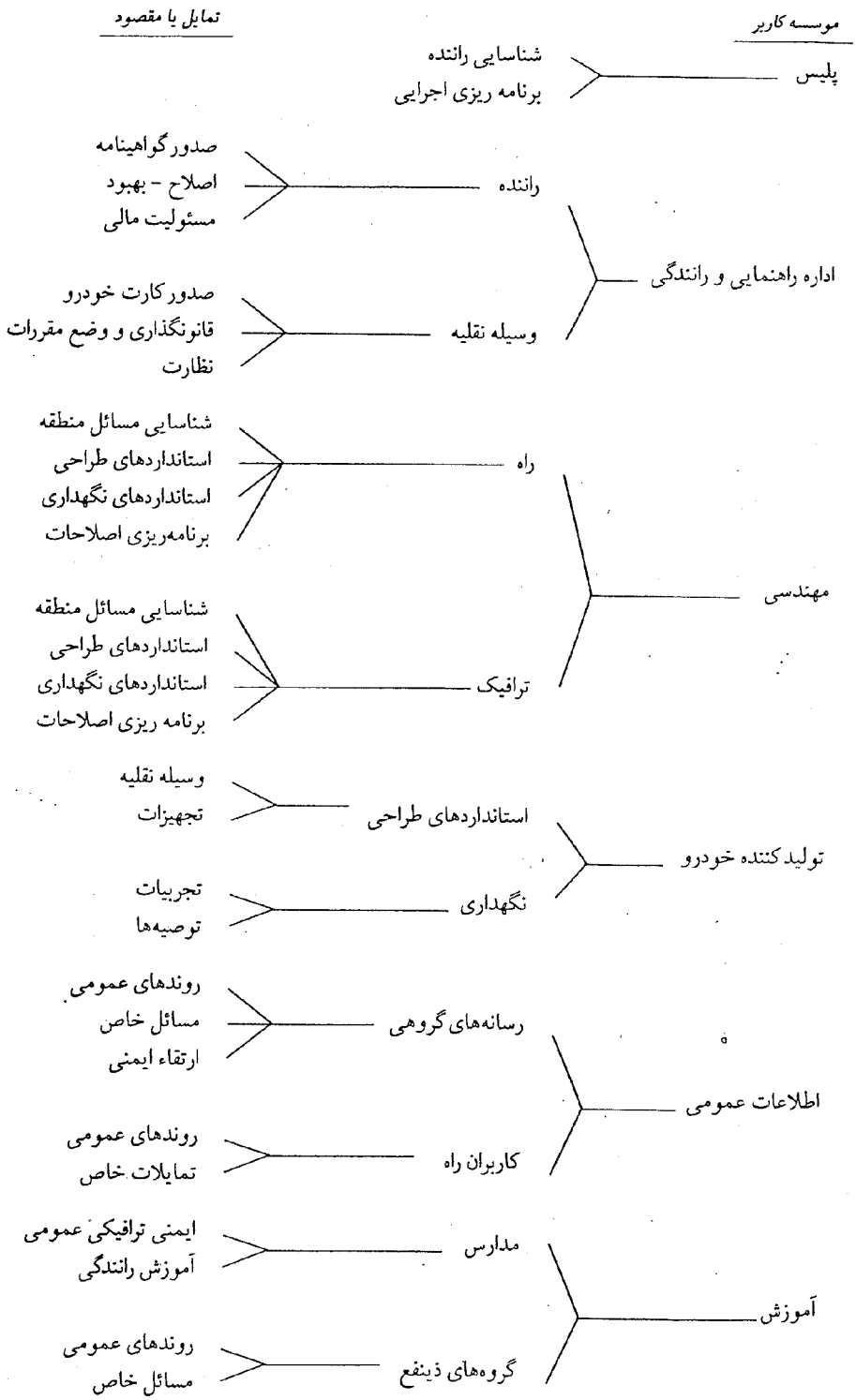
به منظور تجزیه و تحلیل تصادفات و طراحی عوامل بازدارنده تصادفات، آمار کل تصادفات، مورد نیاز است. استفاده‌کنندگان مختلف گزارش‌های تصادفات و اهداف و تمایلات آنها را می‌توان مطابق شکل ۱ - ۱۷ خلاصه نمود.

روش گزارش‌دهی

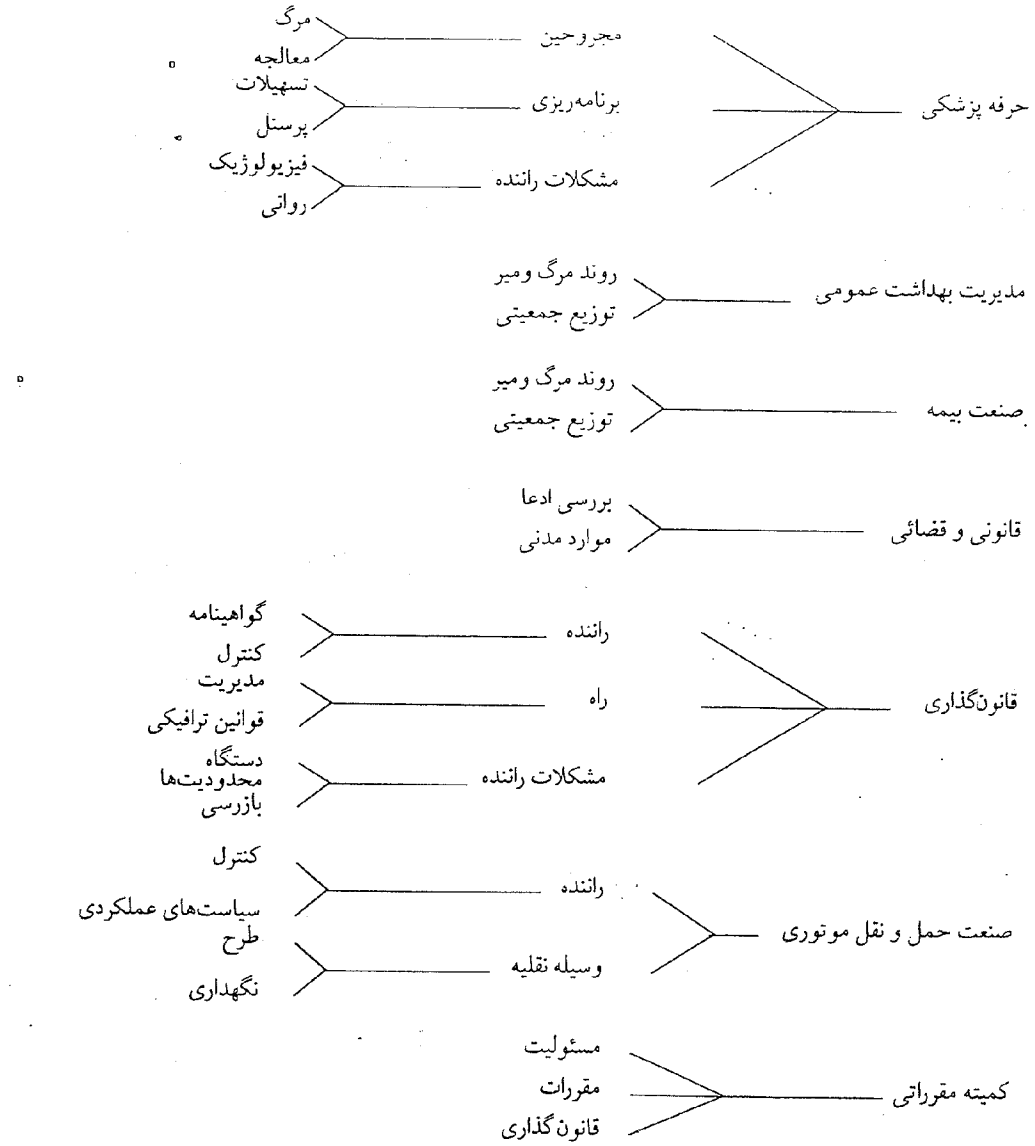
گزارش تصادف می‌بایست برای کلیه تصادفات شامل مرگبار، جراحتی و خسارتی بیشتر از ۱۰۰ دلار تهیه گردد. حداقل خسارت قابل گزارش در تصادفات وسایل نقلیه موتوری در بیشتر ایالات بوسیله قانون ایالتی مشخص شده است. در ایالت نیویورک خسارات مالی بیشتر از ۱۵۰ دلار نیاز به گزارش دارند. مقررات مربوط به ایالت‌های مختلف تفاوت‌های چشمگیری را نشان می‌دهد که تغییرات آن از گزارش هر گونه خسارات جزیی تا گزارش خسارت بالاتر از ۲۰۰ دلار می‌باشد.

این یک نیاز مبرم است که یک روش گزارش‌دهی واحدی میان کلیه سطوح دولتی پذیرفته شود. در این رابطه اصول و روش‌های پیشنهادی کمیسیون سرپرستی ایمنی ترافیک می‌باید کاملاً مراعات شود.

تصادفات معمولاً بوسیله افسران پلیس راهنمایی و رانندگی و نیز رانندگانی که در تصادف دخالت داشته‌اند گزارش می‌شود. شورای ملی ایمنی، فرمهای استانداردی تهیه کرده است که



شکل ۱-۱۷ . خلاصه‌ای از کاربران گزارشات تصادفات و تمایلات و مقصودهای کلی آنها



شکل ۱ - ۱۷ . ادامه

کاملاً مراعات شود.

تصادفات معمولاً بوسیله افسران پلیس راهنمایی و رانندگی و نیز رانندگانی که در تصادف دخالت داشته‌اند گزارش می‌شود. شورای ملی ایمنی، فرمهای استانداردی تهیه کرده است که رانندگان با استفاده از آنها گزارش تصادف را به اداره راهنمایی و رانندگی بدهند. این فرم می‌باید بعد از بررسی دقیق تصادف، بوسیله پلیس پر شود و شامل سوالهایی از عاملین و شاهدان تصادف، اندازه‌گیریهای فیزیکی، آزمایش علایم مستی و بازسازی صحنه تصادف می‌باشد. فرمهایی که برای پلیس و رانندگان تهیه می‌شود می‌باید شامل اطلاعات دقیق صفحه قبل باشد.

زمان تصادف، محل تصادف، راننده، وسایل نقلیه، زخمی شدگان، نوع خسارت وسایل نقلیه، محل و نوع وسایل کنترل ترافیک، مقررات، شرایط جوی و جاده‌ای، تخلفات احتمالی،

علل احتمالی، نمودار تصادف.

سیستم‌های مکان‌یابی

گزارش دقیق محل‌های تصادف برای مطالعات بعدی نقاط تصادف خیز و اعمال اقدامات اصلاحی اهمیت زیادی دارد. بدین منظور از سیستم‌های مختلف نشانه‌گذاری مرجع استفاده می‌شود. نشانه‌های مرجع بالاخص در مورد راه‌های برون شهری که فاقد نقاط مشخصی به عنوان مرجع موقعیت تصادف هستند مفید می‌باشد.

در سیستم ایالتی از یک سیستم نشانه‌گذاری با نشانه‌هایی به فاصله ۱۵۰ متر استفاده می‌شود. در نیویورک سیستم کلیه تیرهای روشنایی بزرگراه‌ها، آزادراه‌ها و سایر راه‌ها با دسترسی محدود شماره‌گذاری شده است. مسئولین بندر نیویورک نیز کلیه تسهیلات خود را (پل‌ها، تونل‌ها، فرودگاه‌ها، بنادر دریایی و ترمینال‌ها) در نقاط مشخصی بر حسب محل (ناحیه همگرایی یا خط مستقیم) و در فواصل ۸۰ تا ۱۶۰۰ متری تقسیم‌بندی و برای تجزیه و تحلیل الکترونیکی اطلاعات مربوطه کدبندی کرده‌اند.

سیستم ثبت تصادفات

همسانی پایگاه اطلاعاتی تصادفات ترافیکی در کلیه سطوح دولتی دارای اهمیت بسیار زیادی است. طبقه‌بندی یکسان تصادفات ترافیکی و همکاری نزدیک میان کلیه موسساتی که در رابطه با بررسی و گزارش تصادفات ترافیکی قرار دارند حصول آمار یکنواخت تصادفات را تضمین خواهد کرد. در این رابطه باید از تعاریف و توصیه‌های شورای ملی ایمنی استفاده نمود.

طبقه‌بندی زیر برای تشخیص نحوه وقوع تصادفات وسایل نقلیه موتوری مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱ - خروج از جاده
۲ - بدون برخورد در جاده
الف - چپ کردن در جاده
ب - با یک وسیله نقلیه موتوری دیگر در ترافیک
ج - با وسیله نقلیه پارک شده
د - با قطار راه‌آهن
هـ - با موتورسیکلت
و - با حیوانات
ز - با اشیاء ثابت

علاوه بر اینها، برخورد میان وسایل نقلیه موتوری را می‌توان بصورت زیر طبقه‌بندی نمود:

۱ - تحت زاویه : برخورد میان وسایل نقلیه در جهات مختلف به غیر از روبرو و معمولاً در جهت عمود
۲ - از عقب : وسیله نقلیه‌ای که از عقب با وسیله نقلیه دیگری در همان جهت و معمولاً در همان خط تصادف می‌کند.
۳ - از پهلو : وسیله نقلیه‌ای که از بغل با وسیله نقلیه دیگر در همان جهت و یا در جهت مخالف و معمولاً در خطوط متفاوت برخورد می‌کند.
۴ - از روبرو : برخورد میان وسایل نقلیه‌ای که در جهات مخالف حرکت می‌کنند.
۵ - عقب رفتن
۶ - سایر موارد

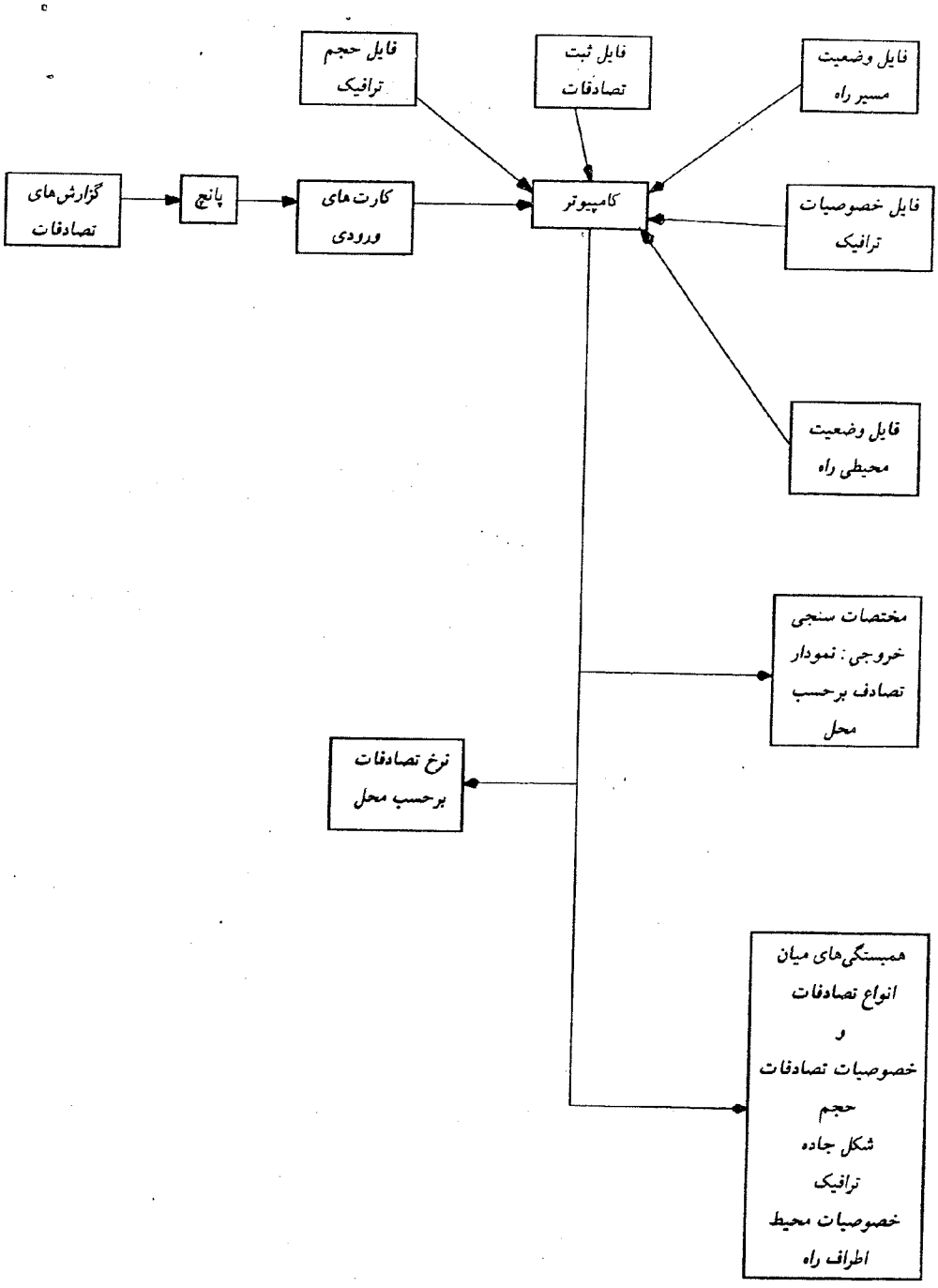
پردازش خودکار اطلاعات به کمک کامپیوتر تنها امید در برخورد موثر با مسئله تصادفات ترافیکی در نواحی شهری ما است. متغیرهای بسیار زیادی که در هر تصادف نقش دارند نیاز به ابزار پر سرعت برای دسته‌بندی، جدول‌بندی، محاسبه و چاپ اطلاعات حاصل از صدها و هزارها فرم تصادف را ایجاب می‌کنند. در چند سال اخیر، چندین سیستم کامپیوتری ثبت تصادفات تهیه شده‌اند. در شکل ۲ - ۱۷ طرح عملکردی یکی از این سیستم‌ها نشان داده شده است.

استفاده از کامپیوتر برای ذخیره‌سازی اطلاعات بسیار زیاد مربوط به تصادفات، شرایط راه و ترافیک در نقاط مختلف و سایر اطلاعات ذیربط بسیار مفید می‌باشد. ضمناً یکی دیگر از مزایای آن پردازش و خلاصه کردن مقادیر معتنابه اطلاعات تصادفات در فواصل زمانی مناسب برای نیازهای مهندسی و تجزیه و تحلیل‌های بعدی است.

تجزیه و تحلیل تصادفات

هدف از تجزیه و تحلیل تصادفات، یافتن علل احتمالی تصادفات که ممکن است در رابطه با رانندگان، وسایل نقلیه و راه‌ها باشد و همچنین انجام اقداماتی در جهت امنیت استفاده‌کنندگان از وسایل نقلیه موتوری از طریق کاهش تعداد و شدت تصادفات است. تعداد بسیار زیاد تصادفات رانندگی و در نتیجه حجم زیاد اطلاعات مربوطه، تجزیه و تحلیل تصادفات را غیرممکن ساخته است. کامپیوترهای الکترونیکی نه تنها سیستم‌های دقیق و سریع ثبت تصادفات را فراهم می‌سازند بلکه تحلیل تصادفات را نیز با فراهم آوردن اطلاعات آماده مانند نرخ تصادفات، خلاصه تصادفات و جدول‌بندی اطلاعات بر اساس متغیرهای مختلف آسانتر می‌کنند.

معمولاً تحلیل تصادفات برای رسیدن به اطلاعات و نتایج



شکل ۲ - ۱۷ . سیستم کامپیوتری تصادفات

در موارد زیر صورت می‌گیرد:

۱ - راننده و عابر پیاده

الف - تعیین رانندگانی که دارای آمار بالایی از تخلفات، دستگیری و تصادفات هستند.

ب - وقوع تصادف بر اساس گروه‌های سنی مختلف

ج - رابطه تصادفات با قابلیت‌های جسمی و نتایج آزمایش‌های روان‌شناسی

د - عملکرد رانندگان بر اساس محل‌های سکونت

۲ - وسایل نقلیه

الف - وقوع تصادف در رابطه با خصوصیات وسایل نقلیه

ب - میزان و شدت خسارت در ارتباط با وسایل نقلیه

ج - میزان، شدت و محل جراحات در ارتباط با وسایل نقلیه

۳ - راه و شرایط آن

الف - رابطه میان وقوع تصادفات و خصوصیات و شرایط راه

ب - مقادیر تغییرات نسبی در ارتباط با راه‌ها

تجزیه و تحلیل کلی

نرخ تصادفات ترافیکی. از آنجایی که مقررات مربوط به گزارش تصادفات و تفسیر آنها تفاوت‌های زیادی دارند باید حتی‌الامکان از مقایسه آمار تلفات میان شهرها و ایالت‌ها خودداری شود. در یک ناحیه‌ای که دارای سیستم گزارش تصادفات یکنواخت باشد می‌توان نرخ تصادفات ترافیکی را بر اساس کشته‌شدگان و مجروحان بدست آورد. از آمار کل تصادفات نیز می‌توان استفاده کرد ولی هنگامی که از تصادفات جراحتی یا خسارتی استفاده می‌شود می‌بایست از قابل قیاس بودن گزارش‌ها اطمینان حاصل شود. محاسبه هریک از این نرخ‌ها، تصادف خیزی کل یک ناحیه را منعکس خواهد ساخت.

محاسبه نرخ‌های تصادف بر اساس نوع راه‌ها یا خیابان‌ها دارای اهمیت روزافزون است. به کمک این نرخ‌ها می‌توان ایمنی نسبی سیستم‌های مختلف راه و خیابان و کنترل‌های ترافیکی را مشاهده نمود.

یکی دیگر از مفیدترین مقیاس‌های تصادف خیزی، نرخ درگیری در تصادفات بر اساس خصوصیات رانندگان و وسایل نقلیه مربوطه است. نرخ درگیری در تصادفات، شاخص موثری از احتمال درگیر شدن یک راننده یا وسیله نقلیه در یک تصادف بواسطه شرایط جاده‌ای یا ترافیکی می‌باشد.

الف - نرخ تصادف در کیلومتر:

بر این اساس، خطر کلی تصادفات بر حسب تعداد تصادفات در هر کیلومتر از راه و خیابان بیان می‌شود:

$$R = \frac{A}{L} \qquad (۱۷-۱)$$

که در آن:

R = نرخ کلی تصادف در هر کیلومتر برای یکسال

A = تعداد کل تصادف‌هایی که در یکسال بوقوع پیوسته

L = طول مقطع کنترل بر حسب کیلومتر

با استفاده از این می‌توان نرخ‌های تصادف در مقاطع مختلف از مسیرهایی که دارای جریان ترافیک نسبتاً یکنواخت هستند با یکدیگر مقایسه نمود.

ب - نرخ دخالت در تصادف:

نرخ دخالت در تصادفات عبارت است از نسبت تعداد رانندگان وسایل نقلیه‌ای که با یک مشخصات ویژه، در تصادفات دخالت داشته‌اند در هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر سفر (کل وسایل نقلیه مشاهده شده با آن مشخصات ویژه). به عنوان مثال، نرخ دخالت در تصادفات می‌تواند تعداد رانندگانی که در یک سرعت خاص تصادف کرده‌اند در رابطه با میزان سفرهای انجام شده در آن سرعت بدست دهد. شمارش‌های حجم ترافیکی و مطالعه سرعت در طول قطعه راه مورد نظر، اطلاعات لازم برای محاسبه وسیله نقلیه - کیلومتر سفر در یک سرعت خاص را فراهم می‌کنند.

$$R = \frac{NX\ 100{,}000{,}000}{V} \qquad (۱۷-۲)$$

که در آن:

R = دخالت در تصادف در ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر

N = تعداد کل رانندگان وسایل نقلیه درگیر در تصادفات در طول دوره مورد نظر

V = وسیله نقلیه - کیلومتر سفر در مقطع راه در طول دوره مورد نظر

ج - نوع مرگ و میر بر اساس جمعیت:

زیانهای جانی ترافیک در یک جامعه با تعداد تلفات ترافیک در هر /۱۰۰،۰۰۰ نفر جمعیت بیان می‌شود. این نرخ بیانگر تصادف خیزی در کل ناحیه است.

$$R = \frac{BX\ 100000}{P} \qquad (۱۷-۳)$$

که در آن:

R = نرخ تلفات در هر /۱۰۰،۰۰۰ نفر جمعیت

B = کل تعداد تلفات ترافیک در هر سال

P = جمعیت ناحیه

د - نرخ تلفات بر اساس آمار شمارده‌گذاری

ضررهای جانی ترافیک در یک جامعه را می‌توان بوسیله تعداد تلفات ترافیک بر هر ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه ثبت شده بیان کرد. این نرخ بیانگر تصادف خیزی در کل ناحیه است و کاربردی مشابه با نرخ تلفات بر اساس جمعیت دارد.

$$R = \frac{BX\ 10000}{M} \qquad (۱۷-۴)$$

که در آن:

R = نرخ تلفات بر هر ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه ثبت شده

B = کل تعداد تلفات ترافیک در یک سال

M = تعداد وسایل نقلیه موتوری ثبت شده در ناحیه

هـ نرخ تصادف بر اساس وسیله نقلیه - کیلومتر سفر:

در این حالت، ضرر تصادف بوسیله تعداد تصادفات بر هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر سفر بیان می‌شود. کیلومترهای طی شده بوسیله وسایل نقلیه موتوری احتمالاً تصادف خیزی حقیقی را با تقریب بهتری نسبت به جمعیت یا آمار ثبتی ارائه می‌کند. نرخ وسیله نقلیه - کیلومتر را می‌توان برحسب تعداد تلفات، مجروحان و یا کل تصادفات بر هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه کیلومتر بیان کرد.

$$R = \frac{CX\ 100{,}000{,}000}{V} \qquad (۱۷-۵)$$

که در آن:

R = نرخ تصادف بر هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر

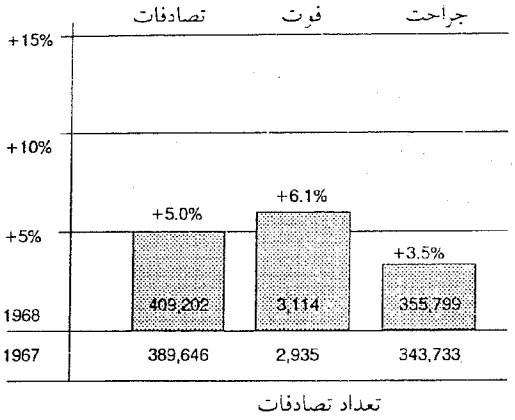
C = تعداد تصادفات (تلفات، مجروحان یا کل تصادفات) در یک سال

V = وسیله نقلیه - کیلومتر سفر در یک سال

در مورد شهرها، تعیین وسیله نقلیه - کیلومتر کل معمولاً مشکل است ولی در سطح ایالت‌ها می‌توان این رقم را با دقت خوبی از نرخ مصرف سوخت موتوری بر اساس ثبت مالیاتی بدست آورد. در این روش وسیله نقلیه - کیلومتر سفر با ضرب کردن نرخ مصرف سوخت در رقم میانگین مربوط به کیلومتر سفر بر هر لیتر سوخت محاسبه می‌گردد. این ضریب تبدیل بوسیله BPR در سطح کشور معین شده و مقدار آن از ۵/۸۷ در سال ۱۹۴۶ به ۵/۳۰ در سال ۱۹۶۶ کاهش تدریجی داشته است. این مقدار میانگین وزنی کلیه انواع وسایل نقلیه موتوری است. (۵/۹۵ برای سواری‌ها و ۳/۶۲ برای کامیون‌ها)

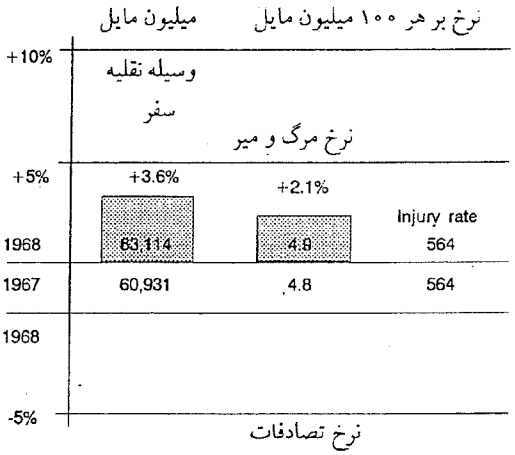
برای مثال، در سال ۱۹۶۸ مصرف سوخت موتوری در ایالت نیویورک برابر ۱۹/۲ میلیارد لیتر بوده است و در آن سال آمار تلفات رانندگی ۳۱۱۴ نفر، مجروحین ۳۵۵۷۹۹ نفر، تعداد وسایل نقلیه ثبت شده ۶۷۲۱۰۴۹ و برآورد جمعیت ۱۸۱۹۰۲۳۸ نفر بوده است.

$$۱۰^{۱۰} \times ۱۰/۲ \times ۱۰^{۹} \times ۵/۳۰ = ۱۹/۲ \times ۱۰^{۹} = \text{مقدار تقریبی وسیله نقلیه - کیلومتر سفر}$$



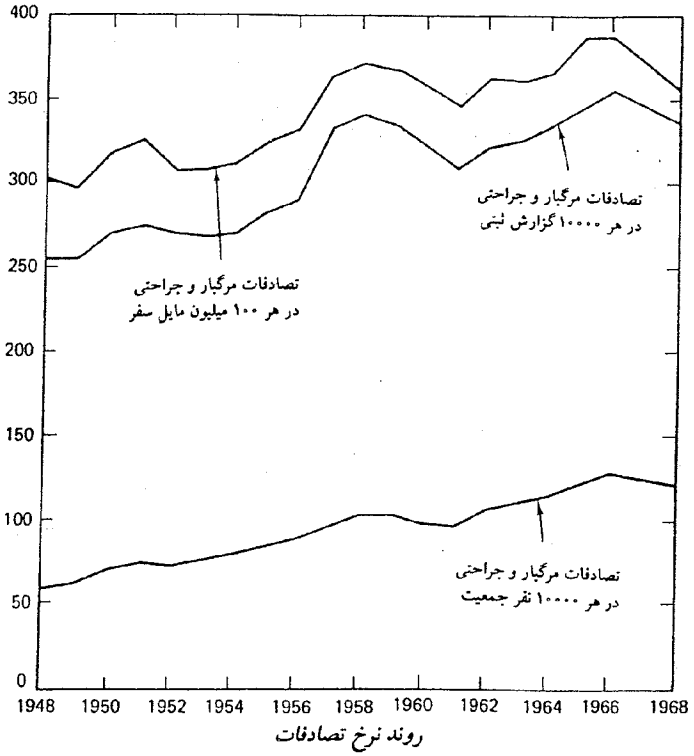
شکل ۳ - ۱۷ . تعداد تصادفات

(ماخذ اطلاعات تصادفات اداره وسایل نقلیه نیویورک ۱۹۶۹)



شکل ۴ - ۱۷ . نرخ تصادف

(ماخذ: آمار تصادفات اداره وسایل نقلیه نیویورک ۱۹۶۹)



شکل ۵ - ۱۷ . روند نرخ تصادف
(ماخذ: آمار تصادفات اداره وسایل نقلیه نیویورک ۱۹۶۹)

$$\text{نرخ تلفات ثبتی} = \frac{۳۱۱۴ \times ۱۰۰۰۰}{۶/۷۲ \times ۱۰^{۶}} = ۴/۶۳$$

$$\text{نرخ تلفات جمعیتی} = \frac{۱۰/۲ \times ۱۰^{۶}}{۳۱۱۴ \times ۱۰۰۰۰۰} = ۱۷/۱$$

$$\text{نرخ تلفات وسیله نقلیه - کیلومتر} = \frac{۳۱۱۴ \times ۱۰۰ \times ۱۰^{۶}}{۱۰/۲ \times ۱۰^{۱۰}} = ۳/۰۵$$

نرخ‌های تصادف فوق تصویر خوبی از مسئله تصادف ترسیم می‌کنند (شکل‌های ۳ - ۱۷ و ۴ - ۱۷ و ۵ - ۱۷). با این وجود نمی‌توان از آنها در مطالعات دقیق‌تری که برای مسائل خاص مورد نیاز می‌باشند بهره گرفت.

نیاز مبرمی به کم کردن شدت تصادفات وجود دارد. روشهای موجود صرفاً شدت تصادف را به سه طبقه مرگ، جراحت و خسارت مالی تقسیم‌بندی می‌کنند. ولی تفاوت‌های زیادی در میزان جراحت و خسارت وارده وجود دارد که در آمار نشان داده نمی‌شود.

الگوها و مشخصه‌های تصادف . در بیشتر گزارش‌های تصادف اطلاعات کافی برای تعیین عوامل اصلی تصادف وجود ندارد ولی گزارش‌هایی که بوسیله افسران پلیس تهیه می‌شوند معمولاً روشنگرتر می‌باشند. گزارش‌دهی تصادفات در ابتدا به منظور تامین آمار لازم برای مهندسان ترافیک و موسسات اجرایی بوده است. با این وجود، روشهای موجود تحلیل تصادفات بسیار وقت‌گیر هستند. آمار تصادفات معمولاً بر مبنای یکساله تهیه می‌شوند ولی موثر بودن اقدامات اصلاحی مستلزم تحلیل در فواصل کوتاهتر می‌باشد. با استفاده از کامپیوتر می‌توان تحلیل تصادفات را در فواصل زمانی کوتاهتر مانند ماهانه یا فصلی انجام داد.

الف - الگوهای زمانی تصادفات ترافیکی:

الگوهای زمانی تصادفات ترافیکی در سالهای مختلف دچار تغییرات اندکی می‌شوند. آمار تلفات تصادفات ترافیکی در

جدول ۴ - ۱۷ . نرخ تلفات رانندگی در سطح کشور

سال	۱۹۶۰	۱۹۶۱	۱۹۶۲	۱۹۶۳	۱۹۶۴	۱۹۶۵	۱۹۶۶	۱۹۶۷
نرخ جمعیتی	۲۱/۲	۲۰/۸	۲۲/۱	۲۳/۱	۲۴/۹	۲۵/۴	۲۷/۱	۲۶/۷
نرخ ثبتی	۵/۱	۵/۰	۵/۱	۵/۲	۵/۵	۵/۴	۵/۵	۵/۰
نرخ وسیله نقلیه - کیلومتر	۳/۳	۳/۲	۳/۳	۳/۴	۳/۵	۳/۴	۳/۵	۳/۴

جدول ۵ - ۱۷ . نرخ تلفات و مجروحین ایالت نیویورک - ۱۹۶۹

	نرخ مرگ و میر		نرخ مجروحین	
سال	بر هر ۱۰۰۰۰ ثبت	بر هر ۱۰۰ میلیون وسیله‌نقلیه - کیلومتر	بر هر ۱۰۰۰۰ ثبت	بر هر ۱۰۰ میلیون وسیله‌نقلیه - کیلومتر
۱۹۶۰	۴/۰۲	۲/۷	۵۷۶	۳۵۹
۱۹۶۱	۴/۱۲	۲/۸	۵۴۹	۳۴۱
۱۹۶۲	۴/۳۱	۳/۰	۵۷۲	۳۵۵
۱۹۶۳	۴/۱۵	۲/۸	۵۵۶	۳۴۵
۱۹۶۴	۴/۷۰	۳/۲	۵۴۳	۳۳۷
۱۹۶۵	۴/۴۰	۳/۰	۵۸۹	۳۶۶
۱۹۶۶	۴/۴۷	۳/۰	۵۹۷	۳۷۱
۱۹۶۷	۴/۵۶	۳/۰	۵۶۴	۳۵۰
۱۹۶۸	۴/۶۳	۳/۰	۵۶۴	۳۵۰

ماه‌های مختلف سال و روزهای مختلف هفته تفاوت‌های قابل توجهی نشان می‌دهند. الگوی سالانه نرخ تلفات ملی نشاندهنده تغییرات اندک همراه با یک افت کوچک از سال ۱۹۶۵ است. در جدول ۴ - ۱۷ نرخ کشته‌شدگان بر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت، بر ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه موتوری و بر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر نشان داده شده است. در جدول ۵ - ۱۷ آمار مربوط به ایالت نیویورک در همان دوره زمانی ارائه شده است.

در سطح ملی، تلفات تصادفات ترافیکی از ژانویه یا مه کمتر از میانگین ماهانه سالیانه بوده درحالیکه از ژوئن تا دسامبر بالاتر از میانگین می‌باشد. در سالهای اخیر پایین‌ترین آمار در ژانویه و فوریه وجود دارد. سپس با یک رشد یکنواخت به مقدار حداکثر در فصل تابستان می‌رسد و معمولاً این مقدار اوج در فصل‌های بعدی سال نیز حاکم می‌شود. معمولاً بالاترین آمار ماهیانه در اوت واقع می‌شود. عامل اصلی بالا بودن آمار در ماه‌های پاییزی تعطیلات آموزشی و سفرهای بیشتری است که صورت می‌گیرد. طولانی‌تر بودن ساعات تاریکی و افزایش حجم عابرین پیاده نیز از جمله عوامل بالا بودن آمار در این فصل می‌باشند.

الگوهای هفتگی تصادفات ترافیکی نشان می‌دهند که تعداد مرگ و میرهای ترافیکی از شنبه تا چهارشنبه کمتر از میانگین بوده در حالیکه در پنجشنبه و جمعه بالاتر از میانگین می‌باشد. از ژانویه تا مه میانگین‌های روزانه کمتر از میانگین بوده در حالیکه از ژوئن تا دسامبر بالاتر از میانگین می‌باشند. در تعطیلات آخر هفته بالاترین آمار در هنگام بیشترین حجم ترافیکی است. بالاترین آمار روزانه در جمعه واقع می‌شود.

الگوهای روزانه نشان می‌دهند که تصادفات ترافیکی برحسب ساعت روز در روزهای مختلف هفته متفاوت است. خطرناکترین زمان رانندگی در روزهای هفته در دوره اوج عصر گاهی از ساعت ۴ تا ۶ بعد از ظهر می‌باشد. در این دوره کلیه انواع تصادفات (مرگ، جراحت، خسارت) در بالاترین سطح خود اتفاق می‌افتند. با این وجود، فراوانی‌های مربوط به آخر هفته نشان می‌دهند که بالاترین سطح از ۳ تا ۶ بعد از ظهر است. در روزهای هفته تلفات ترافیکی بالاترین آمار را از ساعت ۴ تا ۸/۰۰ بعد از ظهر داراست. گرچه آمار فراوانی در آخر هفته در همین ساعات بسیار زیاد است ولی بالاترین سطوح در پنجشنبه از ساعت ۱۱ شب تا ۲ بعد از نیمه شب و در جمعه از نیمه شب تا ۳ بامداد وجود دارد. بالاترین آمار ساعتی کل در ایام آخر هفته از ۱ تا ۲ بامداد واقع می‌شود. در فاصله زمانی غروب تا طلوع (۶ بعد از ظهر تا ۶ بامداد) حدود ۵۴ درصد از تصادفات مرگبار و حدود ۳۶ درصد از کل تصادفات بوقوع می‌پیوندد. هرچند که در این ساعات حجم ترافیک به مقدار قابل‌توجهی کمتر از ساعات روز است. گرچه درصد تصادفات مرگبار فقط اندکی از درصد روزانه بیشتر است ولی نرخ مرگ و میر شبانه بر مبنای وسیله نقلیه - کیلومتر به مراتب بالاتر از نرخ مرگ و میر روزانه است. نرخ مرگ در روز حدود ۴ و نرخ مرگ در شب حدود ۱۰ است. این نرخ مرگ بیش از هر چیز نمایانگر بالاتر بودن خطرات مربوط به رانندگی در ساعات تاریکی است.

تفاوت‌های درون و برون شهری . شکل وقوع تصادفات رانندگی در نواحی شهری و برون شهری تفاوت‌های زیادی دارد. تقریباً یک دوم از کل تصادفات شهری در تقاطعات اتفاق می‌افتند و در

مقابل یک چهارم از تصادفات برون شهری. علاوه بر آن، در نواحی شهری نسبت بسیار بالاتری از تصادفات عابرین وجود دارد. تعداد کل تصادفات در نواحی شهری بالاتر از نواحی برون شهری است ولی شدت تصادفات در نواحی برون شهری بیشتر است. این تفاوت‌ها عمدتاً بواسطه بیشتر بودن تراکم جمعیتی و ثبت وسایل نقلیه و نیز مقررات ترافیکی شدیدتر در نواحی شهری در مقایسه با سرعت بیشتر در نواحی برون شهری است. توزیع آمار مرگ و میرها و جراحات ترافیکی میان نواحی شهری و برون شهری برای سال ۱۹۶۷ در سطح کشوری مطابق زیر بوده است:

	مرگ و میر		جراحات	
ناحیه	تعداد	درصد	تعداد	درصد
شهری	۱۷۵۰۰	٪۳۲	۱۱۵۰۰۰۰	۵۸
برون شهری	۳۷۷۰۰	۶۸	۸۵۰۰۰۰	۴۲
کل	۵۵۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۱۰۰

محل و نوع تصادفات ترافیکی . در جدول ۶ - ۱۷ توزیع انواع تصادفات در نواحی شهری و برون شهری در سطح کشور برای سال ۱۹۶۸ نشان داده شده است.

تصادفات، مشخصه‌های عملکردی ترافیک و جنبه‌های طراحی راه‌ها . به منظور طرح ریزی هرگونه اقدامات اصلاحی در عملکرد و مقررات ترافیکی، آگاهی از روابط میان جنبه‌های طراحی راه، مشخصه‌های عملکردی و وقوع تصادفات ضروری می‌باشد. این آگاهی‌ها، بسیاری از عوامل موثر در تصادفات راه‌ها را مشخص کرده و در نتیجه اقدامات اصلاحی احتمالی که می‌باید برای به حداقل رساندن وقوع تصادفات صورت گیرد نشان می‌دهند.

کنترل دسترسی . مطالعات مقایسه‌ای نرخ تصادف در راه‌های با کنترل دسترسی و راه‌های بدون کنترل دسترسی نشاندهنده اهمیت موقعیت و طراحی در ایمنی ترافیک بوده است. دفتر راههای عمومی (*BPR*) برای چندمین سال اطلاعات ۳۰ ایالت را در رابطه با این موضوع مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که مهمترین عامل در کاهش تصادفات کنترل کامل دسترسی است. نرخ تصادف و مرگ و میر در راه‌های با کنترل کامل دسترسی حدود یک سوم یا یک دوم راه‌های بدون کنترل دسترسی بوده است. در جدول ۷ - ۱۷ نتایج یک مطالعه که روی مقاطع راه‌های بین ایالتی صورت گرفته به منظور مقایسه با نتایج قبل ارائه شده است. گرچه هنگامی که راه‌های بین ایالتی تا حد استانداردهای بین ایالتی ارتقاء می‌یابند دسترسی به آنها بطور کامل کنترل می‌شود. ولی برخی از مقاطعی که در این مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند فاقد دسترسی کامل بوده‌اند. این مقاطع بطور کامل روی ترافیک باز شده بودند ولی در زمان مطالعه ارتقاء کامل نداشته‌اند. در حالیکه تعداد تصادفات در هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر در نواحی شهری بیشتر از نواحی برون شهری است ولی تصادفات برون شهری با توجه به تلفات حاصله دارای شدت بیشتری هستند. در مقایسه نتایج این دو مطالعه، مشاهده می‌شود که بدون در نظر گرفتن میزان کنترل دسترسی، راه‌های بین ایالتی نسبت به سایر راه‌ها دارای نرخ کل تصادف کمتری هستند. این نتایج نشان می‌دهد که سایر جنبه‌های طراحی مانند میانه‌های عریض، شیب‌ها و قوس‌های راحت و فواصل دید طولانی نیز می‌توانند در اقدامات ایمن‌سازی سیستم راه‌های بین ایالتی مفید باشند.

برآوردهای مختلف از تعداد صرفه‌جویی جانی ناشی از سیستم بین ایالتی صورت گرفته است. جدیدترین برآوردی که از میزان صرفه‌جویی جانی به عمل آمده در نخستین سال بهره‌برداری از کل سیستم بین ایالتی ۶۶۰۰۰ کیلومتری (۱۹۷۳ - ۱۹۷۲) تقریباً رقم ۸۰۰۰ نفر را نشان می‌دهد.

در یک مطالعه تصادفات آزاد راهها در مقایسه با سایر راهها که در کالیفرنیا صورت گرفت نرخهای انواع مختلف تصادفات معین شد. نتایج حاصله که در جدول ۸-۱۷ نشان داده شده است نمایانگر تفاوتهای قابل توجه در نرخ تصادفهای از - روبرو تصادفهای واقع در تقاطعها است. مشاهده می‌شود که نرخ کل تصادفات در آزاد راهها کمتر از یک چهارم نرخ مربوط به راههای چهار خطه جدا نشده و کمتر از یک دوم نرخهای مربوط به راههای دو خطه و سه خطه است.

حجم ترافیک . حجم ترافیک تأثیر تعیین کننده‌ای در نرخ تصادف راههای مختلف دارد. براساس مطالعه‌ای که در مورد نرخ تصادفات در راههای دو خطه برون شهری در ارتباط با صورت گرفته مشخص شده است که نرخ تصادفا با افزایش حجم بطور یکنواخت افزایش یافته در حجمهای ۸۰۰۰ تا ۹۰۰۰ وسیله نقلیه در روز به حداکثر خود می‌رسد. در ترافیکهای سنگین‌تر سبقت‌گیری را برای رانندگان دشوار می‌سازد. نتایج فوق در مطالعه دیگری که در مورد رابطه تصادفات ترافیکی با حجم

جدول ۶ - ۱۷ . نوع و محل تصادفات ترافیکی

نوع تصادف	کشته شدگان		مجروحین	
	شهری	برون شهری	شهری	برون شهری
برخورد با:				
عابر پیاده	۶۴۰۰	۳۴۰۰	۱۲۵۰۰۰	۲۵۰۰۰
وسیله نقلیه دیگر	۵۵۰۰	۱۷۰۰۰	۸۲۰۰۰۰	۵۲۰۰۰۰
شی ثابت	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۴۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
دوچرخه	۴۲۰	۳۸۰	۳۲۰۰۰	۶۰۰۰
سایر موارد	۴۸۰	۱۲۲۰	۳۰۰۰	۹۰۰۰
بدون برخورد	۳۵۰۰	۱۴۲۰۰	۱۳۰۰۰۰	۲۷۰۰۰۰

ساعتی در راههای دو خطه کالیفرنیا انجام شد مورد تأیید قرار گرفت در این مطالعه مشخص شد که آمار تصادفات با افزایش حجم افزایش یافته و در حجم ۶۵۰ وسیله نقلیه در ساعت به حداکثر خود می‌رسد.

عناصر مقطع عرضی

عرض خط . مطالعات مربوط به ارتباط عرضی راه با تصادفات ترافیکی نشان داده‌اند که نرخ تصادف با افزایش عرض خط کاهش می‌یابد. در یک مطالعه، نرخ کل تصادفات در هر میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر با افزایش عرض خط از ۵/۳ متر تا ۸/۵ متر از ۳/۴ تا ۱/۵ کاهش یافته است. در یک مطالعه دیگر روی ۳۸۵ کیلومتر از راههایی که از ۶ تا ۷/۳ متر تعریض شده بودند مشخص شد که نرخ تصادف از ۲۱/۵ درصد در راههای کم حجم تا ۴۶/۶ درصد برای راههای پرحجم کاهش داشته است.

شانه‌های راه . مطالعات مربوط به ارتباط عرض شانه با تصادفات ترافیکی نشان داده‌اند که نرخ تصادف با افزایش عرض شانه کاهش می‌یابد. براساس مطالعه دقیقی که در ایالت نیویورک در مورد رابطه عرض شانه با تصادفات صورت گرفته این نتیجه بدست می‌آید که مقاطع عرضی راه با شانه‌های عریض دارای نرخ تصادف بسیار کمتری نسبت به شانه‌های باریک هستند. در یک مطالعه روی کل سیستم راه‌های برون شهری ایالت نیویورک این نتیجه حاصل شد که بطور کلی هرچه شانه راه پهن‌تر باشد، نرخ تصادفات کمتر خواهد بود. این مطلب در مورد تصادفات خسارتی بیشتر صدق می‌نماید.

نتایج بیشتر مطالعاتی که به منظور تعیین تاثیر خط‌کشی لبه روسازی در تصادفات ترافیکی صورت گرفته نشاندهنده کاهش در تصادفات است ولی برخی از مطالعات نیز هیچگونه تغییری

جدول ۷ - ۱۷ . کنترل دسترسی و نرخ تصادفات

ناحیه و کنترل دسترسی	نرخ تصادف *			
	کلیه تصادفات		تلفات	
شهری				
کنترل کامل	۱۱۵	۱۰۰	۱/۲	۱/۵
کنترل نسبی	۳۰۸	۱۶۴	۲/۸	۲/۱
بدون کنترل	۳۲۷	۲۳۶	۲/۵	۳/۴
برون شهری				
کنترل کامل	۹۴	۷۶	۲/۰	۱/۴
کنترل نسبی	۱۳۱	۵۸	۳/۸	۴/۱
بدون کنترل	۲۰۶	۱۰۵	۵/۴	۵/۲

* در ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر

در تصادفات نشان نمی‌دهند.

میانه‌ها . در بررسی تاثیر میانه‌ها روی تصادفات، میانه‌ها به سه نوع اصلی تقسیم شده‌اند:

۱ - نوع قابل عبور شامل میانه‌هایی است که فاقد موانع بوده و وسایل نقلیه می‌توانند به راحتی از آن عبور کنند.

۲ - نوع بازدارنده که بوسیله یک مانع فیزیکی از ورود یا عبور عمومی جلوگیری می‌کند. میانه‌های با جدول‌های قابل عبور و بیشتر میانه‌های خاکی با شیب‌های عرضی ملایم در این گروه قرار دارند.

۳ - نوع غیرقابل عبور به گونه‌ای طراحی می‌گردد که از عبور وسایل نقلیه از یک راه به راه دیگر جلوگیری به عمل آورد. میانه‌های با جدول‌های بلند، میانه‌های خاکی با شیب‌های عرضی تند، میانه‌های با موانع پیوسته مانند تیرک و حفاظ، راه‌های مجزا و میانه‌های با عرض بیش از ۳۰ متر جزء این گروه می‌باشند.

علاوه بر اینها، میانه‌ها بر حسب عرض آنها نیز طبقه‌بندی می‌شوند. میانه‌های باریک آنهایی هستند که دارای عرضی کمتر از ۵ یا ۷ متر هستند. میانه‌های متوسط آنهایی هستند که عرضی بیش از ۷ متر داشته ولی مقدار آن کمتر از ۱۷ یا ۳۰ متر باشد و میانه‌های پهن آنهایی هستند که دارای عرضی بزرگتر از ۲۰ متر می‌باشند.

در مطالعات میانه‌های باریک نتایج عموماً نشان می‌دهند که میانه‌های بازدارنده ایمن‌تر از میانه‌های قابل عبور و غیر قابل عبور هستند. با این وجود، به نظر می‌رسد که در شرایط حجم بالای ترافیکی، میانه‌های غیرقابل عبور با استفاده از حفاظ‌های

جدول ۸ - ۱۷ . نرخ تصادفات در راه‌های برون شهری در ارتباط با استانداردهای طراحی

	دوخطه	سه‌خطه	چهارخطه جدانشده	چهارخطه جداشده *	جداشده با کنترل دسترسی **	آزاد راه
کیلومتر	۱۶۸۱۴	۷۲	۲۶۹	۳۳۸	۱۲۷۸	۶۹۲
	۲۱۹۱	۱۴۲۳۹	۱۵۹۹۷	۱۶۱۳۰	۱۲۲۲۴۰	۱۹۴۴۹
میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر	۱۳۴۴۸	۳۷۳	۱۵۷۰	۱۹۸۶	۵۷۰۰	۴۹۱۰
	نرخ +	نرخ	نرخ	نرخ	نرخ	نرخ
کل تصادفات گزارش شده	۱/۴۸	۱/۶	۲/۵۴	۱/۸۱	۱/۰۵	۰/۶۲
تصادفات وسایل نقلیه منفرد	۰/۵۲	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۱۷
برخورد میان دو وسیله نقلیه یا بیشتر	۰/۹۶	۱/۲۹	۲/۳۰	۱/۵۶	۰/۷۸	۰/۴۵
الف - حد فاصل تقاطعات	۱/۰۶	۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۵۹
۱ - از روبرو	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲۸
۲ - غیر روبرو	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۳۹
ب - در تقاطعات	۰/۰۴۲	۰/۵۷	۱/۵۷	۱/۰۵	۰/۳۸	+ + ۰/۰۲۸

* راه‌های چهارخطه جدا شده دارای یک میانه جداکننده ترافیک مقابل است ولی کنترل دسترسی از کنار راه کنترل نمی‌شود.

** راه‌های جدا شده با کنترل دسترسی، راه‌های چهارخطه‌ای هستند که بغیر از تقاطعات بدون دسترسی می‌باشند. تقاطعات آن همسطح بوده و ورود و خروج ترافیک تحت زوایای بزرگ در حدود ۹۰ درجه صورت می‌گیرد.

+ نرخ عبارت است از تعداد تصادفات در هر میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر

+ + تصادفات در شیبراهه‌ها

صلب یا جداکننده‌ها ایمن‌تر خواهند بود.

بیشتر مطالعات میانه‌های با عرض متوسط حاکی از وجود همبستگی کم یا ناچیز میان عرض میانه و وقوع تصادف بوده است.

نرخ تصادفات ناشی از عبور از میانه با افزایش عرض میانه تا حد ۱۷ متر به سرعت کاهش می‌یابد. در حد فاصل ۱۷ تا ۳۳ متر بر اساس اطلاعات موجود، فقط اندکی کاهش در تصادفات ناشی از عبور از میانه وجود خواهد داشت. با این وجود، لازم است در مورد برداشتن اشیاء خطرناک از ناحیه میانه اقدام شود و شیب‌های عرضی آن ۶ : ۱ یا کمتر در نظر گرفته شود.

مسیربندی

مسیربندی افقی . قوس‌های افقی یکی از عناصر خطرساز در کلیه انواع راه‌ها هستند. قوسهای تیز شیبدار، به مراتب خطرناکتر از قوسهای واقع در سطح می‌باشند. همچنین قوس‌ها ممکن است صحنه تصادف‌های لغزشی واقع گردند. امکانات متعددی برای کاهش تصادف‌خیزی قوسها وجود دارد از جمله، اصلاح بربلندی، قدرت دید در قوس و علائم و خط‌کشی بویژه اضافه نمودن تابلوها و مقادیر سرعت مجاز.

مسیربندی قائم . شیب‌های تند و طولانی و شیب‌های تند در ترکیب با قوس‌های افقی بسیار خطرناک هستند. شیب‌های بزرگتر از ۵ درصد در ترکیب با قوس‌های بیش از ۵ درجه همراه با نرخ تصادف بالاتر و تصادف‌های لغزشی خواهند بود. در قوس‌های عمودی کوژ و کاو در مسافت‌های دید محدود نرخ تصادف بالاتری وجود خواهد داشت.

تقاطع‌های غیر همسطح . مطالعه تقاطع‌های غیرهمسطح نشان داده است که برخی از شکل‌های طراحی، ایمن‌تر از بقیه هستند. با توجه به محل شیب‌راهه نتایج زیر حاصل شده است:

۱ - خروجی شیبراهه‌هایی که خطوط آزاد راه آنها در شیب واقع باشند ایمن‌تر از آنهایی است که خطوط مستقیم آزاد راه آنها در فراز یا در قوس‌های عمودی کوژ یا کاو قرار داشته باشد.

۲ - خطوط کمکی طولانی، برای شیب‌راهه‌ها ایمن‌تر از لچکی‌های کوتاه هستند.

۳ - شیبراهه‌هایی که نقطه الحاق آنها در فاصله‌ای کمتر از ۲۳۰ متر نسبت به یک سازه واقع باشد به مراتب خطرناک‌تر از آنهایی هستند که در فاصله بیشتری قرار گرفته باشند.

در رابطه با ایمنی نسبی شیب‌راهه‌های چپگرد و راستگرد کلیه اطلاعات موجود موید ایمن‌تر بودن شیبراهه راستگرد

هستند.

در یک مطالعه مبسوط در مورد تصادفات یک بزرگراه شهری مشخص شد که بیشترین نوع تصادفات واقع در ورودی شیب‌راهه‌ها برخورد از پهلو بوده و برخوردهای از عقب در مرحله بعد بیشترین فراوانی را داشته‌اند. در خروجی شیب‌راهه‌ها بیشترین نوع تصادف برخورد از عقب بوده و برخورد از پهلو در دومین جایگاه فراوانی قرار داشته است.

تقاطع‌ها . در سال ۱۹۶۸ تقریباً ۳۶ درصد از کل تصادفات گزارش شده، حدود ۳۷ درصد از کل تصادفات مرگبار در نواحی شهری و نزدیک به ۱۵ درصد از تصادفات مرگبار برون شهری در محل تقاطع‌ها بوقوع پیوسته‌اند. تعداد و نوع تصادفات تقاطع‌ها بستگی به نوع تقاطع، جزئیات طراحی، حجم ترافیکی و وسایل کنترل کننده تقاطع دارد.

در برخی از تقاطع‌ها تعداد انشعاب‌ها در نرخ تصادف تاثیر می‌گذارد. اصولاً سه راهه‌ها ایمن‌تر از چهارراهه‌ها می‌باشند. بدون شک این بخاطر تعداد کمتر نقاط احتمالی برخورد در تقاطع‌های سه‌راهه است.

مطالعه راه‌های اصلی، برون شهری، دوخطه و چهارخطه نشان می‌دهد که نرخ درگیری در تصادف با افزایش تعداد تقاطع‌ها در هر کیلومتر افزایش می‌یابد. این نشانگر اهمیت کنترل دسترسی راه‌ها برای تامین ایمنی بیشتر می‌باشد.

نوع کنترل ترافیک در تقاطع‌ها تاثیر قاطعی در فراوانی تصادفات ترافیکی دارد. در تقاطع‌های نسبتاً پر حجم عمدتاً از تابلوهای احتیاط و ایست و چراغ‌های راهنمایی استفاده به عمل می‌آید.

ایست‌های دو سو و چهار سو . نرخ تصادف برای ایست‌های چهارسو هنگامی که حجم خیابان اصلی بزرگتر از ADT ۱۲۰۰۰ باشد افزایش قابل توجهی داشته است و نرخ تصادف در ایست‌های دو سو حاکی از یک روند نزولی با افزایش حجم خیابان اصلی می‌باشد.

چراغ‌های چشمک زن . این مقوله شامل چراغ‌های راهنمای چشمک‌زنی است که در خیابان اصلی به رنگ زرد و در خیابان فرعی به رنگ قرمز علامت می‌دهند. بطور نظری چراغ چشمک‌زن قرمز به معنای توقف کامل و سپس حرکت در صورت ایمنی کامل می‌باشد در حالیکه چراغ چشمک‌زن زرد فقط به معنای احتیاط است. چراغ‌های چشمک‌زن در تسریع ترافیک ارزش چندانی ندارند ولی از نظر ایمنی دارای اهمیت بسیاری هستند.

تابلوهای احتیاط . استفاده از این تابلو به عنوان یک وسیله کنترل ترافیک در این اواخر بیشتر رایج شده است ولی ارزش‌های آن در کاهش فراوانی تصادفات، بخصوص برخوردهای قائم‌الزاویه نیز به اثبات رسیده است.

چراغ‌های راهنمایی . چراغ‌های راهنمایی همواره باعث کاهش تعداد کل تصادفات می‌شوند ولی این کاهش فقط در برخی از انواع تصادفات بوجود می‌آید. بطور کلی بعد از چراغگذاری، برخوردهای قائم‌الزاویه و تصادفات میان وسایل نقلیه واقع در رویکردهای برخورد کننده کاهش می‌یابد در حالیکه برخوردهای از عقب و گردشی میان وسایل نقلیه واقع در یک خیابان افزایش نشان می‌دهند. اینگونه برخوردهای گردشی را می‌توان بوسیله زمانبندی مخصوص گردش، مسیربندی و ممنوعیت‌های گردشی کاهش داد. بطور کلی چراغ‌های راهنمایی، میزان تصادفات واقع در تقاطع‌های پرحجم راکاهش می‌دهند.

گذرگاه‌های راه‌آهن . برای کنترل ترافیک گذرگاه‌های راه‌آهن روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله پرچمداری، چراغ‌های راهنمایی، چراغ‌های چشمک‌زن، تابلو (بویژه تابلوی ضربدری) و دروازه‌هایی که در عرض جاده باز و بسته می‌شوند. میزان کارآیی روش‌های مختلف کنترل این تقاطع‌ها را می‌توان با استفاده مقادیر نسبی نرخ تصادفات آنها نشان داد. بدین منظور معمولاً به تابلوی ضربدری شاخص ۱/۰ نسبت داده می‌شود.

کارآیی نسبی انواع مختلف کنترل

نوع کنترل	شاخص نسبی
تابلوی ضربدری	۱/۰
چراغ‌های راهنمایی	۰/۸ - ۰/۶
چراغ‌های چشمک‌زن	۰/۶ - ۰/۳
دروازه‌های خودکار	۰/۲ - ۰/۱

اشیاء کنار جاده . بدون شک می‌توان راه‌های موجود را از نقطه نظر کاهش اثرات ناشی از برخورد میان اتومبیل‌ها و اشیاء کنار جاده و یا حتی جلوگیری کامل از برخورد بهبود بخشید، تصادف‌های یک - وسیله‌ای مانند برخورد یک اتومبیل با یک پایه پل، یک تیر چراغ برق یا سایر تاسیسات کنار جاده‌ای را می‌توان تا حد ۳۲/۳ درصد از کل تصادف‌های جاده‌ها به حساب

آورد. بعلاوه اینگونه تصادف‌های یک - وسیله‌ای معمولاً شدیدتر از سایر انواع تصادف‌ها هستند: یکی بررسی‌های شورای ملی ایمنی نشان داده است که ۷/۵ درصد از کل تصادف‌های شهری مربوط به تصادف‌های تک - اتومبیل بوده و ۲۱/۳ درصد از کشته‌شدگان به آن اختصاص داشته است. در نواحی برون شهری این ارقام به ۳۲/۳ درصد از کل تصادفات و ۳۹/۶ درصد از کشته‌شدگان افزایش می‌یابد.

نرده‌ها، حفاظ‌ها، دیوارها و سایر سازه‌های کنار جاده‌ای به منظور به حداقل رساندن آسیب وارد به رانندگان و خسارات وارد به وسایل نقلیه در هنگام انحراف وسایل نقلیه از مسیر راه مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی از کاربرد آنها حفاظت از یک تیر چراغ برق، پایه تابلو و یا پایه پل در مقابل برخورد اتومبیل‌ها نیست و دقیقاً برعکس آن مورد نظر می‌باشد.

در گذشته این گونه وسایل حفاظت از تاسیسات کنار جاده‌ای، در مقابل وسایل نقلیه منحرف شده، به قیمت از بین رفتن وسیله نقلیه، راننده و مسافران به شدت مقاومت می‌کردند. این تاسیسات به هیچ وجه نباید به گونه‌ای احداث شوند که نهایتاً خطرناک‌تر از شرایط اولیه باشند. البته طراحی راه‌ها نیز می‌باید به گونه‌ای باشد که نیاز به چنین وسایل حفاظتی به حداقل برسد.

ایمنی عابرین پیاده و بچه‌های مدرسه‌ای . تقریباً ۱۸ درصد از کل تلفات عابرین پیاده هستند و کاهش این وضعیت نیاز به تلاش و تحقیق بسیاری دارد. وسایل کنترلی و مقررات ویژه‌ای که امروزه برای عابرین پیاده بکار می‌روند عبارتند از:

۱ - گذرگاه‌های عرضی - خط‌کشی گذرگاه‌های عرضی از نظر ایمنی دارای ارزش زیادی است. در محل‌های خط‌کشی شده معمولاً رانندگان حق تقدم عبور عابرین پیاده را بیشتر رعایت می‌کنند.

۲ - پیاده روها - بخش مهمی از توسعه شهری را تشکیل داده و در بسیاری از قسمت‌های راه‌های برون شهری نیز اهمیت روزافزونی می‌یابند.

۳ - زمان مخصوص عابرین پیاده - در تقاطع‌های چراغداری که حجم عابرین عرضی و وسایل نقلیه گردش‌کننده زیاد باشد از زمان مخصوص عبور عابرین پیاده به منظور بالا بردن ایمنی آنها استفاده می‌شود. با این وجود، استفاده از زمان مخصوص عابرین پیاده در هر شرایطی مناسب نمی‌باشد. زیرا عابرین می‌باید زمان طولانی‌تری به انتظار بایستند و تامین دید کافی عابرین نسبت به چراغ ضروری است.

۴ - نرده‌های حفاظ - از این نرده‌ها به منظور جلوگیری از عبور عابرین در خیابان‌های اصلی در نقاطی که عبور آنها خطرناک بوده و یا باعث ایجاد تاخیر بر وسایل نقلیه می‌گردد استفاده می‌شود.

۵ - حفاظت بچه‌های مدرسه‌ای - مطالعات نشان داده‌اند که از میان روش‌های مختلف حفاظتی در گذرگاه‌های مدارس، موثرترین روش، استفاده از افسران پلیس و نگهبان عبور شاگردان مدارس است.

سرعت . در یک مطالعه در سطح ملی، تحلیل جامعی از سرعت و رابطه آن با تصادفات در راه‌های برون شهری بعمل آمده است. این مطالعه نشان می‌دهد که سرعت‌های نسبتاً بالا ایمن‌تر از سرعت‌های پایین و یا سرعت‌های بسیار بالا هستند. نتایج حاصله بیانگر این مطلب است که نرخ دیگری در تصادفات در هنگام روز (تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادفات در هر ۱۰۰ میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر) در محدوده سرعت‌های ۹۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت به حداقل خود می‌رسد. با این وجود، شدت تصادفات در سرعت‌های بالاتر بخصوص بعد از ۹۵ کیلومتر در ساعت به سرعت افزایش می‌یابد. نمی‌توان این نتایج را به معنای اینکه یک سرعت مفروض در کلیه شرایط ایمن‌تر از یک سرعت دیگر است تعبیر نمود. باید سرعت به شرایط راه و ترافیک آن ارتباط داده شود و پایین‌ترین سرعت‌ها می‌توانند در برخی شرایط نامطلوب ناامن باشند و همینطور سرعت‌های نسبتاً بالا تحت بهترین شرایط. دفتر راه‌های عمومی (*BPR*) مطالعه فوق را ادامه داده تا جزئیات بیشتری از رابطه میان درگیری در تصادف و سرعت در راه‌های برون شهری دوخطه و چهارخطه بدست آید.

در طول این سالها مهندسان ترافیک، اصول راهنمای زیر را برای منطقه‌بندی سرعت تدوین نموده‌اند:

۱ - رانندگان سرعت خود را بیشتر بر اساس شرایط راه و ترافیک تعیین می‌کنند تا مقررات سرعت.

۲ - موثر بودن محدوده‌های سرعت منوط به اجرایی بودن آنهاست. این بدان معناست که یک محدوده سرعت می‌باید بگونه‌ای باشد که اکثریت رانندگان آن را بطور داوطلبانه رعایت کنند و بقیه را بتوان مجبور به رعایت کرد.

۳ - هر محدوده سرعت فقط برای شرایط راه و ترافیکی که وضع شده است منطقی می‌باشد.

۴ - محدوده‌های سرعتی که بر اساس مطالعات سرعت‌های حاکم و شرایط راه و ترافیک بدست می‌آیند دامنه سرعت‌ها

را کاهش می‌دهند.

۵ - رابطه تصادفات با دامنه سرعت از بالاترین تا پایین‌ترین حد به مراتب بیشتر با سرعت میانگین

روشنایی . نرخ تصادفات مرگبار در شب هنگام بیش از ۲/۵ برابر نرخ روز هنگام است. تصادفات شبانه را می‌توان به میزان قابل توجهی بوسیله روشن کردن راه‌ها و خیابان‌ها کاهش داد. تجربیات موجود نشان می‌دهد که بیشترین بازده از تامین یک مقدار حداقل روشنایی بدست می‌آید که آن عبارت است از مقداری از روشنایی که کاهش قابل توجهی در تصادفات شبانه بوجود می‌آورد. هر چند که تأمین مقادیر بیشتر روشنایی نسبت به این حداقل، کاهش ناچیزی ایجاد خواهد کرد.

متغیرهای انسانی در تصادفات ترافیکی . آزمایش‌های روانشناسی بسیاری در زمینه کاهش تصادفات و آزمایشات رانندگی بعمل آمده است. آگاهی از علل ارتکاب اعمال خطرناک توسط رانندگان در تدوین مقررات و اقدامات اصلاحی بسیار سودمند خواهد بود. اطلاعات بیشتری در مورد خصوصیات رانندگان و نیز آموزش‌های جامع رانندگان مورد نیاز می‌باشد.

هزینه‌های تصادفات

برای تحلیل و ارزیابی سیستم راه‌ها از نقطه نظر خسارات ناشی از تصادفات ترافیکی، اطلاعات دقیق در مورد هزینه‌های تصادفات وسایل نقلیه موتوری بسیار ضروری است. هزینه‌های تصادف یکی از مفیدترین شاخص‌های اهمیت جلوگیری از تصادفات می‌باشد. با این وجود، تعیین هزینه‌های تصادف کاری بس دشوار است زیرا تقویم ریالی عوامل متنوع آن مشکل می‌باشد. در مورد هزینه‌های غیرمستقیم تصادفات نیز اختلاف نظرهای بسیاری وجود دارد. در نتیجه، تاکنون هزینه‌های تصادف بطور وسیع در حل مسائل طراحی و کنترل ترافیک راه‌ها مورد استفاده قرار نگرفته است و مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. خسارات جانی و مالی شدید ناشی از تصادفات ترافیکی راه‌ها نیاز به تعیین هزینه‌های دقیق تصادفات را افزایش داده است.

برای بدست آوردن یک رقم تقریبی از کل خسارات و ضررهای اقتصادی ناشی از تصادفات رانندگی می‌توان از روش‌های پیشنهادی شورای ملی ایمنی استفاده نمود. این روش‌ها مبتنی بر هزینه‌های قابل محاسبه تصادفات وسایل نقلیه موتوری شامل ضرر درآمدی، مخارج درمانی، هزینه‌های بیمه و خسارات مالی است.

ضرر درآمدی شامل ضرر مالی ناشی از ناتوانی موقت کاری، دستمزد پایین‌تر بعد از مراجعت به کار به علت عدم کارآیی نیمه دائمی و ارزش فعلی درآمدهای آتی در صورت از کار افتادگی کامل و یا مرگ، هزینه‌های درمانی شامل مخارج پزشکی و بیمارستانی می‌شود. هزینه‌های اجرایی بیمه شامل کلیه مخارج اجرایی و قانونی برای شرکت‌های بیمه و بیمه‌گذار است.

در سال ۱۹۶۸ طبق برآورد شورای ملی ایمنی (*NSC*) هزینه‌های تصادفات وسایل نقلیه موتوری در ایالات متحده بالغ بر ۱۱/۳ میلیون دلار بوده است. میانگین هزینه در هر مرگ برای کل تصادفات (مرگبار، جراحتی و خسارتی) برابر ۲۰۴۰۰۰ دلار بدست آمده است. این رقم در نواحی شهری برابر ۴۶۰،۰۰۰ دلار و در نواحی برون شهری ۹۰۰۰۰ دلار است.

در سال‌های اخیر در چند ایالت مطالعات نسبتاً جامعی روی هزینه‌های تصادفات صورت گرفته است. بیشتر هزینه‌های تصادف بر اساس شدت (مرگبار، جراحتی و خسارتی) نوع ناحیه (شهری و برون شهری) و نوع راه (بزرگراه و غیربزرگراه) طبقه‌بندی شده‌اند. مطالعات اصلی در ماساچوست، یوتا، ایلی‌نویز، واشنگتن و کالیفرنیا انجام شده است. مطالعه ایلی‌نویز[۵] از این جهت حائز اهمیت است که هزینه‌های گزارش نشده تصادفات نیز در نظر گرفته شده‌اند. مطالعه کالیفرنیا تا حد زیادی مبتنی بر نتایج مطالعه ایلی‌نویز است. تفاوت‌های بسیاری میان میانگین هزینه‌های تصادف در این دو مطالعه به چشم می‌خورد. علت این امر در نحوه برخورد آنها با هزینه‌های شخصی است و نه تفاوت‌های جغرافیایی.

هزینه‌های واحد بر حسب شدت طبق برآورد *NSC* برابر است با:

مرگ	۳۶۰۰۰ دلار
جراحت بدنی	۲۰۰۰ دلار
خسارت مالی	۳۴۰ دلار

در مطالعه واشنگتن برای هر جراحت کشنده یک هزینه ۷۰۰۰۰ دلاری و برای هر جراحت غیرکشنده ۴۰،۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده است.

تحلیل ویژه

پرونده نقاط تصادف . آمار مفصل تصادفات وسایل نقلیه موتوری بر حسب محل وقوع می‌بایست در پرونده‌های محل‌های تصادف نگهداری شود. گزارش‌های تصادف بر حسب نام تقاطع یا خیابان بطور الفبایی بایگانی می‌شوند. برخی از

مسئولان ترجیح می‌دهند که اصل گزارشات برحسب تاریخ بایگانی شود و با استفاده از کارت‌های مرجع یک پرونده محل تصادف ایجاد گردد. گروه‌بندی گزارش‌ها برحسب محل وقوع، فواید بسیاری برای مهندسان و متصدیان امور به همراه دارد.

گزارش‌های تصادفات واقع در تقاطع‌ها مستقیماً برحسب تقدم الفبایی عنوان خیابان اصلی تقاطع بایگانی شده و در پشت کارت اندیکس مربوط به خیابان ثانویه ثبت می‌شود. گزارش‌های مربوط به وقوع تصادف در حد فاصل تقاطع‌ها تحت عنوان خیابانی که در آن تصادف واقع شده بایگانی می‌گردند. در صورتی که فاصله میان دو تقاطع طولانی بوده و در این فاصله چندین تصادف واقع شده باشد. از یک کارت ثانویه برای تقسیم خیابان به چند قطعه استفاده می‌شود.

در مورد راه‌های برون شهری و راه‌های با کنترل دسترسی، معمولاً گزارش‌ها برحسب مسیر و قطعه که می‌تواند شامل یک یا چند تقاطع باشد و بر اساس فراوانی تصادفات بایگانی می‌شوند.

در زیر به برخی از کاربردهای پرونده محل وقوع اشاره می‌شود:

۱ - این پرونده اطلاعات کامل و سریعی را در مورد تصادفات مربوط به هر محل بدست می‌دهد.

۲ - با استفاده از این پرونده خطرناک‌ترین تقاطع‌ها همراه با جزئیات دقیق تصادف هریک مشخص می‌شود.

۳ - این پرونده کمک شایانی در تهیه نمودارهای برخورد تصادفات می‌نماید.

۴ - به‌کمک این پرونده می‌توان برنامه‌های اجرایی و مقررات را تهیه نمود.

نقشه‌های نقطه‌ای تصادف . (نقشه نقطه‌ای محل تصادف) - این نقشه با استفاده از سوزن یا علائم رنگی، یک آمار بصری از محل و تعداد تصادفات ترافیکی بدست می‌دهد. با مطالعه این نقشه می‌توان در یک نگاه محل‌هایی را که دارای بالاترین فراوانی تصادف هستند، پیدا نمود. این نکته حائز اهمیت است که باید حتی‌الامکان از انواع سوزن یا علائم کمتری استفاده شود تا تعبیر بصری نقشه به راحتی و سرعت امکان‌پذیر گردد. در جدول ۹ - ۱۷ علائم و طبقه‌بندی‌های رایج نشان داده شده‌اند.

برای نمایش تصادفات شهری استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۷۰۰۰ - ۵۰۰۰ : ۱ و نشان دادن اسامی خیابان‌ها توصیه می‌شود. در نواحی برون شهری با حجم سفر زیاد از مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ تا ۲۵۰۰۰ : ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۹ - ۱۷ .

نوع تصادف	علائم: تصادف مرگبار	علائم: تصادف غیرمرگبار
وسیله نقلیه با عابر پیاده	◍	◍
وسیله نقلیه با وسیله نقلیه	○	○

معمولاً یک آمار یکساله بر روی نقشه آورده می‌شود. بهتر است دو نقشه نقطه‌ای، یکی مربوط به سال جاری و دیگری مربوط به سال گذشته بطور همزمان ارائه شوند تا امکان مقایسه فراهم شود. قبل از تغییر محل سوزن‌ها (در صورتی که از سوزن استفاده شود) لازم است از نقشه عکسبرداری شده و در بایگانی نگهداری گردد.

(نقشه نقطه‌ای تصادفات عابرین پیاده) - این نقشه به منظور نشان دادن محل وقوع تصادف‌های شبانه و روزانه عابرین پیاده بکار می‌رود و در آن از دو نوع سوزن یا علامت برای تفکیک تصادف‌های روزانه و شبانه استفاده می‌گردد.

(نقشه نقطه‌ای محل وقوع تصادف‌های مرگبار) - این نقشه به منظور نمایش تلفات ترافیکی برای اهداف تبلیغی و آموزشی بکار می‌رود. لازم است میان تلفات عابرین و سرنشینان وسایل نقلیه تمایز وجود داشته باشد.

به همین ترتیب می‌توان تصادفات مربوط به رانندگان مست را به نمایش درآورد.

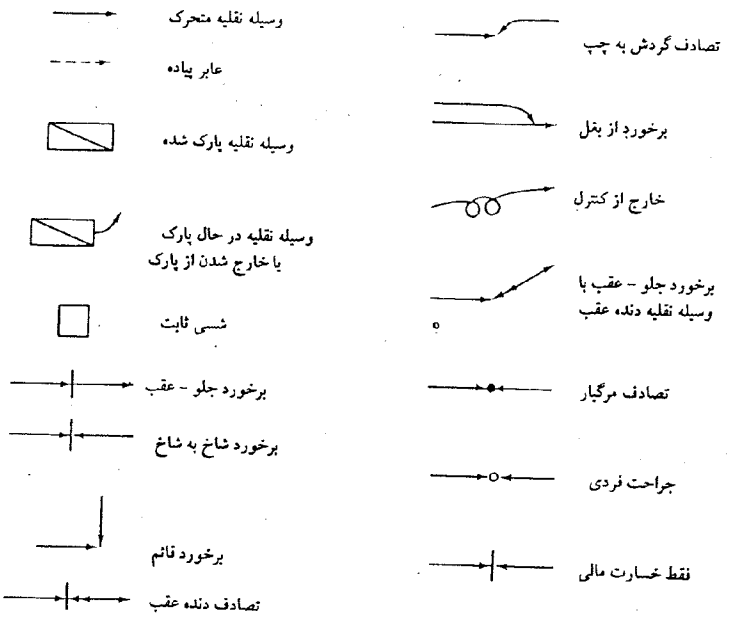
(نقشه نقطه‌ای محل سکونت عابرین و رانندگان) - از این نقشه‌به منظور مشخص کردن محل سکونت رانندگان و عابرین درگیر در تصادفات استفاده می‌شود. دو نوع سوزن یا علامت مختلف برای تمایز رانندگان و عابرین پیاده لازم می‌باشد. این نقشه نمایانگر مقاطعی از اجتماع است که در آنها آموزش‌های ایمنی می‌تواند بالاترین کارایی را داشته باشد.

(نقشه نقطه‌ای محل وقوع تصادف‌های شبانه) - این نقشه برای‌نمایش تصادف‌های شبانه به صورت مجزا بکار می‌رود. می‌توان با استفاده از آن نیاز به اصلاحات روشنایی خیابان‌ها، مزاحمت نور تابلوهای تبلیغاتی برای وسایل کنترل ترافیک و یا قابل رویت نبودن تابلوها و علائم را معین کرد.

(نقشه نقطه‌ای محل تصادفات کودکان) - این نقشه به منظورنشان دادن ارتباط میان تصادفات کودکان با موقعیت مدارس، مراکز آموزشی و زمین‌های بازی بکار می‌رود.

(کاربردهای نقشه‌های نقطه‌ای)

۱ - نقشه‌های نقطه‌ای به عنوان یک راهنما برای مهندسی و کنترل ترافیک در تعیین خطرناک‌ترین نقاط و خیابان‌ها



جدول ۱۰-۱۷ . علائم نمودار برخورد

۲ - کاربرد دیگر این نقشه‌ها به عنوان یک وسیله کمک آموزشی برای عامه مردم است.

۳ - نقشه‌های نقطه‌ای به عنوان ابزاری جهت طراحی و انجام اصلاحات با تکیه بر مکان، زمان و سایر خصوصیات تصادفات است.

۴ - نهایتاً از آنها جهت تعیین نیازهای روشنایی خیابان‌ها بر اساس تصادف‌های شبانه استفاده می‌شود.

نمودار برخورد . یک نمودار برخورد نقشه‌ای است که نشان‌دهنده ماهیت تصادف و مسیر تقریبی وسایل نقلیه و عابرین پیاده درگیر در تصادف می‌باشد. نمودارهای برخورد معمولاً بدون مقیاس کشیده می‌شوند و تصادف را به صورت شماتیک نشان می‌دهند. مسیر هریک از وسایل نقلیه درگیر با خط توپر و مسیر عابرین پیاده با خط‌چین نمایش داده می‌شود. برخی اوقات مسیرهای وسایل نقلیه در قبل و بعد از برخورد با دو نوع خط متفاوت نشان داده می‌شوند. این نمودار برای مشخص کردن برخورد ثانویه سودمند است.

در روی یکی از پیکانهایی که نماینده هر تصادف هستند می‌توان تاریخ و زمان برخورد را بیان کرد. وضعیت جوی، شرایط جاده‌ای و شرایط غیرعادی راننده یا عابر پیاده فقط و فقط در صورتی که غیرعادی باشند و اهمیت خاص در وقوع تصادف داشته باشند می‌باید مشخص گردند. ماهیت تصادف با علائم مختلفی که تا حدی نوع و علت تصادف را آشکار می‌کنند بیان می‌شود. در جدول ۱۰ - ۱۷ علائم مختلف نمودار برخورد نشان داده شده‌اند.

نمودارهای برخورد به منظور مطالعه الگوی تصادف، تعیین اقدامات اصلاحی مورد نیاز (به همراه نمودارهای جریان ترافیک و شرایط ترافیکی) و نتایج حاصل از آنها بکار می‌آیند. هنگامی که نمودارهای همدوره قبل و بعد از اقدام مقایسه شوند انواعی از تصادف که حذف شده یا ادامه یافته و یا جدیداً بوجود آمده مشخص می‌گردند.

نمودار شرایط . یک نمودار شرایط، نقشه مقیاس داری است که نمایانگر شرایط فیزیکی مهمی است که در محل می‌باید مورد مطالعه قرار گیرد و از آن برای تفسیر الگوهای تصادف استفاده می‌شود. جنبه‌های مهم فیزیکی که در حرکت ترافیک موثر هستند در آن نشان داده می‌شوند. مشاهدات و اندازه‌گیری‌هایی که می‌باید در تهیه یک نمودار شرایط در نظر گرفته شوند

عبارتند از:

۱ - عرض خیابان یا راه (جدول تا جدول)، عرض شانه در صورت وجود و شعاع گردش

۲ - حریم راه‌ها، پیاده‌روها و سواره‌روها

۳ - موانع دید در گوشه‌های تقاطعات و موانع فیزیکی در راه‌ها

۴ - محل، اندازه، نوع و راهنمای کلیه تابلوها، خط‌کشی خیابان‌ها و جزیره‌های ترافیکی

۵ - محل، نوع و قابلیت رویت و زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی

۶ - نوع، شیب و شرایط روسازی راه

۷ - وضعیت و نوع روشنایی خیابان‌ها

۸ - نوع کاربری املاک مجاور

۹ - مقررات پارکینگ