

به نام خدا

روسازی راه

مدرس : مجید ذبیحی طاری

منابع و مراجع

- طراحی ساختار روسازی راه- دکتر تن زاده
- مصالح، طراحی و ساخت روسازی آسفالت، دکتر فرزین فاروقی
- تحلیل و طراحی روسازی، دکتر طاهرخانی و احسان صولتیان
- روسازی راه، دکتر امیر محمد طباطبایی
- طرح اختلاط روسازی ممتاز، موسسه قیر و آسفالت ایران، وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۱
- سرائی پور م، ۱۳۷۷، "آسفالت"، تهران، دهخدا
- معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری، "نشریه شماره ۲۳۴، آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مرکز مدارک علمی و انتشارات
- طباطبایی ا، ۱۳۸۴، "روسازی راه و فرودگاه"، تهران، دانشگاه تهران
- حاج محمد رضایی ع، ۱۳۷۷، "مجموعه کاربردی راه و آسفالت"، تهران، آدنا
- محمود عامری و سید فرهاد افتخارزاده ، "مدیریت روسازی برای راهها ، فرودگاهها و پارکینگها " ، چاپ اول ، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران ، ۱۳۷۸
- "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots", M. Y. Sahin, second edition, springer science+Business Media, LLC, 2005
- "pavement analysis and design", young huang, 2003
- "asphalt pavement", Patrik lavin, 2003

مقدمه

شبکه راهها بخش قابل توجهی از ثروت های ملی هر کشور را تشکیل می دهد یکی از معیارهای سنجش توسعه کشورها میزان راههای روسازی شده آن می باشد.

لایه ها و رویه های آسفالتی که محافظ جسم راه و از عوامل اصلی تعیین کننده آمد و شد راحت و رضایت بخش استفاده کنندگان از راه می باشد، بخش مهمی از سازه روسازی را تشکیل می دهد. همانند هرسازه مهندسی روسازی راه نیز بایستی مقاومت و دوام لازم را در تمام عمر خود داشته باشد و سطحی هموار را در تمام شرایط محیطی تامین می نماید بنابراین روسازی به عنوان یک ثروت ملی باید به طور مناسب طراحی، اجرا و مدیریت گردد.

• مؤسسه ها

برخی از مؤسسات تحقیقاتی بزرگ دنیا در زمینه روسازی

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Official.

F H W A: Federal Highway Administration.

N C H R P: National Cooperative Highway Research Program.

• هدف از روسازی

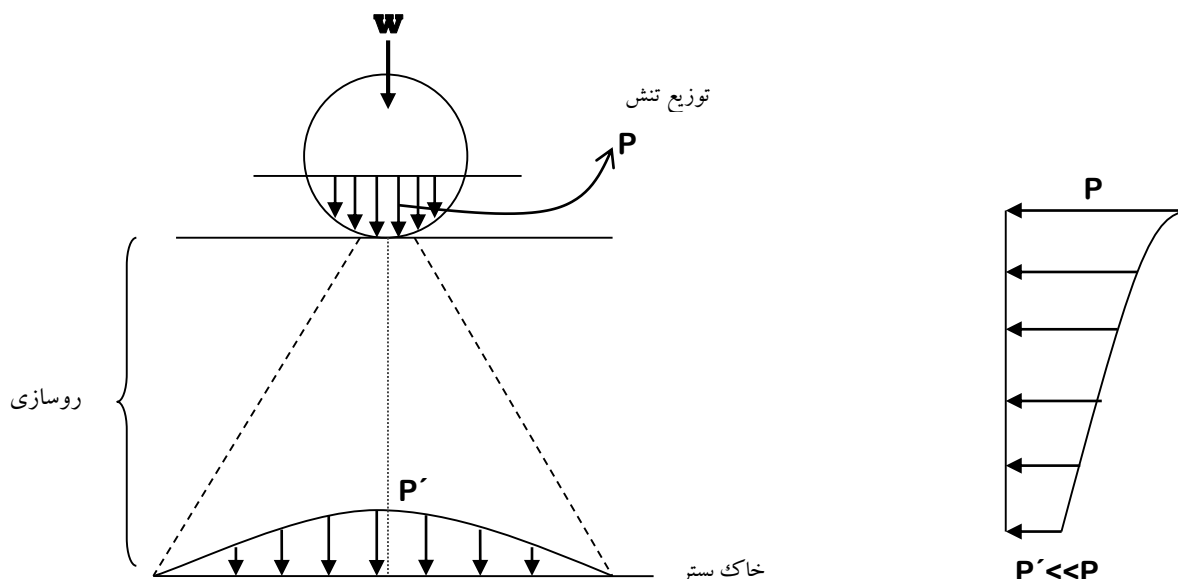
الف- ایجاد یک سطح صاف و در عین حال با ایمنی کافی که قابلیت تحمل فشار ناشی از چرخ‌های وسایل نقلیه را داشته باشد.

ب - در همه شرایط جوی و آب و هوایی پایداریش را از دست ندهد.

زمین طبیعی در حالت طبیعی معمولاً مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ‌های وسایل سنگین و هواپیما را ندارد برای جلوگیری از شکست برشی خاک و به وجود آمدن تغییر شکل‌های دائمی بیش از اندازه در آن باید از شدت تنش‌های فشاری قائم بر روی خاک کاسته شود که این عمل با قرار دادن لایه‌ای از مصالح مرغوب و با مقاومت زیاد بر روی خاک انجام می‌شود. جنس و ضخامت این لایه که به روسازی موسوم است باید طوری باشد که ضمن آن که شدت تنش‌های فشاری قائم را تا میزان قابل تحمل برای خاک بستر کاهش می‌دهد، خود نیز قادر به تحمل بارهای وارد بر آن باشد.

• نحوه توزیع تنش در روسازی

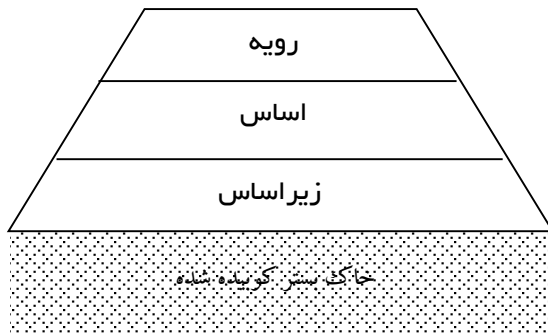
شدت تنش‌های فشاری قائمی که در اثر بارگذاری در یک توده خاک بوجود می‌آید در نقاط مختلف آن متفاوت است. شدت این تنش در نقاط واقع در زیر سطح بارگذاری شده حداکثر است و با ازدیاد فاصله این نقاط از سطح بارگذاری شده از شدت تنش‌های فشاری کاسته می‌شود مطابق شکل زیر:



به منظور اقتصادی شدن پروژه نحوه قرارگیری لایه‌های روسازی بایستی به ترتیبی باشد که لایه‌های با مصالح مقاومتر و مرغوبتر در لایه‌های بالاتر روسازی قرار گیرند و از مصالح با مرغوبیت و مقاومت کمتر در لایه‌های زیرین که میزان تنش‌ها کمتر است استفاده شود.

• لایه های روسازی

روسازی لایه های با آمد و شد زیاد، از سه لایه به نامهای رویه، اساس و زیراساس که بر روی لایه متراکم شده خاک بستر قرار می گیرند، تشکیل می شوند.



خاک بستر (Sub grade)

لایه متراکم شده خاک بستر روسازی لایه ای است از خاک طبیعی که از مواد آلی و مضر پاک شده و کوبیده شده تا به تراکم مناسب رسیده باشد.

لایه زیر اساس (Sub base)

لایه ای است از مصالح نسبتاً مرغوب که بین لایه اساس و خاک بستر روسازی قرار می گیرند.

لایه زیر اساس معمولاً از مصالح سنگ شکسته یا شن و ماسه ساخته می شود.

عملکرد زیر اساس:

۱. تعدیل فشارهای وارده از طرف لایه های بالا بر خاک بستر
۲. آبی که از طرفین وارد روسازی می شود را با انجام زهکشی دفع می نماید
۳. کاهش هزینه ساخت روسازی
۴. در زمستان آب های موجود در لایه های زیرین در اثر موئینگی به بالا می آیند و یخ می زنند، با افزایش ضخامت روسازی، مقاومت روسازی در برابر یخبندان افزایش می یابد
۵. ایجاد سطحی هموار برای رفت و آمد ماشین آلات به هنگام ساخت.

لایه اساس (base):

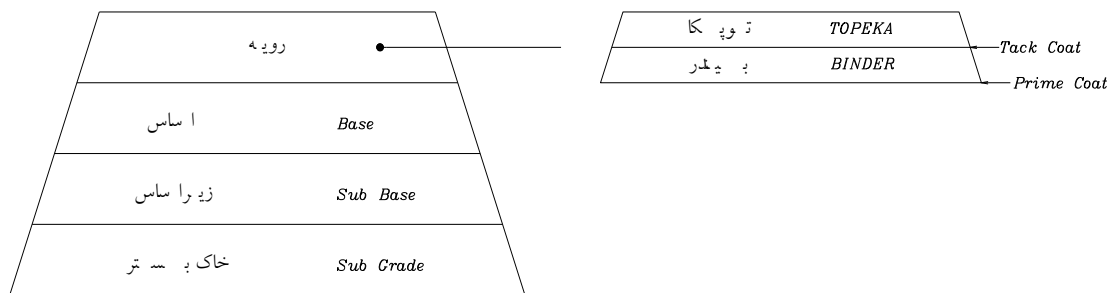
لایه اساس در تمام مقاطع روسازی اجباری است. این لایه یا بر روی بستر و یا روی لایه زیر اساس قرار می گیرد. مصالح لایه

اساس مصالح شن و ماسه ای یا سنگ شکسته با کیفیت بسیار خوب است که این مصالح بسیار تمیز بوده و نسبت مواد زائد در

این مصالح کم است. در مواقعی که مصالح مرغوب شکسته در دسترس نباشد یا اصولاً بکار بردن حجم زیادی از مصالح اقتصادی نباشد، از مواد تقویت کننده استفاده می شود تا اساس تثبیت شده داشته باشیم. تثبیت می تواند با موادی نظیر آهک، سیمان و یا قیر انجام شود.

رویه (Surface course):

این لایه چون دقیقاً زیر چرخ وسیله نقلیه قرار می گیرد باید مرغوب ترین مصالح را داشته باشد. رویه های آسفالتی با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر معمولاً در دو لایه ساخته می شود. لایه زیرین که لایه آستر یا بیندر نام دارد درصد قیر کم تری از لایه رویی که توپکا نامیده می شود دارد. بین لایه آستر و رویه از یک لایه اندود قیری که اندود سطحی (Tack Coat) نام دارد استفاده می شود. هدف از ایجاد آن چسبندگی و پیوستگی بین دو لایه آسفالتی است. بین لایه های رویه آسفالتی و اساس از یک اندود قیری که اندود نفوذی (Primecoat) نام دارد استفاده می شود که هدف از آن اولاً ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین لایه آسفالتی با یک لایه غیر آسفالتی و ثانیاً غیر قابل نفوذ کردن اساس غیر آسفالتی در برابر آب است.



عوامل موثر در طرح روسازی :

- ۱- ویژگی های خاک بستر
- ۲- مصالح روسازی
- ۳- شرایط جوی
- ۴- وسایل نقلیه
- ۵- مخارج
- ۶- نوع روسازی

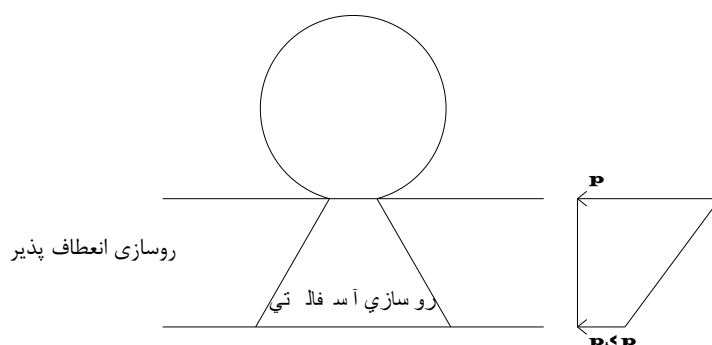
انواع روسازی :

۱- روسازی انعطاف پذیر (Flexible Pavement)

۲- روسازی صلب (Rigid Pavement)

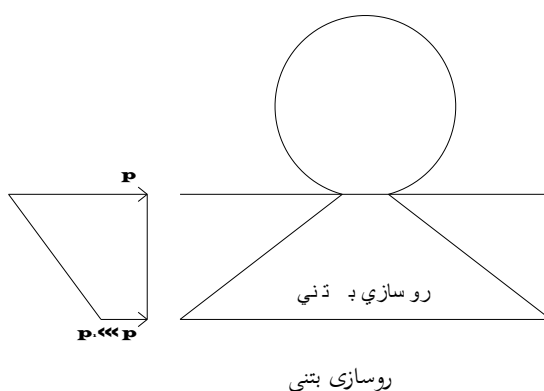
۱- روسازی انعطاف پذیر (آسفالتی)

در این نوع روسازی بارهای خارجی بدون گسترش زیاد در یک سطح نسبتاً کوچک به بستر منتقل میشود، بنابراین خاک بستر نقش مهمی دارد و باید مقاومت مناسبی داشته باشد. طراحی این روسازی بر اساس سیستم چند لایه ای نیمه بی نهایت انجام می شود. توزیع تنش در این نوع روسازی مطابق شکل زیر است :



۲- روسازی های صلب (بتنی)

در این نوع روسازی از یک یا چند لایه با سختی زیاد استفاده می شود. این نوع روسازی ها بارهای خارجی را بدون تغییر شکل زیاد بتن در یک سطح نسبتاً وسیع به خاک بستر منتقل می نماید. نحوه توزیع تنش ها به صورت شکل زیر است :



مقایسه روسازی بتنی و آسفالتی

الف- مزایای روسازی بتنی :

۱- در مناطقی که مقاومت بستر کم و ترافیک سنگین باشد ، مناسب است.

۲- هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارد.

۳- عمر طولانی تری دارد .

۴- مقاومت در برابر لغزندگی آن بیشتر است.

۵- دید بهتر در شب

۶- مناسب برای مناطق با محدودیت ضخامت

ب- معایب روسازی بتنی :

۱- هزینه اولیه خیلی بالاتر نسبت به آسفالت

۲- عملیات ترمیم در این نوع روسازی نسبت به روسازی آسفالتی مشکل تر است.

۳- وجود درز در آن ضعف محسوب می شود.

۴- تخریب بتن در اثر تغییرات درجه حرارت روزانه

فصل دوم : خاک بستر

بررسی های ژئوتکنیکی و نمونه برداری خاک

خاک بستر روسازی بایستی از لحاظ مقاومت و قابلیت تراکم مورد بررسی قرار گیرد. مقاومت و قابلیت تراکم خاک بستگی به سایر مشخصات اصلی خاک از قبیل جنس، میزان رطوبت، دانه بندی، خاصیت خمیری، وزن مخصوص و ... دارد. بررسی های ژئوتکنیکی به منظور تامین اهداف زیر صورت می گیرد:

۱- تعیین جنس و مشخصات خاک های موجود

۲- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای بکار بردن در خاکریزها و لایه های روسازی

۳- تعیین نوع مواد تثبیت کننده مناسب برای خاک های سست

۴- تعیین محل و عمق آب های زیرزمینی موجود در مسیر راه

بررسی های ژئوتکنیکی توسط نمونه برداری در فواصل بین ۱۵ تا ۱۵۰ متر در کناره ها و وسط مسیر از طریق گمانه زنی صورت می گیرد. این گمانه ها تا عمق ۲ متر می باشد.

نکته: تعیین سطح آبهای زیر زمین به منظور بررسی امکان وقوع یخ زدگی در فصول سرد سال صورت می گیرد. سه عامل باید بطور همزمان اتفاق بیفتد تا بستر روسازی دچار یخ زدگی شود.

الف - عمق آب های زیرزمینی در فاصله کمتر از ۳ متر باشد.

ب- خاک بستر مصالح لای دار باشد. خاکهای لای دار بخاطر خواص موئینگی آب را از پایین به بالا می کشند.

ج- درجه حرارت در خاک بستر به زیر صفر برسد.

دانه بندی :

پس از اینکه نمونه گیری صورت گرفت، خاک و دانه بندی آن را مورد بررسی قرار می دهیم. در آیین نامه های مختلف اجزای خاک به گونه های متفاوتی نام گذاری شده است که روش نام گذاری در راهسازی عبارتند از:

۱- روش آشتو ۲- روش یونیفاید ۳- BCEOM

که روش آشتو اختصاصا برای راهسازی است. در این روش ذرات خاک براساس اندازه های آن به پنج دسته تقسیم می شوند:

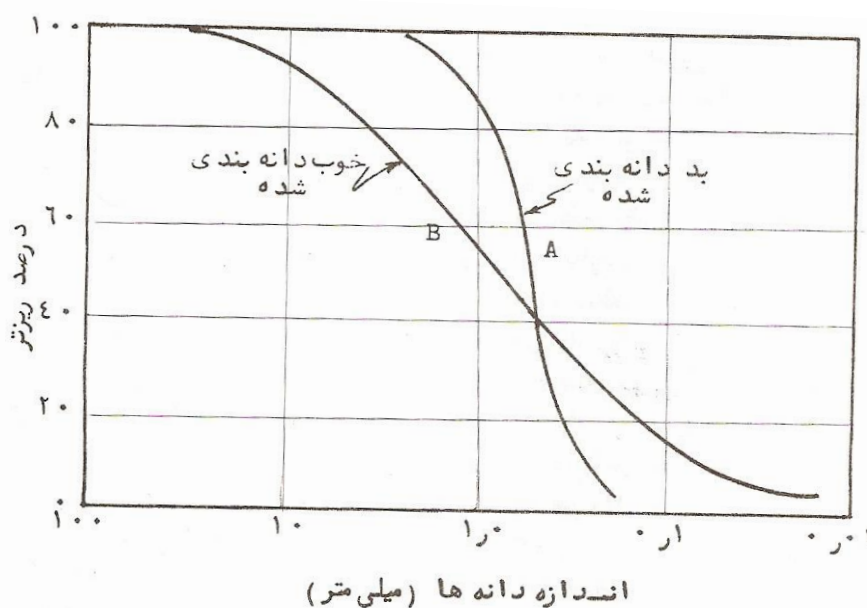
الف : قلوه سنگ (بزرگتر از 75^{mm})

ب : شن $2^{mm} < d < 75^{mm}$

ج : ماسه $2^{mm} < d < 0.075^{mm}$

$$D < 0.075 \text{ mm}$$

معمولاً رد شده از الک ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) را فیلر، ماسه را ریزدانه و شن و قلوه سنگ را درشت‌دانه می‌گویند. در برخی دیگر از دسته‌بندی‌ها رد شده از الک ۲۰۰ را ریزدانه و مانده روی آن را درشت‌دانه گویند. وجود فیلر در راهسازی به مقدار کم توصیه شده است. پس از تعیین دانه بندی خاک این مقادیر بر روی یک نمودار نیمه لگاریتمی ترسیم می‌شوند به عنوان مثال در شکل زیر نمودار دانه بندی برای دونه‌مونه خاک ارائه شده است.



در این شکل نمونه B در سطح گسترده‌تری توزیع شده است در این نمونه دانه‌های درشت و متوسط و ریز در اندازه‌های مختلف وجود دارد و نمونه A معرف خاکی است که اندازه دانه‌ها فقط در محدوده کمی متغیر است.

نمونه B دانه بندی پیوسته را نشان می‌دهد و نمونه A یک دانه بندی یکنواخت را نشان می‌دهد. در راهسازی نمونه‌های همانند نمونه B مورد نیاز است. در دانه‌بندی پیوسته دانه‌های ریزتر در لابه‌لای دانه‌های درشت‌تر قرار می‌گیرند و باعث افزایش وزن مخصوص خاک و نهایتاً باعث مقاوم‌تر شدن بستر خواهد شد.

دو رابطه برای نشان دادن مطلوبیت دانه بندی ارائه شده است:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

C_u : ضریب یکنواختی C_c : ضریب انحنا یا خمیدگی

D_{10} : اندازه قطر الکی است که ۱۰ درصد وزنی کل خاک از آن قطر کوچکترند.

D_{30} : اندازه قطر الکی که ۳۰ درصد وزنی کل خاک از آن کوچکترند.

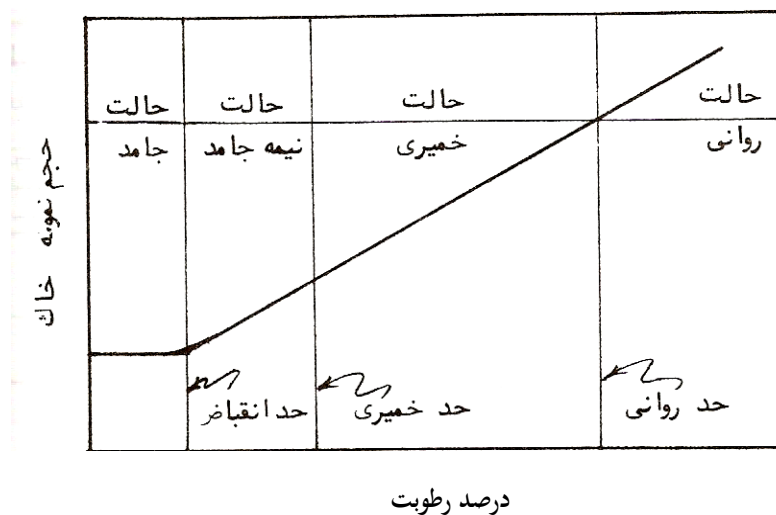
D₆₀: قطر الکی است که ۶۰ درصد وزنی کل خاک از آن قطر کوچکترند.

ضرایب یکنواختی و انحنا نشان‌دهنده نوع دانه بندی خاک است. به این معنا که هرچه ضریب یکنواختی بیشتر باشد دانه بندی خاک مناسب‌تر است. ولیکن خاک هایی که دانه بندی منقطع دارند دارای ضریب یکنواختی بزرگی هستند بنابراین ضریب انحنا که نشان دهنده غیر منقطع بودن خاک است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خواص خمیری خاک

اگر خاکی با مقدار کافی آب مخلوط شده باشد و سپس به تدریج خشک شود حالت‌های مختلفی به خود می‌گیرد این حالات عبارتند از: حالت روانی، حالت خمیری، حالت نیمه جامد و حالت جامد.

در شکل زیر تغییر حالات خاک نشان داده شده است:



درصد رطوبتی که خاک از حالت روانی به حالت خمیری می‌رسد، حد روانی خاک (LL) (Liquid limit) نامیده می‌شود که توسط دستگاه کاساگران تعیین می‌شود. حد روانی میزان رطوبتی است که مقاومت برشی خاک به ازای آن معادل $2/5 \text{ kg/cm}$ باشد.

• درصد رطوبتی که خاک از حالت خمیری به حالت نیمه‌جامد می‌رسد، حد خمیری خاک (PL) (Plastic limit) نامیده

می‌شود، حد خمیری را می‌توان از طریق فتله کردن خاک به قطر $3/2 \text{ mm}$ به دست آورد.

• درصد رطوبتی که خاک از حالت نیمه‌جامد به حالت جامد می‌رسد، حد انقباض خاک (SL) (Shrinkage limit) نامیده می‌شود. در این مرحله

کاهش رطوبت باعث کاهش حجم نمونه نمی‌شود.

مقادیر حد روانی، حد خمیری و حد انقباض از طریق آزمایش‌های حدود اتربرگ برای دانه های رد شده از الک ۴۰ بدست می‌آید.

تفاضل حد روانی و حد خمیری را با دامنه خمیری نشان (PI = Plasticity Index) می‌دهند که برابر است با:

PI=LL-PL

خاک را با پارامتر PI,LL معرفی می‌کنیم.

هر چه حد روانی و دامنه خمیری بیشتر باشد معرف خاک خمیری تری است. خاکها از لحاظ حد روانی و دامنه خمیری مطابق جدول زیر بسته بندی می‌شود:

حد روانی	نوع خاک
<۳۰	حد روانی کم
۳۰-۵۰	حد روانی متوسط
۵۰-۷۰	حد روانی زیاد
>۷۰	حد روانی خیلی زیاد

و از لحاظ دامنه خمیری دسته بندی خاکها به صورت جدول زیر است:

دامنه خمیری	درجه خمیری
۰-۵	غیر خمیری
۵-۱۰	خمیری متوسط
۱۵-۳۵	خمیری
>۳۵	خیلی خمیری

رده بندی خاک به روش آشتو

در آیین نامه‌ها خاکها به روشهای مختلفی رده بندی می‌شوند. در آیین نامه آشتو که تقریباً در تمام پروژه‌های راهسازی از این آیین نامه استفاده می‌شود، خاک به ۸ گروه تقسیم می‌شود که برخی از این گروه‌ها بر اساس اندازه ذرات و خواص خمیری به زیر گروه‌های دیگری تقسیم می‌شود، در جدول زیر گروه بندی و جنس خاک آنها نشان داده شده است:

گروه خاک	زیر گروه	جنس خاک
A-1	A-1-a	قلوه سنگ، شن و ماسه
	A-1-b	
A-2	A-2-4	شن و ماسه لای دار
	A-2-5	

شن و ماسه رس دار	A-2-6	
	A-2-7	
ماسه ریزدانه	-----	A-3
خاک لای دار با حد روانی کم	-----	A-4
خاک لای دار با حد روانی زیاد	-----	A-5
رس با حد روانی کم	-----	A-6
رس با حد روانی زیاد	A-7-5	A-7
	A-7-6	
خاک های آلی	-----	A-8

خاک A-1 که مصالح بسیار مرغوبی است برای لایه اساس استفاده می شود و مناسب برای لایه زیر اساس است. در برخی موارد هم به عنوان رویه های شنی هم می توان از این خاک استفاده کرد.

خاک A-2 در صورت استفاده در رویه شنی در مناطق خشک سبب ایجاد گرد و خاک می شود و در مناطق مرطوب با رسیدن رطوبت، خاک شل شده و مقاومت آن کاهش می یابد.

زیرگروه های A-2-4 و A-2-5 برای لایه های اساس و زیراساس بسیار مناسب هستند و زیرگروه های A-2-6 و A-2-7 در صورتی که ریزدانه کمتر از ۱۵ درصد داشته باشند برای اساس مناسب هستند. یکی از موارد اصلی کاربرد خاک A-2 محافظت و تقویت بستر خیلی خمیری است.

خاک A-3 مناسب برای بستر است ولی باید در نظر داشت که در محل های خاکریز در صورتی که امکان شسته شدن بستر وجود داشته باشد یک مقدار با خاک های دیگر مخلوط کنیم.

خاک های A-4 و A-5 در صورتی که مرطوب نباشند و احتمال مرطوب شدن نداشته باشند، به عنوان خاک بستر روسازی ها قابل استفاده هستند. لذا در مناطقی که احتمال خطر یخبندان یا امکان اشباع شدن خاک وجود دارد از کاربرد آنها بایستی اجتناب گردد. زیرا در اثر جذب رطوبت مقاومت آنها به شدت کاهش می یابد و در اثر یخبندان متورم می شوند.

خاک های A-6 و A-7 نامرغوب ترین خاک برای راه سازی است. مقاومت خشک این خاک ها بالاست اما به محض جذب آب مقاومت خود را به شدت از دست می دهند. خاک های A-8 تحت هیچ شرایطی در راه سازی استفاده نمی شوند.

تراکم خاک و روش های کنترل آن

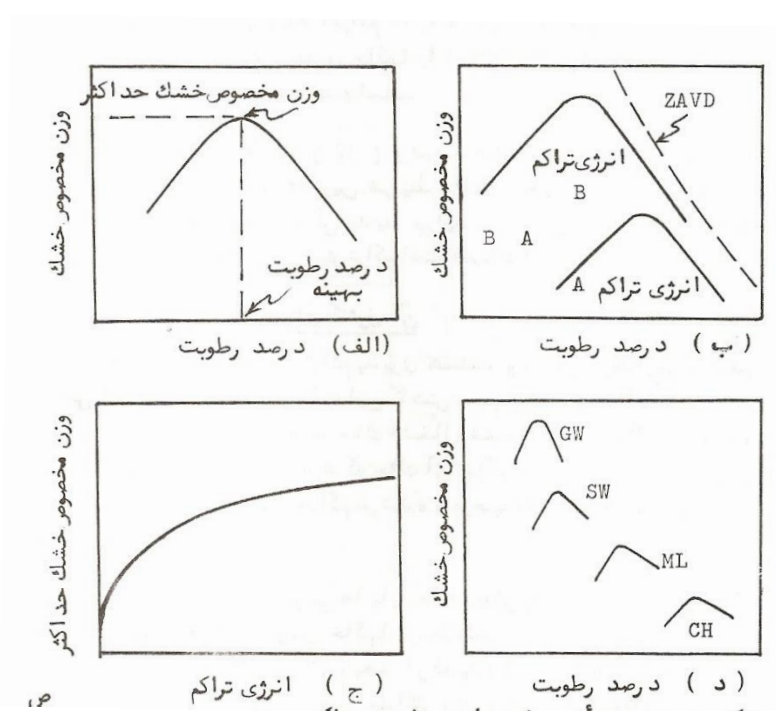
خاک ها اصولاً مصالح تراکم پذیری هستند و در اثر بار گذاری از حجم آنها کاسته می شود. علت این کاهش حجم وجود فضایی است که توسط هوا در بین ذرات جامد خاک اشغال شده است. هر گاه رو سازی راهی بر روی بستر ساخته شود که تراکم پذیر است، بر اثر

عبور وسایل نقلیه خاک متراکم شده و موجب نشست و تخریب روسازی شود. برای اجتناب از این خرابی ها می‌بایست پیش از ساخت روسازی خاک بستر توسط غلتک‌هایی متراکم و کوبیده شود. برای تعیین میزان تراکم خاک قبل و بعد از کوبیده شدن باید وزن مخصوص خشک آن را اندازه گیری و با حد اکثر وزن مخصوص آزمایشگاهی آن مقایسه کرد.

طبق تعریف درصد تراکم یک خاک نسبت وزن مخصوص خشک آن خاک (γ_d) به حد اکثر وزن مخصوص خشک آزمایشگاهی همان خاک است.

$$\text{درصد تراکم} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} * 100$$

درصد رطوبتی که در آن وزن مخصوص خشک خاک حد اکثر است درصد رطوبت بهینه نامیده می شود.



تأثیر میزان رطوبت، جنس خاک و انرژی تراکم بر روی وزن مخصوص خاک

حد اکثر وزن مخصوص خشک خاک تابعی از انرژی تراکمی است که برای انجام آزمایش به کار رفته است. هر اندازه انرژی تراکم برای کوبیدن خاک بیشتر باشد حداکثر وزن مخصوص خشک خاک نیز بیشتر خواهد بود، ولی درصد رطوبت بهینه بر عکس خواهد بود یعنی هر اندازه انرژی تراکم بیشتر باشد درصد رطوبت بهینه کمتر می‌باشد.

برای بدست آوردن حداکثر وزن مخصوص خشک نمونه خاک از دو روش آزمایش تراکم آشتو و آزمایش تراکم آشتو اصلاح شده استفاده می‌شود. روش انجام آزمایش تراکم به این ترتیب است که ابتدا نمونه‌ای از خاک موردنظر در درصد رطوبت‌های مختلف در آزمایشگاه کوبیده و متراکم می‌شود. سپس با رسم منحنی تراکم خاک که نمونه‌ای از آن در شکل فوق نشان داده شده است، γ_{max}

بدست می‌آید. در یک درصد رطوبت به خصوص بیشترین وزن مخصوص بدست می‌آید که به این درصد رطوبت، درصد رطوبت بهینه می‌گویند.

جدول ۱-۲- نشریه ۲۳۴ درصد تراکم بستر روسازی را نشان می‌دهد:

جدول ۱-۲- درصد تراکم بستر روسازی در دو لایه نهایی

میزان تراکم لایه ها		درجه راه
خاک ریزدانه A-4 تا A-7	خاک درشت دانه A-1 تا A-3	
۹۵	۱۰۰	آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی درجه یک
۹۰	۹۵	راه‌های فرعی درجه دو و راه‌های روستائی

غلطک‌ها و موارد استفاده از آنها:

زغلتک‌ها برای کوبیدن و متراکم کردن خاک‌ها استفاده می‌شود. غلتک‌ها دارای انواع مختلف بوده و برحسب نوع - وزن و فشار تماسشان طبقه بندی می‌شوند. انواع غلتک‌ها عبارتند از:

الف) غلتک چرخ فلزی یا فولادی (steel wheel roller):

این غلتک‌ها از قدیمی ترین وسایل تراکم خاک هستند که خود به سه نوع چرخ فولادی تک چرخ، غلتک های چرخ فولادی ۲ چرخ جفت (تاندوم) و غلتک های چرخ فولادی ۳ چرخ تریدم تقسیم می‌شوند. از نظر وزنی نیز به سه دسته تقسیم می‌گردند:

(۱) سبک: وزن بین ۳ تا ۷ تن وزن دارد و مناسب برای لایه های آسفالتی

(۲) متوسط: بین ۷ تا ۱۰ تن و مناسب برای خاک های شن و ماسه‌ای و آسفالتی

(۳) سنگین: بین ۱۰ تا ۱۸ تن و برای متراکم کردن مصالح سنگ شکسته



ب) غلتک های چرخ لاستیکی:

خاک ها را با ورز دادن متراکم می کنند و از این نظر برای کوبیدن خاک های ماسه ای، رس ها، لای ها یا مخلوطی از آنها بسیار مناسب هستند. این غلتک ها از نظر وزنی به ۲ دسته تقسیم می شوند:

الف) سبک وزن که بین ۳ تا ۱۰ تن وزن دارند و برای خاک های ماسه ای، رسی و لای و یا ترکیبی از آنها کاربرد دارند.

ب) سنگین و فوق سنگین (۴۵ تن و گاهی ۱۸۰ تن وزن دارند) و مناسب برای انواع خاک ها می باشند



پ) غلتک های پاچه بزی:

مثل چرخ فولادی ها هستند با این تفاوت که بر روی چرخ های فولادی برجستگی هایی وجود دارد که ارتفاع این برجستگی ها حدود ۱۰cm تا ۱۵cm است. این برجستگی ها یا خارهای چرخ فولادی در لایه فرو می روند و خاک ریزدانه را بهتر متراکم می کنند. این غلتک ها منحصرأً برای خاک ریزدانه مناسب هستند. خاک هایی که ریز دانه زیاد داشته باشند اگر با چرخ فولادی عادی متراکم کنیم

قسمت فوقانی لایه متراکم شده و سطح سختی بوجود می‌آورد در حالیکه قسمت زیرین لایه بصورت دست نخورده باقی می‌ماند ولی با غلتک‌های پاره‌بزی این برجستگی‌ها داخل لایه فرو می‌روند و لایه از طرف پایین به طرف بالا متراکم می‌شود و نهایتاً چون در این نوع غلتک‌زنی سطح لایه آشفته خواهد شد، یکبار با چرخ فولادی ساده روی لایه را اصطلاحاً «أتو» می‌کنند که سطح صاف و همواری داشته باشد. سطح صاف و هموار جهت نمونه‌برداری و جهت تعیین کد ارتفاعی روی لایه لازم است.

این غلتک‌ها مناسبترین وسیله ی کوبیدن و متراکم کردن خاک‌های چسبنده نظیر رس، رس لای دارو رس مخلوط با ماسه هستند.

د) غلتک‌های لرزاننده:

هرگاه کوبیدن خاک‌های دانه ای نظیر شن و ماسه و سنگ شکسته ضمن وارد کردن نیروی استاتیکی همراه با مرتعش کردن خاک انجام شود، خاک بهتر و سریعتر متراکم می‌شود. وجود ویبره باعث می‌شود که لایه سریع‌تر به تراکم برسد. در اکثر مواقع وجود ویبره باعث می‌شود که با تعداد رفت و آمد کمتری لایه به تراکم نهایی برسد چرا که باعث می‌شود دانه‌های کوچکتر در لایه‌های دانه‌های بزرگتر قرار گیرند. فقط در یک مورد که مصالح یکنواخت داشته باشیم (مثل ماسه ریز دانه) ویبره خیلی کمک نمی‌کند. این نوع غلتک‌ها ممکن است چرخ فولادی و چرخ لاستیکی و یا پاره بزی باشند.

ه) غلتک‌های دستی (تخماق دستی)

متراکم کردن خاک‌ها با این غلتک‌ها براساس وارد کردن ضربه به خاک انجام می‌شود. در مکان‌هایی که استفاده از غلتک‌های بزرگ امکان پذیر نباشد از این غلتک‌ها و همچنین صفحات و کفشک‌های لرزاننده استفاده می‌شود.

روش‌های تعیین مقاومت و سختی خاک بستر:

آزمایشات مختلفی برای تعیین مقاومت خاک بستر روسازی وجود دارد که چهار روش متداول آن عبارتند از: آزمایش صفحه، آزمایش فشار ۳ محوری، آزمایش CBR (نسبت باربری کالیفرنیا) و آزمایش مدول ارتجاعی (Resilient modulus)

آزمایش فشاری ۳ محوری:

این آزمایش برای اندازه‌گیری استقامت برشی خاک‌ها به کار می‌رود. در این آزمایش در حالی که نمونه ی استوانه ای شکل خاک از اطراف تحت فشار جانبی قرار می‌گیرد و مقدار آن در طول آزمایش ثابت نگه داشته می‌شود تحت فشار عمودی نیز قرار می‌گیرد. مقدار این فشار عمودی به تدریج اضافه می‌شود تا اینکه نمونه خاک گسیخته شود سپس مقاومت برشی خاک از با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود

$$s = C + 6 \tan \phi$$

ϕ: زاویه اصطحاک خاک C: چسبندگی خاک σ: تنش عمودی S: مقاومت برشی خاک

آزمایش صفحه:

آزمایش صفحه برای تعیین قدرت باربری خاک بستر روسازی، لایه های اساس و زیراساس و در برخی موارد کل سیستم روسازی به کار می رود. نتایج آزمایش صفحه بیشتر برای طرح روسازی های بتنی قابل استفاده می باشد. در این آزمایش افزودن بار را ادامه داده تا تغییر شکل بستر به ۱ میلیمتر برسد سپس طبق تعریف ضریب عکس العمل خاک بستر برابر است با نسبت فشار وارد بر صفحه بر خیز آن صفحه:

$$K = \frac{p}{\Delta}$$

P: فشار وارد بر صفحه بر حسب kg/cm^2

Δ : خیز صفحه بر حسب میلی متر

آزمایش مدول ارتجاعی خاک: (AASHTO-T307)

بر خلاف سایر روش ها برای تعیین مدول ارتجاعی از بار گذاری سیکلی استفاده می شود و مدول ارتجاعی از تقسیم تنش بر کرنش برگشت پذیر طبق رابطه ی زیر بدست می آید.

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

σ_d : تنش انحرافی

ϵ_r : کرنش برگشت پذیر

آزمایش CBR: (AASHTO-T193) - (California Bearing Ratio)

این روش که توسط شخصی به نام پورتر در سال ۱۹۲۶ به وجود آمد، متداول ترین روش تعیین مقاومت نسبی خاکها برای راهسازی است. در این آزمایش نسبتی از مقاومت خاک موردنظر در مقایسه با یک مصالح استاندارد بدست می آید طبق تعریف CBR یک خاک نسبت فشار لازم برای فروبردن پیستونی به شکل معین و با سرعت مشخص و به عمق معین در خاک مورد آزمایش به فشار لازم برای فروبردن همان پیستون و با همان سرعت و به همان عمق در مصالح استاندارد است.

مصالح استاندارد سنگ شکسته استاندارد است که فشار لازم برای فروبردن پیستون آزمایش CBR مطابق جدول زیر است.

میزان نفوذ پیستون (mm)	فشار لازم (kg/cm^2)
۲/۵	۷۰
۵	۱۰۵
۷/۵	۱۳۳
۱۰	۱۶۱
۱۲/۵	۱۸۲

نحوه ی انجام آزمایش بدین ترتیب است که پس از نمونه گیری نمونه ی خاک ابتدا تحت آزمایش تراکم قرار گرفته و پس از اشباع کردن آن در آب تحت آزمایش CBR قرار می گیرد. اشباع کردن خاک با قرار دادن آن در آب به مدت ۴ روز انجام می شود. در این حالت روی نمونه باری معادل فشاری که بعداً روسازی به خاک بستر اعمال می کند وارد می شود.

هدف از اشباع کردن نمونه ی خاک در آزمایش CBR:

۱- معلوم شود که در اثر اشباع شدن خاک چقدر از مقاومت آن کاسته خواهد شد

۲- معلوم شود آیا نمونه خاک قابلیت تورم دارد یا خیر و اگر دارد میزان آن چقدر است

مقدار CBR خاک از تقسیم فشار مربوط به 2.5mm نفوذ پیستون در خاک مورد آزمایش به فشار مربوط به 2.5mm نفوذ پیستون در سنگ شکسته استاندارد است:

$$CBR = \frac{P_{2.5}}{P_{(2.5)5}} \times 100$$

نکته: اگر CBR مربوط به 5mm نفوذ بیش از CBR مربوط به 2.5mm نفوذ باشد در این صورت CBR مربوط به 5mm به عنوان CBR نمونه خاک گزارش می شود.

از نتایج آزمایش CBR برای ارزیابی خاک بستر روسازی و هم چنین لایه های مختلف روسازی استفاده می شود. هر اندازه CBR خاک بیشتر باشد کیفیت آن خاک بهتر است. جدول زیر مورد استفاده از خاک ها در روسازی برابر حسب CBR نشان می دهد.

مورد استفاده	کیفیت خاک	CBR
خاک بستر	خیلی بد	۰-۳
خاک بستر	بد	۳-۷
لایه زیر اساس	متوسط	۷-۲۰
لایه زیر اساس	خوب	۲۰-۵۰
لایه اساس	عالی	≥۵۰

نحوه تعیین CBR طرح:

در هر قطعه ی طرح از بین اعداد مختلف بدست آمده برای تعیین CBR، عددی به عنوان CBR طرح انتخاب می شود. انتخاب این عدد به میزان ترافیک راه بستگی دارد. انسیتیوی آسفالت (موسسه آسفالت) بر حسب میزان ترافیک سبک، متوسط و سنگین به ترتیب مقادیر ۵، ۸۷، ۷۵، ۶۰ درصد را پیشنهاد می کند. مطابق جدول زیر:

تعداد محور منفرد هم ارز (EASL)	درصد CBR مساوی یا بیشتر
۱۰ ^۴ و کمتر	۶۰
۱۰ ^۴ - ۱۰ ^۶	۷۰
بیشتر از ۱۰ ^۶	۸۷,۵

مثال:

نتایج آزمایش CBR، ۱۰ نمونه خاک از یک واحد طرح بدست می آید. ۵، ۳، ۹، ۷، ۴، ۸، ۶، ۸، ۵، ۴. مطلوبست تعیین CBR طرح در شرایطی که تعداد در دوره ی طرح برابر ۱۰ میلیون باشد

درصد نمونه ها با CBR مساوی یا بزرگتر	تعداد نمونه ها با CBR مساوی یا بزرگتر	CBR
۱۰۰	۱۰	۳
۹۰	۹	۴
-	-	۴
۷۰	۷	۵
-	-	۵
۵۰	۵	۶
۴۰	۴	۷
۳۰	۳	۸
-	-	۸
۱۰	۱	۹

CBR=4.125

فصل سوم

اساس و زیر اساس مصالح سنگی (Aggregates)

لایه زیراساس ، اساس و رویه های شنی معمولاً از مصالح سنگی بدون مواد چسبنده تشکیل می شوند این مصالح یا به صورت شن و ماسه از بستر رودخانه و یا از معادن شن و ماسه بدست می آید و یا از شکستن سنگ در سنگ شکن ها تهیه می شود. قبل از به کار بردن مصالح سنگی بایستی از آنها نمونه برداری شود و تحت آزمایش قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که دارای مشخصات لازم برای به کار بردن در روسازی هستند این آزمایشها عبارتند از :

۱- دانه بندی

۲- مقاومت در مقابل سایش (لوس آنجلس AASHTO- T69)

۳- تعیین مقاومت در برابر ضربه

۴- تعیین مقاومت در برابر خرد شدگی

۵- آزمایش ۱۰٪ ریز دانه

۶- دوام مصالح در برابر عوامل جوی

۷- وزن مخصوص و درصد جذب آب

۸- تعیین ارزش ماسه ای (AASHTO- T176)

۹- تعیین حدود اتربرگ (AASHTO- T89- 90)

۱۰- تعیین درصد شکستگی

۱۱- تعیین درصد ذرات سوزنی و پولکی

۱۲- آزمایش سایش مصالح

۱۳- تغییرات مقاومت خشک و تر

۱۴- عدد زاویه ای

۱۵- سایش مصالح توسط چرخ لاستیکی

در ادامه به برخی از این آزمایشها اشاره می کنیم.

در زیر برخی از آزمایشهای ذکر شده شرح داده می شود :

۱- آزمایش دانه بندی :

دانه بندی مصالح روسازی با توجه به عوامل متعددی از قبیل نوع روسازی، نوع و محل قرار گرفتن لایه مورد نظر، ضخامت لایه ها و اندازه بزرگترین دانه مصالح تعیین می شود.



اندازه بزرگترین دانه مصالح سنگی به دو صورت تعیین می شود:

۱-۱- Maximum Aggregate Size بزرگترین اندازه اسمی ذرات

۱-۲- Nominal Maximum Aggregate Size بزرگترین اندازه مصالح سنگی

پس از عبور از الک های مختلف، اولین الکی که حداقل ۱۰٪ وزنی مصالح بر روی آن باقی مانده است تعیین می گردد. یک الک بزرگتر از این مقدار، بزرگترین اندازه اسمی ذرات و یک الک بزرگتر از الک اندازه اسمی، بزرگترین اندازه مصالح سنگی نامیده می شوند.

مقدار زیر دانه :

در شکل های زیر سه حالت متمایز بر مصالح شنی از نظر میزان ریز دانه نشان داده شده است که این سه حالت عبارت است از

۱- مصالح عاری از ریز دانه

۲- مصالح حاوی ریز دانه به اندازه کافی جهت پر کردن فضای خالی درشت دانه

۳- ریز دانه موجود در مصالح بیش از اندازه فضا های خالی است .

مثال : با توجه به جدول دانه بندی زیر، بزرگترین اندازه اسمی ذرات و بزرگترین اندازه مصالح سنگی را تعیین کنید.

درصد عبوری	اندازه (میلیمتر) یا شماره الک
۱۰۰	۳۷/۵
۱۰۰	۲۵
۹۲	۱۹
۷۰	۹/۵
۴۰	۴/۷۵
۱۰	# ۱۰
۵	# ۲۰۰

← حداکثر اندازه مصالح سنگی

← حداکثر اندازه اسمی

برای بدست آوردن دانه بندی که کمترین فضای خالی یا بیشترین تراکم را داشته باشد از رابطه فولر استفاده می کنیم. طبق این نظریه مصالحی که بیشترین وزن مخصوص را دارند بیشترین مقاومت را خواهند داشت. بر این اساس رابطه فولر به صورت زیر ارائه گردیده است :

$$P_i = 100 \left(\frac{d_i}{D} \right)^{0.5}$$

P_i : درصد رد شده از الک i ام

d_i : اندازه چشمه الک i ام

D : بزرگترین اندازه مصالح سنگی

* در حال حاضر در معادله فوق توان $۰/۵$ به $۰/۴۵$ اصلاح شده است که لازم است مورد توجه قرار گیرد.

مثال : مطلوبست تعیین دانه بندی مصالحی که بزرگترین اندازه آن ۵۰mm و بیشترین تراکم را داشته باشد برای دانه بندی از الک های $۴,۷۵,۹,۱۲,۱۹,۲۵$ و ۴۰ میلیمتر.

$$P_i = 100 \left(d_i / D \right)^{0.45}$$

P_i	قطر الک
-------	---------

۷۳,۲	۲۵
۶۴,۷	۱۹
۵۳,۶	۱۲,۵
۴۷,۴	۹,۵
۳۴,۷	۴,۷۵

۲- آزمایش تعیین دوام مصالح سنگی در برابر عوامل شیمیایی (آزمایش سلامت یا Soundness)

(AASHTO-T104)

این آزمایش، مقاومت مصالح را نسبت به فروپاشی در یک محلول اشباع شده از سولفات سدیم یا سولفات منیزیم سنجش می کند. بدین ترتیب که نمونه مصالح مورد آزمایش در محلول اشباع شده غوطه ور میشود. سپس مصالح در گرمخانه در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک می شود. این عملیات ۵ مرتبه تکرار و در نهایت پس از خشک کردن مصالح درصد افت وزنی آن تعیین می شود. هر اندازه افت وزنی کمتر باشد پایداری مصالح در برابر شرایط جوی بیشتر است.

۳- آزمایش تعیین درصد شکستگی مصالح سنگی

مصالح درشت دانه باید شکستگی لازم را دارا باشند. هر چه شکستگی مصالح بیشتر باشد به علت درگیر شدن مصالح، مقاومت برشی و کارایی مصالح نیز بالا خواهد بود. برای تعیین شکستگی، مصالح مانده روی الک شماره ۴ انتخاب شده و سپس تک تک دانه ها از نظر شکستگی و تعداد وجوه شکسته مورد بررسی قرار می گیرد. درصد شکستگی دانه ها از تقسیم وزن سنگدانه های شکسته به کل وزن مصالح سنگی به دست می آید.



۴- تعیین درصد ذرات سوزنی و پولکی مصالح سنگی

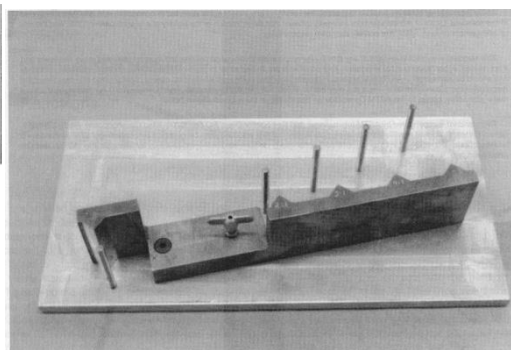
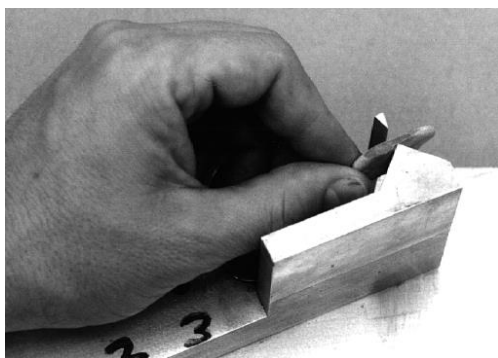
مصالص سوزنی و پولکی در اثر بارهای وارده خرد شده و موجب کاهش پایداری و تشدید خرابی در روسازی می شوند. بر اساس روش استاندارد BS- 812 مصالص پولکی و سوزنی به صورت زیر تعریف می شوند.

مصالص پولکی : کوچکترین بعد آنها $0/6$ اندازه متوسط شان باشد.

مصالص سوزنی : بزرگترین بعد آنها $1/8$ اندازه متوسط شان باشد.

اندازه متوسط : میانگین دو عددی است که مصالص از آن رد شده و روی دیگری مانده اند.

برای تعیین درصد ذرات سوزنی شکل از یک پایه چوبی که بر روی آن میله هایی با فاصله های $1/8$ اندازه متوسط آنهاست بکار می رود. با تقسیم جمع وزنی مصالص عبور کرده از میله ها و شیارها نسبت به وزن اولیه درصد ذرات سوزنی شکل و پولکی شکل محاسبه می گردد.



۵- آزمایش سایش لوس آنجلس

مصالص سنگی لایه های زیراساس، اساس و رویه باید در برابر وزن وسایل نقلیه سنگین و همچنین وزن غلتک ها مقاومت کافی داشته و نباید در اثر تنش های ناشی از وزن آنها شکسته و خرد شوند. سختی مصالص سنگی با انجام آزمایش سایش لوس آنجلس تعیین می شود. نحوه انجام آزمایش بدین ترتیب است که مقدار معینی از نمونه مصالص سنگی به همراه تعداد معینی گوی فلزی به قطر و وزن مشخص در داخل استوانه فلزی وسیله انجام آزمایش ریخته شده و با سرعت مشخص ۵۰۰ مرتبه حول محور استوانه چرخانده می شود. این عمل سبب خرد شدن و ساییده شدن مصالص سنگی می شود. پس از اتمام آزمایش قسمت خرد و ساییده شده مصالص با استفاده از الک نمره ۱۲ از بقیه مصالص جدا شده و درصد ساییدگی مصالص از تقسیم وزن بخش رد شده از الک ۱۲ به وزن کل مصالص سنگی بدست می آید.

۶- تمیزی (ارزش ماسه ای)

مصالص سنگی که برای لایه های زیراساس، اساس و رویه شنی بکار می روند باید تمیز و عاری از هرگونه مواد خارجی و مضر از قبیل مواد آلی باشند. برای تعیین تمیزی مصالص سنگی از آزمایش ارزش ماسه ای استفاده می شود. نحوه انجام آزمایش ارزش ماسه ای

بدین ترتیب است که مقدار معینی از مصالح سنگی رد شده از الک نمره ۴ در آبی که حاوی مقدار معینی از کلرور کلسیم، گلیسیرین و فورمالدهید است قرار داده شده سپس با تکان دادن شدید استوانه مدرج حاوی نمونه مواد رسی و ریزدانه از دانه‌های ماسه جدا می‌شود. پس از آن جریان آب تحت فشاری که حاوی مواد تصفیه کننده مذکور است توسط لوله مخصوصی از ته نمونه جریان می‌یابد که مواد رسی و ریزدانه‌ها (فیلر) از ماسه جدا شده و بصورت معلق در بالای لایه ماسه جمع می‌شود. با قرائت ارتفاع ستون مواد رسی و ریزدانه معلق در آب (H_E) و همچنین قرائت ستون ماسه ته نشین شده (H_S) مقدار ارزش ماسه‌ای از نسبت ارتفاع ستون ماسه به ارتفاع ستون ذرات معلق بدست می‌آید.

فصل چهارم: قیر (Bitumen or Asphalt)

قیرهای مصرفی در صنعت راهسازی شامل عناصر اصلی متشکل از کربن و هیدروژن و عناصر فرعی شامل گوگرد، اکسیژن و ازت و ... هستند. با حل کردن قیر در حلال‌هایی نظیر هپتان می‌توان آنرا به دو قسمت اصلی شامل آسفالتین و مالتین تقسیم کرد. ترکیبات آسفالتین (غیر قابل حل در هپتان) جزء جامد قیر و به شکل پودری سیاه رنگ هستند. سختی قیر و رنگ سیاه آن متأثر از آسفالتین است. مالتین (قابل حل در هپتان) خود به دو جزء رزین‌ها و روغن‌ها تقسیم می‌شوند. رزین مایعی است غلیظ تقریباً به رنگ خاکستری تیره و روغن مایعی است روشن که به عنوان حلالی واسطه عمل کرده و دو جزء رزین و آسفالتین را در یک سیستم کلوئیدی نگه می‌دارد.

چسبندگی قیر به عنوان یک عامل تعیین کننده خاصیتی است که به ساختار شیمیایی و ترکیبات رزین بستگی دارد. درصد وزنی و خواص فیزیکی و شیمیایی قیر با گذشت زمان تغییر می‌کند این تغییرات شامل افت وزنی در اجزاء روغن، اکسیداسیون (ترکیب اکسیژن با قیر) و واکنش‌های دیگر شیمیایی است. در این واکنش‌ها درصد اجزاء روغنی و رزینی کاهش یافته و درصد آسفالتین، افزایش می‌یابد. و این امر موجب افزایش ویسکوزیته یا کندروانی و سختی قیر می‌شود. این تغییرات فیزیکی و شیمیایی ناشی از عواملی هستند که برخی از آنها را می‌توان به درجه حرارت محیط، حضور اکسیژن، کیفیت مصالح سنگی و ضخامت پوشش قیری سنگدانه‌ها نسبت داد. به طور کلی می‌توان گفت آسفالتین، اسکلت ساختمانی قیر را تشکیل می‌دهد. رزین، در میزان چسبندگی و قابلیت شکل پذیری مؤثر است و روغن، بر روی کندروانی تأثیر می‌گذارد.

انواع قیر:

۱- قیر طبیعی

قیر دریاچه‌ای: این نوع قیر که به صورت طبیعی در برخی از نقاط یافت می‌شود. از اعماق منابع نفتی به سمت سطح رویه زمین صعود نموده و معمولاً با مواد معدنی و آلی مخلوط می‌باشد. مهمترین معدن در جهان، دریاچه ترینیداد است.

قیر معدنی: از نفوذ قیر در سنگهای آهکی یا ماسه سنگها، محصولی در طبیعت موجود است که تا حدود ۱۲٪ قیر دارد. امروزه به ندرت از این قیرها استفاده می شود و در صورت استفاده شدن نیز در تمامی موارد آنها را با قیرهای محلول و یا قیرهای خالص نرم مخلوط می نمایند.

۲- قطران (Tar)

قیرهای خالص از نفت خام و قطران از ذغال سنگ به دست می آید اما این دو با اینکه از دو منشأ متفاوت بدست می آیند اما در ظاهر با یکدیگر تشابه زیادی دارند. این تشابه اولاً به دلیل رنگ مشابه است، ثانیاً هر دو این مواد در دمای محیط جامد بوده و با افزایش دما روان می شوند. اما مواد تشکیل دهنده هر دو متفاوت بوده و در هنگام گرم کردن بوی متفاوتی دارند.

۳- قیرهای نفتی

قیرهای نفتی از پسماند تقطیر نفت خام حاصل می شود که پرکاربردترین نوع قیر در دنیاست.

Asphalt Cement	۱- قیر خالص	} انواع قیرهای نفتی
Air Blown Asphalt	۲- قیر دمیده	
Cut Back Asphalt	۳- قیر محلول	
Asphalt Emulsion	۴- امولسیون قیر	

۴- قیرهای طبیعی + قیرهای نفتی:

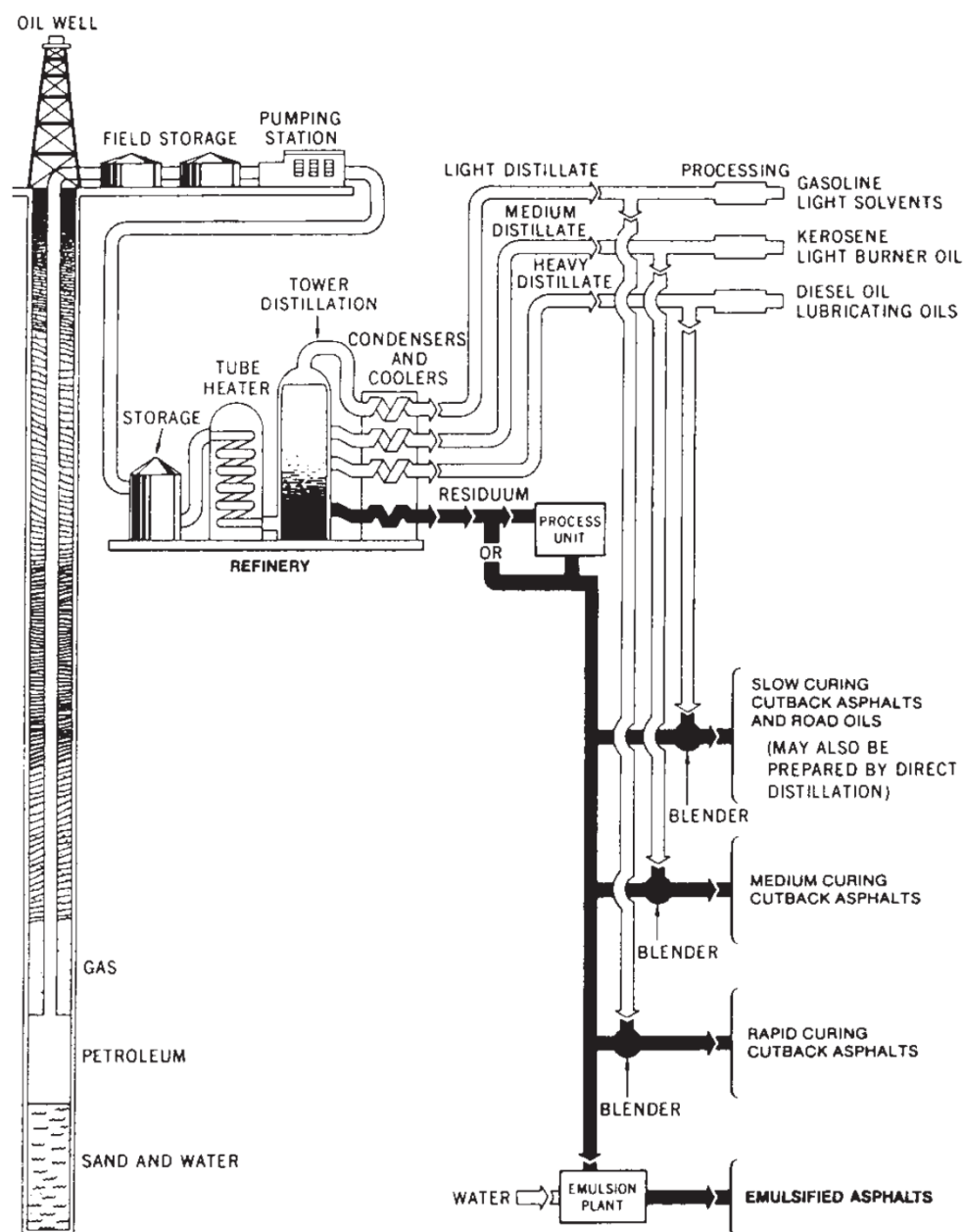
با ترکیب این دو قیر، قیری بدست می آید که حساسیت حرارتی کمتری در قیاس با قیرهای نفتی معمولی داشته و در صورت کنترل تولید مرغوبیت بیشتری خواهند داشت.

۵- قطران + قیرهای نفتی:

استفاده از این ترکیب بیشتر به دلیل ایجاد چسبندگی بیشتر بین قیر و مصالح و طول عمر بیشتر مخلوط آسفالتی می باشد. در آسفالت سطحی نیز که حدوداً $\frac{2}{3}$ تا نصف ارتفاع مصالح در قیر نفوذ کرده و باید توسط آن در سطح جاده نگه داشته شود برای جلوگیری از جدا شدن مصالح از سطوح جاده استفاده از این مخلوط ها مناسب می باشد.

قیر های نفتی

۱- قیر خالص (Asphalt Cement) : این قیرها از پسمانده تقطیر و پالایش نفت خام در برجهای تقطیر (شکل زیر) بدست می آید. با تنظیم درجه حرارت و فشار داخلی برجهای تقطیر می توان قیرهای با درجه سختی متفاوت بدست آورد.



۲- قیر دمیده: این نوع قیر از دمیدن هوای داغ به قیر خالص در مرحله آخر پالایش بدست می آید. این قیر دارای درجه نفوذ کمتر و درجه نرمی بیشتری نسبت به قیر خالص اولیه می باشد. این قیر حساسیت کمتری نسبت به تغییر درجه حرارت داشته و لذا حالت سخت شدن خود را خیلی بهتر از قیر اولیه در حرارت های بالاتر حفظ می کند. این قیرها کمتر در راهسازی استفاده می شوند و از آنها برای ورقهای پوششی بام و اندودکاری استفاده می شوند. در ایران دو نوع قیر دمیده $R ۸۰/۲۵$ و $R ۹۰/۱۵$ ساخته می شود که مقادیر ۲۵ و ۱۵ درجه نفوذ و ۹۰ و ۸۰ نقطه نرمی قیر می باشد.

۳- قیر محلول: از حل کردن قیرهای خالص در حلال های نفتی نظیر بنزین، نفت، گازوئیل و نظایر آن بدست می آید. خصوصیات قیر محلول بستگی به نوع و درصد حلال بکار رفته دارد که هر اندازه مقدار حلال نفتی در قیر بیشتر باشد روانی آن نیز بیشتر و کند روانی آن کمتر خواهد بود. قیرهای محلول را به ۳ دسته تقسیم می کنند:

- ۱- قیرهای محلول تندگیر (R.C) Rapid Cuing که از اختلاط قیر خالص با بنزین بدست می آید.
 - ۲- قیرهای مخلوط کند گیر (M.C) Medium Curing : که از اختلاط قیر خالص با نفت سفید بدست می آید.
 - ۳- قیرهای محلول دیر گیر (S.C) CuringSlow که از اختلاط قیر خالص با گازوئیل بدست می آید.
- از قیرهای محلول کندگیر با مقیاس وسیع در عملیات راهسازی، آسفالت سرد و اندود نفوذی به کار می رود.

۴- امولسیون قیر

این نوع قیر از مخلوط کردن قیر و آب به کمک یک ماده امولسیون ساز بدست می آید . قیر در این مخلوط حل نشده و به صورت ذراتی کره ای شکل به قطر ۰,۰۱ تا ۰,۰۰۱ میلی متر در آب شناور می شود .

انواع امولسیونها عبارتند از :

الف) امولسیون آنیونی : که در آن از املاح قلیایی اسیدهای آلی که باعث به وجود آمدن بار منفی در سطح دانه های قیر می شود استفاده می شود.

ب) امولسیون کاتیونی : در این نوع امولسیون از نمک های آمونیوم که باعث به وجود آمدن بار مثبت در سطح دانه های قیر می شود استفاده می شود. از این نوع امولسیون بیشتر در امور راه سازی استفاده می شود.

امولسیون های قیر پس از مصرف در تماس با مصالح سنگی شکسته شده و قیر آن به صورت لایه نازکی سطح دانه ها را اندود کرده و آب آن تبخیر شده و یا جریان پیدا می کند. براساس سرعت شکستن امولسیون قیر، دسته بندی زیر برای قیرهای امولسیون صورت می گیرد:

R.S	الف- قیر امولسیون ناپایدار یا زود شکن	امولسیون قیر سرعت شکن	انتخاب نوع قیر
Rapid Setting			
M.S	ب- قیر امولسیون نیمه پایدار یا کند شکن		
Medium Setting			
S.S	ج- قیر امولسیون پایدار یا دیر شکن		
Slew Setting			

نوع قیری که در راهسازی استفاده می شود با توجه به عوامل و شرایط جوی، نوع و شدت ترافیک، نوع روسازی، جنس و دانه بندی مصالح سنگی و نحوه اجرای روسازی مشخص می شود. جدول ۵-۱۱ نشریه ۲۳۴ کاربرد عمومی انواع قیر را نشان می دهد.

جدول ۵-۱۱- راهنمای کلی انتخاب قیر برای انواع مختلف روسازی آسفالتی

قیـر محلول													قیـر خالص					نوع کاربرد
دیر گیر				کند گیر					زود گیر				۲۰۰	۱۲۰	۸۵	۶۰	۴۰	
SC-3000	SC-800	SC-250	SC-70	MC-3000	MC-800	MC-250	MC-70	MC-30	RC-3000	RC-800	RC-250	RC-70	۳۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۷۰	۵۰	
آسفالت گرم و بتن آسفالتی- اساس، آستر و رویه:																		
													×	×	×	×	×	راه
														×	×	×	×	محوطه سازی - پارکینگ
آسفالت سرد کارخانه‌ای- اساس، آستر و رویه:																		
					×													دانه‌بندی باز
×	×	×		×	×	×					×							دانه‌بندی پیوسته
×	×			×	×	×				×	×							لکه‌گیری فوری
	×	×			×	×												لکه‌گیری غیرفوری
آسفالت سرد مخلوط در محل- اساس، آستر و رویه:																		
	×	×		×	×				×	×	×							دانه‌بندی باز
	×	×	×		×	×	×			×	×							دانه‌بندی پیوسته
					×	×				×	×							ماسه
					×	×				×	×	×						ماسه بالایی
×	×			×	×	×				×	×							لکه‌گیری فوری
	×	×			×	×												لکه‌گیری غیرفوری
آسفالت‌های بازیافتی:																		
													×	×	×			بازیافت گرم
													×					بازیافت سرد
آسفالت‌های حفاظتی:																		
				×	×				×	×	×		×	×				آسفالت سطحی یک لایه‌ای
				×					×	×	×		×	×				آسفالت سطحی چند لایه‌ای
				×	×				×	×	×							اندود آب‌بندی با مصالح سنگی
					×	×					×							اندود آب‌بندی با ماسه
																		اسلاری سیل
آسفالت ماکادام نفوذی:																		
									×	×								با فضای خالی زیاد
											×							با فضای خالی کم
قیـر پاشی:																		
																		قیـر پاشی کم Fogseal
					×	×				×	×							اندود نفوذی روی سطح با تخلخل
						×	×				×							اندود نفوذی روی سطح با تخلخل
											×							اندود سطحی
			×				×				×							غبار نشانی
											×							مالچ پاشی
درز گیرها:																		
																	×	رویه‌های آسفالتی
																		رویه‌های بتنی

ادامه جدول ۵-۱۱- راهنمای کلی انتخاب قیر برای انواع مختلف روسازی آسفالتی

قیر آبه ^a															نوع کاربرد			
کاتیونیک							آنیونیک											
CQS-1h	CSS-1h	CSS-1	CMS-2h	CMS-2	CRS-2	CR-sI ^(b)	SS-1h	SS-1	HFMS-2s	MS-2h,	HFMS-2h	MS-2,	HFMS-2	MS-1,			HFMS-1	HFMS-2
آسفالت گرم و بتن آسفالتی - اساس، آستر و رویه:																		
										×C	×							راه
										×C	×							محوطه سازی - پارکینگ
آسفالت سرد کارخانه ای - اساس، آستر و رویه:																		
			×	×						×	×							دانه بندی باز
	×	×					×	×	×									دانه بندی پیوسته
			×	×					×	×	×							لکه گیری فوری
									×									لکه گیری غیرفوری
آسفالت سرد مخلوط در محل - اساس، آستر و رویه:																		
			×	×						×	×	×						دانه بندی باز
	×	×					×	×	×									دانه بندی پیوسته
	×	×					×	×										ماسه
	×	×					×	×										ماسه بالایی
			×	×					×	×	×	×						لکه گیری فوری
									×									لکه گیری غیرفوری
آسفالت های باز یافتی:																		
																		باز یافت گرم
	×	×	×	×			×	×	×	×	×							باز یافت سرد
آسفالت های حفاظتی:																		
					×	×								×	×	×		آسفالت سطحی یک لایه ای
					×	×								×	×	×		آسفالت سطحی چند لایه ای
									×									اندود آب بندی با مصالح سنگی
					×	×			×				×	×	×	×		اندود آب بندی با ماسه
×	×	×					×	×										اسلاری سیل
آسفالت ماکادام نفوذی:																		
					×									×	×			با فضای خالی زیاد
×						×										×		با فضای خالی کم
قیرپاشی:																		
	×	×					×e	×e					×d					قیرپاشی کم Fogseal
	×	×					×e	×e										اندود نفوذی روی سطح با تخلخل زیاد
																		اندود نفوذی روی سطح با تخلخل کم
	×	×					×e	×e					×d					اندود سطحی
	×	×					×e	×e										غبار نشانی
	×	×					×e	×e										مالج پاشی
درزگیرها:																		
	×	×	×	×			×	×	×	×	×							رویه های آسفالتی
																		رویه های بتنی

آزمایش های قیر

آزمایش های متداول قیر شامل موارد زیر است :

(۱) تعیین چگالی قیر T-228 AASHTO

(۲) تعیین حلالیت قیر T-44AASHTO

(۳) تعیین درجه نفوذ قیر T-49AASHTO

(۴) تعیین نرمی قیر T-53AASHTO

(۵) خاصیت شکل پذیری قیر

(۶) آزمایش نقطه اشتعال قیر

(۷) تعیین کند روانی

(۸) افت وزنی قیر بر اثر حرارت

(۹) لعاب نازک قیر

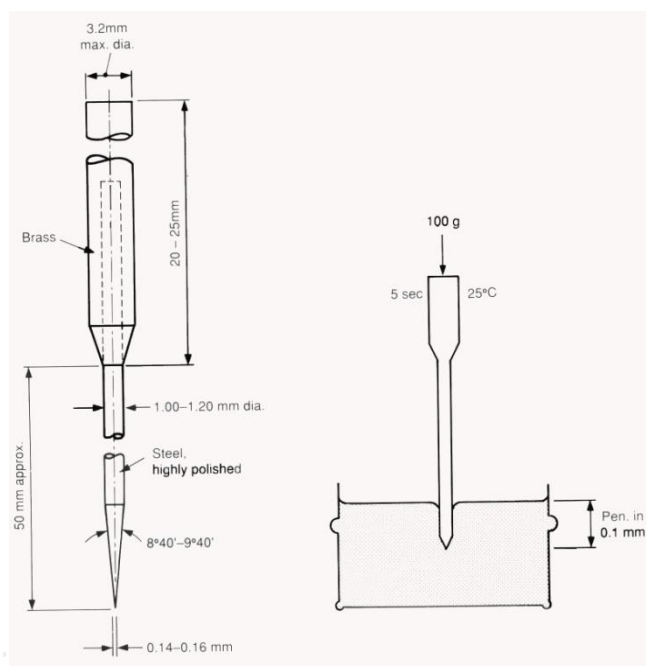
(۱۰) آزمایش فراس

۱- حلالیت قیر

برای انجام این آزمایش از استاندارد AASHTO T-44 استفاده می شود که بر اساس این روش بایستی قیر در سولفات کربن حل شود. ناخالصی قیر را با عبور دادن محلول از یک لایه صافی به دست می آورند. درجه خلوص قیر از تقسیم وزن قیر حل شده به وزن قیر اولیه بر حسب درصد به دست می آید.

۲- آزمایش درجه نفوذ

مقدار درجه نفوذ به وسیله نشانی سختی ، اندازه گیری و ارزیابی می گردد. در این آزمایش مقدار نفوذ سوزنی با مشخصات استاندارد تحت اثر وزنی معادل 100gr در مدت ۵ ثانیه در قیر ۲۵ درجه بر حسب دهم میلی متر اندازه گیری می شود. درجه نفوذ کمتر نشان دهنده قیر سفت تر و درجه نفوذ بیشتر نشانه قیر شل تر است. قیر های متداول در راه سازی دارای درجه نفوذ ۴۰-۵۰ و ۶۰-۷۰ و ۸۵-۱۰۰ می باشند. هر قدر آب و هوای منطقه گرمتر و یا برای یک منطقه معین میزان ترافیک وسایل نقلیه بیشتر باشد باید از قیر با درجه نفوذ کمتری استفاده کرد.



دستگاه آزمایش درجه نفوذ

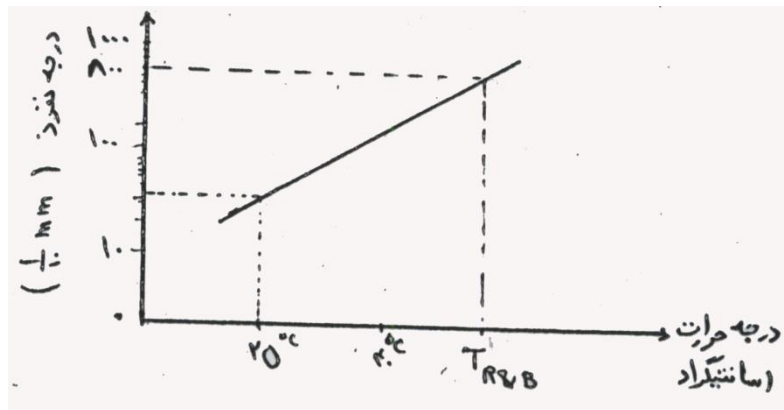
۳- آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر

به منظور مقایسه حساسیت قیرها نسبت به تغییر درجه حرارت، آزمایش تعیین درجه نرمی انجام می شود. طبق تعریف درجه نرمی، درجه حرارتی است که یک قیر از حالت جامد به حالت روان در می آید. قیری که درجه نرمی آن بیشتر باشد کمتر در مقابل تغییرات درجه حرارت حساس بوده و درجه نفوذ و کند روانی آن نیز کمتر تغییر می کند. این آزمایش با استفاده از روش حلقه و گلوله انجام می شود. بدین ترتیب که ابتدا قیر در داخل حلقه آزمایش ریخته شده، سپس در ظرفی که در آن آب با درجه حرارت 4°C وجود دارد قرار داده می شود و گلوله فلزی بر روی آن قرار می گیرد. سپس از پایین به ظرف حرارت می دهیم تا اینکه قیر نرم شود و گلوله از داخل آن عبور کند و با صفحه زیرین تماس پیدا کند. دمایی که در آن گلوله به صفحه زیرین برسد نقطه یا درجه نرمی قیر نامیده می شود. نقطه نرمی قیرهای متداول در روسازی $35-70^{\circ}\text{C}$ است.

نقطه نرمی همچنین برای تعیین نشانه درجه نفوذ قیر (PI) به کار می رود. (در درجه حرارت نقطه نرمی قیرها میزان درجه نفوذ آنها برابر ۸۰۰ می شود).

$$\frac{\log 800 - \log(\text{درجه نفوذ})}{\text{درجه نفوذ} - \text{درجه نرمی}} = \frac{1}{50} \times \frac{20 - PI}{10 + PI}$$

PI بیانگر حساسیت حرارتی قیر است و مقدار آن به منبع نفت خام و نحوه تولید و پالایش قیر بستگی دارد. هر اندازه *PI* یک قیر بیشتر باشد حساسیت آن قیر در برابر تغییرات درجه حرارت کمتر خواهد بود.

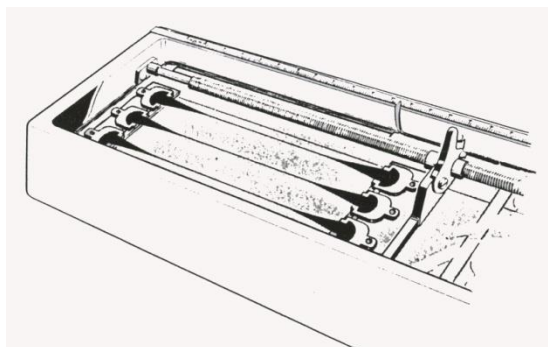


تغییرات درجه نفوذ در برابر دما



۴- آزمایش خاصیت شکل پذیری قیر (انگمی) T-51AASHTO

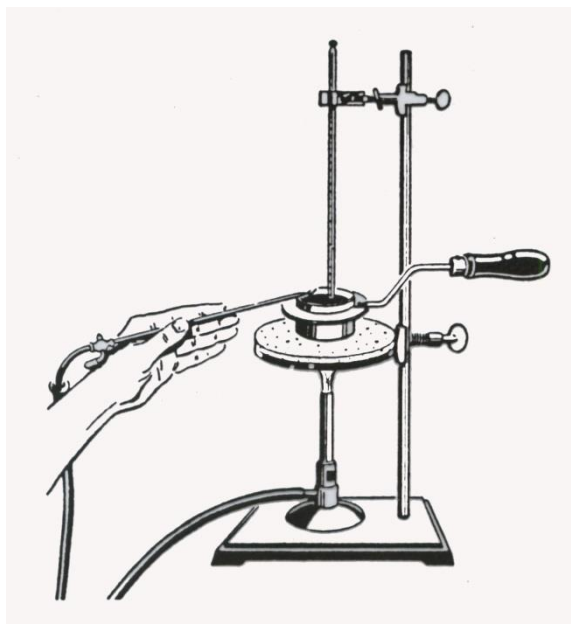
به طور کلی قابلیت شکل پذیری خاصیتی از ماده می باشد که به آن اجازه تغییر شکل زیاد بدون شکستگی را می دهد. هر اندازه قیری چسبنده تر باشد قابلیت شکل پذیری آن بیشتر خواهد بود. تنش حاصل از عبور وسایل نقلیه، روسازی را وادار به حرکت اندکی می کند لذا چنانچه قیر مصرف شده فاقد خاصیت انگمی باشد این حرکتهای باعث پیدایش ترک مخصوصا در فصول سرد سال می گردد.



دستگاه آزمایش خاصیت انگمی و نمونه های آن

۵- آزمایش نقطه اشتعال قیر (T-48AASHTO)

با توجه به اینکه دمای قیرهای خالص مورد استفاده در بعضی مخلوطها، نظیر آسفالت ماستیکی بالا می باشد و درجه حرارت‌های بالا خطر آتش سوزی را افزایش می دهد لذا نقطه اشتعال قیر را تعیین می نمایند.



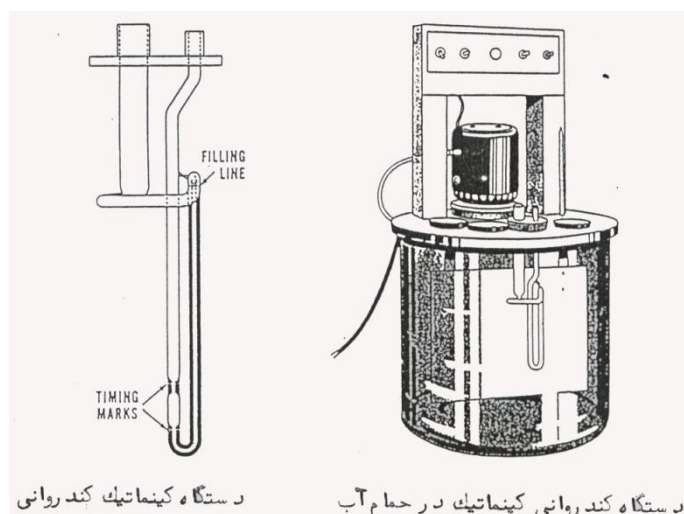
آزمایش نقطه اشتعال قیر

۶- آزمایش تعیین کند روانی قیر

قیرهایی که در دمای 25°C دارای درجه نفوذ یکسانی می باشند در دماهای بالاتر رفتار روانی و کند روانی مشابهی ندارند هرچه دما افزایش یابد کند روانی قیر کاهش پیدا می کند. روشهای مختلفی جهت اندازه گیری کند روانی قیر وجود دارد که دو روش پرکاربرد آن عبارتند از :

(۱) کند روانی کینماتیکی T-201AASHTO

(۲) کند روانی مطلق AASHTO T-202



۷- آزمایش لعاب نازک قیر

قیر در تماس با هوا و حرارت به مرور زمان سخت تر شده و مولکولهای آن در اثر حرارت تغییر شکل داده و هیدروژن خود را از دست می دهد. لذا چسبندگی و دوام این قیر نسبت به قیر اولیه کمتر خواهد شد و قیر دچار فرسودگی شده که منشا بسیاری از خرابیهای روسازی می باشد. در این آزمایش قیر را در ظرف مخصوص به شکل قشر نازکی به ضخامت تقریبی 3mm قرار می دهند و سپس ظرف را به مدت ۵ ساعت در دمای 163°C قرار می دهند . پس از اتمام این مدت درجه نفوذ و نقطه نرمی قیر را تعیین می کنند و نتیجه را با نتایج قبل مقایسه می نمایند.

نقص های استانداردهای فعلی

- (۱) عدم اندازه گیری خصوصیات قیر در دماهای پایین
- (۲) عدم تطابق شرایط فیزیکی آزمایش ها با شرایط واقعی
- (۳) عدم تناسب آزمایشات برای اندازه گیری خصوصیات قیر در حرارت های بالا
- (۴) عدم پیش بینی چگونگی سخت شدن قیر در طول زمان

برنامه تحقیقات SHRP (Strategic Highway Research Program) (شارپ) از سال 1993 تحقیقات گسترده

ای را در مورد قیر و آسفالت انجام داد . و به دنبال آزمایشاتی بودند که بتوانند موارد زیر را برای قیر ارزیابی کنند :

- (۱) مقاومت در برابر تغییر شکل
- (۲) مقاومت در برابر ترک خوردگی حرارتی در اثر سرما
- (۳) مقاومت در برابر خستگی
- (۴) پیش بینی نحوه سخت شدن قیر در کارخانه آسفالت
- (۵) پیش بینی نحوه سخت شدن قیر در اثر مرور زمان

تعیین مشخصات ماده ی چسبنده ی قیری بر اساس روش ممتاز:

تعیین مشخصات قیر بر اساس روسازی ممتاز نیاز به مجموعه ی جدید ابزار و روش های آزمایش دارد. از آنجا که این مشخصات برای هر دو قیر اصلاح شده و اصلاح نشده استفاده می شود. عنوان ماده ی چسبنده به جای قیر مورد استفاده قرار می گیرد. آزمایش های روسازی ممتاز خواص فیزیکی را اندازه گیری می نمایند که با اصول مهندسی می تواند به طور مستقیم به عملکرد میدانی مربوط شود. آزمایش های مورد استفاده در روسازی ممتاز، سه مرحله ی بحرانی در مدت عمر قیر را مد نظر قرار می دهد.

مرحله ی اول مربوط به حمل و نقل، ذخیره سازی و استعمال و یا به طور کلی وضعیت قیر قبل از ساخت مخلوط می باشد. مرحله ی دوم مربوط به قیر در حین تولید مخلوط و ساخت می باشد، پیر شدگی قیر در این مرحله توسط آزمایش لعاب نازک چرخشی (RTFO) شبیه سازی می گردد. در این روش لعاب نازک قیر در معرض هوا و حرارت قرار می گیرد. مرحله ی سوم مربوط به پیر شدگی قیر در لایه های روسازی مخلوط آسفالتی می باشد که در طول عمر روسازی اتفاق می افتد. این مرحله با آزمایش محفظه ی تسریع پیری (PAV) شبیه سازی می گردد. در این روش نمونه های قیر را در معرض حرارت و فشار قرار می دهند تا پیر شدگی دراز مدت روسازی را شبیه سازی نماید.

در جدول زیر آزمایش های اصلی در روش روسازی ممتاز ارائه شده است.

هدف	خاصیت عملکرد	وضعیت ماده چسبنده	نام اختصاری	نام آزمایش
تعیین خواص ماده چسبنده در دماهای بالا و متوسط	تغییر شکل ثابت و ترک ناشی از خستگی	ماده چسبنده اصلی	DSR	آزمایش برش دینامیکی
		پیر شده در RTFO		
		پیر شده در PAV		
تعیین خواص در دماهای پایین	ترک ناشی از حرارت (دماهای پایین)	پیر شده در PAV	BBR	آزمایش خمش تیرک
تعیین خواص در دماهای پایین	ترک ناشی از حرارت (دماهای پایین)	پیر شده در PAV	DTT	آزمایش کشش مستقیم
شبیه سازی پیر شدگی	-	ماده چسبنده اصلی	RTFO	آزمایش لعاب نازک دوار قیر
شبیه سازی پیر شدگی	-	پیر شده در RTFO	PAV	آزمایش محفظه تحت فشار
تعیین خواص در دماهای بالا	روانی (جابجایی و پمپاژ)	ماده چسبنده اصلی	RV	آزمایش ویسکومتر دورانی

موارد تکمیلی در فصل ۵ نشریه ۲۳۴ ذکر شده و قسمتهای مهم آن مشخص شده است.

فصل پنجم – طرح اختلاط مخلوط های آسفالتی:

تعریف بتن آسفالتی: Asphalt concrete

به مخلوط مصالح سنگی ریز و درشت، قیر و فیلر بتن آسفالتی گفته می شود.

سرد	cold	CMA	(cold mix asphalt)
گرم	warm	WMA	(warm mix asphalt)
داغ	hot	HMA	(hot mix asphalt)

بتن آسفالتی

روابط وزنی – حجمی در مخلوط های آسفالتی:

قبل از ارائه طرح اختلاط بتن آسفالتی لازم است مروری بر روابط وزنی حجمی مخلوط های آسفالتی صورت پذیرد. خصوصیات مخلوط های آسفالتی متراکم شده نشانه هایی را برای پیش بینی عملکرد روسازی فراهم می کند که از این خصوصیات حجمی در اکثر روش های طرح اختلاط استفاده می شود.

خصوصیات حجمی مهم در مخلوط های آسفالتی عبارت اند از:

- درصد فضای خالی (Pa) Air voids
- درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA) Void in the mineral aggregate
- درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA) void filled with asphalt
- درصد قیر مؤثر (Pbe)

در زیر متغیر های به کار رفته در روابط وزنی - حجمی تعریف می شود:

G	وزن مخصوص واقعی
G _b	وزن مخصوص قیر
G _{sb}	وزن مخصوص واقعی کل مصالح سنگی
G _{se}	وزن مخصوص مؤثر کل مصالح سنگی
G _{sa}	وزن مخصوص ظاهری کل مصالح سنگی
G _{mb}	وزن مخصوص مخلوط آسفالتی متراکم شده
G _{mm}	وزن مخصوص تئوریک مخلوط آسفالتی متزاکم نشده
P _b	درصد قیر
P _s	درصد مصالح سنگی
P _{be}	درصد قیر مؤثر
P _a	درصد فضای خالی
P _{ba}	درصد قیر جذب شده
P	درصد

برای محاسبه پارامتر های معرفی شده از روابط زیر استفاده می شود:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}}$$

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

$$P_{ba} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{se} \times G_{sb})} G_b$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s$$

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}$$

$$P_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

$$VFA = \frac{VMA - P_a}{VMA} \times 100$$

مثال: با استفاده از اطلاعات داده شده در جدول زیر مطلوب است محاسبه درصد قیر جذب شده (P_{ba})، درصد قیر مؤثر (P_{be})، VMA، درصد فضای خالی (P_a)، VFA:

مصالح	وزن مخصوص	درصد وزنی نسبت به کل مخلوط	درصد وزنی نسبت به مصالح سنگی
درشت دانه	۲,۳۱۵	۶۱,۸	۶۵
ماسه شکسته	۲,۴۳۲	۱۶,۲	۱۷
ماسه طبیعی	۲,۵۲۱	۱۶,۲	۱۷
فیلر معدنی	۲,۷۸۹	۰,۹	۱

	۴,۹	۰,۹۹۳	قیر
		۲,۱۳۸	G_{mb}
		۲,۲۲۱	G_{mm}

حل:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = \frac{65 + 17 + 17 + 1}{\frac{65}{2.315} + \frac{17}{2.432} + \frac{17}{2.521} + \frac{1}{2.789}} = 2.371$$

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = \frac{100 - 4.9}{\frac{100}{2.221} - \frac{4.9}{0.993}} = 2.382$$

$$P_{ba} = 100 \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{se} \times G_{sb})} G_b = 100 \frac{(2.382 - 2.371)}{2.382 \times 2.371} \times 0.993 = 0.19\%$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s = 4.9 - \frac{0.19}{100} \times 95.1 = 4.72$$

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} P_b}{G_{sb}} = 100 - \frac{2.183 \times 95.1}{2.371} = 14.2$$

$$P_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 = 100 \times \frac{2.221 - 2.183}{2.221} = 4.1\%$$

$$VFA = \frac{VMA - P_a}{VMA} = \frac{14.2 - 4.1}{14.2} \times 100 = 71.1\%$$

قابل ذکر است در عمل مقادیر مندرج در جدول مثال از طریق آزمایش بدست آمده و در روابط وزنی حجمی همانند مثال قرار داده می‌شوند که در نهایت از این مقادیر در روش طرح اختلاط بتن آسفالتی استفاده می‌شود.

روش های طرح اختلاط:

ASTM (D1559) or AASHTO (T245) or ASTM (D5581)

روش طرح اختلاط مارشال:

روش های مختلفی برای مخلوط های آسفالتی وجود دارد که از آن جمله می توان به روش ویم، روش مارشال، و روش روسازی ممتاز (سوپر بیو) اشاره کرد. روش طرح مارشال پرکاربردترین روش در ایران می باشد. این روش توسط بروس مارشال در سال ۱۹۳۹ در ایالت می‌سی‌سی‌پی آمریکا ابداع شد و سپس توسط ارتش آمریکا توسعه بیشتری پیدا کرد.

تعریف استقامت مارشال: (Marshall stability)

حداکثر باری که نمونه متراکم شده در دمای 60 درجه تحت نرخ بارگذاری 51mm/min می تواند تحمل کند.

تعریف روانی: (Flow)

تغیر شکل قائم نمونه در حین باگذاری که اندازه گیری آن از لحظه بارگذاری شروع شده و تا زمانی که مقدار استقامت نمونه شروع به کاهش می نماید، ادامه می یابد واحد اندازه گیری آن 0.01ⁱⁿ یا 0.25^{mm} است.

استقامت و روانی نمونه با استفاده از ماشین آزمایش مارشال تعیین می شود این وسیله با به کارگیری بار بر روی نمونه ای که در قالب استوانه ای دستگاه قرار گرفته و تحت نرخ کرنش ثابت 51^{mm/min} قرار دارد عمل می کند (از دستگاه UTM نیز می توان به عنوان جایگزین این دستگاه استفاده کرد)

طرح بتن آسفالتی داغ به روش مارشال شامل مراحل زیر است:

۱. انتخاب مصالح درشت دانه، ریز دانه و فیلر
۲. انتخاب حدود دانه بندی مطلوب
۳. تعیین نسبت درصد هایی که مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر باید با هم مخلوط شوند
۴. تعیین چگالی مصالح و قیر

۵. تهیه نمونه های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصد های مختلف قیر
۶. تعیین چگالی بتن آسفالتی تهیه شده
۷. انجام آزمایش استقامت و روانی مارشال
۸. محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد خالی نمونه های بتن آسفالتی
۹. رسم منحنی های تغییرات وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت، درصد فضای خالی بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر، فضای خالی مصالح سنگی و روانی بتن آسفالتی به ازای درصد های مختلف قیر مصرفی
۱۰. تعیین درصد بهینه قیر
۱۱. کنترل و تصحیح درصد بهینه قیر

هدف از طرح اختلاط یافتن اقتصادی ترین ترکیب مصالح سنگی و قیر است به نحوی که مخلوط حاصل خواص زیر را داشته باشد:

۱. قیر کافی برای تامین پوشش کامل مصالح سنگی وجود داشته باشد.
۲. کارایی لازم برای پخش و تراکم را داشته باشد.
۳. استقامت کافی برای تحمل بار های ترافیکی بدون تغییر شکل های زیاد را داشته باشد.
۴. فضای کافی خالی پس از تراکم را داشته باشد. درصد فضای خالی کافی از آن جهت اهمیت دارد که اگر درصد فضای خالی کم باشد با عبور بار های ترافیکی مخلوط متراکم تر شده و قیر به سمت بالای روسازی نفوذ کرده و اصطلاحاً قیر زده شده (Bleeding) و مقدار فضای خالی زیاد باعث اکسیداسیون بیشتر قیر و مشکلات ناشی از نفوذ رطوبت خواهد شد.

در زیر مراحل گام به گام روش طرح اختلاط مارشال به طور خلاصه شرح داده می شود:

مرحله اول: انتخاب مصالح درشت دانه، ریز دانه و فیلر

در این مرحله آزمایش های مربوط به مصالح سنگی مورد کاربرد در آسفالت از جمله آزمایش ارزش ماسه ای، سایش لوس آنجلس و دوام انجام شده و با مقادیر آیین نامه ای کنترل می شوند. در صورتی که مصالح سنگی معیارهای لازم را داشته باشند انتخاب و از آنها در آسفالت استفاده می شود.

مرحله دوم: انتخاب حدود دانه بندی مطلوب

در آیین نامه های مختلف حدود دانه بندی مطلوب برای مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت آورده شده است. انتخاب دانه بندی مطلوب از میان گزینه های موجود در آیین نامه وابسته به نوع مصالح سنگی در دسترس و اقتصادی بودن آن است.

مرحله سوم: تعیین نسبت درصد هایی که مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر باید با هم مخلوط شوند

معمولاً در طرح آسفالتها لازم است دو یا چند نوع مصالح سنگی که هیچکدام به تنهایی دارای دانه بندی مطلوب نیستند به نسبت هایی با یکدیگر مخلوط شوند تا مخلوط بدست آمده دارای دانه بندی مورد نظر در آیین نامه شود. یکی از روشها روش معادلات چند مجهولی است که در این روش ابتدا تعدادی الک مبنا (به تعداد مصالح موجود منهای یک) انتخاب شده و سپس معادلات چند مجهولی تشکیل می شود. معمولاً اندازه الکهای مبنا الک حدفاصل شن و ماسه و الک حد فاصل ماسه و لای است. معادلات چند مجهولی عبارتند از:

$$a_i X + b_i Y + c_i Z + \dots = 100 T_i$$

$$X + Y + Z = 100$$

در این معادلات Z, Y, X و ... به ترتیب عبارتند از درصدهایی که مصالح A, B, C و ... باید با یکدیگر مخلوط شوند تا دانه‌بندی مصالح به‌دست آمده منطبق بر دانه‌بندی مطلوب شود. a_i, b_i, c_i و ... به ترتیب عبارتند از درصدی از مصالح A, B, C و ... که از الک i ام رد می‌شود.

مثال: مطلوب است تعیین درصدهایی که مصالح A, B, C باید با یکدیگر مخلوط شوند تا منحنی دانه‌بندی بدست آمده منطبق با حد وسط منحنی دانه‌بندی مطلوب داده شده در جدول مثال شود.

اندازه الک		۱۹ میلیمتر	۱۲/۵ میلیمتر	نمره ۴	نمره ۱۰	نمره ۴۰	نمره ۸۰	نمره ۲۰۰
درصد رد شده	مصالح A	۱۰۰	۹۰	۴۱/۸	۶/۵	۳	۱	۰/۵
	مصالح B	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۵	۲۰	۱۲/۲	۳
	مصالح C	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۳	۵۸	۲۷/۵
	دانه‌بندی مطلوب	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۷۵-۶۰	۵۵-۴۰	۳۵-۲۰	۲۲-۱۲	۱۰-۵

حل: در این مثال الکهای ۴ و ۲۰۰ به عنوان الک مبنا در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین داریم

$$41.8X + 100Y + 100Z = 100 \times 67.5$$

$$0.5X + 3Y + 27.5Z = 100 \times 7.5$$

$$X + Y + Z = 100$$

از حل این دستگاه داریم:

$X=56\%$, $Y=20\%$ و $Z=24\%$ که همان درصد مصالح A, B, C است.

مرحله چهارم: تعیین چگالی مصالح و قیر

در این مرحله با استفاده از آزمایش چگالی مصالح سنگی و قیر بدست آمده و در روابط وزنی حجمی قرار داده می‌شوند.

مرحله پنجم: تهیه نمونه های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصد های مختلف قیر

جهت تهیه نمونه های آسفالتی ابتدا لازم است درصد قیر مخلوط مشخص باشد. از آنجاییکه هدف طرح اختلاط یافتن مقدار قیر بهینه می باشد، لذا لازم است که نمونه هایی با درصدهای مختلف قیر تهیه و آزمایش شوند. معمولاً براساس تجربه و ساخت نمونه های قبل درصد قیر بهینه حدس زده می شود و دو نمونه با اختلاف های ۰/۵ درصدی با قیر بیشتر و دو نمونه با اختلاف های ۰/۵ درصدی با قیر کمتر ساخته می شود که مجموعاً می شود ۵ رده درصد قیر. به عنوان مثال حدس زده می شود که درصد قیر بهینه برابر ۵ درصد باشد آنگاه نمونه ها با ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵ و ۶ درصد قیر تهیه می شوند و برای هر یک از این نسبت ها ۳ نمونه (در بعضی موارد تا ۵ نمونه) ساخته می شود. علاوه بر این ۳ نمونه نیز برای اندازه گیری حداکثر چگالی مخلوط آسفالتی ساخته می شود. براین اساس تعداد کل نمونه ها برابر ۱۸ نمونه خواهد بود. جهت تهیه نمونه های آسفالتی مراحل ذیل طی می شود:

۱. تهیه مقدار کافی مصالح برای ساخت ۱۸ نمونه به وزن ۱۲۰۰ گرم (با توجه به دانه بندی انتخاب شده)

۲. حرارت دادن نمونه ها تا دمای انتخاب شده برای اختلاط

۳. تعیین تعداد ضربات لازم برای متراکم نمودن نمونه ها با توجه به میزان ترافیک با استفاده از جدول زیر

جدول ۱- حدود مشخصات پارامتر های مورد نظر آرایه شده است:

ترافیک ESAL			
>1000000	10000-1000000	<10000	معیار
75	50	35	تعداد ضربات چکش مارشال تراکم نمونه در هر طرف

۴. حرارت دادن قیر در دمای اختلاط

۵. پس از رسیدن دمای مصالح سنگی به دما اختلاط آن ها را از اون خارج کرده و وزن می نماییم و مقدار قیر لازم را که به دمای اختلاط رسیده است به آن اضافه می نماییم

۶. مخلوط کردن مصالح سنگی و قیر به طور دستی و مکانیکی تا زمانی که قیر به خوبی مصالح سنگی را پوشش دهد و مخلوطی همگن بدست آید



Plate 5.5 Loose mixture for Rice specific gravity.

۷. متراکم نمودن نمونه ها: دمای تراکم مخلوط آسفالتی همواره کمتر از دمای اختلاط است نمونه ها ابتدا در داخل قالبی که حرارت داده شده است ریخته می شود (برای نمونه های با حداکثر اندازه اسمی تا 25mm از قالب های به ابعاد $102\text{mm} \times 64\text{mm}$ استفاده می شود و برای نمونه هایی با حداکثر اندازه اسمی تا 95mm از قالب های $152\text{mm} \times 64\text{mm}$)

در پایین و بالای نمونه جهت جلوگیری از چسبیدن مصالح به چکش مارشال از کاغذ استفاده می شود سپس با استفاده از چکش مارشال به وزن 4.5kg با ارتفاع سقوط 45.7cm برای نمونه های 25mm و به وزن 10.2kg برای نمونه های به اندازه های 95mm هر دو طرف نمونه را متراکم می نماییم. در شکل های زیر تصاویر چکش و قالب مارشال نشان داده شده است.



Plate 5.3 Mechanical Marshall compaction hammer.



Plate 5.8 Specimen mold prior to compaction.



Plate 5.2 Marshall specimen molds.

۸. سپس نمونه های را از قالب خارج کرده و اجازه داده می شود در دمای محیط خنک شود

مرحله ششم: تعیین چگالی بتن آسفالتی تهیه شده

در این مرحله با انجام آزمایش مقادیر ذیل تعیین می شود:

۱. تعیین G_{mb} نمونه ها

۲. تعیین G_{mm} نمونه ها

۳. اندازه گیری ارتفاع

مرحله هفتم: انجام آزمایش استقامت و روانی مارشال

۱. نمونه ها را در حمام آب با دمای ۶۰ درجه به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه قرار می دهیم و سپس آن ها را از آب

خارج کرده و با حوله خشک نموده در قالب دستگاه مارشال قرار می دهیم.

۲. بارگذاری نمونه با نرخ 51 mm/min تا شکست نمونه.

۳. اندازه گیری استقامت نمونه ها بر حسب کیلو نیوتن و روانی نمونه ها بر حسب 0.25 میلی متر.

۴. کل زمان آزمایش بایستی در حدود 30^s انجام شود.

به دلیل اینکه ارتفاع برخی نمونه ها کمتر یا بیشتر از 62.5 mm است بایستی با استفاده از ضرایب تبدیل مقادیر

استقامت مارشال (جدول زیر) نیز اصلاح نمود ولی نیازی به تغییر مقادیر روانی نیست.

Table 5.18 Marshall stability conversion factors

Specimen thickness (mm)	Conversion factor, 102 mm diameter specimen
25.4	5.56
27	5.00
28.6	4.55
30.2	4.17
31.8	3.85
33.3	3.57
34.9	3.33
36.5	3.03
38.1	2.78
39.7	2.50
41.3	2.27
42.9	2.08
44.4	1.92
46.0	1.79
47.6	1.67
49.2	1.56
50.8	1.47
52.4	1.39
54.0	1.32
55.6	1.25
57.2	1.19
58.7	1.14
60.3	1.09
61.9	1.04
63.5	1.00
65.1	0.96
66.7	0.93
68.3	0.89
69.8	0.86
71.4	0.83
73.0	0.81
74.6	0.78
76.2	0.76

در شکل‌های زیر دستگاه مارشال و تجهیزات جانبی آن نشان داده شده است.

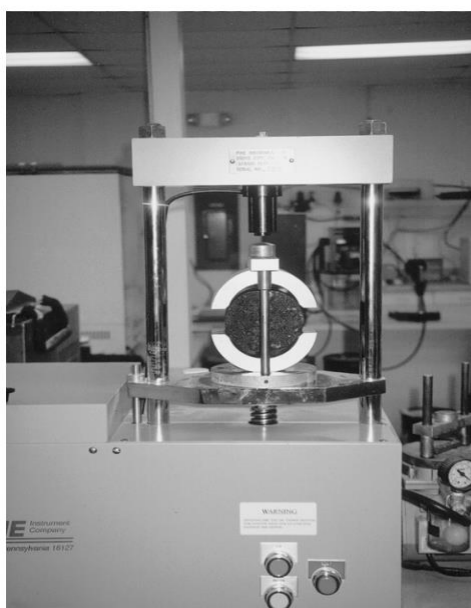


Plate 5.4 Marshall testing machine and Marshall testing head.



Plate 5.6 Mechanical mixer.



Plate 5.9 Marshall water bath.

مرحله هشتم: محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد خالی نمونه های بتن آسفالتی در این مرحله مقادیر VFA , P_a , VMA , P_{ba} برای تک تک نمونه ها توسط روابط وزنی حجمی محاسبه می شود. مرحله نهم: رسم منحنی های تغییرات وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت، درصد فضای خالی بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر، فضای خالی مصالح سنگی و روانی بتن آسفالتی به ازای درصد های مختلف قیر مصرفی

اطلاعات لازم جهت تعیین درصد بهینه قیر به شرح زیر است:

۱. استقامت مارشال

۲. روانی

۳. درصد فضای خالی

۴. VMA

۵. VFA

در مرحله نهم با داشتن هر یک از موارد فوق از مراحل قبل، نمودار تغییرات پارامترهای فوق بر حسب درصد قیر ترسیم می گردد. از آنجایی که برای هر درصد قیر ۳ نمونه ساخته شده مقادیر فوق برای هر سه نمونه میانگین گرفته می شود.

در ادامه مثال حل شده ای ارائه شده است

Table 5.19 Example of specimen information compiled by asphalt binder content

Asphalt binder content (%)	Specimen ID	G_{mb}	Height (mm)	Corrected stability (kN)	Flow, 0.25 mm	Ave. stability (kN)	Ave. flow, 0.25 mm	G_{mm}
4.0	1	2.371	63.5	7.9	10.6	7.9	10.4	2.494
	2	2.371	63.5	8.0	10.4			
	3	2.372	61.9	7.9	10.2			
4.5	4	2.395	63.5	8.2	9.8	8.2	9.7	2.473
	5	2.395	63.5	8.3	9.8			
	6	2.390	63.5	8.2	9.6			
5.0	7	2.401	65.1	8.7	10.1	8.7	9.8	2.464
	8	2.400	60.3	8.6	9.7			
	9	2.402	63.5	8.7	9.6			
5.5	10	2.422	63.5	7.4	11.2	7.4	11.6	2.441
	11	2.423	61.9	7.4	11.8			
	12	2.424	61.9	7.5	11.7			
6.0	13	2.421	65.1	6.1	12.1	6.2	12.2	2.423
	14	2.420	65.1	6.3	12.5			
	15	2.420	63.5	6.1	12.0			

Table 5.20 Test result summary

Asphalt binder content (%)	G_{mb}	G_{mm}	Stability (kN)	Flow, 0.25 mm	P_o	VMA (%)	VFA (%)
4.0	2.371	2.494	7.9	10.4	4.9	13.1	62.6
4.5	2.393	2.473	8.2	9.7	3.2	12.8	75.0
5.0	2.401	2.464	8.7	9.8	2.6	12.9	79.8
5.5	2.423	2.441	7.4	11.6	0.7	12.6	94.4
6.0	2.420	2.423	6.2	12.2	0.1	13.2	99.2

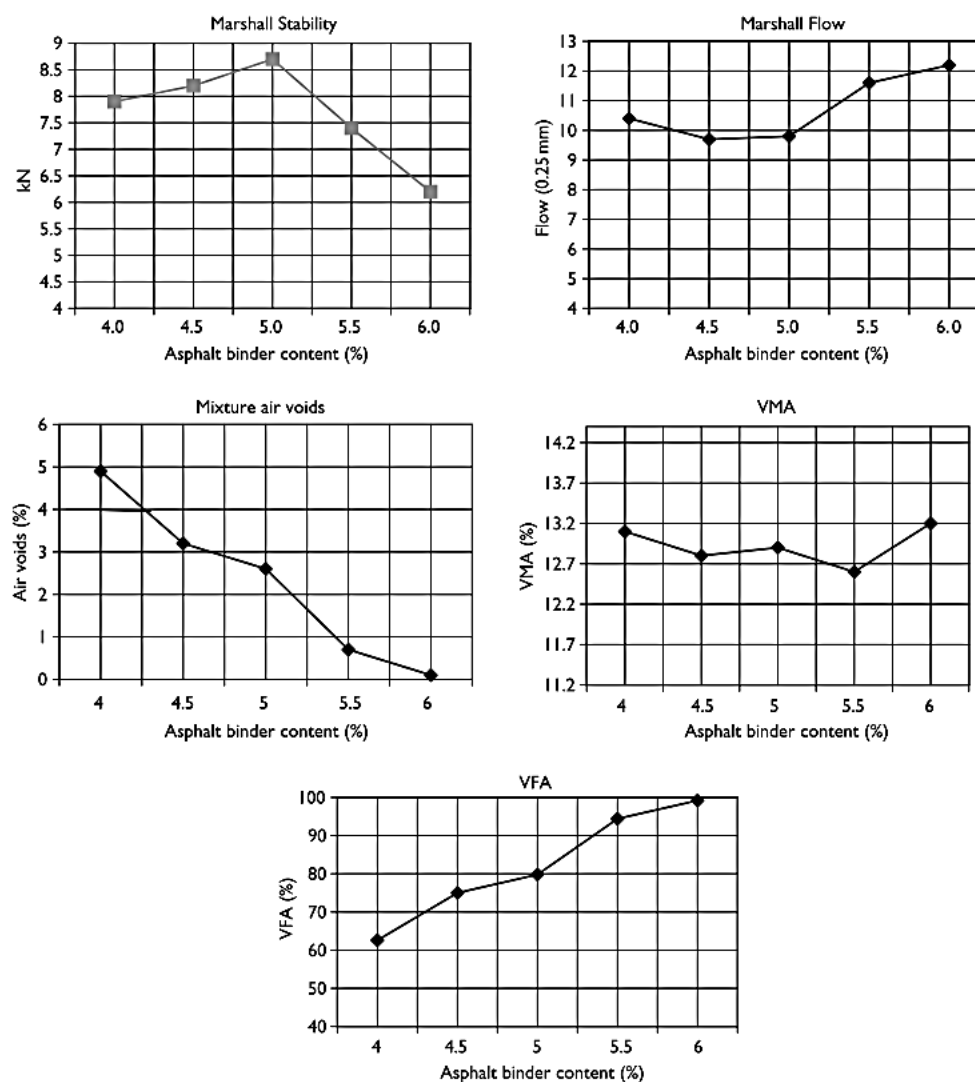


Figure 5.7 Example of Marshall design curves.

مرحله دهم و یازدهم : تعیین درصد بهینه قیر و کنترل و تصحیح آن
برای تعیین درصد قیر بهینه دو روش وجود دارد که در هر دو روش از جدول زیر استفاده می‌شود:

جدول ۱- حدود مشخصات پارامتر های مورد نظر ارائه شده است:

ترافیک ESAL			
معيار	<10000	10000-1000000	>1000000
تعداد ضربات چکش مارشال تراکم نمونه در هر طرف	35	50	75
درصد فضای خالی نمونه P_a	3-5	3-5	3-5
استقامت (KN)	≥ 3.3	≥ 5.3	≥ 8
روانی 25^{mm}	8-18	8-16	8-14
VMA(%)	بر اساس حداکثر اندازه اسمی		
VFA(%)	70-80	65-78	70-80

در روش اول تعیین درصد قیر بهینه با توجه به معیار های زیر انتخاب می شود:

۱. ابتدا همانطور که در جدول فوق مشخص شده است درصد فضای خالی مخلوط مناسب بین ۳٪ تا ۵٪ باشد که بین این دو عدد ۴ درصد انتخاب می شود. از روی نمودار تغییرات درصد قیر و فضای خالی مخلوط (air voids, p_a) مقدار قیر قرائت شده و این مقدار در سایر نمودارها قرار داده شده و مقادیر متناظر استقامت مارشال، روانی، VMA و VFA قرائت می شود.

۲. سپس مقادیر استقامت مارشال، روانی، VMA و VFA را با حدود توصیه شده توسط آیین نامه (جدول بالا) مقایسه می کنیم اگر در محدوده مذکور قرار داشت درصد قیر بهینه تعیین شده است ولی اگر در این محدوده قرار نداشت بایستی آزمایش را با انتخاب درصد قیر و دانه بندی های تکرار نمود.

در ادامه مثال حل شده برای تعیین درصد بهینه قیر به روش مارشال ارائه شده است.

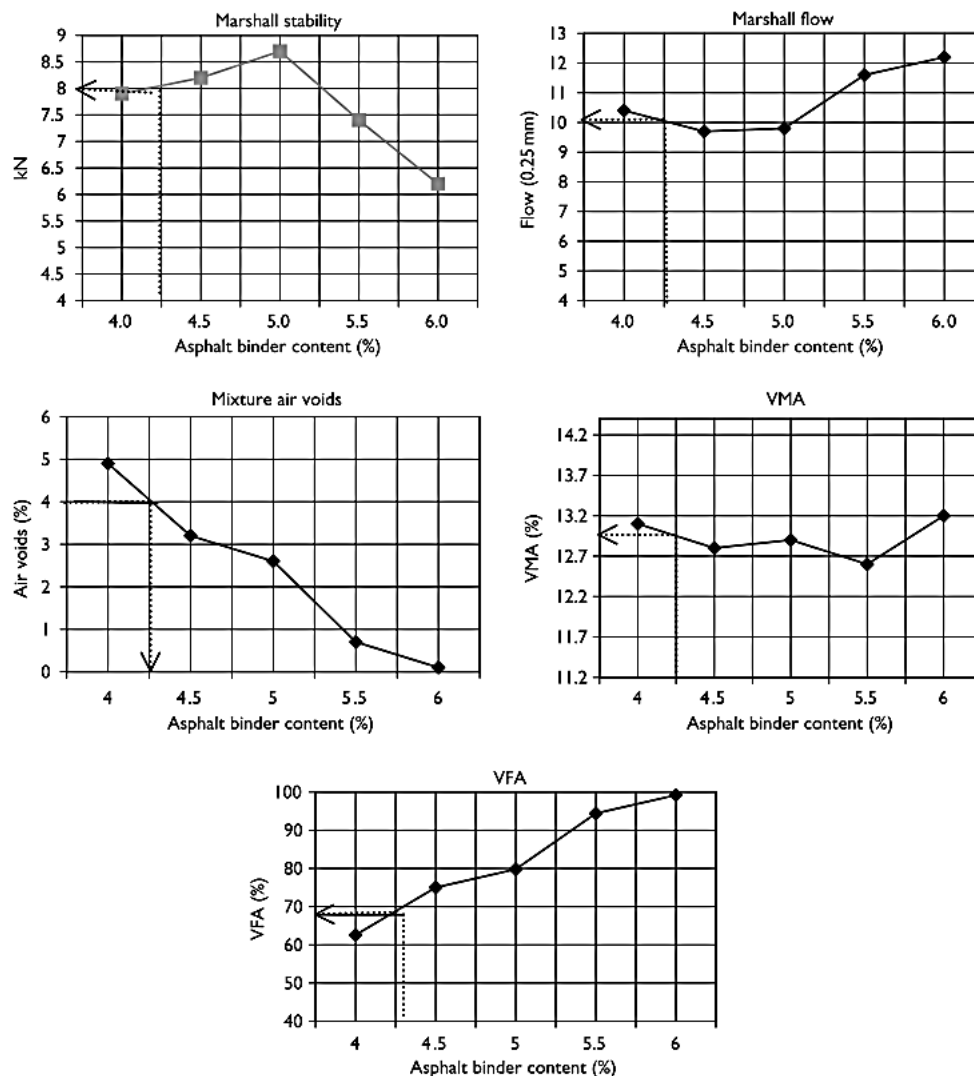


Figure 5.8 Example of selecting the optimum asphalt binder content using Marshall design curves.

Table 5.21 Information derived from the example Marshall design curves

Parameter	Asphalt binder content (%)	Value
Mixture air voids, P_a	4.3	4.0%
VMA	4.3	13.0%
VFA	4.3	69.0%
Marshall stability	4.3	8.1 kN
Marshall flow	4.3	10.0%

در روش دوم مقادیر درصد قیر متناظر با ۴ درصد فضای خالی، حداکثر مقاومت مارشال و محدوده وسط VFA از جدول (حدود مشخصات پارامترها) از روی نمودارها قرائت و میانگین آنها محاسبه می‌شود. سپس این درصد قیر وارد دو نمودار دیگر شده و مقادیر متناظر روانی و VMA از روی نمودار قرائت می‌شود. اگر این مقادیر در محدوده مذکور در جدول (حدود مشخصات پارامترها) قرار

داشت درصد قیر بهینه تعیین شده است ولی اگر در این محدوده قرار نداشت بایستی آزمایش را با انتخاب درصد قیر و دانه بندی های تکرار نمود.

۱۰-۱- کلیات

ترافیک، یکی از مهمترین پارامترها در طراحی روسازی است. ترافیک عبوری در دوره طراحی در راه‌های موجود بر مبنای آمارگیری و آگاهی از روند رشد ترافیک در سال‌های قبل و جذب ترافیک (پروژه‌های بهسازی) و در راه‌های جدید با انجام مطالعات حمل و نقل، تخمین رشد ناشی از توسعه آتی و برآورد قابلیت جذب، پیش‌بینی می‌گردد. با تعیین حجم ترافیک، نوع وسایل نقلیه، وزن و نوع محور، می‌توان آنها را به وزن محور استاندارد یا محور مبنای طرح تبدیل کرد. تعیین پارامترهای زیر در مطالعات ترافیک ضروری است:

- حجم ترافیک عبوری در سال اول بهره‌برداری
- نوع وسایل نقلیه، نوع محور و وزن آنها
- نرخ رشد سالانه انواع وسایل نقلیه
- ضرایب هم‌ارز برای تبدیل انواع محورها با وزن‌های مختلف به محور استاندارد
- ضریب توزیع جهتی ترافیک
- ضریب توزیع ترافیک در خط طرح

۱۰-۲- حجم ترافیک

حجم ترافیک، عبارت از تعداد کل وسایل نقلیه‌ای است که از یک مقطع مشخص راه در زمان معینی عبور می‌نماید و به دو روش بصری و مکانیکی آمارگیری می‌شود. دوره‌های زمانی معمول برای شمارش تعداد ترافیک، سالیانه، روزانه یا ساعتی است. معمولاً در محاسبه طرح روسازی، متوسط ترافیک روزانه سالیانه ($^{1}AADT$) یا متوسط ترافیک روزانه (^{2}ADT) مبنای قرار می‌گیرد. چنانچه حجم ترافیک بر اساس سایر بازه‌های زمانی بدست آمده باشد، لازم است با اعمال ضرایب مناسب از مراجع معتبر و یا مطالعات مشاور به متوسط ترافیک روزانه سالیانه یا متوسط ترافیک روزانه تبدیل گردد. مهمترین عوامل در آمارگیری، مکان، زمان و بازه آن است. مکان شمارش وسایل نقلیه یا ایستگاه‌ها باید به گونه‌ای باشد که نتایج شمارش، گویای ترافیک عبوری از قطعه مورد نظر بوده و غیر واقعی نباشد. زمان و بازه شمارش نیز باید به گونه‌ای باشد که بر اساس نتایج شمارش بتوان به برآورد واقعی تعداد ترافیک در طول سال دست یافت.

برای تعیین حجم ترافیک در محورهای موجود از نتایج آمارگیری‌های ارائه شده توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استفاده می‌شود. در صورت فقدان آمار برای راه مورد نظر، مهندس مشاور در حداقل ۷ روزی که شرایط اجتماعی و محیطی خاص بر ترافیک محور تاثیر نداشته باشد، نسبت به آمارگیری اقدام نموده و آن را در طراحی لحاظ خواهد نمود. برای پیش‌بینی حجم ترافیک در راه‌های جدید، باید از نتایج مطالعات طرح هندسی استفاده شود.

1- Annual Average Daily Traffic
2 - Average Daily Traffic

۱۰-۳- نوع وسایل نقلیه، نوع محور و وزن آنها

شمارش تعداد انواع وسایل نقلیه به تفکیک نوع وسیله، تعداد محور و وزن آنها بسیار مهم است. در جدول (۱۰-۱) طبقه‌بندی وسایل نقلیه و مشخصات محورها و وزن آنها ارائه شده است.

در پروژه‌های بهسازی، نسبت پر و خالی بودن کامیون‌ها براساس آمارهای سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و یا از طریق آمارگیری و بررسی‌های محلی تعیین می‌شود. در طرح‌های نوسازی نیز این نسبت بر اساس تجزیه و تحلیل آمار ترافیک عبوری و شرایط محلی محاسبه می‌شود. در هر حال، نسبت کامیون‌های خالی در محاسبات روسازی، نباید بیش از ۲۵ درصد کل کامیون‌ها منظور گردد. ضمن آنکه در راه‌های با مسیرهای رفت و برگشت مجزا، مشاور باید با بررسی‌های محلی، دقت لازم در جهت کامیون‌های پر و خالی را در مطالعات، مد نظر قرار دهد.

۱۰-۴- رشد سالانه انواع وسایل نقلیه

نرخ رشد وسایل نقلیه در دوره طرح بر اساس رشد ترافیک در دوره‌های گذشته و با در نظر گرفتن اثرات ناشی از توسعه‌های آتی و میزان ترافیک جذب شده از مناطق مجاور، بطور مجزا برای گروه‌های مختلف ترافیک از قبیل سبک و سنگین و یا باری و مسافری تعیین می‌گردد.

برای تعیین نرخ رشد ترافیک در راه‌های موجود از نتایج آمارگیری‌ها استفاده می‌شود. چنین آماری باید حداقل شامل یک دوره ۱۰ ساله از داده‌های ترافیکی باشد. استفاده از آمار در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر، ممکن است نتایج گمراه کننده‌ای را ارائه دهد. برای پروژه‌های نوسازی باید از نتایج آمارگیری محورها موجود در محدوده پروژه و با استفاده از مدل‌های مناسب پیش‌بینی سفر، نرخ رشد ترافیک و میزان ترافیک سال شروع طرح محاسبه شود. به هر حال چنانچه آمارگیری نتایجی با دامنه تغییرات زیاد داشته باشد و یا آمار لازم در دوره ۱۰ ساله وجود نداشته باشد، باید با بررسی طرح‌های توسعه منطقه‌ای و کشور همراه با ارائه دلایل و شواهد مورد نیاز نسبت به تعیین نرخ رشد ترافیک بر اساس شرایط واقعی اقدام شود.

برای تعیین نرخ رشد سالیانه ترافیک با استفاده از آمارهای موجود، از روش رگرسیون استفاده می‌شود. در این روش، پس از ترسیم نمودار لگاریتم تعداد وسیله نقلیه نسبت به زمان (برحسب سال)، بهترین خط برازش (ضریب همبستگی حداقل ۰/۸) مشخص و با استفاده از روش زیر، مقدار نرخ رشد سالیانه ترافیک (r) محاسبه می‌شود:

$$T_n = T_0(1+r)^n \quad (10-1)$$

$$\text{Log}T_n = \text{Log}T_0 + n\text{Log}(1+r)$$

$$\text{Log}T_0 = Y_0 \quad \text{Log}T_n = Y$$

$$A = \text{Log}(1+r)$$

$$Y = Y_0 + An$$

$$r = 10^A - 1$$

در این روابط، Y لگاریتم حجم ترافیک، n زمان برحسب تعداد سال، A شیب خط برازش و r نرخ رشد سالیانه ترافیک است. با در دست داشتن میزان ترافیک در سال اول بهره‌برداری طرح و ضرایب رشد سالانه وسایل نقلیه، میزان ترافیک در سال‌های آتی از رابطه (۱۰-۱) محاسبه می‌شود:

۱۰-۵- محور هم ارز

در این آیین‌نامه، اثرات ترافیک با استفاده از روش محور هم ارز در طرح روسازی لحاظ می‌شود. بطوریکه کل ترافیک عبوری از راه در دوره طرح با تعداد معینی از یک محور استاندارد با مشخصات و وزن معین (محور مبنای طرح)، جایگزین شده و اثر تعداد معادل محور مبنا (EAL^2) در طراحی منظور می‌شود. معمولاً محور منفرد با وزن $8/2$ تن (80 KN) به عنوان محور مبنا در نظر گرفته می‌شود. برای تبدیل انواع مختلف محورها مانند محور منفرد، تاندم یا تریدم به محور مبنا، باید از ضریب بار محور هم ارز ($EALF^3$) حاصل از روش‌های نظری یا تجربی استفاده شود. در روش تجربی با مقایسه خرابی حاصل از عبور محور مورد نظر با خرابی ایجاد شده توسط محور مبنا که معمولاً محور $8/2$ تنی می‌باشد، معادل‌سازی انجام می‌گردد.

ضریب بار محور هم ارز، بستگی به نوع روسازی و مدل خرابی روسازی، ظرفیت سازه‌ای، ضخامت لایه‌ها و نشانه خدمت‌دهی نهایی دارد. ضرایبی که برای عدد سازه‌ای روسازی^۵ و نشانه خدمت‌دهی نهایی^۶ در این آیین‌نامه ارائه شده‌اند، حاصل نتایج آزمایشات مؤسسه آشتو هستند. این ضرایب در جداول (۱۰-۲) الی (۱۰-۱۰) ارائه شده است.

مهندس طراح باید در ابتدا و بر اساس تجربیات قبلی، با فرض عدد سازه‌ای اولیه برای روسازی، ضرایب بار هم ارز را از جداول مربوطه استخراج و محاسبات روسازی را انجام دهد. سپس در صورت مغایرت عدد سازه‌ای مفروض اولیه و نهایی، محاسبات را تکرار نماید.

در ردیف چهارم جدول (۱۰-۱۳)، نمونه‌ای از ضرایب بار محور هم‌ارز برای $SN=5$ و $P_t=3$ ارائه شده است.

2- Equivalent Axle Load
3- Equivalent Axle Load factor
4- Structural Number
5- Terminal Serviceability Index

جدول ۱۰-۱ - طبقه‌بندی وسایل نقلیه و مشخصات محور و وزن آنها

نوع وسیله نقلیه	تعداد محور	آرایش چرخ‌ها	محور جلو		محور وسط		محور عقب		وزن کل (تن)
			نوع	وزن (تن)	نوع	وزن (تن)	نوع	وزن (تن)	
سواری	۲		ساده	۱			ساده	۱	۲
وانت	۲		ساده	۱			ساده	۲	۳
همی بوس	۲		ساده	۳			ساده	۳	۶
اتوبوس	۲		ساده	۳			ساده	۶	۹
کامیون دو محور سبک	۲		ساده	۶			ساده	۹	۱۵
کامیون دو محور سنگین	۲		ساده	۶			ساده	۱۳	۱۹
کامیون سه محور	۳		ساده	۶			مربک	۲۰	۲۶
تریلی ۴ محور	۴		ساده	۶	ساده	۱۰	ساده	۱۰+۱۰	۲۶
					ساده	۱۰	مربک	۱۶	۳۲
تریلی پنج محور	۵		ساده	۶	مربک	۱۶	مربک	۱۸	۴۰
تریلی پنج محور	۵		ساده	۶	ساده	۱۰	مربک	۲۴	۴۰

- اگر فاصله محورها وسط یا عقب کمتر از ۲ متر باشد، محور مرکب در نظر گرفته می‌شوند.
- از آنجا که در آمار منتشره توسط سازمان راهسازی و حمل و نقل چادمان، تعداد کامیون‌های دومحور و سه محور، مجموعاً داده شده است، مهندسين مشاور باید با بررسی‌های محلی، درصد هر یک از این کامیون‌ها را تعیین کند.

جدول ۱۰-۲- ضریب بار هم ارزی برای محور منفرد و $p_t = 2$

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۳۸	۱
۰/۰۰۳۴۳۵	۰/۰۰۴۸۴۵	۰/۰۰۳۸۴۵	۰/۰۰۳۶۴	۰/۰۰۳۴۳۵	۰/۰۰۳۴۳۵	۲
۰/۰۱۵۴۰۵	۰/۰۱۹۰۱۵	۰/۰۱۸۶۸۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵۷۶	۰/۰۱۵۱۵	۳
۰/۰۴۸۴۵	۰/۰۵۵۵	۰/۰۵۸۱۴	۰/۰۵۴۳۲	۰/۰۵۰۶۸	۰/۰۴۸۲۷	۴
۰/۱۲۰۹	۰/۱۳۱۹۲	۰/۱۴۰۴۹	۰/۱۳۴۹۸	۰/۱۲۷۴۵	۰/۱۲۲۹۲	۵
۰/۲۶۳۴	۰/۲۷۶۰۱۵	۰/۲۹۱۳	۰/۲۸۶۵۴	۰/۲۷۵۶۸	۰/۲۶۹۰۶	۶
۰/۵۱۴۲۰	۰/۵۲۳۹	۰/۵۳۹۸۳	۰/۵۳۷۹	۰/۵۲۸۱	۰/۵۲۱۱	۷
۰/۹۲۶۰۲	۰/۹۲۷۶۴	۰/۹۳۰۳۴	۰/۹۳۰۱۶	۰/۹۲۸۵۴	۰/۹۲۷۲۸	۸
۱/۵۶	۱/۵۴۲۸	۱/۵۱۶۶	۱/۵۰۷۳	۱/۵۲۵۸	۱/۵۴۴۲	۹
۲/۵۲۱	۲/۴۶۹۵	۲/۳۷۷	۲/۳۳۵۵	۲/۳۷۶۲	۲/۴۳۷۵	۱۰
۳/۹۱	۳/۸۲	۳/۶۱۴	۳/۵۰۲۱	۳/۵۷۴۶	۳/۶۹۴۸	۱۱
۵/۸۶	۵/۶۹۳	۵/۳۱۷	۵/۰۸	۵/۱۷۲۵	۵/۳۹۰۱	۱۲
۸/۱۹	۸/۲۰۵۷۷	۷/۵۸۴	۷/۱۴۴۸	۷/۲۴۴۸	۷/۶۱۸۰	۱۳

جدول ۱۰-۳- ضریب بار هم ارزی برای محور تاندم و $p_t = 2$

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۰/۱۵۷	۰/۱۷۲۸	۰/۱۸۴۹	۰/۱۷۶	۰/۱۶۵	۰/۱۵۹۸	۱۰
۰/۳۵۰	۰/۳۶۸	۰/۳۸۹	۰/۳۸۲۴	۰/۳۶۷۴	۰/۳۵۸	۱۲
۰/۶۹۵	۰/۷۱	۰/۷۳۱	۰/۷۳۹	۰/۷۱۴	۰/۷۰۴	۱۴
۱/۲۶۴	۱/۲۶۸۴	۱/۲۷۲	۱/۲۷۲	۱/۲۷۲	۱/۲۶۸۴	۱۶
۲/۱۴۸	۲/۱۲۱	۲/۰۸۵	۲/۰۶۶	۲/۰۹۳	۲/۱۱۱	۱۸
۳/۴۵۹	۳/۳۹۷۵	۳/۲۶۴	۳/۲۱۲۵	۳/۲۷۳۵	۳/۳۴۵	۲۰
۵/۳۶	۵/۲۳۷	۴/۹۵۴	۴/۷۹۹	۴/۹۰۴	۵/۰۶۹۷	۲۲

جدول ۱۰-۴- ضریب بار هم ارزی برای محور تریدم و $p_t = 2$

عدد ضخامت روسازی (SN)						بار محوری (تن)
۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۰/۶۶۹	۰/۶۸۹	۰/۷۱۷۱	۰/۷۱۲۲	۰/۶۹۳	۰/۶۸۰۲	۲۰
۱/۰۲۵	۱/۰۴	۱/۰۶۲	۱/۰۶۱۴	۱/۰۴۷	۱/۰۳۶	۲۲
۱/۵۱۹	۱/۵۱۹۶	۱/۵۳۰۴	۱/۵۳۰۴	۱/۵۲۵	۱/۵۱۹۶	۲۴
۲/۱۷۶	۲/۱۶۲	۲/۱۳۶	۲/۱۲۹۵	۲/۱۴۶	۲/۱۵۹	۲۶

جدول ۱۰-۵- ضریب بار هم ارزی برای محور منفرد و $p_t = 2.5$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰/۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۳۸
۲	۰/۰۰۰۴۶۴	۰/۰۰۰۶۶۶	۰/۰۰۰۶۶۶	۰/۰۰۰۵۰۵	۰/۰۰۰۳۶۴	۰/۰۰۰۳۴۳
۳	۰/۰۰۱۷۴	۰/۰۰۲۶۲	۰/۰۰۲۷۴	۰/۰۰۲۱۶	۰/۰۰۱۷۳۸	۰/۰۰۱۵۷
۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶۹۵	۰/۰۰۷۸۴	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۵۶۱	۰/۰۰۵۱۰۹
۵	۰/۰۱۲۳۹	۰/۰۱۵۰۹۶	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۳۹۵	۰/۰۱۲۸۹
۶	۰/۰۲۶۷۲	۰/۰۲۹۷۲	۰/۰۳۳۴۴	۰/۰۳۲۱۵	۰/۰۲۹۵	۰/۰۲۷۸۹
۷	۰/۰۵۱۶۷	۰/۰۵۴۰۹	۰/۰۵۷۶۲	۰/۰۵۷۲۳	۰/۰۵۴۸۷	۰/۰۵۳۱۴
۸	۰/۰۹۲۶۳	۰/۰۹۳۰۳	۰/۰۹۳۶۲	۰/۰۹۳۶۱	۰/۰۹۳۲۱	۰/۰۹۲۹۰
۹	۱/۰۵۶۲۷	۱/۰۵۲۵۸	۱/۰۴۵۲	۱/۰۴۳۲۵	۱/۰۴۷	۱/۰۵۰۷۳
۱۰	۲/۰۵۱	۲/۰۴۰۷	۲/۰۱۹۳	۲/۰۱۱	۲/۰۲۰۱	۲/۰۲۲۴
۱۱	۳/۰۸۹۹	۳/۰۶۸۱	۳/۰۲۴۵	۳/۰۲	۳/۰۱۶۵	۳/۰۴۲۴
۱۲	۵/۰۸۲	۵/۰۴۴۷۷	۴/۰۶۷	۴/۰۲۰۹	۴/۰۳۸۹	۴/۰۸۲۵
۱۳	۸/۰۴۲	۷/۰۸۱	۶/۰۵۶۵	۵/۰۷۳۸	۵/۰۹۲۵	۶/۰۵۸۵

جدول ۱۰-۶- ضریب بار هم ارزی برای محور تاندوم و $p_t = 2.5$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱۰	۰/۰۱۶۱۷	۰/۰۱۹۹۸	۰/۰۲۳۱۱	۰/۰۲۰۹۱	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۷۹
۱۲	۰/۰۳۵۵۵	۰/۰۳۹۸۲۹	۰/۰۴۴۹۴	۰/۰۴۳۱۵	۰/۰۳۹۴۱	۰/۰۳۷۱۴۴
۱۴	۰/۰۶۹۸۸	۰/۰۷۳۲۸	۰/۰۷۸۳	۰/۰۷۷۸۵	۰/۰۷۴۴۵	۰/۰۷۲۰۴
۱۶	۱/۰۲۶۴	۱/۰۲۷۲	۱/۰۲۸۲۸	۱/۰۲۸۲۸	۱/۰۲۷۵۶	۱/۰۲۷۲
۱۸	۲/۰۱۳۸	۲/۰۰۹	۲/۰۰۲	۱/۰۹۷۵	۲/۰۰۲۱۱	۲/۰۰۷
۲۰	۳/۰۴۴۸	۳/۰۳۰۵۵	۳/۰۰۱	۲/۰۰۶	۳/۰۰۲	۳/۰۱۹۱۵
۲۲	۵/۰۳۸	۵/۰۰۴	۴/۰۴۴۸۹	۴/۰۱۴	۴/۰۳۴۵	۴/۰۶۹۱

جدول ۱۰-۷- ضریب بار هم ارزی برای محور تریدم و $p_t = 2.5$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۲۰	۰/۰۶۷۳۲	۰/۰۷۲۱	۰/۰۷۸۷۸	۰/۰۷۷۶۱	۰/۰۷۳۰۲	۰/۰۶۹۹۳
۲۲	۱/۰۰۲۷۷	۱/۰۰۶۲۱	۱/۰۱۱۴۸	۱/۰۱۱۵۱	۱/۰۰۸۰۶	۱/۰۰۵۴۷
۲۴	۱/۰۵۱۹۶	۱/۰۵۲۵	۱/۰۵۴۱۲	۱/۰۵۴۱۲	۱/۰۵۳۳۸	۱/۰۵۲۵
۲۶	۲/۰۱۷۶۱	۲/۰۱۴۲۸	۲/۰۰۷۹	۲/۰۰۷۲۹	۲/۰۱۰۲	۲/۰۱۳۶

جدول ۱۰-۸- ضریب بار هم ارزی برای محور منفرد و $p_t = 3$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	-/۰۰۱۱۲	-/۰۰۱۶۱	-/۰۰۱۱۴	-/۰۰۰۶۷	-/۰۰۰۳۸	-/۰۰۰۳۸
۲	-/۰۰۶۰۵	-/۰۱۲۵	-/۰۱۰۵۱	-/۰۰۶۸۷	-/۰۰۴۰۵	-/۰۰۳۶۴
۳	-/۰۲۰۴۵	-/۰۴۲۳	-/۰۴۳۹	-/۰۲۹۳	-/۰۲۰۶۱	-/۰۱۷۳۸
۴	-/۰۵۴۲	-/۰۹۵۴	-/۱۱۶۰۸	-/۰۸۶۵۷	-/۰۶۵۰۱	-/۰۵۵۳
۵	-/۱۲۸	-/۱۸۲۴۹	-/۲۳۳	-/۱۹۷۲۸	-/۱۵۷۶۱	-/۱۳۷۵۱
۶	-/۲۷۱۵۸	-/۳۲۸۳	-/۴۰۲۶	-/۳۷۶	-/۳۲۳	-/۲۹۳
۷	-/۵۱۸	-/۵۶۳۷	-/۶۳۰	-/۶۲۳	-/۵۷۷۵	-/۵۴۷۴
۸	-/۹۲۶۹۲	-/۹۳۴	-/۹۴۵۱	-/۹۴۴۷	-/۹۳۷۱	-/۹۳۱۹
۹	۱/۵۵۳۵	۱/۴۸۹	۱/۳۷۸	۱/۳۵	۱/۴۰۶	۱/۴۷
۱۰	۲/۵	۲/۳۱۶	۱/۹۷۸۲	۱/۸۴۴	۱/۹۸۵۷	۲/۱۸
۱۱	۳/۸۷	۳/۵۰۷	۲/۸۱۲	۲/۴۷۸	۲/۶۹۳	۳/۰۸۱۱
۱۲	۵/۷۸۲۲	۵/۱۴۳	۳/۹۳۳	۳/۲۷۵۵	۳/۵۲۳۲	۴/۱۶۰۷
۱۳	۸/۳۵۱	۷/۳۳۸	۵/۴۱۸	۴/۲۸	۴/۴۸	۵/۴۳۲

جدول ۱۰-۹- ضریب بار هم ارزی برای محور تاندم و $p_t = 3$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱۰	-/۱۶۷۸	-/۲۴۲۹	-/۳۱۵۳	-/۲۶۲۴	-/۲۰۷۱	-/۱۷۸
۱۲	-/۳۶۱۵	-/۴۴۰۸	-/۵۴۶	-/۵۰۷	-/۴۳۳۲	-/۳۹
۱۴	-/۷۰۳	-/۷۶۵	-/۸۶۱	-/۸۵۱	-/۷۸۶۳	-/۷۴۲۵
۱۶	۱/۲۶۸۴	۱/۲۸	۱/۲۹۷۲	۱/۲۹۷۲	۱/۲۸۶۴	۱/۲۷۵۶
۱۸	۲/۱۳۸	۲/۰۴۸	۱/۸۹۳۵	۱/۸۴۸	۱/۹۳۰۴	۲/۰۲
۲۰	۳/۴۲۸	۳/۱۸۳	۲/۷۲۳	۲/۵۳۸۵	۲/۷۳۱	۲/۹۹۶۵
۲۲	۵/۳۰۵	۴/۸۰۷	۳/۸۵	۳/۴۰۵	۳/۷	۴/۲۳

جدول ۱۰-۱۰- ضریب بار هم ارزی برای محور تریدم و $p_t = 3$

بار محوری (تن)	عدد ضخامت روسازی (SN)					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۲۰	-/۶۸۰۲	-/۷۷۳۴	-/۸۹۵۲	-/۸۷۱۸	-/۷۸۴۱	-/۷۲۷۲
۲۲	۱/۰۳۴	۱/۰۹۴	۱/۱۸۹	۱/۱۸۹	۱/۱۲۶	۱/۰۷۸
۲۴	۱/۵۱۹۶	۱/۵۳۵۸	۱/۵۵۷۴	۱/۵۶۲۸	۱/۵۴۶۶	۱/۵۳۵۸
۲۶	۲/۱۷	۲/۱۱۲۸	۲/۰۱۳	۱/۹۸۹	۲/۰۴۶	۲/۱۰۲

۶-۱۰- محاسبه تعداد کل محور هم ارز عبوری در دوره طرح

۱-۶-۱۰- تعیین ضریب رشد ترافیک

با در دست داشتن نرخ رشد سالانه ترافیک و دوره طرح روسازی بر حسب سال، ضرایب رشد ترافیک برای دوره‌های مختلف طرح از جدول (۱۱-۱۰) بدست می‌آید. این ضرایب بر حسب نرخ رشد سالانه و عمر طرح از رابطه (۲-۱۰) تعیین می‌شود:

$$\text{ضریب رشد ترافیک} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (2-10)$$

که در آن:

r = نرخ رشد سالیانه ترافیک

n = دوره طرح بر حسب سال

تعداد کل محور استاندارد عبوری در n سال دوره طرح از رابطه (۳-۱۰) تعیین می‌شود:

$$ESAL_n = EAL \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (3-10)$$

که در آن:

$ESAL_n$ = تعداد کل ترافیک (یا محورهای هم ارز) در n سال دوره طرح

EAL = تعداد کل ترافیک (یا محور استاندارد) در سال اول طرح.

۲-۶-۱۰- توزیع ترافیک در خط طرح

تعداد ترافیک یا تعداد محورهای استاندارد عبوری از خط طرح از رابطه (۴-۱۰) بدست می‌آید:

$$W = D_D \times D_L \times ESAL_n \quad (4-10)$$

که در آن:

W = تعداد کل محورهای استاندارد که در دوره طرح از خط طرح عبور می‌کنند.

D_D = ضریب توزیع ترافیک در هر جهت.

D_L = ضریب توزیع ترافیک در خط طرح می‌باشد که از جدول (۱۲-۱۰) می‌توان بعنوان راهنما استفاده نمود.

$ESAL_n$ = تعداد کل محورهای استاندارد عبوری در n سال دوره طرح.

جدول ۱۰-۱۱- ضرایب رشد ترافیک

نرخ رشد سالانه ترافیک برحسب درصد								عمر طرح (برحسب سال)
۱۰	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۰	
۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱	۱
۲,۱۰	۲,۰۸	۲,۰۷	۲,۰۶	۲,۰۵	۲,۰۴	۲,۰۲	۲	۲
۳,۳۱	۳,۲۵	۳,۲۱	۳,۱۸	۳,۱۵	۳,۱۲	۳,۰۶	۳	۳
۴,۶۴	۴,۵۱	۴,۴۴	۴,۳۷	۴,۳۱	۴,۲۵	۴,۱۲	۴	۴
۶,۱۱	۵,۸۷	۵,۷۵	۵,۶۴	۵,۵۳	۵,۴۲	۵,۲۰	۵	۵
۷,۷۲	۷,۳۴	۷,۱۵	۶,۹۸	۶,۸۰	۶,۶۳	۶,۳۱	۶	۶
۹,۴۹	۸,۹۲	۸,۶۵	۸,۳۹	۸,۱۴	۷,۹۰	۷,۴۳	۷	۷
۱۱,۴۴	۱۰,۶۴	۱۰,۲۶	۹,۹۰	۹,۵۵	۹,۲۱	۸,۵۸	۸	۸
۱۳,۵۸	۱۲,۴۹	۱۱,۹۸	۱۱,۴۹	۱۱,۰۳	۱۰,۵۸	۹,۷۵	۹	۹
۱۵,۹۴	۱۴,۴۹	۱۳,۸۲	۱۳,۱۸	۱۲,۵۸	۱۲,۰۱	۱۰,۹۵	۱۰	۱۰
۱۸,۵۳	۱۶,۶۵	۱۵,۷۸	۱۴,۹۷	۱۴,۲۱	۱۳,۴۹	۱۲,۱۷	۱۱	۱۱
۲۱,۳۸	۱۸,۹۸	۱۷,۸۹	۱۶,۸۷	۱۵,۹۲	۱۵,۰۳	۱۳,۴۱	۱۲	۱۲
۲۴,۵۲	۲۱,۵۰	۲۰,۱۴	۱۸,۸۸	۱۷,۷۱	۱۶,۶۳	۱۴,۶۸	۱۳	۱۳
۲۷,۹۷	۲۴,۲۱	۲۲,۵۵	۲۱,۰۲	۱۹,۶۰	۱۸,۲۹	۱۵,۹۷	۱۴	۱۴
۳۱,۷۷	۲۷,۱۵	۲۵,۱۳	۲۳,۲۸	۲۱,۵۸	۲۰,۰۲	۱۷,۲۹	۱۵	۱۵
۳۵,۹۵	۳۰,۳۲	۲۷,۸۹	۲۵,۶۷	۲۳,۶۶	۲۱,۸۲	۱۸,۶۴	۱۶	۱۶
۴۰,۵۴	۳۳,۷۵	۳۰,۸۴	۲۸,۲۱	۲۵,۸۴	۲۳,۷۰	۲۰,۰۱	۱۷	۱۷
۴۵,۶۰	۳۷,۴۵	۳۴,۰۰	۳۰,۹۱	۲۸,۱۳	۲۵,۶۵	۲۱,۴۱	۱۸	۱۸
۵۱,۱۶	۴۱,۴۵	۳۷,۳۸	۳۳,۷۶	۳۰,۵۴	۲۷,۶۷	۲۲,۸۴	۱۹	۱۹
۵۷,۲۷	۴۵,۷۶	۴۱,۰۰	۳۶,۷۹	۳۳,۰۷	۲۹,۷۸	۲۴,۳۰	۲۰	۲۰
۹۸,۳۵	۷۳,۱۱	۶۳,۲۵	۵۴,۸۶	۴۷,۷۳	۴۱,۶۵	۳۲,۰۳	۲۵	۲۵
۱۶۴,۴۹	۱۱۳,۲۸	۹۴,۴۶	۷۹,۰۶	۶۶,۴۴	۵۶,۰۸	۴۰,۵۷	۳۰	۳۰
۲۷۱,۰۲	۱۷۲,۳۲	۱۳۸,۲۴	۱۱۱,۴۳	۹۰,۳۲	۷۳,۶۵	۴۹,۹۹	۳۵	۳۵

چنانچه آمارگیری بگونه‌ای باشد که ترافیک رفت و برگشتی (دو طرفه) را در برگیرد، باید از ضریب توزیع جهتی ترافیک (DD) برای تعیین میزان ترافیک هر طرف استفاده شود. این ضریب معمولاً با فرض توزیع مساوی ترافیک در هر جهت، برابر ۰/۵ می‌باشد. مگر آنکه آمار ترافیکی موجود و یا مطالعات مربوطه، خلاف این امر را نشان دهد که در این صورت مهندس مشاور بر مبنای داده‌های موجود، ضریب توزیع جهتی را برای پروژه تعیین خواهد نمود.

جدول ۱۰-۱۲- درصد عبوری از خط طرح^۷

تعداد خط در هر جهت	درصد عبوری از خط (D_L)
۱	۱۰۰
۲	۸۰-۱۰۰
۳	۶۰-۸۰
۴	۵۰-۷۵

۱۰-۶-۳- توزیع ترافیک در شانه‌های راه

در این آیین‌نامه، ترافیک عبوری از شانه‌ها بین ۲ تا ۷ درصد کل ترافیک پروژه منظور می‌گردد. استفاده از این دامنه، بستگی به درجه راه دارد که به ترتیب از میزان ۲ درصد برای آزادراه و بزرگراه تا ۷ درصد برای راه اصلی جدا نشده با دوخط عبور تغییر می‌کند. اگر مهندسین مشاور پیش‌بینی می‌کند که از شانه به عنوان خط عبور استفاده می‌شود، باید با آمارگیری و تحلیل، میزان ترافیک عبوری از شانه‌ها را تعیین نماید و روسازی شانه براساس آن ترافیک طرح شود.

۱۰-۶-۴- مراحل تعیین تعداد کل محور هم ارز

مراحل تعیین تعداد کل محور هم‌ارز به شرح زیر است:

- تعیین تعداد هر یک از انواع وسایط نقلیه، سواری، وانت، مینی‌بوس، اتوبوس، کامیون‌های دو محور، سه محور و چهار محور به بالا، نفتکش و غیره در سال اول طرح (ردیف اول جدول ۱۰-۱۳)
- تعیین نرخ رشد سالیانه هریک از وسایط نقلیه (یا وسایط نقلیه سبک و وسایط نقلیه سنگین) طبق روش گفته شده در بند (۱۰-۴) و محاسبه ضریب رشد ترافیک با توجه به دوره طرح از طریق رابطه (۱۰-۲) یا جدول (۱۰-۱۱) (ردیف دوم جدول ۱۰-۱۳)
- محاسبه تعداد کل ترافیک هر یک از وسایط نقلیه در دوره طرح با استفاده از ضریب رشد ترافیک (ردیف سوم جدول ۱۰-۱۳)
- استخراج ضرایب بار هم ارز هر یک از وسایط نقلیه از جداول (۱۰-۲) الی (۱۰-۱۰) (ردیف چهارم جدول ۱۰-۱۳)
- محاسبه تعداد محور استاندارد معادل هریک از وسایط نقلیه از حاصلضرب تعداد کل هریک از وسایط نقلیه در ضریب بار هم ارز (ردیف پنجم جدول ۱۰-۱۳)
- محاسبه جمع کل محورهای معادل استاندارد عبوری از مسیر در دوره طرح از طریق جمع ارقام ردیف پنجم (ردیف ششم جدول ۱۰-۱۳)

مثال:

متوسط ترافیک روزانه یک محور چهارخطه در سال اول طرح برابر ۲۰,۰۰۰ وسیله نقلیه در روز می‌باشد که میزان هر یک از وسایط نقلیه در جدول (۱۰-۱۳) و در زیر نام آنها قید شده است. اگر نرخ رشد سالانه برای گروه وسایط نقلیه سواری و وانت برابر ۶٪

۷- این جدول صرفاً جنبه راهنما داشته و مهندس طراح باید دلایل توجیهی انتخاب ضریب توزیع ترافیک در خط طرح پروژه مورد نظر را ارائه نماید.

و برای سایر گروه‌های وسایط نقلیه برابر ۴/۵٪ باشد، تعداد کل محورهای معادل برای دوره طرح ۲۰ ساله مطابق با روند ذکر شده در بند (۱۰-۶) در جدول (۱۰-۱۳) محاسبه شده است.

جدول ۱۰-۱۳- نمونه محاسبات تعداد محورهای استاندارد

برآورد تعداد محورهای استاندارد در خط طرح در دوره طرح ۲۰ ساله در محور									
ردیف	نوع وسیله نقلیه	سواری	وانت	مینی بوس	اتوبوس	انواع کامیون			۴ محور
						۲ محور سنگین	۲ محور سبک	۳ محور	
۱	حجم ترافیک در سال اول طرح	۴۰۱۵۰۰۰	۱۴۶۰۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۵۸۴۰۰۰	۲۱۹۰۰۰	۳۶۵۰۰۰	۲۱۹۰۰۰
۲	ضریب رشد ترافیک (دوره طرح ۲۰ ساله)	۳۶/۷۹	۳۶/۷۹	۳۱/۳۷	۳۱/۳۷	۳۱/۳۷	۳۱/۳۷	۳۱/۳۷	۳۱/۳۷
۳	حجم ترافیک در مدت ۲۰ ساله طرح	۱۴۷۷۱۱۸۵۰	۵۳۷۱۳۴۰۰	۶۸۷۰۰۳۰	۶۸۷۰۰۳۰	۱۸۳۲۰۰۸۰	۶۸۷۰۰۳۰	۱۱۴۵۰۰۵۰	۶۸۷۰۰۳۰
۴	ضریب بار هم‌ارزی محور $Pt=3$ و $SN=5$	۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۰۴۴۳	۰/۰۴۱۲۲	۰/۳۳۳۶۱	۴/۸۰۳	۱/۷۳۹	۳/۰۵۴	۳/۵۹۵
۵	جمع تعداد محور استاندارد در دوره طرح	۱۱۲۲۶۱	۲۳۷۹۵۱	۲۸۳۱۸۳	۲۳۶۰۶۱۱	۸۷۹۹۱۳۴۵	۱۱۸۷۸۲۸۲	۲۴۹۶۸۴۵۳	۲۴۶۹۷۷۵۸
۶	جمع کل تعداد محورهای استاندارد در دوره طرح	۱۶۲۵۲۹۸۴۴							
۷	تعداد کل محورهای استاندارد در خط طرح ($D_D=0/5$ و $D_L=0/9$)	۷۳۱۳۸۴۳۰							

* این جدول جنبه راهنما داشته و برای حل مثال آورده شده است.