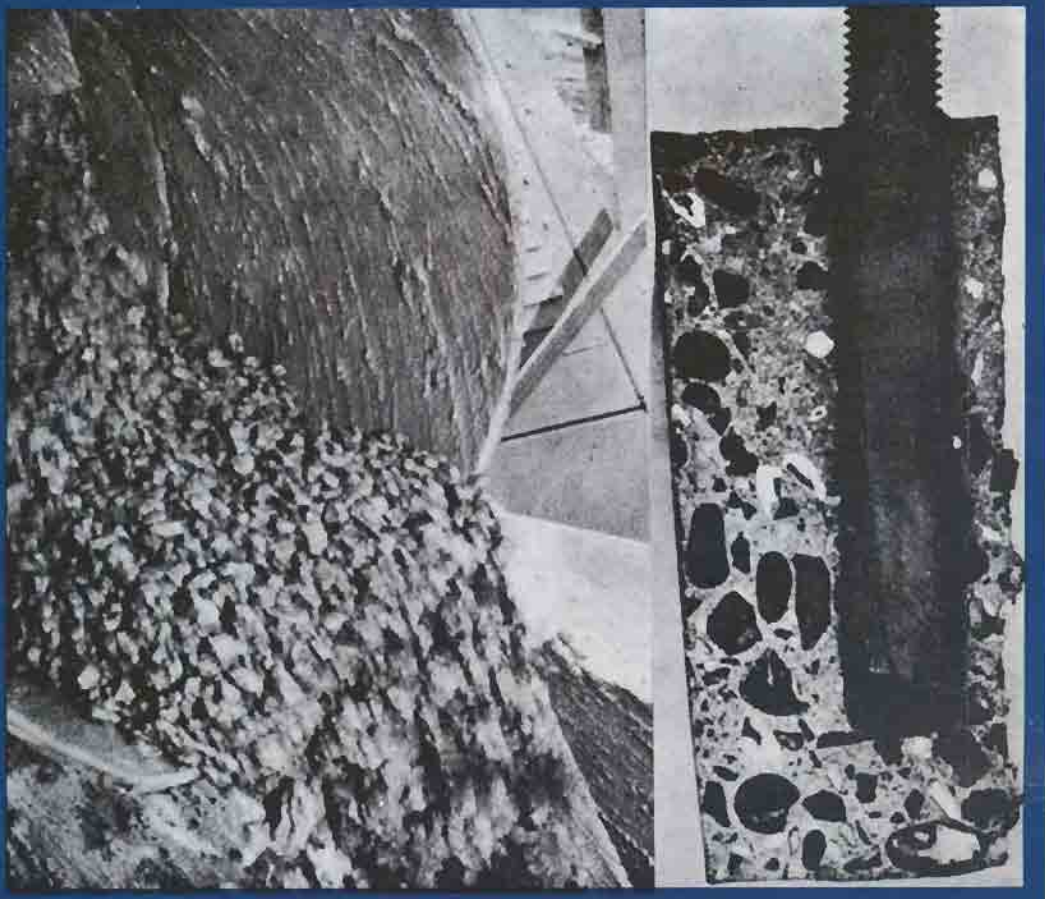
طرح اختلاط بتن



تألیف: دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور
استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

طرح اختلاط بتن

تألیف: دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور
استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

رمضا نیانپور ، علی اکبر ، ۱۳۳۰
طرح اختلاط بتن / تالیف علی اکبر رمضانیانپور. - تهران : صنعت گستر ، ۱۳۸۲ . ٤٧ ص . جدول ، نمودار

ISBN : 964-6999-26-3 : **۷۰۰۰ ریال**

فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا .
کتابنامه : ص . ٤٧ .
چاپ هشتم : ۱۳۸۲
۱. بتن - - مخلوط کردن . ۲. بتن - - آزمایشها . ۳. بتن - - افزوده ها . الف . عنوان .
٤ط۸ر / TA ٤٣٩ ۶۲۰ / ۱۳۶۰۲۸
۱۳۸۲
کتابخانه ملی ایران ۲۲۷۸۷ - ۸۰ م

عنوان : طرح اختلاط بتن
مؤلف : دکتر علی اکبر رمضانیانپور
تیراژ : ۱۰۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ : هشتم
تاریخ : ۱۳۸۲
ناشر : صنعت گستر
چاپ و صحافی : میلاد نور - تلفن : ۵- ۸۳۱۳۸۸۳
قیمت : **۷۰۰۰ ریال**

مراکز پخش : خیابان انقلاب ، خیابان فروردین ، خیابان روانمهر ، نرسیده به فخررازی ، پلاک ۱۵۸ تلفن : ٦٤٠٦٠٤١ - نمابر : ٦٤٠٦٠٤١
خیابان انقلاب ، بین فروردین و اردیبهشت ، پلاک ١٤٥٦ انتشارات علم و صنعت ۱۱۰ تلفن : ٦٤٦٤٤٨١

شابک : ۳-۲۶-۶۹۹۹- ۹٦٤ ISBN : 964-6999-26-3

« کلیه حقوق محفوظ و مخصوص ناشر است »

بسمه تعالی

طرح مخلوطهای بتن

مقدمه مترجم :

باتوجه به نیاز شدید مهندسین و دست‌اندرکاران کار بتن به راهنمائی مناسب جهت طرح بتن و نیز جزوه کاملی‌که بتواند بعنوان‌منبع برای‌دانشجویان دانشکده‌های‌مهندسی تدریس شود ، مترجم دست به تهیه این جزوه زده است . مطالب این جزوه درحقیقت ترجمه‌کامل یادداشت Road Note 4 می‌باشد که درپاره‌ای موارد تغییراتی در آن داده شده است . جزوه حاصل توسط سه موٴسسه بزرگ سیمان و بتن و راه در انگلستان یعنی BRE ، TRRL و CA &C بررسی و مورد تأیید قرار گرفته است .

در این جزوه به‌طرح‌کامل مخلوط‌بتن برای حصول به‌خواصی مشخص پرداخته‌می‌شود. همچنین علاوه‌بر مقاومت فشاری ، طرح مخلوط براساس مقاومت کششی نیز ارائه می‌شود . در پایان طرح کامل بتن ساخته‌شده با مواد مضاف هوازا نیز آورده شده‌است . درهمه‌حالات ضمن توضیح اصلاحات‌لازم در طرح بتن مثالهای‌متعددی جهت روشن شدن مطالب مشروحه انتخاب شده است .

مترجم امیدوار است جزوه فوق برای همه افرادیکه با بتن سروکار دارند ، تکنیسین و مهندس کارگاه ، پیمانکاران و مهندسین مشاور و بخصوص دانشجویان و اساتید دانشگاهها راهگشا بوده و راهنمائی مفید برای آنان باشد .

علی‌اکبر رمضانیانپور

فروردین‌ماه سال ۱۳۶۷

فهرست مطالب

۱ـ مقدمه	۴
۱ـ۱ اصول روش پیشنهادی طرح	۴
۱ـ۲ مفاهیم اصلی	۵
۱ـ۲ـ۱ حاشیه مقاومت	۵
۱ـ۲ـ۲ اندازه‌گیری کارائی	۵
۱ـ۲ـ۳ آب آزاد	۵
۱ـ۲ـ۴ انواع دانه‌های سنگی	۶
۱ـ۲ـ۵ دانه‌بندی مصالح سنگی	۶
۱ـ۲ـ۶ عوامل موثر در مخلوط	۷
۲ـ کارائی بتن	۷
۲ـ۱ اندازه‌گیری کارائی	۷
۲ـ۲ میزان آب	۸
۲ـ۳ نوع سیمان	۸
۳ـ مقاومت فشاری بتن	۸
۳ـ۱ زمان آزمایش و شرایط نگهداری	۸
۳ـ۲ نوع سیمان	۹
۳ـ۳ مقاومت سیمان	۹
۳ـ۴ نوع و دانه‌بندی مواد سنگی	۹
۳ـ۵ ارتباط بین مقاومت فشاری و نسبت آب آزاد به سیمان مخلوط بتن	۹
۳ـ۶ نحوهٔ مخلوط کردن	۱۰
۴ـ تغییرات مقاومت فشاری بتن حین تولید	۱۰
۴ـ۱ عوامل موثر بر کل تغییرات	۱۰
۴ـ۲ توزیع نتایج آزمایش مقاومت	۱۱
۴ـ۳ مقاومت مشخصه	۱۲

۴ـ۴ حاشیه برای طرح مخلوط ۱۲

۵ـ مراحل مختلف طرح مخلوط ۱۳
۵ـ۱ انتخاب نسبت آب به سیمان هدف (مرحله۱) ۱۴
۵ـ۲ انتخاب میزان آب آزاد مخلوط (مرحله۲) ۱۵
۵ـ۳ تعیین مقدار سیمان (مرحله۳) ۱۵
۵ـ۴ تعیین وزن کل دانه‌های سنگی (مرحله۴) ۱۵
۵ـ۵ انتخاب میزان دانه‌های ریز و درشت بطور جداگانه (مرحله۵) ۱۶

۶ـ مخلوطهای آزمایشی ۲۵
۶ـ۱ پیمانه‌کردن مواد ۲۵
۶ـ۲ آزمایشهای روی مخلوط آزمایشی ۲۶
۶ـ۳ اصلاحاتی در نسبتهای مخلوط ۲۶
۶ـ۳ـ۱ کارائی ۲۶
۶ـ۳ـ۲ وزن مخصوص ۲۷
۶ـ۳ـ۳ مقاومت ۲۷

۷ـ مثالهائی از طرح مخلوط بتن ۲۹
۷ـ۱ مثال ۱ـ طرح مخلوط بدون هیچگونه محدودیت ۲۹
۷ـ۲ مثال ۲ـ طرح مخلوط با محدودیت میزان حداکثر آب به سیمان ۳۲
۷ـ۳ مثال ۳ـ طرح مخلوط با محدودیت حداقل مقدار سیمان ۳۲
۷ـ۴ مثال ۴ـ طرح مخلوط با محدودیت حداکثر مقدار سیمان ۳۳

۸ـ طرح مخلوط بتن براساس مقاومت کششی غیرمستقیم ۳۷
۹ـ طرح مخلوط بتن با مواد مضاف هوازا ۳۸
۹ـ۱ اثر مواد مضاف هوازا بر روی مقاومت بتن ۳۸
۹ـ۲ اثر مواد مضاف هوازا روی کارائی بتن ۳۹
۹ـ۳ وزن مخصوص بتن با حباب هوا ۳۹
۹ـ۴ اصلاحات لازم در مراحل طرح مخلوط بتن ۳۹
۹ـ۵ مخلوط های آزمایشی بتن با حباب هوا ۴۱

۱۰ـ مثال در مورد طرح بتن با حباب هوا ۴۱

۱ــ۱ اصول روش پیشنهادی طرح

اساسا" مسئله طرح مخلوط بتن شامل انتخاب مقادیر مناسب سیمان، دانه‌های ریز و درشت مصالح سنگی و آب است که برای ساختن بتنی با خواص معین بکار می‌رود. پاره‌ای از مواقع ماده پنجمی بعنوان ماده مضاف (مثلا" ماده حباب هوازا) نیز استفاده می‌شود. خواص زیادی برای بتن وجوددارد که می‌تواند جزء مشخصه بتن بشمار آیند نظیر کارائی، مقاومت وزن مخصوص، خواص حرارتی، مدول الاستیسیته و دوام مورد نظر. از این‌میان‌خواص مهم عبارتنداز:

۱ــ کارائی بتن تازه

۲ــ مقاومت فشاری در سن معین

۳ــ دوام بتن که با مشخص‌کردن حداقل مقدار سیمان‌مصرفی یا حداکثر میزان آب‌به‌سیمان در مخلوط و بعضی اوقات با محدود کردن نوع مصالح مصرفی کنترل می‌گردد.

از هنگامیکه یادداشت (Road Note 4) تهیه شده است موارد بیشماری‌درخصوص تغییرات کیفیت بتن ساخته شده در کارگاه، بتن آماده و بتن پیش‌ساخته شناخته‌شده‌است همچنین نکات مهمی درباره عوامل موءثر بر کارائی و مقاومت بتن روشن گردیده است. یک طرح مناسب بتن باید مبتنی برعوامل موءثر برمشخصات بتن بوده ولی در مرحلهٔ اول طرح می‌توان از عواملی که تأثیر جزئی روی خواص بتن دارند چشم پوشید. درطرح مخلوط سعی شده است استفاده از یک روش پیچیده که متکی بر اندازه‌گیریهای دشوار و یا مبتنی بر پارامترهای متغیر در عمل باشد خودداری شود. تأثیر عوامل مختلف روی خواص بتن در بخش‌های ۲و۳ این جزوه شرح داده می‌شود.

اصولی کد روش شرح داده شده در این جزوه بر آن بنا شده است مبتنی بر اطلاعات محدودیست که معمولا" دردسترس برای‌طرح‌مخلوط می‌باشد. نسبت‌های یک مخلوط معمولا" بمنظور تولید بتنی باکارائی و مقاومت موردنیاز انتخاب‌می‌شوند. ابتدا یک‌مخلوط‌آزمایشی ساخته می‌شود لیکن ممکن‌است بعلت مفروضات مختلف در طرح مخلوط‌آزمایشی بامشخصات مخلوط‌خواسته شده منطبق نباشد، لذا در صورت نیاز می‌توان نسبت‌های مصالح و اجزاء مخلوط‌را با استفاده از مخلوط‌آزمایشی و اطلاعات داده شده در این جزوه اصلاح نموده و برای تولید مخلوط‌نهائی یا مخلوط‌آزمایشی بعدی استفاده نمود.

۱ـ۲ مفاهیم اصلی

۱ـ۲ـ۱ـ حاشیه مقاومت

بعلت تغییرات مقاومت‌بتن ،طرح مخلوط باید طوری باشد که بتواند مقاومت‌متوسط بالاتری از مقاومت مورد نظر بدهد . مقاومتی‌که در آئین‌نامه CP 110 : 1972 معرفی‌شده " مقاومت مشخصه " نام دارد که جایگزین مفهوم حداقل مقاومت در استانداردهای قدیمی شده‌است. اختلاف مابین مقاومت مشخصه و مقاومت متوسط هدف در حقیقت " حاشیه مقاومت " نام دارد که بطور کاملتر در بخش ۴ شرح داده می‌شود .

میزان " حاشیه مقاومت " مبتنی بر اطلاعات جمع‌آوری شده و داده‌های مقاومت بتن‌های ساخته شده قبلی است که بصورت انحراف معیار بیان می‌گردد در غیر این صورت تا انجام تعداد لازم آزمایش و جمع‌آوری نتایج کافی می‌توان حاشیه مقاومت مشخصی‌را در نظر گرفت .

۱ـ۲ـ۲ اندازه‌گیری کارائی

در این جزوه دو روش آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است ، آزمایش اسلامپ که برای مخلوط های با کارائی بالا مناسب‌تر است و آزمایش* V-B که بخصوص مخلوط هائی است که برای تراکم آنها نیاز به ویبراتور می‌باشد . آزمایش ضریب تراکم در این روش بعلت عدم وجود ارتباط مشخص بین نتایج آن با نتایج آزمایشهای اسلامپ و V - B بکار نمی‌رود . البته درصورت نیاز نتیجه آن می‌تواند جهت کنترل بکار رود .

* V - B Consistometer

۱ـ۲ـ۳ آب آزاد

کل آب در یک مخلوط بتن شامل :

۱ـ آبی است که توسط دانه‌های سنگی برای رساندن سطح آنها بحالت اشباع خشک ،لازمست

۲ـ آب آزاد که بمنظور انجام هیدراتاسیون سیمان و روان کردن بتن بکار می‌رود . در عمل دانه‌های سنگی اغلب بصورت مرطوب‌بوده و شامل آب جذب شده و آب آزاد روی‌سطح‌خود می‌باشند . بنابراین آبی که به مخلوط اضافه می‌شود کمتر از آب آزاد لازم می‌باشد . ازآنجا که کارائی بتن در حد بالائی به میزان آب آزاد موجود در مخلوط بستگی دارد ، بنابراین اگر یک میزان آب در مخلوط استفاده شود بعلت جذب متفاوت دانه‌های سنگی خشک کارائیهای متفاوتی نتیجه خواهد شد . بطور مشابه مقاومت بتن در ارتباط با میزان نسبت

* یکنوع آزمایش تعیین کارائی بتن

آب آزاد به سیمان می‌باشد و نباید به میزان آب جذب شده توسط دانه‌های سنگی بستگی داشته باشد. نسبت آب به سیمان ذکر شده در این جزوه در همه‌جا به نسبت وزن آب آزاد به سیمان در مخلوط اطلاق می‌شود و این درصورتی است که دانه‌های سنگی درحالت اشباع با سطح خشک در نظر گرفته شوند.

۱ـ۲ـ۴ـ انواع دانه‌های سنگی

در روشهای اولیه طرح مخلوط بتن، دانه‌ها به گردگوشه و بی‌شکل یا زاویه‌دار تقسیم بندی شده بودند. درحال حاضر بعلت اختلاف غیرقابل ملاحظه در رفتار این دو نوع دانه در بتن طبقه‌بندی جداگانه‌ای برای این دو نوع دانه درنظر گرفته نمی‌شود. این دو نوع دانه معمولا" غیرشکسته با سطح صاف می‌باشند. بهرحال باید توجه داشت که بین این دانه‌ها و دانه‌های زاویه‌دار حاصل از شکستن سنگها با سطح زبر تفاوتهائی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که باید درنظر گرفته شوند.

شکل و بافت سطحی دانه‌ها دو خاصیت عمده دانه‌های سنگی هستند که در خواص بتن مؤثرند. شکل دانه‌ها در میزان کارائی مؤثر خواهد بود و حال آنکه بافت سطحی در چسبندگی دانه‌ها و دوغاب سیمان و درنتیجه در مقاومت بتن اثر دارد. عموما" دانه‌های سنگی شکسته با سطح زبر کارائی پائینتر و مقاومت بالاتری در بتن نسبت به دانه‌های غیر شکسته بوجود می‌آورند. البته استثناءهائی نیز موجود است مثلا" سنگ فلینت‌ازنوع‌شکسته سطح کاملا" صافی دارد و بعضی سنگهای نشکسته دارای سطح زبر می‌باشند. بهر حال از آنجا که در طرح‌مخلوط بتن تنها عوامل‌مهم در تعیین مخلوط آزمایشی درنظرگرفته‌می‌شوند لذا فقط دو نوع مصالح و دانه با شکل شکسته و نشکسته مد نظر هستند.

۱ـ۲ـ ۵ دانه‌بندی مصالح سنگی

در این روش دانه‌های سنگی باقطر ماکزیمم ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلیمتر در بتن بکار می‌رود. در روش قبلی (Road Note 4) که توسط انجمن سیمان و بتن انتشار یافته است دانه‌های با قطر ماکزیمم ۱۰ میلیمتر بکار رفته است. ماسه ریز دانه در طرح قبلی معمولا" درنواحی (Zones)* ۱ و ۲ قرار می‌گرفت درحالیکه اکثر ماسه‌هایی که در حال حاضر مصرف می‌شوند در نواحی ۳ و ۴ قرار می‌گیرند. همچنین بجای استفاده از روش قبلی کـه شن و ماسه را تواما" درنظر می‌گرفت ماسه بطور جداگانه و در ۴ناحیه از نقطه‌نظر ریزی‌دانه‌بندی‌می‌شود. عوامل و فاکتورهای‌بیشماری نظیر نوع و حداکثر قطر درشت‌دانه، ناحیه دانه‌بندی ریزدانه و مقدار سیمان و کارائی بتن در روش جدید درنظر گرفته می‌شوند.

* منحنی‌های مربوط به ماسه در ۴ ناحیه استاندا

۱ـ۲ـ۶ عوامل مؤثر در مخلوط

در گذشته رسم براین بوده است که بتنها را براساس نسبتهای ۱ : ۲ : ۴ (نسبتهای وزنی یا حجمی سیمان . ریزدانه . درشت‌دانه) تهیه کنند . همچنین گاهی نسبت‌های وزنی سیمان به کل مواد سنگی ، آب به سیمان و ریزدانه به درشت‌دانه بکار می‌رفته است . چنین مخلوطهائی به جهت سادگی انتخاب مزایائی دارند . اما بهرحال این طرح اثر عوامل مختلف بر مشخصات بتن را بهیچوجه نشان نمی‌دهد . اساسی‌ترین روش جهت طرح مخلوط باید مبتنی بر حجم‌های مطلق مصالح مختلف در مخلوط بتن باشد . روش عملیترکه دراین جزوه هم به آن اشاره شده است روشی است که براساس تهیه واحد حجم یک بتن متراکم ، وزن مواد در مخلوط محاسبه شود . این روشها سالهاست که در کشورهای مختلف جهان بکار می‌رود .

برای استفاده از این روش باید وزن مخصوص بتن تازه را دانست . این وزن مخصوص ابتدائا " به وزن مخصوص دانه‌های سنگی و میزان آب مخلوط بستگی دارد . تغییرات میزان سیمان حداکثر ۲ درصد در وزن مخصوص پیش‌بینی شده اثر می‌گذارد که در اینجا از آن صرفنظر می‌گردد . با استفاده از داده‌های موجود تخمینی از وزن مخصوص بتن تازه بعمل می‌آید .

در روش طرح مخلوط که در این جزوه به آن پرداخته می‌شود وزن مصالح مختلف مورد نیاز بمنظور تهیه یک متر مکعب بتن محاسبه می‌گردد .

۲ـ کارائی بتن

۲ـ۱ اندازه‌گیری کارائی

کلمه کارائی به‌سهولت در ریختن ، قابلیت تراکم و سهولت در پرداخت بتن اطلاق می‌شود . البته هنوز آزمایش مشخصی بطور مجرد جهت‌تعیین همهٔ این‌خواص بتن‌شناخته‌نشده‌است . بتن با کارائی مناسب بتنی‌است‌که تحت شرایط‌کارگاهی بسهولت ریخته و متراکم می‌گردد . در این حال در ساختمان راه بتن بااسلامپ‌پائین مناسب‌تر از بتن با اسلامپ‌بالا می‌باشد . در این جزوه بحث پیرامون کارائی لازم جهت کارهای مختلف ساختمانی انجام نمی‌شود ، زیرا این مسئله به عوامل زیادی بستگی دارد . همانطور که در قسمت ۱ـ۲ـ۲ بیان شد در این روش مخلوط ، دو نوع آزمایش‌کارائی یعنی اسلامپ و V-B در چهار محدوده مشخص شده در جدول ۳ بکار می‌روند .

۲ـ۲ـ مقدار آب

میزان آب مصرفی در بتن که بصورت وزن آب در واحد حجم بتن بیان می‌شود اثر عمده‌ای در کارائی بتن دارد. برای یک نوع دانه سنگی با حداکثر قطر مشخص هرچه آب‌آزاداضافه شود اسلامپ بیشتر و زمان V-B کمتر خواهد شد. میزان آب آزاد لازم جهت دست‌یابی به یک اسلامپ و یا V-B مشخص تابعی از مشخصات دانه‌های سنگی می‌باشد. مثلا" دانه های سنگی نشکسته آب کمتری نسبت به دانه‌های شکسته نیاز دارند و با کم شدن حداکثر قطر دانه سنگی میزان آب مصرفی موردنیاز بالا می‌رود. مقادیر آب آزاد مورد نیاز برای۴سطح مختلف اسلامپ و یا V-B و برای انواع مختلف دانه‌ها با حداکثر قطر متفاوت درجدول ۳ داده شده است. دانه‌بندی دانه‌های درشت مصالح سنگی بشرط اینکه مطابق مشخصات‌قید شده در BS 882 باشند بر روی آب مورد نیاز تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی میزان آب لازم دارد. بعنوان مثال تغییر دانه‌بندی ماسه از ناحیه ۱ به ناحیه ۴ برطبق BS 882 منجر به افزایش ۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب آب بمنظور رسیدن به یک کارائی مشخص می‌شود. چنین تغییری در میزان آب مسلما" در مقاومت‌فشاری بتن تأثیر گذاشته و بهتر است‌دراین‌حالت مقدار ماسه ریزدانه جهت ثابت‌نگهداشتن مقدار آب تغییریابد. شکل شماره ۶نشان‌می‌دهد که چگونه مقدار ماسه مخلوط هنگامیکه ماسه ریزتر می‌شود باید تغییر یابد.

۲ـ۳ـ نوع سیمان

انواع مختلف سیمان به مقادیر متفاوت آب برای ایجاد مخلوطی با غلظت استاندارد نیاز دارند. بهرحال چون سیمانهای قیدشده در این طرح اثر بسیار کمی روی کارائی‌بتن‌دارند لذا این عامل در طرح فوق مورد نظر قرار نمی‌گیرد.

۳ـ مقاومت فشاری بتن

۳ـ۱ زمان آزمایش و شرایط نگهداری

افزایش مقاومت بتن ساخته‌شده بامصالح و نسبت‌های داده‌شده تحت‌شرایط مناسب‌ومطلوب ماهها ادامه می‌یابد. لیکن در اکثر استانداردها مقاومت ۲۸ روزه مشخص می‌گردد. افزایش مقاومت بتن ساخته شده با انواع مختلف سیمان بستگی به درجه حرارت و رطوبت درمدت عمل آوردن دارد. درجه حرارت بالا سبب تسریع فعل و انفعال شیمیائی سیمان و آب و درنتیجه افزایش سریعتر مقاومت می‌گردد. بمنظور دست‌یابی به مقاومت بالاتر درزمان طولانی می‌باید از تبخیر آب بتن جلوگیری‌نمود. برای‌انجام آزمایش مقاومت بتن، نمونه‌ها معمولا" در آب و در درجه حرارت معینی برطبق مشخصات BS 1881 قسمت سوم‌نگهداری می‌شوند.

۳ـ۲ نوع سیمان

میزان ازدیاد مقاومت بتن بستگی به نوع سیمان مصرفی دارد. مثلا" سیمان زودگیر بعلت انجام فعل و انفعال شیمیائی سریعتر مقاومت بالاتری در ابتدا ایجاد می‌کند. تأثیراین‌نوع سیمان بر روی بتن معمولی با میزان آب به سیمان حدود ۰/۵ در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

۳ـ۳ مقاومت سیمان

بغیر از تغییرات در مقاومت بتن‌های ساخته‌شده باانواع مختلف سیمانها که در قسمت ۳ـ۲ توضیح داده شد، تفاوتهائی نیز در مقاومت بتن‌های ساخته شده براساس تغییرات مقاومت خود سیمانها ایجاد می‌گردد. این تفاوت بخاطر تغییرات خود سیمان از یک کارخانه به کارخانه دیگر و نیز تغییر در کیفیت سیمان یک‌کارخانه در زمانهای مختلف می‌باشد. نوعا" در بررسی مقاومت ۲۸ روزه سیمانها، انحراف معیار مقاومت سیمان پرتلند معمولی در کارخانجات مختلف $5\ N/mm^2$ و برای فرآورده سیمان یک کارخانه حدود $3\ N/mm^2$ برآورد می‌شود.

۳ـ۴ نوع و دانه‌بندی مصالح سنگی

نوع مصالح سنگی برروی مقاومت فشاری بتن ساخته‌شده باآن تأثیر دارد. درشرایط یکسان دانه‌های درشت نشکسته (معمولا" گرد با سطح صاف) بتنی با مقاومت کمتر نسبت به دانه‌های درشت شکسته ایجاد می‌کنند. عواملی نظیر نوع ریزدانه‌های سنگی، حداکثر قطر دانه‌ها و دانه‌بندی که تأثیر مختصری روی مقاومت فشاری بتن دارند در این جزوه نادیده انگاشته می‌شوند.

۳ـ ۵ ارتباط بین مقاومت فشاری و نسبت آب آزاد به سیمان مخلوط بتن

ارتباط بین مقاومت فشاری بتن و نسبت آب به سیمان همانطور که در قسمت ۱ـ۲ـ۳ شرح داده شد در شکل ۴ نمایش داده شده است. باید متذکر شد که برعکس منحنی‌های قبلی منحنی‌های نشانداده شده در شکل۴ سن مشخصی از بتن‌آزمایشی را نشان نمی‌دهند. قبلا" در قسمت‌های ۳ـ۲ و ۳ـ۳ توضیح داده شده است که نوع سیمان باعث تغییراتی درمقاومت بتن می‌شود. همچنین کیفیت‌سیمان نیز تغییرکرده و براساس‌آن مقاومت بتن تغییر می‌یابد در بند ۳ـ۴ نیز به نقش دانه‌های سنگی و نوع آنها در مقاومت بتن اشاره شد. با آنکه منحنی‌های شکل ۴ براساس تعداد بسیار زیادی آزمایش روی بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند و انواع مصالح سنگی بدست آمده است لیکن ارتباط مابین مقاومت بتن ومیزان آب به سیمان برای یک نوع مشخص سیمان و دانه ممکنست اندک تفاوتی با نتایج فوق داشته باشد.

جدول شماره ۲ نمونه‌هائی از مقاومت بتن ساخته‌شده با نسبت آب به سیمان۰/۵ را برای زمانهای مختلف و مصالح مختلف نشان می‌دهد . افزایش مقاومت در جدول ۲ مربوط است به بتنی که در آب C° ۲۰ عمل آمده است . چنین بتنی که از سیمان پرتلند معمولی ساخته شده است پس از ۷ روز حدود ۷۰ درصد مقاومت ۲۸ روزه را بدست می‌آورد . بهر حال مخلوط های غنی‌تر ممکنست مقاومت اولیه بیشتر و درحدود ۷۵ درصد مقاومت۲۸روزه را در ۷ روز ایجاد کنند . برعکس مخلوط های با سیمان کم حدود ۶۵ درصد این مقاومت‌را نشان می‌دهند .

۳ـ۶ نحوهٔ مخلوط‌کردن

مقاومت فشاری بتن مستقیما " تحت تأثیر نوع مخلوط‌کن بتن قرار ندارد . البته بعضی از انواع مخلوط‌کن‌ها برای کارکردن با راندمان مناسب نیاز به درجهٔ کارائی بالاتری دارند و این مسئله ممکن است اثر مستقیمی روی نسبت مواد مختلف‌بتن جهت نسبت خواسته شده آب به سیمان داشته‌باشد . بهرحال مخلوط‌کردن با دست معمولا " مقاومت ضعیفتری‌نسبت به مخلوط‌کردن ماشینی برای یک نسبت مصالح به بتن می‌دهد .

۴ـ تغییرات مقاومت بتن حین تولید

۴ـ۱ عوامل موثر بر کل تغییرات

عوامل اصلی موثر بر مقاومت و کارائی بتن در بخش‌های ۲و۳ مورد بررسی قرار گرفت . در صورت تغییر این عوامل حین کار خواص بتن نیز الزاما " تغییر می‌کند . کل تغییرات در مقاومت اندازه‌گیری شده حین یک کار معمولا " دارای سه منشاء زیر می‌باشند :

۱ـ تغییرات در کیفیت مصالح مصرفی

۲ـ تغییرات در نسبتهای مواد مخلوط

۳ـ تغییرات در نمونه‌گیری و آزمایش بتن

در حین کار تغییرات اجتناب ناپذیری در مشخصات مصالح مصرفی بوجود می‌آید ، مثلا " کیفیت سیمان تحویلی ممکنست عوض شود یا دانه‌بندی و شکل دانه‌های سنگی ممکن است تغییر یابد . در این حالات لازمست میزان نسبت آب به سیمان جهت ثابت نگهداشتن سطح کارائی تغییر کند . همچنین روشن شده است که در هر مخلوط بتن تغییراتی درنسبت مصالح نیز ایجاد می‌شود که این امر ارتباط با نوع‌سیستم پیمانه‌کردن و طرز عمل ماشینهای فوق دارد . نهایتا " تغییراتی نیز در مقاومت بتن در اثر تغییرات در مراحل نمونه‌گیری ، ساختن ، عمل‌آوردن‌و آزمایش‌بتن ایجاد می‌گردد اگرچه سعی می‌شود از استاندارد BS 1881

در این موارد استفاده شود . متأسفانه اطلاعات کمی در مورد نحوهٔ تأثیر هر یک ازاین‌سه گروه عامل بطور مجزا روی تغییرات مقاومت بتن در دست است لیکن در خصوص بزرگی‌این تغییرات اطلاعات قابل ملاحظه‌ای بدست آمده است .

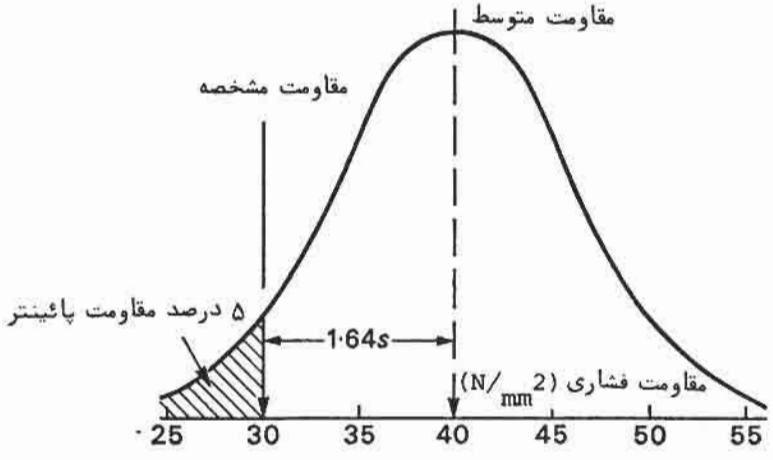
۴–۲ توزیع نتایج آزمایش مقاومت

بطورکلی پذیرفته شده است که تغییرات در مقاومت بتن دارای توزیع نرمال مطابق شکل ۱ می‌باشد . مساحت زیر منحنی مربوطست به مجموع تعداد نتایج ، و میزان نتایج کمتر از یک مقاومت مشخص برابر مساحت زیر منحنی واقع درسمت‌چپ خط قائمی است که ازآن‌مقاومت مشخص رسم گردیده است .

این توزیع نرمال که نسبت به مقدار متوسط آن متقارن است دارای معادلهٔ دقیق ریاضی می‌باشد که با دو پارامتر میانگین m و انحراف معیار s مشخص می‌شود .
انحراف معیار توسط معادله زیر محاسبه می‌گردد .

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x-m)^2}{n-1}}$$

x = نتیجه هر آزمایش
n = تعداد نتایج
m = میانگین تعداد n آزمایش



شکل ۱ــ منحنی توزیع نرمال مقاومتهای بتن

درحال حاضر مشخص شده است که با افزایش مقاومت مشخصه انحراف معیار نیز افزایش می‌یابد . همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است این ارتباط تا مقاومتهای حدود ۲۰ N/mm2 برقرار است . برای مقاومتهای بالاتر از ۲۰ N/mm2 انحراف معیار ثابت بوده و ارتباطی با مقاومت مشخصه ندارد .

۴ـ۳ مقاومت مشخصه

قبلا" نشان داده شد که مقاومت نمونه‌های مکعبی دارای توزیع نرمال می‌باشد. بنابراین این احتمال هر اندازه ضعیف وجود دارد که نتایجی کمتر از مقاومت مشخصه بدست آید. درحال حاضر کیفیت بتن بجای مشخص شدن با حداقل مقاومت با مقاومت مشخصه معین می‌شود. مقاومت مشخصه مقاومتی است که در یک سری آزمایش تنها تعدادی از نتایج مقاومت کمتر از مقاومت مشخصه می‌گردد. این تعداد مقاومت پائینتر از مقاومت مشخصه می‌تواند اختیاری انتخاب‌شود. آئین‌نامه CP110 و اصلاح شده آن BS 8110 درهماهنگی با CEB/FIP تعداد نتایج مقاومتهای زیر مقاومت مشخصه تا حداکثر ۵ درصد را توصیه می‌کنند.

۴ـ۴ حاشیه برای طرح مخلوط

بعلت تغییرات حاصل‌از تولید بتن لازمست مخلوط بتن طوری طرح‌شود که مقاومت متوسطی بزرگتر از مقاومت مشخصه ایجاد کند. بنابراین.

$$f_m = f_c + kS$$

f_m = مقاومت متوسط هدف

kS = حاشیه مقاومت

S = انحراف معیار

k = ضریب ثابت

مقدار ثابت k با استفاده از منحنی توزیع نرمال و براساس سطح‌های مختلف مقاومت‌های پائین‌تر از مقاومت مشخصه بصورت زیر انتخاب می‌شود.

k برای ۱۰ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه = ۱/۲۸

k برای ۵ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه = ۱/۶۴

k برای ۲/۵ درصد نتایج زیرمقاومت‌مشخصه = ۱/۹۶

k برای ۱ درصد نتایج زیر مقاومت مشخصه = ۲/۳۳

در شکل ۱ بتنی با مقاومت مشخصه ۳۰ N/mm^2 و انحراف معیار ۶/۱ N/mm^2 نشان داده شده است. باتوجه به‌میزان k= ۱/۶۴ که مربوط به ۵درصد مقاومت کمترار مقاومت‌مشخصه می‌باشد، خواهیم داشت:

f_m = مقاومت متوسط هدف $= ۳۰ + (۱/۶۴ \times ۶/۱)$

$= ۳۰ + ۱۰$

$= ۴۰ \ N/mm^2$

انحراف معیار بکار رفته جهت محاسبهٔ حاشیه مقاومت بایستی براساس نتایج مقاومت برای یک سیستم بتن‌سازی، مصالح و نظارت محاسبه گردد. بعنوان مثال انحراف معیار می‌تواند برای بتن‌های پیش ساخته و یا بتن‌های آماده بدست آید. در صورت نداشتن اطلاعات و داده‌های کافی می‌توان از مقادیر مشخص شده در شکل ۳ استفاده نمود. در پاره‌ای از کشورها نظیر انگلستان انحراف معیار بین اعداد ۲/۵ تا ۸/۵ N/mm^2 متغیر است. این مقادیر باید برای کارهای بتنی در ایران مشخص گردد. انحراف معیار محاسبه شده برای n نتیجه تنها تخمینی از انحراف معیار واقعی همه نتایج است. با بزرگتر شدن n خطا در محاسبهٔ انحراف معیار کاهش می‌یابد. در صورت انتخاب نتایج گروههای n تائی نتایج وقتیکه n برابر ۴۰ باشد، مقادیر انحراف معیار تنها حدود ۲۰± درصد تغییر می‌کنند که از نظر آماری اهمیت ندارند. بنابراین توصیه می‌گردد که انحراف معیار برای حداقل ۴۰ نتیجه آزمایش محاسبه گردد. در صورت کمتر بودن نتایج از ۴۰ آزمایش می‌توان میزان انحراف معیار را عدد ۸ N/mm^2 برای بتن‌های با مقاومت مشخصه ۲۰ N/mm^2 و بالاتر مطابق شکل ۳ اختیار کرد.

هنگامیکه تعداد آزمایشها اضافه می‌گردد تخمین انحراف معیار به میزان واقعی آن نزدیکتر می‌گردد. بهرحال انحراف معیار اختیارشده همانطور که خط B شکل ۳ نشان می‌دهد نبایستی کمتر از ۴ N/mm^2 برای بتن با مقاومت مشخصه ۲۰ N/mm^2 و بالاتر باشد. در این مورد آئین‌نامه‌های مختلف ممکن است محدودیتها و توصیه‌های متفاوتی را برای حاشیه مقاومت و انحراف معیار ارائه نمایند.

۵ ـ مراحل مختلف طرح مخلوط

مراحل مختلف طرح یک مخلوط بتن با درنظر گرفتن همهٔ عوامل موثر در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل فوق دیده می‌شود اطلاعات اولیه بدو دسته تقسیم می‌شوند:

a) متغیرهای مشخص شده، مقادیری که معمولاً در مشخصات داده می‌شود، و

b) اطلاعات اضافی، که معمولاً در دسترس سازنده بتن قرار می‌گیرد.

این اطلاعات اولیه معمولاً همراه سایر اطلاعات مبنائی که درشکلها وجدولها ظاهر شده‌اند برای ارزیابی مقادیری که خود به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند بکار می‌رود:

a) پارامترهای مخلوط که تعدادی از آنها برای تکمیل مرحله دوم طرح بکار می‌روند، و

b) نسبت‌های نهائی مواد، که معمولاً بصورت وزن مصالح لازم جهت تولید یک‌مترمکعب بتن متراکم شده با دقت ۵ کیلوگرم تعریف می‌شوند.

برای روشن شدن ترتیب عملیات در طرح بتن و سهولت مراجعه به آن، طـرح کامل بتن به ۵ مرحله تقسیم می‌گردد. هر یک از این مراحل به بررسی بخش ویژه‌ای از طرح پرداخته و سرانجام منجر به تعیین یک پاراستر مخلوط و یا نسبتهای نهائی مواد می‌گردد.

مرحله یک ــ در ارتباط با مقاومت بتن به تعیین میزان آب به سیمان منجر می‌گردد.

مرحله دو ــ در ارتباط با کارائی بتن به تعیین مقدار آب آزاد منتهی می‌گردد.

مرحله سه ــ با تلفیق نتایج مرحله اول و مرحله دوم مقدار سیمان مخلوط را مشخص می‌کند.

مرحله چهار ــ به تعیین میزان کل دانه‌های سنگی در مخلوط می‌پردازد.

مرحله پنج ــ به تعیین میزان مصالح درشت‌دانه و ریزدانه بطور جداگانه منجر می‌شود.

۵ ــ۱ــ انتخاب میزان آب به سیمان (مرحله یک)

همانطور که قبلا" ذکر شد درصورتیکه تعداد آزمایشهای مقاومت کمتر از ۴۰ باشد انحراف معیار از روی خط A شکل ۳ محاسبه می‌گردد. اگر اطلاعات قبلی بدست آمده شامل بیش از ۴۰ آزمایش باشد انحراف معیار محاسبه شده می‌تواند انتخاب گردد بشرطی که مقدارش از مقدار مناسب بدست آمده از خط B کمتر نباشد. حاشیه مقاومت از رابطه زیر با توجه به انحراف معیار محاسبه می‌گردد.

$$M = k \times S \qquad \ldots C_1$$

M = حاشیه مقاومت

k = مقدار ثابت متناسب با تعداد مقاومتهای بدست آمده کمتر از مقاومت مشخصه

S = انحراف معیار

محاسبات قسمت C_2 مقاومت متوسط هدف را تعیین می‌کند:

$$f_m = f_c + M \qquad \ldots C_2$$

f_m = مقاومت متوسط هدف

f_c = مقاومت مشخصه

M = حاشیه مقاومت

سپس از جدول ۲ مقاومت بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵ در سن مشخص و برای نوع سیمان و شن و ماسه مصرف شده بدست می‌آید. مقدار این مقاومت برروی شکل ۴ منتقل شده و از نقطه فوق یک منحنی بموازات منحنی‌های موجود در این شکل رسم می‌گردد. سپس محل برخورد منحنی فوق با خط افقی رسم شده از مقدار مقاومت متوسط هدف تعیین می‌شود. حال مقدار نظیر آب به سیمان برای این نقطه در روی محور افقی قرائت می‌گردد.

این مقدار آب به سیمان با میزان حداکثر آب به سیمان مشخص شده مقایسه گردیده و مقدار کوچکتر بعنوان نسبت آب به سیمان مخلوط انتخاب می‌گردد .

۵ـ۲ انتخاب مقدار آب آزاد مخلوط (مرحله دو)

در مرحله دوم طرح مخلوط ، مقدار آب آزاد لازم از جدول ۳ براساس نوع و حداکثر قطر مواد سنگی و برای ساختن بتنی با اسلامپ یا V -B مشخص بآسانی بدست می‌آید .

۵ـ۳ تعیین مقدار سیمان (مرحله سه)

مقدار سیمان مخلوط از رابطه C_2 تعیین می‌گردد :

$$\text{مقدار سیمان} = \frac{\text{میزان آب آزاد}}{\text{نسبت آب آزاد به سیمان}} \quad \ldots C_3$$

مقدار محاسبه شده سیمان می‌باید با حداقل یا حداکثر سیمان مشخص شده کنترل گردد . اگر مقدار سیمان محاسبه شده از رابطهٔ C_3 کمتر از مقدار حداقل سیمان مشخص شده باشد باید مقدار حداقل سیمان مزبور انتخاب گردد . در صورت این انتخاب یا نسبت آب به سیمان در مخلوط که در مرحله یک بدست‌آمده کمتر می‌شود و یا مقدار آب آزاد محاسبه شده در مرحله ۲ افزایش می‌یابد . درنتیجه این تغییرات و براساس نوع انتخاب بتنی بامقاومت متوسط بالاتری نسبت به مقاومت متوسط هدف و یا با کارائی بزرگتری از آنچه کـه در اول انتخاب شده است تولید می‌گردد . همچنین درحالتی که مقدار سیمان محاسبه شده بیشتر از حداکثر سیمان مشخص شده بدست آید احتمال اینکه همزمان مقاومت و کارائی خواسته شده با مصالح انتخابی حادث شود کم است . در اینحالت باید تغییراتی در نوع سیمان ، در نوع و حداکثر قطر دانه‌های سنگی و یا در سطح کارائی خواسته شده بتن بعمل آید .

۵ـ۴ تعیین وزن کل دانه‌های سنگی (مرحله چهار)

در مرحله چهارم با داشتن توده ویژه مجموعهٔ دانه‌های سنگی و میزان آب به سیمان مخلوط وزن مخصوص بتن با تراکم کافی از شکل ۵ تعیین می‌گردد . درصورت در اختیار نداشتن توده ویژهٔ دانه‌ها می‌توان بطور تقریبی برای مصالح نشکسته عدد ۲/۶ و برای مصالح شکسته عدد ۲/۷ را اختیار نمود . حال با تعیین وزن مخصوص بتن و با استفاده از رابطهٔ C_4 کل وزن دانه‌های سنگی بدست می‌آید .

وزن کل دانه‌های سنگی = $D - W_C - W_{FW}$ ... C_4
در حالت اشباع با سطح خشک

وزن مخصوص بتن تازه $D = (kg/_m3)$
مقدار سیمان مخلوط $W_C = (kg/_m3)$
میزان آب آزاد $W_{FW} = (kg/_m3)$

۵ ـ ۵ انتخاب میزان دانه‌های ریز و درشت بطور جداگانه (مرحله‌پنج)

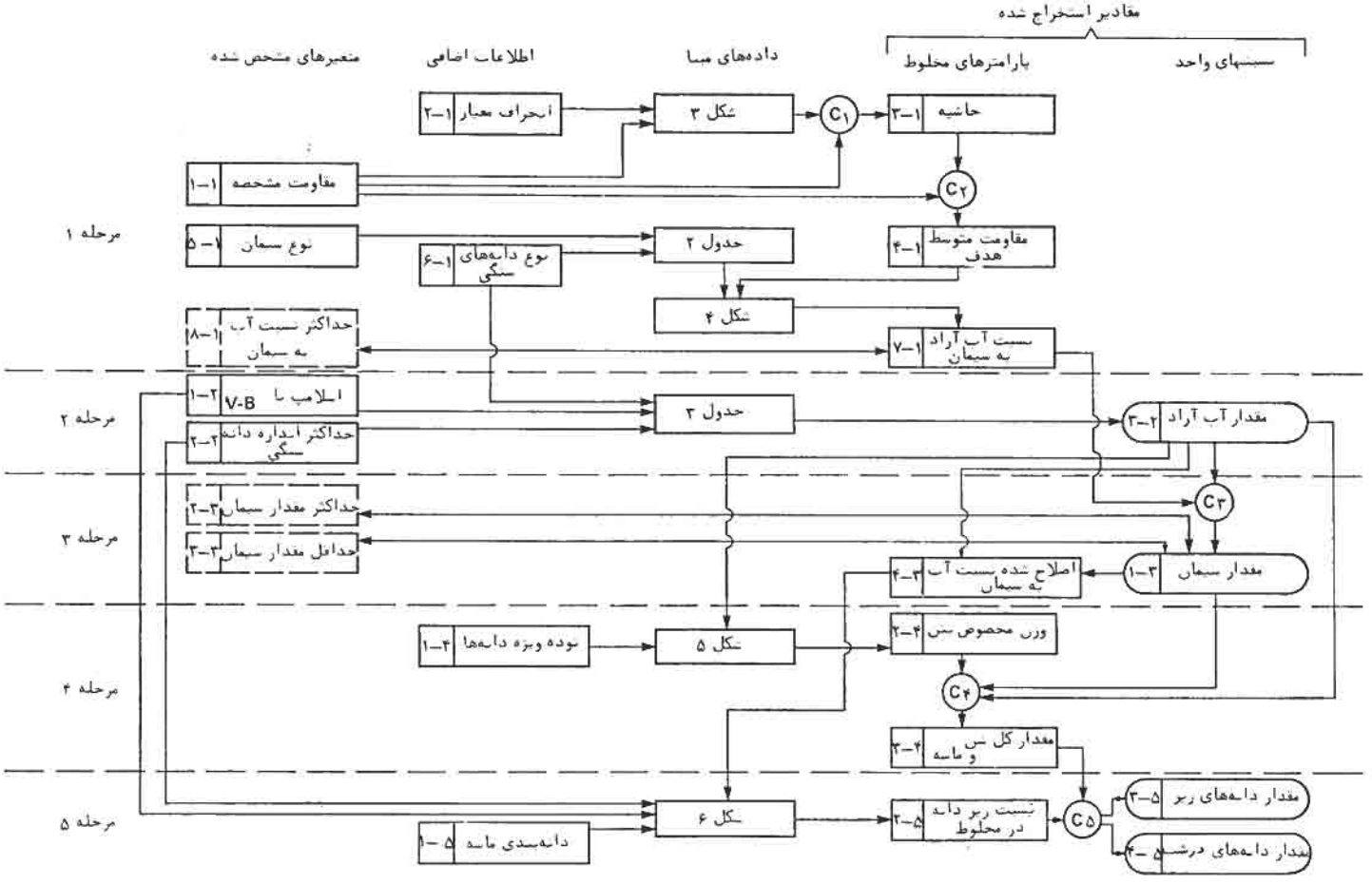
در این مرحله مقدار دانه‌های ریزتر از ۵ میلیمتر یعنی ماسه و مصالح ریز باتوجه به وزن‌کل دانه‌ها محاسبه می‌گردد. مقادیر پیشنهادی ریزدانه بصورت دو حد در شکل ۶ با داشتن حداکثر قطر دانه‌ها، سطح کارائی بتن، ناحیه دانه‌بندی ماسه و میزان نسبت آب آزاد به سیمان تعیین می‌شود. البته بهترین درصد مواد ریزدانه مخلوط به شکل دانه‌های سنگی و دانه‌بندی واقعی مصالح در ارتباط با نواحی حدی مشخص شده در BS 882 و نوع استفاده از بتن بستگی دارد. البته بعنوان اولین مخلوط آزمایشی میزان ماسه از حدود پیشنهادی در شکل ۶ بدست آمده و سپس با اصلاحاتی میزان دقیق آن با رعایت حدود فوق مشخص می‌شود.

بالاخره با استفاده از رابطهٔ C_5 مقادیر ماسه و شن (ریزدانه و درشت‌دانه) بطور مجزا با استفاده از میزان کل دانه‌ها که از مرحلهٔ چهار بدست آمده محاسبه می‌گردد.

C_5 نسبت درصد ریزدانه × میزان کل مصالح = میزان ریزدانه
میزان ریزدانه — میزان کل مصالح = میزان درشت‌دانه

مصالح درشت‌دانه خود به مصالح با اندازه حداکثر ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ میلیمتر تقسیم می‌شود که می‌توانند به نسبتهای مختلف مخلوط شوند. در اینجا نیز بهترین مخلوط درشت‌دانه به شکل دانه‌ها و نوع استفاده از بتن بستگی دارد. بطورکلی نسبتهای زیر در این خصوص توصیه می‌شوند.

نسبت ۱ : ۲ در مخلوط شامل دانه‌های ۱۰ و ۲۰ میلیمتر
نسبت ۱ : ۱/۵ : ۳ در مخلوط شامل دانه‌های ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ میلیمتر



شکل ۲ــ نمودار مراحل مختلف طرح مخلوط بتن . موارد مشخص شده با خط جین و یا با خطهای در دو جهت مقادیر کنترلی اختیاری هستند که ممکنست معین شده باشند .

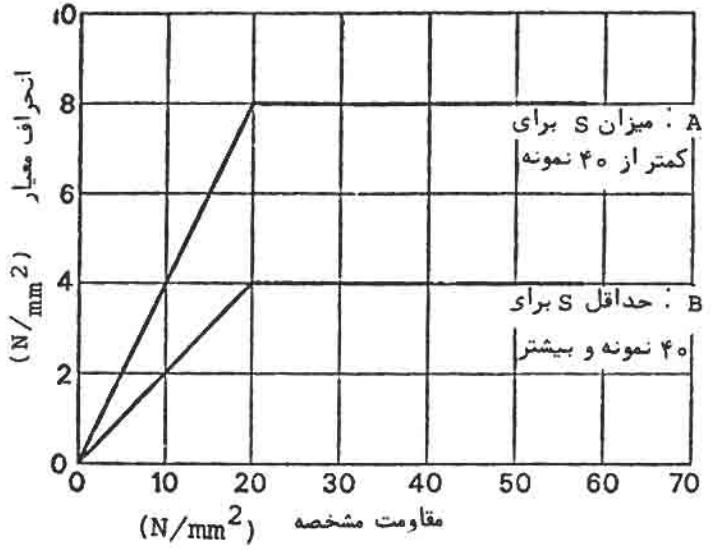
جدول ۲ــ مقاومت فشاری تقریبی (N/mm^2) بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵

نوع سیمان	نوع	مقاومت فشاری (N/mm^2)			
	شن	سن (روز)			
		۳	۷	۲۸	۹۱
سیمان معمولی					
یا	نشکسته	۱۸	۲۷	۴۰	۴۸
سیمان	شکسته	۲۳	۳۳	۴۷	۵۵
ضد سولفات					
سیمان	نشکسته	۲۵	۳۴	۴۶	۵۳
زودگیر	شکسته	۳۰	۴۰	۵۳	۶۰

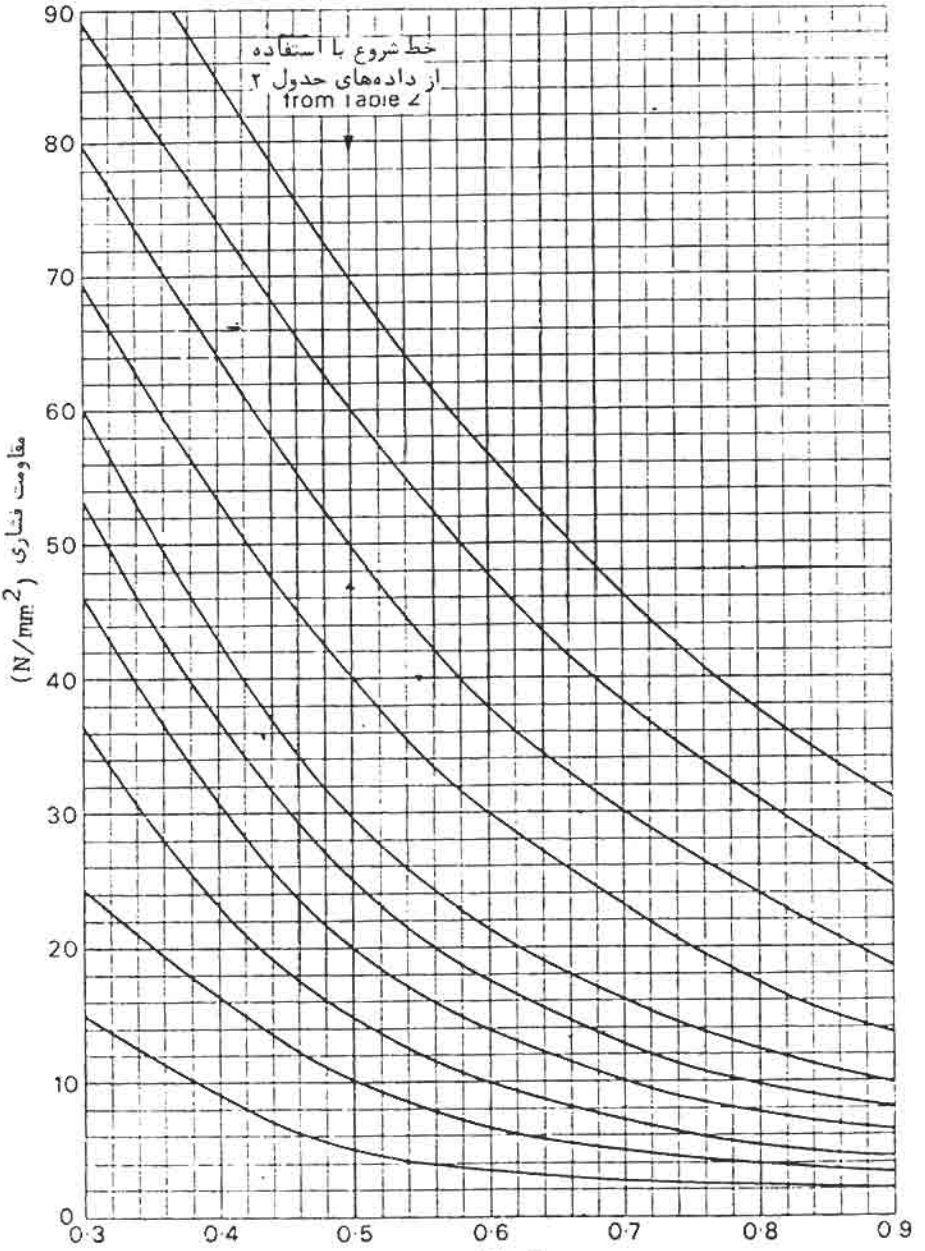
جدول ۳ــ مقدار تقریبی آب آزاد (kg/m^3) برای سطوح مختلف کارائی

اسلامپ (mm)	۰ــ۱۰	۱۰ــ۳۰	۳۰ــ۶۰	۶۰ــ۱۸۰
V-B (ثانیه)	>۱۲	۶ــ۱۲	۳ــ۶	۰ــ۳

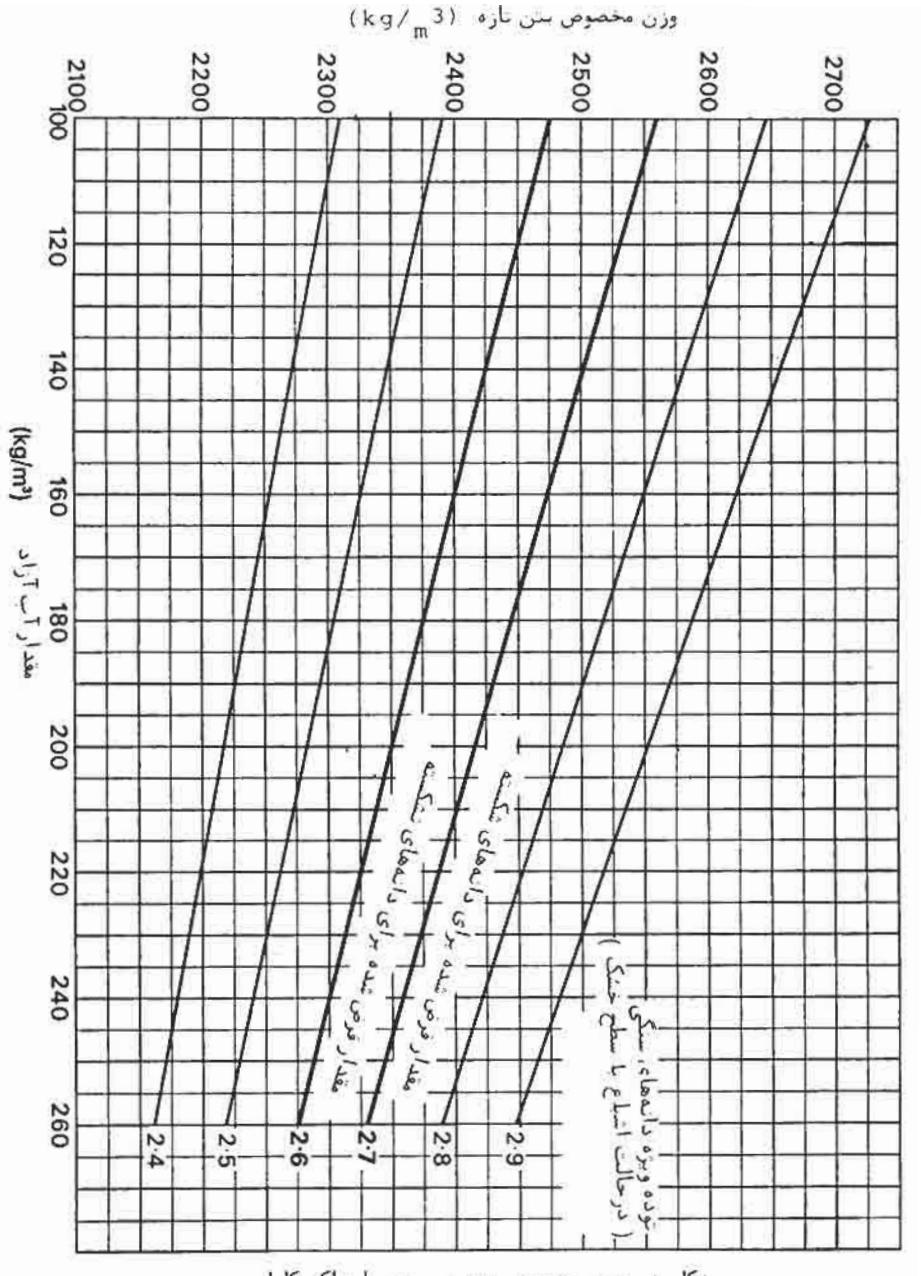
نوع دانه‌ها				حداکثر قطر دانه
نشکسته	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۵	۲۲۵
شکسته	۱۸۰	۲۰۵	۲۳۰	۲۵۰
نشکسته	۱۳۵	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۵
شکسته	۱۷۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۲۵
نشکسته	۱۱۵	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۵
شکسته	۱۵۵	۱۷۵	۱۹۰	۲۰۵



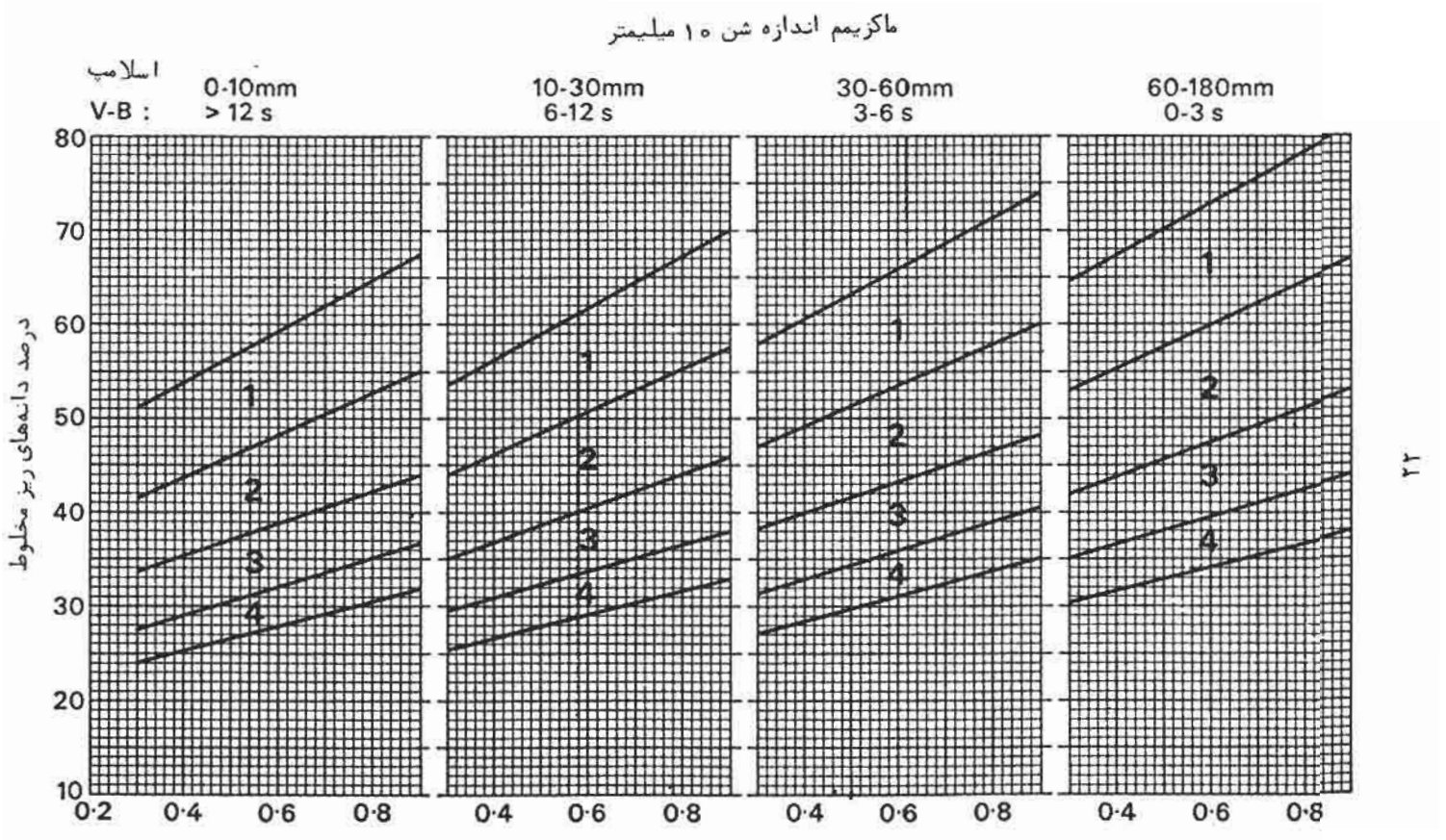
شکل ۳ـ ارتباط مابین انحراف معیار و مقاومت مشخصه



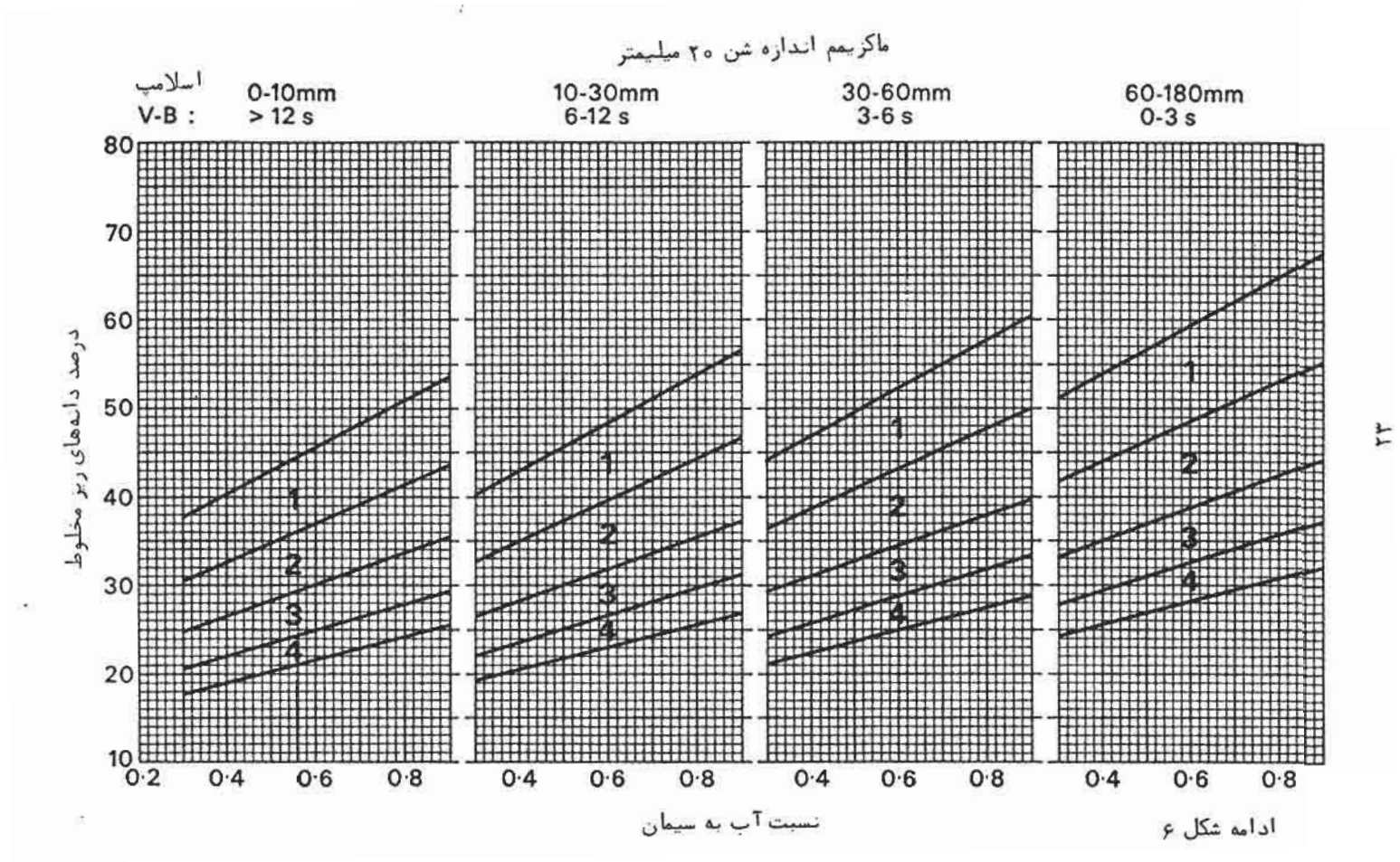
شکل ۴ـ ارتباط مابین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان مخلوط



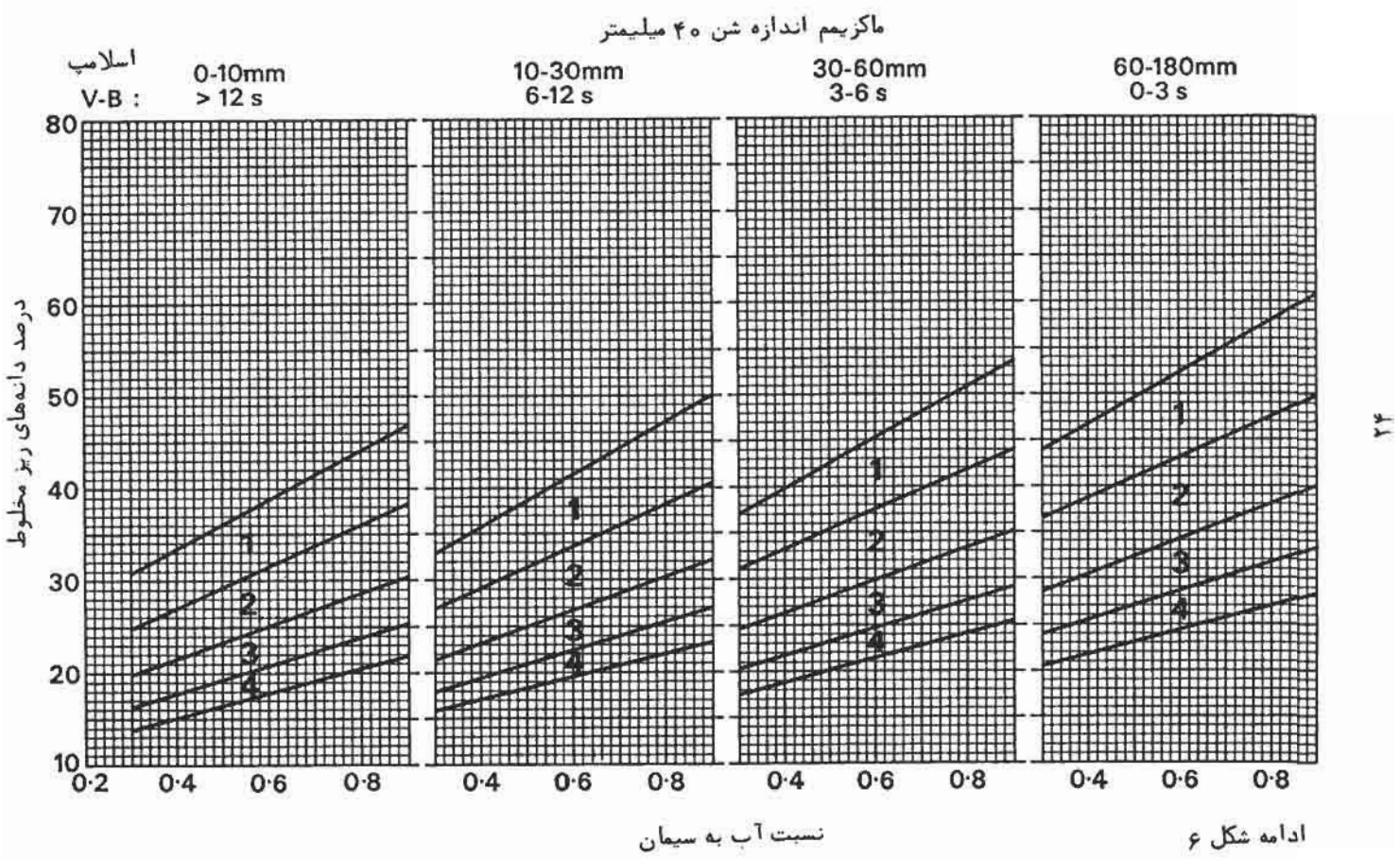
شکل ۵ ــ وزن مخصوص تخمینی بتن با تراکم کامل



شکل ۶ـ نسبتهای پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱و۲و۳و۴.


ماکزیمم اندازه شن ۲۰ میلیمتر
اسلامپ
V-B :
0-10mm
> 12 s
10-30mm
6-12 s
30-60mm
3-6 s
60-180mm
0-3 s
درصد دانه‌های زیر مخلوط
80
70
60
50
40
30
20
10
0·2
0·4
0·6
0·8
1
2
3
4
نسبت آب به سیمان

ادامه شکل ۶


ماکزیمم اندازه شن ۴۰ میلیمتر
اسلامپ
V-B :
0-10mm
> 12 s
10-30mm
6-12 s
30-60mm
3-6 s
60-180mm
0-3 s
درصد دانه‌های ریز مخلوط
80
70
60
50
40
30
20
10
0·2
0·4
0·6
0·8
1
2
3
4
نسبت آب به سیمان

ادامه شکل ۶

۶ـ مخلوط های آزمایشی

در روش طرح ذکر شده نسبت‌های مختلف مواد در مخلوط برای ساختن بتنی با مشخصات خواسته‌شده از نقطه‌نظر کارائی و مقاومت بدست می‌آید . البته این روش براساس طبقه‌بندی ساده‌ای از نوع و کیفیت مصالح مصرفی استوار شده و مصالح ویژه و سیمان‌های مخصوص‌باید با کنترل دیگری انتخاب گردند . بنابراین لازمست ابتدا مخلوط‌آزمایشی ساخته شده و اطلاعات بدست آمده زمینه‌ای برای رسیدن به طرح نهائی باشد . معمولا" در مورد مصالح مصرفی معمول یک مخلوط‌آزمایشی کافی خواهد بود لیکن پاره‌ای از استاندارد هـا تعـداد مخلوط های آزمایشی و قابل قبول بودن نتایج را نیز دقیقا" توصیه می‌کنند . بهرحال رسیدن به طرح واقعی که خصوصیات خواسته‌شده را ایجاد کند مستلزم انجام اصلاحاتی در نسبت مواد مختلف در مخلوط می‌باشد . این اصلاحات بستگی به نوع مواد بکار رفته در مخلوط داشته و ممکن است به سه صورت اعمال شوند :

۱ـ بکار بردن نسبت‌های بدست آمده در مخلوط‌آزمایشی برای مخلوط اصلی

۲ـ اصلاح مختصر نسبت های بدست آمده در مخلوط آزمایشی و بکار بردن آن بعنوان مخلوط اصلی

۳ـ انجام مخلوط های آزمایشی بیشتر با اعمال تغییرات اساسی در نسبت‌های مخلـوط تا حصول به مخلوط نهائی

۶ـ۱ پیمانه‌کردن مواد

در روش طرح فوق وزن مصالح مختلف به کیلوگرم برای تولید یک‌مترمکعب بتن متراکم‌داده می‌شود . بنابراین وزن مواد مخلوط‌آزمایشی از ضرب‌مقادیر هرجزء مخلوط درحجم خواسته شده بدست می‌آید . معمولا" ۵۰ لیتر (۵٪ مترمکعب) بتن برای ساختن ۶ مکعب ۱۵۰ میلیمتری و انجام آزمایش‌اسلامپ ، V-B و وزن مخصوص کافیست . بنابراین برای‌یک‌مخلوط اعداد بدست آمده در پاراگرافهای ۵ ـ۲ ، ۵ ـ۳ و ۵ ـ ۵ در عدد ۰/۰۵ ضرب می‌شوند تا اجزاء مخلوط بدست آیند .

هنگامیکه دانه‌های سنگی با سطح مرطوب بکار روند میزان آب آزاد مخلوط باتوجه به اصلاحاتی که در وزن مصالح و میزان آب لازم جهت اضافه‌کردن به مخلوط، بدست‌می‌آید. درحالتی که دانه‌های سنگی خشک هستند بایستی وزن دانه‌های لازم در مخلوط تقلیـل و میزان آب مخلوط جهت جذب دانه‌های‌خشک اضافه‌گردد .وزن دانه‌های ریز و درشت برای مخلوط‌آزمایشی دراین‌حالت از ضرب مقادیر بدست‌آمده از رابطهٔ C_5 درضریب $\frac{100}{100+A}$ بدست می‌آید که A درصد وزن آبی است که باید به مخلوط اضافه شود تا دانه‌ها راازحالت

خشک به حالت اشباع با سطح‌خشک تبدیل کند. بنابراین وزن آب لازم مخلوط بایستی به میزان آب لازم جهت جذب توسط دانه‌ها افزایش یابد. در اینحالت دانه‌ها قبل‌ازمخلوط باید بحالت اشباع برسند در غیر اینصورت مقداری از آب اضافه شده برای جذب دانه ها بعنوان آب آزاد مخلوط در زمان ساختن عمل کرده و اعدادی غیرواقعی برای کارائی و احتمالا" مقاومت بتن نتیجه می‌دهد.

۶ـ۲ آزمایشهای روی مخلوط های آزمایشی

مخلوط های آزمایشی بایستی برطبق دستورالعملهای BS 1881 قسمت اول ساخته شده و آزمایشهای زیر روی بتن ساخته شده مطابق استانداردهای BS1881 قسمت‌های ۲ و ۳و ۴ انجام شود:

۱ـ آزمایش‌های اسلامپ و V-B

۲ـ تعیین وزن واحد حجم بتن تازه

۳ـ ساختن و نگهداری نمونه‌های مکعبی برای آزمایش مقاومت فشاری (یا استوانه برای آزمایش کشش غیرمستقیم).

۶ـ۳ اصلاحاتی در نسبتهای مخلوط

۶ـ۳ـ۱ کارائی

بهنگام ساختن مخلوط‌آزمایشی یک تکنیسین مجرب با بررسی کارائی مخلوط درحین‌دیدن قادرست میزان آب را درصورت دور بودن نتایج از مقادیر خواسته شده کارائی تغییردهد. بنابراین بهتر است ابتدا قسمتی از آب تعیین شده برای مخلوط اضافه شود تا تکنیسین ضمن دیدن حالت مخلوط نیاز به آب بیشتر را تأیید کند. همچنین درصورتیکه با افزودن آب لازم در طرح هنوز به سطح کارائی لازم نرسیده باشیم بایستی آب بیشتری تا حصول کارائی لازم اضافه‌گردد. پس‌از تکمیل سیکل عمل‌مخلوط‌و اندازه‌گیری کارائی‌هنوز تغییراتی در میزان آب بهنگام ساختن مخلوط اصلی یا مخلوط‌آزمایشی بیشتر ممکن است داده شود که در اینحالت با مراجعه به جدول ۳ مقادیر آب می‌تواند تخمین زده شود. همچنین‌بعلت لزوم ارزیابی بتن تازه از نقطه‌نظرهای خواص رئولوژیکی، ممکن است تغییراتی در نسبت دانه‌های سنگی ریز و درشت داده شود.

۶ـ۳ـ۲ وزن مخصوص

بعداز اندازه‌گیری وزن مخصوص بتن تازه ، نتیجه باید با وزن مخصوص انتخاب شده‌بهنگام طرح (قسمت ۵ ـ۴) مقایسه گردد . درصورتیکه تفاوت قابل ملاحظه باشد نتیجتا " مقادیر اجزاء مخلوط در مترمکعب آن که بعنوان نسبت‌های واحد مخلوط‌آزمایشی داده شده‌اند با مقادیری که در طرح اولیه گرفته شده‌اند متفاوت خواهند بود . در اینحالت ، مقادیر طرح اولیه بایستی در نسبت وزن مخصوص اندازه گرفته شده به وزن مخصوص فرض شده‌ضرب‌شده با وزنهای واقعی مواد در مترمکعب مخلوط‌آزمایشی بدست آید .

۶ـ۳ـ۳ مقاومت

بعداز یافتن نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری مقادیر فوق با مقاومت متوسط هدف مقایسه می‌شوند (در استانداردهای دیگر با هر مقاومتی که آن استاندارد مشخص می‌کند) . در صورت نیاز میزان نسبت آب به سیمان با استفاده از منحنی‌های شکل ۴ اصلاح می‌شود . دو مثال جهت روشن‌شدن این مطلب در شکل ۷ آورده شده است .

A ـ نمایش‌دهنده مقادیر بدست آمده از جدول ۲ برای شن و ماسه و سیمان مشخص شده‌و در سن معین می‌باشد .

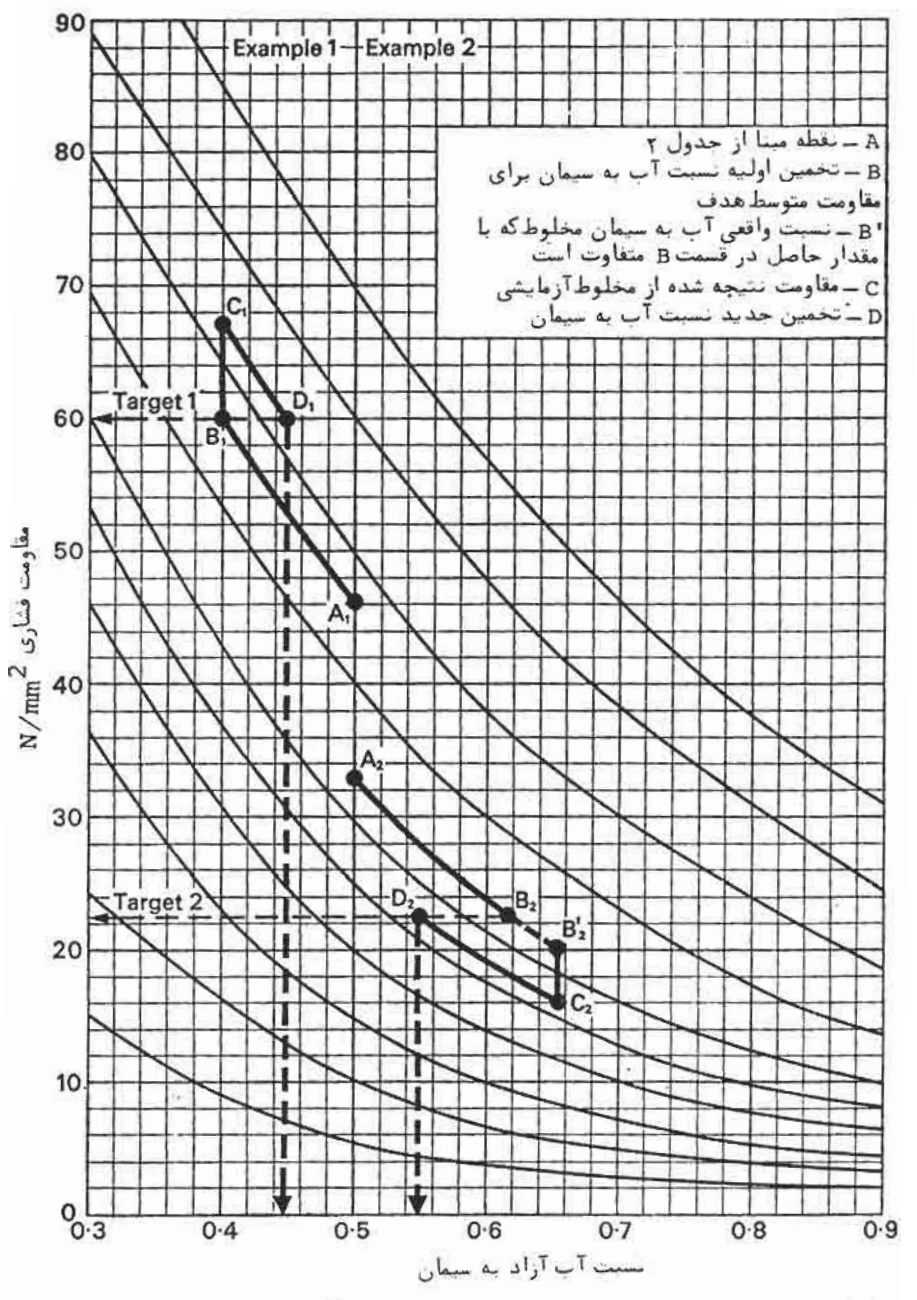
B ـ نمایش‌دهنده میزان آب به سیمان تخمینی در مخلوط‌آزمایشی می‌باشد .

B' ـ نمایش‌دهنده مقدار واقعی نسبت آب به سیمان بکار رفته در مخلوط‌آزمایشی ومتفاوت با مقدار بند B می‌باشد (این حالت موقعی که آب مخلوط در حین ساختن مخلوط آزمایشی مطابق مثال ۲ تنظیم می‌گردد اتفاق می‌افتد) .

C ـ نمایش دهنده نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با مخلوط‌آزمایشی است .

D ـ نمایش‌دهنده تخمین جدیدیست از میزان آب به سیمان تا به مقاومت متوسط هدف منجر گردد .

تغییرات بسیار جزئی نیز ممکنست به مقدار اجزاء مخلوط‌بتن بدون نیاز به انجام آزمایش دیگری داده شود . استثنائا " هنگامیکه میزان آب به‌سیمان باید تغییرعمده‌ای بیابد توصیه می‌گردد که مخلوط‌آزمایشی دیگری ساخته شود و اجزاء مخلوط مجددا " برای وزن مخصوص بتن جدید محاسبه گردند . بمنظور اجتناب از تأخیر که ممکنست بتن مخلوط‌آزمایش دوم ایجاد شود توصیه می‌شود که از آغاز ۲ یا چند مخلوط‌آزمایشی با آب یکسان ولی با نسبت‌های آب به سیمان مختلف تولید شوند .



شکل ۶ـ دو مثال در مراحل طرح مخلوط برای تنظیم نسبت آب به سیمان با استفاده از نتایج مخلوط آزمایشی

۷ـ مثالهائی از طرح مخلوط بتن

مثالهای زیر نحوه استفاده از روش طرح مخلوط بتن را نشان می‌دهند . نتایج محاسبات بر روی فرمهای استاندارد طرح آورده شده است . مطابق شکل ۲ اگرچه ۷ بند ۱ـ۱ ، ۱ـ۵ ، ۱ـ۸ ، ۲ـ۱ ، ۲ـ۲ ، ۳ـ۲ و ۳ـ۳ باید تعیین گردند لیکن تنها ۴ بنـد در طـرح اساسی هستند . سه بند دیگر که شامل بند ۱ـ۸ حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان ، بند ۳ـ۲ حداکثر مقدار سیمان و بند ۳ـ۳ حداقل مقدار سیمان بعنوان مقادیر کنترل‌کننده اختیاری هستند . در تعیین مقاومت مشخصه خواسته شده با درنظر گرفتن درصد نتایج آزمایشهـای مقاومت کمتر از مقاومت مشخصه ، مقدار تقریبی kمطابق بند ۳ـ۱ انتخاب می‌گردد .

۷ـ۱ مثال ۱ـ طرح مخلوط بدون هیچگونه محدودیت

مشخصات یک بتن جهت طرح همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است به صورت زیر است :

۱ـ مقاومت فشاری مشخصه ۲۸ روزه ، $30\ N/mm^2$ ($k = 1/64$ برای ۵ درصد مقاومتهای پائین‌تر از مقاومت مشخصه) بند ۱ـ۱

۲ـ سیمان پرتلند معمولی بند ۱ـ۵

۳ـ اسلامپ خواسته شده بین ۳۰ـ ۱۰ میلیمتر بند ۲ـ۱

۴ـ حداکثر اندازه دانه سنگی ، ۲۰ میلیمتر بند ۲ـ۲

۵ ـ حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان ، ۰/۵۵ بند ۱ـ۸

۶ـ حداقل مقدار سیمان ، ۲۹۰ کیلوگرم در مترمکعب بند ۳ـ۳

حداکثر مقدار سیمان تعیین نشده است لذا در بند ۳ـ۲ کنترلی وجود ندارد . با استفاده از شکل ۳ بعلت عدم وجود کنترل قبلی انحراف معیار ۸ (بند ۱ـ۲) انتخاب می‌گردد . مواد سنگی ریز و درشت از نوع نشکسته بوده و توده ویژه آنها مطابق پاراگراف ۵ ـ۴ عدد ۲/۶ انتخاب می‌شود . ماسه بعداز دانه‌بندی در ناحیه ۳ استاندارد BS882 قرارمی‌گیرد . این مقادیر در بندهای ۱ـ۶ ، ۴ـ۱ و ۵ ـ۱ جدول ۴ به ترتیب وارد می‌شوند . بااستفاده‌از روابط C_1 و C_2 مقاومت متوسط‌هدف محاسبه شده و مقدار $43\ N/mm^2$ بدست می‌آید . با استفاده از جدول ۲ برای مصالح مصرفی ، مقاومت فشاری تخمینی ۲۸ روزه برای نسبت آب به سیمان ۰/۵ عدد $40\ N/mm^2$ بدست می‌آید . با اعمال این مقاومت در شکل ۴ و برای مقاومت متوسط‌هدف $43\ N/mm^2$ نسبت آب به سیمان لازم ۰/۴۷ می‌گردد (بند۱ـ۷) . این مقدار از حداکثر نسبت‌آب به سیمان مشخص‌شده یعنی ۰/۵۵ کمتر است و لذا می‌تواند در طرح انتخاب شود . به این ترتیب مرحله یک محاسبات کامل می‌گردد .

مرحله دو با بدست آوردن مقدار آب لازم که برابر $160\ kg/m^3$ (بند ۲–۲) از جدول ۳ تکمیل می‌گردد .

با استفاده از رابطه c_2 مقدار سیمان‌لازم $340\ kg/m^3$ (بند ۳–۱) می‌گردد . این مقدار از میزان حداقل سیمان مشخص شده یعنی $290\ kg/m^3$ بزرگتر بوده و می‌تواند در طرح انتخاب شود . در اینجا مرحلهٔ سه نیز تکمیل می‌گردد .

با استفاده از شکل ۵ و با بکار بردن توده ویژه ۲/۶ برای دانه‌ها و مقدار آب لازم $160\ kg/m^3$ ، وزن مخصوص مرطوب‌بتن برابر $2400\ kg/m^3$ (بند۴–۲) بدست‌می‌آید . با تعیین مقدار کل وزن دانه‌ها برابر $1900\ kg/m^3$ (بند ۴–۳) ضمن بکار بردن رابطهٔ c_4 مرحلهٔ چهارم طرح نیز خاتمه می‌یابد .

سرانجام در مرحله پنجم برای حداکثر قطر شن و اسلامپ خواسته شده و نسبت آب به سیمان بدست آمده ، نسبت درصد ماسه برابر ۲۷ درصد بدست می‌آید (بند ۵–۲) . با استفاده از رابطه c_5 مقادیر دانه‌های ریز و درشت بطور مجزا (بندهای ۵ –۳ و ۵ – ۴) بدست می‌آیند .

مقادیر اجزاء مخلوط برای یک مترمکعب بتن در زیر خلاصه می‌شود :

سیمان ۳۴۰ کیلوگرم ، آب ۱۶۰ کیلوگرم ، ماسه ۵۱۵ کیلوگرم (حالت اشباع باسطح خشک) و شن ۱۳۸۵ کیلوگرم (حالت اشباع با سطح خشک) .

با فرض اینکه شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک هستند مقادیر فوق برای ۵۰ لیتر (۰/۰۵ مترمکعب) مخلوط بقرار زیر است .

سیمان ۱۷ کیلوگرم ، آب ۸ کیلوگرم ، ماسه ۲۵/۷ کیلوگرم و شن ۶۹/۲ کیلوگرم .

درحالتی که دانه‌های سنگی در آون تا $100^\circ C$ کاملا " خشک شده باشند در اینحالت برای کاربرد آنها باید وزن دانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک که از رابطهٔ c_5 بدست آمده است در ضریب $\frac{100}{100+A}$ ضرب شوند . A مقدار آبی است که شن و ماسه جذب می‌کند تا از حالت کاملا " خشک به‌حالت اشباع با سطح خشک تبدیل‌شوند . همچنین میزان آب مخلوط باید به اندازه آب جذب شده توسط شن و ماسه برای تبدیل آنها از حالت خشک به حالت اشباع با سطح خشک افزایش یابد . بعنوان مثال اگر جذب آب ماسه ۲ درصد و شن ۱ درصد باشد در مخلوط بالا اصلاحات زیر صورت می‌گیرد .

وزن ماسه خشک شده در آون $25/7 \times \frac{100}{102} = 25/2\ kg$

وزن شن خشک شده در آون $69/2 \times \frac{100}{101} = 68/5\ kg$

آب مورد نیاز برای جذب توسط دانه‌ها $(25/7-25/2)+(69/2-68/5)=0/5+0/7=1/2 kg$

جدول ۴ فرم تکمیل شده طرح مخلوط بتن بدون محدودیت

مرحله			مبنا یا محاسبه	مقادیر
۱	۱–۱	مقاومت مشخصه	مشخص شده	مقاومت فشاری ۲۸ روزه N/mm^2 ۳۰
	۱–۲	انحراف معیار	شکل ۳	نسبت درصد مقاومتهای کمتر از مقاومت مشخصه ۵
	۱–۳	حاشیه	C_1	یا بدون آزمایش N/mm^2 ۸
	۱–۴	مقاومت متوسط هدف		N/mm^2 ۱۳ = ۸ × ۱/۶۴ (k = ۱/۶۴)
	۱–۵	نوع سیمان	C_2	N/mm^2 ۴۳ = ۱۳ + ۳۰
	۱–۶	شن: نوع دانه‌ها	مشخص شده	نشکسته
		ماسه: نوع دانه‌ها		نشکسته
	۱–۷	نسبت آب آزاد به سیمان	جدول ۲، شکل ۴	مقدار کوچکتر انتخاب شود ۰/۴۷
	۱–۸	حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان بتن	مشخص شده	۰/۵۵
۲	۲–۱	اسلامپ یا V-B	مشخص شده	اسلامپ یا V-B – S ۱۰–۳۰ mm
	۲–۲	حداکثر اندازه دانه سنگی	مشخص شده	۲۰ mm
	۲–۳	میزان آب آزاد	جدول ۳	kg/m^3 ۱۶۰
۳	۳–۱	مقدار سیمان	C_3	kg/m^3 ۳۴۰ = ۰/۴۷ ÷ ۱۶۰
	۳–۲	حداکثر مقدار سیمان	مشخص شده	kg/m^3
	۳–۳	حداقل مقدار سیمان	مشخص شده	درصورت بزرگتربودن از مقدار kg/m^3 ۲۹۰
	۳–۴	مقدار اصلاح‌شده نسبت آب‌به‌سیمان		در بند ۳–۱ این عدد را درمحاسبات بند ۳–۴ بکار ببرید.
۴	۴–۱	توده‌ویژه موادسنگی		فرض شده ۲/۶
	۴–۲	وزن مخصوص بتن	شکل ۵	kg/m^3 ۲۴۰۰
	۴–۳	کل وزن شن و ماسه (دانه‌سنگی)	C_4	kg/m^3 ۱۹۰۰ = ۱۶۰ – ۳۴۰ – ۲۴۰۰
۵	۵–۱	دانه‌بندی ماسه	BS ۸۸۲	ناحیه ۳
	۵–۲	نسبت ریز دانه (ماسه)	شکل ۶	درصد ۳۰–۲۵ (۲۷)
	۵–۳	مقدار ماسه	C_5	kg/m^3 ۵۱۵ = ۰/۲۷ × ۱۹۰۰
	۵–۴	مقدار شن		kg/m^3 ۱۳۸۵ = ۵۱۵ – ۱۹۰۰

مقادیر برای ۱ مترمکعب مخلوط آزمایشی	سیمان (kg)	آب (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)
	۳۴۰	۱۶۰	۵۱۵	۱۳۸۵

OPC = سیمان پرتلند معمولی، SRPC سیمان پرتلند ضدسولفات، RHPC سیمان پرتلند زودگیر، SSD اشباع با سطح خشک

$1\ N/mm^2 = 1\ MN/m^2 = 1\ MPa$

بنابراین مقادیر اجزاء مخلوط شامل ۱۷ کیلوگرم سیمان، ۹/۲ کیلوگرم آب، ۲۵/۲کیلوگرم ماسه در حالت خشک و ۶۸/۵ کیلوگرم شن در حالت خشک می‌باشد.

۷ـ۲ مثال ۲: طرح مخلوط با محدودیت میزان حداکثر آب به سیمان

مشخصات یک بتن جهت طرح همانطوری که در جدول ۵ نشان داده شده است بصورت زیر است:

۱ـ مقاومت فشاری مشخصه۲۸روزه، $15\ N/mm^2$ ($k = 1/64$) برای ۵ درصد مقاومت‌های پائین‌تر از مقاومت مشخصه) — بند ۱ـ۱

۲ـ سیمان پرتلند معمولی — بند ۱ـ۵

۳ـ اسلامپ خواسته شده بین ۶۰ـ۳۰ میلیمتر — بند ۲ـ۱

۴ـ حداکثر اندازه دانه سنگی، ۴۰ میلیمتر — بند ۲ـ۲

۵ـ حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان، ۰/۵ — بند ۱ـ۸

۶ـ حداقل مقدار سیمان، ۲۹۰ کیلوگرم در مترمکعب — بند ۳ـ۳

با استفاده از شکل ۳ بعلت عدم وجود کنترل قبلی انحراف معیار $6\ N/mm^2$ بدست می‌آید (بند ۱ـ۲). داده‌های زیر درخصوص دانه‌ها مشخص‌شده‌اند که در محلهای مناسب جدول ۵ یادداشت می‌شوند:

نوع شن و ماسه، شکسته — بند ۱ـ۶

توده ویژه شن و ماسه، ۲/۵ — بند ۴ـ۱

دانه‌های ماسه، ناحیه ۴ — بند ۵ـ۱

مراحل طرح مخلوط همانند مثال ۱ به ترتیب انجام می‌گیرد تا بند ۱ـ۷ که مقدار آب‌آزاد به سیمان برای مقاومت خواسته شده عدد ۰/۶۷ بدست می‌آید. این مقدار از عدد۰/۵که بعنوان حداکثر نسبت آب به سیمان مشخص شده است بزرگتر است. بنابراین درادامه‌طرح مخلوط عدد ۰/۵ بعنوان میزان آب به سیمان انتخاب می‌شود. در اینحالت با استفاده‌از شکل ۴ مقاومت متوسط $40\ N/mm^2$ بجای $25\ N/mm^2$ بدست می‌آید. همانند مثال قبل بقیه طرح تا تعیین اجزاء مخلوط ادامه می‌یابد.

۷ـ۳ مثال ۳: طرح مخلوط با محدودیت حداقل مقدار سیمان

این مثال عینا " مشخصات خواسته‌شده در مثال۲ را داراست با این تفاوت که مقدار کارائی خواسته شده به اسلامپ بین ۱۰ـ۵ میلیمتر تقلیل می‌یابد. طرح مخلوط همانند مثال‌های قبل همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است ادامه می‌یابد.

بعلت پائین آوردن کارائی بتن ،مقدار آب آزاد به ۱۱۵کیلوگرم در مترمکعب تقلیل می یابد (بند ۲–۳) . کم شدن آب منجر به کم شدن مقدار سیمان به ۲۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب (بند ۳–۱) می‌گردد که کمتر از میزان حداقل سیمان مشخص شده یعنی ۲۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد (بند ۳–۳) . در اینحالت مقدار بزرگتر سیمان یعنی ۲۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب انتخاب شده و میزان اصلاح شده نسبت آب به سیمان ۰/۴ می‌گردد (بند۳–۴). با استفاده از شکل ۴ بااین نسبت آب به‌سیمان کوچکتر مقاومت فشاری ۵۳ N/mm^2 بدست می‌آید . این مثال بوضوح نشان می‌دهد که مقاومت مشخص شده در ارتباط بامشخصات سایر پارامترها یعنی کارائی پائین ، حداکثر نسبت آب به سیمان و حداقل سیمان ، بسیار پائین انتخاب شده است .

۷–۴ ــ مثال ۴ : طرح مخلوط با محدودیت حداکثر مقدار سیمان

مشخصات یک بتن جهت طرح همانطوری که در جدول ۷ نشان داده شده است بصورت زیر است :

۱ــ مقاومت مشخصه فشاری ۲۸ روزه ، ۵۰ N/mm^2 ($k = ۲/۳۳$ برای ۱ درصد مقاومتهای پائین‌تر از مقاومت مشخصه) بند ۱–۱

۲ــ سیمان پرتلند معمولی بند ۱–۵

۳ــ اسلامپ خواسته شده ، ۶۰–۳۰ میلیمتر بند ۲–۱

۴ــ حداکثر اندازه دانه سنگی ، ۱۰ میلیمتر بند ۲–۲

۵ ــ حداکثر میزان سیمان ،۵۵۰ کیلوگرم در مترمکعب بند ۳–۲

با استفاده از اطلاعات کنترلی قبلی انحراف معیار ۵ N/mm^2 انتخاب می‌شود (بند ۱–۲). سایر مشخصات در ارتباط با دانه‌ها همانطور که در جدول ۷ هم آورده شده است بقرار زیر است :

نوع شن و ماسه ، شکسته بند ۱–۶

توده ویژه فرض شده برای شن و ماسه ،۲/۷۰ بند ۴–۱

دانه‌بندی ماسه ، ناحیه ۲ بند ۵–۱

طرح مخلوط همانند مثالهای‌قبلی ادامه‌می‌یابد تا منجر به تعیین مقدار آب آزاد به سیمان برابر ۰/۴ (بند ۱–۷) در پایان مرحله ۱ و تعیین مقدار آب آزاد به میزان ۲۳۰ kg/m^3 (بند ۲–۳) در پایان مرحله ۲ بشود . در مرحله ۳ طرح مخلوط مقدار سیمان‌لازم ۵۷۵ kg/m^3 (بند ۳–۱) می‌گردد که در مقایسه با حداکثر مشخص شده مقدار سیمان یعنی ۵۵۰ kg/m^3 اندکی بیشتر است . بنابراین مراحل بعدی طرح باید با تغییراتی که مطابق قسمت ۵ ــ۳ داده می‌شود تا تعیین اجزاء مخلوط‌ادامه یابد .

جدول ۵ فرم تکمیل شده طرح مخلوط بتن با محدودیت حداکثر نسبت آب به سیمان

مرحله	بند	مبنا یا محاسبه		مقادیر
۱	۱–۱	مقاومت مشخصه	مشخص شده	مقاومت فشاری ۲۸ روزه N/mm^2 ۱۵
				درصد مقاومتهای کمتر از مقاومت مشخصه ۵
	۱–۲	انحراف معیار	شکل ۳	N/mm^2 با بدون آزمایش ۶
	۱–۳	حاشیه	C_1	N/mm^2 ۹/۸ = ۶ × ۱/۶۴ (k = ۱/۶۴)
	۱–۴	مقاومت متوسط هدف	C_2	N/mm^2 ۲۵ = ۹/۸ + ۱۵
	۱–۵	نوع سیمان	مشخص شده	OPC/
	۱–۶	شن: نوع دانه‌ها		شکسته
		ماسه: نوع دانه‌ها		شکسته
	۱–۷	نسبت آب آزاد به سیمان	جدول ۲، شکل ۴	مقدار کوچکتر انتخاب شود ۰/۶۷
	۱–۸	حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان	مشخص شده	۰/۵۰
۲	۲–۱	اسلامپ یا V–B	مشخص شده	اسلامپ ۳۰ – ۶۰ mm یا V–B – S
	۲–۲	حداکثر اندازه دانه سنگی	مشخص شده	۴۰ mm
	۲–۳	میزان آب آزاد	جدول ۳	۱۶۰ kg/m^3
۳	۳–۱	مقدار سیمان	C_3	kg/m^3 ۳۲۰ = ۰/۵ ÷ ۱۶۰
	۳–۲	حداکثر مقدار سیمان	مشخص شده	
	۳–۳	حداقل مقدار سیمان	مشخص شده	kg/m^3 ۲۹۰
	۳–۴	مقدار اصلاح‌شده نسبت آب به سیمان		درصورت بزرگتر بودن از مقدار دربند ۳–۱ این عدد را در محاسبات بند ۳–۴ بکار ببرید.
۴	۴–۱	نوده‌ویژه مواد سنگی (SSD)		تعیین شده ۲/۵
	۴–۲	وزن مخصوص بتن	شکل ۵	kg/m^3 ۲۳۲۵
	۴–۳	کل وزن شن و ماسه (دانه‌سنگی)	C_4	kg/m^3 ۱۸۴۵ = ۱۶۰ – ۳۲۰ – ۲۳۲۵
۵	۵–۱	دانه‌بندی ماسه	BS ۸۸۲	ناحیه ۴
	۵–۲	نسبت ریز دانه (ماسه)	شکل ۶	درصد ۲۳ – ۲۰ (۲۲)
۳–۵	۵–۳	مقدار ماسه		kg/m^3 ۴۰۵ = ۰/۲۲ × ۱۸۴۵
	۵–۴	مقدار شن	C_5	kg/m^3 ۱۴۴۰ = ۴۰۵ – ۱۸۴۵

شن (kg)	ماسه (kg)	آب (kg)	سیمان (kg)	مقادیر
۱۴۴۰	۴۰۵	۱۶۰	۳۲۰	برای ۱ مترمکعب مخلوط آزمایشی

OPC = سیمان پرتلند معمولی، SRPC سیمان پرتلند ضدسولفات، RHPC سیمان پرتلند زودگیر، SSD اشباع با سطح خشک

$1\ N/mm^2 = 1\ MN/m^2 = 1\ MPa$

جدول ۶ فرم تکمیل شده طرح مخلوط بتن با محدودیت حداقل مقدار سیمان

مقادیر	مبنا یا محاسبه		بند	مرحله
مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۱۵ N/mm^2	مشخص شده	مقاومت مشخصه	۱–۱	۱
نسبت درصد مقاومتهای کمتر از مقاومت مشخصه ۵				
N/mm^2 با بدون آزمایش ۶	شکل ۳	انحراف معیار	۱–۲	
N/mm^2 ۹/۸ = ۶ × ۱/۶۴ (k = ۱/۶۴)	C_1	حاشیه	۱–۳	
N/mm^2 ۲۵ = ۹/۸ + ۱۵	C_2	مقاومت متوسط هدف	۱–۴	
OPC/	مشخص شده	نوع سیمان	۱–۵	
نشکسته		شن: نوع دانه‌ها	۱–۶	
نشکسته		ماسه: نوع دانه‌ها		
مقدار کوچکتر انتخاب شود ۰/۶۷	جدول ۲، شکل ۴	نسبت آب آزاد به سیمان	۱–۷	
۰/۵۰	مشخص شده	حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان	۱–۸	
S – V-B با mm ۱۰ – ۵۰ اسلامپ	مشخص شده	اسلامپ یا V-B	۲–۱	۲
mm ۴۰	مشخص شده	حداکثر اندازه دانه سنگی	۲–۲	
kg/m^3 ۱۱۵	جدول ۳	میزان آب آزاد	۲–۳	
kg/m^3 ۲۳۰ = ۰/۵ ÷ ۱۱۵	C_3	مقدار سیمان	۳–۱	۳
	مشخص شده	حداکثر مقدار سیمان	۳–۲	
درصورت بزرگتربودن از مقدار kg/m^3 ۲۹۰	مشخص شده	حداقل مقدار سیمان	۳–۳	
دربند ۳–۱ این عدد را درمحاسبات بند ۳–۴ بکار ببرید.				
		مقدار اصلاح‌شده نسبت آب به‌سیمان	۳–۴	
تعیین شده ۲/۵		توده‌ویژه مواد سنگی (SSD)	۴–۱	۴
۲۳۷۵	شکل ۵	وزن مخصوص بتن	۴–۲	
kg/m^3 ۱۹۷۰ = ۱۱۵ – ۲۹۰ – ۲۳۷۵	C_4	کل وزن شن و ماسه (دانه‌سنگی)	۴–۳	
ناحیه ۴	BS ۸۸۲	دانه‌بندی ماسه	۵–۱	۵
درصد ۱۸–۱۵ (۱۷)	شکل ۶	نسبت ریز دانه (ماسه)	۵–۲	
۳۳۵ = ۰/۱۷ × ۱۹۷۰	C_5	مقدار ماسه	۵–۳	
۱۶۳۵ = ۳۳۵ – ۱۹۷۰		مقدار شن	۵–۴	

(kg) شن	(kg) ماسه	(kg) آب	(kg) سیمان	مقادیر
۱۶۳۵	۳۳۵	۱۱۵	۲۹۰	برای ۱ مترمکعب مخلوط آزمایشی

OPC = سیمان پرتلند معمولی، SRPC سیمان پرتلند ضد سولفات، RHPC سیمان پرتلند زودگیر، SSD اشباع با سطح خشک

$1\ N/mm^2 = 1\ MN/m^2 = 1\ MPa$

جدول ۷ فرم تکمیل شده طرح مخلوط بتن با محدودیت حداکثر مقدار سیمان

مقادیر	مبنا یا محاسبه		بند	مرحله
مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵۰ N/mm^2	مشخص شده	مقاومت مشخصه	۱–۱	۱
نسبت درصد مقاومتهای کمتر از مقاومت مشخصه ۱				
۵ یا بدون آزمایش $N/_{mm}^2$	شکل ۳	انحراف معیار	۱–۲	
۲/۳۳ × ۵ = ۱۱/۶ (k = ۲/۳۳)	C_1	حاشیه	۱–۳	
۵۰ + ۱۱/۶ = ۶۲	C_2	مقاومت متوسط هدف	۱–۴	
OPC/	مشخص شده	نوع سیمان	۱–۵	
شکسته		شن: نوع دانه‌ها	۱–۶	
شکسته		ماسه: نوع دانه‌ها		
مقدار کوچکتر انتخاب شود ۰/۴۰	جدول ۲، شکل ۴	نسبت آب آزاد به سیمان	۱–۷	
–	مشخص شده	حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان	۱–۸	
V-B - S یا ۶۰ – ۳۰ mm اسلامپ	مشخص شده	اسلامپ یا V-B	۲–۱	۲
۵۵۰ kg/m^3 ۱۰ mm	مشخص شده	حداکثر اندازه دانه سنگی	۲–۲	
۲۳۰ kg/m^3	جدول ۳	میزان آب آزاد	۲–۳	
۵۷۵ kg/m^3 ۰/۴ = ۲۳۰ –	C_3	مقدار سیمان	۳–۱	۳
۵۵۰ kg/m^3	مشخص شده	حداکثر مقدار سیمان	۳–۲	
درصورت بزرگتربودن از مقدار kg/m^3	مشخص شده	حداقل مقدار سیمان	۳–۳	
در بند ۳–۱ این عدد را درمحاسبات بند ۳–۴ بکار ببرید.				
		مقدار اصلاح‌شده نسبت آب به سیمان	۳–۴	
فرض شده ۲/۷		توده‌ویژه مواد سنگی (SSD)	۴–۱	۴
kg/m^3	شکل ۵	وزن مخصوص بتن	۴–۲	
kg/m^3	C_4	کل وزن شن و ماسه (دانه‌سنگی)	۴–۳	
ناحیه ۲ BS ۸۸۲		دانه‌بندی ماسه	۵–۱	۵
درصد	شکل ۶	نسبت ریز دانه (ماسه)	۵–۲	
kg/m^3		مقدار ماسه	۵–۳	
kg/m^3	C_5	مقدار شن	۵–۴	
(kg) شن (kg) ماسه (kg) آب	(kg) سیمان	مقادیر برای مترمکعب مخلوط آزمایشی		

OPC = سیمان پرتلند معمولی، SRPC سیمان پرتلند ضدسولفات، RHPC سیمان پرتلند رودگیر، SSD اشباع با سطح خشک

1 $N/_{mm}^2$ = 1 $MN/_m^2$ = 1 MPa

۸ـ طرح مخلوط بتن براساس مقاومت کششی غیرمستقیم

بتنی که بمنظور استفاده در راهسازی و روسازی بتنی طرح می‌شود باید دارای مقاومت کششی معینی باشد. در این قسمت از طرح مخلوط اطلاعات لازم جهت طرح این نوع بتن و یا هر بتنی که می‌بایستی براساس مقاومت کششی مشخصی انتخاب شود آورده شده است.

اساس طرح کاملا" شبیه طرح مخلوط قبلی است لیکن بعلت تغییر مشخصه مقاومت اصلاحاتی در بندهای جداول قبلی و نیز در شکل ۲ طرح قبلی صورت می‌گیرد. این اصلاحات در زیر خلاصه می‌گردد:

۱ـ انحراف معیار (بند ۱ـ۲)

هنگامی که نتایج آزمایشهای قبلی کمتر از ۴۰ نتیجه باشد در اینحالت عدد $0/6\ N/mm^2$ بعنوان انحراف معیار اختیار می‌شود. با در دسترس بودن بیش از ۴۰ نتیجه از آزمایشهای گذشته عدد $0/3\ N/mm^2$ می‌تواند اختیار شود. این مقادیر انحراف معیار برای همه سطوح مقاومت مشخصه قابل اعمال است.

۲ـ میزان آب آزاد به سیمان (بند ۱ـ۷)

بجای جدول ۲ که در طرح قبلی بکار می‌رفت از جدول ۸ که در زیر آمده است جهت تخمین مقاومت کششی با زمان استفاده شود.

۳ـ بجای استفاده از شکل ۴ از شکل ۸ برای رسم مقاومتهای مشخصه استفاده شود.

۴ـ شکل ۸ براساس داده‌های بدست آمده از مقاومت و میزان آب به سیمان برای فاصله محدودی رسم شده است. بهمین دلیل جدول ۸ نیز محدود است به مقاومت بتن‌هائی که در آنها سیمان پرتلند معمولی استفاده شده است.

جدول ۸ـ مقاومت کششی غیرمستقیم تقریبی بتن‌های ساخته شده از سیمان پرتلند معمولی و با میزان آب به سیمان ۰/۵

نوع دانه سنگی	زمان (روز) ۳	۷	۲۸	۹۱
نشکسته	۱/۷	۲/۲	۲/۸	۳/۳
شکسته	۲/۲	۲/۹	۳/۶	۴/۲

۹ــ طرح مخلوط بتن با مواد مضاف هوازا

بتن در حالت اشباع و در درجه حرارتهای زیر صفر در معرض خطر یخبندان قرار دارد. یخ زدن بتن در نهایت منجر به ترک، ریزش و خرابی سطحی آن میگردد. نوع خسارت و خرابی بتن در یخزدگی بسیار متنوع بوده و با افزودن نمکهای ضدیخ در حقیقت افزایش می‌یابد.

استفاده از مواد مضاف که در بتن ایجاد حباب هوا می‌کنند تا حد بسیار بالائی و از بروز و پیشرفت این خرابیهای یخزدگی جلوگیری می‌کند. کاربرد این مواد بخصوص در روسازیهای بتنی راه و فرودگاه اهمیت بسزائی دارد.

در این بخش از طرح بتن اطلاعاتی در خصوص تأثیر این مواد مضاف برروی مقاومت کارائی و وزن مخصوص بتن داده می‌شود. تأثیر مواد هوازا روی بتن بستگی به نسبت مواد و اجزاء مخلوط، نوع و دانه‌بندی شن و ماسه، سیمان و نوع ماده هوازا دارد. اثرات مواد هوازا روی موارد فوق برای بتن‌های معمولی با میزان هوای ۳ تا ۷ درصد و تغییراتی که در طرح مخلوط لازمست اعمال شوند در قسمت‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

۹ــ۱ اثر مواد مضاف هوازا بر روی مقاومت بتن

بطورکلی با افزایش مواد هوازا مقاومت بتن کاهش می‌یابد. میزان این کاهش همانطور که قبلا" ذکر شد به عوامل متعددی بستگی دارد. باتوجه به حدود مواد هوازا که در مخلوط بکار می‌رود و در این جزوه به آن توجه شده است می‌توان فرض نمود که برای هر ۱ درصد حجمی افزایش هوای ایجاد شده در مخلوط بتن کاهش مقاومتی به میزان ۵/۵ درصد فشار و ۴ درصد در کشش بتن نتیجه خواهد شد.

بمنظور تخمین مقدار آب به سیمان لازم در یک بتن با حباب هوا نقصان و کاهش مقاومت باید به‌نحوی درنظر گرفته شود. این کاهش با بالا بردن مقاومت متوسط هدف براساس رابطهٔ زیر برای بتن با حباب هوا جبران می‌گردد. که در آن f_c مقاومت مشخصه بتن، a درصدحجمی هوای ایجاد شده، r ضریبی است که در حالت طرح بتن برای یک مقاومت فشاری مشخص برابر ۰/۵۵ و درصورتیکه طرح برای رسیدن به مقاومت کششی مشخصی باشد برابر ۰/۴ اختیار می‌شود.

$$\frac{f_c + M}{1 - ra}$$

مقدار اصلاح شده مقاومت متوسط هدف در شکلهای ۴ و ۸ در ادامه طرح بکار می‌رود.

۹ـ۲ اثر مواد مضاف هوازا روی کارائی بتن

اساسا" کاربرد مواد مضاف هوازا در بتن سبب افزایش کارائی آن می‌گردد. میزان تأثیر همانند مقاومت بتن به عوامل زیادی بستگی دارد. در اکثر حالات باتوجه به‌حدود کارائی و هوای موجود مخلوط های مشخص شده در این جزوه، کاربرد مواد هوازا سبب افزایش کارائی از یک گروه به گروه بالاتر در بتن‌های مشخص شده در جدول ۳ برای مقدارآب معین می‌شود. این بدان معنی است که در طرح یک بتن با حباب هوا مثلا" اگر اسلامپ ۶۰ـ ۳۰ میلیمتر خواسته شده‌است، مقدار آب لازم باید در جدول ۳ برای اسلامپ ۳۰ـ۱۰ میلیمتر انتخاب شود. علاوه‌بر اثر روی کارائی که با آزمایشهای اسلامپ یا V-B مشخص می‌شود، مواد هوازا در بتن تازه سبب افزایش چسبندگی و خاصیت پلاستیکی مخلوط نیز می‌شوند. بنابراین در پاره‌ای از موارد می‌توان نسبت ماسه در مخلوط را به میزان ۵ درصد کاهش‌داد که این امر منجر به کاهش جزئی در مقدار آب مخلوط نیز می‌شود.

۹ـ۳ وزن مخصوص بتن با حباب هوا

تخمین وزن مخصوص بتن تازه با حباب هوا نیز از روی شکل ۵ انجام می‌گیرد. تنها تفاوت این است که از مقدار تعیین شده وزن مخصوص بتن با استفاده از شکل ۵ باید مقداراربرکسر گردد.

$$10 \times a \times RD_A$$

که در آن:

a = مقدار درصد حجمی هوای ایجاد شده

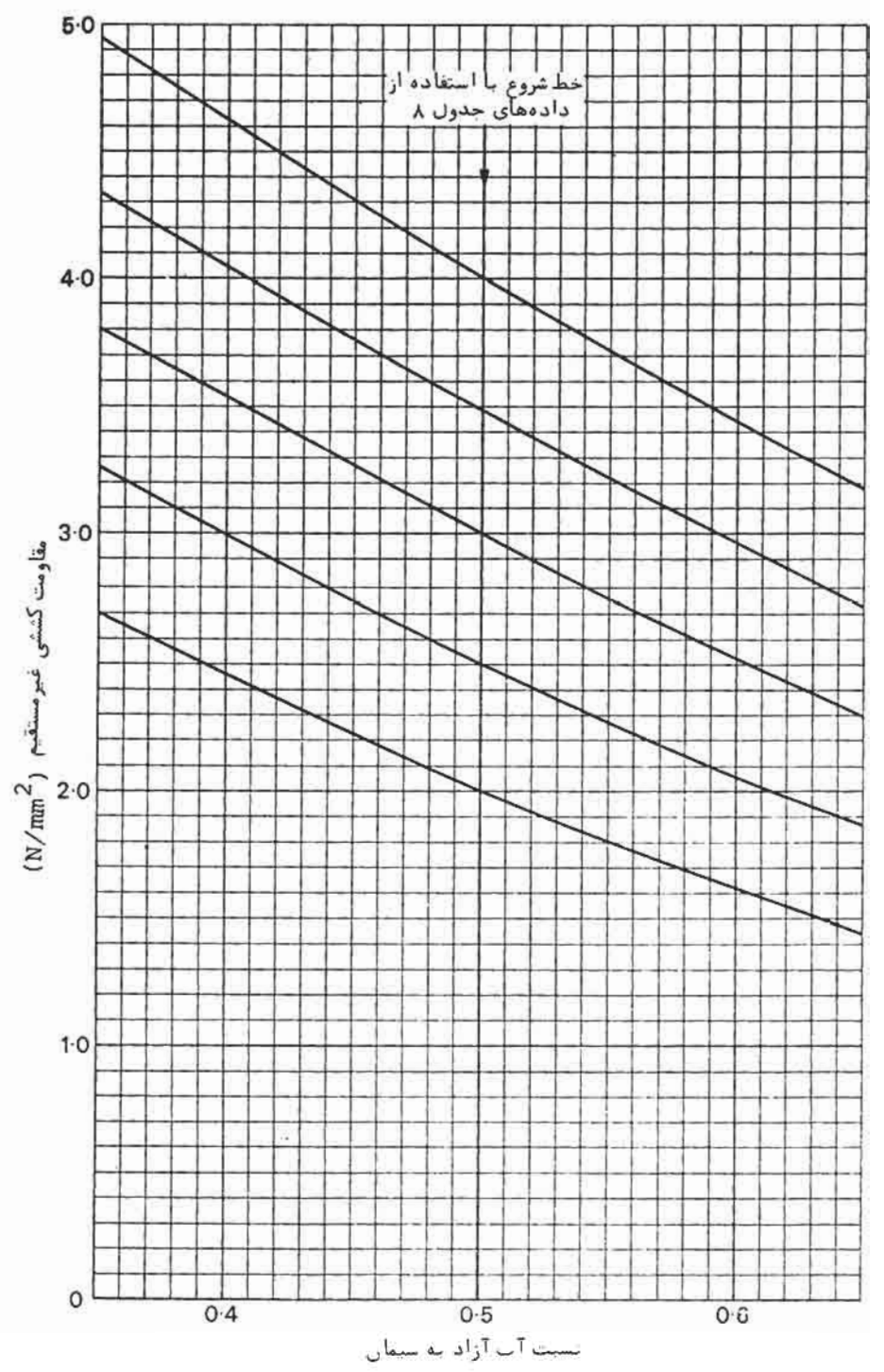
RD_A = توده ویژه دانه‌های سنگی که براساس حالت اشباع با سطح خشک بدست آمده‌است (درصورت عدم انجام آزمایش اعداد ۲/۶ یا ۲/۷ می‌توانند انتخاب شوند).

۹ـ۴ اصلاحات لازم در مراحل طرح مخلوط بتن

اساس طرح مخلوط با حباب هوا با مخلوط های‌معمولی یکیست. بهرحال جهت تأثیرعوامل ذکر شده در بخش‌های ۹ـ۱ تا ۹ـ۳ اصلاحات زیر در بندهای مختلف و طرح و در شکل ۲ باید صورت پذیرد.

۱) بند ۴ـ۱ مقاومت متوسط هدف

مقاومت متوسط هدف که باتوجه به مقاومت مشخصه بدست آمده است و همچنین حاشیه مقاومت در بند ۱ـ۳ بایستی براساس اصلاحات پاراگراف ۹ـ۱ برای مقادیر جدید مجددا" محاسبه شوند.



شکل ۸ــ ارتباط بین مقاومت کششی غیرمستقیم و نسبت آب آزاد به سیمان

۲) بند ۲ـ۳ میزان آب آزاد

برای ملحوظ داشتن تأثیر مواد هوازا در افزایش کارائی بتن، مقدار آب لازم مخلوط باید برمبنای کارائی یک سطح پائینتر از کارائی مشخص شده از روی جدول ۳ بدست آید.

۳) بند ۴ـ۲ وزن مخصوص بتن

برای ملحوظ داشتن تأثیر ماده هوازا در کاهش وزن مخصوص بتن، وزن مخصوص بدست آمده از شکل ۵ برای بتن معمولی باید همانطوری که در پاراگراف ۹ـ۳ بیان‌شد تقلیل‌یابد.

۹ـ ۵ مخلوط‌های آزمایشی بتن با حباب هوا

در بتن با حباب هوا علاوه‌بر آزمایشهای که باید بر روی آن مطابق پاراگراف ۶ ـ ۴انجام شود، آزمایش تعیین میزان هوا نیز براساس استاندارد BS1881 قسمت دوم ضرورت پیدا می‌کند. نتایج این آزمایش حتی بر نتایج آزمایشهای دیگر اولویت دارد. بنابراین مخلوط آزمایشی لازمست به‌منظور تولید میزان مشخص هوا در بتن طرح گردد. البته می‌توان حجم حباب‌های هوا را با تخمین نیز تعیین نمود.

۱۰ـ مثال در مورد طرح بتن با حباب هوا

آخرین مثال طرح مخلوط بتن که در جدول ۹ منعکس است مربوط به طرح بتن با حباب هوا جهت رسیدن به یک مقاومت کششی غیرمستقیم مشخص می‌باشد. در این مثال شن شکسته‌و ماسه نشکسته بعنوان مصالح سنگی بکار می‌رود. مقادیر زیر بعنوان مشخصات طرح درجدول ۹ آورده شده است:

۱ـ مقاومت کششی غیرمستقیم مشخصه ۲۸ روزه $1/8\ N/mm^2$ ($k = 2/33$ برای ۱ درصد مقاومتهای پائین‌تر از مقاومت مشخصه) — بند ۱ـ۱

۲ـ سیمان پرتلند معمولی — بند ۱ـ۵

۳ـ اسلامپ خواسته شده، ۲۵ میلیمتر — بند ۲ـ۱

۴ـ حداکثر اندازه دانه سنگی، ۲۰ میلیمتر — بند ۲ـ۲

۵ ـ حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان، ۰/۵۵ — بند ۱ـ۸

۶ـ حداقل مقدار سیمان، ۲۸۵ کیلوگرم در مترمکعب — بند ۳ـ۳

۷ـ میزان هوای مخلوط، ۴/۵ درصد — بند ۱ـ۴ـ۱

همانطور که در بخش ۸ ذکر آن رفت‌انحراف‌معیار $0/6\ N/mm^2$ اختیار می‌شود (بند ۱ـ۲). اطلاعات زیر نیز در مورد شن و ماسه همانطور که در جدول ۹ نشان داده شده است‌مشخص شده‌اند:

نوع دانه‌های سنگی : ماسه نشکسته و شن شکسته — بند ۱ـ۶

توده ویژه دانه‌های سنگی ، ۲/۶۵ — بند ۴ـ۱

دانه‌بندی ماسه ، ناحیه ۲ — بند ۵ـ۱

طرح مخلوط همانند مراحل ذکر شده در قسمت ۷ این جزوه و با اصلاحاتی که درقسمت‌های ۸ و ۹ ذکر آن رفت ادامه می‌یابد . در مرحله اول طرح بند ۱ـ۴ براساس میزان‌هوا در بتن و براساس موارد پاراگراف ۹ـ۱ اصلاح می‌شود . جدول ۸ و شکل ۸ بجای جدول ۲و شکل ۴ برای تعیین نسبت آب آزاد به سیمان بکار می‌روند (بند ۱ـ۷) .

در تعیین مقدار آب آزاد مورد نیاز مخلوط (بند ۲ـ۳) ، از مقادیر داده شده در جدول ۳ که براساس نوع شن و ماسه‌می‌باشد استفاده‌می‌شود . در مرحله ۲ باید توجه‌داشت که اگرچه اسلامپ خواسته شده ۲۵ میلیمتر بوده و لذا در گروه ۳۰ـ۱۰ میلیمتر قرارمی‌گیرد لیکن آب لازم باید براساس اسلامپ یک گروه پائین‌تر یعنی بین ۱۰ـ۰ میلیمتر مطابق پاراگراف ۹ـ۲ انتخاب گردد . اصلاح دیگر در طرح مخلوط بتن فوق در مرحله ۴ می‌باشد که وزن مخصوص بتن (بند ۴ـ۲) براساس موارد ذکر شده در پاراگراف ۹ـ۳ با تغییراتی تعیین می‌گردد .

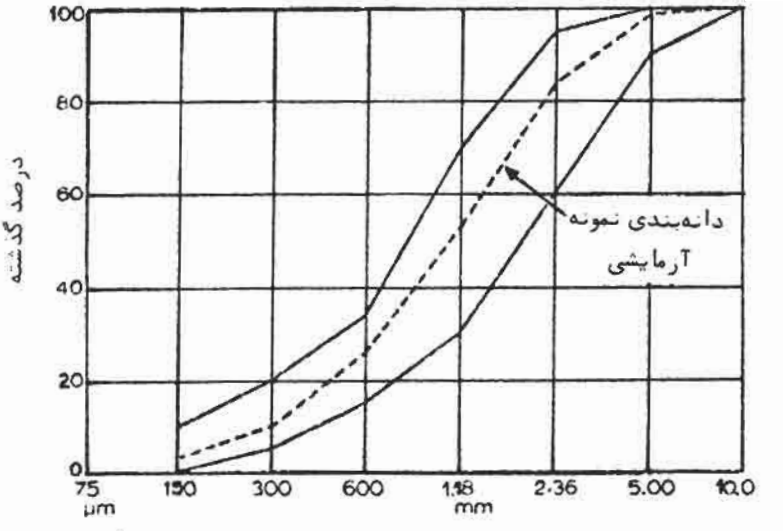
جدول ۹ فرم تکمیل شده طرح مخلوط بتن با مواد هوازا برای مقاومت کششی غیرمستقیم

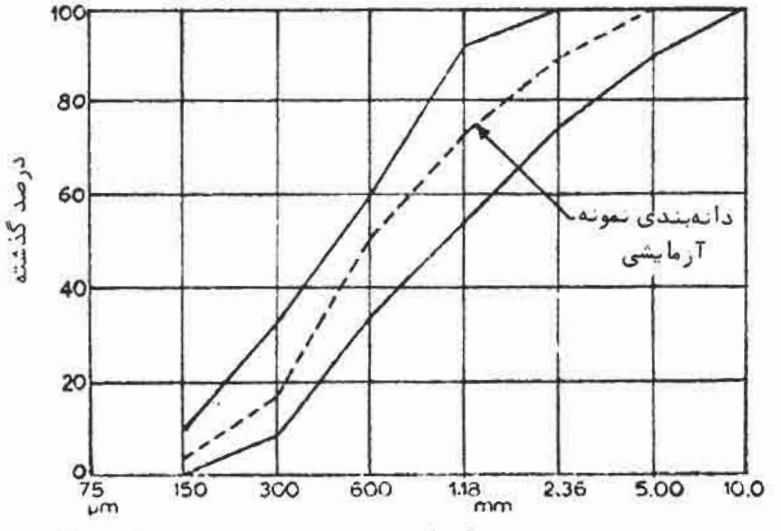
مرحله	بند	مبنا یا محاسبه		مقادیر
۱	۱–۱	مشخص شده	مقاومت مشخصه	مقاومت کششی غیرمستقیم ۲۸ روزه ۱/۸ N/mm^2
	۱–۲	بخش ۸	انحراف معیار	نسبت درصد مقاومتهای کمتر از مقاومت مشخصه ۱
	۱–۳		حاشیه	۰/۶ با بدون آزمایش N/mm^2
	۱–۴	C_1	مقاومت متوسط هدف	$1/4\ N/mm^2 = 0/6 \times 2/33$ $(k = 2/33)$
	۱–۴–۱	C_2 و پاراگراف ۹–۱	میزان هوا	$3/2\ N/mm^2 = 1/8 + 1/4$ ۵٪ درصد
	۱–۴–۲		مقاومت متوسط هدف اصلاح شده	$3/9\ N/mm^2 = 3/2 \div (1 - 0/04 \times 4/5)$
	۱–۵	مشخص شده	نوع سیمان	OPC/
	۱–۶		شن: نوع دانه‌ها	شکسته
			ماسه: نوع دانه‌ها	نشکسته
	۱–۷	جدول ۸، شکل ۸	نسبت آب آزاد به سیمان	۰/۴۵ مقدار کوچکتر انتخاب شود
	۱–۸	مشخص شده	حداکثر نسبت آب آزاد به سیمان	۰/۵۵
۲	۲–۱	مشخص شده	اسلامپ یا V-B	اسلامپ V-B یا ۲۵ mm = S
	۲–۲	مشخص شده	حداکثر اندازه دانه سنگی	۲۰ mm
	۲–۳	جدول ۳ و پاراگراف ۹–۲	میزان آب آزاد	$145\ kg/m^3 = \frac{1}{3}(170) + \frac{2}{3}(135)$
۳	۳–۱	C_3	مقدار سیمان	$320\ kg/m^3 = 145 \div 0/45$
	۳–۲	مشخص شده	حداکثر مقدار سیمان	kg/m^3
	۳–۳	مشخص شده	حداقل مقدار سیمان	درصورت بزرگتربودن از مقدار $285\ kg/m^3$
	۳–۴		مقدار اصلاح‌شده نسبت آب به سیمان	در بند ۳–۱ این عدد را در محاسبات بند ۳–۴ بکار ببرید.
۴	۴–۱		تودهٔ ویژه مواد سنگی	تعیین شده ۲/۶۵
	۴–۲	شکل ۵	وزن مخصوص بتن	$2340\ kg/m^3 = (10 \times 4/5 \times 2/65) - 2460$
	۴–۳	C_4 و پاراگراف ۹–۳	کل وزن شن و ماسه (دانه‌سنگی)	$1875\ kg/m^3 = 145 - 320 - 2340$
۵	۵–۱	BS ۸۸۲	دانه‌بندی ماسه	ناحیه ۲
	۵–۲	شکل ۶	نسبت ریز دانه (ماسه)	درصد ۳۶ – ۲۹ (۳۲)
	۵–۳		مقدار ماسه	$600 = 0/32 \times 1875$
	۵–۴	C_5	مقدار شن	$1275 = 1875 - 600$

مقادیر برای ۱ مترمکعب مخلوط آزمایشی	سیمان (kg)	آب (kg)	ماسه (kg)	شن (kg)
	۳۲۰	۱۴۵	۶۰۰	۱۲۷۵

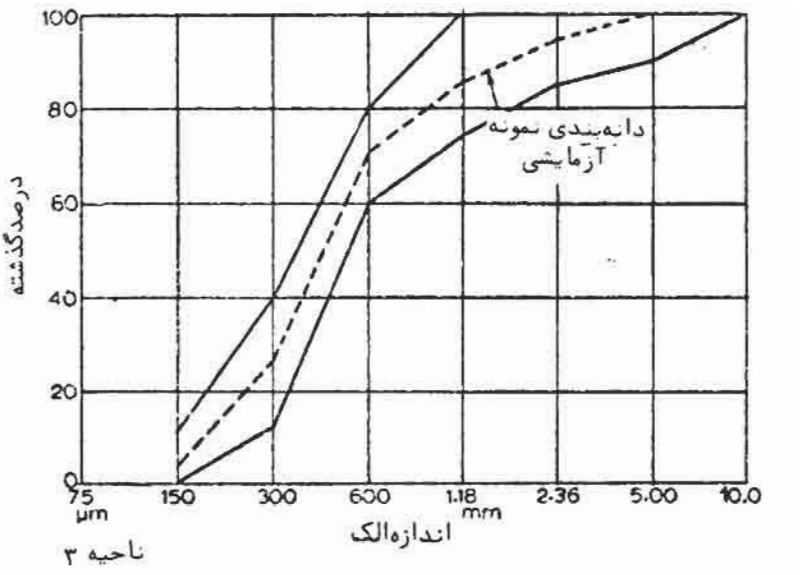
OPC = سیمان پرتلند معمولی ، SRPC سیمان پرتلند ضد سولفات ، RHPC سیمان پرتلند زودگیر، SSD اشباع با سطح خشک

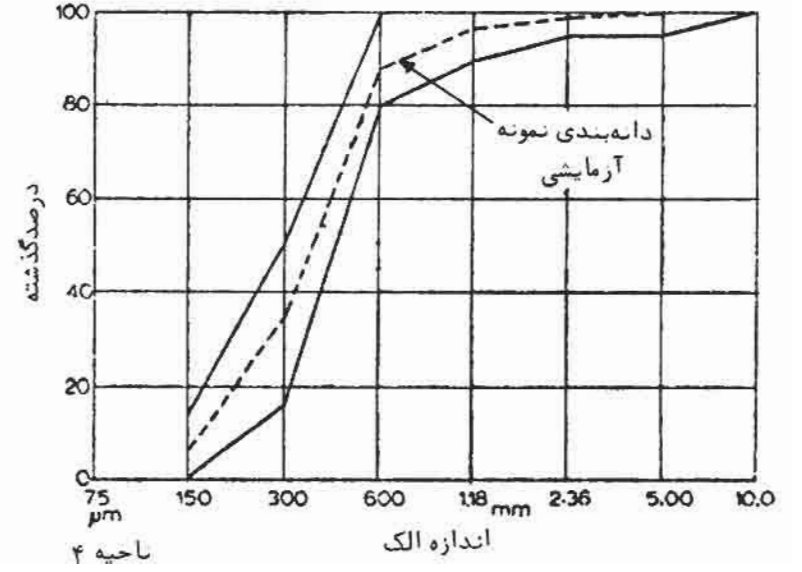
$1\ N/mm^2 = 1\ MN/m^2 = 1\ MPa$





شکل مربوط به حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ براساس BS۸۸۲





شکل مربوط به حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ براساس BS ۸۸۲

جدول مربوط به دانه‌بندی مناسب برای شن برطبق BS ۸۸۲

اندازه اسمی دانه‌های با یک اندازه							درصد وزنی عبوری از الک		اندازه الک	
اندازه اسمی دانه‌ها										
۱۰ mm	۱۴ mm	۲۰ mm	۴۰ mm	۶۳ mm	۵ mm تا ۱۴	۵ تا ۲۰	۵ تا ۴۰	in	mm
$\frac{3}{8}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{4}$"	$1\frac{1}{2}$"	$2\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{16}$" تا $\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{16}$" تا $\frac{3}{4}$"	$\frac{3}{16}$" تا $1\frac{1}{2}$"		
–	–	–	–	۱۰۰	–		۱۰۰	۳	۷۵/۰
–	–	–	۱۰۰	۸۵–۱۰۰	–	–	–	$2\frac{1}{2}$	۶۳/۰
–	–	۱۰۰	۸۵–۱۰۰	۰–۳۰	–	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	$1\frac{1}{2}$	۳۷/۵
–	۱۰۰	۸۵–۱۰۰	۰–۲۵	۰–۵	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	۳۵–۷۰	$\frac{3}{4}$	۲۰/۰
۱۰۰	۸۵–۱۰۰	–	–	–	۹۰–۱۰۰	–	–	$\frac{1}{2}$	۱۴/۰
۸۵–۱۰۰	۰–۵۰	۰–۲۵	۰–۵	–	۵۰–۸۵	۳۰–۶۰	۱۰–۴۰	$\frac{3}{8}$	۱۰/۰
۰–۲۵	۰–۱۰	۰–۵	–	–	۰–۱۰	۰–۱۰	۰–۵	$\frac{3}{16}$	۵/۰۰
۰–۵	–	–	–	–	–	–	–	نمره ۸	۲/۳۶

فهرست منابع و مراجع

1 **Road Research Laboratory.** Design of concrete mixes. *Road Note No 4*, 2nd Edition. London, HMSO, 1950.

2 **British Standards Institution.** PD 5686: 1972. The use of SI Units. London, BSI, 1972.

3 **British Standards Institution.** BS 12: Part 2: 1971. Portland cement (ordinary and rapid-hardening). London, BSI, 1971.

4 **British Standards Institution.** BS 4027: Part 2: 1972. Sulphate-resisting Portland cement. London, BSI, 1972.

5 **British Standards Institution.** BS 882: Part 2: 1973. Coarse and fine aggregates from natural sources. London, BSI, 1973.

6 **British Standards Institution.** BS 1047: 1952. Air-cooled blastfurnace slag coarse aggregate for concrete. London, BSI, 1952.

7 **Metcalf, J B.** The specification of concrete strength. Part II. The distribution of strength of concrete for structures in current practice. *RRL Report LR 300*. Road Research Laboratory, 1970.

8 **British Standards Institution.** CP 110: 1972. The structural use of concrete. London, BSI, 1972.

9 **British Standards Institution.** BS 1881: Part 2: 1970. Methods of testing fresh concrete. London, BSI, 1970.

10 **McIntosh, J D** and **Erntroy, H C.** The workability of concrete mixes with ¾ in. aggregates. *Research Report 2*. Cement and Concrete Association, 1955.

11 **British Standards Institution.** BS 1881: Part 3: 1970. Methods of making and curing test specimens. London, BSI, 1970.

12 **Teychenné, D C.** Recommendations for the treatment of the variations of concrete strength in codes of practice. *Materials and Structures*, Vol 6, No 34, pp 259–267, 1973. (Also Building Research Establishment Current Paper CP 6/74.)

13 **Comité Européen du Béton/Fédération Internationale de la Précontrainte** (European Committee for Concrete/ International Federation of Prestressed Concrete). International recommendations for the design and construction of concrete structures. FIP 6th Congress, Prague, June 1970. London, Cement and Concrete Association, 1970.

14 **British Standards Institution.** BS 1881: Part 1: 1970. Methods of sampling fresh concrete. London, BSI, 1970.

15 **British Standards Institution.** BS 1881: Part 4: 1970. Methods of testing concrete for strength. London, BSI, 1970.

16 **Ministry of Transport.** Specification for road and bridge works. London, HMSO, 1969.

17 **Cornelius, D F.** Air-entrained concretes: a survey of factors affecting air content and a study of concrete workability. *RRL Report LR 363*. Road Research Laboratory, 1970.

نشانی خیابان انقلاب خیابان فروردین خیابان شهید روانمهر نرسیده به فخررازی
پلاک ۱۵۸ تلفن: ۶۴۱۹۱۵۲-۶۴۰۶۰۴۱
فروشگاه خیابان انقلاب بین فروردین و اردیبهشت مقابل دبیرخانه دانشگاه تهران
کتابفروشی علم و صنعت ۱۱۰
شابک: ۱-۴۴-۶۳۷۴-۹۶۴
ISBN: 964-6374-44-1