یا حق

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران
مهندسی عمران – عمران

تکنولوژی بتن

مدرس: امیر حسین اویسی اسکویی

تابستان سال تحصیلی ۹۵ – ۹۴

مبانی پایه‌ای ضوابط پذیرش کیفیت بتن ساخته شده

نظارت ۸۶ عمران

۲۵- برای یک قطعه بتنی که با بتن رده C35 طراحی و اجرا شده است، نتایج سه نمونه‌برداری متوالی به شرح زیر است: ۳۵، ۳۴، ۲۷ مگاپاسکال

الف) مشخصات بتن ریخته شده منطبق بر رده مورد نظر بوده و بتن پذیرفتنی است.

ب) مشخصات بتن ریخته شده منطبق بر رده موردنظر نیست و بتن مردود است.

ج) با صرفنظر کردن از کمترین نتیجه نمونه‌برداری، مشخصات بتن ریخته شده قابل قبول است.

د) هیچکدام

مبانی پایه‌ای ضوابط پذیرش کیفیت بتن ساخته شده

نظارت ۸۷ عمران

۳۱- برای یک قطعه بتنی که با بتن رده C30 طراحی و اجرا شده است، نتایج سه نمونه‌برداری متوالی ۳۵، ۳۱و۲۷ مگاپاسکال است، کدام گزینه زیر صحیح می‌باشد؟

۱) مشخصات بتن ریخته شده منطبق بر رده مورد نظر بوده و پذیرفتنی است.

۲) مشخصات بتن ریخته شده منطبق بر رده موردنظر نیست و غیرقابل قبول است.

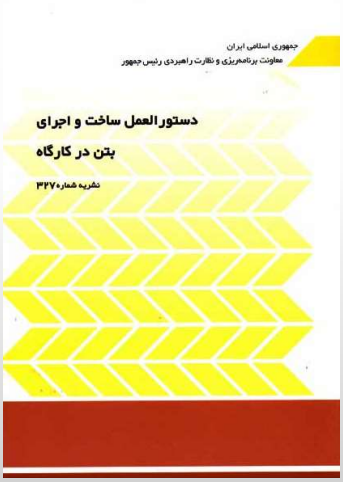
۳) با صرفنظر کردن از کمترین نتیجه نمونه‌برداری، مشخصات بتن ریخته شده قابل قبول است.

۴) درصورت تشخیص طراح سازه، بدون انجام بررسی بیشتر، نتایج قابل قبول و منطبق بر رده موردنظر است.

منابع و مراجع

دستورالعمل ساخت و اجرای بتن در کارگاه - نشریه ۳۲۷

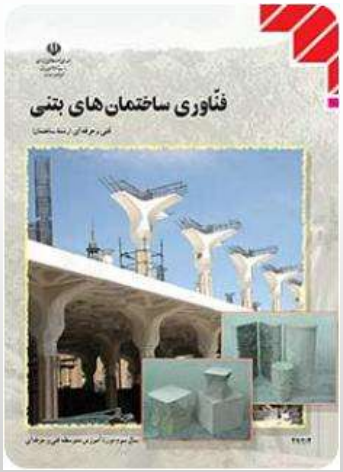
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور



منابع و مراجع

فناوری ساختمان‌های بتنی (۱۳۹۴)

رشته ساختمان - شاخه آموزش فنی وحرفه‌ای - وزارت آموزش و پرورش



توزین و پیمانه کردن

اثر رطوبت سنگدانه‌ها در وزن آب مخلوط

سنگدانه های مورد مصرف در بتن باید از داخل اشباع و از خارج خشک باشند تا آب سطحی روی سنگدانه ها در مخلوط بتن تاثیر نگذارد. آب سطحی را بر حسب درصدی از وزن سنگدانه ها بیان می کنند که به آن مقدار رطوبت گویند و هرچه سنگدانه ها ریزتر باشد، این مقدار آب بیشتر است. به طور کلی شرایط رطوبتی دانه ها به صورت زیر مشخص می شود :

1. خشک شده در اون؛ کاملا آب جذب می کند.
2. خشک شده در هوا؛ سطح دانه ها خشک بوده اما حاوی رطوبت داخلی است. بنابراین تا حدودی آب جذب می کند. این مقدار را رطوبت موثر گویند.
3. اشباع با سطح خشک؛ آبی از مخلوط بتن جذب نمی کند و آبی به آن پس نمی دهد.
4. خیس یا تر؛ شامل مقدار رطوبتی اضافه در سطح است.

اثر رطوبت سنگدانه‌ها در وزن آب مخلوط

معمولاً در هنگام طرح مخلوط بتن، شرایط رطوبت سنگدانه‌ها به صورت اشباع با سطح خشک (SSD)[1] در نظر گرفته می‌شود و آب به صورت آب موثر یا آب آزاد در محاسبات منظور می‌گردد. بنابراین در کارگاه، ابتدا باید وضعیت سنگدانه‌ها از نظر مقدار رطوبت مشخص گردد. به طور کلی شرایط رطوبت سنگدانه‌ها به دو حالت زیر است:

الف) مقدار رطوبت موجود سنگدانه کمتر از مقدار SSD است. در این صورت باید به مقدار تفاوت رطوبت SSD سنگدانه از رطوبت موجود آن، به مقدار آب آزاد مخلوط اضافه شود و همین مقدار از وزن سنگدانه کسر گردد. باید توجه نمود که مقدار رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به SSD (جذب آب سنگدانه) قبلاً توسط آزمایشگاه باید اعلام شده باشد.

ب) مقدار رطوبت موجود سنگدانه بیشتر از مقدار SSD است. در این حالت باید به مقدار تفاوت رطوبت SSD سنگدانه از رطوبت موجود آن، از مقدار آب آزاد مخلوط کسر و همین مقدار به وزن سنگدانه اضافه گردد.

مثال

مثال:

مطلوب است با فرض داشتن طرح اختلاط (بر اساس وزن مصالح در حالت SSD)، محاسبه حجم مصالح در یک متر مکعب بتن با مشخصات زیر:

مشخصات طرح اختلاط (برای یک متر مکعب)

سیمان (kg/m^3)	شن در حالت SSD (kg/m^3)	ماسه در حالت SSD (kg/m^3)	آب (kg/m^3)
۳۵۰	۹۲۴	۹۰۰	۱۷۵

مشخصات مصالح

مشخصات		شن در حالت SSD (kg/m^3)	ماسه در حالت SSD (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)
ظرفیت جذب آب (٪)	(SSD)	۲/۵	۴/۲	-
رطوبت موجود در کارگاه (٪)		۱/۵	۲/۷	-
وزن مخصوص انبوهی مصالح در حالت SSD (Lit/m^3)		۱/۶۲	۱/۶۷	۱/۲۲

مثال

راه حل:

ابتدا با توجه به اینکه رطوبت مصالح سنگی در کارگاه کمتر از ظرفیت جذب آب حالت SSD می‌باشد (بر اساس داده‌های مسئله) وزن مصالح بر اساس حالت موجود اصلاح می‌گردد:

وزن ماسه در حالت موجود = $900\times(1+\frac{2.7-4.2}{100}) = 886.5\ kg/m^3$

وزن شن در حالت موجود = $924\times(1+\frac{1.5-2.5}{100}) = 914.8\ kg/m^3$

آب مصرفی = $175+(900-886.5)+(924-914.8) = 197.7\ kg/m3$

به منظور تبدیل وزن مصالح به حجم، در ساخت یک متر مکعب بتن، باید وزن مخصوص انبوهی شن و ماسه در وضعیت رطوبت موجود مجدداً محاسبه شود و یا با توجه به روابط به دست آمده اصلاح گردد.

مثال

جهت سهولت و با در نظر گرفتن تغییرات بسیار جزئی در وزن مخصوص انبوهی شن (بر اساس تغییرات رطوبت)، تنها وزن مخصوص انبوهی ماسه مجدداً محاسبه می‌گردد. با فرض وزن مخصوص انبوهی ماسه در رطوبت موجود در کارگاه برابر با ۱/۷۱، ادامه مسئله به شکل زیر قابل حل است:

حجم سیمان = $\frac{350}{1.22} = 286.9 \approx 287$ لیتر

حجم شن = $\frac{915}{1.62} = 564.8 \approx 565$ لیتر

حجم ماسه = $\frac{887}{1.71} = 518.7 \approx 519$ لیتر

حجم آب = $\frac{198}{1} = 198$ لیتر

مثال

مراحل فوق به صورت خلاصه و گام به گام در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ تعیین نسبت‌های مخلوط (یک نمونه مثال حل شده)

مشخصات کلی پروژه	
نام پروژه: مثال	روش ساخت بتن: روش حجمی / روش وزنی
مقاومت مشخصه بتن:	اسلامپ بتن مورد نیاز:
حجم اسمی مخلوط‌کن:	حجم مفید مخلوط‌کن:

داده‌های اجزای بتن

گام	ویژگی	شن درشت	شن ریز	ماسه	سیمان	آب	مواد افزودنی
–	ظرفیت جذب آب (٪)	۲/۵	–	۴/۲			
۱	رطوبت موجود کارگاهی (٪)	۱/۵	–	۲/۷			
۲	وزن مخصوص انبوهی SSD (Lit/m3)	۱/۶۲	–	۱/۶۷			–
۲	وزن مخصوص انبوهی خشک (Lit/m3)	–	–	–	۱/۲۲	۱	
–	دما (°C)						

مقادیر وزنی اجزای بتن برای یک متر مکعب

گام	مقادیر وزنی	شن درشت	شن ریز	ماسه	سیمان	آب	مواد افزودنی
–	وزن در حالت SSD (Kg/m3)	۹۲۴	–	۹۰۰	۳۵۰	آزاد: ۱۷۵	–
–	وزن در حالت خشک (Kg/m3)	–	–	–		کل: –	
۳	وزن در حالت موجود در کارگاه (Kg/m3)	۹۱۵	–	۸۸۷		مصرفی: ۱۹۸	

مثال

مقادیر حجمی اجزای بتن برای یک متر مکعب

گام	مقادیر حجمی	شن درشت	شن ریز	ماسه	سیمان	آب	مواد افزودنی
۴	حجم در حالت SSD (Lit)				۲۸۷	آزاد:	–
۴	حجم در حالت خشک (Lit)					کل:	
۵	حجم در حالت موجود در کارگاه (Lit)	۵۶۵	–	۵۱۹		مصرفی: ۱۹۸	

برای مخلوط کن ۵۰۰ لیتری و پیمانه ۲۰ لیتری داریم:

تعداد پیمانه اجزای بتن برای حجم مورد نیاز (حجم مفید مخلوط‌کن)

گام	تعداد پیمانه	شن درشت	شن ریز	ماسه	سیمان	آب	مواد افزودنی
۶	تعداد پیمانه در حالت موجود در کارگاه	14.1		13	7.2	5	

مشخصات بتن تازه (ساخته شده)

مقدار اسلامپ (پس از.....دقیقه) :	مشاهدات ظاهری: (جداشدگی / آب انداختگی / بافت دانه بندی بتن)	
نوع اسلامپ : (ریزشی/برشی/معمولی)	وزن مخصوص بتن :	دما :

دمای مخلوط بتن

مثال ۱– برای ساخت یک متر مکعب بتن، ۴۰۰ کیلو سیمان، ۸۰۰ کیلو شن خشک، ۱۰۰۰ کیلو ماسه خشک و ۲۲۰ کیلو آب کل کار می‌رود. دمای سیمان $35\ ^\circ C$ ، دمای شن $40\ ^\circ C$، دمای ماسه $30\ ^\circ C$ و دمای آب $25\ ^\circ C$ می‌باشد. درصد رطوبت کارگاهی شن ۰/۶ درصد و برای ماسه ۴/۵ درصد به دست آمده است. مطلوب است دمای تعادل بتن مخلوط شده؟

W_G = آب موجود در شن $= 800 \times \frac{0.6}{100} \approx 5\ kg$

W_S = آب موجود در ماسه $= 1000 \times \frac{4.5}{100} \approx 45\ kg$

آب مصرف = W_m = ۲۲۰−۵۰ = ۱۷۰ kg

آب موجود در سنگدانه‌ها = ۵۰ kg

$$t_m = \frac{0.22(400\times35+800\times40+1000\times30)+170\times25+5\times40+45\times30}{0.22(400+800+1000)+220} = 32\,^\circ C$$

مثال ۲ – اگر بخواهیم دمای تعادل بتن مخلوط شده به ۲۸ °C برسد، آب باید تا چه حد خنک گردد.؟

قابل ذکر است که رساندن آب ۲۵ °C به ۸/۵ °C با مقدار زیادی یخ انجام می‌شود.

$$28 = \frac{0.22(400\times35+800\times40+1000\times30)+170\times tw+5\times40+45\times30}{0.22(400+800+1000)+220} \qquad Tw = ۸/۵\ ^\circ C$$

مثال ۳– اگر بخواهیم با آب ۲۵ °C و یخ ۴- °C به دمای مخلوط ۲۸ °C دست یابیم، چند کیلو یخ لازم است ؟

$$28 = \frac{0.22(400\times35+800\times40+1000\times30)+(170-Wi)\times25+wi[0.5(-4)-80]+5\times40+45\times30}{0.22(400+800+1000)+220}$$

Wi= ۲۶/۵ kg

مصرف مقدار کمی از یخ، ۴ °C دمای بتن را کاهش داده است

مثال ۴ – اگر بخواهیم بدون خنک کردن آب یا مصرف یخ به دمای ۲۸ °C برسیم، دمای شن باید به چند درجه سانتیگراد کاهش یابد.؟

$$28 = \frac{0.22(400\times35+800t_c+1000\times30)+170\times25+5\times40+45\times30}{0.22(400+800+1000)+220}$$

$$tc = 24.5\ ^{\circ}C$$

طرح اختلاط بتن

مقدمه و تعریف

نخستین گام برای ساخت بتن، تعیین نسبت‌های اختلاط مصالح بتن است. خصوصیات لازم برای بتن سخت شده توسط طراح سازه مشخص می‌شود ولی خصوصیات بتن تازه با توجه به نوع ساختمان و تکنیک‌های اجرا و حمل بتن تعیین می‌گردد. این دو عامل با در نظر گرفتن درجه‌ی کنترل قابل اعمال در کارگاه، امکان تعیین نسبت‌های اجزای مخلوط بتن را فراهم می‌سازند.

طرح اختلاط بتن را می‌توان بدین صورت تعریف کرد : «تعیین اقتصادی‌ترین و عملی‌ترین ترکیب از مصالح در دسترس برای تولید بتنی که در حالت تازه دارای کارآیی و چسبندگی قابل قبول و در حالت سخت شده دارای مقاومت و دوام کافی و مناسب باشد.»

لازم به توضیح است که برای اقتصادی بودن تولید بتن، نسبت‌های اختلاط باید به‌گونه‌ای تعیین شوند که بدون کاهش کیفیت بتن، مقدار سیمان مصرفی به حداقل برسد، زیرا سیمان گران‌ترین عنصر تشکیل‌دهنده‌ی بتن می‌باشد و از آن‌جا که کیفیت، در وهله‌ی نخست به نسبت آب به سیمان بستگی دارد، برای کاهش مصرف سیمان، مقدار آب نیز باید در حداقل ممکن نگه داشته شود. عواملی که در به حداقل رساندن مقادیر سیمان و آب موردنیاز مؤثر هستند، عمدتاً عبارتند از : سفت‌ترین مخلوط ممکن، بزرگ‌ترین اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها و بهترین نسبت دانه‌های ریز به درشت.

لزوم ساخت مخلوط های بتنی

اساساً طرح مخلوط بتن به معنای دقیق آن امکان‌پذیر نیست، زیرا مصالح مورد استفاده از جنبه‌های مختلف متغیر می‌باشند و بعضی از خصوصیات آن‌ها را نمی‌توان از نظر کمّی ارزیابی نمود. بنابراین با استفاده از روش‌های مختلف رایج در طرح اختلاط بتن، در واقع کاری بیش از یک حدس هوشمندانه در مورد ترکیب مناسب اجزا، البته براساس مجموعه‌ای از جداول و منحنی‌ها انجام داده نمی‌شود. لذا ضرورت اساسی دارد که به منظور دستیابی به یک مخلوط رضایت‌بخش برای بتن‌های سازه‌ای، نمونه‌ای از نسبت‌های به‌دست آمده را در آزمایشگاه با استفاده از مصالح واقعی مورد مصرف در ساختمان اصلی، تهیه کنیم و در صورت لزوم با استفاده از نتایج آزمایش، تغییرات مناسب را در نسبت‌های اجزا اعمال نماییم. ضمناً تأکید بر این مسئله لازم است که ساخت مخلوط های آزمایشی باید زیر نظر یک کارشناس یا تکنسین باتجربه، به منظور ارزیابی دقیق پارامترهای مختلف انجام گیرد.

نمونه برداری و پذیرش بتن

پذیرش بتن در کارگاه براساس نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های برداشته شده از بتن مصرفی صورت می‌پذیرد. دفعات تصادفی نمونه‌برداری از بتن باید به نحوی یکنواخت در طول مدت تهیه و مصرف بتن توزیع شوند. نمونه‌ها باید قبل از ریختن در محل نهایی مصرف برداشته شوند.

مقصود از هر نمونه‌برداری از بتن، تهیه حداقل دو آزمونه از آن است که آزمایش فشاری آن‌ها در سن ۲۸ روزه یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می‌پذیرد و متوسط مقاومت‌های فشاری به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می‌توان حداقل یک آزمونه دیگر نیز به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد.

روش طرح اختلاط

در گذشته بتن‌ها را براساس نسبت‌های دستوری مشخص، مانند نسبت‌های حجمی ۴ :۲ :۱ (یعنی یک قسمت حجمی سیمان، دو قسمت حجمی ماسه و چهار قسمت حجمی سنگ‌دانه‌ی درشت) تهیه می‌کردند. در این روش به ندرت مقدار آب محدود می‌شد و میزان آن فقط از طریق حداکثر اسلامپ به‌طور غیرمستقیم کنترل می‌گردید. البته چنین مخلوط‌هایی به دلیل سادگی انتخاب مزایایی دارند ؛ امّا طرح حاصله به هیچ‌وجه اثر عوامل مختلف بر مشخصات بتن را نشان نمی‌دهد.

اساسی‌ترین روش جهت طرح مخلوط باید مبتنی بر حجم‌های مطلق مصالح مختلف در مخلوط بتن باشد. روش عملی‌تر، که در این فصل به آن اشاره می‌شود، روشی است که در آن وزن مواد تشکیل‌دهنده‌ی مخلوط براساس تهیه‌ی یک متر مکعب بتن متراکم محاسبه می‌شود. این روش سال‌هاست که در کشورهای مختلف جهان به کار می‌رود.

عوامل موثر بر طرح مخلوط

الف) مقاومت فشاری: آنچه که طراح سازه مشخص می‌کند، حداقل مقاومت فشاری لازم برای بتن است. این درحالی است که می‌دانیم مقاومت بتن ساخته شده، با مصالح و نسبت‌های داده شده تحت شرایط مناسب و مطلوب، تا مدّت‌ها افزایش می‌یابد. به هر حال در اکثر استانداردها مقاومت ۲۸ روزه را به عنوان مبنای مقاومت لازم برای اهداف سازه‌ای در نظر می‌گیرند. عوامل مختلف مؤثر بر مقاومت فشاری بتن عبارتند از :

۱ــ طبیعت مصالح سنگی (شکل، تخلخل، بافت سطحی)
۲ــ دانه‌بندی مصالح سنگی (اندازه و توزیع سنگ‌دانه‌ها)
۳ــ نوع سیمان
۴ــ نسبت آب به سیمان
۵ــ نحوه‌ی ساخت و تراکم بتن
۶ــ شرایط نگه‌داری و عمل آوردن بتن
۷ــ سنّ بتن

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب | کارشناسی مهندسی عمران | تابستان سال تحصیلی ۹۵ - ۹۴

عوامل موثر بر طرح مخلوط

باید دانست که در حین اجرای بتن ممکن است تغییرات ناخواسته‌ای در مشخصات مصالح مصرفی به‌وجود آید. مثلاً کیفیت سیمان تحویلی ممکن است قدری تغییر کند یا دانه‌بندی و شکل دانه‌های سنگی تغییر یابد. همچنین در هر مخلوط بتنی، تغییراتی در نسبت مصالح نیز ایجاد می‌شود که به نوع سیستم پیمانه کردن و طرز عمل ماشین‌های مربوطه بستگی دارد. روش‌های به‌کار گرفته شده در مراحل مختلف اجرا به طور کامل یکسان نخواهد بود. مجموع تغییرات ذکر شده باعث می‌شود که نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بر روی نمونه‌گیری‌های حین اجرا، در پاره‌ای از موارد تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر داشته باشند. از آن‌جا که همواره این احتمال وجود دارد که نتایج تعدادی از آزمایش‌ها کم‌تر از مقاومت مورد نظر طراح سازه باشد، لازم است مخلوط بتن به گونه‌ای طرح شود که مقاومت متوسط آن بزرگ‌تر از مقاومت موردنظر طراح باشد.

تکنولوژی بتن | امیر حسین اویسی اسکویی

عوامل موثر بر طرح مخلوط

اگر مقاومت موردنظر طراح سازه را «مقاومت مشخصه» نامگذاری کنیم و با f_c نشان دهیم و f_m نیز مقاومت متوسط حاصله از مخلوط بتن که مبنای طرح اختلاط قرار می‌گیرد، باشد، اختلاف آن‌ها، یعنی $f_m - f_c$، حاشیه‌ی مقاومت نامیده می‌شود و با f' نشان داده می‌شود. حاشیه‌ی مقاومت با توجه به اهمیّت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت در کارگاه بتن‌سازی و با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای توسط کارشناس طراح مخلوط بتن محاسبه می‌گردد.

بنابراین طرح اختلاط بتن همواره براساس مقاومت فشاری متوسط (f_m) انجام می‌گیرد و از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید :

$$f_m = f_c + f'$$

قابل ذکر است که عموماً f' از نظر کمّی، مقدار قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب | کارشناسی مهندسی عمران | تابستان سال تحصیلی ۹۵ - ۹۴

عوامل موثر بر طرح مخلوط

ب) کارآیی: کارآیی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم و پرداخت بتن اطلاق می‌شود. مقدار کارآیی لازم به دو عامل مهم بستگی دارد :

۱ــ ابعاد مقطع عضو و فاصله‌ی آرماتورها

۲ــ روش متراکم کردن بتن

واضح است که وقتی مقطع، باریک و پیچیده باشد و یا دارای گوشه‌های متعدد و نقاط با دسترسی مشکل باشد، لازم است که بتن کارآیی بالایی داشته باشد، به گونه‌ای که با وسایل موردنظر به‌طور کامل متراکم گردد. همچنین هنگامی که مقاطع فولادی یا آرماتورهای با فاصله‌ی کم، بتن‌ریزی و تراکم را با مشکل مواجه می‌کنند، بتن باید کارآیی بالایی داشته باشد. بنابراین برای بتن‌ریزی‌های مختلف، اسلامپ‌های متفاوتی مورد نیاز است. معمولاً میزان اسلامپ لازم، در مشخصات بتن ذکر شده است. زمانی که اسلامپ بتن مشخص نشده باشد، یک مقدار تقریبی مناسب می‌تواند از جداول ۳ــ۱ و ۳ــ۲ انتخاب شود.

تکنولوژی بتن | امیر حسین اویسی اسکویی

عوامل موثر بر طرح مخلوط

جدول ۳ــ۱ــ درجه‌ی کارآیی و اسلامپ برای بتن‌های با حداکثر قطر سنگ‌دانه‌ی ۱۹ تا ۳۸ میلی‌متر

درجه‌ی کارآیی	اسلامپ (میلی‌متر)	استفاده در بتن‌های مختلف
خیلی پایین	۲۵ ــ ۰	برای راه‌هایی که با ماشین‌های قوی متراکم می‌شوند. در مخلوط‌های با کارآیی بالای این حد، بتن در شرایط خاصی می‌تواند با ماشین‌های دستی متراکم و لرزانده شود.
پایین	۵۰ ــ ۲۵	برای راه‌هایی که با وسایل دستی متراکم می‌شوند، در محدوده بالای کارآیی این گروه می‌توان دانه‌های گرد یا نامنظم را به‌کار برد. برای پی‌های با بتن انبوه بدون لرزه و برای مقاطع با فولاد کم که لرزانده می‌شوند.
متوسط	۱۰۰ ــ ۵۰	در حد پایین کارآیی این گروه برای دال‌های تخت با تراکم دستی با استفاده از سنگ شکسته. همچنین برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و برای مقاطع با فولاد زیاد که لرزانده می‌شوند.
بالا	۱۷۵ ــ ۱۰۰	برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور. معمولاً برای لرزاندن مناسب نیست.

عوامل موثر بر طرح مخلوط

جدول ۳ــ۲ــ اسلامپ‌های توصیه شده برای انواع مختلف اعضای ساختمانی

عضو ساختمانی	محدوده‌ی اسلامپ* میلی‌متر
دیوارها و پی‌های بتن مسلح	۸۰ ــ ۲۰
پی‌ها، بندها و دیوارهای غیرمسلح	۸۰ ــ ۲۰
تیرهای بتن مسلح	۱۰۰ ــ ۲۰
ستون‌های ساختمان	۱۰۰ ــ ۲۰
روسازی‌ها و دال‌ها	۱۰۰ ــ ۲۰
بتن حجیم	۸۰ ــ ۲۰

* در حالت تراکم با دست می‌توان محدوده‌ی بالای اسلامپ را ۲۰ میلی‌متر افزایش داد.

عوامل موثر بر طرح مخلوط

ج) دوام: منظور از دوام بتن، مقاومت آن در مقابل عوامل جوّی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و فرآیندهای تخریبی دیگر است. بتن بادوام در شرایط محیطی موردنظر، شکل، کیفیت و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ می‌کند. یخ زدن‌ها و آب شدن‌های مکرر بتن در مناطق سردسیر باعث تخریب بتن می‌شود. این تخریب در اثر مواد شیمیایی یخ زدا نیز شدت می‌یابد. در این موارد باید با استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز، سنگ‌دانه‌های مناسب و نسبت آب به سیمان مطلوب، بتنی با نفوذپذیری کم ساخته شود.

بتن با کیفیت خوب در برابر حمله‌ی عوامل شیمیایی مقاومت خوبی دارد. استفاده از سیمان مناسب، نسبت‌های اختلاط صحیح و ساخت بتن با نفوذپذیری کم، مقاومت آن را در برابر املاح و مواد مضر موجود در آب و خاک افزایش می‌دهد.

عوامل موثر بر طرح مخلوط

در برخی موارد، سطح بتن دچار فرسایش می‌شود و این فرسایش به‌ویژه در کف محیط‌های صنعتی، مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. در سازه‌های آبی، دانه‌های شن و ماسه‌ی موجود در آب جاری ممکن است باعث سایش سطوح شود. استفاده از بتن مرغوب و در موارد حادتر استفاده از سنگ‌دانه‌های بسیار سخت و نسبت آب به سیمان بسیار کم، موجب می‌شود که بتن در مقابله با این عوامل، دوام مناسبی داشته باشد.

خوردگی آرماتورها ممکن است باعث پُکیدن و قلوه‌کن شدن سطح بتن شود. در نظرگرفتن پوشش مناسب بتن بر روی آرماتورها و ساخت بتن با نفوذپذیری کم از جمله تمهیدات مناسب برای مقابله با این ضایعات است. محدودیت نسبت آب به سیمان از عواملی است که منظور نمودن آن در طرح اختلاط بتن، می‌تواند تضمین‌کننده‌ی بتنی مقاوم و با نفوذپذیری کم باشد. جدول ۳ـ۳ الزامات آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در خصوص حداکثر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت مشخصه برای شرایط محیطی ویژه، بیان می‌کند.

عوامل موثر بر طرح مخلوط

جدول ۳ــ۳ــ الزامات مربوط به شرایط محیطی ویژه

شرایط محیطی	حداکثر نسبت آب به سیمان	حداقل مقاومت مشخصه (مگاپاسکال)
بتن آب بند : الف ــ در معرض آب شیرین ب ــ در معرض آب شور یا آب دریا	۰/۵ ۰/۴۵	۲۵
بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب، تر و خشک شدن مکرر یا مواد شیمیایی یخ زدا	۰/۴۵	۳۰
برای حفاظت در برابر خوردگی در سازه‌های بتن آرمه‌ای که در معرض کلریدهای ناشی از مواد شیمیایی یخ زدا، نمک، آب شور، آب لب‌شور، آب دریا یا ترشح مواد مزبور قرار دارند.	۰/۴	۳۵

مراحل طرح اختلاط بتن

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، در روش طرح اختلاط مورد بحث در این بخش، نهایتاً وزن مواد تشکیل‌دهنده به منظور تهیه‌ی یک متر مکعب بتن تعیین می‌گردد. بدین منظور طرح اختلاط طی شش مرحله به ترتیب زیر انجام می‌پذیرد :

مرحله‌ی اول؛ تعیین مقاومت متوسط هدف: در این مرحله، همچنان که پیش از این گفتیم، به مقاومت مشخصه‌ی بتن (f_c) که از سوی طراح سازه اعلام شده است، مقداری تحت عنوان حاشیه‌ی مقاومت (f') افزوده و مجموع آن‌ها با نام مقاومتِ متوسطِ هدف (f_m) مبنای طرح اختلاط بتن قرار می‌گیرد و انتظار می‌رود که بتن‌های ساخته شده نهایتاً دارای مقاومت متوسطی معادل با آن باشند. لذا ابتدا حاشیه‌ی مقاومت با در نظر گرفتن عواملی نظیر اهمیّت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت کارگاه بتن‌سازی، که قرار است بتن مصرفی پروژه در آن کارگاه ساخته و اجرا شود، با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای توسط کارشناس طرح مخلوط بتن، محاسبه و تعیین می‌گردد. سپس از رابطه‌ی زیر، مقاومت متوسط هدف به‌دست می‌آید :

$$f_m = f_c + f'$$

مراحل طرح اختلاط بتن

مرحله‌ی دوم؛ تعیین نسبت آب به سیمان: در این مرحله طی گام‌های زیر نسبت آب به سیمان، که اساسی‌ترین پارامتر طرح مخلوط است، تعیین می‌گردد :

گام (۱): مقاومت فشاری تقریبی بتن ساخته شده را با نسبت آب به سیمانِ فرضی معادل ۰/۵ و در سن موردنظر (که معمولاً ۲۸ روز است)، برای نوع سیمان و شن مصرفی در ساختمان مربوطه، با استفاده از جدول ۳ــ۴ تعیین می‌کنیم.

گام (۲): نقطه‌ی متناظر با نسبت آب به سیمان ۰/۵ و مقاومت فشاری تقریبی فوق را بر روی نمودار شکل ۳ــ۱ مشخص کرده از آن نقطه یک منحنی مشابه، به موازات سایر منحنی‌های موجود در شکل مذکور، ترسیم می‌نماییم.

گام (۳): نقطه‌ی برخورد منحنی فوق را با خط افقی رسم شده از مقدار مقاومت متوسط هدف پیدا می‌کنیم و مقدار نظیر نسبت آب به سیمان را برای آن نقطه، بر روی محور افقیِ شکل، قرائت می‌نماییم.

گام (۴): مقدار آب به سیمان حاصله را با میزان حداکثر نسبت آب به سیمان که در آیین‌نامه‌ی بتن یا مشخصات طرح مقرر شده است، مقایسه می‌کنیم و هر کدام را که کوچک‌تر باشد، به عنوان نسبت آب به سیمان مخلوط انتخاب می‌نماییم (به عنوان نمونه جدول ۳ــ۳ که توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی بتن ایران است).

مراحل طرح اختلاط بتن

توضیحات ضروری

الف) با توجه به این که مبنای کلیه‌ی جداول و شکل‌های ارائه شده در این روش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی می‌باشد، اگر مقادیر مقاومت مشخصه، حاشیه‌ی مقاومت و مقاومت متوسط هدف براساس نمونه‌های استوانه‌ای تعیین شده باشند، قبل از استفاده از جداول و شکل‌های این روش، باید به نمونه‌های مکعبی تبدیل گردند.

ب) کل آب در یک مخلوط بتن شامل دو بخش زیر است :

۱ــ آبی که توسط دانه‌های سنگی، برای رساندن آن‌ها به وضعیت اشباع با سطح خشک (SSD) جذب می‌شود.

۲ــ آب آزاد که صرف انجام عمل هیدراتاسیون و کارآیی بتن می‌گردد. با توجه به این‌که مقاومت فشاری بتن تابعی از نسبت آب آزاد به سیمان است و میزان آب جذب شده توسط سنگ‌دانه‌ها تأثیری بر روی مقاومت فشاری بتن نخواهد داشت، لذا در این روش منظور از آب همان آب آزاد است و سنگ‌دانه‌ها نیز در وضعیت اشباع با سطح خشک فرض می‌شوند.

مراحل طرح اختلاط بتن

مرحله‌ی سوم؛ تعیین مقدار آب آزاد مخلوط: در این مرحله با استفاده از جدول۳ـ۵ مقدار تقریبی آب آزاد برحسب کیلوگرم برای یک مترمکعب مخلوط بتن تعیین می‌گردد. عواملی که در این جدول در نظر گرفته شده‌اند، شامل میزان اسلامپ موردنظر، حداکثر قطر سنگ‌دانه‌های مصرفی و نوع سنگ‌دانه (شکسته و نشکسته) می‌باشد.

مرحله‌ی چهارم؛ محاسبه‌ی مقدار سیمان: وزن سیمان لازم برای یک مترمکعب مخلوط بتن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$\text{وزن سیمان} = \frac{\text{مقدار آب آزاد}}{\text{نسبت آب آزاد به سیمان}}$$

توضیح لازم: اگر در ضوابط آیین‌نامه‌ای یا مشخصات طرح، برای مقدار سیمان مصرفی در شرایط خاص پروژه، مقادیر حداکثر یا حداقل مقرر شده باشد، وزن سیمان محاسبه شده در مرحله‌ی فوق با آن‌ها مقایسه و سپس انتخاب صورت می‌گیرد.

مراحل طرح اختلاط بتن

مرحله‌ی پنجم؛ محاسبه‌ی وزن کل سنگ‌دانه‌ها: در این مرحله طی گام‌های زیر وزن کل سنگ‌دانه‌های مورد نیاز برای یک مترمکعب مخلوط بتن محاسبه می‌شود :

گام (۱): وزن مخصوص بتن تازه از شکل ۳ـ۲ براساس توده‌ی ویژه‌ی دانه‌های سنگی در حالت اشباع با سطح خشک و مقدار آب آزاد تعیین شده در مرحله‌ی سوم تخمین زده می‌شود (در صورت در اختیار نداشتن توده‌ی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها می‌توان به‌طور تقریبی برای مصالح نشکسته عدد ۲/۶ و برای مصالح شکسته عدد ۲/۷ را اختیار نمود.)

گام (۲): وزن کل سنگ‌دانه‌ها از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید :

وزن سیمان – وزن آب آزاد – وزن مخصوص بتن تازه = وزن کل سنگ‌دانه‌ها

مراحل طرح اختلاط بتن

مرحله‌ی ششم؛ تفکیک سنگ‌دانه‌های ریز و درشت (ماسه و شن): طی گام‌های زیر سنگ‌دانه‌های ریز و درشت از هم تفکیک می‌شوند :

گام (۱): ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه را با استفاده از شکل ۳ــ۳ تعیین می‌کنیم که حدود دانه‌بندی ماسه در نواحی ۱ تا ۴ را براساس استاندارد BS882 نشان می‌دهد.

گام (۲): درصد ماسه‌ی مخلوط (سنگ‌دانه‌ی ریز) را با استفاده از شکل ۳ــ۴ با داشتن حداکثر قطر سنگ‌دانه‌ها (بیش‌ترین اندازه‌ی شن)، میزان اسلامپ، ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه و نسبت آب آزاد به سیمان به‌دست می‌آوریم. برای هر ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه، دو مقدار درصد ریزدانه (مقدار بالایی و پایینی ناحیه) به‌دست می‌آید که هر عددی می‌تواند مابین این دو مقدار انتخاب شود، ولی میانگین آن‌ها به عنوان مقدار متوسط پیشنهاد می‌گردد.

گام (۳): از روابط زیر وزن شن و ماسه در یک مترمکعب مخلوط بتن به‌دست می‌آید :

درصد ماسه × وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن ماسه

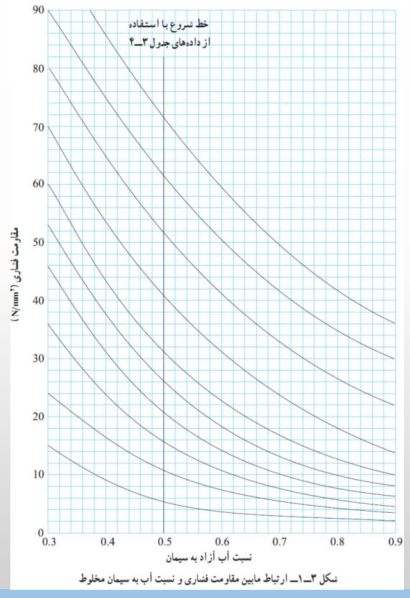
وزن ماسه − وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن شن

مراحل طرح اختلاط بتن

جدول ۳ــ۴ــ مقاومت فشاری تقریبی (N/mm^2) بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵

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

مراحل طرح اختلاط بتن



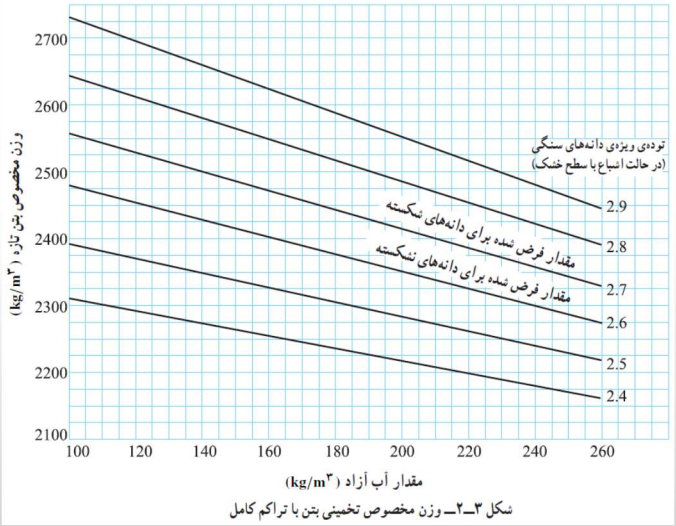
شکل ۳ـ۱ـ ارتباط مابین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان مخلوط

مراحل طرح اختلاط بتن

جدول ۳ـ۵ـ مقدار تقریبی آب آزاد (kg/m^3) برای سطوح مختلف کارآیی

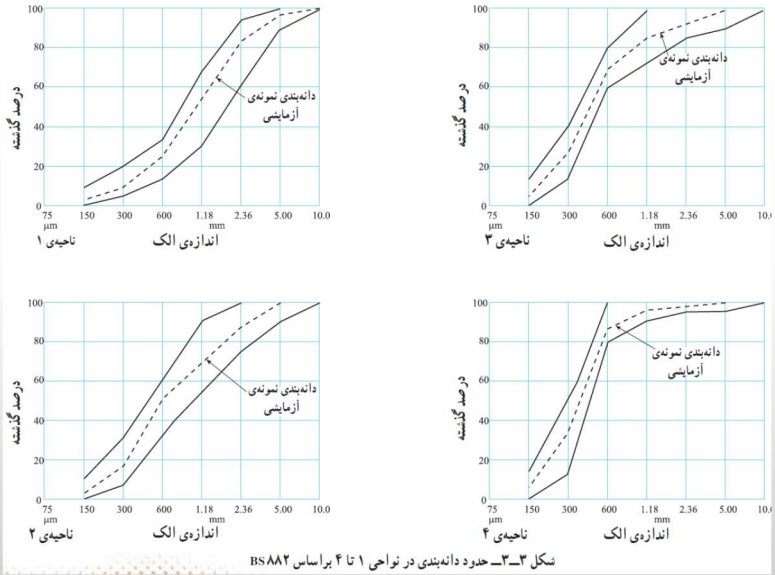
اسلامپ (mm)		۰ـ۱۰	۱۰ـ۳۰	۳۰ـ۶۰	۶۰ـ۱۸۰
حداکثر قطر دانه	نوع دانه‌ها				
۱۰	نشکسته	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۵	۲۲۵
	شکسته	۱۸۰	۲۰۵	۲۳۰	۲۵۰
۲۰	نشکسته	۱۳۵	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۵
	شکسته	۱۷۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۲۵
۴۰	نشکسته	۱۱۵	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۵
	شکسته	۱۵۵	۱۷۵	۱۹۰	۲۰۵

مراحل طرح اختلاط بتن



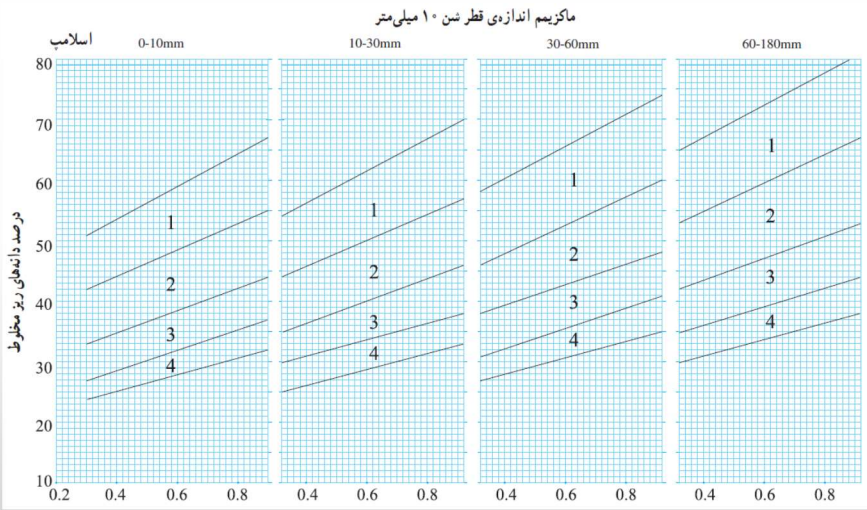
شکل ۳ـ۲ـ وزن مخصوص تخمینی بتن با تراکم کامل

مراحل طرح اختلاط بتن



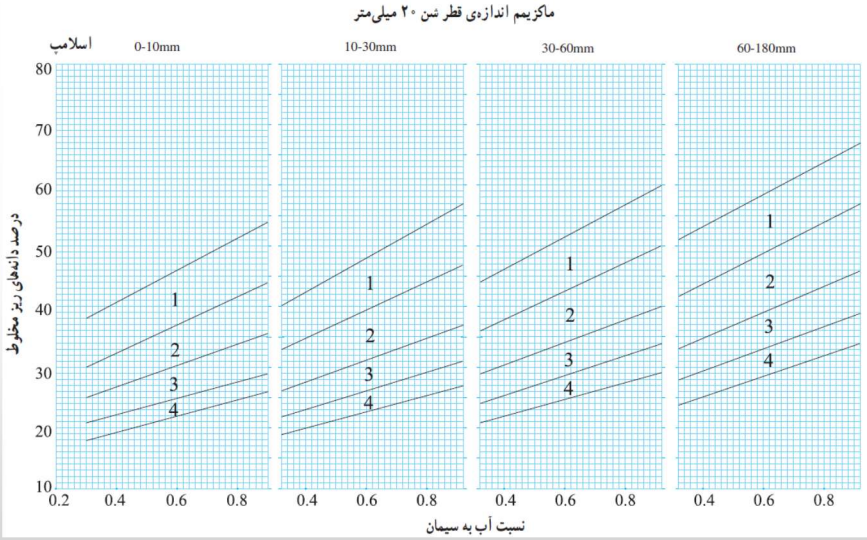
شکل ۳ـ۳ـ حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ براساس BS ۸۸۲

مراحل طرح اختلاط بتن



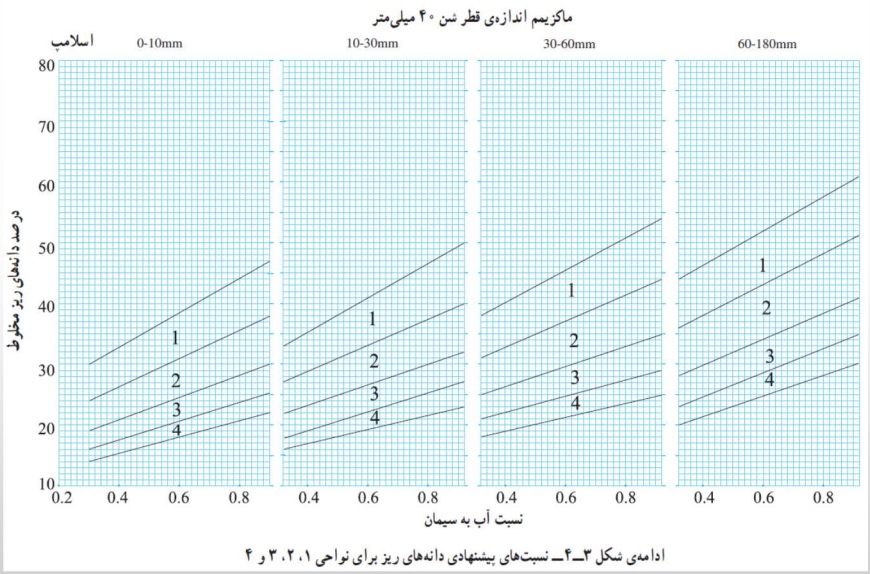
نسبت های پیشنهادی دانه های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

مراحل طرح اختلاط بتن



نسبت های پیشنهادی دانه های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

مراحل طرح اختلاط بتن



ادامه‌ی شکل ۳ـ۴ـ نسبت‌های پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

مثال

مثال ۱: بتنی با مشخصات زیر طرح کنید.

۱ـ مقاومت فشاری مشخصه‌ی ۲۸ روزه برای نمونه‌ی مکعبی برابر با $28\,N/mm^2$

۲ـ نوع سیمان : پرتلند معمولی

۳ـ شن و ماسه : از نوع شکسته

۴ـ ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه براساس استاندارد BS882 : ناحیه‌ی یک.

۵ـ حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها : ۲۰mm

۶ـ اسلامپ خواسته‌شده : ۷۵mm

۷ـ حداکثر نسبت آب به سیمان برای شرایط محیطی مورد نظر : ۰/۵

۸ـ مقدار حاشیه‌ی مقاومت براساس اهمیّت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت کارگاه و ضوابط آیین‌نامه : $9/3\,N/mm^2$

مثال

مرحله‌ی اول، تعیین مقاومت متوسط هدف:

$$f_m = f_c + f' = ۲۸ + ۹/۳ = ۳۷/۳ \, N/mm^۲$$

مثال

مرحله‌ی دوم، تعیین نسبت آب به سیمان:

گام (۱): از جدول ۳ـ۴ مقاومت فشاری تقریبی بتن برای نسبت فرضی آب به سیمان ۰/۵ با سیمان پرتلند معمولی، شن شکسته و سن ۲۸ روزه برابر با $۴۷ \, N/mm^۲$ می‌باشد.

گام (۲): نقطه‌ی مربوط به مختصات $\begin{vmatrix} ۰/۵ \\ ۴۷ \end{vmatrix}$ را بر روی شکل ۳ـ۱ تعیین و یک منحنی مشابه به موازات بقیه‌ی منحنی‌های شکل رسم می‌کنیم.

گام (۳): با استفاده از منحنی فوق برای $f_m = ۳۷/۳ \, N/mm^۲$ مقدار نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۵۹ به‌دست می‌آید.

گام (۴): چون نسبت آب به سیمان ۰/۵۹ از حداکثر تعیین‌شده در مشخصات طرح بیش‌تر است، لذا نسبت آب به سیمان نهایی مقدار ۰/۵ انتخاب می‌گردد.

مثال

مرحله‌ی سوم، تعیین مقدار آب آزاد: با استفاده از جدول ۳ـ۵ برای اسلامپ ۷۵mm، حداکثر قطر سنگ‌دانه‌ها ۲۰mm و دانه‌های سنگی از نوع شکسته، مقدار تقریبی آب آزاد برابر با ۲۲۵ کیلوگرم در مترمکعب خواهد بود.

مثال

مرحله‌ی چهارم، محاسبه‌ی مقدار سیمان:

$$\text{وزن سیمان لازم} = \frac{\text{وزن آب آزاد}}{\text{نسبت آب به سیمان}} = \frac{۲۲۵}{۰/۵} = ۴۵۰\ \text{kg/m}^۳$$

مثال

مرحله‌ی پنجم، تعیین وزن کل سنگ‌دانه‌ها:

گام (۱): وزن مخصوص بتن تازه با استفاده از شکل ۳ـ۲ با مقدار آب آزاد $225\,kg/m^3$ و توده‌ی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها برابر با ۲/۷ برای دانه‌های شکسته، برابر با $2380\,kg/m^3$ تخمین زده می‌شود.

گام (۲): وزن کل سنگ‌دانه‌ها عبارت است از :

$$\text{وزن کل سنگ‌دانه‌ها} = 2380 - 225 - 450 = 1705\,kg/m^3$$

مثال

مرحله‌ی ششم، تفکیک وزن شن و ماسه:

گام (۱): ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه‌ی ۱ تعیین شده است.

گام (۲): درصد ماسه با استفاده از شکل ۳ـ۴ برای حداکثر اندازه‌ی قطر شن ۲۰mm، اسلامپ ۷۵mm، نسبت آب به سیمان ۰/۵ و برای ماسه‌ی ناحیه‌ی ۱، برای حد بالایی ۵۶٪ و حد پایینی ۴۶٪ به‌دست می‌آید. لذا حد متوسط آن‌ها، یعنی ۵۱٪ را انتخاب می‌کنیم.

گام (۳): تفکیک وزن ماسه و شن :

$$\text{وزن ماسه} = 1705 \times 0/51 = 870\,kg/m^3$$

$$\text{وزن شن} = 1705 - 870 = 835\,kg/m^3$$

مثال

نتیجه‌ی نهایی: برای ساخت یک مترمکعب بتن مقادیر مصالح مورد نیاز عبارت است از :

سیمان $= ۴۵۰ kg/m^۳$

آب آزاد $= ۲۲۵ kg/m^۳$

ماسه در حالت SSD $= ۸۷۰ kg/m^۳$

شن در حالت SSD $= ۸۳۵ kg/m^۳$

مجموع $= ۲۳۸۰ kg/m^۳$

مثال

مثال ۲: اگر میزان جذب آب سنگ‌دانه‌ها جهت رسیدن از حالت کاملاً خشک به حالت اشباع با سطح خشک (SSD) برای شن ۱/۵ درصد و برای ماسه ۲/۵ درصد باشد، مقادیر طرح اختلاط حاصله از مثال ۱ را برای حالت کاملاً خشک سنگ‌دانه‌ها به‌دست آورید.

مثال

حل: وزن ماسه‌ی کاملاً خشک $= ۸۷۰ \times \frac{۱۰۰}{۱۰۰+۲/۵} = ۸۴۹ kg/m^۳$

وزن شن کاملاً خشک $= ۸۳۵ \times \frac{۱۰۰}{۱۰۰+۱/۵} = ۸۲۳ kg/m^۳$

پس مقدار آب جذب شده توسط ماسه برابر با $۸۷۰ - ۸۴۹ = ۲۱ kg$

و مقدار آب جذب شده توسط شن برابر با $۸۳۵ - ۸۲۳ = ۱۲ kg$

است. لذا مقدار آب کل مورد نیاز مخلوط در این حالت، که سنگ‌دانه‌ها کاملاً خشک در نظر گرفته می‌شوند، برابر خواهد بود با :

وزن آب کل $= ۲۲۵ + ۲۱ + ۱۲ = ۲۵۸ kg/m^۳$

بدیهی است وزن سیمان در این حالت تفاوتی با حالت قبل نخواهد داشت و همان $۴۵۰ kg/m^۳$ می‌باشد. ضمناً باید توجه داشت که مجموع وزن واحد حجم اجزا باید همان $۲۳۸۰ kg/m^۳$ باشد.

مثال

مثال ۳: در یکی از روزها که قرار است براساس طرح فوق بتن ساخته شود، سنگ‌دانه‌های موجود در کارگاه مرطوب هستند. میزان رطوبت دانه‌های شن ۱٪ و دانه‌های ماسه ۱/۵٪ می‌باشد. در این حالت مقادیر طرح اختلاط مثال‌های ۱ و ۲ را برای ساخت بتن با این شن و ماسه تعیین کنید.

مثال

حل:

$$\text{وزن ماسه‌ی موجود} = ۸۴۹ \times \frac{۱۰۰ + ۱/۵}{۱۰۰} = ۸۶۲\,kg/m^۳$$

$$\text{وزن شن موجود} = ۸۲۳ \times \frac{۱۰۰ + ۱}{۱۰۰} = ۸۳۱\,kg/m^۳$$

پس مقدار آب موجود در ماسه برابر است با $۸۶۲ - ۸۴۹ = ۱۳kg$

و مقدار آب موجود در شن برابر است با $۸۳۱ - ۸۲۳ = ۸kg$

و مقدار آب مورد نیاز در این حالت برابر خواهد بود با :

$$\text{وزن آب مورد نیاز} = ۲۵۸ - (۱۳ + ۸) = ۲۳۷\,kg/m^۳$$

بدیهی است که وزن سیمان در این حالت تفاوتی با حالت‌های قبلی نخواهد داشت و همان $۴۵۰kg/m^۳$ می‌باشد و مجموع وزن کلیه‌ی اجزا نیز باید کماکان برابر با $۲۳۸۰kg/m^۳$ باشد.

تمرین

۱۳ــ مطلوب است طرح مخلوط بتنی با مشخصات زیر :

ــ $f_c = ۲۰N/mm^۲$ (مقاومت مشخصه ۲۸ روزه بر اساس نمونه‌ی مکعبی)

ــ نوع سیمان : پرتلند معمولی

ــ شن و ماسه : از نوع شکسته و کاملاً خشک که برای رسیدن به حالت اشباع با سطح خشک میزان جذب آب شن، ۱/۲ درصد و ماسه، ۲/۶ درصد می‌باشد.

ــ ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه براساس استاندارد BS882 : ناحیه‌ی دو

ــ حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها : $۴۰mm$

ــ اسلامپ خواسته شده : $۵۰mm$

ــ حداکثر نسبت آب به سیمان برای شرایط محیطی مورد نظر : ۰/۴۵

ــ مقدار حاشیه‌ی مقاومت : $۸/۵\,N/mm^۲$