@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

فصل ششم

طرح اختلاط بتن به روش آئین‌نامهٔ BS

طرح مخلوط BS نیز همانند ACI یکی از معتبرترین روشهای طراحی محسوب می‌شود. مراحل طراحی در این روش به تفصیل روش ACI نبوده و بخصوص مرحله ساخت نمونه آزمایشی در این روش پیش‌بینی نشده است. این طرح توسط مؤسسهٔ راهسازی انگلستان تهیه شده و به نام Road Note No.4 معروف است. منحنی‌ها و جداول این روش در انتهای فصل ارائه شده‌اند.

مراحل طرح :

مرحله ۱ - انتخاب اسلامپ و تعریف درجه کارایی :

در این مرحله اسلامپ مناسب برای بتن تازه براساس تجربه و با توجه به نوع کارِ بتنی، انتخاب می‌گردد.

متناظر با هر محدودهٔ اسلامپ، وضعیتی از درجهٔ کارایی تعریف می‌شود. اسلامپ ۲۵ mm - ۰ به عنوان درجه کارایی خیلی پائین[1] ، اسلامپ ۵۰ mm - ۲۵ به عنوان درجه کارایی پائین[2] ، اسلامپ ۱۰۰ mm - ۵۰ به عنوان درجه کارایی متوسط[3] و نهایتاً اسلامپ ۱۸۰ mm - ۱۰۰ به عنوان درجه کارایی بالا[4] معرفی می‌شود.

---

1 - Very Low 2 - Low 3 - medium
4 - high

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

در انتخاب اسلامپ اگر تجربه قبلی موجود نباشد، می‌توان از توصیه‌های زیر استفاده کرد :

اسلامپ ۲۵ mm - ۰ برای کف‌ها و جاده‌های بتنی که با ماشین‌های ویبره اتوماتیک مرتعش می‌شوند، مناسب است. در حد بالایی این محدوده از اسلامپ، ممکن است بتن با ماشین‌های ویبره کنترل شونده با دست، مرتعش شود.

اسلامپ ۵۰ mm - ۲۵ برای کف‌ها و جاده‌های بتنی که با ماشین‌های ویبره کنترل شونده با دست مرتعش می‌شوند، مناسب است. درحد بالایی این محدوده از اسلامپ، ممکن است بتن‌های ساخته شده از دانه‌های گرد یا نامنظم به صورت دستی مرتعش شوند. همچنین از این محدوده اسلامپ، می‌توان در بتن‌ریزی بدون ویبره فونداسیونها و یا بتن‌ریزی همراه با ویبره مقاطع بتنی با آرماتور کم، استفاده نمود.

اسلامپ ۱۰۰ mm - ۵۰ برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و نیز برای مقاطع با آرماتوربندی زیاد و با ارتعاش، مناسب است. درحد پائین این محدوده از اسلامپ، دالهای مسطح با دانه‌های شکسته که با دست متراکم می‌شوند قرار می‌گیرند.

اسلامپ ۱۸۰ mm - ۱۰۰ برای مقاطعی با آرماتوربندی انبوه و متراکم مناسب است. این محدوده از اسلامپ معمولاً برای ویبره کردن مناسب نیست.

مرحله ۲ - انتخاب ضریب کنترل و تعیین مقاومت فشاری متوسط :

ضریب کنترل عددی است که بستگی به شرایط کنترل ساخت و اجرای بتن در کارگاه دارد.

کنترل کیفیت بسیار خوب[1] به شرایطی اطلاق می‌شود که دانه‌ها با اندازه‌گیری وزنی انتخاب شوند. همچنین از مصالح دانه‌بندی شده استفاده شده و رطوبت طبیعی دانه‌ها اندازه‌گیری شود. در این نحوه از کنترل کیفیت وجود یک ناظر مقیم (مهندس کارگاه) به صورت دائمی در کارگاه، الزامی است.

کنترل کیفیت معمولی[2] به شرایطی اطلاق می‌شود که دانه‌ها با اندازه‌گیری وزنی انتخاب شده و

1 - Very good control 2 - fair control

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

مصالح فقط از دو دپو انتخاب شوند (مثلاً دپوی شن و دپوی ماسه). میزان آب در این کنترل به قضاوت اپراتور میکسر واگذار شده و نظارت کارگاهی متناوب (و نه دائمی) توسط مهندس کارگاه ضروری است.

کنترل کیفیت ضعیف[1] مربوط به شرایطی است که دانه‌ها با اندازه‌گیری حجمی جدا شده و نظارتی بر کار ساخت بتن صورت نگیرد.

برای کنترل کیفیت بسیار خوب، ضریب کنترل ۰/۷۵، برای کنترل کیفیت معمولی ضریب کنترل ۰/۶۰ و برای کنترل کیفیت ضعیف ضریب کنترل ۰/۴۰ انتخاب می‌شود. (ضریب کنترل را با i نمایش می‌دهند.)

ضریب کنترل به صورت نسبت بین مقاومت فشاری حداقل و مقاومت فشاری متوسط تعریف می‌شود. بنابراین :

$$\text{مقاومت فشاری متوسط طراحی} = \frac{\text{مقاومت فشاری حداقل}}{\text{ضریب کنترل (i)}}$$

دقت شود که در طرح مخلوط بتن به روش BS ، مقاومت فشاری بتن براساس نمونه مکعبی (f'_{cu}) سنجیده می‌شود.

مقاومت فشاری حداقل، حداقل مقاومت فشاری براساس نمونه مکعبی است که بتن باید پس از ۲۸ روز کسب نماید در حقیقت این عدد، همان عددی است که در طراحی اسکلت بتن آرمه و فولادگذاری آن، به عنوان f'_{cu} بکار رفته است.

دخالت دادن نحوه کنترل کیفیت در طرح مخلوط بتنی، از امتیازات آئین‌نامه BS محسوب می‌شود. این مسئله کمک می‌کند تا در طرح مخلوط بتنی، پیش‌بینی لازم جهت کارگاههایی که به دلایل محلی، فاقد امکانات کافی در ساخت بتن هستند، صورت پذیرد.

مرحله ۳- تعیین نسبت آب به سیمان (W/C) :

نسبت آب به سیمان با استفاده از تصویر (۱-۶) و براساس مقاومت فشاری متوسط بتن و نوع

1 - Poor control

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

سیمان مصرفی، تعیین می‌شود. در این تصویر استفاده از دو نوع سیمان پیش‌بینی شده است. سیمان پرتلند معمولی (تیپ I) و سیمان زودگیر (تیپ III). همچنین در این تصویر می‌توان براساس مقاومت ۱ روزه، ۷ روزه، ۲۸ روزه، سه ماهه و یک ساله عمل نمود.

مرحله ۴- تنظیم دانه‌بندی و تعیین نسبت وزنی دانه‌ها :

دانه‌بندی مصالح مصرفی باید منطبق بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS باشد. منحنی‌های دانه‌بندی استاندارد BS ، در تصاویر (۲-۶) الی (۶-۶) نمایش داده شده‌اند. این منحنی‌ها به ترتیب برای دانه‌بندی مصالحی با بزرگترین بعد ۱۹ mm ، ۳۸ mm، ۹٫۵ mm ، ۱۵۲ mm و ۷۶ mm تنظیم شده‌اند. هریک از این تصاویر، حاوی چهار منحنی استاندارد است که با شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ نامگذاری شده‌اند. شماره‌های بالاتر از منحنی‌های استاندارد BS نسبت به شماره‌های پائین‌تر، پرماسه‌تر هستند، بطوریکه منحنی استاندارد شمارهٔ ۴ از هر تصویر، پرماسه‌ترین دانه‌بندی را ارائه می‌کند و بنابراین بتن ساخته شده با دانه‌بندی منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۴، روان‌ترین و کاراترین بتن خواهد بود. طبیعتاً در چنین حالتی مصرف سیمان افزایش خواهد یافت. به همین ترتیب بکارگیری مصالحی با دانه‌بندی منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۱، خشن‌ترین مخلوط بتنی را حاصل خواهد کرد.

شن و ماسه مصرفی در این طرح، باید منطبق بر یکی از منحنی‌های دانه‌بندی استاندارد شماره ۱ الی ۴ باشد. در کارگاه این مسئله ممکن است به دو صورت فراهم شود گاه ممکن است در کارگاه دپوهایی از مصالح داشته باشیم که بر اساس یکی از منحنی‌های استاندارد BS دانه‌بندی شده باشد (مثلاً ممکن است کارگاه تولیدکننده مصالح شن و ماسه، آنها را به صورت استاندارد دانه‌بندی کرده باشد و شن و ماسه مخلوط دانه‌بندی شده، جهت مصرف به کارگاه ساخت بتن حمل شده باشد.) در صورتی که مصالح مخلوط دانه‌بندی شده به صورت استاندارد، موجود نباشد، در کارگاه ساخت بتن، باید مصالح دانه‌ای را از دپوهای مختلف به نسبت مشخصی انتخاب و مخلوط کرد تا منطبق بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS شود. در این حالت هرچه تعداد دپوها بیشتر باشد، انطباق دقیق‌تر انجام می‌گیرد. انطباق کامل بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS ، فقط وقتی میسّر است که به تعداد

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

الک‌های استاندارد کوچکتر از بزرگترین بعد دانه مصرفی، دپوهای مجزا و متفاوت داشته باشیم. در کارگاه ساخت بتن، معمولاً چنین وضعیتی فراهم نمی‌شود، بلکه اکثراً یک دپو برای ماسه و یک یا چند دپو برای شن وجود دارد (گاه در کارگاه، دپوی ماسه را به نام ۵-۰ و دپوهای شن را به نام‌های ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ نامگذاری می‌کنند).

برای تعیین نسبت اختلاط دپوهای مختلف، به صورتی که مخلوط آنها به یکی از منحنی‌های استاندارد BS نزدیک شود، باید معادلاتی را در بعضی از نقاط محور افقی منحنی‌های استاندارد، نوشت. تعداد این معادلات برابر تعداد دپوها منهای یک خواهد بود و بهتر است که این معادلات، در مرز بین دپوهای مختلف نوشته شوند. این معادلات بر این اساس نوشته می‌شوند که جمع حاصلضرب مقدار انتخابی از هر دپو در درصد رد شده آن دپو از الک مورد نظر (مثلاً الک مرزی) باید مساوی با حاصلضرب جمع کلیه مقادیر انتخابی از دپوها در درصد رد شده منحنی استاندارد از آن الک باشد. با توجه به اینکه نسبت دپوها مورد نظر است، می‌توان مقدار یکی از دپوها را برابر واحد در نظر گرفت. بدین ترتیب اگر تعداد دپوها برابر n باشد یک دستگاه n معادله و n مجهول حاصل شده است که با حل آن می‌توان مقدار هر دپو را نسبت به یکی از دپوها (که مقدار آن را برابر واحد در نظر گرفته بودیم) بدست آورد. مثالی که در پایان این بحث آورده می‌شود، کاربرد این روش را روشن خواهد کرد.

به هر حال در پایان این مرحله مشخص خواهد شد که مخلوط شن و ماسه مصرفی منطبق بر کدام منحنی استاندارد BS شده است حال می‌توان درصد رد شده آن منحنی را از الک نمره ۴ (۴٫۷۶ mm)، به عنوان نسبت وزنی ماسه به دانه‌ها ($\frac{FA}{Agg}$) استخراج کرد. همچنین می‌توان نسبت درصد رد شده از الک نمره ۴ به درصد باقیمانده را به عنوان نسبت وزنی ماسه به شن ($\frac{FA}{CA}$) در نظر گرفت. به عنوان نمونه اگر بزرگترین بُعد دانه‌های مصرفی ۴۰ mm بوده و دانه‌بندی منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۴ باشد، نسبت ماسه به دانه‌ها برابر است با :

$$\frac{FA}{Agg} = \frac{FA}{FA + CA} = ۰٫۴۷$$

همچنین نسبت دانه‌های ریز به دانه‌های درشت برابر است با :

$$\frac{FA}{CA} = \frac{۰٫۴۷}{۰٫۵۳} = ۰٫۸۹$$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

مرحله ۵- تعیین نسبت وزنی دانه‌ها به سیمان، $(\frac{Agg}{C})$:

نسبت وزنی دانه‌ها به سیمان را می‌توان با استفاده از جداول (۱-۶) الی (۳-۶) و براساس بزرگترین بُعددانه‌ها، شکلِ دانه‌ها، درجهٔ کارایی و نوع منحنیِ استانداردِ دانه‌بندی که مورد استفاده قرار گرفته، بدست آورد اگر بزرگترین بُعد دانه‌های مصرفی ۳۸ میلیمتر بوده و شکل دانه‌ها نامنظم باشد از جدول ۱-۶ استفاده می‌شود. همچنین اگر بزرگترین بعد دانه‌های مصرفی ۱۹ میلیمتر بوده و دانه‌ها از نوع گرد، نامنظم و یا گوشه‌دار باشند، به ترتیب از جداول الف-۲-۶، ب-۲-۶ و ج-۲-۶ استفاده می‌شود. در حالتی که بزرگترین اندازهٔ دانه‌های مصرفی ۹٫۵ میلیمتر بوده و شکل دانه گرد، نامنظم و یا گوشه‌دار (سنگ شکسته) باشند، می‌توان به ترتیب از جداول الف-۳-۶، ب-۳-۶ و ج-۳-۶ استفاده کرد.

در استفاده از این جداول ممکن است به وضعیتی برخورد کنیم که داخل جدول به جای نوشتن عدد نسبت دانه‌ها به سیمان، از علامت ضربدر استفاده شده باشد. این مسئله نشان می‌دهد که اگر بتنی در آن وضعیت ساخته شود، دچار ضایعه جدا شدن دانه‌ها می‌شود.

اصلاح به جهت چگالی دانه‌ها : هر یک از جداول ۱-۶ الی ۳-۶، براساس چگالی مشخصی از دانه‌های ریز و درشت تنظیم شده که در زیر هر جدول قید شده است در صورتی که متوسط چگالی دانه‌های مصرفی در طرح، با متوسط چگالی دانه‌های مربوط به هر جدول تفاوت داشته باشد، عدد مورد استفاده از جدول را باید در یک ضریب اصلاح ضرب کرد. این ضریب اصلاح عبارتست از نسبت میانگین وزنی چگالی دانه‌های مورد استفاده در طرح به میانگین وزنی چگالی دانه‌های جدول. بنابراین :

$$(\frac{Agg}{C})_{\text{اصلاح شده}} = (\frac{Agg}{C})_{\text{جدول}} \times \frac{\text{میانگین چگالی دانه‌های مورد استفاده در طرح}}{\text{میانگین چگالی دانه‌های مورد استفاده در جدول}}$$

مرحله ۶- نوشتن رابطه حجمی و تعیین وزن کلیه اجزاء بتن :

تاکنون در مراحل ۳، ۴ و ۵، سه رابطه بین مجهولات چهارگانه (FA، CA، C و W) برقرار شده است. در این مرحله با نوشتن یک رابطه حجمی، معادله چهارم را نوشته و با حل دستگاه چهار معادله و چهار مجهول، کلیه اجزاء طرح را تعیین می‌کنیم.

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

جمع احجام کلیه اجزاء بتن در واحد حجم بتن برابر واحد است. یعنی :

و یا :

$$V_c + V_w + V_{FA} + V_{CA} + A = ۱$$

$$\frac{C}{G_c.\gamma_w} + \frac{W}{\gamma_w} + \frac{FA}{G_{FA}\gamma_w} + \frac{CA}{G_{CA}\gamma_w} + A = ۱$$

در رابطه فوق کلیه پارامترها مطابق قراردادهای فصل قبلی بکار رفته‌اند. درصد هوا در بتن (A) را برای بتن بدون هوا می‌توان تقریباً برابر یک درصد در نظر گرفت.

اگر نسبت وزنی آب، ماسه و شن به سیمان را به ترتیب با N_W ، N_F و N_C نمایش دهیم :

$$N_W = \frac{W}{C} \quad , \quad N_F = \frac{FA}{C} \quad , \quad N_C = \frac{CA}{C}$$

خواهیم داشت :

$$\frac{C}{G_C.\gamma_w} + \frac{N_W.C}{\gamma_w} + \frac{N_F.C}{G_{FA}.\gamma_w} + \frac{N_C.C}{G_{CA}.\gamma_w} + ۰/۰۱ = ۱$$

و نهایتاً

$$\frac{C}{\gamma_W}\left(\frac{۱}{G_C} + N_W + \frac{N_F}{G_{FA}} + \frac{N_C}{G_{CA}}\right) = ۰/۹۹$$

با حل معادله فوق، مقدار سیمان در واحد حجم بتن بدست می‌آید.

برای بدست آورد وزن سایر اجزاء در واحد حجم بتن از روابط زیر استفاده می‌کنیم :

$$W = N_W.C$$

$$FA = N_F.C$$

$$CA = N_C.C$$

دقت شود که N_W مستقیماً در مرحله ۳ بدست آمده بود و N_F و N_C هم با توجه به نتایج مرحله ۴ و ۵ تعیین خواهند گردید.

$$N_F = \frac{FA}{C} = \left(\frac{FA}{Agg}\right)\left(\frac{Agg}{C}\right)$$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

$$N_C = \frac{CA}{C} = \frac{CA + FA}{C} - \frac{FA}{C} = \left(\frac{Agg}{C}\right) - N_F$$

مرحله ۷- تصحیح به جهت رطوبت دانه‌ها :

محاسبات انجام گرفته براساس حالت خشک دانه‌ها بوده است. در صورتی که دانه‌ها مرطوب باشند، باید وزن آنها در حالت مرطوب محاسبه شده و متناسب با آن از وزن آب کاسته شود.

در طرح BS به جهت اختصار، می‌توان از تفاوت حالت SSD دانه‌ها با حالت خشک آنها، صرف‌نظر کرد.

مثال ۱ :

در یک کار بتنی مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر با kg/cm^2 ۲۰۰ مورد نیاز است شرایط کارگاهی کار با اندازه‌گیری‌های وزنی و ناظر مقیم پیش‌بینی می‌شود. به جهت مصرف بتن در اتصالات تیر و ستون با آرماربندی انبوه و متراکم اسلامپ ۱۲ سانتیمتر انتخاب شده است. سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند معمولی خواهد بود. مصالح دانه‌ای موجود در منطقه، ماسه طبیعی و شن‌ازسنگ شکسته‌پیش‌بینی شده است. شن و ماسه موجود در منطقه دارای مشخصات زیر هستند.

اندازه الک	درصد رد شده	
	دانه‌های درشت	دانه‌های ریز
۲۰ mm	۱۰۰	—
۱۰ mm	۳۱	—
۴/۷۵ mm	۷	۱۰۰
۲/۳۶ mm	—	۹۲
۱/۱۸ mm	—	۷۶
۶۰۰ μ	—	۴۸
۳۰۰ μ	—	۲۰
۱۵۰ μ	—	۳

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

نوع مصالح	چگالی	وزن مخصوص ظاهری خشک (kg/m^3)
سیمان	۳٫۱۵	۱۴۷۲
شن	۲٫۶	۱۵۲۰
ماسه	۲٫۶	۱۶۸۰

طرح مخلوط بتن را به روش BS برای دو حالت زیر انجام دهید. (در هر قسمت مقادیر وزنی و حجمی اجزاء را بدست آورید).

الف - دانه‌ها تقریباً خشک هستند.

ب - دانه‌های شنی دارای رطوبت ۳٪ و دانه‌های ماسه‌ای دارای رطوبت ۶٪ و ضریب ری‌کردن ۱٫۲۵ هستند.

حـــل :

حالت الف - دانه‌ها خشک هستند.

مرحله ۱ - انتخاب اسلامپ و تعیین درجه کارایی :

براساس صورت مسئله، اسلامپ ۱۲ سانتیمتر است که در محدوده ۱۸-۱۰ cm قرار دارد، بنابراین کارایی، بالا خواهد بود.

مرحله ۲ - انتخاب ضریب کنترل و تعیین مقاومت فشاری متوسط :

براساس صورت مسئله، پیمانه کردن وزنی برای مصالح با نظارت مستمر مهندس کارگاه پیش‌بینی شده است. بنابراین کنترل کیفیت خیلی خوب بوده و ضریب کنترل ۰٫۷۵ خواهد بود.

$i = ۰٫۷۵$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

$$f'_{cu(\text{متوسط})} = \frac{f'_{cu(\text{حداقل})}}{i} = \frac{۲۰۰}{۰/۷۵} = ۲۷۰ \text{ kg/cm}^۲$$

مرحله ۳- تعیین نسبت آب به سیمان :

با استفاده از تصویر (۱-۶) و براساس مقاومت فشاری متوسط ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر با ۲۷۰ kg /cm^۲ و با توجه به اینکه از سیمان پرتلند تیپ I استفاده شده، نتیجه می‌شود :

$$\frac{W}{C} = ۰/۶۲$$

مرحله ۴- تنظیم دانه‌بندی و تعیین نسبت وزنی دانه‌ها :

در این مسئله مخلوط شن و ماسه دانه‌بندی شده که منطبق بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS باشد، در دسترس نیست. بنابراین باید نسبتی مناسب برای اختلاط دو دپوی شن و ماسه موجود در کارگاه پیدا کنیم، که مخلوط حاصله حتی‌المقدور منطبق بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS شود.

چون بزرگترین بُعد دانه‌های مصرفی ۲۰ میلیمتر است، از تصویر (۲-۶) استفاده می‌کنیم. با توجه به وجود آرماتوربندی متراکم در محل بتن‌ریزی، انتخاب مخلوطی از شن و ماسه که منجر به بتنی روان‌تر شود، مناسب خواهد بود. در این مسئله منحنی استاندارد شماره ۳ انتخاب شده است (با توجه به اسلامپ ۱۲ به نظر می‌رسد که انتخاب منحنی استاندارد شماره ۴ منجر به بتنی کاملاً شل و از طرفی پرماسه می‌شود که احتمالاً بتن چندان مناسبی نخواهد بود اصولاً بتن‌های کاملاً پرماسه بیشتر در مواردی مناسب هستند که نیاز به پرداخت سطحی بتن، آن هم بصورت دستی وجود داشته باشد. از طرفی انتخاب منحنی استاندارد شماره ۲ در این مسئله، با توجه به جدول ج-۲-۶ ، منجر به جدا شدن دانه‌ها خواهد شد. به همین جهت به عنوان بهترین انتخاب از منحنی استاندارد شماره ۳ استفاده شده است).

مرز بین دو دپوی موجود در کارگاه الک با قطر ۴/۷۵ mm است. از دانه‌بندی موجود در صورت مسئله دیده می‌شود که ۱۰۰٪ دپوی ماسه و ۷٪ دپوی شن از الک با اندازه ۴/۷۵ عبور کرده‌اند، در حالیکه براساس تصویر (۲-۶)، ۴۲٪ از مخلوط منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۳، از الک نمره ۴ عبور کرده است. اگر مقادیری که لازم است از دپوی ماسه و شن انتخاب شوند به ترتیب با x و y

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

نشان داده شود، نتیجه می‌شود :

$$۱۰۰ x + ۷ y = ۴۲ (x + y)$$

با توجه به اینکه نسبت بین دو دپو مورد نظر است، x برابر واحد در نظر گرفته شده و y بدست آورده می‌شود :

$$x = ۱ \quad و \quad y = ۱/۶۵$$

یعنی اختلاط دو دپوی شن و ماسه باید با نسبت ۱/۶۵ به ۱ انجام گیرد تا مخلوط حاصله منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۳ شود واضح است که این انطباق، فقط در یک نقطه صورت گرفته است انطباق در سایر نقاط فقط در صورتی امکان‌پذیر است که دپوهای دیگری از شن و ماسه با دانه‌بندی متفاوت، در دسترس باشد.

نهایتاً با توجه به اینکه مخلوط حاصله (لااقل در مرز بین شن و ماسه)، منطبق بر منحنی استاندارد شماره ۳ شده است، بنابراین :

$$\frac{FA}{Agg} = \frac{FA}{FA + CA} = ۰/۴۲$$

مرحله ۵- تعیین نسبت وزنی دانه‌ها به سیمان :

در این مسئله بزرگترین بعد دانه‌های مصرفی ۲۰ mm و نوع دانه‌ها گوشه‌دار هستند. همچنین نوع کارایی، بالا و منحنی استاندارد مورد استفاده شماره ۳ بوده است. بدین ترتیب با استفاده از جدول ج-۲-۶ و با درون‌یابی نتیجه می‌شود :

$$\frac{Agg}{C} = ۴/۷ + (۵/۱ - ۴/۷) \times \frac{۰/۶۲ - ۰/۶}{۰/۶۵ - ۰/۶} = ۴/۸۶$$

متوسط وزن مخصوص دانه‌های مورد استفاده در مسئله ۲/۶ است، درحالی که همین کمیت در جدول ۲/۷ است. به جهت تفاوت این دو مقدار، اصلاح زیر باید انجام شود:

$$\frac{Agg}{C} = ۴/۸۶ \times \frac{۲/۶}{۲/۷} = ۴/۶۸$$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

مرحله ۶- نوشتن رابطه حجمی و تعیین مقادیر کلیه اجزاء :

$$\frac{C}{\gamma_w}\left[\frac{۱}{G_C} + N_W + \frac{N_F}{G_{FA}} + \frac{N_C}{G_{CA}}\right] = ۰/۹۹$$

$$N_W = \frac{W}{C} = ۰/۶۲$$

$$N_F = \frac{FA}{C} = \frac{FA}{Agg} , \frac{Agg}{C} = ۰/۴۲ \times ۴/۶۸ = ۱/۹۷$$

$$N_C = \frac{CA}{C} = \frac{CA + FA}{C} - \frac{FA}{C} = \frac{Agg}{C} - N_F = ۴/۶۸ - ۱/۹۷ = ۲/۷۱$$

با جایگزینی این مقادیر در رابطه حجمی داریم :

$$\frac{C}{۱۰۰۰}\left[\frac{۱}{۳/۱۵} + ۰/۶۲ + \frac{۱/۹۷}{۲/۶} + \frac{۲/۷۱}{۲/۶}\right] = ۰/۹۹$$

$$C = ۳۶۲ \text{ kg/m}^۳$$

$$W = N_W \times C = ۰/۶۲ \times ۳۶۲ = ۲۲۴ \text{ kg/m}^۳$$

$$FA = N_F \times C = ۱/۹۷ \times ۳۶۲ = ۷۱۳ \text{ kg/m}^۳$$

$$CA = N_C \times C = ۲/۷۱ \times ۳۶۲ = ۹۸۱ \text{ kg/m}^۳$$

از جمع این مقادیر، وزن مخصوص بتن تازه برابر با $U = ۲۲۸۰ \text{ kg/m}^۳$ بدست می‌آید.

اگر مقادیر حجمی اجزاء مورد نظر باشد، کافیست اوزان بدست آمده بر وزن مخصوص آنها تقسیم شود :

حجم سیمان $V_C = \frac{C}{\gamma_C} = \frac{۳۶۲}{۱۴۷۲} = ۰/۲۴۶ \text{ m}^۳$

حجم آب $V_W = \frac{W}{\gamma_W} = \frac{۲۲۴}{۱۰۰۰} = ۰/۲۲۴ \text{ m}^۳$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

حجم ماسه $V_{FA} = \frac{FA}{\gamma_{FA}} = \frac{۷۱۳}{۱۶۸۰} = ۰/۴۲۴ \ m^3$

حجم شن $V_{CA} = \frac{CA}{\gamma_{CA}} = \frac{۹۸۱}{۱۵۲۰} = ۰/۶۴۵ \ m^3$

اگر احجام فوق به صورت ظاهری جدا شده و بتن ساخته شود، یک متر مکعب بتن حاصل خواهد شد.

در فرض الف، چون دانه‌ها خشک هستند، نیازی به اعمال مرحله هفتم نیست.

فرض ب – دانه‌ها مرطوب هستند.

در این حالت لازم است نتایج قبلی به جهت رطوبت دانه‌ها اصلاح شود.

وزن سیمان = ۳۶۲ kg/m^3

وزن ماسه مرطوب $FA_W = ۷۱۳ (۱ + ۰/۰۶) = ۷۵۶ \ kg/m^3$

وزن شن مرطوب $CA_W = ۹۸۱ (۱ + ۰/۰۳) = ۱۰۱۰ \ kg/m^3$

وزن آب اصلاح شده $W = ۲۲۶ - [۷۱۳ \times ۰/۰۶ + ۹۸۱ \times ۰/۰۳] = ۱۵۴ \ kg/m^3$

مقادیر حجمی اجزاء به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$V_C = \frac{۳۶۲}{۱۴۷۲} = ۰/۲۴۶ \ m^3$

$V_W = \frac{۱۵۴}{۱۰۰۰} = ۰/۱۵۴ \ m^3$

$V_{CA} = \frac{۱۰۱۰}{۱۵۲۰} = ۰/۶۶۴ \ m^3$

در مورد ماسه با توجه به ضریب ری کردن ۱/۲۵، نتیجه می‌شود :

وزن مخصوص ظاهری ماسه مرطوب $= \frac{۱۶۸۰}{۱/۲۵} = ۱۳۴۴ \ kg/m^3$

$V_{FA} = \frac{۷۵۶}{۱۳۴۴} = ۰/۵۶۳ \ m^3$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

ملاحظه می‌شود که حجم ماسه مرطوب مصرفی برای تولید یک مترمکعب بتن، نسبت به حالت خشک به میزان (۱٫۳۲۵ = ۱٫۲۵ × ۱٫۰۶) برابر، افزایش یافته است.

مثال ۲ :

برای ساخت پیاده‌رو بتنی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر ۳۰۰ kg/cm^2 مورد نیاز است. کنترل کیفیت بسیار خوب است و نظارت دائم انجام می‌شود. بعلت آنکه مورد مصرف بتن دال برای پیاده‌رو است درجه کارآئی خیلی کم در نظر گرفته شود. سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند معمولی است و شن موجود دارای دانه‌های نامنظم است که در دو اندازهٔ ۲۰-۵ و ۴۰-۲۰ میلیمتر دانه‌بندی شده است سایر مشخصات به قرار زیر است :

اندازه الک	درصد رد شده		
	ریز دانه‌ها	درشت دانه‌ها	
		۲۰-۵	۴۰-۲۰
۴۰ mm	—	۱۰۰	۱۰۰
۲۰ mm	—	۹۹	۱۳
۱۰ mm	۱۰۰	۳۳	۸
۴٫۷۵ mm	۹۹	۵	۲
۲٫۳۶ mm	۷۶	—	—
۱٫۱۸ mm	۵۸	—	—
۶۰۰ μ	۴۰	—	—
۳۰۰ μ	۱۱	—	—
۱۵۰ μ	۲	—	—

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

درصد رطوبت طبیعی	وزن مخصوص ظاهری خشک ، kg/m^3	چگالی	نوع مصالح
—	۱۴۷۲	۳٫۱۵	سیمان
۱	۱۵۲۰	۲٫۵۵	شن
۳	۱۶۸۰	۲٫۶۵	ماسه

طرح مخلوط بتن را به روش BS انجام دهید. در این مورد دانه‌ها را به گونه‌ای بکار ببرید تا درشت‌ترین دانه‌بندی ممکن ایجاد شود.

حل :

مراحل طرح عبارتند از :

مرحله ۱- انتخاب اسلامپ و درجه کارائی :

طبق صورت مسئله درجه کارائی خیلی کم باید در نظر گرفته شود.

مرحله ۲- انتخاب ضریب کنترل و تعیین مقاومت فشاری :

با توجه به مشخصات مسئله ضریب کنترل ۰٫۷۵ است.

$$f'_{cu}\ \text{متوسط} = \frac{f'_{cu}\ \text{حداقل}}{i} = \frac{۳۰۰}{۰٫۷۵} = ۴۰۰\ kg/cm^2$$

مرحله ۳- تعیین نسبت آب به سیمان :

با استفاده از تصویر (۱-۶) و براساس مقاومت فشاری متوسط ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر با $۴۰۰\ kg/cm^2$ و با توجه به اینکه سیمان مورد مصرف سیمان معمولی است :

$$\frac{W}{C} = ۰٫۴۷$$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

مرحله ۴- تنظیم دانه‌بندی و تعیین نسبت وزنی دانه‌ها :

در این مرحله باید مصالح دانه‌ای به‌گونه‌ای با هم ترکیب شوند که مخلوط حاصل منطبق بر یکی از منحنی‌های استاندارد BS شود از طرفی چون در صورت مسئله درشت‌ترین دانه‌بندی ممکن تقاضا شده است باید حتی‌الامکان از منحنی شماره ۱ BS استفاده شود. برای حل این قسمت مشابه آنچه در مثال ۱ توضیح داده شده باید عمل شود با این تفاوت که چون در این مسئله سه دپو موجود است باید دو الک مبنای محاسبات قرار گیرد. الکهای مرز مشترک دو الک ۴٫۷۵ و ۲۰ میلیمتر هستند با توجه به آنکه ۹۹ درصد دپوی ماسه، ۵ درصد شن ۲۰-۵ و ۲ درصد شن ۴۰-۲۰ از الک ۴٫۷۵ میلیمتر و ۱۰۰ درصد دپوی ماسه، ۹۹ درصد شن ۲۰-۵ و ۱۳ درصد شن ۴۰-۲۰ از الک ۲۰ میلیمتر می‌گذرند و از طرفی از همین دو الک در منحنی استاندارد به ترتیب ۲۴ و ۵۰ درصد عبور کرده‌اند لذا اگر مقادیری که لازم است از هر یک از سه دپو انتخاب شود به ترتیب x، y و z نامیده شود نتیجه خواهد شد :

$$۹۹x + ۵y + ۲z = ۲۴ (x + y + z)$$

$$۱۰۰x + ۹۹y + ۱۳z = ۵۰ (x + y + z)$$

$$x = ۱$$

از حل این دستگاه معادلات جوابهای زیر بدست می‌آید :

$$x = ۱ \quad ، \quad y = ۰٫۹۴ \quad ، \quad z = ۲٫۶$$

بنابراین :

$$\frac{FA}{Agg} = \frac{FA}{FA + CA_۱ + CA_۲} = \frac{۱}{۱ + ۰٫۹۴ + ۲٫۶} = ۰٫۲۲$$

$$\frac{CA_۱}{Agg} = \frac{CA_۱}{FA + CA_۱ + CA_۲} = \frac{۰٫۹۴}{۱ + ۰٫۹۴ + ۲٫۶} = ۰٫۲۰۷$$

مرحلهٔ ۵- تعیین نسبت وزنی دانه‌ها به سیمان :

در این مسئله بزرگترین بعد دانه‌های مصرفی ۴۰mm و نوع دانه‌ها نامنظم هستند همچنین نوع کارائی خیلی کم و منحنی استاندارد مورد استفاده، شماره ۱ است لذا با استفاده از جدول ۱-۶ و به

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

کمک درون‌یابی نتیجه می‌شود :

$$\frac{Agg}{C} = ۷$$

با توجه به تفاوت چگالی دانه‌های موجود با چگالی مورد اشاره جدول باید اصلاح زیر انجام شود.

$$\text{ضریب اصلاحی} = \frac{۱ \times ۲٫۶۵ + (۰٫۹۴ + ۲٫۶) \times ۲٫۵۵}{۱ \times ۲٫۶ + (۰٫۹۴ + ۲٫۶) \times ۲٫۵} = ۱٫۰۲$$

$$\frac{Agg}{C} = ۷ \times ۱٫۰۲ = ۷٫۱۴$$

مرحلهٔ ۶- نوشتن رابطه حجمی و تعیین مقادیر کلیه اجزاء :

$$N_W = \frac{W}{C} = ۰٫۴۷$$

$$N_F = \frac{FA}{C} = \frac{FA}{Agg} \cdot \frac{Agg}{C} = ۰٫۲۲ \times ۷٫۱۴ = ۱٫۵۷$$

$$N_{CA_۱} = \frac{CA_۱}{C} = \frac{CA_۱}{Agg} \cdot \frac{Agg}{C} = ۰٫۲۰۷ \times ۷٫۱۴ = ۱٫۴۸$$

$$N_{CA_۲} = \frac{CA_۲}{C} = \frac{Agg}{C} - N_F - N_{CA_۱} = ۷٫۱۴ - ۱٫۵۷ - ۱٫۴۸ = ۴٫۰۹$$

از طرفی :

$$\frac{C}{\gamma_W}\left[\frac{۱}{G_c} + N_W + \frac{N_F}{G_{FA}} + \frac{N_{CA_۱} + N_{CA_۲}}{G_{CA}}\right] = ۰٫۹۹$$

$$\frac{C}{۱۰۰۰}\left[\frac{۱}{۳٫۱۵} + ۰٫۴۷ + \frac{۱٫۵۷}{۲٫۶۵} + \frac{۱٫۴۸ + ۴٫۰۹}{۲٫۵۵}\right] = ۰٫۹۹$$

$$\Rightarrow C = ۲۷۸ \ kg/m^۳$$

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

$W = N_W \times C = ۰/۴۷ \times ۲۷۸ = ۱۳۱ \ kg/m^3$

$FA = N_F \times C = ۱/۵۷ \times ۲۷۸ = ۴۳۶ \ kg/m^3$

$CA_۱ = N_{CA۱} \times C = ۱/۴۸ \times ۲۷۸ = ۴۱۱ \ kg/m^3$

$CA_۲ = N_{CA۲} \times C = ۴/۰۹ \times ۲۷۸ = ۱۱۳۷ \ kg/m^3$

با توجه به آنکه دانه‌ها مرطوب هستند باید اصلاح رطوبت انجام شود:

وزن سیمان = ۲۷۸ kg/m^3

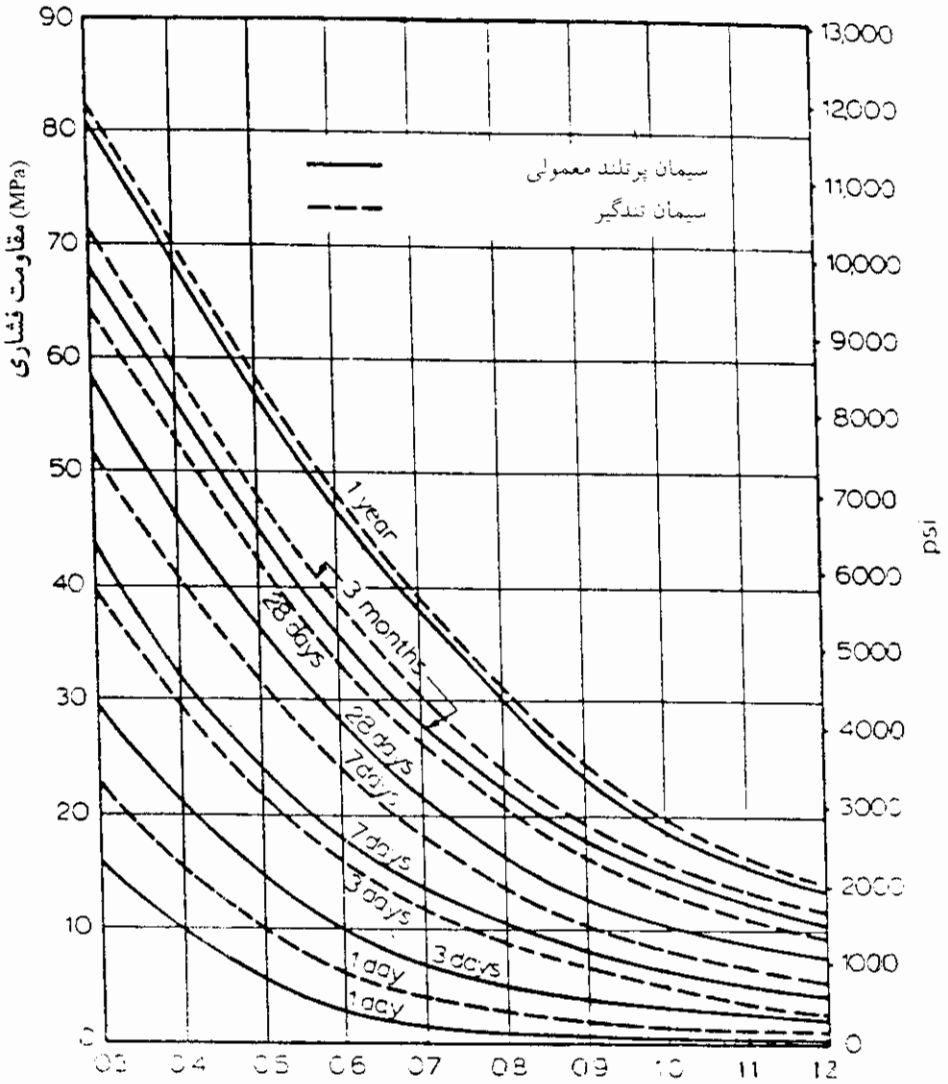
وزن ماسه مرطوب = ۴۳۶ (۱ + ۰/۰۳) = ۴۴۹ kg/m^3

وزن شن مرطوب دپوی ۲۰-۵ = ۴۱۱ (۱ + ۰/۰۱) = ۴۱۵ kg/m^3

وزن شن مرطوب دپوی ۴۰-۲۰ = ۱۱۳۷ (۱ + ۰/۰۱) = ۱۱۴۸ kg/m^3

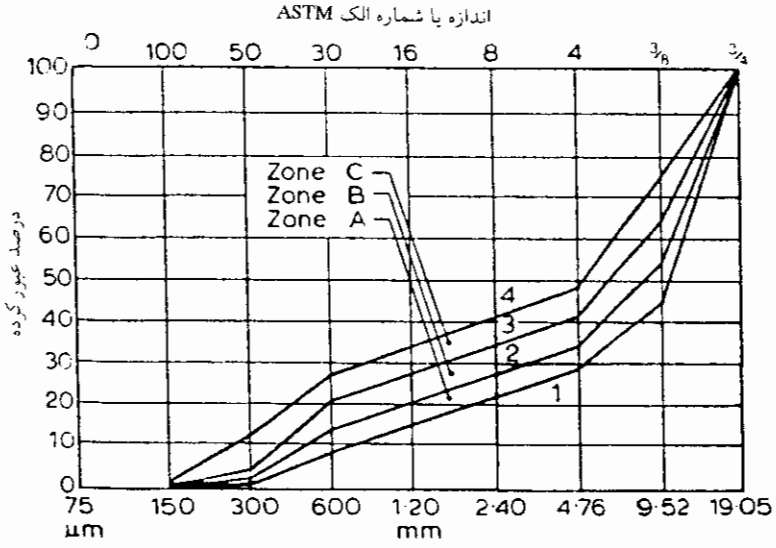
وزن آب اصلاح شده = ۱۳۱ - [۴۳۶ × ۰/۰۳ + ۴۱۱ × ۰/۰۱ + ۱۱۳۷ × ۰/۰۱] = ۱۰۲ k/m^3

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

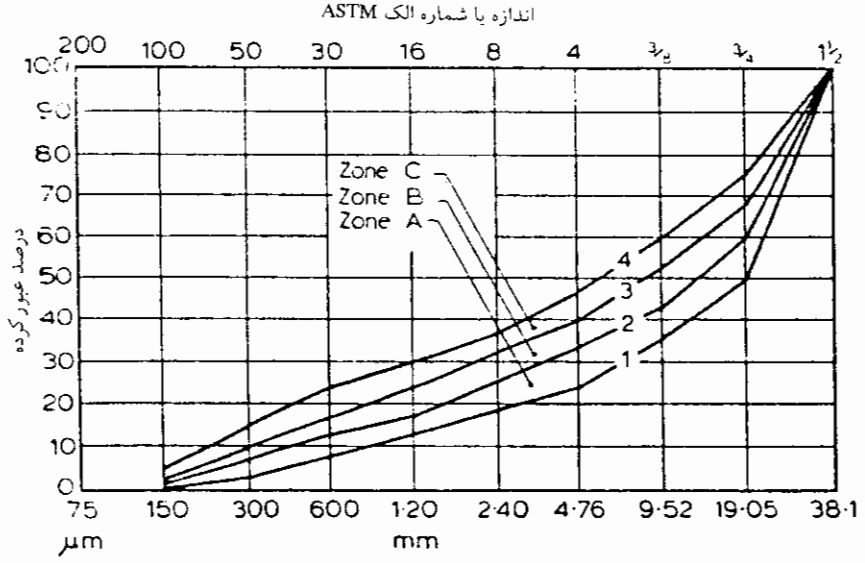


تصویر ۱-۶ نسبت وزنی آب به سیمان (BS)

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

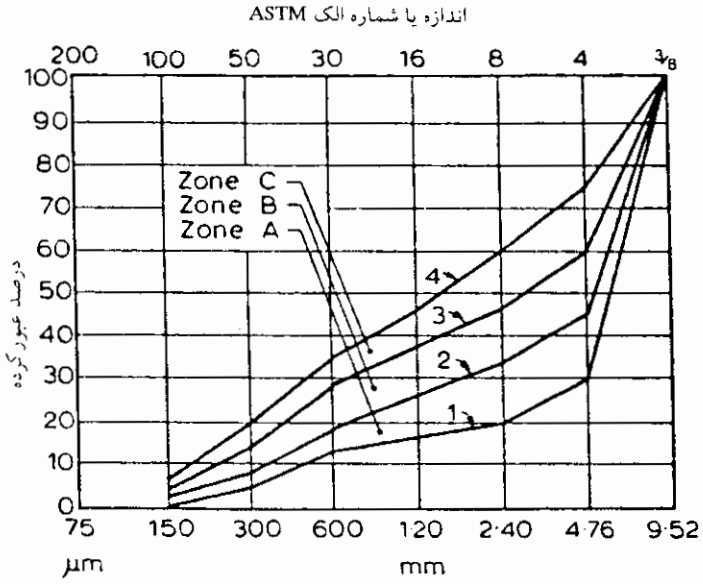


تصویر ۲-۶ : منحنی‌های استاندارد BS برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۱۹٫۰۵ میلیمتر

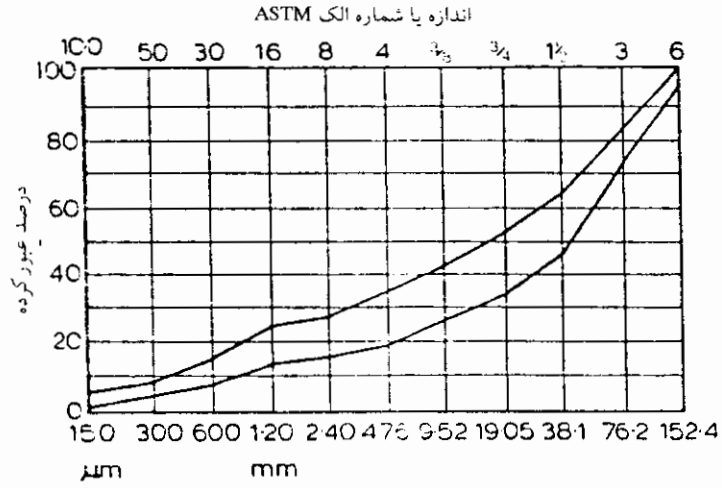


تصویر ۳-۶ : منحنی‌های استاندارد BS برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۳۸٫۱ میلیمتر

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

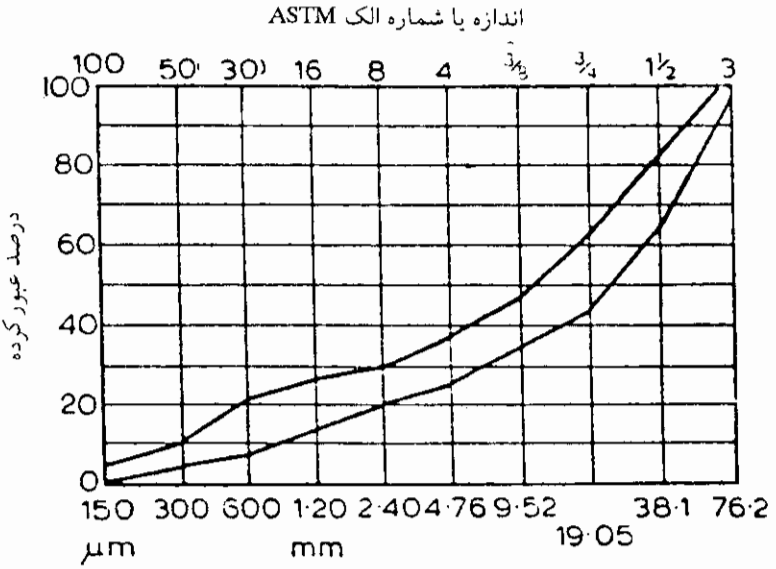


تصویر ۴-۶ : منحنی‌های استاندارد BS برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۹٫۵۲ میلیمتر



تصویر ۵-۶ : محدوده مناسب دانه‌بندی برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۱۵۲٫۴ میلیمتر

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن



تصویر ۶-۶ : محدوده مناسب دانه‌بندی برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۷۶٫۲ میلیمتر

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

جدول ۱-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌هایی با حداکثر بعد ۳۸/۱ میلیمتر (دانه‌های نامنظم)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد	نسبت وزنی $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۱	۰/۳۵	۴/۰	۳/۹	۳/۵	۳/۲	۳/۴	۳/۳	۳/۲	۲/۹	۲/۹	۲/۸	۲/۶	۲/۵	۲/۷	۲/۵	۲/۳	۲/۳
۲	۰/۴۰	۵/۳	۵/۳	۴/۷	۴/۳	۴/۵	۴/۵	۴/۲	۳/۸	۳/۸	۳/۸	۳/۷	۳/۴	۳/۵	۳/۵	۳/۳	۳/۱
۳	۰/۴۵	۶/۵	۶/۵	۵/۹	۵/۳	۵/۶	۵/۶	۵/۳	۴/۸	۴/۶	۴/۷	۴/۶	۴/۳	۴/۱	۴/۴	۴/۳	۴/۰
۴	۰/۵۰	۷/۷	۷/۷	۷/۱	۶/۳	۶/۷	۶/۶	۶/۳	۵/۷	۵/۴	۵/۷	۵/۵	۵/۱	۴/۸	۵/۲	۵/۱	۴/۸
۵	۰/۵۵	—	—	۸/۱	۷/۳	۷/۶	۷/۶	۷/۲	۶/۶	۶/۲	۶/۵	۶/۳	۵/۸	×	۵/۹	۶/۰	۵/۵
۶	۰/۶۰			—	—	—	—	—	۷/۴	۷/۰	۷/۳	۷/۱	۶/۶	×	×	۶/۷	۶/۲
۷	۰/۶۵								۸/۱	۷/۸	۸/۱	۷/۸	۷/۲	×	×	۷/۳	۶/۹
۸	۰/۷۰								—	—	—	—	۷/۹	×	×	—	۷/۴
۹	۰/۷۵												—	×	×	—	۸/۰
۱۰	۰/۸۰													×	×	—	—

کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن : @easyconcrete

جدول الف - ۲-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۱۹/۰۵ میلیمتر (دانه‌های گرد)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی آب/سیمان	۰/۳۵	۴/۵	۴/۵	۳/۵	۳/۲	۳/۸	۳/۶	۳/۲	۳/۱	۳/۱	۳/۰	۲/۸	۲/۷	۲/۸	۲/۸	۲/۶	۲/۵
	۰/۴۰	۶/۶	۶/۳	۵/۳	۴/۵	۵/۳	۵/۱	۴/۵	۴/۱	۴/۲	۴/۲	۳/۹	۳/۷	۳/۶	۳/۷	۳/۵	۳/۳
	۰/۴۵	۸/۰	۷/۷	۶/۷	۵/۸	۶/۹	۶/۶	۵/۹	۵/۱	۵/۳	۵/۳	۵/۰	۴/۵	۴/۶	۴/۸	۴/۵	۴/۱
	۰/۵۰	—	—	۸/۰	۷/۰	۸/۲	۸/۰	۷/۰	۶/۰	۶/۳	۶/۳	۵/۹	۵/۴	۵/۵	۵/۷	۵/۳	۴/۸
	۰/۵۵	—	—	—	۸/۱	—	—	۸/۲	۶/۹	۷/۳	۷/۳	۷/۴	۶/۴	۶/۳	۶/۵	۶/۱	۵/۵
	۰/۶۰	—	—	—	—	—	—	—	۷/۷	—	—	۸/۰	۷/۲	×	۷/۲	۶/۸	۶/۱
	۰/۶۵					—	—	—	۸/۵	—	—	—	۷/۸	×	۷/۷	۷/۴	۶/۶
	۰/۷۰					—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	۷/۹	۷/۲
	۰/۷۵													×	—	—	۷/۶
	۰/۸۰													×	—	—	—
	۰/۸۵													×	—	—	—
	۰/۹۰													×	—	—	—

طرح اختلاط بتن و کانال تکنولوژی : @easyconcrete

جدول ب - ۲-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۱۹/۰۵ میلیمتر (دانه‌های نامنظم)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی آب/سیمان	۰/۳۵	۳/۷	۳/۷	۳/۵	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۲/۷	۲/۶	۲/۶	۲/۷	۲/۴	۲/۴	۲/۵	۲/۵	۲/۲
	۰/۴۰	۴/۸	۴/۷	۴/۷	۴/۰	۳/۹	۳/۹	۳/۸	۳/۵	۳/۳	۳/۴	۳/۵	۳/۲	۳/۱	۳/۲	۳/۲	۲/۹
	۰/۴۵	۶/۰	۵/۸	۵/۷	۵/۰	۴/۸	۴/۸	۴/۶	۴/۳	۴/۰	۴/۱	۴/۲	۳/۹	×	۳/۹	۳/۹	۳/۵
	۰/۵۰	۷/۲	۶/۸	۶/۵	۵/۹	۵/۵	۵/۵	۵/۴	۵/۰	۴/۶	۴/۸	۴/۸	۴/۵	×	۴/۴	۴/۴	۴/۱
	۰/۵۵	۸/۳	۷/۸	۷/۳	۶/۷	۶/۲	۶/۲	۶/۰	۵/۷	×	۵/۴	۵/۴	۵/۱	×	۴/۸	۴/۹	۴/۷
	۰/۶۰	۹/۴	۸/۶	۸/۰	۷/۴	۶/۸	۶/۹	۶/۷	۶/۲	×	۶/۰	۶/۰	۵/۶	×	×	۵/۴	۵/۲
	۰/۶۵	—	—	—	۸/۰	۷/۴	۷/۵	۷/۳	۶/۸	×	×	۶/۴	۶/۱	×	×	۵/۸	۵/۶
	۰/۷۰	—	—	—	—	۸/۰	۸/۰	۷/۷	۷/۴	×	×	۶/۸	۶/۶	×	×	۶/۲	۶/۱
	۰/۷۵					—	—	—	۷/۹	×	×	۷/۲	۷/۰	×	×	۶/۶	۶/۵
	۰/۸۰					—	—	—	—	×	×	۷/۵	۷/۴	×	×	×	۷/۰
	۰/۸۵									×	×	۷/۸	۷/۸	×	×	×	۷/۴
	۰/۹۰									×	×	×	۸/۱	×	×	×	۷/۷
	۰/۹۵									×	×	×	—	×	×	×	۸/۰
	۱/۰۰													×	×	×	×

کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن : @easyconcrete

جدول ج - ۲-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۱۹/۰۵ میلیمتر (دانه‌های گوشه‌دار)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$	۰/۳۵	۳/۲	۳/۰	۲/۹	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۲/۵	۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۳	۲/۲	۲/۲	۲/۳	۲/۱	۲/۱
	۰/۴۰	۴/۲	۳/۷	۳/۷	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۲	۳/۱	۳/۱	۳/۱	۲/۹	۲/۹	۲/۹	۲/۹	۲/۸	۲/۶
	۰/۴۵	۵/۵	۵/۰	۴/۶	۴/۳	۴/۳	۴/۲	۳/۹	۳/۷	۳/۷	۳/۷	۳/۴	۳/۳	۳/۵	۳/۵	۳/۲	۳/۱
	۰/۵۰	۶/۵	۵/۸	۵/۴	۵/۰	۵/۰	۴/۹	۴/۵	۴/۳	۴/۲	۴/۲	۳/۹	۳/۸	×	۳/۹	۳/۸	۳/۵
	۰/۵۵	۷/۲	۶/۶	۶/۰	۵/۶	۵/۷	۵/۴	۵/۰	۴/۸	۴/۷	۴/۷	۴/۵	۴/۳	×	×	۴/۳	۴/۰
	۰/۶۰	۷/۸	۷/۲	۶/۶	۶/۳	۶/۳	۶/۰	۵/۶	۵/۳	×	۵/۲	۴/۹	۴/۸	×	×	۴/۷	۴/۴
	۰/۶۵	۸/۳	۷/۸	۷/۲	۶/۹	۶/۹	۶/۵	۶/۱	۵/۸	×	۵/۷	۵/۴	۵/۲	×	×	۵/۱	۴/۹
	۰/۷۰	۸/۷	۸/۳	۷/۷	۷/۵	۷/۴	۷/۰	۶/۵	۶/۳	×	۶/۲	۵/۸	۵/۷	×	×	۵/۵	۵/۳
	۰/۷۵	—	—	۸/۲	۸/۰	۷/۹	۷/۵	۷/۰	۶/۸	×	×	۶/۲	۶/۱	×	×	۵/۸	۵/۷
	۰/۸۰	—	—	—	—	—	—	۷/۴	۷/۲	×	×	۶/۶	۶/۵	×	×	۶/۱	۶/۰
	۰/۸۵					—	—	۷/۸	۷/۶	×	×	۷/۱	۶/۹	×	×	۶/۴	۶/۳
	۰/۹۰					—	—	—	—	×	×	۷/۵	۷/۳	×	×	×	۶/۷
	۰/۹۵									×	×	۸/۰	۷/۶	×	×	×	۷/۰
	۱/۰۰									×	×	—	—	×	×	×	۷/۳

طرح اختلاط بتن و طرح اختلاط بتن : @easyconcrete

جدول الف - ۳-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۹/۵۲ میلیمتر (دانه‌های شنی گِرد)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی آب/سیمان	۰٫۴۰	۵٫۶	۵٫۰	۴٫۲	۳٫۲	۴٫۵	۳٫۹	۳٫۳	۲٫۶	۳٫۹	۳٫۵	۳٫۰	۲٫۴	۳٫۵	۳٫۲	۲٫۸	۲٫۳
	۰٫۴۵	۷٫۲	۶٫۴	۵٫۳	۴٫۱	۵٫۵	۴٫۹	۴٫۱	۳٫۲	۴٫۷	۴٫۳	۳٫۷	۳٫۰	۴٫۲	۳٫۹	۳٫۴	۲٫۹
	۰٫۵۰	—	۷٫۸	۶٫۴	۴٫۹	۶٫۵	۵٫۸	۴٫۹	۳٫۸	۵٫۴	۵٫۰	۴٫۳	۳٫۵	۴٫۸	۴٫۵	۴٫۰	۳٫۴
	۰٫۵۵	—	—	۷٫۵	۵٫۷	۷٫۴	۶٫۷	۵٫۷	۴٫۴	۶٫۱	۵٫۷	۴٫۹	۴٫۰	۵٫۳	۵٫۱	۴٫۵	۳٫۹
	۰٫۶۰	—	—	—	۶٫۵	—	۷٫۵	۶٫۴	۵٫۰	۶٫۷	۶٫۳	۵٫۵	۴٫۵	۵٫۸	۵٫۶	۵٫۰	۴٫۳
	۰٫۶۵	—	—	—	۷٫۲	—	—	۷٫۱	۵٫۶	۷٫۳	۶٫۹	۶٫۱	۵٫۰	×	۶٫۱	۵٫۵	۴٫۷
	۰٫۷۰					—	—	۷٫۷	۶٫۲	۷٫۹	۷٫۵	۶٫۷	۵٫۵	×	۶٫۶	۶٫۰	۵٫۱
	۰٫۷۵					—	—	—	۶٫۷	—	—	۷٫۲	۵٫۹	×	۷٫۱	۶٫۵	۵٫۵
	۰٫۸۰					—	—	—	۷٫۲	—	—	۷٫۷	۶٫۳	×	۷٫۶	۶٫۹	۵٫۹
	۰٫۸۵									—	—	—	۶٫۸	×	—	۷٫۳	۶٫۳
	۰٫۹۰									—	—	—	۷٫۲	×	—	۷٫۷	۶٫۷
	۰٫۹۵													×	—	—	۷٫۰
	۱٫۰۰													×	—	—	۷٫۳

کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن : @easyconcrete

جدول ب - ۳-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۹/۵۲ میلیمتر (دانه‌های شنی نامنظم)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی آب/سیمان	۰/۴۰	۴/۱	۳/۸	۳/۳	۲/۸	۳/۳	۳/۱	۲/۸	۲/۳	—	—	—	—	—	—	—	—
	۰/۴۵	۵/۱	۴/۸	۴/۳	۳/۶	۴/۱	۳/۹	۳/۵	۳/۰	۳/۵	۳/۴	۳/۲	۲/۸	۳/۲	۳/۱	۳/۰	۲/۷
	۰/۵۰	۶/۱	۵/۸	۵/۲	۴/۴	۴/۸	۴/۶	۴/۲	۳/۷	۴/۲	۴/۱	۳/۸	۳/۴	×	۳/۸	۳/۶	۳/۲
	۰/۵۵	۷/۰	۶/۷	۶/۱	۵/۲	۵/۵	۵/۳	۴/۹	۴/۳	×	۴/۷	۴/۴	۴/۰	×	۴/۴	۴/۲	۳/۷
	۰/۶۰	۷/۹	۷/۶	۷/۰	۶/۰	×	۶/۰	۵/۶	۴/۹	×	۵/۳	۵/۰	۴/۵	×	۴/۹	۴/۷	۴/۲
	۰/۶۵	—	—	۷/۸	۶/۸	×	۶/۶	۶/۲	۵/۵	×	۵/۹	۵/۶	۵/۰	×	۵/۴	۵/۲	۴/۶
	۰/۷۰					×	۷/۲	۶/۸	۶/۱	×	۶/۴	۶/۱	۵/۵	×	۵/۹	۵/۷	۵/۰
	۰/۷۵					×	۷/۸	۷/۴	۶/۷	×	۶/۹	۶/۶	۶/۰	×	۶/۴	۶/۱	۵/۴
	۰/۸۰					×	—	۸/۰	۷/۳	×	۷/۴	۷/۱	۶/۴	×	۶/۸	۶/۵	۵/۸
	۰/۸۵									×	۷/۹	۷/۵	۶/۸	×	۷/۲	۶/۹	۶/۲
	۰/۹۰									×	—	۸/۰	۷/۲	×	۷/۶	۷/۳	۶/۶
	۰/۹۵													×	×	۷/۷	۶/۹
	۱/۰۰													×	×	۸/۰	۷/۲

طرح اختلاط بتن و کانال تکنولوژی : @easyconcrete

جدول ج - ۳-۶- نسبت وزنی آب به سیمان براساس درجهٔ کارایی و برای دانه‌های با حداکثر بُعد ۹/۵۲ میلیمتر (دانه‌های گرانیتی خُرد شده)

درجه کارآیی		خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا			
شماره منحنی استاندارد		۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
نسبت وزنی $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$	۰/۴۰	۳/۷	۳/۳	۲/۸	۲/۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	۰/۴۵	۴/۵	۴/۱	۳/۵	۲/۶	۳/۸	۳/۶	۳/۰	۲/۲	۳/۳	۳/۱	۲/۷	۲/۱	—	—	—	—
	۰/۵۰	۵/۲	۴/۹	۴/۲	۳/۲	۴/۴	۴/۲	۳/۶	۲/۷	۳/۸	۳/۷	۳/۲	۲/۶	×	۳/۲	۲/۹	۲/۴
	۰/۵۵	۵/۹	۵/۶	۴/۹	۳/۸	۴/۹	۴/۸	۴/۲	۳/۲	×	۴/۲	۳/۷	۳/۰	×	۳/۷	۳/۴	۲/۸
	۰/۶۰	۶/۶	۶/۳	۵/۵	۴/۳	×	۵/۳	۴/۷	۳/۷	×	۴/۷	۴/۲	۳/۴	×	۴/۲	۳/۸	۳/۲
	۰/۶۵	۷/۳	۷/۳	۶/۱	۴/۸	×	۵/۸	۵/۲	۴/۲	×	۵/۱	۴/۶	۳/۸	×	۴/۶	۴/۲	۳/۶
	۰/۷۰	۷/۹	۷/۶	۶/۷	۵/۳	×	۶/۳	۵/۷	۴/۶	×	۵/۶	۵/۱	۴/۲	×	۵/۰	۴/۶	۴/۰
	۰/۷۵	—	—	۷/۳	۵/۸	×	۶/۸	۶/۲	۵/۰	×	۶/۰	۵/۵	۴/۶	×	۵/۴	۵/۰	۴/۴
	۰/۸۰	—	—	۷/۸	۶/۳	×	۷/۲	۶/۶	۵/۵	×	۶/۴	۵/۹	۵/۰	×	۵/۸	۵/۴	۴/۷
	۰/۸۵	—	—	—	۶/۸	×	۷/۶	۷/۱	۶/۰	×	۶/۷	۶/۳	۵/۴	×	۶/۱	۵/۸	۵/۱
	۰/۹۰	—	—	—	۷/۳	×	—	۷/۵	۶/۴	×	۷/۱	۶/۷	۵/۸	×	۶/۴	۶/۱	۵/۴
	۰/۹۵					×	—	۷/۹	۶/۸	×	۷/۵	۷/۱	۶/۱	×	۶/۷	۶/۴	۵/۷
	۱/۰۰					×	—	—	۷/۲	×	۷/۸	۷/۵	۶/۵	×	۷/۰	۶/۷	۶/۱
	۱/۰۵									×	—	۷/۸	۶/۹	×	۷/۳	۷/۰	۶/۴
	۱/۱۰									×	—	—	۷/۲	×	۷/۶	۷/۳	۶/۷
	۱/۱۵													×	×	۷/۶	۷/۰
	۱/۲۰													×	×	۷/۹	۷/۳

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

مسائل:

۱ـ مسئله شماره ۱ فصل قبل را، با فرض آنکه مصالح شنی و ماسه‌ای موجود به صورتی مخلوط شوند که بر منحنی شماره ۳ BS منطبق شده باشند (بزرگترین بعد دانه‌ها را تقریباً ۲۰mm فرض کنید)،درنظرگرفته ومقادیرلازم رابرای ساخت ۱ متر مکعب بتن براساس روش BS تعیین نمائید.

۲ـ در نظر است با استفاده از دپوهای چهارگانه موجود در یک کارگاه که دانه‌بندی آن مطابق جدول است بتنی ساخته شود که دارای مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای $۲۳۰kg/m^۲$ و اسلامپی در حدود ۷cm باشد. نظارت کارگاهی در هنگام اجرای بتن بصورت غیر مداوم است. دانه‌های شنی از نوع نامنظم با وزن مخصوص ۲٫۷، وزن مخصوص ظاهری $۱۶۰۰ kg/m^۳$ و رطوبت ۲ درصد و دانه‌های ماسه با وزن مخصوص ۲٫۶، وزن مخصوص ظاهری $۱۷۰۰kg/m^۳$ ، رطوبت ۵ درصد و ضریب ری کردن ۱٫۳۵ موجود است. سیمان مصرفی تیپ ۳ با چگالی ۳٫۱۵ و وزن مخصوص ظاهری $۱۵۰۰kg/m^۳$ است، مقادیر وزنی و حجمی اجزاء مختلف را برای ساخت $۱m^۳$ بتن براساس روش BS تعیین نمائید.

اندازه الک	درصد رد شده			
	۱	۲	۳	۴
۴۰mm	۱۰۰	۱۰۰	–	
۲۰mm	۵	۹۸	۱۰۰	
۱۰mm	۲	۳	۹۶	–
۴٫۷۵mm	–	۱	۷	۱۰۰
۲٫۳۶mm		–	–	۸۵
۱٫۱۸mm				۷۰
۶۰۰ μ				۳۲
۳۰۰ μ				۱۶
۱۵۰ μ				۲

@easyconcrete : کانال تکنولوژی و طرح اختلاط بتن

۳ـ دو معدن شن و ماسه به نسبتی مخلوط شده‌اند که دانه‌بندی حاصل منطبق بر منحنی شمارهٔ ۲ BS شده است. اندازهٔ بزرگترین دانه‌های شن، ۲۰ میلیمتر و شکل دانه‌ها نامنظم است. از این دانه‌بندی برای تهیه بتنی هوادار با درصد هوای ۵٪ و اسلامپی در حدود ۸ سانتیمتر و مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع جهت تعمیر بسیار فوری سطح باند فرودگاه استفاده می‌شود. وزن مخصوص دانه‌های دپو به صورت درهم برابر ۲٫۷ و درجه کنترل معمولی فرض می‌شود. برای ساخت یک متر مکعب بتن به چه مقادیر وزنی از مصالح نیاز است.

۴ـ در طرح یک مخلوط بتنی با روش BS و با کنترل کیفیت متوسط، به مقاومت نمونهٔ استوانه‌ای ۲۸ روزه ۲۲۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیاز است. جهت بازکردن سریع قالبها از سیمان تیپ III استفاده می‌شود. از طرفی برای قادر بودن به جدا کردن قالبها پس از سه روز، لازم است بتن حداقل به مقاومت نمونه استوانه‌ای ۱۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع رسیده باشد. در ساخت این بتن، چه نسبت آب به سیمانی باید انتخاب شود.