جزوه درس :

فناوری بتن

فصل اول

اجزاء تشکیل‌دهندهٔ بتن و خواص آنها

امروزه بتن و فولاد مصرف زیادی در کارهای ساختمانی دارند و بسته به نوع ساختمان و بهره‌برداری، سازه‌های بتنی و فولادی طراحی و ساخته می‌شود. لکن سازه‌های بتنی بنابه دلائل زیر نسبت به سازه‌های فولادی ارجحیت دارد :

۱- شکل‌پذیری بتن از فولاد بهتر و بیشتر است.

۲- مصالح اولیه بتن در اکثر نقاط یافت می‌شود.

۳- سازه‌های بتنی در برابر آتش‌سوزی مقاومت خوبی دارند و حتی تا ۲۴ ساعت دوام می‌آورند. (بدیهی است در ظرف مدت مذکور حتی بزرگترین آتش‌سوزیها را می‌توان مهار کرد) در حالیکه سازه‌های فولادی زمان بسیار کوتاهتری در برابر آتش‌سوزی مقاومت می‌کنند.

۴- مقاومت فشاری قابل قبول : بتن دارای مقاومت فشاری خوب و قابل قبول بوده و تنها ضعف آن کمی مقاومت در برابر کشش می‌باشد.

مواد تشکیل‌دهنده بتن

۱- سیمان[1] : حدود ۷ الی ۱۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهد.

---

1 - Cement

۲- آب[1] : حدود ۱۴ الی ۲۱ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهد.

۳- دانه‌های سنگی[2] (شن و ماسه) : حدود ۶۰ الی ۷۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهد.

۴- هوا[3] :

(الف) : در بتن بدون هوا میزان حجم هوای موجود بین ۰/۵ تا ۳ درصد است.

(ب) : در بتن هوادار میزان حجم هوای موجود بین ۴ الی ۸ درصد است.

توضیح آنکه : بتن بدون هوا به حالت معمولی ساخته می‌شود و حبابهای درشت و مضر هوا در آن وجود دارد. لیکن در بتن هوادار عمداً سعی می‌شود در آن حبابهای ریز هوا ایجاد شود این کار با استفاده از مواد مضاف هوازا یا سیمان هوازا انجام می‌شود. حبابهای هوای ایجاد شده عمدی، کوچک و از ۰/۵ میلیمتر ریزتر هستند که وجود آنها در بتن موجب افزایش دوام بتن می‌شود.

۵- مواد مضاف[4] : مواد شیمیایی هستند که به میزان جزئی و به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط اضافه می‌شوند تا خواص مطلوب مورد نظر را در بتن ایجاد کنند.

سیمان

به هر ماده چسبنده‌ای سیمان اطلاق می‌شود. لکن به ماده چسباننده مصالح سنگی در بتن، سیمان هیدرولیکی و اصطلاحاً سیمان گویند.

سیمان، چسبی است که پس از مخلوط با آب به صورت دوغاب سیمان یا خمیر سیمان دور دانه‌ها را آغشته و آنها را بهم می‌چسباند. لذا نقش سیمان در بتن صرفاً چسباندن دانه‌ها به یکدیگر بوده و بخودی خود تأثیری در مقاومت و باربری ندارد، از این جهت بتن خوب بتنی است که وقتی در آزمایشگاه نمونه‌ای از آن را بشکنند دانه‌های سنگی آن از وسط شکسته شود و سیمانها (چسب) پاره نشود.

---

1 - Water 2 - aggregates 3 - air

4 - admixtures

مواد اولیه سیمان

مواد اولیه سیمان عمدتاً از خاک رس و آهک تشکیل می‌شود که شامل مواد زیر است :

آهک	CaO	حدود ۶۳ درصد
سیلیس	SIO_2	حدود ۲۰ درصد
آلومین	AL_2O_3	حدود ۶ درصد
اکسید آهن	Fe_2O_3	حدود ۳ درصد
اکسید منیزیم	MgO	حدود ۱/۵ درصد

سیلیس، آلومین، اکسیدآهن و اکسید منیزیم در خاک رس وجود دارد. برای ساخت سیمان در کشور ما یا از گلاهک استفاده می‌شود یا از آهک و خاک رس که آنها را به نسبت مناسب با هم مخلوط می‌نمایند. معمولاً سیمان را به دو روش می‌سازند :

(الف) روش تر :

برای ساخت سیمان براساس روش تر مواد اولیه (آهک + خاک رس) را به نسبت مناسب با ۵۰ درصد آب با هم مخلوط کرده و آنها را بصورت لجن درکوره دوار استوانه‌ای تحت حرارت ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد قرار می‌دهند که پس از پخت به صورت دانه‌هایی به رنگ سبز تیره درمی‌آید که به آن کلینکر گفته می‌شود. درشتی دانه‌های کلینکر بین ۰/۵ الی ۲ سانتیمتر است. با آسیاب کردن این‌دانه‌ها،که‌به منظوربهترترکیب شدن‌آنها باآب انجام می‌شود، سیمان حاصل می‌شود.

(ب) روش خشک :

مواد اولیه را ابتدا پودر نموده و سپس حدود ۱۲ درصد وزنی به آن آب می‌افزایند و مخلوط را در کوره حرارت می‌دهند تا بصورت کلینکر درآید.

لازم به ذکر است که در هر دو روش تر و خشک، کلینکر حاصل را همراه با ۲ الی ۳ درصد سنگ

گچ آسیاب می‌کنند. اضافه کردن گچ به این دلیل است که از گیرش سریع سیمان در مراحل اولیه ساخت بتن جلوگیری شده و فرصت کافی جهت مصرف بتن ایجاد شود.

مواد شیمیائی موجود در سیمان

۱- تری‌کلسیم سیلیکات : ($3CaO , SiO_2$) **با علامت اختصاری** (C_3S)

این ماده سریعاً وارد واکنش‌های شیمیائی شده و بتن را سفت می‌کند. C_3S در هنگام ترکیب با آب گرمای زیادی ایجاد می‌کند. (۱۲۰ کالری بر گرم)

ضرر عمده C_3S این است که سبب می‌شود مقاومت بتن در برابر حمله سولفاتها کاهش یابد.

۲- دی‌کلسیم سیلیکات : ($2CaO , SiO_2$) **با علامت اختصاری** (C_2S)

خصوصیات C_2S برخلاف C_3S می‌باشد، بدین معنی که گیرش اولیه دی‌کلسیم سیلیکات کم است و بعد از ۲ تا ۷ روز و حتی تا یک ماه، به تدریج وارد عملیات شیمیائی می‌شود. (به عبارت دیگر دیرگیر است) این ماده در هنگام گرفتن گرمای کمی تولید می‌کند. (حدود ۶۲ کالری بر گرم)

۳- تری‌کلسیم آلومینات : ($3CaO, AL_2O_3$) **با علامت اختصاری** (C_3A)

این ماده همان خواص (C_3S) را دارد، بدین معنی که درگیرش اولیه سیمان دخالت می‌کند و از طرفی مقاومت بتن را در مقابل حمله سولفاتها می‌کاهد. در هنگام گیرش گرمای بیشتری نسبت به سایر اجزاء سیمان تولید می‌کند. (۲۱۰ کالری بر گرم)

۴- تتراکلسیم‌آلومینوفریت: ($4CaO , AL_2O_3 , Fe_2O_3$) **با علامت اختصاری** (C_4AF)

از نظر گیرش حد متوسط را دارد و حدود ۱۰۰ کالری بر گرم گرما آزاد می‌کند.

انواع سیمانهای استاندارد: (پرتلند)

۱- سیمان تیپ یک (I)، (سیمان معمولی)

همان سیمان معمولی بوده و در شرایط آب و هوای عادی مصرف می‌شود. همچنین در جایی بکار می‌رود که از نظر سولفات مشکلی وجود نداشته باشد.

۲- سیمان تیپ دو (II)، (سیمان متوسط)

این سیمان از نظر خواص متوسط است، بدین معنی که تا حدی کندگیر بوده و نیز تا حدی در مقابل حمله سولفاتها مقاوم است.

برای ساخت این سیمان سعی می‌شود تا حد ممکن از مقدار (C_3A , C_3S) کاسته و (C_2S) را افزایش دهند.

۳- سیمان تیپ سه (III)، (سیمان زودگیر)

این سیمان تقریباً اجزاء اولیه سیمان تیپ (I) را دارد، با این تفاوت که به شدت ریزتر آسیاب شده و به همین جهت گیرش سریعتری دارد.

موارد مصرف سیمان تیپ (III) :

الف : در هوای سرد (حدود ۴ درجه سانتیگراد)، در دمای زیر صفر درجه کاربرد این سیمان به تنهایی کفایت نمی‌کند و لذا در یخبندان علاوه بر مصرف این سیمان مسائل دیگری نیز باید رعایت شود (مثلاً مصرف ضد یخ). سیمان تیپ (III) در ساعات اولیه مصرف، حرارت قابل توجهی آزاد می‌کند و باعث گرم شدن بتن می‌شود.

ب : مراقبت از بتن در هوای سرد بسیار مشکل است و هزینه مراقبت در هوای سرد بالاست. سیمان زودگیر طول دوره مراقبت راکم‌کرده و موجب می‌شود بتن زودتر به مقاومت موردنظر برسد.

ج : در تعمیرات فوری، مثلاً تعمیر قسمتی از سازه‌هایی که باید سریعاً مورد بهره‌برداری قرار گیرند، این سیمان کاربرد زیادی دارد و موجب می‌شود بتن سریعاً به مقاومت موردنظر رسیده و ظرف مدت کوتاهی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

د - در جاهایی که به دلیل محدودیت امکانات قالب، بخواهند قالبها را زودتر باز کنند، نیز این سیمان کاربرد دارد.

۴- سیمان تیپ چهار (IV)، (سیمان دیرگیر)

سیما تیپ چهار کندگیر بوده و در هنگام گیرش حرارت کمی تولید می‌کند. مقدار C_3A و C_3S موجود در این سیمان در مقایسه با انواع دیگر سیمان، کمتر بوده و در مقابل C_2S زیادتری بکار برده شده است.

موارد مصرف سیمان تیپ (IV) :

الف : در هوای گرم و در دمای بالای ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتیگراد برای تسهیل مراقبت از بتن بکار می‌رود. مصرف این سیمان در هوای گرم و در جایی که تبخیر بالاست باعث می‌شود که لااقل دمای تولید شده توسط بتن در عملیات گیرش کمتر شود، زیرا گرمای حاصل از عملیات هیدراسیون در طول مدت زمان بیشتری آزاد می‌شود.

از طرفی اجزاء موجود در این سیمان در مقایسه با سایر سیمانها (C_3A و C_3S کمتر و C_2S بیشتر) این سیمان را خودبخود کم حرارت‌تر می‌کند.

ب : مصرف این سیمان در هوای گرم باعث جلوگیری از اتصال سرد می‌شود.

توضیح :

در بتن‌ریزی دیوارها (دیوار مخزن آب و یا استخر) که طول دیوار زیاد است چون بتن‌ریزی لایه‌لایه انجام می‌گیرد، ممکن است فاصله زمانی حدود نیم‌ساعت یا بیشتر طول بکشد تا لایه بتن جدید روی بتن قبلی ریخته شود، بدین ترتیب در هنگام ریختن بتن لایه جدید، بتن لایه قبلی سفت شده و اتصال خوبی بین دو لایه برقرار نمی‌شود. این اتصال ضعیف بین لایه‌های بتن قدیم و جدید را اتصال سرد می‌گویند که ضعف بتن‌ریزی به شمار می‌رود، به خصوص اگر سازه یک سازه‌آبی باشد، این اتصال نقطه ضعفی برای نشت آب خواهد بود. مصرف سیمان تیپ چهار در چنین مواردی باعث می‌شود که فرصت کافی برای بتن‌ریزی باشد و لایه‌های قبلی هنوز وارد واکنش نشده باشند تا بتوانند با لایه‌های جدید اتصال مناسبی را برقرار نمایند.

ج : در بتن‌ریزی‌های حجیم به منظور کاهش تنش‌های حرارتی می‌توان از این سیمان استفاده کرد. بتن حجیم بتنی را گویند که طول و عرض و ارتفاع آن زیاد باشد مانند بتن ریزی سدها و یا پایه‌های پل. از اشکالات بتن‌ریزی حجیم، ایجاد تنش‌های حرارتی است، بدین صورت که به دلیل حجیم بودن بتن، تبادل حرارتیِ عمق بتن با محیط بیرونی، کندتر صورت می‌گیرد، و بنابراین هنگامی که بتن سفت شده، هنوز دمای قسمتهای مرکزی آن با محیط اطراف، یکنواخت نشده است از این لحظه به بعد تغییر دمای بتن در راستای تبادل حرارتی با محیط خارج، همراه با ایجاد تنش‌های حرارتی خواهد بود.

استفاده از سیمان تیپ (IV) سبب می‌شود که اولاً دمای قسمتهای میانی بتن حجیم کمتر از بتن مشابه ساخته شده با سیمان تیپ (I) باشد (چون سیمان تیپ (IV) هم کم حرارت‌تر است و هم دمای خود را در طول زمان بیشتری آزاد می‌کند) و ثانیاً فرایند سفت شدن بتن طولانی‌تر بوده و در این مدت قسمت اعظم از تبادل حرارتی بتن با محیط اطراف صورت پذیرد. قابل ذکر است که برای جبران تنش حرارتی در بتن، گاهی آرماتورهایی موسوم به آرماتورهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵- سیمان تیپ پنج (V) ، (سیمان ضدسولفات)

در ساخت این سیمان سعی می‌شود حتی‌الامکان C_3S و C_3A را به حداقل برسانند و در مقابل C_2S بیشتری مصرف نمایند.

این سیمان برای مصرف در بتن‌هایی که در معرض حمله سولفاتها قرار دارد، مناسب است و به همین جهت به سیمان ضدسولفات شهرت دارد.

۶- سیمان تیپ (I - A)

این سیمان همان سیمان تیپ (I) بوده که با اضافه کردن مواد مناسبی به آن خاصیت هوازائی نیز در آن ایجاد شده است.

۷- سیمان تیپ (II - A)

این سیمان همان سیمان تیپ (II) می‌باشد که هوازا هم هست.

۸- سیمان تیپ (III - A)

همان سیمان تیپ (III) بوده که هوازا نیز هست.

سیمان سفید

رنگ تیره سیمان به دلیل وجود سولفات آهن و سولفات منیزیم در سیمان است، همچنین دوده ناشی از سوخت نیز باعث رنگ تیره سیمان می‌شود. پس برای سفید شدن سیمان باید سولفات آهن و منیزیم از سیمان حذف شود و همچنین از سوخت مناسب و بدون دوده استفاده شود.

به همین جهت برای تولید سیمان سفید، از خاک رسی که میزان سولفات آهن و منیزیم آن از ۰٫۸ درصد کمتر است استفاده می‌کنند و برای جبران همین مقدار اندک سولفات آهن و منیزیم، مقداری نشادر اضافه می‌نمایند. از طرفی سوخت کوره را به نحوی انتخاب می‌کنند که تولید دوده نکند (مثلاً از گاز استفاده می‌کنند).

سیمانهای رنگی

سیمانهایی به رنگهای قرمز - زرد - آبی و ... ، همان سیمانهای عادی هستند که در ساخت آنها از ۲ الی ۱۵ درصد پودر سنگهای رنگی استفاده شده است.

معمولاً در ساخت سیمانهای رنگی روشن از سیمان سفید استفاده می‌شود (که سبب افزایش قیمت می‌شود) و در ساخت سیمانهای رنگی تیره از سیمان معمولی استفاده می‌شود.

معمولاً در تهیه سیمان با رنگ سبز از سنگهای کرم‌دار، سیمان آبی‌رنگ از سنگهای کبالت‌دار، سیمان زردرنگ از سیمان آهن‌دار (به صورت هیدروکسید آهن یا هماتیت)، سیمان قرمزرنگ از اکسیدآهن به‌صورت فریت (Fe_2O_3) وسیمان سیاه از اکسیدآهن دوظرفیتی (FeO) استفاده می‌شود.

سیمان پرتلند سرباره‌ای

برای تهیه این سیمان، سیمان معمولی را با ۲۵ الی ۶۵ درصد پودر سرباره کوره ذوب آهن مخلوط می‌کنند و به عنوان سیمان پرتلند سرباره‌ای به مصرف می‌رسانند.

مقاومت سیمان سرباره‌ای از سیمان معمولی کمتر بوده و در مقابل ارزان قیمت‌تر از سیمان معمولی است.

در آجرچینی، در بتن‌ریزی کف‌ها و اصولاً در هر جا که مقاومت‌های بالا مورد نیاز نباشد، می‌توان از این سیمان استفاده کرد. ضمناً این سیمان کمی ضد سولفات و تا حدودی کندگیر است (در حد سیمان تیپ II).

سیمان پوزولانی (سیمان خاکستر آتش‌فشانی)

این سیمان را از مخلوط کردن ۱۵ الی ۴۰ درصد پوزولان با کلینکر سیمان معمولی و آسیاب کردن این مخلوط بدست می‌آورند، در ایران معادن پوزولان زیادی وجود دارد که می‌توان از آنها در تولید این سیمان استفاده کرد. جنس پوزولان سیلیکات و تقریباً شبیه سیمان است، منتهی واکنش‌های مشخص سیمان را ندارد.

با توجه به ارزانی این سیمان، برای مصرف کارهای عادی نظیر آجرچینی مناسب است. این سیمان کندگیر بوده و تا حدودی نیز ضدسولفات است.

سیمان بنایی

این سیمان را مهندس یا مجری بسته به مورد تهیه می‌کند. این سیمان در حقیقت مخلوطی است از سیمان عادی به اضافه مواد پرکننده دیگری چون خاک رس پودر شده یا هیدروکسید کلسیم (آهک آب دیده و پودر شده) یا سنگ آهک پودر شده که نسبت اختلاط آن حدود ۷۰ درصد سیمان و ۳۰ درصد مواد دیگر است.

سیمان چاه نفت

این سیمان را با افزودن بعضی مواد شیمیایی خاص به کلینکر سیمان معمولی بدست می‌آورند. سیمان چاه نفت در درجه حرارت و فشار بالا مقاوم است.

سیمان انبساطی ، (سیمان ضد افت)

این سیمان را با افزودن مواد شیمیائی مخصوص (مانند سولفوآلومینات) بـه کـلینکر سیمـان معمولی‌بدست‌می‌آورند.سیمان‌ضد افت در هنگام ترکیب با آب انبساط پیدا می‌کند که افزایش حجم این سیمان (یا افزایش حجم بتن ساخته شده با این سیمان) باکاهش‌حجم‌ناشی‌ازافت خنثی می‌شود.

سیمان آلومینیم

بسیار زودگیر است به صورتیکه نزدیک به ۸۰ درصد مقاومت خود را در همان ۲۴ ساعت اول بدست می‌آورد (بعبارت دیگر گیرش ۲۴ ساعت سیمان آلومینیم معادل گـیرایـی حـدود ۱۰ روز سیمان معمولی است). حتی می‌توان بین ۶ الی ۸ ساعت پس از ریختن بتن حاوی این سیمـان، قالبها را از آن باز کرده و بتن‌ریزی بعدی را انجام داد. مقاومت این سیمان در مقابل حمله سولفاتها و نیز در مقابل عملکرد آبهای حاوی CO_2 که به صورت اسیدکربنیک عمل می‌کنند بسیار رضایتبخش است. این سیمان بسیار گران‌قیمت بوده و برای کارهای ویژه و در موارد خاص بکار گرفته می‌شود. این سیمان از ۴۰ درصد آلومین، ۴۰ درصد آهک، ۸ درصد سیلیکا و مقداری آهن و اکسیدهای آن تشکیل شده است که معمولاً از مصالح اولیه سنگ آهک یا گچ و بوکسیت ساخته می‌شود.

انبار کردن سیمان

همواره باید سعی شود سیمان در معرض رطوبت نباشد چون سیمان مکنده رطوبت است و حتی هوای مرطوب هم سیمان را خراب می‌کند.

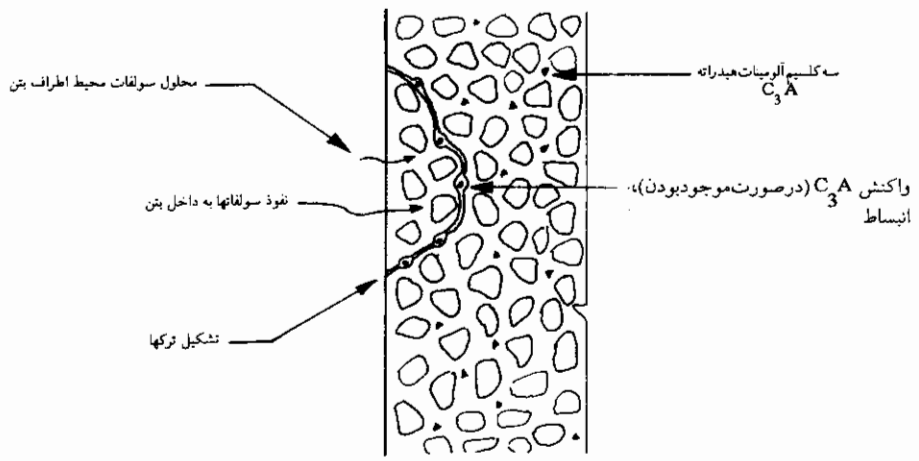
سیمان به دو صورت فله‌ای و پاکتی عرضه می‌شود. در انبار کردن سیمان به صورت فله‌ای باید شرایطی فراهم شود که کف انبار (زیر سیمان) کاملاً خشک باشد، لذا می‌توان در کف مقداری شن

خشک پهن کرد تا از نفوذ رطوبت به طرف بالا جلوگیری شود. همچنین بهتر است روی سیمان پلاستیک کشیده شود.

سیمان پاکتی را روی سطوح تخته‌ای با شکل و ابعاد مشخص بنام «پالت» انبار می‌کنند. پالتها از کف با زمین حداقل ۱۰ سانتیمتر فاصله دارند و حداکثر تا ۸ ردیف سیمان پاکتی روی آنها چیده می‌شود. همچنین بین پالتهای مختلف که حدود ۵۰ پاکت سیمان روی آنها چیده شده باشد، حداقل ۰٫۵ متر فاصله جهت عبور جریان هوا لازم است. سیمان پاکتی را تحت شرایط صحیح تا یک سال می‌توان در انبار نگهداری کرد.

حمله سولفاتها و روش مقابله با آن

در پایان بحث سیمان جا دارد که به مسئله حملهٔ سولفاتها در بتن اشاره‌ای شود. حمله سولفاتها واکنش‌هایی همراه با ازدیاد حجم است که این ازدیاد حجم در بتن سخت شده ایجاد تنش‌های فشاری را به دنبال خواهد داشت، تا حدی که افزایش این تنش‌های فشاری منجر به خردشدن بتن و گاهی پودر شدن بتن می‌شود. اکثر این واکنش‌های همراه با افزایش حجم، بین سولفاتها و C_3A موجود در سیمان انجام می‌گیرد که ۲۲۰٪ افزایش حجم را به دنبال خواهد داشت. همچنین $Ca(OH)_2$ موجوددربتن‌می‌تواندباسولفاتهاواکنشی‌با ۱۲۰٪افزایش‌حجم‌داشته باشد. (تصویر ۱-۱)



تصویر ۱-۱ : حمله سولفاتها

بسته به میزان سولفاتهای موجود در مجاورت بتن، می‌توان به روشهای مختلف به مقابله با حمله سولفاتها پرداخت.

جدول زیر یک راهنمایی کلی از این روشها را در بردارد :

	آبهایی که بعداً به بتن می‌رسد	سولفاتهای قابل حل در آب	
سیمان مناسب	سولفات در آب (قسمت در میلیون، ppm)	درصد سولفات محلول در نمونه خاک	درجه نسبی حمله سولفات
سیمان تیپ I	۰ - ۱۵۰	۰/۰ - ۰/۱	قابل اغماض
سیمان تیپ II	۱۵۰ - ۱۵۰۰	۰/۱ - ۰/۲	ضعیف
سیمان تیپ V	۱۵۰۰ - ۱۰۰۰۰	۰/۲ - ۲	شدید
سیمان تیپ V همراه با پوزولان یاسیمان‌پوزولانی تیپ V	۱۰۰۰۰ یا بیشتر (۱٪ و بیشتر)	۲ درصد یا بیشتر	خیلی شدید

در ارتباط با جدول فوق، توجه به نکات زیر ضروری است :

۱- ممکن است خاکی که در آن شالوده ساختمان ساخته می‌شود، سولفاتی باشد همچنین امکان دارد خاک سولفاتی نباشد، اما پیش‌بینی شود آبی که در آینده از بالادست به شالوده می‌رسد سولفاتی باشد، و یا مثلاً آب زیرزمینی سولفاتی بوده و امکان داشته باشد در آینده بالا زده و به سازه بتنی نفوذ کند.

۲- در مواردی که خاک سولفاتی است باید به این نکته توجه کرد که بعضی از سولفاتهای موجود در خاک ممکن است در آب حل نشوند در هر حال آن سولفاتهایی مضرند که در آب قابل حل هستند.

۳- با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که خطر آبهای سولفات‌داری که ممکن است بعداً به شالوده برسند به مراتب بیشتر از خطر خاک سولفات‌داری است که در آن شالوده بنا شده است، چون

سولفات آب به صورت محلول بوده ولی سولفات خاک، در طول زمان و تحت شرایط مناسب در آب حل می‌شود و حل سولفات خاک در آب به راحتی امکان‌پذیر نیست.

۴- از خصوصیات سیمان تیپ (V) این است که C_3A آن نسبت به سیمانهای دیگر کمتر و بالنتیجه واکنش‌های همراه با افزایش حجم آن نیز کمتر است ولی بهرحال مقداری C_3A دارد. از خصوصیات پوزولان این است که حالت پوکی داشته و می‌تواند افزایش حجم ناشی از حمله سولفاتها را تحمل کند و از ایجاد تنش اضافی در بتن جلوگیری نماید. به همین جهت اگر درجهٔ حمله سولفاتها خیلی شدید باشد، به کار بردن پوزولان همراه با سیمان تیپ V توصیه می‌شود.

برای اضافه نمودن پوزولان به سیمان تیپ (V) حدی قائل نشده‌اند و معمولاً تا حد ۲۰٪ پوزولان ضرر عمده‌ای به مقاومت وارد نمی‌کند. بهرحال تعیین اینکه چند درصد پوزولان به سیمان تیپ (V) اضافه شود با مهندس کارگاه است.

آب

آب نقش بسیار اساسی و مهم در بتن دارد به همین جهت استفاده از آب مناسب در بتن همواره باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از آب نامناسب در ساخت بتن مسائل و مشکلات زیر را بدنبال خواهد داشت :

۱- زمان گیرش سیمان به تأخیر افتاده، بتن دیرگیر می‌شود.

۲- باعث افت مقاومت نهایی بتن می‌شود (گاهی تا ۳۰٪ مقاومت را کاهش می‌دهد).

۳- موجب خوردگی و زوال تدریجی میلگردها می‌شود.

۴- روی سطح بتن خشک شده نهایی، لکه‌هایی را ایجاد می‌کند که این مسئله به خصوص در بتن‌هایی که سطح آنها در نما قرار می‌گیرد حائز اهمیت است.

آب مناسب برای ساخت بتن چگونه آبی است

بطورکلی می‌توان گفت آب بکار رفته در ساخت بتن باید پاک و عاری از هرگونه ناخالصی باشد. یا بعبارت دیگر قابل شرب باشد. در یک ملاحظه کلی می‌توان گفت آبی برای ساخت بتن مناسب

است که دارای خواص زیر باشد :

۱- اسیدی و بازی نباشد. (PH بین ۶ تا ۸)

۲- درصد کربنات‌هایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

۳- درصد جامدات (ذرات معلق) در آن (مانند سیلت) کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

۴- درصد کلرورهایش کمتر از ۰/۰۵ درصد باشد.

۵- درصد سولفاتهایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

تذکر (۱) - آبی که باعث شود افت مقاومتی بیش از ۱۰٪ در بتن ایجاد شود (نسبت به بتن با ویژگیهای مشابه منتهی با آب خالص) برای بتن‌سازی مناسب نیست.

تذکر (۲) - چنانچه آب صاف و مناسب برای ساخت بتن موجود نبود اکثراً حمل آب از مناطق دورتر، از تصفیه و اصلاح آب نامناسب ارزان‌تر تمام می‌شود که این مسئله باید مورد بررسی قرار گیرد.

شرایط آب مناسب برای بتن‌سازی به صورت دقیق‌تر و با نتایج آزمایشگاهی

۱- کربنات‌های قلیایی :

کربنات‌های قلیائی موجود در آب باید از ۰/۱ درصد یا ppm ۱۰۰۰ کمتر باشد. همچنین جمع درصد کربنات سدیم و کربنات پتاسیم باید از ppm ۱۰۰۰ یا ۰/۱ درصد کمتر باشد.

۲- کلرورها :

کلرورها بر روی میلگردها اثر نامطلوب داشته و موجب خوردگی آنها می‌شوند. لذا میزان مجاز کلرورها در آب بسته به نوع بتن و اهمیت آن متفاوت است.

مقدار مجاز کلرور در آب برای بتن پیش تنیده حداکثر ۰/۰۶ درصد وزنی، برای بتن آرمه در محیط مرطوب و در مجاورت کلرور ۰/۱ درصد وزنی، و برای بتن آرمه در محیط مرطوب و غیرمجاور در محیط کلرور ۰/۱۵ درصد وزنی است.

مقدار کلرور در آب مصرفی برای بتن آرمه‌ای که در محیط خشک قرار می‌گیرد محدودیتی ندارد.

۳- سولفات‌ها :

مجموع سولفات‌های موجود در آب نباید از ۰/۳ درصد تجاوز کند. از بین سولفات‌ها، سولفات

سدیم و سولفات منیزیم از همه نامناسب‌تر هستند، بطورکلی سولفات‌ها مقاومت بتن را کاهش می‌دهند.

۴-کربنات‌ها :

جمع کربنات کلسیم و منیزیم موجود در آب مورد استفاده در ساخت بتن اگر تا ۰٫۴ درصد باشد، مضر تلقی نمی‌شود.

۵- نمکهای آهن :

جمع مقدار نمکهای مختلف آهن در آب بتن تا حد ۴ درصد، معمولاً به صورت قابل توجهی بر مقاومت بتن تأثیر نمی‌گذارد. لکن باید سایر تأثیرات احتمالی را نیز مدنظر قرار داد.

۶- نمکهای منگنز - قلع - روی - سرب :

جمع این نمکها نباید از ۰٫۵ درصد بیشتر باشد.

۷- سولفور سدیم :

از نامناسب‌ترین ناخالصی‌های آب بتن است، و مقدار مجاز آن حداکثر ۰٫۱٪ درصد است.

۸- آب دریا :

آب دریا دارای ۳٫۵ درصد نمک، شامل کلرورها، سولفاتها و ... است و بتن ساخته شده با آن دارای ۱۵ درصد افت مقاومت نسبت به نمونه مشابه ولی با آب خالص است، از طرفی کلر موجود در آب دریا موجب خوردگی میلگردها در طول زمان می‌شود.

بنابراین استفاده از آب دریا در بتن آرمه مجاز نیست و فقط می‌توان از آن در موارد اضطراری و به صورت محدود در ساخت بتن‌های غیرمسلح استفاده کرد.

۹-گل و لای :

گل و لای به دو صورت در آب موجود است :

۱- رس، که آب را گل‌آلود می‌کند.

۲- ریزدانه‌های معلق.

مقدار گل و لای مجاز در آب، ۰٫۲ درصد وزن آب یا ppm ۲۰۰۰ است.

چنانچه میزان گل و لای آب بیش از حد مجاز بود، ابتدا آب را به حوضچه‌های ته‌نشینی هدایت

نموده و ظرف مدت ۲۴ ساعت آن را به صورت راکد نگه می‌دارند. پس از گذشت ۲۴ ساعت ریزدانه‌های معلق و قسمت زیادی از رس ته‌نشین شده و آب قابل استفاده جهت بتن‌سازی می‌شود.

آب حاوی گل و لای از این نظر برای ساخت بتن مضر است که گل و لای به صورت یک حائل به اطراف دانه‌های سنگی چسبیده و مانع آن می‌شود که سیمان دانه‌ها را به خوبی به یکدیگر بچسباند.

۱۰- چربیها :

چربیهای موجود در آب معمولاً بر دو نوعند :

۱- چربی معدنی مانند نفت و انواع روغنهای صنعتی.

۲- چربی گیاهی یا حیوانی مانند روغن حیوانی و گیاهی.

از انواع چربیها وجود چربی معدنی در آب بتن، مضرتر است. عمده ضرر چربیها آن است که با ایجاد پوشش در سطح دانه‌ها از چسبیدن دانه‌ها به سیمان جلوگیری می‌کند.

تجربه نشان داده است بتن ساخته شده با آبی که ۲ درصد وزنی سیمان، چربی معدنی دارد (در مقایسه با نمونه مشابه ولی با آب خالص) حدود ۲۰٪ افت مقاومت داشته است.

برای حدود مجاز میزان چربی در آب بتن، حد مجازی تعیین نشده است و بررسی این مسئله در کارگاه به تشخیص ناظر و مهندس کارگاه واگذار شده است. ولی بطورکلی برای استفاده از آب چربی‌دار باید قبلاً نمونه‌هایی ساخته و نتایج را کنترل کرد. در هر حال آب‌های چربی‌دار می‌توانند برای بتن مضر باشند.

۱۱- خزه‌ها :

آبهایی که از باتلاقها یا بعضی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولاً دارای خزه است، آبهای حاوی خزه به هیچ وجه و تحت هیچ شرایطی برای بتن‌سازی مناسب نیست، زیرا اولاً خزه‌ها بر روی دانه‌ها چسبیده و از چسبندگی سیمان به دانه‌ها جلوگیری می‌کنند که این مسئله موجب افت مقاومت نهایی بتن می‌شود و ثانیاً خزه‌ها معمولاً حاوی مقدار زیادی هوا هستند، بنابراین با به کارگیری آبهای حاوی خزه، حبابهای هوای بیشتری داخل بتن شده و در نتیجه فضای خالی بتن افزایش می‌یابد، که همین امر موجب کاهش مقاومت می‌شود.

دانه‌های سنگی

دانه‌های سنگی به دو دسته دانه‌های درشت[1] یا شن[2] و دانه‌های ریز[3] یا ماسه[4] تقسیم می‌شود.

مصالح سنگی (شن و ماسه) در مجموع حدود $\frac{۲}{۳}$ تا $\frac{۳}{۴}$ حجم بتن را اشغال می‌کند. ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه‌ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه‌ها را ماسه تشکیل می‌دهد.

مرز اندازه شن و ماسه، الک استاندارد نمره ۴ (4 #) است که اندازه بعد آن $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ یا ۴٫۷۶ میلیمتر است. دانه‌های عبوری از الک نمره ۴، ماسه و دانه‌های مانده روی الک نمره ۴، شن هستند. به عبارت دیگر، دانه‌های ریزتر از ۴٫۷۶ میلیمتر را ماسه و بزرگتر از ۴٫۷۶ میلیمتر را شن می‌نامند. با کمی تقریب در کارگاه، دانه‌های ریزتر از ۵ میلیمتر ماسه و بزرگتر از ۵ میلیمتر شن محسوب می‌شود. توجه شود که دانه‌های ماسه‌ای باید از ۰٫۰۷۵ میلیمتر بزرگتر باشند.

مشخصات شن و ماسه (دانه‌ها)

۱- دانه‌ها باید کاملاً تمیز یعنی عاری از گل و لای و دیگر ناخالصی‌های شیمیائی باشند، چنانچه دانه‌ها در محل نامناسب در مجاورت برگ درختان یا کود دپو شده باشند ممکن است به مواد شیمیائی نظیر نیتراتها آلوده شوند.

میزان گل و لای مجاز برای دانه‌های شن حداکثر یک درصد است. همچنین میزان گل و لای مجاز برای دانه‌های ماسه حداکثر ۳ درصد است، مشروط بر آنکه بتن تحت سایش باشد. در صورتی که بتن تحت سایش نباشد، میزان گل و لای مجاز دانه‌های ماسه، حداکثر ۵٪ است.

۲- دانه‌ها باید در مقابل سایش مقاوم باشند. به خصوص اگر بتن در معرض رفت و آمد و تردد قرار گیرد این مسئله از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود.

۳- دانه‌ها باید در مقابل اعمال تنش مقاوم باشند.

چون دانه‌ها نقش اسکلت‌بندی (استخوان‌بندی) بتن و سیمان نقش چسباننده دانه‌ها را به عهده دارد، در صورتیکه دانه‌ها در مقابل تنش مقاوم نباشند زود شکسته و از هم گسیخته می‌شوند و بتن

---

1 - Coarse aggregates 2 - gravel 3 - fine aggregates
4 - Sand

ساخته شده با چنین مصالحی مقاومت لازم را نخواهد داشت.

دانه‌های سیلیس دارای سختی ۷ تا ۸ بوده و جزء مقاوم‌ترین دانه‌هائی هستند که در بتن مصرف می‌شوند. دانه‌های آهکی دارای سختی ۳ تا ۴ بوده و اکثراً در ساخت بتن به کار می‌روند. دانه‌های گچی یا ترکیباتی از گچ و آهک و غیره که سختی کمتر از ۳ دارند برای ساخت بتن مناسب نیستند.

۴- دانه‌ها باید در مقابل یخبندان مقاوم باشند.

مقاومت در برابر یخبندان به چند عامل بستگی دارد.

الف ـ تخلخل : هرچه تخلخل دانه‌ها بیشتر باشد، مقاومت در مقابل یخبندان کمتر است.

ب ـ نفوذناپذیری دانه‌ها : هرچه نفوذپذیری دانه‌ها بیشتر باشد، مقاومت در مقابل یخبندان کمتر است.

ج ـ مقاومت کششی دانه‌ها : هرچه مقاومت کششی دانه‌ها بیشتر باشد، مقاومت در مقابل یخبندان بیشتر است.

در این خصوص آزمایش استانداردی برای بررسی مقاومت در مقابل یخبندان وجود دارد. به این صورت که ابتدا دانه‌ها را از آب اشباع کرده و طبق ضوابط استاندارد آن را به طور متناوب تحت یخ زدن و ذوب شدن قرار می‌دهند (با تعداد سیکل مشخص) پس از آزمایش با مراجعه به جداول مربوطه مشخص می‌شود که دانه‌ها از نظر یخبندان تا چه حد مقاوم بوده‌اند.

بتن در مجاورت رطوبت قابلیت جذب آب و نشت آب دارد. بدیهی است با خیس شدن بتن دانه‌های سنگی نیز خیس شده و آب داخل حفره‌ها در اثر برودت هوا یخ می‌زند، افزایش حجم ناشی از یخ زدن آب، سبب ایجاد تنش‌های کششی در دانه‌ها می‌شود. در نهایت امکان دارد با یخ زدن و ذوب شدن‌های متوالی، دانه‌ها خسته شده و بشکنند. لذا مسئله مقاومت دانه‌ها در برابر یخبندان را باید جهت دانه‌هایی که در مناطق سردسیر مصرف می‌شوند (و یا مناطقی که در معرض یخ‌زدن و ذوب شدن‌های مکرر قرار دارد) با دقت بیشتری کنترل و مورد ملاحظه قرار داد.

۵- دانه‌ها باید در مقابل هوازدگی مقاوم باشند.

گذشت زمان به صورتیکه همراه با تغییرات رطوبت و تغییرات دما باشد، ممکن است دانه را خرد کند که به این پدیده اصطلاحاً هوازدگی گویند.

اصولاً دانه‌ها در مقابل گرم و سرد شدن‌های متوالی هوازده شده و خرد می‌شوند بخصوص اگر دانه‌ها در معرض تر و خشک شدن‌های متوالی نیز قرار گیرند.

سنگهایی که همیشه تر یا همیشه خشک هستند کمتر هوازده می‌شوند. اما سنگهایی که گاهی تر و گاهی خشک هستند، به سرعت هوازده می‌شوند. علت این مسئله تفاوت ضریب انبساط حرارتی سنگ دانه (شن و ماسه) در حالت تر و حالت خشک است. لذا دانه متناسب با تغییرات مکرر ضریب انبساط حرارتی، انقباض و انبساط پیدا کرده و مرتباً تحت کشش و فشار قرار می‌گیرد، تا اینکه به مرور زمان خسته شده و متلاشی می‌شود.

شکل و بافت سطحی و ظاهری دانه‌ها

دانه‌های موجود در طبیعت (شن و ماسه) را از نظر شکل ظاهری به پنج دسته می‌توان تقسیم کرد:

۱- گرد[1]، ۲- نامنظم[2]، ۳- گوشه‌دار[3]، ۴- پولکی شکل[4] و ۵- سوزنی شکل[5].

۱- دانه‌های گرد : دانه‌هائی هستند که در اثر فرسایش در طبیعت شکل آنها گرد و سطح آنها صاف شده است.

۲- دانه‌های نامنظم : معمولاً دارای سطح صاف و صیقلی هستند ولی شکل آنها کاملاً گرد نیست.

۳- دانه‌های گوشه‌دار : دارای سطح صاف نیستند، همچنین شکل هندسی مشخصی نداشته و اکثراً دارای گوشه‌های مشخص و تیز هستند.

۴- دانه‌های پولکی‌شکل : دانه‌هایی هستند که ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر آنها کم است.

۵- دانه‌های سوزنی‌شکل : دانه‌هایی هستند که طول آنها نسبت به دو بعد دیگر به میزان قابل‌توجهی بیشتر است.

اصولاً در بتن‌سازی از دانه‌های گرد، نامنظم و گوشه‌دار (شن و ماسه) استفاده می‌شود و

---

1 - rounded
2 - irregular
3 - angular
4 - flaky
5 - elongated

به‌کارگیری دانه‌های پولکی و سوزنی‌شکل در ساخت بتن مجاز نیست.

بطورکلی دانه‌های گِرد در مقایسه با دانه‌های نامنظم و گوشه‌دار، در بتن‌سازی کمترین مصرف سیمان را دارد. زیرا سطح ظاهری دانه‌های گرد نسبت به سطح ظاهری دانه‌های نامنظم و گوشه‌دار کمتر بوده و چون خمیر سیمان می‌بایست تمام سطح ظاهری دانه را بپوشاند، لذا این دانه‌ها به خمیر سیمان کمتر و بالتبع به سیمان کمتری نیاز دارند.

از نظر مصرف کمتر سیمان بعد از دانه‌های گرد، دانه‌های نامنظم و سپس دانه‌های گوشه‌دار قرار می‌گیرند.

از نظر مقاومت نهایی بتن، اصولاً بتنی که با دانه‌های گوشه‌دار ساخته می‌شود به دلیل امکان درگیر شدن بهتر دانه‌ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر بین آنها، مقاوم‌تر خواهد بود، به همین دلیل توصیه می‌شود که در مواردی که مقاومت خیلی بالا مورد نظر باشد (بالای ۳۵۰ یا ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) از دانه‌های گوشه‌دار استفاده شود (مثلاً از دانه‌های شکسته شده توسط سنگ‌شکن) اما در کارهای عادی که مقاومت‌های کمتر ملاک عمل است، می‌توان از دانه‌های گرد و نامنظم استفاده کرد.

توجه شود که دانه‌های سوزنی و پولکی، به هیچ وجه برای کار بتن‌سازی مناسب نیستند، زیرا اگر کل جسم بتن تحت تنش قرار گیرد، در یک موضع از این دانه‌ها تمرکز تنش ایجاد شده و در همان موضع (از کمر، وسط دانه) دانه می‌شکند، از طرفی در کمتر معدنی است که دانه‌های سوزنی و پولکی وجود نداشته باشد. لذا تصریح شده که جمع دانه‌های پولکی و سوزنی حداکثر از ۱۵ درصد وزن کل دانه‌ها تجاوز نکند.

دانه‌بندی[1]

دانه‌بندی یعنی نحوه توزیع دانه‌ها از نظر ابعاد، دانه‌بندی مصالح را با یک شاخص به نام منحنی دانه‌بندی مشخص می‌کنند.

1 - grading

تعریف : منحنی دانه‌بندی عبارت است از یک منحنی که نحوه توزیع دانه‌ها از نظر ابعاد را مشخص کند.

برای تنظیم منحنی دانه‌بندی ابتدا شن یا ماسه و یا مخلوط شن و ماسه مورد نظر را انتخاب نموده از الک‌های استاندارد عبور می‌دهند.

تعداد الک‌های استاندارد که معمولاً استفاده می‌شود ۹ عدد می‌باشد که ۵ الک در محدوده ماسه، یک الک مرز شن و ماسه و ۳ الک در محدوده شن است.

- الک مرز شن و ماسه الک نمره ۴ (4 #) بوده که بُعد شبکه‌های آن ۴٫۷۶ میلیمتر است.

- الک‌های در محدوده ماسه به شرح زیر هستند :

الک نمره ۸	۲٫۳۶ mm	# 8	
الک نمره ۱۶	۱٫۱۸ mm	# 16	
الک نمره ۳۰	۰٫۶ mm	# 30	(۶۰۰ μm)
الک نمره ۵۰	۰٫۳ mm	# 50	(۳۰۰ μm)
الک نمره ۱۰۰	۰٫۱۵ mm	# 100	(۱۵۰ μm)

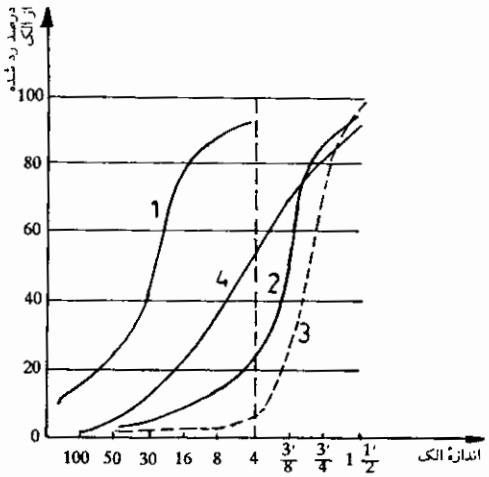
- الکهای محدوده شن به شرح زیر هستند :

الک $\frac{3}{8}''$	۹٫۵ میلیمتر
الک $\frac{3}{4}''$	۱۹٫۰۶ میلیمتر
الک $1\frac{1}{2}''$	۳۸٫۱ میلیمتر

به صورت عملی و در ایران معمولاً الک $\frac{3}{8}$ اینچ را با الک ۱۰ میلیمتر، الک $\frac{3}{4}$ اینچ را با الک ۲۰ میلیمتر و الک $1\frac{1}{2}$ اینچ را با الک ۴۰ میلیمتر نامگذاری می‌کنند.

برای رسم منحنی دانه‌بندی، ابتدا مجموعه‌ای از دانه‌ها را وزن کرده سپس از روی ۹ الک استاندارد عبور می‌دهند، آنگاه وزن دانه‌های مانده روی هر الک را اندازه‌گیری کرده و درصد آنها را نسبت به وزن کل محاسبه می‌نمایند (درصد مانده). مجموع درصدهای مانده روی الک موردنظر و الکهای بالاتر را از ۱۰۰ کم نموده تا درصد ردشده از الک مورد نظر به دست آید. سپس براساس

اندازه الک و درصد رد شده دانه‌ها از الک‌های استاندارد منحنی را رسم می‌نمایند.



تصویر ۲-۱ : نمونه‌هایی از منحنی‌های دانه‌بندی

منحنی‌های دانه‌بندی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف : منحنی دانه‌بندی پیوسته

ب : منحنی دانه‌بندی ناپیوسته (گسسته)

یک منحنی دانه‌بندی در صورتی پیوسته محسوب می‌شود که دارای دو خصوصیت زیر باشد :

۱- تمام ابعاد استاندارد در دانه‌ها موجود باشد.

۲- بعضی از ابعاد نسبت به سایر ابعاد به میزان چشمگیری بیشتر یا کمتر نباشد.

در تصویر ۲-۱ نمونه‌هایی از منحنی‌های دانه‌بندی ترسیم شده است. منحنی شمارهٔ ۱ در محدوده ماسه است و در محدوده شن و ماسه پیوسته نیست ولی در محدوده ماسه پیوسته است. منحنی شمارهٔ ۲، در محدوده شن پیوسته است، اما در محدوده شن و ماسه گسسته است. منحنی شمارهٔ ۳ دارای شن و ماسه است اما در محدوده کوچکی (از الک $\frac{3''}{4}$ تا $\frac{3''}{8}$) در حدود ۶۰ درصد کل دانه‌ها قرار گرفته‌اند، یعنی بعضی از ابعاد دانه‌ها به صورت چشمگیر نسبت به سایر ابعاد دانه‌ها بیشتر

هستند. (این منحنی گسسته است). منحنی شمارهٔ ۴ یک منحنی دانه‌بندی است که در محدوده شن و ماسه پیوسته بوده دارای تمام ابعاد دانه‌ها هست.

به دلایل زیر اکثراً در ساخت بتن سعی می‌شود که از مصالح با دانه‌بندی پیوسته استفاده شود :

۱- با استفاده از شن و ماسه با دانه‌بندی پیوسته، فضای خالی بین مصالح به حداقل می‌رسد، چون دانه‌های ریزتر در لابلای دانه‌های درشت قرارگرفته و در هم جفت می‌شوند و در نتیجه فضای خالی که برای پرشدن با خمیر سیمان باقی می‌ماند، کمتر می‌شود (البته علاوه بر فضای خالی بین دانه‌ها، باید سطح ظاهری کلیه دانه‌ها نیز با خمیر سیمان آغشته شود لذا معمولاً خمیر سیمان مصرفی بیشتر از فضای خالی بین دانه‌ها است).

۲- در صورت استفاده از یک دانه‌بندی پیوسته، دانه‌های در ابعاد مختلف در تمام قسمتهای بتن توزیع شده و به خوبی جای خود را در بین یکدیگر باز می‌کنند، بنابراین حجم بیشتری از بتن توسط دانه‌ها اشغال شده و بتن حاصله توپرتر و متراکم‌تر خواهد شد.

قبلاً ذکر شد که دانه‌ها بین ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را اشغال می‌کنند، به این ترتیب هرچه دانه‌بندی پیوسته‌تر باشد، حجم بیشتری از بتن توسط دانه اشغال شده و چون در بتن، نقش باربری به عهدهٔ دانه‌ها است چنین بتنی در مقابل تحمل تنش مقاوم‌تر خواهد بود.

بطورکلی بتنی که با مصالح با دانه‌بندی پیوسته ساخته می‌شود هم مصرف سیمانش کمتر است و هم مقاومت مطلوب‌تری دارد. البته دانه‌بندی گسسته در مواردی خاص کاربرد دارد که بعداً اشاره خواهد شد.

دانه‌بندی مصالح ماسه‌ای

ریزدانه‌های ماسه که از الک نمره ۵۰ رد می‌شوند (یعنی ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر) و یا از الک نمره ۱۰۰ رد می‌شوند (یعنی ریزتر از ۰٫۱۵ میلیمتر) باعث روان‌تر شدن و خمیرتر شدن بتن می‌شوند و لذا استفاده از دانه‌های بسیار ریز ماسه سبب می‌شود که با استفاده از آب کمتر، بتوان مخلوط روان‌تر و کاراتری به دست آورد. اما از طرفی با مصرف دانه‌های ریزتر، مصرف خمیر سیمان لازم جهت اندود سطح ظاهری دانه‌های ریز بالا می‌رود. در مجموع مصرف دانه‌های ماسه‌ای بسیار ریز (گذرنده

از الک نمره ۵۰ و ۱۰۰) سبب می‌شود که بتوان مخلوط‌های روان‌تر به دست آورد ولی مصرف سیمان بالاتر خواهد بود.

بدین جهت در مقدار دانه‌های ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر در مصالح دانه‌ای محدودیت‌هایی وجود دارد زیرا اگر از یک حد مشخص کمتر باشد، مخلوط روانی کافی ندارد و اگر بیش از حد مشخص باشد، مصرف سیمان به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد.

به همین علت، مقدار دانه‌های ماسه‌ای ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر (عبوری از الک ۵۰) بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از کل حجم ماسه تعیین شده است. چنانچه دانه‌های ماسه‌ای ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر کمتر از ۱۰ درصد باشد مخلوط بتنی خشن شده و کارکردن با آن مشکل می‌شود (مخلوط غیر کارا است).

توصیه می‌شود چنانچه بتنی با نمای صاف مورد نظر است و از طرفی پرداخت سطحی با دست انجام می‌گیرد، دانه‌های عبوری از الک ۵۰ به میزان ۱۵٪ از کل ماسه در نظر گرفته شود، اما دانه‌های عبوری از الک نمره ۱۰۰ حداقل ۳٪ باشد طبعاً در اینجا مصرف سیمان تا حدی بالا می‌رود ولی امکان پرداخت سطحی مناسب افزایش می‌یابد.

کمیته C۳۳ از استاندارد ASTM اجازه می‌دهد مشروط به شرایط زیر، حداقل دانه‌های ردشده از الک نمره ۵۰ به ۵٪ و ردشده از الک ۱۰۰ به صفر درصد کاهش یابد.

۱- اگر از بتن هوادار استفاده می‌شود حداقل از kg/m^3 ۳۰۰ سیمان استفاده شود.

۲- اگراز بتن معمولی استفاده می‌شود حداقل از ۲۵۰ کیلوگرم در مترمکعب سیمان استفاده شود.

۳- مدول نرمی ماسه بین ۲٫۳ الی ۳٫۱ باشد.

مدول نرمی[1] : (F.M)

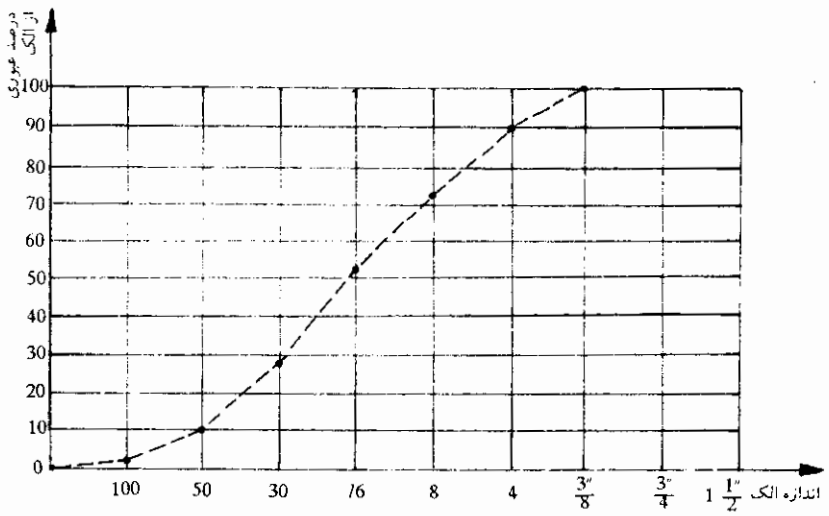
مدول نرمی یا ضریب نرمی در مورد دانه‌بندی مصالح شنی، ماسه‌ای و یا مخلوط شن و ماسه تعریف می‌شود.

مدول نرمی عبارتست از مجموع درصدهای باقیمانده روی الک‌های استاندارد تقسیم بر صد.

مدول نرمی ممکن است بین صفر تا ۹ متغیر باشد.

1 - fineness modulus

هر چه مدول نرمی بزرگتر باشد مخلوط درشت دانه‌تر (خشن‌تر) و هرچه مدول نرمی کوچکتر باشد مخلوط ریزدانه‌تر (کاراتر) است.



تصویر ۳-۱ : منحنی دانه‌بندی مثال

مثال : منحنی دانه‌بندی یک مخلوط ماسه مطابق تصویر، رسم شده است.

مدول نرمی آن را به دست آورید.

حل :

$$F.M. = \frac{(۹۶ + ۹۰ + ۷۲ + ۴۷ + ۲۸ + ۱۰ + ۰ + ۰ + ۰)}{۱۰۰} = ۳/۴۳$$

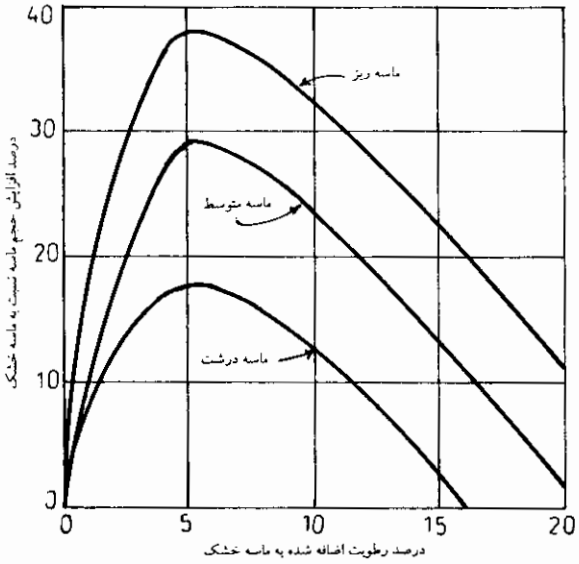
عدد ۳/۴۳ نشان می‌دهد که مخلوط بکار رفته، مخلوط خیلی نرم و پرماسه‌ای است.

انبساط حجمی ظاهری دانه‌های ریز بر اثر رطوبت (ری کردن ماسه[1])

ماسه در اثر رطوبت ری کرده، حجم آن زیاد می‌شود. حجم دانه‌های ماسه به این صورت زیاد

1 - bulking of sand

نمی‌شود که خود ماسه‌ها باد کند. یک دانه ماسه همیشه حجمش ثابت است ولی آبی که به ماسه



تصویر ۴-۱ : افزایش حجم ماسه در اثر رطوبت

اضافه می‌شود بر اثر کشش سطحی بین دانه‌های ماسه حائل شده و بین دانه‌ها را باز می‌کند در نتیجه حجم ماسه، نسبت به حجم اولیه افزایش می‌یابد.

تصویر ۴-۱، یک نمودار آزمایشگاهی است که درصد افزایش حجمی ماسه نسبت به ماسه‌خشک را براساس تغییر درصد رطوبت و در سه نمونه مختلف ماسه، نشان می‌دهد.

با توجه به منحنی فوق ملاحظه می‌شود :

۱- بیشترین افزایش حجم برای ماسه در رطوبت ۵٪ حاصل می‌شود. (گاهی تا ۴۰٪ افزایش حجم) هرچه رطوبت از این مقدار بیشتر شود، ری کردن رو به کاهش خواهد گذاشت. لذا در ماسه‌های کاملاً خیس نباید نگران افزایش حجم بود.

۲- هر چه ماسه ریزتر باشد ری کردن آن هم بیشتر خواهد بود.

نکتهٔ عملی : توصیه می‌شود هرگز در کارگاههای بتن‌سازی از پیمانه‌های حجمی استفاده نشود. چون ممکن است ماسه مرطوب بوده و افزایش حجم داشته باشد و بدین لحاظ، وزن مورد نظر

تغییر کند.

دانه‌بندی مصالح درشت دانه

در دانه‌بندیِ مصالحِ درشت دانه، محدودیت خاصی تصریح نشده است، فقط این نکته قابل‌توجه است که هر چه از مصالح دانه‌ای درشت‌تر استفاده شود، مشروط بر آنکه مقدار آب و سیمان ثابت باشد، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. لذا در کارگاه هرچه بتوان از مصالح درشت دانه‌تری استفاده کرد مناسب‌تر خواهد بود، به شرط آنکه عبور دانه‌ها در قالب و بین میلگردها مختل نشود.

حداکثر بعد دانه‌های شنی

۱- حداکثر بُعد دانه‌های شنی نباید بزرگتر از $\frac{۱}{۵}$ حداقل بُعد قالب باشد.

۲- حداکثر بُعد دانه‌های شنی نباید بزرگتر از $\frac{۳}{۴}$ فاصله آزاد بین میلگردها باشد.

۳- حداکثر بُعد دانه‌های شنی نباید بزرگتر از $\frac{۱}{۳}$ ضخامت دالهای روی خاک و $\frac{۱}{۲}$ ضخامت دالهای سقفی باشد.

دانه‌بندی گسسته (ناپیوسته)

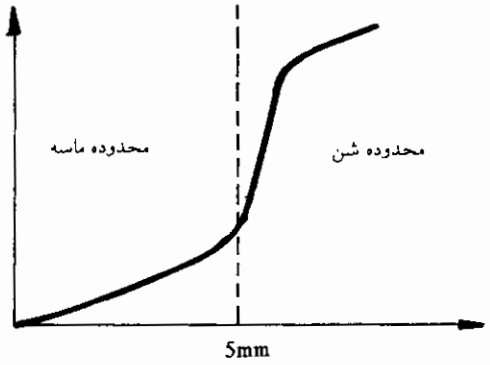
فقط در یک مورد استفاده از مصالح سنگی گسسته (ناپیوسته) توصیه شده و آن مورد ساختن بتن با دانه‌های نمایان یا بتن اکسپوز[1] است. بتن اکسپوز بتنی است که برای نما به کار می‌رود و روی سطح آن یک سری دانه‌های درشت دیده می‌شود.

در ساخت این بتن از مصالح سنگی با دانه‌بندی گسسته، به صورتیکه در محدوده ماسه پیوسته بوده اما در محدوده شن فقط دارای یک یا دو بعد درشت دانه باشد، استفاده می‌شود.

تصویر ۵-۱ نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی گسسته که جهت مصرف در بتن اکسپوز مناسب است را نشان می‌دهد.

---

1 - exposed aggregates concrete



تصویر ۵-۱ : نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی گسسته

در بتن اکسپوز یک یا دو روز پس از بتن‌ریزی قالب را باز می‌کنند. در این حالت سطح بتن هنوز کاملاً سخت نشده و می‌توان با کشیدن برس سیمی روی سطح بتن، دانه‌های ماسه را از بین دانه‌های درشت شنی بیرون کشید. به بیان دیگر چون دانه‌های شنی پیوسته نیستند که به خوبی درهم قفل شده باشد، پس از برس کشیدن دانه‌های درشت ۲ یا ۳ سانتیمتری باقی می‌ماند، لذا سطح بتن برجسته شده و نمای زیبایی ایجاد می‌شود.

گاهی ممکن است به لحاظ راحتی کار از نظر برس زدن، بتن مجاور جدار قالب را دیرگیر نمایند. به این معنی که سطح قالب را به مواد دیرگیرکننده آغشته می‌کنند که البته این کار از نظر اجرایی با مشکلاتی همراه است.

رطوبت سطحی و جذب آب دانه‌ها

بطورکلی دانه‌ها از نظر رطوبت سطحی و جذب آب دانه‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند :

۱- دانه‌های کاملاً خشک[1]

۲- دانه‌های خشک[2]

1 - oven dry 2 - dry

۳- دانه‌های اشباع با سطح خشک[1] (S.S.D)

۴- دانه‌های مرطوب[2]

۱- دانه‌های کاملاً خشک دانه‌هایی هستند که در کوره ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه حرارت دیده و کاملاً خشک شده باشند.

توجه شود که اصولاً دانه‌ها دارای خلل و فرج هستند. بطوریکه از متراکم‌ترین سنگ‌های موجود در طبیعت می‌توان از سنگ گرانیت نام برد که آن هم حدود یک درصد تخلخل دارد. سنگهایی که در بتن‌سازی بکار می‌روند (شن و ماسه معمولی) گاهی حدود ۵٪ تخلخل دارند. در دانه‌های کاملاً خشک کلیه این سوراخها و خلل و فرجها باید کاملاً عاری از آب یا رطوبت باشند.

۲- دانه‌های خشک دانه‌هایی هستند که در داخل بعضی از حفره‌های میانی دانه آب موجود باشد ولی حفره‌های مجاور سطح خارجی فاقد آب باشند.

۳- دانه‌های اشباع با سطح خشک (S.S.D) دانه‌هایی هستند که کلیه حفره‌ها و خلل و فرجهای آنها از آب پر باشد، لکن سطح دانه خشک است.

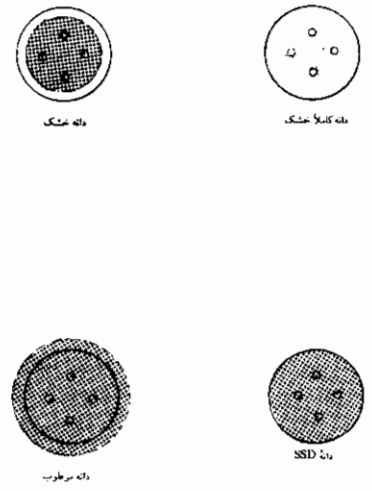
چنانچه دانه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در آب نگاه داشته سپس از آب بیرون بیاورند و سطح آن را با دستمال خشک و ضخیم کاملاً خشک کنند، بطوریکه در سطح ظاهری فقط کمی نم دیده شود، این دانه‌ها حالت اشباع با سطح خشک خواهند داشت.

۴- دانه‌های مرطوب دانه‌هایی هستند که خلل و فرج داخلی آنها اشباع از آب بوده و از طرفی سطح آنها نیز خیس باشد، دانه‌ای که پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب از آب بیرون آورده شود، یک دانه خیس محسوب می‌شود.

تصویر ۶-۱ وضعیت یک دانه را در حالتهای مختلف از نظر رطوبت نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که در طرح مخلوط بتن همیشه فرض می‌شود که دانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک هستند، بدین معنی که نه آب بتن جذب دانه‌ها می‌شود و نه دانه‌ها آبی به آب بتن اضافه می‌کنند. اگر دانه‌ها کاملاً «خشک» یا «خشک» باشند مقداری از آبی که به مخلوط اضافه می‌شود،

1 - saturated surface dry 2 - wet



تصویر ۶-۱ : وضعیت یک دانه در حالتهای مختلف از نظر جذب آب و رطوبت سطحی

جذب دانه‌ها شده، لذا باید آب بیشتری مصرف کرد. همچنین اگر دانه‌ها مرطوب باشند، آب اضافی سطح خود را به مخلوط اضافه کرده و میزان آب مخلوط را افزایش می‌دهند، لذا در این مورد باید آب کمتری مصرف کرد. معمولاً دانه‌های ماسه‌ای تا حدود ۰٫۷ درصد و دانه‌های شنی تا حدود ۰٫۵ درصد آب جذب می‌کنند تا از حالت کاملاً خشک به حالت اشباع با سطح خشک تبدیل شوند.

فصل دوم

بتن و خواص آن

بتن عمدتاً از دو قسمت تشکیل شده است :

۱ - **مصالح سنگی** : حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن از مصالح سنگی تشکیل می‌شود.

۲ - **خمیر سیمان** : حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد حجم بتن با خمیر سیمان پر می‌شود.

از ۲۵ تا ۴۰ درصد خمیر سیمان ۷ الی ۱۵ درصد سیمان و ۱۴ الی ۲۱ درصد آب است.

میزان آب در خمیر سیمان

میزان آب در بتن معمولاً با نسبت وزنی آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) نشان داده می‌شود که W معرف وزن آب و C معرف وزن سیمان است. به صورت یک اصل باید حتی‌المقدور، نسبت $\frac{W}{C}$ کم انتخاب شود.

قسمتی از آبی که در ساخت بتن مصرف می‌شود (حدود ۲۵ درصد وزنی سیمان)، جذب ذرات سیمان شده و در واکنش‌های شیمیایی (هیدراسیون) به کار گرفته می‌شود. اما عملاً ساخت بتنی با $\frac{W}{C} = ۰/۲۵$ امکان‌پذیر نیست، زیرا چنین بتنی به اندازه‌ای سفت است که کار کردن با آن میسر نیست به همین جهت باید $\frac{W}{C}$ را تا آنجا افزایش داد که به سهولت بتوان با بتن کار کرد. لذا $\frac{W}{C}$ را تا ۰/۴ الی ۰/۶ افزایش می‌دهند. اما در همین محدوده باز هم هرچه $\frac{W}{C}$ را کمتر در نظر بگیرند، بهتر خواهد بود.

زیرا مازاد آب که در واکنش شیمیایی شرکت نمی‌کند، جا اشغال کرده و نهایتاً یا در بتن محبوس می‌شود و یا تبخیر شده و فضای خالی ایجاد می‌کند، یعنی در هر حال از حجم مفید بتن می‌کاهد.

محاسن استفاده از نسبت آب به سیمان کمتر

۱- افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن .

۲- افزایش خاصیت آب‌بندی در بتن (زیرا هر چه آب کمتری مصرف شده باشد، فضای خالی کمتری در بتن ایجاد شده و در نتیجه روزنه‌های کمتری برای عبور آب وجود خواهد داشت.)

۳- کاهش جذب آب (به دلیل محدودتر شدن فضاهای خالی).

۴- پیوستگی بهتر بین لایه‌های متوالی در بتن‌ریزی.

۵- افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن (چون سطح تماس میلگرد و بتن بیشتر خواهد بود).

۶- افزایش مقاومت در مقابل شرایط جوی نامساعد (تر و خشک شدن‌های متوالی و سرد و گرم شدن‌های متوالی).

۷- کاهش میزان افت.

۸- کاهش میزان خزش

۹- کاهش امکان آب انداختن بتن.

۱۰- کاهش امکان جدا شدن دانه‌ها.

مزیت استفاده از نسبت آب به سیمان بیشتر

$\frac{W}{C}$ زیاد فقط یک حُسن دارد و آن روانی و کارایی بیشتر است. جای بسی تأسف است که اکثراً ۱۰ مزیت قبلی (ناشی از $\frac{W}{C}$ کمتر) فدای این یک حُسن (کارایی بالاتر) شده و از $\frac{W}{C}$ بیشتر استفاده می‌شود. یعنی فقط به لحاظ آنکه در کارگاه کار کردن با بتن راحت‌تر باشد، آب بتن را زیادتر کرده و بدین‌ترتیب نارسایی‌های عدیده‌ای را برای بتن سخت شده آتی فراهم می‌کنند.

توجه شود که در هر حال کار کردن با بتنی با $\frac{W}{C}$ کمتر از ۰٫۴ امکان‌پذیر نیست.

بتن تازه[1]

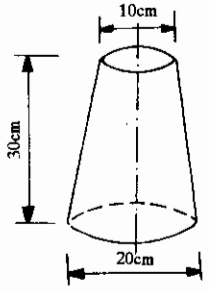
بتن تازه بتنی است که تازه ساخته شده و دارای خاصیت روانی یا پلاستیسیته است. مهمترین مسئله در بتن تازه میزان کارآیی آن است.

تعریف کارایی : کارایی عبارت است از درجه سهولت ریختن و کارکردن با بتن

هرچه ریختن بتن تازه و کارکردن با آن ساده‌تر باشد بتن از کارایی بالاتری برخوردار است و هرچه کار کردن با بتن سخت‌تر باشد کارایی آن پایین‌تر یا کمتر است.

آزمایش استانداردی که برای مشخص کردن درجه کارایی به کار گرفته می‌شود، آزمایش معروف اسلامپ است.

دراین‌آزمایش، مطابق تصویر ۱-۲ از یک مخروط ناقص به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده می‌شود.



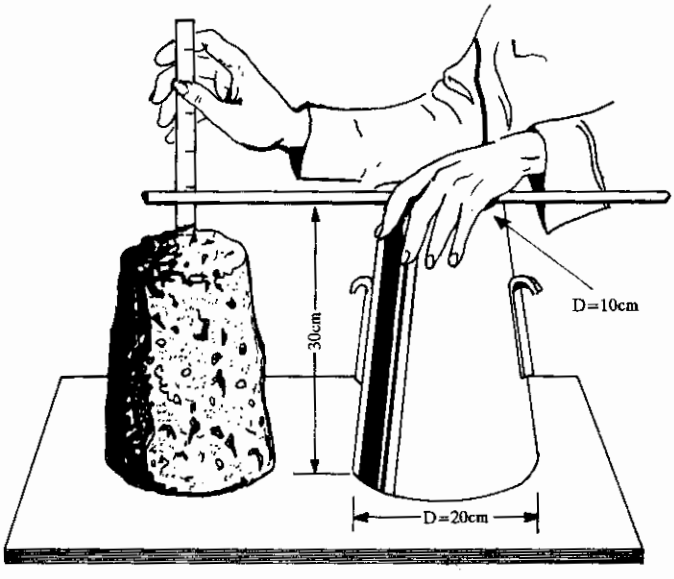
تصویر ۱-۲ : مخروط ناقص آبرام مربوط به آزمایش اسلامپ

برای آزمایش، بتن تازه را در سه لایه در مخروط جای می‌دهند و با میله هر لایه را ویبره می‌کنند سپس سطح آن را صاف کرده و مخروط را به سمت بالا حرکت می‌دهند. بتن پس از بیرون آمدن از قالب مخروطی، مقداری افت می‌کند. میزان این افت برحسب سانتیمتر راکارایی بتن نامند.

این افت می‌تواند از صفر تا سی سانتیمتر تغییر کند یعنی بصورت نظری، می‌توانیم اسلامپ صفر تا سی سانتیمتر را داشته باشیم.

---

1 - fresh concrete



تصویر ۲-۲ : روش اندازه‌گیری اسلامپ بتن

معمولاً برای کارهای بتن آرمه اسلامپ باید در محدوده (۱۰ cm - ۵) انتخاب شود.

عدد اسلامپ برای کارهای عادی بتنی (بتن بدون آرماتور یا با آرماتور کم) در محدوده (۵cm-۲) انتخاب می‌شود. در حالت‌های استثنایی که تراکم آرماتور زیاد باشد یا از پمپ برای بتن‌ریزی استفاده شود، اسلامپ (۱۲ cm-۱۰) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بدیهی است هرچه اسلامپ کمتری انتخاب شود، خواص مطلوب بتن در بتن سخت شده، بهتر خواهد بود.

بعضی از مسائلی که ممکن است در بتن تازه بوجود آید

۱- آب انداختن[1] :

آب انداختن بتن از نظر یک پدیده ظاهری، اینگونه تجلی می‌کند که پس از بتن‌ریزی و پرداخت

1 - bleeding

سطحی بتن، یک لایه نازک آب آغشته به سیمان، روی سطح بتن ظاهر می‌شود.

این آب از قسمتهای زیرین بتن به دلیل خاصیت موئینگی به قسمتهای سطحی بالا آمده و در مسیر خود احتمالاً مقداری سیمان را نیز با خود شسته و همراه می‌کند. لذا در قسمتهای بالایی بتن، مقدار آب موجود، از آبی که در طراحی در نظر گرفته شده بیشتر خواهد شد و به عکس، در قسمتهای پائینی بتن مقدار آب کمتر خواهد گردید.

مشخصات نامطلوب بتن آب انداخته به شرح زیر است :

الف : پس از سخت شدن نامرغوب بوده و به مقاومت مطلوب و موردنظر نخواهد رسید.

ب : لایه رویی بتن آب انداخته، پس از سفت شدن (سخت شدن) به مرور زمان و با استفاده‌های ترافیکی از آن، پودر شده و به صورت گردوخاک در می‌آید و به این جهت سطح رویی ناصاف شده و پدیدهٔ «پودرشدگی»[1] اتفاق می‌افتد. چنین بتنی اولاً بدنما شده و ثانیاً نقطه ضعفی برای شرایط یخزدگی و هوازدگی خواهد بود. آب انداختن پدیده بسیار نامطلوبی است و باید حتی‌المقدور از ایجاد آن جلوگیری کرد متأسفانه بعضی از استادکاران سعی می‌کنند با زیاد ماله کشیدن بر روی سطح بتن، یک قشر آب در سطح ایجاد کنند، غافل از اینکه این عمل، ضعف‌های اساسی برای بتن ایجاد می‌کند.

مهم‌ترین دلیل در آب انداختن بتن، اسلامپ بیش از حد است بنابراین کارایی و اسلامپ کم در کنار مزایایی دیگر، احتمال آب انداختن را نیز کاهش می‌دهد. دلایل دیگری از جمله ویبره بیش از حد و نیز نامناسب بودن دانه‌بندی، احتمال آب انداختن بتن را افزایش می‌دهند.

۲- جدا شدن دانه‌ها[2] :

جدا شدن دانه‌ها از پدیده‌هایی است که در بتن تازه اتفاق می‌افتد. به این ترتیب که دانه‌های درشت مخلوط نشست کرده و به سمت پائین حرکت می‌کنند و دانه‌های ریزتر به سمت بالا منتقل

1 - dusting 2 - segregation

می‌شوند، بنابراین بتن حالت یکنواختی خود را از دست داده و توزیع دانه‌بندی به هم می‌خورد.

جدا شدن دانه‌ها در بتن تازه یک پدیده نامطلوب محسوب می‌شود و ناظرین و مهندسین کارگاه همواره باید سعی کنند تا از عواملی که ممکن است منجر به بروز این حالت شود، جلوگیری نمایند. بتنی که دانه‌های آن جدا شده از نظر مقاومت فشاری و خمشی ضعیف شده و به حد مطلوب نخواهد رسید.

مهم‌ترین دلیل جدا شدن دانه‌ها در بتن تازه اسلامپ بالا و بیش از حد است.

دلایل دیگری از قبیل ویبره بیش از حد، جابجا کردن بتن در قالب بوسیله بیل یا ویبراتور، ریختن بتن از ارتفاع نیز ممکن است به جدا شدن دانه‌ها منجر شود. انبار کردن نامناسب دانه‌ها ممکن است به جدا شدن دانه‌ها قبل از ساخت بتن و احتمالاً عدم وجود دانه‌بندی یکنواخت و صحیح در بتن ساخته شده منجر شود. به همین جهت لازم است انبارکردن دانه‌های شن و ماسه در کارگاه به صورت مجزا و در دپوهای جداگانه صورت گیرد. از طرفی بهتر است دانه‌بندی ابعاد مختلف شن هم در دپوهای جداگانه انجام گیرد. مثلاً بهتر است برای ماسه یک دپوی (۵ mm - ۰) و برای شن دپوهای (۱۰ mm - ۵) یا نخودی و (۲۰ mm - ۱۰) یا بادامی تنظیم شود و در صورت استفاده از دانه‌های درشت‌تر می‌توان از یک دپوی (۴۰ mm - ۲۰) نیز استفاده کرد. به این ترتیب می‌توان در هنگام ساخت بتن مصالح دانه‌ای را از هر دپو به میزان محاسبه شده جدا کرده و اختلاط را انجام داد.

تراکم بتن تازه[1]

تراکم بتن یعنی به حرکت درآوردن ذرات بتن، کم کردن اصطکاک بین آنها و خارج کردن حباب‌های هوا از بتن.

مکانیزمی که برای تراکم بتن به کار می‌رود، ارتعاش[2] است. هدف از متراکم کردن بتن و خارج کردن حباب‌های هوا، آن است که بتن توپرتری به دست آید تا در نتیجهٔ آن بتن از مقاومت بهتری برخوردار شده و در مقابل عوامل مخرب محیطی از خود دوام بهتری نشان دهد. از طرفی تراکم بتن،

1 - compaction 2 - vibration

با افزایش سطح تماس بین بتن و میلگرد، چسبندگی بهتری بین آنها فراهم کرده و نیز سبب می‌شود که پس از بازکردن قالبها سطح ظاهری صاف و بدون خلل و فرج برای بتن حاصل شود. قدیمی‌ترین روش برای ویبره، ضربه زدن به بتن (به قالب) است. طبیعی است که این نحو ویبره برای کارهای کوچک و کم‌اهمیت می‌تواند تا حدودی مناسب باشد.

انواع ویبره

۱- ویبره دستی :

ساده‌ترین نوع ویبره، ویبره دستی است که ممکن است بصورت میله‌ای یا شیلنگی باشد. ویبره میله‌ای یک وسیله لرزاننده کوچک است که آن را به وسیله دست هدایت کرده، با فرو بردن به صورت قائم در قسمتهای مختلف، بتن را مرتعش کرده و حبابهای هوا را خارج می‌کنند.

توصیه می‌شود در این روش، میله لرزان را به فاصله هر ۰٫۵ الی یک متر در بتن فرو برده و هر بار بین ۵ تا ۳۰ ثانیه در بتن نگه دارند (بسته به میزان تراکم مورد نظر و همچنین اسلامپ بتن).

۲- ویبره لرزاننده قالب :

این ویبره را در مجاورت قالب بتن قرار داده و یا به آن متصل می‌کنند. با به کار افتادن این ویبره، مجموعه قالب و بتن داخل آن مرتعش شده و حبابهای هوا خارج می‌شوند.

۳- ویبره میزی :

معمولاً درکارگاههای بتن پیش ساخته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چنین کارگاههایی میز ویبره در سالنی موسوم به سالن ویبره مستقر بوده و با به کار افتادن دستگاه ویبره میزی، مجموعه میز و قالب و بتن، لرزیده و عمل ویبره شدن انجام می‌گیرد.

لازم است جهت متراکم کردن بهتر بتن و چسبندگی بهتر آن به فولاد، همیشه از ویبره استفاده شود تا امکان استفاده از نسبت آب به سیمان کمتری در ساخت بتن فراهم شود.

ویبره بیش از حد، مضر است چون ممکن است سبب آب انداختن و یا جدا شدن دانه‌ها شود. انتخاب ویبره درحد مناسب معمولاً نیاز به تجربه زیاد دارد و بسته به نظر مهندس کارگاه و ناظر پروژه‌تعیین می‌شود.(هرچه کارایی‌کمترباشد، ویبره بیشتر و هرچه کارایی بیشتر باشد، ویبره کمتری

مورد نیاز است.)

بتن سخت شده

پس از ریختن بتن، با گذشت زمان، بتن تازه به بتن سخت شده تبدیل می‌شود. از زمان ریختن بتن تا مرحله سفت و سخت شدن آن، باید از آن نگهداری و مراقبت کرد.

مراقبت از بتن (بعمل آوردن بتن)[1]

در مراقبت از بتن، باید به دو مسئله توجه شود :

۱- رطوبت کافی

۲- درجه حرارت مناسب

برای بعمل آوردن بتن، به رطوبتی حداقل معادل ۸۰٪ نیاز است و اگر این رطوبت درحد ۱۰۰٪ باشد، مناسب‌تر خواهد بود.

بهترین درجه حرارت برای نگهداری بتن در حدود ۱۳ درجه سانتیگراد است. اما در شرایط معمولی و دمای عادی، حساسیت بتن به درجه حرارت چندان قابل توجه نبوده و بنابراین در کارگاه، در مرحله مراقبت از بتن، معمولاً کنترلی روی درجه حرارت انجام نمی‌دهند. مگر در درجه حرارت ۴+ درجه و پائین‌تر که گیرش بتن و سرعت واکنش‌ها با مشکلاتی روبرو می‌شود. بخصوص در دمای زیر صفر که شرایط یخ‌زدگی بتن، فراهم می‌گردد.

حداقل زمانی که برای بتن عادی جهت مراقبت پیشنهاد شده ۷ روز است. یعنی در طول مدت زمان ۷ شبانه‌روز باید بتن در دمای مناسب و رطوبت حداقل ۸۰٪ نگهداری شود.

عدم مراقبت و یا مراقبت ناقص از بتن، عواقب زیر به دنبال دارد :

۱- افت مقاومت فشاری و خمشی.

۲- ایجاد زمینه پودرشدگی سطحی بتن

---

1 - curing

قسمتهای سطحی بتن در مقابل هوای آزاد رطوبت خود را از دست داده و سیمان آن به طور کامل در واکنشهای شیمیائی وارد نمی‌شود. بنابراین سطح بتن سست شده و بعداً با ساده‌ترین تأثیر عوامل مخرب محیطی، رفته‌رفته تخریب می‌شود. (پدیده پودرشدگی اتفاق می‌افتد)

۳- افزایش میزان افت در بتن (انقباض)

بتنی که بطور صحیح از آن مراقبت نشود، حتماً دچار پدیده افت خواهد شد و در سطح آن ترک‌هایی ایجاد می‌شود.

۴- افزایش میزان خزش در بتن (پدیده‌های افت و خزش در بتن در بخشهای بعدی مورد بررسی قرار گرفته است).

خشک شدن بتن[1]

خشک شدن بتن از سطح بتن شروع و به عمق آن نفوذ می‌کند. مدت زمانی که طول می‌کشد تا قسمتهای مرکزی بتن (مغز بتن) کاملاً خشک شود بسیار طولانی است به عبارت دیگر قسمتهای سطحی در ساعتهای اولیه و روزهای اولیه، ولی قسمتهای عمقی خیلی دیر خشک می‌شوند. قبلاً ذکر شد هر قسمتی از بتن که رطوبت آن در طول دوره مراقبت از ۸۰ درصد کمتر شود، عملیات گیرش آن متوقف می‌شود. لذا با توجه به مکانیزم خشک شدن، هیچگاه نباید نگران توقف گیرش در قسمتهای میانی بتن بود، بخصوص اگر بتن متراکم باشد. بنابراین مشکل اصلی سطح بتن است (بخصوص تا عمق ۰٫۵ الی یک سانتیمتر). به همین جهت در ۷ روز اولیه عمر بتن، باید از بتن مراقبت سطحی صورت گیرد.

مقاومت بتن

مقاومت بتن به عوامل زیر بستگی دارد :

۱- کیفیت دانه‌ها :

هرچه دانه‌ها کیفیت بهتری را دارا باشند، مقاومت بتن بالاتر است. بتنی که از دانه‌های سیلیسی

1 - drying

ساخته شده باشد، مقاومت بالاتری نسبت به بتن ساخته شده با دانه‌های آهکی دارد.

۲- میزان دانه‌ها :

هرچه دانه‌های بیشتری در بتن مصرف شود، بتن توپرتر و مقاوم‌تر خواهد بود. (به شرط اینکه پیوستگی دانه‌ها حفظ شود).

۳- مقدار سیمان :

معمولاً هرچه مقدار سیمان در بتن بیشتر باشد (البته تا یک حد مشخص) بتن مقاومت بالاتری خواهد داشت. (مقدار سیمان باید در حدی باشد که چسبندگی کافی بین دانه‌ها برقرار نماید. لذا چنانچه سیمان اضافی مصرف شود، در بعضی مواقع حتی منجر به کاهش مقاومت می‌شود، چون سیمان اضافی بین دانه‌ها فاصله می‌اندازد).

۴- نسبت آب به سیمان :

هرچه نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) کمتر در نظر گرفته شود، بتن ساخته شده، مقاومت بالاتری خواهد داشت.

۵- عمر بتن :

هرچه از شروع ساخت بتن، زمان بیشتری گذشته باشد، بتن مقاومت بیشتری خواهد داشت، مقاومت ۷ روزه در بتن عادی در حدود ۷۰٪ مقاومت ۲۸ روزه است.

معمولاً در محاسبات، مقاومت ۲۸ روزه بتن که حدود ۹۰ الی ۹۵ درصد مقاومت نهایی است، در نظر گرفته می‌شود.

مسائلی چند در ارتباط با عمر بتن

هرچه از عمر بتن می‌گذرد، مقاومت آن افزایش می‌یابد. لکن از افزایش مقاومت بتن بعد از ۲۸ روز بنا به عللی صرف‌نظر می‌گردد. دلیل اول ناچیز بودن آن و دلیل دوم این است که پس از ۲۸ روز، معمولاً امکان بارگذاری روی سازه وجود دارد. از طرفی هرچه از عمر بتن بگذرد، ممکن است عوامل مخرب محیطی هم روی سازه اثر گذاشته از مقاومت آن بکاهد.

یکی از عوامل مخرب اسید کربنیک است (CO_3H_2)، بخصوص در مواقع بارندگی، آب باران با

(CO_2) هوا ترکیب شده و تولید اسید کربنیک می‌کند. نفوذ این اسید در بتن، محیط قلیایی بتن را به محیط اسیدی تبدیل می‌نماید (به این پدیده کربناسیون بتن می‌گویند) هرچه از عمر بتن بگذرد، نفوذ اسید کربنیک در بتن بیشتر شده، تا جایی که به آرماتورها رسیده و خوردگی فولاد شروع می‌شود.

گاهی شنیده می‌شود که ساختمانهای بتنی را تخریب می‌کنند. علت آنست که احساس می‌کنند عمر مفید سازه به پایان رسیده و لذا به جهت اطمینان قبل از بروز هرگونه خرابی و یا سانحه‌ای ساختمان را تخریب و به جای آن ساختمان جدید می‌سازند.

عمر مفید ساختمانهای بتنی، معمولاً در محدودهٔ ۵۰ الی ۱۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

اندازه‌گیری مقاومت بتن

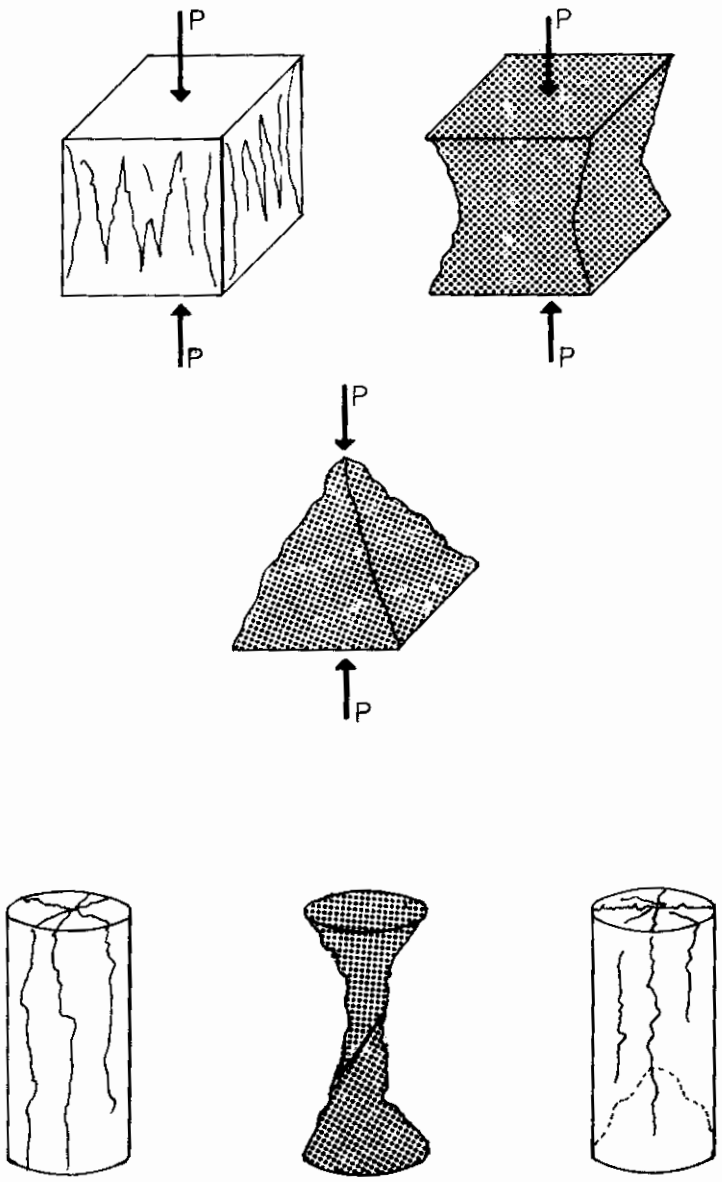
۱- مقاومت فشاری بتن :

مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ بتن براساس نمونه آزمایشگاهی تعیین می‌شود. روش کار به این صورت است که از بتن مورد استفاده در کارگاه در قالبهای مخصوص نمونه‌گیری می‌شود. این قالبها بر دو نوع هستند قالب مکعبی به ضلع ۱۵ سانتیمتر و قالب استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر . نمونهٔ مورد نظر با توجه به شرایط استاندارد تهیه شده و سپس در شرایط آزمایشگاه در حوضچه آب و یا حمام بخار به مدت ۲۸ روز نگهداری می‌شود. پس از ۲۸ روز این نمونه تحت اثر نیروی فشاری قرار داده می‌شود (بوسیله جکهای مخصوص) و با افزایش نیرو در نمونه شکست رخ می‌دهد. مقاومت فشاری نمونه عبارت است از حاصل تقسیم نیرویی که سبب شکست شده است به سطح مقطع نمونه (در قالب مکعبی سطح مقطعی مربعی به ضلع ۱۵ سانتیمتر است و در قالب استوانه‌ای دایره‌ای به قطر ۱۵ سانتیمتر). تصویر (۳-۲) حالات ممکن گسیختگی در نمونه‌های آزمایشی را نشان می‌دهند.

اگر نمونه‌گیری براساس قالب مکعبی انجام شده باشد، مقاومت حاصله را مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه مکعبی نامند و آن را با f'_{cu} نشان می‌دهند و اگر براساس قالب استوانه‌ای باشد مقاومت بدست آمده را مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه استوانه‌ای نامند و آن را با f'_{cy} و یا به

اختصار با f'_c نشان می‌دهند.

بطورکلی بتنی خوب تلقی می‌شود که نمونه گرفته شده از آن، وقتی که تحت آزمایش مقاومت



تصویر ۳-۲ : حالات ممکن گسیختگی در نمونه‌های آزمایشی

فشاری قرار داده می‌شود، شکست آن با شکستن دانه‌های بتن همراه باشد، و اگر دانه‌ها سالم بمانند و سیمان از روی دانه‌ها جدا شده باشد بتن نامناسب تلقی می‌شود.

قابل ذکر است که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی و استوانه‌ای با هم متفاوت بوده، بطوریکه مقاومت نمونه استوانه‌ای حدود ۸۰ درصد نمونه مکعبی است. ($f'_c = f'_{cy} = 0.8\ f'_{cu}$)

برای توجیه این تفاوتْ مقاومت دلائل مختلفی ذکر شده از جمله اینکه در نمونه استوانه‌ای جهت بتن‌ریزی و اعمال تنش یکی است. در حالیکه در نمونه مکعبی، معمولاً جهت وارد کردن تنش عمود بر جهت بتن‌ریزی است. همچنین در هنگام واردکردن فشار بر این نمونه‌ها، امکان تمرکز تنش در نمونه استوانه‌ای بیشتر است.

در سنجش مقاومت فشاری بتن بعضی از آئین‌نامه‌های دنیا از نمونه مکعبی و بعضی دیگر از نمونه استوانه‌ای استفاده می‌کنند. تفاوت مقاومتی که بین نمونه استوانه‌ای و مکعبی وجود دارد مشکلی را بوجود نمی‌آورد چراکه ضرایب مربوطه در آئین‌نامه‌های مختلف ملحوظ شده است. لذا قبل از استفاده از هر آئین‌نامه، باید دقت نمود که مقاومت فشاری بتن، براساس چه نمونه‌ای تعریف شده است. به عنوان نمونه، آئین‌نامه آمریکا (ACI) براساس نمونه استوانه‌ای، آئین‌نامه انگلستان (BS) و آئین‌نامه اروپایی بتن (CEB) براساس نمونه مکعبی کار می‌کنند.

در ایران محاسبات بتن آرمه اکثراً براساس آئین‌نامه‌های آمریکایی و مقاومت بتن براساس نمونه استوانه‌ای (f'_c) ملاک عمل قرار می‌گیرد. ولی در نمونه‌گیری‌های کارگاهی، اکثراً از نمونه‌های مکعبی استفاده می‌شود، به همین جهت در مورد تبدیل مقاومت فشاری مکعبی به استوانه‌ای، باید دقت کافی مبذول نمود.

۲- مقاومت کششی بتن :

مقاومت کششی بتن به دو طریق اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود.

الف : مقاومت کششی تحت کشش مستقیم

ب : مقاومت کششی تحت کشش ناشی از خمش

تجربه نشان داده است که بتن از نظر مقاومت کششی در دو حالت مذکور، رفتاری متفاوت دارد.

مقاومت کششی بتن ناشی از کشش مستقیم را با f'_t و مقاومت کششی ناشی از خمش را با f_r نمایش داده و در اصطلاح به آن مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی گفته می‌شود.

اصولاً مقاومت کششی بتن تحت کشش ناشی از خمش، از مقاومت کششی بتن تحت کشش مستقیم بیشتر است.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن تحت کشش خالص، بصورت مستقیم آزمایش استانداردی وجود ندارد، اما بصورت غیرمستقیم می‌توان f'_t را با آزمایشهایی نظیر آزمایش شکافت[1] (یا تست برزیلی) به دست آورد.

تجربه نشان می‌دهد که مقاومت کششی بتن تحت کشش مستقیم بین ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری آن است. روابط تجربی زیر، این ارتباط را نشان می‌دهد :

$$f'_t = (\%۱۰ \text{ الی } \%۱۵)\, f'_c$$

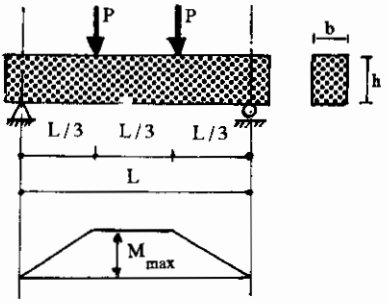
$$f_t = (۱/۶ \text{ الی } ۱/۸۵)\sqrt{f'_c} \quad \text{(برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)}$$

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن در کشش ناشی از خمش در آزمایشگاه، آزمایش استاندارد ساده‌ای وجود دارد، به این ترتیب که یک تیر بتنی ساده را روی دو تکیه‌گاه قرار داده و دو بارِ P به فاصله $L/۳$ از تکیه‌گاه، مطابق تصویر (۴-۲) روی آن قرار داده و بارِ P را آنقدر زیاد می‌کنند تا قطعه ترک بخورد. مقاومت کششی نمونه با استفاده از رابطه تنش کششی ناشی از خمش بدست می‌آید.

$$M_{max} = \frac{P.L}{۳}$$

$$f_{t,max} = f_r = \frac{M_{max}\, h/۲}{I} = \frac{۲PL}{bh^۲}$$

1 - splitting test



تصویر ۴-۲ : تیر بتنی جهت آزمایش تعیین مقاومت کششی ناشی از خمش

(خصوصیت بارگذاری متمرکز در $L/_{3}$ دهانه از طرفین، این است که در یک سوم میانی تیر، خمش ثابت و خالص ایجاد می‌شود).

در محاسبات بتن آرمه از ظرفیت کششی بتن به دلیل ناچیز بودن آن معمولاً صرف‌نظر می‌شود. اما در بعضی از محاسبات مانند محاسبه خیز یا محاسبه ترک‌خوردگی یا تغییرمکان تیرهای بتن آرمه این مسئله را دخالت می‌دهند.

آئین‌نامه (ACI) رابطه تجربی زیر را برای تعیین مدول گسیختگی براساس مقاومت فشاری بتن، تعریف می‌کند.

$f_r = 2\sqrt{f'_c}$ مقاومت کشش ناشی از خمش

در رابطه فوق باید (f'_c) برحسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع جایگذاری شود.

وزن مخصوص بتن ، Wc

وزن مخصوص به دو صورت مطرح می‌شود :

الف : وزن مخصوص حقیقی.

ب : وزن مخصوص ظاهری.

منظور از وزن مخصوص حقیقی، نسبت وزن بتن به حجم حقیقی آن (با کم‌کردن حجم خلل و فرج موجود در آن) و منظور از وزن مخصوص ظاهری نسبت وزن بتن به حجم ظاهری آن (حجم

ظاهری که بتن اشغال کرده است) است.

معمولاً وقتی که بطور مطلق، صحبت از وزن مخصوص بتن می‌شود، منظور وزن مخصوص ظاهری است.

بتن را از نظر وزن مخصوص به سه دسته تقسیم می‌کنند :

۱- بتن معمولی، ۲- بتن سبک، ۳- بتن سنگین .

بتن معمولی :

بتن‌هایی که به صورت عادی با سیمانهای معمول تیپ (I) تا تیپ (V) پرتلند ساخته می‌شوند، دارای وزن مخصوص برابربا ۲۲۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب هستند (معمولاً ۲۴۰۰). تفاوت ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ در وزن مخصوص، ناشی از جنس دانه‌ها و تراکم بتن است.

بتن سبک :

بتن سبک بتنی است که به طریق معمولی ساخته می‌شود ولی در ساخت آن از دانه‌های سبک مثلاً از دانه‌های متخلخل نظیر پومیس (سنگ‌پا) یا پوکه استفاده شده است در روش دیگری برای ساخت بتن سبک شرایطی فراهم می‌کنند که حجم بتن مصنوعاً زیاد شود که غالباً از موادی مانند ژل‌آلمینیوم استفاده می‌شود. معمولاً در کارخانه، با دما و رطوبت معینی این مواد را اضافه می‌کنند که در اثر آن بتن جوش خورده و حجم آن افزایش می‌یابد (کارخانه سیپورکس در تهران اینگونه بتن را تولید می‌کند).

وزن مخصوص بتن سبک $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ وزن مخصوص بتن معمولی است. یعنی حتی می‌توان بتنی با وزن مخصوص $800\ kg/m^3$ تهیه کرد که از آب سبک‌تر بوده و می‌تواند روی آب شناور بماند (البته تا زمانی که آب جذب نکرده است). این بتن بیشتر برای نماسازی، دیوارهای جداکننده، سقف کاذب و اصولاً جاهایی که مقاومت مطرح نباشد، به کار می‌رود.

ممکن است در بتن سبک آرماتور هم به کار رود، لیکن آرماتور آن اکثراً از نوع میلگردهای معمولی نبوده بلکه با مقاومت بالاست. (حدود $12000\ kg/cm^2$)

در بازسازی شهر هویزه از قطعات مسلح بتن سبک، هم برای دیوار و هم برای سقف استفاده شده است.

بتن سنگین :

در ساخت بتن سنگین به جای شن و ماسه از خرده‌های فولاد و چدن و یا سولفات باریم استفاده می‌شود، کاربرد اینگونه بتن برای جلوگیری از تشعشع اشعه X و γ و غیره بوده و اصولاً برای سازه‌های مربوط به تأسیسات اتمی و یا هرجا که امکان تشعشعات رادیواکتیو باشد، از اینگونه بتن استفاده می‌شود.

وزن مخصوص بتن سنگین حدود ۱٫۵ تا ۲٫۵ برابر وزن مخصوص بتن معمولی است. ($۳۵۰۰ kg/m^3$ تا ۶۰۰۰)

افت (انقباض)[1]

افت بتن پدیده‌ای است که از لحظات شروع گیرش بتن آغاز و در طول زمان سخت شدن، ادامه می‌یابد (به این پدیده گاهی آبرفتگی نیز گفته می‌شود).

افت بتن در حقیقت یک نوع کاهش حجم است که در طول زمان اتفاق می‌افتد. وقوع پدیده افت در اثر آب اضافی بکار رفته در ساخت بتن می‌باشد، قبلاً ذکر شد که آب مورد نیاز جهت انجام واکنش‌های شیمیائی سیمان ۲۵ درصد وزنی سیمان است. یعنی اگر نسبت آب به سیمان را برابر ۲۵٪ در نظر بگیریم تمام این آب صرف واکنش‌های شیمیایی می‌شود. ولی به دلیل حصول کارایی مطلوب، $\frac{W}{C}$ را بین ۰٫۴ تا ۰٫۶ در نظر می‌گیرند که این آب اضافی مازاد بر $\frac{W}{C} = ۰٫۲۵$ در بتن باقی می‌ماند. در روزهای اول عمر بتن (و یا هفته‌های اول) قسمتی از این آب اضافی براساس خاصیت موئینگی به سمت سطح بتن بالا آمده و تبخیر می‌شود، بدین‌ترتیب، جای آن خالی می‌ماند. به همین لحاظ، بتن تمایل پیدا می‌کند که خودش را جمع کرده و حجم از دست رفته را پرکند، (از نظر

1 - Shirinkage

تقریب به ذهن، مانند پارچه‌ای که آب می‌رود) تا زمانی که بتن تر (تازه) باشد، مانع و مشکلی جهت جمع شدن ندارد. اما چنانچه بتن تا حدودی سفت شود، دیگر محیط (کف، دیواره و ...) اجازه کاهش حجم را به آن نمی‌دهد، لذا این تمایل به کاهش حجم به صورت تنش کششی در بتن ظاهر می‌شود و از آنجا که مقاومت کششی بتن بسیار ناچیز است، این پدیده موجب ترک‌خوردگی سطحی بتن می‌شود. بنابراین می‌توان در یک جمله گفت : افت پدیده‌ای است که در اثر بکارگیری آب اضافی در ساخت بتن ایجاد شده و به صورت ترک‌های موئین در سطح بتن جلوه می‌کند. این ترک‌ها راگاهی از حدود یک تا دو هفته پس از بتن‌ریزی می‌توان در سطح بتن مشاهده کرد که با گذشت زمان تشدید می‌شود.

اکثراً ظهور افت به صورت یک سری ترک‌های منظم به فاصله چندین متر (۴ الی ۶ متر) بوده که هرچه بتن نامرغوب‌تر و نسبت آب به سیمان آن بیشتر باشد، فاصله این ترک‌ها نزدیک‌تر است. افت در بتن از پدیده‌های نامطلوب محسوب می‌شود از آن جهت که هم در سطح بتن ترک می‌اندازد و هم در قطعه تنش کششی ایجاد می‌کند.

برای کاهش افت، باید دو نکته را مورد توجه قرار داد :

۱- کاهش نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$)

۲- افزایش مراقبت (مراقبت از بتن بخصوص در طول ۷ الی ۱۰ روز اولیه موجب کاهش افت می‌شود)

کرنش (تغییر طول نسبی) ناشی از افت در بتن در محدودهٔ ۰٫۰۰۰۳ تا ۰٫۰۰۰۷ است. در اثر این کرنش، تمایل به کم شدن ابعاد در قطعه بتنی بوجود می‌آید، لکن محیط این امکان را به قطعه سخت شده نمی‌دهد. لذا کرنش مذکور در بتن ایجاد تنش کششی کرده که پس از ترک خوردن بتن، ممکن است قسمتی از ظرفیت باربری آرماتورها را نیز اشغال کند.

معمولاً ۱۵ الی ۳۵ درصد افت در همان دو هفته اول، ۴۰ الی ۸۰ درصد افت در سه ماهه اول و ۶۵ الی ۸۵ درصد افت در یکسال اول اتفاق می‌افتد و بعد از ۳ الی ۵ سال افت کاملاً متوقف می‌شود.

عوامل مؤثر در افت

۱- میزان مصالح سنگی بکار رفته در ساخت بتن :

هرچه مصالح سنگی بکار رفته در بتن بیشتر باشد، میزان افت کمتر است. (بتن توپر افت کمتری دارد)

۲- نوع مصالح سنگی :

هرچه در ساخت بتن از مصالح سنگی مرغوب‌تری استفاده شود، افت کمتری اتفاق می‌افتد. آزمایش نشان داده که افت یک نمونه بتن که از ماسه‌سنگ تهیه شده ۳ برابر افت نمونه مشابه که از کوارتز تهیه شده است می‌باشد.

۳- نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) :

واضح است که هرچه $\frac{W}{C}$ کمتر باشد، افت کمتر است.

۴- رطوبت محیط :

آزمایش نشان داده که هرچه رطوبت محیط (بخصوص در روزهای اول) بیشتر باشد افت کمتر است (بتن‌هایی که در مناطق خشک هستند افت بیشتری دارند و بالعکس بتن‌هایی که در مناطق مرطوب مثلاً در کنار دریا هستند، دارای افت کمتری هستند) لذا نتیجه می‌شود که مراقبت خوب از بتن کمک می‌کند که افت بتن کمتر شود.

راههای مقابله با افت

۱- کم‌کردن عوامل تشدیدکننده افت(بکارگیری مصالح‌سنگی مرغوب، متراکم نمودن بتن و ... .)

۲- استفاده از سیمان ضد افت : سیمان ضد افت همزمان با گیرش خود، افزایش حجمی را در بتن ایجاد می‌کند که این افزایش حجم می‌تواند با کاهش حجم ناشی از افت، مقابله کند. (البته این سیمان گران‌قیمت بوده و مصرف آن باید توجیه اقتصادی داشته باشد)

۳- استفاده از درزهای مناسب : یعنی بتن را در فواصل مناسب (مثلاً ۵ متر به ۵ متر) به توسط درزهای انقباض[1] از هم جدا کنند. در مورد درزهای انقباض، در فصل آخر بحث مستقلی شده است. در اینجا فقط متذکر می‌شویم که استفاده از درزهای انقباض، کمک می‌کند که با استفاده از ضعفی که در فواصل معین ایجاد کرده‌ایم، ترک ناشی از افت دقیقاً در محل دلخواه اتفاق بیفتد.

۴- استفاده از آرماتور افت (مثلاً آرماتور افت و حرارت): این آرماتورها، برای خنثی نمودن تنش‌های کششی ناشی از افت در بتن به کار گرفته می‌شوند. در عمل اکثراً از آرماتورهایی موسوم به آرماتور افت و حرارت استفاده می‌شود. چنین آرماتورهایی هم برای تحمل تنش‌های ناشی از افت و هم برای تحمل تنش‌های ناشی از حرارت به کار برده می‌شود.

(چنانچه در سقف‌های تیرچه بلوک دیده می‌شود، یک شبکه متعامد از این آرماتورها در عمق ۵ سانتیمتری بتن روی سقف، تعبیه می‌شود).

حداقل آرماتور افت و حرارت ۰٫۰۰۲ تا ۰٫۰۰۱۸ سطح مقطع بتن است. آرماتورهای افت را می‌توان به صورت ساده (صاف) در نظر گرفت.

خزش یا وارفتگی[2]

خزش عبارت است از تغییر طول اجسام، تحت تنش ثابت، در طول زمان .

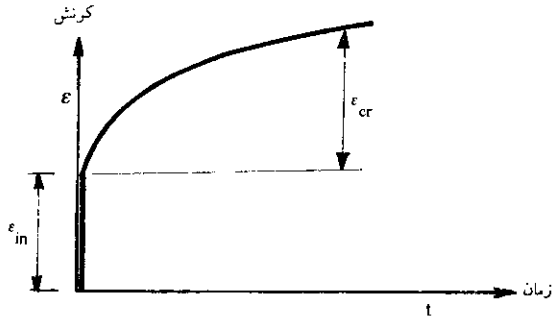
اگر قطعه‌ای تحت تنش قرار گیرد، در همان لحظه اول تغییر طولی خواهد داشت که به این تغییر طول، تغییر طول آنی یا الاستیک گفته می‌شود.

اگر همین قطعه تحت تنش ثابت نگهداری شود، با گذشت زمان تغییر طول اضافی‌تری نسبت به تغییر طول اولیه خواهد داشت که به آن تغییر طول یا کرنش ناشی از خزش می‌گویند. (تصویر ۵-۲)

کرنش ناشی از خزش معمولاً ۲ الی ۳ برابر کرنش اولیه است.

مسئله خزش از آنجا مورد توجه قرار می‌گیرد که متناسب با کرنش ناشی از خزش در بتن تنش ایجاد می‌شود و لذا اگر تنش ناشی از خزش را در محاسبات اولیه وارد نکرده باشند، ممکن است

1 - Contraction joints 2 - Creep



ε_{in} = تغییر طول الاستیک (کرنش اولیه)

ε_{cr} = تغییر طول (کرنش) ناشی از خزش

تصویر ۵-۲ : تغییر طول بتن در طول زمان تحت تنش ثابت

عضو بتنی تحت بار کمتری نسبت به بار طراحی بشکند.

عوامل مؤثر بر خزش

۱- **مقاومت فشاری بتن** : هرچه مقاومت فشاری بتن بیشتر باشد خزش در آن کمتر است.

۲- **تنش وارده بر بتن** : هرچه تنش وارده بیشتر باشد، خزش بیشتر است.

۳- **رطوبت محیط** : هرچه رطوبت محیط بیشتر باشد، خزش کمتر است.

۴- **عمر بتن** : هرچه بتن مُسن‌تر باشد و تحت بار قرار گیرد، خزش در آن کمتر است.

راههای مقابله با خزش

۱- کم کردن عوامل تشدیدکننده خزش (بتن را مرغوب‌تر ساخته و مقاومت فشاری بالاتری در نظر گرفته شود).

۲- تعبیه آرماتورهایی که تنش ناشی از خزش را جبران کند.

۳- افزایش رطوبت محیط اطراف بتن (منجمله مراقبت صحیح و خوب از بتن).

خستگی[1] در بتن

اگر در قطعه‌ای که تحت بارهای متناوب قرار گرفته، بطوریکه هریک از این بارها کمتر از مقاومت قطعه باشد، شکست اتفاق بیفتد، اصطلاحاً گفته می‌شود در اثر خستگی شکسته است. پدیده خستگی مخصوص بتن نبوده و در دیگر مواد منجمله فولاد نیز ممکن است خستگی اتفاق بیفتد.

خستگی برای اولین بار در پل‌های فلزی کشف شد. در این رابطه ملاحظه شد پلی که ظاهراً از نظر قطعات و جوش و اتصالات و پیچ‌ها و ... در وضعیت مطلوبی بود، به ناگهان تحت اثر باری که کمتراز مقاومت باربری آن بود شکسته و منهدم شد.توجیه این‌اتفاق باپدیده خستگی صورت گرفت.

در سازه‌های بتن آرمه خستگی اکثراً در پلها اتفاق می‌افتد. اصولاً بارهایی که کمتر از ۵۰٪ مقاومت قطعه باشند، از نظر خستگی تأثیری بر قطعه ندارند. از طرفی هرچه بارهای وارده به مقاومت قطعه نزدیک‌تر باشد، خستگی در تعداد سیکل‌های کمتری از بارگذاری اتفاق می‌افتد.

مسائل اجرایی بتن در هنگام بتن‌ریزی

۱ - ساخت بتن :

ساخت بتن باید به صورتی انجام گیرد که کلیه دانه‌ها و سیمان به طور یکنواخت با هم مخلوط شوند. مهندس کارگاه باید دقت کند و مطمئن شود که توزیع دانه‌ها در همه قسمتهای بتن به یک صورت است. این اطمینان اکثراً با چشم و با تجربه و بررسی در جا امکان‌پذیر است. توصیه می‌شود در اختلاط اجزاء بتن از میکسرویا از بچینگ پلانت استفاده شود.

۲ - حمل بتن :

در حمل بتن دو مسئله قابل توجه است :

الف : حمل باید به صورتی انجام شود که جدا شدن دانه‌ها اتفاق نیفتد.

ب : حمل باید به صورتی انجام شود که آب بتن از دست نرود.

---

1 - fatigue

حمل بتن را می‌توان به روشهای مختلف به شرح زیر انجام داد :

(الف) - حمل دستی :

حمل بتن ممکن است به صورت دستی انجام شود که فقط برای کارهای کوچک کاربرد دارد. (مثلاً با استفاده از فرغون)

(ب) - حمل با کمپرسی :

حمل بتن ممکن است با کمپرسی انجام شود که توصیه شده بتنی که با کمپرسی حمل می‌شود، حداکثر ۴۵ دقیقه در کمپرسی بماند و حتی‌المقدور با کارایی کم ساخته شود. مشکل عمده این روش پدیده جدا شدن دانه‌ها است.

این طریق بیشتر برای مسیرهای صاف و هموار و کوتاه یا متوسط توصیه می‌شود.

(پ) - حمل با میکسر :

حمل ممکن است با میکسرهای دوار که بر پشت یک کامیون نصب شده‌اند صورت پذیرد. توصیه شده، زمان مسافت حمل از ۱/۵ ساعت بیشتر طول نکشد (اگر زمان بیشتری بگذرد، واکنش‌های شیمیایی عملاً انجام می‌گیرد).

(د) - حمل با روش‌های خاص دیگر :

وسائل خاص دیگری هست که ممکن است حمل با آنها صورت گیرد. یکی از آنها تسمه نقاله بوده که امروزه کاملاً از رده خارج شده است. (زیرا لزوماً به جدا شدن دانه‌ها منجر خواهد شد)

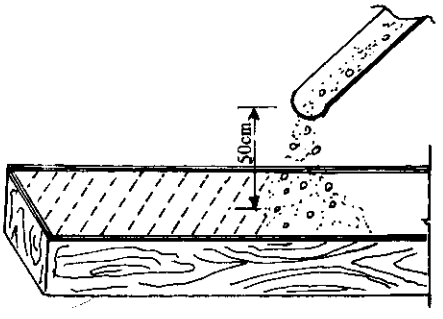
بعضی اوقات در حمل بتن از سطل (باکت)هایی که از ته تخلیه می‌شوند، استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از یک سیستم کابل‌کشی و یا جرثقیل برای انتقال باکت‌ها استفاده کرد. (بخصوص در کارهای بزرگ)

۳- ریختن بتن :

مرحله بعد از حمل، ریختن و جای دادن بتن در قالب است.

مهمترین مسئله در هنگام ریختن بتن، امکان جداشدن دانه‌ها است، مهندس کارگاه باید کاملاً مراقب باشد تا هنگام ریختن بتن، از عواملی که سبب جدا شدن دانه‌ها می‌شود احتراز شود.

توصیه می‌شود فاصله قرارگیری بتن از محلی که بتن سرازیر می‌شود حتی‌المقدور کم بوده و از ۵۰ سانتیمتر تجاوز نکند. (تصویر ۶-۲)

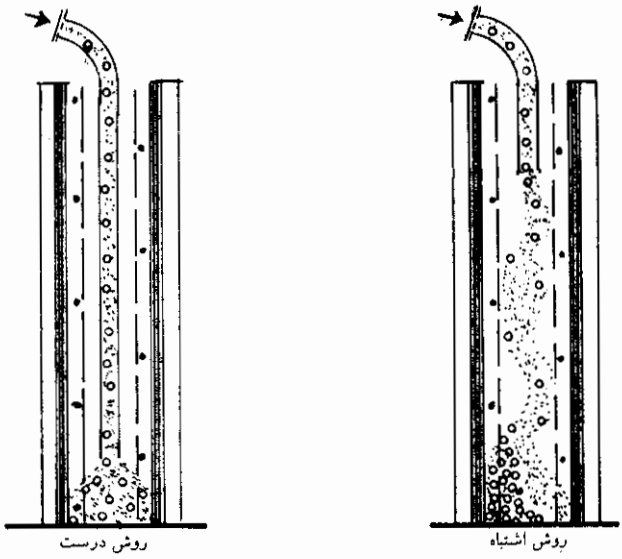


تصویر ۶-۲ : فاصله مجاز ریختن بتن در قالب

ممکن است بتن‌ریزی توسط دستگاه پمپ بتن صورت گیرد. از مشکلات پمپ در ریختن بتن آن است که اجباراً باید نسبت آب به سیمان را برای حصول روانی لازم، به میزان قابل‌توجهی افزایش داد (بعنوان مثال چنانچه بتنی که دارای اسلامپ ۵ است را بخواهند با پمپ در قالب جای دهند، اجباراً باید اسلامپ را از ۵ سانتیمتر به ۱۰ الی ۱۲ سانتیمتر افزایش دهند، از این جهت استفاده از پمپ همیشه توجیه ندارد).

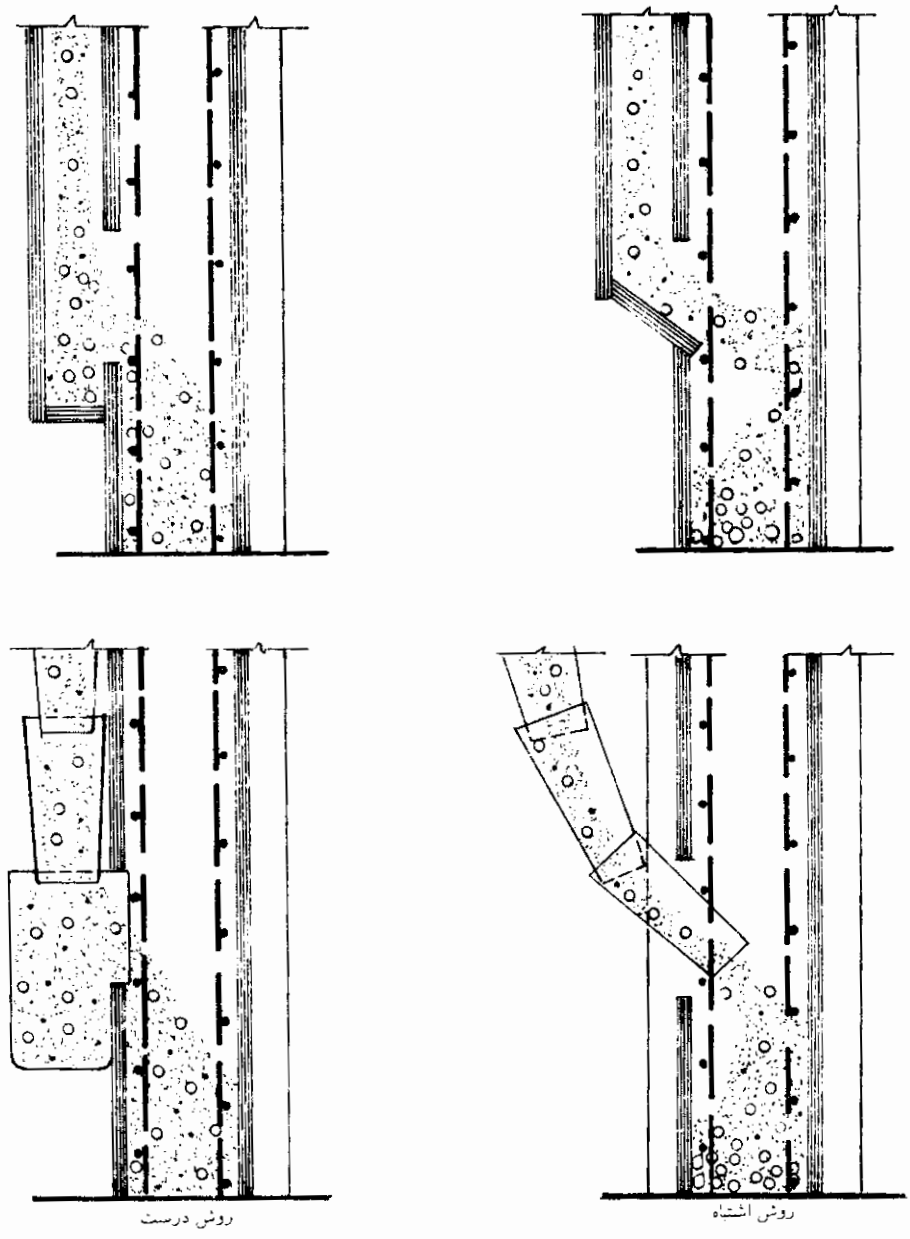
استفاده از پمپ بتن، بیشتر در مواردی توصیه می‌شود که بتن‌ریزی در ارتفاع بوده و از طرفی مشکل ریختن بتن هم وجود داشته باشد. برای بتن‌ریزی در ستونها به وسیله پمپ بتن باید دقت کرد که با عبور دادن لوله پمپ از قالب، ارتفاع مجاز بتن‌ریزی تنظیم شود. (تصویر ۷-۲)

در بتن‌ریزی‌هایی نظیر بتن‌ریزی ستون که امکان عبور دادن لوله پمپ از قالب و تنظیم ارتفاع مناسب بتن‌ریزی میسر نباشد، بهتر است که در قالب و در فواصل مناسب (مثلاً ۱ متر به ۱ متر) روزنه‌هایی را تعبیه نموده و بتن‌ریزی را از این روزنه‌ها انجام داد. در چنین مواقعی همچنین می‌توان از قیف جهت بتن‌ریزی، استفاده کرد.

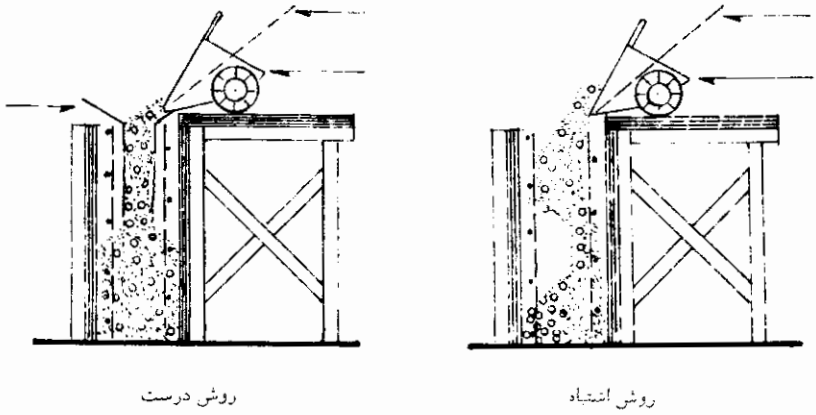


تصویر ۷-۲ : بتن‌ریزی در ستونها بوسیله پمپ بتن

البته باید توجه داشت که بتن‌ریزی به گونه‌ای انجام گیرد که جدائی دانه‌ها رخ ندهد. تصاویر (۸-۲) و (۹-۲) دو روش اخیر را نشان می‌دهند.

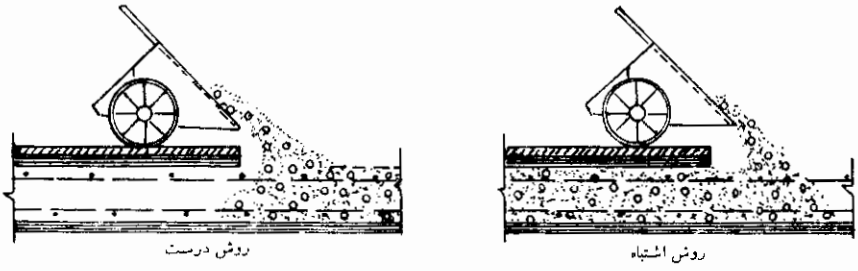


تصویر ۸-۲: بتن‌ریزی در سدها با تعبیه روزنه



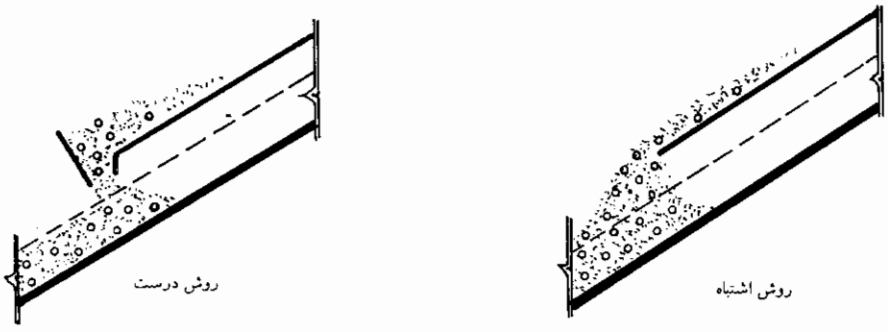
تصویر ۹-۲ : بتن‌ریزی در ستونها بوسیله قیف

در مورد بتن‌ریزی در کفها باید به دو نکته توجه کرد : اولاً بتن را نباید به صورت تودهٔ بزرگی خالی کرد و سپس با حرکت افقی آن را جابجا کرده و قالب را پر کرد زیرا سبب جدائی دانه‌ها می‌شود. ثانیاً بتن‌ریزی باید به گونه‌ای انجام گیرد که بتن ریخته شده تحت فشار وسیله تخلیه بتن (نظیر فرغون) قرار نگیرد زیرا سبب آب انداختن بتن می‌شود. (تصویر ۱۰-۲)



تصویر ۱۰-۲ : بتن‌ریزی در کفها

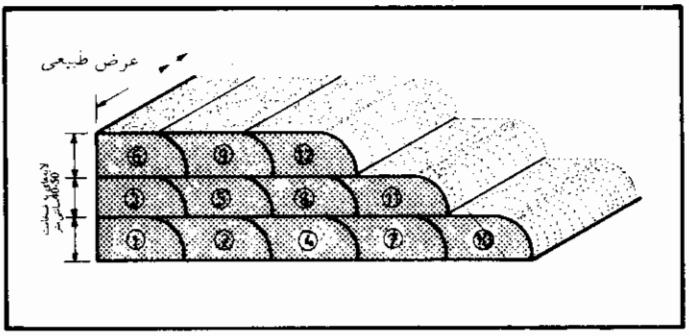
تصویر (۱۱-۲) روش بتن‌ریزی روی سطوح شیب‌دار را نشان می‌دهد. بتن‌ریزی از پائین به طرف بالا انجام می‌شود تا وزن بتن بالا به تراکم بتن پایین کمک کند.



تصویر ۱۱-۲ : بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار

در بتن‌ریزی‌های حجیم نیز باید دقت کرد. مسئله‌ای که در این مورد ممکن است پیش آید اتصال سرد است که در فصل ۱ توضیح داده شد. همانگونه که ذکر شد می‌توان برای رفع آن از سیمان تیپ IV استفاده کرد ولی با دقت در بتن‌ریزی، به صورت ساده‌تر می‌توان از این پدیده جلوگیری کرد.

تصویر (۱۲-۲) روش بتن‌ریزی لایه‌ای را در این مورد نشان می‌دهد. با کاربرد این روش امکان سفت شدن لایه قبلی از بین رفته و اتصال بین لایه جدید و لایه قبلی به خوبی انجام می‌شود.



تصویر ۱۲-۲ : بتن‌ریزی لایه‌ای برای جلوگیری از اتصال سرد در بتن‌ریزی حجیم

فصل سوم

مواد مضاف[1] در بتن

مواد مضاف، موادی شیمیائی هستند که به مقدار جزئی به بتن اضافه می‌شوند تا بعضی از خواص مناسب و مطلوب را در بتن ایجاد کنند.

میزان مصرف مواد مضاف در بتن کم بوده و معمولاً به صورت درصدی از وزن سیمان مشخص می‌شود.

مواد مضاف بسیار متنوع بوده و در محدوده بسیار وسیعی تقسیم‌بندی شده‌اند. در اینجا مواد مضاف با یک تقسیم‌بندی نسبتاً ساده بیان می‌شود.

دسته اول : تسریع‌کننده‌ها[2] (زودگیرکننده‌ها)

این دسته از مواد مضاف، سبب می‌شوند تا گیرش سیمان تسریع و بالنتیجه بتن زودتر بگیرد و سفت شود.

از جمله مشهورترین و بهترین تسریع‌کننده‌ها کلرورکلسیم ($CaCl_2$) می‌باشد.

این ماده شیمیایی را ابتدا با آبِ بتن مخلوط کرده و سپس به مخلوطِ شن و ماسه و سیمان می‌افزایند.

---

1 - admixtures

2 - accelerating admixtures

قابل توجه است که حبابهای هوا در بتن به دو دسته‌اند :

۱- حبابهای غیرعمدی[1] که درشت‌تر از ۰/۰۵ میلیمتر و اکثراً با ابعادی در حدود چندین میلیمتر هستند.

۲- حبابهای عمدی[2] که ریزتر از ۰/۰۵ میلیمتر هستند.

وجود حبابهای غیرعمدی در بتن اجتناب‌ناپذیر بوده و این حبابها کم و بیش در بتن ایجاد می‌شوند. ویبره کردن بتن بدین منظور صورت می‌گیرد که حبابهای هوای غیرعمدی را در بتن، به حداقل ممکن برساند اما عملاً هیچگاه حبابهای هوا در بتن به صفر نمی‌رسند. قبلاً ذکر شد که در بتن‌های عادی بین ۰٫۵ تا ۳ درصد هوا وجود خواهد داشت.

دسته دوم حبابها، حبابهای عمدی هستند که با استفاده از مواد مضاف هوازا یا با استفاده از سیمانهای هوازا (سیمان تیپ IA، IIA و IIIA) و یا با استفادهٔ توأم از سیمان هوازا و مواد مضاف هوازا، ایجاد می‌شوند.

قابل توجه است که حتی زمانی که از مواد مضاف هوازا استفاده می‌شود، درکنار ایجاد حبابهای ریز هوا، وجود حبابهای درشت هوا (حبابهای هوای غیرعمدی) در بتن اجتناب‌ناپذیر است و از ۴ الی ۸ درصد هوای ایجاد شده در بتن، ممکن است ۱ الی ۲ درصد آن حبابهای غیرمفید و درشت هوا باشد. با ویبره کردن ابتدا این حبابهای درشت تا حدی خارج می‌شود، اما اگر ویبره بیش از حد انجام شود، قسمتی از حبابهای ریز عمدی نیز از بتن خارج می‌شوند.

بعضی از مواد مضاف هوازا عبارتند از :

۱- چربی طبیعی جانوران (نظیر پیه گاو)

۲- صمغ طبیعی درختان

بدیهی است مواد فوق را نمی‌توان بطور طبیعی بکار برد بلکه آنها را به صورت ترکیبی با مواد شیمیایی دیگر (تثبیت‌کننده) به صورت پودر یا مایع در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند.

---

1 - entrapped air 2 - entrained air

محاسن استفاده از بتن هوادار

۱ - افزایش قابلیت آب‌بندی :

بتن هوادار در مقایسه با بتن معمولی آب‌بندتر است و به همین جهت در سازه‌های آبی، در ساخت مخازن و کانالها اکثراً توصیه می‌شود از بتن هوادار استفاده شود.

۲ - افزایش مقاومت در مقابل یخبندان :

منظور از مقاومت در مقابل یخبندان، مقاومت بتن سخت شده است، یعنی اگر بتن سخت شده هوادار باشد، چنانچه آب به آن نفوذ کند و یخ بزند پایداری بهتری نسبت به بتنی که بدون هوا است از خود نشان می‌دهد (هوادار بودن بتن تأثیری روی یخ زدن بتن تازه ندارد).

در حقیقت عملکرد حبابهای هوا به این نحو است که ضمن آنکه نفوذ آب به بتن را محدودتر می‌کنند، اگر چنانچه آب به مقدار کمی هم نفوذ کرد و یخ زد، این حفره‌های کوچک هوا افزایش حجم ناشی از یخ زدن را جبران کرده و مانع خرابی بتن می‌شوند.

۳ - کاهش امکان تورّق :

تورّق یا لایه لایه شدن، اکثراً در اثر عملکرد مواد شیمیائی یخ‌زدا در بتن ایجاد می‌شود. گاهی در زمستان و در مواقع یخبندان جهت آب شدن یخ و برف، روی سطح جاده‌ها، نمک می‌ریزند. خاصیت نمک این است که می‌تواند یخ‌ها را سریع آب کرده و سازه را سریعاً مورد استفاده قرار دهد. از این تکنیک در باندهای فرودگاه زیاد استفاده می‌شود. چنانچه کف جاده یا باند فرودگاه بتنی باشد، نمک روی بتن تأثیر سوء و نامطلوب گذاشته و رفته‌رفته بتن را لایه‌لایه (ورقه ورقه) می‌کند. لذا بتن‌هایی که در معرض مواد یخ‌زدا (نمک‌ها) قرار می‌گیرند، معمولاً سطحشان سریعتر فرسایش می‌یابد، بخصوص که این بتن‌ها اکثراً استفاده ترافیکی نیز دارند و طبعاً می‌باید در مقابل سایش هم مقاوم باشند.

تجربه نشان داده بتنی که هوادار باشد مقاومتش در مقابل تورق و لایه‌لایه شدن به مراتب بیشتر خواهد بود.

۴- کاهش میزان جذب آب :

بتن جسمی است که آب را به خود جذب می‌کند و در خود نگه می‌دارد که این جذب آب از عوامل نامطلوب بوده و برای بتن مضّر است. چون احتمال یخزدگی و فرسایش را افزایش می‌دهد تجربه‌نشان داده‌است که‌بتنی که هوادارباشد درصدجذب‌آبش به‌مراتب‌کمتراز بتن بدون هوا می‌باشد.

۵- افزایش مقاومت در مقابل حمله سولفاتها :

پدیده حمله سولفاتها در بتن واکنشی است همراه با افزایش حجم، وجود حبابهای هوا افزایش حجم مورد اشاره را جبران نموده و به این ترتیب از فشار وارد بر بتن می‌کاهد.

۶- کاهش امکان جدا شدن دانه‌ها :

حبابهای ریز هوا چسبندگی بهتری بین دانه‌ها ایجاد می‌کنند و این مسئله موجب می‌شود که جدا شدن دانه‌ها کمتر اتفاق بیفتد.

۷- افزایش مقاومت در مقابل شرایط بد جوّی :

منظور از شرایط بد جوی، تر و خشک شدن‌های متوالی و نیز سرد و گرم شدن‌های متوالی است. بتن در تر و خشک شدن‌های متوالی رفته‌رفته فرسوده و خرد می‌شود. دلیل عمده آن تفاوت ضریب انبساط حرارتی دانه‌های سنگی در حالت تر و خشک است. بتنی که مرتباً تر و خشک می‌شود، ضریب انبساط حرارتی آن مرتباً تغییر می‌کند، یعنی بطور مداوم کاهش حجم و افزایش حجم در بتن ایجاد می‌شود که این مسئله بتن را خسته کرده باعث انهدام زودتر بتن می‌شود. تجربه نشان داده است که بتن هوادار نسبت به بتن بدون هوا، در مقابل شرایط بد جوی، مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهد.

۸- کاهش امکان آب انداختن بتن.

۹- کاهش میزان افت و خزش.

۱۰- افزایش میزان روانی بتن (افزایش کارایی)

در مقابل ۱۰ حسن بتن هوادار باید به کاهش مختصر مقاومت آن در مقایسه با بتن بدون هوا نیز توجه کرد. معمولاً مقاومت بیش از kg/cm^2 ۴۰۰ را از بتن هوادار نمی‌توان انتظار داشت.

دسته پنجم: ضدیخ‌ها

ضدیخ‌ها معمولاً در مواردی بکار می‌روند که امکان یخ‌زدن بتن تازه فراهم باشد، (معمولاً دمای زیر صفر درجه).

ضدیخ‌ها دو کار عمده انجام می‌دهند:

۱- دمای انجماد آب را بسته به میزان مصرف آنها، پایین می‌آورند (هرچه ضدیخ بیشتری مصرف شود دمای انجماد پائین‌تر می‌آید).

۲- تا حدی نقش تسریع‌کننده دارند. بعضی باعث می‌شوند که واکنش‌های هیدراسیون سریعتر انجام گیرد و بنابراین دمای زمان گیرش بتن بالاتر می‌رود.

توجه شود که ضد یخ سبب می‌شود که بتن در دمای زیر صفر درجه، یخ نزند ولی از آنجا که واکنش‌های هیدراسیون سیمان، به دمای مناسب (معمولاً بیش از ۴ درجه سانتیگراد) نیاز دارد، معمولاً استفاده از ضدیخ چندان به انجام واکنش کمک نمی‌کند. در حقیقت استفاده از ضدیخ به صورت عمده از یخ‌زدن بتن جلوگیری می‌کند و انجام واکنش‌ها را کند کرده تا زمانی که دمای مناسب فراهم شده و واکنش با سرعت عادی انجام پذیرد. بنابراین از بتنی که به همراه ضدیخ در دمای زیر صفر درجه ریخته شده است، نباید انتظار داشت که در مدت چند روز سفت و سخت شود و این زمان ممکن است به مراتب افزایش یابد.

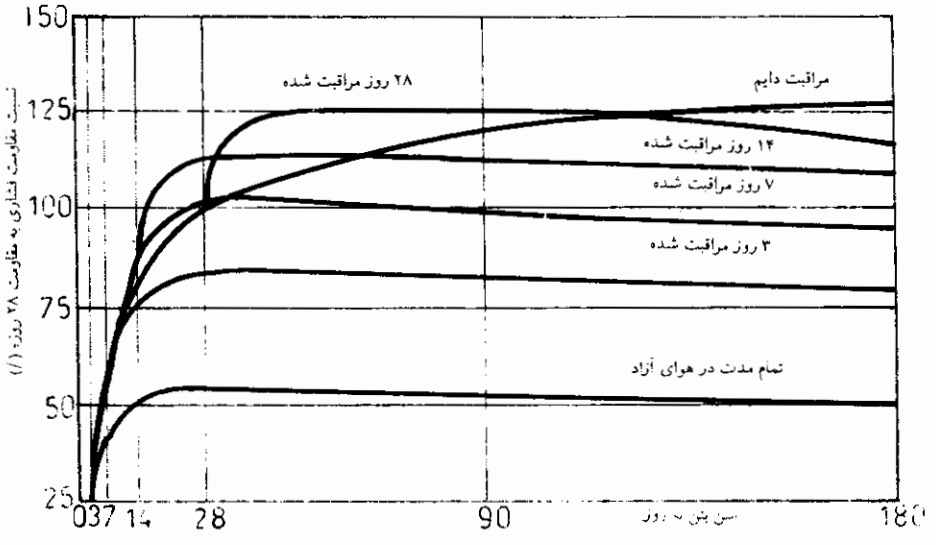
استفاده از ضدیخ در بتن، همچنین باعث کاهش مقاومت نهایی بتن می‌شود. میزان مصرف ضدیخ، براساس توصیه کارخانه سازنده تعیین می‌شود.

فصل چهارم

روشهای مناسب مراقبت از بتن

به عمل آوردن[1] یا مراقبت از بتن مراقبتی است که سازنده بتن باید در طول ۷ الی ۱۰ روز اول از بتن به عمل آورد.

تصویر (۱-۴) اثر مدت مراقبت از بتن را بر روی مقاومت فشاری نشان می‌دهد همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود مراقبت در حدود ۷ الی ۱۰ روز سبب دست یافتن به مقاومت ۲۸ روزه مورد نظر می‌شود.

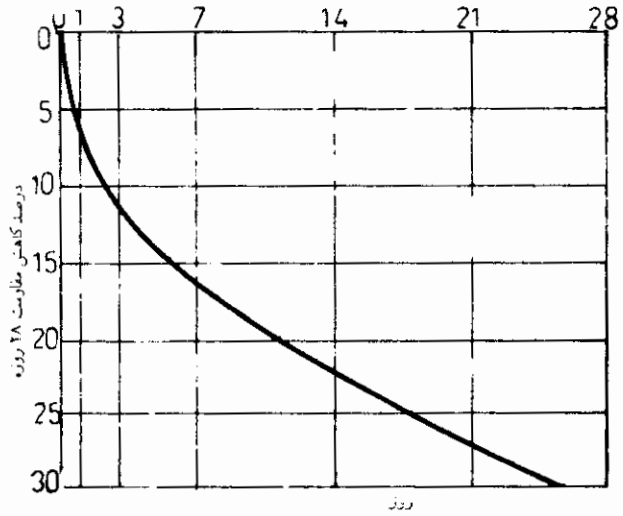


تصویر ۱-۴ : تأثیر طول مدت مراقبت روی مقاومت فشاری بتن

---

1 - Curing

تصویر ۲-۴ نیز اثر تأخیر در شروع مراقبت را روی مقاومت فشاری نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود هرچه در شروع مراقبت تأخیر شود سبب کاهش بیشتر در مقاومت ۲۸ روزه می‌شود.



تصویر ۲-۴ : تأثیر تأخیر در شروع مراقبت روی مقاومت فشاری بتن

در مراقبت از بتن باید دو مسئله زیر مورد توجه قرار گیرد :

۱- رطوبت کافی و مناسب

۲- دمای خوب و کافی

کنترل دما در هوای معمولی چندان ضرورتی ندارد، ولی در هوای بسیار گرم و یا در هوای سردتر از ۴ درجهٔ سانتیگراد باید تدابیر ویژه‌ای اتخاذ شود.

روشهای مراقبت

مراقبت از بتن را می‌توان به طرق مختلف انجام داد که استفاده از هر یک از این روشها با توجه به نوع سازه بتنی و امکانات و شرایط کار متفاوت بوده و بستگی به نظر مهندس کارگاه دارد.

روشهای مراقبت از بتن را می‌توان در چند دسته اساسی برشمرد :

الف : روشهایی که حضور آب را در کنار بتن تأمین می‌کند.

روش (۱) - ایجاد برکه آب :

به این صورت که شرایط مناسب به گونه‌ای فراهم شود که در طول دوره مراقبت همواره یک لایه آب به ضخامت حداقل ۵ الی ۱۰ سانتیمتر روی بتن باقی بماند. استفاده از این روش فقط برای سطوح تخت و افقی مناسب است.

به عنوان مثال، در کف یک مخزن یا در کف دال‌های افقی، می‌توان با استفاده از رُس، حفاظی به ارتفاع ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر در اطراف آنها ایجاد کرده و به ارتفاع ۵ الی ۱۰ سانتیمتر در آن آب ریخت. ایجاد برکه آب از این نظر خوب است که تبخیر هرچند هم شدید باشد، نیازی نخواهد بود که مدام سطح مورد نظر را مرطوب کرد. لذا برکه مورد نظر در صورتیکه دما خیلی هم گرم باشد ممکن است اقلاً یکی دو روز دوام داشته و آب آن تبخیر نشود. در دمای معمولی گاهی یک هفته یا بیشتر ممکن است آبِ این برکه دوام داشته باشد. عیب این روش آن است که مصرف آب آن نسبتاً بالا بوده، برای جایی مناسب است که آب کافی موجود باشد.

در بکار بردن این روش باید دقت شود که شرایطی نباشد که آب نسبت به بتن بیش از ۱۰ درجه سانتیگراد اختلاف درجه حرارت داشته باشد. از آنجا که معمولاً اختلاف دمایی در شب و روز وجود دارد و از طرفی آب نسبت به بتن سریعتر گرم و یا سرد می‌شود، در این صورت اختلاف دما بین آب و بتن ممکن است ایجاد شود و در چنین حالتی ترک‌های موئین در سطح بتن ایجاد می‌شود. همچنین آب مصرفی جهت مراقبت نباید دارای عناصر شیمیائی مخرّب باشد. (طبیعتاً باید مانند آبی باشد که با آن بتن می‌سازیم)

واضح است که این روش برای جاهایی مناسب است که امکان یخزدگی وجود نداشته باشد.

روش (۲) - ایجاد مَه (آب‌پاشی) :

ایجاد مَه به این معنی است که آب به صورت ریز شده و پودر پاشیده شود تا روی بتن مورد نظر را مَه آب بپوشاند.

این روش برای جاههایی مناسب است که دما نسبتاً بالا باشد.

از انواع آب‌پاشها منجمله از آب‌پاشهایی که برای آب‌پاشی چمن استفاده می‌شود، می‌توان استفاده کرد. این روش برای آب‌پاشی سطوح افقی در وحله اول و نیز برای آب‌پاشی سطوح قائم مناسب است، لکن در مراقبت از سطوح قائم باید از شلنگهایی با سوراخهای مناسب، استفاده شود.

این روش برای جاهایی توصیه می‌شود که از نظر میزان مصرف آب، محدودیتی وجود نداشته باشد. (چون اتلاف آب در این روش بسیار بالا و حتی از روش اول هم بیشتر است).

روش (۳) - استفاده از پوشش‌های خیس :

پوشش‌هایی نظیر گونی، کرباس و موکت، اگر به صورت خیس شده روی بتن قرار گیرند، در مراقبت از سطوح بتنی بسیار مفید خواهند بود.

حُسْنِ این پوشش‌ها در این است که اولاً از تابش مستقیم آفتاب بر سطح بتن جلوگیری می‌کنند. لذا از تبخیر و خروج آب به میزان زیادی کاسته می‌شود. ثانیاً این پوشش‌ها مقداری از آب را در خود ذخیره می‌کنند که مدت زمانی طول می‌کشد تا این آب تبخیر شود.

ضمناً بسته به میزان حرارت و نوع و ضخامت پوشش، باید هرچند ساعت یا هر چند روز یکبار آنها را خیس کرد. توجه شود که در تابستان و در مناطق گرمی مانند جنوب کشور برای مراقبت صحیح و کامل از بتن با روش دوم (آب‌پاشی) باید هر نیم‌ساعت سطح بتن را آب‌پاشی کرد که امکان آن به خصوص اگر پروژه بزرگ باشد بسیار مشکل و شاید غیرممکن است، ولی چنانچه در همین مورد از روش سوم یعنی استفاده از پوشش خیس استفاده شود، می‌توان فاصله زمانی آب‌پاشی و خیس کردن گونی‌ها را به ۴ الی ۵ ساعت افزایش داد. در استفاده از پوشش خیس باید توجه گردد که از ریختن بتن باید چند ساعتی گذشته باشد تا بتوان پوشش را مورد استفاده قرار داد و الا ممکن است سطح بتن خراب و ناصاف شود.

در این روش علاوه بر پوشش‌های عادی نظیر گونی، کرباس، موکت و کتان، می‌توان از خاک یا خاک اره یا کاه یا علف با نظر مهندس کارگاه و در صورتی که اشکالی ایجاد نکند، استفاده کرد.

معمولاً پوشش به ضخامت ۵ سانتیمتر از خاک یا خاک اره و یا ۱۵ سانتیمتر کاه یا علف،

می‌تواند مناسب باشد. از خصوصیات چنین پوشش‌هایی این است که آب را به کندی از خود عبور می‌دهند و عایق خوبی هستند، همچنین حرارت و برودت بیرون را دیرتر به داخل بتن انتقال می‌دهند. این پوشش‌ها قادرند آب را تا حدود زیادی در خود ذخیره نمایند و احتمالاً آب‌پاشی چند ساعت یکبار را به چند روز یکبار تقلیل دهند. عیب این پوشش‌ها، لکه کردن احتمالی سطح بتن است. لذا از این روش نمی‌توان در مراقبت از بتن‌نما استفاده کرد.

پوشش‌های خاک، خاک اره، کاه و علف برای سطوح افقی مناسب بوده ولی پوشش‌های خیس (گونی، موکت و غیره) هم برای سطوح افقی و هم سطوح قائم مناسب هستند.

امروزه این روش یکی از روشهای متداول مراقبت از بتن است و در ساختمانهای بتن آرمه به‌خصوص در مراقبت از ستونها، از آن استفاده می‌شود.

روش (۴) - استفاده از کاغذهای نفوذناپذیر :

کاغذهای نفوذناپذیر معمولاً از دو لایه کاغذ گرافت تشکیل شده که با یک لایه قیر به هم چسبانده شده‌اند. این کاغذها چرب و روغنی بوده و تا حدی عایق رطوبت هستند.

در این روش ابتدا سطح بتن را کاملاً خیس نموده سپس کاغذ نفوذناپذیر را روی بتن پهن می‌کنند. این کاغذ اجازه نمی‌دهد که آب بتن تبخیر شود و لذا ممکن است با گذشت یک هفته یا ۱۰ روز، هنوز سطح بتن در زیر کاغذ مرطوب باقی مانده باشد.

هزینه استفاده از این کاغذها معمولاً بالاست در استفاده از کاغذهای نفوذناپذیر باید دقت شود که دو کاغذ مجاور، عرض ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر را به طور مشترک پوشش داده باشند.

کاغذ نفوذناپذیر را می‌توان به دفعات مورد استفاده قرار داد و چنانچه روزنه یا پارگی در کاغذ مشاهده شود، می‌توان با چسباندن یک تکه از همان کاغذ، آن را تعمیر یا مرمت کرد.

روش (۵) - استفاده از پوشش‌های نایلونی :

روش مناسبی برای جلوگیری از تبخیر آب محسوب می‌شود، لیکن اشکال آن این است که آسیب‌پذیر بوده و قابل ترمیم هم نیست. پوشش‌های نایلونی معمولاً در مقابل آفتاب خشک و پاره

می‌شوند.

روش (۶) - استفاده از مواد محافظ :

موادی هستند از جنس موم یا چربی یا چسب که معمولاً با دستگاهی نظیر دستگاه رنگ‌پاش روی سطح بتن پاشیده می‌شوند. در کارهای بزرگ و عادی مصرف آنها از نظر اقتصادی به صرفه نبوده ولی درکارهای خاصی که در ارتفاع اجرا شده و از نظر وسعت و حجم کوچک، ولی مراقبت از آن مشکل می‌باشد، استفاده از این مواد مقرون به صرفه است (نظیر موارد تزئینی، سردر و کنگره‌های بتنی که در ارتفاع ساخته می‌شوند).

روش (۷) - قالبهای درجا نگهداشته شده :

این قالبها می‌توانند از نقطه‌نظر مراقبت وسیله خوبی باشند. قالب‌های فلزی از این نظر خوبند که آب بتن را محبوس نموده و به هیچ وجه اجازه نمی‌دهند که آب از بتن خارج شده و تبخیر شود. لذا تا زمانی که قالب دور ستون است نباید نگران مراقبت از آن بود فقط قسمتهای باز بتن مانند سَرِ ستون باید با گونی خیس یا آب‌پاشی مراقبت شود.

در مورد قالبهای چوبی باید گفت که این قالب‌ها تا حدی آب بتن را جذب کرده از طرف دیگر عبور می‌دهند در مورد این قالب‌ها باید مراقبت ویژه‌ای در نظر گرفته شود، به این صورت که سطح قالب باید آب‌پاشی و خیس گردد (مثلاً روزی یکبار یا یک روز در میان).

ب : روشهایی که با ایجاد حرارت زیاد همراه با رطوبت کافی، گیرش بتن را تسریع می‌کند.

اصولاً بتن در دمای بالاتر واکنش‌های سریعتری را انجام می‌دهد. لذا می‌توان با ایجاد محیطی با حرارت و رطوبت مناسب کاری کرد که به جای اینکه مثلاً بتن در مدت ۷ روز سخت شود، در مدت زمانی کمتر مثلاً ۲ یا ۳ روز یا حتی یک روز به مقاومت و گیرش ۷ روزه برسد.

روش (۱) - استفاده از جریان بخار آب :

در این روش جریانی از بخار آب را مرتباً از روی قطعه بتنی عبور می‌دهند تا واکنش‌ها تسریع شده طول دوره مراقبت کاهش یابد. معمولاً با این روش می‌توان مراقبت ۷ روزه را به ۴۸ ساعت تقلیل داد. در این روش دمای سطح بتن با بخار آب، به ۸۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. استفاده از این روش برای بتن پیش ساخته مناسب است و برای بتن‌های درجا کاربرد ندارد.

روش (۲) - استفاده از بخار آب همراه با فشار :

در این روش، دمای حدود ۱۵۰ درجه با بخار آب به همراه فشار به قطعه که در یک محفظه قرار گرفته است، تزریق می‌شود. فشار موجود سبب می‌شود که گرما با سرعت بیشتری در عمق بتن نفوذ کرده و گیرش تسریع شود. در این روش معمولاً پس از ۲۴ ساعت مقاومت قطعه به مقاومت ۷ روزه بتن در حالت عادی می‌رسد و می‌توان مراقبت را متوقف کرد.

در کارگاهها و کارخانه‌های پیش ساخته و پیش تنیده از این روش برای مراقبت از قطعات پیش ساخته استفاده می‌شود.

(توجه شود که حرارتِ بالا به تنهایی از این نظر مضّر است که تبخیر را شدید می‌کند اما حُسن دو روش مذکور این است که حرارت توأم با بخار و رطوبت به بتن داده می‌شود).

مراقبت از بتن در هوای سرد

جدا از تکنیک‌های ذکر شده در مورد مراقبت، مراقبت از بتن در هوای سرد معمولاً نیاز به تکنیک‌های دیگری دارد. چون در هوای سرد مسئله تأمین رطوبت تقریباً منتفی است و سازندهٔ نگران تبخیر رطوبت نیست. لذا مسئله، مسئله دما و درجه حرارت است، چون اگر دما زیر صفر باشد بتن یخ می‌زند و چنانچه یخ زد، می‌بُرَد و دیگر واکنش‌های آن تکمیل نمی‌شود.

به این ترتیب مسئله بتن‌ریزی در هوای سرد این است که اولاً احتمال یخ‌زدگی بتن وجود دارد و ثانیاً به فرض آنکه بتن یخ نزند، به دلیل کافی نبودن درجه حرارت، زمان گیرش بتن و بالتبع زمان مراقبت از آن طولانی می‌شود.

بنابراین مشکل مراقبت از بتن در هوای سرد تأمین حرارت است که با روش‌های مختلف این کار را انجام می‌دهند. از جمله این روشها استفاده از لحاف‌های عایق است که معمولاً پوشش‌های عایق پشم‌شیشه‌ای، مناسب‌ترین پوشش هستند. با توجه به اینکه بتن در هنگام گرفتن، گرمازا بوده و گرمای آزاد شده، دمای محدوده خود بتن را بالا می‌برد، اگر چنانچه یک پوشش عایق روی بتن کشیده شود، دمای بتن از دمای محیط بالاتر رفته و به دلیل عایق بودن پوشش، تبادل حرارتی بتن با محیط خارج قطع شده و در نتیجه قطعه بتنی نسبت به دمای بیرون گرم‌تر می‌شود. این تکنیک ساده و عملی است، به خصوص برای دمای حدود صفر درجه بسیار مناسب است، ولی متأسفانه در عمل کمتر از آن استفاده می‌شود.

اگر دما باز هم سردتر باشد (مثلاً حدود ۴ الی ۵ درجه زیر صفر) استفاده از پوشش‌هایی که مجهز به وسایل گرمازا هستند مناسب است. در این روش پوشش‌هایی که المانهای حرارتی از داخل آنها عبور کرده است (شبیه پتوهای برقی) را مورد استفاده قرار داده و با اتصال این وسایل به برق و تولید گرما، مراقبت از بتن را انجام می‌دهند. استفاده از این گونه وسایل، باید کاملاً توجیه اقتصادی داشته باشد.

همچنین استفاده از بخاری یا شعله جهت مراقبت از بتن در هوای سرد نیز در مواردی مناسب است. (بعنوان مثال در صورت امکان می‌توان قطعات بتنی را در یک فضای سربسته قرار داده و آنها را با بخاری یا شعله گرم نمود).

روش‌های مراقبت از بتن، تنها به روشهای مذکور محدود نمی‌شود و بسته به نوع کار، حجم کار، دمای محیط، موقعیت و شرایط کار، هر مهندس کارگاهی می‌تواند به ابتکار خود در این خصوص اقدام نموده و چاره‌اندیشی کند.

به هر حال باید به این نکته توجه شود که در مراقبت از بتن در هوای عادی مسئله حرارت مطرح نبوده و مشکل، مشکل رطوبت است ولی در دمای سرد تقریباً مسئله رطوبت منتفی است و مسئله حرارت باید مدنظر قرار گیرد.

فصل پنجم

طرح اختلاط بتن به روش آئین‌نامه ACI - 211

مقدمه

طرح مخلوط بتنی به این مفهوم است که به چه نسبتی اجزاء بتن (سیمان آب - شن و ماسه) را مخلوط کنیم تا بتن ساخته شده به خواص مشخصی دست یابد معمولاً در طرح مخلوط بتن، سه مسئله مطرح است :

۱- رسیدن به مقاومت مورد نظر

۲- تأمین دوام کافی

۳- رسیدن به اسلامپ مورد نظر

موارد اول و دوم به بتن سخت شده و مورد سوم به بتن تازه مربوط می‌شود.

در مورد دوم باید توجه کرد که «دوام کافی» برای هر بتنی به شرایط محیطی که آن بتن در معرض آن قرار خواهد گرفت، بستگی دارد. عامل مخرب برای بتنی که در محیط سولفاتی قرار گرفته با بتنی که در ساحل دریا و در تماس با آب دریا قرار گرفته، متفاوت خواهد بود و عامل مخرب برای بتنی که در معرض یخ زدن و آب شدن‌های متوالی قرار گرفته، با دو مورد قبلی تفاوت خواهد داشت. بنابراین در یک طرح مخلوط مناسب، تأثیر هریک از عوامل مخرب محیطی در جای مناسب در نظر گرفته شده و تدابیر مناسب جهت تأمین دوام کافی، اتخاذ خواهد گردید.

امروزه روش‌های مختلف و آئین‌نامه‌های متعددی برای طرح مخلوط بتنی وجود دارد. از جمله طرح ACI ، طرح PCA ، طرح یونسکو، طرح B.S (آئین‌نامه انگلستان)، طرح فرانسه، طرح کانادا و دهها طرح تجربی دیگر. در این فصل طرح مخلوط بتن به روش آئین‌نامه ACI - 211 و با سه روش وزنی، حجمی و طرح سریع مورد بحث قرار گرفته و در فصل بعدی طرح مخلوط بتن به روش B.S مطرح خواهد شد.

قابل ذکر است که اکثر روش‌های طرح مخلوط بتن براساس خواص مصالحی که در هر منطقه یا هر کشور موجود بوده تنظیم شده و طبیعتاً کاربرد آنها در یک منطقه دیگر چندان دقیق نخواهد بود. آئین‌نامه آمریکا یا ACI - 211 از این مزیت برخوردار است که در مراحل پایانی طراحی، با ساخت یک نمونه آزمایشگاهی و انجام چند آزمایش ساده روی این نمونه، نتایج مراحل قبلی را اصلاح کرده و به این ترتیب تأثیر خواص ویژه مصالح هر منطقه را به نحو مناسب، در نتایج طراحی دخالت می‌دهد. به همین جهت روش این آئین‌نامه در مناطق مختلف و از جمله در ایران، نتایج دقیق‌تری را به دنبال خواهد داشت.

طرح اختلاط بتن به روش وزنی و حجمی ACI - 211 - 89

فرضیات کلی :

۱- مصالح مصرفی شن و ماسه باید در محدوده ASTM - C33 قرار گیرند. (کمیته C33 یکی از کمیته‌های مؤسسه ASTM است که روی خصوصیات مصالح شن و ماسه تحقیق می‌کند). تصویر (۱-۵) و جدول (۱-۵) که از استاندارد فوق‌الذکر اقتباس شده، محدوده مجاز شن و ماسه مصرفی را مشخص می‌کنند.

۲- وزن مخصوص ظاهری دانه‌ها را باید بوسیله آزمایش در آزمایشگاه تعیین نمود. در صورت عدم انجام چنین آزمایشی می‌توان وزن مخصوص شن را برابر ۲٫۶۸ و وزن مخصوص ماسه را برابر با ۲٫۶۴ در نظر گرفت.

توضیح : وزن مخصوص مصالح دانه‌ای به صورت نسبت وزن به حجم و یا وزن واحد حجم تعریف می‌شود.

وزن مخصوص ممکن است به صورت ظاهری و یا به صورت حقیقی تعیین شود. در وزن مخصوص ظاهری ازحجم ظاهری دانه‌ها یعنی مجموع حجمی که تک‌تک دانه‌ها اشغال کرده‌اند، استفاده می‌شود. در وزن مخصوص حقیقی از حجم حقیقی دانه‌ها یعنی حجم ظاهری دانه‌ها منهای حجم خلل و فرج داخلی دانه‌ها که با هوا اشغال شده، استفاده می‌شود. (گاهی در وزن مخصوص ظاهری از حجم ظاهری به صورت مجموع حجم دانه‌ها و حفره‌های بین دانه‌ها و به بیان دیگر حجم ظرفی که دانه‌ها در آن قرارگرفته‌اند، استفاده می‌شود. در این حالت در تعریف وزن مخصوص حقیقی از حجم ظاهری دانه‌ها یعنی مجموع حجمی که تک‌تک دانه‌ها اشغال کرده‌اند، استفاده می‌شود. در بحث جاری، از چنین تعاریفی برای وزن مخصوص ظاهری دانه، استفاده نشده است.)

همچنین چگالی یا دانسیته مصالح دانه‌ای به صورت نسبت وزن مخصوص (حقیقی یا ظاهری) دانه به وزن مخصوص آب تعریف شده است. بنابراین از تقسیم وزن مخصوص حقیقی یا ظاهری دانه برحسب کیلوگرم به مترمکعب، به عدد ۱۰۰۰، کمیت بدون بعد چگالی حقیقی یا ظاهری به دست می‌آید. در مورد مصالح دانه‌ای، گاهی چگالی ظاهری به نام وزن مخصوص ظاهری خوانده می‌شود.در طرح اختلاط بتن به روش ACI ، هرجا صحبت از وزن مخصوص ظاهری دانه‌ها می‌شود، منظور همان چگالی ظاهری دانه‌هاست. به همین جهت در این طرح به جای کلمه چگالی حقیقی، اختصاراً از کلمهٔ چگالی استفاده می‌شود.

۳- چگالی سیمان برابر ۳٫۱۵ در نظر گرفته می‌شود، مگر آنکه در آزمایشگاه مستقیماً چگالی سیمان مصرفی بدست آمده باشد.

۴- مدول نرمی ماسه با عبور ماسه از الک‌های استاندارد در آزمایشگاه، قابل تعیین است. در صورتی که چنین آزمایشی انجام نگرفته باشد، مدول نرمی ماسه را می‌توان برابر ۲٫۸ فرض کرد.

قبلاً ذکر شد که محدودهٔ مجاز مدول نرمی ماسه مصرفی در بتن، بین ۲٫۳ تا ۳٫۱ است.

۵- وزن شن و ماسه براساس حالت اشباع با سطح خشک (SSD) تعیین می‌شود. به عبارت دیگر فرض بر این است که دانه‌ها نه آبی از مخلوط به خود جذب کنند و نه آبی به مخلوط اضافه نمایند. اگر رطوبت شن و ماسه در حالت SSD نباشد، باید تصحیحات لازم برای وزن شن و ماسه و آب مصرفی صورت گیرد.

رطوبت حالت SSD دانه‌ها را می‌توان با آزمایش تعیین کرد. در صورتی که چنین آزمایشی انجام نگرفته باشد، می‌توان رطوبت SSD دانه‌های شنی را برابر ۰٫۵ درصد و رطوبت SSD دانه‌های ماسه‌ای را برابر ۰٫۷ درصد در نظر گرفت.

$\omega_{SSD\ ,\ CA} = ٪۰٫۵$

$\omega_{SSD\ ,\ FA} = ٪۰٫۷$

۶- جداول ارائه شده در روش ACI - 211 براساس تجربیات آزمایشگاهی تنظیم شده است. به همین جهت باید در مراحل پایانی طرح با ساخت نمونه‌های آزمایشی، اختلاف احتمالی شرایط و مصالح محلی با شرایط و مصالح استاندارد در محاسبه وارد شود.

مراحل طرح مخلوط به روش وزنی و حجمی

تذکر : جداول این بحث، که در انتهای فصل ارائه شده است، از آئین‌نامه مربوط به سال ۱۹۸۹ اقتباس شده است.

مرحله ۱ - انتخاب اسلامپ :

انتخاب اسلامپ مناسب برای بتن تازه، در وهله اول براساس تجربه است بدین ترتیب که مهندس با توجه به تجربیات قبلی و براساس نوع عضو سازه‌ای که بتن‌ریزی خواهد شد، اسلامپ لازم را انتخاب می‌کند. در صورتی که چنین تجربه‌ای موجود نباشد، می‌توان از جدول (۲-۵) استفاده کرد. در این جدول براساس نوع عضو بتنی، مقدار حداکثر و حداقل اسلامپ پیشنهاد شده است. با توجه به اینکه محدوده پیشنهادی نسبتاً وسیع است، نظر مهندس در تعیین عدد دقیق اسلامپ در محدوده پیشنهادی، با توجه به تجربه و شرایط کارگاهی، ضروری است.

مرحله ۲ - انتخاب بزرگترین بُعد دانه‌ها :

بزرگترین بعد دانه شنی (D_{max}) مصرفی براساس تجربه مهندس طراح و نیز امکانات و شرایط موجود محلی تعیین می‌شود. در مجموع هرچه از دانه‌های درشت‌تری استفاده شود، بتن دارای

اسکلت‌بندی قوی‌تری بوده و در ضمن مصرف سیمان نیز کاهش می‌یابد. ولی باید به محدودیت‌های حداکثر بعد دانه‌ها که قبلاً ذکر شد، توجه شود.

مرحله ۳- تخمین مقدار آب لازم و میزان هوا (W و A) :

مقادیر تقریبی آب لازم و میزان هوا را می‌توان از جدول (۳-۵) و براساس اسلامپ انتخاب شده و بزرگترین بعد دانه‌ها، تعیین کرد. قسمت بالای جدول برای بتن بدون هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این قسمت همچنین مقادیر تقریبی هوای غیرعمدی که در بتن بدون هوا ایجاد خواهد شد، پیش‌بینی شده است (مشروط بر آنکه ارتعاش لازم به بتن داده شود) قسمت پائین جدول برای بتن هوادار مورد استفاده قرار خواهد گرفت در این قسمت مقادیر متوسط درصد هوای لازم که در شرایط محیطی مختلف مناسب خواهد بود، پیش‌بینی شده است. نوع شرایط محیطی بسته به پیش‌بینی میزان حمله سولفاتها یا کلرورها و تر و خشک شدن‌های متوالی، ممکن است به صورت عادی[1]، متوسط[2] و یا شدید[3] تعیین گردد. درصدهای پیشنهادی هوا در این قسمت، با بکارگیری مواد مضاف مناسب و با استفاده از دستورالعملهای آنها در مورد میزان مصرف، حاصل خواهد شد.

تصمیم‌گیری در مورد استفاده از بتن هوادار یا بتن بدون هوا بسته به شرایط محیطی بتن و امکانات اجرایی کار و به عهده مهندس طراح است.

مرحله ۴- انتخاب نسبت آب به سیمان (W/C) :

انتخاب نسبت آب به سیمان براساس دو مسئله صورت می‌گیرد:

الف - براساس مقاومت مورد نیاز

ب - براساس شرایط محیطی بتن (و یا براساس دوام مورد نظر)

جدول الف -۴-۵، براساس مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن (نمونه استوانه‌ای) که در ساخت بتن مورد نظر است، عددی را برای نسبت آب به سیمان در بتن هوادار و بتن بدون هوا مشخص می‌کند.

---

1 - mild exposure 2 - moderate exposure 3 - extreme exposure

اعداد این جدول برای حالتی تنظیم شده که درصد هوا در بتن بدون هوا از ۲ درصد تجاوز نکند. (در غیر این صورت ممکن است با نسبت آب به سیمان انتخاب شده، مقاومت مورد نظر بدست نیاید) ملاحظه اعداد این جدول نشان می‌دهد که هرچه مقاومت بالاتری مورد نظر باشد، باید از نسبت آب به سیمان کمتری استفاده کرد.

جدول ب -۴-۵، حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز را براساس شرایط محیطی پیش‌بینی شده برای بتن و به بیان دیگر براساس دوام موردنظر، تعیین می‌کند. در این جدول دو حالت برای شرایط محیطی در نظرگرفته شده است، حالت اول برای سازه‌هایی است که دائماً یا متناوباً مرطوب بوده و در معرض یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرند، در چنین حالتی باید از بتن هوادار استفاده کرد. حالت دوم برای سازه‌هایی است که در معرض آب دریا و یا سولفاتها قرار می‌گیرند، در این حالت اگر از بتن ضد سولفات نوع V یا نوع II استفاده شود، می‌توان مقادیر مجاز نسبت آب به سیمان را به میزان ۰.۰۵ افزایش داد.

در این مرحله از طرح، اگر چنانچه عوامل محیطی نامناسب پیش‌بینی نشوند، فقط از جدول الف -۴-۵ استفاده می‌شود و در صورتیکه مسئله دوام بتن در مقابله با عوامل محیطی نامناسب نیز مطرح باشد، باید هم از جدول الف-۴-۵ و هم از جدول ب-۴-۵- استفاده کرد و کوچکترین دو مقدار بدست آمده را برای نسبت آب به سیمان در نظر گرفت.

مرحله ۵- محاسبه مقدار سیمان (C) :

با تقسیم وزن آب برحسب کیلوگرم در واحد حجم (خروجی مرحله سوم) بر نسبت آب به سیمان (خروجی مرحله چهارم)، مقدار سیمان برحسب کیلوگرم در واحد حجم بدست می‌آید.

مرحله ۶- تخمین مقدار دانه‌های درشت (CA) :

حجم دانه‌های درشت به صورت خشک و میله‌خورده در واحد حجم بتن را می‌توان براساس جدول (۵-۵) و براساس بزرگترین اندازهٔ اسمی دانه‌ها و مدول نرمی ماسه، تعیین کرد. از ضرب عدد بدست آمده در این قسمت، در وزن مخصوص ظاهری شن به صورت خشک و میله خورده، وزن

شن در واحد حجم بتن (مثلاً برحسب کیلوگرم بر متر مکعب) بدست می‌آید. وزن مخصوص ظاهری شن خشک و میله خورده، معمولاً در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

جدول (۵-۵) به صورت تجربی و برای رسیدن به یک درجه کارایی مناسب در ساختمانهای بتن مسلح معمولی تنظیم شده است. در مواردی که به کارایی کمتری نیاز باشد (نظیر بتن‌ریزی در رویه‌های بتنی)، می‌توان اعداد جدول را ۱۰ درصد افزایش داد تا بدین ترتیب مقدارِ شن، افزایش یافته و متناسب با آن مقدار ماسه کاهش یابد و بتن توپرتر و با کارایی کمتری حاصل شود. همچنین در مواردی که کارایی بیشتری نیاز باشد (نظیر مواردی که بتن‌ریزی با پمپ بتن صورت گیرد و یا مواردی که آرماتوربندی انبوه و متراکم باشد) می‌توان اعداد جدول را ۱۰ درصد کاهش داد تا مخلوط روان‌تری حاصل شود.

مرحله ۷- تعیین مقدار دانه‌های ریز (ماسه)، (FA) :

تا این مرحله روش وزنی و حجمی ACI در طرح مخلوط بتن، کاملاً یکسان بود. اما این دو روش در مرحله هفتم یعنی در تعیین وزن ماسهِ لازم، اندکی با هم متفاوت خواهند بود که هر یک از دو روش به طور جداگانه در این مرحله توضیح داده می‌شود.

الف - روش وزنی :

در این روش اساس کار بر این اصل استوار است که جمع وزن کلیهٔ اجزاء بتن در یک مترمکعب باید برابر با وزن مخصوص بتن تازه شود. بنابراین اگر اوزان شن، سیمان، آب در یک مترمکعب بتن از وزن مخصوص بتن تازه کم شود، وزن ماسه در یک مترمکعب بدست خواهد آمد یعنی :

$$FA = U - CA - W - C$$

که C، W و CA به ترتیب اوزان سیمان، آب و شن در یک مترمکعب بتن هستند که در مراحل قبلی بدست آمده‌اند. همچنین U معرف وزن مخصوص بتن تازه است.

برای تعیین وزن مخصوص بتن تازه، بهترین روش، تجربه است. مهندس طراح بتن، با توجه به تجربیات قبلی آزمایشگاهی که براساس ساخت بتن‌های با مصالح و شرایط مشابه حاصل شده‌اند، می‌تواند وزن مخصوص بتن تازه را پیش‌بینی کند. در صورتی که چنین تجربه‌ای وجود نداشته باشد می‌توان به عنوان یک تخمین مقدماتی از جدول (۶-۵) استفاده کرد. این جدول وزن مخصوص بتن تازه را براساس بزرگترین بُعد اسمی دانه‌ها، در بتن هوادار و بدون هوا، به صورت یک تخمین اولیه، پیش‌بینی می‌کند. از آنجا که اعداد این جدول برای حالت خاصی از وضعیت بتن تنظیم شده، اکثراً دقیق نبوده و استفاده از آن برای یک طرحِ مقدماتی و فاقد اهمیت توصیه می‌شود. بنابراین در مواردی که تجربه لازم در پیش‌بینی وزن مخصوص بتن تازه موجود نباشد، بهتر است از روش محاسباتی زیر و فرمولی که نهایتاً از آن استنتاج می‌شود استفاده کرد.

جمع اوزان دانه‌ها و آب و سیمان در یک مترمکعب بتن، برابر با وزن مخصوص بتن تازه خواهد بود. یعنی :

$$U = Agg + C + W$$

که منظور از Agg، وزن دانه‌های شن و ماسه در یک مترمکعب بتن است.

اگر چگالی هر یک از اجزاء را با G، وزن مخصوص آن را با γ و حجم آن را با V نمایش دهیم، خواهیم داشت :

$$\text{چگالی متوسط دانه‌های ریز و درشت} = G_{Agg} = \frac{\gamma_{Agg}}{\gamma_w} = \frac{Agg}{\gamma_w V_{Agg}}$$

و یا :

$$Agg = G_{Agg} \cdot V_{Agg} \cdot \gamma_w$$

بنابراین خواهیم داشت : $U = G_{Agg} \cdot V_{Agg} \cdot \gamma_w + C + W$

با توجه به اینکه در یک مترمکعب بتن، جمع احجام دانه‌ها، سیمان، آب و هوا برابر یک خواهد

شد، داریم :

$$U = G_{Agg}\ \gamma_w \left(۱ - V_c - V_w - \frac{A}{۱۰۰} \right) + C + W$$

که منظور از A درصد حجمی هوا است. با قرار دادن مقادیر زیر در رابطه فوق،

$$V_c = \frac{C}{G_c \gamma_w} \qquad \text{و} \qquad V_w = \frac{W}{\gamma_w}$$

و اگر چگالی متوسط دانه‌های ریز و درشت را اختصاراً با G_a نمایش داده و وزن مخصوص آب را برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر بگیریم، فرمول نهایی زیر حاصل خواهد شد :

$$U = ۱۰ G_a (۱۰۰ - A) + C \left(۱ - \frac{G_a}{G_c} \right) - W (G_a - ۱)$$

چگالی متوسط دانه‌های ریز و درشت را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$G_a = \frac{۱}{۲} (G_{CA} + G_{FA})$$

ب - روش حجم مطلق (روش حجمی) :

در این روش حجم ماسه را چنان تعیین می‌کنند که جمع احجام کلیه اجزاء موجود در یک مترمکعب از بتن تازه، برابر واحد شود. بنابراین :

$$V_{FA} = ۱ - V_{CA} - V_C - V_W - \frac{A}{۱۰۰}$$

$$\frac{FA}{G_{FA} \cdot \gamma_W} = ۱ - \frac{CA}{G_{CA} \cdot \gamma_W} - \frac{C}{G_C \cdot \gamma_W} - \frac{W}{\gamma_W} - \frac{A}{۱۰۰}$$

با ساده کردن رابطهٔ فوق، فرمول نهایی زیر حاصل می‌شود :

$$FA = ۱۰ G_{FA} (۱۰۰ - A) - G_{FA} \left(\frac{CA}{G_{CA}} + \frac{C}{G_C} + W \right)$$

در رابطهٔ فوق، FA بیانگر وزن ماسهٔ لازم برحسب کیلوگرم در یک مترمکعب از بتن است.

مرحله ۸- تصحیح به جهت رطوبت دانه‌ها :

در مراحل قبلی فرض بر این بوده است که دانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) هستند و بنابراین نه آبی از مخلوط جذب کرده و نه آبی به آن اضافه می‌نمایند. معمولاً در شرایط کارگاهی دانه‌ها یا رطوبتی کمتر از حالت SSD داشته (دانه‌های خشک) و یا رطوبتی بیش از آن دارند (دانه‌های خیس)، لذا لازم است تصحیحات مناسب در اوزان شن و ماسه و نیز در مقدار آب صورت پذیرد.

- تصحیح وزن شن و ماسه :

اگر وزن شن و ماسه در حالت مرطوب را به ترتیب با CA_W و FA_W و درصد رطوبت طبیعی آنها را به ترتیب با ω_{CA} و ω_{FA} نمایش دهیم، خواهیم داشت :

$$CA_W = CA (۱ - \omega_{CA}) \qquad FA_W = (۱ + \omega_{FA})$$

توجه شود که درصد رطوبت دانه‌ها نسبت به وزن خشک آنها اندازه‌گیری می‌شود.

- تصحیح مقدار آب :

بی که در مخلوط بتن مورد نیازاست تا اسلامپ مورد نظر حاصل شود، همان مقداری است که در مرحلهٔ سوم بدست آمد. اما ممکن است به دلیل رطوبت بیشتر از حالت SSD دانه‌ها، مقداری آب

اضافی در مخلوط حاصل شود. در چنین حالتی باید آب کمتری به مخلوط اضافه شود. همچنین امکان دارد به دلیل رطوبت کمتر از حالت SSD دانه‌ها، مقداری از آب مخلوط جذب دانه‌ها شود. در این حالت باید آب بیشتری به مخلوط اضافه شود.

این تصحیحات را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد :

$$W_{(\text{اصلاح شده})} = W_{(\text{قبلی})} - CA\,(\omega_{CA} - \omega_{SSD\,,\,CA}) + FA\,(\omega_{FA} - \omega_{SSD\,,\,FA})$$

در این رابطه رطوبت حالت اشباع با سطح خشک شن و ماسه به ترتیب با $\omega_{SSD,CA}$ و $\omega_{SSD,FA}$ نمایش داده شده‌اند.

مرحله ۹- ساخت نمونهٔ آزمایشی و انجام تصحیحات لازم :

جداولی که تا این مرحله مورد استفاده قرار گرفتند، به صورت تجربی تنظیم شده‌اند و ممکن است تحت شرایط محلی و مصالح محلی، منجر به نتایج کاملاً دقیق نشوند. از این جهت در این مرحله از طرح، امکان تجدیدنظر واقع‌بینانه‌ای در نتایج قبلی، فراهم شده است.

در این مرحله لازم است یک نمونه کوچک آزمایشگاهی (مثلاً ۲۰ لیتری) با استفاده از نتایج حاصله در مراحل قبلی ساخته شود. در ساخت این نمونه اوزان بدست آمده برای سیمان، شن و ماسه را به صورت دقیق رعایت کرده و وزن بدست آمده برای آب به صورت حدودی رعایت می‌شود. بدین ترتیب که با یک کنترل چشمی، آنقدر آب اضافه کرده تا احساس شود مخلوط به اسلامپ مورد نظر رسیده است. گرچه این مقدار آب ممکن است اندکی کمتر یا بیشتر از مقدار محاسباتی باشد.

حال بر روی نمونه ساخته شده چند آزمایش ساده و سریع انجام می‌گیرد :

الف - آزمایش اسلامپ :

اسلامپ بتن ساخته شده اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً این اسلامپ با اسلامپ موردنظر مطابقت ندارد. برای اصلاح اسلامپ، به ازاء هر ۱ سانتیمتر اختلاف اسلامپ نمونه با اسلامپ مورد نظر، در

طرح بعدی مقدار آب لازم در مخلوط به میزان ۲ کیلوگرم بر متر مکعب بتن و در جهت مناسب اصلاح می‌شود (واضح است که اگر اسلامپ نمونه کمتر از اسلامپ موردنظر باشد، در طرح بعدی باید تصحیح مقدار آب به صورت افزایش اعمال شود و بالعکس)

ب - آزمایش وزن مخصوص :

حجم مشخصی از نمونه ساخته شده، انتخاب شده و پس از وبیره کردن آن، با تقسیم وزن بر حجم، وزن مخصوص بتن تازه اندازه‌گیری می‌شود. این عدد به عنوان بهترین تجربه برای وزن مخصوص بتن تازه (U) ، در عملیات بعدی بکار گرفته می‌شود.

ج - آزمایش تعیین درصد هوا :

انجام این آزمایش برای بتن هوادار الزامی بوده ولی در بتن بدون هوا، ضرورتی ندارد.

در این آزمایش با روش‌های آزمایشگاهی متداول، درصد هوا در نمونه ساخته شده، اندازه‌گیری می‌شود. در صورت اختلاف درصد هوای نمونه با درصد هوای مورد نظر، اصلاحات زیر اعمال می‌شود :

۱- درصد مواد مضاف تغییر داده می‌شود.

۲- به ازاء هر ۱ درصد اختلاف بین درصد هوای نمونه با درصد هوای مورد نظر، در طرح بعدی مقدار آب لازم در مخلوط، به میزان ۳کیلوگرم بر مترمکعب بتن و در جهت مناسب، اصلاح می‌شود. (مثلاً اگر درصد هوای نمونه کمتر از درصد هوای مورد نظر باشد، در طرح بعدی تصحیح آب به صورت کاهش اعمال می‌شود زیرا در طرح بعدی مقدار درصد هوا افزایش یافته و بنابراین بتن با هوای بیشتر روان‌تر خواهد شد و بنابراین در یک اسلامپ ثابت، به آب کمتری نیاز خواهدبود).

۳- بدلیل آنکه در طرح بعدی درصد هوا تغییر می‌کند، در یک حجم ثابت از بتن تازه وزن آن تغییر می‌کند. بنابراین لازم است در طرح بعدی، اصلاحی در وزن مخصوص بدست آمده در قسمت ب، به صورت زیر انجام گیرد.

$$\Delta A = A_{\text{مورد نظر}} - A_{\text{نمونه}} = \text{(درصد هوای مورد نظر)} - \text{(درصد هوای نمونه)}$$

$$U_{\text{(اصلاح شده)}} = \frac{U_{\text{(آزمایش)}}}{1 + \frac{\Delta A}{100}}$$

با اعمال اصلاحات این مرحله از طرح در مراحل قبلی طرح، طرح جدیدی از مخلوط بتنی فراهم می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که طرح جدید به واقعیت بسیار نزدیک باشد. بنابراین می‌توان آن را با اطمینان در اکثر کارهای عملی بکار گرفت. معذالک اگر در یک پروژه خاص، دقت بسیار بالا موردنظر باشد، می‌توان جهت اطمینان کامل از نتیجه طرح، مجدداً با ساخت یک نمونه آزمایشی مرحله نهم را تکرار کرده و در صورت لزوم اصلاحات جدیدی را در طراحی اعمال نمود.

مثال ۱ :

در یک کار بتنی، مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای (f'_c) برابر با ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و اسلامپ ۸ تا ۱۰ سانتیمتر مورد نیازاست دانه‌های شنی مورد استفاده، دارای بزرگترین بعد حدود ۴۰ میلیمتر و وزن مخصوص ظاهری خشک و میله خوردهٔ ۱۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب هستند. سیمان مصرفی مورد استفاده، سیمان پرتلند معمولی (تیپ I) است.

رطوبت طبیعی دانه‌های شنی و ماسه‌ای مورد استفاده به ترتیب برابر با ۲٪ و ۶٪ و مدول نرمی ماسه برابر با ۲٫۸ اندازه‌گیری شده‌اند با استفاده از روش وزنی و روش حجمی ACI - 211 ، طرح مخلوط بتن را ارائه دهید.

حـل :

لازم است مراحل نه‌گانه به ترتیب انجام گیرند.

مرحله ۱ - تعیین اسلامپ :

براساس صورت مسئله : ۱۰ cm - ۸ = اسلامپ

مرحله ۲ - انتخاب بزرگترین اندازه دانه‌ها :

براساس صورت مسئله : D_{max} = ۴۰ mm

مرحله ۳- تخمین مقدار آب و هوا :

با توجه به اینکه شرایط محیطی نامناسبی در صورت مسئله پیش‌بینی نشده می‌توان از بتن بدون هوا استفاده کرد. با استفاده از جدول (۳-۵) و با درون‌یابی :

$$\begin{cases} W = ۱۸۱ - \dfrac{۴۰ - ۳۷/۵}{۵۰ - ۳۷/۵}(۱۸۱ - ۱۶۹) \cong ۱۷۹ \ \ kg/m^۳ \\ A = ٪۱ \end{cases}$$

مرحله ۴- انتخاب نسبت آب به سیمان :

با استفاده از جدول (الف-۴-۵) :

$$\frac{W}{C} = ۰/۶۱$$

مرحله ۵- محاسبه مقدار سیمان :

$$C = \frac{W}{W/C} = \frac{۱۷۹}{۰/۶۱} = ۲۹۳ \ \ kg/m^۳$$

مرحله ۶- تخمین مقدار دانه‌های درشت :

با استفاده از جدول (۵-۵) و با درون‌یابی

$$\text{حجم ظاهری شن در واحد حجم بتن} = ۰/۷۱ + \frac{۴۰-۳۷/۵}{۵۰-۳۷/۵}(۰/۷۴ - ۰/۷۱) \cong ۰/۷۲$$

$$\text{وزن شن خشک} = CA = ۰/۷۲ \times ۱۶۰۰ = ۱۱۵۲ \ \ kg/m^۳$$

مرحله ۷- تعیین مقدار دانه‌های ریز :

تا این مرحله نتایج حاصله برای روش وزنی و روش حجمی ACI یکسان بود از این مرحله به بعد هریک از دو روش به صورت جداگانه دنبال خواهد شد. البته در یک طرح عملی، به کار بردن

یکی از دو روش وزنی یا حجمی کافی است.

الف - براساس روش وزنی :

وزن مخصوص بتن تازه با استفاده از تجربه و یا با رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$U = ۱۰G_a (۱۰۰ - A) + C \left(۱ - \frac{G_a}{G_c} \right) - W (G_a - ۱)$$

$$G_a = \frac{۱}{۲} (G_{CA} + G_{FA}) = \frac{۱}{۲} (۲/۶۸ + ۲/۶۴) = ۲/۶۶$$

$$U = ۱۰ \times ۲/۶۶ (۱۰۰ - ۱) + ۲۹۳ \left(۱ - \frac{۲/۶۶}{۳/۱۵} \right) - ۱۷۹ (۲/۶۶ - ۱) = ۲۳۸۲ \ kg/m^۳$$

(همچنین می‌توانستیم با استفاده از جدول (۶-۵) و با درون‌یابی مقدار $۲۴۱۷ \ kg/m^۳$ را برای وزن مخصوص بتن تازه بدست آوریم که چندان دقیق نیست).

با اعمال رابطه وزنی در حجم واحد بتن داریم :

$$FA = U - CA - W - C$$

$$FA = ۲۳۸۲ - ۱۱۵۲ - ۱۷۹ - ۲۹۳ = ۷۵۸ \ kg/m^۳$$

ب - براساس روش حجمی :

$$FA = ۱۰ \ G_{FA} \ (۱۰۰ - A) - G_{FA} \left(\frac{CA}{G_{CA}} + \frac{C}{G_C} + W \right)$$

$$FA = ۱۰ \times ۲/۶۴ (۱۰۰ - ۱) - ۲/۶۴ \left(\frac{۱۱۵۲}{۲/۶۸} + \frac{۲۹۳}{۳/۱۵} + ۱۷۹ \right) = ۷۶۱ \ kg/m^۳$$

مرحله ۸- تصحیح به جهت رطوبت دانه‌ها :

الف - براساس روش وزنی :

- تصحیح وزن دانه‌ها :

$$CA_W = CA\ (1 + \omega_{CA}) = ۱۱۵۲\ (1 + ۰/۰۲) = ۱۱۷۵\ kg/m^3$$

$$FA_W = FA\ (1 + \omega_{FA}) = ۷۵۸\ (1 + ۰/۰۶) = ۸۰۳\ kg/m^3$$

- تصحیح وزن آب

$$W_{(اصلاح شده)} = W_{(قبلی)} - [\ CA\ (\omega_{CA} - \omega_{SSD\ ,\ CA}) + FA\ (\omega_{FA} - \omega_{SSD\ ,\ FA})\ ]$$

$$W_{(اصلاح شده)} = ۱۷۹ - [\ ۱۱۵۲\ (۰/۰۲ - ۰/۰۰۵) + ۷۵۸\ (۰/۰۶ - ۰/۰۰۷)\ ] = ۱۲۲ kg/m^3$$

ب - براساس روش حجمی :

$$CA_W = ۱۱۵۲\ (1 + ۰/۰۲) = ۱۱۷۵\ kg/m^3$$

$$FA_W = ۷۶۱\ (1 + ۰/۰۶) = ۸۰۷\ kg/m^3$$

$$W_{(اصلاح شده)} = ۱۷۹ - [\ ۱۱۵۲\ (۰/۰۲ - ۰/۰۰۵) + ۷۶۱\ (۰/۰۶ - ۰/۰۰۷)\ ] = ۱۲۱\ kg/m^3$$

مرحله ۹- ساخت نمونه آزمایشی و انجام تصحیحات لازم :

الف - براساس روش وزنی :

معمولاً ساخت نمونه‌ای در حدود ۲۰ لیتر برای انجام کلیهٔ آزمایشها کافی است. برای ساخت این نمونه، لازم است مقادیر زیر را جدا کنیم.

مقدار شن لازم = ۰٫۰۲ × ۱۱۷۵ = ۲۳٫۵ kg

مقدار ماسه لازم = ۰٫۰۲ × ۸۰۳ = ۱۶٫۱ kg

مقدار سیمان لازم = ۰٫۰۲ × ۲۹۳ = ۵٫۹ kg

مقدار آب لازم = ۰٫۰۲ × ۱۲۲ = ۲٫۴ kg

برای ساخت نمونه، اوزان شن، ماسه و سیمان را دقیقاً رعایت کرده ولی مقدار آب را به صورت حدودی رعایت می‌کنیم. یعنی در اینجا میزان دقیق آب براساس کنترل چشمی اسلامپ تعیین می‌شود. (اگر برای کنترل چشمی اسلامپ تجربه نداشته باشیم، می‌توان مقدار محاسبه شده آب را نیز دقیقاً رعایت کرد. طبیعتاً در این حالت خطای حل مسئله، بیشتر خواهد شد).

فرض کنیم که در شرایط آزمایشگاهی با اضافه کردن ۲٫۴ کیلوگرم آب، احساس شده که اسلامپ در محدوده ۸ الی ۱۰ سانتیمتر نیست. بنابراین به اضافه کردن آب ادامه داده‌ایم تا اینکه در مجموع ۲٫۷ کیلوگرم آب مورد مصرف قرار گرفت.

حال باید روی نمونه، آزمایشات لازم انجام گیرد. چون بتن، بدون هواست، فقط آزمایش اسلامپ و وزن مخصوص انجام می‌شود.

فرض کنید که نتایج حاصله از آزمایش روی نمونه به صورت زیر باشد :

اسلامپ = ۵ cm

$U = ۲۳۹۰ \ kg/m^3$

از آن جهت که اسلامپ بدست آمده کمتر از اسلامپ مورد نظر (به طور متوسط ۹ سانتیمتر) بوده است، به ازای هر ۱ سانتیمتر اختلاف اسلامپ، باید مقدار آب لازم در بتن را به میزان $۲ \ kg/m^3$ افزایش داد.

$$\text{آب موجود در نمونهٔ آزمایشی} = ۲٫۷ + \frac{۲۳٫۵}{۱٫۰۲}(۰٫۰۲ - ۰٫۰۰۵) + \frac{۱۶٫۱}{۱٫۰۶}(۰٫۰۶ - ۰٫۰۰۷)$$
$$= ۳٫۸۵ \ kg$$

(مفهوم محاسبهٔ فوق این است که اگر چه به صورت دستی ۲٫۷ کیلوگرم آب به نمونه اضافه

کرده‌ایم، ولی در واقع به دلیل رطوبت اضافی دانه‌ها، مقدار ۳٫۸۵ کیلوگرم آب داشته‌ایم.)

وزن نمونه = ۲۳٫۵ + ۱۶٫۱ + ۵٫۹ + ۲٫۷ = ۴۸٫۲ kg

حجم دقیق نمونه = $\frac{۴۸٫۲}{۲۳۹۰}$ = ۰٫۰۲۰۱۷ m^3

آب لازم برای ساخت ۱ مترمکعب بتنی که کاملاً مشابه نمونه باشد، برابر است با:

$$W = \frac{۳٫۸۵}{۰٫۰۲۰۱۷} = ۱۹۱ \ kg/m^3$$

- اصلاح آب به جهت اسلامپ :

$$W = ۱۹۱ + ۴\times۲ = ۱۹۹ \ kg/m^3$$

(دقت شود که عدد ۱۹۹ به جای عدد ۱۷۹ که در ابتدای حل مسئله از جدول استخراج کردیم، قرار گرفته است.)

- محاسبهٔ مقدار سیمان : $C = \frac{۱۹۹}{۰٫۶۱} = ۳۲۶ \ kg/m^3$

- محاسبهٔ مقدار شن :

شن لازم برای ساخت ۱ مترمکعب بتنی که کاملاً مشابه نمونه باشد برابر است با :

$$CA_w = \frac{۲۳٫۵}{۰٫۰۲۰۱۷} = ۱۱۶۵ \ kg/m^3$$

مقدار شن خشک $CA_d = \frac{۱۱۶۵}{۱٫۰۲} = ۱۱۴۲ \ kg/m^3$

وزن شن در حالت SSD = $CA_{SSD} = ۱۱۴۲ \ (۱ + ۰٫۰۰۵) = ۱۱۴۸ \ kg/m^3$

- محاسبه مقدار ماسه :

وزن کلیه اجزاء در یک مترمکعب از بتن باید برابر وزن مخصوص بتن تازه گردد. بنابراین:

وزن ماسه در حالت SSD $FA_{SSD} = ۲۳۹۰ - (۱۹۹ + ۳۲۶ + ۱۱۴۸) = ۷۱۷ \ kg/m^۳$

وزن ماسه خشک $= FA_d = \frac{۷۱۷}{۱/۰۰۷} = ۷۱۲ \ kg/m^۳$

وزن ماسه مرطوب $= FA_w = ۷۱۲ (۱ + ۰/۰۶) = ۷۵۵ \ kg/m^۳$

- تصحیح مقدار آب به جهت رطوبت دانه‌ها :

$W_{(اصلاح شده)} = ۱۹۹ - [۱۱۴۲ (۰/۰۲ - ۰/۰۰۵) + ۷۱۲ (۰/۰۶ - ۰/۰۰۷)] = ۱۴۴ \ kg/m^۳$

- مقادیر نهایی اجزاء بتن

$C = ۳۲۶ \ kg/m^۳$

$CA_w = ۱۱۶۵ \ kg/m^۳$

$FA_w = ۷۵۵ \ kg/m^۳$

$W = ۱۴۴ \ kg/m^۳$

جمع : $U = ۲۳۹۰ \ kg/m^۳$

ب - براساس روش حجمی :

برای ساخت نمونه ۲۰ لیتری به اجزاء زیر نیاز داریم :

مقدار شن لازم $= ۰/۰۲ \times ۱۱۷۵ = ۲۳/۵ \ kg$

مقدار ماسه لازم = ۰/۰۲ × ۸۰۷ = ۱۶/۱ kg

مقدار سیمان لازم = ۰/۰۲ × ۲۹۳ = ۵/۹ kg

مقدار آب لازم = ۰/۰۲ × ۱۲۱ = ۲/۴ kg

مجدداً فرض کنیم که در ساخت نمونه مقادیر شن، ماسه و سیمان را کاملاً رعایت کرده ولی آب را با کنترل چشمی اسلامپ، به میزان ۲/۷ کیلوگرم مصرف کرده‌ایم.

فرض کنیم در این قسمت نیز پس از انجام آزمایش، اسلامپ ۵ سانتیمتر و وزن مخصوص ۲۳۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده باشد با عملیاتی مشابه با روش وزنی خواهیم داشت :

آب موجود در نمونه آزمایشی = ۳/۸۵ kg

حجم دقیق نمونه = ۰/۰۲۰۱۷ m^3

$$\text{مقدار آب لازم} = W = \frac{۳/۸۵}{۰/۰۲۰۱۷} + ۴\times۲ = ۱۹۹ \ kg/m^3$$

$$C = \frac{۱۹۹}{۰/۶۱} = ۳۲۶ \ kg/m^3$$

$$CA_w = \frac{۲۳/۵}{۰/۰۲۰۱۷} = ۱۱۶۵ \ kg/m^3$$

$$CA_d = \frac{۱۱۶۵}{۱/۰۲} = ۱۱۴۲ \ kg/m^3$$

برای تعیین وزن ماسه لازم به روش حجمی، ابتدا بررسی می‌کنیم که چه حجمی از نمونه به هوا اختصاص یافته است.

$$\text{وزن شن خشک در نمونه} = \frac{۲۳/۵}{۱/۰۲} = ۲۳/۰۴ \ kg$$

وزن ماسه خشک در نمونه $= \frac{۱۶/۱}{۱/۰۶} = ۱۵/۱۹ \ kg$

حجم هوا در نمونه $= ۰/۰۲۰۱۷ - (\frac{۲۳/۰۴}{۲/۶۸ \times ۱۰۰۰} + \frac{۱۵/۱۹}{۲/۶۴ \times ۱۰۰۰} + \frac{۵/۹}{۳/۱۵ \times ۱۰۰۰} + \frac{۳/۸۵}{۱۰۰۰})$

$= ۹/۶۲ \times ۱۰^{-۵} \ m^۳$

درصد حجم هوا $= A = \frac{۹/۶۲ \times ۱۰^{-۵}}{۰/۰۲۰۱۷} \times ۱۰۰ = ٪۰/۵$

حال با نوشتن رابطه حجمی در یک مترمکعب بتن خواهیم داشت :

$$FA = ۱۰ \ G_{FA} \ (۱۰۰ - A) - G_{FA} \ (\frac{CA}{G_{CA}} + \frac{C}{G_C} + W)$$

$$FA_d = ۱۰ \times ۲/۶۴ \ (۱۰۰ - ۰/۵) - ۲/۶۴ \ (\frac{۱۱۴۲}{۲/۶۸} + \frac{۳۲۶}{۳/۱۵} + ۱۹۹)$$

$$FA_d = ۷۰۳ \ kg/m^۳$$

$$FA_w = ۷۰۳ \ (۱ + ۰/۰۶) = ۷۴۵ \ kg/m^۳$$

$$W_{(اصلاح شده)} = ۱۹۹ - [\ ۱۱۴۲ \ (۰/۰۲ - ۰/۰۰۵) + ۷۰۳ \ (۰/۰۶ - ۰/۰۰۷)\ ] = ۱۴۵ \ kg/m^۳$$

مقادیر نهایی اجزاء در این طرح به شرح زیر خواهند بود :

$C = ۳۲۶ \ kg/m^۳$

$CA_w = ۱۱۶۵ \ kg/m^۳$

$FA_w = ۷۴۵ \ kg/m^۳$

$W = ۱۴۵ \ kg/m^۳$

واضح است که چون به روش حجمی عمل کرده‌ایم، جمع این اجزاء لزوماً برابر با وزن

مخصوص بتن تازه نخواهد بود.

مثال ۲ :

برای بتن‌ریزی حجیم در پایه یک پل بتنی که در معرض آب تازه با آب و هوای متغیر گرم و سرد قرار می‌گیرد، نیاز به بتنی با مقاومت ۲۸ روزه فشاری (نمونه استوانه‌ای) برابر $۲۱۰ kg/cm^۲$ داریم. موقعیت بتن‌ریزی، اجازه استفاده از اسلامپی در محدوده ۵-۲٫۵ cm و دانه‌های شنی کاملاً درشت را می‌دهد، اما تنها دانه‌های شنی در دسترس و اقتصادی، حداکثر اندازه ۲۵ cm را داراست. وزن مخصوص ظاهری خشک و میله خورده شن موجود برابر $۱۵۰۰ kg/m^۳$ است سیمان مورد استفاده، سیمان تیپ I، رطوبت دانه‌های شن و ماسه به ترتیب ۳٪ و ۵٪ و مدول نرمی ماسه برابر ۲٫۸ است. رطوبت اشباع دانه‌های درشت و ریز به ترتیب ۰٫۵ درصد و ۰٫۷ درصد برآورده شده است.

با استفاده از روش وزنی و حجمی ACI - 211 طرح مخلوط بتن را انجام دهید.

حل :

مرحله ۱- تعیین اسلامپ :

براساس صورت مسئله از اسلامپ ۲٫۵ تا ۵ سانتیمتر استفاده می‌شود.

مرحله ۲- انتخاب بزرگترین بعد دانه‌ها

براساس صورت مسئله $D_{max} = ۲۵ mm$ است.

مرحله ۳- تخمین مقدار آب و هوا :

چون بتن تحت شرایط محیطی نامناسب، به صورت تر و خشک شدن‌های متوالی، سرد و گرم شدن‌های متوالی و یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرد، از بتن هوادار استفاده می‌کنیم.

با استفاده از جدول (۳-۵) خواهیم داشت : $W = ۱۶۰ kg/m^۳$

اگر شرایط محیطی را متوسط در نظر بگیریم، درصد هوای پیشنهادی جدول برای این بتن

۴٫۵ درصد خواهد بود. در این مسئله ما درصد هوای مورد نیاز برای بتن هوادار را در حدود ٪۵ در نظر می‌گیریم. $A = ٪۵$

مرحله ۴- انتخاب نسبت آب به سیمان :

با استفاده از جدول (الف-۴-۵) و با درون‌یابی خواهیم داشت : $\frac{W}{C} = ۰٫۵۸$

چون شرایط محیطی عادی نبوده و دوام بتن، مورد نظر است، از جدول (ب-۴-۵) نیز استفاده می‌کنیم. $\frac{W}{C} = ۰٫۵۰$

مقدار حداقل از مقادیر بدست آمده برای $\frac{W}{C}$ را ملاک قرار می‌دهیم (یعنی $\frac{W}{C} = ۰٫۵۰$)

مرحله ۵- محاسبه مقدار سیمان :

$$C = \frac{W}{W/C} = \frac{۱۶۰}{۰٫۵} = ۳۲۰ \ kg/m^۳$$

مرحله ۶- تخمین مقدار دانه‌های درشت :

با استفاده از جدول (۵-۵) : حجم ظاهری شن در واحد حجم بتن $= ۰٫۶۷ \ m^۳$

با توجه به اینکه بتن‌ریزی مربوط به پایه پل بوده و معمولاً کارایی بالا مورد احتیاج نیست، می‌توان مقدار بالا را ده درصد افزایش داد :

حجم ظاهری شن در واحد حجم بتن $= ۰٫۶۷ \times ۱٫۱ = ۰٫۷۴ \ m^۳$

وزن شن خشک $= CA_d = ۰٫۷۴ \times ۱۵۲۰ = ۱۱۲۵ \ kg/m^۳$

مرحله ۷- تخمین مقدار دانه‌های ریز :

الف - براساس روش وزنی :

$$U = ۱۰ \times ۲٫۶۶ (۱۰۰ - ۵) + ۳۲۰ (۱ - \frac{۲٫۶۶}{۳٫۱۵}) - ۱۶۰ (۲٫۶۶ - ۱) = ۲۳۱۱ \ kg/m^۳$$

$$FA_d = ۲۳۱۱ - ۱۱۲۵ - ۱۶۰ - ۳۲۰ = ۷۰۶ \ kg/m^3$$

ب - براساس روش حجمی :

$$FA_d = ۱۰ \times ۲/۶۴ (۱۰۰-۵) - ۲/۶۴ \left(\frac{۱۱۲۵}{۲/۶۸} + \frac{۳۲۰}{۳/۱۵} + ۱۶۰\right) = ۷۰۹ \ kg/m^3$$

مرحله ۸- تصحیح به جهت رطوبت دانه‌ها :

الف - براساس روش وزنی :

$$CA_w = ۱۱۲۵ \times (۱ + ۰/۰۳) = ۱۱۵۹ \ kg/m^3$$

$$FA_w = ۷۰۶ \times (۱ + ۰/۰۵) = ۷۴۱ \ kg/m^3$$

$$W = ۱۶۰ - [۱۱۲۵ (۰/۰۳ - ۰/۰۰۵) + ۷۰۶ (۰/۰۵ - ۰/۰۰۷)] = ۱۰۲ \ kg/m^3$$

ب - براساس روش حجمی :

$$CA_w = ۱۱۵۹ \ kg/m^3$$

$$FA_w = ۷۴۴ \ kg/m^3$$

$$W = ۱۰۱ \ kg/m^3$$

مرحله ۹- ساخت نمونه آزمایشی و انجام تصحیحات لازم :

الف - براساس روش وزنی :

برای ساخت نمونه‌ای با حجم ۲۰ لیتر، باید مقادیر زیر را از مصالح موجود جداکنیم :

$$CA_w = ۰/۰۲ \times ۱۱۵۹ = ۲۳/۲ \ kg$$

$$FA_w = ۰/۰۲ \times ۷۴۱ = ۱۴/۸ \ kg$$

$$C = ۰/۰۲ \times ۳۲۰ = ۶/۴ \ kg$$

$$W = ۰/۰۲ \times ۱۰۲ = ۲/۰۴ \ kg$$

علاوه بر مصالح فوق، باید به اندازه مناسب و براساس دستورالعمل ماده مضاف در دسترس، مواد هوازا به بتن اضافه کنیم. فرض کنیم که در ساخت این نمونه، مقادیرِ شن، ماسه، سیمان و ماده مضاف را به صورت دقیق جدا نموده ولی با اضافه کردن ۱٫۷۴ کیلوگرم آب، با کنترل چشمی احساس کردیم که بتن به اسلامپ در محدوده ۲٫۵ تا ۵ سانتیمتر رسیده است.

حال باید روی نمونه ساخته شده، آزمایش اسلامپ، وزن مخصوص و تعیین درصد هوا صورت پذیرد. فرض کنیم نتایج این آزمایشات به شرح زیر باشند :

اسلامپ = ۵ cm

$U = ۲۲۷۵ \ kg/m^۳$

$A = ٪۶٫۵$

اسلامپ بدست آمده در محدوده مورد نظر قرار گرفته و بنابراین تصحیحی به جهت اسلامپ نخواهیم داشت. ولی درصد هوای بدست آمده از آزمایش، ۱٫۵ درصد بیش از درصد هوای موردنظر است. برای جبران این اختلاف باید در طرح بعدی از مواد مضاف هوازای کمتری استفاده کرد. همچنین به جهت آنکه با رسیدن درصد هوا از ۶٫۵ به ۵، بتن تا حدودی روانی خود را از دست خواهد داد، برای ثابت ماندن اسلامپ، باید مقدار آب را افزایش داد. برای اصلاح آب به جهت اختلاف درصد هوا، به صورت زیر عمل می‌شود :

$$\text{آب موجود در نمونه} = ۱٫۷۴ + \frac{۲۳٫۲}{۱٫۰۳}(۰٫۰۳ - ۰٫۰۰۵) + \frac{۱۴٫۸}{۱٫۰۵}(۰٫۰۵ - ۰٫۰۰۷) = ۲٫۹۱ \ kg$$

$$\text{وزن نمونه} = ۲۳٫۲ + ۱۴٫۸ + ۶٫۴ + ۱٫۷۴ = ۴۶٫۱۴ \ kg$$

$$\text{حجم نمونه} = \frac{۴۶٫۱۴}{۲۲۷۵} = ۰٫۰۲۰۲۸ \ m^۳$$

$$W = \frac{۲٫۹۱}{۰٫۰۲۰۲۸} = ۱۴۳٫۵ \ kg/m^۳$$

به ازای هر یک درصد اختلاف در میزان هوا، مقدار آب به مقدار ۳ kg/m^3 اصلاح می‌گردد :

$$W_{(\text{اصلاح شده})} = ۱۴۳/۵ + (۱/۵ \times ۳) = ۱۴۸ \text{ kg/m}^3$$

ـ تعیین وزن اصلاح شده اجزاء بتن :

$$C = \frac{۱۴۸}{۰/۵} = ۲۹۶ \text{ kg/m}^3$$

$$CA_w = \frac{۲۳/۲}{۰/۰۲۰۲۸} = ۱۱۴۴ \text{ kg/m}^3$$

$$CA_d = \frac{۱۱۴۴}{۱/۰۳} = ۱۱۱۱ \text{ kg/m}^3$$

$$CA_{SSD} = ۱۱۱۱ \times (۱ + ۰/۰۰۵) = ۱۱۱۶ \text{ kg/m}^3$$

برای تعیین وزن ماسه، به این مطلب توجه می‌کنیم که با رسیدن درصد هوا از ۶/۵ به ۵، وزن مخصوص بتن افزایش خواهد یافت.

$$U_{(\text{اصلاح شده})} = \frac{U_{(\text{از آزمایش})}}{۱ + \Delta A} = \frac{۲۲۷۵}{۱ + (۰/۰۵ - ۰/۰۶۵)} = \frac{۲۲۷۵}{۰/۹۸۵} = ۲۳۱۰ \text{ kg/m}^3$$

$$FA_{SSD} = ۲۳۱۰ - (۱۴۸ + ۲۹۶ + ۱۱۱۶) = ۷۵۰ \text{ kg/m}^3$$

$$FA_d = \frac{۷۵۰}{۱/۰۰۷} = ۷۴۵ \text{ kg/m}^3$$

$$FA_w = ۷۴۵ \times ۱/۰۵ = ۷۸۲ \text{ kg/m}^3$$

$$W = ۱۴۸ - [۱۱۱۱ \times (۰/۰۳ - ۰/۰۰۵) + ۷۴۵ \times (۰/۰۵ - ۰/۰۰۷)] = ۸۸ \text{ kg/m}^3$$

از جمع این مقادیر، مقدار وزن مخصوص بتن تازه $U = ۲۳۱۰ \ kg/m^۳$ بدست می‌آید.

ب - براساس روش حجمی :

در این روش هم برای ساخت یک نمونه ۲۰ لیتری، باید مقادیر زیر را جداکنیم :

$CA = ۰/۰۲ \times ۱۱۵۹ = ۲۳/۲ \ kg$

$FA = ۰/۰۲ \times ۷۴۴ = ۱۴/۹ \ kg$

$C = ۰/۰۲ \times ۳۲۰ = ۶/۴ \ kg$

$W = ۰/۰۲ \times ۱۰۱ = ۲ \ kg$

مجدداً فرض کنیم که در ساخت این نمونه، با کنترل چشمیِ اسلامپ، به جای ۲ kg از ۱/۷۴ kg آب استفاده کرده باشیم. حال باید روی این نمونه آزمایشات لازم انجام گیرد. فرض کنیم که مانند روش وزنی، نتایج زیر بدست آمده باشند،

اسلامپ = ۵ cm

$U = ۲۲۷۵ \ kg/m^۳$

$A = ٪۶/۵$

تصحیحات لازم را به صورت زیر انجام می‌دهیم :

آب موجود در نمونه = ۲/۹۱ kg

$$\text{حجم نمونه} = \frac{۴۶/۲۴}{۲۲۷۵} = ۰/۰۲۰۳۳ \ m^۳$$

$$W = \frac{۲/۹۱}{۰/۰۲۰۳۳} + ۱/۵ \times ۳ = ۱۴۸ \ kg/m^۳$$

$$C = \frac{۱۴۸}{۰/۵} = ۲۹۶ \ kg/m^۳$$

$$CA_w = \frac{۲۳/۲}{۰/۰۲۰۳۳} = ۱۱۴۱ \ kg/m^۳$$

$$CA_d = \frac{۱۱۴۱}{۱٫۰۳} = ۱۱۰۸ \text{ kg/m}^۳$$

$$FA_d = ۱۰ \times ۲٫۶۴ (۱۰۰ - ۵) - ۲٫۶۴ \left(\frac{۱۱۰۸}{۲٫۶۸} + \frac{۲۹۶}{۳٫۱۵} + ۱۴۸\right) = ۷۷۸ \text{ kg/m}^۳$$

$$FA_w = ۷۷۸ \times ۱٫۰۵ = ۸۱۷ \text{ kg/m}^۳$$

$$W_{(\text{اصلاح شده})} = ۱۴۸ - [\, ۱۱۰۸ (۰٫۰۳ - ۰٫۰۰۵) + ۷۷۸ (۰٫۰۵ - ۰٫۰۰۷) \,] = ۸۷ \text{ kg/m}^۳$$

در این حالت اگر حجم حقیقی اجزاء را با یکدیگر جمع کنیم برابر واحد (یک متر مکعب) خواهد شد.

طرح اختلاط بتن به روش سریع ACI - 211 - 89

روش‌های وزنی و حجمی در طرح مخلوط بتنی، روش‌های دقیقی بوده و منجر به نتایج رضایتبخشی می‌شوند. اما این روش‌ها معمولاً وقت‌گیر بوده و نیاز به اطلاعات مقدماتی در مورد وضعیت رطوبت و چگالی دانه‌ها دارند. به همین جهت ممکن است کاربرد این روش‌ها در مورد کارهای کوچک و کم‌اهمیت چندان مناسب نباشد.

آئین‌نامه ACI - 211 برای طرح مخلوط بتنی در کارهای کوچک و کم‌اهمیت، روش دیگری ارائه می‌کند که ساده و کاربردی است. فقط باید به محدوده کاربرد این روش کاملاً دقت کرد. خصوصاً نباید این روش را برای کارهای بتنی که مقاومت بتن نقش تعیین‌کننده دارد، نظیر بتن‌ریزی تیر و ستون در سازه بتن آرمه، (حتی اگر کار کوچک باشد) بکار برد. محدوده مجاز برای کاربرد این روش به صورت مشخص در مواردی است که اولاً حجم بتن‌ریزی کم بوده و ثانیاً بتن‌ریزی از نظر سازه‌ای اهمیت قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد.

جدول (۷-۵) برای استفاده در این طرح سریع، تنظیم شده است. مراحل استفاده از این جدول و تعیین اوزان اجزاء بتن، به صورت زیر است :

۱- انتخاب بزرگترین اندازه دانه‌ها

درتعیین این مسئله بایدبه‌امکانات محلی ومحدودیت‌های مربوط‌به‌حداکثر بُعد دانه‌هاتوجه کرد.

۲- انتخاب نوع مخلوط و تعیین اجزاء بتن

در جدول (۷-۵)، به ازای بزرگترین بُعد دانه، سه نوع مخلوط A ، B و C مشخص گردیده است. در این مرحله به عنوان اولین انتخاب، مخلوط B نامزد می‌شود و با استفاده از جدول و براساس مخلوطِ B ، مقادیر سیمان، ماسه و شن تعیین می‌شود. مقادیری که در جدول برای ماسه داده شده، مربوط به ماسه خشک است اگر ماسه مصرفی ماسهِ مرطوب باشد، باید بر این مقادیر به میزان $۳۰ kg/m^۳$ و اگر ماسه کاملاً خیس باشد، به میزان $۶۰ kg/m^۳$ اضافه شود.

۳- ساخت نمونه و اصلاح نوع مخلوط

براساس مقادیر بدست آمده برای شن، ماسه و سیمان یک نمونهٔ کوچک آزمایشی ساخته می‌شود. در ساخت این بتن، آنقدر آب اضافه می‌شود که با یک کنترل چشمی احساس شود کارایی و اسلامپ مناسب فراهم شده است. با بررسی نمونه ساخته شده، اگر قضاوت شد که مخلوط کاملاً خوب و مناسب است، در طرح اصلی از همین طرح (مخلوط B) استفاده می‌شود، و اگر احساس شد مخلوط ساخته شده کم‌ماسه یا پرماسه‌است، درطرح‌اصلی‌به‌ترتیب ازمخلوط A یا C استفاده می‌گردد.

مثال ۳ :

برای بتن‌ریزی در کف یک کارگاه واقع در ساحل دریا در بندرعباس، مخلوط مناسبی طرح نمائید. دانه‌های شنی در دسترس، از نوع معدنی بوده و بزرگترین بعد ۲۰ mm را داراست و ماسه موجود، مرطوب است.

حل :

چون شرایط محیطی در ساحل بندرعباس مناسب نبوده و دوام بتن را به مخاطره می‌اندازد، از

بتن هوادار استفاده می‌کنیم. (مشروط بر آنکه امکانات موجود اجازهٔ استفاده از این بتن را بدهد.)

با استفاده از جدول (۷-۵) و با نامزد کردن مخلوط B خواهیم داشت :

$C = ۳۷۰ \ kg/m^۳$

$FA \ (خشک) = ۶۹۰ \ kg/m^۳$

$FA \ (مرطوب) = ۶۹۰ + ۳۰ = ۷۲۰ \ kg/m^۳$

$CA = ۱۰۲۰ \ kg/m^۳$

مقدار تقریبی آب لازم را با در نظر گرفتن $U = ۲۳۰۰ \ kg/m^۳$ برای وزن مخصوص بتن تازه، می‌توان بصورت زیر بدست آورد :

$W = ۲۳۰۰ - (۳۷۰ + ۷۲۰ + ۱۰۲۰) = ۱۹۰ \ kg/m^۳$

عدد بدست آمده برای مقدار آب، فقط حدود آب لازم را مشخص می‌کند و مقدار دقیق آن با کنترل چشمی جهت حصول روانی مناسب برای بتن، تعیین می‌شود.

فرض کنیم که برای قضاوت ظاهری بتن، ساخت یک نمونه ۱۰ لیتری مورد نظر باشد، اجزاء لازم به صورت زیر تعیین می‌گردند.

$C = ۰/۰۱ \times ۳۷۰ = ۳/۷ \ kg$

$FA = ۰/۰۱ \times ۷۲۰ = ۷/۲ \ kg$

$CA = ۰/۰۱ \times ۱۰۲۰ = ۱۰/۲ \ kg$

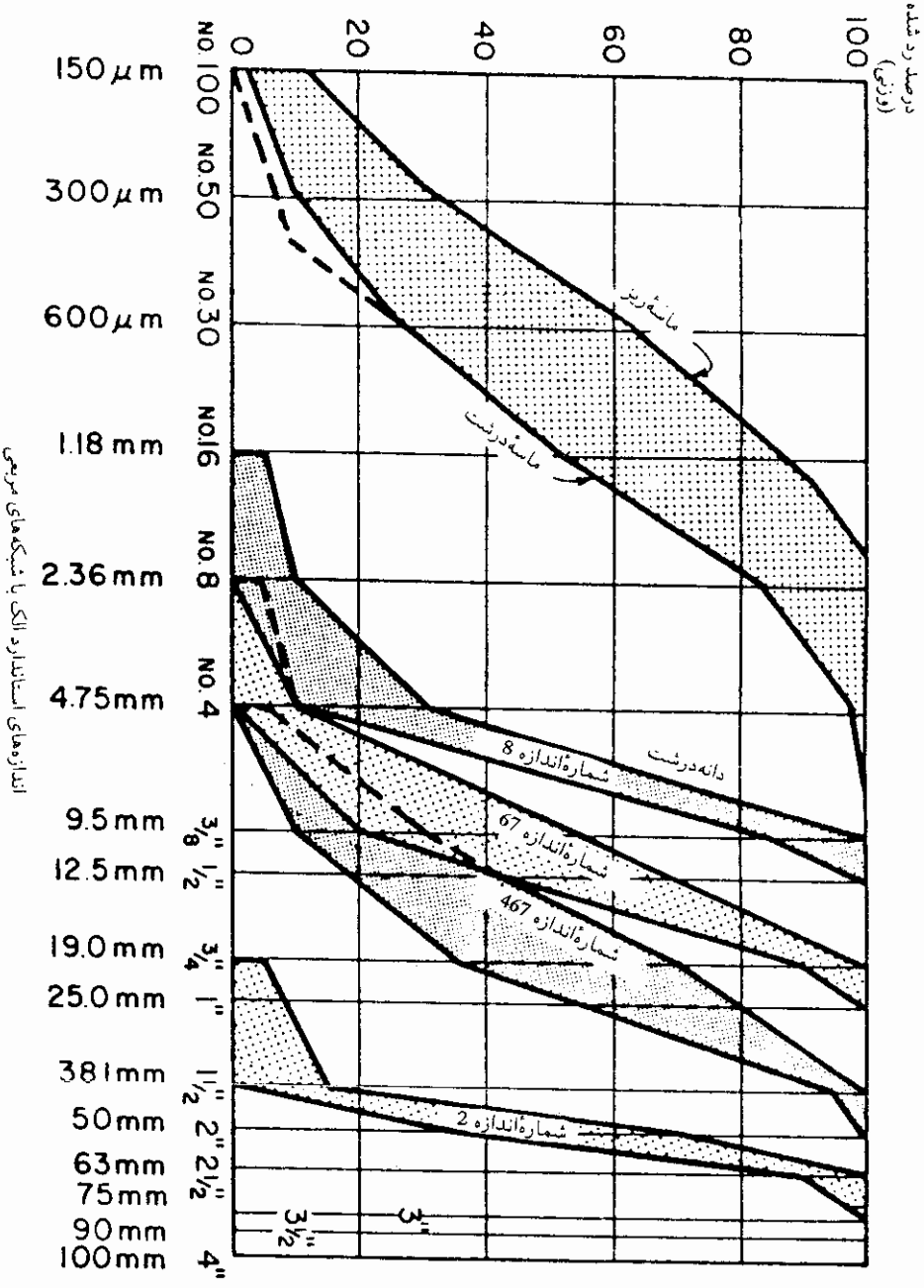
فرض کنیم که با اجزاء فوق، نمونه‌ای ساخته‌ایم و احساس گردیده که بتن حاصله کم‌ماسه است. بنابراین در طرح بعدی باید از مخلوط A استفاده کنیم. با استفاده از جدول داریم :

$C = ۳۷۰ \ kg/m^۳$

$FA \ (مرطوب) = ۷۲۰ + ۳۰ = ۷۵۰ \ kg/m^۳$

$CA = ۹۹۰ \ kg/m^۳$

توجه شود که در این روش، مقاومت فشاری مورد نظر، در طراحی دخالت داده نمی‌شود ولی اصولاً این روش طوری تنظیم شده است که یک مقاومت قابل قبول برای کارهای عادی حاصل شود.



تصویر ۱-۵ : محدودهٔ مجاز شن و ماسه مصرفی براساس استاندارد ASTM

جدول ۱-۵: ملزومات دانه‌بندی برای دانه‌های شنی مطابق ASTM - C - 33

شمارهٔ اندازه	اندازهٔ اسمی (الکهای با سوراخهای مربعی)	درصد تجمعی وزنی عبور کرده از هر الک (با سوراخهای مربعی)											
		۱۰۰ mm (۴ in.)	۹۰ mm (۳ ½ in.)	۷۵ mm (۳ in.)	۶۳ mm (۲ ½ in.)	۵۰ mm (۲ in.)	۳۷٫۵ mm (۱ ½ in.)	۲۵٫۰ mm (۱ in.)	۱۹٫۰ mm (¾ in.)	۱۲٫۵ mm (½ in.)	۹٫۵ mm (⅜ in.)	۴٫۷۵ mm (No.۴)	۲٫۳۶ mm (No.۸)	۱٫۱۸ mm (No.۱۶)
۱	۹۰ mm - ۳۷/۵ (۳ ½ in - ۱ ½)	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	...	۲۵ - ۶۰	...	۰ - ۱۵	...	۰ - ۵	...	...	...	...	...
۲	۶۳ mm - ۳۷/۵ (۲ ½ in - ۱ ½)	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۳۵ - ۷۰	۰ - ۱۵	...	۰ - ۵	...	...	...	...	...
۳	۵۰ mm - ۲۵/۰ (۲ in - ۱)	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۳۵ - ۷۰	۰ - ۱۵	...	۰ - ۵	...	...	...	...
۳۵۷	۵۰ mm - ۴/۷۵ (۲ in - No.۴)	...	...	...	۱۰۰	۹۵ - ۱۰۰	...	۳۵ - ۷۰	...	۱۰ - ۳۰	...	۰ - ۵	...	...
۴	۳۷/۵ mm - ۱۹/۰ (۱ ½ in - ¾)	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۲۰ - ۵۵	۰ - ۱۵	...	۰ - ۵	...	...	...
۴۶۷	۳۷/۵ mm - ۴/۷۵ (۱ ½ in - No.۴)	...	...	...	...	۱۰۰	۹۵ - ۱۰۰	...	۳۵ - ۷۰	...	۱۰ - ۳۰	۰ - ۵	...	...
۵	۲۵/۰ mm - ۱۲/۵ (۱ in - ½)	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۲۰ - ۵۵	۰ - ۱۰	۰ - ۵	...	...	...
۵۶	۲۵/۰ mm - ۹/۵ (۱ in - ⅜)	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۴۰ - ۸۵	۱۰ - ۴۰	۰ - ۱۵	۰ - ۵	...	...
۵۷	۲۵/۰ mm - ۴/۷۵ (۱ in - No.۴)	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۵ - ۱۰۰	...	۲۵ - ۶۰	...	۰ - ۱۰	۰ - ۵	...
۶	۱۹/۰ mm - ۹/۵ (۲ ¾ in - ⅜)	...	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۲۰ - ۵۵	۰ - ۱۵	۰ - ۵	...	...
۶۷	۱۹/۰ mm - ۴/۷۵ (¾ in - No.۴)	...	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	...	۲۰ - ۵۵	۰ - ۱۰	۰ - ۵	...
۷	۱۲/۵ mm - ۴/۷۵ (½ in - No.۴)	...	...	...	...	...	...	...	۱۰۰	۹۰ - ۱۰۰	۴۰ - ۷۰	۰ - ۱۵	۰ - ۵	...
۸	۹/۵ mm - ۲/۳۶ (⅜ in - No.۸)	...	...	...	...	...	...	...	...	۱۰۰	۸۵ - ۱۰۰	۱۰ - ۳۰	۰ - ۱۰	۰ - ۵

جدول ۲-۵ : اسلامپ‌های پیشنهادی برای سازه‌های مختلف (ACI-211-89)

نوع سازه	اسلامپ ، mm	
	حداکثر	حداقل
پی‌ها و شالودهٔ دیوارهای بتن آرمه	۷۵	۲۵
پی‌ها و دیوارهای غیرمسلح	۷۵	۲۵
تیرها و دیوارهای بتن آرمه	۱۰۰	۲۵
ستونهای سازه	۱۰۰	۲۵
روسازی‌ها و دالها	۷۵	۲۵
بتن حجیم	۷۵	۲۵

جدول ۳-۵: مقادیر تقریبی آب و هوابراساس اسلامپ و بزرگترین بُعد دانه‌ها (ACI - 211 - 89)

اسلامپ ، میلیمتر	مقدار تقریبی آب برحسب kg/m^3 براساس بزرگترین بعد دانه‌ها							
	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۷۵	۱۵۰
بتن بدون حباب هوا								
۲۵ - ۵۰	۲۰۷	۱۹۹	۱۹۰	۱۷۹	۱۶۶	۱۵۴	۱۳۰	۱۱۳
۷۵ - ۱۰۰	۲۲۸	۲۱۶	۲۰۵	۱۹۳	۱۸۱	۱۶۹	۱۴۵	۱۲۴
۱۵۰ - ۱۷۵	۲۴۳	۲۲۸	۲۱۶	۲۰۲	۱۹۰	۱۷۸	۱۶۰	—
درصد تقریبی هوای غیرعمدی در بتن بدون حباب هوا	۳	۲/۵	۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲
بتن هوادار								
۲۵ - ۵۰	۱۸۱	۱۷۵	۱۶۸	۱۶۰	۱۵۰	۱۴۲	۱۲۲	۱۰۷
۷۵ - ۱۰۰	۲۰۲	۱۹۳	۱۸۴	۱۷۵	۱۶۵	۱۵۷	۱۳۳	۱۱۹
۱۵۰ - ۱۷۵	۲۱۶	۲۰۵	۱۹۷	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۶	۱۵۴	—
مقادیر متوسط درصد هوای پیشنهادی براساس شرایط محیطی :								
شرایط عادی	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۰
شرایط متوسط	۶/۰	۵/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۳/۰
شرایط شدید	۷/۵	۷/۰	۶/۰	۶/۰	۵/۵	۵/۰	۴/۵	۴/۰

جدول الف-۴-۵ : نسبت آب به سیمان براساس مقاومت فشاری بتن (ACI - 211 - 89)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه، مگاپاسکال	نسبت آب به سیمان	
	بتن بدون حباب هوا	بتن هوادار
۴۰	۰/۴۲	—
۳۵	۰/۴۷	۰/۳۹
۳۰	۰/۵۴	۰/۴۵
۲۵	۰/۶۱	۰/۵۲
۲۰	۰/۶۹	۰/۶۰
۱۵	۰/۷۹	۰/۷۰

جدول ب-۴-۵ : حداکثر نسبت مجاز آب به سیمان در شرایط محیطی نامناسب (ACI - 211 - 89)

نوع سازه	سازه‌هائی که بطور پیوسته یا متناوب مرطوبند و تحت اثر سیکلهای یخ زدن و آب شدن قرار دارند	سازه‌های در معرض آب دریا و یا سولفاتها
مقاطع ظریف (نظیر نرده‌ها، جان پناهها، تیرچه‌ها و کارهای تزئینی) و مقاطعی با پوشش کمتر از ۵ میلیمتر روی آرماتورها	۰/۴۵	۰/۴۰
سایر سازه‌ها	۰/۵۰	۰/۴۵

جدول ۵-۵ : حجم دانه‌های درشت در واحد حجم بتن (ACI - 211 - 89)

بزرگترین اندازه اسمی دانه‌ها، میلیمتر	حجم‌دانه‌های خشک میله‌خورده در واحد حجم‌بتن‌براساس مقادیر مختلف مدول نرمی ماسه			
	۲/۴۰	۲/۶۰	۲/۸۰	۳/۰۰
۹/۵	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۴
۱۲/۵	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳
۱۹	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰
۲۵	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵
۳۷/۵	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۹
۵۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
۷۵	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶
۱۵۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۱

جدول ۶-۵ : تخمین مقدماتی برای وزن مخصوص بتن تازه (ACI - 211- 89)

بزرگترین اندازه اسمی دانه‌ها، میلیمتر	تخمینی مقدماتی برای وزن واحد حجم بتن، kg/m^3	
	بتن بدون حباب هوا	بتن هوادار
۹/۵	۲۲۸۰	۲۲۰۰
۱۲/۵	۲۳۱۰	۲۲۳۰
۱۹	۲۳۴۵	۲۲۷۵
۲۵	۲۳۸۰	۲۲۹۰
۳۷/۵	۲۴۱۰	۲۳۵۰
۵۰	۲۴۴۵	۲۳۴۵
۷۵	۲۴۹۰	۲۴۰۵
۱۵۰	۲۵۳۰	۲۴۳۵

جدول ۷-۵ : مخلوط‌های بتنی برای کارهای کوچک (پیشنهادی ACI - 211)

بزرگترین بعد دانه‌ها (mm)	طرح مخلوط	اوزان تقریبی اجزاء جامد، Kg/m^3			
		سیمان	ماسه		شن
			بتن هوادار	بتن بدون هوا	دانه‌های شنی با سنگ شکسته	دانه‌های سرباره‌ای
۱۲/۵	A	۴۰۰	۷۷۰	۸۲۰	۸۶۰	۷۵۰
	B	۴۰۰	۷۴۰	۷۸۰	۹۰۰	۷۸۰
	C	۴۰۰	۷۰۰	۷۵۰	۹۳۰	۸۲۰
۲۰	A	۳۷۰	۷۲۰	۷۸۰	۹۹۰	۸۶۰
	B	۳۷۰	۶۹۰	۷۵۰	۱۰۲۰	۹۰۰
	C	۳۷۰	۶۶۰	۷۲۰	۱۰۶۰	۹۳۰
۲۵	A	۳۵۰	۶۶۰	۷۲۰	۱۱۲۰	۹۸۰
	B	۳۵۰	۶۲۰	۶۹۰	۱۱۵۰	۱۰۱۰
	C	۳۵۰	۵۹۰	۶۶۰	۱۱۸۰	۱۰۴۰
۴۰	A	۳۲۰	۶۶۰	۷۲۰	۱۲۰۰	۱۰۴۰
	B	۳۲۰	۶۲۰	۶۹۰	۱۲۳۰	۱۰۷۰
	C	۳۲۰	۵۹۰	۶۶۰	۱۲۶۰	۱۱۰۰
۵	A	۳۰۰	۶۴۰	۷۲۰	۱۲۶۰	۱۱۰۰
	B	۳۰۰	۶۱۰	۶۹۰	۱۳۰۰	۱۱۴۰
	C	۳۰۰	۵۸۰	۶۶۰	۱۳۳۰	۱۱۵۰

مسائل :

۱- برای بتن‌ریزی در یک ستون، به مقاومت نمونه مکعبی ۲۸ روزه ۳۰۰ kg/cm^2 و اسلامپ ۱۲cm نیاز است. بزرگترین بعد دانه‌های مصرفی ۲۵ mm بوده و وزن مخصوص ظاهری خشک و میله‌خورده آن برابر ۱۷۰۰ kg/m^3 است. چگالی سیمان، شن و ماسه مصرفی به ترتیب ۳٫۱۵، ۲٫۶۸ و ۲٫۶۴ است. رطوبت طبیعی شن ۰٫۲ درصد و ماسه ۳ درصد است مطلوب است :

الف – طرح اجزاء بتن با دو روش وزنی و حجمی ACI

ب – اگر در مرحله ساخت نمونهٔ آزمایشی ۱۵ لیتری به مقدار ۲ کیلوگرم آب مصرف شود و اسلامپ ۱۴ cm و وزن مخصوص بتن تازه ۲۴۱۰ kg/m^3 نتیجه شود کلیه اصلاحات لازم را برای ساخت ۱ m^3 بتن براساس هر دو روش وزنی و حجمی انجام دهید.

۲- طرح بتن برای ساخت پایه‌های پلی که به شدت در معرض تر و خشک شدن قرار می‌گیرد، مورد نظر است. مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای مورد نظر ۲۱۰ kg/cm^2 و اسلامپ در محدودهٔ ۲٫۵ تا ۵ سانتیمتر است. بزرگترین مصالح شنی موجود در منطقه ۲۵ میلیمتر بعد دارد که وزن مخصوص ظاهری آن برابر ۱۵۱۷ kg/m^3 است. سیمان مصرفی تیپ I با چگالی ۳٫۱۵، دانه‌های شنی با چگالی ۲٫۶۸ و رطوبت طبیعی ۲ درصد و مصالح ماسه‌ای با چگالی ۲٫۶۴ و رطوبت طبیعی ۶ درصد هستند. مطلوب است :

الف – طرح اجزاء بتن با دو روش وزنی و حجمی ACI

ب – اگر در مرحلهٔ ساخت نمونهٔ آزمایشی ۲۳ لیتری، به مقدار ۲٫۰۴ کیلوگرم آب اضافه شود و پس از آزمایش مشخص شود که اسلامپ نمونه 5cm ، درصد هوای موجود ۶٫۵ درصد و وزن مخصوص بتن تازه برابر ۲۲۶۴ kg/m^3 است. پس از انجام اصلاحات لازم، مقادیر اجزاء بتن برای ساخت ۱ مترمکعب براساس هر دو روش وزنی و حجمی را بدست آورید.

۳- طرح یک مخلوط بتنی با مقاومت ۲۸ روزهٔ نمونه استوانه‌ای برابر ۲۰۰ kg/cm^2 مورد نظر است. مورد مصرف بتن برای یک دیوار ضخیم بتنی با آرماتوربندی بسیار متراکم است که به عنوان موج‌شکن در ساحل خلیج‌فارس بکار گرفته می‌شود. بزرگترین بعد دانه‌های سنگی مورد استفاده ۲۵ میلیمتر بوده و شرایط محیطی محل اجراء شدیداً سخت و نامناسب است. مشخصات مصالح

مصرفی به قرار زیر است :

نوع مصالح	چگالی دانه‌های خشک	وزن مخصوص ظاهری (خشک و میله خورده)	مدول نرمی	درصد رطوبت طبیعی	درصد رطوبت اشباع	ضریب ری‌کردن
ماسه	۲٫۶	۱۶۰۰ kg/m^3	۲٫۷	۵	۱٫۵	۱٫۳
شن	۲٫۷	۱۷۵۰ kg/m^3	۴٫۹	۰٫۵	۱	—
سیمان	۳٫۱۵	۱۷۰۰ kg/m^3	—	۰	—	—

برای ساخت یک نمونه آزمایشی ۳۰ لیتری، چه اوزان و چه احجامی از مصالح را باید مخلوط کرد؟ محاسبات را به روش حجم مطلق ACI انجام دهید.

۴- برای بتن‌ریزی یک ستون، به مقاومت نمونه مکعبی ۲۸ روزه برابر ۳۰۰ kg/cm^2 و اسلامپ ۱۲ سانتیمتر نیاز است. بزرگترین بعد دانه‌های مصرفی ۴۰ میلیمتر و وزن مخصوص ظاهری خشک و میله خوردهٔ آن ۱۷۲۰ kg/m^3 است. چگالی سیمان ۳٫۱۵، شن ۲٫۷ و ماسه ۲٫۶۵ است. رطوبت اشباع و طبیعی شن به ترتیب ۱ و ۰٫۳ و برای ماسه ۱٫۲ و ۴٫۵ درصد است. با توجه به اینکه محل اجراء مرتباً تحت یخزدن و آب شدن متوالی قرار دارد مطلوب است :

الف - طرح اجزاء بتن با روش وزنی ACI

ب - اگر در مرحلهٔ ساخت نمونه آزمایشی ۲۵ لیتری، ۳کیلوگرم آب مصرف شود و اسلامپ و وزن مخصوص بتن تازه به ترتیب ۱۵ سانتیمتر و ۲۳۸۰کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شود، کلیه اصلاحات لازم را برای ساخت یک متر مکعب بتن براساس روش وزنی ACI انجام دهید.

۵- برای ساخت بتن در یک منطقه حاوی آبهای سولفات‌دار، جهت یک کار کوچک و کم‌اهمیت، در نظر است از روش سریع پیشنهادی ACI برای طرح اجزاء مخلوط استفاده شود. مصالح شنی با بزرگترین بعد ۴۰ میلیمتر در دسترس است. ماسه موجود خیس بوده و ضریب ری کردن آن ۱٫۲ است. به عنوان اولین پیشنهاد چه اوزانی را برای ساخت یک نمونه ۲۵ لیتری از بتن

پیشنهاد می‌کنید. اگر پس از ساخت این نمونه مشخص شود که مخلوط حاصله پرماسه است، چه احجامی را برای ساخت یک مترمکعب بتن پیشنهاد می‌کنید. وزن مخصوص ظاهری دانه‌ها و سیمان را به ترتیب ۱۷۰۰ و ۳۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب فرض کنید.

۶- جهت طرح بتنی با اسلامپ ۱۲ سانتیمتر و درصد هوای ۵٪ ، پس از انجام مراحل اولیهٔ طراحی و با انتخاب $\frac{W}{C} = ۰/۴۵$ ، با بکار بردن ۱۸/۳ کیلوگرم شن، ۱۱/۲ کیلوگرم ماسهٔ ۶/۵ کیلوگرم سیمان و ۳ کیلوگرم آب یک نمونهٔ آزمایشی ساخته شد. با انجام آزمایش بر روی این نمونه اسلامپ ۹ سانتیمتر، درصد هوای ۲/۵٪ و وزن مخصوص بتن ۲۳۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب نتیجه شد. با توجه به نتایج آزمایش و با استفاده از روش وزنی، مشخص کنید که برای ساخت یک مترمکعب بتن تازه، به چه مقادیر حجمی از مصالح نیاز است تا خواص مورد نظر حاصل شود. مشخصات مصالح مصرفی به قرار زیر است :

نوع مصالح	چگالی دانه‌های خشک	وزن مخصوص ظاهری خشک و میله‌خورده
ماسه	۲/۶	۱۶۲۰ kg/m^3
شن	۲/۷۲	۱۷۵۰ kg/m^3
سیمان	۳/۱۵	۱۷۰۰ kg/m^3

مدول نرمی و ضریب ری کردن ماسه نیز به ترتیب ۲/۷ و ۱/۳۵ است.

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

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

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

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

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 :

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

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 (W و C ،CA ،FA) 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.

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.

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

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

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

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.

$i = ۰٫۷۵$

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

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

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:

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

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

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

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

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 :

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

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

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

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

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

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	—	—

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 :

$$\frac{W}{C} = ۰٫۴۷$$

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

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 :

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

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

$$\Rightarrow C = ۲۷۸ \ kg/m^۳$$

$W = N_W \times C = ۰/۴۷ \times ۲۷۸ = ۱۳۱ \ kg/m^۳$

$FA = N_F \times C = ۱/۵۷ \times ۲۷۸ = ۴۳۶ \ kg/m^۳$

$CA_۱ = N_{CA۱} \times C = ۱/۴۸ \times ۲۷۸ = ۴۱۱ \ kg/m^۳$

$CA_۲ = N_{CA۲} \times C = ۴/۰۹ \times ۲۷۸ = ۱۱۳۷ \ kg/m^۳$

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

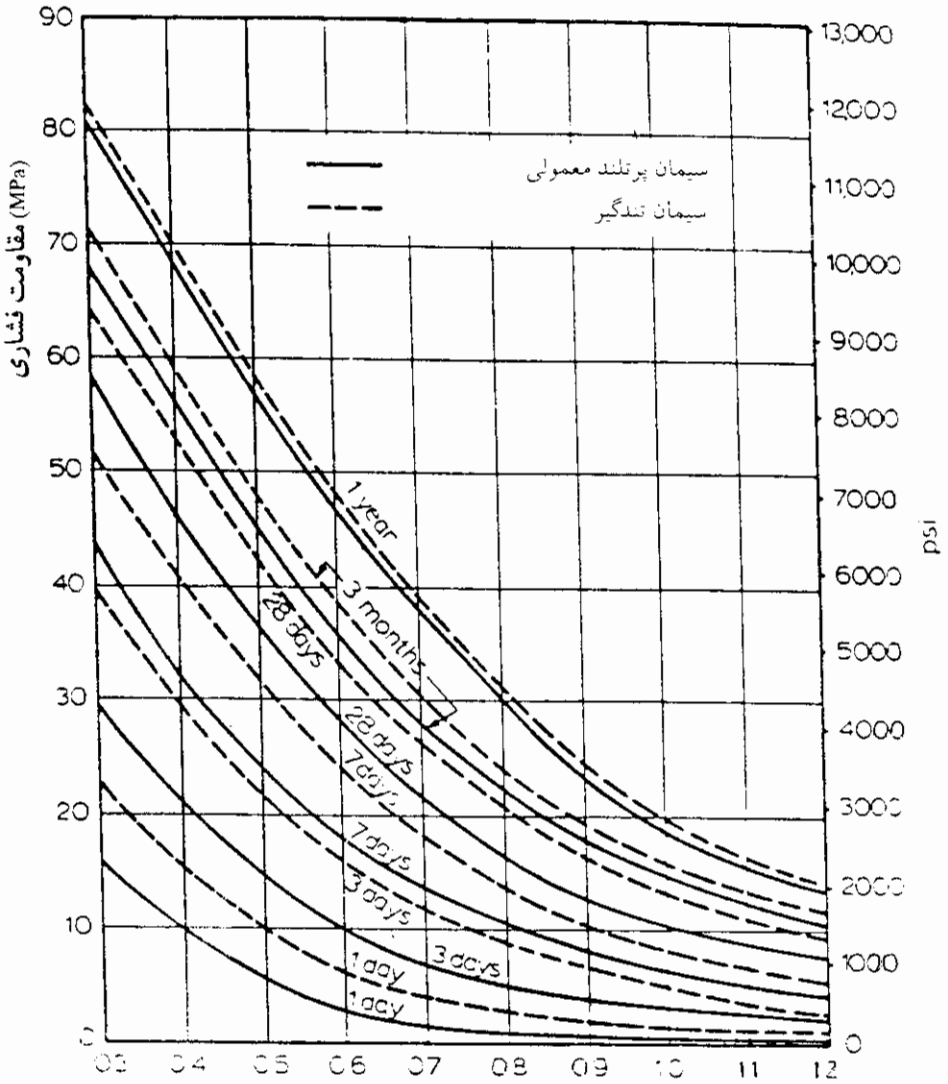
وزن سیمان = ۲۷۸ $kg/m^۲$

وزن ماسه مرطوب = ۴۳۶ (۱ + ۰/۰۳) = ۴۴۹ $kg/m^۳$

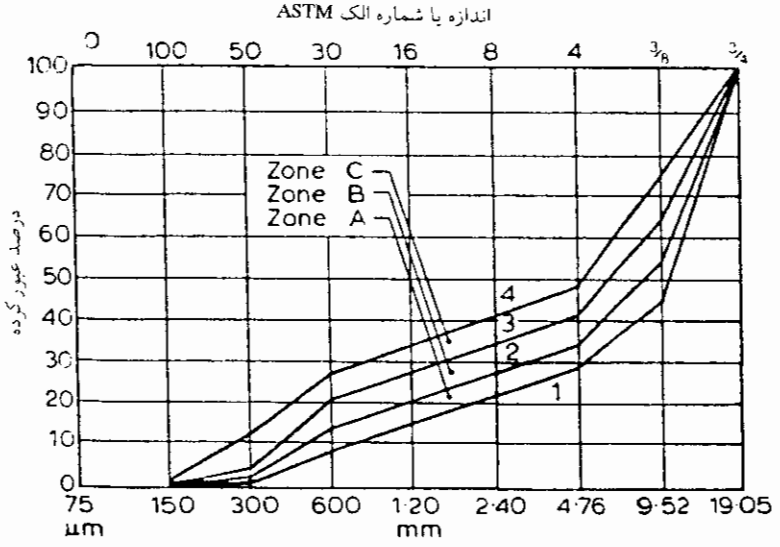
وزن شن مرطوب دپوی ۲۰-۵ = ۴۱۱ (۱ + ۰/۰۱) = ۴۱۵ $kg/m^۳$

وزن شن مرطوب دپوی ۴۰-۲۰ = ۱۱۳۷ (۱ + ۰/۰۱) = ۱۱۴۸ $kg/m^۳$

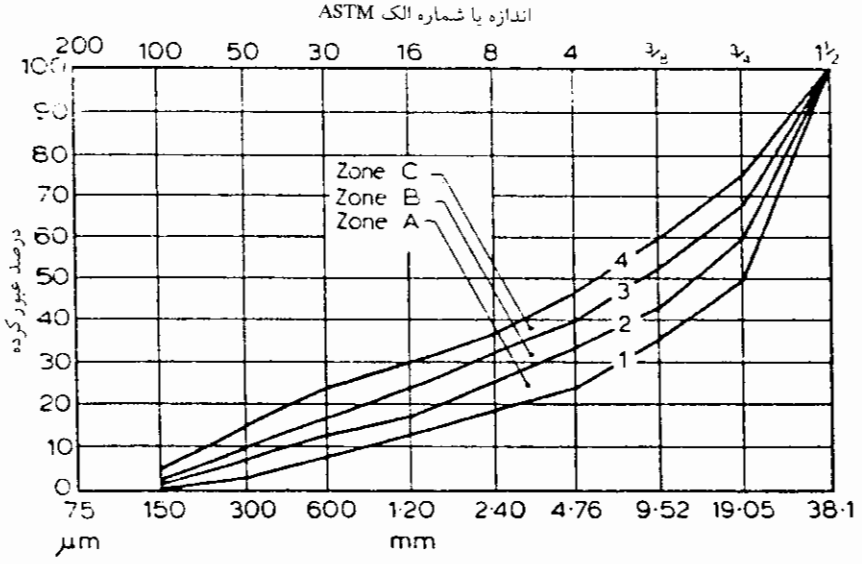
وزن آب اصلاح شده = ۱۳۱ - [۴۳۶ × ۰/۰۳ + ۴۱۱ × ۰/۰۱ + ۱۱۳۷ × ۰/۰۱] = ۱۰۲ $k/m^۳$



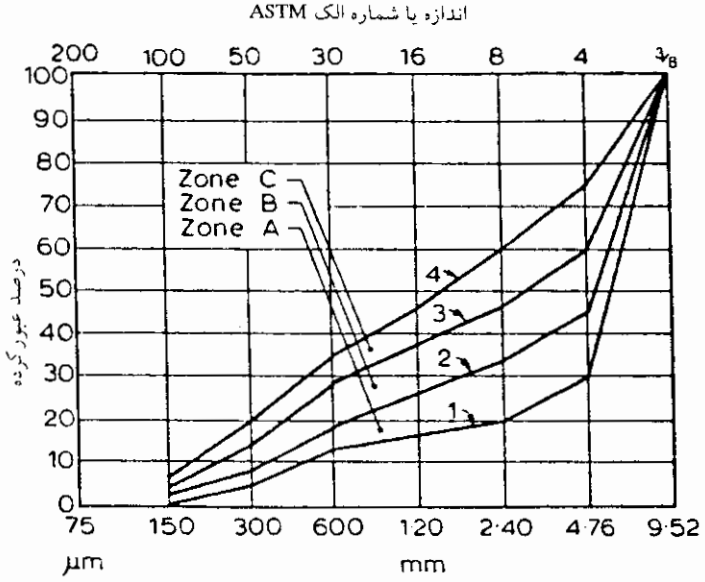
تصویر ۱-۶ نسبت وزنی آب به سیمان (BS)



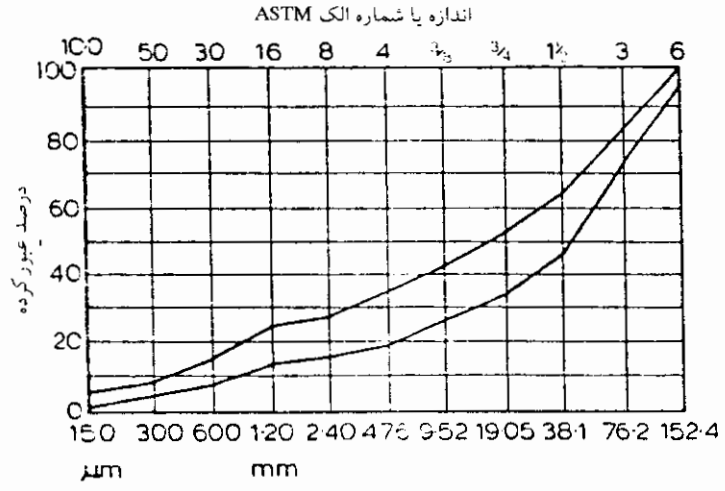
تصویر ۲-۶ : منحنی‌های استاندارد BS برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۱۹٫۰۵ میلیمتر



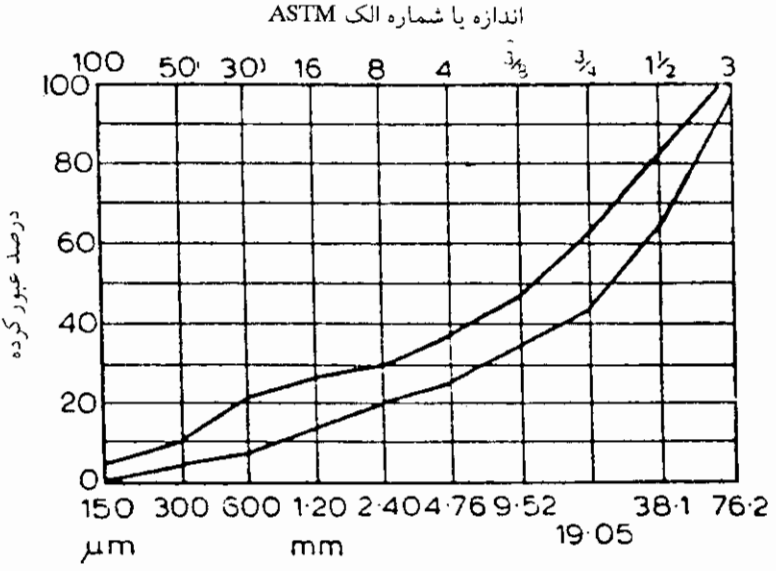
تصویر ۳-۶ : منحنی‌های استاندارد BS برای دانه‌هایی با بزرگترین بُعد ۳۸٫۱ میلیمتر



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



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

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		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	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
	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
	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
	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
	۰/۵۵	—	—	—	۷/۳	۷/۶	۷/۶	۷/۲	۶/۶	۶/۲	۶/۵	۶/۳	۵/۸	×	۵/۹	۶/۰	۵/۵
	۰/۶۰			—	—	—	—	—	۷/۴	۷/۰	۷/۳	۷/۱	۶/۶	×	×	۶/۷	۶/۲
	۰/۶۵								۸/۱	۷/۸	۸/۱	۷/۸	۷/۲	×	×	۷/۳	۶/۹
	۰/۷۰								—	—	—	—	۷/۹	×	×	—	۷/۴
	۰/۷۵												—	×	×	—	۸/۰
	۰/۸۰													×	×	—	—

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 $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$	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													×	—	—	—

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													×	×	×	×

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 آب/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	۳/۰	۳/۱	۳/۱	۲/۹	۲/۷	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

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	—	—	—	۵٫۷	—	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

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 $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$	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

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

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

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.

فصل هفتم

کاربرد درز در بتن آرمه

درزها[1]

درزها در کلیه مواردی که بتن ریزی در حجمِ زیاد و یا در سطحِ زیاد انجام می‌گیرد، قابل کاربرد هستند، ولی کاربرد اصلی درز در سازه‌های آبی و ازجمله مخازن است. در چنین سازه‌هایی، ترک خوردگی در بتن علاوه بر مسائل سازه‌ای ممکن است منجر به نشت آب شود، از این رو وجود درز به لحاظ پیش‌بینی ترکِ محتمل و اتخاذ تدابیر مناسبِ در آن موضع، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

درزها عمدتاً به دو دستهٔ ساختمانی و حرکتی تقسیم می‌شوند.

الف ـ درزهای ساختمانی[2]

این درزها با توجه به محدودیت حجم بتن ریزی به صورت یکپارچه، و به عنوان حدفاصلی بین بتن جدید با بتن قدیمی بکار می‌روند. از این گونه درزها، انتظار عکس‌العمل در مقابل حرکتهای مختلف سازه‌ای در بتن نبوده و فاصله آنها صرفاً براساس ظرفیت کارگاهی بتن‌ریزی تنظیم می‌شود. محل درزهای ساختمانی معمولاً در نقشه‌های سازه‌ای قابل پیش‌بینی نیست، مگر اینکه طراح دقیقاً امکانات، محدودیت‌های کارگاهی و توان اجرایی مجری طرح را بداند. در این درزها باید پیوستگی

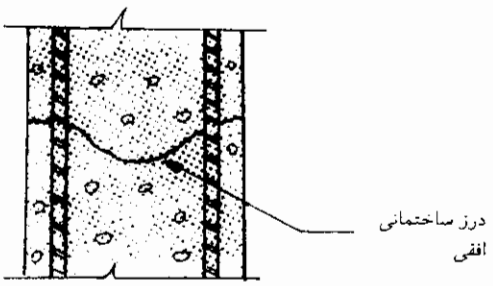
---

1 - joints 2 - construction joints

آرماتور و بتن بین دو قسمت مجاور طرح به صورت کامل حفظ شود. بنابراین آرماتورها در محل این درز، قطع نشده و از طرفی با روش‌های مختلف باید سعی نمود که بتن جدید به خوبی به بتن قدیمی بچسبد.

نمونه‌ای از کاربرد این درزها، در دیواره استخرها و مخازن مایعات است. بخصوص وقتی که ارتفاع دیوار مخازن بیش از چند متر باشد، با توجه به محدودیت بتن‌ریزی در ارتفاع به صورت پیوسته، بتن‌ریزی دیوار در چند مرحله انجام می‌شود. در این حالت، بین هر دو مرحله از بتن‌ریزی، درز افقی ساختمانی ایجاد می‌شود.

تصویر (۱-۷) شمای کلی یک درز ساختمانی در دیوار بتنی را نمایش می‌دهد.



تصویر ۱-۷ : درز ساختمانی افقی

به جهت ایجاد پیوستگی کامل بین سطوح بتنی در طرفین درز، معمولاً سعی می‌شود سطح بتن قدیمی‌تر حتی‌المقدور زبر و ناصاف و همراه با پستی و بلندی گردد. به این منظور گاهی در حالتی که هنوز بتن قدیمی سفت نشده با پاشیدن آب و یا مخلوط آب و هوا با فشار و نیز با استفاده از یک برس سیمی ریزدانه‌ها را از سطح بتن قدیمی جدا کرده تا بدین ترتیب درشت دانه‌ها نمایان شده و سطح ناصاف و نامنظمی حاصل شود. مراقبت از بتن قدیمی و مرطوب نگه داشتن آن باید تا زمانی که بتن‌ریزی جدید انجام می‌شود، ادامه یابد، مگر سطح خود درز در بتن قدیمی، که مراقبت از آن باید چند ساعت قبل از بتن ریزی جدید، قطع شود، بصورتی که یک خشکی سطحی و کم عمق در سطح بتن حاصل شود. درست قبل از آغاز بتن‌ریزی لایه جدید، باید سطح زبر شده قدیمی کاملاً

تمیز شده (حتی‌المقدور بدون استفاده از آب) و با یک لایه نازک از دوغاب سیمان یا ملات ماسه سیمان پرمایه، اندود شود. آنگاه با دقت کامل و به صورتی که جدا شدن دانه‌ها در بتن جدید مجاور درز صورت نگیرد، بتن‌ریزی لایه جدید انجام داده شود. بتن‌ریزی لایه جدید باید بدون وقفه و بلافاصله پس از اندود لایه قدیمی انجام گیرد. تأخیر در این امر، سبب سفت شدن لایه دوغاب یا ملات ماسه سیمان شده و به ایجاد لایه‌های غیر چسبنده منجر خواهد شد.

به جای استفاده از یک لایه دوغاب سیمان یا ملات ماسه سیمان در سطح درز، می‌توان بتن لایه جدید را در ارتفاعی در حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر پرمایه‌تر انتخاب کرد. برای این منظور می‌توان عیار سیمان بتن در این محدوده را معادل ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، بیشتر انتخاب کرد.

اگر کلیه موارد فوق‌الذکر در ارتباط با یک درز ساختمانی رعایت شود، معمولاً نیازی به کاربرد آب‌بندکننده (واتراستاپ) نبوده و نشت آب از محل درز اتفاق نخواهد افتاد. اما اگر درز ساختمانی در مخازن محتوی آب گرم و یا استخرهای شنا باشد، امکان دارد صفحات طرفین درز تحت تأثیر تغییرات درجه حرارت داخلی به صورت جزئی حرکت کرده و نشت آب اتفاق بیفتد. در چنین مواردی برای اطمینان از آب‌بندی کامل، بهتر است از واتراستاپ استفاده نمود.

ب ـ درزهای حرکتی[1]

درزهای حرکتی درزهایی هستند که برای همساز کردن جابجائیهای نسبی قسمتهای مختلف سازه، بکار می‌روند. این جابجائیها ممکن است در اثر عواملی همچون تغییرات درجه حرارت، انقباض بتن و یا نشست‌های نامساوی ایجاد شده و به صورت تمایل به دور شدن، تمایل به نزدیک شدن و یا تمایل به جابجایی در جهت عمود بر سطح بتن، نمودار شوند.

درزهای حرکتی در انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

1 - movement joints

۱ـ درزهای انبساط[1]

درزهای انبساطی به منظور همساز کردن انقباض و انبساط بتن در طرفین درز، تعبیه می‌شوند. این درز، پیوستگی سازه‌ای اجزاء طرفین درز را کاملاً قطع می‌کند. بنابراین در این درز، بتن و آرماتور به صورت کامل قطع شده و بین دو قسمت مجاور، شکافی هم در نظر گرفته می‌شود. با قراردادن این درز، اطمینان حاصل می‌شود که طرفین درز، مستقل از یکدیگر عمل نموده و هیچگونه تنش یا تغییر شکلی را به یکدیگر منتقل نمی‌کنند. یک درز انبساطی باید با کمترین مقاومت در مقابل انقباض و انبساط (مثلاً ناشی از تغییرات درجه حرارت)، قادر به باز و بسته شدن بوده و از طرفی در مقابل کلیه حرکتهای محتمل در محل درز، آب‌بند باقی بماند. این درزها در تمام قسمتهای سازه از سقف تا کف به صورت پیوسته ادامه یافته و سازه را به دو قسمت مجزا تقسیم می‌کنند. مثلاً در یک مخزن آب، یک درز انبساط باید در سقف در دیواره‌ها و در کف، در یک امتداد ادامه یابد.

در مورد فواصل درزهای انبساطی در سازه‌های بتن آرمه عادی، توصیه بخصوصی در آئین‌نامه‌ها وجود ندارد. در مورد فواصل این درزها در سازه‌های آبی، توصیه آئین‌نامه امریکا مربوط به سازه‌های بهداشتی (ACI-350 R) به صورت زیر است:

«به طور کلی درزهای انبساطی باید نزدیک تغییرات ناگهانی در شکل سازه قرار داده شوند و ترجیحاً باید در فواصلی باشند که از ۳۷ متر بیشتر نباشد. عرض درز باید به اندازه‌ای باشد که با تغییر مکان مورد انتظار، همساز باشد.»

این آیین‌نامه در ادامه بحث اضافه می‌کند که توصیه فوق‌الذکر در مورد سازه‌های بهداشتی معمولی است که با یک مایع پر شده باشد.

در مورد تانکها یا دیگر سازه‌ها که امکان دارد به صورت طولانی مدت از آب خالی بمانند، بخصوص در آب و هوای گرم، توصیه شده که از فواصل نزدیک‌تری برای درزهای انبساطی استفاده شود.

آئین‌نامه سازه‌های آبی انگلستان (BS 5337) توصیه بخصوصی در مورد فواصل درزهای

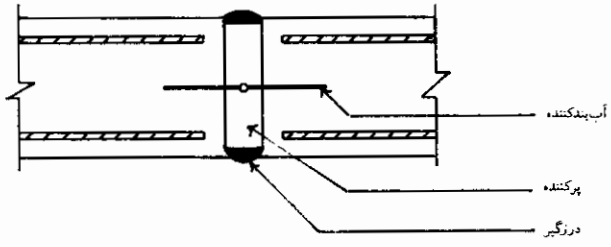
1 - expantion joints

انبساطی ذکر نکرده است.

اجزاء درز انبساط:

یک درز انبساط، تصویر (۲-۷)، در حقیقت شکافی به عرض ۲ تا ۳ سانتیمتر بوده که مطابق شکل زیر، عمدتاً از ۳ جزء اصلی تشکیل شده است.

- پرکننده[1] درز
- درزگیر[2]
- آب بندکننده[3] (آب بندکننده فقط در مورد سازه‌های آبی بکار می‌رود)



تصویر ۲-۷ : اجزاء درز انبساط قائم

براساس توصیه ACI-350 R، کلیه آرماتورها باید درفاصله ۲ سانتیمتری از وجه درز، قطع شوند.

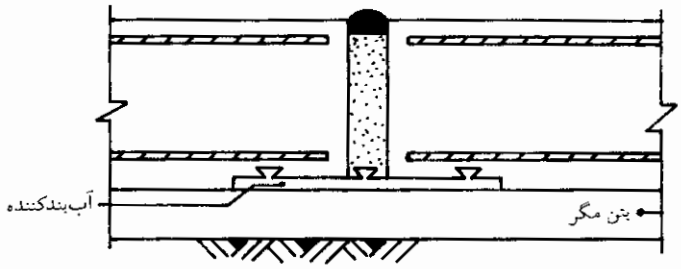
در سازه‌هایی که مسئله نشت آب مطرح نیست (سازه‌های غیر آبی) نیازی به کاربرد آب‌بندکننده نبوده و حتی می‌توان از بکار بردن درزگیر هم خودداری کرد. در چنین سازه‌هایی گاهی برای پرکردن درز انبساط، از یونولیت استفاده می‌شود، به این صورت که پس از اجرای بتن در یک طرف درز، در کنار آن یک لایه یونولیت به ضخامت مورد نظر قرار داده و بتن‌ریزی طرف دوم را انجام می‌دهند.

متراکم کردن کامل بتن در اطراف آب‌بندکننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین جهت جزئیات فوق‌الذکر، فقط برای درزهای انبساطی قائم (نظیر درز انبساط قائم در دیوار مخازن) مناسب

1 - filler 2 - sealant 3 - water stop

بوده و برای درزهای افقی، از نظر متراکم کردن بتن در زیر آب‌بندکننده، با اشکال مواجه می‌شود.

برای سهولت تراکم بتن در اطراف آب‌بندکننده، در درزهای انبساطی افقی واقع در کف سازه‌های آبی از جزئیات تصویر (۳-۷) استفاده می‌شود.

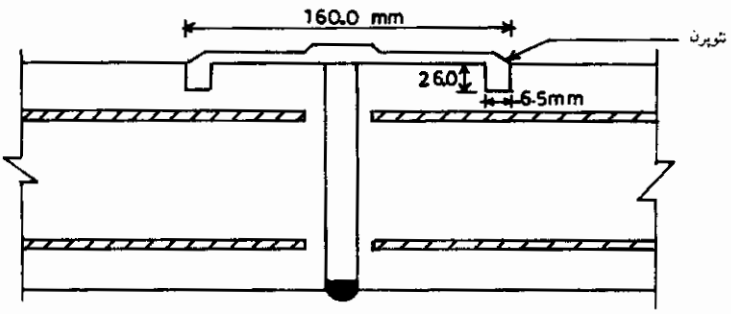


تصویر ۳-۷ : اجزاء درز انبساط افقی (واقع در کف)

اگر پیش‌بینی می‌شود که به دلیل جنس خاک، زمین در زیر کف مخزن تغییر شکلها و حرکتهای غیرعادی خواهد داشت. به جهت مراقبت از آب‌بندکننده باید آن را در وسط ضخامت بتن قرار داده و برای تراکم بتن اطراف آن، نهایت دقت را بکار برد.

بکاربردن جزئیات فوق دردرزهای انبساطی افقی واقع در سقف مخزن معمول نیست. زیرا بدلیل عدم وجود یک تکیه‌گاه مناسب، ممکن است آب بندکننده در طول زمان از زیر سقف جدا شود.

برای یک درز انبساطی واقع در سقف، می‌توان از جزئیات تصویر (۴-۷) استفاده کرد.



تصویر ۴-۷ : اجزاء درز انبساط افقی (واقع در سقف)

در این حالت برای آب‌بندی و اطمینان از عدم ورود آب به داخل، از لاستیک‌های مصنوعی یا نئوپرن استفاده می‌شود.

۲ـ درزهای انقباض[1]

این درزها برای همساز کردن انقباض ناشی از افت بتن در طرفین درز، تعبیه می‌شوند. یک درز انقباضی، عدم پیوستگی بتن طرفین درز را باعث می‌شود، ولی شکاف اولیه‌ای در بتن ایجاد نمی‌کند. در حقیقت یک درز انقباض نقطه ضعفی در بتن ایجاد می‌کند تا ترک احتمالی ناشی از انقباض بتن، در همین محل صورت گیرد.

یک درز انقباض ممکن است از نوع درز انقباض جزئی[2] و یا درز انقباض کامل[3] باشد. براساس آئین‌نامه انگلستان (BS 5337) در یک درز انقباض جزئی، تمام آرماتورها را می‌توان از درز عبور داد در حالی که در یک درز انقباض کامل، ۱۰۰ درصد آرماتورها باید قبل از رسیدن به درز، قطع شوند. آئین‌نامه آمریکا (ACI-350 R) قید می‌کند که در درزهای انقباض جزئی هم باید حداقل ۵۰ درصد آرماتورها در محل درز قطع شوند.

فواصل درزهای انقباضی با مقدار آرماتور بکار رفته برای جبران مسئله افت بتن، رابطه مستقیم دارند. این ارتباط با توجه به عواملی همچون قطر آرماتور مصرفی، نوع آرماتور مصرفی، درجه حرارت هیدراسیون، درجه حرارت محیط و میزان رطوبت بیان می‌شود. توضیح این ارتباط نیاز به بحث مفصل و ارائه مفاهیم جدیدی دارد که از ذکر آن خودداری می‌شود (برای اطلاع بیشتر به BS 5337 مراجعه شود. در این آئین‌نامه دو روش براساس روش حدی و براساس فولاد اسمی ارائه می‌شود).

با بررسی روابط موجود، مشخص می‌شود که برای مخازنی در شرایط محیطی ایران، اقتصادی‌ترین حالت با توجه به مشکلات اجرایی و میزان مصرف آرماتور، در نظر گرفتن درزهای انقباض به فواصل ۵ تا ۶ متر است.

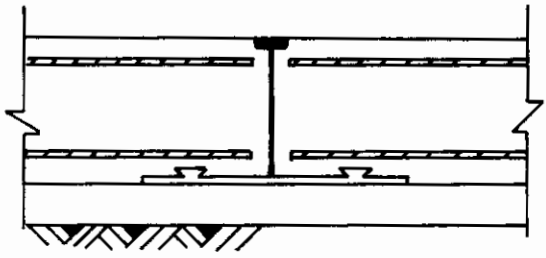
---

1 - contraction joints 2 - partial contraction joint

3 - complete or free contraction joint

درزهای انقباض واقع در کف :

در این درزها از آب‌بندکننده خارجی که در قسمت تحتانی دال کف قرار می‌گیرند، تصویر (۵-۷)، استفاده می‌شود.

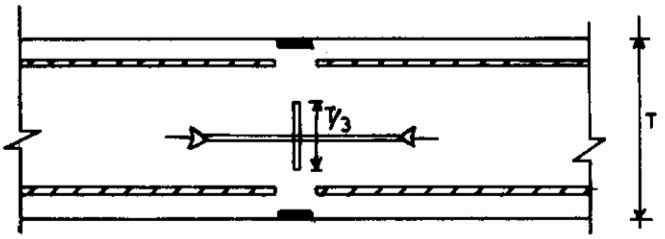


تصویر ۵-۷ : اجزاء درز انقباض افقی (واقع در کف)

همانگونه که در شکل ملاحظه می‌شود، بین دو قسمت مجاور درز، شکافی وجود ندارد، اما بتن در طرفین درز، یا اتصالی به یکدیگر نداشته و یا اتصال بسیار ضعیفی دارند. ممکن است برای ایجاد این درزها، بتن‌ریزی در فاصله بین درزها و به صورت مرحله به مرحله انجام گیرد. در این حالت باید برای نگه‌داشتن بتن در محل درز، از قالبهایی استفاده نموده و پس از برداشتن قالب و قبل از ریختن بتن جدید، سطح بتن قبلی را مقداری سایش داده و آن را به لایه‌ای از رنگ یا یک محلول قیری، آغشته نمود. این عمل پیوند بین بتن در طرفین درز را به حداقل کاهش می‌دهد. همچنین می‌توان جهت تسریع عملیات بتن‌ریزی، آب‌بندکننده‌ها را در محل‌های مناسب قرار داده و بتن‌ریزیِ سطحِ وسیعی از کف را یکباره انجام داد، آنگاه در محل‌های پیش‌بینی شده برای درزها، شیارهای لازم را در بتن ایجاد نمود. ایجاد کردن این شیارها بهتر است در بتن پلاستیک و همزمان با پیشرفت عملیات بتن‌ریزی صورت گیرد، زیرا ایجاد این شیارها با اره کردن بتن سخت شده، با اشکالاتی مواجه خواهد شد.

درزهای انقباض واقع در دیواره:

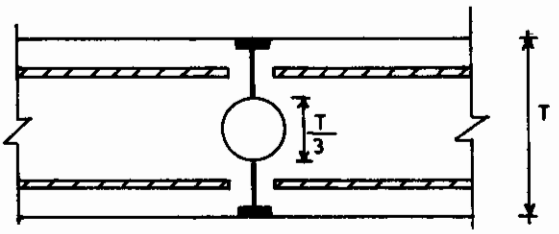
برای ایجاد درز انقباض در دیوار مخزن، می‌توان از آب‌بندکننده‌های صلیبی شکل استفاده کرد (تصویر ۶-۷).



تصویر ۶-۷ : اجزاء درز انقباض قائم با آب‌بندکننده صلیبی

شکل صلیبی آب‌بندکننده باعث کاهش پیوند اجزاء طرفین درز می‌شود. استفاده از این آب‌بندکننده‌ها این امکان را فراهم می‌کند که بتن‌ریزی دیوار به صورت ممتد انجام گیرد.

روش دیگر برای ایجاد درز انقباض در دیوار، استفاده از یک قالب با مقطع دایره در دیوار است (تصویر ۷-۷).



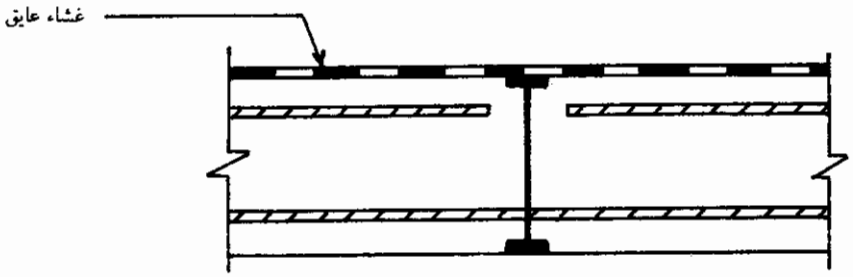
تصویر ۷-۷ : اجزاء درز انقباض قائم با ایجاد یک حفره استوانه‌ای

در این روش پس از اتمام عملیات بتن‌ریزی، قالب مذکور را خارج کرده و درِ حفره ایجاد شده را با یک توپی می‌گذارند. برای تمیز کردن این حفره از قبل سوراخی به قطر ۲۵ تا ۴۰ میلیمتر به صورت شیب‌دار و در پائین دیوار به سمت خارج پیش‌بینی شده است. پس از تکمیل کار دیوار، ابتدا

حفره را تمیز کرده و آن را با یک پرکننده پر می‌نمایند. به عنوان پرکننده می‌توان از ملات ماسه سیمان همراه با محلولهای لاستیکی استفاده نمود.

درزهای انقباض واقع در سقف:

در این درزها استفاده از آب‌بندکننده معمول نیست. برای آب‌بندی این درزها می‌توان از نئوپرن و یا یک غشاء عایق نظیر تصویر (۸-۷) استفاده کرد.



تصویر ۸-۷ : اجزاء درز انقباض افقی (واقع در سقف)

۳ـ درزهای لغزشی[1]

درزهای لغزشی درزهایی هستند که امکان لغزش دو قسمت مجاور درز، بدون انتقال نیروی برشی را فراهم می‌کنند. بنابراین لازم است مقاومت اصطکاکی بین سطوحی که در مجاورت درز قرار دارند، به حداقل رسد. اگر این درزها در مجاورت آب باشند، لازم است در تمام شرایط آب‌بند باقی بمانند.

این درزها ممکن است در موقعیت‌های زیر مطرح شوند.

درزهای لغزشی بین دیوار و کف:

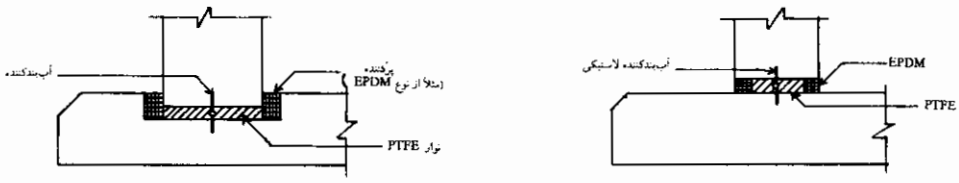
این درزها معمولاً بین دیواره و کف مخازن دایروی یکپارچه بتن آرمه قرار می‌گیرند. بکاربردن

1 - sliding joints

این درزها در چنین مواردی سبب می‌شود که در مخزن فقط تنش‌های حلقوی ایجاد شده و نتیجتاً آرماتورهای اصلی به صورت حلقوی قرار گیرند. همچنین از این درزها در اتصالِ دیواره و کفِ مخازنِ دایرویِ پیش تنیده (از نوع پَس کشیده) استفاده می‌شود.

برای کاهش اصطکاک بین اجزاء بتنی طرفین درز، معمولاً در محلِ اتصالِ درز از یک ماده پلاستیکی با ضریب اصطکاک بسیار پائین به نام پلی‌تترافلوراتیلن[1] و یا PTFE استفاده می‌شود همچنین به جهت حساسیت این درزها، استفاده از آب‌بندکننده‌های لاستیکی (که در مقایسه با آب‌بندکننده‌های فلزی یا از جنس PVC قابلیت اتساع بیشتری دارند) ارجحیت دارد.

تصویر (۹-۷)، نمونه‌هایی از درزهای لغزشی بین دیوار و کف یک سازه آبی را نشان می‌دهد.



تصویر ۹-۷: دو نمونه از درزهای لغزشی بین دیوار و کف سازه‌های آبی

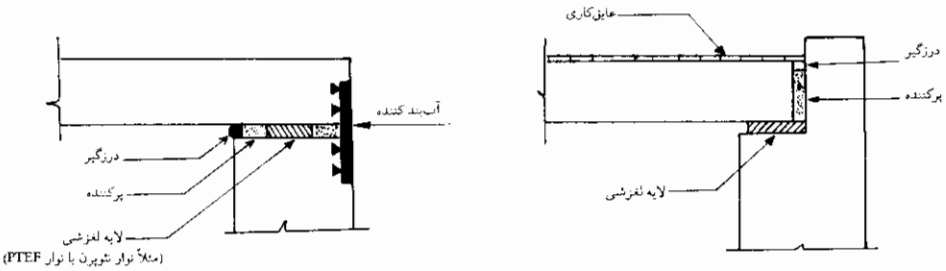
درزهای لغزشی بین دیوار و سقف:

این درزها برای آزاد کردن دیوار از حرکتهای سقف بکار می‌رود بخصوص اگر درجه حرارت محیط بالا باشد، سقف مخزن تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای در طول زمان پیدا کرده و اتصال صلب سقف به دیوار، باعث ایجاد لنگرهای قابل ملاحظه‌ای در دیوار خواهد شد.

در این درزها از آب‌بندکننده‌های افقی استفاده نشده، بلکه آب‌بندی سقف به روش‌های مرسوم دیگر انجام می‌گیرد. همچنین می‌توان از آب‌بندکننده‌های قائم جهت آب‌بندی درز استفاده کرد.

1 - poly tetra fluoro ethylene

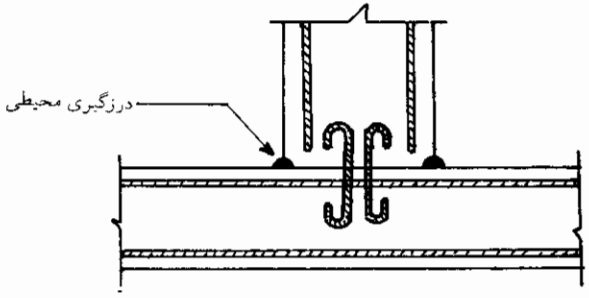
تصویر (۱۰-۷)، نمونه‌هایی از درزهای لغزشی بین سقف و دیوار یک سازه آبی را نشان می‌دهد.



تصویر ۱۰-۷: دو نمونه از درزهای لغزشی بین دیوار و سقف سازه‌های آبی

۴ـ درزهای مفصلی[1]

درزهای مفصلی درزهایی هستند که بین دو قسمت مجاور درز، اتصال مفصلی برقرار می‌کنند. این اتصال ممکن است به دلایل خاص سازه‌ای مورد نیاز باشد. تصویر (۱۱-۷) نمونه‌ای از کاربرد این درز در اتصال ستون به کف (یا ستون به سقف) را نشان می‌دهد.

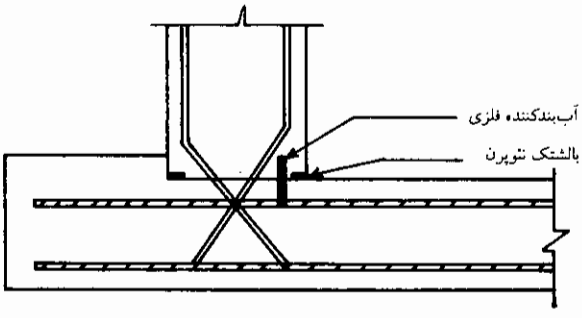


تصویر ۱۱-۷: نمونه‌ای از درزهای مفصلی در اتصال ستون به کف یا سقف

درزهای مفصلی همچنین ممکن است در محل اتصال دیوار به کف یک سازه آبی نیز بکار روند.

1 - pin joints

(به عنوان نمونه، اتصال مفصلی، یکی از مدل‌های متداول اتصال دیواره و کف در مخازن استوانه‌ای یکپارچه است). در این موارد ترجیحاً از آب‌بندکننده‌های فلزی استفاده می‌شود که معمولاً روی آرماتورها مهار می‌شوند (تصویر ۱۲-۷).



تصویر ۱۲-۷: نمونه‌ای از درزهای مفصلی در اتصال دیوار به کف

آب بندکننده‌ها و انواع آنها

آب‌بندکننده‌ها[1] در دو نوع فلزی و انعطاف‌پذیر بکار می‌روند.

آب‌بندکننده‌های فلزی : این آب‌بندکننده‌ها امروزه کاربرد وسیعی ندارند دلیل اصلی این مسئله عدم انعطاف آنها در تغییر شکل و نیز امکان خوردگی آنهاست. آب‌بندکننده‌های فلزی ممکن است در دو نوع فولادی و مسی بکار روند.

آب‌بندکننده‌های فولادی ممکن است از انواع فولاد معمولی، نرمه، گالوانیزه و یا ضدزنگ ساخته شوند. در مورد این آب‌بندکننده‌ها باید دقت شود که در یک زمان طولانی تحت تأثیر تنش‌های متناوب قرار نگیرند، در غیر اینصورت خستگی[2] منجر به شکست تُرد آنها خواهد شد.

استاندارد BS 1878 محدوده ضخامت این آب‌بندکننده‌ها را بین ۰٫۵ تا ۰٫۷۵ میلیمتر ذکر کرده است.

آب‌بندکننده‌های انعطاف‌پذیر : این آب‌بندکننده‌ها کاربرد وسیع‌تری نسبت به نوع قبلی دارند مواد

1 - water bars or water stops 2 - fatigue

اصلی آنها لاستیک‌های طبیعی و همچنین پلی وینیل کلراید[1] و یا (PVC) است.

آب‌بندکننده‌های انعطاف‌پذیر باید از خصوصیات زیر برخوردار باشند.

۱ـ در عمل و تحت شرایط محیطی مختلف، بسیار بادوام باشند.

۲ـ اگر در مخازن آب آشامیدنی بکار روند، باید غیر سمی باشند.

۳ـ از نظر شیمیایی غیرفعال بوده و درضمن‌محیط مناسبی برای پرورش قارچها و میکروبها نباشند.

۴ـ صلبیت کافی داشته باشند، بطوریکه در زمان نصب، بتن‌ریزی و ارتعاش بتن، شکل و موقعیت خود را حفظ کنند.

۵ـ پیوند مناسبی با بتن اطراف خود تشکیل دهند.

۶ـ انعطاف کافی برای تغییر شکل متناسب با نوع درزی که در آن قرار گرفته‌اند، داشته باشند.

آب‌بندکننده‌های انعطاف‌پذیر خوب، چه از نوع لاستیکی و چه از نوع PVC ، معمولاً تمام شرایط به جز مورد پنجم را دارند. به بیان دیگر نقطه ضعف اصلی آنها عدم پیوند مناسب با بتن اطراف است. به همین جهت معمولاً آنها را با بستن مکانیکی به بتن سخت شدهٔ اطراف، مهار می‌کنند. نوع خاصی از آب‌بندکننده‌های لاستیکی موسوم به (Dutch Water Bar) دارای زبانه‌هایی از جنس فولاد است که ضعف فوق‌الذکر را برطرف می‌کند. این آب‌بندکننده معمولاً از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

مقاومت کششی و خواص ارتجاعی آب‌بندکننده‌های لاستیکی به مراتب بهتر از آب‌بندکننده‌های از جنس PVC است. به طوری که مقاومت کششی آب‌بندکننده‌های لاستیکی و PVC به ترتیب $۲۱N/mm^۲$ و $۱۴N/mm^۲$ و میزان افزایش طول آنها به ترتیب ۴۵۰ و ۳۰۰ درصد است. ولی قیمت آب‌بندکننده‌های لاستیکی بیشتر از قیمت آب‌بندکننده‌های از جنس PVC است. به همین جهت در کارهای عادی اکثراً از آب‌بندکننده‌هائی با جنس PVC استفاده می‌شود.

آب‌بندکننده‌های لاستیکی و PVC ممکن است به صورت صاف و یا همراه با حباب میانی بکار

1 - poly vinyl chloride

روند. حباب میانی در آب‌بندکننده کمک می‌کند تا از قابلیت اتساع بیشتری برخوردار باشد.

پرکننده‌ها[1]

پرکننده‌ها در انواع درزهای حرکتی بکار می‌روند. وجود پرکننده‌ها در یک درز، یک پایه اتکاء مناسب برای درزگیرها ایجاد می‌کند. از طرفی پرکننده‌ها از دخول آب در طول دوره ساخت و نیز در طول دوره بهره‌برداری از سازه، در شکاف موجود در درز جلوگیری کرده امکان یخ‌زدگی و یا تأثیر عوامل شیمیایی در آنجا را از بین می‌برند. همچنین پرکننده‌ها فاصله طرفین درز را تنظیم کرده و از نزدیک شدن طرفین آن جلوگیری می‌کنند.

پرکننده‌ها ممکن است در بردارنده الیاف مخصوص، لاستیک‌های شبکه‌ای و یا مخلوط‌های چوب پنبه‌ای باشند. گاهی از ملات ماسه سیمان همراه با قیر و یا آسفالت به عنوان پرکننده استفاده می‌شود.

پرکننده‌ها باید از خواص زیر برخوردار باشند.

۱ـ تحت شرایط عملی و در طول عمر سازه، از دوام کافی برخوردار باشند.

۲ـ از نظر شیمیایی غیرفعال بوده و ضمناً محیط مناسبی برای پرورش قارچها و میکروبها تشکیل ندهند.

۳ـ اگر در مخازن آب آشامیدنی بکار می‌روند، غیرسمی باشند.

۴ـ از نظر فیزیکی، ارتجاعی باشند، اما نه به صورتی که از جای خود جابجا شده و با درزگیر مخلوط شوند. همچنین نباید اتصال مستحکمی با درزگیر برقرار نمایند.

۵ـ شکل‌پذیر باشند، به صورتی که بتوان به آسانی آنها را در ابعاد موردنظر در درز، جای داد.

درزگیرها[2]

درزگیرها موادی هستند که برای پوشش نهایی درز در یک سازه آبی بکار گرفته می‌شوند.

---

1 - fillers 2 - sealants

درزگیر خوب، باید از خواص زیر برخوردار باشد :

۱ـ ماده درزگیر باید نسبت به مایع ذخیره شده در مخزن، غیر قابل نفوذ باشد.

۲ـ کاملاً شکل‌پذیر باشد، به طوری که همزمان با بازوبسته شدن درز و بدون تغییراتی که منجر به نشت آب شود، تغییر شکل دهد. این حالت باید در تمام طول عمر سازه و در تمام درجه حرارتهای محتمل، حفظ شود. بدین ترتیب یک درزگیر متناسب با درزی که در آن قرار گرفته ممکن است؛

- دائماً در کشش باشد،
- دائماً در فشار باشد.
- متناوباً در کشش و فشار باشد،
- متناوباً و یا به طور همزمان در فشار و برش باشد (مانند درزهای لغزشی)

۳ـ ماده درزگیر باید اتصال مقاومی با دو پهلوی شیار درز برقرار نماید تا امکان هرگونه نشت از اطراف آن از بین برود. اما نباید اتصالی با پرکننده داشته باشد.

۴ـ درزگیر باید بسیار بادوام باشد. زیرا تعویض آن بسیار مشکل و گران خواهد بود.

۵ـ در مواردی که درزگیر در مخازن آب آشامیدنی بکار می‌رود، باید غیر سمی بوده و در ضمن محیط مناسبی برای پرورش قارچها ایجاد ننماید.

درزگیرها در حالت کلی به دو نوع تقسیم می‌شوند.

الف - مواد پیش ساخته

درزگیرهای پیش ساخته دوام بسیار خوبی داشته و در مقایسه با درزگیرهای نوع دوم، ارزان‌تر تهیه می‌شوند. اما دقت لازم در تشکیل ابعاد شیار درز، به طوری که هم اندازه با ابعاد استاندارد درزگیرهای پیش ساخته باشد، استقبال از این درزگیرها را با مانع روبرو کرده است.

نمونه‌ای از درزگیرهای پیش ساخته، نئوپرن[1] و نیز EPDM[2] است. در شرایط اجرایی خوب،

1 - Neoprene 2 - Ethylene Prepylene Diene Monomer

نئوپرن‌ها و لایه‌های EPDM ، در مقابل فشار آب تا ارتفاع ۱۵ متر، بخوبی آب‌بند باقی می‌مانند همچنین این دو ماده در مقابل آفتاب و نیز هجوم باکتریها کاملاً مقاوم هستند.

ب - مخلوط‌های درجا

مخلوط‌های درجا درزگیرهایی هستند که در حالت پلاستیک روی شیار درز کشیده شده و نهایتاً عمل آمده و سفت می‌شوند. این درزگیرها ممکن است در انواع ماستیک‌ها، ترموپلاستیک‌ها (با کاربرد گرم یا سرد) ونیزمخلوط‌های ترموست (باعملکرد شیمیایی وبامحلول‌های احیاءکننده) باشند.

۱ـ ماستیک ها :

ماستیک‌ها معمولاً از یک ماده چسبنده با پرکننده و الیاف اضافی تشکیل شده‌اند. ماده چسبنده ممکن است آسفالت و یا پلی‌بوتیلن[1] و یا ترکیبی از آن دو باشد.

ماستیک‌ها پس از کاربرد، یک پوسته سطحی سخت تشکیل می‌دهند ولی قسمتهای داخلی آنها بطور کامل سخت نمی‌شود. میزان تغییرشکل انبساطی انقباضی ماستیک‌ها کم بوده و به همین جهت در جاهایی بکار می‌روند که تغییر شکلهای بزرگی پیش‌بینی نشود. ماستیک‌ها معمولاً در مقایسه با سایر مخلوط‌های درجا، ارزان‌تر هستند.

۲ـ ترموپلاستیک‌ها با کاربرد گرم :

این مواد با حرارت به صورت روان درآمده و با از دست دادن حرارت به صورت جامد الاستیک تبدیل می‌شوند. جای دادن این مواد در حالت تقریباً مایع بوده و به همین جهت فقط برای درزهای افقی مناسب هستند. در عمل تغییر شکل ارتجاعی این مواد از ماستیک‌ها بیشتر است.

نمونه‌ای از این درزگیرها، ترکیب قیر لاستیکی[2] است که کاربرد وسیعی دارد.

---

1 - polybutylene 2 - rubber bitumen

۳ـ ترموپلاستیک‌ها با کاربرد سرد :

این مواد به صورت پلاستیک درزگیری شده و سپس توسط بخار و یا حلال‌های احیاکننده و یا توسط تجزیه، امولوسیون و در معرض هوا سخت می‌شوند و با گذشت زمان رفته‌رفته سختی آنها بیشتر می‌شود. خاصیت ارتجاعی این مواد چندان زیاد نیست. نمونه‌ای از این مواد، آسفالت لاستیکی[1] است.

۴ـ مخلوط‌های ترموست با عملکرد شیمیائی :

این مواد، ۲ یا ۳ مخلوط ترکیبی هستند که با عملکرد شیمیائی از حالت روانی که در آن حالت، درزگیری شده‌اند، به یک حالت جامد تبدیل می‌شوند. این ترکیبات شامل پلی سولفیدها[2]، پلیراتان‌ها[3]، لاستیکهای سیلیکانی[4] و مواد اپوکسی هستند. این ترکیبات می‌توانند در محدوده درجه حرارت ۴۰°c- تا ۸۰°c+ مقاوم بوده و تا ۲۵± درصد، تغییر شکل داشته باشند.

مخلوط‌های ترموست با عملکرد شیمیائی در مقایسه با ماستیک‌ها و ترموپلاستیک‌ها به مراتب گران‌تر بوده ولی در عوض دوام بیشتری داشته و تغییرشکل ارتجاعی وسیع‌تری را دارا هستند.

۵ـ مخلوط‌های ترموست با حلال‌های احیاء کننده :

این مخلوط‌ها به توسط احیا شدن حلال‌هایی که در مخلوط آنها حضور دارند، سخت می‌شوند. ترکیبات اصلی به کار رفته در آنها از قبیل بوتیل[5]، نئوپرن و پلی‌اتیلن[6] می‌باشد.

تغییر شکل ارتجاعی این مواد در محدوده ۷± درصد بوده و از نظر خصوصیات کلی، تا حدودی شبیه به حلال‌های شیمیائی ترموپلاستیک هستند.

---

1 - rubber asphalt
2 - Poly Sulphides
3 - Poly Urethanes
4 - Silicone rubber
5 - Butyl
6 - Polyethylene