فصل اوّل

بتن و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ محاسن و معایب سازه‌های بتنی را شرح دهد ؛

۲ــ خواص بتن را بیان کند ؛

۳ــ سیمان را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد ؛

۴ــ خواص سیمان را بیان کند ؛

۵ــ مشخصات مصالح سنگی را نام ببرد ؛

۶ــ مشخصات آب مصرفی در بتن را شرح دهد ؛

۷ــ انواع مواد افزودنی را نام ببرد و ویژگی‌های هر نوع را توضیح دهد ؛

۸ــ ضوابط حمل و نقل و نگهداری سیمان، مصالح سنگی و آب را شرح دهد.

یک سازه‌ی پوسته‌ای بتنی که در زلزله‌ی بم کاملاً سالم مانده است.

۱ــ۱ــ تعریف بتن

بتن جسم بسیار سخت و سنگ مانندی است که از ترکیب مقدار معین و حساب شده‌ی سیمان، شن، ماسه و آب به‌دست می‌آید. در بعضی موارد از اجزای دیگری به‌نام «مواد افزودنی» نیز در ساخت بتن استفاده می‌شود. پس از این‌که آب به مخلوط مصالح سنگی و سیمان افزوده شد، سیمان و آب با هم وارد فعل و انفعالات شیمیایی حرارت‌زا می‌شوند. در اثر این فعل و انفعالات، ماده‌ی ژله‌مانند و چسبنده‌ای به‌وجود می‌آید که مصالح مختلف داخل مخلوط را به هم پیوند می‌دهد و آن را به‌صورت جسم سختی درمی‌آورد.

آشنایی کامل با خواص سیمان، مصالح سنگی، آب، مواد افزودنی و نیز چگونگی ساخت بتن، حمل، ریختن، جا دادن، تراکم، عمل آوردن و پرداخت آن، همچنین اطلاعاتی درباره‌ی میل‌گرد و قالب‌بندی در کارهای بتنی، آزمایش‌های مختلف بر روی بتن تازه و سخت شده و بتن‌ریزی در شرایط خاص، مباحثی است که امروزه دانستن آن‌ها برای همه‌ی کارگزاران کارهای بتنی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

سد کارون ۳، در حال اجرای بدنه‌ی سد

۱ــ۲ــ تاریخچه‌ی بتن

استفاده از مواد شیمیایی در ساختمان از زمان‌های بسیار قدیم متداول بوده است. مصریان قدیم گچ تکلیس[1] شده‌ی ناخالص را در ساختمان به‌کار می‌بردند. یونانیان و رومی‌ها سنگ آهک

۱ــ با حرارت دادن به‌صورت پودر درآوردن، کلسینه کردن (Calcination)

تکلیس شده را مصرف می‌کردند و بعدها آموختند که به مخلوط آهک و آب، سنگ خرد شده و یا آجر و سفال‌های شکسته شده اضافه کنند و این اولین نوع بتن در تاریخ بود. به دلیل این‌که ملات آهک در زیر آب سخت نمی‌شود، گذشتگان برای ساختمان‌های زیرآب، سنگ آهک و خاکستر آتش‌فشانی، یا پودر بسیار نرم سفال‌های سوخته شده را با هم آسیاب می‌کردند و به‌کار می‌بردند و سرانجام، توانستند آن‌چه را که بعدها به‌نام سیمان پوزولانی شناخته شد تولید کنند.

درسال ۱۷۵۶ میلادی بنّایی به‌نام «جان اسمیتون»[۱] که مأمور بازسازی چراغ دریایی اِدیستون[۲] در ساحل جنوب غربی انگلیس شده بود، به این نتیجه رسید که بهترین ملات وقتی به‌دست می‌آید که مواد پوزولانی با سنگ آهک، حاوی مقدار زیادی از مواد رسی مخلوط شود. اسمیتون اولین شخصی بود که به خواص شیمیایی آهک پی برد. در پی آن، سیمان‌های هیدرولیکی دیگری، مانند سیمان رومی که «جیمز پارکر»[۳] از کلسینه کردن گلوله‌های سنگ آهک رسی به‌دست آورد، ساخته شد. درسال ۱۸۲۴ میلادی معماری به‌نام «ژوزف آسپدین»[۴] در شهر لیدز ساخت **سیمان پرتلند** را به‌ثبت رساند. درسال ۱۸۴۵ میلادی «ایزاک جانسون»[۵] نخستین نمونه‌ی سیمانی را که امروز به‌نام «**سیمان پرتلند**» می‌شناسیم و در جریان تولید آن کلینکر ایجاد می‌شود، تولید نمود.

بتن مسلح نیز حاصل کشف و اختراع ناگهانی یک نفر نیست، بلکه نتیجه‌ی کار، تلاش، آزمایش و تجربه‌ی تعدادی از مهندسان و معماران قرن نوزدهم است. با این حال در سال ۱۸۴۸ میلادی بود که «لمبوت»[۶] با ساختن یک قایق پارویی که با شبکه‌ای از میله‌های آهنی به شکل مربع مستطیل مسلح شده بود، اولین سازه‌ی بتن مسلح را، به‌صورتی که ما امروزه می‌شناسیم به‌وجود آورد. تا اوایل قرن بیستم هیچ روش تئوریک معتبری که مورد قبول همگان، برای طرح قطعات بتن مسلح باشد وجود نداشت، اما در همان قرن، با پیشرفت تحقیقات، تحولی اساسی در شناخت و بررسی رفتار بتن مسلح به‌وجود آمد.

امروزه استفاده‌ی روزافزون از بتن مسلح سبب شده است که در اغلب کشورها مؤسساتی برای تحقیق در مورد بتن مسلح و فرمول‌بندی روش‌ها و طراحی و تدوین آیین‌نامه‌ها ایجاد شود. نتیجه‌ی موفقیت‌آمیز بیش از نیم‌قرن آزمایش، مطالعه و بررسی این مؤسسات را می‌توان در تکامل روش‌های طراحی و در تعدادی از سازه‌های ساخته شده از بتن مسلح در تمام نقاط جهان مشاهده کرد. برای مثال، چند نمونه از سازه‌های بتنی با کاربری‌های متفاوت در شکل‌های ۱ــ۱ تا ۱ــ۵ نشان داده شده است.

برج‌های خنک‌کننده‌ی نیروگاه برق اصفهان در حین ساخت

انجمن بتن ایران

http://www.ICI.ir

۱ــ John Smeaton
۲ــ Eddystone
۳ــ James Parker
۴ــ Joseph Aspdin
۵ــ Issac Johnson
۶ــ Lambot

شکل ۱ــ۱ــ برج مخابراتی میلاد به ارتفاع ۴۳۵ متر که چهارمین برج بلند جهان است و در تهران احداث شده است.

انجمن بتن آمریکا ACI

http://www.ACI-INT.org

شکل ۱ــ۲ــ سد بتنی دوقوسی کارون ۳ که مرتفع‌ترین سد بتنی خاورمیانه است.

شکل ۱ــ۳ــ نیروگاه شهید منتظری اصفهان

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

http://www.bhrc.ir

در این مرکز، تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی ساختمان انجام می‌شود. بعضی از مقررات ملی توسط این مرکز تدوین و منتشر می‌شود.

شکل ۱ــ۴ــ نیروگاه هسته‌ای بوشهر درحال ساخت

شکل ۱ــ۵ــ برج میدان آزادی تهران درحال ساخت و پس از ساخت

تاریخچه‌ی سدسازی در ایران

بند سازی (سدسازی) یکی از فعالیت‌های ساختمانی است که از دیدگاه تاریخی و پیدایی و تکامل آن پیرو چگونگی‌های جغرافیایی و منطقه‌ای بوده است. در سرزمین‌هایی مانند ایران از زمان‌های باستان، انگیزه‌هایی دست به دست هم می‌داده و موجب پدید آمدن نیاز به ساختن بندها می‌شده است. آبیاری و آب‌رسانی به کشتزارها و شهرها از راه رودها و کانال‌ها یکی از این عوامل به‌شمار می‌رفته است. در مرزهایی که سطح آب رودخانه پایین‌تر از زمین‌های پیرامون بوده است و نیز در مواردی که نیاز به کنترل جریان آب وجود داشته، احتیاج به ساختن سدی که آب را تا ارتفاعی بالا ببرد و مقدار آب جریان یافته را کنترل نماید، وجود داشته است. هم‌چنین سرزمین‌های مصر و ایران از قدیم در معرض طغیان رودخانه‌ها و خطر سیلاب‌ها قرار داشته‌اند و پدید آوردن سد در درازای رودخانه‌ها به کنترل سیل یاری می‌کرده است. گاهی نیز هدف از سدسازی انحراف مسیر رودخانه و یا کانال و جریان‌دادن آب به سوی دیگر بوده و این هدف با ایجاد سد امکان‌پذیر می‌گشته است. برخی از بندهای باستانی در عین حال کار پل را نیز انجام داده و رفت و آمد از روی آن‌ها انجام می‌گرفته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به پل خواجو بر روی رودخانه‌ی زاینده‌رود اصفهان اشاره نمود.

تاریخ پیدایش فن سدسازی در ایران و مصر و میان‌رودان ایران بسیار قدیمی است و نشانه‌هایی از سدهای باستانی که در این سرزمین‌ها ساخته شده هنوز هم برجای است. برخی از فرمانروایان سلسله‌های قدیم این مرزها از لحاظ تاریخی به کارهای آبادانی شهرت یافته و اجرای ساختمان‌های زیادی به آن‌ها نسبت داده شده است. از جمله‌ی این حکمرانان سناخریب پادشاه بابل است که کارهای آبی بسیاری چون کانال‌سازی و بندسازی به‌دست وی انجام گرفته است.

به جز چند مورد، کلیه سدهایی که در ایران باستان ساخته شده بودند از نوع سد وزنی به‌شمار می‌آمده و استواری و پایداری این سدها از نیروی وزن تأمین می‌شده است. مهندسان و سازندگان این سدها که به اصول ایستایی در سدسازی آگاهی داشته‌اند برای بهره‌بری کامل از نیروی وزن و به منظور تأمین استواری و پایداری سد تا جایی که ممکن بود مصالح سنگین به‌کار برده و سدها را با ابعاد زیاد می‌ساختند. البته در آن زمان که نیروی انسانی و مصالح هر دو فراوان و ارزان بود این روش سدسازی از دیدگاه فنی و مهندسی کاملاً آگاهانه به شمار می‌رفت.

افزون بر سدهای وزنی، از حدود ۱۵۰۰ سال پیش نیز سد قوسی در دوره‌های مختلف تاریخی در ایران ساخته شده است، امری که در اروپای قرن هجدهم به ویژگی‌های آن پی‌برده شد. مهندسان ایرانی از باستان با درک مهندسی خود به رفتار فیزیکی سد قوسی پی‌برده و در مواردی که زمین‌های دو طرف و زیر سد سنگی بود و می‌توانست رانش قوس را تحمل نماید این نوع سد را می‌ساخته‌اند. باستانی‌ترین سد قوسی در دنیا سد ایزدخواست از دوره‌ی ساسانی است. سدهای قوسی دیگر در ایران عبارتند از سد کبار بین قم و کاشان و سد رودخانه‌ی کارون (نزدیک تونل

کوهرنگ) و نیز سد شرق در کلات نادری و سد واقع در کهرود کاشان. پدید آمدن فرم سدهای قوسی به دست ایرانیان مورد دیگری از خلاقیّت مردمان این سرزمین است که در عین رواج سنت‌های مهندسی پیشین و گسترش آن‌ها، پدیده‌های جدید کارهای مهندسی به‌وجود آورده و به پندارهای نو جسم بخشیده‌اند. در برخی از موارد نوآوری‌های ایرانیان در تاریخ مهندسی ثبت شده و نام ایرانی آن بر روی اثر باقی‌مانده است. در موارد دیگر به علت ناقص بودن آگاهی‌ها و اغراض بررسی‌کنندگان تاریخی ارزش واقعی سهم ایرانیان در پایه‌گذاری روش‌ها و سبک‌ها و آثار مهندسی نادیده‌گرفته شده است. در مورد تاریخ سد سازی با مقایسه‌ی آثار به جا مانده و بررسی‌های تاریخی دقیق می‌توان به این نتیجه رسید که ابداع سد قوسی به دست ایرانیان انجام گرفته است و اولین بار سدهای قوسی در این سرزمین ساخته و از آن‌ها بهره‌برداری شده است.

۱ــ۳ــ محاسن و معایب بتن

الف) محاسن بتن

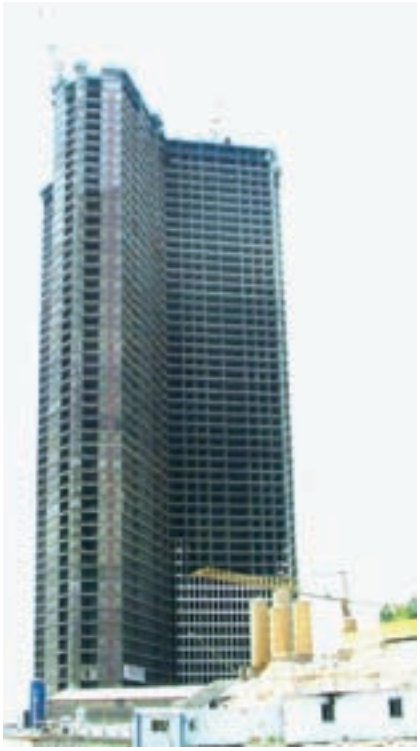
۱ــ فراوانی و در دسترس بودن مصالح: شن و ماسه و آب در اکثر مناطق به‌آسانی و وفور یافت می‌شود، به همین دلیل اغلب می‌توان بتن را با قیمت ارزان تهیه کرد و به‌کار برد.

۲ــ فرم‌پذیری: بتن قبل از سخت شدن فرم‌پذیر است، از این‌رو می‌توان آن را در هر قالبی و به هر شکلی ریخت.

۳ــ مقاومت فشاری بالا: اگر در ساخت بتن از مصالح خوب و مناسب استفاده شود، هم‌چنین آب به مقدار لازم (با ملاحظه‌ی نسبت آب به سیمان کم) به‌کار رود و در طرح اختلاط و روش‌های اجرا دقت کافی به‌عمل آید، بتن، مقاومت فشاری بالایی خواهد داشت.

۴ــ عمر طولانی: در وضعیت بهره‌برداری مناسب، سازه‌ی بتنی می‌تواند بدون آن‌که مقاومت و باربری‌اش کاهش یابد، مدتی نامحدود دوام داشته باشد (این امر ناشی از افزایش مقاومت بتن در طی گذشت زمان است).

۵ــ مقاومت در مقابل آتش‌سوزی: در برابر آتش‌سوزی با درجه حرارتی معادل با ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد حدود یک ساعت طول خواهد کشید تا فولادی که دارای پوشش بتنی برابر ۲/۵ سانتی‌متر است، به دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد. به تجربه اثبات شده است که ساختمان‌هایی که از بتن مسلح با پوشش محافظ کافی ساخته شده‌اند، در آتش‌سوزی‌هایی که چندین ساعت ادامه داشته و دارای شدت متوسطی بوده است، متحمل صدمات سطحی شده‌اند، ولی فرو نریخته‌اند.



ساختمان بتنی با پلان Y شکل، برج تهران

ب) معایب بتن

۱ــ مقاومت کششی بسیار کم: مقاومت کششی بتن حدود یک دهم مقاومتِ فشاری آن است. این نقیصه با به‌کارگیری میل‌گردهای فولادی در سازه‌های بتنی مرتفع می‌گردد.

۲ــ سنگین بودن: به علت بزرگی ابعاد و جرم مخصوص بالای بتن، وزن سازه‌های بتنی در مقایسه با سازه‌های فولادی بسیار سنگین‌تر است. این عیب را می‌توان با استفاده از دیوارهای نازک، اعضای توخالی، بتن پیش‌تنیده، بتن حاوی دانه‌های سبک و یا بتن با مقاومت بالا برطرف کرد.

۳ــ قدرت انتقال صوت و قابلیت انتقال حرارت: این نقایص را می‌توان با استفاده از عایق‌های صوتی و حرارتی تا حد زیادی کاهش داد.

بدنه‌ی سد بتنی

۱ــ۴ــ خواص بتن

در لحظات اولیه‌ی اختلاط، بتن حالت خمیری دارد و پس از انجام عملیاتی از قبیل ریختن آن در قالب، متراکم کردن و نگهداری از آن، با گذشت زمان، خود را می‌گیرد و سخت می‌شود و درنتیجه به شکل قالب خود درمی‌آید. بنابراین بتن دو دوره‌ی عمر، شامل حالت تازه و حالت سخت شده، دارد که باید در هر دو دوره انتظاراتی را که طراح سازه از آن دارد، برآورده سازد. خلاصه‌ای از این انتظارات به‌شرح زیر است :

الف) ویژگی‌های مطلوب بتن تازه: بتن تازه باید دارای خصوصیات زیر باشد :

۱ــ *قابلیت حمل:* بتن باید در عین روانی، به‌صورت خمیری نسبتاً سفت باشد تا ضمن حمل‌ونقل، اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن از هم جدا نشده و در یک گوشه جمع نشوند.

۲ــ *قابلیت ریختن:* بتن را باید بتوان به‌سهولت، بدون این‌که انسجام آن به‌هم بخورد، در محل موردنظر تخلیه کرد.

۳ــ *قابلیت جا دادن:* بتن را باید بتوان به‌راحتی در قالب جا داد به‌طوری که تمام گوشه‌ها و زوایای قالب‌ها و دور میل‌گردها را پر کند.

۴ــ *قابلیت تراکم:* باید بتوان تا حد امکان هوای محبوس در بتن را خارج کرد و آن را متراکم نمود.

۵ــ *قابلیت پرداخت:* سطح بتن تازه را باید بتوان به‌راحتی صاف نمود و یا روی آن نقش موردنظر را ایجاد کرد.

ب) ویژگی‌های مطلوب بتن سخت شده: بتن سخت شده باید تمام یا برخی از خصوصیات زیر را بسته به شرایط موردنظر، داشته باشد :

۱ــ مقاومت در مقابل نیروهای وارده.

۲ــ دوام در مقابل عوامل محیطی اعم از عوامل فیزیکی و شیمیایی و به تعبیر دیگر حفظ شدن کیفیت و قابلیت بهره‌برداری آن در طی زمان.

۳ــ مقاومت در مقابل حرارت زیاد و یا برودت زیاد.

۴ــ ثبات حجم، یعنی عدم تغییر حجم به میزانی که باعث شود تنش‌های اضافی در آن ایجاد شود.

۵ــ مقاومت در مقابل اثر تخریبی آب و فرسایش.

۶ــ نفوذپذیری بسیار کم.

پایه‌ی بتنی یک پل کابلی

۱ــ۵ــ سیمان

اگر مخلوطی از سنگ آهک و خاک رس در کوره‌ی دوار با حرارت زیاد پخته شود، سپس ضمن افزودن مقدار کمی گچ به آن با آسیاب کردن به پودر تبدیل شود، محصول به‌دست آمده «سیمان» خواهد بود. وقتی سیمان با آب مخلوط می‌شود، واکنش شیمیایی «هیدراتاسیون» بین این دو انجام می‌گیرد، درنتیجه بر روی سطح هر دانه‌ی سیمان ماده‌ای پدید می‌آید که در اثر اتصال این مواد به یکدیگر تمام دانه‌ها به هم می‌چسبند. بدین‌ترتیب بتن، سخت شده و سرانجام مقاومت مورد انتظار حاصل می‌شود.

واکنش «هیدراتاسیون» با تولید حرارت همراه است. البته در قطعات نازک، مانند دیوارها و یا دال‌هایی که تا ۲۰۰ میلی‌متر ضخامت دارند، حرارت ناشی از هیدراتاسیون به‌سرعت از بین می‌رود. اما در دیوارهای با ضخامت بیش از ۲۰۰ میلی‌متر پس از قالب‌برداری، حتی پس از ۲۴ ساعت از زمان بتن‌ریزی، چنان‌چه سطح آن لمس گردد، دمای بتن احساس می‌شود.

کانال بتنی آب

مسجد جامع شهر بم که پس از زلزله کاملاً سالم مانده است. اسکلت این بنا بتنی است.

الف) انواع سیمان: سیمان‌هایی که با ترکیبات مختلف شیمیایی ساخته می‌شوند، خواص متفاوتی نیز از خود نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان با انتخاب مواد خام اولیه، نوع خاصی از سیمان با خواص مطلوب و خواسته شده ساخت. امروزه چندین نوع سیمان پرتلند و هم‌چنین سیمان‌های خاص برای استفاده‌ی خاص در جهان ساخته می‌شود. انواع اصلی سیمان‌های پرتلند عبارتند از : سیمان پرتلند معمولی (نوع I)، سیمان پرتلند اصلاح شده (نوع II)، سیمان پرتلند زود سخت‌شونده (نوع III)، سیمان پرتلند با حرارت‌زایی کم (نوع IV)، سیمان پرتلند ضد سولفات (نوع V)، سیمان پرتلند روباره‌ی آهن‌گدازی، سیمان پرتلند سفید و رنگی، سیمان برقی و سیمان پرتلند پوزولانی.

قابل ذکر است که سیمان پرتلند پوزولانی از آسیاب کردن و مخلوط نمودن پوزولان‌ها (خاک‌های طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می‌شوند. پوزولان‌ها اساساً مواد سیلیسی یا سیلیسی ــ آلومیناتی هستند که به‌تنهایی خاصیت گیرش و چسبندگی ندارند ولی به‌صورت ذرات ریز و در مجاورت رطوبت، با آهک آزاد شده از هیدراتاسیون سیمان در درجه‌ی حرارت معمولی محیط، ترکیباتی که خاصیت چسبندگی دارند، ایجاد می‌نمایند. اکثر پوزولان‌ها ارزان‌تر از سیمانی هستند که با آن جایگزین می‌شوند.

ب) خواص سیمان: از آن‌جا که کیفیت سیمان در تولید یک بتن خوب مؤثر می‌باشد، لازم است در ساخت سیمان، از نظر کیفی، کنترل‌های دقیقی به‌عمل آید. ویژگی‌ها و خواصی که در خصوص سیمان پرتلند دارای اهمیت هستند، عبارتند از :

۱ــ ریزی یا نرمی سیمان که توسط «سطح مخصوص» بیان می‌شود و نشانگر کل سطح جانبی ذرات موجود در واحد وزن سیمان است ؛

۲ــ زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان که در حقیقت سرعت سخت شدن خمیر سیمان را نشان می‌دهد ؛

۳ــ سلامت سیمان که بیانگر عدم انبساط مخرب و تغییر حجم عمده بعد از گرفتن سیمان است ؛

۴ــ مقاومت سیمان، اعم از مقاومت‌های فشاری و کششی ؛

۵ــ وزن مخصوص سیمان.

ج) ضوابط بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارکردن و مصرف سیمان‌های کیسه‌ای:

۱ــ سیمان پرتلند باید در کیسه‌های مناسب، مقاوم و قابل انعطاف بسته‌بندی شود، به گونه‌ای که رطوبت و مواد خارجی نتوانند به داخل آن نفوذ کنند و کیسه‌ی سیمان در هنگام حمل و نقل پاره نشود.

۲ــ روی کیسه‌های سیمان باید نوع سیمان پرتلند (یک تا پنج) و تاریخ تولید سیمان درج شود. در سیمان‌های نوع یک، باید مقاومت سیمان نیز قید گردد.

۳ــ وزن اسمی هر کیسه‌ی سیمان پرتلند ۵۰ کیلوگرم می‌باشد.

۴ــ برای هر محموله‌ی وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه، نوع سیمان و تاریخ تولید باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.

۵ــ سیمان‌های کیسه‌ای باید براساس نوع به طور جداگانه نگهداری شوند، به گونه‌ای که

امکان اشتباه آن‌ها با هم وجود نداشته باشد.

۶ــ سیمان‌های کیسه‌ای باید روی کف خشک، که دست‌کم به اندازه‌ی ۱۰ سانتی‌متر از سطح اطراف خود بالاتر باشد، قرار گیرند.

۷ــ ترتیب قرار دادن کیسه‌های سیمان در انبار باید به گونه‌ای باشد که کیسه‌ها، به ترتیب ورود به انبار مصرف شوند.

۸ ــ در مناطق خشک، حدّاکثر تعداد کیسه‌ی سیمان که می‌توان بر روی هم انبار کرد ۱۲ پاکت است، مشروط بر این‌که ارتفاع کل آن‌ها از ۱/۸ متر تجاوز نکند. اعداد فوق در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، به ترتیب ۸ پاکت و ۱/۲ متر می‌باشد.

۹ــ در مناطق خشک، کیسه‌های سیمان باید نزدیک به هم، با فاصله‌ی۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر از یکدیگر قرار داده شوند تا عبور جریان هوا از بین کیسه‌ها موجب خشک‌شدن سیمان بشود. در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، کیسه‌های سیمان باید به یکدیگر چسبانیده شوند.

۱۰ــ کیسه‌های سیمان، در همه‌ی مناطق، باید حداقل ۳۰۰ میلی‌متر از دیوارها و ۶۰۰ میلی‌متر از سقف فاصله داشته باشند.

شکل ۱ــ۶ ــ نحوه صحیح نگه‌داری پاکت‌های سیمان

۱۱ــ در مناطق و در فصل‌هایی که احتمال بارندگی وجود داشته باشد، کیسه‌های سیمان یا باید در انبارهای سرپوشیده نگهداری شود و یا این‌که روی آن‌ها با ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شده و این ورقه‌ها به نحو کاملاً مطمئنی در اطراف پایدار و محکم شود. در این مناطق و در این فصل‌ها، درها، پنجره‌ها و سیستم‌های تهویه باید بسته نگه‌داشته شوند تا از جریان هوای مرطوب در انبار جلوگیری شود.

۱۲ــ سیمان‌های کیسه‌ای باید در مناطق با رطوبت نسبی حداکثر ۹۰٪، ۴۵ روز پس از تولید، و در سایر مناطق ۹۰ روز پس از تولید مصرف شوند و اگر بنا به دلایل غیرقابل اجتناب این امر میسر نشد، این سیمان‌ها باید قبل از مصرف مورد آزمایش قرار گیرند.

۱۳ــ سیمانی که به مدت زیاد انبار شود ممکن است به صورت کلوخه‌های فشرده درآید. این‌گونه سیمان‌ها را باید با غلتانیدن پاکت‌ها بر روی کف اصلاح کرد تا به صورت پودر درآیند. در

مخازن آب، از سازه‌های حیاتی هستند که در صورت داشتن مقاومت و استحکام لازم، پس از زلزله می‌توانند بسیار مفید باشند چرا که در زلزله عموماً شبکه‌های انتقال آب تخریب می‌شوند و این مخازن می‌توانند به مردم زلزله‌دیده کمک فراوانی کنند.

صورتی که با یک بار غلتانیدن، کلوخه به پودر تبدیل شود آن را می‌توان مصرف کرد وگرنه قبل از مصرف باید تحت آزمایش قرار گیرد.

د) ضوابط بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارکردن و مصرف سیمان‌های فله‌ای:

۱ــ سیمان‌های فله، باید در سیلوهای استاندارد نگهداری شوند.

۲ــ سیلوهای سیمان و شالوده‌های آن‌ها باید از نظر سازه‌ای محاسبه و طراحی شده باشند.

۳ــ سیلوهای سیمان باید مجهز به ترازنما، برای تعیین موقعیت تراز سیمان در داخل سیلو، و نیز دریچه‌ای در پایین برای میل‌زدن، در صورت طاق‌زدن سیمان باشند.

۴ــ برای هر محموله‌ی وارد شده به کارگاه، مشخّصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.

۵ــ از آن‌جا که انتقال سیمان از مخزن کامیون به داخل سیلو به کمک هوای فشرده صورت می‌گیرد و در نتیجه سیمان به تدریج متورم می‌شود، نباید بیش از ۸۰ درصد ظرفیت اسمی سیلوها را پرکرد.

۶ــ سیمان‌های فله را باید براساس نوع آن‌ها به طور جداگانه نگهداری کرد، به گونه‌ای که امکان اشتباه آن‌ها با هم وجود نداشته باشد. نوع سیمان موجود در هر سیلو باید به نحو مناسبی مشخص شود.

۷ــ سیمان نگهداری شده در سیلو، باید حداکثر ۹۰ روز پس از تولید مصرف شود و اگر بنا به دلایل غیرقابل اجتناب این امر امکان‌پذیر نشد، باید قبل از مصرف تحت آزمایش قرار گیرد.

پل کابلی با پایه‌های بتنی

۱ــ۶ــ مصالح سنگی

با توجه به این‌که تقریباً $\frac{۳}{۴}$ از حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می‌دهد، انتخاب نوع و نسبت صحیح مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه (ماسه و شن) اهمیت بسیاری دارد. نخستین گام برای ساخت بتن با کیفیت مطلوب، استفاده از مصالح سنگی مناسب است. مصالح سنگی نشکسته از بستر رودخانه‌ها یا معادن شن و ماسه به‌دست می‌آید و مصالح سنگی شکسته از خرد کردن سنگ‌های مناسب بزرگ به‌وسیله‌ی دستگاه‌های سنگ‌شکن تولید می‌شود. معمولاً مصالح سنگی قبل از مصرف در بتن باید دانه‌بندی و شسته شده باشند. چنان‌چه شست‌وشوی مصالح سنگی به‌طور مناسب صورت نگیرد، در اثر وجود ناخالصی‌هایی نظیر خاک و گِل، پیوند بین دانه‌ها به‌خوبی انجام نمی‌پذیرد و این امر باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود.

استانداردهای ملی و بین‌المللی وجود دارند که ویژگی مصالح باید با آن‌ها تطبیق داده شود (در استانداردها علاوه بر نسبت حجمی و وزنی دانه‌های مختلف، پاک بودن از ناخالصی‌ها، مقدار مجاز رس و لای و شکل و بافت سطحی دانه‌های سنگی مورد توجه قرار می‌گیرد).

الف) ویژگی‌های مصالح سنگی: مصالح سنگی باید از دانه‌های تمیز و مقاوم تشکیل شوند، عاری از مواد شیمیایی باشند و سطح آن‌ها پوشیده از رس و یا مواد ریزدانه‌ای (مانند خاک، لای، سیلت، املاح، فضولات انسانی و مواد آلی دیگر) نباشد. بسیاری از این املاح را

پایه‌های بتنی یک پل

برج مخابراتی میلاد درحال ساخت

می‌توان با شستن مصالح حذف کرد. گفتنی است مصالح سنگی ضعیف، شکننده و پولکی برای ساخت بتن مناسب نیستند. مواد آلی موجود در ماسه را نمی‌توان با شست‌وشو خارج کرد. به‌طورکلی مهم‌ترین ویژگی‌های مصالح سنگی بدین قرار است :

۱ــ دوام در برابر سایش ؛

۲ــ مقاومت در برابر یخبندان ؛

۳ــ پایداری شیمیایی ؛

۴ــ شکل و بافت سطحی ؛

۵ــ دانه‌بندی ؛

۶ــ وزن مخصوص (وزن مخصوص حقیقی، وزن مخصوص ظاهری) ؛

۷ــ جذب آب و رطوبت سطحی.

ب) شکل و بافت سطحی سنگ‌دانه‌ها: شکل و بافت سطحی مصالح سنگی درشت‌دانه بر کیفیت بتن مؤثر است. از لحاظ شکل، مصالح را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد :

۱ــ مصالح گِرد گوشه، یعنی سنگ‌هایی که طی زمان‌های بسیار، توسط آب غلتیده‌اند و تیزی آن‌ها گرفته شده است ؛ مثل شن رودخانه‌ای و دریایی ؛

۲ــ مصالح تیزگوشه که دارای لبه‌های کاملاً مشخص در محل برخورد سطوح جانبی مختلف با یکدیگر هستند، مثل سنگ‌های شکسته و گدازه‌ای ؛

۳ــ مصالح پولکی که ضخامت آن‌ها نسبت به دو بعد دیگرشان بسیار کم است، مثل سنگ‌های ورقه‌ای شده ؛

۴ــ مصالح سوزنی که طول آن‌ها نسبت به دو بعد دیگرشان بسیار زیاد است ؛

۵ــ مصالح پولکی و سوزنی که ضخامت آن‌ها بسیار کم‌تر از عرضشان و عرض آن‌ها بسیار کم‌تر از طولشان است.

از لحاظ بافت سطحی، سنگ‌دانه‌ها صاف یا زبر هستند که تأثیر آن‌ها بر خواص بتن متفاوت است.

ج) اندازه‌ی مصالح سنگی: بتن عموماً از سنگ‌دانه‌هایی در اندازه‌های مختلف، که حداکثر قطر آن‌ها بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر و به‌طور متوسط ۲۰ میلی‌متر است، ساخته می‌شود. توزیع اندازه‌ی ذرات به‌نام دانه‌بندی موسوم است. سنگ‌دانه‌ها را عموماً در دو دسته‌ی درشت‌دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) گروه‌بندی کرده‌اند. به‌طورکلی مواد با قطر بیش‌تر از ۵ میلی‌متر را «شن» و کوچک‌تر از آن را «ماسه» می‌نامند. حد پایین ماسه عموماً ۰/۰۷ میلی‌متر یا کمی کم‌تر می‌باشد. مواد با قطر بین ۰/۰۷ میلی‌متر و ۰/۰۲ میلی‌متر به‌نام لای یا سیلت و مواد ریزتر جزءِ رس‌ها طبقه‌بندی شده‌اند.

یکی از مشخصه‌های مهم مصالح سنگی، بزرگ‌ترین اندازه‌ی اسمی آن‌هاست. طبق ضوابط استاندارد بزرگ‌ترین اندازه‌ی اسمی سنگ‌دانه‌های درشت نباید از هیچ‌یک از مقادیر زیر بیش‌تر باشد :

۱ــ یک پنجم کوچک‌ترین بعد داخلی قالب ؛

۲ــ یک سوم ضخامت دال ؛

۳ــ سه چهارم حداقل فاصله‌ی آزاد بین میل‌گردهای فولادی ؛

۴ــ سه چهارم پوشش بتنی روی میل‌گردها.

به‌کار بردن سنگ‌دانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلی‌متر قطر در بتن مسلح توصیه نمی‌شود، امّا به‌طورکلی سنگ‌دانه‌های درشت‌تر از ۶۳ میلی‌متر نباید در بتن به‌کار رود.

د) ضوابط حمل و نقل، تحویل و نگهداری سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن:

۱ــ شرایط باید به گونه‌ای باشد که مواد خارجی و زیان آور در سنگ‌دانه‌ها نفوذ نکنند.

۲ــ شرایط باید به گونه‌ای باشد که دانه‌های ریز و درشت در یک دپو از یکدیگر جدا نشوند.

۳ــ شرایط باید به گونه‌ای باشد که سنگ‌دانه‌ها شکسته نشوند.

۴ــ محل نگهداری سنگ‌دانه‌ها باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده کننده باشد.

۵ــ شن‌های با حدّاکثر اندازه‌ی بیش از ۳۸ میلی‌متر، باید در دو گروه کم‌تر و بیش‌تر از ۲۵ میلی‌متر نگهداری شوند. شن‌های با حداکثر اندازه‌ی ۳۸ میلی‌متر یا کم‌تر باید در دو گروه کم‌تر و بیش‌تر از ۱۹ میلی‌متر نگهداری شوند. این کار امکان جداشدن دانه‌ها از یکدیگر را کاهش می‌دهد.

۶ــ دیواره‌های تقسیم دپوی مصالح سنگی باید به گونه‌ای مقاوم و پایدار باشد که در صورت خالی‌بودن یک قسمت و پر بودن قسمت مجاور، دیواره بر اثر رانش سنگ‌دانه‌ها تخریب یا جابه‌جا نشود.

۷ــ در هنگام بارش و یخبندان، باید سنگ‌دانه‌های واقع در فضای آزاد با برزنت یا ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شود.

۸ ــ در هنگام گرمای شدید، باید بر روی سنگ‌دانه‌های واقع در فضای آزاد، سایبان درست شود.

۹ــ شیب مخروط‌های دپوی شن و ماسه نباید زیاد باشد زیرا شیب زیاد دپوها موجب جدا شدن دانه‌های ریز و درشت از هم می‌شود.

۱۰ــ سنگ‌دانه‌ها تا حد امکان باید به صورت لایه‌هایی با ضخامت یکسان بر روی یکدیگر ریخته شده و انبار شوند. سنگ‌دانه‌ها باید با لودر یا وسایل مناسب دیگر به گونه‌ای برداشته شوند که هر بار قسمت‌هایی از همه‌ی لایه‌های افقی برداشته شوند.

۱۱ــ در صورت تخلیه‌ی سنگ‌دانه‌ها هنگام باد، باید تدابیری اتخاذ گردد که از جدا شدن ذرات ریز جلوگیری شود.

۱۲ــ محل دپوی شن و ماسه باید به گونه‌ای باشد که همواره امکان تخلیه‌ی آب مازاد وجود داشته باشد.

۱۳ــ سنگ‌دانه‌های انبارشده در دپو باید حداقل ۱۲ساعت در محل باقی‌مانده و سپس مصرف شود. این امر موجب می‌شود که رطوبت سنگ‌دانه‌ها به حد یکنواخت و پایدار برسد.

غلط

استفاده از کلا مثل با ظرفیت زیاد و دپو کردن مصالح به‌صورت یک واحد،منجر به‌جداشدن دانه‌ها می‌گردد.

غلط

روشی که اجازه می‌دهد،سنگ‌دانه‌ها بر روی سراشیبی دپو حرکت کنند.

غلط

سقوط آزاد مصالح باعث جداشدگی سنگ‌دانه‌ها می‌گردد.

غلط

دپو کردن به‌وسیله‌ی تسمه نقاله و تنظیم لایه‌های افقی به‌وسیله لودر

غلط

دپوی شیب‌دار با استفاده از لودر یا بلدوزر

صحیح

با استفاده از کلا مثل، مصالح در واحدهای کوچک دپو می‌شوند و در نتیجه سنگ‌دانه‌ها بر روی شیب و لبه‌های دپو سقوط نمی‌کنند.

صحیح

استفاده از مانع برای جلوگیری از حرکت سنگ‌دانه های درشت

صحیح

استفاده از تسمه نقاله و لوله شوت،تسمه نقاله باید تا حد امکان در ارتفاع کم قرار گیرد تا از جابه‌جایی ذرات ریز به وسیله باد جلوگیری شود.

غلط

کامیون بر روی مصالح عبور می‌کند و سبب شکسته و آلوده‌شدن آن‌ها می‌گردد،سنگ‌دانه‌ها نیز به پایین شیب سقوط می‌کنند. که سبب جداشدگی دانه‌ها می‌شود.

شکل ۱ــ۷ــ انواع روش‌های انبارکردن سنگ‌دانه

۱۴ــ سیلوی ذخیره‌ی سنگ‌دانه‌ها حتی‌المقدور باید با مقطع مربع یا دایره و شیب مخروط یا هرم تحتانی آن کمتر از ۵۰ درجه باشد. مصالح سنگی باید به صورت قائم در داخل سیلو ریخته شود تا از برخورد مواد سنگی با کناره‌های سیلو جلوگیری شده و دانه‌ها از هم جدا نشوند. در صورتی که سیلوی ذخیره‌ی سنگ‌دانه‌ها پر باشد امکان شکسته شدن سنگ‌دانه‌ها و به هم‌خوردن دانه‌بندی آن کاهش می‌یابد. برای خالی‌کردن سنگ‌دانه‌ها به داخل سیلو، باید از نردبان ویژه‌ی مصالح سنگی استفاده شود.

۱۵ــ در صورتی که شرایط به گونه‌ای باشد که امکان شکسته‌شدن سنگ‌دانه‌ها در حین جابه‌جا کردن یا انبارکردن وجود داشته باشد، باید قبل از ساخت بتن با این سنگدانه‌ها، بار دیگر آن‌ها را دانه‌بندی کرد.

۱۶ــ ضوابط مربوط به جلوگیری از جداشدن سنگ‌دانه‌ها باید در مورد سنگ‌دانه‌های گردگوشه، که بیشتر مستعد این امر هستند. جدی‌تر رعایت شود.

۱۷ــ در هنگام بارش برف و یخبندان، سنگ‌دانه‌ها باید به گونه‌ای انبار شوند که امکان‌یخ‌زدگی و نیز جمع‌شدن برف و یخ بین دانه‌ها وجود نداشته باشد.

۱۸ــ هنگام تحویل هر محموله از سنگ‌دانه‌های وارده به کارگاه، باید مشخّصات مذکور در

اسناد تحویل سنگ‌دانه‌ها با مشخّصات سفارش داده شده و نیز سنگ‌دانه‌های وارده مقایسه و انطباق آن کنترل شود.

۱۹ــ در هنگام تحویل هر محموله از سنگ‌دانه‌های وارده به کارگاه، باید وضعیت ظاهری آن‌ها از نظر اندازه، شکل دانه‌ها و ناخالصی‌های آن با چشم کنترل شود.

شکل ۱ــ ۸ ــ استفاده از دیوار جداکننده در نگهداری سنگ‌دانه‌ها

سازه‌ی بتنی از بتن سفید در حرم مطهر حضرت معصومه (س)

۱ــ۷ــ آب

یکی از اجزای اصلی بتن آب است که بدون آن هیچ واکنش شیمیایی در بتن انجام نمی‌گیرد. از نظر تئوری، مقدار آب مورد نیاز برای بتن در حدود ۲۵ درصد وزن سیمان است، اما در عمل، برای به‌دست آوردن کارآیی لازم، مقدار آب مصرفی تا حدود ۳۰ الی ۵۵ درصد افزایش می‌یابد (آب اضافی باعث روان‌تر شدن مخلوط می‌شود و مقداری از آن وارد فعل و انفعالات ذرات سیمان شده و قسمت دیگر نیز در هوای مخلوط در بتن محبوس می‌شود و فضاهای کوچک و میکروسکوپی را تشکیل می‌دهد. در اثر تبخیر آب، این فضاها مقاومت بتن را کاهش می‌دهند). مناسب‌ترین آب برای ساخت بتن، آب آشامیدنی است. آب‌های دارای املاح مختلف، به‌ویژه املاحی مانند کلرور و سولفات، برای بتن نامناسب و زیان‌آورند، زیرا در اثر ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیمان با این املاح، بتن صدمه می‌بیند، بنابراین باید در ساخت بتن از مصرف آب‌های راکد، آب‌های باتلاقی، آب‌های دارای املاح زیاد، آب دریا و آب‌های کثیف و مصرف شده (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی) خودداری شود. مقدار pH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کم‌تر و از ۸/۵ بیش‌تر باشد.

هرچه آب کم‌تری در بتن وجود داشته باشد مقاومت و دوام آن بیش‌تر می‌شود. با استفاده از مواد روان‌کننده و فوق روان‌کننده می‌توان مصرف آب در بتن را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. آب مصرفی در کارگاه‌ها باید به گونه‌ای حمل و نقل و نگهداری شود که احتمال ورود مواد مضر به داخل آن و نیز رشد خزه‌ها و مواد آلی در آن‌ها وجود نداشته باشد.

۱ــ۸ــ مواد افزودنی

مواد افزودنی، مواد شیمیایی خاصی هستند که به‌صورت محلول و یا پودر عرضه می‌شوند. این مواد کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط، به بتن افزوده می‌شوند تا بعضی از ویژگی‌های

بتن تازه یا سخت شده را تغییر دهند. البته چنان‌چه طرح اختلاط بتن به‌طور مطلوب انجام پذیرد، در بیش‌تر موارد به مواد افزودنی نیازی نیست. اگرچه در برخی موارد استفاده از مواد افزودنی، ممکن است مناسب‌ترین طریق برای کسب نتیجه‌ی مطلوب باشد. این موضوع را باید به‌خاطر سپرد که استفاده از این مواد باید مبتنی بر دلایل فنی باشد. مواد افزودنی به مقدار کم به بتن افزوده می‌شوند، لذا در هنگام مصرف، به کنترل بسیار دقیقی نیاز دارند. مواد افزودنی که امروزه بیش‌ترین کاربرد را در بتن دارند عبارتند از :

۱ــ تسریع‌کننده‌ها: این مواد برای سرعت بخشیدن به گیرش بتن و حصول مقاومت زودهنگام، به‌ویژه در مناطق سرد و یخ‌بندان و یا شرایط خاصی که کسب مقاومت بتن در دمای معمولی نیز باید سریع حاصل شود، به‌کار می‌رود.

۲ــ کندگیرکننده‌ها: از این مواد برای بتن‌ریزی در هوای گرم و خشک، در وزش باد شدید، در بتن‌ریزی در حجم زیاد، در هنگام پمپاژ ملات یا بتن در مسیرهای طویل و با حرارت بالای $30^{\circ}C$ استفاده می‌شود.

۳ــ روان‌کننده‌ها و فوق روان‌کننده‌ها: مصرف این مواد، مقدار آب مصرفی را کاهش داده و بتنی با مقاومت اولیه و نهایی بالاتری ایجاد می‌کند. هم‌چنین سبب می‌گردد امکان بتن‌ریزی با پمپ در سازه‌های پیش‌ساخته و پیش‌تنیده و تیغه‌ها امکان‌پذیر باشد. علاوه بر آن، باعث بهبود پیوستگی بین بتن و فولاد، بتن‌ریزی با سرعت زیاد و نیاز به تراکم کم‌تر می‌شود.

۴ــ مواد حباب هوازا: این مواد در بتن حباب‌های بسیار ریز و فراوان ایجاد می‌کنند که در نتیجه‌ی آن مقاومت بتن در برابر رطوبت و یخ زدن و آب شدن‌های مکرر بیش‌تر می‌شود.

مسجدی با اسکلت بتنی

پرسش

۱ــ بتن چیست؟ معایب و محاسن آن را شرح دهید.
۲ــ ویژگی‌های مطلوب بتن تازه و سخت شده چیست؟
۳ــ مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن را نام ببرید.
۴ــ چند نوع سیمان می‌شناسید؟ آن‌ها را نام ببرید.
۵ــ ویژگی‌های اصلی مصالح سنگی چیست؟
۶ــ چند درصد حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می‌دهند؟
۷ــ مصالح سنگی را از نظر شکل و بافت سطحی چگونه دسته‌بندی کرده‌اند؟
۸ــ آب در بتن چه نقشی ایفا می‌کند؟
۹ــ ویژگی‌های آب مناسب برای بتن چیست؟
۱۰ــ مواد افزودنی چه موادی هستند و چگونه مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۱۱ــ انواع مواد افزودنی و موارد مصرف آن‌ها را نام ببرید.
۱۲ــ فرض کنید که شما در کارگاهی مشغول به کار هستید که هوای آن منطقه شرجی است، برای انبارکردن مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن چه تمهیداتی را در نظر می‌گیرید؟

اجرای ساختمان پیش‌ساخته بتنی

فصل دوم

آزمایش‌های بتن و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ انواع آزمایش‌های سیمان و روش اجرای آن‌ها را توضیح دهد ؛

۲ــ انواع آزمایش‌های مصالح سنگی و روش اجرای آن‌ها را بیان کند ؛

۳ــ روش‌های دانه‌بندی مصالح سنگی درشت‌دانه را توضیح دهد ؛

۴ــ روش برداشت نمونه و تقسیم مصالح سنگی را بیان کند ؛

۵ ــ انواع الک‌های مختلف دانه‌بندی مصالح سنگی را نام ببرد ؛

۶ــ نحوه‌ی تعیین جرم حجمی حقیقی مصالح و اندازه‌گیری درصد رطوبت طبیعی و درصد جذب آب مصالح را توضیح دهد ؛

۷ ــ انواع آزمایش‌های بتن را توضیح دهد.

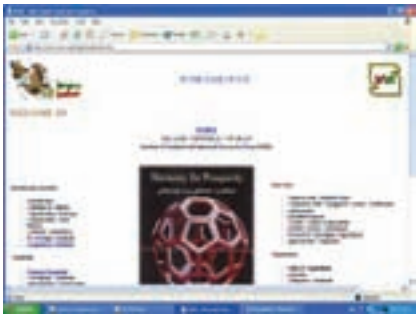
۲ــ۱ــ ضرورت انجام آزمایش‌ها

بتن، برخلاف سایر مصالح ساختمانی که معمولاً به‌صورت آماده در دسترس است، بایستی قبل از استفاده ساخته شود. بنابراین مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن باید قبل از ساخت به میزان لازم آماده شده و پس از حصول اطمینان از کیفیت مطلوب آن‌ها با هم مخلوط گردند. جهت کسب اطمینان از کیفیت مطلوب مصالح، انجام آزمایش ضروری است. ضمناً لازم است که قبل از شروع عملیات اجرایی، فرمول ترکیب بتن به‌طور دقیق در آزمایشگاه تعیین و نمونه‌ی آن ساخته شود، سپس در هنگام بتن‌ریزی نیز از طریق نمونه‌گیری و آزمایش نمونه‌ها، اطمینان لازم از کیفیت بتن موردنظر حاصل شود. تداوم نمونه‌گیری و آزمایش‌های بتن در طول عملیات اجرایی لازم است. با توجه به نکات اشاره شده، آزمایش‌های بتن و کنترل مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن از اقدامات اساسی در ساخت و کاربرد فرآورده‌های بتنی به‌شمار می‌آید.

برای آن‌که بتوان آزمایش‌ها را در شرایط مشخص و طبق روش‌های واحدی انجام داد و قاعده‌ای برای کنترل کیفیت و تفسیر نتایج حاصله در دسترس باشد، کشورهای مختلف استانداردهای خاصی را تدوین نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به استانداردهای ASTM (آمریکا)، BS (انگلستان)، DIN (آلمان) و ISIRI (مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) اشاره نمود.

انجمن مواد و آزمایش‌های آمریکا (ASTM) از بزرگ‌ترین مراکز توسعه استاندارد در جهان

http://www.ASTM.Org



مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

www.ISIRI.Org

۲ــ۲ــ آزمایش‌های سیمان

الف) آزمایش تعیین جرم حجمی سیمان: جرم حجمی[1] (چگالی) سیمان یکی از خواص سیمان است که در محاسبات طرح اختلاط و اندازه‌گیری نرمی سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیمان به‌طورکلی دارای سه نوع جرم حجمی به شرح زیر است :

۱ــ *جرم حجمی آزاد؛* که عبارت است از جرم حجمی سیمان به‌صورت آزاد و بدون تراکم.

۲ــ *جرم حجمی متراکم؛* که عبارت است از جرم حجمی سیمان به‌صورت متراکم. این جرم حجمی در انبار کردن سیمان کاربرد دارد.

۳ــ *جرم حجمی مطلق؛* که عبارت است از بیش‌ترین جرم حجمی سیمان، و به‌عنوان جرم واحد حجم ذرات جامد سیمان تعریف می‌شود.

در این آزمایش اندازه‌گیری جرم حجمی مطلق سیمان موردنظر است.

جرم حجمی سیمان پرتلند عموماً در حدود $3/15 gr/cm^3$ می‌باشد. سیمان‌های پرتلند پوزولانی و سیمان‌های روباره آهن‌گدازی ممکن است دارای جرم حجمی در حدود $2/9 gr/cm^3$ باشند. جرم حجمی سیمان نشان‌دهنده‌ی کیفیت سیمان نیست، اما می‌تواند به‌عنوان معیاری از سیمان مصرفی در کارهای عمرانی مورد استفاده قرار گیرد.

از آن‌جا که اندازه‌گیری حجم اجسامی به شکل پودر، به‌سادگی ممکن نیست، برای اندازه‌گیری حجم سیمان در هنگام اندازه‌گیری جرم حجمی مطلق آن، از وسیله‌ای به‌نام بالن لوشاتلیه استفاده می‌شود. جرم سیمان نیز با ترازو تعیین می‌گردد. ضمناً از نفت سفید خالص نیز در جریان آزمایش استفاده می‌شود.

ب) آزمایش تعیین نرمی سیمان: آخرین گام در تولید سیمان در کارخانه، آسیاب کردن کلینکر مخلوط شده با گچ است. به علت این‌که، در هنگام مصرف سیمان، هیدراتاسیون از سطح ذرات سیمان آغاز می‌گردد، لذا مساحت کل سطح سیمان معرف میزان ماده‌ی در دسترس برای هیدراتاسیون می‌باشد و از این‌جاست که تعیین نرمی سیمان اهمیت می‌یابد.

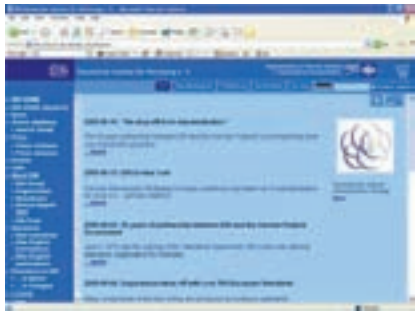
طبق تعریف، نرمی یا سطح مخصوص عبارت است از : سطح ذرات موجود در واحد جرم سیمان، و برحسب m^2/kg و یا cm^2/gr بیان می‌شود. سطح مخصوص یا نرمی سیمان با اندازه‌ی ذرات سیمان نسبت معکوس دارد.

سطح مخصوص انواع سیمان‌ها حدوداً بین ۲۵۰ و $350 m^2/kg$ قرار دارد.

برای اندازه‌گیری نرمی سیمان، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها که در استاندارد نیز بر روی آن تأکید شده است، استفاده از دستگاه نفوذپذیری هوای بلین (Blaine) است.

اساس کار این دستگاه بر مبنای عبور مقدار معینی هوا از سطح پرداخت شده‌ی سیمان، که میزان تخلخل معینی دارد، استوار است. تعداد و اندازه‌ی سوراخ‌ها در یک سطح پرداخت شده تابعی از اندازه‌ی ذرات و شدت عبور جریان هوا از آن سطح می‌باشد.

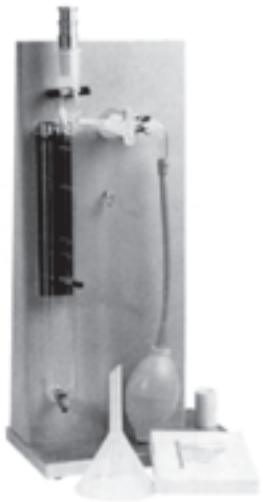
۱ــ جرم حجمی عبارت است از جرم واحد حجم یک ماده که به‌صورت $\frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$ به‌دست می‌آید.



مؤسسه DIN آلمان

http://www.DIN.de

دستگاه الکترونیکی نفوذپذیری هوای Blaine که براساس استاندارد ASTM C204، BS 4550 و DIN 1164 کار می‌کند.



دستگاه نفوذپذیری هوای Blaine که براساس استاندارد ASTM C204 و BS 4550 و DIN 1164 کار می‌کند.

ج) آزمایش تعیین زمان گیرش سیمان: در ساخت سازه‌های بتنی، زمان باز کردن قالب‌ها تابعی از زمان گیرش بتن می‌باشد که خود نیز به علت گیرش سیمان است. لذا دانستن زمان گیرش سیمان اهمیت زیادی دارد. از طرف دیگر زمان گیرش سیمان پرتلند می‌تواند نشان‌دهنده‌ی میزان کیفیت سیمان باشد.

در طی فرایند هیدراتاسیون ابتدا خمیر سیمان به‌تدریج شکل‌پذیری خود را از دست می‌دهد تا به گیرش اولیه‌ی خود برسد. در این حالت تقریباً شکل دادن و پرداخت سطح بتن ناممکن می‌گردد با ادامه‌ی فرآیند هیدراتاسیون، سیمان کاملاً سخت می‌شود. لحظه‌ای که سخت شدن خمیر سیمان کامل گردیده و صلب شدن آن آغاز می‌گردد، لحظه‌ی گیرش نهایی خواهد بود. برای اندازه‌گیری زمان گیرش سیمان از دستگاه ویکات (Vicat) استفاده می‌شود (شکل ۲ــ۱).

شکل ۲ــ۱ــ دستگاه ویکات

سیمان به‌طورکلی سه نوع گیرش دارد :

۱ــ *گیرش کاذب*[1]: این نوع گیرش به علت گیرش گچ می‌باشد که در کارخانه به سیمان افزوده می‌شود، با حرارت‌زایی همراه نیست و با ویبره‌ی مجدد از بین خواهد رفت. بتن پس از این گیرش بدون تغییر کیفی می‌تواند به سخت شدن خود ادامه دهد.

۲ــ *گیرش اولیه*[2]: طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه هنگامی خواهد بود که نفوذ سوزن ویکات در خمیری با غلظت نرمال، در مدّت ۳۰ ثانیه پس از رها شدن، برابر با ۲۵ میلی‌متر یا کم‌تر باشد. در طول گیرش اولیه، حرارت آزاد می‌شود و این گیرش با ویبره‌ی مجدد از بین نخواهد رفت.

دستگاه الکترونیکی ویکات که برای تعیین زمان گیرش سیمان به‌کار می‌رود و براساس استاندارد ASTM C187 و DIN 1164 کار می‌کند.

دستگاه ویکات که توسط کامپیوتر کنترل می‌شود و برای تعیین زمان گیرش سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱ــ False Setting ۲ــ Initial Setting

۳ــ گیرش ثانویه یا نهایی[1]: طبق استاندارد ASTM، گیرش ثانویه هنگامی خواهد بود که سوزن ویکات به وضوح در داخل خمیر فرو نرود.

طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه نباید کم‌تر از ۴۵ دقیقه و گیرش ثانویه نباید بیش از ۳۷۵ دقیقه باشد.

برای تعیین زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه و سلامت سیمان لازم است از خمیر سیمان با روانی متعارف استفاده شود. بنابراین ضرورت دارد که برای هر سیمان معین میزان آبِ خمیر، که روانی متعارف را به‌دست می‌دهد مشخص گردد. نسبت این آب به سیمان را که به‌صورت درصد بیان می‌شود، غلظت نرمال می‌نامند. بر مبنای استاندارد ASTM، غلظت خمیر هنگامی نرمال خواهد بود که میزان نفوذ سوزن ویکات در داخل خمیر در مدت ۳۰ ثانیه و در شرایط استاندارد برابر با ۱±۱۰ میلی‌متر باشد.

د) آزمایش مقاومت فشاری سیمان: آزمایش مقاومت فشاری ملات سیمان متداول‌ترین روشی است که برای اندازه‌گیری مقاومت سیمان به‌کار می‌رود، زیرا عملکرد فشاری بتن بیش از عملکرد کششی آن مدنظر است.

در آزمایش مقاومت فشاری ملات نسبت سنگ‌دانه به سیمان برابر با ۲/۷۵ و نسبت آب به سیمان ثابت و برابر با ۰/۴۸۵ می‌باشد. درضمن، ماسه‌ی مورد استفاده در ساخت ملاتِ مربوطه، ماسه‌ی استانداردی است که به ماسه‌ی «اُتاوا» معروف است. ویژگی‌های این ماسه‌ی استاندارد و مقادیر مجاز مقاومت فشاری ملات سیمان در سنین مختلف، در استاندارد ASTM – C150 داده شده است. در این روش نمونه‌های ۵۱ میلی‌متری از ملات ساخته شده و تا زمان آزمایش در محلول آهک اشباع در حرارت ۲۲°C نگهداری می‌شوند.

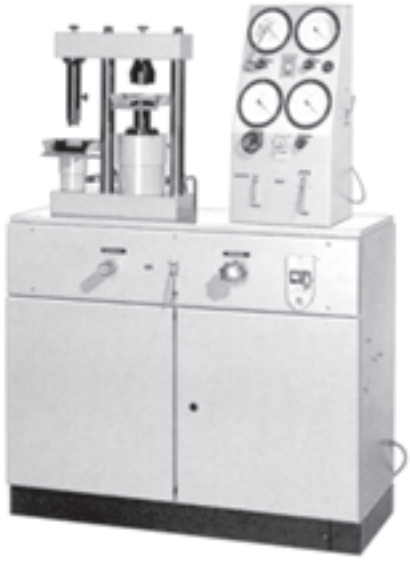
علت این‌که مقاومت فشاری سیمان در استانداردها غالباً در ملات ماسه سیمان، و نه در بتن، مورد بررسی قرار می‌گیرد آن است که برای سنگ‌دانه‌های درشت، تهیه‌ی استانداردی که در همه‌جا مورد مصرف قرار گیرد، تقریباً مشکل و حتی غیرممکن است.

۲ــ۳ــ آزمایش‌های سنگ‌دانه‌ها

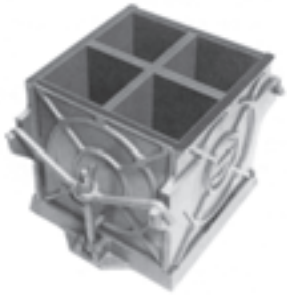
الف) آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای: این آزمایش برای تعیین مقدار لای در ماسه‌ی طبیعی به‌کار می‌رود و به‌راحتی در کارگاه قابل انجام است. روش آزمایش بدین‌ترتیب است که محلولی از نمک طبیعی و آب به غلظت ۱٪ تهیه می‌کنند. سپس حدود ۵۰CC از آن را در یک استوانه‌ی مدرّج ۲۵۰CC می‌ریزند و به‌آرامی ماسه‌ی موردنظر را به محلول اضافه می‌کنند تا وقتی که سطح ماسه‌ی درون استوانه به ۱۰۰CC برسد. با افزایش محلول، حجم را تا ۱۵۰CC افزایش می‌دهند، سپس استوانه‌ی مدرّج را به شدت تکان می‌دهند و آن را بدون حرکت در محلی قرار می‌دهند و پس از ۳ساعت ارتفاع قشر لای را در بخش فوقانی ماسه اندازه می‌گیرند. درصد لای موجود در ماسه و ارزش ماسه‌ای از روابط زیر به‌دست می‌آید :

$$\text{درصد لای} = \frac{\text{ارتفاع قشر لای}}{\text{ارتفاع ماسه}} \times ۱۰۰$$

$$\text{ارزش ماسه‌ای} = ۱۰۰ - \text{درصد لای}$$



دستگاه ترکیبی تعیین مقاومت فشاری و خمشی نمونه‌های سیمانی براساس استاندارد DIN 1164 و BS 3892



انواع قالب‌های مورد استفاده در نمونه‌گیری سیمان براساس استاندارد BS 4550 و ASTM C109

۱ــ Final Setting

طبق آیین‌نامه‌ی بتن ایران، ارزش ماسه‌ای باید حداقل ۷۵ باشد. برای کارهای با حساسیت بیش‌تر به مقادیر ارزش ماسه‌ای بالاتری نیاز هست و ممکن است نیاز به آزمایش‌های دقیق‌تری نیز باشد.

ب) آزمایش تعیین چگالی سنگ‌دانه‌ها: سنگ‌دانه‌ها عموماً حاوی منافذی قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ هستند و به همین علت دارای چند نوع چگالی یا جرم حجمی به شرح زیر می‌باشند :

چگالی مطلق: اگر در محاسبه‌ی چگالی، حجم مواد جامد منهای حجم کلیه‌ی منافذ اعم از قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ در نظر گرفته شود، چگالی مطلق حاصل می‌شود. برای به‌دست آوردن چگالی مطلق بایستی سنگ‌دانه‌ها کاملاً به‌صورت پودر نرم درآورده شوند تا اثر منافذ غیرقابل نفوذ از بین برود. چگالی مطلق در تکنولوژی بتن کاربردی ندارد.

چگالی ظاهری: اگر حجم مواد جامد به‌گونه‌ای درنظر گرفته شود که شامل منافذ غیرقابل نفوذ ولی بدون لوله‌های مویینه یا منافذ قابل نفوذ گردد، چگالی حاصل را چگالی ظاهری می‌نامند. در این صورت چگالی ظاهری برابر است با نسبت جرم سنگ‌دانه‌های خشک شده در کوره با دمای $110^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت، به جرم آب هم حجم مواد جامدی که شامل منافذ غیرقابل نفوذ نیز باشد.

چگالی ظاهری سنگ‌دانه‌ها به نوع کانی‌هایی که دانه‌های سنگی از ترکیب آن‌ها به‌وجود آمده‌اند، و هم‌چنین به مقدار منافذ داخل آن‌ها بستگی دارد. چگالی ظاهری اکثر سنگ‌دانه‌های طبیعی بین ۲/۴ تا ۲/۷ است.

چگالی انبوهی: چگالی انبوهی سنگ‌دانه‌ها در مواردی کاربرد دارد که سنگ‌دانه‌ها به‌صورت حجمی پیمانه می‌شوند. در این‌صورت از چگالی انبوهی برای تبدیل مقادیر جرمی به مقادیر حجمی استفاده می‌کنند. چگالی انبوهی به میزان تراکم سنگ‌دانه‌ها بستگی دارد، لذا در آزمایش تعیین چگالی انبوهی، روش تراکم دقیقاً مشخص می‌گردد. چون در محاسبه‌ی این نوع چگالی، حجم توده‌ی سنگ‌دانه‌ها شامل حجم فضاهای خالی بین سنگ‌دانه‌ها هم می‌شود.

از بین انواع فوق، چگالی ظاهری، که به توده‌ی ویژه‌ی ظاهری نیز معروف است، معمولاً در تکنولوژی بتن به‌کار می‌رود. جرم آب هم حجم مواد جامد معمولاً با به‌کار بردن ظرف مخصوصی که تا حجم مشخصی پر از آب شده، اندازه‌گیری می‌شود. این ظرف مخصوص که پیکنومتر[1] نام دارد و برای ریزدانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولاً به شکل یک استوانه‌ی یک لیتری با سر مخروطی فلزی است که سوراخ ریزی نیز در سر آن وجود دارد. پیکنومتر را می‌توان با دقت پر از آب کرد تا حجم آن ثابت بماند. طبق تعریف اگر جرم دانه‌های خشک شده در کوره را با D، جرم ظرف مخصوص پر از آب را با C و جرم ظرف و نمونه‌ی پر از آب را با B نشان دهیم، جرم آب هم حجم دانه‌ها برابر است با $D-(B-C)$ و درنتیجه توده‌ی ویژه‌ی ظاهری برابر خواهد بود با :

$$\frac{D}{D-(B-C)}$$

طبق استاندارد برای درشت دانه‌ها به جای پیکنومتر از یک سبد سیمی استفاده می‌شود.

استوانه‌ی مدرج برای اندازه‌گیری ارزش ماسه‌ای

وسیله‌ای برای تعیین میزان ناخالصی در مصالح ریزدانه

ظروف مختلف برای تعیین وزن مخصوص مصالح سنگی

بطری پیکنومتر برای تعیین چگالی ظاهری مصالح که براساس استاندارد DIN 12039 ساخته شده است.

۱ــ Pycnometer چگالی سنج

ج) آزمایش تعیین جذب آب سنگ‌دانه‌ها: گفتیم که سنگ‌دانه‌ها دارای منافذی هستند. این منافذ می‌توانند با آب پر شوند و لذا از بتن آب می‌گیرند. به علت این‌که میزان آب بتن (یا درواقع نسبت آب به سیمان) بر روی خواص بتن تأثیر مستقیم دارد، تعیین میزان جذب آب سنگ‌دانه از اهمیت فراوانی برخوردار است.

اصولاً سنگ‌دانه‌ها از نظر میزان آب چهار حالت دارند :

۱ــ *خشک شده در کوره (Oven - dried)*؛ در این حالت هیچ آبی در داخل سنگ‌دانه باقی نمی‌ماند.

۲ــ *خشک شده در هوا (Air - dried)*؛ در این حالت سطح سنگ‌دانه معمولاً خشک است و مقداری آب در منافذ آن وجود دارد ولی میزان آب آن کم‌تر از حالت اشباع با سطح خشک است.

۳ــ *حالت اشباع با سطح خشک (Saturated - surface dry)*؛ در این حالت تمام منافذ پر از آب می‌باشند ولی سطح سنگ‌دانه خشک است. این حالت به SSD معروف است.

۴ــ *اشباع با سطح مرطوب (Saturated)*؛ در این حالت علاوه بر این‌که تمام منافذ پر از آب است، روی سطح سنگ‌دانه هم آب وجود دارد.

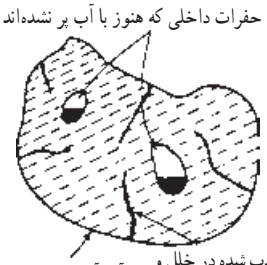
معمولاً فرض می‌شود که در هنگام گیرش بتن، سنگ‌دانه‌های آن در حالت SSD باشند. درصورتی که سنگ‌دانه‌ها درحالتی غیر از SSD باشند، برای رسیدن به این حالت یا از بتن آب گرفته یا به آن آب می‌دهند.

جذب آب سنگ‌دانه‌ها برای رسیدن به حالت SSD، عبارت است از نسبت آب لازم برای رسیدن سنگ‌دانه‌ها به حالت SSD، به جرم سنگ‌دانه‌ها درحالت خشک. این کمیّت به‌صورت درصد بیان می‌شود. معمولاً جذب آب ماسه، به علت بالاتر بودن سطح مخصوصش، از جذب آب شن هم جنس آن بیش‌تر است.

برای اندازه‌گیری میزان جذب آب شن، آن را ۲۴ ساعت در آب به حدّ اشباع می‌رسانند و سپس با حوله یا پارچه‌ی جاذب آب آن‌قدر خشک می‌نمایند تا سطح آن درخشان شود. تفاضل وزن سنگ‌دانه در این حالت و حالت خشک شده در کوره، تقسیم بر وزن سنگ‌دانه‌ی خشک شده در کوره، میزان جذب آب سنگ‌دانه خواهد بود.

برای اندازه‌گیری جذب آب ماسه آن را تا ۲۴ ساعت در آب به حد اشباع می‌رسانند و سپس با استفاده از یک جریان هوای خشک، یا یک منبع حرارتی دیگر، به‌طور یکنواخت آن‌قدر حرارت می‌دهند تا به حالت اشباع با سطح خشک درآید. ملاک رسیدن به حالت SSD برای ماسه آن است که مخروطی که با قالب ساخته می‌شود پس از بالا کشیدن قالب به آرامی بریزد. به عبارت بهتر تا وقتی که سطح ماسه دارای آب می‌باشد بین ذرات ماسه چسبندگی ظاهری وجود دارد. در لحظه‌ی رسیدن به حالت SSD چون این چسبندگی ظاهری دیگر وجود ندارد، مخروط با شیب تند فرو خواهد ریخت. از طرف دیگر سنگ‌دانه‌ای که به حالت SSD رسیده باشد، نه به ظرف خود رطوبتی می‌دهد و نه از آن رطوبت می‌گیرد.

دستگاه خشک‌کننده‌ی الکتریکی



سنگ‌دانه مرطوب که نمایانگر پخش آب خارجی و داخلی می‌باشد.

ترازوی دیجیتالی برای تعیین وزن مصالح سنگی از ۱۰ گرم تا ۳۰ کیلوگرم