

### بتن و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

- ۱- محاسن و معایب سازه‌های بتنی را شرح دهد؛
- ۲- خواص بتن را بیان کند؛
- ۳- سیمان را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد؛
- ۴- خواص سیمان را بیان کند؛
- ۵- مشخصات مصالح سنگی را نام ببرد؛
- ۶- مشخصات آب مصرفی در بتن را شرح دهد؛
- ۷- انواع مواد افزودنی را نام ببرد و ویژگی‌های هر نوع را توضیح دهد؛
- ۸- ضوابط حمل و نقل و نگهداری سیمان، مصالح سنگی و آب را شرح دهد.

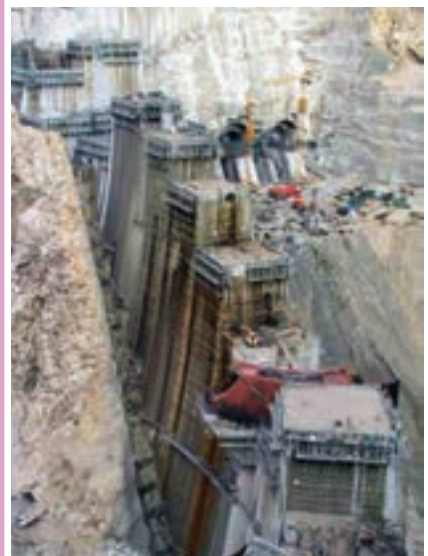


یک سازه‌ی پوسته‌ای بتنی که در زلزله‌ی بم کاملاً سالم مانده است.

#### ۱-۱- تعریف بتن

بتن جسم بسیار سخت و سنگ مانندی است که از ترکیب مقدار معین و حساب شده‌ی سیمان، شن، ماسه و آب به دست می‌آید. در بعضی موارد از اجزای دیگری به نام «مواد افزودنی» نیز در ساخت بتن استفاده می‌شود. پس از این که 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 به وجود می‌آید که مصالح مختلف داخل مخلوط را به هم پیوند می‌دهد و آن را به صورت 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

#### ۱-۲- تاریخچه‌ی بتن

استفاده از مواد شیمیایی در ساختمان از زمان‌های بسیار قدیم متداول بوده است. مصریان قدیم گچ تکلیس<sup>۱</sup> شده‌ی ناخالص را در ساختمان به کار می‌بردند. یونانیان و رومی‌ها سنگ آهک

۱- با حرارت دادن به صورت پودر درآوردن، کلسینه کردن (Calcination)



برج‌های خنک‌کننده‌ی نیروگاه برق  
اصفهان در حین ساخت

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 این که 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 به کار می‌بردند و سرانجام، توانستند آن‌چه را که بعدها به نام سیمان پوزولانی شناخته شد تولید کنند.

در سال ۱۷۵۶ میلادی بنایی به نام «جان اسمیتون»<sup>۱</sup> که مأمور بازسازی چراغ دریایی اِدیستون<sup>۲</sup> در ساحل جنوب غربی انگلیس شده بود، به این نتیجه رسید که بهترین ملات وقتی به دست 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»<sup>۳</sup> از کلسینه کردن گلوله‌های سنگ آهک رسی به دست آورد، ساخته شد. در سال ۱۸۲۴ میلادی معماری به نام «ژوزف اسپدین»<sup>۴</sup> در شهر لیدز ساخت سیمان پرتلند را به ثبت رساند. در سال ۱۸۴۵ میلادی «ایزاک جانسون»<sup>۵</sup> نخستین نمونه‌ی سیمانی را که امروز به نام «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»<sup>۶</sup> با ساختن یک قایق پارویی که با شبکه‌ای از میله‌های آهنی به شکل مربع مستطیل مسلح شده بود، اولین سازه‌ی بتن مسلح را، به صورتی که ما امروزه می‌شناسیم به وجود آورد. تا اوایل قرن بیستم هیچ روش تثبیریک 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 به وجود آمد.

امروزه استفاده‌ی روزافزون از بتن مسلح سبب شده است که در اغلب کشورها مؤسسه‌ای برای تحقیق در مورد بتن مسلح و فرمول‌بندی روش‌ها و طراحی و تدوین آیین‌نامه‌ها ایجاد شود. نتیجه‌ی موفقیت‌آمیز بیش از نیم قرن 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 ۱-۱ تا ۵-۱ نشان داده شده است.



انجمن بتن ایران

<http://www.ICI.ir>

۱- John Smeaton

۲- Eddystone

۳- James Parker

۴- Joseph Aspdin

۵- Issac Johnson

۶- Lambot



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





انجمن بتن آمریکا  
<http://www.ACI-INT.org>



شکل ۱-۲- سد بتنی دو قوسی کارون ۳ که مرتفع‌ترین سد بتنی خاورمیانه است.



شکل ۱-۳- نیروگاه شهید منتظری اصفهان



شکل ۱-۴- نیروگاه هسته‌ای بوشهر در حال ساخت



شکل ۱-۵- برج میدان آزادی تهران در حال ساخت و پس از ساخت



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.

## تاریخچه 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 جریان دادن آب به سوی دیگر بوده و این هدف با ایجاد سد امکان‌پذیر می‌گشته است. برخی از بندهای باستانی در عین حال کار بل 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 سناخرب 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 به کار 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 به‌شمار 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 خلاقیت مردمان این سرزمین است که در عین رواج سنت‌های مهندسی پیشین و گسترش آن‌ها، پدیده‌های جدید کارهای مهندسی به وجود 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 باقی مانده 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 نادیده گرفته 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.





ساختمان بتنی با پلان Y شکل، برج تهران

### ۱-۳ محاسن و معایب بتن

#### الف) محاسن بتن

۱- **فراوانی و در دسترس بودن مصالح:** شن و ماسه و آب در اکثر مناطق به آسانی و فور یافت می شود، به همین دلیل اغلب می توان بتن را با قیمت ارزان تهیه کرد و به کار برد.

۲- **فرم پذیری:** بتن قبل از سخت شدن فرم پذیر است، از این رو می توان آن را در هر قالبی و به هر شکلی ریخت.

۳- **مقاومت فشاری بالا:** اگر در ساخت بتن از مصالح خوب و مناسب استفاده شود، هم چنین آب به مقدار لازم (با ملاحظه نسبت آب به سیمان کم) به کار رود و در طرح اختلاط و روش های اجرا دقت کافی به عمل آید، بتن، مقاومت فشاری بالایی خواهد داشت.

۴- **عمر طولانی:** در وضعیت بهره برداری مناسب، سازه های بتنی می تواند بدون آن که مقاومت و باربری اش کاهش یابد، مدتی نامحدود دوام داشته باشد (این امر ناشی از افزایش مقاومت بتن در طی گذشت زمان است).

۵- **مقاومت در مقابل آتش سوزی:** در برابر آتش سوزی با درجه حرارتی معادل با ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد حدود یک ساعت طول خواهد کشید تا فولادی که دارای پوشش بتنی برابر ۲/۵ سانتی متر است، به دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد برسد. به تجربه اثبات شده است که ساختمان هایی که از بتن مسلح با پوشش محافظ کافی ساخته شده اند، در آتش سوزی هایی که چندین ساعت ادامه داشته و دارای شدت متوسطی بوده است، متحمل صدمات سطحی شده اند، ولی فرو نریخته اند.

#### ب) معایب بتن

۱- **مقاومت کششی بسیار کم:** مقاومت کششی بتن حدود یک دهم مقاومت فشاری آن است. این نقیصه با به کارگیری میلگردهای فولادی در سازه های بتنی مرتفع می گردد.

۲- **سنگین بودن:** به علت بزرگی ابعاد و جرم مخصوص بالای بتن، وزن سازه های بتنی در مقایسه با سازه های فولادی بسیار سنگین تر است. این عیب را می توان با استفاده از دیوارهای نازک، اعضای توخالی، بتن پیش تنیده، بتن حاوی دانه های سبک و یا بتن با مقاومت بالا برطرف کرد.

۳- **قدرت انتقال صوت و قابلیت انتقال حرارت:** این نقایص را می توان با استفاده از عایق های صوتی و حرارتی تا حد زیادی کاهش داد.

### ۱-۴ خواص بتن

در لحظات اولیه 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 می گیرد و سخت می شود و در نتیجه به شکل قالب خود درمی آید. بنابراین بتن دو دوره 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. خلاصه ای از این انتظارات به شرح زیر است:



بدنه ی سد بتنی



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

۱- قابلیت حمل: بتن باید در عین روانی، به صورت خمیری نسبتاً سفت باشد تا ضمن حمل و نقل، اجزای تشکیل دهنده‌ی آن از هم جدا نشده و در یک گوشه جمع نشوند.

۲- قابلیت ریختن: بتن را باید بتوان به سهولت، بدون این که انسجام آن به هم بخورد، در محل مورد نظر تخلیه کرد.

۳- قابلیت جا دادن: بتن را باید بتوان به راحتی در قالب جا داد به طوری که تمام گوشه‌ها و زوایای قالب‌ها و دور میل‌گردها را پر کند.

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

۵- قابلیت پرداخت: سطح بتن تازه را باید بتوان به راحتی صاف نمود و یا روی آن نقش مورد نظر را ایجاد کرد.

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

۱- مقاومت در مقابل نیروهای وارده.

۲- 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.

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

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

۵- مقاومت در مقابل اثر تخریبی آب و فرسایش.

۶- نفوذپذیری بسیار کم.

## ۱-۵- 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 به دست آمده «سیمان» خواهد بود. وقتی سیمان با آب مخلوط می‌شود، واکنش شیمیایی «هیدراتاسیون» بین این دو انجام می‌گیرد، در نتیجه بر روی سطح هر دانه‌ی سیمان ماده‌ای پدید می‌آید که در اثر اتصال این مواد به یکدیگر تمام دانه‌ها به هم می‌چسبند. بدین ترتیب 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 به سرعت 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.



پایه‌ی بتنی یک پل کابلی



کانال بتنی آب



مسجد جامع شهر به 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 آهن‌گذاری، 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-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:

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

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

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

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

۵- وزن مخصوص سیمان.

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

۱- 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.

۲- 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.

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

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

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

امکان اشتباه آن‌ها با هم وجود نداشته باشد.

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

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

۸- در مناطق خشک، حداکثر تعداد کیسه‌ی سیمان که می‌توان بر روی هم انبار کرد ۱۲ پاکت است، مشروط بر این که 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.

۹- در مناطق خشک، کیسه‌های سیمان باید نزدیک به هم، با فاصله‌ی ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر از یکدیگر قرار داده شوند تا عبور جریان هوا از بین کیسه‌ها موجب خشک شدن سیمان بشود. در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، کیسه‌های سیمان باید به یکدیگر چسبانیده شوند. ۱۰- کیسه‌های سیمان، در همه‌ی مناطق، باید حداقل ۳۰۰ میلی‌متر از دیوارها و ۶۰۰ میلی‌متر از سقف فاصله داشته باشند.



شکل ۱-۶- نحوه صحیح نگه‌داری پاکت‌های سیمان

۱۱- در مناطق و در فصل‌هایی که احتمال بارندگی وجود داشته باشد، کیسه‌های سیمان باید در انبارهای سرپوشیده نگهداری شود و یا این که 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.

۱۲- 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.

۱۳- سیمانی که به مدت زیاد انبار شود ممکن است به صورت کلوخه‌های فشرده درآید. این گونه 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.





پل کابلی با پایه‌های بتنی

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

(د) ضوابط بسته‌بندی، حمل و نقل، انبار کردن و مصرف سیمان‌های فله‌ای:

- ۱- سیمان‌های فله، باید در سیلوهای استاندارد نگهداری شوند.
- ۲- سیلوهای سیمان و شالوده‌های آن‌ها باید از نظر سازه‌ای محاسبه و طراحی شده باشند.
- ۳- سیلوهای سیمان باید مجهز به تراز نما، برای تعیین موقعیت تراز سیمان در داخل سیلو، و نیز دریچه‌ای در پایین برای میل‌زدن، در صورت طاق‌زدن سیمان باشند.
- ۴- برای هر محموله‌ی وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.
- ۵- 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.

۶- 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.

۷- 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.

## ۱-۶- مصالح سنگی

با توجه به این که تقریباً  $\frac{3}{4}$  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 شکسته 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 شست و شوی 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



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. به‌طور کلی مهم‌ترین ویژگی‌های مصالح سنگی بدین قرار است:

۱- دوام در برابر سایش؛

۲- مقاومت در برابر یخ‌زدان؛

۳- پایداری شیمیایی؛

۴- شکل و بافت سطحی؛

۵- دانه‌بندی؛

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

۷- 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:

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

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

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

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

۵- 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. به‌طور کلی مواد با قطر بیش‌تر از ۵ میلی‌متر را «شن» و کوچک‌تر از آن را «ماسه» می‌نامند. حد پایین ماسه عموماً ۰/۷ میلی‌متر یا کمی کم‌تر می‌باشد. مواد با قطر بین ۰/۷ میلی‌متر و ۰/۲ میلی‌متر به‌نام لای یا سیلت و مواد ریزتر جزء 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:

۱- یک پنجم کوچک‌ترین بعد داخلی قالب؛



برج مخابراتی میلاد در حال ساخت

- ۲- یک سوم ضخامت دال ؛
  - ۳- سه چهارم حداقل فاصله‌ی آزاد بین میل گردهای فولادی ؛
  - ۴- سه چهارم پوشش بتنی روی میل گردها.
- به کار بردن سنگ دانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلی‌متر قطر در بتن مسلح توصیه نمی‌شود، اما به‌طور کلی سنگ دانه‌های درشت‌تر از ۶۳ میلی‌متر نباید در بتن به کار رود.
- د) ضوابط حمل و نقل، تحویل و نگهداری سنگ دانه‌های مصرفی در بتن:**
- ۱- شرایط باید به گونه‌ای باشد که مواد خارجی و زیان آور در سنگ دانه‌ها نفوذ نکنند.
  - ۲- شرایط باید به گونه‌ای باشد که دانه‌های ریز و درشت در یک دپو از یکدیگر جدا نشوند.
  - ۳- شرایط باید به گونه‌ای باشد که سنگ دانه‌ها شکسته نشوند.
  - ۴- محل نگهداری سنگ دانه‌ها باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده کننده باشد.
  - ۵- شن‌های با حداکثر 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 جدا شدن دانه‌ها از یکدیگر را کاهش می‌دهد.
  - ۶- 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 سنگ دانه‌ها تخریب یا جابه‌جا نشود.
  - ۷- در هنگام بارش و یخبندان، باید سنگ دانه‌های واقع در فضای آزاد با برزنت یا ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شود.
  - ۸- در هنگام گرمای شدید، باید بر روی سنگ دانه‌های واقع در فضای آزاد، سایبان درست شود.
  - ۹- شیب مخروط‌های دپوی شن و ماسه نباید زیاد باشد زیرا شیب زیاد دپوها موجب جدا شدن دانه‌های ریز و درشت از هم می‌شود.
  - ۱۰- سنگ دانه‌ها تا حد امکان باید به صورت لایه‌هایی با ضخامت یکسان بر روی یکدیگر ریخته شده و انبار شوند. سنگ دانه‌ها باید با لودر یا وسایل مناسب دیگر به گونه‌ای برداشته شوند که هر بار قسمت‌هایی از همه‌ی لایه‌های افقی برداشته شوند.
  - ۱۱- در صورت تخلیه‌ی سنگ دانه‌ها هنگام باد، باید تدابیری اتخاذ گردد که از جدا شدن ذرات ریز جلوگیری شود.
  - ۱۲- محل دپوی شن و ماسه باید به گونه‌ای باشد که همواره امکان تخلیه‌ی آب مازاد وجود داشته باشد.
  - ۱۳- سنگ دانه‌های انبار شده در دپو باید حداقل ۱۲ ساعت در محل باقی مانده و سپس مصرف شود. این امر موجب می‌شود که رطوبت سنگ دانه‌ها به حد یکنواخت و پایدار برسد.



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 سنگ‌دانه‌های 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 آلوده شدن آن‌ها می‌گردد، سنگ‌دانه‌ها نیز به پایین شیب سقوط می‌کنند، که سبب جداشدگی دانه‌ها می‌شود.



غلط

استفاده از کلا مثل با ظرفیت زیاد و دپو کردن مصالح به صورت یک واحد، منجر به جداشدن دانه‌ها می‌گردد.



غلط

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



باد جداشدگی

غلط

سقوط آزاد مصالح باعث جداشدگی سنگ‌دانه‌ها می‌گردد.



غلط

دپو کردن به وسیله تسمه نقاله و تنظیم لایه‌های افقی به وسیله لودر



غلط

دپوی شیب‌دار با استفاده از لودر یا بلدوزر

شکل ۱-۷- انواع روش‌های انبار کردن سنگ‌دانه

۱۴- سیلوی ذخیره‌ی سنگ‌دانه‌ها حتی المقدور باید با مقطع مربع یا دایره و شیب مخروط یا هرم تحتانی آن کمتر از  $5^\circ$  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 هم خوردن دانه‌بندی آن کاهش می‌یابد. برای خالی کردن سنگ‌دانه‌ها به داخل سیلو، باید از نردبان ویژه‌ی مصالح سنگی استفاده شود.

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

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

۱۷- در هنگام بارش برف و یخبندان، سنگ‌دانه‌ها باید به گونه‌ای انبار شوند که امکان یخ‌زدگی و نیز جمع شدن برف و یخ بین دانه‌ها وجود نداشته باشد.

۱۸- هنگام تحویل هر محموله از سنگ‌دانه‌های وارده به کارگاه، باید مشخصات مذکور در



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

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

۱۹- 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 ۸-۱ - استفاده از دیوار جداکننده در نگهداری سنگ‌دانه‌ها

## ۷-۱- 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 کارایی 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 فضاها را 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 تشکیل‌دهنده 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.

## ۸-۱- 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 به طور مطلوب انجام پذیرد، در بیش تر موارد به مواد افزودنی نیازی نیست. اگرچه در برخی موارد استفاده از مواد افزودنی، ممکن است مناسب ترین طریق برای کسب نتیجه ی مطلوب باشد. این موضوع را باید به خاطر سپرد که استفاده از این مواد باید مبتنی بر دلایل فنی باشد. مواد افزودنی به مقدار کم به بتن افزوده می شوند، لذا در هنگام مصرف، به کنترل بسیار دقیقی نیاز دارند. مواد افزودنی که امروزه بیش ترین کاربرد را در بتن دارند عبارتند از:

۱- **تسریع کننده ها:** این مواد برای سرعت بخشیدن به گیرش بتن و حصول مقاومت زود هنگام، به ویژه در مناطق سرد و یخ بندان و یا شرایط خاصی که کسب مقاومت بتن در دمای معمولی نیز باید سریع حاصل شود، به کار می رود.

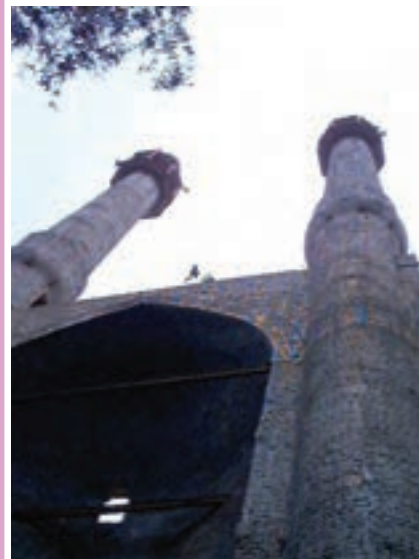
۲- **کندگیر کننده ها:** از این مواد برای بتن ریزی در هوای گرم و خشک، در وزش باد شدید، در بتن ریزی در حجم زیاد، در هنگام پمپاژ ملات یا بتن در مسیرهای طویل و با حرارت بالای  $30^{\circ}\text{C}$  استفاده می شود.

۳- **روان کننده ها و فوق روان کننده ها:** مصرف این مواد، مقدار آب مصرفی را کاهش داده و بتنی با مقاومت اولیه و نهایی بالاتری ایجاد می کند. هم چنین سبب می گردد امکان بتن ریزی با پمپ در سازه های پیش ساخته و پیش تنیده و تیغه ها امکان پذیر باشد. علاوه بر آن، باعث بهبود پیوستگی بین بتن و فولاد، بتن ریزی با سرعت زیاد و نیاز به تراکم کم تر می شود.

۴- **مواد حباب هوازا:** این مواد در بتن حباب های بسیار ریز و فراوان ایجاد می کنند که در نتیجه ی آن مقاومت بتن در برابر رطوبت و یخ زدن و آب شدن های مکرر بیش تر می شود.

## پرسش

- ۱- بتن چیست؟ معایب و محاسن آن را شرح دهید.
- ۲- ویژگی های مطلوب بتن تازه و سخت شده چیست؟
- ۳- مصالح تشکیل دهنده ی بتن را نام ببرید.
- ۴- چند نوع سیمان می شناسید؟ آن ها را نام ببرید.
- ۵- ویژگی های اصلی مصالح سنگی چیست؟
- ۶- چند درصد حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می دهند؟
- ۷- مصالح سنگی را از نظر شکل و بافت سطحی چگونه دسته بندی کرده اند؟
- ۸- آب در بتن چه نقشی ایفا می کند؟
- ۹- ویژگی های آب مناسب برای بتن چیست؟
- ۱۰- مواد افزودنی چه موادی هستند و چگونه مورد استفاده قرار می گیرند؟
- ۱۱- انواع مواد افزودنی و موارد مصرف آن ها را نام ببرید.
- ۱۲- فرض کنید که شما در کارگاهی مشغول به کار هستید که هوای آن منطقه شرجی است، برای انبار کردن مصالح تشکیل دهنده ی بتن چه تمهیداتی را در نظر می گیرید؟



مسجدی با اسکلت بتنی



اجرای ساختمان پیش ساخته بتنی

### آزمایش‌های بتن و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن

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

<http://www.ASTM.Org>

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

- ۱- انواع آزمایش‌های سیمان و روش اجرای آن‌ها را توضیح دهد؛
- ۲- انواع آزمایش‌های مصالح سنگی و روش اجرای آن‌ها را بیان کند؛
- ۳- روش‌های دانه‌بندی مصالح سنگی درشت‌دانه را توضیح دهد؛
- ۴- روش برداشت نمونه و تقسیم مصالح سنگی را بیان کند؛
- ۵- انواع الک‌های مختلف دانه‌بندی مصالح سنگی را نام ببرد؛
- ۶- نحوه‌ی تعیین جرم حجمی مصالح و اندازه‌گیری درصد رطوبت طبیعی و درصد جذب آب مصالح را توضیح دهد؛
- ۷- انواع آزمایش‌های بتن را توضیح دهد.

#### ۱-۲- 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.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران  
[www.ISIRI.Org](http://www.ISIRI.Org)

## ۲-۲- آزمایش‌های سیمان

الف) آزمایش تعیین جرم حجمی سیمان: جرم حجمی<sup>۱</sup> (چگالی) سیمان یکی از خواص سیمان است که در محاسبات طرح اختلاط و اندازه‌گیری نرمی سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیمان به‌طور کلی دارای سه نوع جرم حجمی به شرح زیر است:

- ۱- **جرم حجمی آزاد**: که عبارت است از جرم حجمی سیمان به‌صورت آزاد و بدون تراکم.
- ۲- **جرم حجمی متراکم**: که عبارت است از جرم حجمی سیمان به‌صورت متراکم. این جرم حجمی در انبار کردن سیمان کاربرد دارد.
- ۳- **جرم حجمی مطلق**: که عبارت است از بیش‌ترین جرم حجمی سیمان، و به‌عنوان جرم واحد حجم ذرات جامد سیمان تعریف می‌شود.

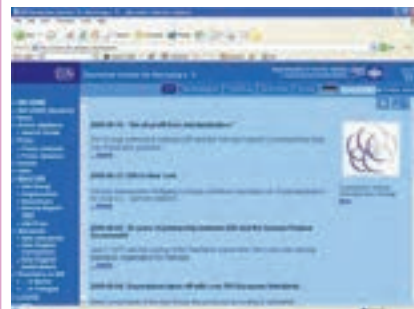
در این آزمایش اندازه‌گیری جرم حجمی مطلق سیمان موردنظر است. جرم حجمی سیمان پرتلند عموماً در حدود  $3/15 \text{ gr/cm}^3$  می‌باشد. سیمان‌های پرتلند پوزولانی و سیمان‌های روباره آهن‌گذاری ممکن است دارای جرم حجمی در حدود  $2/9 \text{ gr/cm}^3$  باشند. جرم حجمی سیمان نشان‌دهنده‌ی کیفیت سیمان نیست، اما می‌تواند 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 به نام 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  $\text{m}^2/\text{kg}$  و یا  $\text{cm}^2/\text{gr}$  بیان می‌شود. سطح مخصوص یا نرمی سیمان با اندازه‌ی ذرات سیمان نسبت معکوس دارد.

سطح مخصوص انواع سیمان‌ها حدوداً بین  $250$  و  $350 \text{ m}^2/\text{kg}$  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.

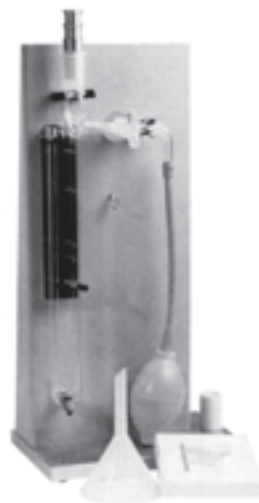


مؤسسه DIN آلمان

<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.

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



دستگاه الکترونیکی ویکات که برای تعیین زمان گیرش سیمان به کار 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.

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 به تدریج 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 ۱-۲).



شکل ۱-۲- دستگاه ویکات

سیمان به‌طور کلی سه نوع گیرش دارد :

۱- گیرش کاذب<sup>۱</sup>: این نوع گیرش به علت گیرش گچ می‌باشد که در کارخانه به سیمان افزوده می‌شود، با حرارت‌زایی همراه نیست و با ویرهی مجدد از بین خواهد رفت. بتن پس از این گیرش بدون تغییر کیفی می‌تواند به سخت شدن خود ادامه دهد.

۲- گیرش اولیه<sup>۲</sup>: طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه هنگامی خواهد بود که نفوذ سوزن ویکات در خمیری با غلظت نرمال، در مدت ۳۰ ثانیه پس از رها شدن، برابر با ۲۵ میلی‌متر یا کم‌تر باشد. در طول گیرش اولیه، حرارت آزاد می‌شود و این گیرش با ویرهی مجدد از بین نخواهد رفت.

۱- False Setting

۲- Initial Setting



۳- گیرش ثانویه یا نهایی<sup>۱</sup>: 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 آب خمیر، که روانی متعارف را به دست می‌دهد مشخص گردد. نسبت این آب به سیمان را که به صورت 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  $1 \pm 10$  میلی‌متر باشد.

د) آزمایش مقاومت فشاری سیمان: آزمایش مقاومت فشاری ملات سیمان متداول‌ترین روشی است که برای اندازه‌گیری مقاومت سیمان به کار 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. در ضمن، ماسه‌ی مورد استفاده در ساخت ملات مربوطه، ماسه‌ی استاندارد است که به ماسه‌ی «آتاوا» 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  $22^{\circ}\text{C}$  نگهداری می‌شوند.

علت این که 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 استاندارد است. همه‌جا مورد مصرف قرار گیرد، تقریباً مشکل و حتی غیرممکن است.

## ۲-۳- آزمایش‌های سنگ‌دانه‌ها

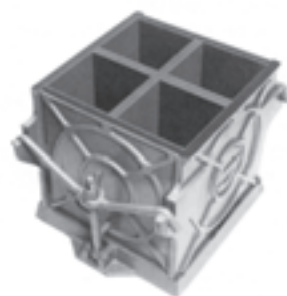
الف) آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای: این آزمایش برای تعیین مقدار لای در ماسه‌ی طبیعی به کار می‌رود و به راحتی در کارگاه قابل انجام است. روش آزمایش بدین ترتیب است که محلولی از نمک طبیعی و آب به غلظت ۱٪ تهیه می‌کنند. سپس حدود  $50^{\circ}\text{CC}$  از آن را در یک استوانه‌ی مدرج  $250^{\circ}\text{CC}$  می‌ریزند و به آرامی ماسه‌ی موردنظر را به محلول اضافه می‌کنند تا وقتی که سطح ماسه‌ی درون استوانه به  $100^{\circ}\text{CC}$  برسد. با افزایش محلول، حجم را تا  $150^{\circ}\text{CC}$  افزایش می‌دهند، سپس استوانه‌ی مدرج را به شدت تکان می‌دهند و آن را بدون حرکت در محلی قرار می‌دهند و پس از ۳ ساعت ارتفاع قشر لای را در بخش فوقانی ماسه اندازه می‌گیرند. درصد لای موجود در ماسه و ارزش ماسه‌ای از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{درصد لای} = \frac{\text{ارتفاع قشر لای}}{\text{ارتفاع ماسه}} \times 100$$

$$\text{درصد لای} = 100 - \text{ارزش ماسه‌ای}$$



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



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



استوانه‌ای 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.

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 به گونه‌ای در نظر 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  $110^{\circ}\text{C}$  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 به وجود آمده‌اند، و هم‌چنین به مقدار منافذ داخل آن‌ها بستگی دارد. چگالی ظاهری اکثر سنگ‌دانه‌های طبیعی بین  $2/4$  تا  $2/7$  است.

**چگالی انبوهی:** چگالی انبوهی سنگ‌دانه‌ها در مواردی کاربرد دارد که سنگ‌دانه‌ها به‌صورت حجمی پیمانه می‌شوند. در این صورت 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 به کار می‌رود. جرم آب هم حجم مواد جامد معمولاً با به کار بردن ظرف مخصوصی که تا حجم مشخصی پر از آب شده، اندازه‌گیری می‌شود. این ظرف مخصوص که پیکنومتر 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 در نتیجه 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.

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

اصولاً سنگ دانه‌ها از نظر میزان آب چهار حالت دارند:

۱- خشک شده در کوره (Oven - dried): در این حالت هیچ آبی در داخل سنگ دانه باقی نمی‌ماند.

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

۳- حالت اشباع با سطح خشک (Saturated - surface dry): در این حالت تمام منافذ پر از آب می‌باشند ولی سطح سنگ دانه خشک است. این حالت به SSD معروف است.

۴- اشباع با سطح مرطوب (Saturated): در این حالت علاوه بر این که تمام منافذ پر از آب است، روی سطح سنگ دانه هم آب وجود دارد. معمولاً فرض می‌شود که در هنگام گیرش بتن، سنگ دانه‌های آن در حالت SSD باشند. در صورتی که سنگ دانه‌ها در حالتی غیر از SSD باشند، برای رسیدن به این حالت یا از بتن آب گرفته یا به آن آب می‌دهند.

جذب آب سنگ دانه‌ها برای رسیدن به حالت SSD، عبارت است از نسبت آب لازم برای رسیدن سنگ دانه‌ها به حالت SSD، به جرم سنگ دانه‌ها در حالت خشک. این کمیت به صورت درصد بیان می‌شود. معمولاً جذب آب ماسه، به علت بالاتر بودن سطح مخصوصش، از جذب آب شن هم جنس آن بیش‌تر است.

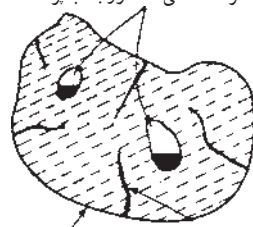
برای اندازه‌گیری میزان جذب آب شن، آن را ۲۴ ساعت در آب به حد اشباع می‌رسانند و سپس با حوله یا پارچه‌ای جاذب آب آن قدر خشک می‌نمایند تا سطح آن درخشان شود. تفاضل وزن سنگ دانه در این حالت و حالت خشک شده در کوره، تقسیم بر وزن سنگ دانه‌ی خشک شده در کوره، میزان جذب آب سنگ دانه خواهد بود.

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 آن قدر 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 سنگ دانه‌ای که به حالت SSD رسیده باشد، نه به طرف خود رطوبتی می‌دهد و نه از آن رطوبت می‌گیرد.



دستگاه خشک‌کننده‌ی الکتریکی

حفرات داخلی که هنوز با آب پر نشده‌اند



آب جذب شده در خلل و فرج سطحی مرتبط به هم

سنگ دانه مرطوب که نمایانگر پخش آب خارجی و داخلی می‌باشد.



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