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

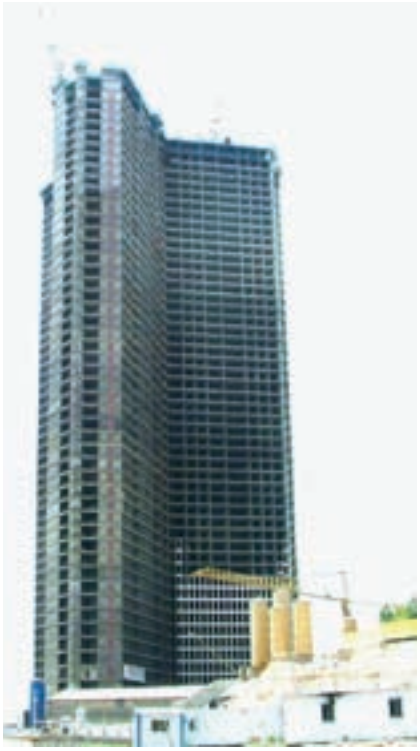
۱ــ فراوانی و در دسترس بودن مصالح: شن و ماسه و آب در اکثر مناطق به‌آسانی و وفور یافت می‌شود، به همین دلیل اغلب می‌توان بتن را با قیمت ارزان تهیه کرد و به‌کار برد.

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.

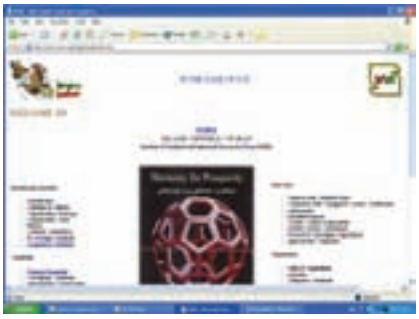
۲ــ۱ــ ضرورت انجام آزمایش‌ها

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.

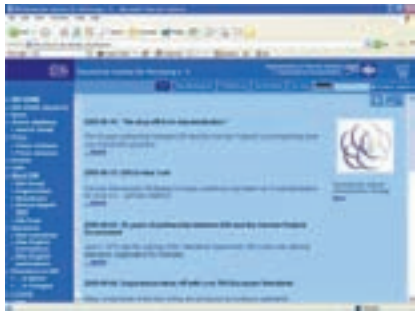
طبق تعریف، نرمی یا سطح مخصوص عبارت است از : سطح ذرات موجود در واحد جرم سیمان، و برحسب m^2/kg و یا cm^2/gr بیان می‌شود. سطح مخصوص یا نرمی سیمان با اندازه‌ی ذرات سیمان نسبت معکوس دارد.

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.

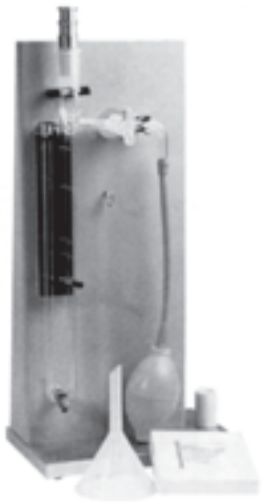
۱ــ جرم حجمی عبارت است از جرم واحد حجم یک ماده که به‌صورت $\frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$ به‌دست می‌آید.



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.

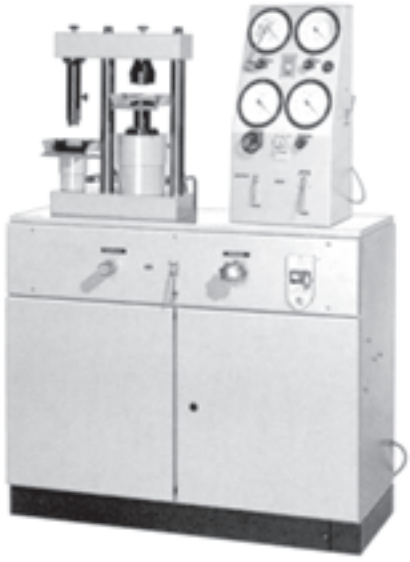
علت این‌که مقاومت فشاری سیمان در استانداردها غالباً در ملات ماسه سیمان، و نه در بتن، مورد بررسی قرار می‌گیرد آن است که برای سنگ‌دانه‌های درشت، تهیه‌ی استانداردی که در همه‌جا مورد مصرف قرار گیرد، تقریباً مشکل و حتی غیرممکن است.

۲ــ۳ــ آزمایش‌های سنگ‌دانه‌ها

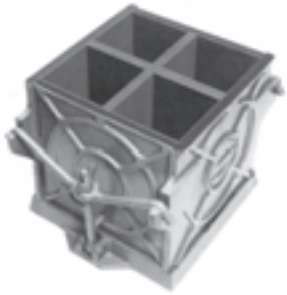
الف) آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای: این آزمایش برای تعیین مقدار لای در ماسه‌ی طبیعی به‌کار می‌رود و به‌راحتی در کارگاه قابل انجام است. روش آزمایش بدین‌ترتیب است که محلولی از نمک طبیعی و آب به غلظت ۱٪ تهیه می‌کنند. سپس حدود ۵۰CC از آن را در یک استوانه‌ی مدرّج ۲۵۰CC می‌ریزند و به‌آرامی ماسه‌ی موردنظر را به 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.

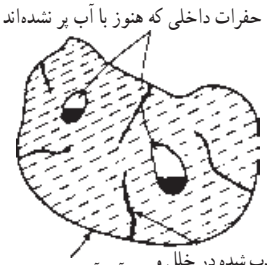
معمولاً فرض می‌شود که در هنگام گیرش بتن، سنگ‌دانه‌های آن در حالت SSD باشند. درصورتی که سنگ‌دانه‌ها درحالتی غیر از SSD باشند، برای رسیدن به این حالت یا از بتن آب گرفته یا به آن آب می‌دهند.

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

د) آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی: یکی از روش‌های طبقه‌بندی سنگ‌دانه‌ها، بر مبنای توزیع ذرات آن‌هاست که دانه‌بندی نامیده می‌شود. برای این امر، از الک‌های با اندازه‌های مشخص استفاده می‌کنند که به الک‌های استاندارد موسومند. این الک‌ها دارای چشمه‌های مربع شکل هستند و ویژگی‌های آن‌ها در استاندارد ASTM – E۱۱ بیان گردیده است. این استاندارد، الک‌ها را برحسب اندازه‌ی چشمه‌ها (برحسب اینچ) برای الک‌های بزرگ‌تر و تعداد چشمه‌ها در هر اینچ طول برای الک‌های کوچک‌تر از $\frac{۱}{۴}$ اینچ مشخص می‌نماید. به عنوان مثال الک ۳ اینچ دارای چشمه‌هایی به ابعاد ۷۵×۷۵ میلی‌متر است و الک نمره ۱۰۰دارای ۱۰۰×۱۰۰ سوراخ در هر اینچ مربع می‌باشد.

در جدول ۲ــ۱ اندازه و مشخصات الک‌هایی که در استاندارد ASTM برای دانه‌بندی مصالح سنگی درشت دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) به‌کار می‌روند آورده شده است.

جدول ۲ــ۱ــ اندازه و مشخصات الک‌ها در استاندارد ASTM

درشت دانه		ریز دانه	
نام الک	اندازه سوراخ	نام الک	اندازه سوراخ
۳ اینچ	۷۵ میلی‌متر	نمره ۴	۴/۷۵ میلی‌متر
۲/۵ اینچ	۶۳ میلی‌متر	نمره ۸	۲/۳۶ میلی متر
۲ اینچ	۵۰ میلی‌متر	نمره ۱۶	۱/۱۸ میلی‌متر
۱/۵ اینچ	۳۷/۵ میلی‌متر	نمره ۳۰	۶۰۰ میکرون
۱ اینچ	۲۵ میلی‌متر	نمره ۵۰	۳۰۰ میکرون
$\frac{۳}{۴}$ اینچ	۱۹ میلی‌متر	نمره ۱۰۰	۱۵۰ میکرون
$\frac{۱}{۲}$ اینچ	۱۲/۵ میلی‌متر	نمره ۲۰۰	۷۵ میکرون
$\frac{۳}{۸}$ اینچ	۹/۵ میلی متر		

در آزمایش دانه‌بندی، مصالح خشک شده با لرزاندن از الک‌های مختلف (به ترتیب از بالا به پایین) عبور داده می‌شود و اندازه‌ی دانه‌های مانده روی هر الک و مقدار آن تعیین می‌گردد. اندازه‌ی دانه‌های روی هر الک از اندازه‌ی خود الک بزرگ‌تر ولی از اندازه‌ی الک بالای آن کوچک‌تر است.

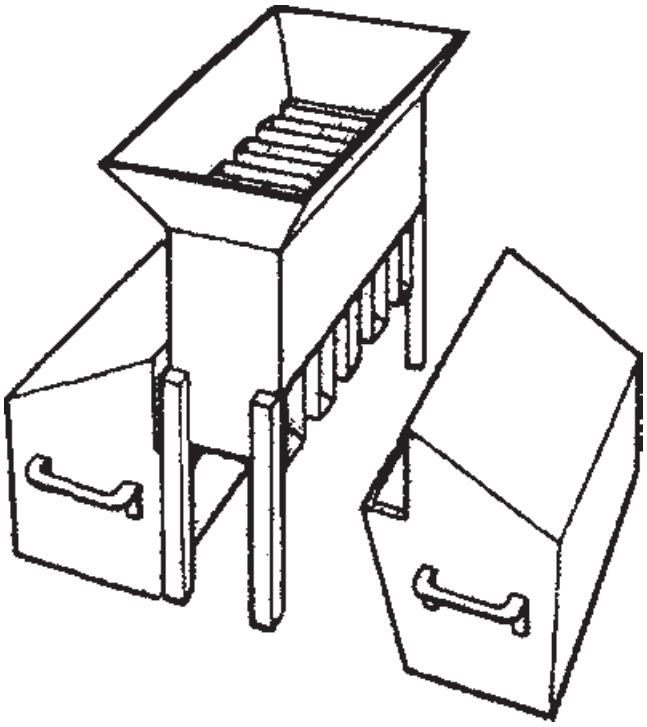
الک کردن صحیح اهمیت بسیار زیادی دارد. اگر نتایج آزمایش دانه‌بندی بر روی منحنی نشان داده شود کاربرد آن آسان‌تر خواهد بود. لذا نتایج را بر روی یک منحنی نیمه لگاریتمی ترسیم می‌کنند. این به دلیل آن است که معمولاً سنگ‌دانه‌ها اندازه‌های وسیعی را شامل می‌شوند. در منحنی دانه‌بندی، محور x نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی الک‌ها با مقیاس لگاریتمی، و محور Y نشان‌دهنده‌ی درصد تجمعی عبوری از هر الک می‌باشد.

این دستگاه، با لرزشی که ایجاد می‌کند، عمل الک کردن را انجام می‌دهد. مصالح سنگی مورد آزمایش باید خشک باشند.

این دستگاه، با استفاده از جت هوا، مصالح ریزدانه را دانه‌بندی می‌کند و برای آزمایش دانه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای کارهای آزمایشگاهی دقت بالا نیاز است. با استفاده از این دستگاه کار دانه‌بندی بسیار ساده شده و حتی تا اندازه‌های ۱۰ میکرومتر نیز قابل اندازه‌گیری است.

از آن‌جا که نمونه‌ای که مورد آزمایش دانه‌بندی قرار می‌گیرد، بایستی معرف مصالح مورد آزمایش باشد، معمولاً بیش‌تر از اندازه‌ی موردنیاز آزمایش نمونه‌گیری می‌شود. سپس نمونه‌ی موردنظر به‌طور مناسبی کاهش داده می‌شود. برای این امر ابتدا مخلوط سنگ‌دانه (شن یا ماسه) را به هم زده و مقدار مناسبی از آن‌را طبق دستورالعمل ASTM – C702 برمی‌دارند. وزن نمونه‌ای که برای آزمایش به‌کار می‌رود، باید بعد از خشک شدن تقریباً برابر وزن خواسته شده باشد.

تقسیم‌بندی نمونه برای درشت دانه و ریزدانه با استفاده از قوطی مقسّم (شکل ۲ــ۲) و یا تربیع انجام می‌گیرد.



شکل ۲ــ۲ــ قوطی مقسّم

دو نوع قوطی مقسم برای تقسیم‌بندی نمونه‌های سنگ‌دانه

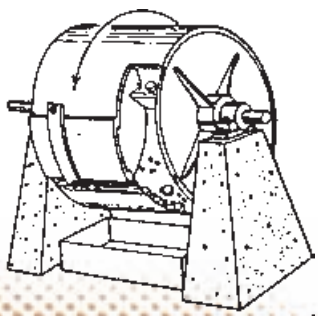
در روش تربیع ابتدا مخروطی از مصالح تهیه می‌شود. (مصالح از بالا ریخته می‌شود تا به‌صورت مخروطی درآید) این عمل ممکن است چند بار تکرار شود. سپس مخروط صاف شده به‌چهار قسمت تقسیم می‌گردد (شکل ۲ ــ۳). دو قسمت از دو ربع زوج یا فرد را انتخاب می‌کنند و به عنوان نمونه‌ی آزمایشی به‌کار می‌گیرند. البته این عمل ممکن است چند بار تکرار شود تا وزن مورد نیاز حاصل شود. برای جلوگیری از جدا شدن دانه‌ها باید ماسه را کمی مرطوب کرد. در قوطی مقسم نیز نمونه از بالا ریخته می‌شود (در داخل قوطی) و به دو قسمت تقسیم می‌گردد (شکل ۲ ــ ۴). در صورتی که نیاز به مقدار بیش‌تری از نمونه باشد می‌توان مقدار بیش‌تری سنگ‌دانه را در داخل قوطی ریخت. هر کدام از دو قسمت می‌تواند برای آزمایش به‌کار رود.

شکل ۲ــ۳ــ روش تربیع برای نمونه‌برداری مطلوب

شکل ۲ــ۴ــ استفاده از قوطی مقسّم برای تقسیم نمونه به‌طور مکانیکی

هـ) آزمایش تعیین مقاومت سایشی مصالح درشت دانه: مقاومت سایشی بتن از جمله مشخصاتی است که در مواردی از قبیل سازه‌های هیدرولیکی، روسازی‌ها و پیاده‌روهای بتنی از اهمیت فراوانی برخوردار است. یکی از عوامل مؤثر در این ویژگی بتن، مقاومت سایشی سنگ‌دانه‌های درشت است.

مقاومت سایشی سنگ‌دانه‌ها با استفاده از دستگاه «لوس‌آنجلس» سنجیده می‌شود. این آزمایش به منظور سنجش مقاومت سنگ‌دانه‌های معدنی با دانه‌بندی استاندارد در برابر ضربه و سایش انجام می‌گیرد. ماشین لوس‌آنجلس یک استوانه‌ی فولادی دوّار است که در آن تعداد معینی گلوله‌ی فولادی ریخته شده است. این تعداد به دانه‌بندی نمونه‌ی مورد آزمایش بستگی دارد. هنگامی که استوانه می‌چرخد، یک پره‌ی آن، نمونه و گلوله را با خود به بالا می‌برد و از آن‌جا آن‌ها را به‌طرف مقابل استوانه می‌ریزد و بدین ترتیب در اثر وارد آمدن ضربه، سنگ‌دانه‌ها دچار لهیدگی می‌شوند. محتوای استوانه، یعنی سنگ‌دانه‌ها، ضمن ساییده شدن در داخل آن حرکت کرده و بار دیگر به پره برخورد می‌کنند و این سیکل تکرار می‌گردد. درصد مصالح از دست رفته بیانگر میزان سایش سنگ‌دانه‌ها است. این آزمایش به‌طور وسیعی برای تشخیص کیفیت نسبی و قابلیت مصالح سنگی که دارای ترکیبات معدنی مشابهی بوده و از منابع مختلفی تهیه شده‌اند به‌کار برده می‌شود. در ضمن باید دانست که این آزمایش تنها برای سنگ‌دانه‌های کوچک‌تر از ۳۷/۵ میلی‌متر مناسب است.



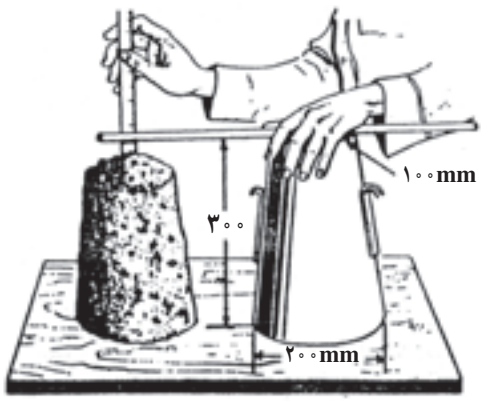
شکل ۲ــ۵ــ دستگاه لوس‌آنجلس

۲ــ۴ــ آزمایش‌های بتن

الف) کارآیی بتن تازه: کارآیی، و یا به تعبیر ساده‌تر روانی بتن عبارت از میزان سهولت شکل دادن یا جریان یافتن بتن است. کارآیی بتن تازه به عوامل مختلفی از جمله میزان آب، نوع سنگ‌دانه‌ها و دانه‌بندی آن‌ها، نسبت مقدار سنگ‌دانه به سیمان، وجود افزودنی‌ها و ریزی سیمان بستگی دارد. یکی از روش‌های اندازه‌گیری کارآیی یا روانی بتن که با مختصر تفاوت‌هایی در اکثر کشورهای جهان به‌کار می‌رود، آزمایش اسلامپ است. استاندارد ASTM این آزمایش را به‌صورت زیر توصیف می‌کند :

در آزمایش اسلامپ از مخروط ناقص فلزی به ارتفاع ۱۲اینچ (۳۰۵ میلی‌متر) که قطر قاعده‌ی بزرگ‌تر آن در پایین ۸ اینچ (۲۰۳ میلی‌متر) و قطر قاعده‌ی کوچک‌تر آن در بالا ۴ اینچ (۱۰۲ میلی‌متر) است، استفاده می‌شود. این مخروط در سه لایه از بتن پر می‌شود و هر لایه توسط میله‌ای فلزی به قطر ۱۶ میلی‌متر با انتهای گرد شده با ۲۵ ضربه متراکم می‌گردد. بتن اضافی در بالا با غلتش میله‌ی فوق‌الذکر روی مخروط پاک می‌شود. مخروط بر روی صفحه‌ای فلزی قرار می‌گیرد و باید در سراسر آزمایش بدون حرکت بماند که این امر با قرار دادن دو پا بر روی پایه‌های پایین آن تأمین می‌شود. بلافاصله بعد از پر کردن، مخروط به آرامی و به‌صورت قائم بالا کشیده می‌شود و بتن داخل آن افت می‌کند. افت بتن (ارتفاعِ کم شده) با خط‌کش از وسط قاعده‌ی بالا اندازه‌گیری و با دقت ۵ میلی‌متر یادداشت می‌شود. برای دقت بیش‌تر و کاهش اثر اصطکاک بتن و جداره‌ی مخروط، قبل از هر آزمایش، جداره‌ی داخلی مخروط و صفحه‌ی زیر آن مرطوب می‌شود و قبل از بالا کشیدن مخروط، بتن ریخته شده در روی صفحه، از کناره‌های مخروط پاک می‌شود.

در صورتی که در آزمایش به‌جای اسلامپ صحیح که در شکل ۲ــ۶ نشان داده شده است، نیمی از مخروط به صورت مورب ریزش کند، اسلامپ برشی نتیجه شده و بایستی در این حالت آزمایش تکرار شود. اگر در آزمایش مجدد نیز برش اتفاق بیفتد، نشان‌دهنده‌ی کم بودن چسبندگی مخلوط می‌باشد و این مورد در مخلوط‌های خشن به وقوع می‌پیوندد. مخلوط‌های سفت و با روانی بسیار کم، معمولاً اسلامپی برابر صفر دارند و لذا در مخلوط‌های نسبتاً خشک تغییرات کارآیی را نمی‌توان با آزمایش اسلامپ بررسی نمود. امّا در مخلوط‌های پر عیار تغییرات کارآیی با آزمایش اسلامپ قابل اندازه‌گیری است. در مخلوط‌های کم عیار و نسبتاً زبر، اسلامپ صحیح به

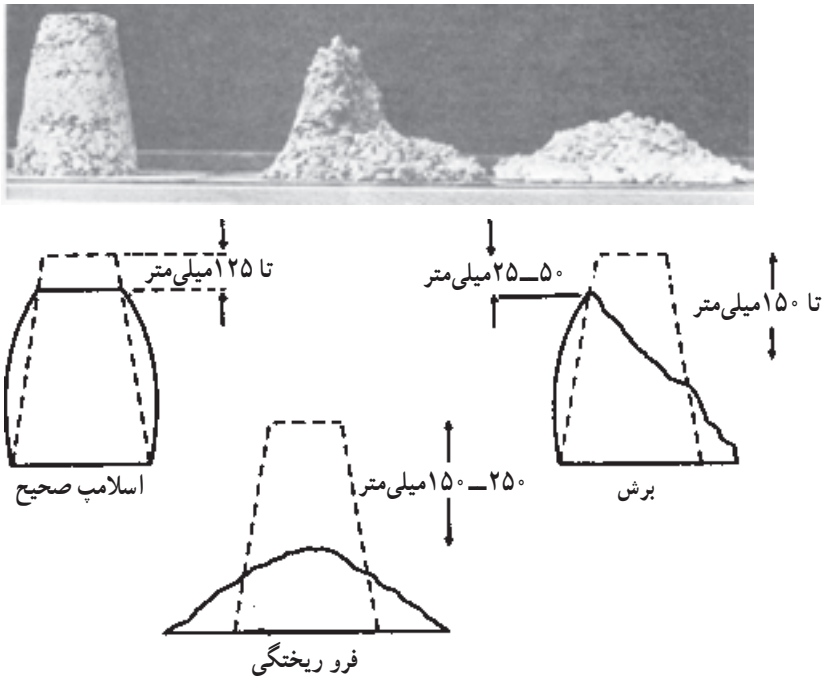


شکل ۲ــ۶ــ آزمایش اسلامپ

دستگاه اسلامپ و ملحقات آن

اجرای آزمایش اسلامپ برای تعیین میزان کارآیی بتن

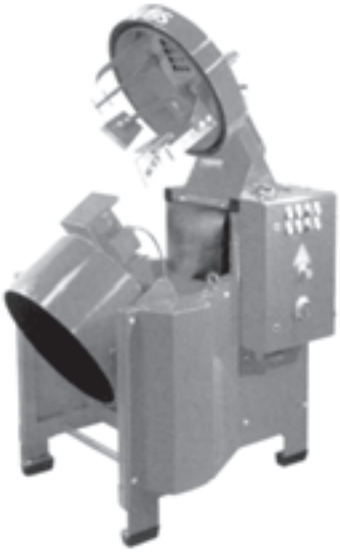
آسانی به اسلامپ برشی و حتی فرو ریختگی تبدیل می‌شود و از یک مخلوط نتایج متفاوتی به‌دست می‌آید که آزمایش اسلامپ را برای چنین مخلوط‌هایی غیرقابل اعتماد می‌سازد (شکل ۲ــ۷).



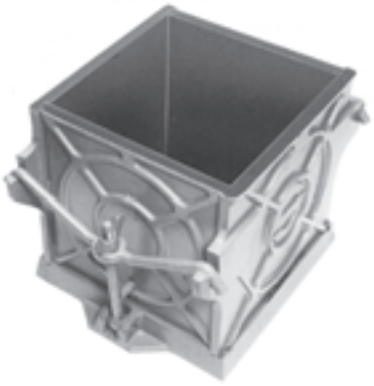
شکل ۲ــ۷ــ اسلامپ در سه حالت صحیح، برش و فرو ریختگی

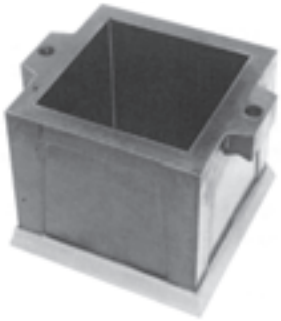
ب) مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی: آزمایش مقاومت فشاری در روش ASTM روی نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰۰×۱۵۰ میلی‌متری (۱۲×۶ اینچ) و در روش BS روی نمونه‌های مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری (۶ اینچی) انجام می‌شود، اگر چه با توجه به بزرگ‌ترین اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها، استانداردها استفاده از نمونه‌های کوچک‌تر را نیز مجاز می‌دانند. طبق استاندارد ASTM نمونه‌های استوانه‌ای در قالب‌هایی با قابلیت استفاده‌ی مجدد و یا قالب‌های یک بار مصرف ریخته می‌شوند. قالب‌های نوع اول معمولاً از فولاد، چدن، برنج و انواع پلاستیک ساخته می‌شوند. در حالی که قالب‌های نوع دوم ممکن است از صفحات فلزی، پلاستیک، محصولات کاغذی ضدآب و یا سایر موادی که خواص فیزیکی خواسته شده نظیر غیرقابل نفوذ بودن و عدم جذب آب و عدم تغییر طول را تأمین کنند، ساخته می‌شوند. به منظور جلوگیری از چسبندگی بتن به جدار قالب، باید جداره‌های داخلی قالب با یک لایه‌ی نازک روغن معدنی آغشته گردد ؛ سپس بتن در چند لایه داخل قالب ریخته شود. تراکم بتن‌های با اسلامپ بالا در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه به هر لایه توسط یک میله‌ی گرد به قطر ۱۶ میلی‌متر ($\frac{5}{8}$ اینچ) انجام می‌شود. تراکم بتن‌های با اسلامپ پایین در دو لایه و با ویبره‌های داخلی و خارجی انجام می‌شود.

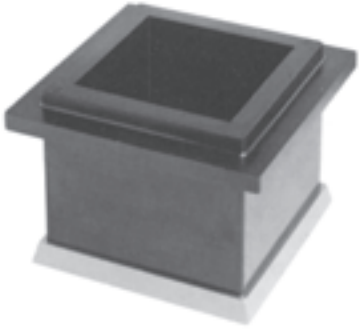
سطح بالای استوانه‌ی بتنی که توسط ماله صاف می‌گردد، معمولاً جهت انجام آزمایش به اندازه‌ی کافی یکنواخت نیست و باید اقدامات دیگری بر روی آن انجام گیرد. استاندارد، تغییرات تا ۰/۰۵ میلی‌متر را در سطوح بالا و پایین مجاز می‌داند بدین منظور دو روش سایش و پوشش سطح، برای ایجاد سطوح صاف به‌کار می‌روند. روش اول روشی مناسب ولی گران است. در روش



مخلوط‌کن برقی برای اختلاط مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن





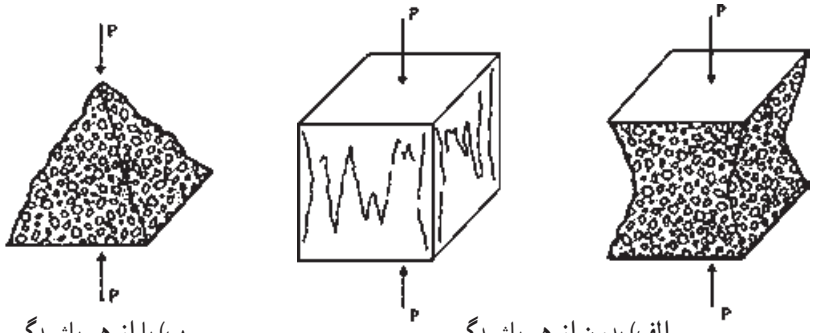


قالب نمونه‌های مکعبی بر اساس استاندارد BS

دوم که پوششی روی سطح گذاشته می‌شود، سه نوع ماده قابل استفاده است : خمیر سیمان سخت شده، که روی بتن تازه گذاشته می‌شود، مخلوطی از گوگرد و مصالح دانه‌ای (نظیر رس حرارت دیده)، و یا یک پوشش گچی با مقاومت بالا که روی بتن سخت شده به‌کار می‌روند. پوشش باید نازک و به ضخامت ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر و دارای مقاومتی نظیر مقاومت بتن آزمایش شونده باشد. احتمالاً بهترین ماده، مخلوط گوگرد و رس می‌باشد که برای بتن‌هایی تا مقاومت ۱۰۰ مگاپاسکال مناسب است. به علت ایجاد گازهای سمی لازم است این عمل در زیر اتاق‌های جذب دود آزمایشگاه صورت گیرد. علاوه بر صاف بودن سطوح دو سر استوانه، این دو سطح نیز باید عمود بر محور استوانه باشند، این امر در واقع نشان‌دهنده‌ی موازی بودن سطوح دو سر استوانه نیز می‌باشد.

شرایط نگهداری استوانه‌های استاندارد نیز بدین‌ترتیب است که در آزمایشگاه به منظور جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه‌های قالب‌گیری شده، آن‌ها را در مدت زمانی بیش از ۲۰ ساعت و کم‌تر از ۴۸ساعت در دمای ۲۳±۱/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری می‌کنند. سپس نمونه‌های از قالب باز شده را تا زمان رسیدن به زمان آزمایش، در رطوبت کامل و یا در آب آهک اشباع نگهداری می‌کنند. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن مشخص تحت سرعت بارگذاری معینی در دستگاه پرس تعیین می‌شود که از تقسیم حداکثر نیروی ثبت شده بر سطح مقطع نمونه به‌دست می‌آید. در استاندارد انگلستان، نمونه‌های مکعبی در قالب‌های فولادی و چدنی در ابعاد مشخص شده ریخته می‌شوند. استاندارد BS، پرکردن قالب را در لایه‌هایی با ضخامت تقریبی ۵ سانتی‌متر توصیه می‌کند. تراکم هر لایه در مکعب‌های ۱۵سانتی‌متری با ۳۵ ضربه و در مکعب‌های ۱۰ سانتی‌متری با ۲۵ ضربه توسط یک میله‌ی فولادی با مقطع مربعی شکلی به ابعاد ۲۵ میلی‌متر، صورت می‌گیرد. روش‌های ارتعاشی دیگر نیز قابل استفاده است. بعد از پرداخت کردن سطح بالای نمونه توسط ماله، اگر در نظر است نمونه پس از ۷ روز یا بیش‌تر شکسته شود، باید در دمای $20\pm5^{\circ}C$ نگهداری شود و اگر زمان انجام آزمایش کم‌تر از ۷ روز باشد، نمونه باید در دمای $20\pm2^{\circ}C$ نگهداری شود. ترجیح داده می‌شود رطوبت نسبی کم‌تر از ۹۰ درصد نباشد، امّا نگهداری نمونه در زیر پوشش‌های مرطوب نیز مجاز شمرده شده است. نمونه‌های مکعبی بعد از ۲۴ ساعت از قالب بیرون آورده شده و تا زمان انجام آزمایش در مخزن عمل‌آوری، نگهداری می‌شوند.

شکل‌های ۲ــ۸ و ۲ــ۹ حالت‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌ها را نشان می‌دهند.



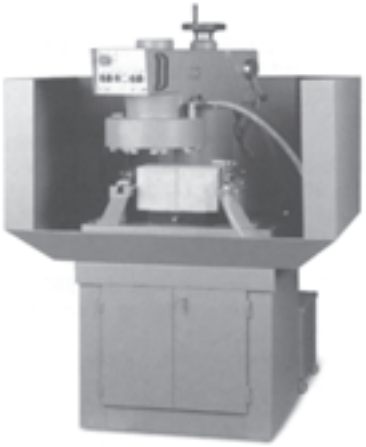
الف) بدون از هم پاشیدگی ب) با از هم پاشیدگی

شکل ۲ــ۸ــ شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های مکعبی استاندارد

قالب نمونه‌های استوانه‌ای براساس استاندارد ASTM

میز لرزان برای متراکم کردن نمونه‌های آزمایشی

حوضچه برای نگهداری نمونه‌های آزمایشی

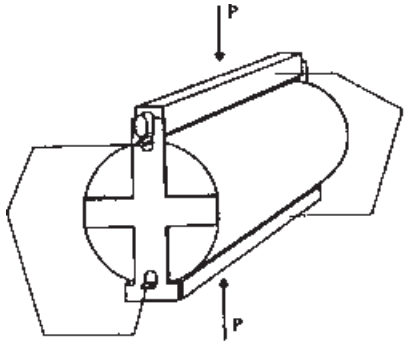


دستگاهی برای ساییدن و صیقل کردن سطوح نمونه‌های آزمایشی به منظور اندازه‌گیری دقیق مقاومت فشاری نمونه‌ها

الف) شکافتن　　ب) برش　　ج) شکافتن و برش

شکل ۲ــ۹ــ شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد

ج) مقاومت کششی نمونه‌های بتنی: از آن‌جا که اِعمال کشش محوری به نمونه‌ی بتنی مشکل است (زیرا باید دو انتهای نمونه، گرفته شده و از خمش جلوگیری شود)، مقاومت کششی بتن با روش‌های غیرمستقیم، یعنی آزمایش خمش و آزمایش شکافتن (دو نیم شدن) تعیین می‌گردد. در این‌جا به آزمایش شکافتن یا دو نیم کردن استوانه اشاره می‌کنیم. در این آزمایش یک استوانه‌ی بتنی، از نوعی که برای مقاومت فشاری به‌کار می‌رود، طوری بین صفحات دستگاه آزمایش قرار می‌گیرد که محور آن افقی باشد. سپس بار افزایش می‌یابد تا شکستگی به صورت دو نیم شدن در صفحه‌ی شامل قطر قائم نمونه، به‌وجود آید. شکل ۲ــ۱۰ نوع گیره‌های لازم جهت نگهداری نمونه‌ها در یک دستگاه آزمایش فشاری را نشان می‌دهد.



قطعات فولادی برای بارگذاری

نوارهایی از چوب سخت

شکل ۲ــ۱۰ــ پایه‌هایی برای نگهداری نمونه‌ها به منظور تعیین مقاومت دو نیم شدن

بار با سرعت ثابتی اعمال شده و مقاومت کششی دو نیم شدن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد :

$$f_{st} = \frac{2p}{\pi l d}$$

در این رابطه، p ماکزیمم فشار، l طول نمونه و d قطر نمونه است.

د) مغزه‌گیری از بتن سخت شده: همان‌گونه که ذکر شد، هدف اصلی از تعیین مقاومت نمونه‌های استاندارد بتن، کسب این اطمینان است که مقاومت بتن در سازه‌ی واقعی، رضایت‌بخش خواهد بود. حال اگر مقاومت نمونه‌های آزمایش فشاری، کم‌تر از مقدار مقرر باشد، آن‌گاه یا عملکرد بتن در سازه رضایت‌بخش نخواهد بود و یا نمونه‌ها نماینده‌ی واقعی بتن موجود در سازه نبوده‌اند. در مباحث پذیرش بتن، نمی‌توان از احتمال دوم چشم‌پوشی کرد. به عبارت دیگر در

نمونه‌هایی از دستگاه‌های آزمایش مقاومت فشاری بتن که صفحه‌ی نمایش آن‌ها یا به صورت عقربه‌ای و یا دیجیتالی است.

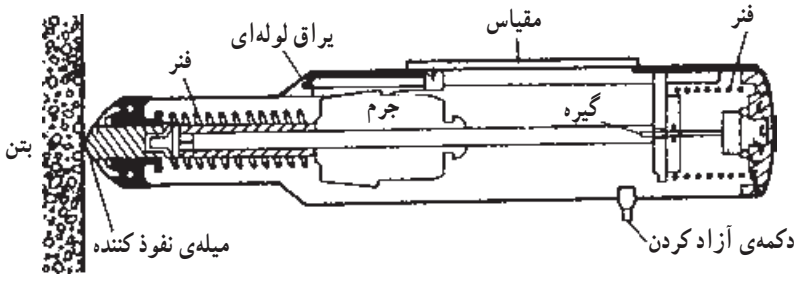
دستگاه ترکیبی آزمایش مقاومت فشاری و خمشی بتن

مورد یک بخش مشکوک از سازه، ممکن است نمونه‌های آزمایش به‌طور نادرست تهیه و نگهداری شده باشند و یا دستگاه آزمایش دارای اشکالاتی باشد. در این موارد معمولاً به منظور ارزیابی مقاومت بتن در سازه، مغزه‌هایی را از قسمت‌های مشکوک سازه می‌گیرند و مورد آزمایش قرار می‌دهند.

شکل ۲ــ۱۱ــ دستگاه مغزه‌گیری

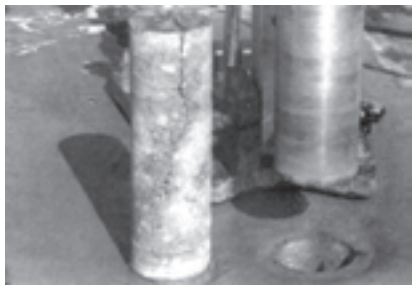
دستگاه مغزه‌گیری یا کُرگیری (شکل ۲ــ۱۱) از یک لوله‌ی فلزی تشکیل شده که در جداره‌ی خارجی آن تیغه‌های الماسه برای برش نصب گردیده است. دستگاه به وسیله‌ی یک الکتروموتور با سرعت زیاد به دور محور خود می‌چرخد و با استفاده از صفحه‌ای که به هنگام کار به بدنه‌ی دستگاه نصب می‌شود، از حرکت جانبی دستگاه جلوگیری می‌گردد. برای خنک کردن در بعضی از دستگاه‌ها، از جریان آب در هنگام نمونه‌گیری استفاده می‌شود. پس از پایان کار نمونه‌گیری، نمونه به‌وسیله‌ی تیغه‌ی مخصوصی از عضو بتنی جدا می‌گردد. نمونه را پس از خروج از لوله طبق ضوابط آئین‌نامه نگهداری نموده و پس از کلاهک‌گذاری دو سر نمونه، با استفاده از دستگاه پرس، مقاومت فشاری آن را اندازه‌گیری می‌کنند.

هـ) آزمایش چکش اشمیت: این آزمایش به نام‌های چکش بازتاب، چکش ضربه‌ای، یا آزمایش سنجش سختی نیز شناخته می‌شود و یک روش غیرمخرب برای ارزیابی بتن می‌باشد. آزمایش براساس این اصل است که بازتاب یک جرم ارتجاعی، به سختی سطحی که جرم به آن برخورد می‌کند وابسته است. شکل ۲ــ۱۲ نشان می‌دهد که در چکش اشمیت یک جرم متصل شده به فنر وجود دارد که با کشیدن فنر تا نقطه‌ای مشخص، مقدار انرژی ثابتی به آن داده می‌شود. این کار با فشار دادن چکش به سطح صاف بتن انجام می‌شود. بعد از آزاد شدن فنر، جرم مربوطه تحت اثر بازتاب میله‌ی چکش (که هنوز در تماس با سطح بتن است) قرار می‌گیرد. مسافتی که توسط جرم طی شده، برحسب درصدی از انبساط اولیه‌ی فنر بیان می‌شود و عدد بازتاب نام دارد. این مقدار توسط یک نشانه که در طول یک مقیاس مدرج حرکت می‌کند، نشان داده می‌شود.



شکل ۲ــ۱۲ــ چکش انعکاسی (چکش اشمیت)

دستگاه مغزه‌گیری بتن



یک مغزه‌ی بتنی که از یک دال دارای ترک‌خوردگی انقباضی گرفته شده است. میزان نفوذ و گسترش ترک به خوبی دیده می‌شود.

چکش دیجیتالی اشمیت که برای انجام آزمایش غیرمخرب بتن به کار می‌رود. مزیت این دستگاه نسبت به دستگاه مغزه‌گیری این است که به عضو بتنی هیچ‌گونه آسیبی وارد نمی‌شود.

این آزمایش نسبت به وجود سنگ‌دانه‌ها و حباب‌ها در مقابل میله‌ی چکش، حساس می‌باشد، به گونه‌ای که لازم است ۱۰ تا ۱۲ قرائت در ناحیه‌ی مورد آزمایش انجام شود. همیشه باید میله‌ی چکش عمود بر سطح بتن باشد، اما وضعیت چکش نسبت به قائم، به دلیل تأثیر ثقل در حرکت جرم، عدد بازتاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین برای یک بتن مشخص، عدد بازتابِ یک کف کوچک‌تر از عدد بازتابِ یک سقف می‌باشد، در حالی که سطوح قائم و مایل به نتایج متوسطی منتهی می‌شود. در نظر گرفتن چنین تغییراتی بیش‌تر به صورت تجربی انجام می‌گیرد.

هیچ رابطه‌ی مشخصی بین سختی و مقاومت بتن‌های مختلف وجود ندارد، اما برای یک بتن مشخص، می‌توان رابطه‌ای تجربی را تعیین نمود. این رابطه به عواملی مانند درجه‌ی اشباع و کربناتاسیون[1] که خصوصیات سطح بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهند وابسته می‌باشد. در نتیجه آزمایش چکش اشمیت به عنوان معیاری از یکنواختی و مرغوبیت نسبی بتن در یک سازه و یا در تولید تعدادی قطعه‌ی بتنی پیش ساخته مفید می‌باشد.

پرسش

۱ــ ضرورت انجام آزمایش‌های مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن چیست؟

۲ــ چرا برای انجام آزمایش‌های مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن استانداردهای خاصی تدوین شده است؟

۳ــ جرم حجمی سیمان به چه منظوری و چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟

۴ــ انواع جرم حجمی سیمان را نام ببرید و تعریف کنید.

۵ــ انواع گیرش سیمان را نام ببرید و شرح دهید.

۶ــ انواع چگالی سنگ‌دانه‌ها را تعریف کنید.

۷ــ سنگ‌دانه‌ها از نظر میزان آب چه حالت‌هایی دارند؟

۸ــ برای آزمایش دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها نمونه‌ها را چگونه باید انتخاب کرد؟

۹ــ نحوه‌ی اندازه‌گیری مقاومت سایشی مصالح درشت‌دانه را شرح دهید.

۱۰ــ کارآیی بتن چگونه تعیین می‌شود؟

۱۱ــ برای تهیه‌ی یک نوع بتن به نام بتن غلتکی، اسلامپ بتن باید صفر باشد. به نظر شما پس از انجام آزمایش با دستگاه اسلامپ، شکل نمونه چگونه خواهد بود؟

۱۲ــ به منظور بررسی بتن مصرفی برای ساخت یک آب انبار بتنی، نیاز به نمونه‌گیری از بتن می‌باشد. شما چگونه این کار را انجام می‌دهید؟

۱۳ــ پس از نمونه‌گیری از بتن، چه تمهیداتی را تا قبل از انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن باید انجام داد؟

۱۴ــ در یک پروژه‌ی ساختمانی، مهندسین ناظر، در قسمت‌هایی، مقاومت بتن سخت شده را کم‌تر از مقدار لازم حدس زدند، به نظر شما، آن‌ها برای تأیید حدس خود چه می‌کنند؟

۱ــ در اثر هیدراتاسیون سیمان (ترکیب آب و سیمان)، $Ca(OH)_2$ به‌وجود می‌آید: هنگامی که بتن در معرض هوا باشد به مرور زمان با ترکیب CO_2 هوا و $Ca(OH)_2$ حاصله، کربنات کلسیم ($CaCO_3$) به‌وجود می‌آید که به این فرآیند کربناتاسیون گفته می‌شود.

فصل سوم

طرح اختلاط بتن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ هدف از طرح اختلاط بتن را بیان کند ؛

۲ــ عوامل مؤثر در طرح اختلاط بتن را نام ببرد ؛

۳ــ مسایل اساسی در طرح مخلوط بتن را شرح دهد ؛

۴ــ نحوه‌ی طرح مخلوط بتن و مراحل مختلف انجام آن را توضیح دهد ؛

۵ــ نحوه‌ی استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها در طرح اختلاط بتن را تشریح کند.

دستیابی به بتنی با ویژگی‌های طراحی، از نظر مقاومت، دوام و پایایی، مستلزم استفاده از مصالح استاندارد و تعیین نسبت صحیح اختلاط اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بتن براساس نتایج آزمایشگاهی است. سیمان، سنگ‌دانه (شن و ماسه) و آب مهم‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده‌ی بتن هستند. چنانچه این مصالح دارای ویژگی‌های استاندارد نباشند و یا با توجه به کاربری و شرایط محیطی و یا اجرایی، صحیح انتخاب نشوند، بتن از کیفیت مناسب برخوردار نبوده و در نتیجه الزامات موردنیاز را برآورده نمی‌کند. در شکل فوق، استفاده از سنگ‌دانه‌هایی با دانه‌بندی غیراستاندارد و یا طرح اختلاط و همچنین عدم رعایت مسایل اجرایی، کیفیت بتن را نامطلوب کرده است.

۳ــ۱ــ مقدمه و تعریف

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

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

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

۳ــ۲ــ لزوم ساخت مخلوط‌های آزمایشی

اساساً طرح مخلوط بتن به معنای دقیق آن امکان‌پذیر نیست، زیرا مصالح مورد استفاده از جنبه‌های مختلف متغیر می‌باشند و بعضی از خصوصیات آن‌ها را نمی‌توان از نظر کمّی ارزیابی نمود. بنابراین با استفاده از روش‌های مختلف رایج در طرح اختلاط بتن، در واقع کاری بیش از یک حدس هوشمندانه در مورد ترکیب مناسب اجزا، البته براساس مجموعه‌ای از جداول و منحنی‌ها انجام داده نمی‌شود. لذا ضرورت اساسی دارد که به منظور دستیابی به یک مخلوط

رضایت‌بخش برای بتن‌های سازه‌ای، نمونه‌ای از نسبت‌های به‌دست آمده را در آزمایشگاه با استفاده از مصالح واقعی مورد مصرف در ساختمان اصلی، تهیه کنیم و در صورت لزوم با استفاده از نتایج آزمایش، تغییرات مناسب را در نسبت‌های اجزا اعمال نماییم. ضمناً تأکید بر این مسئله لازم است که ساخت مخلوط‌های آزمایشی باید زیر نظر یک کارشناس یا تکنسین باتجربه، به منظور ارزیابی دقیق پارامترهای مختلف انجام گیرد.

۳ــ۳ــ نمونه‌برداری و پذیرش بتن

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

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

در صورتی که حجم هر اختلاط بتن بیش‌تر از یک متر مکعب باشد، تواتر نمونه‌برداری به ترتیب زیر خواهد بود :

الف ــ برای دال‌ها و دیوارها و پی‌ها، یک نمونه‌برداری از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا ۱۵۰ متر مربع سطح.

ب ــ برای تیرها و کلاف‌ها، در صورتی که جدا از قطعات دیگر بتن‌ریزی می‌شوند، یک نمونه‌برداری از هر ۱۰۰ متر طول.

ج ــ برای ستون‌ها، یک نمونه‌برداری از هر ۵۰ متر طول.

در صورتی که حجم هر اختلاط بتن کم‌تر از یک متر مکعب باشد، می‌توان مقادیر ذکر شده در بالا را به همان نسبت تقلیل داد.

حداقل یک نمونه‌برداری از هر رده و از هر نوع بتن در هر روز الزامی است.

حداقل ۶ نمونه‌برداری از هر رده بتن و از هر نوع بتن در کل سازه الزامی است.

در صورتی که حجم بتن مصرفی یک پروژه ساختمانی از ۳۰ متر مکعب کم‌تر باشد می‌توان از نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت صرف‌نظر کرد مشروط بر آن که به تشخیص دستگاه نظارت دلیلی برای رضایت‌بخش بودن کیفیت بتن موجود باشد.

مشخصات بتن موقعی قابل قبول و منطبق بر رده مورد نظر تلقی می‌شود که مقاومت نمونه‌های بتن، مطابق ضوابط مندرج در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشد.

۳ــ۴ــ روش طرح اختلاط

در گذشته بتن‌ها را براساس نسبت‌های دستوری مشخص، مانند نسبت‌های حجمی ۴ :۲ :۱

کیفیت نامطلوب بتن موجب تخریب شناژ قائم در این بنای با مصالح بنایی شده است.

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

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

۳ــ۵ــ عوامل مؤثر بر طرح مخلوط

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

۱ــ طبیعت مصالح سنگی (شکل، تخلخل، بافت سطحی)

۲ــ دانه‌بندی مصالح سنگی (اندازه و توزیع سنگ‌دانه‌ها)

۳ــ نوع سیمان

۴ــ نسبت آب به سیمان

۵ــ نحوه‌ی ساخت و تراکم بتن

۶ــ شرایط نگه‌داری و عمل آوردن بتن

۷ــ سنّ بتن

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

اگر مقاومت موردنظر طراح سازه را «مقاومت مشخصه» نامگذاری کنیم و با f_c نشان دهیم و f_m نیز مقاومت متوسط حاصله از مخلوط بتن که مبنای طرح اختلاط قرار می‌گیرد، باشد،

استفاده از پاره آجر در شناژ عمودی به جای بتن و بتن‌ریزی با مصالح نامرغوب. در طراحی سازه‌های بتنی، طراح سازه را براساس یک مقاومت مشخصه از بتن طرح می‌کند. بتنی که مصالح تشکیل‌دهنده‌ی آن سیمان، سنگ‌دانه و آب است، نه آجر!!! و مسلماً این ترکیب نمی‌تواند مقاومت مورد نظر را حاصل کند. اما فقدان «وجدان کاری» منجر به وقوع چنین حادثه‌هایی می‌شود.

عملکرد مناسب یک عضو بتن مسلح، به غیر از تأمین اصول طراحی و محاسبه‌ی سازه‌ای، به رعایت دقیق نکات و دستورالعمل‌های اجرایی نیز بستگی دارد. مطابق این شکل، عدم رعایت اصول اجرایی، از قبیل فاصله‌ی بین خاموت‌ها و همچنین کیفیت بد بتن که ناشی از مصالح نامناسب، تراکم نامطلوب، عمل‌آوری نادرست و پوشش ناکافی روی میل‌گردها، می‌باشد باعث تخریب کلاف قائم و درنتیجه انهدام کامل ساختمان شده است.

اختلاف آن‌ها، یعنی $f_m - f_c$، حاشیه‌ی مقاومت نامیده می‌شود و با f' نشان داده می‌شود. حاشیه‌ی مقاومت با توجه به اهمیّت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت در کارگاه بتن‌سازی و با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای توسط کارشناس طراح مخلوط بتن محاسبه می‌گردد.

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

$$f_m = f_c + f'$$

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

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

۱ــ ابعاد مقطع عضو و فاصله‌ی آرماتورها

۲ــ روش متراکم کردن بتن

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

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

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

آنچه از این شکل برمی‌آید، این است که اتصال نامناسب تیر و ستون بتنی، کیفیت نامطلوب بتن‌ریزی، خارج شدن شیره‌ی سیمان از محل قالب‌بندی و وجود تخلخل در بتن نیز به علاوه‌ی اشکالات احتمالی در تسلیح و طول مهاری میل‌گردها، باعث خرابی تیر در محل اتصال به ستون شده است. آیا عدم رعایت نکات طراحی و اجرایی به از بین رفتن جان و مال انسان‌ها می‌ارزد؟!!

یکی از ویژگی‌های بتن مطلوب دوام مناسب آن است. بتن باید بتواند در مقابل عوامل جوی، حملات شیمیایی و فرآیندهای تخریبی دیگر مقاومت کند.

در این شکل نمونه‌ای از حمله‌ی سولفات‌ها و کلرورها به پایه‌ی بتن مسلح یک پل در دریا، نشان داده شده است.

جدول ۳ــ۲ــ اسلامپ‌های توصیه شده برای انواع مختلف اعضای ساختمانی

عضو ساختمانی	محدوده‌ی اسلامپ* میلی‌متر
دیوارها و پی‌های بتن مسلح	۸۰ ــ ۲۰
پی‌ها، بندها و دیوارهای غیرمسلح	۸۰ ــ ۲۰
تیرهای بتن مسلح	۱۰۰ــ۲۰
ستون‌های ساختمان	۱۰۰ ــ ۲۰
روسازی‌ها و دال‌ها	۱۰۰ ــ ۲۰
بتن حجیم	۸۰ ــ ۲۰

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

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

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

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

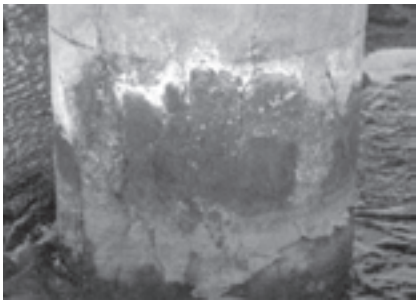
خوردگی آرماتورها ممکن است باعث پُکیدن و قلوه‌کن شدن سطح بتن شود. در نظرگرفتن پوشش مناسب بتن بر روی آرماتورها و ساخت بتن با نفوذپذیری کم از جمله تمهیدات مناسب برای مقابله با این ضایعات است. محدودیت نسبت آب به سیمان از عواملی است که منظور نمودن آن در طرح اختلاط بتن، می‌تواند تضمین‌کننده‌ی بتنی مقاوم و با نفوذپذیری کم باشد. جدول ۳ــ۳ الزامات آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در خصوص حداکثر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت مشخصه برای شرایط محیطی ویژه، بیان می‌کند.

نمونه‌ای از خوردگی ناشی از نفوذ کرباناسیون تا عمق ۷۰ میلی‌متری که توسط اسپری فنل فتالئین مشخص گردیده است. بتن با کیفیت خوب، باید در برابر حمله‌ی عوامل شیمیایی مقاومت کند، که این جز با استفاده از سیمان مناسب، نسبت‌های اختلاط صحیح و ساخت بتن با نفوذپذیری کم، حاصل نخواهد شد.

نمونه‌ای از ترک‌خوردگی ناشی از خوردگی آرماتورها که به علت پوشش نامناسب بتن بر روی میل‌گردها و نفوذپذیری بالای آن است.

جدول ۳ــ۳ــ الزامات مربوط به شرایط محیطی ویژه

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



حمله‌ی سولفات‌ها و کلراید به فونداسیون بتن مسلح یک پل واقع در دریا در ناحیه‌ی تر و خشک شدن آن، موجب قلوه‌کن شدن پوسته‌ی بتنی شده است. نفوذپذیری زیاد بتن و استفاده نکردن از سیمان مناسب دلیل بروز این تخریب شده است.

۳ــ۶ــ مراحل طرح اختلاط بتن

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

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

$$f_m = f_c + f'$$

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

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

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

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

گام (۴): مقدار آب به سیمان حاصله را با میزان حداکثر نسبت آب به سیمان که در آیین‌نامه‌ی بتن یا مشخصات طرح مقرر شده است، مقایسه می‌کنیم و هر کدام را که کوچک‌تر باشد، به عنوان نسبت آب به سیمان مخلوط انتخاب می‌نماییم (به عنوان نمونه جدول ۳ـ۳ که توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی بتن ایران است).

توضیحات ضروری

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ترک خوردگی قرنیز عرشه‌ی پل در اثر فشار انبساطی ناشی از زنگ‌زدگی میل‌گردهای آن. پوشش نامناسب بتن بر روی میل‌گردها و نفوذپذیری بالای بتن موجب بروز این خسارت شده است.

پوسته پوسته شدن سطح بیرونی یک منبع بتنی آب که در اثر یخ زدن و ذوب شدن‌های متناوب، به‌وجود آمده است. پوسته پوسته شدن و تورق بتن در اثر ایجاد تنش‌های کششی عمود بر سطح، ایجاد می‌شود.

نمونه‌ی دیگری از خرابی یک سازه‌ی بتن مسلح در اثر کربناتاسیون. پوشش نامناسب بتن بر روی میل‌گردها، کیفیت نامطلوب بتن در شرایط محیطی ویژه و نفوذپذیری زیاد آن باعث این خرابی شده است.

گام (۱): وزن مخصوص بتن تازه از شکل ۳ــ۲ براساس توده‌ی ویژه‌ی دانه‌های سنگی در حالت اشباع با سطح خشک و مقدار آب آزاد تعیین شده در مرحله‌ی سوم تخمین زده می‌شود (در صورت در اختیار نداشتن توده‌ی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها می‌توان به‌طور تقریبی برای مصالح نشکسته عدد ۲/۶ و برای مصالح شکسته عدد ۲/۷ را اختیار نمود.)

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

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

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

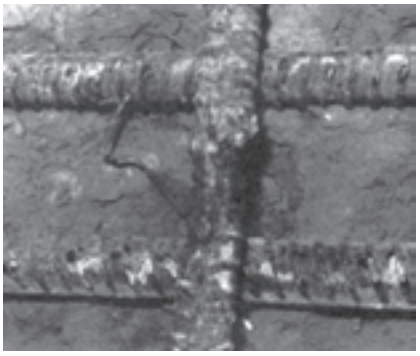
گام (۱): ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه را با استفاده از شکل ۳ــ۳ تعیین می‌کنیم که حدود دانه‌بندی ماسه در نواحی ۱ تا ۴ را براساس استاندارد BS882 نشان می‌دهد.

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

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

درصد ماسه × وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن ماسه

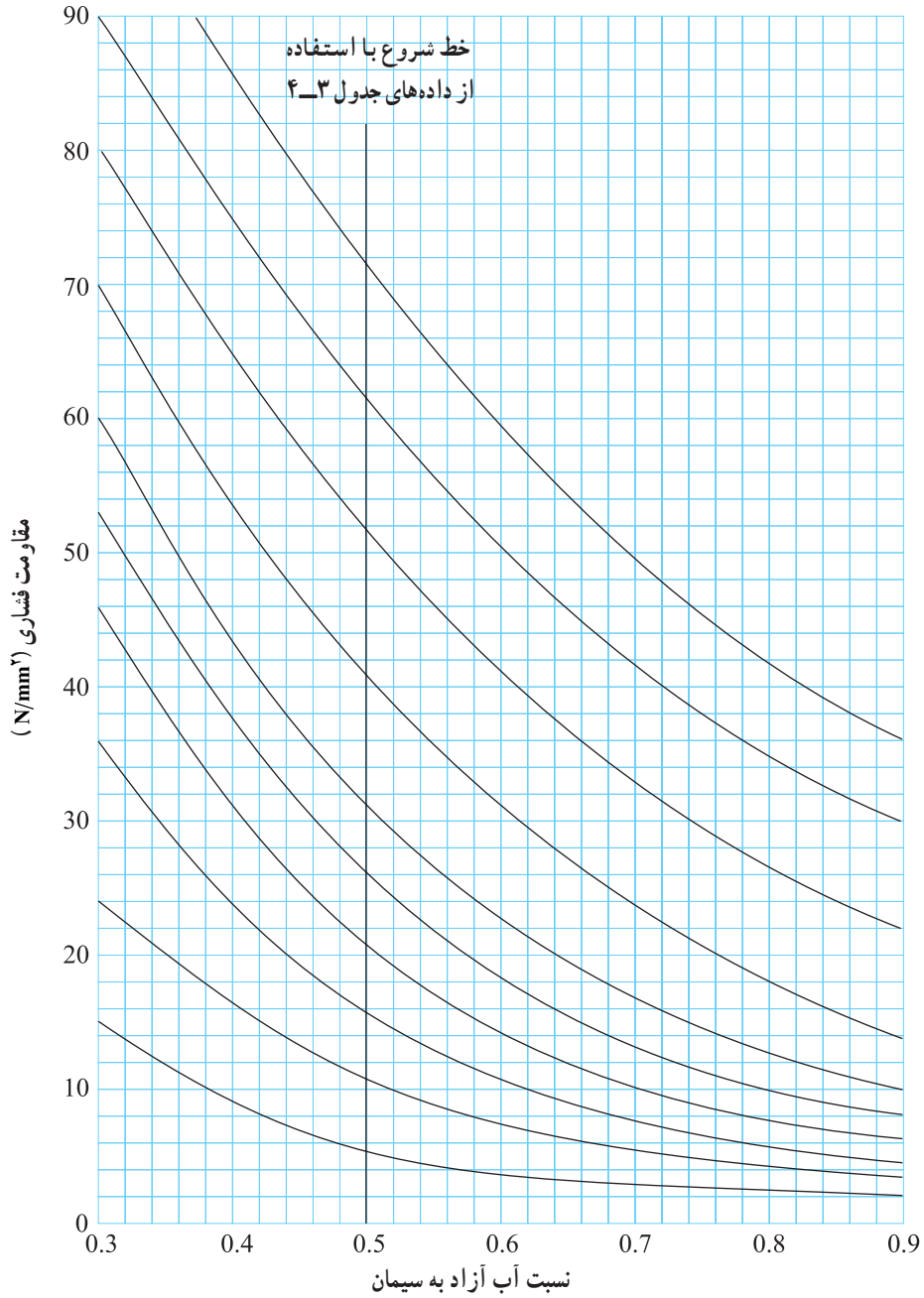
وزن ماسه – وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن شن



خوردگی شدید آرماتورهای شبکه‌ی فوقانی یک دال مجوف متعلق به یک پارکینگ که صدمات زیادی به آن وارد ساخته است.

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

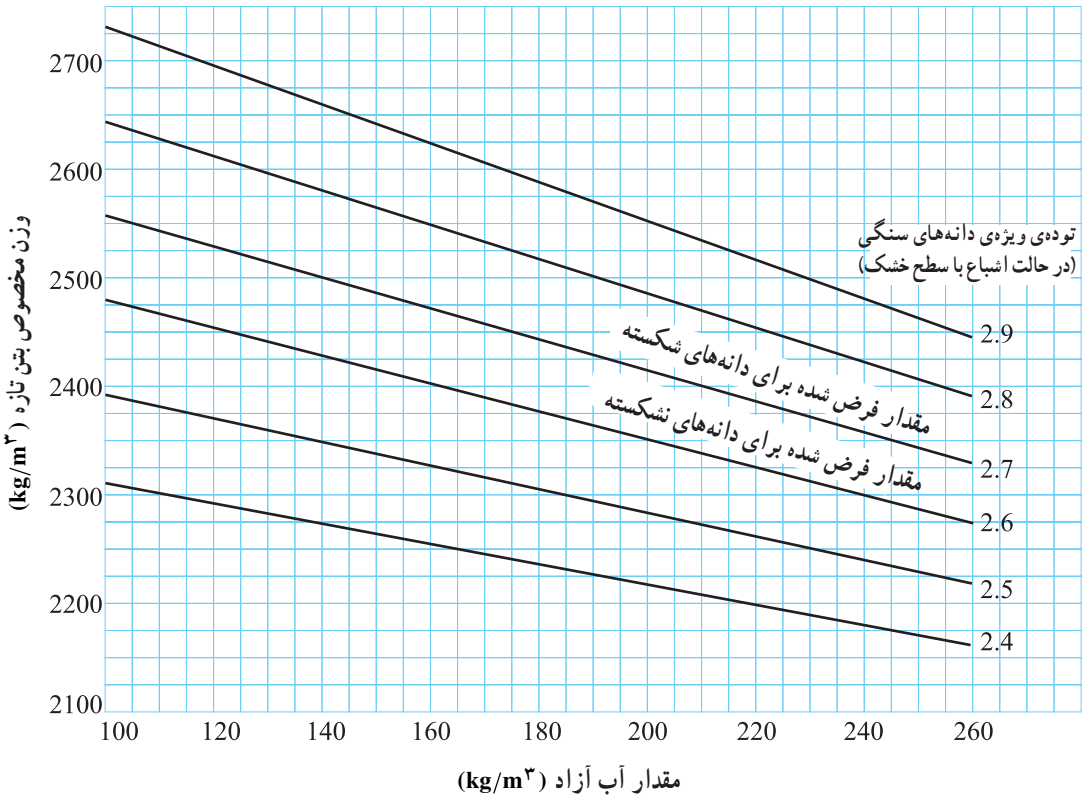
نوع سیمان	نوع شن	مقاومت فشاری (N/mm^2) سن (روز)			
		۳	۷	۲۸	۹۱
سیمان معمولی					
یا	نشکسته	۱۸	۲۷	۴۰	۴۸
سیمان	شکسته	۲۳	۳۳	۴۷	۵۵
ضد سولفات					
سیمان	نشکسته	۲۵	۳۴	۴۶	۵۳
زودگیر	شکسته	۳۰	۴۰	۵۳	۶۰



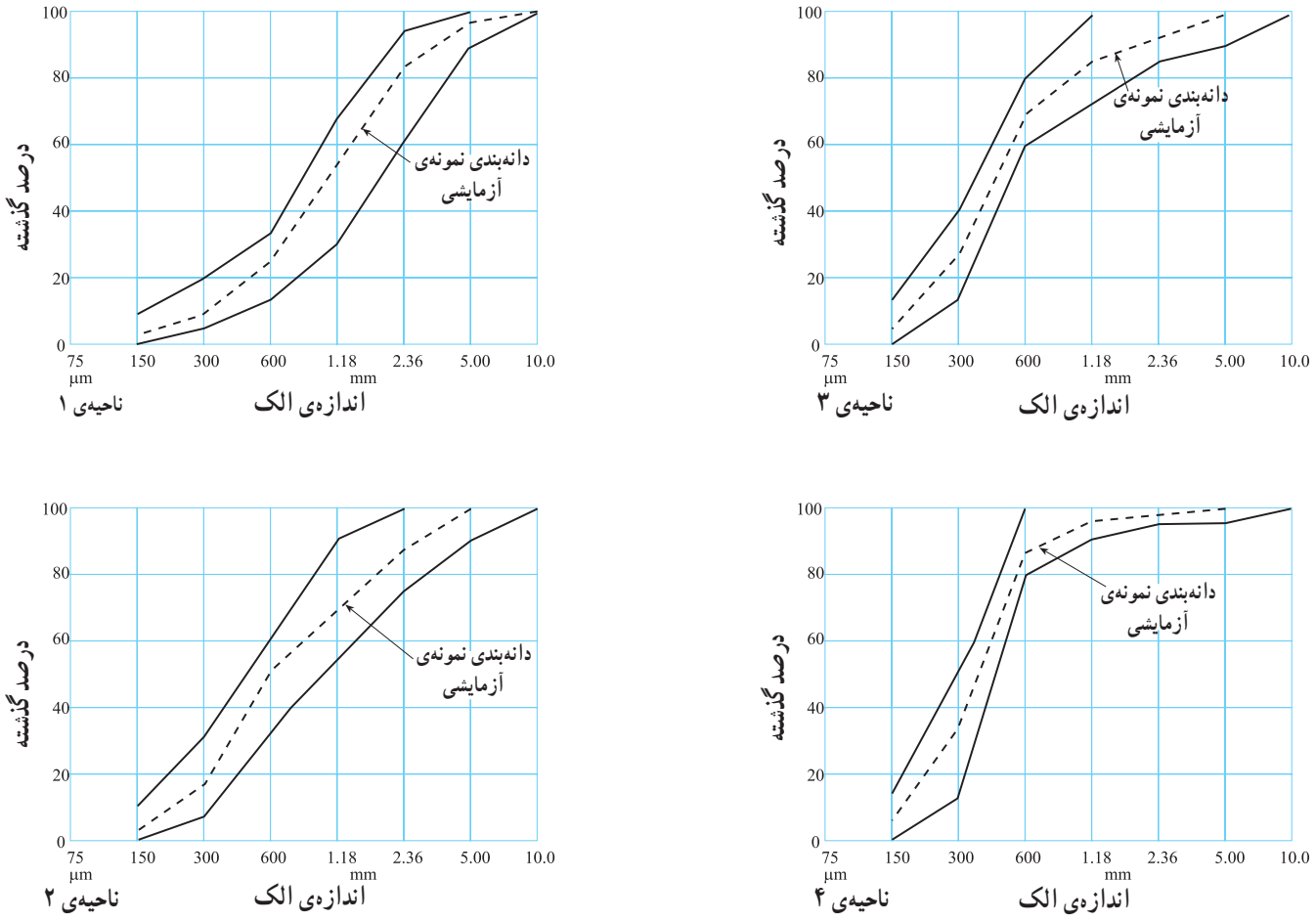
شکل ۳ــ۱ــ ارتباط مابین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان مخلوط

جدول ۳ــ۵ــ مقدار تقریبی آب آزاد (kg/m^3) برای سطوح مختلف کارآیی

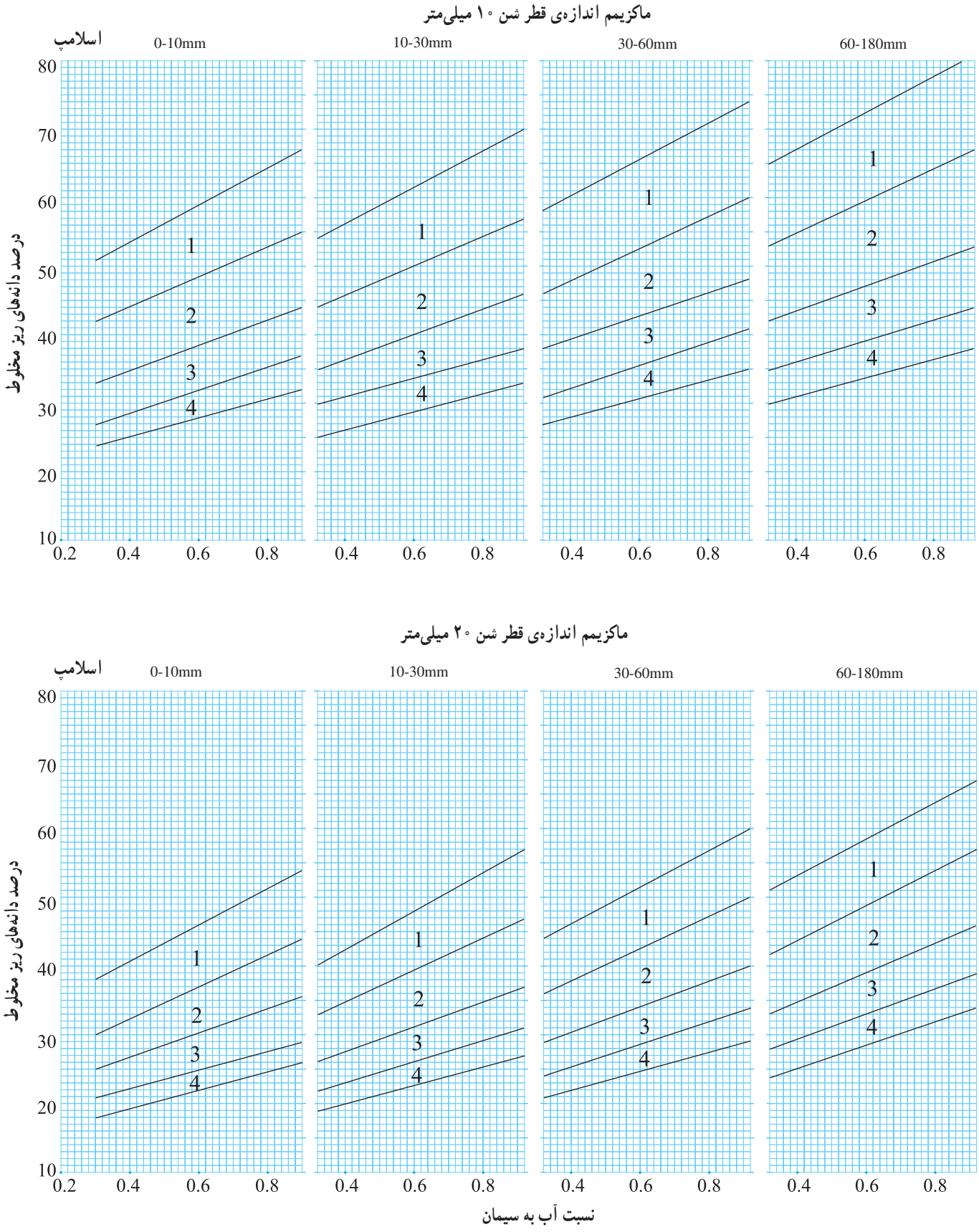
اسلامپ (mm)		۰ــ۱۰	۱۰ــ۳۰	۳۰ــ۶۰	۶۰ــ۱۸۰
حداکثر قطر دانه	نوع دانه‌ها				
۱۰	نشکسته	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۵	۲۲۵
	شکسته	۱۸۰	۲۰۵	۲۳۰	۲۵۰
۲۰	نشکسته	۱۳۵	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۵
	شکسته	۱۷۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۲۵
۴۰	نشکسته	۱۱۵	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۵
	شکسته	۱۵۵	۱۷۵	۱۹۰	۲۰۵



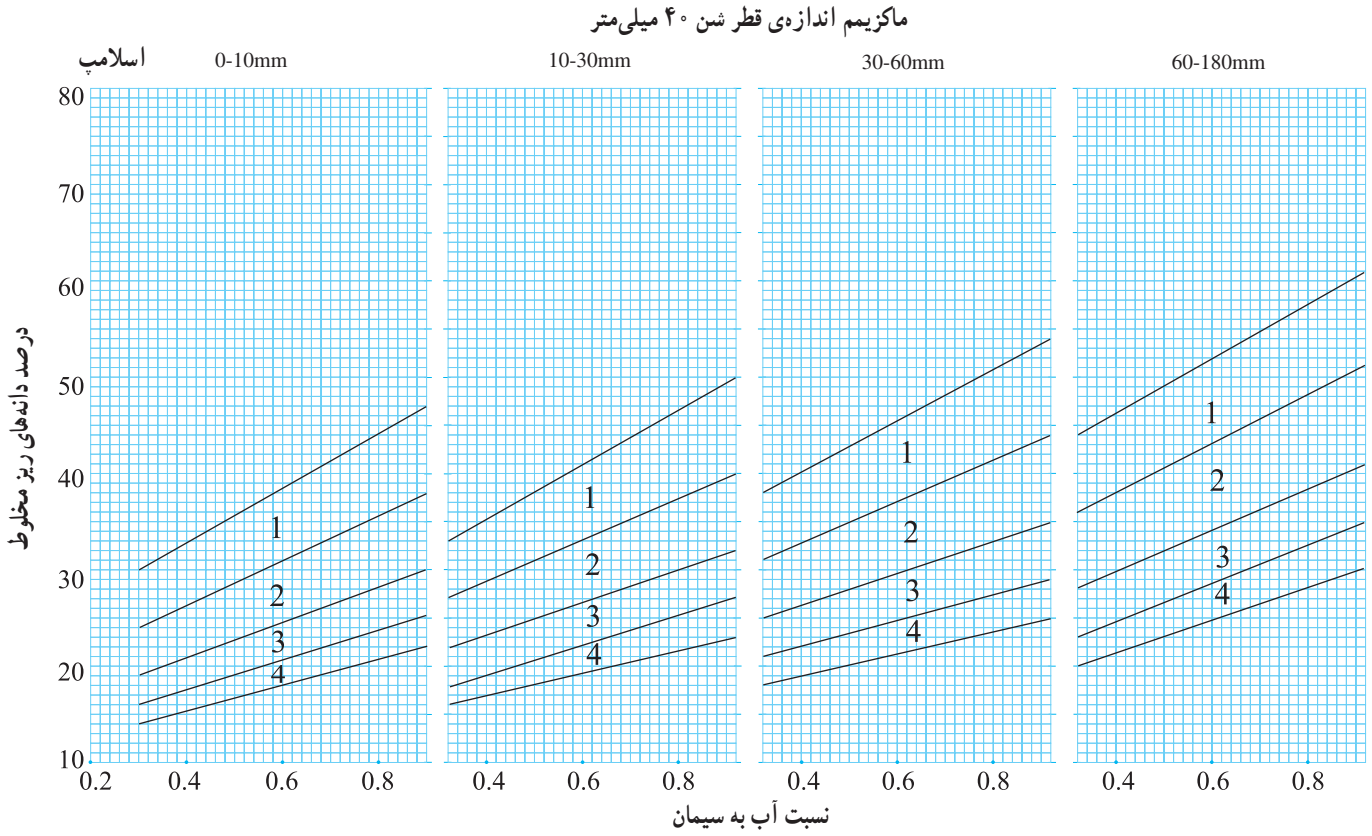
شکل ۳ــ۲ــ وزن مخصوص تخمینی بتن با تراکم کامل



شکل ۳ــ۳ــ حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ براساس BS ۸۸۲



شکل ۳ــ۴ــ نسبت‌های پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴



ادامه‌ی شکل ۳ــ۴ــ نسبت‌های پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴

مثال ۱: بتنی با مشخصات زیر طرح کنید.

۱ــ مقاومت فشاری مشخصه‌ی ۲۸ روزه برای نمونه‌ی مکعبی برابر با $۲۸\,N/mm^۲$

۲ــ نوع سیمان : پرتلند معمولی

۳ــ شن و ماسه : از نوع شکسته

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

۵ــ حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها : ۲۰mm

۶ــ اسلامپ خواسته‌شده : ۷۵mm

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

۸ــ مقدار حاشیه‌ی مقاومت براساس اهمیّت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت کارگاه و ضوابط آیین‌نامه : $۹/۳\,N/mm^۲$

حل:

مرحله‌ی اول، تعیین مقاومت متوسط هدف:

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

مرحله‌ی دوم، تعیین نسبت آب به سیمان:

گام (۱): از جدول ۳ــ۴ مقاومت فشاری تقریبی بتن برای نسبت فرضی آب به سیمان ۰/۵ با سیمان پرتلند معمولی، شن شکسته و سن ۲۸ روزه برابر با $۴۷\,N/mm^۲$ می‌باشد.

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

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

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

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

مرحله‌ی چهارم، محاسبه‌ی مقدار سیمان:

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

مرحله‌ی پنجم، تعیین وزن کل سنگ‌دانه‌ها:

گام (۱): وزن مخصوص بتن تازه با استفاده از شکل ۳ـ۲ با مقدار آب آزاد $۲۲۵ \ kg/m^۳$ و توده‌ی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها برابر با ۲/۷ برای دانه‌های شکسته، برابر با $۲۳۸۰ \ kg/m^۳$ تخمین زده می‌شود.

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

$$\text{وزن کل سنگ‌دانه‌ها} = ۲۳۸۰ - ۲۲۵ - ۴۵۰ = ۱۷۰۵ \ kg/m^۳$$

مرحله‌ی ششم، تفکیک وزن شن و ماسه:

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

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

گام (۳): تفکیک وزن ماسه و شن :

$$\text{وزن ماسه} = ۱۷۰۵ \times ۰/۵۱ = ۸۷۰ \ kg/m^۳$$

$$\text{وزن شن} = ۱۷۰۵ - ۸۷۰ = ۸۳۵ \ kg/m^۳$$

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

سیمان $= ۴۵۰ \ kg/m^۳$

آب آزاد $= ۲۲۵ \ kg/m^۳$

ماسه در حالت SSD $= ۸۷۰ \ kg/m^۳$

شن در حالت SSD $= ۸۳۵ \ kg/m^۳$

مجموع $= ۲۳۸۰ \ kg/m^۳$

در کلاف عمودی نشان داده شده در شکل فوق، به علت استفاده از بتن با کیفیت نامناسب، شیوه‌ی تراکم نادرست، عدم اتصال مناسب آجرنما به سطح زیرکار و ... در محل تراز طبقه دچار گسیختگی شده است.

ضعف بتن ریزی در محل اتصال شناژ قائم به افقی

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

وزن آب مورد نیاز $= ۲۵۸ - (۱۳ + ۸) = ۲۳۷ kg/m^۳$

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

پرسش

۱ــ هدف از طرح اختلاط بتن چیست؟ عوامل مؤثر بر آن را شرح دهید.

۲ــ لزوم ساخت مخلوط‌های آزمایشی چیست؟

۳ــ کیفیت بتن در وهله‌ی اول به چه چیزی بستگی دارد؟

۴ــ کارآیی بتن را تعریف کنید و بگویید میزان کارآیی به چه عواملی بستگی دارد.

۵ــ اگر بخواهید یک عضو بتنی را که مقطع آن دارای گوشه‌های متعدد است بتن‌ریزی کنید، میزان کارآیی بتن مصرفی را چقدر انتخاب می‌کنید؟

۶ــ منظور از دوام بتن چیست؟

۷ــ در یک منطقه‌ی سردسیر، مهم‌ترین عامل تخریب بتن چیست و برای جلوگیری از تخریب آن چه مواردی در طرح بتن باید در نظر گرفته شود؟

۸ــ چگونه می‌توان مقاومت بتن را در برابر املاح و مواد مضر در آب و خاک افزایش داد؟

۹ــ مهم‌ترین عامل در طرح بتن باند فرودگاه چه می‌تواند باشد؟

۱۰ــ در طرح بتن یک اسکله‌ی نفتی در خلیج‌فارس چه عاملی بسیار مهم است و چه تمهیداتی باید به کار برده شود؟

۱۱ــ مراحل طرح اختلاط بتن را بیان کنید.

۱۲ــ آبی که در مخلوط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد، صرف چه مواردی می‌شود؟

۱۳ــ مطلوب است طرح مخلوط بتنی با مشخصات زیر :

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

ــ نوع سیمان : پرتلند معمولی

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

ــ ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه براساس استاندارد BS882 : ناحیه‌ی دو

ــ حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها : ۴۰mm

ــ اسلامپ خواسته شده : ۵۰mm

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

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

فصل چهارم

میل‌گردهای فولادی در بتن مسلح

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ دلایل اصلی مصرف فولاد در بتن را نام ببرد ؛

۲ــ مزایای بتن مسلح را نام ببرد ؛

۳ــ بتن پیش‌تنیده را توضیح دهد ؛

۴ــ انواع فولادهای مصرفی در بتن و روش‌های تولید آن‌ها را نام ببرد ؛

۵ــ چگونگی سطح میل‌گردها را بیان کند ؛

۶ــ شکل‌های رایج و کاربرد میل‌گردها را در بتن نام ببرد ؛

۷ــ براساس آیین‌نامه، خم و قلاب‌های میل‌گردها را بیان کند ؛

۸ــ حداقل فاصله‌ی پوشش بتن برای محافظت میل‌گردها را بیان کند ؛

۹ــ انواع وصله‌ی میل‌گردها را نام ببرد ؛

۱۰ــ روش‌های مختلف حفاظت و انبارکردن میل‌گردهای فلزی را توضیح دهد.

این پل بتنی به مدد طراحی و اجرای مناسب توانسته است، بدون تحمل آسیب‌های سازه‌ای، پایدار بماند و برای سرویس‌دهی پس از زمین‌لرزه مورد استفاده قرار گیرد. خراب شدن این‌گونه سازه‌ها، می‌تواند امر امدادرسانی پس از وقوع زلزله را دچار اختلال کند و صدمات و تلفات را افزایش دهد.

۴ــ۱ــ مصرف فولاد در بتن

۴ــ۱ــ۱ــ علت اصلی مصرف فولاد: بتن دارای مقاومت زیادی در فشار است، بنابراین استفاده از آن برای قطعات تحت فشار مانند ستون‌ها و قوس‌ها بسیار مناسب است. ولی به علت مقاومت کششی کم و شکنندگی نسبتاً زیاد بتن، استفاده از آن برای قطعاتی که تماماً یا به‌طور موضعی تحت کشش هستند، محدود می‌شود. برای رفع این محدودیت، اعضای بتنی را با قرار دادن فولاد در آن‌ها تقویت می‌کنند و جسم مرکبی را که بدین ترتیب حاصل می‌شود، بتن‌آرمه یا بتن مسلّح می‌نامند.

بنابراین ایده‌ی اصلی در ایجاد بتن مسلح، استفاده از بتن، برای تحمل فشار و فولاد که معمولاً آرماتور یا میل‌گرد نامیده می‌شود، برای تحمل کشش است. البته سایر اعضای بتنی نظیر ستون‌ها را که عمدتاً تحت نیروهای فشاری هستند، با میل‌گردهای فولادی نیز مسلح می‌کنند. وجود میل‌گرد در چنین اعضایی سبب افزایش مقاومت می‌گردد، زیرا فولاد علاوه‌بر کشش، در فشار نیز مقاومت بالایی دارد.

۴ــ۱ــ۲ــ عوامل اصلی موفقیت بتن مسلح: اساس رفتار مشترک فولاد و بتن، اجتماع دو خاصیت مهم فیزیکی و مکانیکی این دو ماده با یکدیگر است. اول آن‌که بتن، در اثر سخت شدن، چسبندگی قابل ملاحظه‌ای با آرماتور فولادی پیدا می‌کند. هنگامی که به یک عضو

ترک بتن در اثر کم بودن سطح مقطع آرماتور در ستون.
درست است که ایده‌ی اصلی در ایجاد بتن مسلح، استفاده از بتن برای تحمل فشار و میل‌گردهای فولادی برای تحمل کشش است، اما در بعضی از اعضای بتنی نظیر ستون‌ها که عمدتاً تحت نیروهای فشاری هستند، موجب افزایش مقاومت این عضو می‌شود. در این شکل کم بودن سطح مقطع آرماتورها، موجب کاهش مقاومت ستون شده و ترک‌هایی را در این عضو پدید آورده است.

بتن‌آرمه، باری وارد می‌شود، این چسبندگی سبب می‌شود که هر دو ماده‌ی فولاد و بتن با هم تغییر شکل دهند. دوم آن‌که، بتن و فولاد دارای ضرایب انبساط حرارتی تقریباً یکسانی می‌باشند (مقدار این ضریب به‌طور متوسط برای بتن برابر با ۱×۱۰^{-۵} و برای فولاد برابر با $۱/۲\times۱۰^{-۵}$ به‌ازای هر درجه‌ی سانتی‌گراد است) و در نتیجه، دراثر تغییرات درجه حرارت، در هیچ یک از دو ماده تنش‌های اولیه‌ی قابل توجهی ایجاد نمی‌شود و لغزشی بین فولاد و بتن رخ نمی‌دهد.

۴ــ۱ــ۳ــ سایر مزایای بتن مسلح: بتن مسلح علاوه‌بر این‌که دارای مقاومت نسبتاً بالایی است، در مقابل شرایط نامساعد محیطی نیز مقاومت خوبی دارد، زیرا پوشش بتنی روی میل‌گردها، آن‌ها را در مقابل خوردگی و اثر مستقیم آتش‌سوزی محافظت می‌نماید. تجربه نشان داده است که در آتش‌سوزی‌های با شدت متوسط، سازه‌های بتن مسلح تنها دچار خسارت‌های سطحی شده، خللی در مقاومت و ظرفیت باربری آن‌ها به وجود نمی‌آید.

ساختمان‌های مرتفع مسکونی و اداری، ساختمان‌های صنعتی، پل‌ها، سیلوها، تونل‌ها، انواع پوسته‌ها، سازه‌های هیدرولیکی و بسیاری از سازه‌های دیگر، از جمله مواردی هستند که اسکلت اصلی و باربر آن‌ها از بتن مسلح تشکیل شده است.

۴ــ۱ــ۴ــ بتن پیش‌تنیده: یکی از جنبه‌های خاص رفتار سازه‌های بتن مسلح تحت اثر بارهای وارده، امکان ایجاد ترک در قسمت‌های کششی مقاطع اعضای بتنی است. البته به وجود آمدن چنین ترک‌هایی تحت بارهای معمولی وارد بر سازه، غالباً به قدری کم اهمیت است که به هیچ‌وجه کاربری سازه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. اما چنان‌چه در موارد خاصی، با توجه به عملکردی که از سازه انتظار می‌رود، وجود این ترک‌ها به‌عنوان یک نقص تلقی شود و لازم باشد از ایجاد ترک جلوگیری شود و یا میزان بازشدگی آن محدود گردد، از ایده‌ی پیش‌تنیدگی بتن استفاده می‌گردد. در این روش به جای میل‌گرد از فولادهای با مقاومت بالا که به‌صورت مفتول یا کابل می‌باشد، استفاده می‌شود. بدین ترتیب که قبل از بتن‌ریزی، کابل‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای کشیده می‌شوند و پس از بتن‌ریزی و گرفتن بتن و ایجاد چسبندگی کامل بین فولاد و بتن، عامل کشش در فولاد حذف شده و درنتیجه کلیه‌ی نیروی کششی فولاد به‌صورت فشاری به بتن وارد می‌شود. بنابراین بتن قبل از بارگذاری دارای تنش‌های فشاری در تمام نقاط خود می‌باشد. حال وقتی این عضو تحت خمش قرار می‌گیرد، تا مرحله‌ای که تنش‌های فشاری موجود، تنش‌های کششی ناشی از خمش را خنثی می‌نماید، عضو می‌تواند باربری داشته باشد. با استفاده از این شیوه، ترک‌های موجود در ناحیه‌ی کششی بتن مسلح معمولی حذف شده و همچنین از تغییر شکل‌های خمشی نیز به مراتب کاسته می‌شود.

۴ــ۲ــ انواع فولادهای مصرفی در بتن مسلح

فولادهای مورد استفاده در بتن مسلح شامل میل‌گرد، سیم و شبکه‌های جوش شده از سیم می‌باشد. البته در موارد خاصی، از فولاد ساختمانی مانند نیم‌رخ‌های I شکل، ناودانی یا قوطی نیز برای مسلح‌کردن بتن استفاده می‌شود.

همان‌طورکه طراحی نامناسب و اجرای نادرست اعضای بتنی منجر به وقوع حوادث دلخراشی می‌شود، برعکس، طراحی و اجرای صحیح نیز می‌تواند یک بنا را از خطر تخریب دراثر زلزله محفوظ نگه دارد. عکس بالا، یکی از ستون‌های بنای عظیم مسجد جامع شهر بم می‌باشد که کاملاً سالم مانده است.

پل طره‌ای پیش‌تنیده در حال اجرا، حاکی از عملکرد بسیار عالی پیش‌تنیدگی در قطعات بتنی است.

استفاده از تکنیک پیش‌تنیدگی در اجرای یک پل مدرن به شیوه‌ی طره‌ی آزاد

استفاده از میل‌گردهای ساده (بدون آج) به‌عنوان عناصر تسلیح (به‌ویژه عناصر تسلیح طولی) در یک عضو بتن مسلح، عدم وجود خم در یک انتهای خاموت، کامل نبودن حلقه‌ی خاموت و کیفیت نامطلوب بتن مصرفی باعث انهدام این عضو بتن مسلح شده است.

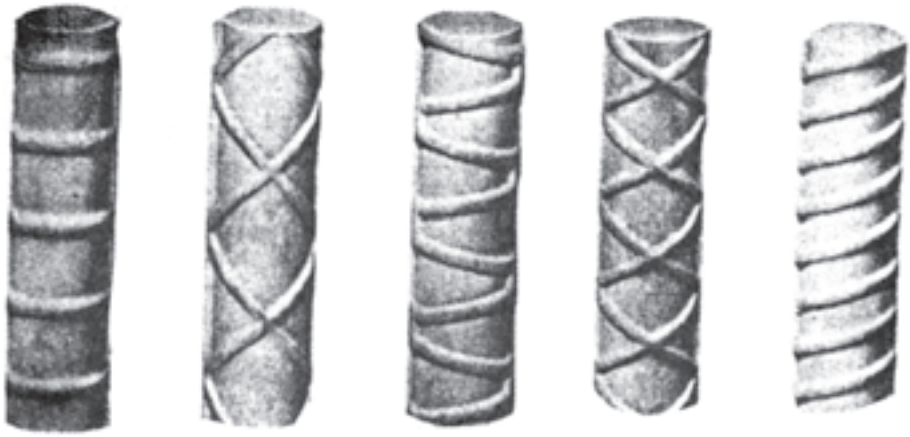
۴ــ۲ــ۱ــ روش‌های تولید: آرماتور فولادی معمولاً به یکی از روش‌های زیر تولید می‌گردد :

۱ــ فولاد نورد شده در حالت گرم (گرم نورد شده)

۲ــ فولاد اصلاح شده در حالت سرد به‌وسیله‌ی عملیات مکانیکی از قبیل پیچاندن، کشیدن، نوردکردن یا گذراندن از حدیده (سرد اصلاح شده)

۳ــ فولاد ویژه که با عملیاتی مانند گرمایش و آب‌دادگی سخت شده است (گرم عمل آمده)

۴ــ۲ــ۲ــ چگونگی سطح میل‌گردها: از نظر شکل ظاهری، سطح میل‌گردها و سیم‌ها یا صاف است و یا این که دارای قدری برآمدگی و فرورفتگی می‌باشد، نوع اول را میل‌گرد یا سیم صاف و نوع دوم را میل‌گرد یا سیم آجدار می‌نامند. ناهمواری سطح میل‌گرد یا سیم که برای افزایش چسبندگی فولاد با بتن تعبیه می‌شود، در میل‌گردهای آجدار به‌صورت برآمدگی و در سیم‌های آجدار به‌صورت فرورفتگی می‌باشد. امروزه عموماً آیین‌نامه‌های بتن، فقط استفاده از میل‌گردها و سیم‌های آجدار را مجاز می‌دانند. این توصیه مخصوصاً در ساختمان‌سازی در مناطق زلزله‌خیز قابل تأکید است. در شکل ۴ــ۱ سطح ظاهری چند نمونه میل‌گرد آجدار نمایش داده شده است. در نقشه‌کشی میل‌گرد ساده را با ϕ و میل‌گرد آجدار را با $\bar{\Phi}$ نشان می‌دهند.



شکل ۴ــ۱ــ سطح ظاهری میل‌گردهای آجدار

۴ــ۲ــ۳ــ ابعاد میل‌گردها: قطر میل‌گردها بستگی به استاندارد مورد استفاده در کشورهای مختلف دارد و معمولاً بین ۶ تا ۶۰ میلی‌متر است. سیم‌ها با قطرهای کوچک‌تر ساخته می‌شوند و بسته به استاندارد مورد استفاده، ممکن است در اندازه‌های ۳ تا ۱۵ میلی‌متر تولید گردند. میل‌گردها در قطرهای ۶ الی ۳۲ میلی‌متر به‌راحتی در بازار یافت می‌شوند ولی برای قطرهای بزرگ‌تر باید سفارش مخصوص داده شود. طول معمول میل‌گردهای تولیدی ۱۲ متر است. برای طول‌های بزرگ‌تر میل‌گردها را به یکدیگر وصله می‌کنند و یا در صورت لزوم در طول‌های بزرگ‌تر به‌طور سفارشی تهیه می‌گردد. در جدول ۴ــ۱ سطح مقطع و وزن واحد طول میل‌گردها با قطرهای مختلف ارائه شده است.

جدا شدن ستون در محل اتصال به تیرهای سقف به دلیل عدم پیوستگی بتن و آرماتور به شکلی که اتصال قبل از تسلیم شدن آرماتور دچار گسیختگی گردیده است.

جدول ۴ــ۱ــ مشخصات میل‌گردهای فولادی

قطر	سطح مقطع (cm^2)	وزن واحد (kg/m)
۶	۰/۲۸۳	۰/۲۲۲
۸	۰/۵۰۳	۰/۳۹۵
۱۰	۰/۷۸۵	۰/۶۱۷
۱۲	۱/۱۳	۰/۸۸۸
۱۴	۱/۵۴	۱/۲۱
۱۶	۲/۰۱	۱/۵۸
۱۸	۲/۵۵	۲
۲۰	۳/۱۴	۲/۴۷
۲۲	۳/۸۰	۲/۹۸
۲۴*	۴/۵۲	۳/۵۵
۲۵	۴/۹۱	۳/۸۵
۲۶*	۵/۳۱	۴/۱۷
۲۸	۶/۱۶	۴/۸۳
۳۰	۷/۰۷	۵/۵۵
۳۲	۸/۰۴	۶/۳۱
* در استانداردهای یونسکو (UNESCO) میل‌گردهای ۲۴ و ۲۶ وجود ندارد.		

۴ــ۲ــ۴ــ مشخصات مکانیکی میل‌گردها: از لحاظ مشخصات مکانیکی، طبق استاندارد روسی، در ایران سه نوع میل‌گرد A، A و A یافت می‌شود، مشخصات مکانیکی این فولادها شامل تنش جاری شدن (تسلیم)، تنش گسیختگی و تغییر شکل نسبی (کرنش) نهایی، در جدول ۴ــ۲ آمده است. هر سه نوع فولاد نام‌برده از نوع گرم نورد شده، هستند.

جدول ۴ــ۲ــ مشخصات مکانیکی میل‌گردهای موجود در ایران

نوع فولاد میل‌گرد	تنش جاری‌شدن (N/mm^2)	تنش گسیختگی (N/mm^2)	تغییر شکل نسبی در هنگام گسیختگی (درصد)
AI	۲۲۰	۳۸۰	۲۵
AII	۳۰۰	۵۰۰	۱۹
AIII	۴۰۰	۶۰۰	۱۴

بدون توجه به محل خرید، میل‌گرد تهیه شده برای ساخت اعضای بتن مسلح باید مورد آزمایش قرار گیرد تا از تطبیق مقاومت آن با مقاومت مورد نظر طراح سازه، اطمینان حاصل شود. در ضمن حداقل تغییر شکل نسبی در هنگام گسیختگی نباید از ۸ درصد کم‌تر باشد.

خرابی راه‌پله براثر خرابی دال شمشیری بتنی، که به نظر می‌رسد به دلیل کیفیت بسیار نامناسب بتن، نمایان بودن میل‌گردهای طولی به دلیل کمبود و یا فروریزی بتن پوشش و عدم پیوستگی آن‌ها با بتن و نیز وصله‌ی نامناسب میل‌گردها بوده است.

علت ظاهری خرابی این ساختمان که متعلق به اورژانس بیمارستان است، نبودن پیوستگی لازم بین میل‌گرد و بتن و نیز جدا شدن آن‌ها از یکدیگر و عدم رعایت فواصل صحیح بین خاموت‌ها بوده است. این قبیل نقص‌ها به دو صورت موجب خرابی می‌شود ؛ یکی به دلیل شکسته شدن و یا جدا شدن بتن، که میل‌گرد آزاد و از بتن جدا می‌گردد، و دیگری به علت ضعف چسبندگی و اتصال بین بتن و میل‌گرد، جابه‌جایی و گسیختگی آرماتور رخ می‌دهد. همان‌طورکه در عکس فوق مشاهده می‌شود، به‌علت ساده بودن میل‌گرد مصرفی و نبودن پیوستگی کافی بین بتن و میل‌گرد، میل‌گرد به‌سادگی و با تحمل کم‌ترین تنش از بتن جدا شده است.

اجرا و طراحی صحیح ساختمان بتن مسلح، آن را در برابر زلزله ایمن نگه داشته است.

۴ــ۲ــ۵ــ شبکه‌های جوش شده از سیم[1]: این شبکه از دو گونه سیم عمود بر هم تشکیل شده است که به‌وسیله‌ی جوش مقاومتی به یکدیگر متصل شده‌اند. تنش جاری شدن مفتول‌ها مساوی $5000\ kg/cm^2$ است.

از شبکه‌ها در دال‌ها، دیوارها و پوسته‌های نازکی استفاده می‌شود که امکان عملیات میل‌گرد گذاری در آن‌ها نیست. شبکه‌ها در ابعاد حداکثر ۹ متر در ۲/۵ متر ساخته می‌شوند.

مشخصات شبکه‌های جوش شده از مفتول به این صورت بیان می‌گردد :

$$WWF = \frac{t / t_1 / \phi_d / \phi_{d_1}}{B / L}$$

B = عرض شبکه به میلی‌متر،

L = طول شبکه به میلی‌متر،

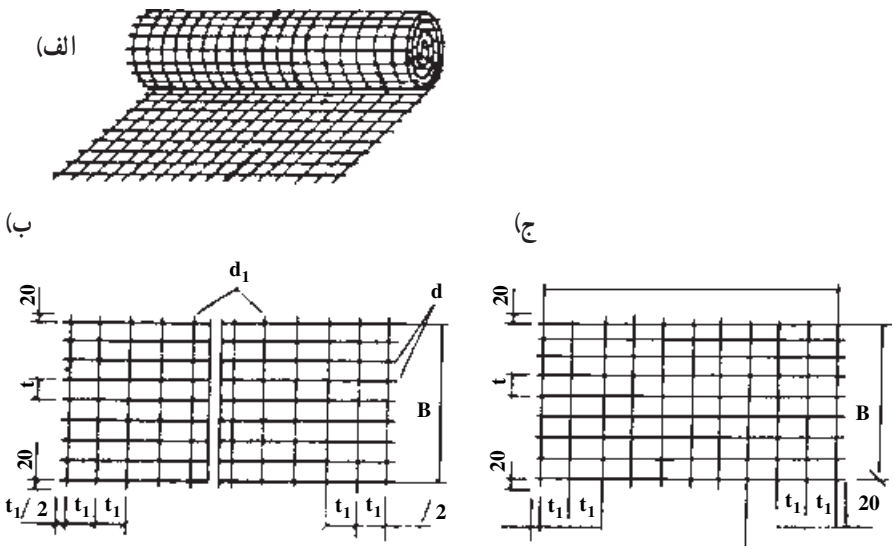
t = فاصله‌ی دو آرماتور طولی به میلی‌متر،

t_1 = فاصله‌ی دو آرماتور عرضی به میلی‌متر،

d = قطر آرماتور طولی،

d_1 = قطر آرماتور عرضی.

مشخصات یاد شده در شکل ۴ــ۲ نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۲ــ شبکه‌های جوش شده از مفتول (WWF)

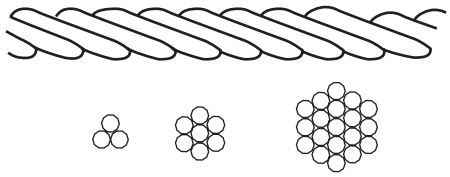
مثال: از طریق رابطه‌ی WWF شبکه‌ای با این مشخصات معرفی کنید : عرض شبکه ۲۳۰۰ میلی متر، طول شبکه ۵۹۰۰ میلی‌متر، فاصله‌ی آرماتورهای طولی ۱۵۰ میلی‌متر، فاصله‌ی آرماتورهای عرضی ۱۰۰ میلی‌متر، قطر آرماتورهای طولی ۴ میلی‌متر و قطر آرماتورهای عرضی ۳ میلی‌متر.

چگونگی نمایش شبکه با مشخصات یاد شده :

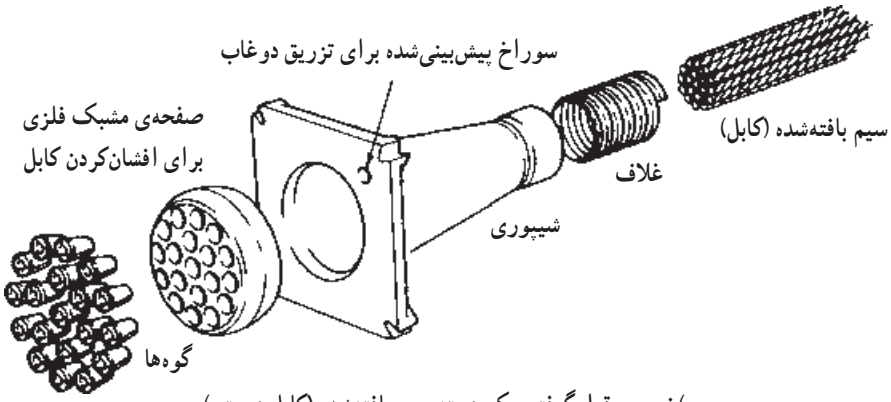
$$WWF = \frac{۱۵۰ / ۱۰۰ / \phi_۴ / \phi_۳}{۲۳۰۰ / ۵۹۰۰}$$

۱ــ Welded Wire Fabric (WWF)

۴ــ۲ــ۶ــ سیم‌ها و کابل‌های پیش‌تنیده: در اعضای بتنی پیش‌تنیده، سیم‌ها به‌صورت تکی و یا گروهی (که اصطلاحاً به آن‌ها رشته یا کابل می‌گویند) مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۴ــ۳).



الف) کابل ۳، ۷ و ۱۹ سیمی



ب) نحوه‌ی قرارگرفتن یک دسته سیم بافته‌شده (کابل در بتن)

شکل ۴ــ۳

معمول‌ترین رشته‌ها، رشته‌ی ۷سیمه است که یک سیم مرکزی توسط ۶ سیم محیطی به‌صورت مارپیچ دورگیر شده است. در هنگام ساخت رشته، سیم‌ها آجدار می‌شوند و به‌طور محکم کنار یکدیگر قرار می‌گیرند تا هیچ‌گونه حرکت نسبی نسبت به یکدیگر نداشته باشند. رشته‌های ۷سیمه با سیم‌هایی به قطر ۱/۵ تا ۵ میلی‌متر تولید می‌شوند. قطر رشته‌ی ۷ سیمه سه برابر قطر سیم تشکیل‌دهنده‌ی آن است. سطح مارپیچ یک رشته، چسبندگی قابل اعتمادی میان کابل و بتن به‌دست می‌دهد. مقاومت نهایی رشته‌های متداول بین ۱۷۰۰۰ تا ۱۸۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که در کارهای پیش‌تنیده از ۱۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع کشیده می‌شوند.

۴ــ۳ــ شکل‌های رایج و کاربرد میل‌گردها در بتن

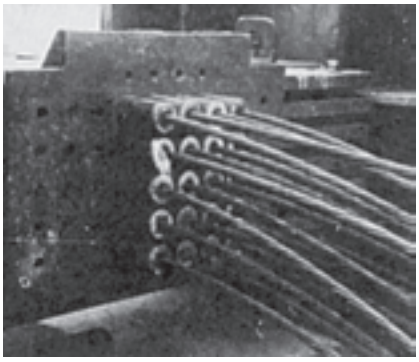
میل‌گردها به شکل‌های مختلف در اعضای بتنی مسلح مورد استفاده قرار می‌گیرند که معمولاً در نقشه‌های سازه‌ای، به‌طور دقیق ترسیم می‌گردند. برخی از اشکال مهم در شکل ۴ــ۴ ارائه شده است که کاربردهای مختلف آن‌ها در زیر ذکر می‌گردد :

الف) میل‌گرد راستا: برای افزایش مقاومت کششی بتن.

ب) خاموت: برای جلوگیری از بیرون‌زدگی آرماتورهای طولی در اثر کمانش و تحمل نیروهای برشی و جلوگیری از گسترش ترک.

ج) سنجاقک: برای تقویت مقاومت برشی خاموت‌ها و اتصال کامل بین میل‌گردهای طولی و خاموت.

گوه‌گذاری کابل‌ها برای پیش‌تنیدگی بتن



مهار انتهایی کابل‌های پیش‌تنیده برای تیرهای حمال پل‌های بزرگ. در شکل ۲۰ کابل ۰/۵ اینچ نشان داده شده است.

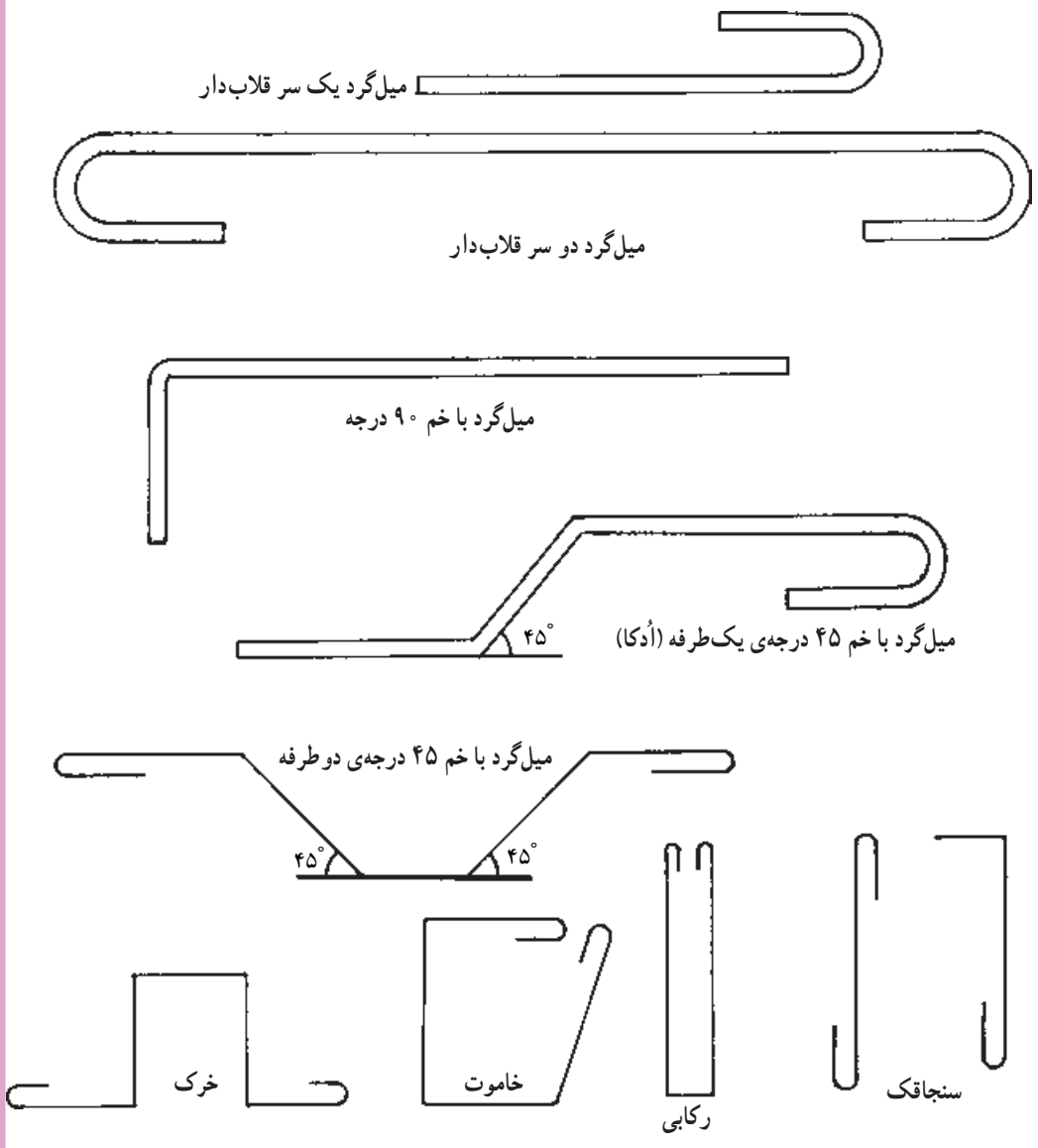
انواع خاموت‌گذاری ستون‌ها

د) خرک: برای قرار دادن دو شبکه‌ی متوالی افقی با فاصله‌ی معین در داخل قالب (در بتن ریزی‌های کف و فونداسیون).

هـ) رکابی: برای در امتداد نگاه‌داشتن آرماتورهای طولی یا عمودی در بتن‌ریزی دیوارها (به شکل حرف U انگلیسی).

و) میل‌گرد ادکا: برای تحمل لنگرهای منفی در تکیه‌گاه‌های تیر (تیرهای یکسره) و برای تحمل نیروهای برشی.

در این ساختمان جدیدالاحداث کلاف قائم به شکل نامطلوبی اجرا شده است. فاصله‌ی زیاد بین خاموت‌ها، ضخامت کم پوشش بتن محافظ میل‌گردها و کیفیت نامطلوب بتن، از موارد بررسی شده در ساختمان مزبور است.

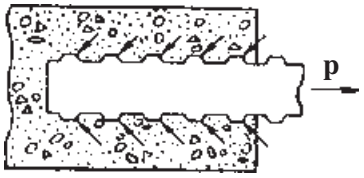


شکل ۴ــ۴ــ شکل‌های مختلف میل‌گردها

۴ــ۴ــ پیوستگی و مهار میل‌گرد در بتن

عامل اصلی در عملکرد یک قطعه بتن مسلّح به عنوان یک جسم یکپارچه، پیوستگی و چسبندگی کامل بین میل‌گرد و بتن است، تا در صورت کشیده‌شدن میل‌گرد تا حد پاره‌شدن، پیوستگی بین میل‌گرد و بتن قطع نشود.

طبیعت پیوستگی و چسبندگی بین میل‌گرد و بتن، اصطکاک موجود در سطح تماس آن‌ها می‌باشد. در میل‌گردهای صاف، این اصطکاک بسیار ناچیز است. برای بهبود اصطکاک بین میل‌گرد و بتن، از میل‌گردهای آجدار استفاده می‌شود و به همین دلیل است که آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، استفاده از میل‌گردهای صاف را در اعضای بتن مسلح مجاز نمی‌داند. در شکل ۴ــ۵ اصطکاک بین میل‌گردهای آجدار و بتن نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۵ــ اصطکاک بین میل‌گردهای آجدار و بتن

۴ــ۵ــ استانداردهای خم قلاب انتهای میل‌گردها

در مواردی که براساس نقشه‌های سازه‌ای باید انتهای میل‌گردها دارای خم باشد، برای جلوگیری از خرد شدن یا ترکیدن بتن دراثر فشارهای متمرکز ایجاد شده در داخل خم، حداقل قطر خم باید از ضوابط آیین‌نامه‌ای تبعیت نماید. طبق آیین‌نامه‌ی بتن ایران (آبا)، ضوابط قلاب‌ها به شرح زیر می‌باشد :

۴ــ۵ــ۱ــ قلاب‌های استاندارد : در این آیین‌نامه هر یک از خم‌های مشروح زیر قلاب استاندارد تلقی می‌شود :

الف) میل‌گردهای اصلی

ــ خم نیم‌دایره (قلاب انتهایی ۱۸۰ درجه) به اضافه‌ی حداقل $4\,d_b$ طول مستقیم ولی نه کم‌تر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میل‌گرد (d_b ، قطر اسمی میل‌گرد یا سیم برحسب میلی‌متر است).

ــ خم ۹۰ درجه (گونیا) به اضافه‌ی طول مستقیم برابر حداقل $12\,d_b$ در انتهای آزاد میل‌گرد.

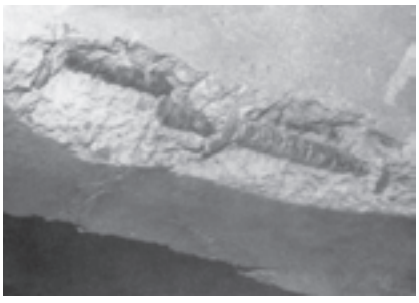
ــ خم ۱۳۵ درجه (چنگک) به اضافه‌ی طول مستقیم $8\,d_b$ در انتهای آزاد میل‌گرد.

ب) خاموت‌ها

ــ خم ۹۰ درجه (گونیا) به اضافه‌ی حداقل $4\,d_b$ طول مستقیم ولی نه کم‌تر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میل‌گرد، برای میل‌گردهای به قطر ۱۶ میلی‌متر و کم‌تر.

ــ خم ۹۰ درجه (گونیا) به اضافه‌ی حداقل $12\,d_b$ طول مستقیم در انتهای آزاد میل‌گرد، برای میل‌گردهای به قطر بیش‌تر از ۱۶ میلی‌متر و کم‌تر از ۲۵ میلی‌متر.

بدون شرح !!!



ترک خمشی ایجاد شده، در اثر میزان کم طول وصله‌ی میل‌گردهای کششی اصلی

ـ خم ۱۳۵ درجه (چنگک) به اضافه‌ی حداقل $6d_b$ طول مستقیم ولی نه کم‌تر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میل‌گرد.

ـ خم نیم‌دایره (۱۸۰ درجه) به اضافه‌ی حداقل $4d_b$ طول مستقیم ولی نه‌کم‌تر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میل‌گرد.

در صورت استفاده از هر نوع قلاب غیراستاندارد، باید جزئیات کامل آن‌ها در نقشه‌های اجرایی نشان داده شود.

۴ـ۵ـ۲ـ حداقل قطر خم‌ها

الف) قطر داخلی خم‌ها به جز برای خاموت‌ها نباید از مقادیر مندرج در جدول ۴ـ۳ کم‌تر اختیار شود :

جدول ۴ـ۳ـ حداقل قطر خم‌ها

قطر میل‌گرد	حداقل قطر خم		
	S220[1]	S350 و S300	S500 و S400
کم‌تر از ۲۸ میلی‌متر	$5d_b$	$5d_b$	$6d_b$
۲۸ تا ۳۴ میلی‌متر	$5d_b$	$6d_b$	$8d_b$
۳۶ تا ۵۵ میلی‌متر*	$7d_b$	$10d_b$	$10d_b$

* برای خم‌کردن میل‌گردهای به قطر ۳۶ میلی‌متر و بیش‌تر و با زاویه‌ی بیش‌تر از ۹۰ درجه به روش‌های خاصی نیاز است.

ب) قطر داخلی خم‌ها برای خاموت‌های به قطر بیش‌تر از ۱۶ میلی‌متر نباید کم‌تر از مقادیر مندرج در جدول ۴ـ۳ و برای خاموت‌های به قطر ۱۶ میلی‌متر و کم‌تر، نباید از مقادیر جدول ۴ـ۴ کم‌تر اختیار شود.

جدول ۴ـ۴ـ حداقل قطر خم‌ها برای خاموت‌ها

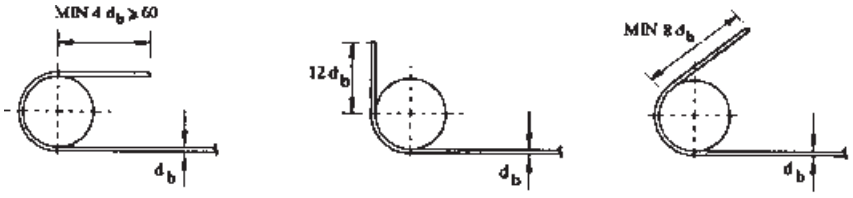
قطر میل‌گرد	حداقل قطر خم		
	S220	S350 و S300	S500 و S400
۱۶ میلی‌متر و کم‌تر	$2.5d_b$	$4d_b$	$4d_b$

ج) قطر داخلی خم‌ها در شبکه‌های سیمی جوش شده‌ی صاف یا آجدار، وقتی که به‌عنوان آرماتور عرضی به‌کار برده می‌شوند، نباید کم‌تر از $4d_b$ برای سیم‌های آجدار به قطر ۷ میلی‌متر و بیش‌تر، و کم‌تر از $2d_b$ برای سایر سیم‌ها باشد. خم‌های با قطر داخلی کم‌تر از $8d_b$ نباید از نزدیک‌ترین گره جوش شده فاصله‌ای کم‌تر از $4d_b$ داشته باشد.

جزئیات ضوابط مذکور در شکل ۴ـ۶ نیز نشان داده شده است.

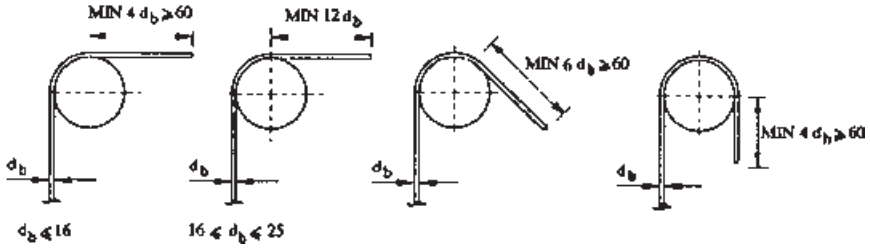
۱ـ اعداد بعد از S بیانگر حداقل مقاومت مشخصه‌ی فولاد بر حسب N/mm^2 می‌باشند. میل‌گردهای فولادی بر اساس مقاومت مشخصه طبقه‌بندی می‌شوند.

جدا شدن تیر از ستون بتن مسلح و کیفیت نامناسب بتن در محل اتصال تیر و ستون و اصلاح مجدد سطح آن به‌وسیله‌ی ملات در خور تأمل است. جداشدن تیر از ستون می‌تواند ناشی از عدم تأمین طول مهاری لازم برای میل‌گردهای تیر باشد. همچنین استفاده از مصالح سنگین و سخت با اجرای نامناسب به‌عنوان میانقاب، از ضعف‌های عمده‌ی این سازه است.



خم انتهایی ۱۳۵ درجه (چنگک) | خم انتهایی ۹۰ درجه (گونیا) | خم انتهایی ۱۸۰ درجه (قلاب انتهایی)

قلاب‌های استاندارد برای میل‌گرد (به‌جز خاموت‌ها)



قلاب‌های استاندارد برای خاموت‌ها

شکل ۴ــ۶ــ قلاب‌های استاندارد

بتن‌ریزی نامناسب در محل اتصال موجب شده تا آرماتور به حد جاری‌شدن نرسد و بتن جدا گردد.

۴ــ۶ــ پوشش بتنی روی میل‌گردها

پوشش بتنی روی میل‌گردها برابر است با حداقل فاصله‌ی بین رویه‌ی میل‌گردها، اعم از طولی یا عرضی تا نزدیک‌ترین سطح آزاد بتن.

طبق آیین‌نامه‌ی بتن ایران، ضخامت پوشش بتنی روی میل‌گردها برحسب وضعیت محیطی مطابق جدول ۴ــ۵ است. در این جدول وضعیت محیطی در حالات مختلف بدین گونه تعریف می‌شود.

۱ــ وضعیت محیطی ملایم: به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن هیچ نوع عامل مهاجم از قبیل رطوبت، تعریق، تر و خشک شدن متناوب، یخ‌زدگی، تماس با خاک‌های مهاجم، مواد خورنده، فرسایش شدید، عبور وسایل نقلیه و خطر ضربه موجود نباشد.

۲ــ وضعیت محیطی متوسط: به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن قطعات بتنی در معرض رطوبت و گاهی تعریق قرار می‌گیرند.

۳ــ شرایط محیطی شدید: وضعیتی است که در آن قطعات بتنی در معرض رطوبت یا تعریق شدید، تر و خشک شدن متناوب و یا یخ‌زدگی سطحی قرار می‌گیرند.

۴ــ وضعیت محیطی بسیار شدید: به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن قطعات بتنی در معرض گازها، مایعات، مواد خورنده و یا رطوبت همراه با یخ‌زدگی شدید قرار می‌گیرند.

۵ــ وضعیت محیطی فوق‌العاده شدید: وضعیتی است که در آن قطعات بتنی در معرض فرسایش شدید، عبور وسایل نقلیه و یا آب جاری با pH حداکثر ۴/۵ قرار می‌گیرند.

ضخامت پوشش بتن برای محافظت میل‌گردها متناسب با نوع وضعیت محیطی یا کیفیت بتن و نوع قطعه‌ی مورد نظر نباید از مقادیر مندرج در جدول ۴ــ۵ کم‌تر باشد.

جدول ۴ــ۵ــ مقادیر حداقل پوشش بتنی روی میل‌گرد به میلی‌متر

نوع قطعه	نوع وضعیت محیطی				
	ملایم	متوسط	شدید	بسیار شدید	فوق‌العاده شدید
تیرها و ستون‌ها	۳۵	۴۵	۵۰	۶۵	۷۵
دال‌ها ــ دیوارها ــ تیرچه‌ها	۲۰	۳۰	۳۵	۵۰	۶۰
پوسته‌ها و صفحات پلیسه‌ای	۱۵	۲۵	۳۰	۴۵	۵۵

این مقادیر برای میل‌گردهای با قطر بیش‌تر از ۳۶ میلی‌متر به اندازه‌ی ۱۰ میلی‌متر افزایش داده می‌شود. این مقادیر را برای بتن‌های با رده‌های C35[1] و C40 می‌توان به اندازه‌ی ۵ میلی‌متر و برای بتن‌های با رده‌های بالاتر تا ۱۰ میلی‌متر کاهش داد.

در صورتی که بتن روی خاک ریخته شود و دائم با آن در تماس باشد ضخامت پوشش نباید کم‌تر از ۷۵ میلی‌متر انتخاب شود.

۴ــ۷ــ وصله‌ی میل‌گردها

به علت محدودیت طول میل‌گردهای موجود در بازار و همچنین به خاطر جلوگیری از دورریز آن‌ها اغلب مجبور به استفاده از وصله در میل‌گردها می‌شویم. به‌عنوان یک دستور کلی باید از وصله‌ی میل‌گردها در نواحی حداکثر تنش، خودداری نماییم و درصورتی‌که مجبور به این عمل شدیم، بهتر است که همه‌ی میل‌گردها را در یک مقطع وصله نکنیم و به صورت یک درمیان یا پله‌ای انجام دهیم. روش‌های متداول برای وصله‌ی میل‌گردها عبارت است از :

۱ــ وصله‌های پوششی (تماسی یا غیرتماسی)

۲ــ وصله‌های اتکایی (فقط برای میل‌گردهای فشاری مجاز است)

۳ــ وصله‌های جوشی

۴ــ وصله‌های مکانیکی

۵ــ وصله‌های مرکب

در صورت استفاده از هرکدام از انواع فوق باید ضوابط دقیق آیین‌نامه رعایت شود. در شکل ۴ــ۶ انواع روش‌های متداول برای وصله‌ی میل‌گردها نشان داده شده است.

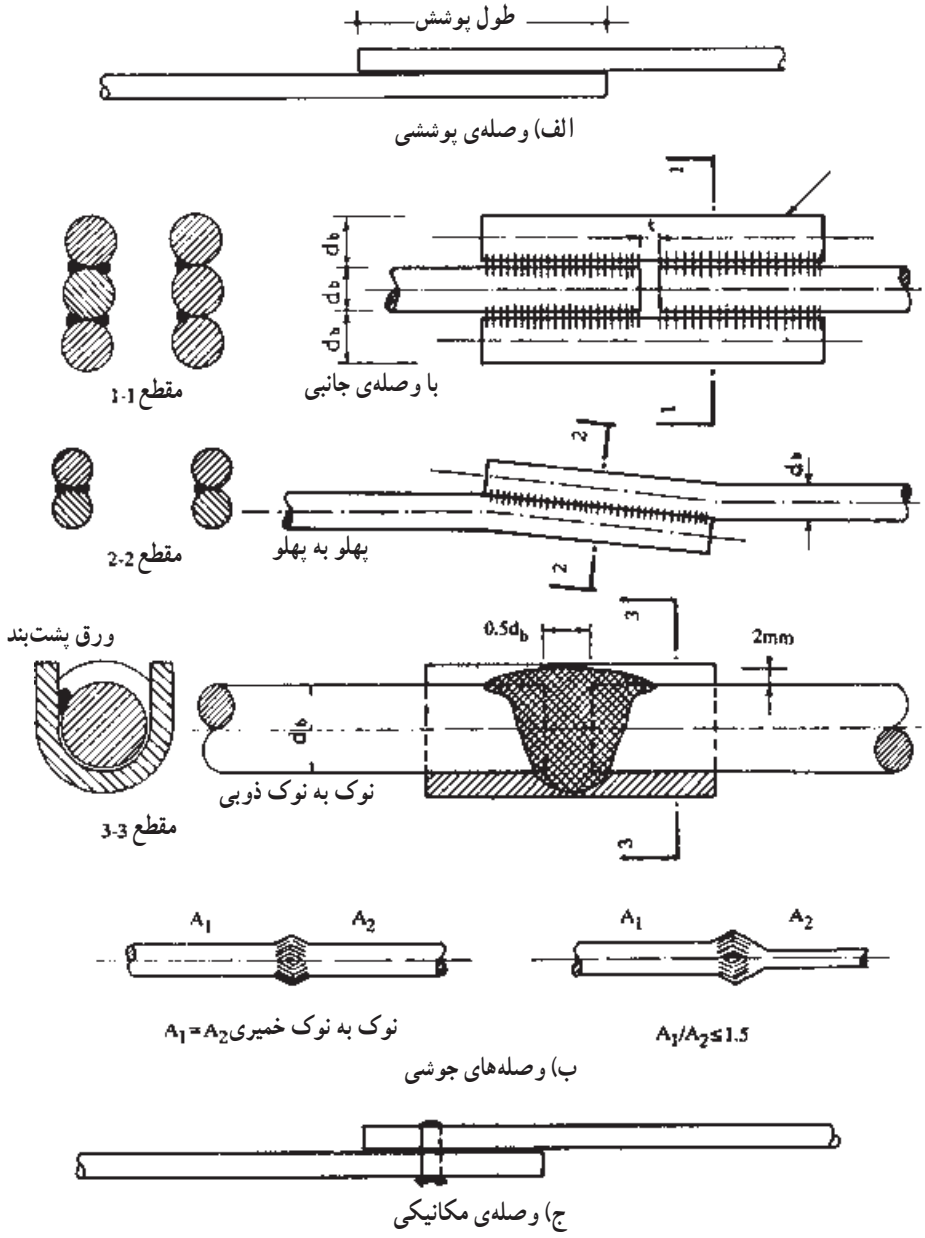
در صورتی می‌توان از یک عضو باربر انتظار عملکرد مناسبی داشت، که در ساخت آن ضمن رعایت اصول فنی از قبیل محاسبه‌ی ابعاد، قطر و تعداد میل‌گردها، مقاومت بتن و ... در طی مراحل اجرایی نیز کلیه‌ی الزامات تأمین گردند.

در این شکل، همان گونه که مشاهده می‌شود، به علت رعایت نکردن حداقل پوشش روی میل‌گرد، و همچنین حداکثر فاصله‌ی خاموت‌ها، میل‌گرد طولی بر اثر نیروی جانبی زلزله بیرون زده است.

۱ــ آیین‌نامه‌ی بتن ایران رده‌های مختلفی را برای بتن در نظر گرفته است. اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه‌ی بتن بر حسب N/mm^2 می‌باشد.

عدم رعایت طول مهاری مناسب در آرماتورهای فوقانی باعث شکست اتصال گردیده است.

همان‌طور که در عکس بالا می‌بینید، وصله‌ی میل‌گردهای طولی کم‌تر از حد مجاز است. این امر موجب جابه‌جایی کلاف و شکستن بتن کلاف قائم در این قسمت شده است. محل ایجاد وصله‌ها نباید در یک تراز واحد تعبیه شود. بهترین مکان برای اجرای وصله‌ها، تقریباً یک متر بالاتر یا دورتر از تقاطع اعضای افقی و عمودی (محل اتصال) می‌باشد.



شکل ۴ــ۷ــ انواع روش‌های وصله‌ی میل‌گردها

۴ــ۸ــ نمونه‌برداری و پذیرش میل‌گرد

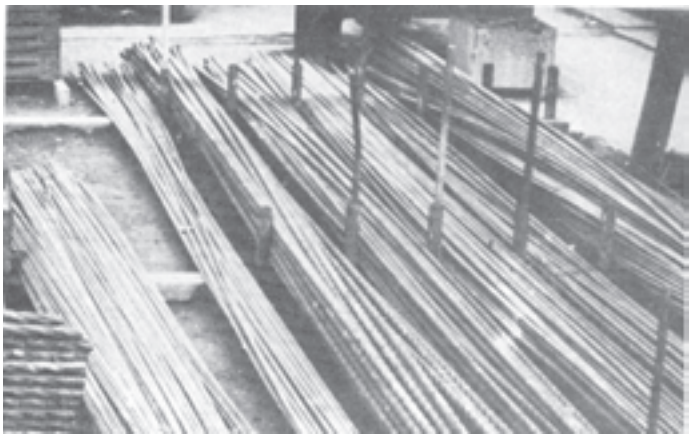
مقاومت و سایر مشخصه‌های میل‌گرد براساس نتایج آزمایش روی نمونه‌های آن تعیین می‌شود. در هر نمونه‌برداری باید قطعه‌ای به طول یک متر بریده شود و نمونه‌های آزمایشی از این قطعه جدا شوند. تعداد و تواتر نمونه‌ها باید طوری باشد که ارزیابی کیفیت کل میل‌گرد مصرفی ممکن شود. برای این منظور باید از هر پنجاه تن و کسر آن، از هر قطر و هر نوع فولاد حداقل پنج نمونه برداشته شود.

مقاومت مشخصه‌ی میل‌گرد وقتی قابل قبول تلقی و منطبق بر طبقه‌ی موردنظر شناخته می‌شود که علاوه بر حد جاری شدن، شکل‌پذیری لازم را هم داشته باشد. آزمایشات مربوط به میل‌گردها در آیین‌نامه‌ی آبا ذکر شده است.

۴ــ۹ــ حفاظت و انبار کردن میل گردها

به علت جذب رطوبت محیط به وسیله‌ی میل‌گردهای فلزی و اکسید شدن فلز آهن و همچنین کم‌تر شدن قطر مؤثر میل‌گرد فولادی که باعث کاهش مقاومت سازه‌ی بتنی می‌شود، لازم است میل‌گردهای فولادی در محیطی خشک و سرپوشیده عاری از رطوبت و گل و خاک نگهداری شوند. قبل از مصرف لازم است از طریق برس‌زدن یا پاک‌کردن مکانیکی، سطح فلز از زنگ پاک شود تا چسبندگی بتن و فولاد در حد مطلوب صورت گیرد. زنگ‌زدایی میل‌گرد ممکن است به طریق «سندبلاست»[1] (ماسه‌پاشی روی فلز) نیز انجام شود.

انبار کردن میل‌گردها باید براساس قطر و اندازه‌ی آن‌ها و به‌صورت منظم و مجزا باشد (شکل ۴ــ۸)این روش موجب تسریع در کار می‌شود، زیرا گروه برشکار و آرماتوربند به‌راحتی می‌توانند میل‌گردهای مورد نیاز را انتخاب کنند. برای جلوگیری از نفوذ رطوبت زمین سعی می‌کنند میل‌گرد را در ارتفاع مناسبی از سطح زمین قرار دهند ؛ به‌گونه‌ای که با گل و روغن و سایر آلودگی‌ها در تماس نباشد. افزون بر آن، تمیزی محل انبار کردن، سبب جلوگیری از زنگ‌زدگی میل‌گردها می‌شود. میل‌گردها باید به روشی حمل و انبار شوند که دچار خمیدگی بیش از حد نشوند.



شکل ۴ــ۸ــ نحوه‌ی صحیح نگهداری میل‌گردها

عکس بالا نحوه‌ی اشتباه در آرماتوربندی تیر را نشان می‌دهد. تیر و ستون باید در محل مرکز هندسی‌شان به هم متصل شوند تا از ایجاد نیرویی خارج از مرکز آن‌ها و به تبع آن ممان خمشی اضافی جلوگیری شود. از آن‌جا که ستون برای این ممان خمشی اضافی طرح نمی‌شود، در هنگام وقوع زلزله می‌تواند عامل خرابی گردد.

۱ــ Sand blast

پرسش

۱ــ علل مصرف فولاد در بتن چیست؟

۲ــ کاه‌گِل، یکی از مصالح رایج در ساختمان‌های قدیمی بوده است، به نظر شما چرا از کاه استفاده می‌شده است؟

۳ــ انواع فولادهای مصرفی در بتن مسلح را نام ببرید و روش‌های تولید آن‌ها را شرح دهید.

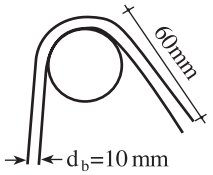
۴ــ یکی از دلایل ضعف تیرهای بتنی در بعضی از ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله‌ی بم، استفاده از میل‌گردهای ساده به جای میل‌گردهای آجدار بوده است، به نظر شما چرا آیین‌نامه‌ها، فقط استفاده از میل‌گردهای آجدار را برای میل‌گردهای اصلی، مجاز می‌دانند؟

۵ــ شبکه‌های جوش شده از سیم را تعریف کرده و کاربرد آن‌ها را بیان کنید.

۶ــ انواع شکل‌های رایج میل‌گردها و کاربرد آن‌ها را در بتن شرح دهید.

۷ــ در سازه‌های بتنی، در اغلب موارد باید انتهای میل‌گردها، دارای خم باشد، دلیل این کار چیست؟

۸ــ در نقشه‌ی یک سازه‌ی بتنی، قلابی به شکل زیر ارائه شده است. به نظر شما این قلاب در کجا مورد استفاده قرار می‌گیرد؟



۹ــ پوشش بتنی روی میل‌گردها و دلیل وجود آن چیست و ضخامت آن چقدر باید باشد؟

۱۰ــ انواع روش‌های متداول را برای وصله‌ی میل‌گردها نام ببرید.

۱۱ــ چرا باید از میل‌گردها حفاظت شود؟ اگر شما وظیفه‌ی انبارکردن میل‌گردها را برعهده داشتید، چه نکاتی را در انبار کردن آن‌ها رعایت می‌کردید؟

فصل پنجم

یک سازه‌ی بتن مسلح متشکل از تیر، ستون، فونداسیون و دال است که در صورت طراحی و یا اجرای نامناسب نمی‌تواند حافظ جان و مال ساکنین خود شود. پس بیاییم با رعایت اصول فنی طراحی و اجرایی، سازه‌ای ایمن و سرپناهی مطمئن بسازیم.

اعضای ساختمان‌های بتنی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ اعضای مختلف یک ساختمان بتنی را نام ببرد ؛

۲ــ انواع شالوده‌ها را نام ببرد و کاربرد هر یک را شرح دهد ؛

۳ــ نحوه‌ی میل‌گردگذاری شالوده‌ها را توضیح دهد ؛

۴ــ عملکرد شناژ رابط بین فونداسیون‌ها را توضیح دهد ؛

۵ــ نقش ستون در ساختمان بتنی را توضیح دهد ؛

۶ــ انواع ستون بتنی را نام ببرد ؛

۷ــ نحوه‌ی میل‌گردگذاری ستون‌ها و ضوابط آیین‌نامه‌ای آن‌ها را بیان کند ؛

۸ــ نحوه‌ی میل‌گرد گذاری تیرها را بیان کند ؛

۹ــ عملکرد شناژهای قائم و افقی را در ساختمان‌های با مصالح بنایی توضیح دهد ؛

۱۰ــ دال را تعریف کرده و نقش آن‌را در ساختمان بتنی بیان کند ؛

۱۱ــ انواع دال بتنی را نام ببرد ؛

۱۲ــ انواع دیوارهای بتنی را نام ببرد و کاربرد هر یک را شرح دهد.

۵ــ۱ــ مقدمه

یک ساختمان بتن مسلح معمولاً از اتصال یکپارچه‌ی ستون‌ها و کف‌های بتنی مسلح تشکیل می‌شود. کف‌ها نیز به نوبه‌ی خود معمولاً از مجموعه‌ی پیوسته‌ی دال‌ها و تیرها ساخته می‌شوند. در مواردی که فاصله‌ی بین ستون‌ها زیاد باشد، معمولاً از تیرهای فرعی یا تیرچه‌ها نیز استفاده می‌شود. ولی وقتی فاصله‌ی ستون‌ها زیاد نباشد، بعضاً تیرهای فرعی حذف می‌شوند که در این حالت، سیستم کف تنها متشکل از دال و تیرهای اصلی بین ستون‌ها خواهد بود. در مواردی حتی تیرها نیز حذف می‌شوند و دال مستقیماً به ستون‌ها اتصال می‌یابد.

نکته‌ی قابل توجه دیگر این است که در سازه‌های فولادی یا چوبی، اعضای مختلف سازه طبق اندازه‌های موردنظر بریده شده و از طریق جوش‌دادن، پرچ‌کردن، پیچ‌کردن و یا میخ به یکدیگر متصل می‌شوند. در مقابل، در سازه‌های بتن مسلح تا آن‌جا که عملاً ممکن است، بتن‌ریزی به صورت یکپارچه و در یک مرحله انجام می‌گیرد. همچنین میل‌گردهای مسلح‌کننده در انتهای اعضای مختلف، قطع نشده و در محل اتصال به داخل عضو دیگر فرو می‌روند. در محل‌های قطع بتن‌ریزی نیز علاوه بر ممتد بودن میل‌گردها، سعی می‌شود که با تمیز و زبرکردن سطح بتن سخت

بدون شرح !!!

شده‌ی قبلی، چسبندگی خوبی بین بتن تازه و بتن سخت شده به‌وجود بیاید.

در این فصل با انواع مختلف اعضای تشکیل‌دهنده‌ی ساختمان‌های بتنی آشنا می‌شویم و ضوابط خاص آن‌ها را فرا می‌گیریم.

۵ــ۲ــ فونداسیون و شناژ

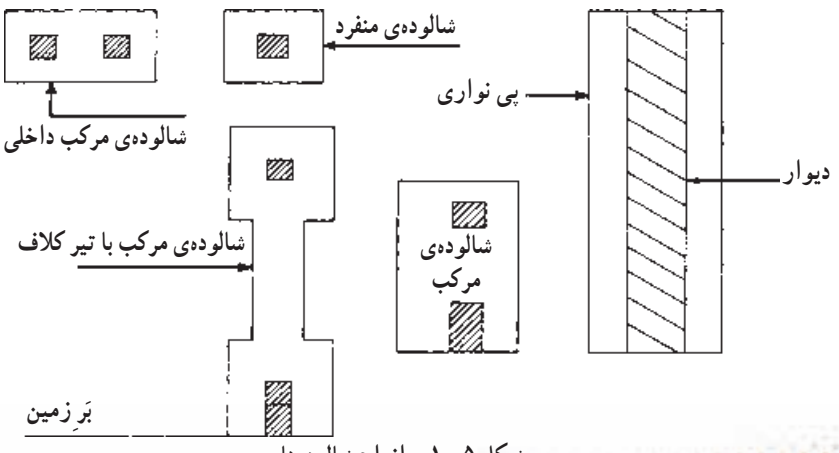
شالوده یا فونداسیون قسمتی از سازه است که غالباً پایین‌تر از سطح زمین قرار می‌گیرد و نیروهای وارده به سازه را به خاک یا بستر سنگی منتقل می‌کند.

تقریباً تمامی خاک‌ها تحت تأثیر نیروی فشاری، به مقدار نسبتاً زیادی، فشرده می‌شوند که این کار باعث نشست سازه‌ی استوار بر آن می‌گردد. فونداسیون، نیروهای فوق را در سطح وسیع‌تری به خاک اعمال کرده و بدین وسیله باعث می‌شود که نشست کلی سازه به مقداری قابل قبول و جزئی محدود گردد. فونداسیون باید به گونه‌ای طرح شود که قسمت‌های مختلف سازه تا حد امکان نشست‌های نامساوی نداشته باشند. به فونداسیون، پی نیز گفته می‌شود.

۵ــ۲ــ۱ــ انواع شالوده‌ها: شالوده‌ها در حالت کلی به شالوده‌های دیوار و ستون تقسیم‌بندی می‌شوند. شالوده‌ی دیوار، یک نوار از بتنِ مسلح با عرضی بزرگ‌تر از ضخامت دیوار است که بار دیوار را در سطح گسترده‌تری منتقل می‌کند (شالوده‌ی نواری). شالوده‌ی ستون معمولاً به صورت منفرد یا مرکب است. سطح مقطع شالوده‌های منفرد غالباً به شکل مربع یا مستطیل می‌باشد.

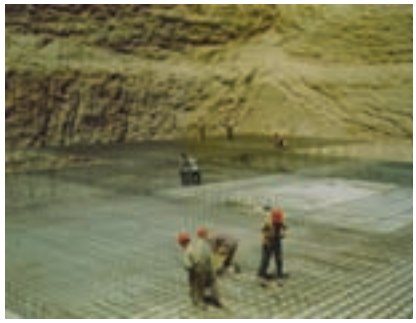
البته بعضی از شالوده‌ها ممکن است مقطعی به شکل ذوزنقه نیز داشته باشند. شالوده‌های مرکب، برای انتقال بارِ دو یا چند ستون ساخته می‌شوند. هرگاه مقاومت زمین در حد متعارف باشد از شالوده‌های ساده و مرکب استفاده می‌شود و زمانی که زمین مقاومت کافی ندارد، از شالوده‌های گسترده یا صفحه‌ای استفاده خواهد شد. ضمناً شالوده‌ی مرکب هنگامی که یک فونداسیون در کنار زمین واقع می‌شود، نیز به کار می‌رود.

شالوده‌ی گسترده (رادیه)، یک صفحه‌ی بتن مسلح یک پارچه است که در تمام سطح زمین زیر ساختمان گسترده شده و تمامی ستون‌ها بر روی آن قرار گرفته‌اند. (در شکل‌های ۵ــ۱ تا ۵ــ۳ بعضی از انواع شالوده‌ها را مشاهده می‌کنید.)



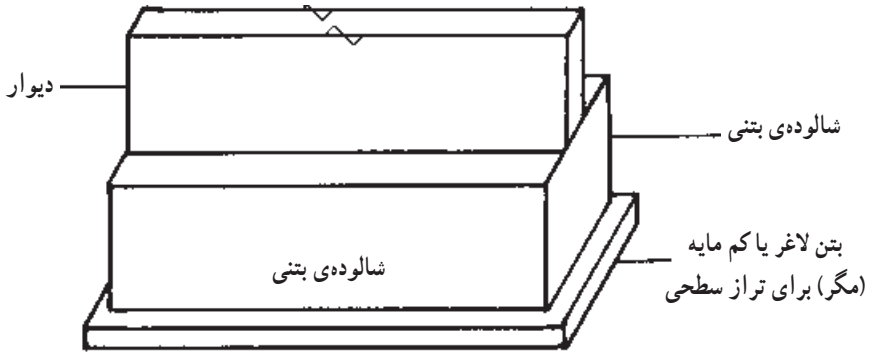
شکل ۵ــ۱ــ انواع شالوده‌ها

نمایی از فونداسیون نواری و مرکب از یک ساختمان مسکونی در حال بتن‌ریزی

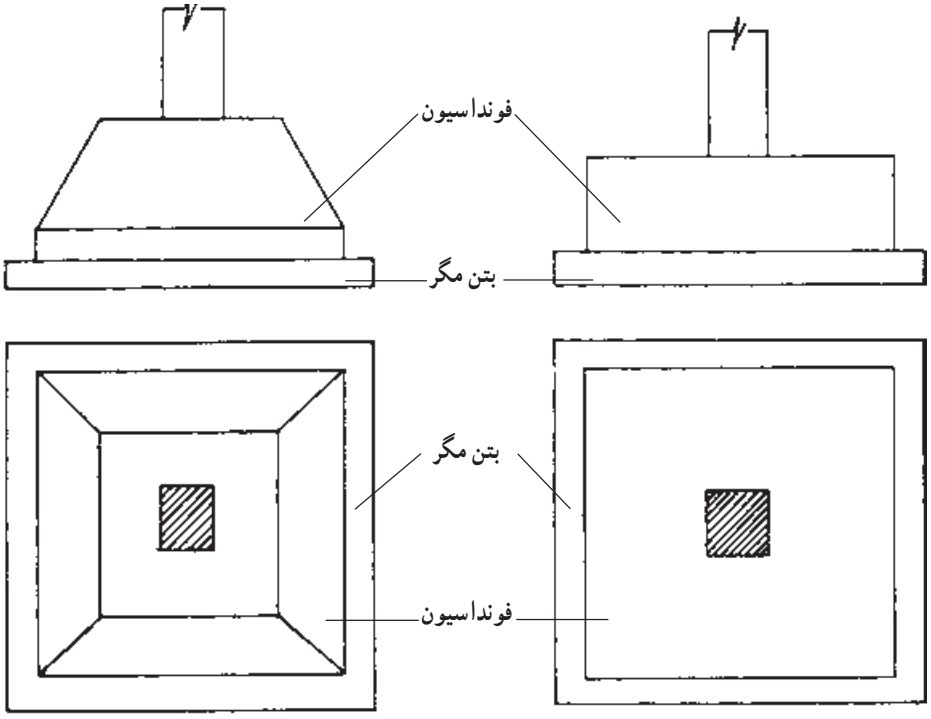


نمایی از یک فونداسیون گسترده (رادیه) مربوط به یک مجتمع مسکونی ۲۰ طبقه در حال آرماتوربندی

نمایی از خرک‌ها و میل‌گردهای یک فونداسیون گسترده



شکل ۵ــ۲ــ فونداسیون نواری



الف) مقطع مستطیلی

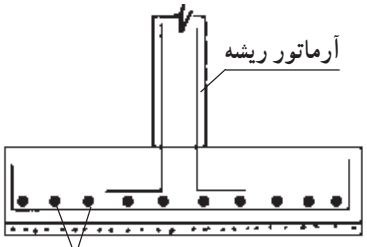
ب) مقطع ذوزنقه‌ای

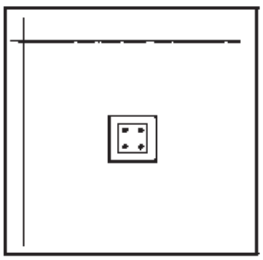
شکل ۵ــ۳ــ فونداسیون منفرد با نمایش مقاطع افقی و عمودی

۵ــ۲ــ۲ــ میل‌گردگذاری شالوده‌ها: در عمل، میل‌گردها به صورت شبکه‌ای در کف شالوده قرار داده می‌شوند (با احتساب فاصله‌ی پوشش بتن). برای ایجاد چسبندگی بیش‌تر و انتقال مناسب‌تر نیرو بین فولاد و بتن در کناره‌های فونداسیون، میل‌گردهای شبکه با خم ۹۰ درجه به طول معین، شکل داده می‌شوند. شکل ۵ــ۴ چند نمونه از میل‌گردگذاری شالوده‌ها را نشان می‌دهد.

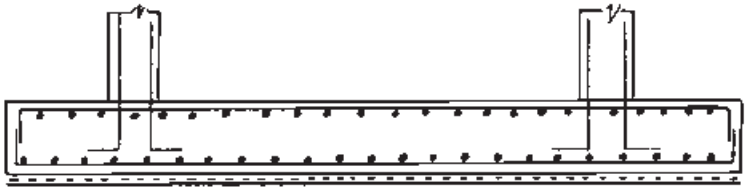
یک پل که به علت طراحی نامناسب فونداسیون و در نظر نگرفتن شرایط خاک زیر آن، در اثر زلزله، پایه‌های آن فرو ریخته و چند دهانه‌اش ویران شده است.

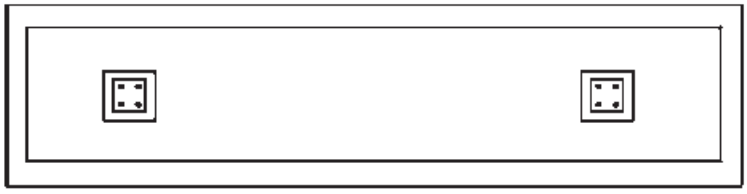
شکل میل‌گردهای به کار رفته در کف به صورت شبکه





الف) فونداسیون ساده

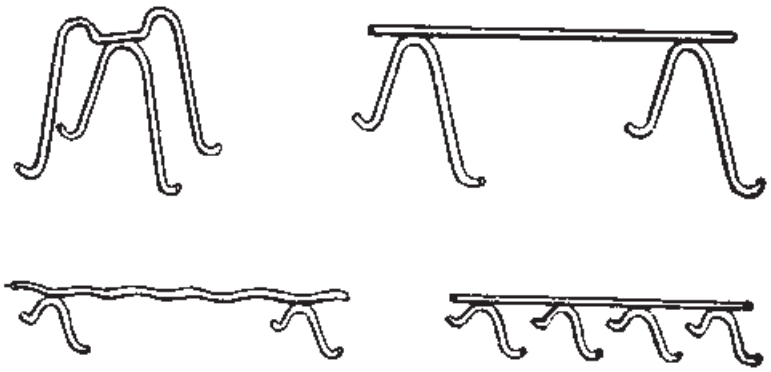




ب) فونداسیون مرکب

شکل ۵ــ۴ــ میل‌گردگذاری شالوده‌ها

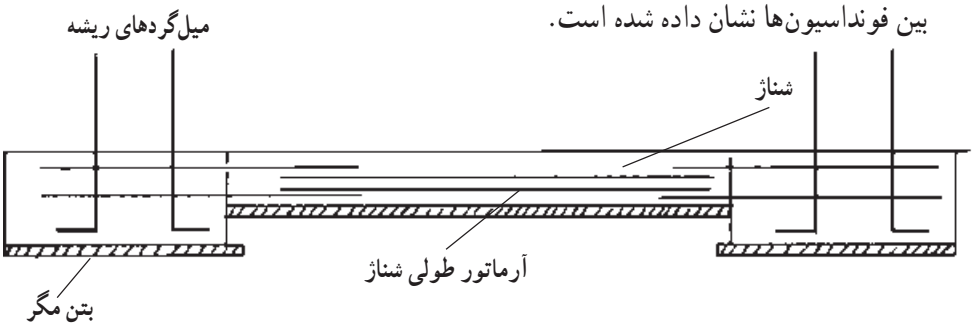
با توجه به میزان بار و عمق فونداسیون، سیستم میل‌گردگذاری در آن‌ها می‌تواند به صورت شبکه‌های تحتانی و یا ترکیبی از شبکه‌های تحتانی و فوقانی باشد. برای حفظ فاصله‌ی مناسب بین دو شبکه از خرک (میل‌گرد خم شده به صورت تکیه‌گاه) استفاده می‌شود (شکل ۵ــ۵).



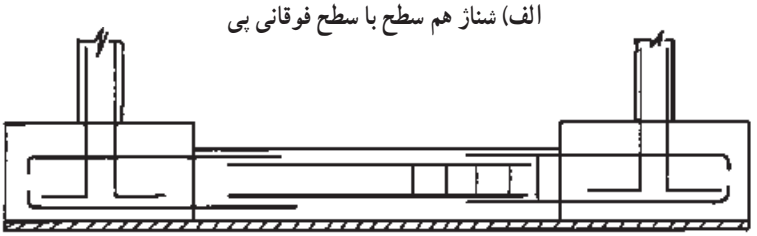
شکل ۵ــ۵ــ خرک برای قرار دادن میل‌گردها

ساختمان مسکونی که در اثر طراحی نامناسب فونداسیون و خاک زیر آن به علت روانگرایی خاک، در حین زلزله دچار واژگونی شده است.

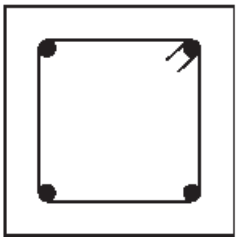
۵ــ۲ــ۳ــ شناژ رابط بین فونداسیون‌ها: نقش شناژ، کلاف کردن و مهار نمودن شالوده‌ها (فونداسیون) است. شناژ به منظور مقابله با نیروهای افقی (زلزله، باد و مانند آن) و یکنواخت کردن نشست در ساختمان‌ها به کار می‌رود. در شکل ۵ــ۶ انواع مختلف شناژ رابط بین فونداسیون‌ها نشان داده شده است.



الف) شناژ هم سطح با سطح فوقانی پی



ب) شناژ هم سطح با سطح تحتانی پی



ج) مقطع شناژ

شکل ۵ــ۶ــ انواع شناژ

آیا می‌دانید که...

پی‌سازی در آب

یکی از مسائلی که مهندسان در ساخت پل و سد در ایران همواره با آن روبه‌رو بوده‌اند ساختن شالوده پل و سد (بند) به‌شمار می‌رفته است. برای ساختن سد عموماً جریان رودخانه را منحرف کرده و آن‌گاه در زمین خشک سد را می‌ساختند. ساختمان بند امیر بر روی رودخانه‌ی کر بدین روش انجام گرفته است. ساختن پی و پایه‌های پل که گاهی بر روی رودخانه‌ی خروشان و سریع احداث شده مستلزم پی‌سازی در آب بوده است. در ساخت پایه‌های پل نیز تا آن‌جا که مقدور بوده راه رودخانه را موقتاً منحرف می‌کرده‌اند و یا پی‌سازی را در زمان‌های کم‌آبی انجام می‌داده‌اند.

۵ــ۳ــ ستون

نقش ستون، تحمل فشارهای محوری و نیروهای جانبی و انتقال آن‌ها به فونداسیون است. در ستون‌هایی که به‌طور عمده تحت تأثیر نیروی محوری قرار دارند، از نظر اقتصادی به صرفه است که قسمت اعظم بار به‌وسیله‌ی بتن تحمل شود. اما به دلایل مختلف همیشه در ستون‌های بتنی از میل‌گرد استفاده می‌شود.

۵ــ۳ــ۱ــ انواع ستون: از نظر شکل مقطع، انواع ستون‌ها عبارت‌اند از :

۱ــ ستون‌های با مقطع مربع

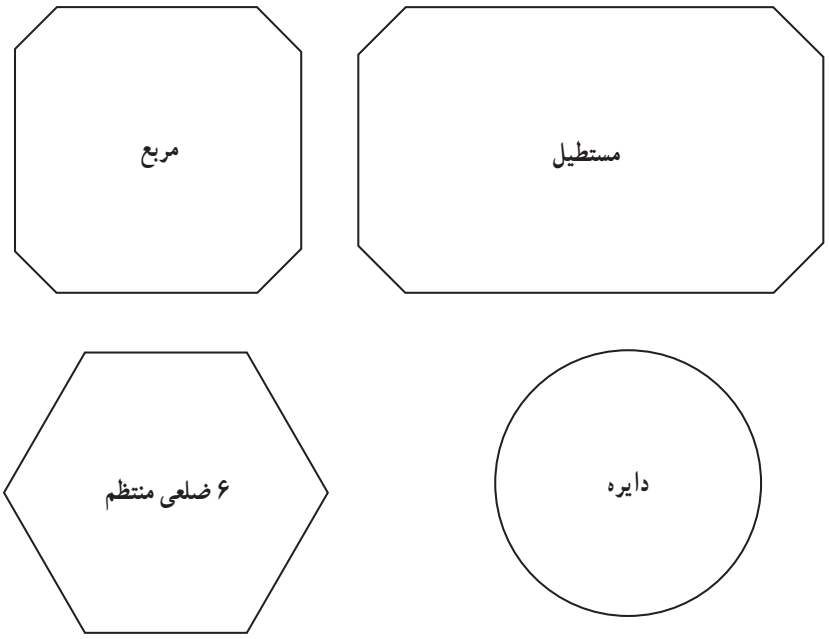
۲ــ ستون‌های با مقطع مستطیل

۳ــ ستون‌های با مقطع چندضلعی منتظم (شش‌ضلعی، هشت‌ضلعی و ...)

۴ــ ستون‌های با مقطع دایره

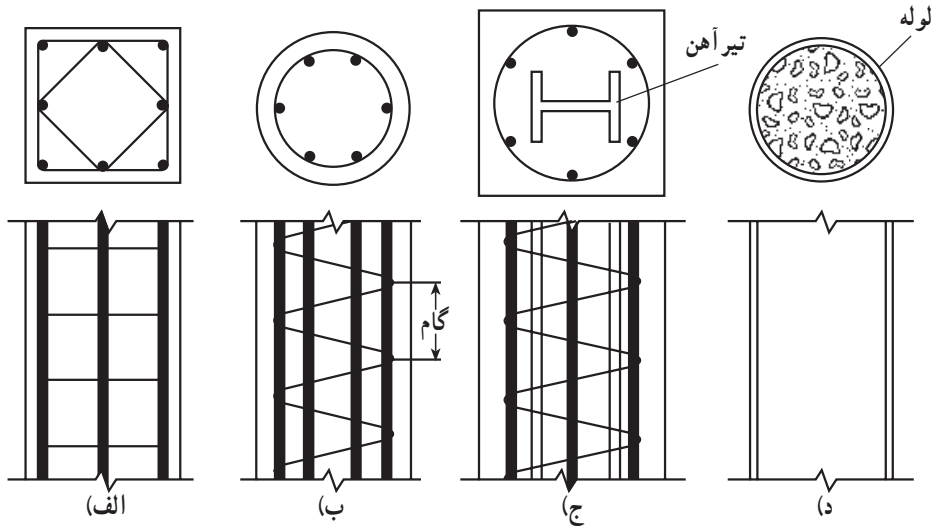
انواع فوق در شکل ۵ــ۷ نشان داده شده‌اند. در ستون‌های با مقطع مربع و مستطیل، غالباً پخ‌های کوچکی در لبه‌های ستون، به منظور سهولت باز و بسته کردن قالب و زیبایی و جلوگیری از پریدگی، ایجاد می‌شود.

سازه‌ی بتنی که در اثر زلزله ستون‌های آن از محل خود خارج شده و موجب تخریب کلی سازه شده است. اتصالات نامناسب تیر و ستون و ضعف طراحی موجب این خرابی شده است.



شکل ۵ــ۷ــ مقاطع مختلف ستون‌های بتنی

از نظر نحوه‌ی مسلح‌کردن ستون بتنی، ستون‌ها یا ساده‌اند و یا مرکب. شکل ۵ــ۸ چند نمونه از این ستون‌ها را نشان می‌دهد. در ستون‌های مرکب به جای میل‌گرد یا توأم با میل‌گرد از مقاطع فولادی نظیر تیرآهن‌ها و یا قوطی‌ها و ... نیز استفاده می‌شود.



ستون ساده‌ی تنگ‌دار | ستون ساده با خاموت مارپیچی | ستون مرکب (خاموت دورپیچ دور هسته‌ی فولاد ساختمانی) | ستون مرکب (هسته‌ی بتنی که توسط لوله‌ی فولادی احاطه شده)

شکل ۵ــ۸ــ ستون‌های ساده و مرکب

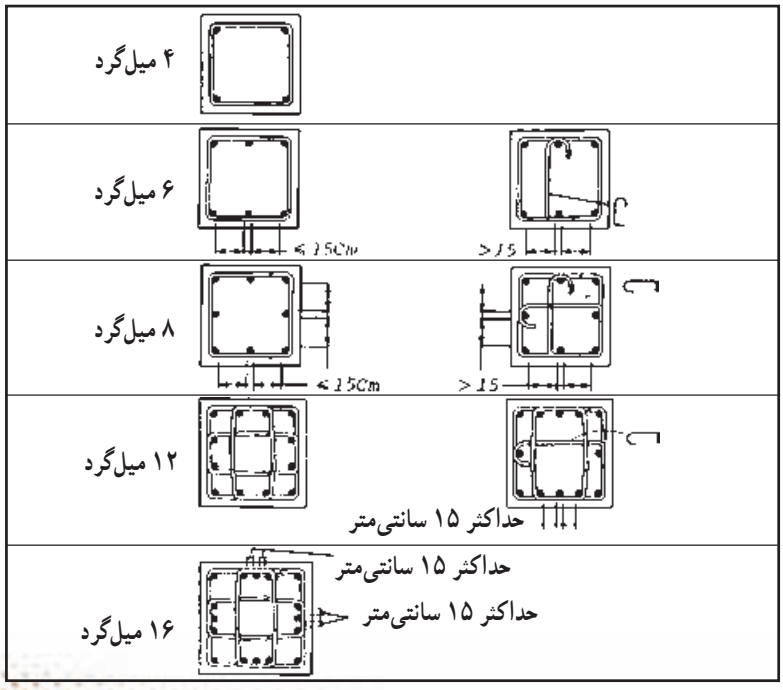
۵ــ۳ــ۲ــ میل‌گردگذاری ستون‌ها:

الف) حداقل تعداد میل‌گرد طولی در هر یک از مقاطع ستون‌ها عبارت‌اند از : ۴ میل‌گرد در مقطع مربع، ۶ تا ۸ میل‌گرد در مقطع مربع مستطیل، ۶ میل‌گرد در مقطع ۶ ضلعی منتظم (در چند ضلعی‌های منتظم حداقل تعداد میل‌گرد، برابر تعداد اضلاع است) و حداقل ۶ میل‌گرد در مقطع دایره.

ب) تنگ‌های جانبی یا خاموت‌ها به منظور نگه‌داشتن میل‌گردهای طولی ستون‌ها در جای خود و تأمین تکیه‌گاه جانبی، جهت کوتاه نمودن طول آزاد این میل‌گردها به کارگرفته می‌شوند، به‌طوری‌که میل‌گردهای طولی فقط در حد فاصل مابین دو تنگ، امکان کمانش داشته باشند.

انواع معمول آرایش تنگ‌ها و میل‌گردهای طولی در ستون‌ها در شکل ۵ــ۹ نشان داده شده است.

تخریب کامل ستون بتنی در برابر نیروی زلزله



شکل ۵ــ۹ــ انواع معمول آرایش تنگ‌ها و میل‌گردها در ستون

ج) قطر خاموت‌ها نباید کم‌تر از مقادیر زیر اختیار شود :

ــ یک سوم قطر بزرگ‌ترین میل‌گرد طولی (برای میل‌گردهای طولی با قطر حداکثر ۳۰ میلی‌متر)

ــ ۱۰ میلی‌متر برای میل‌گردهای طولی با قطر بیش از ۳۰ میلی‌متر و نیز برای گروه میل‌گردهای در تماس[۱].

ــ به هر حال نباید قطر خاموت‌ها از ۶ میلی‌متر کم‌تر باشد.

د) فاصله‌ی هر دو خاموت متوالی نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیش‌تر باشد :

ــ ۱۲ برابر قطر کوچک‌ترین میل‌گرد طولی اعم از این‌که منفرد باشد یا عضوی از گروه میل‌گردهای در تماس به شمار آید.

ــ ۳۶ برابر قطر میل‌گرد خاموت.

ــ کوچک‌ترین بعد عضو فشاری.

ــ ۲۵۰ میلی‌متر.

ضمناً از لحاظ نحوه‌ی قرارگیری در هر مقطع، تعداد خاموت‌ها باید طوری انتخاب شوند که هر یک از میل‌گردهای زیر در گوشه‌ی یک خاموت با زاویه‌ی داخلی حداکثر ۱۳۵ درجه قرار گیرد و به‌طور جانبی نگه‌داشته شود :

ــ هر میل‌گرد واقع در گوشه‌های عضو

ــ هر میل‌گرد غیرواقع در گوشه به صورت حداکثر یک در میان

ــ هر میل‌گردی که فاصله‌ی آزاد آن تا میل‌گرد نگهداری شده‌ی مجاور بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

هـ) در ستون‌های با مقطع دایره‌ای و برخی از ستون‌های با مقطع مربعی، به جای تنگ از مارپیچ استفاده می‌شود. در طراحی مارپیچ‌های اعضای فشاری، باید به این نکات توجه کرد :

۱ــ مارپیچ‌ها از میل‌گردهای با سیم‌های پیوسته ساخته شوند.

۲ــ قطر میل‌گردها یا سیم‌های مصرفی در مارپیچ‌ها نباید از ۶ میلی‌متر کم‌تر باشد.

۳ــ گام مارپیچ‌ها (فاصله‌ی آزاد بین میل‌گردها یا سیم‌ها) نباید از ۷۵ میلی‌متر بیش‌تر و از ۲۵ میلی‌متر کم‌تر باشد.

۴ــ گام مارپیچ نباید از $\frac{۱}{۶}$ قطر هسته‌ی بتنی داخل مارپیچ بیش‌تر باشد.

۵ــ در هر طبقه، مارپیچ‌ها باید از روی شالوده یا دال تا تراز پایین‌ترین میل‌گردهای طبقه‌ی فوقانی ادامه یابند.

۶ــ مارپیچ‌ها در ستون‌های قارچی با سرستون باید تا ارتفاعی ادامه یابند که در آن قطر یا پهنای سرستون دو برابر قطر یا پهنای ستون باشد.

۷ــ مارپیچ‌ها را باید محکم در جای خود نگهداری کرد و یا به وسیله‌ی فاصله نگهدارهای مناسب در جای خود تنظیم و تثبیت نمود.

۱ــ گروه میل‌گردهای در تماس، به گروهی از میل‌گردهای موازی گویند که در آن‌ها میل‌گردها در تماس با هم بسته می‌شوند تا به صورت واحد عمل کنند.

در بالای ستون به رغم نزدیکی به ناحیه‌ی اتصال با تیر، خاموتی مشاهده نمی‌شود و کمانش میل‌گردهای طولی، عاملی برای شروع خرابی در این موضع است، در حالی که طبق آیین‌نامه باید نزدیک محل اتصال تیر و ستون از خاموت‌گذاری فشرده (ویژه) استفاده می‌شد.

در این شکل یک ستون با مقطع دایره‌ای و خاموت دور پیچ نشان داده شده که در اثر طراحی نامناسب سازه در مقابل نیروی جانبی طبقه‌ی اول بسیار نرم بوده و سازه دچار تغییر شکلی در حدود ۶۵ سانتی‌متر شده و به ستون‌ها آسیب اساسی وارد ساخته است.

و) میل‌گردهای انتظار خم شده‌ی ستون‌ها در محل تغییر مقطع باید دارای شرایط زیر باشند :

۱ــ شیب قسمت مایل میل‌گردهای خم شده نسبت به محور ستون نباید از ۱ به ۶ بیش‌تر باشد.

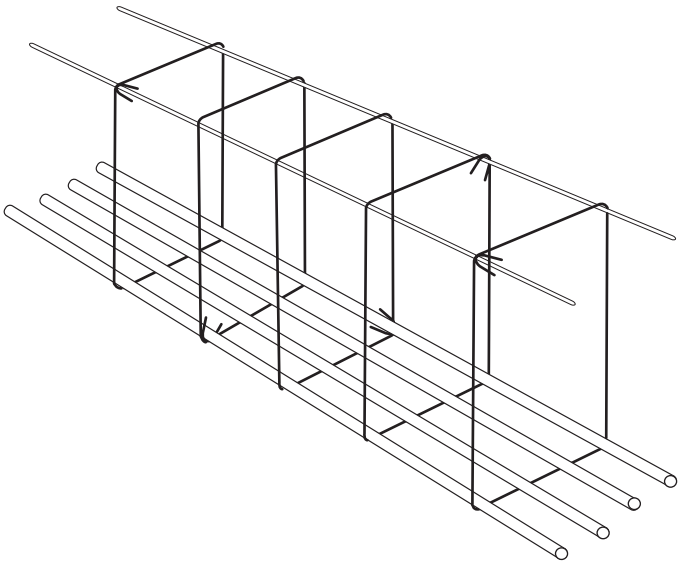
۲ــ خم‌کردن میل‌گردهای انتظار باید قبل از قالب‌بندی انجام پذیرد.

۳ــ هرگاه وجه ستون یا دیوار بیش‌تر از ۷۵ میلی‌متر عقب نشستگی یا پیش‌آمدگی داشته باشد میل‌گردهای طولی ممتد نباید به صورت خم شده به کار برده شوند و در محل عقب نشستگی باید میل‌گردهای انتظار مجزا برای اتصال به میل‌گردهای وجوه عقب نشسته، با رعایت ضوابط مربوط به مهار و وصله‌ها در منطقه‌ی تغییر مقطع پیش‌بینی شوند.

۵ــ۴ــ تیر

در تیرهای بتن مسلح، به علت ضعف بتن در مقابل نیروهای کششی، میل‌گردهای فولادی در ناحیه‌ی کششی قرار داده می‌شود. در تیرهای بتن مسلح، کشش ناشی از خمش به‌وسیله‌ی میل‌گردهای مسلح‌کننده و فشار ناشی از خمش به‌وسیله‌ی بتن ناحیه‌ی فشاری تحمل می‌شود (در حالی‌که بین بتن و فولاد چسبندگی کاملی وجود داشته باشد و میل‌گردها در داخل بتن نلغزند). البته بنا به برخی دلایل طراحی و اجرایی، در ناحیه‌ی فشاری مقطع نیز ممکن است میل‌گردهایی قرار داده شود.

از نظر ملزومات اجرایی، حداقل تعداد میل‌گردهای اصلی تیر، ۲ عدد است که در عمل حداقل ۲ میل‌گرد دیگر نیز در وجه مقابل برای مونتاژ و امکان استقرار خاموت‌ها در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵ــ۱۰). تعداد دقیق میل‌گردها پس از محاسبات طراحی مشخص می‌شود.



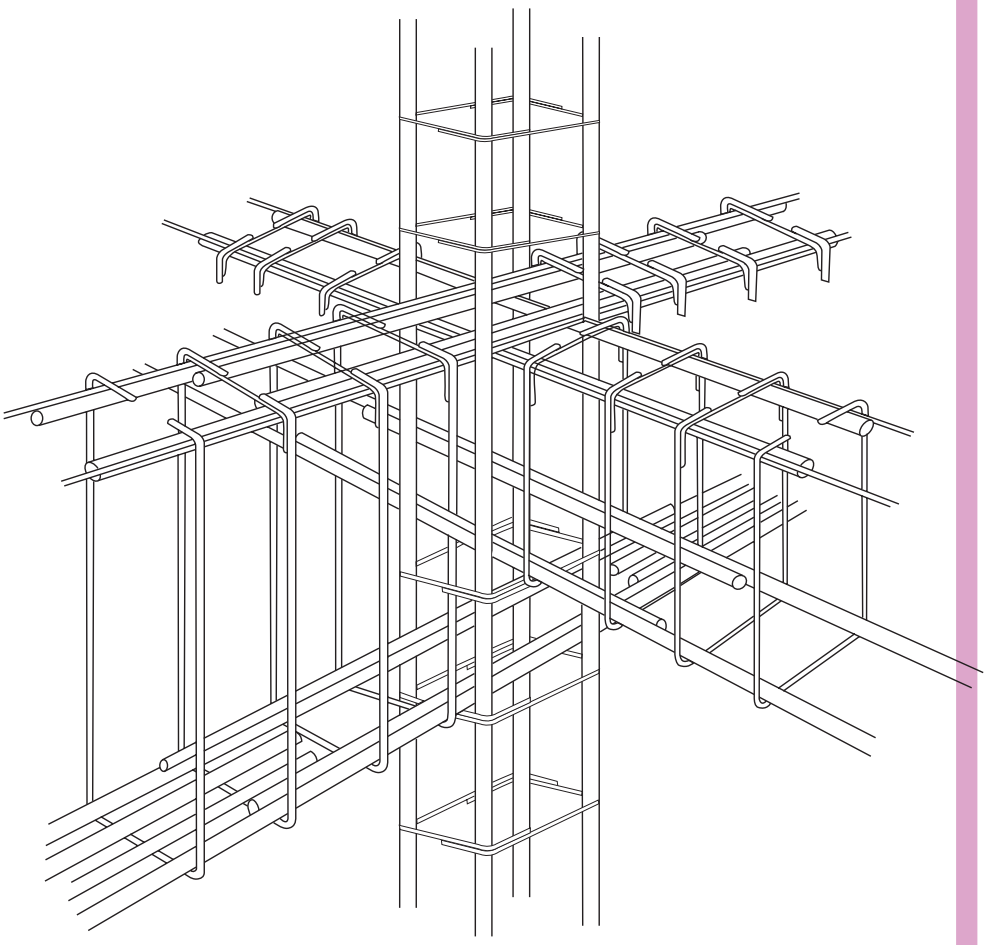
شکل ۵ــ۱۰ــ جزئیات میل‌گرد گذاری در یک تیر

شکل ۵ــ۱۱ نحوه‌ی اتصال شبکه‌های میل‌گرد در یک اتصال مرکب تیر به ستون را نشان می‌دهد. باید دقت کرد که میل‌گردهای ستون پایینی در امتداد خود بدون خم‌شدن تا قسمت بالایی تیر ادامه پیدا کند (شکل ۵ــ۱۲).

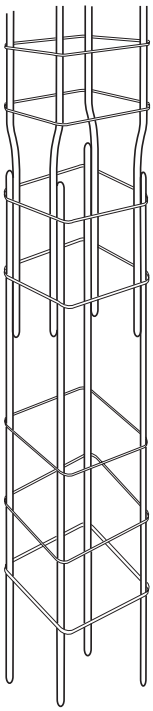
چنان‌چه در تصویر مشخص است، بتن پای ستون کاملاً خرد و ریخته است. این مسئله نشان می‌دهد که کیفیت بتن نامناسب بوده و بتن پای ستون با قطعه‌ی زیرین پیوستگی نداشته است. در حالی که برای عملکرد مناسب لازم است در محل اتصال و قسمت‌های نزدیک به آن‌ها، مثل همین مورد، دقت لازم در اجرای صحیح به کار برده شود. ضمناً این ساختمان در حال ساخت بوده است.

کیفیت نامطلوب بتن در تیر اصلی یک سقف تیرچه بلوک (دال یک طرفه)، فاصله‌ی زیاد خاموت‌ها و اتصال نامناسب تیرچه‌ها به تیر اصلی باعث عدم انسجام و خرابی سقف شده است.

در این ساختمان عدم وجود میل‌گرد برشی در ناحیه‌ی اتصال ستون به تیر و کیفیت نامناسب بتن در این محل، باعث شده است که محل اتصال ضعیف باشد و سازه از این‌جا دچار آسیب شود. همچنین عدم تأمین اتصال کافی بین دیوارها و نمای ساختمان با سیستم سازه‌ای موجب فرو ریختن آن‌ها شده است.



شکل ۵ــ۱۱ــ نحوه‌ی اتصال شبکه‌های میل‌گرد در یک اتصال مرکب تیر و ستون



شکل ۵ــ۱۲ــ جزئیات وصله‌ی آرماتورها در ستون در محل اتصال تیر به ستون

۵ــ۵ــ شناژهای قائم و افقی در ساختمان‌های با مصالح بنایی

۵ــ۵ــ۱ــ شناژ قائم: برای مقاوم‌کردن ساختمان‌های با مصالح بنایی در مقابل زلزله و نشست‌های نامتقارن، از شناژ قائم استفاده می‌شود. نقش این شناژها، کلاف‌کردن شناژهای تحتانی و فوقانی ساختمان و ایجاد ارتباط کامل بین اعضای تحمل‌کننده‌ی بارهای فشاری است.

برای اجرای شناژ قائم، ابتدا در پی، ریشه‌هایی به منظور آرماتورهای شناژ تعبیه می‌شود. پس از اجرای دیوار و ایجاد فضایی برای شناژ قائم، به‌وسیله‌ی چهار میل‌گرد طولی، اتصال به میل‌گردهای انتظار برقرار می‌شود و پس از تکمیل و اجرای کامل میل‌گردهای طولی و نگهدارنده‌های عرضی (خاموت‌ها) با بستن دو طرف دیگر شناژ، بتن‌ریزی انجام می‌گیرد (می‌دانیم که دو ضلع دیگر به وسیله‌ی دیوارها احاطه شده است). میل‌گردهای شناژ قائم در محل اتصال با شناژهای افقی به اندازه‌ی لازم و طول استاندارد در نظر گرفته شده و همانند میل‌گردهای انتظار عمل می‌کنند.

در شناژهای قائم غالباً از بتن با عیار حداقل $۳۰۰kg/m^۳$ استفاده می‌شود. همانطور که ذکر شد، در اجرا از دو دیوار جانبی به عنوان قالب‌های ثابت استفاده می‌شود که در این صورت، برای بتن‌ریزی تنها به دو صفحه‌ی قالب در دو طرف حفره نیاز است. بتن‌ریزی شناژها در هر طبقه به نحوی اجرا می‌شود که به راحتی بتوان اتصال لازم را با قسمت بعدی یا طبقه‌ی فوقانی برقرار کرد. برای بتن‌ریزی طبقه‌ی بالاتر، ابتدا سطح بتن قبلی را با برس سیمی قدری خشن کرده، پس از تمیزکردن، آن‌را کاملاً مرطوب نموده و سپس بتن‌ریزی را آغاز می‌کنیم. برخی اوقات از مواد افزودنی چسبی نیز استفاده می‌گردد.

۵ــ۵ــ۲ــ شناژ افقی: شناژ افقی در واقع یک کلاف بتنی است که بر روی دیوار با مصالح بنایی (زیر سقف و روی تمام دیوارهای باربر) اجرا می‌شود. ابعاد این کلاف معمولاً ۲۰×۳۰ یا ۳۰×۴۰ سانتی‌متر است و غالباً از بتن با عیار $۳۰۰kg/m^۳$ ساخته می‌شود.

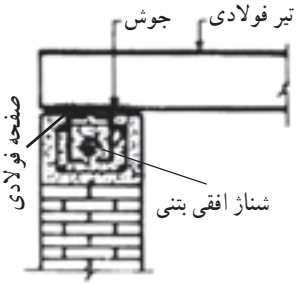
عملکرد شناژ افقی به این صورت خلاصه می‌شود :

۱ــ اتصال کامل با شناژ قائم و در نتیجه، ایجاد مقاومت بیش‌تر در برابر نیروهای جانبی (باد، زلزله و ...) و نشست‌های نامتقارن

۲ــ تسهیل در اجرای پوشش سقف

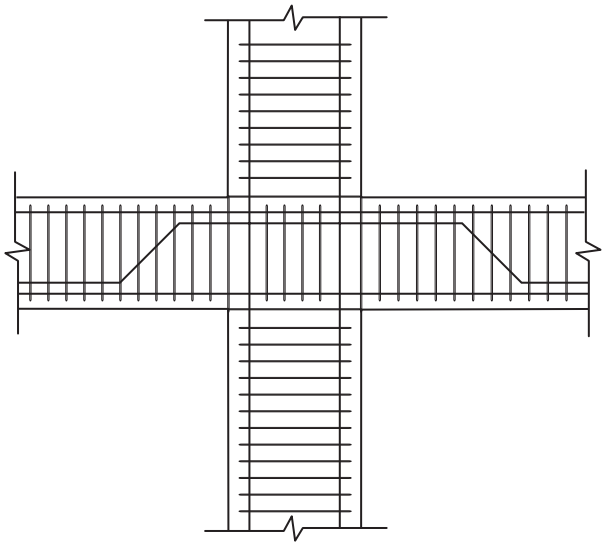
شناژ افقی مانند یک تیر یکسره است که در محل برخورد شناژ قائم، دارای ممان منفی است، در نتیجه موقعیت آرماتورگذاری در مقطع آن تغییر می‌کند. در شکل ۵ــ۱۳ آرماتورگذاری در شناژ افقی و اتصال آن با شناژ قائم به طور شماتیک نشان داده شده است.

دلایل تخریب این ساختمان را، که متعلق به اورژانس بیمارستان می‌باشد، می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد :
۱ــ عدم اتصال مناسب بین تیرآهن سقف و کلاف بتنی زیر آن
۲ــ اجرای کلاف افقی طولانی بدون کلاف قائم
۳ــ عدم رعایت فواصل صحیح خاموت‌ها در اجرای کلاف افقی
۴ــ وجود بازشوهای بزرگ.
همان‌طور که در عکس مشخص است، سقف از روی دیوار لغزیده و فرو ریخته است. برای جلوگیری از خرابی‌ها باید اتصال آن‌ها چنین باشد.

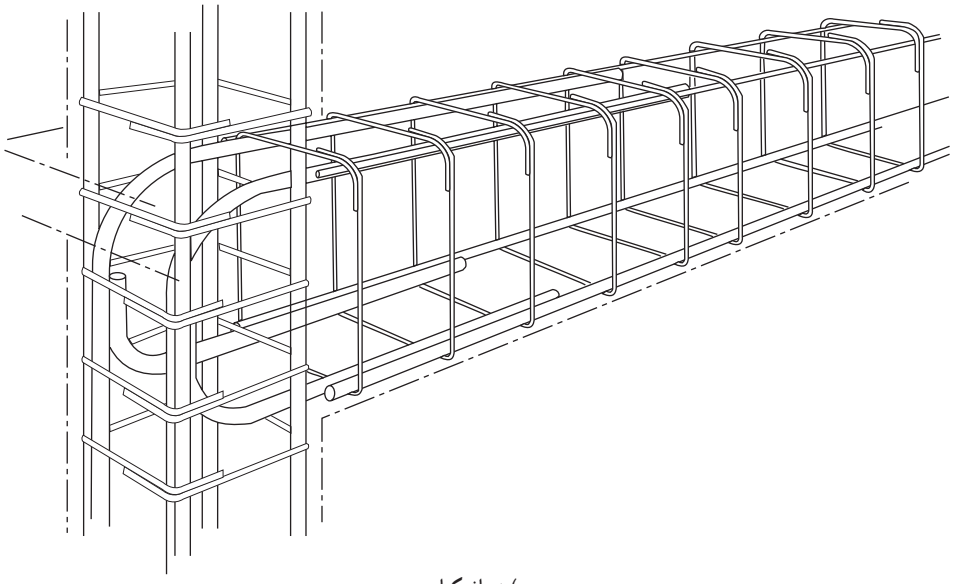


این ساختمان دارای کلاف قائم بوده ولی کلاف افقی و سقف آن قبل از وقوع زلزله اجرا نشده بود همان‌طور که از عکس برمی‌آید، وجود کلاف‌های قائم بدون کلاف‌های افقی، تقریباً بی‌معنی است و کم‌اهمیت می‌باشد. انتظار می‌رود انحراف کلاف‌های قائم در جهت عمود بر جهت زلزله، کم‌تر از مقداری باشد که در عکس دیده می‌شود.

عدم اجرای صحیح شناژهای افقی و قائم و بتن نامرغوب شناژ به شکلی که شناژهای قائم و افقی کاملاً از هم جدا شده‌اند.



الف) شناژ میانی



ب) شناژ کناری

شکل ۵ــ۱۳ــ اتصال شناژ افقی با شناژ قائم

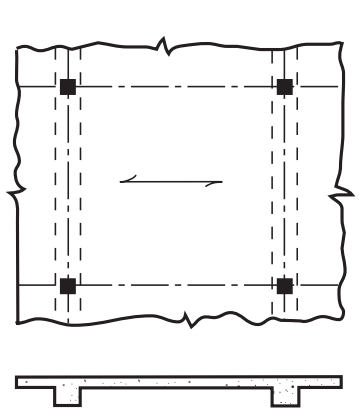
عدم اجرای صحیح شناژهای قائم در ساختمان نیمه‌اسکلت مسجد موجب تخریب ساختمان آن شده است.

۵ــ۶ــ دال

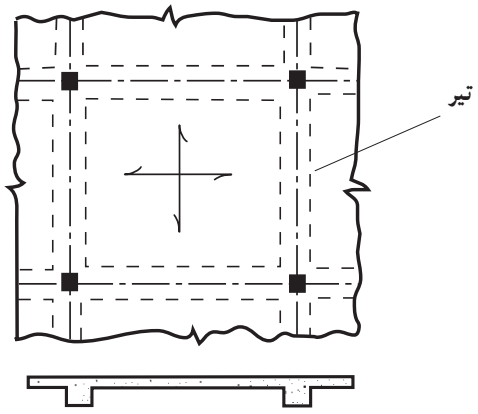
دال، قسمتی از سازه‌ی بتنی است که برای پوشش فوقانی یا تحتانی فضای مورد نظر به کار می‌رود و هدف از ساخت آن جداکردن فضاهای مختلف از یکدیگر است. شکل ۵ــ۱۴ انواع مختلف دال‌های بتنی را نشان می‌دهد. در این بخش به عملکرد متفاوت دال‌های یک‌طرفه و دوطرفه و جزییات دو سیستم سقف تیرچه بلوک و لانه زنبوری اشاره می‌شود.

۵ــ۶ــ۱ــ دال یک‌طرفه: بارهای وارد بر دال یک‌طرفه فقط در یک جهت حمل می‌شود و آرماتوربندی آن در یک جهتِ مشخص می‌باشد. جزییات آرماتورگذاری این نوع دال در شکل ۵ــ۱۵ نشان داده شده است.

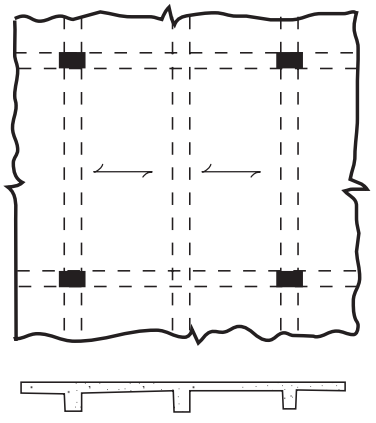
اتصال ضعیف تیرچه‌ها با تیر اصلی موجب جدا شدن آن‌ها از تیر و فرو ریختن سقف شده است.



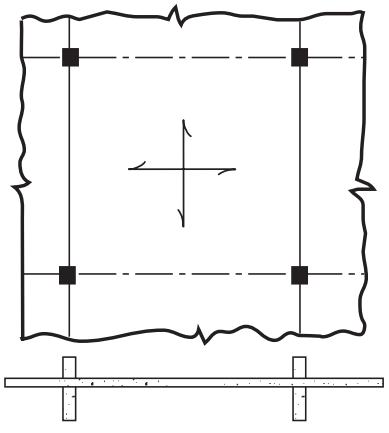
الف) دال یک طرفه



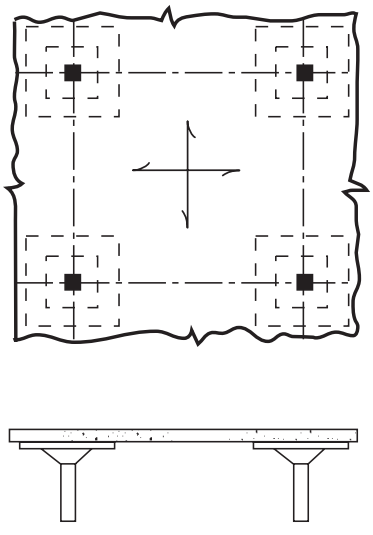
ب) دال دو طرفه



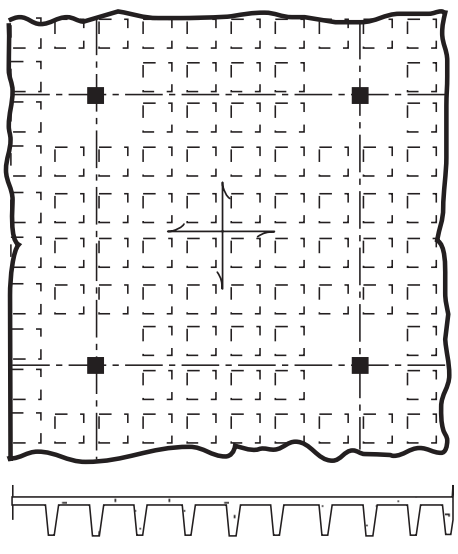
ج) دال یک طرفه با تکیه‌گاه در چهار طرف



د) دال تخت

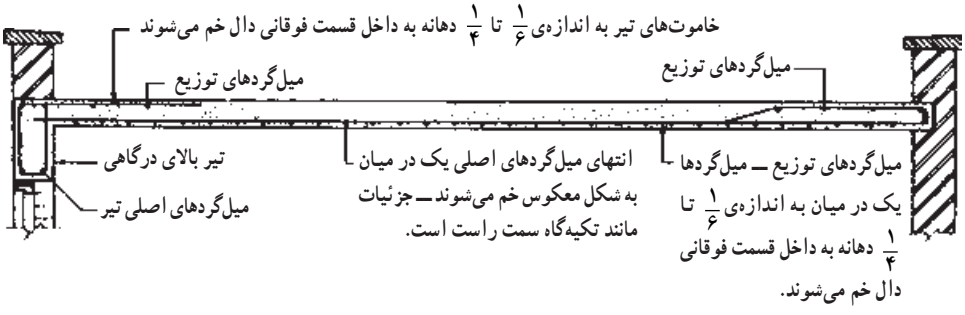


هـ) دال تخت قارچی

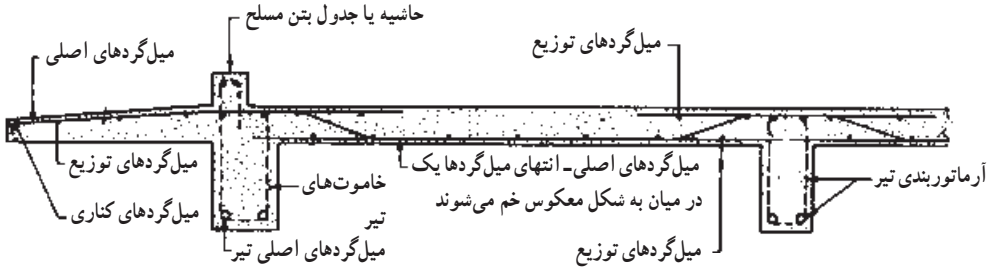


و) دال مجوّف

شکل ۵ــ۱۴ــ دال‌های بتن مسلح



الف) نمونه‌ی دال بتن مسلح



ب) دال و تیر بتن مسلح طره‌ای

شکل ۵ــ۱۵ــ جزئیات آرماتورگذاری‌های یک‌طرفه

۵ــ۶ــ۲ــ دال دو طرفه: برای کاربری‌های مختلف، دال‌های مستطیلی بسته به نسبت طول به عرض و یا وضعیت تکیه‌گاهی آن‌ها، به صورت دو طرفه می‌باشند. تغییر شکل چنین دال‌هایی تحت تأثیر نیروهای وارده به صورت یک سطح کروی است. در هر دو امتداد دال، لنگر خمشی وجود دارد و برای مقابله با این لنگرها، دال‌ها باید در هر دو امتداد به‌وسیله‌ی دو لایه میل‌گرد عمود بر هم مسلح شوند. ساده‌ترین نوع این دال‌ها (شکل ۵ــ۱۴ــ ب) در چهار لبه‌ی خود بر روی تیر بتن مسلح قوی یا دیوار و یا تیر فولادی تکیه دارند، همچنین دال‌هایی به صورت دو طرفه محاسبه می‌شوند که نسبت دهانه‌ی بزرگ به دهانه‌ی کوچک آن‌ها کم‌تر از ۲ باشد.

۵ــ۶ــ۳ــ سقف تیرچه بلوک: سقف تیرچه بلوک، دال یک طرفه‌ای است که برای کاهش بار مرده از بلوک‌های توخالی سفالی یا بتنی به منظور پرکردن حجم سقف استفاده می‌شود. سقف تیرچه بلوک از اجزای زیر تشکیل شده است :

۱ــ تیرچه‌هایی که در فواصل مشخص به موازات یکدیگر روی تیرهای باربر قرار می‌گیرند و معمولاً فاصله‌ی آن‌ها ۵۰ سانتی‌متر است. ولی فاصله‌ی آزاد بین آن‌ها نباید بیش‌تر از ۷۵ سانتی‌متر باشد.

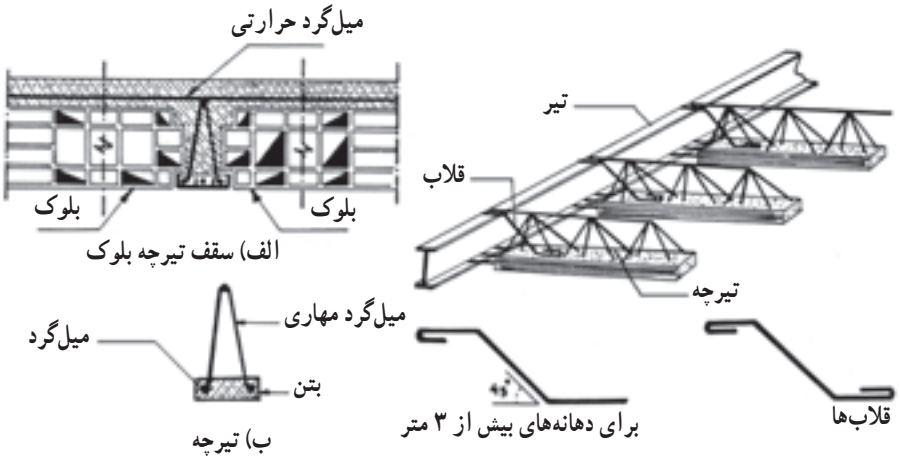
۲ــ بلوک‌های توخالی که با توجه به شکل خاص خود بین تیرچه‌ها قرار داده می‌شوند. در واقع این بلوک‌ها، پرکننده‌ی فاصله‌ی تیرچه‌ها بوده و حجم زیادی از سقف را اشغال می‌کنند.

۳ــ بتنی که فضای بین بلوک‌ها را پرکرده و روی آن‌ها لایه‌ای به ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد. در دهانه‌های بزرگ، تیرچه‌ها را در وسط دهانه یا در فواصل مناسب با کلاف‌های عرضی به یکدیگر می‌بندند (شکل ۵ــ۱۶).

کیفیت نامطلوب بتن در تیر اصلی و عدم اتصال مناسب تیرچه‌ها به آن موجب ریزش سقف شده است.

قرار دادن آرماتور حرارتی بر روی بلوک‌های سقف تیرچه بلوک برای جلوگیری از پدید آمدن ترک‌های عمیق در سطح بتن

اجرای سقف تیرچه بلوک



شکل ۵ــ۱۶ــ سقف تیرچه بلوک و نحوه‌ی اتصال تیرچه‌ها به تیر

برخی از محاسن سقف‌های تیرچه بلوک عبارت است از :

۱ــ سبکی سقف نسبت به سقف‌های مشابه ؛

۲ــ مقاومت مطلوب در مقابل نیروهای جانبی (باد و زلزله) ؛

۳ــ دوام خوب آن در مقابل آتش‌سوزی ؛

۴ــ عایق بودن در مقابل صوت، حرارت و رطوبت ؛

۵ــ هموار بودن سطح زیر سقف و سطح روی آن بعد از اتمام عملیات اجرای سقف.

و برخی از معایب آن به شرح زیر است :

۱ــ طولانی بودن زمان اجرا نسبت به سقف‌های طاق ضربی ؛

۲ــ نیاز به نیروهای با تخصص و دقت بالاتر جهت اجرای آن ؛

۳ــ عدم کاربری در دهانه‌های بزرگ ؛

۴ــ نیاز به سرمایه‌گذاری برای تهیه‌ی قالب و شمع به میزان قابل توجه.

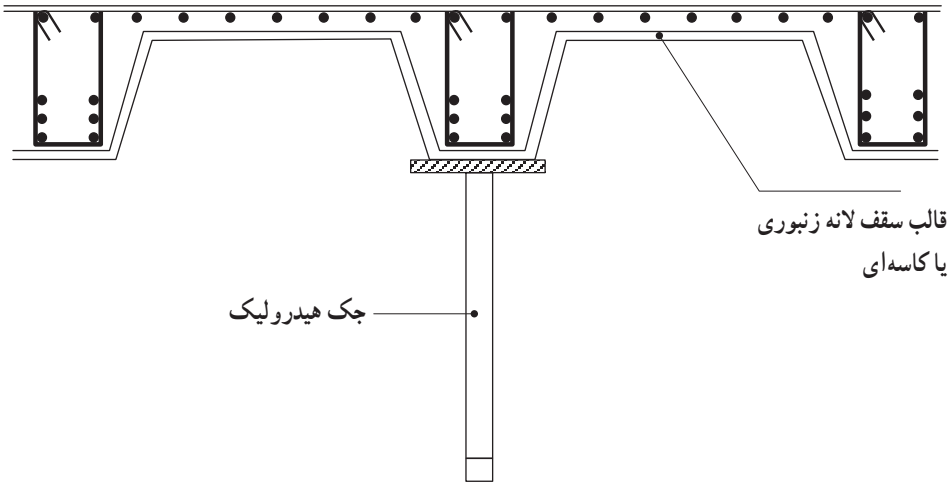
به سبب یکپارچگی دال با تیرهای تکیه‌گاهی، تغییرات دما باعث ایجاد تنش‌های کششی در دال می‌شود. با توزیع میل‌گردهای کافی (میل‌گردهای حرارتی) باید این تنش در تمام طول و عرض دال توزیع شود تا ترک ایجاد شده نتواند کاهشی در مقاومت دال ایجاد کند ؛ هم‌چنین وجود این میل‌گردها باعث جلوگیری از پدید آمدن ترک‌های عمیق در سطح بتن می‌شود. میل‌گردهای حرارتی به‌طور عمده در دال‌های یک طرفه که دارای میل‌گردهای اصلی در یک جهت هستند، کاربرد دارند. در دال‌های دو طرفه که سازه در هر دو جهت مسلح می‌شود، نیازی به استفاده از میل‌گرد حرارتی به‌طور مجزا نیست.

در دال‌های با ضخامت کم، میل‌گردهای حرارتی فقط در یک لایه‌ی در جهت عمود بر میل‌گردهای اصلی قرار می‌گیرند و در دال‌های با ضخامت‌های بالاتر، میل‌گرد حرارتی در دو لایه قرار داده می‌شود.

۵ــ۶ــ۴ــ سقف‌های لانه زنبوری (کاسه‌ای): این سقف‌ها از انواع سقف‌های بتنی هستند که به صورت دال‌های دو طرفه بوده و در دو جهت میل‌گردگذاری می‌شوند. اجرای

عدم اتصال مناسب تیرچه‌ها با تیر اصلی، موجب جدا شدن آن‌ها از تیر و به تبع آن فرو ریختن سقف شده است.

این سقف به صورت بتن‌ریزی، درجا است و قالب‌بندی آن نیز به صورت شبکه‌های عمود برهم بوده که کاسه‌ها در داخل این شبکه‌ها قرار می‌گیرند. شبکه‌ها به وسیله‌ی جک‌های مخصوص تا زمان سخت شدن بتن نگه‌داشته می‌شوند. قالب‌ها دارای شیب ملایم داخلی بوده و قبل از بتن‌ریزی با روغن‌های مخصوص آغشته می‌شوند تا در هنگام بازکردن قالب، به بتن صدمه‌ای وارد نشود (شکل ۵ــ۱۷).

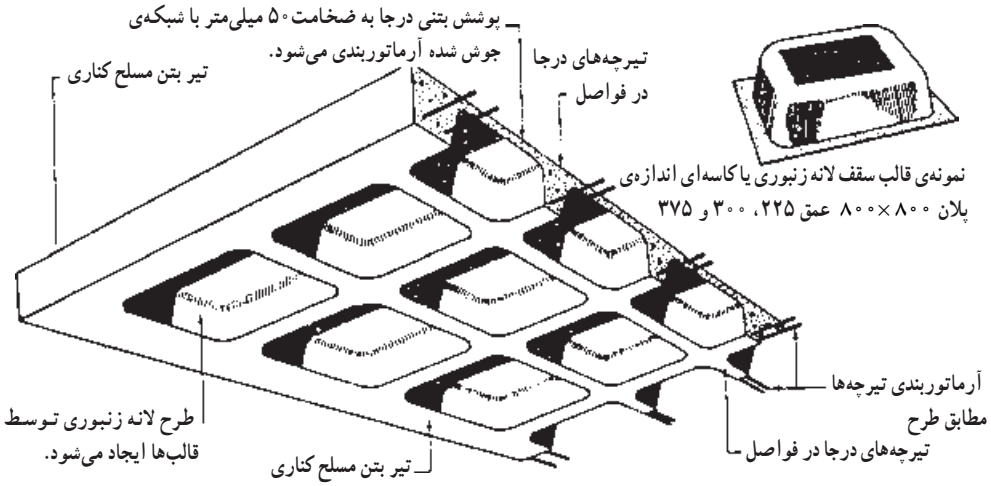


شکل ۵ــ۱۷ــ نمایش اجرای قالب‌های سقف لانه زنبوری

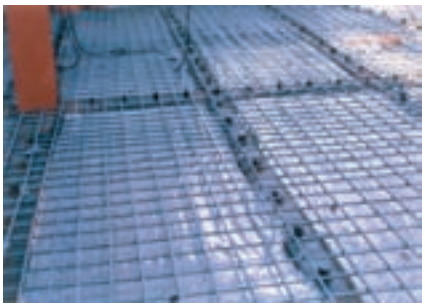
حداقل ضخامت بتن‌ریزی روی قالب‌های کاسه‌ای ۱۰ سانتی‌متر است.

تمام میل‌گردهای اصلی از فولادهای آجدار استفاده شده و در تمام قسمت‌های تکیه‌گاهی آرماتورهای منفی قرار داده می‌شود. سطح سقف با یک شبکه‌ی میل‌گرد حرارتی (از میل‌گرد آجدار Φ۸ تا Φ۱۲) به فاصله‌ی حداکثر ۲۵ سانتی‌متر مسلح می‌شود. تا زمان سخت شدن کامل بتن و حصول ۷۰٪ مقاومت نهایی، نباید قالب‌برداری انجام گیرد.

حداقل مدت نگهداری بتن در قالب ۷ روز و حداکثر آن ۱۴ روز است (شکل ۵ــ۱۸).



شکل ۵ــ۱۸ــ سقف‌های لانه زنبوری یا کاسه‌ای



آرماتوربندی دال بتنی دو طرفه در یک سازه‌ی اسکلت فلزی (دال مرکب)

دال مرکب بتنی پس از بتن‌ریزی

۵ــ۷ــ دیوار

از دیوارهای بتنی در شرایط مختلف در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. دیوارها را از نظر رفتار سازه‌ای می‌توان به پنج دسته‌ی زیر طبقه‌بندی کرد :

۱ــ دیوارهای حایل،

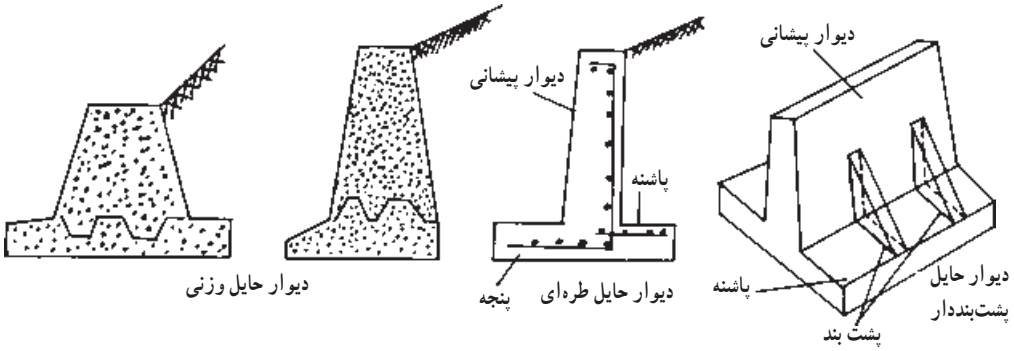
۲ــ دیوارهای باربر (بار قائم)،

۳ــ دیوارهای زیرزمین،

۴ــ دیوارهای غیر باربر (جدا کننده‌ها و دیوارهای پیرامونی)،

۵ــ دیوارهای برشی (در عمل ممکن است یک دیوار برشی ترکیبی از انواع ۱ الی ۴ نیز باشد.)

۵ــ۷ــ۱ــ دیوار حایل: دیواری است که به منظور پایداری در مقابل فشار جانبی خاک به‌کار می‌رود. در اکثر حالت‌ها عامل پایداری، وزن دیوار است (شکل ۵ــ۱۹).



شکل ۵ــ۱۹ــ انواع مختلف دیوار حایل

۵ــ۷ــ۲ــ دیوار باربر: دیواری است که علاوه بر وزن خود، نیروی خارجی قائمی را تحمل می‌کند که ناشی از عکس‌العمل سقف یا نظایر آن است. با توجه به اهمیت این دیوارها، ضوابط خاصی برای آن‌ها تدوین شده که مهم‌ترین آن‌ها به این شرح است :

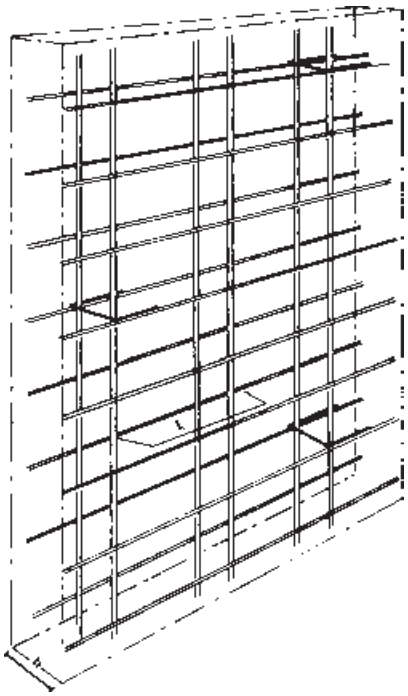
۱ــ دیوارها باید برای بارهای خارج از مرکز و هرگونه بار جانبی که در معرض آن قرار می‌گیرد، طراحی شوند.

۲ــ دیوارها باید به اعضای متقاطع با آن‌ها مانند کف‌ها، بام‌ها، ستون‌ها و پایه‌ها، پی‌ها و ... مهار شوند.

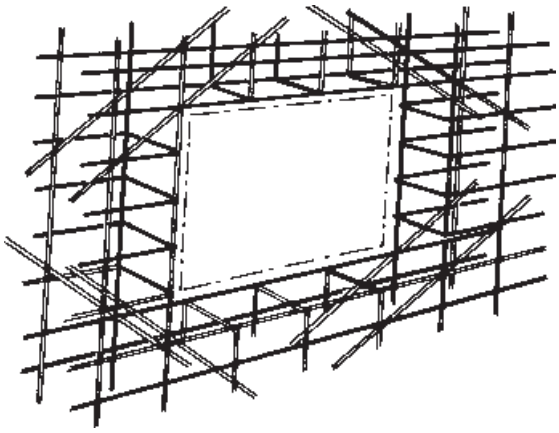
۳ــ دیوارهای با ضخامت بیش‌تر از ۲۵ سانتی‌متر باید دارای دو شبکه‌ی فولادی در دو طرف دیوار، که پوشش بتنی هر شبکه حداقل ۵ سانتی‌متر است، باشند. فاصله‌ی محور به محور میل‌گردها نباید از ۱/۵ برابر ضخامت دیوار یا ۲۵ سانتی‌متر بیش‌تر باشد. در محل بازشوها در دیوار باید حداقل ۲ میل‌گرد آجدار نمره ۱۶ در اطراف بازشوها، پنجره‌ها و درها به کار برده شود (شکل‌های ۵ــ۲۰ و ۵ــ۲۱).

عدم اجرای شناژهای افقی و قائم موجب تخریب دیوار شده است.

عدم اجرای صحیح شناژهای افقی و قائم و بتن‌ریزی ناصحیح شناژ موجب شده تا شناژهای قائم و افقی کاملاً از هم جدا شوند.

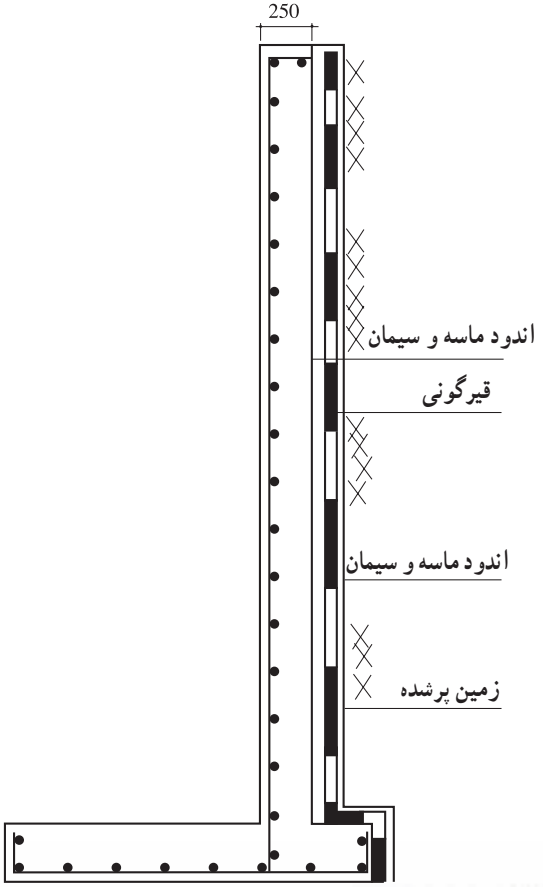


شکل ۵ــ۲۰ــ آرماتورگذاری دیوار باربر



شکل ۵ــ۲۱ــ میل‌گردهای اضافی در محل بازشوی دیوار باربر

۵ــ۷ــ۳ــ دیوار زیرزمین: دیوار زیرزمین، در واقع نوعی دیوار حایل است که علاوه بر فشار جانبی خاک، نیروهای قائم را نیز تحمّل می‌کند. حداقل ضخامت دیوارهای زیرزمین ۲۰ سانتی‌متر و در نقاط مرطوب حداقل ۳۰ سانتی‌متر است. همیشه دیوار زیرزمین باید دارای ضخامتی بیش از دیوارهای بالای آن باشد (شکل ۵ــ۲۲).

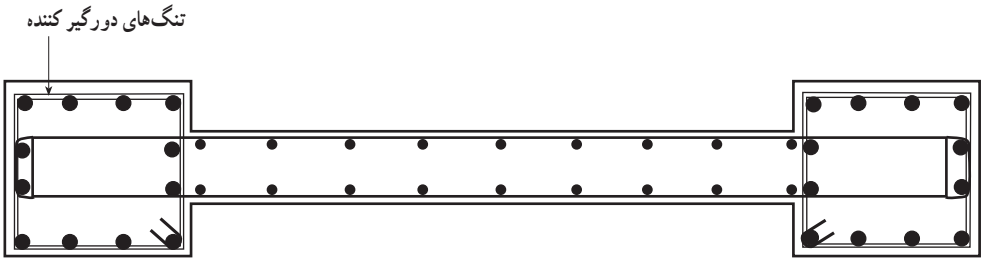


شکل ۵ــ۲۲ــ دو نمونه از دیوارهای زیرزمین

اجرای نادرست شناژهای افقی و قائم و بتن‌ریزی نامناسب شناژ موجب جدا شدن شناژهای قائم و افقی از هم شده است.

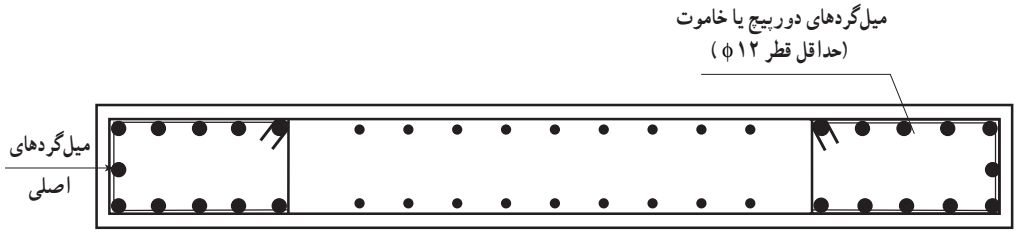
۵ــ۷ــ۴ــ دیوار غیربابر: به دیوارهای محیطی ساختمان، جداساز داخلی و به دیوارهای محوطه، دیوار غیر باربر می‌گویند(البته دیوارهای محوطه تحت اثر نیروهای جانبی باد قرار می‌گیرند). در طراحی این دیوارها باید به عایق بودن آن‌ها در مقابل صدا توجه کافی داشت(به‌جز دیوارهای محوطه). دیوارهای محیطی در طول‌های زیاد نباید بدون تکیه‌گاه‌های جانبی به کار برده شوند.

۵ــ۷ــ۵ ــ دیوار برشی : برای مقابله با نیروهای افقی مؤثر (نیروی باد و زلزله) بر سازه، از این نوع دیوار استفاده می‌شود. دیوارهای برشی را با ملاحظه‌ی ملزومات معماری طرح کرده و در قسمت‌های مختلف پلان ساختمان می‌توان قرار داد، اما باید دقت کافی به عمل آورد که قرار گرفتن آن در پلان تا حد امکان متقارن باشد. در صورتی که میل‌گردهای خمشی در دو لبه‌ی دیوار متمرکز شوند، قابلیت استهلاک انرژی زلزله در دیوار بیش‌تر می‌شود. بهتر است که میل‌گردهای کششی به‌وسیله‌ی تنگ یا خاموت دور پیچ شوند (شکل ۵ــ۲۳).



شکل ۵ــ۲۳ــ مقطع مناسب برای دیوار برشی

در ساختمان‌های کوتاه و متوسط لزومی ندارد که دو لبه‌ی دیوار را به صورت برجسته درآوریم لذا ضخامت دیوار در این ساختمان‌ها، ثابت در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵ــ۲۴).



شکل ۵ــ۲۴ــ مقطع دیوارهای برشی با ضخامت ثابت

۵ــ۸ــ پله

پله، ساده‌ترین وسیله برای رسیدن به ارتفاعات مختلف در ساختمان یا محوطه است. ابعاد پله در حالت معمولی از طریق این رابطه محاسبه می‌شود :

$2h + b = 63$ تا 64 سانتی‌متر

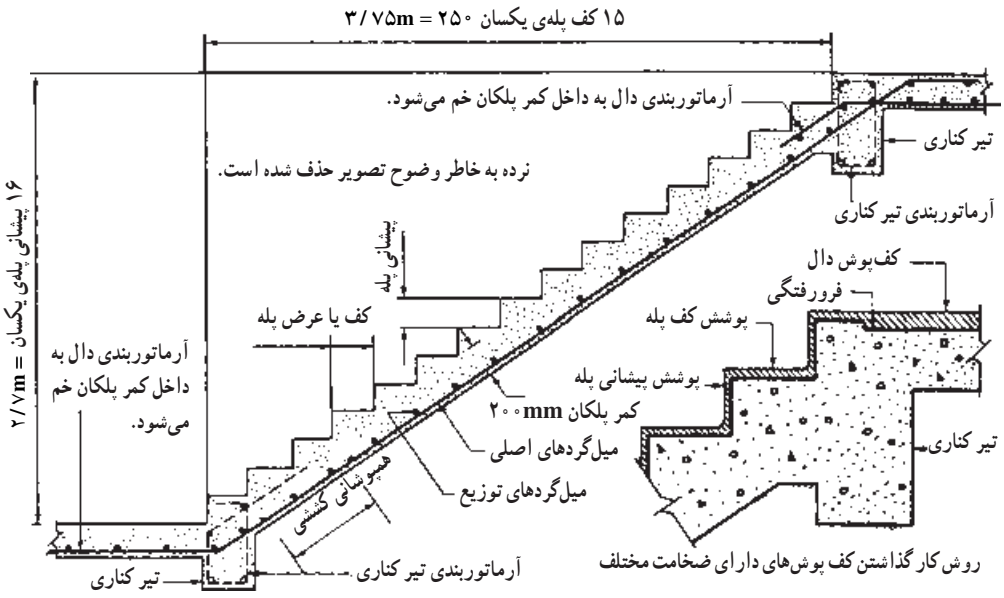
h = ارتفاع پاخور پله

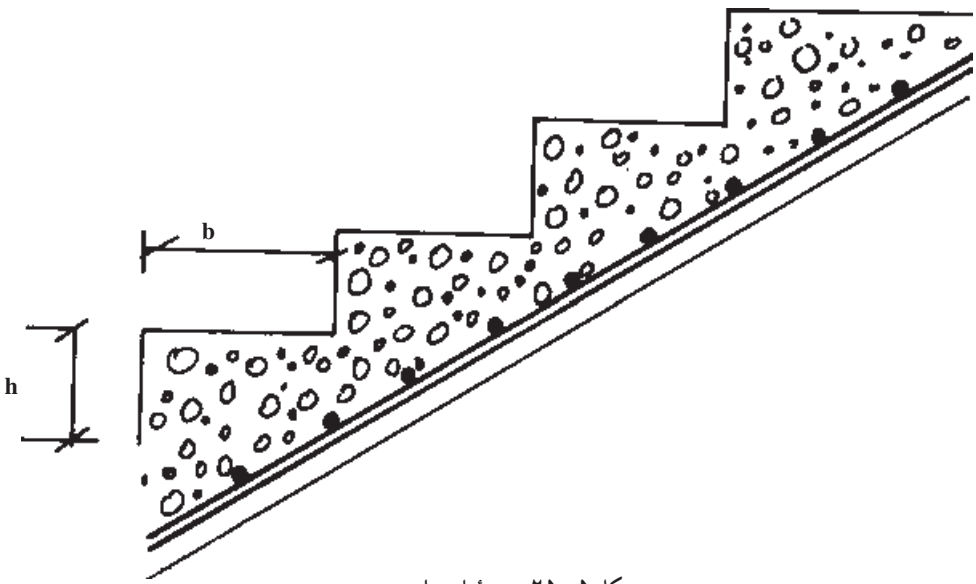
b = عرض یا کف پله

واژگونی ستون در اثر ناکافی بودن سطح آرماتور در پای ستون

عبور آهن نعل درگاه از شناژ و عدم بتن‌ریزی در آن نقطه که باعث خرابی گردیده است.

شکل‌های ۵ــ۲۵ و ۵ ــ۲۶ جزئیات اجرایی پله‌های بتنی را نشان می‌دهند.

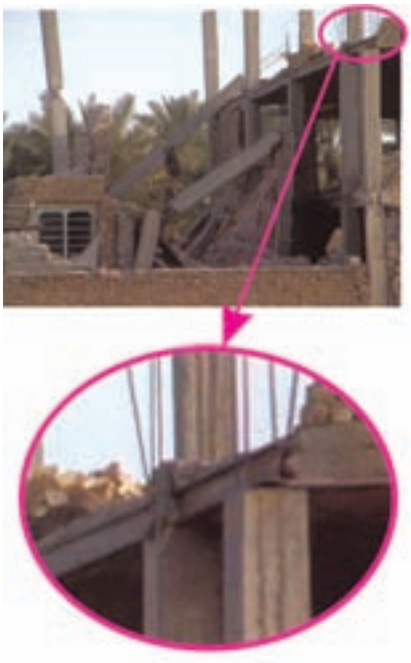




شکل ۵ــ۲۵ــ جزئیات پله‌ی بتنی

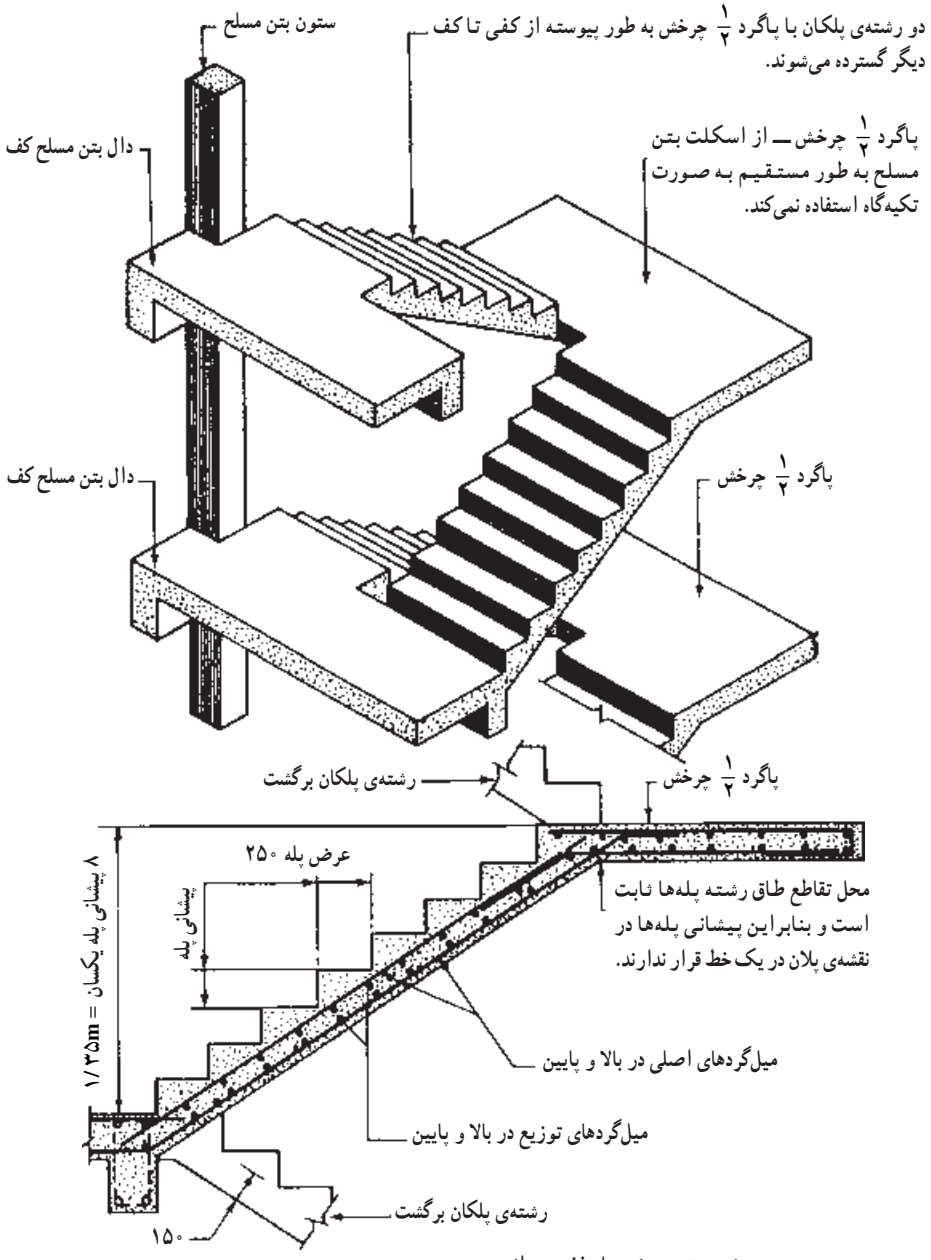
جدا شدن سیستم راه پله از سازه‌ی اصلی، با وجود این‌که ساختمان در حال احداث بوده، قابل تأمل است. علت بروز این مشکل کم بودن تعداد میل‌گردهای طولی در تیرهای مورب راه پله (شمشیری) و عدم تأمین طول مهاری کافی برای آن‌ها بوده است.

با توجه به قرارگیری یک شمشیری روی تیر جانبی، سیستم تیر شمشیری و تیرچه‌بلوک برای راه پله سیستم مناسبی نبوده و استفاده از دال بتنی توصیه می‌شود.



اجرای نامناسب تیر سقف و عدم اتصال کافی به ستون‌ها، باعث نقص در پیوستگی و خرابی ستون‌ها شده است.

در این سازه، ستون‌ها از بتن مسلح و تیرهای اصلی سقف (در یک جهت) از نوع فولادی هستند. عبور تیرهای فولادی از داخل ستون‌های بتنی باعث ناپیوستگی آن‌ها شده و محل اتصال ستون بتنی به تیر فلزی در همه‌ی ستون‌ها دچار اشکال شده است.



شکل ۵ــ۲۶ــ جزئیات پله‌ی بتنی

پرسش

۱ــ نقش فونداسیون را در یک سازه‌ی بتنی شرح دهید و انواع آن را نام ببرید.

۲ــ دلیل استفاده از خاموت‌ها در ستون چیست؟

۳ــ در زلزله‌ی ۱۳۸۲ بم، بسیاری از ساختمان‌های با مصالح بنّایی، به دلیل ضعف در اجرا و یا اجرا نکردن شناژهای افقی و قائم، فروریخت، به نظر شما شناژهای افقی و قائم چگونه می‌توانند، این ساختمان‌ها را در مقابل زلزله ایمن نگه دارند؟

۴ــ دلیل نام‌گذاری یک طرفه و یا دو طرفه بودن دال‌ها چیست؟

۵ــ علت استفاده از بلوک‌های سفالی در سقف‌های تیرچه بلوک چیست؟ به نظر شما آیا می‌توان به جای بلوک‌های سنگین سفالی از مصالح دیگری استفاده کرد؟

۶ــ سقف‌های لانه زنبوری را تعریف کنید و نحوه‌ی میل‌گردگذاری را در این سقف‌ها شرح دهید.

۷ــ از دیوار حایل در چه مواردی استفاده می‌گردد؟

۸ــ به نظر شما آیا می‌توان از دیوار زیرزمین به عنوان یک دیوار برشی استفاده کرد؟ در صورت مثبت بودن پاسخ چه نکاتی را باید در اجرای آن در نظر گرفت؟

اجرای بتن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ پیمانه‌کردن مصالح مورد نیاز بتن را شرح دهد ؛

۲ــ روش‌های ساخت بتن را بیان کند ؛

۳ــ انواع دستگاه‌های مخلوط‌کن را نام ببرد و کارآیی هریک را شرح دهد ؛

۴ــ نحوه‌ی نظافت دستگاه‌های بتن‌ساز و نگهداری از آن‌ها را بیان کند ؛

۵ــ روش‌های انتقال بتن تا محل نهایی بتن‌ریزی را شرح دهد ؛

۶ــ نکات عمومی در ریختن و تراکم بتن را نام ببرد ؛

۷ــ تراکم را تعریف کند و دلیل انجام آن را توضیح دهد ؛

۸ــ وسایل تراکم را نام ببرد ؛

۹ــ شیوه‌های بتن‌ریزی در سازه‌های مختلف بتنی را بیان کند ؛

۱۰ــ نحوه‌ی بتن‌ریزی در ارتفاع را بیان کند ؛

۱۱ــ بتن‌ریزی در ستون‌ها و فونداسیون‌ها را توضیح دهد ؛

۱۲ــ بتن‌ریزی‌های حجیم را توضیح دهد ؛

۱۳ــ نحوه‌ی بتن‌ریزی دال‌ها را بیان کند ؛

۱۴ــ نحوه‌ی بتن‌ریزی در اطراف بازشوها و کانال‌ها را توضیح دهد ؛

۱۵ــ بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار را بیان کند ؛

۱۶ــ نحوه‌ی نمونه‌گیری از بتن را در حین اجرا شرح دهد ؛

۱۷ــ مراحل پرداخت سطح بتن را توضیح دهد ؛

۱۸ــ عمل‌آوری بتن را تعریف و روش‌های آن را بیان کند ؛

۱۹ــ شرایط، ویژگی‌ها و مشکلات بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم را شرح دهد ؛

۲۰ــ ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در مورد بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم بیان کند ؛

۲۱ــ لکه‌گیری و ترمیم را تعریف کند و روش‌های آن را بیان کند ؛بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود را توصیف کرده و دلایل نیاز به انجام آن‌را بیان کند ؛

۲۳ــ قالب‌بندی را تعریف کند و هدف آن را شرح دهد ؛

۲۴ــ عملکردهای قالب را ذکر کند ؛

۲۵ــ بارهای وارد به قالب‌ها را نام ببرد ؛

۲۶ــ توصیه‌های آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در مورد قالب‌بندی بیان کند.

پرکردن شناژ قائم با آجر و عدم اجرای صحیح فاصله‌ی خاموت‌ها موجب خرابی سازه شده است. اجرای صحیح بتن، پس از طراحی مناسب آن می‌تواند تضمین‌کننده‌ی ایمنی یک سازه باشد. آیا ساکنان این ساختمان گناهی مرتکب شده‌اند که به ما اعتماد کرده‌اند؟! نبود اخلاق حرفه‌ای موجب بروز چنین خسارت‌هایی که بعضاً غیرقابل جبران نیز هستند، می‌شود. پس بیاییم نحوه‌ی صحیح اجرای یک سازه‌ی بتنی را به‌خوبی فراگیریم تا مدیون ساکنان آن نشویم.

۶ــ۱ــ مقدمه

طی فصول گذشته، مطالبی را درباره‌ی مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن و خواص هریک از آن‌ها و ویژگی‌ها و آزمایش‌های بتن تازه و سخت شده بیان کردیم. اینک در این فصل، به بررسی جنبه‌های عملی و اجرایی در ساخت بتن تازه و ریختن آن در قالب‌ها تا تشکیل بتن سخت شده‌ی ساختمانی می‌پردازیم. معمولاً وقتی از بتن صحبت می‌شود، منظور بتن سخت شده است. باید دانست که بتن سخت شده در طی عملیات مختلفی که به‌دنبال یکدیگر صورت می‌گیرد بدین ترتیب حاصل می‌شود : ابتدا مقادیر مشخص سیمان، سنگ‌دانه‌ها، آب و احتمالاً مواد افزودنی را پیمانه کرده و در مخلوط‌کن‌ها مخلوط می‌کنند تا بتن تازه آماده شود. سپس این بتن تازه از محل ساخت به محل مصرف حمل و در قالب‌های از پیش آماده شده ریخته و متراکم می‌شود تا بتن با وزن مخصوص بالا و تخلخل کم به‌دست آمده و سخت گردد. مراحل نهایی اجرای بتن پرداخت و عمل‌آوری آن می‌باشد.

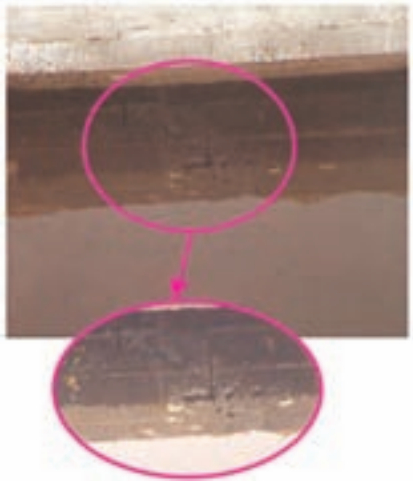
ذکر این نکته ضروری است که تهیه، کاربرد و کنترل کارهای بتنی باید به افراد صاحب صلاحیتی واگذار شود که از تجربه و دانش کافی برخوردار باشند.

ساختمان بتنی در حال ساخت که پس از وقوع زمین‌لرزه کاملاً سالم مانده است. طراحی مطلوب و اجرای درست موجب شده است تا این سازه دچار آسیب نشود.

۶ــ۲ــ پیمانه کردن مصالح

مصالح سنگی را غالباً از طریق وزنی پیمانه می‌کنند. در بتن‌های سبک، اندازه‌گیری حجمی برای مصالح سنگی کاربرد دارد. برای بتن‌ریزی‌های کم حجم نیز اندازه‌گیری حجمی متداول است. باید توجه داشت که اندازه‌گیری وزنی همواره بهتر از اندازه‌گیری حجمی است. اگر ماسه از طریق حجمی اندازه‌گیری شود، باید اضافه حجم آن را در اثر جذب رطوبت محیط یا آب‌پاشی بر روی مصالح در اندازه‌گیری به حساب آورد. مواد افزودنی جامد نیز باید از طریق وزنی اندازه‌گیری شود، امّا مواد افزودنی مایع را می‌توان از هر دو طریق وزنی و حجمی اندازه‌گیری کرد.

اندازه‌گیری سیمان نیز به روش وزنی انجام می‌گیرد، در غیر این صورت، باید از کیسه‌های کامل ۵۰ کیلوگرمی استفاده شود. در بتن‌سازهای اتوماتیک، سیمان به‌وسیله‌ی باسکول مخصوص توزین و اندازه‌گیری می‌شود و سپس در مخلوط بتنی به کار می‌رود. به‌طور کلی براساس ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران، پیمانه کردن مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن، باید تا حد امکان به طریق وزنی انجام گیرد که در این کار دقت توزین هریک از مصالح ۳± درصد توصیه شده است. استفاده از روش‌های دیگر برای پیمانه کردن مصالح در صورتی مجاز خواهد بود که دقت مقدار مصالح به‌دست آمده از آن روش‌ها قابل مقایسه با روش وزنی باشد.



درز سرد موقعی ایجاد می‌شود که بین دو مرحله‌ی بتن‌ریزی وقفه ایجاد شود. در این حالت باید سطح لایه‌ی قبلی بتن با وسیله‌ای مناسب زبر شود و شرایط رطوبتی لایه‌ی بتن قبلی نیز به حالت اشباع با سطح خشک نزدیک گردد. در این مورد، نکات زیر قابل ملاحظه است :

۱ــ محل درز اجرایی در وسط دهانه انتخاب شده که بیش‌ترین تنش‌های خمشی وجود دارد.

۲ــ سطح بتن قدیم به روش صحیح آماده نشده و لذا بتن جدید دارای پیوستگی مناسبی با بتن قدیم نیست.

۳ــ ضخامت پوشش روی میل‌گردها کافی نبوده و خاموت‌ها در بعضی قسمت‌ها در سطح بتن نمایان هستند.

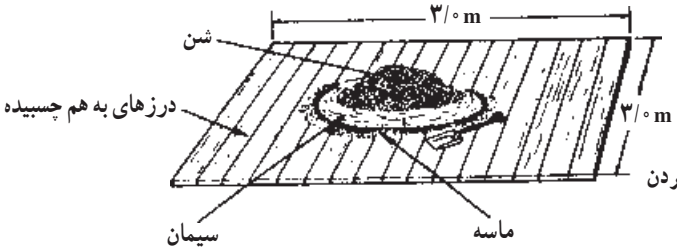
۶ــ۳ــ ساخت بتن

اساساً اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بتن باید طوری مخلوط شوند که بتن حاصله به‌صورت ماده‌ای همگن درآید.

۶ــ۳ــ۱ــ اختلاط دستی: برای بتن‌ریزی‌های غیر سازه‌ای با رده‌ی پایین‌تر از C16 و با حجم کم و در کارهای غیرحساس با دستور دستگاه نظارت هنگامی که ماشین بتن‌ساز در دسترس نیست، از روش اختلاط دستی برای ساخت بتن استفاده می‌شود.

کار مخلوط کردن را باید بر روی سطح تمیزی انجام داد. برای این کار می‌توان با اتصال تخته‌ها به یکدیگر، سطح صاف و غیرقابل نفوذی را ایجاد نمود. این سطح صاف را قبل از بتن‌ریزی روی زمین، ثابت کرده و پس از خیس کردن آن، بتن‌سازی را شروع می‌کنیم. ترتیب کار بدین قرار است :

ابتدا شن را به صورت یکنواخت بر روی سطح آماده شده می‌ریزیم، سپس ماسه را به طور یکنواخت بر روی آن پخش می‌کنیم. در هر حالت ضخامت دو قشر نباید از ۳۰ سانتی‌متر تجاوز نماید. آن‌گاه سیمان خشک را به صورت یکنواخت روی مصالح سنگی پخش کرده و با وسایل مناسب حداقل سه مرتبه به طور کامل زیر و رو می‌کنیم. پس از اختلاط کامل مصالح، آب به تدریج به مخلوط اضافه و به صورت یکنواخت مخلوط بتن را حداقل سه مرتبه زیرورو کرده تا بتن همگن به دست آید. لازم به ذکر است حداکثر حجم بتن برای هر بار ساخت با دست ۳۰۰ لیتر بوده که باید حداکثر تا ۳۰ دقیقه پس از ساخت مصرف گردد. باز آمیختن بتن با آب پس از اتمام اختلاط، در حین حمل و نقل و یا در محل بتن‌ریزی مجاز نمی‌باشد، مگر در موارد استثنایی که مجوز از دستگاه نظارت کسب شده باشد (شکل ۶ــ۱).

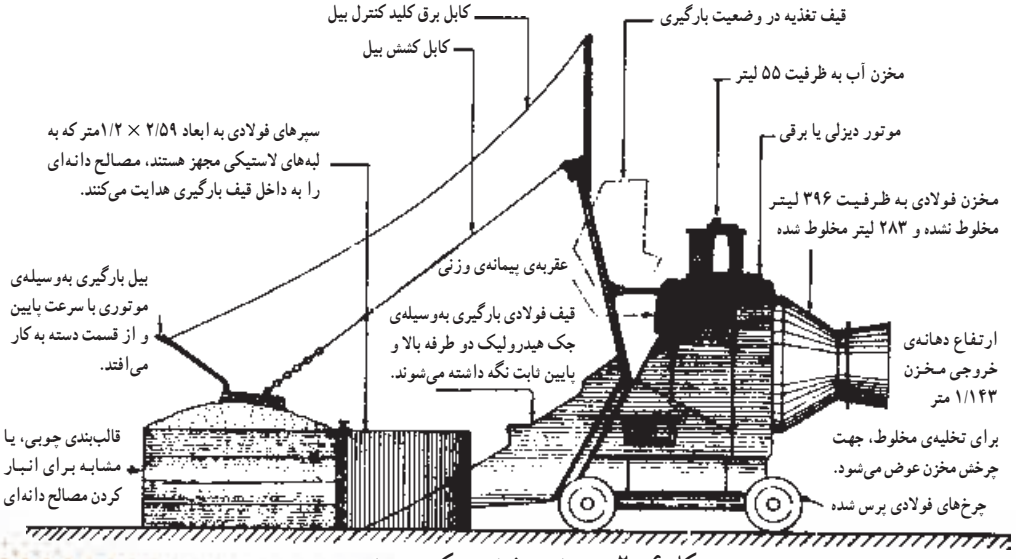


شکل ۶ــ۱ــ نحوه‌ی مخلوط کردن بتن با دست

۶ــ۳ــ۲ــ اختلاط با دستگاه: دستگاه‌های مخلوط‌کن بتن دو نوع هستند : ثابت و متحرک

الف) دستگاه‌های مخلوط‌کن ثابت

۱ــ بتونیر: بتونیر معمولاً با ظرفیت ۵۰ تا ۷۵۰ لیتر ساخته می‌شود و دارای موتور الکتریکی یا گازوییلی است. بتونیر از یک دیگ مخلوط‌کن، تیغه و پره‌های فلزی مخلوط‌کن (حلزونی شکل)، اهرم تخلیه و جابه‌جایی، پمپ آب، جام پرکننده و قیف تخلیه تشکیل شده است. بتونیر را در موقع کار کردن می‌توان با جک زدن به‌صورت ثابت نگه داشت (شکل ۶ــ۲).



شکل ۶ــ۲ــ بتونیر مخزنی معکوس‌شونده

در این شکل اتصال نامطلوب ستون به تیرهای بتنی و خرابی در محل اتصال، وجود درز سرد در ستون و عدم پیوستگی در محل درز نشان داده شده است.

کیفیت نامطلوب بتن، درز سرد در محل اتصال ستون به تیر، تسلیح نامناسب و عدم استفاده از خاموت در ناحیه‌ی اتصال، باعث خرابی ستون در محل اتصال به تیر در این ساختمان در حال احداث شده است.

۲ــ بتن‌ساز مرکزی: این دستگاه، ماشین بتن‌ساز ثابتی است که در مرکز تهیه‌ی بتن نصب می‌شود و به نحوی استقرار می‌یابد که بتواند از مخازن مختلف، شن و ماسه‌ی دانه‌بندی شده را انتخاب کند و آن را برای اختلاط، به‌وسیله‌ی تسمه نقاله‌های افقی و بالابرهای کاسه‌ای عمودی، به دیگ مخلوط‌کن هدایت نماید. بتن‌ساز مرکزی تشکیل شده است از : دیگ‌های مخلوط کن، بارکن، که شن و ماسه را به داخل دستگاه می‌آورد، ترازوها، سیستم مخصوص تغذیه‌ی آب و سیمان و کنترل مرکزی (دستگاه کنترل، امکان تهیه‌ی بتن‌های استاندارد و دانه‌بندی شده را از طریق سیستم کامپیوتری و برنامه‌های داده شده فراهم می‌سازد) (شکل ۶ــ۳).

۴۵ تن در ساعت ۶۰ تن در ساعت ۱۲۰ تن در ساعت

شکل ۶ــ۳ــ سه نمونه‌ی مختلف ایستگاه مرکزی بتن با ظرفیت‌های مختلف

ب) دستگاه‌های مخلوط‌کن متحرک (تراک میکسرها)

تراک میکسرها مخازنی هستند که روی کامیون‌ها، یدک‌کش‌ها و تریلرها نصب می‌شوند و جابه‌جایی و اختلاط مخلوط بتنی را به طور همزمان امکان‌پذیر می‌سازند. برای انتقال بتن در مسافت‌های طولانی، معمولاً مصالح خشک را داخل تراک میکسرها می‌ریزند که در حین حمل به‌وسیله‌ی یک منبع و یک پمپ هیدرولیک، آب لازم به داخل میکسر ریخته پس از اختلاط مصالح، بتن آماده می‌شود ؛ بدین‌ترتیب، هرگاه ماشین به پای کار می‌رسد عمل اختلاط پایان یافته است (شکل ۶ــ۴).

شکل ۶ــ۴ــ تراک میکسر (شامل مخزن مخلوط‌کننده ،پمپ آب و قیف تخلیه)

در این سازه، به دلیل وجود درز سرد در ستون و کیفیت نامطلوب بتن، محل اتصال ستون به تیر راه‌پله خراب شده و بتن‌ریزی نامطلوب تیر راه پله و تسلیح نامناسب آن موجب خرابی و جدایی آن از ستون شده است. همچنین علاوه بر استفاده از دیوارهای پرکننده (میان‌قاب‌ها) با مصالح سنگین و سخت (آجر فشاری) اتصال مناسبی بین آن‌ها و سازه‌ی اصلی تعبیه نشده است.

در این ساختمان، به‌دلیل بتن‌ریزی نامناسب و وجود درز سرد در محل اتصال ستون به تیر و نیز کمبود میل‌گرد برشی (خاموت) و نرم بودن طبقه‌ی همکف نسبت به طبقه‌ی فوقانی، ستون‌ها در محل اتصال به تیرها کاملاً تخریب شده‌اند.

تشکیل طبقه‌ی نرم

اگر بخواهند بتن را به فاصله‌ای نزدیک منتقل کنند، به جای مصالح خشک، داخل تراک میکسرها را با بتن پر می‌کنند و تراک میکسر را که تیغه‌هایی در داخل آن نصب شده به حرکت درمی‌آورند تا بتن را به‌طور مرتب مخلوط کند و مانع از گیرش زود هنگام آن شود.

۶ــ۳ــ۳ــ زمان لازم برای اختلاط: همان‌گونه که ذکر شد، برای به‌دست آوردن بتن با کیفیت یکنواخت و رضایت‌بخش باید مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن را به طور کامل با هم مخلوط کرد، به‌گونه‌ای که ظاهر بتن یکنواخت شود و همه‌ی مصالح آن به‌صورت همگن پخش شوند. نمونه‌های گرفته شده از قسمت‌های مختلف یک پیمانه‌ی بتن باید دارای وزن مخصوص، مقدار هوا، اسلامپ و مقدار درشت دانه‌ی تقریباً یکسان باشند. زمان لازم برای اختلاط، به عوامل متعددی، از قبیل نوع، شرایط و وضعیت فنی و ظاهری، سرعت دوران، مقدار یا حجم مخلوط کن و ترتیب و نحوه‌ی ریختن مصالح در دیگ مخلوط‌کن، بستگی دارد. از اختلاط بسیار طولانی باید خودداری کرد، زیرا ممکن است سنگ‌دانه‌ها ساییده شوند. طبق ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران، عمل اختلاط باید حداقل تا ۱/۵ دقیقه پس از ریختن تمامی مواد تشکیل‌دهنده به داخل مخلوط‌کن ادامه یابد. ضمناً مخلوط‌کن باید با سرعتِ توصیه شده توسط کارخانه‌ی سازنده چرخانده شود.

۶ــ۳ــ۴ــ نظافت و نگهداری از دستگاه‌های بتن‌ساز: دستگاه بتن‌ساز را باید در پایان کار، کاملاً شست و تمیز کرد، به‌طوری که چیزی از مخلوط یا تکه‌ای از بتن در داخل دیگ باقی نماند (تمام پره‌ها و تیغه‌ها و سطوح داخل دیگ باید به دقت شسته و جرم‌گیری شوند). اگر به سطوح خارجی دستگاه بتن‌ساز روغن زده شود، آسان‌تر تمیز می‌گردد. هیچ‌گاه نباید قطعات بتن در روی قسمت‌های مختلف دیگ باقی بماند و سخت شود (برای توقف‌های بیش از ۱/۵ ساعت نیز حتماً باید دیگ شسته شود). روش صحیح برای تمیز کردن بدین صورت است که ابتدا به اندازه‌ی نصف حجم مخزن، شن درشت به داخل مخزن می‌ریزند و ۵ دقیقه آن را مخلوط می‌کنند تا شن درشت در اثر سایش، تکه‌های بتن را از سطح دیگ جدا کند ؛ سپس شن را خالی کرده، داخل دیگ را با فشار آب می‌شویند. باید توجه داشت که ضربه وارد کردن برای کندن بتن‌های سخت شده‌ی داخل دیگ، باعث فرورفتگی بدنه‌ی دیگ شده و در بتن‌سازی‌های بعدی، در آن فرورفتگی‌ها قدری بتن، جمع می‌شود. لذا در این‌گونه موارد، باید با استفاده از مواد شیمیایی و اسیدها، بتن را تخریب کرد و از دیگ خارج نمود.

عدم وجود شناژ افقی موجب تخریب سازه شده است.

۶ــ۴ــ انتقال بتن

انتقال بتن از مخلوط کن تا محل نهایی بتن‌ریزی باید چنان صورت گیرد که از جدا شدگی یا از بین رفتن مصالح جلوگیری شود و حالت خمیری بین بتن‌ریزی‌های متوالی از دست نرود. در واقع تأکید اصلی بر روی حفظ یکنواختی بتن است. به‌ویژه جلوگیری از جدایی درشت دانه‌ها از ملات و جدایی آب از سایر مواد الزامی است.

۶ــ۴ــ۱ــ وسایل انتقال افقی بتن

۱ــ چرخ‌دستی و ارابه: مقدار محدودی از حجم بتن را می‌توان به‌وسیله‌ی چرخ‌دستی و ارابه به کمک نیروی کارگر در مسیر کاملاً مسطح و هموار جابه‌جا کرد. حداکثر وزن مصالح در

قطع شناژ افقی در محل اتصال با نعل درگاه و بتن نامرغوب موجب ایجاد خسارت به سازه و تخریب قسمتی از آن شده است.

شکست ستون از محل درز اجرایی

جابه‌جایی قابل قبول حدود ۱۵۰ کیلوگرم است. رده‌ی بتنی که با این وسایل منتقل می‌شود باید کم‌تر از C16 باشد، فاصله‌ی حمل با چرخ‌دستی و ارابه حداکثر ۶۰ متر است.

۲ــ *دامپر:* دامپر وسیله‌ای است که می‌توان حجم معینی از بتن را با آن در مسیر هموار حمل کرد. با استفاده از دامپر می‌توان در حدود ۲۵۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم (حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ لیتر) بتن را حمل نمود. با این دستگاه می‌توان بتن را از مقابل، از پهلو یا از هر سه طرف تخلیه نمود. رده‌ی بتنی که به وسیله‌ی دامپر حمل می‌شود نباید بیش‌تر از C16 باشد و فاصله‌ی حمل توسط آن حداکثر ۱۲۰ متر می‌تواند باشد (شکل ۶ــ۵).

شکل ۶ــ۵ ــ دامپر معمولی و دامپر تخلیه‌ی بلند

۳ــ *تراک میکسر:* برای انتقال بتن در مسافت‌های طولانی کاربرد دارد.

۶ــ۴ــ۲ــ وسایل انتقال بتن در سطوح شیب‌دار و انتقال عمودی بتن:

۱ــ *ناوه‌ی شیب‌دار*[1]: در نقاط مرتفع که ارتفاع بتن‌ریزی از ۳ متر بیش‌تر باشد باید سطوح شیب‌داری (ناودانی‌های مختلف) ساخت تا بتن در داخل قالب از ارتفاع کم‌تری تخلیه شود و در اثر تخلیه‌ی بتن، مصالح ریز و درشت از هم جدا نشوند. در انتهای ناوه، باید قیف قائم برای تخلیه‌ی بتن به قالب پیش‌بینی شود. برای انتقال بتن در مسافت‌های نسبتاً طولانی و دارای اختلاف ارتفاع (برای مثال انتقال بتن از دامنه‌ی یک تپه و یا کوه به قسمت‌های بالاتر) از تسمه‌ی نقاله استفاده می‌کنند زیرا ناوه‌ی طولانی باعث جداشدگی اجزا و خشک‌شدن مخلوط بتن می‌گردد.

۲ــ *جرثقیل و جام حمل بتن:* در ساختمان‌های بلند برای جابه‌جایی بتن از جرثقیل و جام‌حمل بتن استفاده می‌شود ؛ به این نحو که مقدار زیادی از بتن را به داخل جام می‌ریزند و آن را به ارتفاع موردنظر حمل می‌کنند. بتن داخل جام از طریق دریچه‌ای که در زیر آن قرار دارد و به‌وسیله‌ی یک اهرم باز می‌شود، تخلیه می‌گردد (جام به صورت قیچی باز شده و بتن به طور قائم و از مرکز آن تخلیه می‌شود).

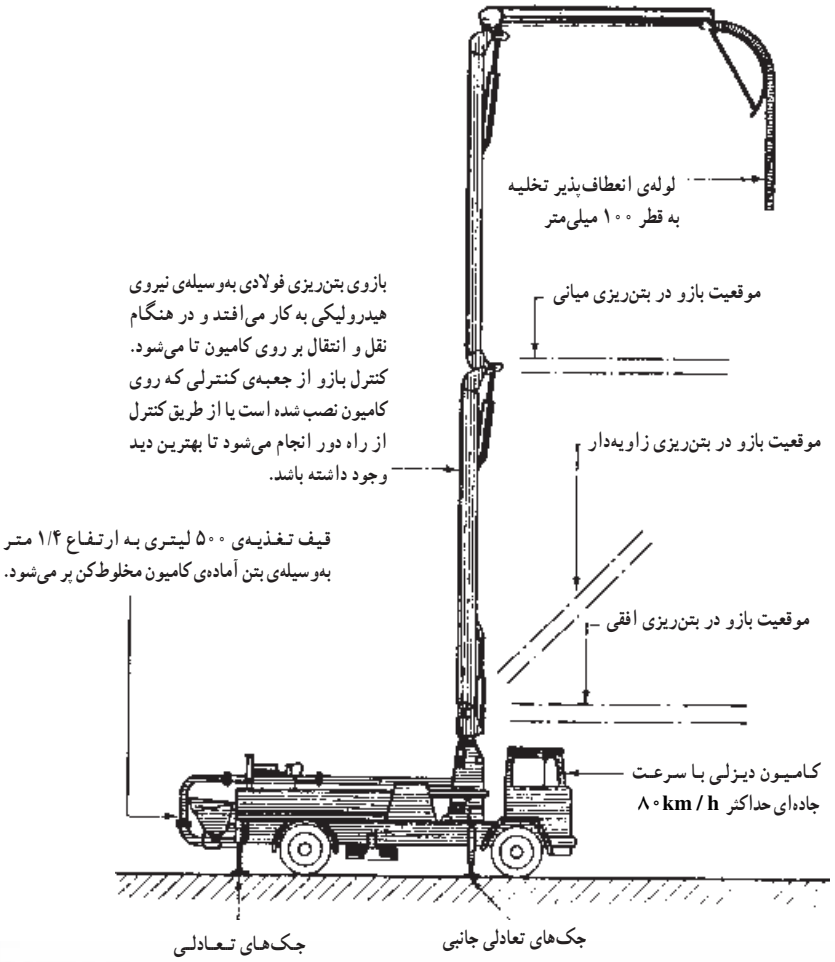
ضعف ستون و عدم اتصال صحیح به تیر بتنی موجب تخریب سازه شده است.

۱ــ Chute

اجرای بتن‌ریزی نامناسب در محل اتصال موجب شده تا آرماتور به‌حد جاری شدن نرسد.

۳ــ پمپ بتن: در مکان‌هایی که امکان حمل بتن با وسایل معمول وجود ندارد یا حمل بتن با شیوه‌های دیگر غیراقتصادی است، از پمپ بتن استفاده می‌گردد.

پمپ، پیستونی قوی دارد که می‌تواند بتن را به داخل لوله‌های تخلیه اینچی تلمبه کند. ظرفیت اسمی انتقال بتن با پمپ بستگی به سرعت تخلیه‌ی بتن و قطر لوله‌های تخلیه دارد. برای حمل بتن در فاصله‌های افقی تا ۸۰۰ متر و فاصله‌های عمودی تا ۳۰۰ متر می‌توان از پمپ استفاده کرد. در پمپ کردن بتن ابتدا باید ملات شل کم سیمانی را تلمبه کرد تا لوله‌های پمپ لیز شود. حداکثر نسبت اندازه‌ی سنگدانه‌ها به کوچک‌ترین قطر داخلی لوله‌ی انتقال نباید از مقادیر ۰/۳۳ برای سنگ‌دانه‌های تیز گوشه و ۰/۴۰ برای سنگ‌دانه‌های کاملاً گرد گوشه تجاوز کند. لوله‌های پمپ باید تا حدامکان مستقیم و شعاع زانوهای آن حداقل ۱/۵ متر باشد. در هوای داغ لازم است لوله‌های انتقال به طریقی خنک نگاه داشته شوند. در انتهای لوله، وسیله‌ی مخصوصی قرار دارد که به‌وسیله‌ی دستگاه‌های مکانیکی یا الکترونیکی قادر است عمل تخلیه را با دقّت و سرعت بیش‌تری هدایت و تنظیم کند (بلافاصله پس از خاتمه‌ی عملیات پمپ کردن، باید لوله‌ها و وسایل آن به دقّت با آب شسته شود). پمپ‌ها به صورت ثابت یا نصب شده بر روی کامیون عمل می‌کنند. تحرک پمپ‌های متحرک بسیار زیاد است و سرعت اجرای بتن‌ریزی را بالا می‌برد. در شکل‌های ۶ــ۶ و ۶ــ۷ به ترتیب یک کامیون با تجهیزات پمپ و بتن‌ریزی با پمپ، نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۶ــ کامیون با تجهیزات پمپ و بازوی متحرک بازشو

اتصال نادرست تیر به ستون باعث جدا شدن تیر از ستون شده و ضعف مقطع ستون‌ها باعث شده که ستون‌ها اولین عضو تخریبی باشند.

شکل ۶ــ۷ ــ بتن آماده، در حال تخلیه به‌وسیله‌ی پمپ نصب شده بر روی کامیون

در انتقال بتن به‌وسیله‌ی پمپ باید توجه داشت که لوله‌ها یا شیلنگ‌های انتقال، در برابر سایش مقاوم و به قدر کافی نیز سبک باشند ؛ همچنین موادی که در ساخت آن‌ها به‌کار رفته است نباید با بتن واکنش شیمیایی انجام دهند. برای مثال، در پمپ کردن بتن از طریق لوله‌های ساخته شده از آلومینیم یا آلیاژهای آن، ممکن است افت قابل توجهی در مقاومت بتن پدید آید، زیرا در اثر واکنش شیمیایی سطح داخل لوله‌های آلومینیمی با مواد قلیایی سیمان، گاز هیدروژن تولید می‌شود که می‌تواند مقاومت بتن را به راحتی تا ۵۰ درصد کاهش دهد. لذا وسایل ساخته شده از آلومینیم یا آلیاژهای آن نباید به‌عنوان خطوط پمپاژ به‌کار روند. البته استفاده از آلیاژهای آلومینیم در شوت‌های کوتاه نظیر آن‌چه در انتقال بتن از تراک میکسر به‌کار می‌رود، بلامانع است. در انتقال بتن از طریق پمپ باید توجه ویژه‌ای به طرح اختلاط بتن مبذول داشت. بتن پمپ شونده تفاوت چندانی با سایر بتن‌ها ندارد ؛ فقط باید حالت خمیری و چسبنده داشته باشد. مخلوط‌های خشک یا خشن را نمی‌توان به خوبی پمپ کرد.

استفاده از بتن نامرغوب و ناکافی بودن طول وصله‌ی آرماتورها در شناژ قائم موجب تخریب آن شده است.

۶ــ۵ــ ریختن و تراکم بتن

عمل ریختن و تراکم بتن، معمولاً توأم و وابسته به هم بوده و اغلب همزمان انجام می‌شود. این مرحله از عملیات جهت رسیدن به مقاومت مورد نیاز، غیرقابل نفوذ بودن و دوام بتن سخت شده در ساختمان، فوق‌العاده مهم است.

۶ــ۵ــ۱ــ نکات عمومی: برای دستیابی به اهداف ذکر شده، توجه به نکات زیر بسیار ضروری است :

الف) بتن باید تا حد امکان نزدیک به محل نهایی خود ریخته شود تا از جدایی دانه‌ها در اثر جابه‌جایی مجدد جلوگیری گردد.

ب) روند بتن‌ریزی باید به‌گونه‌ای باشد که بتن در هنگام ریختن و جا دادن، به حالت خمیری باقی بماند و بتواند به راحتی به فضاهای بین میل‌گردها راه یابد.

ج) باید از پرتاب بتن با بیل و حرکت دادن آن با فشار خودداری شود. ارتفاع سقوط آزاد بتن برای جلوگیری از جداشدن دانه‌ها باید به ۰/۹ تا ۱/۲ متر محدود شود.

د) بتن باید در لایه‌های یکنواخت ریخته شود و از انباشتن آن در لایه‌های شیب‌دار خودداری گردد. ضخامت لایه‌ها بستگی به نوع قطعه‌ی بتنی دارد.

هـ) در صورتی که اسلامپ بتن در موقع تحویل برای مصرف، کم‌تر از میزان مقرر باشد، باید از مصرف آن خودداری شود. با این وجود، افزودن اسلامپ بتن تا هنگامی که هنوز از مخلوط‌کن تخلیه نشده، فقط با اجازه‌ی دستگاه نظارت و با افزودن دوغاب سیمان به همراه و یا بدون مواد افزودنی روان‌کننده میسر می‌باشد، مشروط بر این‌که نسبت آب به سیمان از میزان درنظر گرفته شده توسط طراح تجاوز ننماید. (توجه به این نکته لازم است که باز آمیختن بتن با آب پس از اتمام اختلاط، در حین انتقال آن و یا در محل بتن‌ریزی مجاز نیست، مگر در موارد استثنایی که دستگاه نظارت صلاح بداند.)

و) بتن‌ریزی باید از آغاز تا پایان به‌صورت عملیاتی سریع و پیوسته در محدوده‌ی مرزها یا درزهای از پیش تعیین شده‌ی قطعات ادامه یابد. سرعت ریختن و تراکم بتن باید یکسان باشد.

ز) بتنی که به حالت نیمه‌سخت درآمده یا به مواد زیان‌آور بیرونی آلوده شده است، نباید در بتن‌ریزی قطعات سازه‌ای به‌کار رود.

ح) بتن باید در طول عملیات بتن‌ریزی با استفاده از وسایل مناسب، کاملاً متراکم شود، به‌طوری که میل‌گردها و اقلام مدفون را کاملاً در برگیرد و قسمت‌های داخلی و به‌خصوص گوشه‌های قالب‌ها را به‌خوبی پر کند. بتن‌های خود تراکم را می‌توان متراکم نکرد[1].

ط) قبل از ریختن لایه‌ی جدید، باید لایه‌ی قبلی کاملاً متراکم گردیده و لایه‌های بعدی پیش از سخت شدن لایه‌ی قبلی، یعنی زمانی که هنوز در حالت پلاستیک است، ریخته شوند تا ساختار یکپارچه‌ای حاصل شود.

ی) در هنگام تراکم، به‌هیچ‌وجه نباید به میل‌گردها ضربه وارد آید یا آن‌که با جسمی نظیر چکش به میل‌گردها ضربه زده شود، زیرا ممکن است باعث جابه‌جایی شبکه‌ی فولادی و میل‌گردها از محل اصلی خود شود. ضمناً در اثر این ارتعاش ممکن است مواد ریزدانه و دوغاب سیمان در اطراف میل‌گردها جمع شده و مواد درشت دانه‌ی اطراف آن پراکنده شوند. این امر موجب کاهش

ترک ایجاد شده در سقف یک سازه‌ی بتنی در راستای تیر

فاصله‌ی زیاد شناژهای قائم و فقدان پیوستگی دیوار به شناژ قائم موجب تخریب دیوار شده است.

عدم رعایت ارتفاع شناژ عمودی و فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر موجب شکاف شده است.

۱ــ برای آشنایی با بتن خود تراکم به ضمیمه‌ی کتاب مراجعه شود.

مقاومت بتن در جوار میل‌گردها شده و در نهایت، به ایجاد ضایعه در بتن منجر می‌شود.

۶ــ۵ــ۲ــ تراکم بتن: خارج کردن هوای بتن و نزدیک کردن ذرات جامد به یکدیگر را «تراکم» گویند. هدف از تراکم، کاهش هوای محبوس ناخواسته در بتن می‌باشد. تا آن‌جا که کل هوای مذکور بیش از ۱/۵ درصد نباشد (شکل ۶ــ۸).

شکل ۶ ــ۸ ــ اثر تراکم در حذف یا کاهش منافذ

برخی از معایب وجود هوای محبوس در بتن عبارتند از :

۱ــ حباب‌های هوا به ازای هر ۱٪ هوای محبوس شده مقاومت بتن را ۵ تا ۶ درصد کاهش می‌دهند.

۲ــ حباب‌های هوا، نفوذپذیری را افزایش داده موجب کاهش دوام بتن و کاهش قدرت دفاعی در برابر تهاجم املاح مضر می‌شوند.

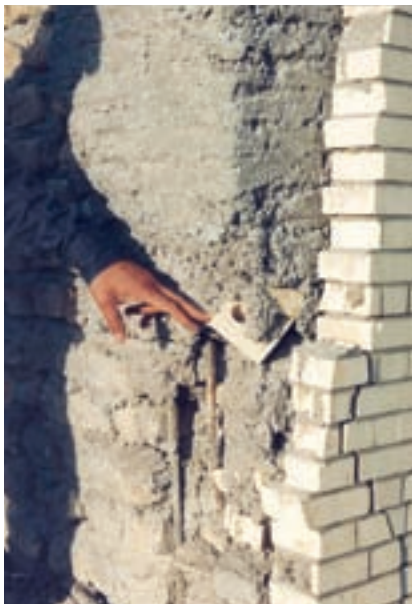
۳ــ حباب‌های هوا تماس بین بتن، میل‌گرد و سایر فلزات مدفون در بتن را کاهش می‌دهند و پیوستگی لازم میان فولاد و بتن را به خوبی برقرار نمی‌سازند و این باعث کاهش مقاومت عضو سازه‌ای می‌شود.

برای اجتناب از حبس هوا، لایه‌ی بتن باید دارای ضخامت کم و نازک باشد، ولی در هر صورت نباید کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر و یا سه برابر حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ی بتن باشد.

الف) وسایل تراکم

۱ــ لرزاننده[1]ی درونی: این وسیله از یک سر یا خرطوم مرتعش‌شونده تشکیل شده است که از طریق یک میله‌ی انعطاف‌ناپذیر به یک موتور متحرک اتصال دارد. سر خرطومی شکل وارد بتن شده و با ایجاد لرزش یکنواخت، سبب تراکم بتن می‌شود. در خصوص لرزاننده‌های درونی بعداً بیش‌تر صحبت خواهیم کرد.

۲ــ لرزاننده‌ی خارجی: دستگاه مرتعش‌کننده بر روی یک تکیه‌گاه ارتجاعی به قالب‌ها متصل می‌شود و قالب و بتن هر دو به‌طور همزمان با هم لرزانده می‌شوند.

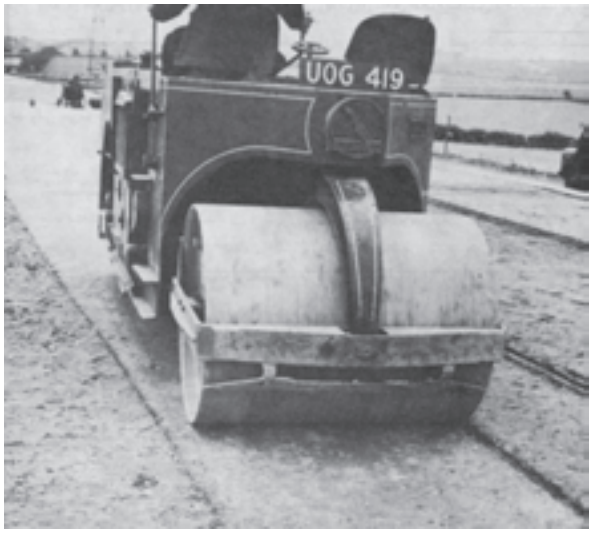


استفاده از پاره آجر در شناژ عمودی به جای بتن و بتن‌ریزی با مصالح نامرغوب

استفاده از آرماتورهای طولی ساده در شناژ افقی بالا بدون قلاب انتهایی و عدم رعایت فواصل خاموت‌ها موجب ایجاد خرابی در سازه‌ی یک طبقه کوچک شده است. در حالی که از چنین سازه‌ی سبکی انتظار می‌رود که در اثر زلزله آسیبی نبیند.

۱ــ ویبراتور

۳ــ غلتک‌ها: غلتک‌ها برای تراکم بتن‌های خشک کم‌عیار با مقدار کمِ سیمان، با سطح وسیع و افقی به کار می‌روند (شکل ۶ ــ ۹). بتن خشک کم‌عیار در ساخت جاده‌ها، در زیر سطح آسفالت استفاده می‌شود.



شکل ۶ــ ۹ ــ متراکم کردن بتن کم‌عیار با غلتک

فاصله‌ی زیاد شناژهای قائم و عدم پیوستگی دیوار با آن‌ها موجب فرو ریختن دیوار شده است.

ب) اندازه‌ی لرزاننده‌های درونی

برای اغلب کارهای بتن مسلح، میله‌هایی به قطر ۲۰ تا ۹۰ میلی‌متر ساخته شده است. برای کارهای حجیم مانند سدها، میله‌هایی به قطر ۱۳۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر نیز وجود دارد که به علت سنگینی در هنگام کار به دو کارگر احتیاج است.

میزان تأثیر میله‌های لرزاننده (ویبراتور) به موقعیت کار، کارآیی بتن و مشخصات میله بستگی دارد. هر چه قطر میله بزرگ‌تر باشد، شعاع عمل آن بیش‌تر خواهد بود. هنگام اجرا می‌توان شعاع عمل را با چشم مشاهده کرد. لرزاننده باید به صورت عمودی و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود و از خواباندن لرزاننده به صورت مایل یا افقی پرهیز گردد. شکل ۶ــ۱۰ نحوه‌ی قرار دادن صحیح لرزاننده در داخل بتن را نشان می‌دهد. در جدول ۶ــ۱ مشخصات و کاربرد لرزاننده‌های داخلی ارائه شده است.

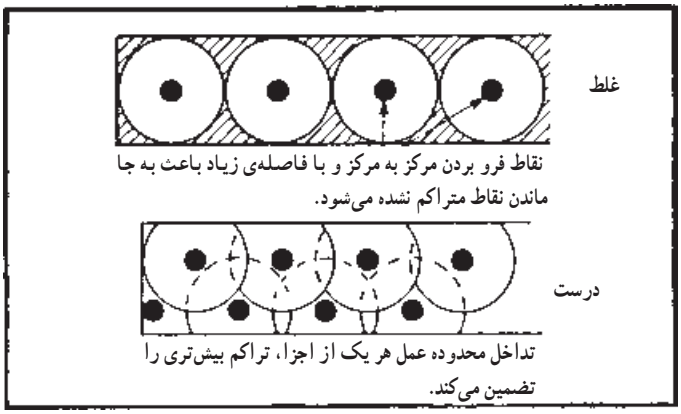
شکل ۶ــ ۱۰ــ روش قرار دادن لرزاننده‌های درونی در داخل بتن

جدول ۶ــ۱ــ مشخصات و کاربرد لرزاننده‌های داخلی

گروه	قطر لرزاننده (سانتی‌متر)	شعاع عمل (سانتی‌متر)	حجم بتن‌ریزی به ازای هر لرزاننده (متر مکعب بر ساعت)	کاربرد
۱	۲ــ۴	۸ــ۱۵	۰/۸ــ۴	برای بتن‌های خمیری و روان و در اعضای نازک و اعضای پیش تنیده و نمونه‌های آزمایشگاهی
۲	۳ــ۶	۱۳ــ۲۵	۲/۳ــ۸	بتن خمیری برای دیوارهای نازک، تیرها، شمع‌های پیش‌ساخته، ستون‌ها و دال‌های نازک
۳	۵ــ۹	۱۸ــ۳۶	۴/۶ــ۱۵	برای بتن نسبتاً خمیری (با اسلامپ کم‌تر از ۸ سانتی‌متر)، در اعضای عمومی، مانند دیوارها، ستون، تیرها و دال‌های ضخیم
۴	۸ــ۱۵	۳۰ــ۵۱	۱۱ــ۳۱	برای بتن‌ریزی حجیم و اعضای سازه‌ای با اسلامپ ۰ تا ۵ سانتی‌متر که کم‌تر از ۳ متر مکعب بتن در هر نوبت ریخته می‌شود.
۵	۱۳ــ۱۸	۴۰ــ۶۱	۱۹ــ۳۸	برای بتن‌ریزی حجیم، مانند سدها، دیوارهای ضخیم و ستون‌های پل‌ها که در هر نوبت بیش از ۳ متر مکعب ریخته می‌شود.

ایجاد ترک‌های قطری در اثر ضعیف بودن شناژ قائم

شعاع عمل، فواصل و نحوه‌ی فرو بردن میله‌ی لرزاننده در شکل‌های ۶ــ۱۱ تا ۶ــ۱۳ مشخص شده است. شعاع های عمل باید تا چند سانتی‌متر یکدیگر را پوشش دهند، معمولاً این فاصله ۱/۵ برابر شعاع عمل لرزاننده توصیه می‌شود.

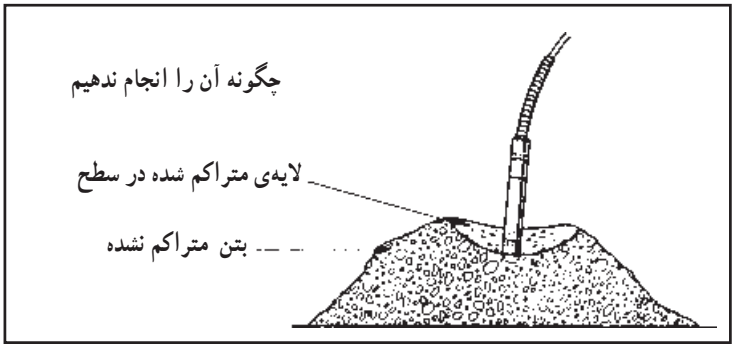


شکل ۶ــ۱۱ــ لزوم رعایت تداخل محدوده‌ی شعاع تراکم میله‌های مختلف

شکل ۶ــ۱۲ــ فرو بردن یک لرزاننده‌ی میله‌ای در داخل بتن تازه در یک قالب تیر

شکل ۶ــ۱۳ــ در نقاطی که بلافاصله نزدیک میله قرار گرفته‌اند، بتن کاملاً متراکم شده است. باید دقّت کرد که سطح بتن در این نقاط چگونه پایین رفته است.

برای حذف مؤثر هوا، ویبراتور باید سریعاً به داخل بتن وارد گردد و با حرکت ملایم بالاــ پایین، به آهستگی خارج شود. نفوذ سریع ویبراتور سبب می‌شود تا بتن به طرف بالا و خارج از قالب حرکت کرده و هوا خارج می‌گردد. در زمانی که ویبراتور به آهستگی خارج می‌شود، هوای بالای ویبراتور به طرف بالا رانده می‌شود و از طرف دیگر، باعث جاری‌شدن ملات به صورت یکنواخت می‌شود. در شکل ۶ــ۱۴ مشکل پیش آمده در صورت فرو بردن میله به طور آهسته نشان داده شده است.



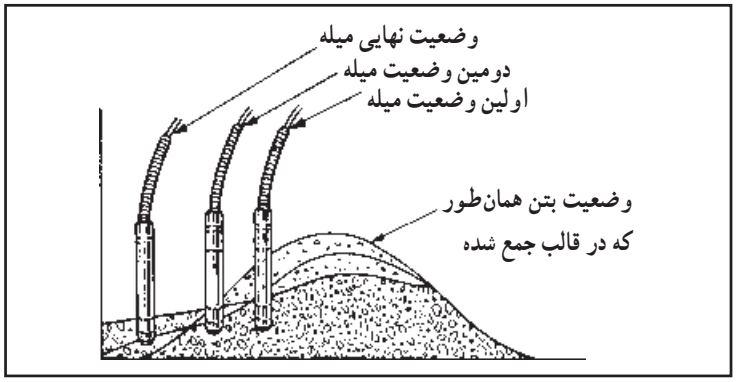
شکل ۶ــ۱۴ــ مشکل پیش آمده در صورت فروبردن میله به طور آهسته

ویبراتور باید به انتهای لایه‌ی بتن‌ریزی رسیده و حداقل ۱۵ سانتی‌متر در لایه‌ی قبلی نفوذ کند. لرزاننده نباید برای حرکت جانبی و هل‌دادن بتن استفاده گردد، زیرا سبب جداشدگی اجزای مخلوط بتن می‌شود. برای صاف و تراز کردن سطح بتن می‌توان لرزاننده را به وسط توده بتن

عدم اجرای شناژ افقی بالا و اتصال نادرست تیر

کیفیت نامرغوب بتن و فاصله‌ی زیاد شناژهای قائم موجب ایجاد خسارت در این سازه شده است.

داخل کرده تا بتن هموار گردد و از هرگونه حرکت جانبی اجتناب شود. در صورتی که ضروری باشد جابه‌جایی با ویبراتور انجام شود، نحوه‌ی صحیح آن در شکل ۶ــ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۱۵ــ نحوه‌ی استفاده از میله برای صاف‌کردن انباشته‌ی بتن. بتن را وادار کنید که به صورت زبانه به طرف زوایا و نقاط انتهایی جاری شود، دقت کنید که از جدایی اجزای بتن اجتناب گردد. بتن را نزدیک به اتصالات نریزید و مرتعش نکنید.

ج) مدّت زمان تراکم کامل

مدّت زمان تراکم کامل، به‌طوری که بتن در تمام قالب جا بگیرد و یا با بتنی که قبلاً ریخته شده به صورت یکپارچه عمل کند،بین ۵ تا ۱۵ ثانیه است. در عمل، به محض مشاهده‌ی حباب‌های هوا و به‌وجود آمدن غشایی درخشان از ملات بر روی سطح بتن، و تغییر صدای لرزاننده عمل تراکم را باید متوقف کرد.

اگر زمان لرزاندن کم باشد، سنگدانه‌ها حرکت می‌کنند، ولی ملات فرصت کافی برای جاری‌شدن ندارد و بتن متخلخل می‌شود. اگر زمان لرزاندن زیاد باشد، مقدار زیادی شیری بتن به سطح آمده که باعث جداشدگی در بتن و ایجاد ترک و کاهش مقاومت سطح بتن و کرمو شدن قسمت‌های زیرین بتن می‌شود.

۶ــ۵ــ۳ــ نکات خاص بتن‌ریزی:

الف) بتن‌ریزی فونداسیون‌ها و ستون‌ها: قبل از بتن‌ریزی باید سطح قالب با آب مرطوب شود یا به مواد رهاساز آغشته گردد تا آب بتن را به خود جذب نکند. در هنگام بتن‌ریزی فونداسیون‌ها باید دقّت شود که بتن با ضربه به بدنه‌ی قالب برخورد نکند و حداکثر در لایه‌های ۳۰ سانتی‌متری ریخته شده و پس از ویبره شدن هر لایه، لایه‌ی بعدی ریخته شود. تا آن‌جا که ممکن است باید بتن را با سرعت ریخت و در هنگام ریختن هر لایه از متراکم شدن لایه‌ی قبلی اطمینان کافی حاصل شود.

در زیر فونداسیون به منظور پرهیز از آلوده‌شدن بتن اصلی فونداسیون با خاک بستر، اجرای یک لایه بتن پاکیزگی (بتن مگر) از بتن لاغر با رده‌ی C10 و با عیار سیمان ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت حداقل ۵ سانتی‌متر ضروری است که معمولاً از هر طرف ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر بزرگ‌تر از خود فونداسیون می‌باشد.

در ستون‌های کوچک، قبل از این که اوّلین لایه‌ی بتن ریخته شود، میله‌ی ویبره را در انتهای قالب قرار می‌دهیم (به علت عمق کم هر لایه، با قرار دادن میله‌ی ویبره می‌توان اطمینان حاصل کرد

آسیب دیدگی شناژ قائم و ایجاد ترک در ساختمان اورژانس

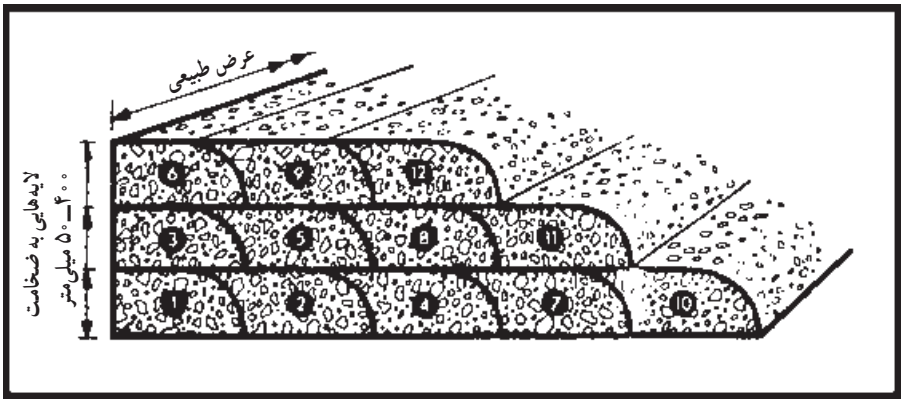
که تمامی لایه بتن به خوبی متراکم خواهد شد). این لایه باید بتواند با قسمت‌های سخت، اتصال و یکپارچگی کاملی پیدا کند. لایه‌های بتن به نحوی در قالب ریخته می‌شود که میله‌ی ویبره بتواند آن‌ها را ویبره کند. در انتها، میله‌ی ویبره را باید به‌طور پیوسته و به آهستگی از بتن خارج کرد. حداکثر عمق لایه‌های بتن در هر نوبت بتن‌ریزی این نوع ستون‌ها نیز ۳۰ سانتی‌متر است.

در ستون‌های بلند، معمولاً در ارتفاع‌های ۱ متر به ۱ متر، دریچه‌هایی در قالب ایجاد می‌کنند و یا این‌که یک بدنه‌ی قالب را متحرک طراحی کرده آن را مرحله به مرحله بالا می‌برند. پس از رسیدن بتن به این دریچه‌ها، به‌منظور امکان بتن‌ریزی، دریچه‌ها مسدود شده و بتن از دریچه‌ی بالایی ریخته می‌شود و به‌همین ترتیب کار تا پایان ادامه می‌یابد.

عدم رعایت طول مهاری مناسب در شناژ قائم و اجرا نکردن کلاف افقی زیر سقف

ب) بتن‌ریزی‌های حجیم: در بتن‌ریزی‌های حجیم که به صورت لایه لایه انجام می‌شود، هدف اصلی، محدود کردن سطح آزاد بتن و اطمینان یافتن از تداوم بتن‌ریزی و قرار نگرفتن بتن تازه بر روی بتن‌های سخت شده‌ی قبلی است.

وقتی از تسمه‌ی نقاله برای بتن‌ریزی استفاده شود، بتن از ارتفاع ۱ تا ۲ متری به سطح کار می‌رسد. باید دقّت کرد که از توده شدن و انباشته شدن بتن جلوگیری شده و با مصرف مواد افزودنی و یا طراحی خاص، پس از ریخته شدن بتن در محل اجرا، در اثر نیروی حاصل از وزن خود افت کرده به اطراف پخش شود. شکل ۶ــ۱۶ بتن‌ریزی پله‌ای را به‌منظور اجتناب از ایجاد درزهای سرد نشان می‌دهد.



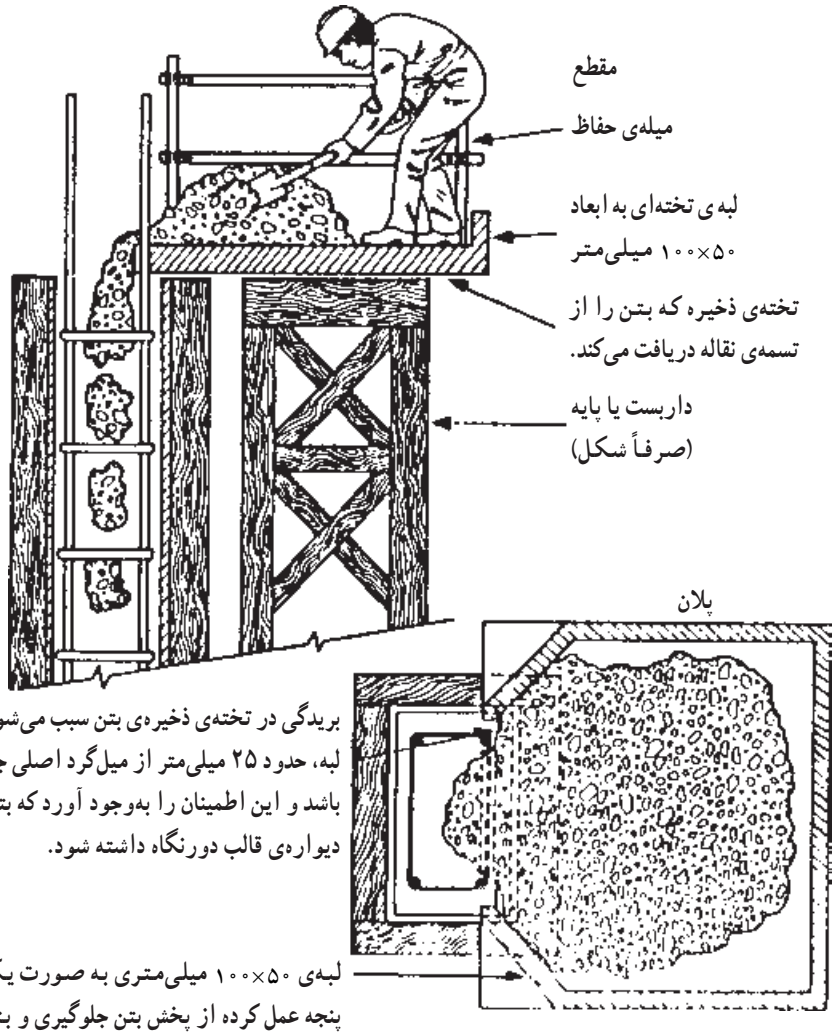
شکل ۶ــ۱۶ــ بتن‌ریزی پله‌ای برای جلوگیری از ایجاد درزهای سرد در بتن‌ریزی‌های حجیم

ج) بتن‌ریزی دیوارها: قبل از بتن‌ریزی باید مطمئن شد که میل‌گردها برای بتن‌ریزی و ارتعاش مزاحمتی ایجاد نخواهند کرد و در مواقع ضروری، راه‌حلی برای ریختن بتن به قالب در نظر گرفته شود. در مرحله‌ی بعد می‌توانیم چگونگی انجام کار را برای بتن‌ریزی آموزش دهیم. نصب یک سپر چوبی در بالای قالب سبب جاری شدن بتن در داخل قالب می‌شود و عمل بتن‌ریزی به نحوی انجام می‌گیرد که کارگر بتن‌ریز بتواند داخل قالب را ببیند. برای دیوارهای بلند شیلنگ ویبراتور باید به اندازه‌ی کافی بلند باشد تا ویبره بتواند در عمق دیوار حرکت کند. در هنگام اجرای کار باید ریختن بتن به‌طور یکنواخت و هم سطح انجام گیرد. در ریختن و متراکم کردن اولین لایه‌ی بتن و پیوستگی این لایه به قسمت‌های افقی ساختمان باید دقت زیادی نمود.

عمق لایه‌ی اول هیچ گاه نباید از ۳۰ سانتی‌متر بیش‌تر شود. در دیوارهای نازک وجود یک سکوی ممتد در بالای دیوار برای بتن‌ریزی، یا انباشتن بتن، سپس ریختن آن به داخل قالب یک راه‌حل اساسی است. در نقاط انتهایی و اتصالات عمودی ساختمان باید عمل تراکم و ارتعاش به دقت انجام شود (شکل‌های ۶ ــ۱۷ تا ۶ــ۲۰).

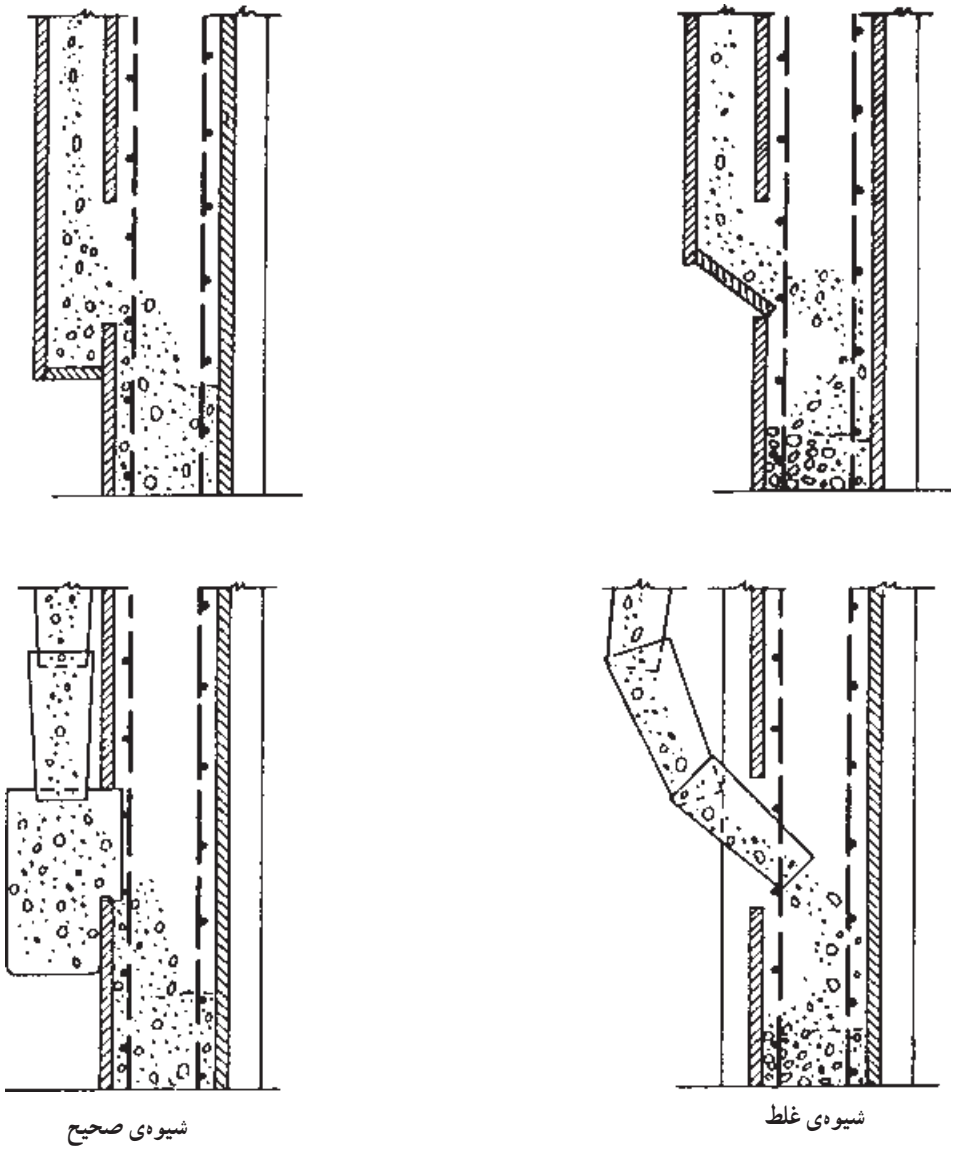
بتن‌ریزی دیوارها را باید از کنار قالب به طرف وسط آن انجام داد. هر لایه را از یک طرف شروع می‌کنند و وقتی بتن‌ریزی به وسط می‌رسد، همان لایه را از طرف دیگر تا وسط می‌ریزند. در مورد دیوارهایی که طی چند لایه بتن ریزی می‌شوند، باید دقت نمود که در لایه‌های زیرین به‌خصوص در گوشه‌ها، شیره‌ی بتن جمع نشده و ارتفاع لبه‌ی داخلی دیوار برابر ارتفاع مورد نظر باشد.

بتن‌ریزی نادرست شناژ قائم



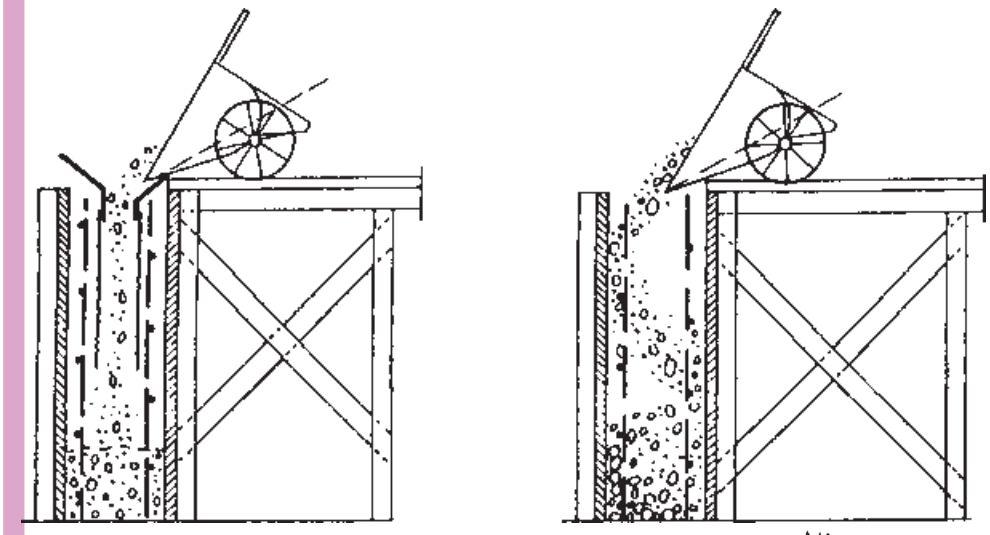
شکل ۶ ــ۱۷ ــ استفاده از یک تخته‌ی ذخیره در بالای یک ستون. از این روش برای دیوارهای باریک نیز می‌توان استفاده کرد، با این تفاوت که باید تخته‌ی ذخیره‌ی طویل‌تری را به‌کار برد.

ریزش نمای ساختمان دراثر ناپیوستگی با دیوار و بتن‌ریزی نامناسب



شیوه‌ی غلط　　شیوه‌ی صحیح

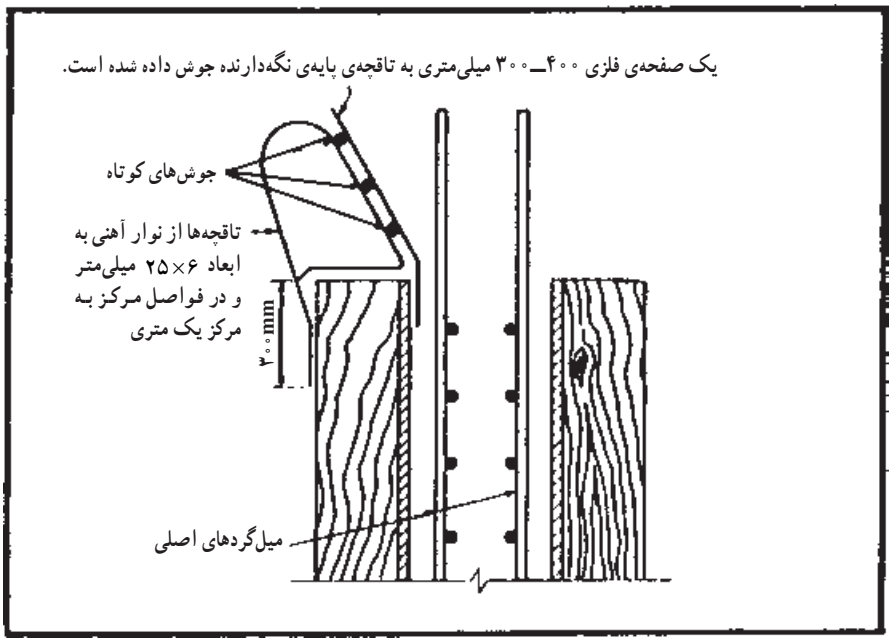
شکل ۶ــ ۱۸ــ شیوه‌های بتن‌ریزی در دیوارهای بلند



شیوه‌ی غلط　　شیوه‌ی صحیح

شکل ۶ــ ۱۹ــ بتن‌ریزی در بالای دیوار

جدا شدن شناژهای قائم خرپشته از سازه به دلیل ناکافی بودن طول وصله



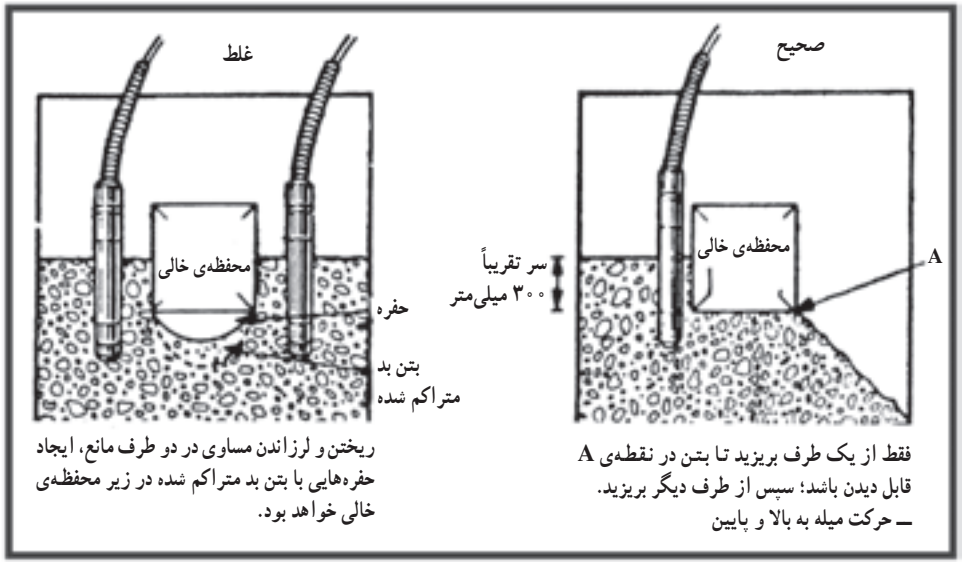
شکل ۶ــ۲۰ــ در قالب دیوارها، نصب صفحات فلزی هادی برای انتقال بتن کمک مؤثری است.

د) بتن‌ریزی با تسمه‌ی نقاله و پمپ بتن: ریختن بتن با تسمه‌ی نقاله وقتی انجام می‌شود که فرد مسئول بتواند باز و بسته شدن دریچه‌ی تسمه‌ی نقاله را کنترل کند. اگر این امر امکان‌پذیر نباشد بهتر است که بتن را روی تخته‌ای بریزیم و آن را با بیل به داخل قالب ستون هدایت کنیم. قبل از بتن‌ریزی هر لایه باید از تراکم لایه‌ی قبلی اطمینان حاصل شود.

در بتن‌ریزی با پمپ، باید قسمت انتقال شیلنگ تا حد امکان پایین باشد تا از ریختن بتن از ارتفاع زیاد جلوگیری شود. به‌طور همزمان می‌توان میله‌ی ویبره را پایین فرستاد و همراه با بالا آمدن شیلنگ پمپ بتن، آن را به آرامی بالا کشید. در بتن‌ریزی ستون‌ها، خروجی پمپ باید با قدرت ارتعاش میله‌ی ویبراتور هماهنگ شود. در ستون‌های بزرگ به علت وسعت سطح بتن، برای بتن‌ریزی از چند کارگر استفاده می‌شود که باید هماهنگی کاملی بین بتن‌ریزان و متراکم‌کننده‌ها ایجاد گردد. همچنین باید تا حد امکان از تکیه دادن میله‌ی ویبراتور به شبکه‌ی میل‌گردها جلوگیری شود.

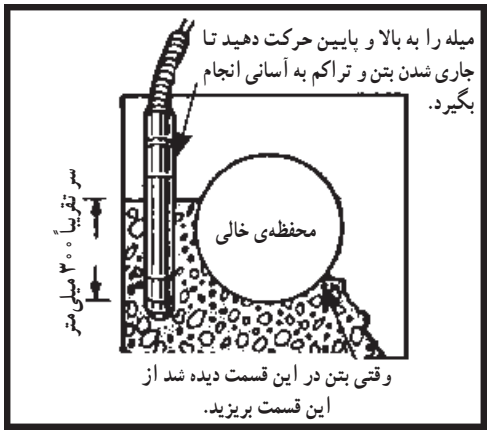
هـ) بتن‌ریزی دال‌ها و نحوه‌ی ارتعاش آن: بهترین روش ریختن و پخش بتن در دال‌ها استفاده از پمپ بتن است. در این روش نیازی به پخش بتن نیست و می‌توان با حرکت خرطوم (لوله‌ی تخلیه)، بتن را به محل‌های مورد نظر هدایت کرد. از انباشتن بتن در روی سقف یا دال باید پرهیز نمود، زیرا پخش آن با بیل منجر به جدا شدن دانه‌ها می‌شود. استفاده از ویبراتور میله‌ای در دال‌های با ضخامت کم مجاز نیست. تراکم بتن ممکن است از طریق خارجی نیز انجام شود.

و) بتن‌ریزی در اطراف بازشوها، کانال‌ها و نقاط توخالی: در شکل‌های ۶ــ۲۱ تا ۶ــ۲۳ نحوه‌ی بتن‌ریزی و تراکم صحیح در حالت‌های مختلف (بتن‌ریزی در کنار محفظه‌های خالی و حفره‌ها) نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۲۱ــ ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف یک مانع چهارگوش، مانند یک بازشو است. اگر مانع، از یک متر عریض‌تر باشد، ممکن است که ایجاد «روزنه» در قالب، درست زیر و وسط مانع برای فرو بردن میله ارزش داشته باشد.

شکل ۶ــ۲۲ــ ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف یک تیرآهن

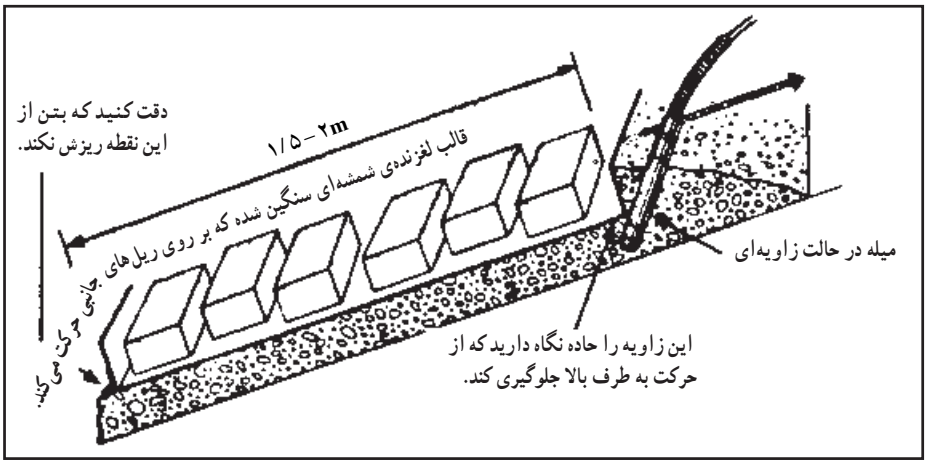


شکل ۶ــ۲۳ــ ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف قالب سوراخ یا مجرا. قالب‌ها را باید خوب در جای خود ثابت کرد تا فشار بتن، آن‌ها را به یک طرف حرکت نداده یا موجب بالا آمدن آن‌ها به سطح نشود.

عدم رعایت طول مهاری مناسب در آرماتورهای فوقانی، باعث شکست اتصال گردیده است.

عدم رعایت پوشش بتنی مناسب بر روی میل گردها

ز) بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار: در این حالت باید بتن‌ریزی از پایین به بالا انجام شود. به این ترتیب، وزن بتن بالا سبب تراکم و جااندازی بتن زیرین می‌شود. اگر شیب سطح بیش‌تر از ۵ الی ۱۰ درجه نباشد، می‌توان از روش متداول برای بتن‌ریزی دال‌ها استفاده کرد. اگر بتن پس از تراکم کمی افت کند، باید صبرکرد تا خود را بگیرد و سپس لایه‌ی بعدی ریخته شود. برای شیب‌های بیش از ۱۰ درجه لازم است که از یک قالب لغزنده‌ی شمشه‌ای مطابق شکل ۶ــ۲۴ استفاده گردد. قالب نباید لرزانده شود، زیرا این موضوع باعث می‌شود که بتن از لبه‌های پایینی بیرون بیاید و متورم شود.



شکل ۶ــ۲۴ــ ریختن بتن بر روی یک سطح شیب‌دار با استفاده از قالب لغزنده‌ی شمشه‌ای که بر روی ریل‌های جانبی نگه داشته شده و به منظور جلوگیری از بلند شدن قسمت جلویی بر روی آن، وزنه گذاشته شده است. قالب باید به سمت بالای سطح شیب‌دار با سرعتی معادل ۲ متر در ساعت حرکت داده شود که بستگی به سفتی بتن نیز دارد.

۶ــ۵ــ۴ــ نمونه‌گیری از بتن در هنگام اجرا: معمول‌ترین شیوه برای آزمایش بتن‌های سخت شده، برداشت نمونه از بتن تازه و ساختن نمونه‌های مکعبی یا استوانه‌ای است، به نحوی که پس از گیرش و سخت شدن، بتوان مقاومت‌های فشاری نمونه‌ها را در آزمایشگاه اندازه‌گیری کرد.

نتایج حاصل برای مقایسه با بتن طراحی شده و بررسی رضایت‌بخش بودن کیفیت بتنِ اجرا شده، به‌کار گرفته می‌شود. بنابراین، باید ساخت نمونه‌های بتنی با دقت و به گونه‌ی صحیح انجام شود.

نمونه‌ها باید از داخل دستگاه یا زمان تخلیه‌ی بتن از دستگاه بتن‌ساز، در چند نوبت برداشته شود. بتن‌ریزی در داخل قالب در چند لایه ریخته شده و هر لایه با میله‌ی مخصوص، ۲۵ مرتبه کوبیده می‌شود تا تراکم لازم به‌دست آید. همیشه مقداری بیش‌تر از حجم مکعب، بتن‌ریزی می‌شود، سپس با یک ماله، سطح بالای مکعب، صاف شده و بتن‌های اضافی برداشته خواهد شد. لازم است که مشخصات نمونه، ساعت و زمان نمونه‌گیری، محل برداشت نمونه، درجه‌ی حرارت محیط و وضعیت هوا و اقلیم در دفتر کارگاه ثبت گردد و بر روی یک کاغذ نیز نوشته شده و به سطح بالای نمونه‌ی بتنی چسبانده شود (در ضمن باید نمونه‌ها را شماره‌گذاری کرد). قبل از بتن‌ریزی باید قالب مکعبی یا استوانه‌ای به دقت بررسی شده و سطوح داخلی آن روغن‌کاری و تمیز شود.

پس از برداشت نمونه‌ها، باید آن‌ها را در مکانی دور از دسترس و برخورد وسایل و افراد قرار داد و سطح آن را با گونی خیس پوشاند. در صورت افزایش تعداد نمونه‌ها می‌توان به جای میله

از یک میز مرتعش‌کننده برای تراکم قالب‌ها استفاده کرد. لازم است پس از هر بار مصرف، قالب به دقت تمیز و روغن‌کاری شود. همچنین باید مراقب بود که قالب در فضای باز قرار داده نشود. تمام اتصالات به انضمام سطوح داخلی قالب باید روغن‌کاری شوند. برای تراکم قالب‌های نمونه به علت عمق کم بتن‌ریزی، به هیچ‌وجه نباید از میله‌ی لرزاننده استفاده شود. برای این کار باید از میله‌ی دستی یا میز ویبره استفاده کرد.

عدم رعایت طول مهاری مناسب در شناژ قائم و عدم اجرای کلاف افقی زیر سقف

۶ــ۶ــ پرداخت سطح بتن

پرداخت بتن عبارت است از زدودن بتن اضافی روی سطح بتن، از بین‌بردن نقاط پست و بلند سطحی و یا به شکل خاص در آوردن سطح بتن.

معمولاً پرداخت سطح بتن، بلافاصله پس از اتمام بتن‌ریزی و تراکم بتن انجام می‌شود. روش پرداخت اثر مهمی در مقاومت فشاری، نفوذپذیری و مقاومت سایشی لایه‌ی سطحی بتن دارد. مراحل پرداخت سطح به شرح زیر است :

- شمشه یا تراز کردن
- تخته ماله‌کشی با تخته ماله‌ی دستی بلند و کوتاه
- ماله‌کشی
- پرداخت نهایی

۶ــ۶ــ۱ــ شمشه یا ترازکردن: شمشه‌کاری روندی برای حذف بتن اضافی و تراز کردن سطح بتن در ارتفاع یا تراز مورد نظر است. این عمل باید بلافاصله پس از بتن‌ریزی و تراکم انجام پذیرد. وسیله‌ای که برای شمشه‌گیری استفاده می‌شود، شمشه یا شابلون ساخته شده از چوب، آلومینیم یا آلیاژ منیزیم است. در هنگام شمشه‌کاری، شمشه بر روی سطح بتن باید به صورت اره‌ای حرکت داده شود و در هر حرکت، مسافت کوتاهی به طرف جلو منتقل گردد. بنابراین، بتن اضافی (بالاتر از سطح تراز) در جلو شمشه جمع‌شده و سپس قسمت‌هایی که پایین‌تر از سطح تراز است توسط بتن‌جمع‌آوری شده در جلو شمشه پرشده و سطح بتن تراز می‌گردد.

در هنگام حرکت شمشه به طرف جلو باید مقدار مسافت طی شده بسیار کوتاه باشد تا شمشه سبب آسیب‌دیدگی سطح بتن نگردد. در بعضی موارد، شمشه مجهز به ویبره است و عمل تراز کردن همزمان با تراکم بتن (فقط برای دال‌های کف) انجام می‌شود (شکل ۶ــ۲۵).

شکل ۶ــ۲۵ــ استفاده از شمشه‌های دارای ویبره برای تراز کردن و متراکم نمودن سطح، به صورت همزمان

۶ــ۶ــ۲ــ تخته ماله‌کشی با تخته ماله‌ی دستی بلند و کوتاه: تخته ماله‌ی دسته بلند قطعه‌ای مستطیلی شکل به عرض تقریبی ۲۰۰ میلی‌متر و به طول ۱ تا ۱/۵ متر است که دسته‌ای به طول ۱ تا ۵ متر به آن متصل است (شکل ۶ــ۲۶). منظور از عمل تخته ماله‌کشی با تخته ماله‌ی دسته کوتاه، مانند تخته ماله‌ی دسته بلند است و فقط دسته‌ی آن کوتاه‌تر می‌باشد. بنابراین معمولاً فقط یکی از آن‌ها در عملیات پرداخت به کار گرفته می‌شود. اگر سطح بتن بزرگ بوده، ولی تمام سطح بتن در دسترس نباشد، تخته ماله‌ی دسته بلند مناسب‌تر است و بالعکس تخته ماله‌ی دسته کوتاه در سطوح محدود و کوچک کاربرد بهتری دارد. باید توجه داشت که دسته‌ی بلند تخته ماله از دقت کار می‌کاهد و فقط در سطح‌های وسیع به ناچار به کار می‌رود. معمولاً تخته ماله‌ی دسته کوتاه ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر عرض و ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر طول دارد و دسته‌ای کوتاه بر روی آن نصب شده است.

شکل ۶ــ۲۶ــ تخته ماله‌کشی با تخته ماله دسته بلند

عمل تخته ماله کشی باید بلافاصله پس از شمشه‌کردن صورت گیرد و قبل از آن‌که آب‌آوری در سطح بتن مشاهده گردد، باید به اتمام برسد. به طور کلی عمل پرداخت که در هنگام آب‌آوری انجام می‌پذیرد سبب جدا شدن لایه‌ی سطحی بتن می‌گردد و این نکته باید به عنوان یک اصل در عملیات پرداخت سطح بتن مورد توجه قرار گیرد. تخته ماله کشی برای حذف لبه‌های باقی‌مانده از عمل شمشه‌کاری و پرکردن منافذ انجام می‌شود.

۶ــ۶ــ۳ــ ماله‌کشی: پس از تعبیه‌ی درزها، سطح بتن باید ماله‌کشی شود، ماله‌کشی به منظور فرو بردن سنگ‌دانه‌های درشت به درون بتن، حذف ناهمواری‌ها و منافذ باقی مانده و ایجاد یک سطح کاملاً هموار و تراکم سطح بتن انجام می‌گردد.

ماله به صورت نوع دستی و مکانیکی موجود است. ماله‌ی دستی از جنس چوبی، آلومینیمی و منیزیمی است. ماله‌ی آلومینیمی و منیزیمی راحت‌تر در سطح بتن حرکت می‌کنند، در این صورت، از مقدار انرژی مورد نیاز کاسته می‌شود. برای ماله‌کشی بتن حباب‌دار (به علت استفاده از ماده افزودنی حباب‌ساز) استفاده از ماله‌ی فلزی ضروری است، زیرا ماله‌ی چوبی بر سطح بتن چسبیده و سبب خرابی سطح می‌گردد.

عرض ماله‌ی دستی باید به صورت کاملاً افقی (بدون ایجاد زاویه) بر روی سطح بتن قرار داده شود و آن را به صورت اره‌ای و قوسی حرکت داده تا منافذ پرشده و سطح بتن کاملاً هموار گردد. ماله‌کشی سبب می‌شود تا سطح بتن هموار شده (ولی صاف نمی‌شود) و مقاومت مناسبی در مقابل لیزخوردن به وجود آید و معمولاً به عنوان پرداخت نهایی تلقی می‌گردد. ماله‌کشی با دستگاه

مکانیکی نیز امکان‌پذیر است. دستگاه ماله‌کشی شامل یک محور عمودی است که به آن چند پره به شکل ماله متصل است و حرکت دورانی پره‌ها سبب هموار شدن سطح بتن می‌گردد (شکل ۶ــ۲۷).

شکل ۶ــ۲۷ــ مرحله ماله‌کشی

۶ــ۶ ــ۴ــ پرداخت نهایی: بعد از عمل ماله‌کشی می‌توان با ابزارهای دستی یا مکانیکی مخصوص پرداخت نهایی، سطح بتن را کاملاً صاف نمود. مرحله‌ی پرداخت نهایی بلافاصله بعد از ماله‌کشی و با ابزار دستی یا ماشین انجام می‌پذیرد. ابزار دستی که برای پرداخت نهایی استفاده می‌شود (شکل ۶ــ۲۸)، یک صفحه‌ی فولادی پهن به ابعاد ۱۰۰×۴۰۰ میلی‌متر است. استفاده از صفحه‌ی فولادی با ابعاد کوچک تر برای مرتبه دوم و یا سوم پرداخت نهایی اشکالی ندارد. در بعضی موارد (مانند دال‌ها)، پرداخت نهایی با دستگاه مکانیکی انجام می‌شود. این دستگاه مشابه ماله‌ی دستی است، تنها تفاوت آن، ابعاد کوچک‌تر پره‌ها و امکان تغییر و فشار بر روی آن‌هاست. در مرحله‌ی اول پرداخت، پره‌ها به صورت مستقیم و در مراحل بعدی، به زاویه پره‌ها افزوده می‌شود (شکل ۶ــ۲۹).

شکل ۶ــ۲۸ــ پرداخت نهایی با ابزار دستی

شکل ۶ــ۲۹ــ پرداخت نهایی با ابزار مکانیکی

باید توجه داشت با پرداخت نهایی، از مقاومت لغزشی سطح بتن کاسته می‌شود، اما مقاومت سایشی سطح افزایش می‌یابد. بنابراین اگر مقاومت سایشی بتن در حد نسبتاً زیاد ضروری است باید حداقل یک‌بار نسبت به پرداخت نهایی اقدام گردد و با افزایش تعداد عمل پرداخت نهایی، مقاومت سایشی افزایش می‌یابد. اما اگر مقاومت لغزشی اهمیت بیشتری دارد، باید مرحله‌ی پرداخت نهایی حذف گردد.

۶ــ۶ــ۵ــ توقف در عملیات پرداخت: هرگاه آب حاصل از آب‌آوری بر سطح بتن مشاهده گردید، باید عملیات پرداخت متوقف گردد تا آب از سطح بتن تبخیر شود. معمولاً آب حاصل از آب انداختن پس از ماله‌کشی با تخته ماله‌ی دسته بلند و کوتاه مشاهده می‌شود. اما به هر حال هنگامی که آب انداختن در بتن رخ دهد باید عملیات به صورت موقت متوقف شود. ادامه‌ی عملیات پرداخت که معمولاً مرحله ی ماله‌کشی است باید با یک آزمایش ساده انجام گردد. این آزمایش براین اساس است که فشار پا بر روی بتن باید حداکثر ۵ میلی‌متر اثر بگذارد. این حالت نشان می‌دهد که سطح بتن آماده ماله‌کشی است.

اگر شرایط رطوبت و دمای محیط به صورتی است که امکان تبخیر آب حاصل از آب انداختن در مدت کوتاه وجود ندارد می‌توان با یک تمهید ساده نسبت به رفع آب سطح بتن اقدام نمود. با گذاشتن یک لایه گونی بر سطح بتن و ریختن گرد سیمان بر روی سطح پارچه، سریعاً آب سطح جذب و حذف می‌گردد. اما باید توجه داشت که به هیچ‌وجه نباید گرد سیمان بر روی سطح بتن به صورت مستقیم ریخته شود، زیرا باعث تضعیف بیش‌ترلایه‌ی سطحی بتن می‌گردد.

بنابراین باید توجه داشت که در صورت مشاهده آب انداختن، اگر عملیات پرداخت انجام شود، یک لایه سست از خمیر سیمان بر سطح بتن تشکیل می‌شود که سبب کاهش شدید مقاومت سایشی بتن و دوام سطحی می‌گردد.

۶ــ۷ــ عمل‌آوری بتن

برای دست‌یابی به بتنی با کیفیت مطلوب، باید عملیات بتن‌ریزی را با عمل‌آوردن بتن در محیطی مناسب و در طی مراحل اولیه‌ی سخت شدن دنبال کرد.

عمل‌آوردن به سلسله اقداماتی گفته می‌شود که برای تکمیل و پیشرفت هیدراتاسیون و افزایش مقاومت بتن انجام می‌گردد. این اقدامات در حقیقت نوعی مراقبت و نگهداری از بتن است که از طریق آن می‌توان دمای بتن و درجه‌ی اشباع آن را کنترل کرد. تغییرات احتمالی مقدار رطوبت بتن در مراحل اولیه‌ی سخت شدن نه‌تنها بر مقاومت، بلکه بر دوام و پایایی بتن نیز اثر می‌گذارد.

۶ــ۷ــ۱ــ روش‌های عمل‌آوردن: عمل‌آوردن بتن در دمای معمولی بدین گونه است که بتن در حالت اشباع یا نزدیک به اشباع نگهداری می‌شود تا این‌که فضای موجود در خمیر سیمان تازه که از همان ابتدا از آب پر شده است، به مقدار کافی ــ به وسیله‌ی فرآورده‌های هیدراتاسیون سیمان ــ اشغال و پر شود (هیدراتاسیون سیمان تنها در حفره‌های مویینه‌ی مملو از آب و کاملاً اشباع شده امکان‌پذیر است). آب دادن منظم به بتن از کاهش درجه‌ی اشباع حفره‌ها جلوگیری می‌کند.

عمل‌آوردن مرطوب از طریق تماس مستمر قطعه‌ی بتنی با آب انجام می‌شود. این امر با آب‌پاشی یا خیس کردن کامل بتن و یا با پوشاندن سطح بتن تازه با ماسه، خاک، خاک اره و کاه مرطوب امکان‌پذیر است.

برای مثال، می‌توان یک پوشش جاذب آب را بر روی سطح بتن قرار داد ؛ سپس با آب‌پاشی، آب را به درون آن پوشش وارد ساخت. آب‌رسانی مداوم و پیوسته از آب‌رسانی غیرمداوم و غیرپیوسته بهتر و مناسب‌تر است.

روش‌های دیگر شامل پوشاندن سطح بتن، ایجاد یک غشای نفوذناپذیر یا عایق نمودن سطح بتن و استفاده از کاغذهای ضد رطوبت تقویت شده یا ورقه‌های پلاستیکی است (شکل‌های ۶ــ۳۰ تا ۶ــ۳۳).

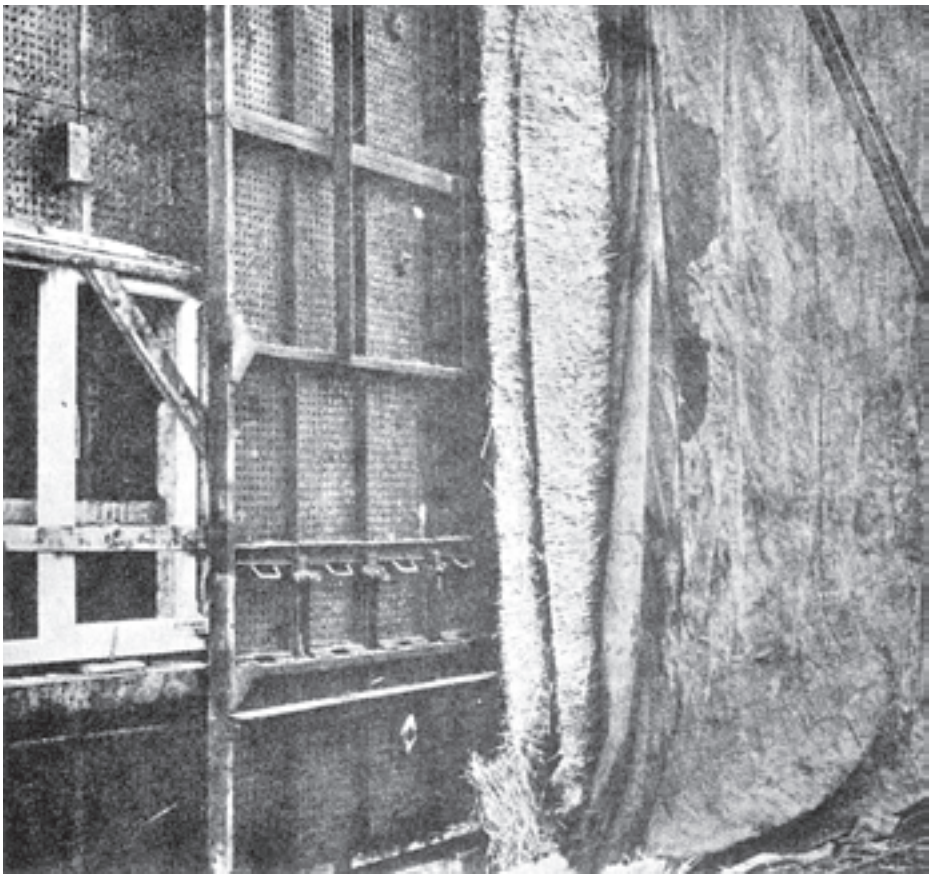
ساختمان نیمه‌اسکلت با شناژهای افقی و قائم که دچار کم‌ترین آسیب شده است.

شکل ۶ــ۳۰ــ روکش‌های عایق ساخته شده با الیاف معدنی در ورقه‌های پلاستیک برای محافظت دال

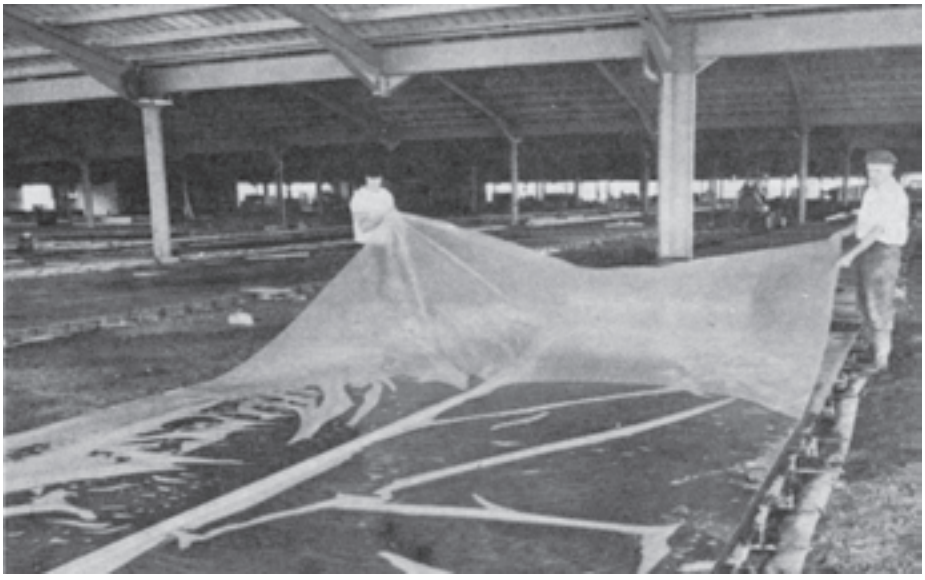
عدم اجرای شناژ قائم و افقی در مدارس قدیمی، موجب تخریب آن‌ها در اثر زلزله شده است.

شکل ۶ــ۳۱ــ ستون‌های بتنی با نایلون و گونی مرطوب با دقت زیاد عمل آورده می‌شود. دقت کنید که گونی‌ها چگونه از بالای ستون‌ها ریسمان‌پیچی شده‌اند. تمام لبه‌های ستون‌ها با چوب محافظت شده است تا آسیبی به آن‌ها نرسد.

ساختمان نیمه‌اسکلت با شناژهای افقی و قائم که دچار کم‌ترین آسیب شده است.



شکل ۶ــ۳۲ــ روکش‌های حصیری محافظت شده به وسیله‌ی برزنت برای عایق کردن قالب‌های دیوار



شکل ۶ــ۳۳ــ قرار دادن نایلون برای عمل‌آوردن دال کف

۶ــ۷ــ۲ــ مدت عمل‌آوری: مدت عمل‌آوری بتن به نوع سیمان، شرایط محیطی و دمای بتن بستگی دارد و طی آن، دمای هیچ قسمتی از سطح بتن نباید از $5^{\circ}C$ کم‌تر شود. طبق ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران مدت عمل‌آوردن بتن نباید از مقادیر مندرج در جدول ۶ــ۲ کم‌تر شود.

جدول ۶ــ۲ــ حداقل زمان عمل‌آوردن بتن

نوع سیمان	شرایط محیطی پس از ریختن بتن در قالب *	دمای متوسط سطح بتن **	
		۵ تا ۱۰°C	بالاتر از ۱۰°C
نوع ۱، ۲، ۳ و۵	متوسط	۴ روز	۳ روز
	ضعیف	۶ روز	۴ روز
همه‌ی سیمان‌ها به جز نوع ۱، ۲، ۳ و۵ و همه‌ی سیمان‌های حاوی مواد پوزولانی یا روباره‌ای	متوسط		
	ضعیف	۱۰ روز	۷ روز
همه‌ی سیمان‌ها	خوب	اقدامی خاص ضرورت ندارد	

* شرایط محیطی مندرج در این ستون به شرح زیر تعریف می‌شوند :

خوب : محیط مرطوب و محافظت شده (رطوبت نسبی بیش‌تر از ۸۰ درصد و محافظت شده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).

ضعیف : محیط خشک و محافظت نشده (رطوبت نسبی کم‌تر از ۵۰ درصد و محافظت نشده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).

متوسط : شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.

** درصورتی که دمای سطح بتن اندازه‌گیری یا محاسبه نشود، می‌توان آن را معادل دمای هوای مجاور سطح بتن فرض کرد.

۶ــ۷ــ۳ــ نحوه‌ی عمل‌آوری دال‌ها، روکش‌ها و کف‌ها: بتنی که در قالب محافظت می‌شود به عمل‌آوری زیادی نیاز ندارد، اما برای سطوح افقی احتیاج به عمل‌آوری بتن داریم، زیرا این سطوح در معرض عبور و مرور و سایش قرار دارند. عمل‌آوری بتن باید در اسرع وقت پس از تراکم و پرداخت کردن آن آغاز شود (زمان مناسب معمولاً نیم ساعت پس از محو شدن آب سطح بتن است). در جاده‌های بزرگ بتنی با افشاندن محلول‌های مخصوص به‌وسیله‌ی ماشین، بتن را عمل می‌آورند.

برای عمل‌آوردن دال‌هایی که سطح آن‌ها قرار است با ماسه سیمان یا اندود سیمانی پرداخت شود، نباید از محلول‌های عمل‌آورنده استفاده شود، زیرا ممکن است چسبندگی سطح بتن از بین برود. برای چنین کاری ورقه‌های پلاستیک مناسب‌ترین وسیله‌ی عمل‌آوری است (برای این کار از عایق‌های رطوبتی یا گونی مرطوب نیز استفاده می‌شود). بلافاصله پس از اتمام پرداخت، سطح بتن باید پوشانده شود ؛ به خصوص در زمان وزش باد خشک برای عمل‌آوری بتن‌هایی که سطح آن‌ها پرداخت و پوشیده شده است، توجه خاصی لازم است. پس از تخته مالی نهایی، سطح بتن با پوشش ورق پلاستیک یا استفاده از محلول عمل‌آورنده، عمل‌آوری می‌شود.

نبودن آرماتورهای فوقانی تیر خاموت در محل اتصال موجب شکست تیر از محل اتصال آن با ستون شده و به تبع آن به سازه صدمات زیادی وارد ساخته است.

۶ــ۸ــ بتن‌ریزی در شرایط خاص آب و هوایی

۶ــ۸ــ۱ــ بتن‌ریزی در هوای سرد: مشکلات بتن‌ریزی در هوای سرد به مسئله‌ی یخ زدن بتن تازه مربوط می‌شود. اگر بتنی که هنوز کاملاً سخت نشده است یخ ببندد، آبِ اختلاط یخ بسته و حجم کلی بتن افزایش می‌یابد. در این حالت چون برای فعل و انفعال شیمیایی آبی وجود ندارد، گرفتن و سخت شدن بتن به تأخیر می‌افتد و ممکن است که مقدار اندک خمیر سیمان موجود نیز به علت تشکیل یخ شکسته شود. هنگامی که در مرحله‌ی بعدی یخ آب می‌شود، بتن گرفته و در وضعیت منبسط شده سخت می‌گردد و بنابراین دارای حفره‌های زیاد و مقاومت کمی خواهد شد.

اگر یخ زدن بتن پس از گیرش آن و قبل از رسیدن به مقاومت کافی و مناسب اتفاق بیفتد، انبساط حاصل به همراه تشکیل یخ، سبب کاهش قابل توجّه مقاومت می‌شود. ولی اگر بتن قبل از یخ زدن، مقاومت کافی را دارا باشد، می‌تواند در مقابل فشار داخلی تولید شده دراثر تشکیل یخ (از باقی مانده‌ی آب مخلوط) مقاومت نماید.

در ادامه، ضوابط خاص آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در خصوص ملاحظات بتن‌ریزی در هوای سرد ذکر می‌کنیم :

الف) تعریف هوای سرد: هوای سرد به وضعیتی اطلاق می‌گردد که برای سه روز متوالی شرایط زیر برقرار باشد :

۱ــ دمای متوسط هوا در شبانه‌روز کم‌تر از $5^{\circ}C$ باشد (دمای متوسط روزانه، میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در فاصله‌ی زمانی نیمه‌شب تا نیمه‌روز است).

۲ــ دمای هوا برای بیش‌تر از نصف روز از $10^{\circ}C$ زیادتر نباشد.

ب) تدابیر احتیاطی

۱ــ در بتن‌ریزی در هوای سرد باید دقت لازم در انتخاب مصالح مصرفی، طرح اختلاط بتن، شرایط اختلاط، حمل، ریختن و عمل‌آوردن بتن صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که بتن تازه ریخته شده دچار یخ‌زدگی نگردد و بتن سخت شده نیز دارای کیفیت لازم باشد.

۲ــ دمای بتن در طول مدت بتن‌ریزی و عمل‌آوردن باید ثبت گردد تا اطمینان حاصل شود که محدوده‌ی توصیه شده در آیین‌نامه حفظ شده است.

۳ــ دمای بتن باید حداقل دوبار در شبانه‌روز در نقاط مختلف سازه ثبت گردد تا از وضعیت نگهداری بتن اطمینان کافی حاصل شود.

۴ــ گوشه‌ها و لبه‌های بتن در مقابل یخ زدن آسیب‌پذیرند. بنابراین دمای این نقاط باید با دقت کنترل شود.

ج) مصالح مصرفی

۱ــ می‌توان از سیمان زودگیر (پرتلند نوع سه) به جای سیمان معمولی برای اطمینان از سرعت بیش‌تر کسب مقاومت بتن استفاده نمود.

۲ــ استفاده از سیمان روباره‌ای و سیمان‌های آمیخته، در بتن‌ریزی در هوای سرد توصیه نمی‌شود.

تخریب تیر برق که می‌تواند علاوه بر قطع برق پس از زلزله، موجب خسارت‌هایی از قبیل آتش‌سوزی و ... شود.

ایجاد ترک در سقف تیرچه بلوک به دلیل کیفیت نامطلوب بتن و عدم قرار دادن کلاف در سقف تیرچه بلوک می‌باشد. وجود کلاف عرضی در سقف می‌تواند صلبیّت و یکپارچگی سقف را حفظ کند.

۳ــ می‌توان از آب گرم برای رساندن بتن به دمای مطلوب استفاده کرد. در این حالت باید از تماس مستقیم آب گرم و سیمان جلوگیری شود و این موضوع در نحوه‌ی ریختن مصالح در مخلوط‌کن مراعات گردد.

۴ــ سنگ‌دانه‌ها نباید آغشته به یخ و برف باشند. معمولاً ماسه از شن مرطوب‌تر و احتمال وجود یخ در آن بیش‌تر است، بنابراین اغلب، گرم کردن ماسه ضرورت پیدا می‌کند.

۵ ــ حداکثر جذب آب سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن برای سنگ‌دانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگ‌دانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

۶ــ استفاده از مواد حباب‌زا و ساخت بتن با حباب هوا برای بتن‌هایی که در معرض رطوبت و یخ زدن و آب شدن‌های متوالی قرار می‌گیرند الزامی است.

۷ــ می‌توان از مواد زودگیر کننده یا ضدیخ بتن نیز در مواردی که خطر یخ‌زدگی وجود دارد، مشروط بر آن‌که با ضوابط استاندارد مطابقت داشته باشد، استفاده نمود.

د) الزامات طرح اختلاط بتن

۱ــ نسبت آب به سیمان باید با توجه به روند کسب مقاومت بتن در دمای محیط انتخاب گردد. نسبت آب به سیمان نباید از ۰/۵ بیش‌تر باشد، بنابراین لازم است قبل از شروع بتن‌ریزی تدابیر لازم برای کسب مقاومت بتن صورت گیرد.

۲ــ برای کاهش میزان آب قابل یخ زدن در بتن و همچنین کاهش میزان آب انداختن بتن تازه، باید مقدار آب اختلاط حداقلِ ممکن باشد، بنابراین برای تأمین کارآیی لازم می‌توان از مواد افزودنی خمیری‌کننده و روان‌کننده استفاده نمود.

۳ــ در صورتی‌که از مواد افزودنی روان‌کننده استفاده نمی‌شود، اسلامپ بتن نباید بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر انتخاب گردد.

هـ) حداقل دمای بتن

۱ــ حداقل دمای مجاز بتن هنگام اختلاط، ریختن و نگهداری و نیز حداکثر مجاز افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه‌ی دوره‌ی حفاظت بتن مطابق جدول ۶ــ۳ است.

۲ــ دمای بتن هنگام اختلاط نباید بیش از $8^{\circ}C$ زیادتر از مقادیر جدول باشد، زیرا موجب اتلاف انرژی بیش‌تر، افت شدید اسلامپ و در نهایت کاهش کیفیت بتن می‌گردد.

۳ــ دمای بتن هنگام ریختن نباید بیش از $11^{\circ}C$ زیادتر از مقادیر جدول باشد، در غیر این صورت موجب کاهش کیفیت بتن می‌گردد.

و) نکات مربوط به حمل و ریختن بتن

۱ــ حمل و ریختن بتن باید به نحوی باشد که بتن تازه، دمای خود را از دست ندهد. بتن باید تا حد امکان در وسایل سربسته و عایق‌بندی شده حمل گردد.

۲ــ قبل از بتن‌ریزی باید میل‌گردها، قالب، سطح بتن سخت شده‌ی قبلی و زمین از هر نوع یخ‌زدگی زدوده شود.

صدمه ندیدن مدرسه به علت رعایت ضوابط آیین‌نامه

کیفیت نامطلوب بتن، عدم اجرای صحیح شناژهای افقی و قائم و اتصالات آن‌ها موجب تخریب این سازه‌ی سبک و ساده شده است.

تخریب خرپشته، به دلیل طراحی نامناسب آن و ریزش آن جلوی درب منزل که محل خروج ساکنین می‌باشد، می‌تواند تلفات جانی دربر داشته باشد.

جدول ۶ــ۳ــ دمای بتن برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد در مراحل مختلف کار با توجه به دمای محیط و اندازه‌ی اعضا و قطعات

ردیف	شرح	دمای محیط (°C)	ابعاد اعضا و قطعات به (میلی‌متر)			
			کم‌تر از ۳۰۰	۳۰۰ تا ۹۰۰	۹۰۰ تا ۱۸۰۰	بیش از ۱۸۰۰
۱		بیش از ۱-	۱۶	۱۳	۱۰	۷
۲	حداقل دمای بتن هنگام اختلاط	۱۸- تا ۱-	۱۸	۱۶	۱۳	۱۰
۳		کم‌تر از ۱۸-*	۲۱	۱۸	۱۶	۱۳
۴	حداقل دمای بتن هنگام ریختن و نگهداری	به هر میزان	۱۳	۱۰	۷	۵
۵	حداکثر مجاز افت تدریجی دمای بتن در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه حفاظت از بتن	به هر میزان	۲۸	۲۲	۱۷	۱۱

* چنان‌چه تدابیری ویژه برای اختلاط و بتن‌ریزی فراهم نگردد، ریختن بتن در دمای ۲۰°C- و کم‌تر از آن ممنوع است.

ز) عمل‌آوردن بتن تازه

۱ــ عمل‌آوردن بتن تازه باید حداقل ۲۴ ساعت و تا رسیدن بتن به مقاومت ۵ مگاپاسکال ادامه یابد.

۲ــ برای عمل‌آوردن بتن تازه و محافظت آن از یخ زدن می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود :

ــ استفاده از پوشش‌های عایق

ــ گرم کردن بتن و محیط اطراف

ــ سایر روش‌ها به تأیید دستگاه نظارت

۳ــ بتن تازه باید در مقابل وزش باد، به‌ویژه پس از برداشتن پوشش‌ها محافظت گردد. باید توجه داشت که از تبخیر زیاد آب و کربناتی شدن سطوح بتن دراثر احتراق مواد سوختی برای گرم کردن آن جلوگیری شود.

۶ــ۸ــ۲ــ بتن‌ریزی در هوای گرم: هوای گرم به دمای زیاد هوا، همراه یا بدون باد و رطوبت کم، اطلاق می‌شود. این عوامل باعث تبخیر سریع آب، افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان، کاهش کارآیی بتن تازه و تسریع در گیرش آن می‌شوند که می‌توانند موجب کاهش مقاومت نهایی بتن گردند.

هوای گرم همچنین باعث ایجاد مشکلاتی در بتن‌ریزی و متراکم‌کردن آن و تشدید انقباض خمیری شده و موجب ترک برداشتن بتن طی سنین اولیه می‌گردد. برخی از توصیه‌های آیین‌نامه‌ی بتن ایران در خصوص ملاحظات بتن‌ریزی در هوای گرم به شرح زیر است :

الف) حداکثر جذب آب سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن برای سنگ‌دانه‌های درشت به ۲/۵

درصد و برای سنگ‌دانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

ب) دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی نباید بیش از $32^{\circ}C$ برای بتن معمولی و $15^{\circ}C$ برای بتن حجیم باشد. بتن‌ریزی در هوای گرم باید با فراهم کردن شرایط مناسب، اتخاذ تدابیر لازم و تأیید دستگاه نظارت صورت گیرد.

ج) برای کاهش دمای بتن برحسب مورد، کاربرد روش‌های زیر الزامی است :

۱ــ برنامه‌ریزی مناسب و دقیق برای زمان‌های شروع مراحل ساخت بتن و بتن‌ریزی.

۲ــ تنظیم زمان بتن‌ریزی در هنگام خنک بودن هوا.

۳ــ به‌کار بردن سیمان‌های مناسب با حرارت‌زایی کم یا جایگزین‌کردن مقداری از سیمان با مواد پوزولانی یا استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی یا روباره‌ای و استفاده از طرح اختلاط مناسب به‌منظور احتراز از مصرف سیمان زیاد.

۴ــ عدم استفاده از سیمان با دمای بیش از $75^{\circ}C$.

۵ــ پایین نگه‌داشتن دمای سیمان با نگهداری سیمان در سیلوهای عایق‌بندی شده و یا رنگ‌آمیزی شده به رنگ سفید.

۶ ــ کاهش دمای سنگ‌دانه‌ها با انبار کردن آن‌ها در سایه یا آب‌پاشی یا دمیدن هوای سرد به آن‌ها.

۷ــ خنک کردن آب مصرفی و یا جایگزینی بخشی از آن با یخ خرد شده یا یخ پولکی.

۸ ــ عایق کردن منابع و لوله‌های تأمین آب و یا رنگ‌آمیزی به رنگ سفید برای قسمت‌هایی که در برابر تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گیرند.

۹ــ نگهداری ابزار و ماشین‌آلات تهیه و حمل مخلوط بتن در سایه و یا آب‌پاشی آن‌ها.

۱۰ــ عایق کردن مخلوط‌کن‌ها یا پاشیدن آب سرد یا دمیدن هوای سرد به آن‌ها یا رنگ‌آمیزی آن‌ها به رنگ سفید.

د) میل‌گردها، اجزای توکار و قالب‌های با دمای بیش از $50^{\circ}C$ باید بلافاصله قبل از بتن‌ریزی آب‌پاشی شوند و آب اضافی کاملاً جمع‌آوری گردد.

هـ) به منظور جلوگیری از ایجاد ترک، باید تدابیر زیر برای جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش دمای بتن پس از بتن‌ریزی اتخاذ شود :

ــ حفظ بتن از جریان باد و تابش آفتاب توسط بادشکن و سایبان،

ــ جلوگیری از تبخیر آب بتن با آب‌پاشی بتن،

ــ در سازه‌هایی که ترک خوردن بتن به‌طور کلی غیرقابل قبول باشد، لازم است تدابیر احتیاطی ویژه‌ای اتخاذ گردد.

و) عمل‌آوردن بتن طبق ضوابط معمول برای بتن‌های در شرایط معمولی الزامی است، ضمن آن‌که روش آب‌پاشی برای عمل‌آوری بتن در هوای گرم ترجیح داده می‌شود. در سطوح افقی می‌توان از ترکیبات غشایی عمل‌آورنده‌ی مورد تأیید دستگاه نظارت استفاده نمود.

در ضمن علاوه بر تأمین شرایط زمانی جدول ۶ــ۲ مدت عمل‌آوردن بتن نباید از ۷ روز کم‌تر باشد.

تخریب ساختمان به دلیل ضعف طراحی و تشکیل طبقه‌ی نرم

تخریب ستون‌های سازه به دلیل کیفیت نامرغوب بتن و اجرای نادرست آن

شکست ستون به علت فاصله‌ی زیاد خاموت‌ها و بتن‌ریزی نامناسب و سطح مقطع کم آرماتورهای طولی که به دنبال آن کل سازه تخریب شده است.

۶ــ۹ــ لکه‌گیری و ترمیم

اگر قالب‌ها به خوبی طراحی و ساخته شوند و بتن نیز به خوبی مخلوط، ریخته و متراکم شود، لکه‌گیری و ترمیم بتن ضروری نیست. اما به هرحال با آن‌که در ساخت دقت لازم اعمال می‌شود، ممکن است معایب یا لکه‌هایی در سطح بتن ایجاد گردد. در این حالت، مصالح خاص و نیز شیوه‌های خاصی برای ترمیم به‌کار می‌روند که برحسب انواع معایب یا لکه‌ها، بتن نمادار و غیرنمادار، با هم متفاوت هستند.

۶ــ ۹ ــ۱ــ دسته‌بندی سطوح مورد ترمیم

الف) سطوحی که در معرض دید نیستند، عبارتند از:

۱ــ سطوحی که با نماسازی یا با مصالح پرداختی پوشیده خواهند شد.

۲ــ سطوحی که وجود لکه‌ها و عدم یکنواختی رنگ آن‌ها از نظر ظاهری اهمیتی ندارد. (در این حالت، ترمیم به سطوح کرمو و پرکردن حفره‌های به جا مانده از میله‌های مهاری قالب‌ها محدود می‌شود تا از نفوذ و رسیدن رطوبت به میل‌گردها جلوگیری کند.)

ب) سطوحی که در معرض دید هستند، عبارتند از:

۱ــ سطوح نماسازی شده با قالب، بتن‌های شسته و سطوح تخته ماله‌ای که ظاهر آن‌ها بسیار مهم است (در این حالت، باید قسمت‌های کرمو و سوراخ‌ها طوری ترمیم شوند که دارای پایایی باشند. همچنین قسمت‌های لکه‌گیری شده نباید از نظر ظاهری از بقیه‌ی قسمت‌ها تشخیص داده شوند).

۲ــ لکه‌های دیگر، مانند سطوح حفره‌دار و سطوح ماسه زده باید به گونه‌ای ترمیم شوند که از نظر ظاهر و رنگ نقاط ترمیم شده با بتن اصلی مطابقت داشته باشد.

ضمناً برای ترمیم بهتر، توجه به این نکات الزامی است :

۱ــ هرگونه تعمیر یا لکه‌گیری در سطح بتن، بدون بررسی کیفیت، باعث به‌وجود آمدن سطوحی می‌شود که نسبت به بتن اطراف رنگی متفاوت دارد.

۲ــ لکه‌هایی که در مقایسه با محیط اطراف از نظر تعداد، سطح و گستردگی کوچک هستند بهتر است دست نخورده باقی بمانند.

۳ــ لکه‌هایی که از فاصله‌ی ۱ تا ۲ متری دیده نمی‌شوند. درخور توجه نیستند ؛ به این دلیل، تنها قسمت‌هایی که در معرض دید قرار دارند (حداقل از فاصله‌ی ۲ متری دیده می‌شوند) ترمیم می‌شوند.

۴ــ رسیدن به رنگ بتنی یکنواخت در بتن سفید ساده‌تر از بتن خاکستری است.

۵ــ ساخت بتنی با رنگ یکنواخت و بدون لکه بسیار مشکل است.

۶ــ۹ــ۲ــ انواع ترمیم

الف) ترمیم بیرون زدن دوغاب: پوشش ناقص قالب در محل درز اجرایی، سبب بیرون آمدن دوغاب یا ملات می‌شود ؛ در نتیجه، سطح کار تکمیل شده را می‌پوشاند. اگر نتوانیم فوراً دوغاب را پاک کنیم، باید آن‌قدر باقی بماند تا به اندازه‌ی کافی شکننده شود و به‌وسیله‌ی قطعه‌ای چوب سخت و یا یک قلم به دقت خرد شود. این کار معمولاً به‌گونه‌ای انجام می‌شود که فقط دوغاب برداشته شده و به سطح قبلی آسیب نرسد.

اتصال نامناسب و بتن نامرغوب موجب شده است که آرماتورها قبل از این‌که نیرویی به آن‌ها وارد شود، از محل اتصال با تیر گسیخته شوند.

اگر برداشتن دوغاب بلافاصله پس از بیرون آمدن بتن از قالب انجام شود، سطح بتن تمیز شده و بسیار زیبا خواهد شد.

ب) ترمیم لبه‌دار شدن در درزهای افقی و قائم: اگر برای ادامه‌ی کار، قالب به‌خوبی به بالای قسمت قبلی فشرده نشود، نه تنها احتمال بیرون آمدن دوغاب وجود دارد، بلکه ممکن است مقداری سطوح کرمو و ماسه زده و سطوح لبه‌دار در سطح بتن ایجاد شود. در حالی که بتن در نما نیست، لبه‌دار شدن نیاز به ترمیم ندارد ؛ اما در قسمت‌های نمادار لازم است که لبه‌های بیرون آمده خرد و سپس سطح کار ترمیم شود.

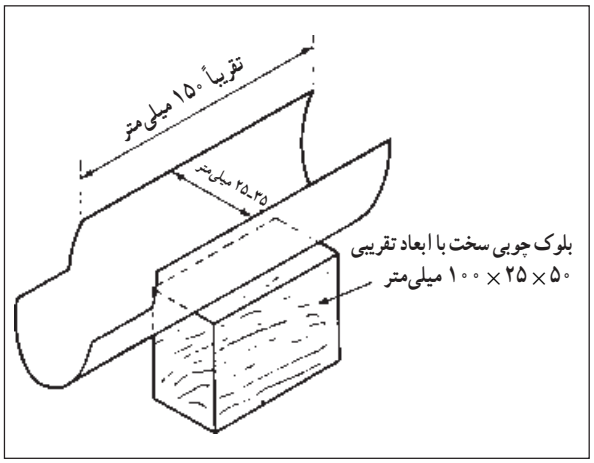
ج) ترمیم لبه‌ها و نبشی‌ها: تعمیر اساسی لبه‌ها و گوشه‌هایی که در اثر ضربه‌های تصادفی یا سهل‌انگاری در هنگام برداشتن قالب‌ها، به‌خصوص در نما، به‌وجود آمده‌اند بسیار مشکل است و به دقت زیادی نیاز دارد. پیشنهاد می‌شود که گوشه‌ها و لبه‌ها را با خردشدگی تا ۱۰ میلی‌متر رها کنیم. برای تعمیر، بهتر است اطراف قسمت مورد نظر آماده و زبر شود و پس از خیس کردن سطح قطعه برای ترمیم آن اقدام گردد.

لبه‌های شکسته شده باید کمی عمیق شوند تا بتن جدید در داخل آن قرار گیرد و با فشار، سطح ترمیم شده با سطح بتن یکنواخت شود. قبلاً باید بتنی انتخاب شود که از نظر رنگ با بتن قبلی مطابقت داشته باشد.

د) ترمیم محل سوراخ‌های گیره‌ی قالب: پر کردن سوراخ‌های به جا مانده از میل مهارها به گونه‌ای که رنگ آن‌ها با رنگ بتن همانند شود، تقریباً غیرممکن است ؛ حتی اگر در ابتدا شبیه‌سازی رنگ به خوبی انجام شود، ملات پرکننده در معرض هوا رنگ متفاوتی پیدا خواهد کرد. به این دلیل، توصیه می‌شود که موقعیت سوراخ‌های میل مهارها در سطح نمای بتنی از قبل طوری تعیین شود که بتوان وضعیت آن‌ها را با وضعیت فرو رفته (پرکردن تا سطحی عقب‌تر از سطح بتن) مقایسه کرد. به هنگام پر کردن هم‌سطح سوراخ‌ها باید دقّت کرد که از برخورد ملات با بتن اطراف جلوگیری شود (شکل‌های ۶ــ ۳۴ و ۶ ــ ۳۵).

شکل ۶ــ۳۴ــ نمونه‌ای از محل‌های مهاری پر نشده

بتن نامرغوب و فاصله‌ی زیاد خاموت‌ها باعث این خرابی شده است.



شکل ۶ــ۳۵ــ وسیله‌ای برای پر کردن سوراخ‌های میله‌های مهاری (یک قطعه فلز U شکل که به یک دسته‌ی چوبی وصل شده است).

برای نفوذ بهتر و پایا بودن ترمیم این نکات را باید مراعات کرد :

۱ــ تمیز کردن کامل سوراخ با فرو کردن قطعه‌ای پارچه به داخل آن ؛

۲ــ خیس کردن داخل سوراخ‌ها برای کنترل مکش ؛

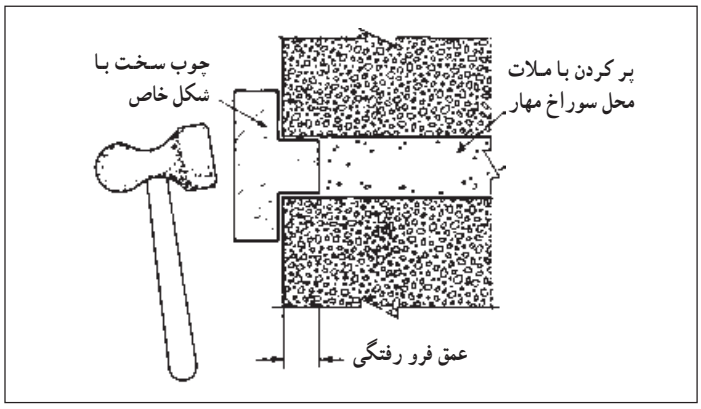
۳ــ ساخت مقداری از مخلوط با ترکیبی که رنگی شبیه بتن را فراهم کند ؛

۴ــ فرو کردن ملات به داخل سوراخ و سنبه زدن آن به‌طور کامل، با استفاده از وسیله‌ی نشان داده شده در شکل ۶ــ۳۶. در هر مرحله، تنها ۲۵ میلی‌متر از سوراخ با ملات پر می‌شود.

شکل ۶ــ۳۶ــ سنبه زدن ملات به داخل سوراخ گیره‌ی قالب

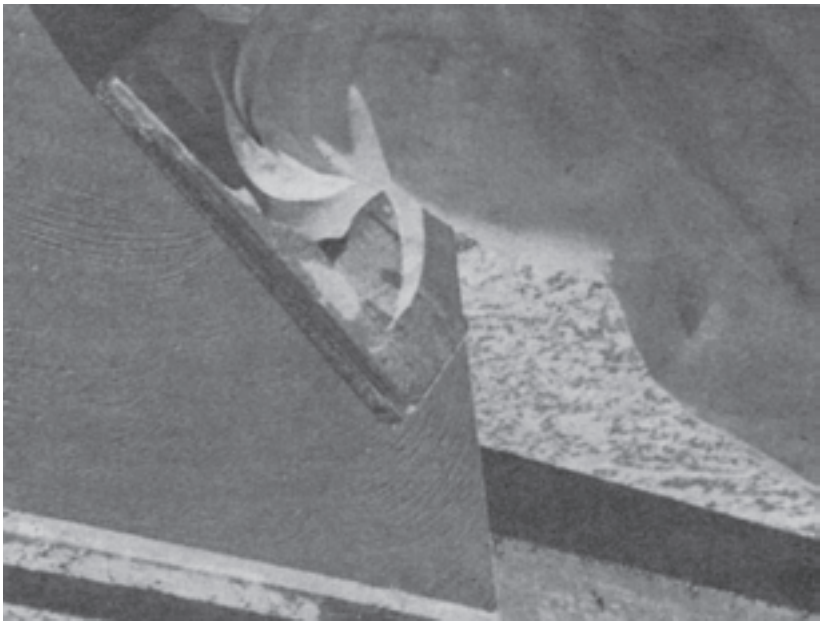
۵ ــ استفاده از یک قطعه چوب برای پر کردن سوراخ‌های فرورفته. با کوبیدن چوب به‌وسیله‌ی چکش، فرو رفتگی‌هایی با عمق یکسان به‌وجود می‌آید (شکل ۶ ــ۳۷).

زیاد بودن طول طره و طراحی نامناسب موجب شکست تیر از محل اتصال آن شده است.



شکل ۶ــ۳۷ــ پر کردن سوراخ‌های فرورفته در محل مهارها

هـ) ترمیم محل حباب‌های سطحی: اگر حباب‌های سطحی کوچک نامشخص باشند، پر کردن آن‌ها معمول و ضروری نیست، اما اگر قطر آن‌ها بیش از ۵ میلی‌متر باشد و از فاصله‌ای بین ۲ تا ۴ متر در سطح بتن دیده شوند، انجام اصلاحات ضروری است. حباب‌های سطحی باید به گونه‌ای پر شوند که رنگ و بافت بتن به همان صورت باقی بماند. ملات مورد استفاده می‌تواند شامل یک قسمت سیمان و ۱/۵ قسمت ماسه نرم باشد(شکل ۶ ــ ۳۸).



شکل ۶ــ۳۸ــ پر کردن حباب‌های سطحی با استفاده از یک ماله با سطح اسفنجی. هنگامی که دوغاب سخت شد، مواد اضافی با مالیدن سطح برداشته می‌شود تا سطح اولیه ظاهر شود.

و) تعمیر و ترمیم قسمت‌های کرمو: در قسمت‌های کرمو که عمق خرابی آن‌ها از ۱۰ میلی‌متر بیش‌تر است، ترمیم به صورت وصله ضرورت دارد. در این مورد قسمت‌های کرمو را تا رسیدن به بتن سالم خرد کرده ؛ سپس محیط اطراف قسمت کنده شده را با قلم، ضربدر می‌زنند تا لبه‌هایی تمیز، تیز و تقریباً راست گوشه به عمق ۱۰ میلی‌متر ایجاد شود. عمق وصله تا حد امکان باید یکنواخت باشد و معمولاً لازم نیست که کندن قسمت‌های کرمو تا پشت میل‌گردها ادامه یابد ؛ مگر این‌که کرمو شدن آن‌ها تا پشت میل‌گردهای فولادی گسترش یافته باشد.

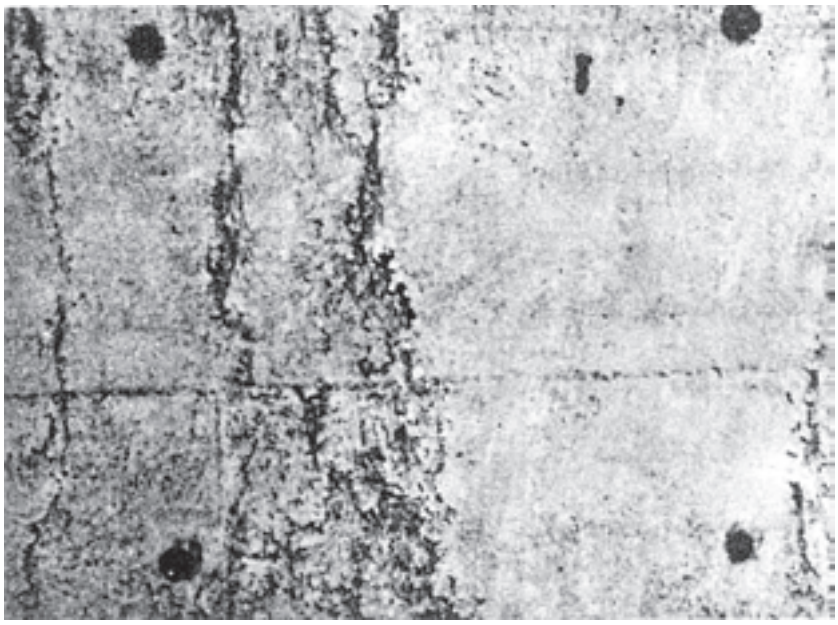
استفاده از دو سیستم سازه‌ای و عدم پیوستگی تیرهای فولادی و ستون بتنی خریشته موجب تخریب آن در حین زلزله شده است.

اتصال نامناسب ستون با دال و نبودن خاموت در محل اتصال، اجرای نادرست ستون و کیفیت نامرغوب بتن موجب خرابی ستون و به تبع آن تخریب کل سازه شده است.

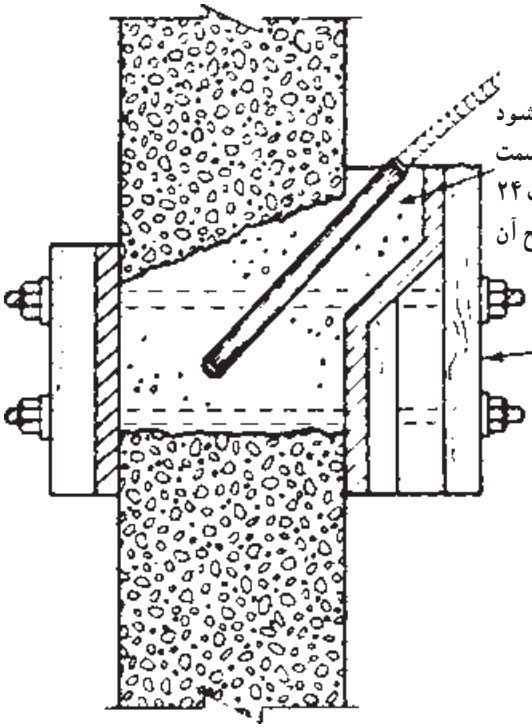
برای تعمیرات کم‌عمق (کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر)، استفاده از ملات ارجح است. نوع ملات به پرداخت موردنظر بستگی دارد (شکل‌های ۶ــ۳۹ تا ۶ ــ۴۳).

برای تعمیر لکه‌های عمیق باید قبل از لکه‌گیری در بتن قدیمی، میل‌گردهایی به منظور تقویت لکه گذاشته شود.

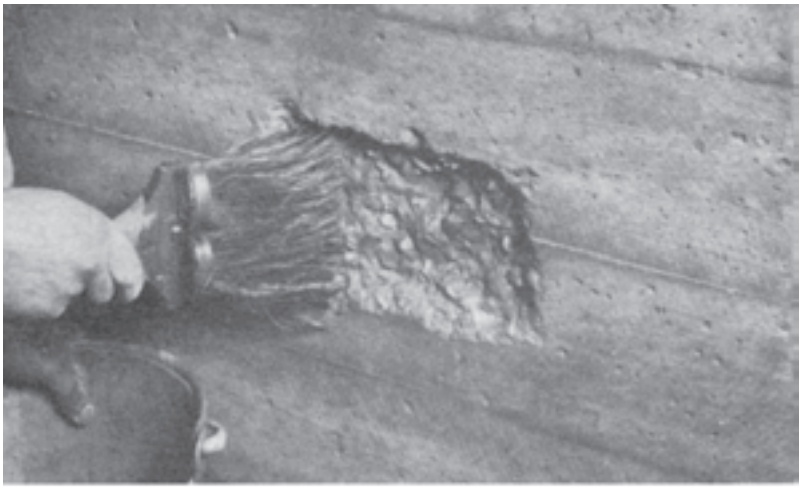
در این شکل کمانش موضعی میل‌گردهای طولی ستون و به دنبال آن خرابی بتن، به ویژه هسته‌ی بتنی و اختلال در عملکرد ستون مشاهده می‌شود. علت این موضوع، فاصله‌ی زیاد میل‌گردهای برشی (خاموت‌ها) در ستون و شروع ترک از محل قطع میل‌گردهای انتظار ریشه‌ی ستون بوده است. رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ی طراحی سازه‌های بتنی (آبا) در مورد فاصله‌ی خاموت‌ها و وصله‌ی میل‌گردها، از بروز چنین مشکلی جلوگیری می‌کرد.



شکل ۶ــ۳۹ــ نمونه‌ای از سطح بتن آب شسته، محل پیچ‌ها به صورت سوراخ‌های سیاه دیده می‌شود.



شکل ۶ــ۴۰ــ تزریق جعبه‌ای، روش تعمیر بتن کرمو شده‌ی عمیق

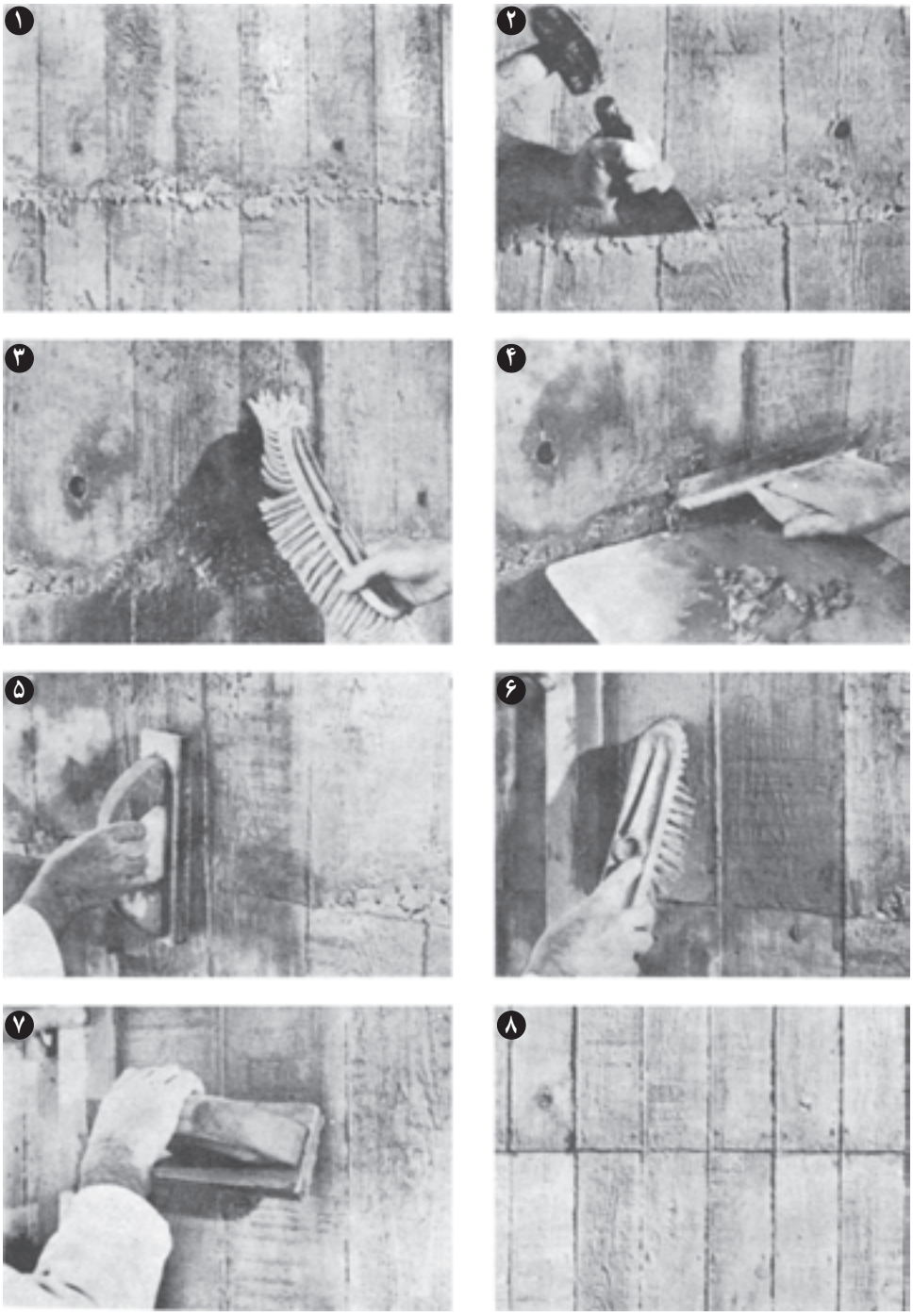


وصله‌زدن ــ قسمت معیوب کنده شده و سطح برای جلوگیری از مکش مرطوب می‌شود.

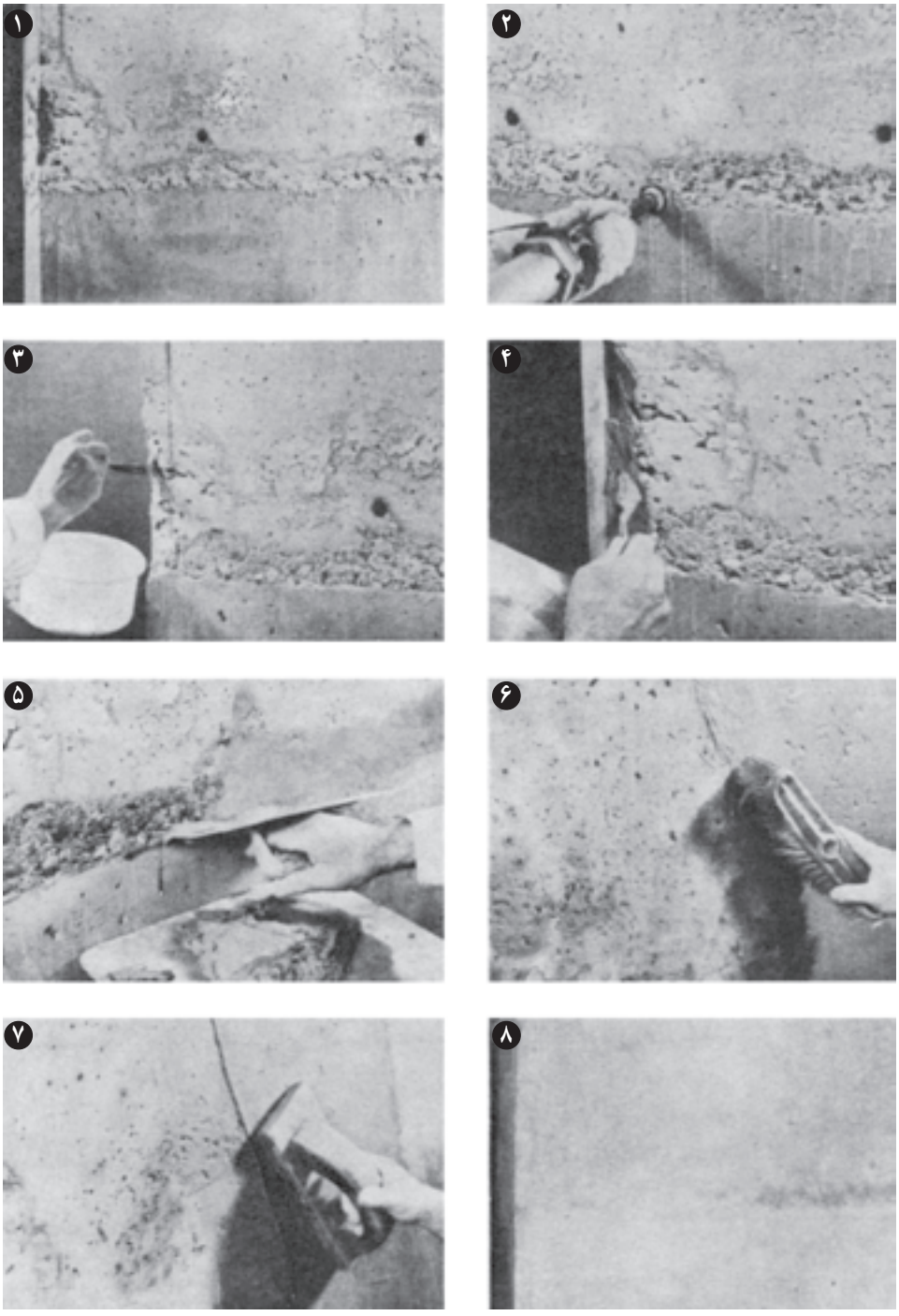
پر کردن با ملات

متراکم کردن با یک تخته و چکش

شکل ۶ــ۴۱ــ ترمیم بتن در لکه‌های با قطر بیش از ۱۰ میلی‌متر



شکل ۶ــ۴۲ــ روش ترمیم دوغاب‌های اضافی که از محل درز بین دو قالب بیرون زده است.



شکل ۶ــ۴۳ــ روش ترمیم سطح کرمو و لبه‌های شکسته شده سازه‌های بتنی

کیفیت نامرغوب بتن، اجرای نادرست شناژهای افقی و قائم موجب تخریب قسمتی از دیوار شده است. عبور شناژ از بالای بازشو در قسمتی از دیوار، یکپارچگی آن را حفظ کرده است. البته محل اتصال شناژ افقی و قائم به‌درستی اجرا نشده است.

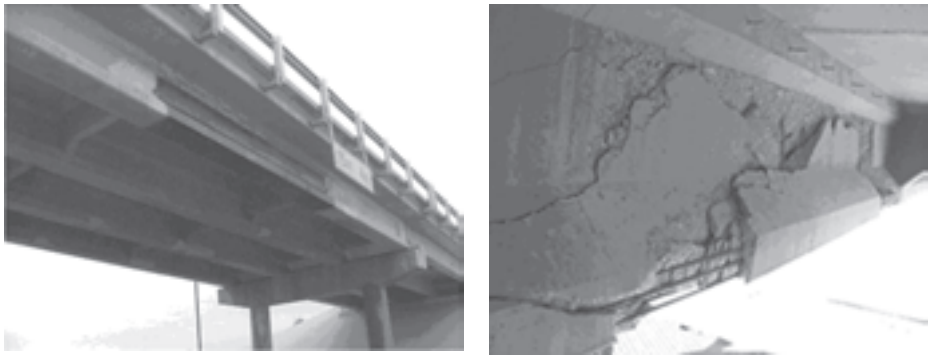
۶ــ۱۰ــ بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود

کشور پهناور و کهنسال ایران در طول تاریخ شاهد نابودی شهرها و حتی بعضی از تمدن‌های خود در اثر وقوع زلزله بوده است. ابعاد فاجعه‌بار اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و ... یک زلزله‌ی کوتاه مدت چند ثانیه‌ای می‌تواند حاکم بر سرنوشت چند نسل باشد. بنابراین طبعاً تأمین ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها باید در اولویت قرار گیرد.

افزایش اطلاعات در مورد نحوه‌ی رفتار ساختمان‌ها در زلزله که از طریق تحقیقات و تجربه‌های زلزله‌های اخیر به دست آمده، باعث نگرانی در مورد وضعیت لرزه‌ای حجم وسیعی از ساختمان‌های موجود در کشور که بدون اعمال ضوابط جدید ساخته شده‌اند، گردیده است. این مهم که برخی ساخت و سازها نیز بدون طراحی و نظارت مناسب و اصولاً بدون توجه به هیچ ضابطه‌ی فنی ساخته شده‌اند، تشدید کننده‌ی این نگرانی است.

چاره چیست؟ اول پیشگیری و سپس درمان، **پیشگیری** برای ساختمان‌های جدید و در دست طراحی، با رعایت اصول طراحی مطابق ضوابط و آیین‌نامه‌ها، رعایت اصولی اجرایی ساختمان‌ها مطابق ضوابط فنی، نظارت دقیق بر اجرای پروژه‌ها، کنترل کیفیت مصالح ساختمانی، آموزش کلیه‌ی عوامل اجرایی پروژه‌ها و نگهداری مناسب ساختمان‌ها در حین بهره‌برداری و **درمان** برای ساختمان‌های موجود به دلیل تغییر در آیین‌نامه‌های زلزله، نواقص طراحی و عیوب اجرایی و فرسودگی مصالح.

در ادبیات فنی بحث درمان، با عبارت «بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود» بیان می‌شود. برای این کار لازم است براساس نظر کارفرما و پس از جمع‌آوری و برداشت اطلاعات مربوط به محل ساختمان و وضع موجود ساختمان بتنی اعم از مشخصات مصالح بتن و میل‌گرد و نقشه‌های چونساخت، نیاز یا عدم نیاز به بهسازی ساختمان بررسی و در صورت نیاز به بهسازی، طرح بهسازی ارائه شود (شکل ۶ــ۴۴).



الف ــ یکی از تیرهای این پل بتنی به علت طراحی نامناسب و عوامل خارجی دچار آسیب‌های جدی شده است که با استفاده از الیاف پلیمری FRP بهسازی و مقاوم‌سازی شده است.

ب ــ این ساختمان به دلیل ضعف در تیرها و ستون‌های خود، نیازمند مقاوم‌سازی بوده که برای این منظور ابعاد تیرها و ستون‌ها و هم‌چنین میل‌گردهای آن افزایش یافته است.

شکل ۶ــ۴۴ــ نمونه‌هایی از مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی

۶ــ۱۱ــ قالب‌بندی

قالب‌بندی یکی از قسمت‌های اجرایی بسیار دشوار و پرهزینه در سازه‌های بتن‌آرمه است. هدف از قالب‌بندی شکل دادن بتن خمیری به ابعاد و حجم دلخواه، مطابق خواسته‌ی طراح سازه است.

۶ــ۱۱ــ۱ــتعریف قالب‌بندی و داربست: قالب‌بندی مجموعه‌ای است برای دربرگرفتن بتن و حفظ آن تا زمان سخت شدن و رسیدن به مقاومت کافی که شامل : رویه، بدنه، پشت‌بندها، حایل‌ها و چپ و راست‌ها، میله‌های تنظیم و نظایر آن می‌باشد.

داربست سازه‌ای موقت است که برای نگهداری قالب‌بندی، سکوهای کار و تحمل بارهای در حین اجرا، برپا می‌شود و شامل شمع‌بندی، پایه‌های قائم، صفحات افقی، بادبندها و زیرسری‌ها و همانند آن است.

۶ــ۱۱ــ۲ــ عملکردهای قالب:

ــ قالب باید بتن را در شکل موردنظر در محدوده‌ی رواداری‌های مجاز نگاه دارد، همچنین به سطح آن نمای دلخواه بدهد و وزن بتن را تا زمان سخت شدن و کسب مقاومت کافی تحمل کند.

ــ قالب باید بتن را در مقابل صدمات مکانیکی حفظ کند و از کم شدن رطوبت بتن و نشت شیره‌ی آن جلوگیری کند و عایقی مناسب در برابر سرما و گرمای محیط باشد، همچنین میل‌گردها و سایر اجزای داخل بتن را در محل مورد نظر نگاه دارد و در برابر نیروهای ناشی از لرزاندن و مرتعش ساختن بتن مقاومت کند و بدون آسیب رسیدن به بتن، از آن جدا شود.

۶ــ۱۱ــ۳ــ بارهای وارده به قالب: قالب باید طوری طراحی شود که بتواند بارهای وارده را قبل از این که سازه‌ی بتنی مقاومت کافی به‌دست آورد، با ایمنی مناسبی تحمل کند.

مهم‌ترین بارهای قائم زنده و مرده‌ی وارد بر قالب عبارتند از :

الف) وزن قالب‌ها و پشت‌بندها

ب) وزن بتن تازه

ج) وزن آرماتورها و سایر اقلام کارگذاشته شده در بتن

د) وزن افراد، وسایل کار، گذرگاه‌ها و سکوهای کار

هـ) بارهای موقت حاصل از انبارکردن مصالح

و) فشار رو به بالای باد

مهم‌ترین بارهای جانبی وارد بر قالب عبارتند از :

الف) رانش بتن تازه

ب) فشار و مکش باد

ج) بارهای ناشی از تغییرات دما

مهم‌ترین بارهای ویژه عبارتند از :

الف) بار ناشی از بتن‌ریزی نامتقارن

ب) ضربه‌ی حاصل از ماشین‌آلات و پمپ بتن

ج) نیروهای رو به بالا در قالب‌ها و اقلام کار گذاشته در بتن

د) اثرهای دینامیکی نظیر اثر تخلیه‌ی بتن از جام حمل بتن

نیروگاه هسته‌ای بوشهر در حال ساخت. اجرا و طراحی دقیق سازه‌ها در چنین تأسیساتی بسیار مهم می‌باشد. چرا که آسیب دیدن این‌گونه سازه‌ها علاوه بر خسارات مالی فراوان، خسارات جانی زیادی دراثر انتشار مواد رادیواکتیو به همراه خواهد داشت.

هـ) بارهای حاصل از نشست نامتقارن تکیه‌گاه‌های قالب

و) بارهای ناشی از لرزاندن و متراکم کردن بتن

ز) فشار دوغاب تزریقی در بتن پیش‌آکنده[1]

۶ــ۱۱ــ۴ــ توصیه‌های آیین‌نامه‌ی بتن ایران:

۶ــ۱۱ــ۴ــ۱ــ اجرای قالب

۱ــ توصیه می‌شود سطوح فوقانی با شیب بیش‌تر از ۲ :۳ (۲ قائم/۳افقی) قالب‌بندی شوند، به هرحال تعبیه‌ی قالب برای سطح فوقانی با شیب بیش‌تر از ۱ :۱ الزامی است.

۲ــ قبل از جاگذاری آرماتورها باید تا حد امکان رویه‌ی قالب‌ها را نصب کرد و مواد رهاساز را روی قالب‌ها مالید.

۳ــ قطعات رویه‌ی قالب‌ها باید در کنار هم طوری قرار گیرند (جفت شوند) که هدر رفتن شیره بتن ممکن نباشد.

۴ــ قالب‌ها باید از هر نوع آلودگی، ملات‌ها، مواد خارجی و نظایر این‌ها عاری باشند و قبل از هر بار مصرف با مواد رهاساز پوشانده شوند. این مواد را باید چنان به کار برد که بدون آلوده شدن آرماتورها، روی سطوح قالب، لایه‌ای یکنواخت و نازک به‌وجود آید.

۵ ــ در مواردی که دسترسی به کف قالب‌ها دشوار یا غیرممکن باشد، باید با تعبیه‌ی دریچه‌های بازدید و کف‌شوی‌های قالب، امکان تمیز کردن قالب قبل از بتن‌ریزی را فراهم کرد.

۶ــ درصورتی که کیفیت سطح تمام شده اهمیتی خاص داشته باشد، نباید از قطعات قالب‌های صدمه‌دیده در مراحل قبلی استفاده کرد.

۷ــ هنگام برداشتن قالب سطوح زیرین قطعات بتن مسلح باید با رعایت بند ۸، پایه‌هایی به‌عنوان پایه‌های اطمینان در زیر سطوح باقی گذاشت، تا از بروز تغییر شکل‌های تابع زمان جلوگیری شود.

۸ ــ پیش‌بینی پایه‌های اطمینان برای تیرهای با دهانه‌ی بزرگ‌تر از ۵ متر، تیرهای کنسول به‌طول بیش‌تر از ۲/۵ متر، دال‌های با دهانه‌ی بزرگ‌تر از ۳ متر و دال‌های کنسول به طول بیش‌تر از ۱/۵ متر اجباری است. تعداد پایه‌های اطمینان باید طوری باشد که فاصله‌ی آن‌ها به هر حال از ۳ متر تجاوز نکند.

۹ــ مجموعه‌ی قالب‌بندی باید در تمامی مراحل قبل از بتن‌ریزی، ضمن و بعد از آن به دقت زیرنظر باشد و به منظور حفظ مجموعه در محدوده‌ی رواداری‌های تعیین شده تنظیم شود.

۶ــ۱۱ــ۴ــ۲ ــ قالب‌برداری:

الف) قالب باید موقعی برداشته شود که بتن بتواند تنش‌های مؤثر را تحمل کند و تغییر شکل آن از تغییر شکل‌های پیش‌بینی شده تجاوز نکند.

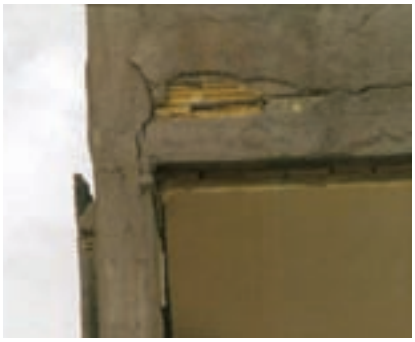
ب) پایه‌ها و قالب‌های باربر نباید قبل از آن‌که اعضا و قطعات بتنی مقاومت کافی را برای تحمل وزن خود و بارهای وارد کسب کنند، برچیده شوند.

ج) عملیات قالب‌برداری و برچیدن پایه‌ها باید گام به گام و بدون اعمال نیرو و ضربه، طوری

آیین نامه‌ی بتن ایران. با رعایت ضوابط این آیین‌نامه می‌توان سازه‌ای ایمن ساخت.

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ؛ طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه

۱ــ در ساخت این نوع بتن، ابتدا سنگ‌دانه‌های درشت در درون قالب و یا در فضای مورد نظر چیده شده یا با وسایلی مناسب و به نحوی مشخص ریخته، توزیع و متراکم می‌شوند. سپس ملات سیمان که معمولاً حاوی مواد روان‌کننده و منبسط شونده است، به طور مداوم از پایین به بالا تحت فشار به طور یکنواخت در فضای خالی بین سنگ‌دانه‌ها تزریق می‌شود.



اجرای نامناسب تیر و ستون بتن مسلح و جدا شدن تیر از ستون بر اثر خرابی در محل اتصال علت خرابی بوده است. دلیل این امر می‌تواند عدم کفایت طول مهاری میل‌گردهای طولی تیر در ستون باشد. بدین معنا که نیروی ایجاد شده در تیر باعث بیرون کشیدن میل‌گردهای تیر از ناحیه‌ی اتصال شده است. عدم اتصال مناسب بین دیوار و سازه مشکل دیگر این سازه است.

صورت گیرد که اعضا و قطعات بتنی تحت اثر بارهای ناگهانی قرار نگیرند، بتن صدمه نبیند و ایمنی و قابلیت بهره‌برداری قطعات مخدوش نشود.

د) درصورتی که قالب‌برداری قبل از پایان دوره‌ی مراقبت انجام پذیرد، باید تدابیری برای مراقبت بتن پس از قالب‌برداری اتخاذ کرد.

هـ) درصورتی که زمان قالب‌برداری در طرح تعیین و تصریح نشده باشد باید زمان‌های داده شده در جدول ۶ــ۴ را به‌عنوان حداقل زمان لازم برای برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها ملاک قرار داد.

و) برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها در مدتی کم‌تر از زمان‌های داده شده در جدول ۶ــ۴ فقط به شرط آزمایش قبلی میسر است.

جدول ۶ــ۴ــ حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری[1]

نوع قالب‌بندی / شرح		دمای مجاور سطح بتن (°C)			
		۲۴ و بیش‌تر	۱۶	۸	۰
قالب‌های قائم، ساعت		۹	۱۲	۱۸	۳۰
دال‌ها	قالب زیرین، شبانه‌روز	۳	۴	۶	۱۰
	پایه‌های اطمینان، شبانه‌روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
تیرها	قالب زیرین، شبانه‌روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
	پایه‌های اطمینان، شبانه‌روز	۱۰	۱۴	۲۱	۳۶

درصورتی که آزمایش آزمونه‌های آگاهی (نگهداری شده در کارگاه) حاکی از رسیدن مقاومت بتن به حداقل هفتاد درصد مقاومت بیست و هشت‌روزه‌ی موردنظر باشد، می‌توان قالب‌های سطوح زیرین را برداشت، ولی برچیدن پایه‌های اطمینان فقط درصورتی مجاز است که علاوه بر مراعات تمامی محدودیت‌ها، بتن به مقاومت بیست و هشت روزه‌ی موردنظر رسیده باشد.

۶ــ۱۱ــ۴ــ۳ــ برداشتن پایه‌های اطمینان:

الف) برای تیرهای با دهانه‌ی تا ۷ متر برداشتن کل قالب و داربست و زدن پایه‌های اطمینان مجاز است، ولی برای دهانه‌های بزرگ‌تر از ۷ متر، تنظیم قالب و داربست باید طوری باشد که برداشتن قالب بدون جابه‌جایی پایه‌های اطمینان میسر باشد.

ب) برای سازه‌های متشکل از دیوارها و دال‌های بتن‌آرمه، نظیر سازه‌هایی که با قالب‌های تونلی یا قالب‌واره‌های به ابعاد بزرگ ساخته شوند، می‌توان برچیدن پایه‌های اطمینان و برپایی مجدد آن‌ها را در دهانه‌های تا ۱۰ متر مجاز دانست مشروط بر آن که زدن پایه‌های اطمینان بلافاصله پس از برداشتن قالب باشد و در عمل اطمینان حاصل شود که هیچ نوع ترک یا تغییر شکل نامطلوب بروز نخواهد کرد.

ج) به‌طور کلی درصورتی که قطعه‌ی موردنظر جزیی از سیستمی پیوسته باشد، موقعی می‌توان پایه‌های اطمینان را برداشت که تمامی قطعات مجاور آن هم بتن‌ریزی شده باشند.

درصورتی که تیر یا دال یکسره طراحی شده باشد، نمی‌توان پایه‌های اطمینان دهانه‌ای را برچید

۱ــ برای توضیحات بیش‌تر در خصوص این جدول و تعدیلات زمان‌های ذکر شده در آن، در شرایط مختلف به متن آیین‌نامه‌ی بتن ایران مراجعه نمایید.

مگر آن که دهانه‌های طرفین آن بتن‌ریزی شده باشند و بتن آن نیز مقاومت لازم را به‌دست آورده باشد.

د) در صورت تکیه کردن مجموعه‌ی قالب‌بندی طبقه‌ی فوقانی بر روی طبقه‌ی تحتانی، فقط وقتی می‌توان پایه‌های اطمینان طبقه‌ی زیرین را برچید که بتن طبقه‌ی بالا مقاومت لازم را به‌دست آورده باشد. توصیه می‌شود پایه‌های اطمینان همیشه در دو طبقه‌ی متوالی وجود داشته باشند و تا حد امکان هر دو پایه اطمینان نظیر در دو طبقه، روی هم و در امتدادی واحد قرار گیرند.

هـ) برداشتن پایه‌های اطمینان باید بدون اعمال فشار و ضربه و طوری باشد که بار به تدریج از روی آن‌ها حذف شود (در دهانه‌های بزرگ از وسط دهانه به سمت تکیه‌گاه‌ها و در کنسول‌ها از لبه به طرف تکیه‌گاه). برداشتن بار از روی پایه‌های اطمینان در دهانه‌های بزرگ و قطعاتی که نقش سازه‌ای حساسی دارند، باید با وسایل قابل کنترل انجام پذیرد به‌طوری که در صورت لزوم در هر لحظه بتوان باربرداری از روی پایه‌ها را متوقف کرد.

پرسش

۱ــ اندازه کردن مصالح سنگی اغلب از چه طریق انجام می‌شود؟

۲ــ ظرفیت انتقال بتن، حداکثر طول حمل و ارتفاع جابه‌جایی بتن با پمپ‌های بتن چه مقدار است؟

۳ــ شرایط بتن‌ریزی در دیوارها چیست؟

۴ــ برای اتصال بتن‌ریزی‌های ناپیوسته چه تدابیری صورت می‌گیرد؟

۵ ــ معایب وجود هوا در بتن چیست؟

۶ــ زمان بهینه برای مخلوط کردن مصالح در مخلوط‌کن به چه عواملی بستگی دارد؟

۷ــ توصیه‌های لازم به منظور اطمینان از عدم یخ‌زدگی کدام است؟

۸ ــ از چه وسایلی برای پوشش‌های عایق استفاده می‌شود؟

۹ــ حفاظت و نگهداری بتن در هوای گرم چگونه انجام می‌شود؟

۱۰ــ مراحل پرداخت سطح بتن را توضیح دهید.

۱۱ــ عمل‌آوردن بتن را تعریف کنید.

۱۲ــ به نظر شما چرا نیاز به بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود وجود دارد؟

۱۳ــ هدف از قالب‌بندی چیست؟

۱۴ــ عملکردهای قالب را بیان کنید.

۱۵ــ بارهای وارد به قالب را نام ببرید.

۱۶ــ آیین‌نامه‌ی بتن ایران چه توصیه‌هایی در خصوص قالب‌بندی بیان کرده است؟

۱۷ــ با چند نفر از همکلاسی‌هایتان به سراغ یکی از ساختمان‌های بتنی در حال اجرا در شهرتان بروید. گزارشی از نحوه‌ی اجرای آن تهیه و با مطالب کتاب مقایسه کنید. آیا اگر شما مسئول اجرای آن ساختمان بودید به همان نحو اجرا می‌کردید؟

«ضمیمه»

آشنایی با فناوری‌های نو در ساختمان‌های بتنی

۱ــ بتن‌های خاص

۱ــ۱ــ بتن پلیمری

پلیمرها از نظر شیمیایی مواد بی‌اثری هستند که مقاومت کششی و فشاری بالاتری نسبت به بتن معمولی دارند. پلیمرها برای تولید سه نوع بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارت است از : بتن با پلیمر تزریقی (PIC)[۱]، بتن پلیمری (PC)[۲] و بتن پلیمری با سیمان پرتلند (PPCC)[۳]. برای ساخت بتن با پلیمر تزریقی نوعی پلیمر در بتنِ سخت شده با سیمان پرتلند تزریق می‌شود. در مقایسه با بتن معمولی، این نوع بتن دارای مقاومت‌های فشاری، کششی و ضربه‌ای و همچنین مدول الاستیسیته‌ی خیلی بالاتر بوده و خزش و ترک‌های حرارتی کم‌تری در آن ایجاد می‌گردد. از این نوع بتن در تزریق جزئی در بعضی از اعضای سازه‌ای برای حصول مقاومت بیش‌تر، استفاده می‌شود. در بتن پلیمری، یک نوع پلیمر با سنگ‌دانه‌ها مخلوط شده و با استفاده از مواد عمل‌آورنده، بتنی ساخته می‌شود که مقاومت آن را افزایش می‌دهد. بتن پلیمری در مواردی چون تعمیرات سریع در بزرگراه‌های پر ترافیک، تولید دیوارهای پیش‌ساخته‌ی مسلح به الیاف شیشه، تولید موزاییک‌های کف و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. بتن پلیمری با سیمان پرتلند، با افزودن یک پلیمر به بتن تازه به‌دست می‌آید که موجب بهبود پایایی و افزایش چسبندگی بتن شده و مقاومت آن را در برابر یخ زدن و آب شدن، سایش و بارهای ضربه‌ای نسبت به بتن معمولی بیش‌تر خواهد کرد. از این نوع بتن در عرشه‌ی پل‌ها و دیوارهای جداکننده‌ی پیش‌ساخته استفاده می‌شود.

۱ــ۲ــ بتن گوگردی

تولید زیاد گوگرد در سال‌های اخیر، منجر به استفاده از آن به‌عنوان یکی از مصالح ساختمانی ارزان‌قیمت در بتن گوگردی و بتن با گوگرد تزریقی شده است. بتن گوگردی، شامل گوگرد و سنگ‌دانه‌های ریز و درشت بدون آب و سیمان است، که در دمای $140^{\circ}C$ با هم مخلوط می‌شوند. بتن گوگردی در مقایسه با بتن معمولی، سریع‌تر به مقاومت می‌رسد و در شرایط دمایی و رطوبتی معمولی، ۹۰درصد مقاومتش را در ۶ تا ۸ ساعت به‌دست می‌آورد. مقاومت بالا در سنین اولیه و پایایی خوب شیمیایی، بتن گوگردی را برای استفاده در قطعات پیش‌ساخته و کارخانه‌های صنعتی مناسب می‌سازد. بتن با گوگرد تزریقی همانند بتن با پلیمر تزریقی ساخته می‌شود، ولی بسیار ارزان‌تر می‌باشد. تزریق گوگرد در بتن معمولی مقاومت‌های فشاری و خمشی را در حد

۱ــ Polymer Impregnation Concrete

۲ــ Polymer Concrete

۳ــ Polymer Portland Cement Concrete

چشم‌گیری افزایش می‌دهد. مقاومت این نوع بتن در مقابل حمله‌ی سولفات‌ها و اسیدها و تناوب‌های یخ زدن و آب شدن خوب می‌باشد.

۱ ــ۳ــ بتن الیافی

بتن مسلح با الیاف یا بتن الیافی، بتنی است که با سیمان، مصالح سنگی و الیاف مجزا و غیرپیوسته ساخته می‌شود. الیاف ممکن است از مصالح طبیعی مانند پنبه‌ی نسوز، انواع مخصوص کنف و سلولز و یا از محصولات تولیدی مانند شیشه، فولاد، کربن و پلیمر ساخته شوند. هدف از مسلح نمودن بتن با الیاف، افزایش مقاومت کششی، جلوگیری از توسعه‌ی ترک‌ها و افزایش سختی به وسیله‌ی انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک می‌باشد، که در مقایسه با بتن معمولی، امکان تغییر شکل‌های بزرگ‌تری را فراهم می‌سازد. همچنین با افزایش الیاف، مقاومت ضربه‌ای و مقاومت خستگی بهبود یافته و انقباض بتن کاهش خواهد یافت.

۱ ــ۴ــ بتن غلتکی

بتن غلتکی (RCC)[۱] یا بتن متراکم شده با غلتک، بتنی با اسلامپ صفر می‌باشد که با ارتعاش توسط غلتک‌ها محکم و سفت می‌شود. دو نوع بتن غلتکی در کارهای ساختمانی به‌کار می‌رود، بتن غلتکی حجیم با عیار سیمان کم، در ساخت سدها و سازه‌های حجیم مانند دیوارهای حایل، پایه‌های سنگین و خاکریزها که در آن‌ها مقاومت زیاد مورد نیاز نیست و بتن غلتکی با عیار سیمان نسبتاً زیاد، در اجرای سریع لایه‌های روسازی بزرگراه‌ها و پوشش‌های مشابه که در آن‌ها مقاومت مکانیکی و سایشی بالایی مورد نیاز است. مزیت اصلی این نوع بتن‌ها، هزینه‌ی پایین آن است.

۱ــ۵ ــ بتن با مقاومت بسیار بالا

مقاومت بتن بستگی به خواص مواد تشکیل‌دهنده، نسبت‌های اختلاط و روش‌های اختلاط، جا دادن، تراکم و عمل‌آوردن آن دارد. بنابراین بالا بردن مقاومت بتن می‌تواند با بهبود کیفیت مصالح یا بهبود روش‌های اتخاذ شده در هرکدام از مراحل فوق انجام شود که علاوه بر کیفیت مصالح و مقدار آن‌ها، این روش‌ها برای تولید این نوع بتن به‌کار می‌رود : انجام تراکم بهتر، بهبود چسبندگی بین دانه‌ها و خمیر سیمان، کاهش تخلخل بتن و استفاده از عوامل خارجی مانند تزریق سولفوری یا پلیمری، گرما و فشار و... . مزیت این نوع بتن، نسبت مقاومت به وزن بیش‌تر در مقایسه با بتن‌های معمولی است که در سازه‌های مرتفع و پل‌های با دهانه‌های زیاد کاربرد دارند. با استفاده از این نوع بتن می‌توان ابعاد مقاطع بتنی و یا با همان سطح مقطع، مقدار آرماتورها را کاهش داده یا ظرفیت باربری آن‌ها را افزایش داد.

۱ــ Roller Compacted Concrete

۱ــ۶ــ بتن سبک

بتن سبک، بتنی است که وزن مخصوص آن به‌طور محسوسی کم‌تر از وزن مخصوص بتنی است که با سنگ‌دانه‌های طبیعی یا شکسته ساخته می‌شود. این بتن معمولاً با استفاده از سنگ‌دانه‌های سبک تهیه می‌شود. بتن سبک به منظور کاهش وزن سازه به‌کار می‌رود، هرچند مقاومت فشاری نهایی آن در مقایسه با بتن‌های معمولی مقدار کم‌تری است. معمولاً افزایش هزینه در ساخت بتن سبک با کاهش بار مرده که منجر به کاهش ابعاد پی‌ها، دیوارها، تیرها و ستون‌ها و ضخامت سقف می‌شود و با افزایش مقاومت بتن در مقابل آتش‌سوزی و عایق صوتی و حرارتی بودن آن، جبران می‌شود.

۱ــ۷ــ بتن سنگین

بتن سنگین به بتنی گفته می‌شود که دارای وزن مخصوص بزرگ‌تری نسبت به بتن‌های ساخته شده با سنگ‌دانه‌های معمولی می‌باشد. این بتن معمولاً با استفاده از سنگ‌دانه‌های سنگین تهیه می‌شود و به‌طور ویژه به‌عنوان سپر محافظ در مقابل تشعشع به‌کار می‌رود. هرچند که سپرهای محافظ در مقابل تشعشع، کاربرد اصلی این نوع بتن‌ها هستند، لیکن در ساخت بتن‌های وزنی و یا در مواردی که نیاز به افزایش اقتصادی بار مرده‌ی سازه بدون افزایش حجم هستیم، نیز مورد استفاده می‌باشد. بتن سنگین همواره هزینه‌ی ساخت بیش‌تری نسبت به بتن‌های معمولی دارد.

۲ــ بتن پاشیده

روشی که در آن، بتن بر روی یک سطح پاشیده می‌شود، به بتن پاشیده و یا **شاتکریت** معروف است. بتن پاشیده به صورت خشک، تر و الیافی می‌باشد که در هر سه حالت مصالح مخلوط شده، توسط دستگاه بتن‌پاش بر روی سطح موردنظر پاشیده می‌شود. استفاده از بتن‌پاشی هم برای اجرای ساختمان‌های جدید و هم تعمیر سازه‌های موجود امکان‌پذیر است. اجرای ساختمان جدید شامل پوشش کانال‌ها، جدار مخازن، تونل‌ها و لوله‌ها، بتن‌ریزی دال‌ها، دیوارها و گنبدها، کنترل فرسایش شیب‌های زمین و استخرهای شنا می‌باشد. پوشش را می‌توان برای تعمیر بتن یا مصالح بنایی خراب شده (پس از برداشتن بخش ناسالم)، سطوح سنگی برای جلوگیری از خردشدگی سطوح جدید، فولاد و چوب برای محافظت در برابر آتش، شمع‌ها برای روکش کردن آن‌ها، سطوح سدها و محافظت سقف در معادن و تونل‌ها به‌کار برد.

۳ــ اجزای پیش‌ساخته‌ی بتنی

بتن به علت ریخته شدن در اشکال هندسی متنوع، قابلیت پیش‌ساختگی زیادی دارد.

پیش‌ساختگی در بتن، امکان صنعتی کردن تولید ساختمان را به‌وجود می‌آورد که در آن طراحی، تولید و نصب به صورت مهندسی درمی‌آید. پیش‌ساختگی اجزای ساختمانی، غالباً به دو روش، پیش‌ساختگی در کارگاه و پیش‌ساختگی درکارخانه، انجام می‌شود. از مزایای پیش‌ساختگی می‌توان به این موارد اشاره نمود : تولید با کیفیت بهتر و همگن‌تر، سبک‌سازی، انطباق بهتر با فرضیات محاسباتی، نیاز کم‌تر به نیروی کارگری متنوع، استقلال بیش‌تر از شرایط جوّی و سرعت عمل بیش‌تر. شکل (۱) نمونه‌هایی از قطعات پیش‌ساخته‌ی بتنی را نشان می‌دهد.

دیوار پیش‌ساخته

راه‌پله‌ی پیش‌ساخته

تیر پیش‌ساخته

دیوار حایل پیش‌ساخته

مناره‌ی پیش‌ساخته

شکل۱ــ اجزای پیش‌ساخته‌ی بتنی

۴ــ بتن ساندویچی

بتن ساندویچی، متشکل از یک لایه فوم پلی‌استایرن بین لایه‌های بتن است. برای تهیه‌ی قطعات از این نوع بتن، دو شبکه‌ی فلزی میل‌گردهای به‌هم جوش‌خورده در طرفین یک فوم قرار داده شده و بتن با استفاده از پمپ بر روی این سطح پاشیده می‌شود. ضخامت نهایی قطعه‌ی بتنی، در حدود ۱۰ الی ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. از مزایای این نوع سیستم سازه‌ای می‌توان به این موارد اشاره کرد : کاهش وزن ساختمان، صلبیت سازه و تغییر مکان محدود، توزیع مناسب نیروی زلزله با توجه به یکپارچگی خوب کف‌ها و دیوارها، کاهش قیمت تمام شده، کاهش سطح اشغال دیوارها، سرعت زیاد در ساخت و ساز، کاهش هزینه و سهولت در نصب تأسیسات برقی و مکانیکی، سهولت در اجرای بازشوها، عایق حرارتی و کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در دراز مدت و عایق صوتی. شکل (۲) نمونه‌ی اجرای قطعات ساخته شده از بتن ساندویچی را نشان می‌دهد.

نصب صفحات بر روی فونداسیون اجرا شده

نصب صفحات سقف

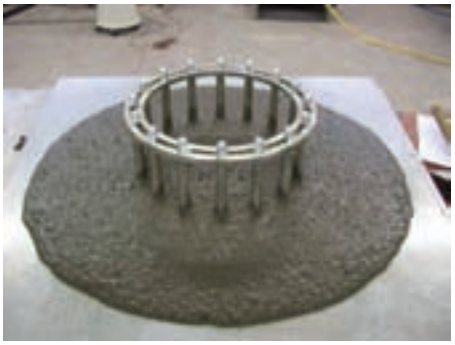
بتن پاشی روی دیوار

تعبیه‌ی بازشوهای در و پنجره

شکل۲ــ نمونه‌ی اجرای قطعات ساخته شده از بتن ساندویچی

۵ــ بتن خودتراکم

در سازه‌های بتنی برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز و کاهش تخلخل و هوای درون بتن و حصول پایایی و دوام در برابر عوامل محیطی، بتن به روش‌های مختلف لرزانده می شود. با توسعه روزافزون کارهای بتنی و کمبود نسبی کارگران ماهر و یا سهل‌انگاری‌های آنان در کارگاه‌ها و یا به دلیل مزاحمت‌های جسمی و روحی و یا هزینه‌ی لرزاندن بتن در هنگام ریختن آن در قالب، به ویژه در جاهایی که تراکم میل‌گرد وجود دارد، عمل لرزاندن به‌طور کامل و صحیح انجام نگرفته و در نهایت مشخصات مکانیکی مطلوب بتن حاصل نمی‌شود. لذا ساخت بتنی بدون نیاز به لرزاندن همواره راه حلی برای این معضل به نظر می‌رسید و از این‌رو ساختن چنین بتنی رؤیایی برای متخصصین بتن بوده است که بتوانند با استفاده از مواد افزودنی شیمیایی مختلف و تغییر در مقادیر مصالح طرح اختلاط، به این مهم دست یابند و بتن را از نقص اجرایی لرزاندن رها سازند (شکل ۳).



شکل۳ــ نمونه‌ی از بتن خود تراکم

ابداع بتن خود تراکم (Self-Compacting Concrete) «SCC» نتیجه‌ی این تلاش‌ها بوده است. البته افزایش روانی بتن از طریق مصرف مواد افزودنی روان‌کننده یا فوق‌روان کننده امکان‌پذیر بوده است ولی چنان‌چه از این طریق روانی بتن بیش از حد معین افزایش یابد جداشدگی در بتن اتفاق افتاده و به کیفیت بتن صدمه می‌زند. با ابداع فوق روان‌کننده‌های نسل جدید که حاصل تلاش پژوهشگران ژاپنی بوده است می‌توان ضمن به‌دست آوردن روانی زیاد، از ایجاد جداشدگی نیز جلوگیری نمود. استفاده از بتن خود تراکم نه تنها خیال مجریان پروژه‌ها را از عدم کارآیی و یا ضعف اجرایی کارگران آسوده می‌سازد، بلکه موجب صرفه‌جویی‌های چشمگیری در مدت زمان اجرا و به تبع آن در هزینه‌ها می‌گردد (شکل ۴).

شکل۴ــ نمونه‌ی اجرای آزمایشگاهی بتن خود تراکم

بتن خود تراکم، بتنی است که دارای هر سه ویژگی زیر باشد :

قابلیت پرکنندگی: قابلیت جریان یافتن به درون قالب و پرکردن کامل تمام فضاهای خالی قالب تحت وزن خود.

قابلیت عبوری: قابلیت جریان یافتن از میان مجراهای تنگ و سخت و ماندن در فاصله‌ی میان میل‌گردها، بدون جداشدگی و انسداد.

مقاومت در برابر جداشدگی (پایداری): توانایی در همگن باقی‌ماندن در ترکیب به هنگام حمل‌ونقل، قرارگیری و قالب‌زنی.

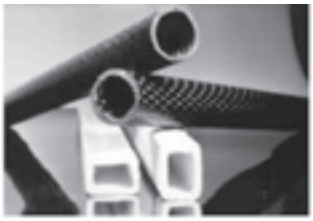
مزایای چشمگیر بتن خود تراکم موجب گسترش سریع آن در دنیا شده است. از جمله این مزایا می‌توان به مواردی از قبیل اجرای سریع‌تر ساختمان‌ها، اطمینان از تراکم به خصوص در مقاطعی که کاربرد لرزاننده دشوار است، همگنی بیش‌تر و دوام بهتر، پرداخت بهتر سطوح، قالب‌ریزی بهتر، کاهش تعمیرات ناشی از تراکم ناکافی، اجرای مقاطع نازک‌تر بتنی، آزادی بیشتر در طراحی ساختمان (از نظر معماری)، کاهش آلودگی صوتی، مصرف انرژی کم‌تر، محیط کار امن‌تر، کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی و عمر طولانی‌تر قالب‌ها اشاره نمود.

هنگام استفاده از بتن خود تراکم در سطح وسیع باید پیش‌بینی‌های لازم برای جلوگیری از ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی خمیری صورت گیرد زیرا در عمل‌آوری به دلیل محتوای پودری زیاد، قابلیت آب‌انداختن آن بسیار کم است و اگر عمل‌آوری و مراقبت از آن درست نباشد ترک می‌خورد.

در ایران به دلیل وفور منابع طبیعی برای تولید سیمان و بتن، کاربرد سازه‌های بتنی در پروژه‌های مختلف توسعه‌ی زیادی یافته است. متأسفانه کمبود کارگر فنی و یا عدم وجود آن‌ها در اغلب نقاط کشور موجب افت فراوان کیفیت بتن و به هدر رفتن سرمایه‌های ملی و خسارات انسانی جبران‌ناپذیری در سوانح طبیعی می‌گردد و در بررسی این سازه‌ها عدم تراکم کافی و یا تراکم ناقص بتن به وضوح مشاهده می‌شود، لذا استفاده از بتن خود تراکم به جای بتن معمولی برای حل این مشکل منطقی به نظر می رسد.

۶ــ استفاده از میل‌گردهای کامپوزیتی به جای میل‌گردهای فولادی در بتن

بزرگ‌ترین سهم بازار مصرف مواد مرکب (کامپوزیت) در اختیار صنعت ساختمان است. در این میان میل‌گردهای کامپوزیتی به میزان وسیعی در ساختمان‌سازی به ویژه احداث بناهای ساحلی و یا سازه‌های مستقر شده در شرایط اقلیمی خورنده کاربرد یافته‌اند. گسترش فنّاوری ساخت این میل‌گردها می‌تواند علاوه بر مرتفع ساختن نیاز صنعت ساختمان، راه‌گشای تولید انواع محصولات در صنایع دیگر هم‌چون وسایل ورزشی، خودرو و غیره باشد.



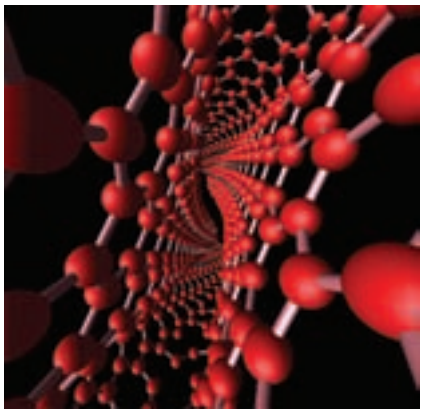
شکل۵ــ نمونه‌هایی از میل‌گردهای کامپوزیتی

دلیل عمده‌ی استفاده از میل‌گردهای کامپوزیتی (FRP) در داخل بتن، جلوگیری از پدیده‌ی خوردگی و افزایش میرایی ارتعاشات ایجاد شده در سازه در اثر ارتعاش می‌باشد. هر چند که استفاده از این میل‌گردها به جای نمونه‌های فولادی سبب کاهش وزن بنا نیز خواهد شد، اما در استفاده از این میل‌گردها، مسأله‌ی کاهش وزن اهمیت ناچیزی نسبت به دو مورد بیان شده دارد. بالابودن میرایی کامپوزیت‌ها، به دلیل خواص غیرکشسان آن‌هاست که انرژی جذب شده را میرا می‌کنند. در حالی که مواد فلزی حالت کشسان داشته و انرژی جذب شده را میرا نمی‌نمایند. بنابراین مواد کامپوزیتی در برابر ارتعاشات زلزله عملکرد بهتری خواهند داشت و بهترین گزینه برای افزایش جذب انرژی سازه در برابر زلزله خواهند بود.

به کارگیری میل‌گردهای FRP به جای نوع فولادی آن، به طور قابل ملاحظه‌ای از زیان‌های ناشی از بروز خوردگی جلوگیری می‌کند. ظهور تخریب ناشی از پدیده‌ی خوردگی در بتن مسلح‌شده با میل‌گرد فولادی بدین گونه است که نخست میل‌گردهای فولادی داخل بتن دچار زنگ‌زدگی شده و اکسید می‌شوند. سپس این اکسیدها به سمت سطح بیرونی بتن شروع به مهاجرت کرده و با انتشار در داخل بتن باعث از بین رفتن آن می‌شوند. بدین ترتیب با خورده‌شدن میل‌گرد و بتن، زمینه‌ی تخریب کامل سازه‌ی بتنی فراهم می‌گردد. روش‌های سنتی گذشته مانند چسباندن صفحات فولادی بر روی سازه یا اضافه کردن ضخامت بتن جهت مقابله با پدیده‌ی خوردگی ضمن آن که مشکل خوردگی فولاد را مرتفع نخواهد نمود، سبب افزایش وزن سازه و آسیب‌پذیرتر شدن آن در برابر زلزله نیز خواهد شد. جهت جلوگیری از این امر می‌توان با تقویت سطح خارجی سازه‌ی بتنی توسط مواد کامپوزیتی و استفاده از میل‌گردهای FRP در داخل بتن، علاوه بر حل مشکل خوردگی فولاد داخل سازه جلوی مختل شدن کارآیی سازه در صورت خورده‌شدن بتن گرفته خواهد شد که این بهترین روش مقابله با پدیده‌ی خوردگی در یک سازه‌ی بتنی می‌باشد.

کشور ما نیاز بسیار گسترده‌ای به استفاده از کامپوزیت‌ها در قالب میل‌گردهای کامپوزیتی دارد. هم‌اکنون بسیاری از سازه‌های بنا شده در محیط‌های خورنده‌ی مناطق مختلف کشور همچون پل‌های دریاچه‌ی ارومیه و یا ساختمان‌های جنوب کشور دچار معضل خوردگی هستند که استفاده از کامپوزیت‌ها می‌تواند پاسخ‌گوی مشکل این قبیل سازه‌ها باشد.

میل‌گردهای FRP به روش پالتروژن ساخته می‌شوند. عمر محصولات پالتروژنی بسیار بالاست و سرعت تولید یک محصول پالتروژنی نیز نسبتاً زیاد است. از نظر قیمت نیز با وجود این‌که یک تیر پالتروژنی قیمت ظاهری بیش‌تری نسبت به نمونه‌ی مشابه فولادی دارد، لیکن مقاومت خوب آن در مصارف خاص ضدخوردگی و زلزله و عمر بالای آن می‌تواند توجیه‌گر قیمت اولیه‌ی بالای آن باشد.



ساختارمولکولی نانو لوله‌های کربنی

۷ــ استفاده از فناوری نانو در ساختمان‌های بتنی

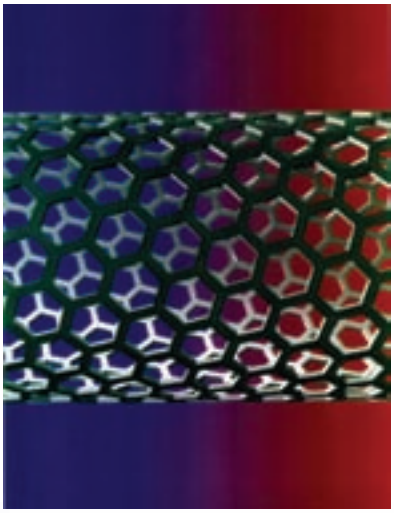
۷ــ۱ــ تعریف و کاربردهای فناوری نانو

نانو همان مقیاس ده به توان منفی نُه یا یک میلیاردم متر است. کارکردن با سطوح اتمی و مولکولی به فناوری نانو موسوم است. با توجه به این‌که فناوری نانو رویکرد جدیدی به علوم می‌باشد، تمامی علوم اعم از فنی، تجربی و انسانی را دربر می‌گیرد و سبب بهبود عملکرد مواد و خواص آن‌ها می‌شود. براین اساس، نانو را به‌عنوان فناوری کلیدی قرن بیست و یکم می‌شناسند.

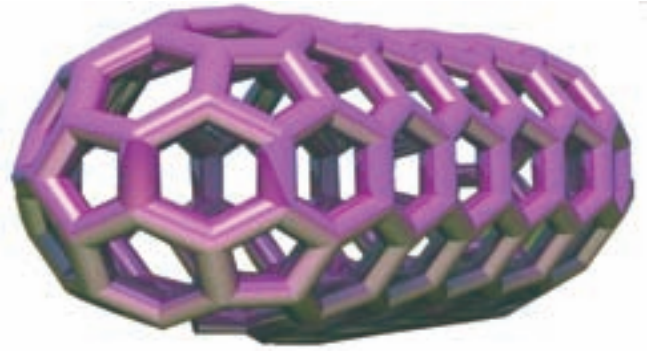
ازجمله کاربردهای فناوری نانو، می‌توان به برخی از موارد مانند کاربرد نانو در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، ضدخراش کردن رنگ، ایجاد خاصیت خود تمیزشوندگی شیشه، افزایش مقاومت سایشی لاستیک‌ها، درمان سریع بیماری‌های صعب‌العلاج، ساخت پارچه‌های ضدچروک و ضدچرک، ساخت کرم‌های ضدآفتاب، امنیت ملی و دفاع، بالا بردن حافظه‌ی کامپیوترها، ازدیاد برداشت در صنعت نفت، کاهش آلودگی محیط زیست و همچنین کاربرد فناوری نانو در ساخت موادی سبک‌تر از آلومینیم و مقاوم‌تر نسبت به فولاد و رساناتر نسبت به مس و ... اشاره نمود.

۷ــ۲ــ کاربردهای فناوری نانو در بتن به‌عنوان مواد افزودنی

یکی از مبانی پایه در فناوری نانو، لوله‌ی کربنی است که به‌عنوان مواد افزودنی در موارد مختلف ازجمله بتن به‌کار می‌رود. نانو لوله‌ی کربنی، بعد از گرافیت و الماس حالت سوم ساختارهای کربنی به‌شمار می‌رود که شبیه لوله‌هایی هستند که قطری معادل چند نانومتر و طولی معادل چند میکرون دارند و در اطراف آن‌ها فقط اتم کربن وجود دارد که به صورت شش‌ضلعی به یکدیگر متصل شده‌اند. نحوه‌ی اتصال این اتم‌ها به یکدیگر، موجب پیدایش خواص خارق‌العاده در این‌گونه مواد می‌شود. از جمله‌ی این خواص، استحکام فوق‌العاده است که این مواد را به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی ایده‌آل معرفی می‌کند. همان‌گونه که ذکر شد، یکی از کاربردهای فناوری نانو در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها است که با افزودن نانو لوله‌ی کربنی به بتن، سبب بالارفتن مقاومت بتن خواهد شد. مکانیزم اصلی این فرآیند شبیه افزودن



الیاف به بتن است که موجب افزایش مقاومت کششی بتن می‌شود. طبق گفته‌ی محققان این حوزه، با افزودن نانو لوله‌ی کربنی به بتن، این ترکیب قادر خواهد بود که ساختمان را در مقابل زلزله‌های بسیار شدید، مقاوم سازد که این، به دلیل انعطاف‌پذیری فوق‌العاده‌ی نانو لوله‌ی کربنی است که به بتن افزوده شده است. همچنین نانو لوله‌های کربنی در سیمان و بتن، به‌عنوان سیستم‌های انتقال حرارت در صنعت ساختمان به‌کار می‌روند. توسعه‌ی مواد عایق‌کننده و لوله‌های حرارتی و استفاده از پدیده‌ی اختلاف هدایت حرارتی در طول و عرض نانو لوله‌های کربنی، می‌تواند یکی از کاربردهای آن‌ها در گرم کردن ساختمان‌ها باشد که جایگزین سیستم‌های فعلی خواهد شد.



یکی دیگر از افزودنی‌های بسیار مؤثر در بتن، نانو ذرات سیلیس است. پس از افزودن این مواد به بتن، نانو ذرات خلل و فرج‌های بتن را پر کرده و از نفوذ آب و مواد زائد به بتن جلوگیری می‌کنند، در نتیجه مقاومت بتن در مقابل انواع خوردگی و پوسیده شدن به شدت افزایش می‌یابد. از این فناوری می‌توان در سدها، پل‌ها، اسکله‌ها، بنادر و ساختمان‌های بتنی در مناطق مرطوب کشور استفاده نمود.

منابع

۱ــ ارزیابی مقاومت و روش‌های ایمن‌سازی سازه‌های بتنی، دکتر علیرضا رهایی، سعید نعمتی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.

۲ــ آسیب‌دیدگی‌های بتن، علل و عوامل آن، ترجمه‌ی نرمین عسگری، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشر پیمانه، ۱۳۶۶.

۳ــ آیین‌نامه‌ی بتن ایران «آبا»، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره ۲۰، تجدیدنظر اول، تهران، ۱۳۷۹.

۴ــ بتن‌سازی عملی، ترجمه‌ی محمدرضا زریونی و هرمز پایوش، انتشارات رامان، تهران، ۱۳۶۲.

۵ ــ خواص بتن، پروفسور نویل، ترجمه‌ی دکتر هرمز فامیلی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، تهران، ۱۳۷۸.

۶ ــ بتن و روش اجرای آن براساس آیین‌نامه‌ی CP110، جی. بارنیروک، ترجمه‌ی مهندس مسعود انصاری، ۱۳۶۲.

۷ــ بتن و اجرای آن، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور، مهندس پرویز قدوسی و مهندس محمدحسین هوشدار تهرانی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۷۰.

۸ ــ بم و زمین‌لرزه‌اش می‌آموزد، نشریه‌ی شماره‌ی ک ــ۴۰۷، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۸۲.

۹ــ تاریخ مهندسی در ایران، مهدی فرشاد، نشر بلخ، ۱۳۷۶.

۱۰ــ تفسیر آیین‌نامه‌ی بتن ایران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ۱۳۸۰.

۱۱ــ تکنولوژی بتن، پروفسور نویل و دکتر بروکس، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور و مهندس محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت ۱۱۰، چاپ ششم، تهران، ۱۳۷۸.

۱۲ــ تکنولوژی ساختمان، مجلدات ۱، ۲، ۳ و ۴، تألیف ریچاردلی، ترجمه‌ی اردشیر اطیابی، انتشارات آرمان، ۱۳۷۰.

۱۳ــ تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، دکتر داود مستوفی‌نژاد، نشر صفحه، ۱۳۷۷.

۱۴ــ جزئیات میل‌گردگذاری در سازه‌های بتن مسلح، ترجمه‌ی گروه سازه و حوزه‌ی خدمات طراحی جهاد دانشگاه صنعتی شریف، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، چاپ دوم، تهران، ۱۳۶۵.

۱۵ــ دستنامه‌ی اجرای بتن، ج. وادل ــ ج. دو برووولسکی، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور، مهندس شاپور طاحونی، مهندس منصور پیدایش، انتشارات علم و ادب، تهران، ۱۳۸۲.

۱۶ــ دستورالعمل آزمایشگاه تکنولوژی بتن، مهندس حمیدرضا عراقیان، انتشارات دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۰.

۱۷ــ دستورالعمل ساخت و اجرای بتن در کارگاه، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره‌ی ۳۲۷، تهران، ۱۳۸۵.

۱۸ــ طراحی سازه‌های بتن مسلح (بر مبنای آیین‌نامه‌ی بتن ایران)، مهندس شاپور طاحونی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، تهران، ۱۳۷۸.

۱۹ــ طراحی سازه‌های بتنی مسلح، جلد ۱ و ۲، شاهین تعاونی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، تهران، ۱۳۶۸.

۲۰ ــ طرح اختلاط بتن، دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور، انتشارات علم و صنعت، چاپ اول، تهران، ۱۳۶۷.

۲۱ــ طرح و کنترل مخلوط‌های بتن، ترجمه‌ی دکتر محمدابراهیم طسوجی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۶۶.

۲۲ــ فناوری ساختمان‌های بتنی، علی‌اصغر حکیمی‌ها، وزارت آموزش و پرورش، شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای، ۱۳۸۳.

۲۳ــ فناوری در خدمت ساخت و ساز، مهندس محمدصالح رحیم‌لباف‌زاده، پژوهشی به درخواست کمیته‌ی ملی المپیک، ۱۳۸۲.

۲۴ــ گزارش ارائه شده توسط کمیته نانوفناوری بسیج علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴.

۲۵ــ مشخصات فنی و عمومی کارهای ساختمانی، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره‌ی ۵۵، تجدید نظر دوم، تهران، ۱۳۸۳.

۲۶ــ مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳۸۵.

۲۷ــ Reinforced Concrete Detailors Manual, Brain Boughton, Granada Publishing, 1982.

۲۸ــ The Seismic Design Handbook, Farzad Naeim, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, 2001.