

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فناوری ساختمان های بتنی

رشته ساختمان

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه ای

شماره درس ۲۶۹۵

|                                                                                 |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| پیدایش، منصور (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)؛ رحیم لباف زاده، محمد صالح | ۶۹۳   |
| فناوری ساختمان های بتنی / مؤلفان: منصور پیدایش، محمد صالح رحیم لباف زاده.       | /۵    |
| — تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، ۱۳۹۴.                              | ف۷۶۶پ |
| ۱۳۹ ص. منصور. — (آموزش فنی و حرفه ای؛ شماره درس ۲۶۹۵)                           | ۱۳۹۴  |
| متون درسی رشته ساختمان، زمینه صنعت.                                             |       |
| ۱. ساختمان های بتنی. ۲. ساختمان های بتن مسلح. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش.  |       |
| کمیسیون برنامه ریزی و تألیف کتاب های درسی رشته ساختمان. ب. عنوان. ج. فروست.     |       |

# فهرست مطالب

## پیش‌گفتار

## مقدمه

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| فصل اول – بتن و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن           | ۱  |
| ۱-۱- تعریف بتن                                   | ۱  |
| ۱-۲- تاریخچه‌ی بتن                               | ۱  |
| ۱-۳- محاسن و معایب بتن                           | ۸  |
| ۱-۴- خواص بتن                                    | ۸  |
| ۱-۵- سیمان                                       | ۹  |
| ۱-۶- مصالح سنگی                                  | ۱۲ |
| ۱-۷- آب                                          | ۱۶ |
| ۱-۸- مواد افزودنی                                | ۱۶ |
| پرسش                                             | ۱۷ |
| فصل دوم – آزمایش‌های بتن و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن | ۱۸ |
| ۲-۱- ضرورت انجام آزمایش‌ها                       | ۱۸ |
| ۲-۲- آزمایش‌های سیمان                            | ۱۹ |
| ۲-۳- آزمایش‌های سنگ‌دانه‌ها                      | ۲۱ |
| ۲-۴- آزمایش‌های بتن                              | ۲۷ |
| پرسش                                             | ۳۲ |
| فصل سوم – طرح اختلاط بتن                         | ۳۳ |
| ۳-۱- مقدمه و تعریف                               | ۳۳ |
| ۳-۲- لزوم ساخت مخلوط‌های آزمایشی                 | ۳۳ |
| ۳-۳- نمونه‌برداری و پذیرش بتن                    | ۳۴ |
| ۳-۴- روش طرح اختلاط                              | ۳۴ |
| ۳-۵- عوامل مؤثر بر طرح مخلوط                     | ۳۵ |
| ۳-۶- مراحل طرح اختلاط بتن                        | ۳۸ |
| پرسش                                             | ۴۷ |
| فصل چهارم – میل‌گردهای فولادی در بتن مسلح        | ۴۸ |
| ۴-۱- مصرف فولاد در بتن                           | ۴۸ |
| ۴-۱-۱- علت اصلی مصرف فولاد                       | ۴۸ |

|    |                                            |
|----|--------------------------------------------|
| ۴۸ | ۲-۱-۴- عوامل اصلی موفقیت بتن مسلح          |
| ۴۹ | ۳-۱-۴- سایر مزایای بتن مسلح                |
| ۴۹ | ۴-۱-۴- بتن پیش تنیده                       |
| ۴۹ | ۲-۴- انواع فولادهای مصرفی در بتن مسلح      |
| ۵۰ | ۱-۲-۴- روش های تولید                       |
| ۵۰ | ۲-۲-۴- چگونگی سطح میلگردها                 |
| ۵۰ | ۳-۲-۴- ابعاد میلگردها                      |
| ۵۱ | ۴-۲-۴- مشخصات مکانیکی میلگردها             |
| ۵۲ | ۵-۲-۴- شبکه های جوش شده از سیم             |
| ۵۳ | ۶-۲-۴- سیم ها و کابل های پیش تنیده         |
| ۵۳ | ۳-۴- شکل های رایج و کاربرد میلگردها در بتن |
| ۵۵ | ۴-۴- پیوستگی و مهار میلگرد در بتن          |
| ۵۵ | ۵-۴- استانداردهای خم قلاب انتهای میلگردها  |
| ۵۵ | ۱-۵-۴- قلاب های استاندارد                  |
| ۵۶ | ۲-۵-۴- حداقل قطر خم ها                     |
| ۵۷ | ۶-۴- پوشش بتنی روی میلگردها                |
| ۵۸ | ۷-۴- وصله ی میلگردها                       |
| ۵۹ | ۸-۴- نمونه برداری و پذیرش میلگرد           |
| ۶۰ | ۹-۴- حفاظت و انبار کردن میلگردها           |
| ۶۱ | پرسش                                       |

|    |                                                        |
|----|--------------------------------------------------------|
| ۶۲ | فصل پنجم - اعضای ساختمان های بتنی                      |
| ۶۲ | ۱-۵- مقدمه                                             |
| ۶۳ | ۲-۵- فونداسیون و شناژ                                  |
| ۶۳ | ۱-۲-۵- انواع شالوده ها                                 |
| ۶۴ | ۲-۲-۵- میلگردگذاری شالوده ها                           |
| ۶۶ | ۳-۲-۵- شناژ رابط بین فونداسیون ها                      |
| ۶۷ | ۳-۵- ستون                                              |
| ۶۷ | ۱-۳-۵- انواع ستون                                      |
| ۶۸ | ۲-۳-۵- میلگردگذاری ستون ها                             |
| ۷۰ | ۴-۵- تیر                                               |
| ۷۲ | ۵-۵- شناژهای قائم و افقی در ساختمان های با مصالح بنایی |
| ۷۲ | ۱-۵-۵- شناژ قائم                                       |
| ۷۲ | ۲-۵-۵- شناژ افقی                                       |
| ۷۳ | ۶-۵- دال                                               |
| ۷۳ | ۱-۶-۵- دال یک طرفه                                     |

|    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| ۷۵ | ۵-۶-۲- دال دوطرفه                    |
| ۷۵ | ۵-۶-۳- سقف تیرچه بلوک                |
| ۷۶ | ۵-۶-۴- سقف های لانه زنبوری (کاسه ای) |
| ۷۸ | ۵-۷-۷- دیوار                         |
| ۷۸ | ۵-۷-۱- دیوار حایل                    |
| ۷۸ | ۵-۷-۲- دیوار باربر                   |
| ۷۹ | ۵-۷-۳- دیوار زیرزمین                 |
| ۸۰ | ۵-۷-۴- دیوار غیر باربر               |
| ۸۰ | ۵-۷-۵- دیوار برشی                    |
| ۸۰ | ۵-۸- پله                             |
| ۸۳ | پرسش                                 |

|     |                                                            |
|-----|------------------------------------------------------------|
| ۸۴  | فصل ششم - اجرای بتن                                        |
| ۸۵  | ۶-۱- مقدمه                                                 |
| ۸۵  | ۶-۲- پیمانه کردن مصالح                                     |
| ۸۵  | ۶-۳- ساخت بتن                                              |
| ۸۵  | ۶-۳-۱- اختلاط دستی                                         |
| ۸۶  | ۶-۳-۲- اختلاط با دستگاه                                    |
| ۸۸  | ۶-۳-۳- زمان لازم برای اختلاط                               |
| ۸۸  | ۶-۳-۴- نظافت و نگهداری از دستگاه های بتن ساز               |
| ۸۸  | ۶-۴- انتقال بتن                                            |
| ۸۸  | ۶-۴-۱- وسایل انتقال افقی بتن                               |
| ۸۹  | ۶-۴-۲- وسایل انتقال بتن در سطوح شیب دار و انتقال عمودی بتن |
| ۹۲  | ۶-۵- ریختن و تراکم بتن                                     |
| ۹۲  | ۶-۵-۱- نکات عمومی                                          |
| ۹۳  | ۶-۵-۲- تراکم بتن                                           |
| ۹۷  | ۶-۵-۳- نکات خاص بتن ریزی                                   |
| ۱۰۳ | ۶-۵-۴- نمونه گیری از بتن در هنگام اجرا                     |
| ۱۰۴ | ۶-۶- پرداخت سطح بتن                                        |
| ۱۰۴ | ۶-۶-۱- شمشه یا تراز کردن                                   |
| ۱۰۵ | ۶-۶-۲- تخته ماله کشی با تخته ماله ی دستی بلند و کوتاه      |
| ۱۰۵ | ۶-۶-۳- ماله کشی                                            |
| ۱۰۶ | ۶-۶-۴- پرداخت نهایی                                        |
| ۱۰۷ | ۶-۶-۵- توقف در عملیات پرداخت                               |
| ۱۰۷ | ۶-۷- عمل آوری بتن                                          |

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| ۱۰۷..... | ۶-۷-۱- روش های عمل آوردن                                 |
| ۱۰۹..... | ۶-۷-۲- مدت عمل آوری                                      |
| ۱۱۰..... | ۶-۷-۳- نحوه ی عمل آوری دال ها، روکش ها و کف ها           |
| ۱۱۱..... | ۶-۸- بتن ریزی در شرایط خاص آب و هوایی                    |
| ۱۱۱..... | ۶-۸-۱- بتن ریزی در هوای سرد                              |
| ۱۱۳..... | ۶-۸-۲- بتن ریزی در هوای گرم                              |
| ۱۱۵..... | ۶-۹- لکه گیری و ترمیم                                    |
| ۱۱۵..... | ۶-۹-۱- دسته بندی سطوح مورد ترمیم                         |
| ۱۱۵..... | ۶-۹-۲- انواع ترمیم                                       |
| ۱۲۲..... | ۶-۱۰- بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتنی موجود |
| ۱۲۴..... | ۶-۱۱- قالب بندی                                          |
| ۱۲۴..... | ۶-۱۱-۱- تعریف قالب بندی و داربست                         |
| ۱۲۴..... | ۶-۱۱-۲- عملکردهای قالب                                   |
| ۱۲۴..... | ۶-۱۱-۳- بارهای وارده به قالب                             |
| ۱۲۵..... | ۶-۱۱-۴- توصیه های آیین نامه ی بتن ایران                  |
| ۱۲۷..... | پرسش                                                     |

|          |                                                                  |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۸..... | ضمیمه - آشنایی با فناوری های نو در ساختمان های بتنی              |
| ۱۲۸..... | ۱- بتن های خاص                                                   |
| ۱۲۸..... | ۱-۱- بتن پلیمری                                                  |
| ۱۲۸..... | ۱-۲- بتن گوگردی                                                  |
| ۱۲۹..... | ۱-۳- بتن الیافی                                                  |
| ۱۲۹..... | ۱-۴- بتن غلتکی                                                   |
| ۱۲۹..... | ۱-۵- بتن با مقاومت بسیار بالا                                    |
| ۱۳۰..... | ۱-۶- بتن سبک                                                     |
| ۱۳۰..... | ۱-۷- بتن سنگین                                                   |
| ۱۳۰..... | ۲- بتن پاشیده                                                    |
| ۱۳۰..... | ۳- اجزای پیش ساخته ی بتنی                                        |
| ۱۳۲..... | ۴- بتن ساندویچی                                                  |
| ۱۳۳..... | ۵- بتن خود تراکم                                                 |
| ۱۳۴..... | ۶- استفاده از میلگردهای کامپوزیتی به جای میلگردهای فولادی در بتن |
| ۱۳۶..... | ۷- استفاده از فناوری نانو در ساختمان های بتنی                    |
| ۱۳۶..... | ۷-۱- تعریف و کاربردهای فناوری نانو                               |
| ۱۳۶..... | ۷-۲- کاربردهای فناوری نانو در بتن به عنوان مواد افزودنی          |

|          |       |
|----------|-------|
| ۱۳۸..... | منابع |
|----------|-------|

## پیش‌گفتار

امروزه تبادل اطلاعات و نقش آن در آموزش بر همه‌ی پژوهندگان دانش، علم و هنر به‌ویژه هنرآموزان و هنرجویان آشکار بوده و در بهبود کیفیت و محتوای آموزشی دوره‌ی متوسطه، نقش به‌سزایی خواهد داشت. بر آن شدیم تا ضمن آموزش اخلاق حرفه‌ای، آگاهی‌های لازمی را که در تکمیل مباحث درسی مؤثر خواهند بود، تهیه نموده و با نقد و بررسی آن‌ها هنرآموزان و هنرجویان را از فرآیندهای علمی جدید بهره‌مند نماییم. از این‌رو در حاشیه‌ی کتاب، تصاویر و اطلاعاتی ارائه شده که خسارت‌های ناشی از رعایت نکردن ضوابط فنی را گوشزد می‌کند. همچنین در پاره‌ای از موارد با ارائه‌ی آدرس‌های اینترنتی، زمینه‌ی بهره‌گیری از فناوری‌های علمی رشته‌ی مهندسی عمران به‌ویژه در مورد مباحث مطرح در این کتاب فراهم گردیده است. مواردی را نیز اختصاص به برخی مراحل اجرایی پروژه‌های واقعی و دستگاه‌ها و تجهیزات مربوط به بتن داده‌ایم. لذا بر هنرآموزان لازم است که توضیحات تکمیلی را در حین آموزش برای فراگیری بهتر مطالب درسی با بیان خسارت‌های حاصل از رعایت نکردن اخلاق حرفه‌ای به هنرجویان گوشزد نموده و آن‌ها را ترغیب کنند که از کارگاه‌های ساختمانی عکس‌هایی را تهیه کرده و در کلاس درس مورد نقد و بررسی قرار دهند. (لازم به ذکر است مطالب پژوهشی حاشیه و ضمائم کتاب و مطالب آیا می‌دانید که... جزو موارد امتحانی و ارزشیابی‌ها محسوب نمی‌شود.)

در پایان از هنرآموزان عزیز درخواست می‌گردد که برای بهبود کیفیت و تکمیل مطالب حاشیه‌ی کتاب، موارد موردنظر خود را به دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش ارسال نمایند.

مؤلفین

## مقدمه

بتن یکی از پر مصرف ترین فرآورده های ساختمانی در جهان به شمار می آید. ویژگی های بسیار خوب بتن عبارت است از: اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزای تشکیل دهنده ی آن در اکثر مناطق، دارا بودن فرم پذیری و پایداری نسبتاً بالا. این ویژگی های بتن باعث توجه روزافزون به کاربرد آن شده است. بدین سبب لازم است که متخصصین خواص اجزای تشکیل دهنده و مراحل اساسی در ساخت، نگهداری و گاه تعمیر و مرمت آن را به خوبی بشناسند.

در ساختمان سازی بتنی (اعم از بتن ریزی پیاده رو تا اجرای سد) لازم است نسبت اجزای بتن طراحی شود. برخلاف فولاد، در مورد بتن نمی توان به مشخصات عرضه شده ی تولیدکننده ها اکتفا کرد. به علت عدم آشنایی و عدم شناخت کامل بعضی از اجراکنندگان کارهای عمرانی با ویژگی ها و کارایی بتن و آشنا نبودن با شیوه های صحیح اختلاط اجزای آن – برای دستیابی به مخلوط مناسب و مقاوم در شرایط اقلیمی مختلف – در سال های اخیر گسیختگی و خرابی های بسیاری در تعدادی از سازه های بتنی مشاهده شده است. به نظر می رسد در پاره ای از موارد به تأثیر آب و هوا، دما، وضعیت محیطی و تطبیق ویژگی های بتن با استانداردهای ملی و بین المللی و آیین نامه ها در ساخت بتن چندان اهمیتی داده نمی شود.

امید است مطالب این کتاب، راه گشا و راهنمای مناسبی باشد تا شناخت جامعی از بتن حاصل شود و روش های اصولی و استاندارد انتخاب اجزای تشکیل دهنده ی بتن، طرح مخلوط، ساخت و اجرای آن و آزمایش های مربوطه به طریق صحیح آموزش داده شود.

تصاویر روی جلد مربوط به سد کارون ۳ و حرم حضرت معصومه سلام الله علیها در شهر قم (از بتن سفید) می باشد.

## هدف کلی کتاب

فراگیری نسبی اطلاعاتی درباره ی بتن و بتن مسلح و کاربرد آن ها در ساختمان های بتنی در سه محدوده ی کلی «آشنایی»، «شناخت» و «اجرا».

### بتن و اجزای تشکیل دهنده آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

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

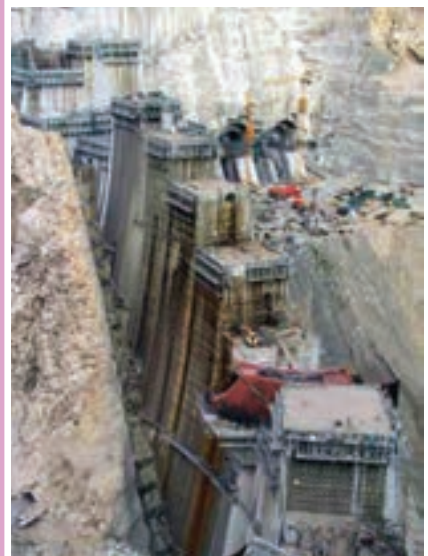


یک سازه‌ی پوسته‌ای بتنی که در زلزله‌ی بم کاملاً سالم مانده است.

#### ۱-۱- تعریف بتن

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

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



سد کارون ۳، در حال اجرای بدنه‌ی سد

#### ۱-۲- تاریخچه‌ی بتن

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

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



برج‌های خنک‌کننده‌ی نیروگاه برق  
اصفهان در حین ساخت

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

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

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

امروزه استفاده‌ی روزافزون از بتن مسلح سبب شده است که در اغلب کشورها مؤسسه‌ای برای تحقیق در مورد بتن مسلح و فرمول‌بندی روش‌ها و طراحی و تدوین آیین‌نامه‌ها ایجاد شود. نتیجه‌ی موفقیت‌آمیز بیش از نیم قرن آزمایش، مطالعه و بررسی این مؤسسات را می‌توان در تکامل روش‌های طراحی و در تعدادی از سازه‌های ساخته شده از بتن مسلح در تمام نقاط جهان مشاهده کرد. برای مثال، چند نمونه از سازه‌های بتنی با کاربری‌های متفاوت در شکل‌های ۱-۱ تا ۵-۱ نشان داده شده است.



انجمن بتن ایران

<http://www.ICI.ir>

۱- John Smeaton

۴- Joseph Aspdin

۲- Eddystone

۵- Issac Johnson

۳- James Parker

۶- Lambot



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



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



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



شکل ۱-۳- نیروگاه شهید منتظری اصفهان



شکل ۱-۴- نیروگاه هسته‌ای بوشهر در حال ساخت



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



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

<http://www.bhrc.ir>

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

## تاریخچه سدسازی در ایران

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

تاریخ پیدایش فن سدسازی در ایران و مصر و میان‌رودان ایران بسیار قدیمی است و نشانه‌هایی از سدهای باستانی که در این سرزمین‌ها ساخته شده هنوز هم برجای است. برخی از فرمانروایان سلسله‌های قدیم این مرزها از لحاظ تاریخی به کارهای آبادانی شهرت یافته و اجرای ساختمان‌های زیادی به آن‌ها نسبت داده شده است. از جمله‌ی این حکمرانان 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 به کار برده و سدها را با ابعاد زیاد می‌ساختند. البته در آن زمان که نیروی انسانی و مصالح هر دو فراوان و ارزان بود این روش سدسازی از دیدگاه فنی و مهندسی کاملاً آگاهانه به‌شمار می‌رفت.

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

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



ساختمان بتنی با پلان Y شکل، برج تهران

### ۱-۳ محاسن و معایب بتن

#### الف) محاسن بتن

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

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

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

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

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

#### ب) معایب بتن

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

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

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

### ۱-۴ خواص بتن

در لحظات اولیه اختلاط، بتن حالت خمیری دارد و پس از انجام عملیاتی از قبیل ریختن آن در قالب، متراکم کردن و نگهداری از آن، با گذشت زمان، خود را می گیرد و سخت می شود و در نتیجه به شکل قالب خود درمی آید. بنابراین بتن دو دوره عمر، شامل حالت تازه و حالت سخت شده، دارد که باید در هر دو دوره انتظاراتی را که طراح سازه از آن دارد، برآورده سازد. خلاصه ای از این انتظارات به شرح زیر است:



بدنه ی سد بتنی

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

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

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

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

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

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

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

۱- مقاومت در مقابل نیروهای وارده.

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

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

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

۵- مقاومت در مقابل اثر تخریبی آب و فرسایش.

۶- نفوذپذیری بسیار کم.

## ۵-۱- سیمان

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

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



پایه‌ی بتنی یک پل کابلی



کانال بتنی آب



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

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

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

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

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

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

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

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

۵- وزن مخصوص سیمان.

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

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

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

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

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

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

امکان اشتباه آن‌ها با هم وجود نداشته باشد.

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

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

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

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



شکل ۱-۶- نحوه صحیح نگه‌داری پاکت‌های سیمان

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

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

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



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



پل کابلی با پایه‌های بتنی

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

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

- ۱- سیمان‌های فله، باید در سیلوهای استاندارد نگهداری شوند.
- ۲- سیلوهای سیمان و شالوده‌های آن‌ها باید از نظر سازه‌ای محاسبه و طراحی شده باشند.
- ۳- سیلوهای سیمان باید مجهز به تراز نما، برای تعیین موقعیت تراز سیمان در داخل سیلو، و نیز دریچه‌ای در پایین برای میل‌زدن، در صورت طاق‌زدن سیمان باشند.
- ۴- برای هر محموله‌ی وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.
- ۵- از آن‌جا که انتقال سیمان از مخزن کامیون به داخل سیلو به کمک هوای فشرده صورت می‌گیرد و در نتیجه سیمان به تدریج متورم می‌شود، نباید بیش از ۸۰ درصد ظرفیت اسمی سیلوها را پرکرد.

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

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

## ۱-۶- مصالح سنگی

با توجه به این که تقریباً  $\frac{3}{4}$  از حجم بتن را مصالح سنگی تشکیل می‌دهد، انتخاب نوع و نسبت صحیح مصالح سنگی ریزدانه و درشت‌دانه (ماسه و شن) اهمیت بسیاری دارد. نخستین گام برای ساخت بتن با کیفیت مطلوب، استفاده از مصالح سنگی مناسب است. مصالح سنگی شکسته از بستر رودخانه‌ها یا معادن شن و ماسه به‌دست می‌آید و مصالح سنگی شکسته از خرد کردن سنگ‌های مناسب بزرگ به‌وسیله‌ی دستگاه‌های سنگ‌شکن تولید می‌شود. معمولاً مصالح سنگی قبل از مصرف در بتن باید دانه‌بندی و شسته شده باشند. چنان‌چه شست و شوی مصالح سنگی به‌طور مناسب صورت نگیرد، در اثر وجود ناخالصی‌هایی نظیر خاک و گِل، پیوند بین دانه‌ها به‌خوبی انجام نمی‌پذیرد و این امر باعث کاهش مقاومت بتن می‌شود.

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

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



پایه‌های بتنی یک پل

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

۱- دوام در برابر سایش؛

۲- مقاومت در برابر یخ‌بندان؛

۳- پایداری شیمیایی؛

۴- شکل و بافت سطحی؛

۵- دانه‌بندی؛

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

۷- جذب آب و رطوبت سطحی.

ب) شکل و بافت سطحی سنگ‌دانه‌ها: شکل و بافت سطحی مصالح سنگی درشت‌دانه

بر کیفیت بتن مؤثر است. از لحاظ شکل، مصالح را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

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

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

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

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

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

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

ج) اندازه‌ی مصالح سنگی: بتن عموماً از سنگ‌دانه‌هایی در اندازه‌های مختلف، که حداکثر قطر آن‌ها بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر و به‌طور متوسط ۲۰ میلی‌متر است، ساخته می‌شود. توزیع اندازه‌ی ذرات به‌نام دانه‌بندی موسوم است. سنگ‌دانه‌ها را عموماً در دو دسته‌ی درشت‌دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) گروه‌بندی کرده‌اند. به‌طور کلی مواد با قطر بیش‌تر از ۵ میلی‌متر را «شن» و کوچک‌تر از آن را «ماسه» می‌نامند. حد پایین ماسه عموماً ۰/۷ میلی‌متر یا کمی کم‌تر می‌باشد. مواد با قطر بین ۰/۷ میلی‌متر و ۰/۲ میلی‌متر به‌نام لای یا سیلت و مواد ریزتر جزء رس‌ها طبقه‌بندی شده‌اند.

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

۱- یک پنجم کوچک‌ترین بعد داخلی قالب؛



برج مخابراتی میلاد در حال ساخت

- ۲- یک سوم ضخامت دال ؛
  - ۳- سه چهارم حداقل فاصله‌ی آزاد بین میل گردهای فولادی ؛
  - ۴- سه چهارم پوشش بتنی روی میل گردها.
- به کار بردن سنگ دانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلی‌متر قطر در بتن مسلح توصیه نمی‌شود، اما به‌طور کلی سنگ دانه‌های درشت‌تر از ۶۳ میلی‌متر نباید در بتن به کار رود.
- د) ضوابط حمل و نقل، تحویل و نگهداری سنگ دانه‌های مصرفی در بتن:**
- ۱- شرایط باید به گونه‌ای باشد که مواد خارجی و زیان آور در سنگ دانه‌ها نفوذ نکنند.
  - ۲- شرایط باید به گونه‌ای باشد که دانه‌های ریز و درشت در یک دپو از یکدیگر جدا نشوند.
  - ۳- شرایط باید به گونه‌ای باشد که سنگ دانه‌ها شکسته نشوند.
  - ۴- محل نگهداری سنگ دانه‌ها باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده کننده باشد.
  - ۵- شن‌های با حداکثر اندازه‌ی بیش از ۳۸ میلی‌متر، باید در دو گروه کم‌تر و بیش‌تر از ۲۵ میلی‌متر نگهداری شوند. شن‌های با حداکثر اندازه‌ی ۳۸ میلی‌متر یا کم‌تر باید در دو گروه کم‌تر و بیش‌تر از ۱۹ میلی‌متر نگهداری شوند. این کار امکان جدا شدن دانه‌ها از یکدیگر را کاهش می‌دهد.
  - ۶- دیواره‌های تقسیم دپوی مصالح سنگی باید به گونه‌ای مقاوم و پایدار باشد که در صورت خالی‌بودن یک قسمت و پر بودن قسمت مجاور، دیواره بر اثر رانش سنگ دانه‌ها تخریب یا جابه‌جا نشود.
  - ۷- در هنگام بارش و یخبندان، باید سنگ دانه‌های واقع در فضای آزاد با برزنت یا ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شود.
  - ۸- در هنگام گرمای شدید، باید بر روی سنگ دانه‌های واقع در فضای آزاد، سایبان درست شود.
  - ۹- شیب مخروط‌های دپوی شن و ماسه نباید زیاد باشد زیرا شیب زیاد دپوها موجب جدا شدن دانه‌های ریز و درشت از هم می‌شود.
  - ۱۰- سنگ دانه‌ها تا حد امکان باید به صورت لایه‌هایی با ضخامت یکسان بر روی یکدیگر ریخته شده و انبار شوند. سنگ دانه‌ها باید با لودر یا وسایل مناسب دیگر به گونه‌ای برداشته شوند که هر بار قسمت‌هایی از همه‌ی لایه‌های افقی برداشته شوند.
  - ۱۱- در صورت تخلیه‌ی سنگ دانه‌ها هنگام باد، باید تدابیری اتخاذ گردد که از جدا شدن ذرات ریز جلوگیری شود.
  - ۱۲- محل دپوی شن و ماسه باید به گونه‌ای باشد که همواره امکان تخلیه‌ی آب مازاد وجود داشته باشد.
  - ۱۳- سنگ دانه‌های انبار شده در دپو باید حداقل ۱۲ ساعت در محل باقی مانده و سپس مصرف شود. این امر موجب می‌شود که رطوبت سنگ دانه‌ها به حد یکنواخت و پایدار برسد.



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



صحیح

استفاده از مانع برای جلوگیری از حرکت سنگ‌دانه‌های درشت



صحیح

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



غلط

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



غلط

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



غلط

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



باد جداشدگی

غلط

سقوط آزاد مصالح باعث جداشدگی سنگ‌دانه‌ها می‌گردد.



غلط

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



غلط

دپوی شیب‌دار با استفاده از لودر یا بلدوزر

شکل ۱-۷- انواع روش‌های انبار کردن سنگ‌دانه

۱۴- سیلوی ذخیره‌ی سنگ‌دانه‌ها حتی المقدور باید با مقطع مربع یا دایره و شیب مخروط یا هرم تحتانی آن کمتر از  $5^\circ$  درجه باشد. مصالح سنگی باید به صورت قائم در داخل سیلو ریخته شود تا از برخورد مواد سنگی با کناره‌های سیلو جلوگیری شده و دانه‌ها از هم جدا نشوند. در صورتی که سیلوی ذخیره‌ی سنگ‌دانه‌ها پر باشد امکان شکسته شدن سنگ‌دانه‌ها و به هم خوردن دانه‌بندی آن کاهش می‌یابد. برای خالی کردن سنگ‌دانه‌ها به داخل سیلو، باید از نردبان ویژه‌ی مصالح سنگی استفاده شود.

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

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

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

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



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

اسناد تحویل سنگ دانه‌ها با مشخصات سفارش داده شده و نیز سنگ دانه‌های وارده مقایسه و انطباق آن کنترل شود.

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



شکل ۸-۱ - استفاده از دیوار جداکننده در نگهداری سنگ دانه‌ها

## ۷-۱- آب

یکی از اجزای اصلی بتن آب است که بدون آن هیچ واکنش شیمیایی در بتن انجام نمی‌گیرد. از نظر تئوری، مقدار آب مورد نیاز برای بتن در حدود ۲۵ درصد وزن سیمان است، اما در عمل، برای به دست آوردن کارایی لازم، مقدار آب مصرفی تا حدود ۳۰ الی ۵۵ درصد افزایش می‌یابد (آب اضافی باعث روان تر 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، به ویژه املاحی مانند کلرور و سولفات، برای بتن نامناسب و زیان‌آورند، زیرا در اثر ترکیب اجزای تشکیل دهنده سیمان با این املاح، بتن صدمه می‌بیند، بنابراین باید در ساخت بتن از مصرف آب‌های راکد، آب‌های باتلاقی، آب‌های دارای املاح زیاد، آب دریا و آب‌های کثیف و مصرف شده (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی) خودداری شود. مقدار pH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کم‌تر و از ۸/۵ بیش‌تر باشد.

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

## ۸-۱- مواد افزودنی

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

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

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

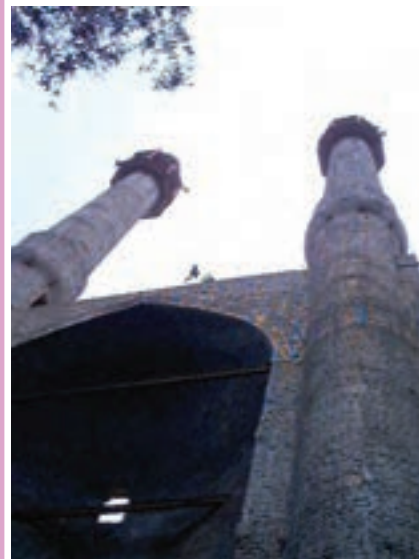
۲- **کندگیر کننده ها:** از این مواد برای بتن ریزی در هوای گرم و خشک، در وزش باد شدید، در بتن ریزی در حجم زیاد، در هنگام پمپاژ ملات یا بتن در مسیرهای طویل و با حرارت بالای  $30^{\circ}\text{C}$  استفاده می شود.

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

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

## پرسش

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



مسجدی با اسکلت بتنی



اجرای ساختمان پیش ساخته بتنی

### آزمایش‌های بتن و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن

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

<http://www.ASTM.Org>

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

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

### ۱-۲- ضرورت انجام آزمایش‌ها

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

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

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

[www.ISIRI.Org](http://www.ISIRI.Org)

## ۲-۲- آزمایش‌های سیمان

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

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

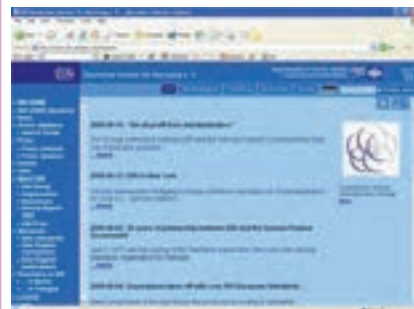
در این آزمایش اندازه‌گیری جرم حجمی مطلق سیمان موردنظر است. جرم حجمی سیمان پرتلند عموماً در حدود  $3/15 \text{ gr/cm}^3$  می‌باشد. سیمان‌های پرتلند پوزولانی و سیمان‌های روباره آهن‌گذاری ممکن است دارای جرم حجمی در حدود  $2/9 \text{ gr/cm}^3$  باشند. جرم حجمی سیمان نشان‌دهنده‌ی کیفیت سیمان نیست، اما می‌تواند به‌عنوان معیاری از سیمان مصرفی در کارهای عمرانی مورد استفاده قرار گیرد.

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

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

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

سطح مخصوص انواع سیمان‌ها حدوداً بین  $250$  و  $350 \text{ m}^2/\text{kg}$  قرار دارد. برای اندازه‌گیری نرمی سیمان، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها که در استاندارد نیز بر روی آن تأکید شده است، استفاده از دستگاه نفوذپذیری هوای بلین (Blaine) است. اساس کار این دستگاه بر مبنای عبور مقدار معینی هوا از سطح پرداخت شده‌ی سیمان، که میزان تخلخل معینی دارد، استوار است. تعداد و اندازه‌ی سوراخ‌ها در یک سطح پرداخت شده تابعی از اندازه‌ی ذرات و شدت عبور جریان هوا از آن سطح می‌باشد.

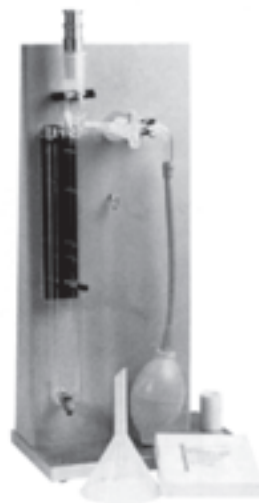


مؤسسه DIN آلمان

<http://www.DIN.de>



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



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

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



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



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

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

در طی فرایند هیدراتاسیون ابتدا خمیر سیمان به تدریج شکل‌پذیری خود را از دست می‌دهد تا به گیرش اولیه‌ی خود برسد. در این حالت تقریباً شکل دادن و پرداخت سطح بتن ناممکن می‌گردد با ادامه‌ی فرآیند هیدراتاسیون، سیمان کاملاً سخت می‌شود. لحظه‌ای که سخت شدن خمیر سیمان کامل گردیده و صلب شدن آن آغاز می‌گردد، لحظه‌ی گیرش نهایی خواهد بود. برای اندازه‌گیری زمان گیرش سیمان از دستگاه ویکات (Vicat) استفاده می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- دستگاه ویکات

سیمان به‌طور کلی سه نوع گیرش دارد :

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

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

۱- False Setting

۲- Initial Setting

۳- گیرش ثانویه یا نهایی<sup>۱</sup>: طبق استاندارد ASTM، گیرش ثانویه هنگامی خواهد بود که سوزن ویکات به وضوح در داخل خمیر فرو نرود. طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه نباید کم‌تر از ۴۵ دقیقه و گیرش ثانویه نباید بیش از ۳۷۵ دقیقه باشد.

برای تعیین زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه و سلامت سیمان لازم است از خمیر سیمان با روانی متعارف استفاده شود. بنابراین ضرورت دارد که برای هر سیمان معین میزان آب خمیر، که روانی متعارف را به دست می‌دهد مشخص گردد. نسبت این آب به سیمان را که به صورت درصد بیان می‌شود، غلظت نرمال می‌نامند. بر مبنای استاندارد ASTM، غلظت خمیر هنگامی نرمال خواهد بود که میزان نفوذ سوزن ویکات در داخل خمیر در مدت ۳۰ ثانیه و در شرایط استاندارد برابر با  $1 \pm 10$  میلی‌متر باشد.

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

در آزمایش مقاومت فشاری ملات نسبت سنگ‌دانه به سیمان برابر با ۲/۷۵ و نسبت آب به سیمان ثابت و برابر با ۰/۴۸۵ می‌باشد. در ضمن، ماسه‌ی مورد استفاده در ساخت ملات مربوطه، ماسه‌ی استاندارد است که به ماسه‌ی «آتاوا» معروف است. ویژگی‌های این ماسه‌ی استاندارد و مقادیر مجاز مقاومت فشاری ملات سیمان در سنین مختلف، در استاندارد ASTM-C150 داده شده است. در این روش نمونه‌های ۵۱ میلی‌متری از ملات ساخته شده و تا زمان آزمایش در محلول آهک اشباع در حرارت  $22^{\circ}\text{C}$  نگهداری می‌شوند.

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

## ۲-۳- آزمایش‌های سنگ‌دانه‌ها

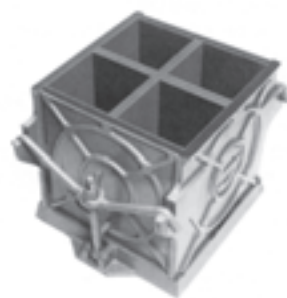
الف) آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای: این آزمایش برای تعیین مقدار لای در ماسه‌ی طبیعی به کار می‌رود و به راحتی در کارگاه قابل انجام است. روش آزمایش بدین ترتیب است که محلولی از نمک طبیعی و آب به غلظت ۱٪ تهیه می‌کنند. سپس حدود  $50^{\circ}\text{C}$  از آن را در یک استوانه‌ی مدرج  $250^{\circ}\text{C}$  می‌ریزند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

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

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



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



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



استوانه‌ای مدرج برای اندازه‌گیری ارزش ماسه‌ای



وسیله‌ای برای تعیین میزان ناخالصی در مصالح ریزدانه



ظروف مختلف برای تعیین وزن مخصوص مصالح سنگی



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

طبق آیین‌نامه‌ی بتن ایران، ارزش ماسه‌ای باید حداقل ۷۵ باشد. برای کارهای با حساسیت بیش‌تر به مقادیر ارزش ماسه‌ای بالاتری نیاز هست و ممکن است نیاز به آزمایش‌های دقیق‌تری نیز باشد. (ب) آزمایش تعیین چگالی سنگ‌دانه‌ها: سنگ‌دانه‌ها عموماً حاوی منافذی قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ هستند و به همین علت دارای چند نوع چگالی یا جرم حجمی به شرح زیر می‌باشند:

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

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

چگالی ظاهری سنگ‌دانه‌ها به نوع کانی‌هایی که دانه‌های سنگی از ترکیب آن‌ها به وجود آمده‌اند، و هم‌چنین به مقدار منافذ داخل آن‌ها بستگی دارد. چگالی ظاهری اکثر سنگ‌دانه‌های طبیعی بین  $2/4$  تا  $2/7$  است.

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

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

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

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

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

اصولاً سنگ دانه‌ها از نظر میزان آب چهار حالت دارند:

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

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

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

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

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

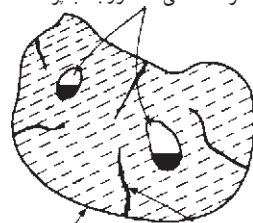
برای اندازه‌گیری میزان جذب آب شن، آن را ۲۴ ساعت در آب به حد اشباع می‌رسانند و سپس با حوله یا پارچه‌ای جاذب آب آن قدر خشک می‌نمایند تا سطح آن درخشان شود. تفاضل وزن سنگ دانه در این حالت و حالت خشک شده در کوره، تقسیم بر وزن سنگ دانه‌ی خشک شده در کوره، میزان جذب آب سنگ دانه خواهد بود.

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



دستگاه خشک‌کننده‌ی الکتریکی

حفرات داخلی که هنوز با آب پر نشده‌اند



آب جذب شده در خلل و فرج سطحی مرتبط به هم  
آب آزاد روی سطح

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



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



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

د) آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی: یکی از روش‌های طبقه‌بندی سنگ دانه‌ها، 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-E11 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  $\frac{1}{4}$  اینچ مشخص می‌نماید. به عنوان مثال الک ۳ اینچ دارای چشمه‌هایی به ابعاد  $75 \times 75$  میلی‌متر است و الک نمره ۱۰۰ دارای  $100 \times 100$  سوراخ در هر اینچ مربع می‌باشد.

در جدول ۱-۲ اندازه و مشخصات الک‌هایی که در استاندارد ASTM برای دانه‌بندی مصالح سنگی درشت دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) به کار می‌روند آورده شده است.

جدول ۱-۲- 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 میلی‌متر |
| 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    |
| $\frac{3}{4}$ اینچ | ۱۹ میلی‌متر   | نمره ۱۰۰ | ۱۵۰ میکرون    |
| $\frac{1}{2}$ اینچ | ۱۲/۵ میلی‌متر | نمره ۲۰۰ | ۷۵ میکرون     |
| $\frac{3}{8}$ اینچ | ۹/۵ میلی‌متر  |          |               |

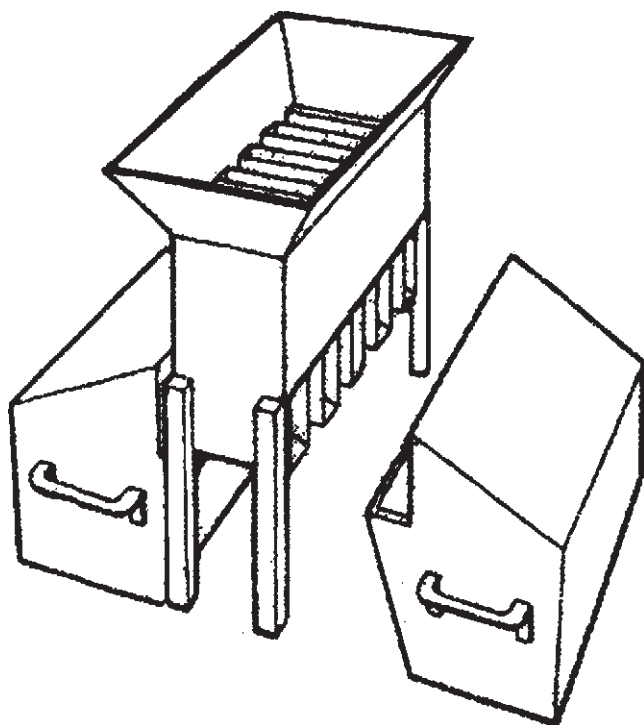
در آزمایش دانه‌بندی، مصالح خشک شده با لرزاندن از الک‌های مختلف (به ترتیب از بالا به پایین) عبور داده می‌شود و اندازه‌ی دانه‌های مانده روی هر الک و مقدار آن تعیین می‌گردد. اندازه‌ی دانه‌های روی هر الک از اندازه‌ی خود الک بزرگ‌تر ولی از اندازه‌ی الک بالای آن کوچک‌تر است. الک کردن صحیح اهمیت بسیار زیادی 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 سنگ دانه‌ها 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 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 آن را طبق دستورالعمل ASTM – C702 برمی‌دارند. وزن نمونه‌ای که برای آزمایش به کار می‌رود، باید بعد از خشک شدن تقریباً برابر وزن خواسته شده باشد.

تقسیم‌بندی نمونه برای درشت دانه و ریزدانه با استفاده از قوطی مقسم (شکل ۲-۲) و یا تریب انجام می‌گیرد.



شکل ۲-۲- قوطی مقسم

در روش تریب 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 ۲-۳). دو قسمت از دو ربع زوج یا فرد را انتخاب می‌کنند و به عنوان نمونه‌ی آزمایشی به کار 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 ۲-۴). 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 به کار رود.



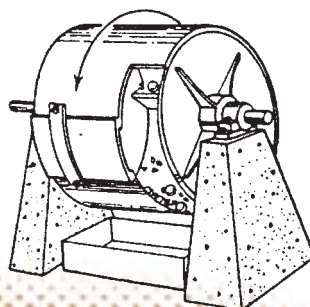
دو نوع قوطی مقسم برای تقسیم‌بندی نمونه‌های سنگ‌دانه



شکل ۲-۴- استفاده از قوطی مقسم برای تقسیم نمونه به طور مکانیکی  
شکل ۲-۳- روش تربیع برای نمونه برداری مطلوب

هـ) آزمایش تعیین مقاومت سایشی مصالح درشت دانه: مقاومت سایشی بتن از جمله مشخصاتی است که در مواردی از قبیل سازه های هیدرولیکی، روسازی ها و پیاده روهای بتنی از اهمیت فراوانی برخوردار است. یکی از عوامل مؤثر در این ویژگی بتن، مقاومت سایشی سنگ دانه های درشت است.

مقاومت سایشی سنگ دانه ها با استفاده از دستگاه «لوس آنجلس» سنجیده می شود. این آزمایش به منظور سنجش مقاومت سنگ دانه های معدنی با دانه بندی استاندارد در برابر ضربه و سایش انجام می گیرد. ماشین لوس آنجلس یک استوانه ی فولادی دوار است که در آن تعداد معینی گلوله ی فولادی ریخته شده است. این تعداد به دانه بندی نمونه ی مورد آزمایش بستگی دارد. هنگامی که استوانه می چرخد، یک پره ی آن، نمونه و گلوله را با خود به بالا می برد و از آن جا آن ها را به طرف مقابل استوانه می ریزد و بدین ترتیب در اثر وارد آمدن ضربه، سنگ دانه ها دچار لهیدگی می شوند. محتوای استوانه، یعنی سنگ دانه ها، ضمن ساییده شدن در داخل آن حرکت کرده و بار دیگر به پره برخورد می کنند و این سیکل تکرار می گردد. درصد مصالح از دست رفته بیانگر میزان سایش سنگ دانه ها است. این آزمایش به طور وسیعی برای تشخیص کیفیت نسبی و قابلیت مصالح سنگی که دارای ترکیبات معدنی مشابهی بوده و از منابع مختلفی تهیه شده اند به کار برده می شود. در ضمن باید دانست که این آزمایش تنها برای سنگ دانه های کوچک تر از ۳۷/۵ میلی متر مناسب است.



شکل ۲-۵- دستگاه لوس آنجلس

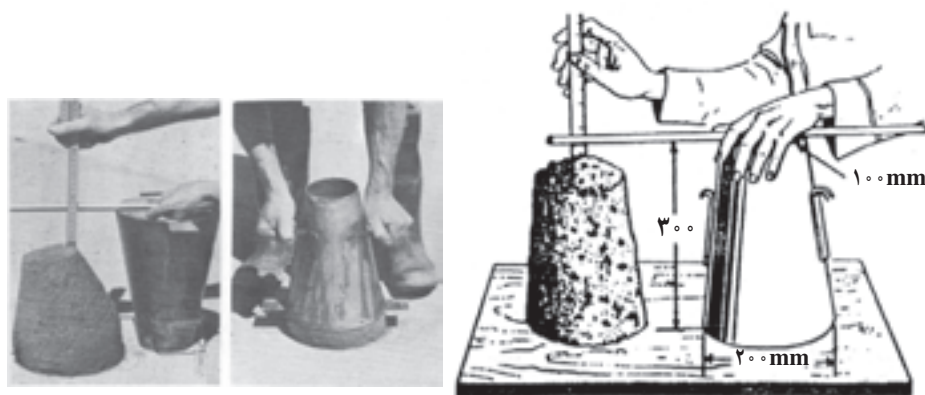
## ۲-۴- آزمایش های بتن

الف) کار آبی بتن تازه: کار آبی، و یا به تعبیر ساده تر روانی بتن عبارت از میزان سهولت شکل دادن یا جریان یافتن بتن است. کار آبی بتن تازه به عوامل مختلفی از جمله میزان آب، نوع سنگ دانه ها و دانه بندی آن ها، نسبت مقدار سنگ دانه به سیمان، وجود افزودنی ها و ریزی سیمان بستگی دارد. یکی از روش های اندازه گیری کار آبی یا روانی بتن که با مختصر تفاوت هایی در اکثر کشورهای جهان به کار می رود، آزمایش اسلامپ است. استاندارد ASTM این آزمایش را به صورت زیر توصیف می کند:

در آزمایش اسلامپ از مخروط ناقص فلزی به ارتفاع ۱۲ اینچ (۳۰۵ میلی متر) که قطر قاعده ی بزرگ تر آن در پایین ۸ اینچ (۲۰۳ میلی متر) و قطر قاعده ی کوچک تر آن در بالا ۴ اینچ (۱۰۲ میلی متر) است، استفاده می شود. این مخروط در سه لایه از بتن پر می شود و هر لایه توسط میله ای فلزی به قطر ۱۶ میلی متر با انتهای گرد شده با ۲۵ ضربه متراکم می گردد. بتن اضافی در بالا با غلتش میله ی فوق الذکر روی مخروط پاک می شود. مخروط بر روی صفحه ای فلزی قرار می گیرد و باید در سراسر آزمایش بدون حرکت بماند که این امر با قرار دادن دو پا بر روی پایه های پایین آن تأمین می شود. بلافاصله بعد از پر کردن، مخروط به آرامی و به صورت قائم بالا کشیده می شود و بتن داخل آن افت می کند. افت بتن (ارتفاع کم شده) با خط کش از وسط قاعده ی بالا اندازه گیری و با دقت ۵ میلی متر یادداشت می شود. برای دقت بیشتر و کاهش اثر اصطکاک بتن و جداری مخروط، قبل از هر آزمایش، جداری داخلی مخروط و صفحه ی زیر آن مرطوب می شود و قبل از بالا کشیدن مخروط، بتن ریخته شده در روی صفحه، از کناره های مخروط پاک می شود. در صورتی که در آزمایش به جای اسلامپ صحیح که در شکل ۲-۶ 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، نشان دهنده ی کم بودن چسبندگی مخلوط می باشد و این مورد در مخلوط های خشن به وقوع می پیوندد. مخلوط های سفت و با روانی بسیار کم، معمولاً اسلامپی برابر صفر دارند و لذا در مخلوط های نسبتاً خشک تغییرات کار آبی را نمی توان با آزمایش اسلامپ بررسی نمود. اما در مخلوط های پر عیار تغییرات کار آبی با آزمایش اسلامپ قابل اندازه گیری است. در مخلوط های کم عیار و نسبتاً زبر، اسلامپ صحیح به



دستگاه اسلامپ و ملحقات آن

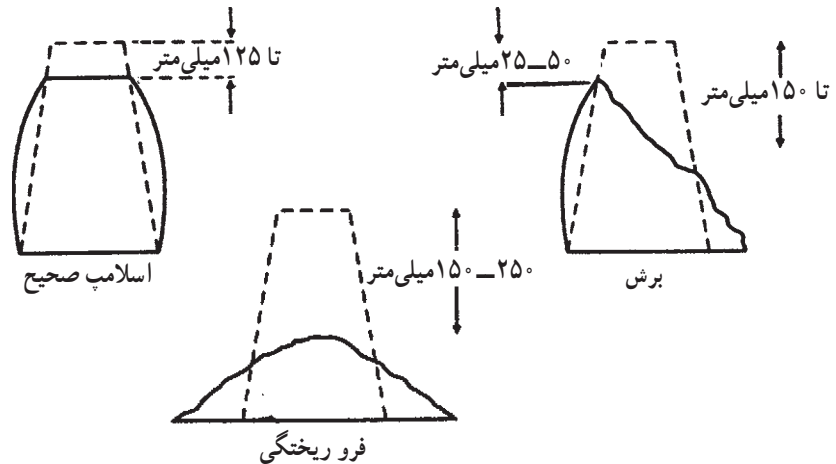
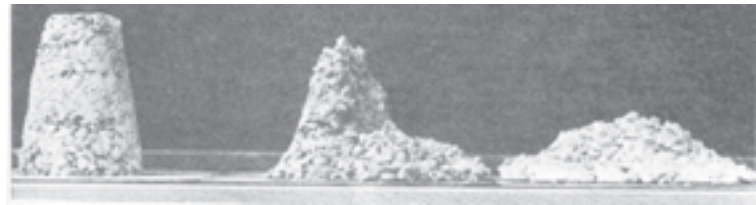


شکل ۲-۶- آزمایش اسلامپ



اجرای آزمایش اسلامپ برای تعیین میزان کار آبی بتن

آسانی به اسلامپ برشی و حتی فرو ریختگی تبدیل می شود و از یک مخلوط نتایج متفاوتی به دست می آید که آزمایش اسلامپ را برای چنین مخلوط هایی غیر قابل اعتماد می سازد (شکل ۲-۷).



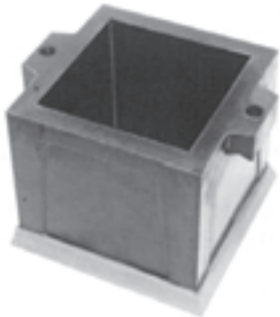
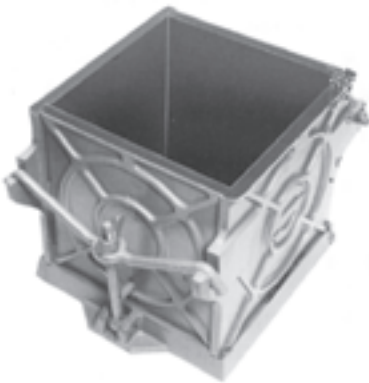
شکل ۲-۷- اسلامپ در سه حالت صحیح، برش و فرو ریختگی

ب) مقاومت فشاری نمونه های بتنی: آزمایش مقاومت فشاری در روش ASTM روی نمونه های استوانه ای  $150 \times 300$  میلی متری (۱۲×۶ اینچ) و در روش BS روی نمونه های مکعبی  $150$  میلی متری (۶ اینچی) انجام می شود، اگر چه با توجه به بزرگ ترین اندازه ی سنگ دانه ها، استانداردها استفاده از نمونه های کوچک تر را نیز مجاز می دانند. طبق استاندارد ASTM نمونه های استوانه ای در قالب هایی با قابلیت استفاده ی مجدد و یا قالب های یک بار مصرف ریخته می شوند. قالب های نوع اول معمولاً از فولاد، چدن، برنج و انواع پلاستیک ساخته می شوند. در حالی که قالب های نوع دوم ممکن است از صفحات فلزی، پلاستیک، محصولات کاغذی ضد آب و یا سایر موادی که خواص فیزیکی خواسته شده نظیر غیر قابل نفوذ بودن و عدم جذب آب و عدم تغییر طول را تأمین کنند، ساخته می شوند. به منظور جلوگیری از چسبندگی بتن به جدار قالب، باید جداره های داخلی قالب با یک لایه ی نازک روغن معدنی آغشته گردد؛ سپس بتن در چند لایه داخل قالب ریخته شود. تراکم بتن های با اسلامپ بالا در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه به هر لایه توسط یک میله ی گرد به قطر ۱۶ میلی متر ( $\frac{5}{8}$  اینچ) انجام می شود. تراکم بتن های با اسلامپ پایین در دو لایه و با ویبره های داخلی و خارجی انجام می شود.

سطح بالای استوانه ی بتنی که توسط ماله صاف می گردد، معمولاً جهت انجام آزمایش به اندازه ی کافی یکنواخت نیست و باید اقدامات دیگری بر روی آن انجام گیرد. استاندارد، تغییرات تا  $5^\circ/^\circ$  میلی متر را در سطوح بالا و پایین مجاز می داند بدین منظور دو روش سایش و پوشش سطح، برای ایجاد سطوح صاف به کار می روند. روش اول روشی مناسب ولی گران است. در روش



مخلوط کن برقی برای اختلاط مصالح  
تشکیل دهنده ی بتن

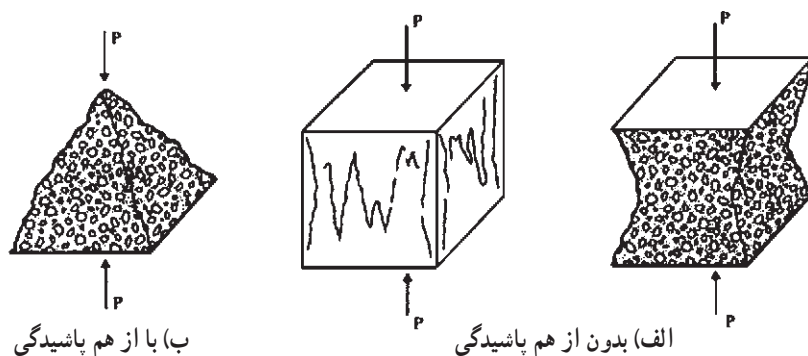


قالب نمونه های مکعبی بر اساس استاندارد BS

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 به کار می‌روند. پوشش باید نازک و به ضخامت  $1/5$  تا  $3$  میلی‌متر و دارای مقاومتی نظیر مقاومت بتن آزمایش شونده باشد. احتمالاً بهترین ماده، مخلوط گوگرد و رس می‌باشد که برای بتن‌هایی تا مقاومت  $100$  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 بدین ترتیب است که در آزمایشگاه به منظور جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه‌های قالب‌گیری شده، آن‌ها را در مدت زمانی بیش از  $20$  ساعت و کم‌تر از  $48$  ساعت در دمای  $23 \pm 1/7$  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 به دست 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  $5$  سانتی‌متر توصیه می‌کند. تراکم هر لایه در مکعب‌های  $15$  سانتی‌متری با  $35$  ضربه و در مکعب‌های  $10$  سانتی‌متری با  $25$  ضربه توسط یک میله‌ی فولادی با مقطع مربعی شکلی به ابعاد  $25$  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  $7$  روز یا بیش‌تر شکسته شود، باید در دمای  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  نگهداری شود و اگر زمان انجام آزمایش کم‌تر از  $7$  روز باشد، نمونه باید در دمای  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  نگهداری شود. ترجیح داده می‌شود رطوبت نسبی کم‌تر از  $90$  درصد نباشد، اما نگهداری نمونه در زیر پوشش‌های مرطوب نیز مجاز شمرده شده است. نمونه‌های مکعبی بعد از  $24$  ساعت از قالب بیرون آورده شده و تا زمان انجام آزمایش در مخزن عمل‌آوری، نگهداری می‌شوند.

شکل‌های ۲-۸ و ۲-۹ حالت‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۲-۸ - شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های مکعبی استاندارد



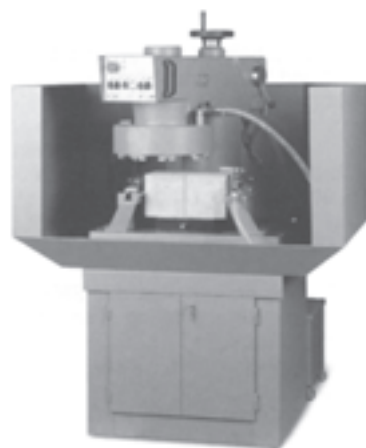
قالب نمونه‌های استوانه‌ای براساس استاندارد ASTM



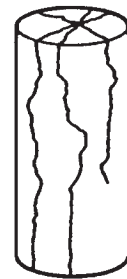
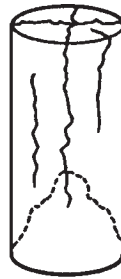
میز لرزان برای متراکم کردن نمونه‌های آزمایشی



حوضچه برای نگهداری نمونه‌های آزمایشی



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



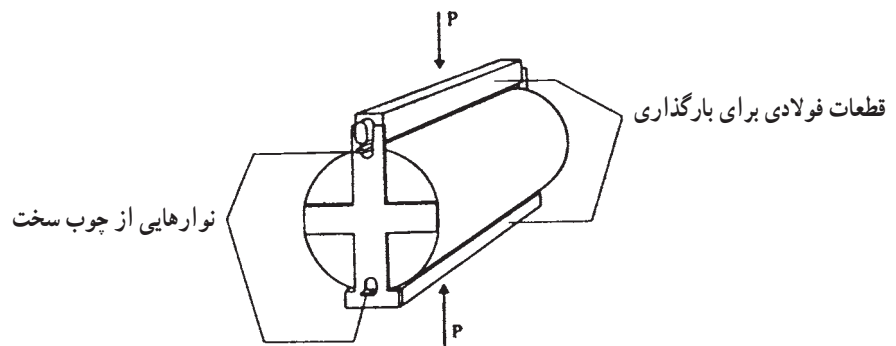
(ج) شکافتن و برش

(ب) برش

(الف) شکافتن

شکل ۲-۹- شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد

(ج) مقاومت کششی نمونه‌های بتنی: از آن‌جا که اعمال 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 به کار 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، به وجود آید. شکل ۲-۱۰ نوع گیره‌های لازم جهت نگهداری نمونه‌ها در یک دستگاه آزمایش فشاری را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۰- 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:

$$f_{st} = \frac{2p}{\pi ld}$$

در این رابطه،  $p$  ماکزیم 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 با به صورت عقربه‌ای و یا دیجیتالی است.



دستگاه ترکیبی آزمایش مقاومت فشاری و خمشی بتن

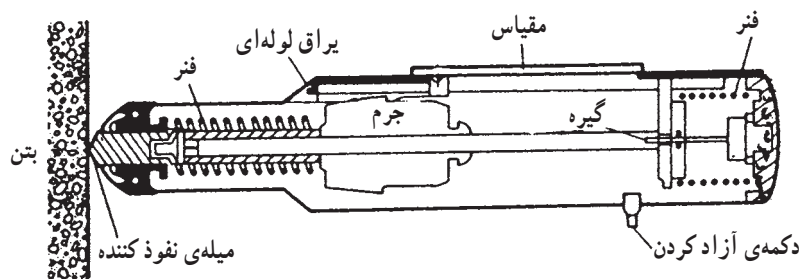
مورد یک بخش مشکوک از سازه، ممکن است نمونه‌های آزمایش به‌طور نادرست تهیه و نگهداری شده باشند و یا دستگاه آزمایش دارای اشکالاتی باشد. در این موارد معمولاً به منظور ارزیابی



شکل ۲-۱۱- دستگاه مغزه‌گیری

مقاومت بتن در سازه، مغزه‌هایی را از قسمت‌های مشکوک سازه می‌گیرند و مورد آزمایش قرار می‌دهند. دستگاه مغزه‌گیری یا کُرگیری (شکل ۲-۱۱) از یک لوله‌ی فلزی تشکیل شده که در جداری 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 به وسیله‌ی 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.

ه) 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 ۲-۱۲ 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 ۲-۱۲- چکش انعکاسی (چکش اشمیت)



دستگاه مغزه‌گیری بتن



یک مغزه‌ی بتنی که از یک دال دارای ترک خوردگی 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 بازتاب یک کف کوچک‌تر از عدد بازتاب 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 کرناتاسیون<sup>۱</sup> 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

- ۱- ضرورت انجام آزمایش‌های مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن چیست؟
- ۲- چرا برای انجام آزمایش‌های مصالح تشکیل‌دهنده‌ی بتن استانداردهای خاصی تدوین شده است؟
- ۳- جرم حجمی سیمان به چه منظوری و چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟
- ۴- انواع جرم حجمی سیمان را نام ببرید و تعریف کنید.
- ۵- انواع گیرش سیمان را نام ببرید و شرح دهید.
- ۶- انواع چگالی سنگ‌دانه‌ها را تعریف کنید.
- ۷- سنگ‌دانه‌ها از نظر میزان آب چه حالت‌هایی دارند؟
- ۸- برای آزمایش دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها نمونه‌ها را چگونه باید انتخاب کرد؟
- ۹- نحوه‌ی اندازه‌گیری مقاومت سایشی مصالح درشت‌دانه را شرح دهید.
- ۱۰- کارآیی بتن چگونه تعیین می‌شود؟
- ۱۱- 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؟
- ۱۲- به منظور بررسی بتن مصرفی برای ساخت یک آب‌انبار بتنی، نیاز به نمونه‌گیری از بتن می‌باشد. شما چگونه این کار را انجام می‌دهید؟
- ۱۳- پس از نمونه‌گیری از بتن، چه تمهیداتی را تا قبل از انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن باید انجام داد؟
- ۱۴- 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؟

۱- در اثر هیدراتاسیون سیمان (ترکیب آب و سیمان)،  $\text{Ca(OH)}_2$  به وجود می‌آید: هنگامی که بتن در معرض هوا باشد به مرور زمان با ترکیب  $\text{CO}_2$  هوا و  $\text{Ca(OH)}_2$  حاصله، کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) به وجود می‌آید که به این فرآیند کرناتاسیون گفته می‌شود.



### طرح اختلاط بتن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

- ۱- هدف از طرح اختلاط بتن را بیان کند ؛
- ۲- عوامل مؤثر در طرح اختلاط بتن را نام ببرد ؛
- ۳- مسایل اساسی در طرح مخلوط بتن را شرح دهد ؛
- ۴- نحوه‌ی طرح مخلوط بتن و مراحل مختلف انجام آن را توضیح دهد ؛
- ۵- نحوه‌ی استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها در طرح اختلاط بتن را تشریح کند.

### ۳-۱- 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 کارایی 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 به گونه‌ای تعیین شوند که بدون کاهش کیفیت بتن، مقدار سیمان مصرفی به حداقل برسد، زیرا سیمان گران‌ترین عنصر تشکیل دهنده‌ی 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 مورد نیاز مؤثر هستند، عمدتاً عبارتند از : سفت‌ترین مخلوط ممکن، بزرگ‌ترین اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها و بهترین نسبت دانه‌های ریز به درشت.

### ۳-۲- 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 کمی 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

دستیابی به بتنی با ویژگی‌های طراحی، از نظر مقاومت، دوام و پایداری، مستلزم استفاده از مصالح استاندارد و تعیین نسبت صحیح اختلاط اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن براساس نتایج آزمایشگاهی است. سیمان، سنگ‌دانه (شن و ماسه) و آب مهم‌ترین عناصر تشکیل دهنده‌ی 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 مورد نیاز 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.



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

رضایت بخش برای بتن های سازه ای، نمونه ای از نسبت های به دست 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 نسبت های اجزا اعمال نماییم. ضمناً تأکید بر این مسئله لازم است که ساخت مخلوط های آزمایشی باید زیر نظر یک کارشناس یا تکنسین باتجربه، به منظور ارزیابی دقیق پارامترهای مختلف انجام گیرد.

### ۳-۳- نمونه برداری و پذیرش بتن

پذیرش بتن در کارگاه براساس نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های برداشته شده از بتن مصرفی صورت می پذیرد. دفعات تصادفی نمونه برداری از بتن باید به نحوی یکنواخت در طول مدت تهیه و مصرف بتن توزیع شوند. نمونه ها باید قبل از ریختن در محل نهایی مصرف برداشته شوند. مقصود از هر نمونه برداری از بتن، تهیه حداقل دو نمونه از آن است که آزمایش فشاری آن ها در سن ۲۸ روزه یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می پذیرد و متوسط مقاومت های فشاری به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می توان حداقل یک نمونه دیگر نیز به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد. در صورتی که حجم هر اختلاط بتن بیش تر از یک متر مکعب باشد، تواتر نمونه برداری به ترتیب زیر خواهد بود:

الف - برای دال ها و دیوارها و پی ها، یک نمونه برداری از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا ۱۵۰ مترمربع سطح.

ب - برای تیرها و کلاف ها، در صورتی که جدا از قطعات دیگر بتن ریزی می شوند، یک نمونه برداری از هر ۱۰۰ متر طول.

ج - برای ستون ها، یک نمونه برداری از هر ۵۰ متر طول.  
در صورتی که حجم هر اختلاط بتن کم تر از یک متر مکعب باشد، می توان مقادیر ذکر شده در بالا را به همان نسبت تقلیل داد.

حداقل یک نمونه برداری از هر رده و از هر نوع بتن در هر روز الزامی است.  
حداقل ۶ نمونه برداری 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 کم تر باشد می توان از نمونه برداری و آزمایش مقاومت صرف نظر کرد مشروط بر آن که به تشخیص دستگاه نظارت دلیلی برای رضایت بخش بودن کیفیت بتن موجود باشد.  
مشخصات بتن موقعی قابل قبول و منطبق بر رده مورد نظر تلقی می شود که مقاومت نمونه های بتن، مطابق ضوابط مندرج در آیین نامه بتن ایران (آبا) باشد.

### ۳-۴- روش طرح اختلاط

در گذشته بتن ها را براساس نسبت های دستوری مشخص، مانند نسبت های حجمی ۴: ۲: ۱:

(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؛ اما 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 تراکم محاسبه می‌شود. این روش سال‌هاست که در کشورهای مختلف جهان به کار می‌رود.



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 در نتیجه انهدام کامل ساختمان شده است.

### ۳-۵- 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 مدت‌ها 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:

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

۲- دانه‌بندی مصالح سنگی (اندازه و توزیع سنگ‌دانه‌ها)

۳- نوع سیمان

۴- نسبت آب به سیمان

۵- نحوه‌ی ساخت و تراکم بتن

۶- شرایط نگهداری و عمل آوردن بتن

۷- سن بتن

باید دانست که در حین اجرای بتن ممکن است تغییرات ناخواسته‌ای در مشخصات مصالح مصرفی به وجود 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 به کار 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 مورد نظر طراح باشد.

اگر مقاومت مورد نظر 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،



آنچه از این شکل برمی آید، این است که اتصال نامناسب تیر و ستون بتنی، کیفیت نامطلوب بتن ریزی، خارج شدن شیریه سیمان از محل قالب بندی و وجود تخلخل در بتن نیز به علاوه اشکالات احتمالی در تسلیح و طول مهار 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 می ارزند!!!



یکی از ویژگی های بتن مطلوب دوام مناسب آن است. بتن باید بتواند در مقابل عوامل جوی، حملات شیمیایی و فرآیندهای تخریبی دیگر مقاومت کند. در این شکل نمونه ای از حمله ی سولفات ها و کلورها به پایه ی بتن مسلح یک پل در دریا، نشان داده شده است.

اختلاف آنها، یعنی  $f_m - f_c$ ، حاشیه ی مقاومت نامیده می شود و با  $f'$  نشان داده می شود. حاشیه ی مقاومت با توجه به اهمیت سازه و درجه ی کنترل کیفیت در کارگاه بتن سازی و با رعایت ضوابط آیین نامه ای توسط کارشناس طراح مخلوط بتن محاسبه می گردد.

بنابراین طرح اختلاط بتن همواره براساس مقاومت فشاری متوسط ( $f_m$ ) انجام می گیرد و از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$f_m = f_c + f'$$

قابل ذکر است که عموماً  $f'$  از نظر کمی، مقدار قابل ملاحظه ای خواهد داشت.

ب) کارآیی: کارآیی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم و پرداخت بتن اطلاق می شود.

مقدار کارآیی لازم به دو عامل مهم بستگی دارد:

۱- ابعاد مقطع عضو و فاصله ی آرماتورها

۲- روش تراکم کردن بتن

واضح است که وقتی مقطع، باریک و پیچیده باشد و یا دارای گوشه های متعدد و نقاط با دسترسی مشکل باشد، لازم است که بتن کارآیی بالایی داشته باشد، به گونه ای که با وسایل موردنظر به طور کامل متراکم گردد. همچنین هنگامی که مقاطع فولادی یا آرماتورهای با فاصله ی کم، بتن ریزی و تراکم را با مشکل مواجه می کنند، بتن باید کارآیی بالایی داشته باشد. بنابراین برای بتن ریزی های مختلف، اسلامپ های 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 می تواند از جداول ۱-۳ و ۲-۳ انتخاب شود.

جدول ۱-۳- درجه ی کارآیی و اسلامپ برای بتن های با حداکثر قطر سنگ دانه ی ۱۹ تا ۳۸ میلی متر

| درجه ی کارآیی | اسلامپ (میلی متر) | استفاده در بتن های مختلف                                                                                                                                                                                     |
|---------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| خیلی پایین    | ۰ - ۲۵            | برای راه هایی که با ماشین های قوی متراکم می شوند. در مخلوط های با کارآیی بالای این حد، بتن در شرایط خاصی می تواند با ماشین های دستی متراکم و لرزانده شود.                                                    |
| پایین         | ۲۵ - ۵۰           | برای راه هایی که با وسایل دستی متراکم می شوند، در محدوده بالای کارآیی این گروه می توان دانه های گرد یا نامنظم را به کار برد. برای پی های با بتن انبوه بدون لرزه و برای مقاطع با فولاد کم که لرزانده می شوند. |
| متوسط         | ۵۰ - ۱۰۰          | در حد پایین کارآیی این گروه برای دال های 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 می شوند.                                 |
| بالا          | ۱۰۰ - ۱۷۵         | برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور. معمولاً برای لرزاندن مناسب نیست.                                                                                                                                           |

### جدول ۳-۲- اسلامپ‌های توصیه شده برای انواع مختلف اعضای ساختمانی

| عضو ساختمانی                    | محدوده‌ی اسلامپ* |
|---------------------------------|------------------|
|                                 | میلی متر         |
| دیوارها و پی‌های بتن مسلح       | ۸۰ - ۲۰          |
| پی‌ها، بندها و دیوارهای غیرمسلح | ۸۰ - ۲۰          |
| تیرهای بتن مسلح                 | ۱۰۰ - ۲۰         |
| ستون‌های ساختمان                | ۱۰۰ - ۲۰         |
| روسازی‌ها و دال‌ها              | ۱۰۰ - ۲۰         |
| بتن حجیم                        | ۸۰ - ۲۰          |

\* در حالت تراکم با دست می‌توان محدوده‌ی بالای اسلامپ را ۲۰ میلی متر افزایش داد.

**ج) دوام:** منظور از دوام بتن، مقاومت آن در مقابل عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و فرایندهای 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 حادث‌تر 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 نظر گرفتن 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 ۳-۳ الزامات آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در خصوص حداکثر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت مشخصه برای شرایط محیطی ویژه، بیان می‌کند.



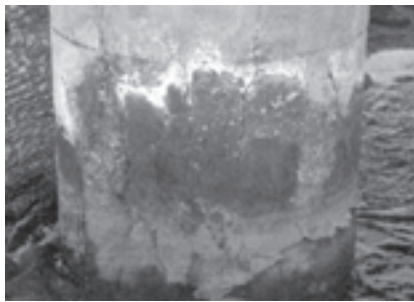
نمونه‌ای از خوردگی ناشی از نفوذ کربناتاسیون تا عمق ۷۰ میلی متری که توسط اسپری فنل فتالین مشخص گردیده است. بتن با کیفیت خوب، باید در برابر حمله‌ی عوامل شیمیایی مقاومت کند، که این جز با استفاده از سیمان مناسب، نسبت‌های اختلاط صحیح و ساخت بتن با نفوذپذیری کم، حاصل نخواهد شد.



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

### جدول ۳-۳ الزامات مربوط به شرایط محیطی ویژه

| شرایط محیطی                                                                                                                                                        | حداکثر نسبت آب به سیمان | حداقل مقاومت مشخصه (مگاپاسکال) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| بتن آب بند :<br>الف - در معرض آب شیرین<br>ب - در معرض آب شور یا آب دریا                                                                                            | ۵/۰<br>۴۵/۰             | ۲۵                             |
| بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب، تر و خشک شدن مکرر یا مواد شیمیایی یخ زدا                                                                               | ۴۵/۰                    | 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. | ۴/۰                     | 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.

### ۳-۶- 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 مقاومت متوسط 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 اهمیت 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 به دست 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 سیمان فرضی معادل ۵/۰ و در سن موردنظر (که معمولاً ۲۸ روز است)، برای نوع سیمان و شن مصرفی در ساختمان مربوطه، با استفاده از جدول ۳-۴ تعیین می‌کنیم.**

**گام (۲)؛ نقطه‌ی متناظر با نسبت آب به سیمان ۵/۰ و مقاومت فشاری تقریبی فوق را بر روی نمودار شکل ۳-۱ 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 افقی 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 ۳-۳ 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 :

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

۲- آب آزاد که صرف انجام عمل هیدراتاسیون و کارآیی بتن می‌گردد. با توجه به این که 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 جدول ۳-۵ 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 شکسته) می‌باشد.

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

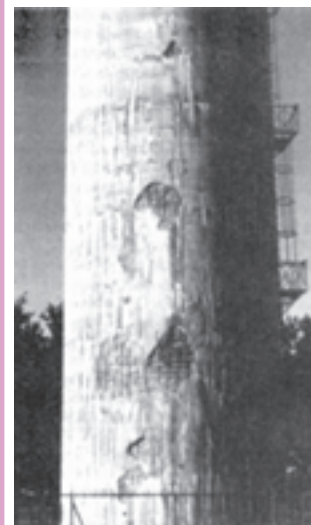
$$\text{نسبت آب آزاد به سیمان} = \frac{\text{مقدار آب آزاد}}{\text{وزن سیمان}}$$

**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 :



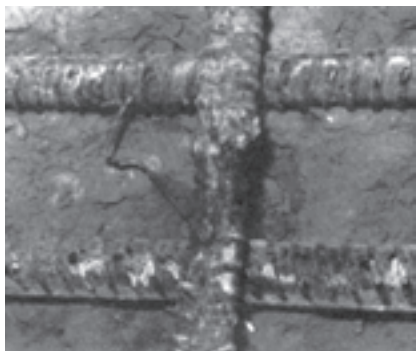
ترک خوردگی قرنیز عرشه‌ی پل در اثر فشار انبساطی ناشی از زنگ‌زدگی میل‌گردهای آن. پوشش نامناسب بتن بر روی میل‌گردها و نفوذپذیری بالای بتن موجب بروز این خسارت شده است.



پوسته پوسته شدن سطح بیرونی یک منبع بتنی آب که در اثر یخ‌زدن 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 کریئاتاسیون. پوشش نامناسب بتن بر روی میل‌گردها، کیفیت نامطلوب بتن در شرایط محیطی ویژه و نفوذپذیری زیاد آن باعث این خرابی شده است.



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

**گام (۱):** وزن مخصوص بتن تازه از شکل ۳-۲ 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 شکسته 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 ۳-۳ 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 ۳-۴ 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.

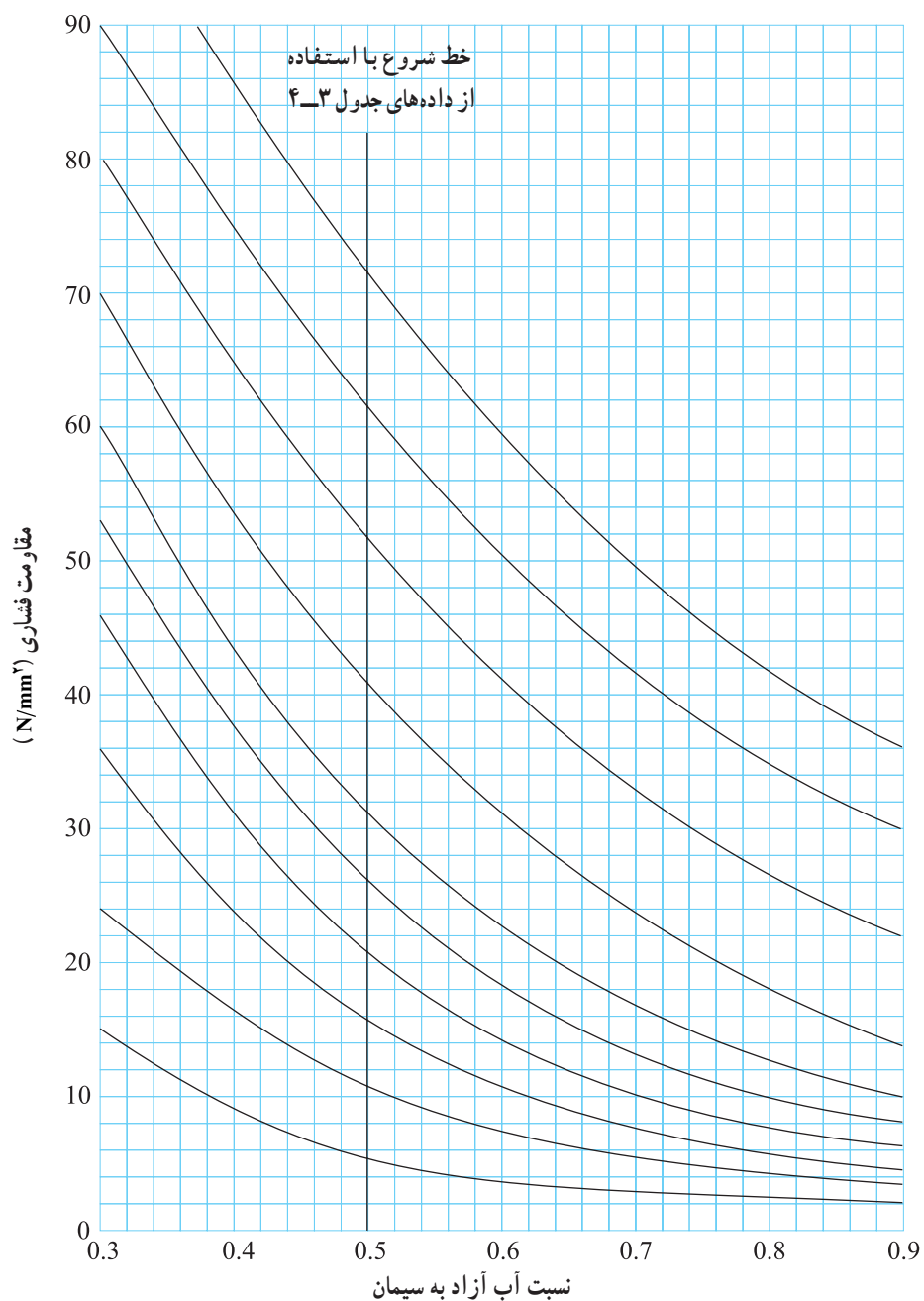
**گام (۳):** از روابط زیر وزن شن و ماسه در یک مترمکعب مخلوط بتن به‌دست می‌آید:

درصد ماسه  $\times$  وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن ماسه

وزن ماسه - وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن شن

جدول ۳-۴ - مقاومت فشاری تقریبی ( $N/mm^2$ ) بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۵/۰

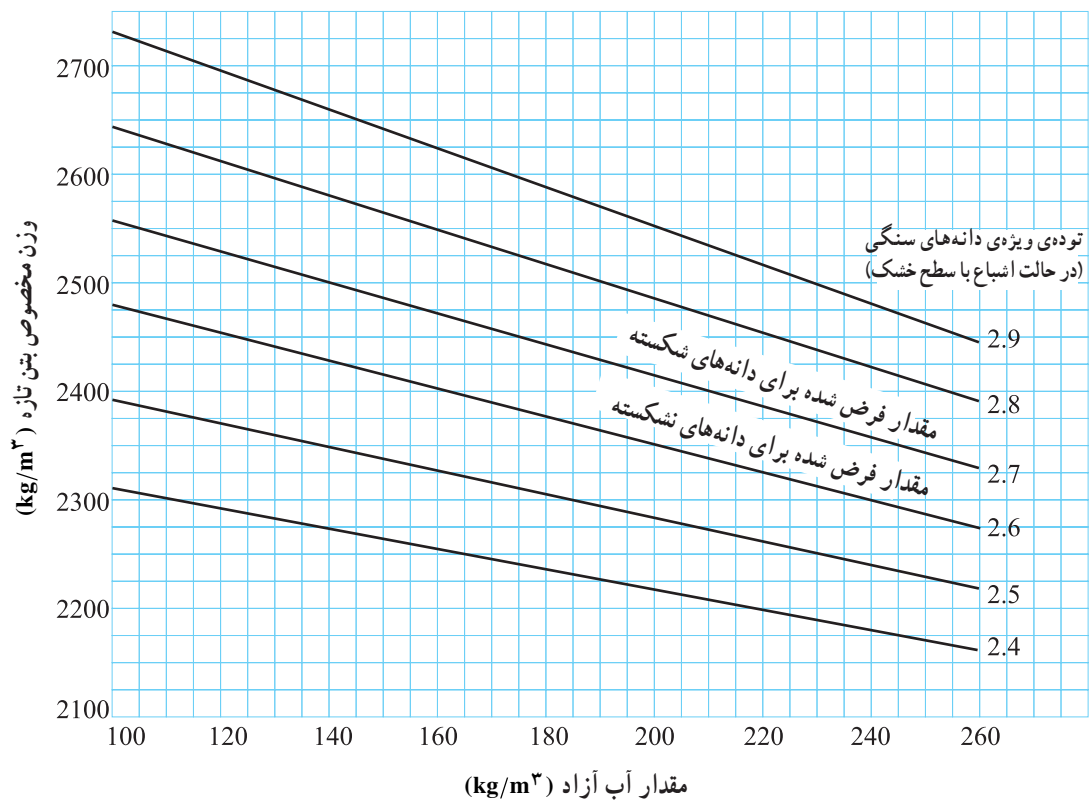
| نوع سیمان    | نوع شن | مقاومت فشاری ( $N/mm^2$ ) |    |    |    |
|--------------|--------|---------------------------|----|----|----|
|              |        | سن (روز)                  |    |    |    |
|              |        | ۳                         | ۷  | ۲۸ | ۹۱ |
| سیمان معمولی |        |                           |    |    |    |
| 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 |



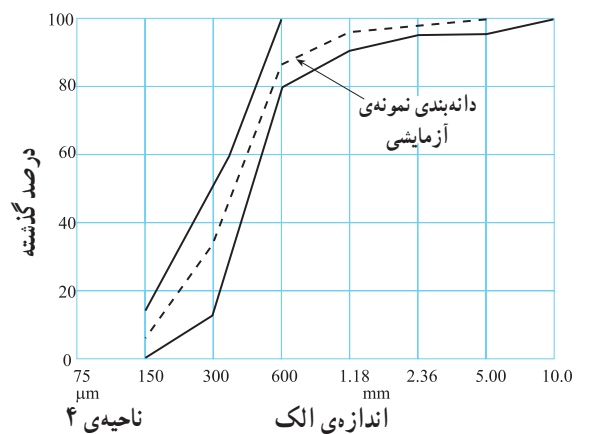
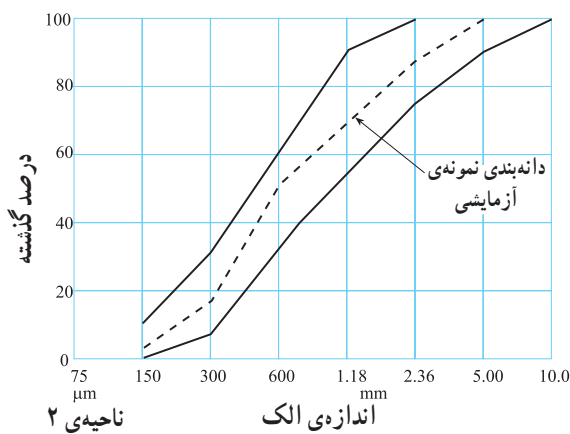
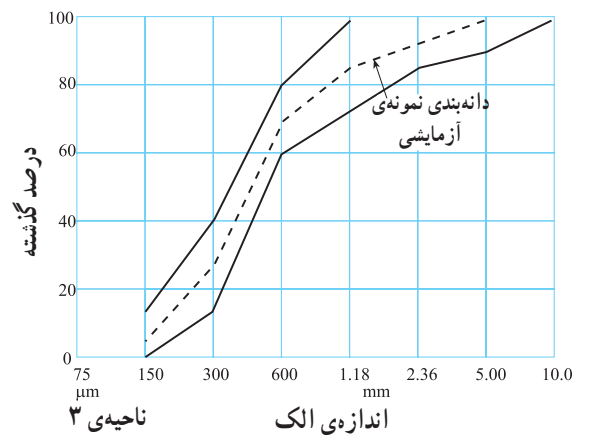
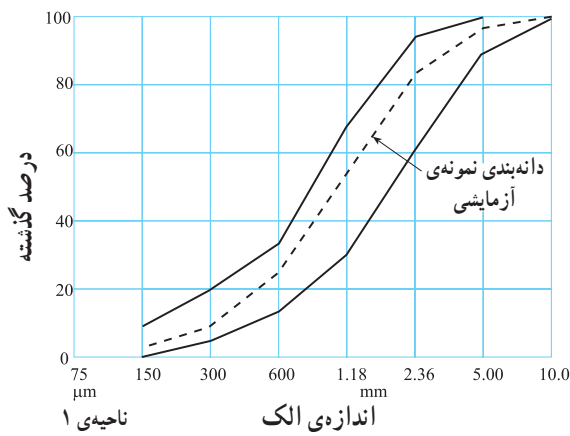
شکل ۳-۱- ارتباط مابین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان مخلوط

جدول ۳-۵- مقدار تقریبی آب آزاد ( $\text{kg/m}^3$ ) برای سطوح مختلف کارایی

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

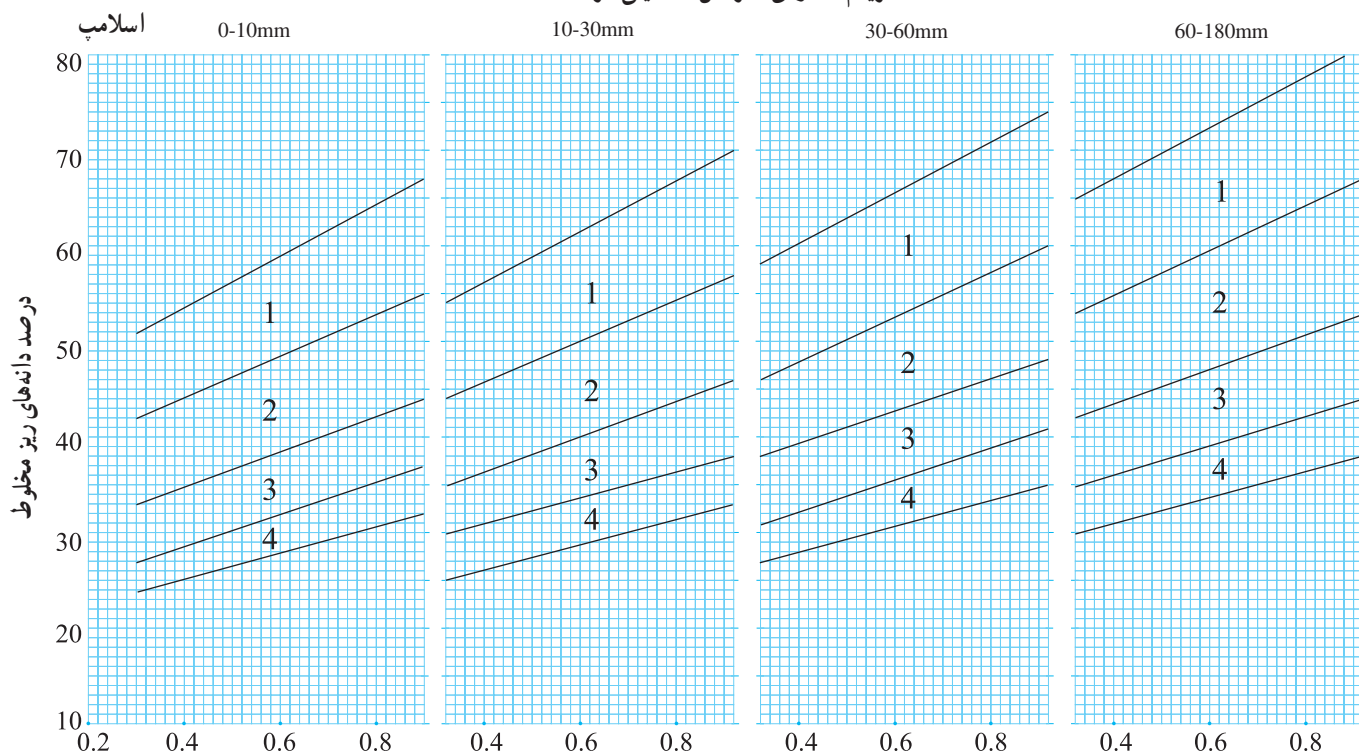


شکل ۲-۳- وزن مخصوص تخمینی بتن با تراکم کامل

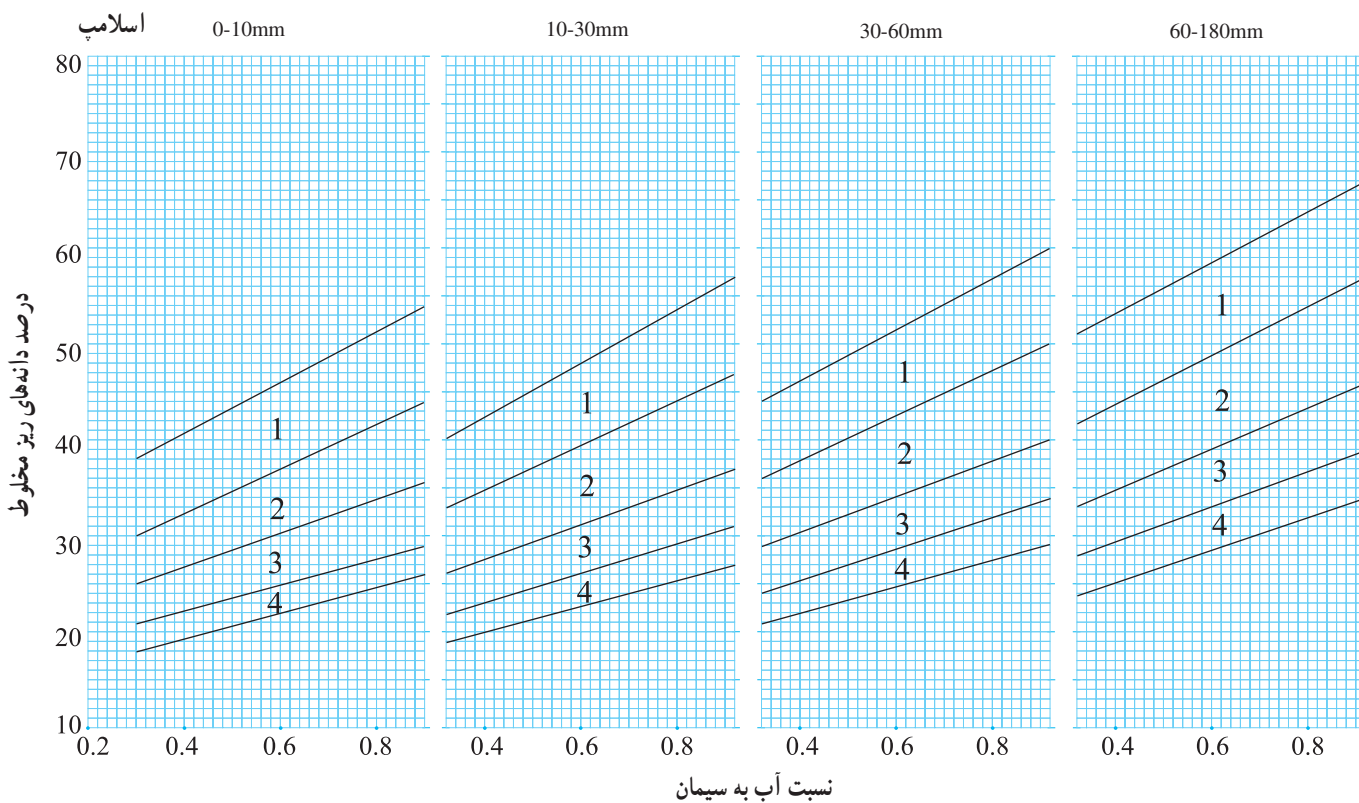


شکل ۳-۳- حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ براساس BS ۸۸۲

ماکزیمم اندازه‌ی قطر شن ۱۰ میلی‌متر

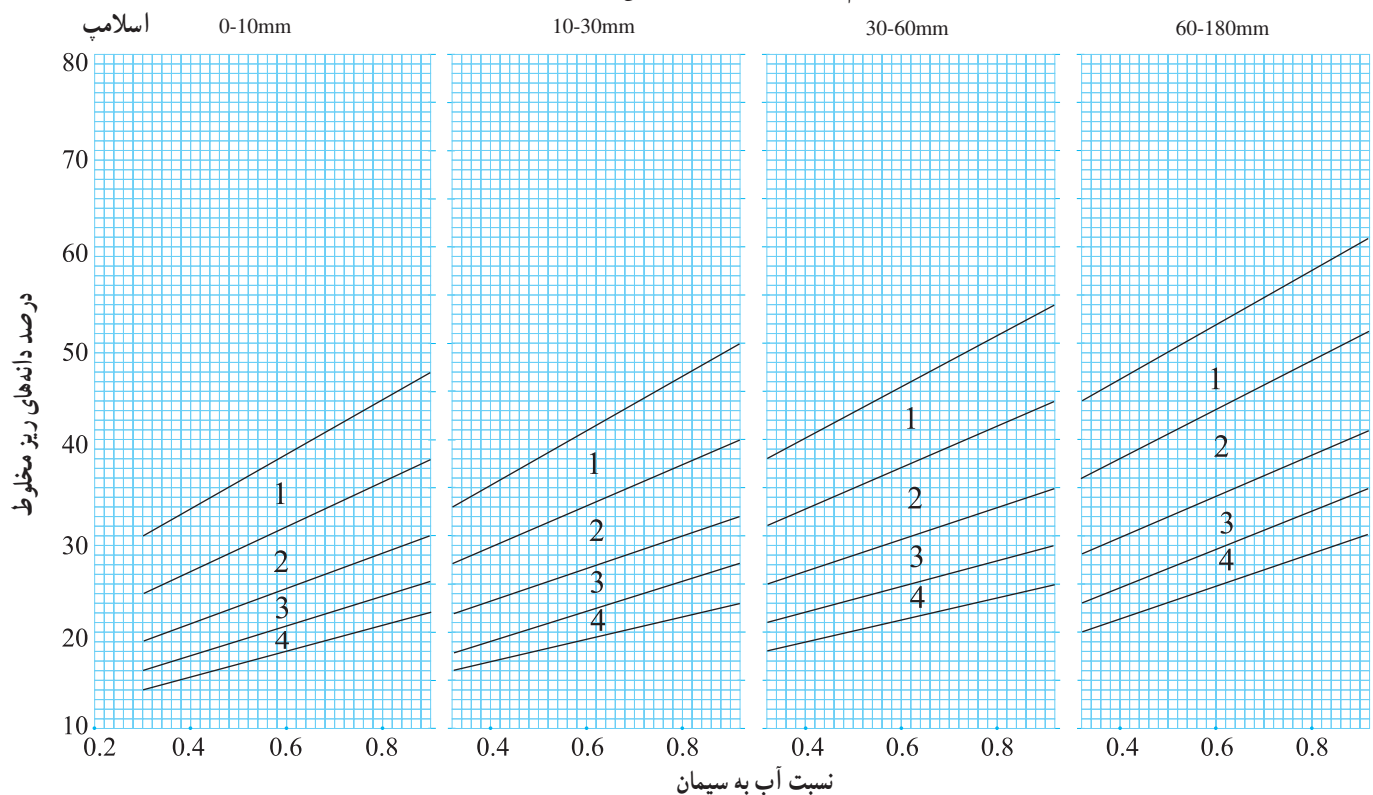


ماکزیمم اندازه‌ی قطر شن ۲۰ میلی‌متر



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

ماکزیمم اندازه‌ی قطر شن ۴۰ میلی‌متر



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

مثال ۱: بتنی با مشخصات زیر طرح کنید.

۱- مقاومت فشاری مشخصه‌ی ۲۸ روزه برای نمونه‌ی مکعبی برابر با  $28 \text{ N/mm}^2$

۲- نوع سیمان: پرتلند معمولی

۳- شن و ماسه: از نوع شکسته

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

۵- حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها:  $20 \text{ mm}$

۶- اسلامپ خواسته‌شده:  $75 \text{ mm}$

۷- حداکثر نسبت آب به سیمان برای شرایط محیطی مورد نظر:  $0.5$

۸- مقدار حاشیه‌ی مقاومت براساس اهمیت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت کارگاه و

ضوابط آیین‌نامه:  $9/3 \text{ N/mm}^2$

حل:

مرحله‌ی اول، تعیین مقاومت متوسط هدف:

$$f_m = f_c + f' = 28 + 9/3 = 37/3 \text{ N/mm}^2$$

مرحله‌ی دوم، تعیین نسبت آب به سیمان:

گام (۱): از جدول ۳-۴ مقاومت فشاری تقریبی بتن برای نسبت فرضی آب به سیمان  $0.5$

با سیمان پرتلند معمولی، شن شکسته و سن ۲۸ روزه برابر با  $47 \text{ N/mm}^2$  می‌باشد.

گام (۲): نقطه‌ی مربوط به مختصات  $47^\circ/5$  را بر روی شکل ۳-۱ تعیین و یک منحنی

مشابه به موازات بقیه‌ی منحنی‌های شکل رسم می‌کنیم.

گام (۳): با استفاده از منحنی فوق برای  $f_m = 37/3 \text{ N/mm}^2$  مقدار نسبت آب به سیمان برابر با  $59^\circ/5$  به دست می‌آید.

گام (۴): چون نسبت آب به سیمان  $59^\circ/5$  از حداکثر تعیین شده در مشخصات طرح بیش تر است، لذا نسبت آب به سیمان نهایی مقدار  $5^\circ/5$  انتخاب می‌گردد.

مرحله‌ی سوم، تعیین مقدار آب آزاد: با استفاده از جدول ۳-۵ برای اسلامپ  $75\text{mm}$ ، حداکثر قطر سنگ دانه‌ها  $20\text{mm}$  و دانه‌های سنگی از نوع شکسته، مقدار تقریبی آب آزاد برابر با  $225$  کیلوگرم در مترمکعب خواهد بود.

مرحله‌ی چهارم، محاسبه‌ی مقدار سیمان:

$$\text{وزن سیمان لازم} = \frac{\text{وزن آب آزاد}}{\text{نسبت آب به سیمان}} = \frac{225}{5^\circ/5} = 45^\circ \text{ kg/m}^3$$

مرحله‌ی پنجم، تعیین وزن کل سنگ دانه‌ها:

گام (۱): وزن مخصوص بتن تازه با استفاده از شکل ۳-۲ با مقدار آب آزاد  $225 \text{ kg/m}^3$  و توده‌ی ویژه‌ی سنگ دانه‌ها برابر با  $2/7$  برای دانه‌های شکسته، برابر با  $2380 \text{ kg/m}^3$  تخمین زده می‌شود.

گام (۲): وزن کل سنگ دانه‌ها عبارت است از:

$$1705 \text{ kg/m}^3 = 2380 - 225 - 450$$

مرحله‌ی ششم، تفکیک وزن شن و ماسه:

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

گام (۲): درصد ماسه با استفاده از شکل ۳-۴ برای حداکثر اندازه‌ی قطر شن  $20\text{mm}$ ، اسلامپ  $75\text{mm}$ ، نسبت آب به سیمان  $5^\circ/5$  و برای ماسه‌ی ناحیه‌ی ۱، برای حد بالایی  $56\%$  و حد پایینی  $46\%$  به دست می‌آید. لذا حد متوسط آن‌ها، یعنی  $51\%$  را انتخاب می‌کنیم.

گام (۳): تفکیک وزن ماسه و شن:

$$\text{وزن ماسه} = 1705 \times 51^\circ/100 = 870 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{وزن شن} = 1705 - 870 = 835 \text{ kg/m}^3$$

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

$$\text{سیمان} = 450 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{آب آزاد} = 225 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ماسه در حالت SSD} = 870 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{شن در حالت SSD} = 835 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{مجموع} = 2380 \text{ kg/m}^3$$



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 به دست آورید.

حل: 
$$849 \text{ kg/m}^3 = 870 \times \frac{100}{100 + 2/5} = \text{وزن ماسه‌ی کاملاً خشک}$$

$$823 \text{ kg/m}^3 = 835 \times \frac{100}{100 + 1/5} = \text{وزن شن کاملاً خشک}$$

پس مقدار آب جذب شده توسط ماسه برابر با  $870 - 849 = 21 \text{ kg}$

و مقدار آب جذب شده توسط شن برابر با  $835 - 823 = 12 \text{ kg}$

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

$$\text{وزن آب کل} = 225 + 21 + 12 = 258 \text{ kg/m}^3$$

بدیهی است وزن سیمان در این حالت تفاوتی با حالت قبل نخواهد داشت و همان

$450 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد. ضمناً باید توجه داشت که مجموع وزن واحد حجم اجزا باید همان  $2380 \text{ kg/m}^3$  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: 
$$862 \text{ kg/m}^3 = 849 \times \frac{100 + 1/5}{100} = \text{وزن ماسه‌ی موجود}$$

$$831 \text{ kg/m}^3 = 823 \times \frac{100 + 1}{100} = \text{وزن شن موجود}$$

پس مقدار آب موجود در ماسه برابر است با  $862 - 849 = 13 \text{ kg}$

و مقدار آب موجود در شن برابر است با  $831 - 823 = 8 \text{ kg}$

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

$$237 \text{ kg/m}^3 = 258 - (13 + 8) = \text{وزن آب مورد نیاز}$$

بدیهی است که وزن سیمان در این حالت تفاوتی با حالت‌های قبلی نخواهد داشت و همان

$450 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد و مجموع وزن کلیه اجزا نیز باید کماکان برابر با  $2380 \text{ kg/m}^3$  باشد.

- ۱- هدف از طرح اختلاط بتن چیست؟ عوامل مؤثر بر آن را شرح دهید.
- ۲- لزوم ساخت مخلوط‌های آزمایشی چیست؟
- ۳- کیفیت بتن در وهله‌ی اول به چه چیزی بستگی دارد؟
- ۴- کارآیی بتن را تعریف کنید و بگویید میزان کارآیی به چه عواملی بستگی دارد.
- ۵- اگر بخواهید یک عضو بتنی را که مقطع آن دارای گوشه‌های متعدد است بتن‌ریزی کنید، میزان کارآیی بتن مصرفی را چقدر انتخاب می‌کنید؟
- ۶- منظور از دوام بتن چیست؟
- ۷- 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؟
- ۸- چگونه می‌توان مقاومت بتن را در برابر املاح و مواد مضر در آب و خاک افزایش داد؟
- ۹- مهم‌ترین عامل در طرح بتن باند فرودگاه چه می‌تواند باشد؟
- ۱۰- در طرح بتن یک اسکله‌ی نفتی در خلیج فارس چه عاملی بسیار مهم است و چه تمهیداتی باید به کار برده شود؟
- ۱۱- مراحل طرح اختلاط بتن را بیان کنید.
- ۱۲- آبی که در مخلوط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد، صرف چه مواردی می‌شود؟
- ۱۳- مطلوب است طرح مخلوط بتنی با مشخصات زیر :
- $f_c = 20 \text{ N/mm}^2$  (مقاومت مشخصه ۲۸ روزه بر اساس نمونه‌ی مکعبی)
- نوع سیمان : پرتلند معمولی
- 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.
- ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه براساس استاندارد BS882 : ناحیه‌ی دو
- حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه‌ها : ۴۰ mm
- اسلامپ خواسته شده : ۵۰ mm
- حداکثر نسبت آب به سیمان برای شرایط محیطی مورد نظر : ۴۵/۰
- مقدار حاشیه‌ی مقاومت : ۸/۵  $\text{N/mm}^2$



### میل‌گردهای فولادی در بتن مسلح

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 این گونه سازه‌ها، می‌تواند امر امدادرسانی پس از وقوع زلزله را دچار اختلال کند و صدمات و تلفات را افزایش دهد.



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.

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

- ۱- دلایل اصلی مصرف فولاد در بتن را نام ببرد؛
- ۲- مزایای بتن مسلح را نام ببرد؛
- ۳- بتن پیش‌تنیده را توضیح دهد؛
- ۴- انواع فولادهای مصرفی در بتن و روش‌های تولید آن‌ها را نام ببرد؛
- ۵- چگونگی سطح میل‌گردها را بیان کند؛
- ۶- شکل‌های رایج و کاربرد میل‌گردها را در بتن نام ببرد؛
- ۷- براساس آیین‌نامه، خم و قلاب‌های میل‌گردها را بیان کند؛
- ۸- حداقل فاصله‌ی پوشش بتن برای محافظت میل‌گردها را بیان کند؛
- ۹- انواع وصله‌ی میل‌گردها را نام ببرد؛
- ۱۰- روش‌های مختلف حفاظت و انبار کردن میل‌گردهای فلزی را توضیح دهد.

### ۴-۱- مصرف فولاد در بتن

۴-۱-۱- 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 مسلح 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 اعضای سبب افزایش مقاومت می‌گردد، زیرا فولاد علاوه بر کشش، در فشار نیز مقاومت بالایی دارد.

۴-۱-۲- 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 آن که بتن، در اثر سخت شدن، چسبندگی قابل ملاحظه‌ای با آرماتور فولادی پیدا می‌کند. هنگامی که به یک عضو

بتن آرمه، 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  $10^{-5} \times 1$  و برای فولاد برابر با  $10^{-5} \times 1/2$  به‌ازای هر درجه‌ی سانتی‌گراد است) و در نتیجه، در اثر تغییرات درجه حرارت، در هیچ یک از دو ماده تنش‌های اولیه‌ی قابل توجهی ایجاد نمی‌شود و لغزشی بین فولاد و بتن رخ نمی‌دهد.

**۴-۱-۳- سایر مزایای بتن مسلح:** بتن مسلح علاوه بر این که 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، خلی 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.

**۴-۱-۴- 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 در نتیجه کلیه 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.

## ۴-۲- انواع فولادهای مصرفی در بتن مسلح

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



همان‌طور که 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 در اثر 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



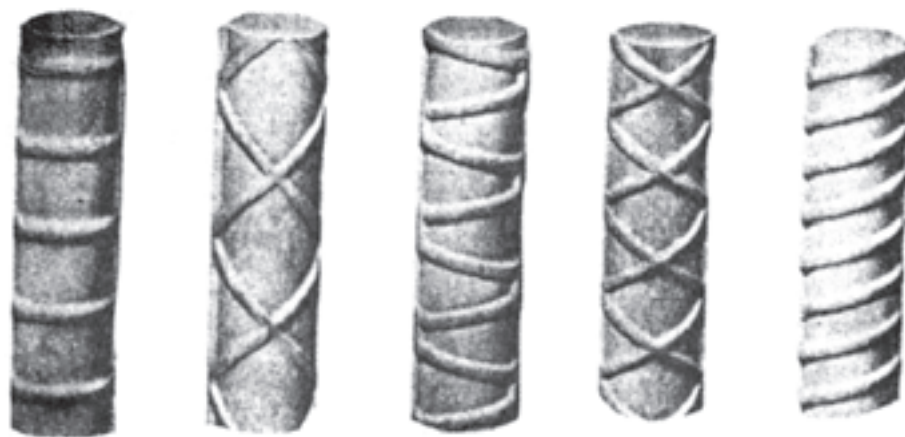
استفاده از میلگردهای ساده (بدون آج) به عنوان عناصر تسلیح (به ویژه عناصر تسلیح طولی) در یک عضو بتن مسلح، عدم وجود خم در یک انتهای خاموت، کامل نبودن حلقه‌ی خاموت و کیفیت نامطلوب بتن مصرفی باعث انهدام این عضو بتن مسلح شده است.



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.

## ۴-۲-۱- روش‌های تولید: آرماتور فولادی معمولاً به یکی از روش‌های زیر تولید می‌گردد:

- ۱- فولاد نورد شده در حالت گرم (گرم نورد شده)
- ۲- فولاد اصلاح شده در حالت سرد به وسیله‌ی عملیات مکانیکی از قبیل پیچاندن، کشیدن، نورد کردن یا گذراندن از حدیده (سرد اصلاح شده)
- ۳- فولاد ویژه که با عملیاتی مانند گرمایش و آب‌دادگی سخت شده است (گرم عمل آمده)
- ۴-۲-۲- چگونگی سطح میلگردها: از نظر شکل ظاهری، سطح میلگردها و سیم‌ها با صاف است و یا این که دارای قدری برآمدگی و فرورفتگی می‌باشد، نوع اول را میل گرد یا سیم صاف و نوع دوم را میل گرد یا سیم آجدار می‌نامند. ناهمواری سطح میل گرد یا سیم که برای افزایش چسبندگی فولاد با بتن تعبیه می‌شود، در میلگردهای آجدار به صورت برآمدگی و در سیم‌های آجدار به صورت 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 ۴-۱ سطح ظاهری چند نمونه میل گرد آجدار نمایش داده شده است. در نقشه‌کشی میل گرد ساده را با  $\phi$  و میل گرد آجدار را با  $\Phi$  نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱- سطح ظاهری میلگردهای آجدار

## ۴-۲-۳- 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 به راحتی 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 به طور سفارشی تهیه می‌گردد. در جدول ۴-۱ سطح مقطع و وزن واحد طول میلگردها با قطرهای مختلف ارائه شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات میل‌گردهای فولادی

| قطر                               | سطح مقطع (cm <sup>۲</sup> ) | 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.    |                             |                 |



خرابی راه‌پله بر اثر 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.



۴-۲-۴- 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 ۴-۲ آمده است. هر سه نوع فولاد نام‌برده از نوع گرم نورد شده، هستند.

جدول ۴-۲- مشخصات مکانیکی میل‌گردهای موجود در ایران

| نوع فولاد میل‌گرد | تنش جاری شدن (N/mm <sup>۲</sup> ) | تنش گسیختگی (N/mm <sup>۲</sup> ) | 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.

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. همان‌طور که 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.

۴-۲-۵- شبکه‌های جوش شده از سیم<sup>۱</sup>: این شبکه از دو گونه سیم عمود بر هم تشکیل شده است که به وسیله جوش مقاومتی به یکدیگر متصل شده‌اند. تنش جاری شدن مفتول‌ها مساوی  $5000 \text{ kg/cm}^2$  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،

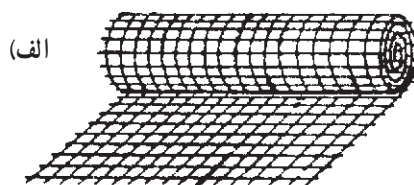
$t$  = فاصله‌ی دو آرماتور طولی به میلی‌متر،

$t_1$  = فاصله‌ی دو آرماتور عرضی به میلی‌متر،

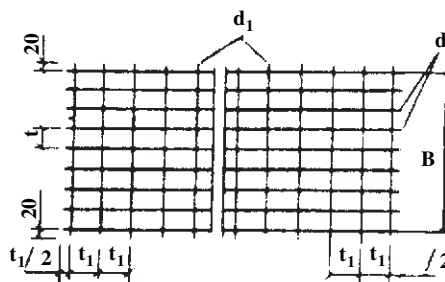
$d$  = قطر آرماتور طولی،

$d_1$  = قطر آرماتور عرضی.

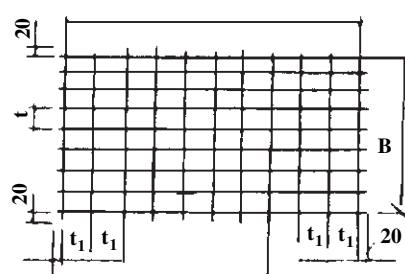
مشخصات یاد شده در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



(ب)



(ج)



شکل ۴-۲- شبکه‌های جوش شده از مفتول (WWF)

مثال: از طریق رابطه‌ی WWF شبکه‌ای با این مشخصات معرفی کنید: عرض شبکه ۲۳۰۰ میلی‌متر، 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.

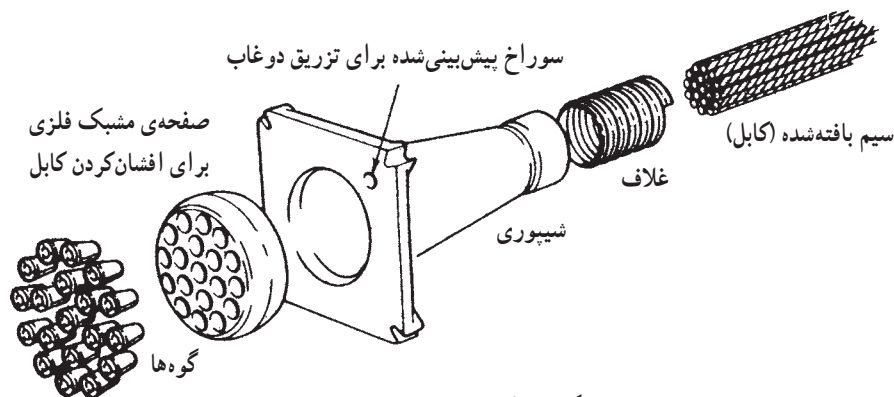
$$WWF = \frac{150 / 100 / \phi_4 / \phi_3}{2300 / 5900} \quad \text{چگونگی نمایش شبکه با مشخصات یاد شده:}$$

<sup>۱</sup>-Welded Wire Fabric (WWF)

۴-۲-۶ سیم ها و کابل های پیش تنیده: در اعضای بتنی پیش تنیده، سیم ها به صورت تکی و یا گروهی (که اصطلاحاً به آن ها رشته یا کابل می گویند) مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۴-۳).



الف) کابل ۳، ۷ و ۱۹ سیمی



ب) نحوه قرار گرفتن یک دسته سیم بافته شده (کابل در بتن)

شکل ۴-۳

معمول ترین رشته ها، رشته ی ۷ سیمه است که یک سیم مرکزی توسط ۶ سیم محیطی به صورت مارپیچ دورگیر شده است. در هنگام ساخت رشته، سیم ها آجدار می شوند و به طور محکم کنار یکدیگر قرار می گیرند تا هیچ گونه حرکت نسبی نسبت به یکدیگر نداشته باشند. رشته های ۷ سیمه با سیم هایی به قطر ۱/۵ تا ۵ میلی متر تولید می شوند. قطر رشته ی ۷ سیمه سه برابر قطر سیم تشکیل دهنده ی آن است. سطح مارپیچ یک رشته، چسبندگی قابل اعتمادی میان کابل و بتن به دست می دهد. مقاومت نهایی رشته های متداول بین ۱۷۰۰۰ تا ۱۸۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است که در کارهای پیش تنیده از ۱۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع کشیده می شوند.

### ۴-۳- شکل های رایج و کاربرد میلگردها در بتن

میلگردها به شکل های مختلف در اعضای بتنی مسلح مورد استفاده قرار می گیرند که معمولاً در نقشه های سازه ای، به طور دقیق ترسیم می گردند. برخی از اشکال مهم در شکل ۴-۴ ارائه شده است که کاربردهای مختلف آن ها در زیر ذکر می گردد:

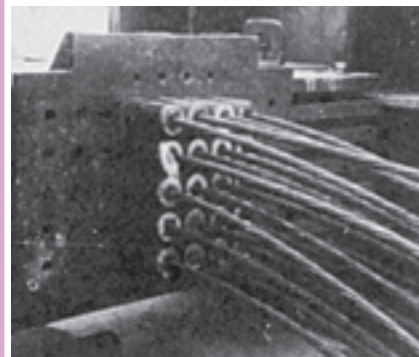
الف) میلگرد راستا: برای افزایش مقاومت کششی بتن.

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

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



گوه گذاری کابل ها برای پیش تنیدگی بتن



مهاری انتهایی کابل های پیش تنیده برای تیرهای حامل پل های بزرگ. در شکل ۲۰ کابل ۵/۰ اینچ نشان داده شده است.

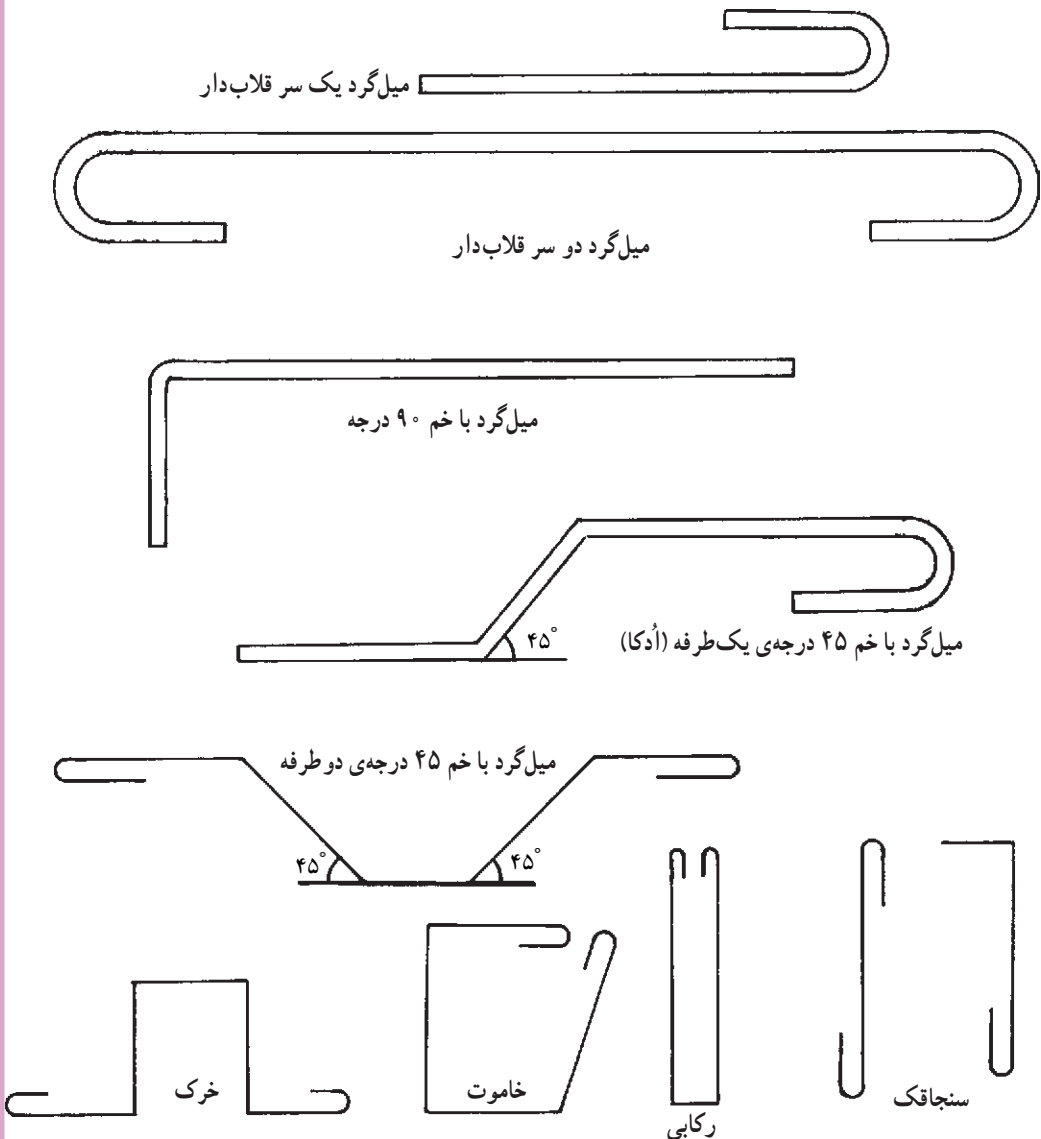


انواع خاموت گذاری ستون ها



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.

- (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.

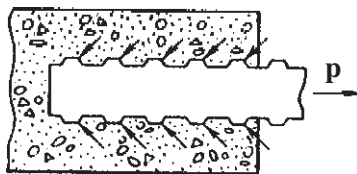


شکل ۴-۴- شکل‌های مختلف میل‌گردها

#### ۴-۴ پیوستگی و مهار میل گرد در بتن

عامل اصلی در عملکرد یک قطعه بتن مسلح به عنوان یک جسم یکپارچه، پیوستگی و چسبندگی کامل بین میل گرد و بتن است، تا در صورت کشیده شدن میل گرد تا حد پاره شدن، پیوستگی بین میل گرد و بتن قطع نشود.

طبیعت پیوستگی و چسبندگی بین میل گرد و بتن، اصطکاک موجود در سطح تماس آنها می باشد. در میل گردهای صاف، این اصطکاک بسیار ناچیز است. برای بهبود اصطکاک بین میل گرد و بتن، از میل گردهای آجدار استفاده می شود و به همین دلیل است که آیین نامه بتن ایران (آبا)، استفاده از میل گردهای صاف را در اعضای بتن مسلح مجاز نمی داند. در شکل ۴-۵ اصطکاک بین میل گردهای آجدار و بتن نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ اصطکاک بین میل گردهای آجدار و بتن

#### ۴-۵ استانداردهای خم قلاب انتهای میل گردها

در مواردی که براساس نقشه های سازه ای باید انتهای میل گردها دارای خم باشد، برای جلوگیری از خرد شدن یا ترکیدن بتن در اثر فشارهای متمرکز ایجاد شده در داخل خم، حداقل قطر خم باید از ضوابط آیین نامه ای تبعیت نماید. طبق آیین نامه ی بتن ایران (آبا)، ضوابط قلاب ها به شرح زیر می باشد:

۴-۵-۱ قلاب های استاندارد: در این آیین نامه هر یک از خم های مشروح زیر قلاب استاندارد تلقی می شود:

##### الف) میل گردهای اصلی

– خم نیم دایره (قلاب انتهایی  $180^\circ$  درجه) به اضافه ی حداقل  $4d_b$  طول مستقیم ولی نه کم تر از  $60$  میلی متر در انتهای آزاد میل گرد ( $d_b$ )، قطر اسمی میل گرد یا سیم برحسب میلی متر است).

– خم  $90^\circ$  درجه (گونیا) به اضافه ی طول مستقیم برابر حداقل  $12d_b$  در انتهای آزاد میل گرد.

– خم  $135^\circ$  درجه (چنگک) به اضافه ی طول مستقیم  $8d_b$  در انتهای آزاد میل گرد.

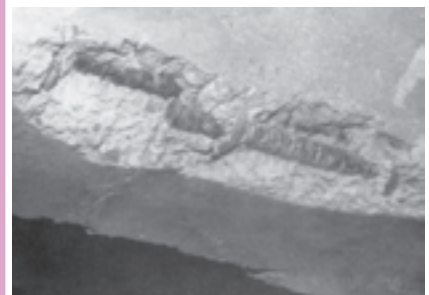
##### ب) خاموت ها

– خم  $90^\circ$  درجه (گونیا) به اضافه ی حداقل  $4d_b$  طول مستقیم ولی نه کم تر از  $60$  میلی متر در انتهای آزاد میل گرد، برای میل گردهای به قطر  $16$  میلی متر و کم تر.

– خم  $90^\circ$  درجه (گونیا) به اضافه ی حداقل  $12d_b$  طول مستقیم در انتهای آزاد میل گرد، برای میل گردهای به قطر بیش تر از  $16$  میلی متر و کم تر از  $25$  میلی متر.



بدون شرح !!!



ترک خمشی ایجاد شده، در اثر میزان کم طول وصله ی میل گردهای کششی اصلی



جدا شدن تیر از ستون بتن مسلح و کیفیت نامناسب بتن در محل اتصال تیر و ستون و اصلاح مجدد سطح آن به وسیله ی ملات در خور تأمل است. جدا شدن تیر از ستون می تواند ناشی از عدم تأمین طول مهاری لازم برای میلگردهای تیر باشد. همچنین استفاده از مصالح سنگین و سخت با اجرای نامناسب به عنوان میانقاب، از ضعف های عمده ی این سازه است.

– خم ۱۳۵ درجه (چنگک) به اضافه ی حداقل  $6d_b$  طول مستقیم ولی نه کم تر از ۶۰ میلی متر در انتهای آزاد میل گرد.

– خم نیم دایره ( $180^\circ$  درجه) به اضافه ی حداقل  $4d_b$  طول مستقیم ولی نه کم تر از ۶۰ میلی متر در انتهای آزاد میل گرد.

در صورت استفاده از هر نوع قلاب غیراستاندارد، باید جزئیات کامل آن ها در نقشه های اجرایی نشان داده شود.

#### ۴-۵-۲- حداقل قطر خم ها

الف) قطر داخلی خم ها به جز برای خاموت ها نباید از مقادیر مندرج در جدول ۴-۳ کم تر اختیار شود :

جدول ۴-۳- حداقل قطر خم ها

| قطر میل گرد          | حداقل قطر خم |             |        |
|----------------------|--------------|-------------|--------|
|                      | S400 و S500  | S300 و S350 | S220   |
| کم تر از ۲۸ میلی متر | $6d_b$       | $5d_b$      | $5d_b$ |
| ۲۸ تا ۳۴ میلی متر    | $8d_b$       | $6d_b$      | $5d_b$ |
| ۳۶ تا ۵۵ میلی متر*   | $10d_b$      | $10d_b$     | $7d_b$ |

\* برای خم کردن میلگردهای به قطر ۳۶ میلی متر و بیش تر و با زاویه ی بیش تر از  $90^\circ$  درجه به روش های خاصی نیاز است.

ب) قطر داخلی خم ها برای خاموت های به قطر بیش تر از ۱۶ میلی متر نباید کم تر از مقادیر مندرج در جدول ۴-۳ و برای خاموت های به قطر ۱۶ میلی متر و کم تر، نباید از مقادیر جدول ۴-۴ کم تر اختیار شود.

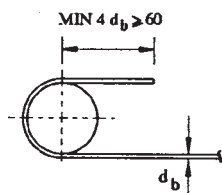
جدول ۴-۴- حداقل قطر خم ها برای خاموت ها

| قطر میل گرد         | حداقل قطر خم |             |          |
|---------------------|--------------|-------------|----------|
|                     | S400 و S500  | S300 و S350 | S220     |
| ۱۶ میلی متر و کم تر | $4d_b$       | $4d_b$      | $2.5d_b$ |

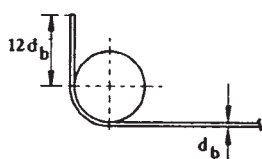
ج) قطر داخلی خم ها در شبکه های سیمی جوش شده ی صاف یا آجدار، وقتی که به عنوان آرماتور عرضی به کار برده می شوند، نباید کم تر از  $4d_b$  برای سیم های آجدار به قطر ۷ میلی متر و بیش تر، و کم تر از  $2d_b$  برای سایر سیم ها باشد. خم های با قطر داخلی کم تر از  $8d_b$  نباید از نزدیک ترین گره جوش شده فاصله ای کم تر از  $4d_b$  داشته باشد.

جزئیات ضوابط مذکور در شکل ۴-۶ نیز نشان داده شده است.

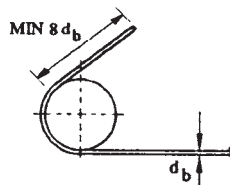
۱- اعداد بعد از S بیانگر حداقل مقاومت مشخصه ی فولاد بر حسب  $N/mm^2$  می باشند. میلگردهای فولادی بر اساس مقاومت مشخصه طبقه بندی می شوند.



خم انتهایی ۱۸۰ درجه  
(قلاب انتهایی)

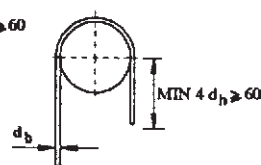
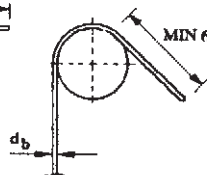
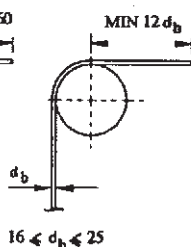
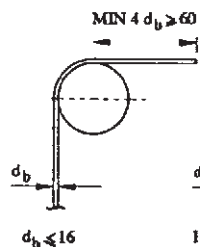


خم انتهایی ۹۰ درجه  
(گونیا)



خم انتهایی ۴۵ درجه  
(چنگک)

قلاب‌های استاندارد برای میل‌گرد (به جز خاموت‌ها)



قلاب‌های استاندارد برای خاموت‌ها

شکل ۴-۶- قلاب‌های استاندارد



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

## ۴-۶ 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 ۴-۵ است. در این جدول وضعیت محیطی در حالات مختلف بدین گونه تعریف می‌شود.

۱- 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.

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

۳- 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.

۴- 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.

۵- 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.



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.

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 ۴-۵ کم‌تر باشد.

جدول ۴-۵- مقادیر حداقل پوشش بتنی روی میل‌گرد به میلی‌متر

| نوع قطعه                    | نوع وضعیت محیطی |       |      |            |                 |
|-----------------------------|-----------------|-------|------|------------|-----------------|
|                             | ملازم           | متوسط | شدید | بسیار شدید | فوق العاده شدید |
| تیرها و ستون‌ها             | ۳۵              | ۴۵    | ۵۰   | ۶۵         | ۷۵              |
| دال‌ها - دیوارها - 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<sup>۱</sup> 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.

#### ۴-۷- 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. به عنوان یک دستور کلی باید از وصله‌ی میل‌گردها در نواحی حداکثر تنش، خودداری نماییم و در صورتی که مجبور به این عمل شدیم، بهتر است که همه‌ی میل‌گردها را در یک مقطع وصله نکنیم و به صورت یک در میان یا پله‌ای انجام دهیم. روش‌های متداول برای وصله‌ی میل‌گردها عبارت است از:

۱- وصله‌های پوششی (تماسی یا غیرتماسی)

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

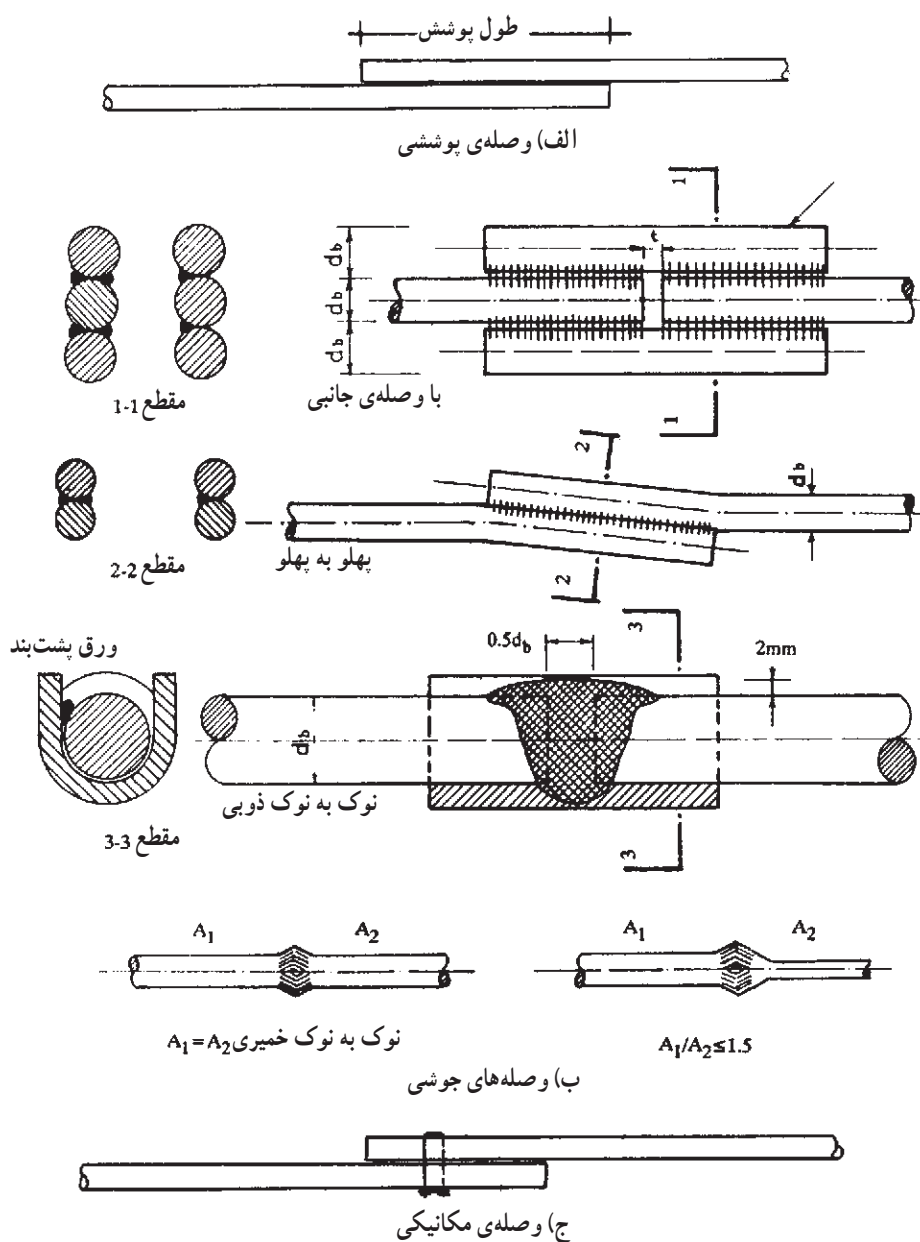
۳- وصله‌های جوشی

۴- وصله‌های مکانیکی

۵- وصله‌های مرکب

در صورت استفاده از هر کدام از انواع فوق باید ضوابط دقیق آیین‌نامه رعایت شود. در شکل ۴-۶ انواع روش‌های متداول برای وصله‌ی میل‌گردها نشان داده شده است.

۱- 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.



شکل ۴-۷- انواع روش‌های وصله‌ی میل‌گردها

#### ۴-۸- 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.



عدم رعایت طول مهار می 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.



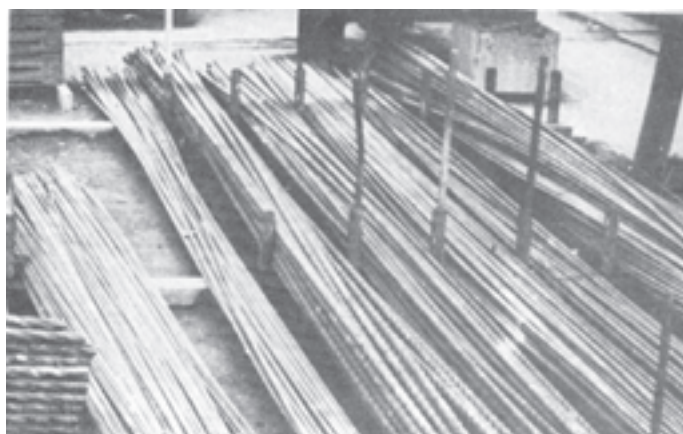
عکس بالا نحوه‌ی اشتباه در آرماتوربندی تیر را نشان می‌دهد. تیر و ستون باید در محل مرکز هندسی‌شان به هم متصل شوند تا از ایجاد نیرویی خارج از مرکز آن‌ها و به تبع آن ممان خمشی اضافی جلوگیری شود. از آن‌جا که ستون برای این ممان خمشی اضافی طرح نمی‌شود، در هنگام وقوع زلزله می‌تواند عامل خرابی گردد.

مقاومت مشخصه‌ی میل گرد وقتی قابل قبول تلقی و منطبق بر طبقه‌ی مورد نظر شناخته می‌شود که علاوه بر حد جاری شدن، شکل پذیری لازم را هم داشته باشد. آزمایشات مربوط به میل گرد‌ها در آیین‌نامه‌ی آبا ذکر شده است.

#### ۹-۴- حفاظت و انبار کردن میل گرد‌ها

به علت جذب رطوبت محیط به وسیله‌ی میل گرد‌های فلزی و اکسید شدن فلز آهن و همچنین کم‌تر شدن قطر مؤثر میل گرد فولادی که باعث کاهش مقاومت سازه‌ی بتنی می‌شود، لازم است میل گرد‌های فولادی در محیطی خشک و سربوشیده عاری از رطوبت و گل و خاک نگهداری شوند. قبل از مصرف لازم است از طریق برس زدن یا پاک کردن مکانیکی، سطح فلز از زنگ پاک شود تا چسبندگی بتن و فولاد در حد مطلوب صورت گیرد. زنگ زدایی میل گرد ممکن است به طریق «سندبلاست»<sup>۱</sup> (ماسه پاشی روی فلز) نیز انجام شود.

انبار کردن میل گرد‌ها باید براساس قطر و اندازه‌ی آن‌ها و به صورت منظم و مجزا باشد (شکل ۸-۴) این روش موجب تسریع در کار می‌شود، زیرا گروه برشکار و آرماتوربند به راحتی می‌توانند میل گرد‌های مورد نیاز را انتخاب کنند. برای جلوگیری از نفوذ رطوبت زمین سعی می‌کنند میل گرد را در ارتفاع مناسبی از سطح زمین قرار دهند؛ به گونه‌ای که با گل و روغن و سایر آلودگی‌ها در تماس نباشد. افزون بر آن، تمیزی محل انبار کردن، سبب جلوگیری از زنگ زدگی میل گرد‌ها می‌شود. میل گرد‌ها باید به روشی حمل و انبار شوند که دچار خمیدگی بیش از حد نشوند.



شکل ۸-۴- نحوه‌ی صحیح نگهداری میل گرد‌ها

<sup>۱</sup> Sand blast

## پرسش

۱- علل مصرف فولاد در بتن چیست؟

۲- کاهِ گل، یکی از مصالح رایج در ساختمان‌های قدیمی بوده است، به نظر شما چرا از کاه استفاده می‌شده است؟

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

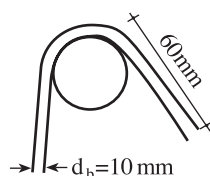
۴- یکی از دلایل ضعف تیرهای بتنی در بعضی از ساختمان‌های بتنی آسیب‌دیده در زلزله‌ی بم، استفاده از میل‌گردهای ساده به جای میل‌گردهای آجدار بوده است، به نظر شما چرا آیین‌نامه‌ها، فقط استفاده از میل‌گردهای آجدار را برای میل‌گردهای اصلی، مجاز می‌دانند؟

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

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

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

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



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

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

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



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 بیابیم 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 :

- ۱- اعضای مختلف یک ساختمان بتنی را نام ببرد ؛
- ۲- انواع شالوده‌ها را نام ببرد و کاربرد هر یک را شرح دهد ؛
- ۳- نحوه‌ی میل‌گردگذاری شالوده‌ها را توضیح دهد ؛
- ۴- عملکرد شناژ رابط بین فونداسیون‌ها را توضیح دهد ؛
- ۵- نقش ستون در ساختمان بتنی را توضیح دهد ؛
- ۶- انواع ستون بتنی را نام ببرد ؛
- ۷- نحوه‌ی میل‌گردگذاری ستون‌ها و ضوابط آیین‌نامه‌ای آن‌ها را بیان کند ؛
- ۸- نحوه‌ی میل‌گردگذاری تیرها را بیان کند ؛
- ۹- عملکرد شناژهای قائم و افقی را در ساختمان‌های با مصالح بنایی توضیح دهد ؛
- ۱۰- دال را تعریف کرده و نقش آن‌را در ساختمان بتنی بیان کند ؛
- ۱۱- انواع دال بتنی را نام ببرد ؛
- ۱۲- انواع دیوارهای بتنی را نام ببرد و کاربرد هر یک را شرح دهد.

### ۵-۱- 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 جوش دادن، پرچ کردن، پیچ کردن 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 به وجود بیاید.  
در این فصل با انواع مختلف اعضای تشکیل دهنده‌ی ساختمان‌های بتنی آشنا می‌شویم و ضوابط خاص آن‌ها را فرا می‌گیریم.

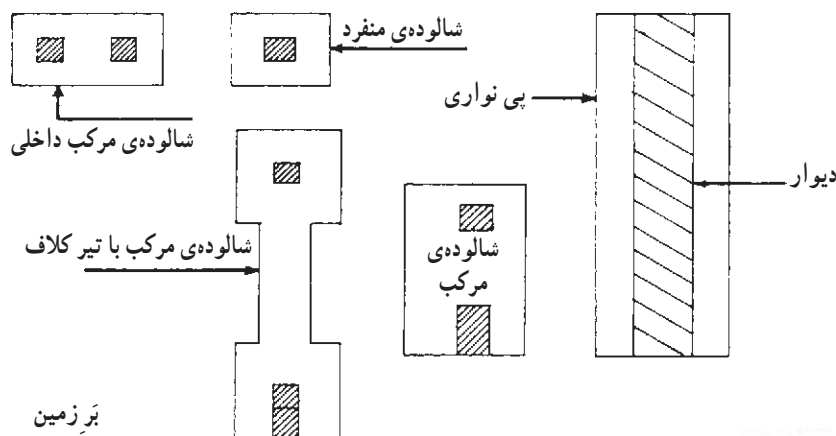
## ۵-۲- فونداسیون و شناژ

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.

۵-۲-۱- انواع شالوده‌ها: شالوده‌ها در حالت کلی به شالوده‌های دیوار و ستون تقسیم‌بندی می‌شوند. شالوده‌ی دیوار، یک نوار از بتن 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 دوزنقه نیز داشته باشند. شالوده‌های مرکب، برای انتقال بار 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 ۵-۱ تا ۵-۳ بعضی از انواع شالوده‌ها را مشاهده می‌کنید.)



شکل ۵-۱- انواع شالوده‌ها



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

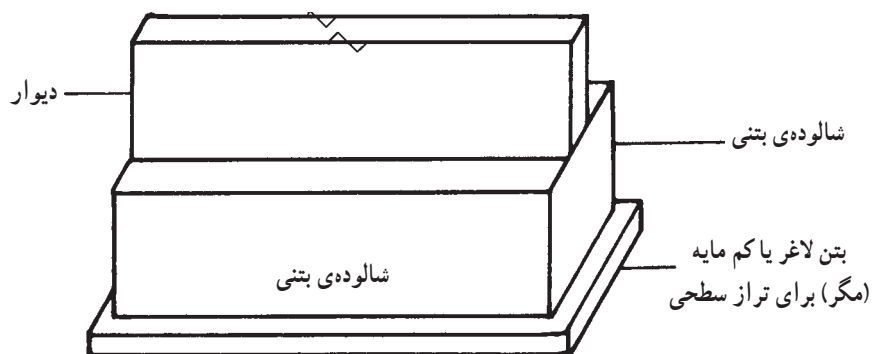


نمایی از یک فونداسیون گسترده (رادیه) مربوط به یک مجتمع مسکونی ۲۰ طبقه در حال آرماتوربندی

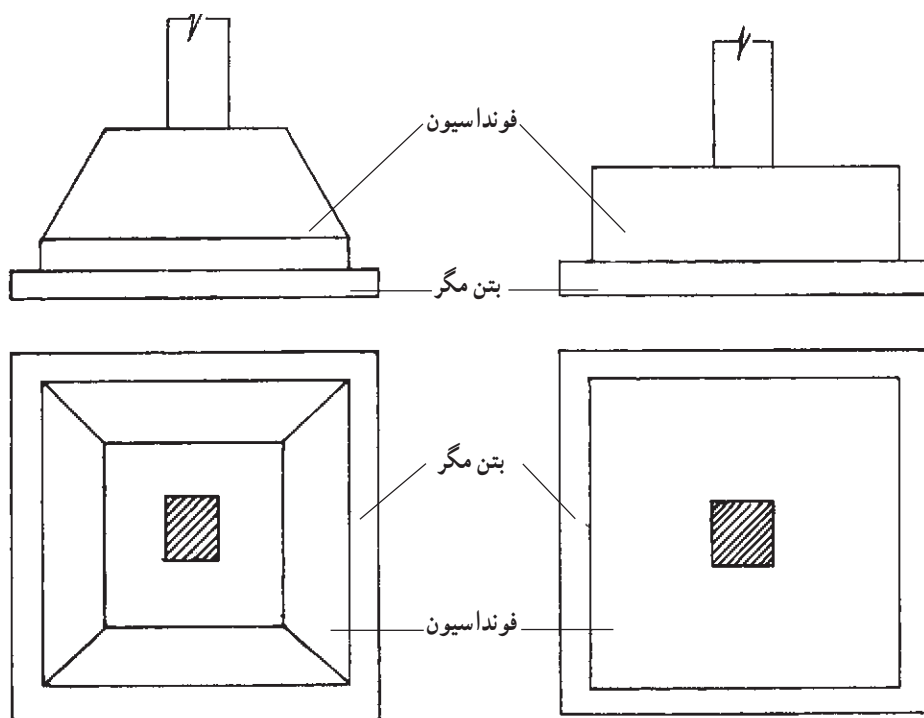




نمایی از خرک‌ها و میل‌گردهای یک  
فونداسیون گسترده



شکل ۵-۲- فونداسیون نواری

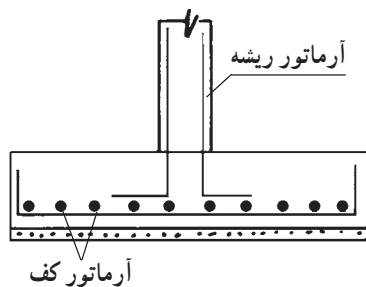


(ب) مقطع دوزنقه‌ای

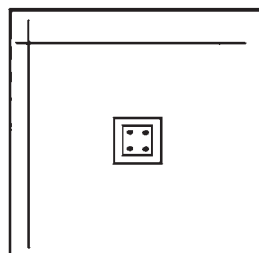
(الف) مقطع مستطیلی

شکل ۵-۳- فونداسیون منفرد با نمایش مقاطع افقی و عمودی

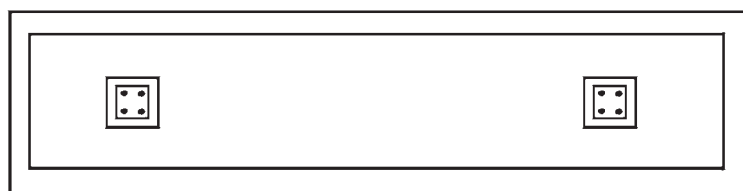
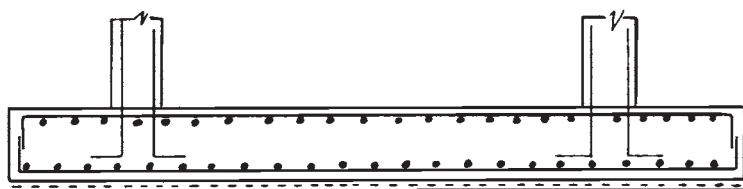
**۵-۲-۲- میل‌گردگذاری شالوده‌ها:** در عمل، میل‌گردها به صورت شبکه‌ای در کف شالوده قرار داده می‌شوند (با احتساب فاصله‌ی پوشش بتن). برای ایجاد چسبندگی بیشتر و انتقال مناسب‌تر نیرو بین فولاد و بتن در کناره‌های فونداسیون، میل‌گردهای شبکه با خم ۹۰ درجه به طول معین، شکل داده می‌شوند. شکل ۵-۴ چند نمونه از میل‌گردگذاری شالوده‌ها را نشان می‌دهد.



شکل میل‌گردهای به کار رفته در کف  
به صورت شبکه



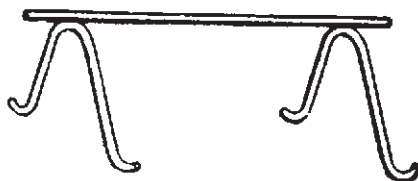
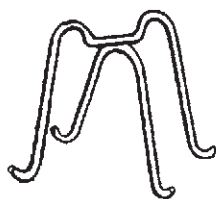
الف) فونداسیون ساده



ب) فونداسیون مرکب

شکل ۵-۴- 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 ۵-۵).



شکل ۵-۵- خرک برای قرار دادن میل‌گردها



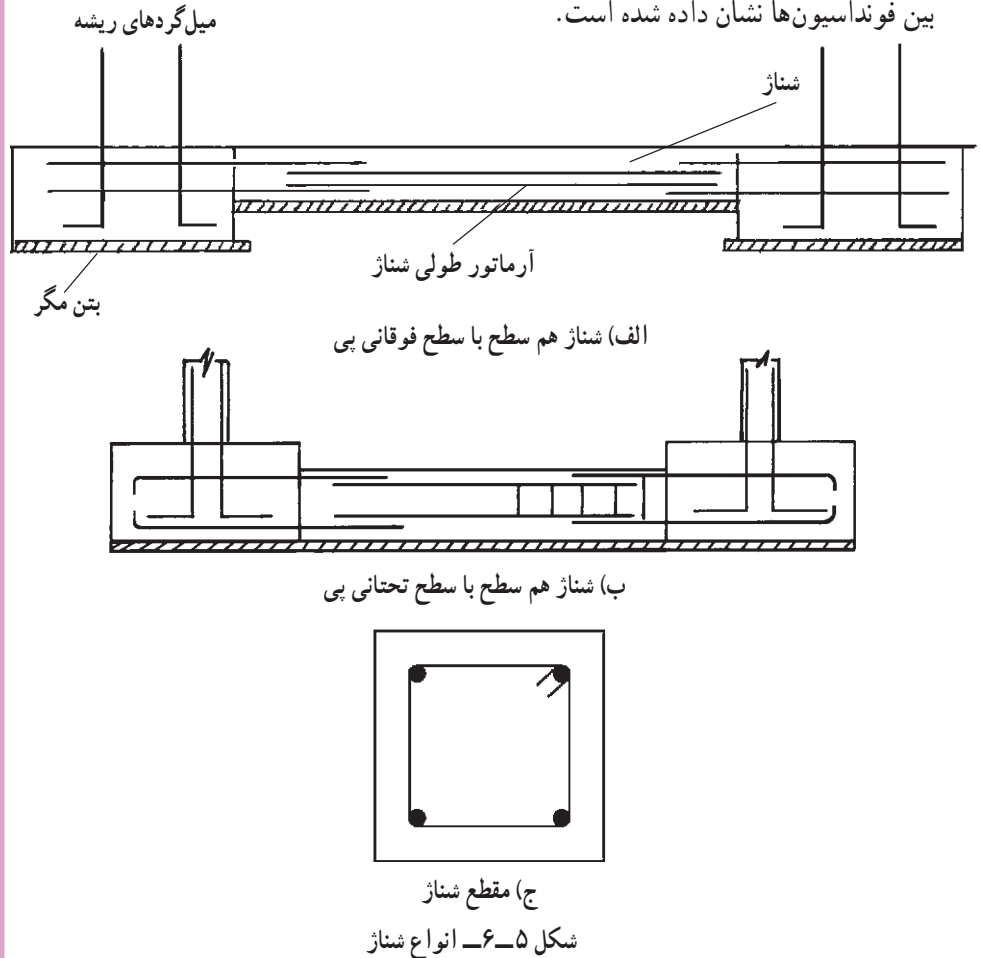
یک پل که به علت طراحی نامناسب فونداسیون و در نظر نگرفتن شرایط خاک زیر آن، در اثر زلزله، پایه‌های آن فرو ریخته و چند دهانه‌اش ویران شده است.



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

## ۵-۲-۳- 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 ۵-۶ انواع مختلف شناژ رابط بین فونداسیون‌ها نشان داده شده است.



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.

### ۵-۳- 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 به وسیله‌ی بتن تحمل شود. اما به دلایل مختلف همیشه در ستون‌های بتنی از میل‌گرد استفاده می‌شود.

۵-۳-۱- انواع ستون: از نظر شکل مقطع، انواع ستون‌ها عبارت‌اند از:

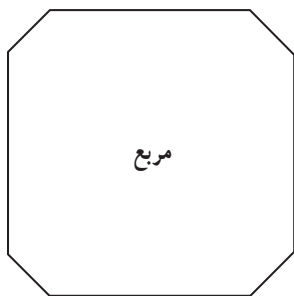
۱- ستون‌های با مقطع مربع

۲- ستون‌های با مقطع مستطیل

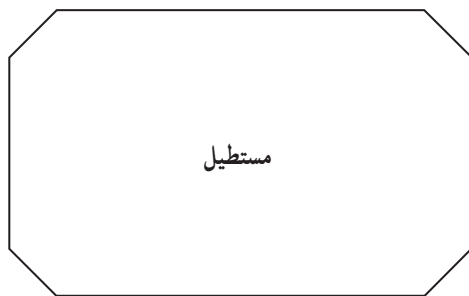
۳- ستون‌های با مقطع چندضلعی منتظم (شش ضلعی، هشت ضلعی و ...)

۴- ستون‌های با مقطع دایره

انواع فوق در شکل ۵-۷ 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.



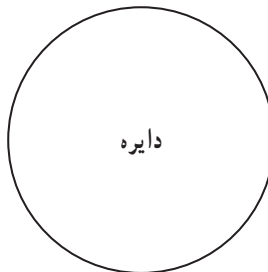
مربع



مستطیل



۶ ضلعی منتظم



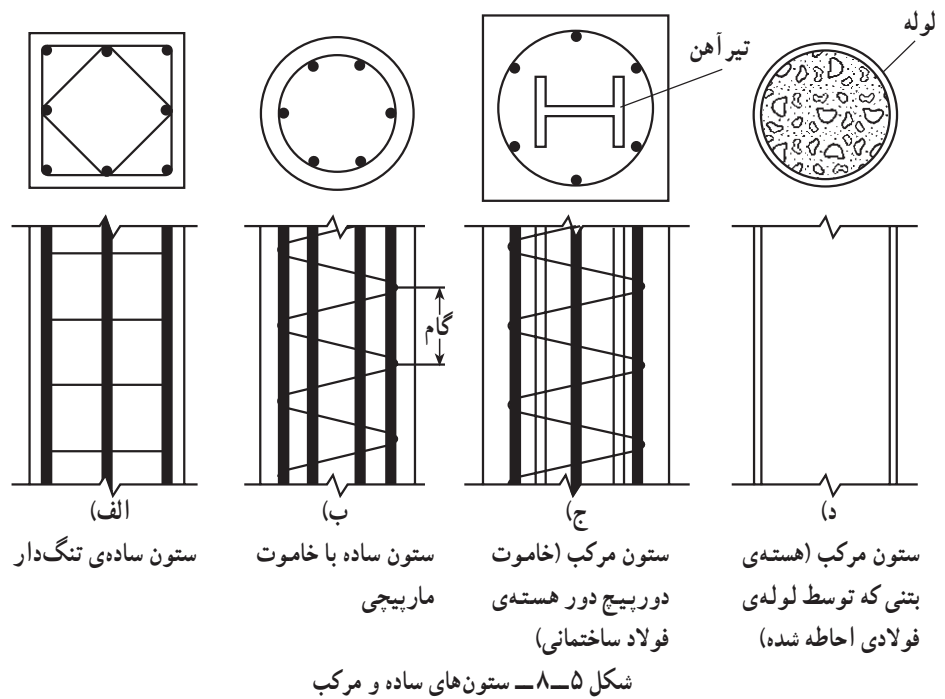
دایره

شکل ۵-۷- مقاطع مختلف ستون‌های بتنی

از نظر نحوه‌ی مسلح کردن ستون بتنی، ستون‌ها یا ساده‌اند و یا مرکب. شکل ۵-۸ چند نمونه از این ستون‌ها را نشان می‌دهد. در ستون‌های مرکب به جای میل‌گرد یا توأم با میل‌گرد از مقاطع فولادی نظیر تیر آهن‌ها و یا قوطی‌ها و ... نیز استفاده می‌شود.

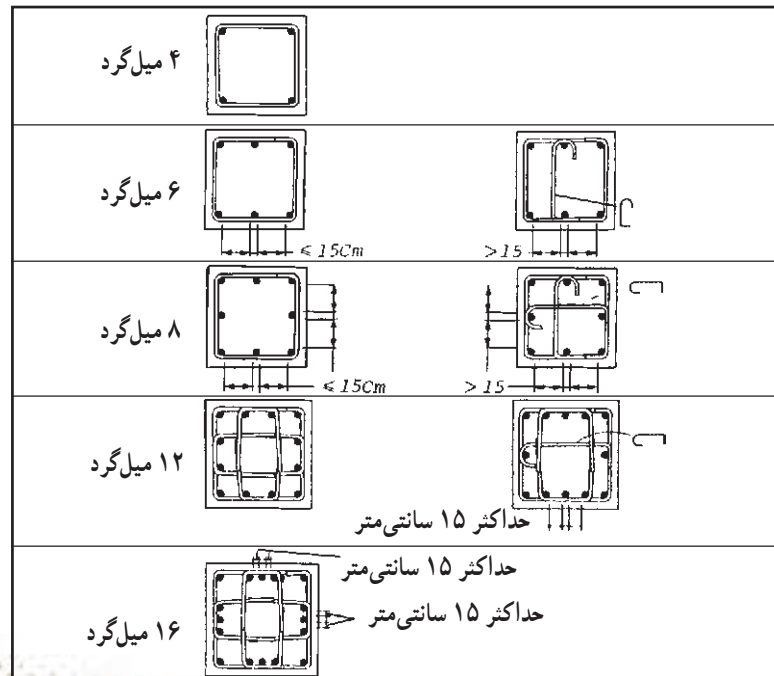


سازه‌ی بتنی که در اثر زلزله ستون‌های آن از محل خود خارج شده و موجب تخریب کلی سازه شده است. اتصالات نامناسب تیر و ستون و ضعف طراحی موجب این خرابی شده است.



### ۵-۳-۲- 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 کار گرفته 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 ۵-۹ نشان داده شده است.



شکل ۵-۹- انواع معمول آرایش تنگ‌ها و میل‌گردها در ستون



تخریب کامل ستون بتنی در برابر نیروی زلزله

ج) قطر خاموت‌ها نباید کم‌تر از مقادیر زیر اختیار شود :  
 - یک سوم قطر بزرگ‌ترین میل‌گرد طولی (برای میل‌گردهای طولی با قطر حداکثر ۳۰ میلی‌متر)  
 - ۱۰ میلی‌متر برای میل‌گردهای طولی با قطر بیش از ۳۰ میلی‌متر و نیز برای گروه میل‌گردهای در تماس<sup>۱</sup>.

- 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 :  
 - ۱۲ برابر قطر کوچک‌ترین میل‌گرد طولی اعم از این که منفرد باشد یا عضوی از گروه میل‌گردهای در تماس به شمار آید.

- ۳۶ برابر قطر میل‌گرد خاموت.  
 - کوچک‌ترین بعد عضو فشاری.  
 - ۲۵ 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 :

- هر میل‌گرد واقع در گوشه‌های عضو  
 - هر میل‌گرد غیرواقع در گوشه به صورت حداکثر یک در میان  
 - هر میل‌گردی که فاصله‌ی آزاد آن تا میل‌گرد نگهداری شده‌ی مجاور بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

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

۱- ماریچ‌ها از میل‌گردهای با سیم‌های پیوسته ساخته شوند.  
 ۲- قطر میل‌گردها یا سیم‌های مصرفی در ماریچ‌ها نباید از ۶ میلی‌متر کم‌تر باشد.  
 ۳- گام ماریچ‌ها (فاصله‌ی آزاد بین میل‌گردها یا سیم‌ها) نباید از ۷۵ میلی‌متر بیش‌تر و از ۲۵ میلی‌متر کم‌تر باشد.

۴- گام ماریچ نباید از  $\frac{1}{6}$  قطر هسته‌ی بتنی داخل ماریچ بیش‌تر باشد.  
 ۵- در هر طبقه، ماریچ‌ها باید از روی شالوده یا دال تا تراز پایین‌ترین میل‌گردهای طبقه‌ی فوقانی ادامه یابند.

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

۷- ماریچ‌ها را باید محکم در جای خود نگهداری کرد و یا به وسیله‌ی فاصله‌نگهدارهای مناسب در جای خود تنظیم و تثبیت نمود.

۱- 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.



چنانچه در تصویر مشخص است، بتن پای ستون کاملاً خرد و ریخته است. این مسئله نشان می‌دهد که کیفیت بتن نامناسب بوده و بتن بای ستون با قطعه‌ای 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.

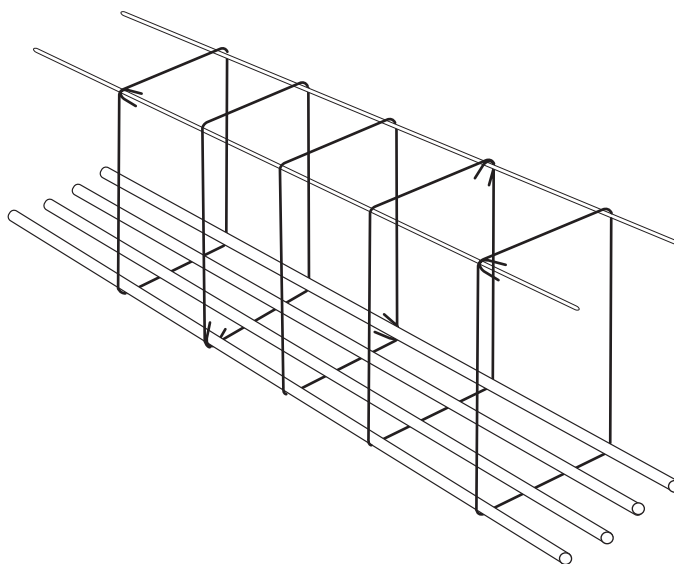
و) میلگردهای انتظار خم شده‌ی ستون‌ها در محل تغییر مقطع باید دارای شرایط زیر باشند:

- ۱- شیب قسمت مایل میلگردهای خم شده نسبت به محور ستون نباید از ۱ به ۶ بیش‌تر باشد.
- ۲- خم کردن میلگردهای انتظار باید قبل از قالب‌بندی انجام پذیرد.

- ۳- 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.

## ۴-۵- 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 به وسیله‌ی میلگردهای مسلح‌کننده و فشار ناشی از خمش به وسیله‌ی بتن ناحیه‌ی فشاری تحمل می‌شود (در حالی که 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 ۵-۱۰). تعداد دقیق میلگردها پس از محاسبات طراحی مشخص می‌شود.

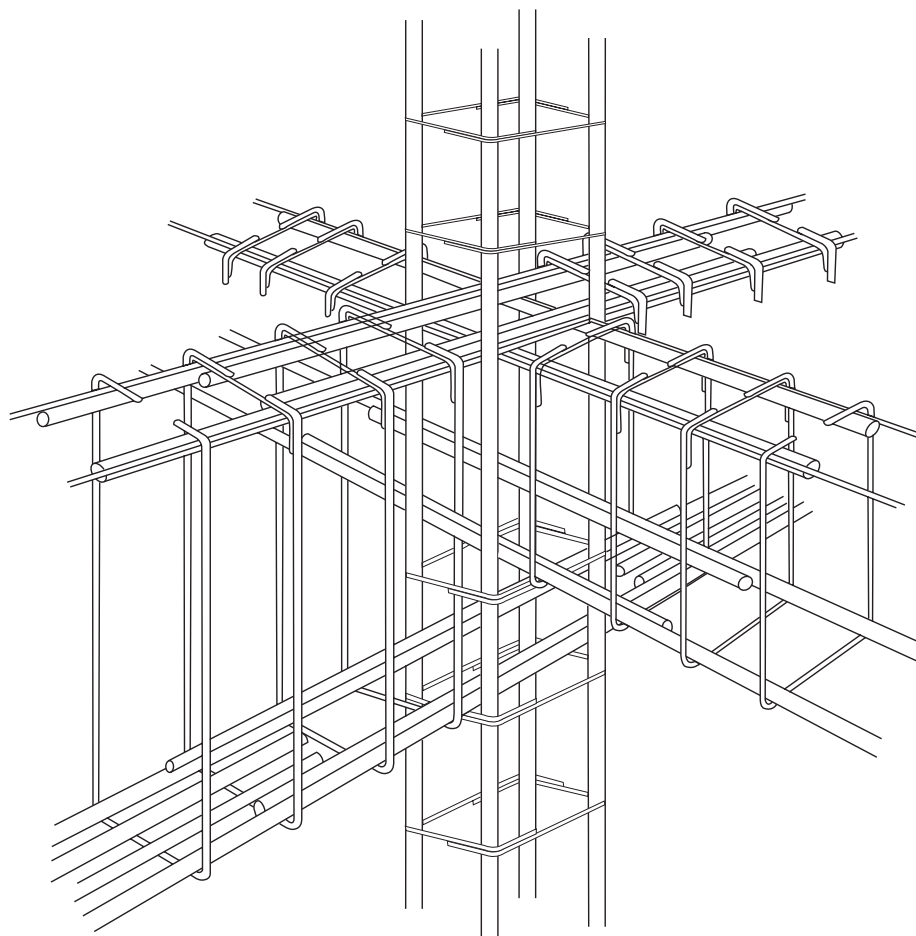


شکل ۵-۱۰- جزئیات میلگرد گذاری در یک تیر

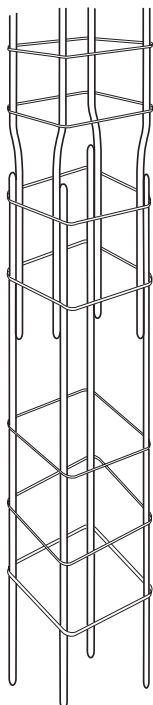
شکل ۵-۱۱ نحوه‌ی اتصال شبکه‌های میلگرد در یک اتصال مرکب تیر به ستون را نشان می‌دهد. باید دقت کرد که میلگردهای ستون پایینی در امتداد خود بدون خم شدن تا قسمت بالایی تیر ادامه پیدا کند (شکل ۵-۱۲).



در این ساختمان عدم وجود میل گرد 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 این جا دچار آسیب شود. همچنین عدم تأمین اتصال کافی بین دیوارها و نمای ساختمان با سیستم سازه‌ای موجب فرو ریختن آن‌ها شده است.



شکل ۵-۱۱- نحوه‌ی اتصال شبکه‌های میل گرد در یک اتصال مرکب تیر و ستون



شکل ۵-۱۲- جزئیات وصله‌ی آرماتورها در ستون در محل اتصال تیر به ستون

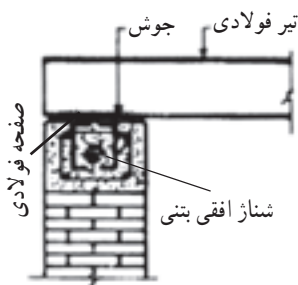


دلایل تخریب این ساختمان را، که متعلق به اورژانس بیمارستان می باشد، می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- عدم اتصال مناسب بین تیر آهن سقف و کلاف بتنی زیر آن  
۲- اجرای کلاف افقی طولانی بدون کلاف قائم

۳- عدم رعایت فواصل صحیح خاموت ها در اجرای کلاف افقی  
۴- وجود بازشوهای بزرگ.

همان طور که در عکس مشخص است، سقف از روی دیوار لغزیده و فرو ریخته است. برای جلوگیری از خرابی ها باید اتصال آن ها چنین باشد.



این ساختمان دارای کلاف قائم بوده ولی کلاف افقی و سقف آن قبل از وقوع زلزله اجرا نشده بود همان طور که از عکس برمی آید، وجود کلاف های قائم بدون کلاف های افقی، تقریباً بی معنی است و کم اهمیت می باشد. انتظار می رود انحراف کلاف های قائم در جهت عمود بر جهت زلزله، کم تر از مقداری باشد که در عکس دیده می شود.

## ۵-۵- سنارهای قائم و افقی در ساختمان های با مصالح بنایی

### ۵-۵-۱- سنار قائم: برای مقاوم کردن ساختمان های با مصالح بنایی در مقابل زلزله و

نشست های نامتقارن، از سنار قائم استفاده می شود. نقش این سنارها، کلاف کردن سنارهای تحتانی و فوقانی ساختمان و ایجاد ارتباط کامل بین اعضای تحمل کننده ی بارهای فشاری است.

برای اجرای سنار قائم، ابتدا در پی، ریشه هایی به منظور آرماتورهای سنار تعبیه می شود.

پس از اجرای دیوار و ایجاد فضایی برای سنار قائم، به وسیله ی چهار میل گرد طولی، اتصال به میل گردهای انتظار برقرار می شود و پس از تکمیل و اجرای کامل میل گردهای طولی و نگهدارنده های عرضی (خاموت ها) با بستن دو طرف دیگر سنار، بتن ریزی انجام می گیرد (می دانیم که دو ضلع دیگر به وسیله ی دیوارها احاطه شده است). میل گردهای سنار قائم در محل اتصال با سنارهای افقی به اندازی لازم و طول استاندارد در نظر گرفته شده و همانند میل گردهای انتظار عمل می کنند.

در سنارهای قائم غالباً از بتن با عیار حداقل  $300 \text{ kg/m}^3$  استفاده می شود. همانطور که ذکر شد، در اجرا از دو دیوار جانبی به عنوان قالب های ثابت استفاده می شود که در این صورت، برای بتن ریزی تنها به دو صفحه ی قالب در دو طرف حفره نیاز است. بتن ریزی سنارها در هر طبقه به نحوی اجرا می شود که به راحتی بتوان اتصال لازم را با قسمت بعدی یا طبقه ی فوقانی برقرار کرد. برای بتن ریزی طبقه ی بالاتر، ابتدا سطح بتن قبلی را با برس سیمی قدری خشن کرده، پس از تمیز کردن، آن را کاملاً مرطوب نموده و سپس بتن ریزی را آغاز می کنیم. برخی اوقات از مواد افزودنی چسبی نیز استفاده می گردد.

### ۵-۵-۲- سنار افقی: سنار افقی در واقع یک کلاف بتنی است که بر روی دیوار با

مصالح بنایی (زیر سقف و روی تمام دیوارهای باربر) اجرا می شود. ابعاد این کلاف معمولاً  $30 \times 20$  یا  $40 \times 30$  سانتی متر است و غالباً از بتن با عیار  $300 \text{ kg/m}^3$  ساخته می شود.

عملکرد سنار افقی به این صورت خلاصه می شود:

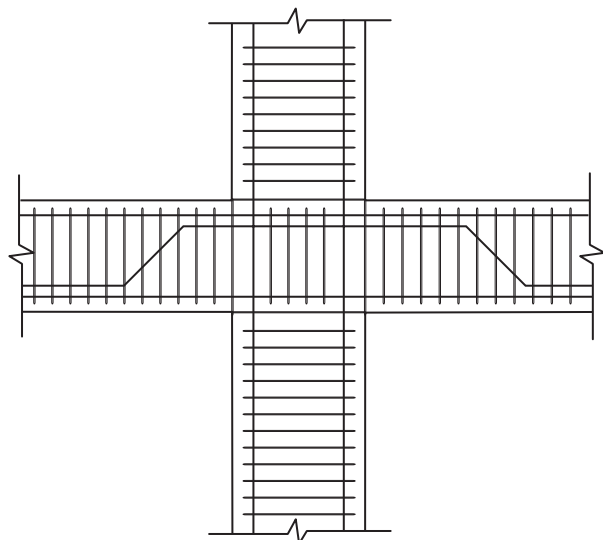
#### ۱- اتصال کامل با سنار قائم و در نتیجه، ایجاد مقاومت بیش تر در برابر نیروهای جانبی

(باد، زلزله و ...) و نشست های نامتقارن

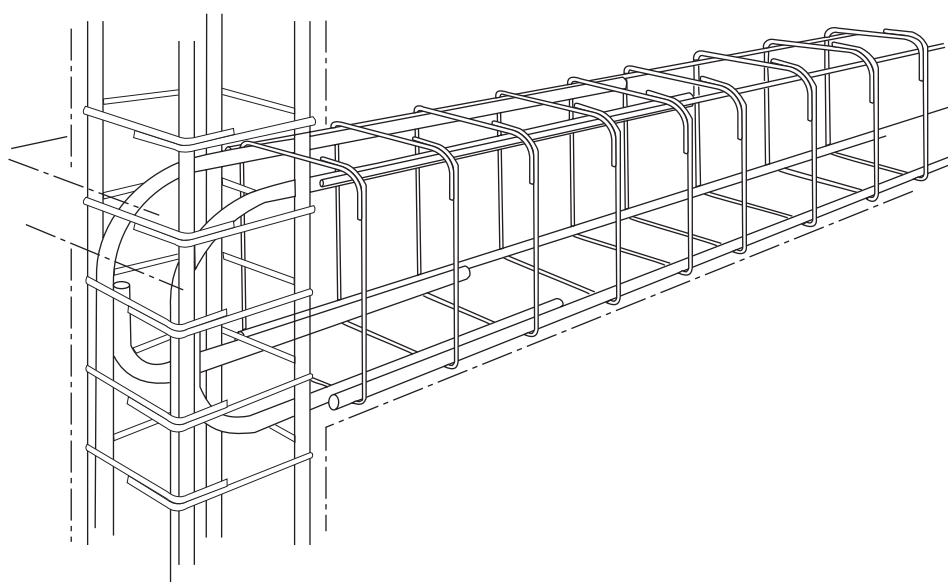
#### ۲- تسهیل در اجرای پوشش سقف

سنار افقی مانند یک تیر یکسره است که در محل برخورد سنار قائم، دارای ممان منفی

است، در نتیجه موقعیت آرماتورگذاری در مقطع آن تغییر می کند. در شکل ۵-۱۳ آرماتورگذاری در سنار افقی و اتصال آن با سنار قائم به طور شماتیک نشان داده شده است.



الف) شناژ میانی



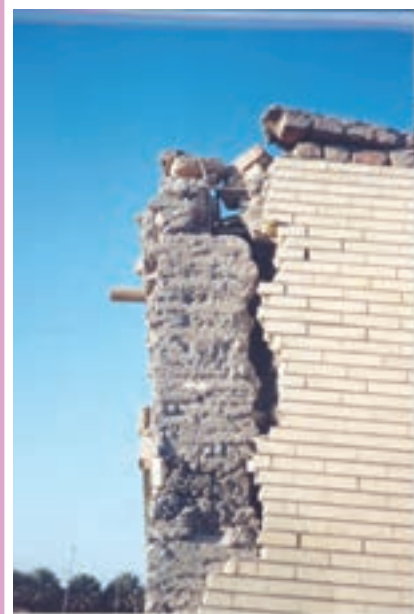
ب) شناژ کناری

شکل ۵-۱۳- اتصال شناژ افقی با شناژ قائم

## ۵-۶- دال

دال، قسمتی از سازه‌ی بتنی است که برای پوشش فوقانی یا تحتانی فضای مورد نظر به کار می‌رود و هدف از ساخت آن جدا کردن فضاهای مختلف از یکدیگر است. شکل ۵-۱۴ 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.

**۵-۶-۱- دال یک‌طرفه:** بارهای وارد بر دال یک‌طرفه فقط در یک جهت حمل می‌شود و آرماتوربندی آن در یک جهت مشخص می‌باشد. جزییات آرماتورگذاری این نوع دال در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است.



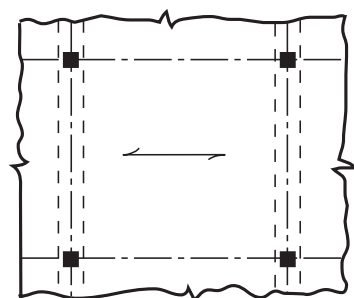
عدم اجرای صحیح شناژهای افقی و قائم و بتن نامرغوب شناژ به شکلی که شناژهای قائم و افقی کاملاً از هم جدا شده‌اند.



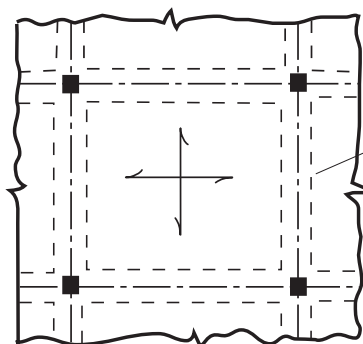
عدم اجرای صحیح شناژهای قائم در ساختمان نیمه‌اسکلت مسجد موجب تخریب ساختمان آن شده است.



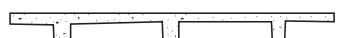
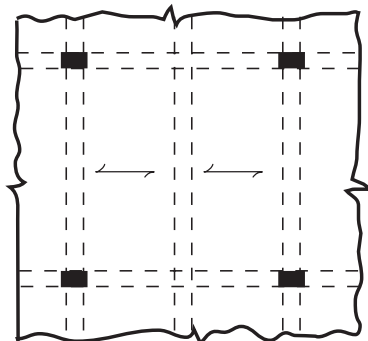
اتصال ضعیف تیرچه‌ها با تیر اصلی موجب جدا شدن آن‌ها از تیر و فرو ریختن سقف شده است.



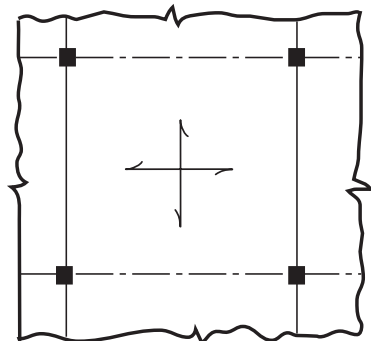
الف) دال یک طرفه



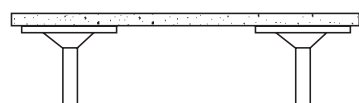
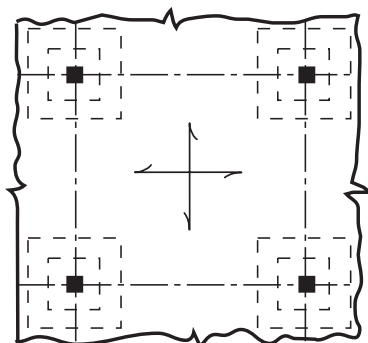
ب) دال دو طرفه



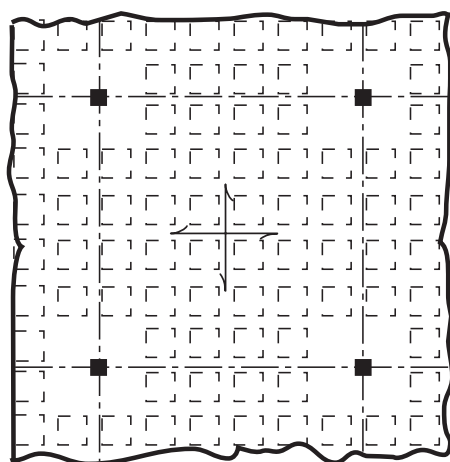
ج) دال یک طرفه با تکیه‌گاه در چهار طرف



د) دال تخت

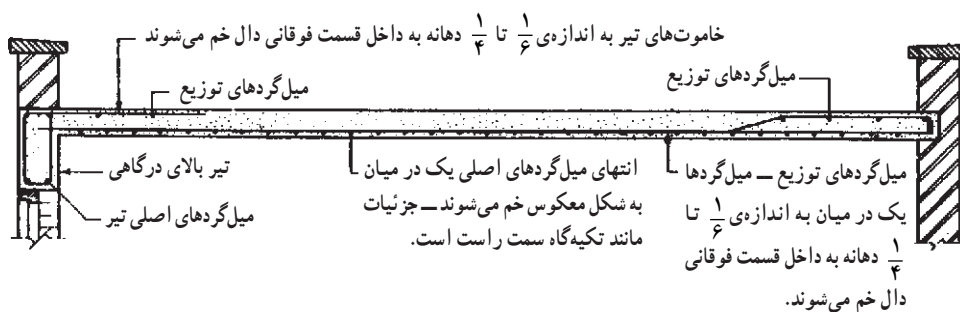


هـ) دال تخت قارچی

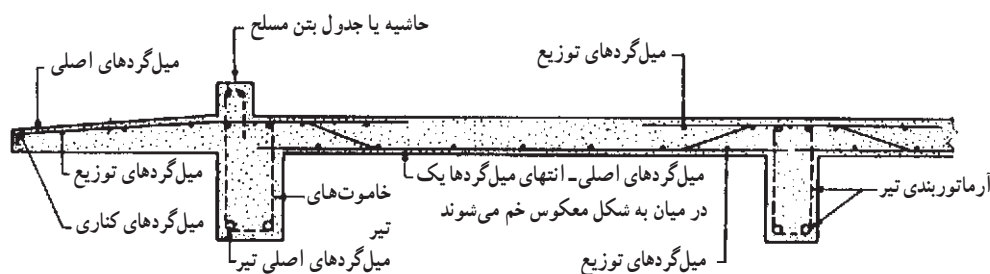


و) دال مجوف

شکل ۵-۱۴- دال‌های بتن مسلح



الف) نمونه‌ی دال بتن مسلح



ب) دال و تیر بتن مسلح طره‌ای

شکل ۵-۱۵- جزئیات آرماتورگذاری‌های یک طرفه

## ۵-۶-۲- 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 به وسیله‌ی دو لایه میل‌گرد عمود بر هم مسلح شوند. ساده‌ترین نوع این دال‌ها (شکل ۵-۱۴-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.

## ۵-۶-۳- 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:

۱- 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.

۲- 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.

۳- 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 ۵-۱۶).



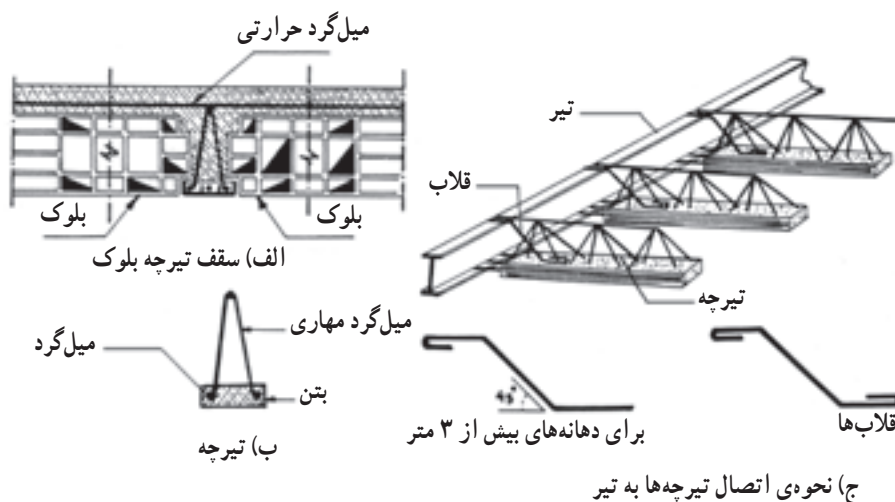
کیفیت نامطلوب بتن در تیر اصلی و عدم اتصال مناسب تیرچه‌ها به آن موجب ریزش سقف شده است.



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 ۵-۱۶- سقف تیرچه بلوک و نحوه‌ی اتصال تیرچه‌ها به تیر

برخی از محاسن سقف‌های تیرچه بلوک عبارت است از :

- ۱- سبکی سقف نسبت به سقف‌های مشابه ؛
  - ۲- مقاومت مطلوب در مقابل نیروهای جانبی (باد و زلزله) ؛
  - ۳- دوام خوب آن در مقابل آتش‌سوزی ؛
  - ۴- عایق بودن در مقابل صوت، حرارت و رطوبت ؛
  - ۵- هموار بودن سطح زیر سقف و سطح روی آن بعد از اتمام عملیات اجرای سقف.
- و برخی از معایب آن به شرح زیر است :
- ۱- طولانی بودن زمان اجرا نسبت به سقف‌های طاق ضربی ؛
  - ۲- نیاز به نیروهای با تخصص و دقت بالاتر جهت اجرای آن ؛
  - ۳- عدم کاربری در دهانه‌های بزرگ ؛
  - ۴- 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.

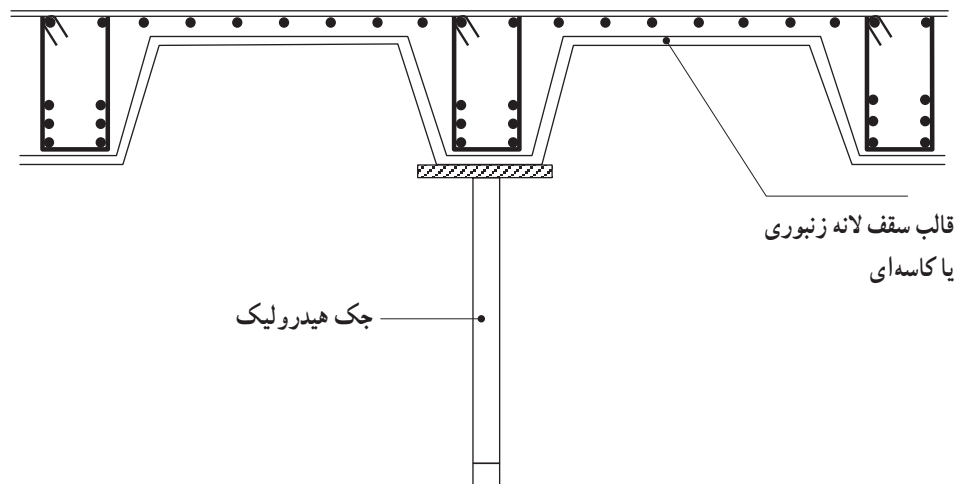
#### ۵-۶-۴- سقف‌های لانه زنبوری (کاسه‌ای)؛ این سقف‌ها از انواع سقف‌های بتنی

هستند که به صورت دال‌های دو طرفه بوده و در دو جهت میل‌گردگذاری می‌شوند. اجرای



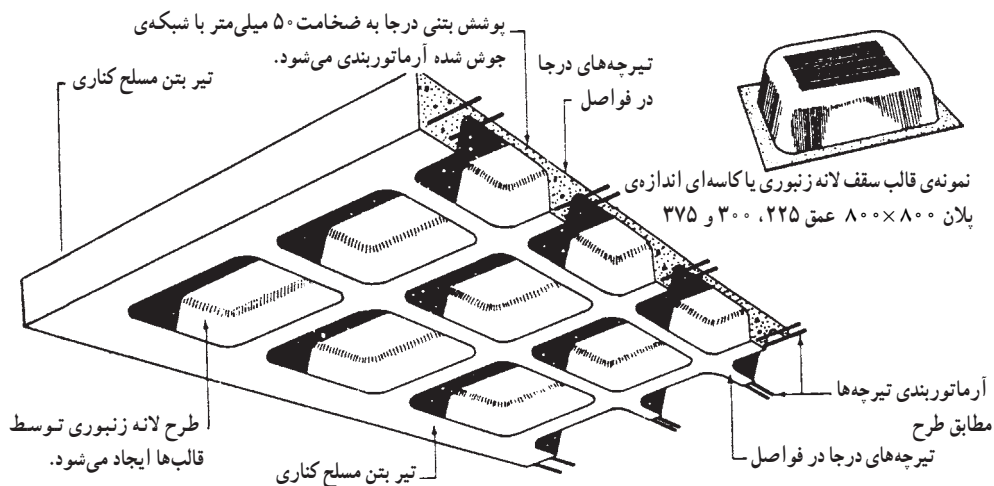
عدم اتصال مناسب تیرچه‌ها با تیر اصلی، موجب جدا شدن آن‌ها از تیر و به تبع آن فرو ریختن سقف شده است.

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 باز کردن قالب، به بتن صدمه‌ای وارد نشود (شکل ۱۷-۵).

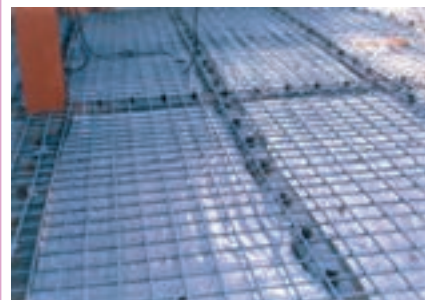


شکل ۱۷-۵- نمایش اجرای قالب‌های سقف لانه زنبوری

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  $\Phi 8$  تا  $\Phi 12$ ) 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 ۱۸-۵).



شکل ۱۸-۵- سقف‌های لانه زنبوری یا کاسه‌ای



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



دال مرکب بتنی پس از بتن‌ریزی

## ۵-۷-۲ دیوار

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

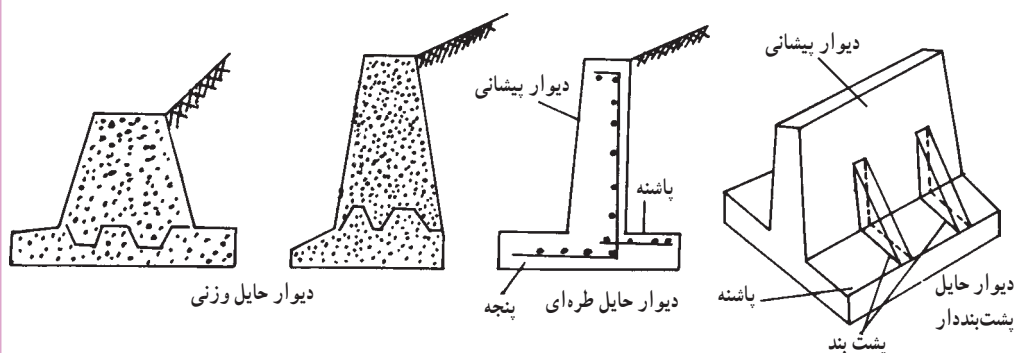
- ۱- دیوارهای حایل،
- ۲- دیوارهای باربر (بار قائم)،
- ۳- دیوارهای زیرزمین،
- ۴- دیوارهای غیر باربر (جدا کننده‌ها و دیوارهای پیرامونی)،
- ۵- دیوارهای برشی (در عمل ممکن است یک دیوار برشی ترکیبی از انواع ۱ الی ۴ نیز باشد).

### ۵-۷-۱- دیوار حایل: دیواری است که به منظور پایداری در مقابل فشار جانبی خاک

به کار می‌رود. در اکثر حالت‌ها عامل پایداری، وزن دیوار است (شکل ۵-۱۹).



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



شکل ۵-۱۹- انواع مختلف دیوار حایل

### ۵-۷-۲- دیوار باربر: دیواری است که علاوه بر وزن خود، نیروی خارجی قائمی را

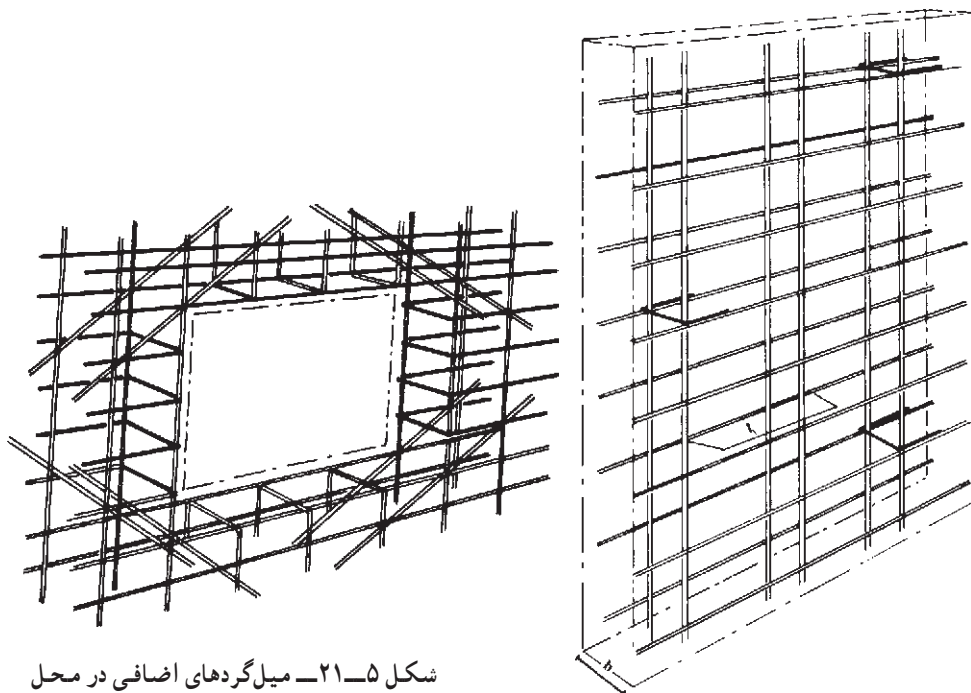
تحمل می‌کند که ناشی از عکس‌العمل سقف یا نظایر آن است. با توجه به اهمیت این دیوارها، ضوابط خاصی برای آن‌ها تدوین شده که مهم‌ترین آن‌ها به این شرح است:

- ۱- دیوارها باید برای بارهای خارج از مرکز و هرگونه بار جانبی که در معرض آن قرار می‌گیرد، طراحی شوند.
- ۲- دیوارها باید به اعضای متقاطع با آن‌ها مانند کف‌ها، بام‌ها، ستون‌ها و پایه‌ها، پی‌ها و ... مهار شوند.

- ۳- 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 ۵-۲۰ و ۵-۲۱).



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

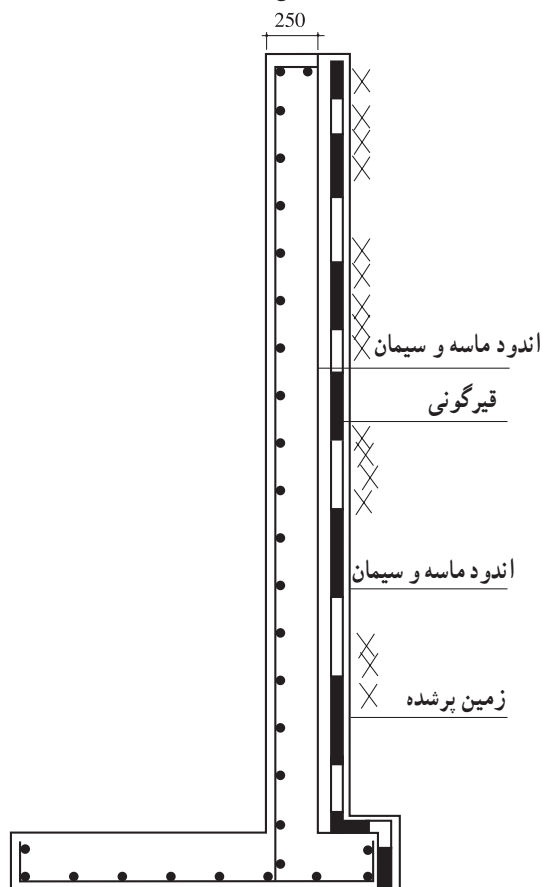


شکل ۵-۲۱- میلگردهای اضافی در محل

بازشوی دیوار باربر

شکل ۵-۲۰- آرماتورگذاری دیوار باربر

۵-۷-۳ دیوار زیرزمین: دیوار زیرزمین، در واقع نوعی دیوار حایل است که علاوه بر فشار جانبی خاک، نیروهای قائم را نیز تحمل 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 ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۲- 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.



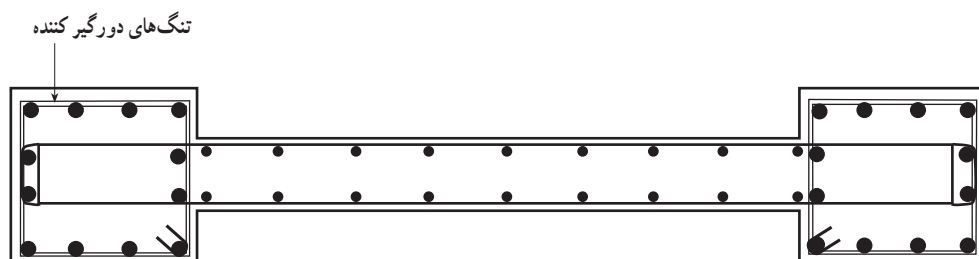
واژگونی ستون در اثر ناکافی بودن سطح  
آرماتور در پای ستون

#### ۵-۷-۴ دیوار غیر باربر: 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 (به جز دیوارهای محوطه). دیوارهای محیطی در طول‌های زیاد نباید بدون تکیه‌گاه‌های جانبی به کار برده شوند.

#### ۵-۷-۵ دیوار برشی: برای مقابله با نیروهای افقی مؤثر (نیروی باد و زلزله) بر

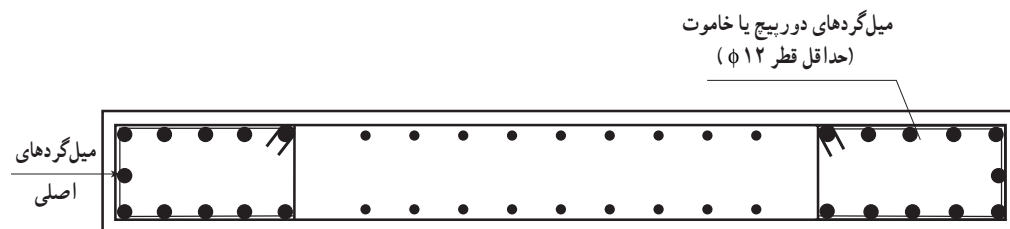
سازه، از این نوع دیوار استفاده می‌شود. دیوارهای برشی را با ملاحظه‌ی ملزومات معماری طرح کرده و در قسمت‌های مختلف پلان ساختمان می‌توان قرار داد، اما باید دقت کافی به عمل آورد که قرار گرفتن آن در پلان تا حد امکان متقارن باشد. در صورتی که میل‌گردهای خمشی در دو لبه‌ی دیوار متمرکز شوند، قابلیت استهلاک انرژی زلزله در دیوار بیش‌تر می‌شود. بهتر است که میل‌گردهای کششی به وسیله‌ی تنگ یا خاموت دور پیچ شوند (شکل ۵-۲۳).



شکل ۵-۲۳- 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 ۵-۲۴).



شکل ۵-۲۴- مقطع دیوارهای برشی با ضخامت ثابت

#### ۵-۸- 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:

$$2h + b = 63 \text{ تا } 64 \text{ سانتی متر}$$

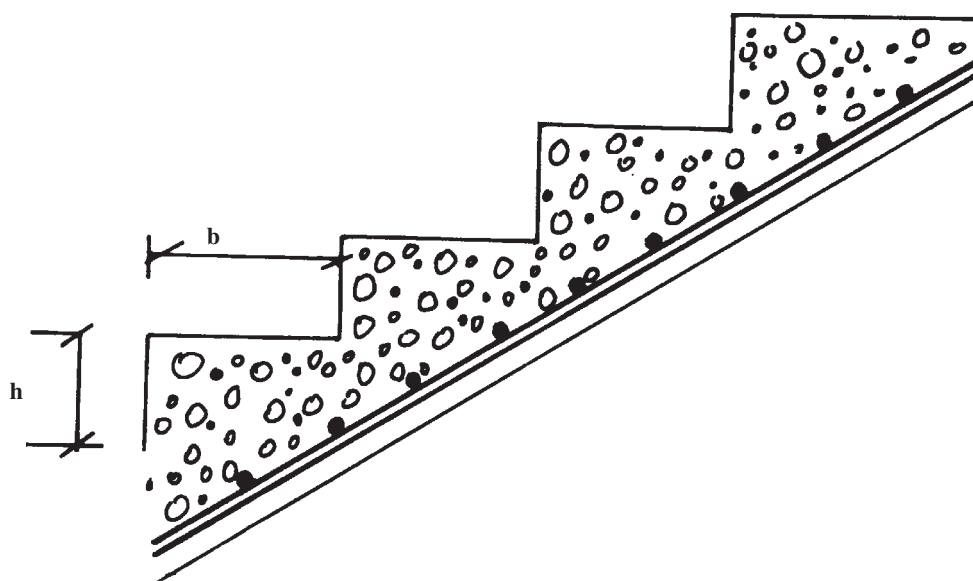
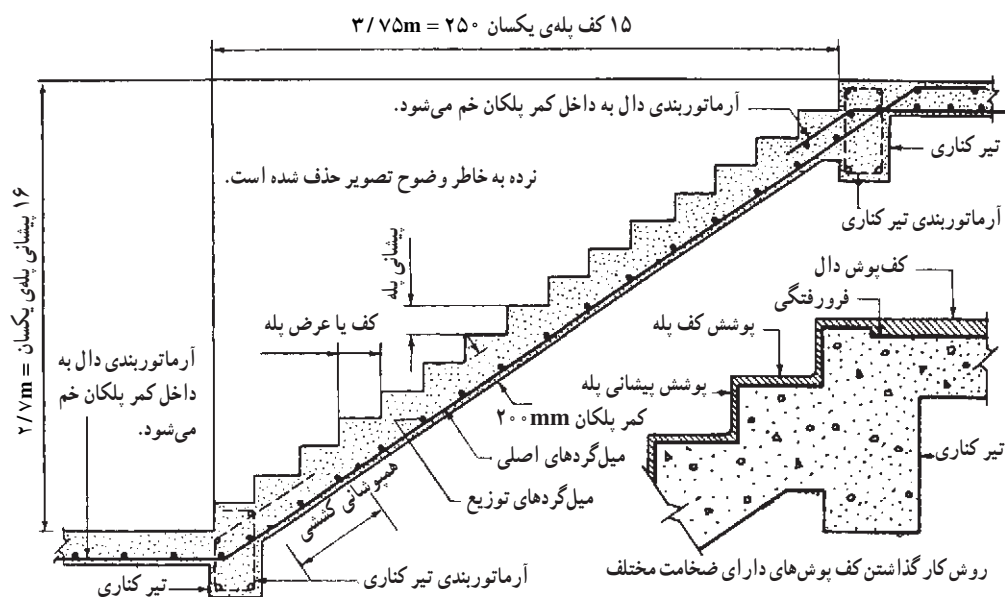
$$h = \text{ارتفاع پاخور پله}$$

$$b = \text{عرض یا کف پله}$$



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

شکل‌های ۲۵-۵ و ۲۶-۵ جزئیات اجرایی پله‌های بتنی را نشان می‌دهند.



شکل ۲۵-۵- جزئیات پله ی بتنی



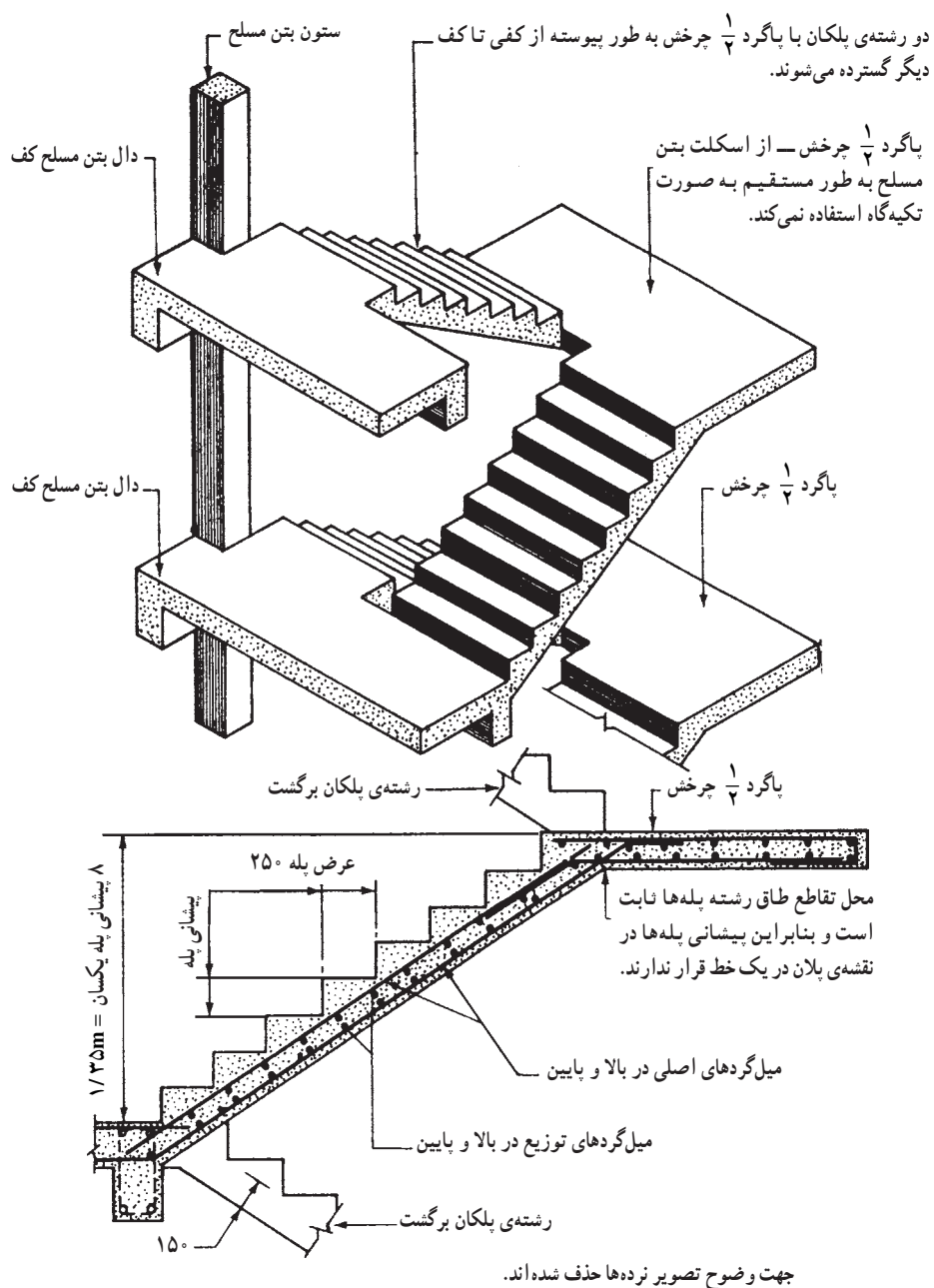
جدا شدن سیستم راه پله از سازه اصلی، با وجود این که ساختمان در حال احداث بوده، قابل تأمل است. علت بروز این مشکل کم بودن تعداد میل‌گردهای طولی در تیرهای مورب راه پله (شمشیری) و عدم تأمین طول مهارت کافی برای آن‌ها بوده است.

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 ۵-۲۶- جزئیات پله‌ی بتنی

## پرسش

- ۱- نقش فونداسیون را در یک سازه‌ی بتنی شرح دهید و انواع آن را نام ببرید.
- ۲- دلیل استفاده از خاموت‌ها در ستون چیست؟
- ۳- در زلزله‌ی ۱۳۸۲ بم، بسیاری از ساختمان‌های با مصالح بتّانی، به دلیل ضعف در اجرا و یا اجرا نکردن شناژهای افقی و قائم، فرو ریخت، به نظر شما شناژهای افقی و قائم چگونه می‌توانند، این ساختمان‌ها را در مقابل زلزله ایمن نگه دارند؟
- ۴- دلیل نام‌گذاری یک طرفه و یا دو طرفه بودن دال‌ها چیست؟
- ۵- 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؟
- ۶- سقف‌های لانه زنبوری را تعریف کنید و نحوه‌ی میل‌گردگذاری را در این سقف‌ها شرح دهید.
- ۷- از دیوار حایل در چه مواردی استفاده می‌گردد؟
- ۸- 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



پرو کردن 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.

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

- ۱- پیمان‌کردن مصالح مورد نیاز بتن را شرح دهد؛
- ۲- روش‌های ساخت بتن را بیان کند؛
- ۳- انواع دستگاه‌های مخلوط‌کن را نام ببرد و کارآیی هریک را شرح دهد؛
- ۴- نحوه‌ی نظافت دستگاه‌های بتن‌ساز و نگهداری از آن‌ها را بیان کند؛
- ۵- روش‌های انتقال بتن تا محل نهایی بتن‌ریزی را شرح دهد؛
- ۶- نکات عمومی در ریختن و تراکم بتن را نام ببرد؛
- ۷- تراکم را تعریف کند و دلیل انجام آن را توضیح دهد؛
- ۸- وسایل تراکم را نام ببرد؛
- ۹- شیوه‌های بتن‌ریزی در سازه‌های مختلف بتنی را بیان کند؛
- ۱۰- نحوه‌ی بتن‌ریزی در ارتفاع را بیان کند؛
- ۱۱- بتن‌ریزی در ستون‌ها و فونداسیون‌ها را توضیح دهد؛
- ۱۲- بتن‌ریزی‌های حجیم را توضیح دهد؛
- ۱۳- نحوه‌ی بتن‌ریزی دال‌ها را بیان کند؛
- ۱۴- نحوه‌ی بتن‌ریزی در اطراف بازشوها و کانال‌ها را توضیح دهد؛
- ۱۵- بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار را بیان کند؛
- ۱۶- نحوه‌ی نمونه‌گیری از بتن را در حین اجرا شرح دهد؛
- ۱۷- مراحل پرداخت سطح بتن را توضیح دهد؛
- ۱۸- عمل‌آوری بتن را تعریف و روش‌های آن را بیان کند؛
- ۱۹- شرایط، ویژگی‌ها و مشکلات بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم را شرح دهد؛
- ۲۰- ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در مورد بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم بیان کند؛
- ۲۱- 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 آن را بیان کند؛
- ۲۲- قالب‌بندی را تعریف کند و هدف آن را شرح دهد؛
- ۲۳- عملکردهای قالب را ذکر کند؛
- ۲۴- بارهای وارد به قالب‌ها را نام ببرد؛
- ۲۵- توصیه‌های آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در مورد قالب‌بندی بیان کند.

## ۶-۱- مقدمه

طی فصول گذشته، مطالبی را درباره‌ی مصالح تشکیل دهنده‌ی 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 به دنبال 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 به دست 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.

## ۶-۲- 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، اما 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 به وسیله‌ی باسکول مخصوص توزین و اندازه‌گیری می‌شود و سپس در مخلوط بتنی به کار می‌رود. به طور کلی براساس ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران، پیمانه کردن مصالح تشکیل دهنده‌ی بتن، باید تا حد امکان به طریق وزنی انجام گیرد که در این کار دقت توزین هریک از مصالح  $\pm 3\%$  درصد توصیه شده است. استفاده از روش‌های دیگر برای پیمانه کردن مصالح در صورتی مجاز خواهد بود که دقت مقدار مصالح به دست آمده از آن روش‌ها قابل مقایسه با روش وزنی باشد.

## ۶-۳- ساخت بتن

اساساً اجزای تشکیل دهنده‌ی بتن باید طوری مخلوط شوند که بتن حاصله به صورت ماده‌ای همگن درآید.

۶-۳-۱- اختلاط دستی: برای بتن‌ریزی‌های غیر سازه‌ای با رده‌ی پایین‌تر از C16 و با حجم کم و در کارهای غیر حساس با دستور دستگاه نظارت هنگامی که ماشین بتن‌ساز در دسترس نیست، از روش اختلاط دستی برای ساخت بتن استفاده می‌شود.



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.



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

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

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

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

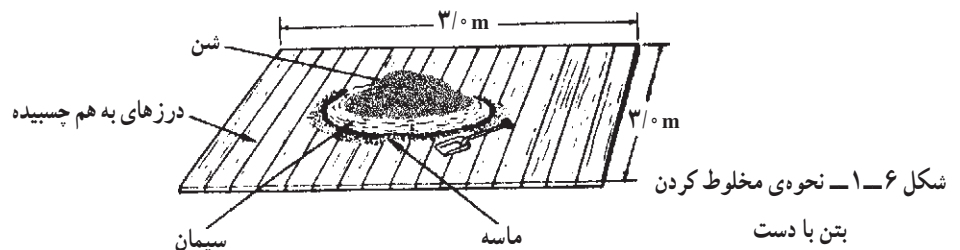


در این شکل اتصال نامطلوب ستون به تیرهای بتنی و خرابی در محل اتصال، وجود درز سرد در ستون و عدم پیوستگی در محل درز نشان داده شده است.



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.

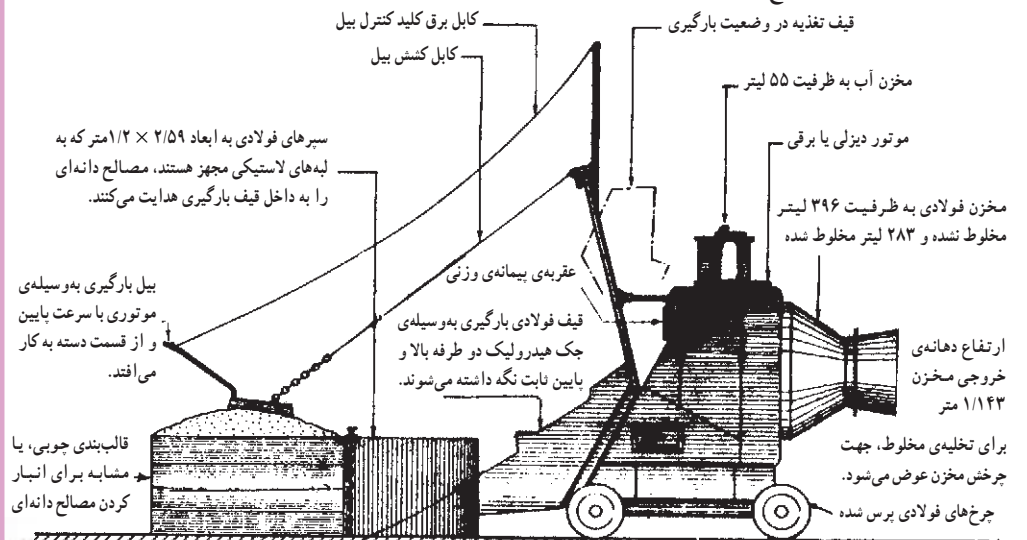
کار مخلوط کردن را باید بر روی سطح تمیزی انجام داد. برای این کار می‌توان با اتصال تخته‌ها به یکدیگر، سطح صاف و غیرقابل نفوذی را ایجاد نمود. این سطح صاف را قبل از بتن‌ریزی روی زمین، ثابت کرده و پس از خیس کردن آن، بتن‌سازی را شروع می‌کنیم. ترتیب کار بدین قرار است: ابتدا شن را به صورت یکنواخت بر روی سطح 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 زیر و رو 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 ۱-۶).



## ۲-۳-۶ اختلاط با دستگاه: دستگاه‌های مخلوط‌کن بتن دو نوع هستند: ثابت و متحرک

### الف) دستگاه‌های مخلوط‌کن ثابت

۱- بتونیر: بتونیر معمولاً با ظرفیت ۵۰ تا ۷۵ لیتر ساخته می‌شود و دارای موتور الکتریکی یا گازویلی 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 به صورت ثابت نگه داشت (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶ بتونیر مخزنی معکوس شونده

۲- بتن ساز مرکزی: این دستگاه، ماشین بتن ساز ثابتی است که در مرکز تهیه بتن نصب می شود و به نحوی استقرار می یابد که بتواند از مخازن مختلف، شن و ماسه ی دانه بندی شده را انتخاب کند و آن را برای اختلاط، به وسیله ی تسمه نقاله های افقی و بالابرهای کاسه ای عمودی، به دیگ مخلوط کن هدایت نماید. بتن ساز مرکزی تشکیل شده است از: دیگ های مخلوط کن، بارکن، که شن و ماسه را به داخل دستگاه می آورد، ترازوها، سیستم مخصوص تغذیه ی آب و سیمان و کنترل مرکزی (دستگاه کنترل، امکان تهیه ی بتن های استاندارد و دانه بندی شده را از طریق سیستم کامپیوتری و برنامه های داده شده فراهم می سازد) (شکل ۶-۳).



۱۲۰ تن در ساعت

۶۰ تن در ساعت

۴۵ تن در ساعت

شکل ۶-۳ سه نمونه ی مختلف ایستگاه مرکزی بتن با ظرفیت های مختلف

### ب) دستگاه های مخلوط کن متحرک (تراک میکسرها)

تراک میکسرها مخازنی هستند که روی کامیون ها، بدک کش ها و تریلرها نصب می شوند و جابه جایی و اختلاط مخلوط بتنی را به طور همزمان امکان پذیر می سازند. برای انتقال بتن در مسافت های طولانی، معمولاً مصالح خشک را داخل تراک میکسرها می ریزند که در حین حمل به وسیله ی یک منبع و یک پمپ هیدرولیک، آب لازم به داخل میکسر ریخته پس از اختلاط مصالح، بتن آماده می شود؛ بدین ترتیب، هرگاه ماشین به پای کار می رسد عمل اختلاط پایان یافته است (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۴ تراک میکسر (شامل مخزن مخلوط کننده، پمپ آب و قیف تخلیه)



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



در این ساختمان، به دلیل بتن ریزی نامناسب و وجود درز سرد در محل اتصال ستون به تیر و نیز کمبود میل گرد برشی (خاموت) و نرم بودن طبقه ی همکف نسبت به طبقه ی فوقانی، ستون ها در محل اتصال به تیرها کاملاً تخریب شده اند.



تشکیل طبقه ی نرم



عدم وجود شناژ افقی موجب تخریب سازه شده است.

اگر بخواهند بتن را به فاصله‌ای نزدیک منتقل کنند، به جای مصالح خشک، داخل تراک میکسر 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.

**۳-۳-۶ زمان لازم برای اختلاط:** همان‌گونه که ذکر شد، برای به‌دست آوردن بتن با کیفیت یکنواخت و رضایت‌بخش باید مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن را به‌طور 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 درشت‌دانه‌ی 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 مخلوط کن، 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 مخلوط کن ادامه یابد. ضمناً مخلوط کن باید با سرعت توصیه شده توسط کارخانه‌ی سازنده چرخانده شود.

**۴-۳-۶ 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.



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

## ۴-۴-۶ 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 درشت‌دانه‌ها از ملات و جدایی آب از سایر مواد الزامی است.

## ۴-۴-۶-۱ وسایل انتقال افقی بتن

**۱- 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

جابه‌جایی قابل قبول حدود  $15^\circ$  کیلوگرم است. رده‌ی بتنی که با این وسایل منتقل می‌شود باید کم‌تر از C16 باشد، فاصله‌ی حمل با چرخ‌دستی و ارا به حداکثر  $60$  متر است.

۲- **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  $25^\circ$  تا  $75^\circ$  کیلوگرم (حدود  $100$  تا  $300$  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  $120$  متر می‌تواند باشد (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶ - دامپر معمولی و دامپر تخلیه‌ی بلند

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

۴-۲- **وسایل انتقال بتن در سطوح شیب‌دار و انتقال عمودی بتن:**

۱- **ناوهِ شیب‌دار<sup>۱</sup>:** در نقاط مرتفع که ارتفاع بتن‌ریزی از  $3$  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 ناوهِ طولانی باعث جداشدگی اجزا و خشک‌شدن مخلوط بتن می‌گردد.

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



شکست ستون از محل درز اجرایی



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

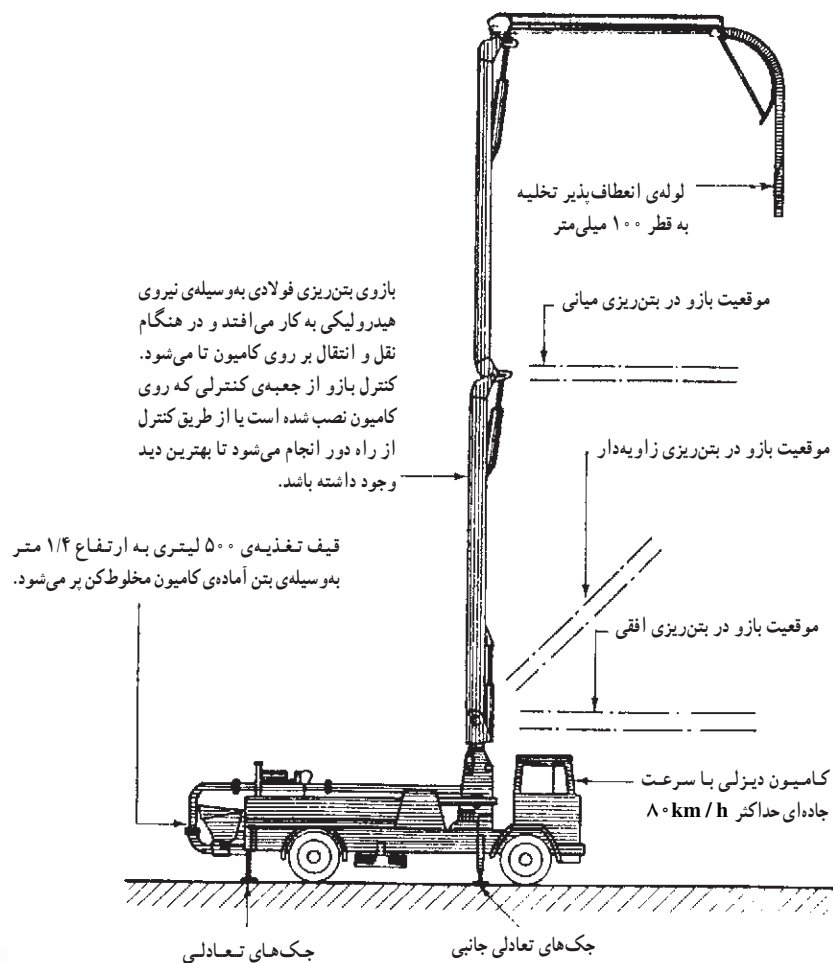
<sup>۱</sup> - Chute



اجرای بتن ریزی نامناسب در محل اتصال  
موجب شده تا آرماتور به حد جاری شدن  
نرسد.

۳- 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 ۳۳٪ برای سنگ‌دانه‌های تیز گوشه و ۴۰٪ برای سنگ‌دانه‌های کاملاً گرد گوشه تجاوز کند. لوله‌های پمپ باید تا حد امکان 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 به وسیله‌ی دستگاه‌های مکانیکی یا الکترونیکی قادر است عمل تخلیه را با دقت و سرعت بیش‌تری هدایت و تنظیم کند (بلافاصله پس از خاتمه‌ی عملیات پمپ کردن، باید لوله‌ها و وسایل آن به دقت 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 ۶-۶ و ۷-۶ به ترتیب یک کامیون با تجهیزات پمپ و بتن‌ریزی با پمپ، نشان داده شده است.



شکل ۶-۶ - کامیون با تجهیزات پمپ و بازوی متحرک باز شو

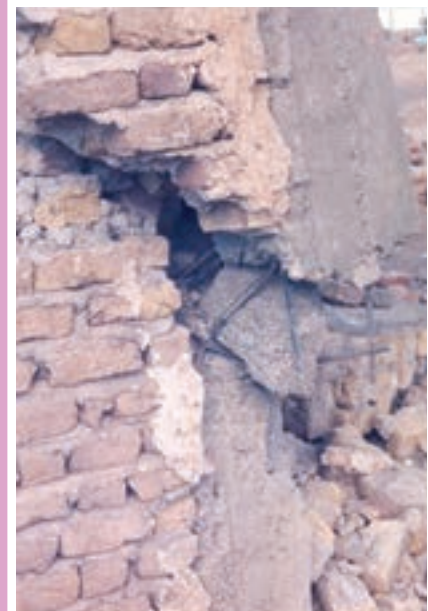


شکل ۶-۷- بتن آماده، در حال تخلیه به وسیله پمپ نصب شده بر روی کامیون

در انتقال بتن به وسیله 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 به کار 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 به عنوان خطوط پمپاژ به کار روند. البته استفاده از آلیاژهای آلومینیم در شوت‌های کوتاه نظیر آنچه در انتقال بتن از تراک میکسر به کار 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.



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



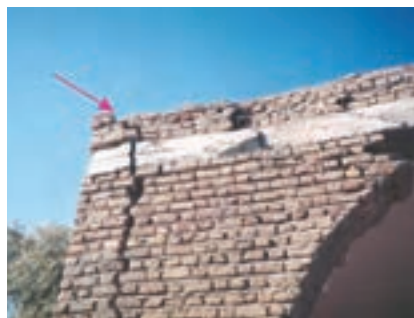
استفاده از بتن نامرغوب و ناکافی بودن طول وصله‌ی آرماتورها در شناژ قائم موجب تخریب آن شده است.



ترک ایجاد شده در سقف یک سازه ی بتنی در راستای تیر



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



عدم رعایت ارتفاع شناژ عمودی و فاصله ی آن ها از یکدیگر موجب شکاف شده است.

## ۵-۶- ریختن و تراکم بتن

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

### ۵-۶-۱- 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 دانه ها در اثر جابه جایی مجدد جلوگیری گردد.

ب) روند بتن ریزی باید به گونه ای باشد که بتن در هنگام ریختن و جا دادن، به حالت خمیری باقی بماند و بتواند به راحتی به فضاهای بین میل گردها 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 دانه ها باید به  $9/0^{\circ}$  تا  $2/1$  متر محدود شود.

د) بتن باید در لایه های یکنواخت ریخته شود و از انباشتن آن در لایه های شیب دار خودداری گردد. ضخامت لایه ها بستگی به نوع قطعه ی بتنی دارد.

ه) در صورتی که اسلامپ بتن در موقع تحویل برای مصرف، کم تر از میزان مقرر باشد، باید از مصرف آن خودداری شود. با این وجود، افزودن اسلامپ بتن تا هنگامی که هنوز از مخلوط کن تخلیه نشده، فقط با اجازه ی دستگاه نظارت و با افزودن دوغاب سیمان به همراه و یا بدون مواد افزودنی روان کننده میسر می باشد، مشروط بر این که نسبت آب به سیمان از میزان در نظر 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 بتن ریزی مجاز نیست، مگر در موارد استثنایی که دستگاه نظارت صلاح بداند.)

و) بتن ریزی باید از آغاز تا پایان به صورت عملیاتی سریع و پیوسته در محدوده ی مرزها یا درزهای از پیش تعیین شده ی قطعات ادامه یابد. سرعت ریختن و تراکم بتن باید یکسان باشد.

ز) بتنی که به حالت نیمه سخت درآمده یا به مواد زیان آور بیرونی آلوده شده است، نباید در بتن ریزی قطعات سازه ای به کار رود.

ح) بتن باید در طول عملیات بتن ریزی با استفاده از وسایل مناسب، کاملاً متراکم شود، به طوری که میل گردها و اقلام مدفون را کاملاً در برگیرد و قسمت های داخلی و به خصوص گوشه های قالب ها را به خوبی پر کند. بتن های خود تراکم را می توان متراکم نکرد<sup>۱</sup>.

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

ی) در هنگام تراکم، به هیچ وجه نباید به میل گردها ضربه وارد آید یا آن که با جسمی نظیر چکش به میل گردها ضربه زده شود، زیرا ممکن است باعث جابه جایی شبکه ی فولادی و میل گردها از محل اصلی خود شود. ضمناً در اثر این ارتعاش ممکن است مواد ریزدانه و دوغاب سیمان در اطراف میل گردها جمع شده و مواد درشت دانه ی اطراف آن پراکنده شوند. این امر موجب کاهش

۱- برای آشنایی با بتن خود تراکم به ضمیمه ی کتاب مراجعه شود.

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

۵-۶- 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 ۸-۶).



شکل ۸-۶ - اثر تراکم در حذف یا کاهش منافذ

برخی از معایب وجود هوای محبوس در بتن عبارتند از:

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

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

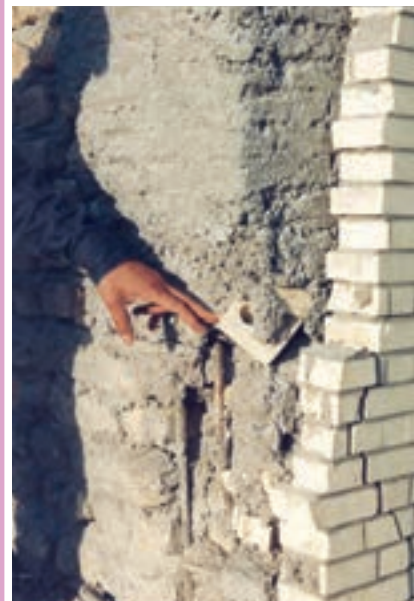
۳- حباب‌های هوا تماس بین بتن، میل‌گرد و سایر فلزات مدفون در بتن را کاهش می‌دهند و پیوستگی لازم میان فولاد و بتن را به خوبی برقرار نمی‌سازند و این باعث کاهش مقاومت عضو سازه‌ای می‌شود.

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

۱- لرزاننده‌ی 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.

۲- 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.



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

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



شکل ۶- ۹- متراکم کردن بتن کم عیار با غلتک

### 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، کارایی 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 ۶- ۱۰ نحوه‌ی قرار دادن صحیح لرزاننده در داخل بتن را نشان می‌دهد. در جدول ۶- ۱ مشخصات و کاربرد لرزاننده‌های داخلی ارائه شده است.



شکل ۶-۱۰- روش قرار دادن لرزانده‌های درونی در داخل بتن

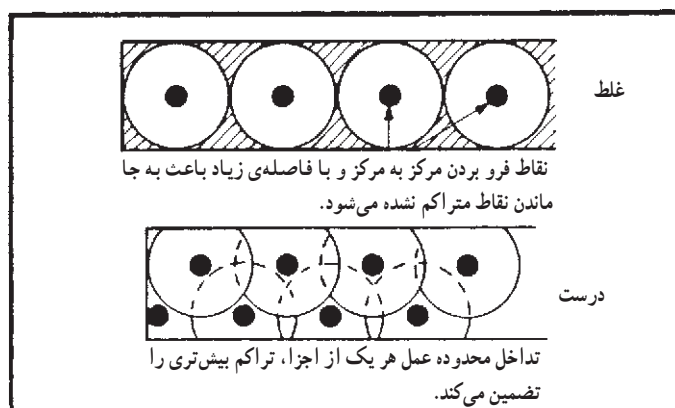
جدول ۶-۱- مشخصات و کاربرد لرزانده‌های داخلی

| گروه | قطر<br>لرزانده<br>(سانتی‌متر) | شعاع<br>عمل<br>(سانتی‌متر) | حجم بتن‌ریزی<br>به ازای هر لرزانده<br>(متر مکعب بر ساعت) | کاربرد                                                                                                            |
|------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | ۲-۴                           | ۸-۱۵                       | ۰/۸-۴                                                    | برای بتن‌های خمیری و روان و در اعضای نازک و اعضای پیش تنیده و نمونه‌های آزمایشگاهی                                |
| ۲    | ۳-۶                           | ۱۳-۲۵                      | ۲/۳-۸                                                    | بتن خمیری برای دیوارهای نازک، تیرها، شمع‌های پیش‌ساخته، ستون‌ها و دال‌های نازک                                    |
| ۳    | ۵-۹                           | ۱۸-۳۶                      | ۴/۶-۱۵                                                   | برای بتن نسبتاً خمیری (با اسلامپ کم‌تر از ۸ سانتی‌متر)، در اعضای عمومی، مانند دیوارها، ستون، تیرها و دال‌های ضخیم |
| ۴    | ۸-۱۵                          | ۳۰-۵۱                      | ۱۱-۳۱                                                    | 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    | ۱۳-۱۸                         | ۴۰-۶۱                      | ۱۹-۳۸                                                    | 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 شنای قائم

شعاع عمل، فواصل و نحوه‌ی فرو بردن میله‌ی لرزانده در شکل‌های ۶-۱۱ تا ۶-۱۳ مشخص شده است. شعاع‌های عمل باید تا چند سانتی‌متر یکدیگر را پوشش دهند، معمولاً این فاصله ۱/۵ برابر شعاع عمل لرزانده توصیه می‌شود.



شکل ۶-۱۱- لزوم رعایت تداخل محدوده‌ی شعاع تراکم میله‌های مختلف



عدم اجرای شنّاز افقی بالا و اتصال نادرست تیر



شکل ۱۲-۶- فرو بردن یک لرزانده‌ی میله‌ای در داخل بتن تازه در یک قالب تیر

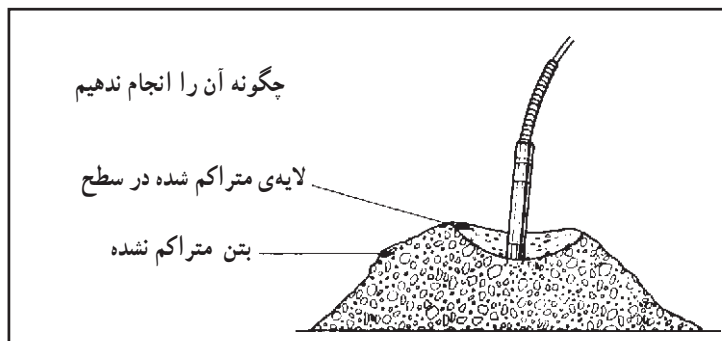


شکل ۱۳-۶- در نقاطی که بلافاصله نزدیک میله قرار گرفته‌اند، بتن کاملاً متراکم شده است. باید دقت کرد که سطح بتن در این نقاط چگونه پایین رفته است.

برای حذف مؤثر هوا، ویراتور باید سریعاً به داخل بتن وارد گردد و با حرکت ملایم بالا- پایین، به آهستگی خارج شود. نفوذ سریع ویراتور سبب می‌شود تا بتن به طرف بالا و خارج از قالب حرکت کرده و هوا خارج می‌گردد. در زمانی که ویراتور به آهستگی خارج می‌شود، هوای بالای ویراتور به طرف بالا رانده می‌شود و از طرف دیگر، باعث جاری شدن ملات به صورت یکنواخت می‌شود. در شکل ۱۴-۶ مشکل پیش آمده در صورت فرو بردن میله به طور آهسته نشان داده شده است.



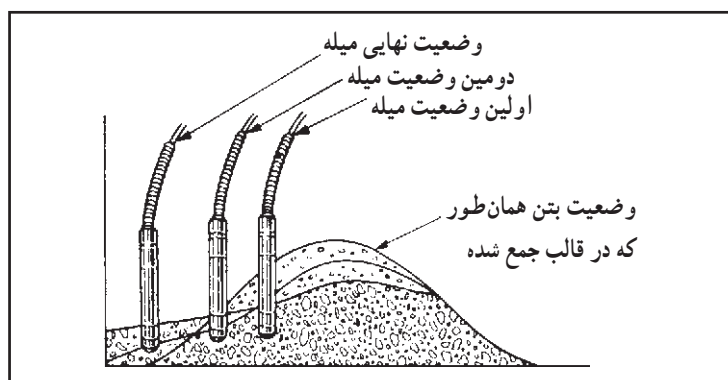
کیفیت نامرغوب بتن و فاصله‌ی زیاد شنّازهای قائم موجب ایجاد خسارت در این سازه شده است.



شکل ۱۴-۶- مشکل پیش آمده در صورت فرو بردن میله به طور آهسته

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

داخل کرده تا بتن هموار گردد و از هرگونه حرکت جانبی اجتناب شود. در صورتی که ضروری باشد جابه‌جایی با ویراتور انجام شود، نحوه‌ی صحیح آن در شکل ۱۵-۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۶- نحوه‌ی استفاده از میله برای صاف کردن 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) مدت زمان تراکم کامل

مدت 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 جاری شدن 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.

### ۶-۵-۳ 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 دقت شود که بتن با ضربه به بدنه‌ی قالب برخورد نکند و حداکثر در لایه‌های ۳۰ سانتی‌متری ریخته شده و پس از ویریه 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 آلوده شدن بتن اصلی فونداسیون با خاک بستر، اجرای یک لایه بتن پاکیزگی (بتن مگر) از بتن لاغر بارده‌ی 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 اولین لایه‌ی بتن ریخته شود، میله‌ی ویریه را در انتهای قالب قرار می‌دهیم (به علت عمق کم هر لایه، با قرار دادن میله‌ی ویریه می‌توان اطمینان حاصل کرد



آسیب دیدگی شناژ قائم و ایجاد ترک در ساختمان اورژانس



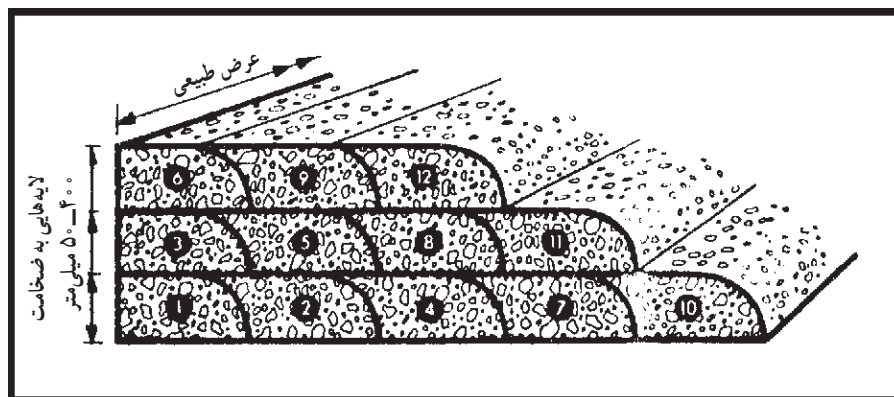
عدم رعایت طول مهاري مناسب در شناژ  
قائم و اجرا نکردن کلاف افقي زیر سقف

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 ویریه بتواند آن‌ها را ویریه کند. در انتها، میله‌ی ویریه 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، درچه‌هایی در قالب ایجاد می‌کنند و یا این که یک بدنه‌ی قالب را متحرک طراحی کرده آن را مرحله به مرحله بالا می‌برند. پس از رسیدن بتن به این درچه‌ها، به‌منظور امکان بتن‌ریزی، درچه‌ها مسدود شده و بتن از درچه‌ی بالایی ریخته می‌شود و به‌همین ترتیب کار تا پایان ادامه می‌یابد.

**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 دقت 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 ۶-۱۶ بتن‌ریزی پله‌ای را به‌منظور اجتناب از ایجاد درزهای سرد نشان می‌دهد.

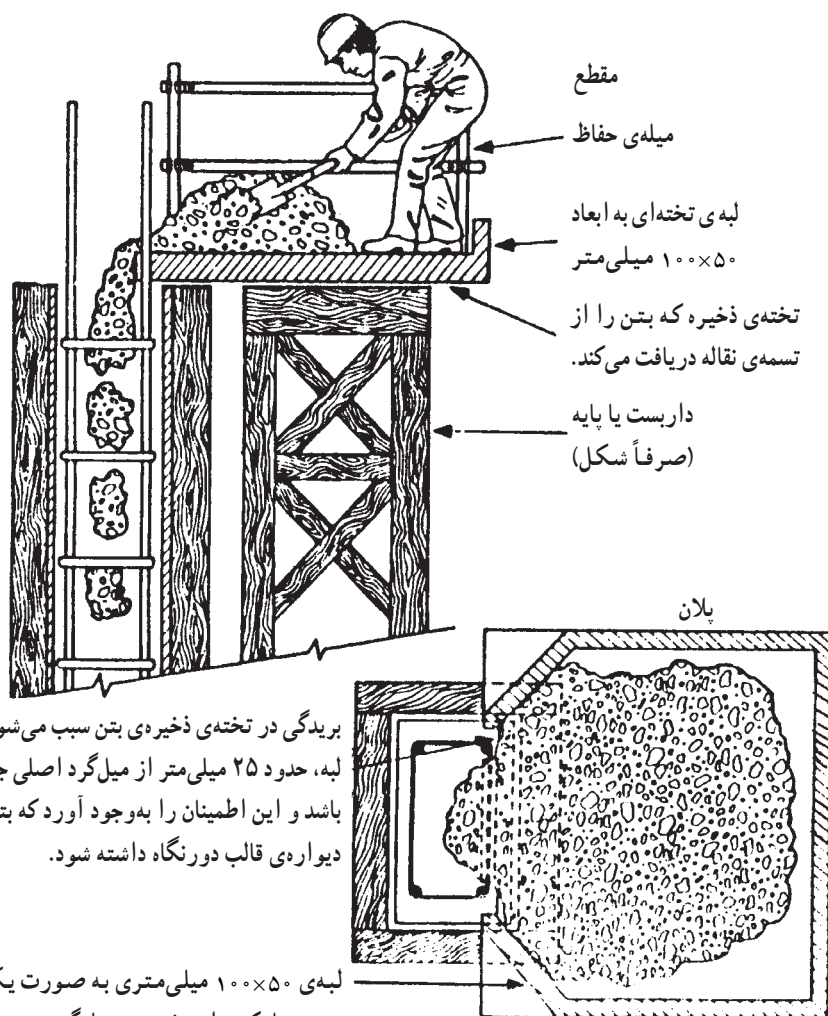


شکل ۶-۱۶- بتن‌ریزی پله‌ای برای جلوگیری از ایجاد درزهای سرد در بتن‌ریزی‌های حجیم

**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 شبیلنگ و ویراتور باید به اندازه‌ی کافی بلند باشد تا ویریه 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 هیچ‌گاه 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 ۶-۱۷ تا ۶-۲۰).

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 بتن‌ریزی می‌شوند، باید دقت نمود که در لایه‌های زیرین به خصوص در گوشه‌ها، شیرهی بتن جمع نشده و ارتفاع لبه‌ی داخلی دیوار برابر ارتفاع مورد نظر باشد.



بریدگی در تخته‌ی ذخیره‌ی بتن سبب می‌شود که لبه، حدود ۲۵ میلی‌متر از میل‌گرد اصلی جلوتر باشد و این اطمینان را به وجود آورد که بتن از دیواره‌ی قالب دورنگاه داشته شود.

لبه‌ی ۱۰۰×۵۰ میلی‌متری به صورت یک پنجه عمل کرده از پخش بتن جلوگیری و بتن را به داخل قالب هدایت می‌کند.

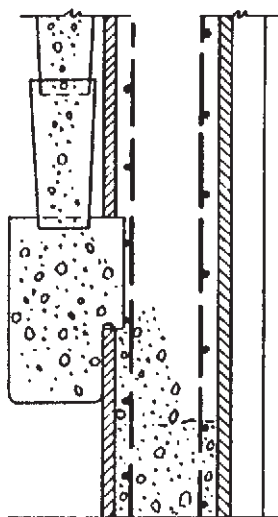
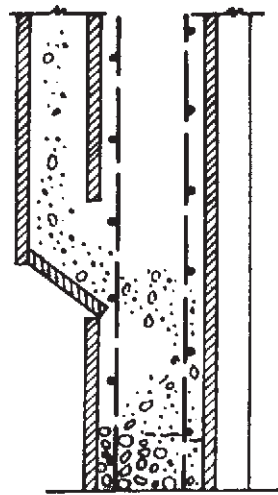
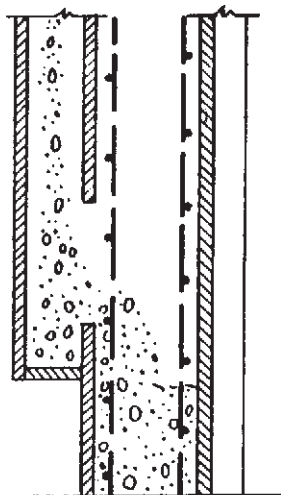
شکل ۶-۱۷ - استفاده از یک تخته‌ی ذخیره در بالای یک ستون. از این روش برای دیوارهای باریک نیز می‌توان استفاده کرد، با این تفاوت که باید تخته‌ی ذخیره‌ی طول‌تری را به کار برد.



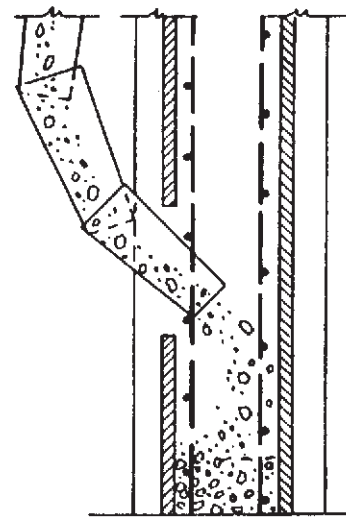
بتن‌ریزی نادرست شناژ قائم



ریزش نمای ساختمان در اثر ناپیوستگی با  
دیوار و بتن ریزی نامناسب

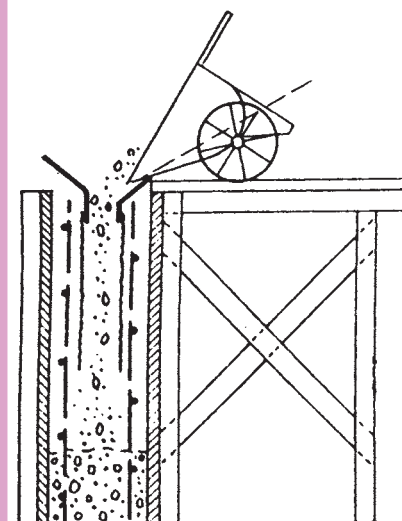


شیوه‌ی صحیح

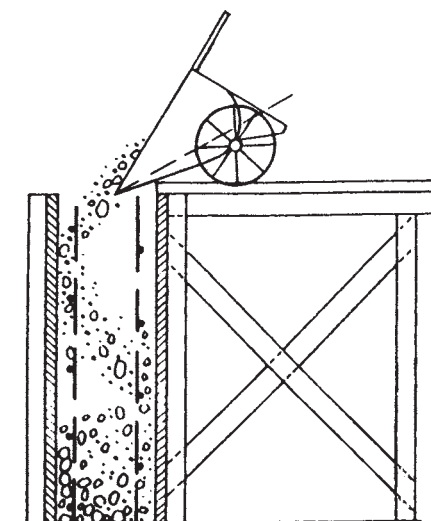


شیوه‌ی غلط

شکل ۶-۱۸- شیوه‌های بتن‌ریزی در دیوارهای بلند



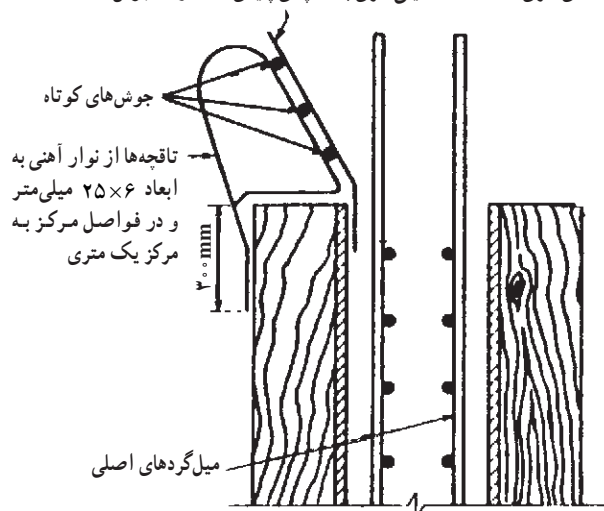
شیوه‌ی صحیح



شیوه‌ی غلط

شکل ۶-۱۹- بتن‌ریزی در بالای دیوار

یک صفحه‌ی فلزی ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متری به تاقچه‌ی پایدی نگه‌دارنده جوش داده شده است.



شکل ۶-۲- 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 ویریه 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 ویراتور 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 ویراتور به شبکه‌ی میل‌گردها جلوگیری شود.

**ه) 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 ویراتور میله‌ای در دال‌های با ضخامت کم مجاز نیست. تراکم بتن ممکن است از طریق خارجی نیز انجام شود.

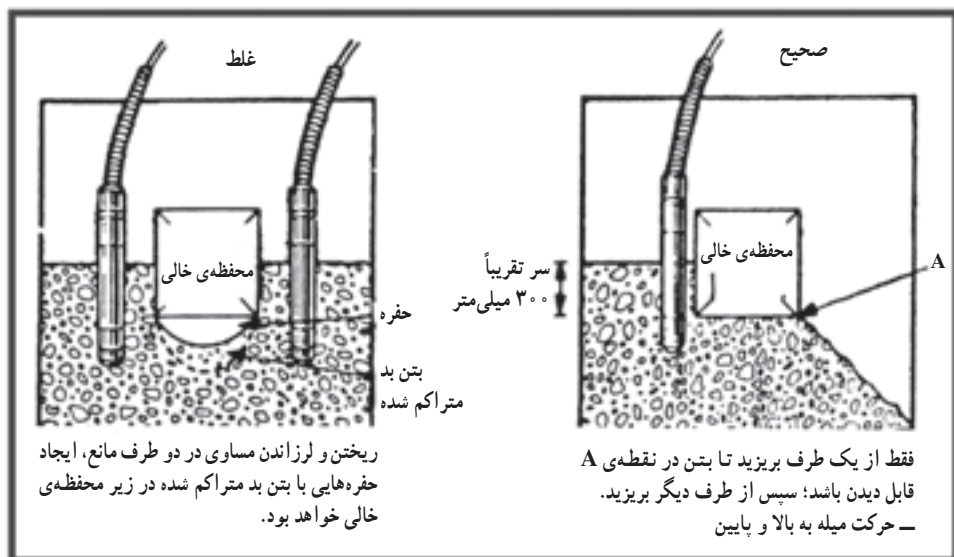
**و) بتن‌ریزی در اطراف بازشوها، کانال‌ها و نقاط توخالی:** در شکل‌های ۶-۲۱ تا ۶-۲۳ نحوه‌ی بتن‌ریزی و تراکم صحیح در حالت‌های مختلف (بتن‌ریزی در کنار محفظه‌های خالی و حفره‌ها) نشان داده شده است.



جدا شدن شن‌های قائم خریشته از سازه به دلیل ناکافی بودن طول وصله



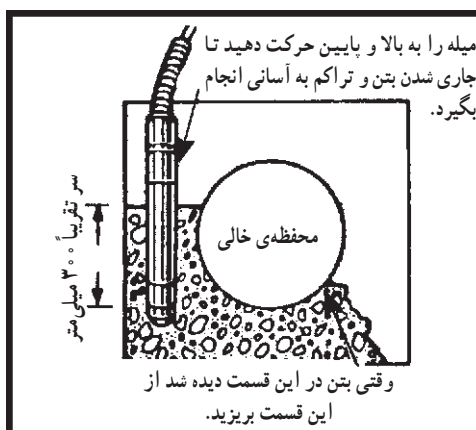
عدم رعایت طول مهاري مناسب در آرماتورهاي فوقاني، باعث شكست اتصال گردیده است.



شکل ۶-۲۱- ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف یک مانع چهارگوش، مانند یک باز شو است. اگر مانع، از یک متر عرض تر باشد، ممکن است که ایجاد «روزنه» در قالب، درست زیر و وسط مانع برای فرو بردن میله ارزش داشته باشد.

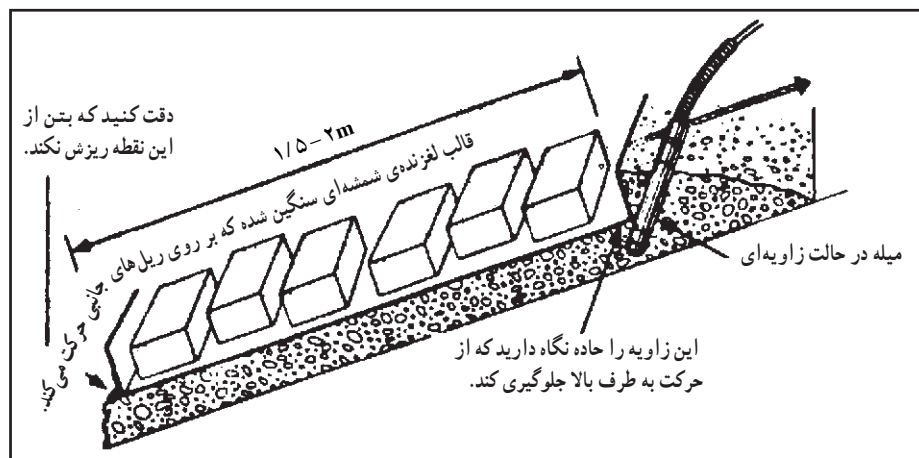


شکل ۶-۲۲- ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف یک تیر آهن



شکل ۶-۲۳- ریختن و متراکم کردن بتن در اطراف قالب سوراخ یا مجرا. قالب ها را باید خوب در جای خود ثابت کرد تا فشار بتن، آن ها را به یک طرف حرکت نداده یا موجب بالا آمدن آن ها به سطح نشود.

(ز) بتن ریزی در سطوح شیب دار: در این حالت باید بتن ریزی از پایین به بالا انجام شود. به این ترتیب، وزن بتن بالا سبب تراکم و جاناندازی بتن زیرین می شود. اگر شیب سطح بیش تر از ۵ الی ۱۰ درجه نباشد، می توان از روش متداول برای بتن ریزی دال ها استفاده کرد. اگر بتن پس از تراکم کمی افت کند، باید صبر کرد تا خود را بگیرد و سپس لایه ی بعدی ریخته شود. برای شیب های بیش از ۱۰ درجه لازم است که از یک قالب لغزنده ی شمشه ای مطابق شکل ۶-۲۴ استفاده گردد. قالب نباید لرزانده شود، زیرا این موضوع باعث می شود که بتن از لبه های پایینی بیرون بیاید و متورم شود.



عدم رعایت پوشش بتنی مناسب بر روی میل گردها

شکل ۶-۲۴- ریختن بتن بر روی یک سطح شیب دار با استفاده از قالب لغزنده ی شمشه ای که بر روی ریل های 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 شیب دار با سرعتی معادل ۲ متر در ساعت حرکت داده شود که بستگی به سفتی بتن نیز دارد.

۶-۵-۴- نمونه گیری از بتن در هنگام اجرا: معمول ترین شیوه برای آزمایش بتن های سخت شده، برداشت نمونه از بتن تازه و ساختن نمونه های مکعبی یا استوانه ای است، به نحوی که پس از گیرش و سخت شدن، بتوان مقاومت های فشاری نمونه ها را در آزمایشگاه اندازه گیری کرد. نتایج حاصل برای مقایسه با بتن طراحی شده و بررسی رضایت بخش بودن کیفیت بتن اجرا شده، به کار گرفته می شود. بنابراین، باید ساخت نمونه های بتنی با دقت و به گونه ی صحیح انجام شود. نمونه ها باید از داخل دستگاه یا زمان تخلیه ی بتن از دستگاه بتن ساز، در چند نوبت برداشته شود. بتن ریزی در داخل قالب در چند لایه ریخته شده و هر لایه با میله ی مخصوص، ۲۵ مرتبه کوبیده می شود تا تراکم لازم به دست آید. همیشه مقداری بیش تر از حجم مکعب، بتن ریزی می شود، سپس با یک ماله، سطح بالای مکعب، صاف شده و بتن های اضافی برداشته خواهد شد. لازم است که مشخصات نمونه، ساعت و زمان نمونه گیری، محل برداشت نمونه، درجه ی حرارت محیط و وضعیت هوا و اقلیم در دفتر کارگاه ثبت گردد و بر روی یک کاغذ نیز نوشته شده و به سطح بالای نمونه ی بتنی چسبانده شود (در ضمن باید نمونه ها را شماره گذاری کرد). قبل از بتن ریزی باید قالب مکعبی یا استوانه ای به دقت بررسی شده و سطوح داخلی آن روغن کاری و تمیز شود.

پس از برداشت نمونه ها، باید آن ها 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 نمونه ها می توان به جای میله



عدم رعایت طول مهاري مناسب در شناژ  
قائم و عدم اجرای کلاف افقي زیر سقف

از یک ميز مرتعش کننده برای تراکم قالب ها استفاده کرد. لازم است پس از هر بار مصرف، قالب به دقت تمیز و روغن کاری شود. همچنین باید مراقب بود که قالب در فضای باز قرار داده نشود. تمام اتصالات به انضمام سطوح داخلی قالب باید روغن کاری شوند. برای تراکم قالب های نمونه به علت عمق کم بتن ریزی، به هیچ وجه نباید از میله ی لرزاننده استفاده شود. برای این کار باید از میله ی دستی یا ميز ويبره استفاده کرد.

## ۶-۶- پرداخت سطح بتن

پرداخت بتن عبارت است از زدودن بتن اضافی روی سطح بتن، از بین بردن نقاط پست و بلند سطحی و یا به شکل خاص در آوردن سطح بتن. معمولاً پرداخت سطح بتن، بلافاصله پس از اتمام بتن ریزی و تراکم بتن انجام می شود. روش پرداخت اثر مهمی در مقاومت فشاری، نفوذپذیری و مقاومت سایشی لایه ی سطحی بتن دارد. مراحل پرداخت سطح به شرح زیر است:

- شمشه یا تراز کردن
- تخته ماله کشی با تخته ماله ی دستی بلند و کوتاه
- ماله کشی
- پرداخت نهایی

۶-۶-۱- شمشه یا تراز کردن: شمشه کاری روندی برای حذف بتن اضافی و تراز کردن سطح بتن در ارتفاع یا تراز مورد نظر است. این عمل باید بلافاصله پس از بتن ریزی و تراکم انجام پذیرد. وسیله ای که برای شمشه گیری استفاده می شود، شمشه یا شابلون ساخته شده از چوب، آلومینیم یا آلیاژ منیزیم است. در هنگام شمشه کاری، شمشه بر روی سطح بتن باید به صورت اره ای حرکت داده شود و در هر حرکت، مسافت کوتاهی به طرف جلو منتقل گردد. بنابراین، بتن اضافی (بالا تراز سطح تراز) در جلو شمشه جمع شده و سپس قسمت هایی که پایین تر از سطح تراز است توسط بتن جمع آوری شده در جلو شمشه پر شده و سطح بتن تراز می گردد. در هنگام حرکت شمشه به طرف جلو باید مقدار مسافت طی شده بسیار کوتاه باشد تا شمشه سبب آسیب دیدگی سطح بتن نگردد. در بعضی موارد، شمشه مجهز به ويبره است و عمل تراز کردن همزمان با تراکم بتن (فقط برای دال های کف) انجام می شود (شکل ۶-۲۵).



شکل ۶-۲۵- استفاده از شمشه های دارای ويبره برای تراز کردن و متراکم نمودن سطح، به صورت همزمان

## ۶-۶-۲- تخته ماله کشی با تخته ماله‌ی دستی بلند و کوتاه: تخته ماله‌ی دسته بلند

قطعه‌ای مستطیلی شکل به عرض تقریبی  $200^\circ$  میلی‌متر و به طول ۱ تا ۱/۵ متر است که دسته‌ای به طول ۱ تا ۵ متر به آن متصل است (شکل ۶-۲۶). منظور از عمل تخته ماله کشی 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  $70^\circ$  تا  $100^\circ$  میلی‌متر عرض و  $150^\circ$  تا  $200^\circ$  میلی‌متر طول دارد و دسته‌ای کوتاه بر روی آن نصب شده است.



شکل ۶-۲۶- تخته ماله کشی با تخته ماله دسته بلند

عمل تخته ماله کشی باید بلافاصله پس از شمشه کردن صورت گیرد و قبل از آن که 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 باقی مانده از عمل شمشه کاری و پرکردن منافذ انجام می‌شود.

## ۶-۶-۳- ماله کشی: پس از تعبیه‌ی درزها، سطح بتن باید ماله کشی شود، ماله کشی 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، آلومینیومی و منیزیمی است. ماله‌ی آلومینیومی و منیزیمی راحت‌تر در سطح بتن حرکت می‌کنند، در این صورت، از مقدار انرژی مورد نیاز کاسته می‌شود. برای ماله کشی 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 پر شده و سطح بتن کاملاً هموار گردد. ماله کشی سبب می‌شود تا سطح بتن هموار شده (ولی صاف نمی‌شود) و مقاومت مناسبی در مقابل لیز خوردن به وجود آید و معمولاً به عنوان پرداخت نهایی تلقی می‌گردد. ماله کشی با دستگاه

مکانیکی نیز امکان پذیر است. دستگاه ماله کشی شامل یک محور عمودی است که به آن چند پره به شکل ماله متصل است و حرکت دورانی پره ها سبب هموار شدن سطح بتن می گردد (شکل ۶-۲۷).



شکل ۶-۲۷- مرحله ماله کشی

۶-۶-۴ پرداخت نهایی: بعد از عمل ماله کشی می توان با ابزارهای دستی یا مکانیکی مخصوص پرداخت نهایی، سطح بتن را کاملاً صاف نمود. مرحله ی پرداخت نهایی بلافاصله بعد از ماله کشی و با ابزار دستی یا ماشین انجام می پذیرد. ابزار دستی که برای پرداخت نهایی استفاده می شود (شکل ۶-۲۸)، یک صفحه ی فولادی پهن به ابعاد  $100 \times 400$  میلی متر است. استفاده از صفحه ی فولادی با ابعاد کوچک تر برای مرتبه دوم و یا سوم پرداخت نهایی اشکالی ندارد. در بعضی موارد (مانند دال ها)، پرداخت نهایی با دستگاه مکانیکی انجام می شود. این دستگاه مشابه ماله ی دستی است، تنها تفاوت آن، ابعاد کوچک تر پره ها و امکان تغییر و فشار بر روی آن ها است. در مرحله ی اول پرداخت، پره ها به صورت مستقیم و در مراحل بعدی، به زاویه پره ها افزوده می شود (شکل ۶-۲۹).



شکل ۶-۲۸- پرداخت نهایی با ابزار دستی



شکل ۶-۲۹- 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.

**۶-۵- 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 تخته‌ماله‌ی 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 مرحله‌ی 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 بیش‌تر لایه‌ی 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.

## **۶-۷- 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 نه تنها بر مقاومت، بلکه بر دوام و پایداری بتن نیز اثر می‌گذارد.

**۶-۷-۱- روش‌های عمل‌آوردن:** عمل‌آوردن بتن در دمای معمولی بدین گونه است که بتن در حالت اشباع یا نزدیک به اشباع نگهداری می‌شود تا این که فضای موجود در خمیر سیمان تازه که از همان ابتدا از آب پر شده است، به مقدار کافی - به وسیله‌ی فرآورده‌های هیدراتاسیون سیمان - 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.



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

عمل آوردن 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 غیریوسته 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 ۶-۳۰ تا ۶-۳۳).



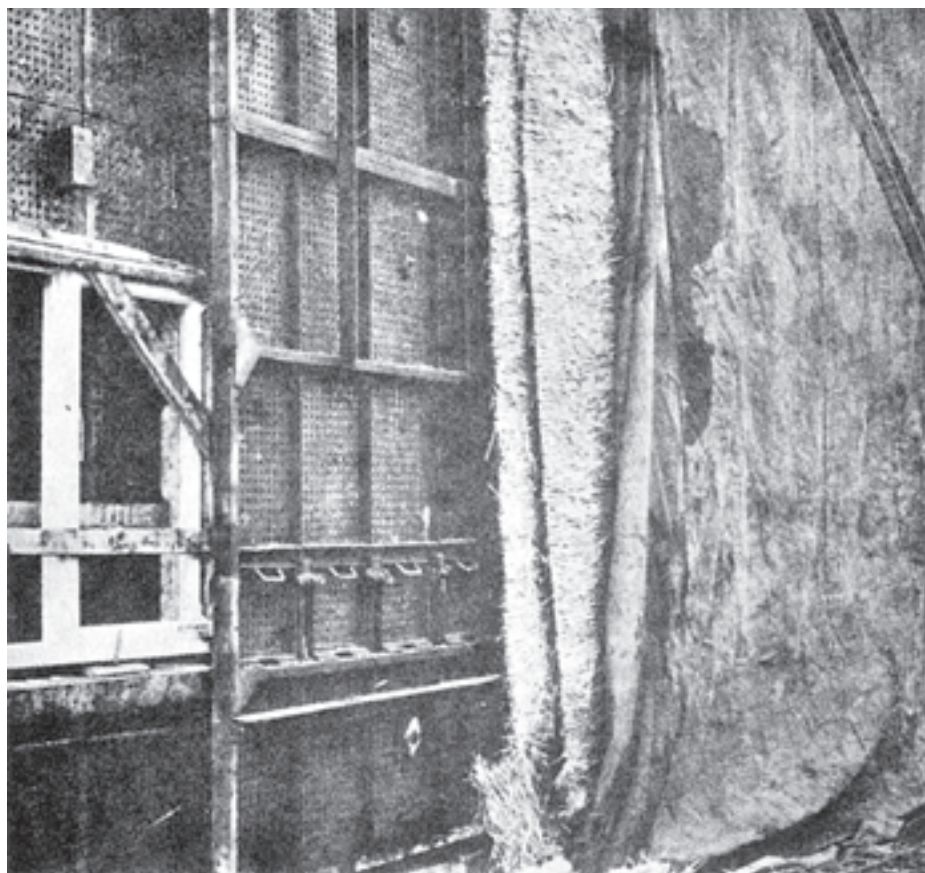
شکل ۶-۳۰- روکش‌های عایق ساخته شده با الیاف معدنی در ورقه‌های پلاستیک برای محافظت دال



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



شکل ۶-۳۱- 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 نیمه اسکلت با شناژهای افقی و قائم که دچار کمترین آسیب شده است.

شکل ۶-۳۲- روکش‌های حصیری محافظت شده به وسیله‌ی برزنت برای عایق کردن قالب‌های دیوار



شکل ۶-۳۳- قرار دادن نایلون برای عمل آوردن دال کف

۶-۷-۲- 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  $5^{\circ}\text{C}$  کم‌تر شود. طبق ضوابط آیین‌نامه‌ی بتن ایران مدت عمل‌آوری بتن نباید از مقادیر مندرج در جدول ۶-۲ کم‌تر شود.



نبودن آرما تورهای 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.

جدول ۶-۲- حداقل زمان عمل آوردن بتن

| نوع سیمان                                                                             | شرایط محیطی پس از ریختن بتن در قالب * | دمای متوسط سطح بتن **  |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------|
|                                                                                       |                                       | ۵ تا ۱۰°C              | بالا تر از ۱۰°C |
| نوع ۱، ۲، ۳ و ۵                                                                       | متوسط                                 | ۴ روز                  | ۳ روز           |
|                                                                                       | ضعیف                                  | ۶ روز                  | ۴ روز           |
| همه‌ی سیمان‌ها به جز نوع ۱، ۲، ۳ و ۵ و همه‌ی سیمان‌های حاوی مواد پوزولانی یا روبره‌ای | متوسط                                 | ۱۰ روز                 | ۷ روز           |
|                                                                                       | 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.

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

## ۶-۷-۳- 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 به وسیله‌ی ماشین، بتن را عمل می‌آورند.

برای عمل‌آوری 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.

## ۶-۸- بتن ریزی در شرایط خاص آب و هوایی

۶-۸-۱- بتن ریزی در هوای سرد: مشکلات بتن ریزی در هوای سرد به مسئله یخ زدن بتن تازه مربوط می شود. اگر بتنی که هنوز کاملاً سخت نشده است یخ ببندد، آب اختلاط یخ بسته و حجم کلی بتن افزایش می یابد. در این حالت چون برای فعل و انفعال شیمیایی آبی وجود ندارد، گرفتن و سخت شدن بتن به تأخیر می افتد و ممکن است که مقدار اندک خمیر سیمان موجود نیز به علت تشکیل یخ شکسته شود. هنگامی که در مرحله ی بعدی یخ آب می شود، بتن گرفته و در وضعیت منبسط شده سخت می گردد و بنابراین دارای حفره های 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 توجه مقاومت می شود. ولی اگر بتن قبل از یخ زدن، مقاومت کافی را دارا باشد، می تواند در مقابل فشار داخلی تولید شده در اثر تشکیل یخ (از باقی مانده ی آب مخلوط) مقاومت نماید.

در ادامه، ضوابط خاص آیین نامه ی بتن ایران را در خصوص ملاحظات بتن ریزی در هوای سرد ذکر می کنیم:

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

- ۱- دمای متوسط هوا در شبانه روز کم تر از  $5^{\circ}\text{C}$  باشد (دمای متوسط روزانه، میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در فاصله ی زمانی نیمه شب تا نیمه روز است).
- ۲- دمای هوا برای بیش تر از نصف روز از  $10^{\circ}\text{C}$  زیاد تر نباشد.

### ب) تدابیر احتیاطی

- ۱- در بتن ریزی در هوای سرد باید دقت لازم در انتخاب مصالح مصرفی، طرح اختلاط بتن، شرایط اختلاط، حمل، ریختن و عمل آوردن بتن صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که بتن تازه ریخته شده دچار یخ زدگی نگردد و بتن سخت شده نیز دارای کیفیت لازم باشد.
- ۲- دمای بتن در طول مدت بتن ریزی و عمل آوردن باید ثبت گردد تا اطمینان حاصل شود که محدوده ی توصیه شده در آیین نامه حفظ شده است.
- ۳- دمای بتن باید حداقل دوبار در شبانه روز در نقاط مختلف سازه ثبت گردد تا از وضعیت نگهداری بتن اطمینان کافی حاصل شود.
- ۴- گوشه ها و لبه های بتن در مقابل یخ زدن آسیب پذیرند. بنابراین دمای این نقاط باید با دقت کنترل شود.

### ج) مصالح مصرفی

- ۱- می توان از سیمان زودگیر (پرتلند نوع سه) به جای سیمان معمولی برای اطمینان از سرعت بیش تر کسب مقاومت بتن استفاده نمود.
- ۲- استفاده از سیمان روبراه ای و سیمان های آمیخته، در بتن ریزی در هوای سرد توصیه نمی شود.



تخریب تیر برق که می تواند علاوه بر قطع برق پس از زلزله، موجب خسارت هایی از قبیل آتش سوزی و ... شود.



ایجاد ترک در سقف تیرچه بلوک به دلیل کیفیت نامطلوب بتن و عدم قرار دادن کلاف در سقف تیرچه بلوک می باشد. وجود کلاف عرضی در سقف می تواند صلبیت و یکپارچگی سقف را حفظ کند.



صدمه ندیدن مدرسه به علت رعایت ضوابط آیین نامه

۳- می توان 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 نحوه ی ریختن مصالح در مخلوط کن مراعات گردد.

۴- سنگ دانه ها نباید آغشته به یخ و برف باشند. معمولاً ماسه از شن مرطوب تر و احتمال وجود یخ در آن بیش تر است، بنابراین اغلب، گرم کردن ماسه ضرورت پیدا می کند.

۵- حداکثر جذب آب سنگ دانه های مصرفی در بتن برای سنگ دانه های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگ دانه های ریز به ۳ درصد محدود می شود.

۶- استفاده از مواد حباب زرا و ساخت بتن با حباب هوا برای بتن هایی که در معرض رطوبت و یخ زدن و آب شدن های متوالی قرار می گیرند الزامی است.

۷- می توان از مواد زودگیر کننده یا ضد یخ بتن نیز در مواردی که خطر یخ زدگی وجود دارد، مشروط بر آن که با ضوابط استاندارد مطابقت داشته باشد، استفاده نمود.

### د) الزامات طرح اختلاط بتن

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

۲- برای کاهش میزان آب قابل یخ زدن در بتن و همچنین کاهش میزان آب انداختن بتن تازه، باید مقدار آب اختلاط حداقل ممکن باشد، بنابراین برای تأمین کارآیی لازم می توان از مواد افزودنی خمیری کننده و روان کننده استفاده نمود.

۳- در صورتی که از مواد افزودنی روان کننده استفاده نمی شود، اسلامپ بتن نباید بیش تر از ۵۰ میلی متر انتخاب گردد.

### هـ) حداقل دمای بتن

۱- حداقل دمای مجاز بتن هنگام اختلاط، ریختن و نگهداری و نیز حداکثر مجاز افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه ی دوره ی حفاظت بتن مطابق جدول ۶-۳ است.

۲- دمای بتن هنگام اختلاط نباید بیش از ۸°C زیاده تر از مقادیر جدول باشد، زیرا موجب اتلاف انرژی بیش تر، افت شدید اسلامپ و در نهایت کاهش کیفیت بتن می گردد.

۳- دمای بتن هنگام ریختن نباید بیش از ۱۱°C زیاده تر از مقادیر جدول باشد، در غیر این صورت موجب کاهش کیفیت بتن می گردد.

### و) نکات مربوط به حمل و ریختن بتن

۱- حمل و ریختن بتن باید به نحوی باشد که بتن تازه، دمای خود را از دست ندهد. بتن باید تا حد امکان در وسایل سر بسته و عایق بندی شده حمل گردد.

۲- قبل از بتن ریزی باید میل گردها، قالب، سطح بتن سخت شده ی قبلی و زمین از هر نوع یخ زدگی زوده شود.



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

جدول ۶-۳- دمای بتن برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد در مراحل مختلف کار با توجه به دمای محیط و اندازه‌ی اعضا و قطعات

| ردیف | شرح                                                                       | دمای محیط<br>(°C) | ابعاد اعضا و قطعات به (میلی‌متر) |               |                |                |
|------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|
|      |                                                                           |                   | کم‌تر از<br>۳۰۰                  | ۳۰۰ تا<br>۹۰۰ | ۹۰۰ تا<br>۱۸۰۰ | بیش از<br>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  $2^{\circ}\text{C}$  - و کم‌تر از آن ممنوع است.

### ز) عمل آوردن بتن تازه

۱- عمل آوردن بتن تازه باید حداقل ۲۴ ساعت و تا رسیدن بتن به مقاومت ۵ مگاپاسکال ادامه یابد.

۲- برای عمل آوردن بتن تازه و محافظت آن از یخ زدن می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

- استفاده از پوشش‌های عایق

- گرم کردن بتن و محیط اطراف

- سایر روش‌ها به تأیید دستگاه نظارت

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

۶-۸-۲- 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 کارایی 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 متراکم کردن 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



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



تخریب ساختمان به دلیل ضعف طراحی و تشکیل طبقه‌ی نرم



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

درصد و برای سنگ‌دانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

ب) دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی نباید بیش از  $32^{\circ}\text{C}$  برای بتن معمولی و  $15^{\circ}\text{C}$  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 :

- ۱- برنامه‌ریزی مناسب و دقیق برای زمان‌های شروع مراحل ساخت بتن و بتن‌ریزی.
- ۲- تنظیم زمان بتن‌ریزی در هنگام خنک بودن هوا.
- ۳- به کار بردن سیمان‌های مناسب با حرارت‌زایی کم یا جایگزین کردن مقداری از سیمان با مواد پوزولانی یا استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی یا روباره‌ای و استفاده از طرح اختلاط مناسب به منظور احتراز از مصرف سیمان زیاد.
- ۴- عدم استفاده از سیمان با دمای بیش از  $75^{\circ}\text{C}$ .
- ۵- پایین نگه داشتن دمای سیمان با نگهداری سیمان در سیلوهای عایق‌بندی شده و یا رنگ‌آمیزی شده به رنگ سفید.
- ۶- کاهش دمای سنگ‌دانه‌ها با انبار کردن آن‌ها در سایه یا آب‌پاشی یا دمیدن هوای سرد به آن‌ها.
- ۷- خنک کردن آب مصرفی و یا جایگزینی بخشی از آن با یخ خرد شده یا یخ پولکی.
- ۸- عایق کردن منابع و لوله‌های تأمین آب و یا رنگ‌آمیزی به رنگ سفید برای قسمت‌هایی که در برابر تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گیرند.
- ۹- نگهداری ابزار و ماشین‌آلات تهیه و حمل مخلوط بتن در سایه و یا آب‌پاشی آن‌ها.
- ۱۰- 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  $5^{\circ}\text{C}$  باید بلافاصله قبل از بتن‌ریزی آب‌پاشی شوند و آب اضافی کاملاً جمع‌آوری گردد.

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

- حفظ بتن از جریان باد و تابش آفتاب توسط بادشکن و سایبان،
- جلوگیری از تبخیر آب بتن با آب‌پاشی بتن،
- در سازه‌هایی که ترک خوردن بتن به‌طور کلی غیرقابل قبول باشد، لازم است تدابیر احتیاطی ویژه‌ای اتخاذ گردد.

و) عمل آوردن 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 ۶-۲ مدت عمل‌آوردن بتن نباید از ۷ روز کم‌تر باشد.

## ۶-۹- 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 هر حال 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 به کار می‌روند که برحسب انواع معایب یا لکه‌ها، بتن‌نمادار و غیرنمادار، با هم متفاوت هستند.

### ۶-۹-۱- دسته‌بندی سطوح مورد ترمیم

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

- ۱- سطوحی که با نماسازی یا با مصالح پرداختی پوشیده خواهند شد.
  - ۲- سطوحی که وجود لکه‌ها و عدم یکنواختی رنگ آن‌ها از نظر ظاهری اهمیتی ندارد.
- (در این حالت، ترمیم به سطوح کرمو و پر کردن 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:

- ۱- سطوح نماسازی شده با قالب، بتن‌های شسته و سطوح تخته‌ماله‌ای 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).
  - ۲- 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:
- ۱- هرگونه تعمیر یا لکه‌گیری در سطح بتن، بدون بررسی کیفیت، باعث به وجود آمدن سطوحی می‌شود که نسبت به بتن اطراف رنگی متفاوت دارد.
  - ۲- لکه‌هایی که در مقایسه با محیط اطراف از نظر تعداد، سطح و گستردگی کوچک هستند بهتر است دست نخورده باقی بمانند.
  - ۳- 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.
  - ۴- رسیدن به رنگ بتنی یکنواخت در بتن سفید ساده‌تر از بتن خاکستری است.
  - ۵- ساخت بتنی با رنگ یکنواخت و بدون لکه بسیار مشکل است.

### ۶-۹-۲- 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 آن قدر باقی بماند تا به اندازه‌ی کافی شکننده شود و به وسیله‌ی قطعه‌ای چوب سخت و یا یک قلم به دقت خرد شود. این کار معمولاً به گونه‌ای انجام می‌شود که فقط دوغاب برداشته شده و به سطح قبلی آسیب نرسد.



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.



اتصال نامناسب و بتن نامرغوب موجب شده است که آرماتورها قبل از این که 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 به خوبی به بالای قسمت قبلی فشرده نشود، نه تنها احتمال بیرون آمدن دوغاب وجود دارد، بلکه ممکن است مقداری سطوح کرم 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.

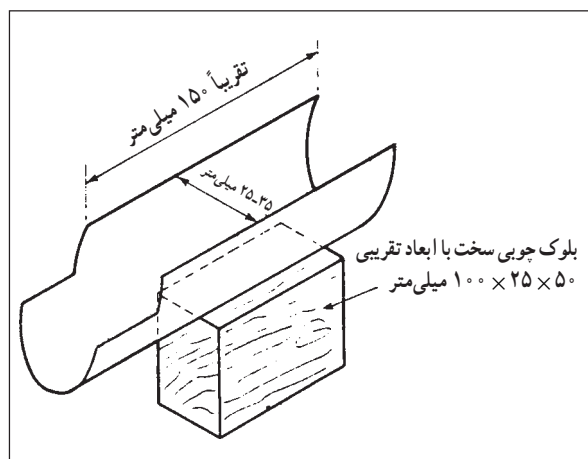
ج) ترمیم لبه‌ها و نبشی‌ها: تعمیر اساسی لبه‌ها و گوشه‌هایی که در اثر ضربه‌های تصادفی یا سهل انگاری در هنگام برداشتن قالب‌ها، به خصوص در نما، به وجود آمده‌اند بسیار مشکل است و به دقت زیادی نیاز دارد. پیشنهاد می‌شود که گوشه‌ها و لبه‌ها را با خردشدگی تا ۱۰ میلی مترها کنیم. برای تعمیر، بهتر است اطراف قسمت 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: بر 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 (پر کردن تا سطحی عقب‌تر از سطح بتن) مقایسه کرد. به هنگام پر کردن هم سطح سوراخ‌ها باید دقت کرد که از برخورد ملات با بتن اطراف جلوگیری شود (شکل‌های ۶-۳۴ و ۶-۳۵).



شکل ۶-۳۴- نمونه‌ای از محل‌های مهاری پر نشده



شکل ۳۵-۶- وسیله‌ای برای پر کردن سوراخ‌های میله‌های مهاري (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 :

- ۱- تمیز کردن کامل سوراخ با فرو کردن قطعه‌ای پارچه به داخل آن ؛
- ۲- خیس کردن داخل سوراخ‌ها برای کنترل مکش ؛
- ۳- ساخت مقداری از مخلوط با ترکیبی که رنگی شبیه بتن را فراهم کند ؛
- ۴- فرو کردن ملات به داخل سوراخ و سنبه زدن آن به‌طور کامل، با استفاده از وسیله‌ی نشان داده شده در شکل ۳۶-۶. در هر مرحله، تنها ۲۵ میلی متر از سوراخ با ملات پر می‌شود.



شکل ۳۶-۶- سنبه زدن ملات به داخل سوراخ گیره‌ی قالب

- ۵- استفاده از یک قطعه چوب برای پر کردن سوراخ‌های فرو رفته. با کوبیدن چوب به وسیله‌ی چکش، فرو رفتگی‌هایی با عمق یکسان به وجود می‌آید (شکل ۳۷-۶).



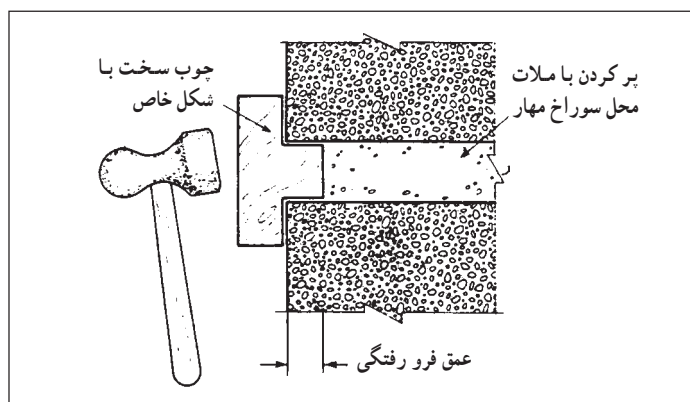
بتن نامرغوب و فاصله‌ی زیاد خاموت‌ها باعث این خرابی شده است.



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

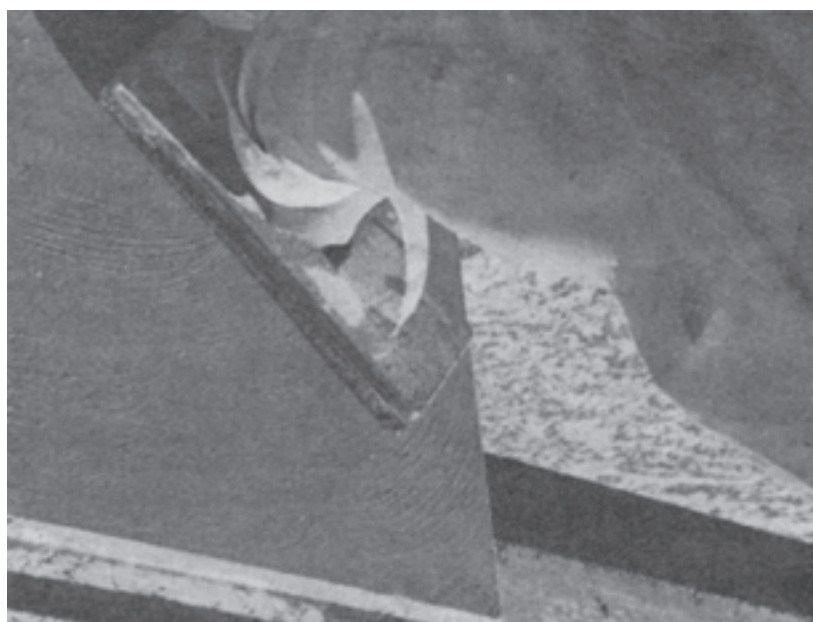


استفاده از دو سیستم سازه‌ای و عدم پیوستگی تیرهای فولادی و ستون بتنی خرابی‌ها موجب تخریب آن در حین زلزله شده است.



شکل ۶-۳۷- پر کردن سوراخ‌های فرو رفته در محل مهارها

هـ) ترمیم محل جاب‌های سطحی: اگر جاب‌های 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. جاب‌های 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 ۶-۳۸).



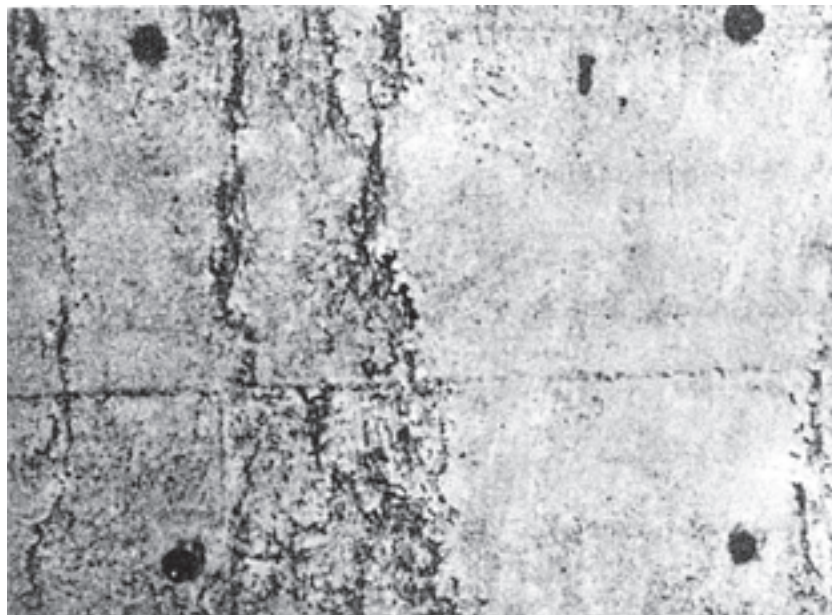
شکل ۶-۳۸- پر کردن جاب‌های سطحی با استفاده از یک ماله با سطح اسفنجی. هنگامی که دوغاب سخت شد، مواد اضافی با مالیدن سطح برداشته می‌شود تا سطح اولیه ظاهر شود.



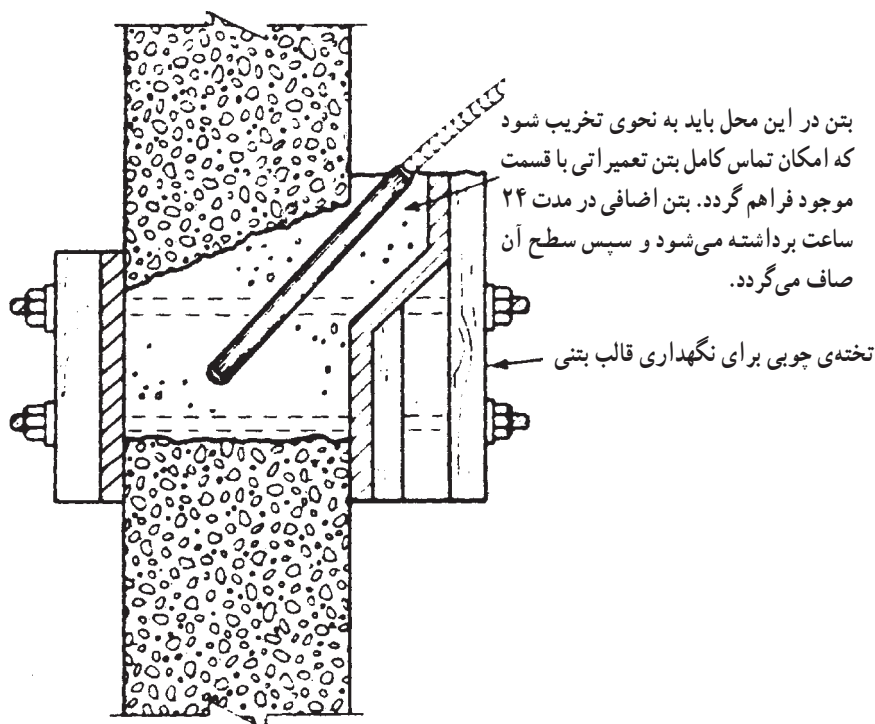
اتصال نامناسب ستون با دال و نبود خاموت در محل اتصال، اجرای نادرست ستون و کیفیت نامرغوب بتن موجب خرابی ستون و به تبع آن تخریب کل سازه شده است.

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.

برای تعمیرات کم عمق (کم تر از ۵۰ میلی متر)، استفاده از ملات ارجح است. نوع ملات به پرداخت مورد نظر بستگی دارد (شکل های ۶-۳۹ تا ۶-۴۳).  
برای تعمیر لکه های عمیق باید قبل از لکه گیری در بتن قدیمی، میل گردهایی به منظور تقویت لکه گذاشته شود.



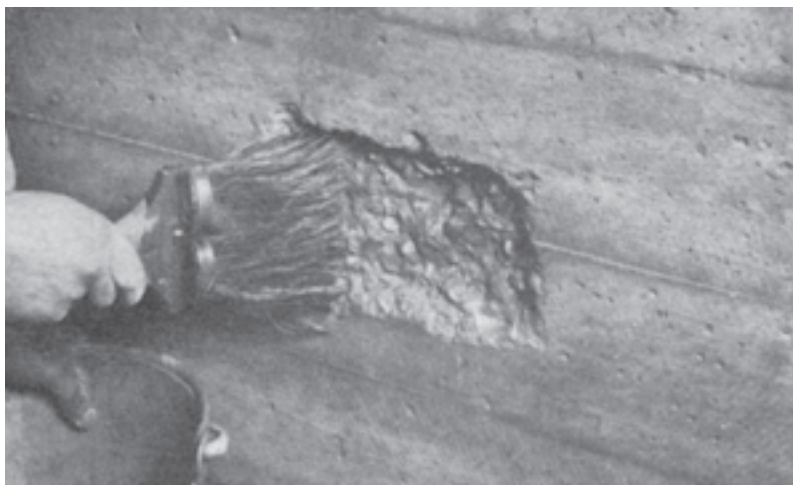
شکل ۶-۳۹- نمونه ای از سطح بتن آب شسته، محل پیچ ها به صورت سوراخ های سیاه دیده می شود.



شکل ۶-۴۰- تزریق جعبه ای، روش تعمیر بتن کرمو شده ی عمیق



در این شکل کماتش موضعی میل گردهای طولی ستون و به دنبال آن خرابی بتن، به ویژه هسته ی بتنی و اختلال در عملکرد ستون مشاهده می شود. علت این موضوع، فاصله ی زیاد میل گردهای برشی (خاموت ها) در ستون و شروع ترک از محل قطع میل گردهای انتظار ریشه ی ستون بوده است. رعایت ضوابط آیین نامه ی طراحی سازه های بتنی (آبا) در مورد فاصله ی خاموت ها و وصله ی میل گردها، از بروز چنین مشکلی جلوگیری می کرد.



وصله زدن - قسمت معیوب کنده شده و سطح برای جلوگیری از مکش مرطوب می شود.



پر کردن با ملات



متراکم کردن با یک تخته و چکش

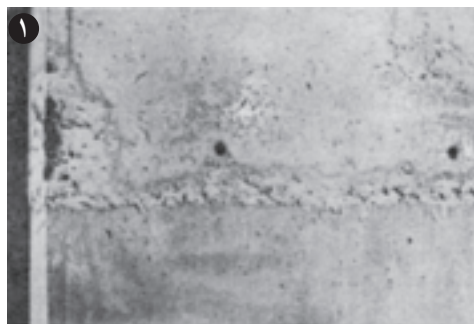
شکل ۶-۴۱- ترمیم بتن در لکه های با قطر بیش از ۱۰ میلی متر



شکل ۴۲-۶- روش ترمیم دوغاب‌های اضافی که از محل درز بین دو قالب بیرون زده است.



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 به درستی اجرا نشده است.



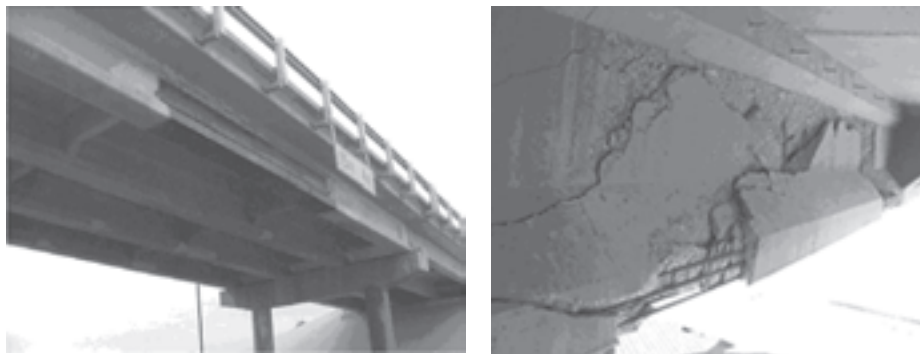
شکل ۶-۴۳- روش ترمیم سطح کرمو و لبه‌های شکسته شده سازه‌های بتنی

## ۶-۱۰- 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 ۶-۴۴).



الف - 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 - 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 ۶-۴۴ - نمونه‌هایی از مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی



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

## ۱۱-۶- قالب بندی

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

### ۱۱-۶-۱- تعریف قالب بندی و داربست: قالب بندی 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 قالب بندی، سکوها و کار و تحمل بارهای در حین اجرا، برپا می‌شود و شامل شمع بندی، پایه‌های قائم، صفحات افقی، بادبندها و زیرسری‌ها و همانند آن است.

### ۱۱-۶-۲- عملکردهای قالب:

– 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. – قالب باید بتن را در مقابل صدمات مکانیکی حفظ کند و از کم شدن رطوبت بتن و نشست 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.

### ۱۱-۶-۳- بارهای وارده به قالب: قالب باید طوری طراحی شود که بتواند بارهای

وارده را قبل از این که سازه‌ی بتنی مقاومت کافی به دست 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 کار گذاشته شده در بتن

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

هـ) بارهای موقت حاصل از انبار کردن 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 بتن ریزی 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



آیین نامه ی بتن ایران. با رعایت ضوابط این آیین نامه می توان سازه ای ایمن ساخت.



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

ه) بارهای حاصل از نشست نامتقارن تکیه گاه های قالب  
و) بارهای ناشی از لرزاندن و متراکم کردن بتن  
ز) فشار دوغاب تزریقی در بتن پیش آکنده<sup>۱</sup>  
۱۱-۴-۶- توصیه های آیین نامه ی بتن ایران:  
۱۱-۴-۱-۱-۶- اجرای قالب

۱- توصیه می شود سطوح فوقانی با شیب بیش تر از ۲: ۳ (۲ قائم/۳ افقی) قالب بندی شوند، به هر حال تعبیه ی قالب برای سطح فوقانی با شیب بیش تر از ۱: ۱۰ الزامی است.

۲- قبل از جاگذاری آرماتورها باید تا حد امکان رویه ی قالب ها را نصب کرد و مواد رها ساز را روی قالب ها مالید.

۳- قطعات رویه ی قالب ها باید در کنار هم طوری قرار گیرند (جفت شوند) که هدر رفتن شیره بتن ممکن نباشد.

۴- قالب ها باید از هر نوع آلودگی، ملات ها، مواد خارجی و نظایر این ها عاری باشند و قبل از هر بار مصرف با مواد رها ساز پوشانده شوند. این مواد را باید چنان به کار برد که بدون آلوده شدن آرماتورها، روی سطوح قالب، لایه ای یکنواخت و نازک به وجود آید.

۵- در مواردی که دسترسی به کف قالب ها دشوار یا غیر ممکن باشد، باید با تعبیه ی دریچه های بازدید و کف شوی های قالب، امکان تمیز کردن قالب قبل از بتن ریزی را فراهم کرد.

۶- در صورتی که کیفیت سطح تمام شده اهمیتی خاص داشته باشد، نباید از قطعات قالب های صدمه دیده در مراحل قبلی استفاده کرد.

۷- هنگام برداشتن قالب سطوح زیرین قطعات بتن مسلح باید با رعایت بند ۸، پایه هایی به عنوان پایه های اطمینان در زیر سطوح باقی گذاشت، تا از بروز تغییر شکل های تابع زمان جلوگیری شود.

۸- پیش بینی پایه های اطمینان برای تیرهای با دهانه ی بزرگ تر از ۵ متر، تیرهای کنسول به طول بیش تر از ۲/۵ متر، دال های با دهانه ی بزرگ تر از ۳ متر و دال های کنسول به طول بیش تر از ۱/۵ متر اجباری است. تعداد پایه های اطمینان باید طوری باشد که فاصله ی آن ها به هر حال از ۳ متر تجاوز نکند.

۹- مجموعه ی قالب بندی باید در تمامی مراحل قبل از بتن ریزی، ضمن و بعد از آن به دقت زیر نظر باشد و به منظور حفظ مجموعه در محدوده ی رواداری های تعیین شده تنظیم شود.

## ۱۱-۴-۲- قالب برداری:

الف) قالب باید موقعی برداشته شود که بتن بتواند تنش های مؤثر را تحمل کند و تغییر شکل آن از تغییر شکل های پیش بینی شده تجاوز نکند.

ب) پایه ها و قالب های باربر نباید قبل از آن که اعضا و قطعات بتنی مقاومت کافی را برای تحمل وزن خود و بارهای وارد کسب کنند، برچیده شوند.

ج) عملیات قالب برداری و برچیدن پایه ها باید گام به گام و بدون اعمال نیرو و ضربه، طوری

۱- در ساخت این نوع بتن، ابتدا سنگ دانه های درشت در درون قالب و یا در فضای مورد نظر جیده شده یا با وسایلی مناسب و به نحوی مشخص ریخته، توزیع و متراکم می شوند. سپس ملات سیمان که معمولاً حاوی مواد روان کننده و منبسط شونده است، به طور مداوم از پایین به بالا تحت فشار به طور یکنواخت در فضای خالی بین سنگ دانه ها تزریق می شود.



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 مهار 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) در صورتی که قالب‌برداری قبل از پایان دوره‌ی مراقبت انجام پذیرد، باید تدابیری برای مراقبت بتن پس از قالب‌برداری اتخاذ کرد.

ه) در صورتی که زمان قالب‌برداری در طرح تعیین و تصریح نشده باشد باید زمان‌های داده شده در جدول ۶-۴ را به عنوان 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 ۶-۴ فقط به شرط آزمایش قبلی میسر است.

جدول ۶-۴- حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری<sup>۱</sup>

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

در صورتی که آزمایش آزمون‌های 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 در صورتی مجاز است که علاوه بر مراعات تمامی محدودیت‌ها، بتن به مقاومت بیست و هشت‌روزه‌ی موردنظر رسیده باشد.

#### ۶-۱۱-۴-۳ 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 در صورتی که قطعه‌ی موردنظر جزئی از سیستمی پیوسته باشد، موقعی می‌توان پایه‌های اطمینان را برداشت که تمامی قطعات مجاور آن هم بتن‌ریزی شده باشند.

در صورتی که تیر یا دال یکسره طراحی شده باشد، نمی‌توان پایه‌های اطمینان دهانه‌ای را برچیدن

۱- 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 به دست 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 به دست 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. (ه) 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 به طوری که در صورت لزوم در هر لحظه بتوان باربرداری از روی پایه‌ها را متوقف کرد.

### پرسش

- ۱- اندازه کردن مصالح سنگی اغلب از چه طریق انجام می‌شود؟
- ۲- ظرفیت انتقال بتن، حداکثر طول حمل و ارتفاع جابه‌جایی بتن با پمپ‌های بتن چه مقدار است؟
- ۳- شرایط بتن‌ریزی در دیوارها چیست؟
- ۴- برای اتصال بتن‌ریزی‌های ناپیوسته چه تدابیری صورت می‌گیرد؟
- ۵- معایب وجود هوا در بتن چیست؟
- ۶- زمان بهینه برای مخلوط کردن مصالح در مخلوط‌کن به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۷- توصیه‌های لازم به منظور اطمینان از عدم یخ‌زدگی کدام است؟
- ۸- از چه وسایلی برای پوشش‌های عایق استفاده می‌شود؟
- ۹- حفاظت و نگهداری بتن در هوای گرم چگونه انجام می‌شود؟
- ۱۰- مراحل پرداخت سطح بتن را توضیح دهید.
- ۱۱- عمل آوردن بتن را تعریف کنید.
- ۱۲- به نظر شما چرا نیاز به بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی موجود وجود دارد؟
- ۱۳- هدف از قالب‌بندی چیست؟
- ۱۴- عملکردهای قالب را بیان کنید.
- ۱۵- بارهای وارد به قالب را نام ببرید.
- ۱۶- آیین‌نامه‌ی بتن ایران چه توصیه‌هایی در خصوص قالب‌بندی بیان کرده است؟
- ۱۷- 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؟

## آشنایی با فناوری‌های نو در ساختمان‌های بتنی

### ۱- بتن‌های خاص

#### ۱-۱- 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)<sup>۱</sup>، بتن پلیمری (PC)<sup>۲</sup> و بتن پلیمری با سیمان پرتلند (PPCC)<sup>۳</sup>. برای ساخت بتن با پلیمر تزریقی نوعی پلیمر در بتن 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 پایداری 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.

#### ۱-۲- بتن گوگردی

تولید زیاد گوگرد در سال‌های اخیر، منجر به استفاده از آن به عنوان 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  $140^{\circ}\text{C}$  با هم مخلوط می‌شوند. بتن گوگردی در مقایسه با بتن معمولی، سریع‌تر به مقاومت می‌رسد و در شرایط دمایی و رطوبتی معمولی، ۹۰ درصد مقاومتش را در ۶ تا ۸ ساعت به‌دست می‌آورد. مقاومت بالا در سنین اولیه و پایداری 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

۱- Polymer Impregnation Concrete

۲- Polymer Concrete

۳- 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.

### ۱-۳- بتن الیافی

بتن مسلح با الیاف یا بتن الیافی، بتنی است که با سیمان، مصالح سنگی و الیاف مجزا و غیر پیوسته ساخته می‌شود. الیاف ممکن است از مصالح طبیعی مانند پنبه‌ی نسوز، انواع مخصوص کف 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.

### ۱-۴- بتن غلتکی

بتن غلتکی (RCC)<sup>۱</sup> 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 به کار 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.

### ۱-۵- بتن با مقاومت بسیار بالا

مقاومت بتن بستگی به خواص مواد تشکیل‌دهنده، نسبت‌های اختلاط و روش‌های اختلاط، جا دادن، تراکم و عمل آوردن 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 به کار می‌رود: انجام تراکم بهتر، بهبود چسبندگی بین دانه‌ها و خمیر سیمان، کاهش تخلخل بتن و استفاده از عوامل خارجی مانند تزریق سولفور 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 دانه‌های 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.

۱- Roller Compacted Concrete

## ۱-۶- بتن سبک

بتن سبک، بتنی است که وزن مخصوص آن به طور محسوسی کم تر از وزن مخصوص بتنی است که با سنگ دانه های طبیعی یا شکسته ساخته می شود. این بتن معمولاً با استفاده از سنگ دانه های سبک تهیه می شود. بتن سبک به منظور کاهش وزن سازه به کار می رود، هرچند مقاومت فشاری نهایی آن در مقایسه با بتن های معمولی مقدار کمتری است. معمولاً افزایش هزینه در ساخت بتن سبک با کاهش بار مرده که منجر به کاهش ابعاد پی ها، دیوارها، تیرها و ستون ها و ضخامت سقف می شود و با افزایش مقاومت بتن در مقابل آتش سوزی و عایق صوتی و حرارتی بودن آن، جبران می شود.

## ۱-۷- بتن سنگین

بتن سنگین به بتنی گفته می شود که دارای وزن مخصوص بزرگ تری نسبت به بتن های ساخته شده با سنگ دانه های معمولی می باشد. این بتن معمولاً با استفاده از سنگ دانه های سنگین تهیه می شود و به طور ویژه به عنوان سپر محافظ در مقابل تشعشع به کار می رود. هرچند که سپرهای محافظ در مقابل تشعشع، کاربرد اصلی این نوع بتن ها هستند، لیکن در ساخت بتن های وزنی و یا در مواردی که نیاز به افزایش اقتصادی بار مرده ی سازه بدون افزایش حجم هستیم، نیز مورد استفاده می باشد. بتن سنگین همواره هزینه ی ساخت بیش تری نسبت به بتن های معمولی دارد.

## ۲- بتن پاشیده

روشی که در آن، بتن بر روی یک سطح پاشیده می شود، به بتن پاشیده و یا شاتکریت معروف است. بتن پاشیده به صورت خشک، تر و الیافی می باشد که در هر سه حالت مصالح مخلوط شده، توسط دستگاه بتن پاش بر روی سطح مورد نظر پاشیده می شود. استفاده از بتن پاشی هم برای اجرای ساختمان های جدید و هم تعمیر سازه های موجود امکان پذیر است. اجرای ساختمان جدید شامل پوشش کانال ها، جدار مخازن، تونل ها و لوله ها، بتن ریزی دال ها، دیوارها و گنبدها، کنترل فرسایش شیب های زمین و استخرهای شنا می باشد. پوشش را می توان 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، شمع ها برای روکش کردن آن ها، سطوح سدها و محافظت سقف در معادن و تونل ها به کار برد.

## ۳- اجزای پیش ساخته ی بتنی

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

پیش‌ساختگی در بتن، امکان صنعتی کردن تولید ساختمان را به وجود می‌آورد که در آن طراحی، تولید و نصب به صورت مهندسی درمی‌آید. پیش‌ساختگی اجزای ساختمانی، غالباً به دو روش، پیش‌ساختگی در کارگاه و پیش‌ساختگی در کارخانه، 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 جوی و سرعت عمل بیش‌تر. شکل (۱) نمونه‌هایی از قطعات پیش‌ساخته‌ی بتنی را نشان می‌دهد.



راه‌پله‌ی پیش‌ساخته



دیوار پیش‌ساخته



تیر پیش‌ساخته



مناره‌ی پیش‌ساخته



دیوار حایل پیش‌ساخته

شکل ۱- اجزای پیش‌ساخته‌ی بتنی

## ۴- بتن ساندویچی

بتن ساندویچی، متشکل از یک لایه فوم پلی استایرن بین لایه‌های بتن است. برای تهیه‌ی قطعات از این نوع بتن، دو شبکه‌ی فلزی میل گردهای به هم جوش خورده 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 سانتی متر 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 سقف



نصب صفحات بر روی فونداسیون اجرا شده



تعبیه‌ی بازشوهای در و پنجره

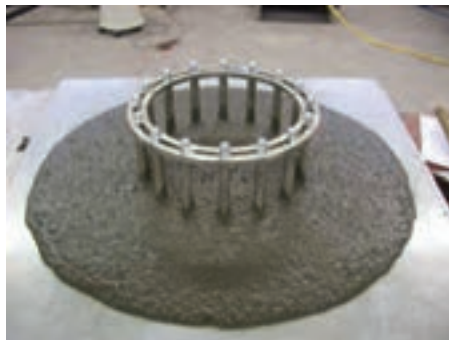


بتن پاشی روی دیوار

شکل ۲- نمونه‌ی اجرای قطعات ساخته شده از بتن ساندویچی

## ۵- بتن خود تراکم

در سازه‌های بتنی برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز و کاهش تخلخل و هوای درون بتن و حصول پایداری و دوام در برابر عوامل محیطی، بتن به روش‌های مختلف لرزانده می‌شود. 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).



شکل ۳- 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 فوق‌روان‌کننده امکان‌پذیر بوده است ولی چنان‌چه از این طریق روانی بتن بیش از حد معین افزایش یابد جداسدگی در بتن اتفاق افتاده و به کیفیت بتن صدمه می‌زند. با ابداع فوق‌روان‌کننده‌های نسل جدید که حاصل تلاش پژوهشگران ژاپنی بوده است می‌توان ضمن به‌دست آوردن روانی زیاد، از ایجاد جداسدگی نیز جلوگیری نمود. استفاده از بتن خود تراکم نه تنها خیال مجریان پروژه‌ها را از عدم کارایی و یا ضعف اجرایی کارگران آسوده می‌سازد، بلکه موجب صرفه‌جویی‌های چشمگیری در مدت زمان اجرا و به تبع آن در هزینه‌ها می‌گردد (شکل ۴).



شکل ۴- 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 جداسدگی و انسداد.

**مقاومت در برابر جداسدگی (پایداری):** توانایی در همگن باقی ماندن در ترکیب به هنگام حمل و نقل، قرارگیری و قالب‌زنی.

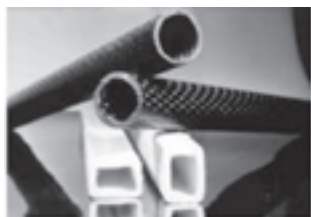
مزایای چشمگیر بتن خود تراکم موجب گسترش سریع آن در دنیا شده است. از جمله این مزایا می‌توان به مواردی از قبیل اجرای سریع‌تر ساختمان‌ها، اطمینان از تراکم به خصوص در مقاطعی که کاربرد لرزاننده دشوار است، همگنی بیش‌تر و دوام بهتر، پرداخت بهتر سطوح، قالب‌ریزی بهتر، کاهش تعمیرات ناشی از تراکم ناکافی، اجرای مقاطع 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 می‌رسد.

## ۶- 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 فناوری 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.



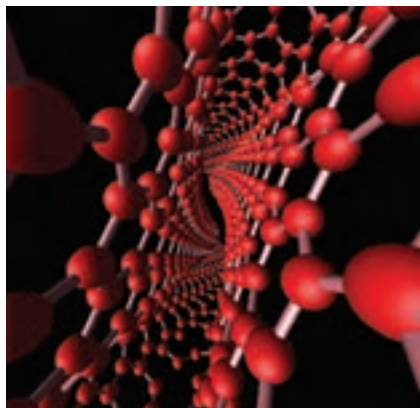
شکل ۵- نمونه‌هایی از میل‌گردهای کامپوزیتی

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. بالا بودن 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 مسلح شده 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 خورده شدن 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 کارایی سازه در صورت خورده شدن 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 این که 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.



ساختار مولکولی نانو لوله‌های کربنی

## ۷- استفاده از فناوری نانو در ساختمان‌های بتنی

### ۷-۱- تعریف و کاربردهای فناوری نانو

نانو همان مقیاس ده به توان منفی نه یا یک میلیاردم متر است. کار کردن با سطوح اتمی و مولکولی به فناوری نانو موسوم است. با توجه به این که 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 به عنوان فناوری کلیدی قرن بیست و یکم می‌شناسند.

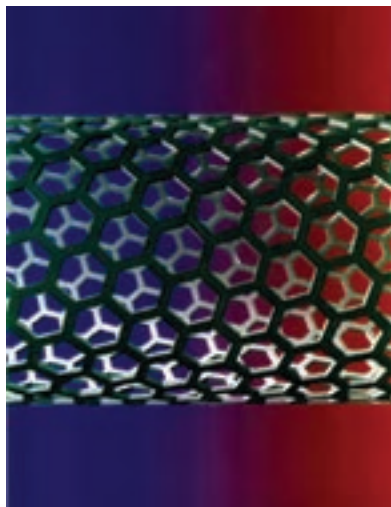


ازجمله کاربردهای فناوری نانو، می‌توان به برخی از موارد مانند کاربرد نانو در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، ضد خراش کردن رنگ، ایجاد خاصیت خود تمیزشوندگی شیشه، افزایش مقاومت سایشی لاستیک‌ها، درمان سریع بیماری‌های صعب‌العلاج، ساخت پارچه‌های ضدچروک و

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.

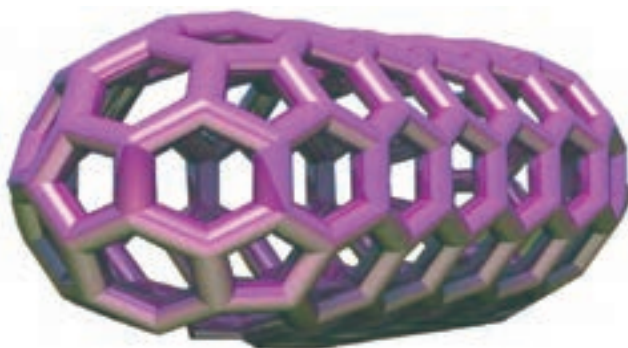
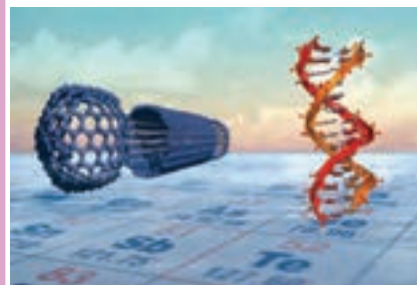
### ۷-۲- کاربردهای فناوری نانو در بتن به عنوان مواد افزودنی

یکی از مبانی پایه در فناوری نانو، لوله‌ی کربنی است که به عنوان مواد افزودنی در موارد مختلف ازجمله بتن به کار می‌رود. نانو لوله‌ی کربنی، بعد از گرافیت و الماس سوم ساختارهای کربنی به شمار می‌رود که شبیه لوله‌هایی هستند که قطری معادل چند نانومتر و طولی معادل چند

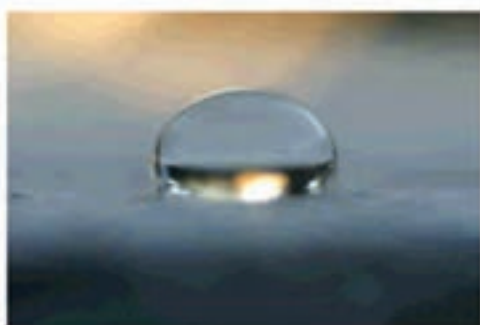


میکرون دارند و در اطراف آن‌ها فقط اتم کربن وجود دارد که به صورت شش ضلعی به یکدیگر متصل شده‌اند. نحوه‌ی اتصال این اتم‌ها به یکدیگر، موجب پیدایش خواص خارق‌العاده در این گونه مواد می‌شود. از جمله‌ی این خواص، استحکام فوق‌العاده است که این مواد را به عنوان تقویت‌کننده‌ی ایده‌آل معرفی می‌کند. همان گونه که ذکر شد، یکی از کاربردهای فناوری نانو در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها است که با افزودن نانو لوله‌ی کربنی به بتن، سبب بالا رفتن 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 به کار 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.



- ۱- ارزیابی مقاومت و روش‌های ایمن‌سازی سازه‌های بتنی، دکتر علیرضا رهایی، سعید نعمتی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.
- ۲- آسیب‌دیدگی‌های بتن، علل و عوامل آن، ترجمه‌ی نرمین عسگری، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشر پیمان، ۱۳۶۶.
- ۳- آیین‌نامه‌ی بتن ایران «آبا»، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره ۲۰، تجدیدنظر اول، تهران، ۱۳۷۹.
- ۴- بتن‌سازی عملی، ترجمه‌ی محمدرضا زربونی و هرمز پایوش، انتشارات رامان، تهران، ۱۳۶۲.
- ۵- خواص بتن، پروفیسور نوئل، ترجمه‌ی دکتر هرمز فامیلی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، تهران، ۱۳۷۸.
- ۶- بتن و روش اجرای آن براساس آیین‌نامه‌ی CP110، جی. بارنیروک، ترجمه‌ی مهندس مسعود انصاری، ۱۳۶۲.
- ۷- بتن و اجرای آن، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانپور، مهندس پرویز قدوسی و مهندس محمدحسین هوشدار تهرانی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۰.
- ۸- بم و زمین‌لرزه‌اش می‌آموزد، نشریه‌ی شماره‌ی ک-۴۰۷، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۸۲.
- ۹- تاریخ مهندسی در ایران، مهدی فرشاد، نشر بلخ، ۱۳۷۶.
- ۱۰- تفسیر آیین‌نامه‌ی بتن ایران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ۱۳۸۰.
- ۱۱- تکنولوژی بتن، پروفیسور نوئل و دکتر بروکس، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانپور و مهندس محمدرضا شاه‌نظری، انتشارات علم و صنعت ۱۱۰، چاپ ششم، تهران، ۱۳۷۸.
- ۱۲- تکنولوژی ساختمان، مجلدات ۱، ۲، ۳ و ۴، تألیف ریچاردلی، ترجمه‌ی اردشیر اطمینانی، انتشارات آرمان، ۱۳۷۰.
- ۱۳- تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، دکتر داود مستوفی‌نژاد، نشر صفحه، ۱۳۷۷.
- ۱۴- 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.

۱۵- دستنامه‌ی اجرای بتن، ج. وادل - ج. دو بروولسکی، ترجمه‌ی دکتر علی‌اکبر رمضانپور، مهندس شاپور طاحونی، مهندس منصور پیدایش، انتشارات علم و ادب، تهران، ۱۳۸۲.

۱۶- دستورالعمل آزمایشگاه تکنولوژی بتن، مهندس حمیدرضا عراقیان، انتشارات دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۰.

۱۷- دستورالعمل ساخت و اجرای بتن در کارگاه، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره‌ی ۳۲۷، تهران، ۱۳۸۵.

۱۸- طراحی سازه‌های بتن مسلح (بر مبنای آیین‌نامه‌ی بتن ایران)، مهندس شاپور طاحونی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، تهران، ۱۳۷۸.

۱۹- طراحی سازه‌های بتنی مسلح، جلد ۱ و ۲، شاهین تعاونی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، تهران، ۱۳۶۸.

۲۰- طرح اختلاط بتن، دکتر علی‌اکبر رمضانپور، انتشارات علم و صنعت، چاپ اول، تهران، ۱۳۶۷.

۲۱- طرح و کنترل مخلوط‌های بتن، ترجمه‌ی دکتر محمدابراهیم طسوجی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۶۶.

۲۲- فناوری ساختمان‌های بتنی، علی‌اصغر حکیمی‌ها، وزارت آموزش و پرورش، شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای، ۱۳۸۳.

۲۳- فناوری در خدمت ساخت و ساز، مهندس محمدصالح رحیم‌لباف‌زاده، پژوهشی به درخواست کمیته‌ی ملی المپیک، ۱۳۸۲.

۲۴- گزارش ارائه شده توسط کمیته نانوفناوری بسیج علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴.

۲۵- مشخصات فنی و عمومی کارهای ساختمانی، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه‌ی شماره‌ی ۵۵، تجدید نظر دوم، تهران، ۱۳۸۳.

۲۶- 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.

۲۷- Reinforced Concrete Detailors Manual, Brain Boughton, Granada Publishing, 1982.

۲۸- The Seismic Design Handbook, Farzad Naeim, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, 2001.

