روش اجرا

بتن و بتن‌ریزی

8- *Gang, D., Xiumin, F., and Dongming, H., Analysis and Optimization of Cone Crusher Performance, Mineral Engineering, V. 22, Issue 12, 2009, pp. 1091-1093.*

9- *Hulthen, E., and Evertsson, C.M., Real-Time Algorithm of Cone Crusher Control with Two Variables Minerals Engineering, V. 24, Issue 9, 2011, pp. 987-994.*

۱۰-مجتبی کثیری قمی، برنامه‌ریزی و مدیریت کارگاه سنگ‌شکن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش مدیریت پروژه (استاد راهنما: پرویز قدوسی)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۱.

۱۱-روش ملی طرح مخلوط بتن، کمیته تدوین، پ. قدوسی، ع. رمضانیانپور، ط. پرهیزکار، ع. باقری، م. تدین، الف. رئیس قاسمی و ع. پورخورشیدی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۶.

فصل دوم: انبارش مصالح، پیمانه کردن، مخلوط کردن و انتقال بتن

۲-۱ مقدمه

تمام مراحل انبارش مصالح مصرفی ساخت سازه‌های بتن آرمه، پیمانه کردن مصالح، مخلوط کردن اجزای بتن و انتقال بتن تازه تأثیر بسزایی در کیفیت و عملکرد سازه‌ها دارند. در صورت عدم رعایت توصیه‌ها، مقاومت و دوام بتن مورد نظر حاصل نمی‌شوند. توصیه‌هایی که در این فصل ارائه شده‌اند از مبحث نهم مقررات اصلی ساختمان، آیین‌نامه ACI و منابع معتبر دیگر می‌باشند.

۲-۲ انبارش مصالح

۲-۲-۱ انبارش سیمان

سیمان به دو صورت متفاوت فله‌ای و کیسه‌ای از طرف کارخانه‌های سازنده به کارگاه‌ها تحویل داده می‌شود. [۱-۳]

- **سیمان فله‌ای:** سیمان فله‌ای بدون بسته‌بندی توسط کامیون‌های مخصوص حمل سیمان که به بونکر موسوم است به کارگاه‌ها ارسال می‌شود. برای تخلیه سیمان از بونکر توسط یک پمپ باد که بر روی بونکر نصب است، استفاده می‌شود. مخزن ذخیره سیمان به سیلو نامیده می‌شود. برای تخلیه سیمان از بونکر به سیلو از یک لوله استفاده می‌شود و با پمپ، سیمان به سیلو منتقل می‌گردد. سیلوها مخزن فلزی می‌باشند که مقطع آن به شکل دایره است و بخش پایین مخزن به شکل مخروط است. دریچه تخلیه در پایین سیلو قرار دارد. در هنگام استفاده از سیمان فله‌ای باید موارد زیر رعایت شوند:

  - شیب بخش پایین سیلو باید حداقل ۵۰ درجه باشد تا امکان باقی‌ماندن ذرات سیمان در پایین سیلو امکان‌ناپذیر شود.

- اگر از چند نوع سیمان استفاده می‌شود، در سیلوهای متفاوت نگهداری شوند. حتی اگر یک نوع سیمان از کارخانه‌های متفاوت نگهداری می‌شوند توصیه می‌گردد که در سیلوهای جداگانه ذخیره شوند.
- امکان دارد به مرور زمان ذرات سیمان به دیواره اطراف سیلو بچسبند، بنابراین بهتر است هر چند وقت یک بار با فشار ملایم باد، سیلو را پاک و تمیز کرد.
- حداکثر مدت مجاز مصرف سیمان فله‌ای ۹۰ روز پس از تولید است. اگر مدت بیشتر شد، باید سیمان مورد آزمایش‌های مربوط قرار بگیرد.

• **سیمان کیسه‌ای:** سیمان کیسه‌ای باید طبق شرایط که به شرح زیر توصیه شده‌اند نگهداری شوند. اگر سیمان به مدت طولانی انبار شود ممکن است به شکل کلوخه و ذرات فشرده تبدیل شود، درغیراینصورت می‌توان با ضربه زدن به کیسه‌ها، کلوخه‌ها را خرد کرد. به هر حال در زمان مصرف سیمان باید به صورت پودر و فاقد کلوخه باشد. در صورتی که کلوخه‌ها به سهولت شکسته نشوند، باید سیمان را قبل از مصرف مورد آزمایش قرار داد. در مواردی که کیفیت سیمان مشکوک باشد، باید آزمایش‌های استاندارد مقاومت یا افت ناشی از سرخ شدن انجام شود.

به منظور تعیین مقاومت سیمان، نمونه های ملات با ماسه مخصوص که به ماسه استاندارد موسوم است ساخته شوند. سپس مقاومت این نمونه‌ها در سنین معین باید اندازه‌گیری شوند. مقادیر مقاومت باید با استانداردها و مقررات ملی ساختمان تطابق داشته باشند. برای انجام آزمایش افت ناشی از حوادث یا سرخ شدن، سیمان تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شود و سپس مقدار کاهش وزن اندازه‌گیری می‌گردد. کاهش وزن به مقدار زیاد نشانه کربناته شدن و هیدراته شدن زودرس سیمان است که بر اثر طولانی شدن زمان نگهداری یا شرایط نامطلوب انبارش حاصل می‌شود. مقدار کاهش وزن باید مطابق با استانداردها و مقررات ملی ساختمان باشد. در هنگام انبارش سیمان‌های کیسه‌ای باید موارد زیر رعایت شوند [۱-۳]:

- در هنگام تحویل گرفتن سیمان، باید در محل انبارش، نوع سیمان، کارخانه سازنده، و تاریخ بسته‌بندی و همچنین تاریخ تحویل ذکر شوند.
- اگر کیسه‌ها در محیط باز انبار می‌شوند، باید کیسه‌ها بر روی سکوی بالاتر از سطح چیده شوند.
- اگر کیسه‌ها در انبار نگهداری می‌شوند، برای آن که رطوبت به کیسه‌ها نرسد، باید کیسه‌ها از دیوار فاصله داشته باشند.
- در هوای خشک، کیسه‌ها با فاصله از یکدیگر چیده شوند، اما در هوای مرطوب در مجاور و چسبیده به یکدیگر قرار داده شوند.
- در هوای خشک، حداکثر تعداد کیسه‌ها که روی هم چیده می‌شوند ۱۲ پاکت یا حداکثر ۱/۸ متر می‌باشد.
- در هوای مرطوب و شرجی، حداکثر تعداد کیسه‌ها که روی هم چیده می‌شوند ۸ پاکت یا حداکثر ۱/۲ متر است.
- در هوای شرجی، حداکثر مدت مصرف سیمان ۴۵ روز پس از تولید و در سایر هوا و مناطق ۹۰ روز پس از تولید است.

• مزایای سیمان فله در مقایسه با سیمان کیسه‌ای

استفاده از سیمان فله‌ای به دلایل زیر بهتر از سیمان کیسه‌ای است.

- ارزان‌تر است.
- جهت انتقال سیمان به منابع انسانی کمتر نیاز است.

- ضایعات به دلیل پاره شدن کیسه‌ها وجود ندارد.
- امکان انبارش سیمان به مدت طولانی‌تر امکان‌پذیر است.

شکل ۲-۱ انبارش سیمان کیسه‌ای و سیمان فله‌ای را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۱: انبارش سیمان کیسه‌ای و سیمان فله‌ای (سیلوی سیمان)

۲-۲-۲ انبارش سنگدانه‌ها

حدود $\frac{۳}{۴}$ حجم بتن از سنگدانه تشکیل می‌شود، بنابراین انبارش صحیح سنگدانه‌ها بسیار حائز اهمیت است. به‌طورکلی مواردی که در هنگام انبارش سنگدانه‌ها باید در نظر گرفته شوند به شرح زیر است [۲-۵]:

- روش دپو کردن سنگدانه‌ها
- وجود مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها

- **روش دپو کردن سنگدانه‌ها**

در هنگام دپو کردن سنگدانه‌ها باید موارد زیر رعایت شوند [۲-۴]:

- تا حد امکان از دپوهای کوچک در مجاور هم استفاده شود.
- دپوها با دانه‌بندی‌های مختلف، به نحوی قرار داده شوند که ذرات با هم مخلوط نشوند، برای مثال ساخت دیوار (شکل ۲-۲).
- از حرکت کامیون در بالای دپو اجتناب شود، زیرا هم باعث شکسته شدن ذرات می‌شود و هم سنگدانه‌ها آلوده می‌شوند.
- تا حد امکان، سنگدانه‌ها در لایه‌های افقی ریخته شوند و در هنگام مصرف، همه لایه‌ها استفاده شوند.
- رطوبت سنگدانه‌ها به طور مستمر آزمایش شده و مقدار رطوبت در طرح مخلوط منظور شود.
- دپوی ماسه به نحوی باشد که اندازه‌های ریز مانند ۳۰۰ و ۱۵۰ میکرومتر از دانه‌بندی حذف نشوند. به‌هرحال هر چند وقت یک بار (به صورت ادواری) دانه‌بندی ماسه آزمایش شود.

شکل ۲-۲: جدا کردن دیوهای سنگدانه با دانه‌های مختلف با نصب دیوار

• مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها

مواد زیان‌آور مانند رسی و شیل، سولفات‌ها و کلریدها در سنگدانه‌ها اثر نامطلوب در مقاومت و دوام بتن دارند. آلودگی سنگدانه‌ها به رسی، شیل و پودر سنگ سبب کاهش کارایی، افزایش جمع‌شدگی و کاهش مقاومت بتن می‌شوند. در مواردی که مقدار رس زیاد است، امکان تخریب بتن وجود دارد، زیرا در اثر تر و خشک شدن بتن، رس دچار تورم و جمع‌شدگی چرخه‌ای می‌شود. چنانچه رس و شیل به سنگدانه‌ها چسبیده باشند، خطر بیشتری برای بتن دارند، زیرا از چسبندگی بین سنگدانه‌ها و خمیر سیمان جلوگیری می‌کنند. اگر سنگدانه‌ها از نوع شکسته باشند، مقداری پودر سنگ در سنگدانه‌ها وجود خواهد داشت که مقدار کم آن مشکل‌ساز نیست. برای تعیین مقدار رس و شیل می‌توان از دو روش آزمایشگاهی و کارگاهی استفاده کرد. اما توصیه می‌شود که روش کارگاهی فقط در موارد ضروری و کمبود وقت استفاده شود، زیرا روش کارگاهی حجمی است و مقادیر حداکثر ذکر شده در استانداردها و مقررات ملی ساختمان وزنی است.

در روش آزمایشگاهی که به ذرات ریز الک نمره ۲۰۰ (۷۵ میکرومتر) موسوم است، سنگدانه بر روی الک نمره ۲۰۰ شستشوی می‌شود و مقدار عبور کرده از الک اندازه‌گیری می‌گردد. این ذرات که از الک عبور کرده‌اند نشان‌دهنده مقدار رس و شیل است. برای محاسبه از فرمول ۲-۱ استفاده می‌شود.

$$A=\frac{B-C}{B}\times 100 \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

A= درصد مواد عبور کرده از الک نمره ۲۰۰

B= وزن اولیه نمونه خشک شده در گرم‌خانه

C= وزن خشک نمونه پس از شستشوی

روش کارگاهی تقریبی است، اما به آسانی می‌توان در کارگاه انجام داد (شکل ۲-۳). مراحل آزمایش به شرح زیر است:

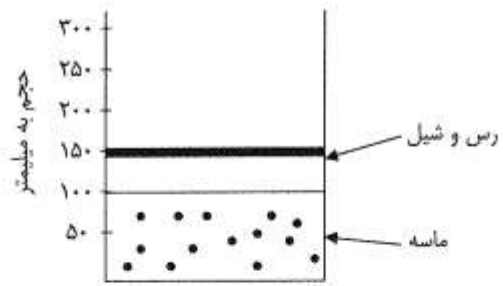
- ابتدا محلول آب نمک ۱ درصد (۲ تا قاشق چایخوری نمک در یک لیتر آب) به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر در ظرف استوانه‌ای شیشه به ظرفیت ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته می‌شود.
- سپس مقداری ماسه در داخل ظرف به صورت تدریجی ریخته شود تا حجم ماسه به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد.
- با افزودن مقدار بیشتری از محلول نمک به داخل ظرف، باید حجم کل مواد به ۱۵۰ میلی‌لیتر برسد.
- ظرف را باید تکان داد تا ذرات رس چسبیده به سنگدانه‌ها جدا شوند.
- سپس ظرف را باید بر روی یک سطح صاف قرار داده و به طور ملایم، بر روی سطح ظرف ضربه زد تا ماسه تراز گردد.

- پس از مدت ۳ ساعت ارتفاع رس و شیل بر روی سطح ماسه اندازه‌گیری شود. مقدار رس و شیل برحسب درصد ارتفاع به ارتفاع ماسه محاسبه می‌شود.

- اگر مقدار رس و شیل کمتر از ۱۰ درصد حجمی بود استفاده از ماسه بلامانع است اما درغیراینصورت باید آزمایش به روش آزمایشگاهی انجام شود.

باید توجه کرد که روش کارگاهی مقدار رس و شیل را برحسب حجم تعیین می‌کنند و تبدیل آن به وزن، تقریبی است. اما بعنوان یک راهنمای کلی، برای تبدیل نسبت حجم به وزن، مقدار حجم را باید به $\frac{۱}{۴}$ و در مورد ماسه شکسته به $\frac{۱}{۲}$ ضرب کرد.

همچنین آلودگی سنگدانه به کلریدها سبب خوردگی آرماتور و آلودگی سنگدانه به سولفات احتمالاً سبب ترک‌خوردگی و انبساط می شود. از طرف دیگر بعضی از سنگدانه‌ها با قلیایی سیمان واکنش شیمیایی انجام می‌دهند که سبب انبساط و تخریب بتن می‌شود. این نوع آسیب‌دیدگی به واکنش قلیایی- سیلیسی موسوم است. جدول ۲-۱ و ۲-۲ مقادیر مجاز حداکثر مواد زیان‌آور را بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱] نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: اندازه‌گیری حجمی رس و شیل در کارگاه

جدول ۲-۱: حداکثر میزان مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه ریز [۱]

ماده زیان‌آور		حداکثر درصد وزنی ماده نسبت به کل نمونه
ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰) حاوی رس یا شیل	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار می‌گیرند.	۳
	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار نمی‌گیرند.	۵
ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰) فاقد رس و شیل	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار می‌گیرند.	۵
	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار نمی‌گیرند.	۷
سولفات‌های محلول در آب، بر حسب SO_3		۰/۴
کلریدهای محلول در آب، بر حسب CL^- (در بتن آرمه)		۰/۰۴

جدول ۲-۲: حداکثر میزان مجاز مواد زیان آور در سنگدانه درشت [۱]

ماده زیان آور	حداکثر درصد وزنی ماده نسبت به کل نمونه
ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون حاوی رس و شیل	۱
ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون فاقد رس و شیل	۱/۵
سولفات‌های محلول در آب برحسب SO_3	۰/۴
کلریدهای محلول در آب برحسب CL^-	۰/۰۴

۲-۲-۳ انبارش میلگردها

انبارش صحیح میلگردها از نظر عملکرد سازه بسیار حائز اهمیت است. موارد زیر برای انبارش مطلوب میلگردها توصیه می‌شود [۱]:

- میلگردها باید برحسب نوع و قطر آنها تفکیک و انبارش شوند. در صورت وجود میلگردهای هم قطر اما با مقاومت و مشخصات متفاوت، باید آنها را در محل‌های جداگانه انبار کرد و علامت‌گذاری بر روی آنها انجام شود. رده میلگردها از نظر مقاومت S240 تا S500 تقسیم می‌شوند. عدد نشانه حداقل تنش تسلیم بر حسب $\frac{N}{mm^2}$ است. برای مثال S340 یعنی میلگرد با $۳۴۰\frac{N}{mm^2}$ حداقل تنش تسلیم می‌باشد.

- میلگردها باید به نحوی انبارش شوند تا دچار خم‌شدگی نشوند.

- در صورت تردید در نوع و مقاومت میلگردها باید آزمایش کششی بر روی آنها انجام شود.

- بر روی میلگردها باید برچسب و علامت کارخانه سازنده نصب شود، این اطلاعات باید شامل، نوع میلگرد، نمره میلگرد، نشانه تأئیدیه کنترل کیفیت از سوی کارخانه سازنده و علامت استاندارد ملی ایران باشد.

- نباید میلگردها بر روی زمین نگهداری شوند، زیرا باعث آلودگی به خاک و مواد زیان‌آور مانند کلریدها می‌شود.

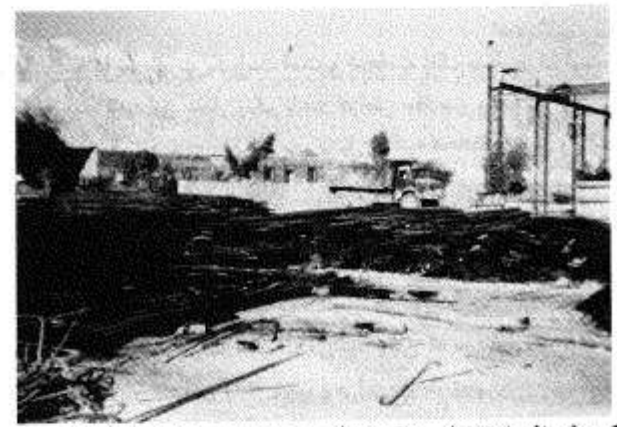
- در مناطق جنوبی کشور (سواحل خلیج فارس) در مقابل آلودگی به کلرایدها و سولفات‌ها حفاظت شوند.

اگر میلگردها دچار خوردگی شده باشند، موارد به شرح زیر به عنوان راهنما باید رعایت شوند:

- اگر خوردگی آرماتور به صورت یکنواخت است و ضخامت زنگ بسیار نازک است، نیاز به تمیز کردن زنگ نیست، زیرا این مقدار زنگ باعث افزایش مقاومت پیوستگی بین بتن و آرماتور می‌شود و از طرف دیگر این لایه نازک در بتن تبدیل به لایه محافظ می‌شود و از خوردگی بیشتر جلوگیری می‌کند.

- چنانچه خوردگی آرماتور به صورت یکنواخت، اما با ضخامت زیاد زنگ است، باید زنگ زدایی شود، زیرا این مقدار زنگ نه تنها مقاومت پیوستگی را افزایش نمی‌دهد، بلکه کاهش می‌دهد و از طرف دیگر این لایه تبدیل به زنگ خطرناک می‌شود. وقتی که در درون بتن قرار داده شود تمیز کردن این زنگ فقط باید با روش ماسه پاشی و یا آب با فشار زیاد انجام شود. از استفاده فرچه برای تمیز کردن زنگ باید جداً خودداری شود، زیرا فرچه فقط زنگ را صیقل می‌دهد و زنگ رنگ آرماتور به خود می‌گیرد و به نظر می‌آید که زنگ‌زدایی شده است، پس از زنگ‌زدایی باید کاهش قطر آرماتور را در نظر گرفت.

- اگر خوردگی آرماتور از نوع حفره‌ای است، از استفاده آن باید خودداری کرد، زیرا این نوع زنگ با هیچ روشی قابل تمیز کردن نیست و به فرض که قابل تمیز کردن باشد، حفره‌ها در عمق‌های مختلف باعث کاهش قطر قابل ملاحظه‌ای از میلگرد می‌شوند. دو خطر دیگر با این نوع زنگ وجود دارد: اگر این آرماتور استفاده شود، در محل حفره‌ها، تنش متمرکز ایجاد می‌شود که در هنگام زلزله فوق‌العاده خطرناک است و گسیختگی ناگهانی خواهد بود. از طرف دیگر این نوع خوردگی ابتدا آج‌های میلگرد را آسیب می‌رسانند و در نتیجه میلگرد به عنوان آجدار نخواهد بود [۶].



شکل ۲-٤: روش اشتباه انبارش میلگردها (بدون جداسازی میلگردها و انبارش بر روی زمین)

۲-۳ پیمانه کردن[1]

پیمانه کردن، روند اندازه‌گیری اجزای مخلوط بتن قبل از بارگیری به مخلوط‌کن است. برای حصول به بتن با کیفیت مطلوب و یکنواخت باید مصالح دقیقاً توزین و پیمانه شوند. تا حد امکان باید اندازه‌گیری به طریق وزنی انجام شود، اندازه‌گیری حجمی به خصوص در مورد ماسه دقیق نیست، زیرا حجم ماسه در شرایط مختلف رطوبت، تغییر می‌کند. ابزار و دستگاه‌های پیمانه کردن به گروه‌هایی به شرح زیر تقسیم می‌شوند [۲-۴]:

- **پیمانه کردن دستی:** همانطور که از نام آن مشخص است، تمام عملیات وزن کردن و پیمانه کردن اجزای مخلوط بتن به صورت دستی کنترل می‌شود. پیمانه کردن دستی فقط برای کارهای کوچک با نرخ کم پیمانه کردن مناسب است.

1. Batching

- **پیمانه کردن نمیه خودکار:** در این سیستم، مصالح در مخازن نگهداری شده و دریچه مخازن توسط یک شخص باز می‌شود. این نوع نگهداری مصالح و پیمانه کردن در خصوص سنگدانه‌ها نیز صادق است. به عبارت دیگر مخازن دارای وسیله توزین می‌باشند. امکان دارد به جای سیلوی سنگدانه‌ها، از دپوی سنگدانه همراه با خط کشنده[1] استفاده شود. باید توجه داشت که دریچه مخازن پس از تخلیه مقدار مورد نظر به صورت خودکار بسته می‌شوند. این مخازن دارای دستگاه توزین همراه با عقربه می‌باشند، بنابراین با تنظیم عقربه می‌توان مقدار مورد نظر را از مخازن تخلیه کرد.

- **پیمانه کردن خودکار:** در این نوع سیستم تمام مخازن با یک دکمه به صورت خودکار باز و بسته می‌شوند. مقادیر مورد نظر مصالح که بر اساس طرح مخلوط تعیین شده‌اند به صورت خودکار از مخازن خارج می‌شوند و به مخلوط کن منتقل می‌گردند. بر اساس مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم [۱] در هنگام پیمانه کردن باید موارد به شرح زیر رعایت شوند:

- استفاده از روش‌های دیگر (غیر از وزنی) برای پیمانه کردن مصالح در صورتی مجاز خواهد بود که دقت مقدار مصالح به دست آمده از این روش قابل مقایسه با روش وزنی باشد.
- رواداری توزین هر یک از اجزای تشکیل دهنده بتن ۳ ± درصد است.
- رواداری دقت و حساسیت ترازوها و سایر قسمت‌های توزین باید ۰/۴ ± درصد کل ظرفیت دستگاه باشد.
- رطوبت مصالح سنگی به ویژه ماسه قبل از ورود به دستگاه بتن ساز با توجه به کارایی و نسبت آب به سیمان باید کنترل شده و نتایج آن در محاسبه میزان آب مخلوط منظور شود.

1. Drag Line

۲-٤ مخلوط کردن[1]

هدف از مخلوط کردن، حصول مخلوط همگن و یکنواخت است، به نحوی که تمام قسمت‌های پیمانه از وزن مخصوص، درصد هوا، اسلامپ، مقدار سنگدانه و خمیر سیمان یکنواخت باشند. اگر عملیات مخلوط کردن به طور مطلوب انجام نشود، سبب کاهش مقاومت می‌شود و از طرف دیگر تغییرات در پیمانه به پیمانه افزایش می‌یابد. برای مخلوط کردن از دستگاه‌های مخلوط‌کن استفاده می‌شود. انواع مخلوط‌کن‌ها به شرح زیر است [۲-۶]:

۲-٤-۱ انواع مخلوط‌کن‌ها

تعیین روش مخلوط کردن یا نوع و اندازه مخلوط‌کن برای یک پروژه به عوامل متعددی بستگی دارد که شامل محل کارگاه (محل ساخت) و فاصله آن از کارخانه بتن آماده، مقدار مورد نیاز بتن، زمانبندی ساخت (حجم بتن مورد نیاز در ساخت) و هزینه می‌باشد. هرچند، مهمترین عامل، کیفیت بتن تولید شده می‌باشد. مخلوط‌کن‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند که بر اساس امتداد محور چرخش قابل تشخیص می‌باشند:

مخلوط‌کن با محور افقی یا متمایل (مخلوط‌کن استوانه‌ای)[2] و مخلوط‌کن با محور عمودی (مخلوط‌کن دیگچه‌ای)[3]. مخلوط‌کن‌های استوانه‌ای دارای جام هستند که تیغه‌ها بر دیوار جام نصب می‌باشند و حول محور می‌خرچند، در حالی که مخلوط‌کن‌های دیگچه‌ای که یا تیغه‌ها و یا دیگچه حول محور می‌چرخند. مخلوط‌کن‌های استوانه‌ای به دو گروه کج شونده و غیر کج شونده تقسیم می‌شوند.

1. Mixing
2. Drum mixer
3. Pan mixer

بنابراین، به طور کلی مخلوط‌کن‌ها به سه گروه به شرح زیر تقسیم می‌شوند [۶]:

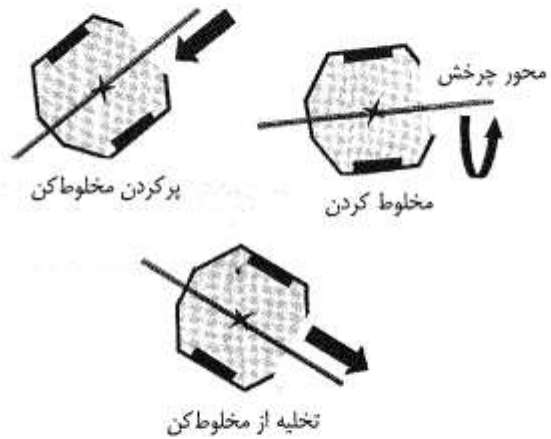
- مخلوط‌کن استوانه‌ای با جام کج شونده[1]
- مخلوط‌کن استوانه‌ای غیر کج شونده[2]
- مخلوط‌کن دیگچه‌ای (یا محور عمودی)[3]

خصوصیات انواع مخلوط‌کن‌ها به شرح زیر است:

مخلوط‌کن با جام کج شونده: این دستگاه یک جام چرخان دارد که با کج کردن محور جام، مخلوط تخلیه می‌شود. از آنجایی که تخلیه مخلوط با کج شدن جام انجام می‌شود، سرعت تخلیه سریع است، بنابراین احتمال جدا شدن ذرات سنگدانه کاهش می‌یابد.

در مخلوط‌کن‌های کج شونده، شیب جام می‌تواند متفاوت باشد. وقتی که جام در حالت افقی است، انرژی بیشتری به مخلوط بتن اعمال می‌شود زیرا مقدار بیشتر بتن با تیغه‌ها بالا می‌روند و کل قطر جام را طی می‌کند قبل از آن که به کف جام پرتاب شود. در هنگام پرتاب است که بتن مخلوط می‌شود. هرچه پرتاب بالاتر باشد، انرژی بیشتری به مخلوط بتن اعمال می‌شود. اگر محور چرخش در حالت تقریباً عمودی قرار بگیرد، تیغه‌ها نمی‌توانند مخلوط بتن را بالا ببرند و عمل مخلوط کردن به طور مطلوب انجام نمی‌شود. در هنگام مخلوط کردن معمولاً محور حدود ۱۵° نسبت به افقی قرار داده می‌شود. در هنگام تخلیه مخلوط بتن، جام به سمت پایین کج می‌شود (شکل ۲-۵). معمولاً این نوع مخلوط‌کن برای پیمانه‌های کوچک و کمتر از ۰/۵ متر مکعب در آزمایشگاه و کارگاه استفاده می‌شود.

1. Tilting drum mixer
2. Nontilting drum mixer
3. Pan mixer or Vertical shaft mixer



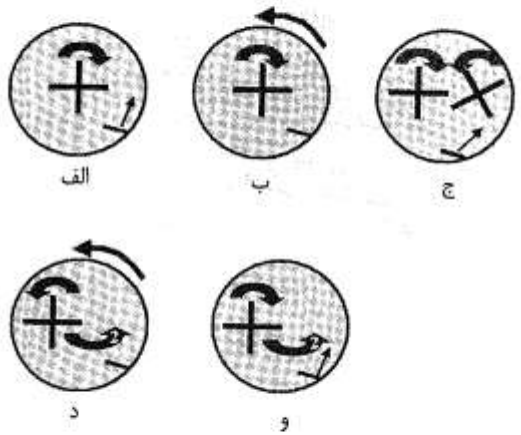
شکل ۲-۵: مخلوط‌کن استوانه کج شونده در حالت‌های مختلف

- **مخلوط‌کن با جام غیرکج شونده:** در این نوع مخلوط‌کن‌ها، محور جام همیشه در هنگام مخلوط کردن و تخلیه مخلوط به صورت افقی است و تخلیه مخلوط با چرخش معکوس جام انجام می‌گیرد. از آنجایی که سرعت تخلیه کم می‌باشد، احتمال جدا شدن ذرات سنگدانه افزایش می‌یابد. بنابراین این نوع مخلوط‌کن برای مخلوط‌هایی که مستعد جداشدگی هستند، مناسب نیست.

- **مخلوط‌کن با محور عمودی:** این نوع مخلوط‌کن دارای یک جام استوانه‌ای است که در وسط آن تیغه‌ها به صورت عمودی نصب شده‌اند. در بعضی از انواع، تیغه‌ها و ظرف در جهت عکس یکدیگر می‌چرخند و در بعضی دیگر فقط تیغه‌ها چرخش دارند. چرخش تیغه‌ها سبب می‌شود تا اختلاط به نحو مطلوب انجام شده و از چسبیدن ملات بر دیواره جام جلوگیری شود. از دیگر مزیت این نوع مخلوط‌کن، امکان رؤیت کردن مخلوط است و چنانچه نیاز به اصلاح

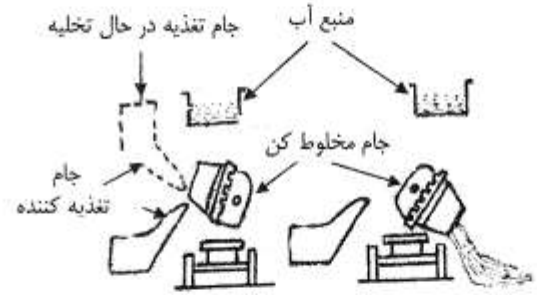
مخلوط باشد می‌توان آن را انجام داد. برای مثال اگر نیاز به فوق‌روان‌کننده بیشتر باشد، می‌توان این ماده افزودنی را به مخلوط اضافه کرد. معمولاً از این نوع مخلوط‌کن در آزمایشگاه‌ها و کارخانه‌های قطعات پیش ساخته استفاده می‌شود.

شکل ۲-۶ انواع آرایش تیغه‌ها، جام و تیغه تراش را نشان می‌دهد. در شکل الف، با شفت مرکزی، جام ثابت است و تیغه‌ها و تیغه تراش می‌چرخند. در شکل ب، با شفت مرکزی، جام و تیغه‌ها جهت عکس یکدیگر را نشان می‌دهد که تیغه‌ها جهت عکس یکدیگر می‌چرخند، تیغه تراش چرخش دارد، اما جام ثابت است. در شکل د، شفت خارج از محور مرکزی است و جام و تیغه‌ها چرخش دارند، اما تیغه تراش ثابت است. در شکل و، جام ثابت است و تیغه‌ها و تیغه تراش حرکت دارند.

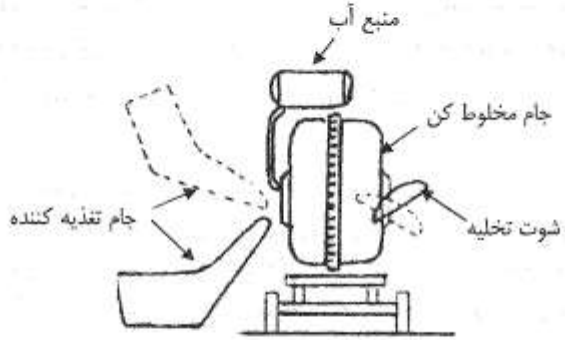


شکل ۲-٦: انواع آرایش تیغه‌ها، جام و تیغه تراش مخلوط‌کن‌ها با محور عمودی

شکل ۲-۷ مخلوط‌کن‌ها با جام کج شونده و غیر کج شونده را نشان می‌دهد.



مخلوط‌کن با جام کج شونده



مخلوط‌کن با جام غیر کج شونده

شکل ۲-۷: انواع مخلوط‌کن‌ها

- **مدت مخلوط کردن**

مدت بهینه مخلوط کردن تابع نوع مخلوط‌کن، شرایط مخلوط‌کن، سرعت چرخش، اندازه پیمانه و خصوصیات مصالح است. بنابراین مدت بهینه باید در کارگاه بر اساس مصالح مصرفی و مخلوط کن به دست آید. مخلوط‌های خشک و خشن با مقدار کم سیمان نیاز به مدت بیشتری برای اختلاط دارند، و

بتن با سنگدانه‌های گوشه‌دار (شکسته) نیاز به زمان طولانی‌تر در مقایسه با سنگدانه گرد گوشه دارد. بر مبنای یک قانون کلی و تقریبی، حداقل مدت مخلوط کردن ۱ دقیقه برای ۱ متر مکعب بتن است و برای هر ۱ متر مکعب افزایش بتن، باید $\frac{1}{4}$ دقیقه به مدت افزوده شود.

• نحوه بارگیری مخلوط کردن

نحوه بارگیری یا به عبارت دیگر اولویت‌بندی اجزای بتن در ریختن در مخلوط‌کن بستگی به اجزای بتن دارد و نمی‌توان یک قانون کلی را ارائه داد. بنابراین برای هر نوع مخلوط باید نحوه بارگیری را مورد بررسی قرار داد. اولویت ریختن اجزای بتن به شرح زیر فقط به عنوان مثال است و جنبه عمومی ندارد:

- ابتدا شن در مخلوط‌کن ریخته شود.
- بخشی از آب مخلوط (حدود ۱۰ درصد) افزوده شود.
- سیمان افزوده شود.
- ماسه ریخته شود.
- بخش عمده آب مخلوط افزوده شود، اما مقداری از آب افزوده نشود.
- برای مدتی این اجزا مخلوط شوند.
- برای مدتی مخلوط‌کن متوقف شود.
- سپس اگر قرار است فوق‌روان‌کننده افزوده شود، آن را باید با مقداری از آب مخلوط، ترکیب کرده و به درون مخلوط‌کن ریخته شود.
- پس از روشن کردن مخلوط‌کن، در صورت نیاز برای رسیدن به اسلامپ مورد نظر بقیه آب (حدود ۱۰ درصد) افزوده شود.

۲-۴-۲ اصول کلی در استفاده از مخلوط‌کن‌ها

برای اختلاط مناسب بتن، رعایت نکات زیر ضروری است:

- حجم مخلوط برابر با ظرفیت مخلوط‌کن باشد، زیرا حجم کمتر یا بیشتر مخلوط سبب اختلاط نامطلوب بتن می‌شود.
- سرعت مخلوط‌کن باید بر اساس توصیه کارخانه سازنده مطابقت داشته باشد.
- عمل مخلوط کردن باید تا رسیدن مخلوط به روانی یکنواخت و مخلوط همگن ادامه یابد.
- در صورت فرسوده شدن و خراب شدن تیغه‌ها، باید آن تیغه‌ها تعمیر یا جایگزین شوند.
- پس از اتمام عملیات مخلوط کردن، ماشین مخلوط‌کن باید کاملاً تمیز و شسته شود، زیرا باقی‌ماندن و چسبیدن اجزای بتن به دیواره و تیغه‌های مخلوط کن سبب عدم اختلاط مناسب پیمانه‌های بعدی می‌شود.

• نکاتی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

بخشی از نکات توصیه شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱] به شرح زیر است:

- ترتیب ورود مواد متشکله بتن به مخلوط‌کن باید متناسب با نوع مخلوط‌کن و نوع بتن باشد.
- اختلاط بتن با دست به هیچ وجه مجاز نیست به جز موارد استثنایی و کم اهمیت، با دستور دستگاه نظارت و برای بتن از رده پائین‌تر از C16 مجاز است.
- سابقه کار روزانه باید برای تمام مخلوط‌های تهیه شده به طور تفصیلی و مشتمل بر مشخصات بتن از جمله موارد زیر، نگهداری شود:

- نسبت‌های به کار رفته برای اختلاط مصالح
- نتایج آزمایش‌های بتن تازه
- دمای بتن و دمای محیط در هنگام بتن‌ریزی
- محل نهایی و حجم تقریبی بتن‌های ریخته شده در سازه
- زمان و تاریخ اختلاط و بتن‌ریزی

۲-٤-۳ بتن آماده[1]

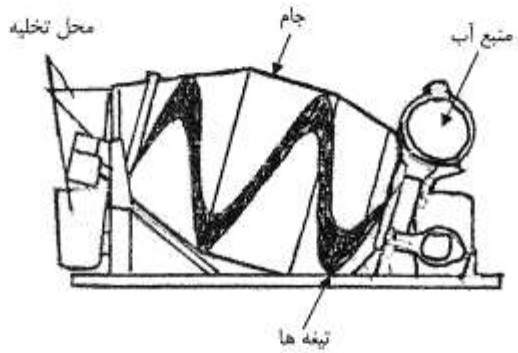
بتن آماده در مقایسه با ساخت بتن در کارگاه مزیت دارد، زیرا معمولاً کنترل کیفیت مصالح و بتن در کارخانه بتن آماده بهتر انجام می‌شود. انواع بتن‌های آماده به شرح زیر است [۲-۶]:

- **بتن مخلوط شده مرکزی[2]**: در این روش پیمانه و مخلوط کردن به طور کامل در کارخانه انجام شده و کامیون حمل بتن[3] فقط به عنوان وسیله انتقال استفاده می‌شود. گاهی اوقات مخلوط‌کن مرکزی به صورت نسبی عمل مخلوط کردن را انجام می‌دهد و مخلوط کردن نهایی و انتقال توسط کامیون حمل بتن صورت می‌پذیرد، که به این روش مخلوط شده ترانزیت[4] گفته می‌شود. به عبارت دیگر بخشی از آب مخلوط در حین حرکت کامیون حمل بتن افزوده می‌شود. در موارد به شرح زیر نباید از روش ترانزیت استفاده شود:
  - از میکروسیلیس به صورت پودر استفاده می‌شود.
  - نسبت آب به سیمان مساوی و یا کمتر از ۰/۴ است.

1. Ready-mixed Concrete
2. Central-mixed
3. Truck mixer
4. Transit-mixed

- **بتن مخلوط شده در کامیون**[1]: در این روش بتن به طور کامل در کامیون حمل بتن مخلوط می‌شود و کارخانه مرکزی فقط مصالح خشک را درون کامیون وارد می‌کند. مزیت این روش این است که می‌توان آب مخلوط را در محل ساخت (کارگاه) به مخلوط اضافه کرد. در نتیجه از مشکل تأخیر در انتقال یا بتن‌ریزی اجتناب می‌شود.

- **سرعت چرخش جام کامیون و مدت انتقال:** مدت انتقال بتن آماده و بتن‌ریزی حداکثر $1\frac{1}{2}$ ساعت است یا تعداد چرخش جام کامیون حداکثر به ۳۰۰ دور می‌رسد. اما فقط ۱۰۰ دور از چرخش می‌تواند با سرعت مخلوط کردن[2] باشد و بقیه سرعت چرخش باید به هم زدن[3] باشد. تفاوت در این دو سرعت این است که سرعت به هم زدن ۲ تا ۶ دور در دقیقه است، اما سرعت مخلوط کن بین ۶ تا ۱۸ دور در دقیقه است. باید توجه داشت که اختلاط در سرعت زیاد و به مدت طولانی سبب کاهش اسلامپ، افزایش حرارت و کاهش مقاومت بتن می‌شود. در شکل ۲-۸ شکل شماتیک تراک میکسر نشان داده شده است.



شکل ۲-۸: تراک میکسر

1. Truck-mixed
2. Mixing Speed
3. Agitating Speed

۲-۵ انتقال بتن

انتقال بتن از مخلوط کن تا محل نهایی بتن‌ریزی باید به نحوی باشد که از جدا شدن سنگدانه‌ها جلوگیری شود و حالت یکنواختی پیمانه‌های مخلوط بتن حفظ شود. انتخاب وسایل انتقال بتن تابع عوامل به شرح زیر است [۴و۵]:

- شرایط کارگاه و زمین
- حجم بتن‌ریزی
- فاصله انتقال
- ارتفاع بتن‌ریزی
- شرایط اقلیمی

وسایل انتقال بتن در این بخش به طور خلاصه شرح داده شده است. باید توجه داشت که کامیون حمل بتن (کامیون مخلوط‌کن) نیز به عنوان وسیله انتقال محسوب می‌شود، اما از آنجایی که این نوع وسیله نقش مخلوط‌کن را نیز به عهده دارد، در بخش مخلوط‌کن‌ها شرح داده شده است.

۲-۵-۱ انواع وسایل انتقال

• فرغون دستی و موتوری[1] (دامپر)

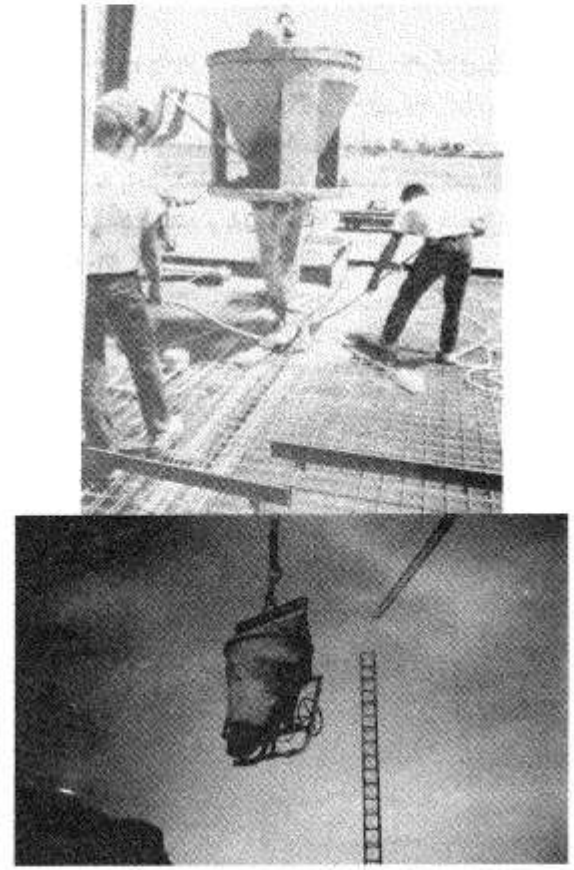
این وسیله برای حمل بتن در مسافت‌های کوتاه مناسب است. در هنگام حرکت فرغون ذرات مخلوط تمایل به جدا شدن دارند، بنابراین سطح عبور فرغون باید کاملاً مسطح و هموار باشد. حداکثر مسافت مجاز برای انتقال بتن به وسیله فرغون دستی ۶۰ متر و دامپر ۱۲۰ متر می‌باشد. ظرفیت حمل فرغون دستی و موتوری به ترتیب ۰/۲ و ۰/۳ متر مکعب است.

1. Manval or motorized buggies

• دلوها یا جام‌ها[1]

برای انتقال بتن به وسیله دلوها و جام‌ها نیاز به جرثقیل یا کابل متحرک می‌باشد. حجم این وسایل تا ۶ متر مکعب می‌رسد و می‌توانند بتن را عمودی و افقی منتقل کنند. از این وسایل برای پروژه‌های کوچک تا پروژه‌های بزرگ مانند سدسازی و سیلوسازی استفاده می‌شود. بخش پایین این وسایل باید شیب‌دار باشد تا تخلیه بتن به راحتی انجام شود، زاویه این شیب نباید کمتر از ۶۰ درجه باشد. دریچه دلو یا جام باید در پایین تعبیه شده باشد و باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا امکان تخلیه آسان بتن وجود داشته باشد (شکل ۲-۹).

1. Buckets or skips



شکل ۲-۹: جام ها

• **پمپاژ بتن**[1]

امروزه، پمپاژ بتن یکی از سریع‌ترین روش‌های انتقال بتن در صنعت ساخت محسوب می‌شود، زیرا این وسیله قادر است به نقاطی دسترسی داشته باشد که از نظر مسافت و محدودیت مکان توسط وسایل دیگر به آسانی امکان‌پذیر نیست. با استفاده از پمپ می‌توان بتن را تا ۴۵۰ متر افقی و ۱۵۰ متر عمودی منتقل کرد. هرچند بعضی از پمپ‌ها که با فشار زیاد ساخته شده‌اند قادرند تا ۱۴۰۰ متر افقی و ۴۲۰ متر عمودی بتن را منتقل کنند [۷و۸].

دستگاه و ابزار پمپاژ

پمپ پیستونی[2] معمول‌ترین دستگاه برای پمپاژ است. در بسیاری از این نوع پمپ‌ها از دو پیستون استفاده می‌شود تا حرکت و جریان بتن یکنواخت باشد. هر یک از پیستون‌ها وقتی به سمت عقب ضربه می‌زند، شیر ورودی باز می‌شود و بتن از تغذیه کننده[3] به داخل پمپ کشیده می‌شود، در حالی که وقتی پیستون به سمت جلو ضربه می‌زند، شیر خروجی باز می‌شود و بتن با فشار درون خط لوله حرکت می‌کند.

خطوط لوله سخت یا انعطاف‌پذیر می‌باشد. لوله انعطاف‌پذیر مقاومت بیشتری در مقابل حرکت بتن دارند، بنابراین لوله انعطاف‌پذیر همراه با لوله سخت استفاده می‌شود و لوله انعطاف‌پذیر فقط در محل پیچ‌ها و یا محل‌هایی که انعطاف‌پذیری نیاز هست استفاده می‌شود. معمولاً قطر لوله‌های سخت ۲۰۰ میلیمتر و لوله‌های انعطاف‌پذیر ۱۲۵ میلیمتر است. در ساخت لوله‌ها باید از موادی استفاده شود که در مقابل سایش و فرسایش مقاوم باشند و تا حد امکان سبک وزن باشند و نباید با بتن واکنش شیمیایی داشته باشد. بنابراین نباید از آلومینیوم در ساخت لوله استفاده شود زیرا با قلیایی‌های بتن واکنش نشان می‌دهد. خطوط لوله را می‌توان به کمک جرثقیل تا محل بتن‌ریزی هدایت کرد.

1. Pumping Concrete
2. Piston Pump
3. Hopper

اقدام قبل از پمپاژ

وقتی که بتن در خط لوله حرکت می‌کند مانند یک استوانه است که در میان قشر نازک از ملات قرار دارد. این قشر ملات در مجاور دیواره لوله است که به صورت قشر لیز و روغن‌کاری عمل می‌کند که سبب حرکت آسان بتن در لوله می‌شود. بر اساس این مکانیزم بهتر است قبل از شروع عملیات پمپاژ بتن، از ملات مناسب استفاده شود. به عبارت دیگر ابتدا ملات پمپ می‌شود و سپس عملیات پمپ کردن بتن آغاز می‌گردد. اما این ملات نباید در محل بتن‌ریزی تخلیه شود. برای لوله‌های بزرگ ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر و به طول ۳۰۰ متر، مقدار ملات ۰/۴ مترمکعب برای عبور آسان بتن در لوله کافی است.

مخلوط مناسب پمپ کردن

مخلوط مناسب پمپ کردن خیلی با بتن معمولی تفاوت ندارد، اما ضرورت دارد که بعضی نکات رعایت شوند. معمولاً عدم پمپ کردن مناسب، دو عامل مقاومت زیاد اصطکاک و تمایل به جدا شدن ذرات و آب‌آوری می‌باشند. در هنگام طرح مخلوط باید نکات به شرح زیر رعایت شوند [۵-۸]:

- نسبت اندازه حداکثر سنگدانه درشت (شن) به کوچک‌ترین قطر لوله نباید بیشتر از ۰/۳۳ برای سنگدانه تیز گوشه، یا ۰/۴ برای سنگدانه گرد گوشه باشد.
- اسلامپ بتن باید بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر باشد. احتمال دارد که در محل بتن‌ریزی حدود ۱۰ تا ۳۰ میلیمتر از اسلامپ کم شود. اسلامپ مناسب باعث کاهش مقاومت اصطکاک در لوله‌ها می‌شود و از جداشدن ذرات جلوگیری می‌کند.
- مقدار درصد ماسه در مخلوط بتن جهت پمپاژ بسیار مهم است، درصد کم ماسه سبب جداشدن دانه‌ها می‌گردد و درصد زیاد ماسه سبب افزایش مقاومت اصطکاک شده و لوله انتقال را مسدود می‌کند. اگر حداکثر اندازه سنگدانه در بتن ۲۰ میلیمتر است، مقدار بهینه ماسه بین ۳۵ تا ۴۰ درصد می‌باشد. ماسه رد شده از الک ۳۰۰ میکرون باید بین ۱۵ تا ۳۰ درصد وزن کل ماسه و ۵ تا ۱۰ درصد باید از الک ۱۵۰ میکرون عبور کند.

- افزایش مقدار سیمان جهت تصحیح مخلوط بتن برای پمپاژ کردن مقرون‌به صرفه نمی‌باشد. ابتدا باید دانه‌بندی سنگدانه‌ها بخصوص ماسه اصلاح گردد و سپس تغییر مقدار سیمان انجام پذیرد.

کمیته ACI 304 [۷] راهنمایی‌های سودمندی برای طرح اختلاط بتن برای پمپاژ ارائه داده است. بر اساس این کمیته می‌توان مقدار شن را بر مبنای مدول نرمی ماسه طبق جداول ۲-۳ و ۲-۴ تعیین کرد:

جدول ۲-۳: وزن های پیشنهادی بر m^3 برای سنگدانه های رودخانه ای گرد گوشه [۷]

نوع ماسه بر اساس مدول نرمی	اندازه سنگدانه های درشت				
	۵-۱۰ mm	۵-۱۴ mm	۵-۲۰ mm	۵-۲۵ mm	۵-۳۷/۵ mm
درشت ۲/۸۰-۳۰/۰	۶۵۹-۵۹۹	۸۰۱-۷۴۲	۹۵۵-۸۹۶	۱۰۳۲-۹۷۳	۱۱۰۴-۱۰۴۴
متوسط ۲/۶۰-۲/۸۰	۶۸۸-۶۲۹	۸۳۱-۷۷۱	۹۸۵-۹۲۶	۱۰۶۲-۱۰۰۳	۱۱۳۳-۱۰۷۴
ریز ۲/۴۰-۲/۶۰	۷۱۸-۶۵۹	۸۶۱-۸۰۱	۱۰۱۵-۹۵۵	۱۰۹۲-۱۰۳۲	۱۱۶۳-۱۱۰۴

مقادیر بر اساس وزن مخصوص خشک متراکم نشده سنگدانه‌های رودخانه‌ای $1538\ kg/m^3$ می‌باشد، در غیر این صورت مقادیر باید کاهش یا افزایش یابد.

جدول ۲-٤: وزن های پیشنهادی بر m^3 برای سنگدانه های شکسته [۷]

نوع ماسه براساس مدول نرمی	اندازه سنگدانه های درشت				
	۵-۱۰ mm	۵-۱۴ mm	۵-۲۰ mm	۵-۲۵ mm	۵-۳۷/۵ mm
درشت ۳۰/۰-۲/۸۰	۵۳۴-۵۸۱	۶۵۳-۷۰۰	۷۸۹-۸۳۷	۸۶۰-۹۰۸	۹۳۱-۹۷۹
متوسط ۲/۸۰-۲/۶۰	۵۵۸-۶۰۵	۶۷۶-۷۲۴	۸۱۳-۸۶۰	۸۸۴-۹۳۱	۹۵۵-۱۰۰۲
ریز ۲/۶۰-۲/۴۰	۵۸۱-۶۲۹	۷۰۰-۷۴۸	۸۳۷-۸۸۴	۹۰۸-۹۵۵	۹۷۹-۱۰۲۶

مقادیر بر اساس وزن مخصوص خشک متراکم نشده سنگدانه‌های شکسته kg/m^3 ۱۳۶۲ می‌باشد، در غیر این صورت مقادیر باید کاهش یا افزایش یابد.

جداول فوق بر اساس تجربه کارگاهی به دست آمده‌اند و وزن‌های سنگدانه‌های درشت (شن) طبیعی و شکسته در هر مترمکعب بتن برای استفاده با سنگدانه‌های ریز با مدول نرمی مختلف توصیه می‌کنند. در بسیاری از موارد این راهنما برای تهیه مخلوط قابل پمپاژ کفایت می‌کند. شکل سنگدانه‌ها (گردگوشه یا تیزگوشه) در نسبت مخلوط اثر دارد. قطعات تیزگوشه مساحت سطح بیشتری در واحد حجم دارند، بنابراین نیاز به ملات بیشتر برای اندود کردن سطوح می‌باشد. همانطور که ذکر شد، ماسه نقش مهمی در پمپ کردن بتن دارد، زیرا ماسه همراه با سیمان و آب نقش انتقال شن به صورت معلق در خط لوله را به عهده دارد. تا حد امکان ماسه به محدوده دانه‌بندی ذکر شده در ASTM C 33 نزدیک باشد. در جدول ۲-۵ این محدوده نشان داده شده است.

جدول ۲-۵: فاصله محدوده ماسه طبق ASTM C33

اندازه الک		درصد رد شده
۱۰	mm	۱۰۰
۵	mm	۹۵-۱۰۰
۲/۳۶	mm	۸۵-۱۰۰
۱/۱۸	mm	۵۰-۸۵
۶۰۰	mμ	۲۵-۶۰
۳۰۰	mμ	۱۰-۳۰
۱۵۰	mμ	۲-۱۰

مسدود شدن خطوط لوله

در بعضی موارد مسدود شدن خط لوله در کارگاه‌ها مشاهده می‌شود. دلایل متعددی باعث مسدود شدن بتن در لوله می‌شود، بعضی از عوامل به شرح زیر می‌باشند [۷و۸]:

- تمیز نبودن لوله‌ها
- طرح مخلوط نامناسب
- طولانی بودن خط لوله‌ها
- تأخیر در پمپ کردن بتن

در هنگام مسدود شدن، بهتر است اتصالات باز شوند، اگر خمیر سیمان از یک اتصال خارج شود، نشانه نقطه مسدود شدن در بخش‌های بعدی لوله است. اگر خمیر سیمان از یک اتصال خارج نشود، نشانه محل مسدود شدن بین این اتصال و اتصال قبلی است. اما باید توجه داشت که باید قبل از باز کردن اتصالات، پمپ کاملاً متوقف شود.

8- *Kaplan, D., De Larrard, F., and Sedran, T., A Voidance of Blockages in Concrete Pumping Process, ACI Materials Journal, V.102, 2005, 183-191.*

فصل سوم: آرماتوربندی، بتن‌ریزی، تراکم و عمل‌آوری بتن

۳-۱ مقدمه

این فصل به عملیات اجرایی آرماتوربندی، بتن‌ریزی و تراکم بتن اختصاص یافته است. بدون شک رعایت دستورالعمل ها در بهبود این عملیات نقش بسزایی دارد و در نتیجه منجر به عملکرد بهتر سازه می‌شود. مجدداً باید تأکید کرد که هر گونه مغایرت مطالب این فصل مانند دیگر فصل‌ها با مقررات ملی ساختمان و استانداردهای کشورمان وجود داشته باشد، معیار، مقررات و استانداردها می‌باشد.

۳-۲ آرماتوربندی

اندازه و خم میلگردها و همچنین مقاومت کششی آنها باید مطابق با نقشه‌های سازه‌ای و اجرایی باشد. هرگونه تخطی از ابعاد می‌تواند اثر نامطلوب در مقاومت و رفتار سازه داشته باشد. به طور کلی، در هنگام آرماتوربندی اعضاء سازه باید به موارد به شرح زیر توجه خاص مبذول شود [۱-۳]:

- طول میلگردها قبل و پس از خم کردن
- سیم مفتول برای بستن میلگردها
- پوشش بتنی بر روی میلگردها
- فاصله دهنده‌ها برای نگهداری آرماتور در قالب

سیم مفتول[1]

طول میلگردها قبل و پس از خم کردن در بخش بعدی شرح داده شده است. وظیفه سیم مفتول‌ها بستن میلگردها در محل تقاطع آنها است تا یک قاب محکم ایجاد شود. بنابراین قبل و بعد از بتن‌ریزی امکان جابجایی میلگردها وجود نداشته باشد. پس از بستن سیم مفتول‌ها باید انتهای آنها (در صورت اضافه بودن) بریده شوند تا با قالب تماس نداشته باشند، زیرا احتمال دارد که نقاط انتهایی سیم‌ها پس از بتن‌ریزی و قالب‌برداری منجر به زنگ زدگی شود.

پوشش بتنی[2]

برای حفاظت آرماتور از خوردگی و حصول اطمینان از عملکرد ترکیبی فولاد و بتن، میلگرد ها در حداقل فاصله معین از سطح بتن قرار داده می‌شود. این فاصله به پوشش بتنی موسوم است. حداقل پوشش بتنی باید طبق آیین‌نامه‌ها، مقررات ملی ساختمان و نقشه سازه‌ای و اجرایی اعمال شود. معمولاً حداقل پوشش بتنی تابع شرایط محیطی و اقلیمی است که سازه در معرض آن قرار می‌گیرد. برای مثال هرچه احتمال نفوذ عناصر زیان‌آور مانند کلریدها بیشتر باشد، ضخامت پوشش بتنی نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش ضخامت پوشش بتنی، خطر آتش‌سوزی و رسیدن حرارت به آرماتور کاهش می‌یابد.

فاصله دهنده‌ها[3]

برای آن که فاصله آرماتور از قالب حفظ شود و در هنگام بتن‌ریزی و احتمال جابجایی در آرماتور وجود نداشته باشد، از قطعات پلاستیکی استفاده می‌شود. این قطعات به شکل‌ها و ابعاد مختلف موجودند و بر اساس نیاز، می‌توان آنها را انتخاب کرد. در گذشته از قطعات سنگ به این منظور استفاده می‌شد، اما حرکت این سنگ‌ها در بسیاری موارد سبب جابجایی آرماتور می‌شد، از طرف دیگر تأمین ابعاد دقیق فاصله‌ها طبق نقشه‌ها توسط سنگ‌ها امکان‌پذیر نبود.

1. *Wire ties*
2. *Cover*
3. *Spacers*

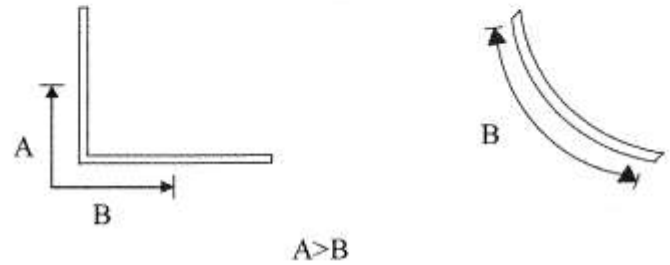
اندازه میلگردها

برش میلگردها دقیقاً باید با ابعاد در نقشه‌ها مطابقت داشته باشد. معمولاً نقشه آرماتوربندی بر اساس موارد زیر تهیه می‌شود:

- مقیاس ۱:۱۰ یا ۱:۲۰ برای نقشه‌ها توصیه می‌شود.
- خطوط اعضاء مانند تیر و ستون باید با خطوط نازک و میلگردها با خطوط ضخیم‌تر ترسیم شوند.
- پلان و مقطع تمام اعضاء ترسیم شوند.
- میلگردها باید نام‌گذاری شوند، این نام باید نشانهٔ نوع، قطر، فاصله و محل میلگردها باشد. برای مثال ۱۵۰ -۵۲-۱۶ T ۳۵، این نام‌گذاری به مفاهیم به شرح زیر اشاره دارد:

۳۵= تعداد میلگردها
T= نوع میل‌گرد که آج‌دار است
۱۶= قطر میلگرد به میلیمتر
۵۲= معرف یا موقعیت میلگرد
۱۵۰= فاصله میلگردها به میلیمتر

معمولاً در نقشه‌های آرماتور، خم میلگردها به شکل گوشه‌های تیز نشان داده می‌شوند، اما در عمل خم میلگردها به شکل دایره (منحنی) است. چنانچه در هنگام محاسبه طول میلگردها و یا برش آنها از شکل با گوشه یا خم زاویه‌دار استفاده شود، مقدار طول میلگرد بیشتر از مقدار طول واقعی خواهد بود. در شکل تفاوت خم تیز گوشه و منحنی نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: تفاوت خم‌شدن میلگرد بر اساس نقشه‌کشی و در عمل

بنابراین در هنگام محاسبه طول آرماتور باید از روابط یا ضرایب و یا جداول ارائه شده در آیین‌نامه‌ها و استانداردها جهت اصلاح طول میلگرد جهت برش دادن استفاده کرد. برای مثال شکل ۳-۲ بخشی از ابعاد خم و قلاب برای شکل‌های متفاوت بر اساس استاندارد BS 4466 را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱ مقادیر پارامترهای h، n و r را برای اندازه‌های متفاوت میلگردها نشان می‌دهد. با استفاده از این مقادیر و فرمول‌های شکل ۳-۲ می‌توان طول صحیح میلگردها را محاسبه کرد. برای مثال اگر ابعاد خاموت ۲۰۰ × ۳۰۰ میلیمتر است، طول میلگرد با قطر ۱۰ میلیمتر برابر است با:

$$\text{طول} = ۲\,(A+B) + ۲۰d$$
$$= ۲\,(۳۰۰ + ۲۰۰) + ۲۰ \times ۱۰$$
$$= ۱۲۰۰\ mm$$

برای مثال دیگر فرض می‌شود که طول یک میلگرد ۲ متر و دو سر آن قلاب شده است. اگر قطر میلگرد ۱۲ میلیمتر باشد:

$n = ۱۰۰$
$r = ۳۶$
$h = ۱۴۰$

بنابراین:

$$A + ۲h = ۲۰۰۰ + ۲ \times ۱۴۰$$
$$= ۲۲۸۰\ mm \quad \text{یا} \quad ۲/۲۸\ m$$

اگر همین میلگرد با دو سر خم باشد:

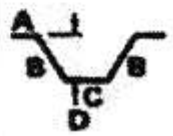
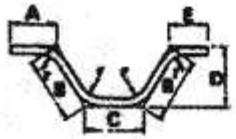
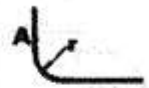
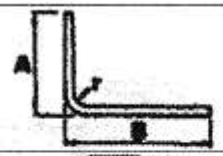
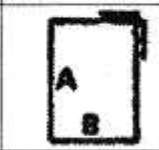
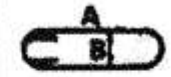
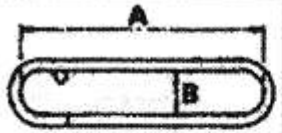
$$A + ۲n = ۲۰۰۰ + ۲ \times ۱۰۰$$
$$= ۲۲۰۰\ mm \quad \text{یا} \quad ۲/۲۰\ m$$

چنانچه همین میلگرد فقط در یک سر خم باشد، و A برابر با ۲۰۰ میلیمتر و B برابر با ۱۰۰۰ میلیمتر باشد:

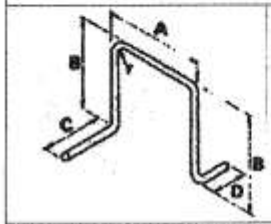
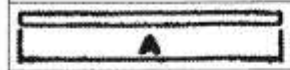
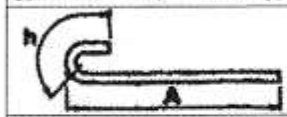
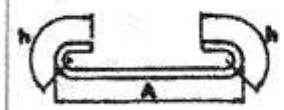
$$A + B - \frac{۱}{۲}\,r\text{-}d = ۲۰۰ + ۱۰۰۰ - \frac{۱}{۲}\,۳۶ - ۱۲$$
$$= ۱۱۷۰\ mm \quad \text{یا} \quad ۱/۱۷\ m$$

جدول ۳-۱: پارامتر ها برای محاسبه طول میلگرد [۳]

قطر d (mm)	پارامترها		
	r	n	h
۶	۱۸	۱۰۰	۱۰۰
۸	۲۴	۱۰۰	۱۰۰
۱۰	۳۰	۱۰۰	۱۱۰
۱۲	۳۶	۱۰۰	۱۴۰
۱۶	۴۸	۱۰۰	۱۸۰
۲۰	۶۰	۱۱۰	۲۲۰
۲۵	۱۰۰	۱۸۰	۳۵۰
۳۲	۱۲۸	۲۳۰	۴۵۰
۴۰	۱۶۰	۲۸۰	۵۶۰
۵۰	۲۰۰	۳۵۰	۷۰۰

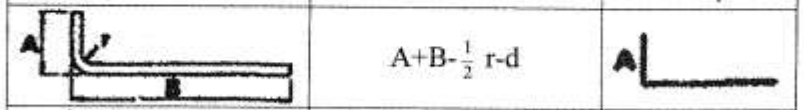
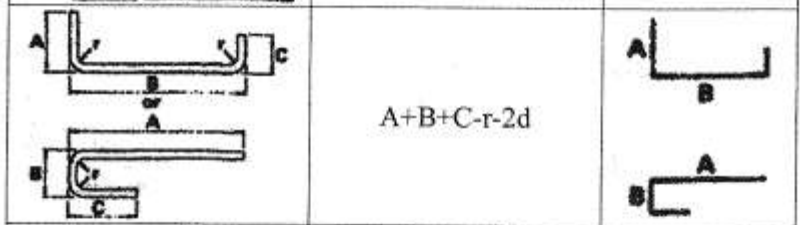
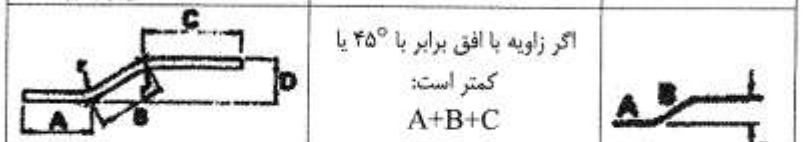
ابعاد نشان داده شده در نقشه	کل طول میلگرد (L)	روش اندازه‌گیری ابعاد خم
	اگر زاویه با افق مساوی یا کمتر از ۴۵° است: A+2B+C+E اگر زاویه با افق بیشتر از ۴۵° است: A+2B+C+E-2e-4d	
	A+B-$\frac{1}{2}$ r-d	
	2(A+B)- $\frac{1}{2}$r-d	
	اگر زاویه با افق ۴۵° یا کمتر است: A+C اگر زاویه بیشتر از ۴۵° است: A+C-$\frac{1}{2}$-d	
	2A+3B+22d	

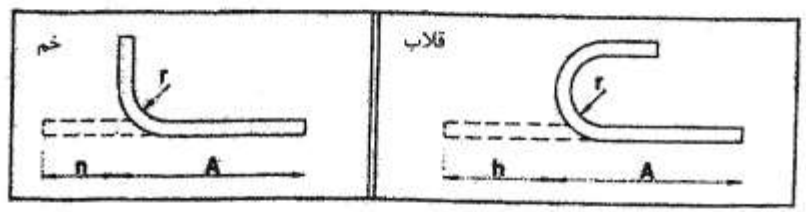
شکل ۳-۲: نمودار و فرمول‌ها برای محاسبه طول میلگردها [۲]

ابعاد نشان داده شده در نقشه	کل طول میلگرد (L)	روش اندازه‌گیری ابعاد خم
	A+2B+C+D-2r-4d	
Streights	A	
	A+h	
	A+2h	
	A+n	
	A+2n	

ادامه شکل ۳-۲: نمودار و فرمول‌ها برای محاسبه طول میلگردها [۲]

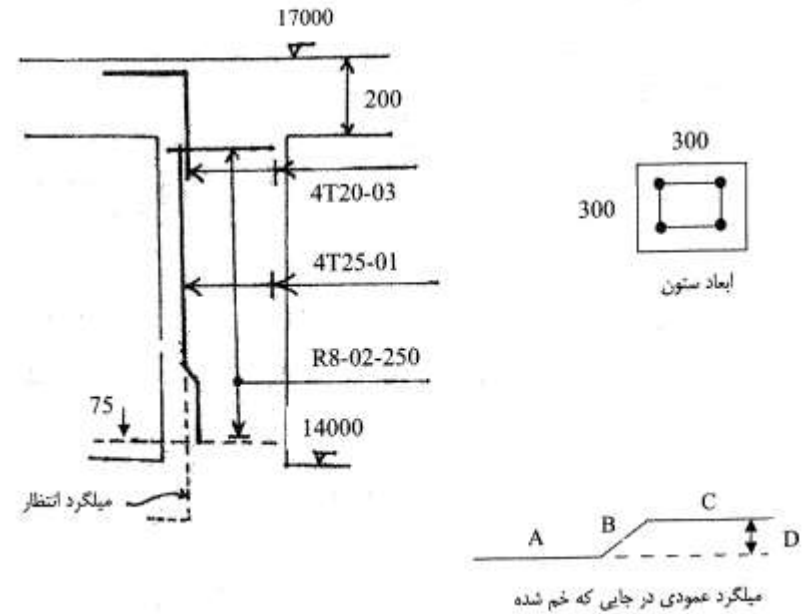
ابعاد نشان داده شده	کل طول میلگرد (L)	روش اندازه‌گیری ابعاد خم

در نقشه		
	$A+B-\frac{1}{2}r-d$	
	A+B+C-r-2d	
	اگر زاویه با افق برابر با ۴۵° یا کمتر است: A+B+C اگر زاویه بیشتر از ۴۵° است: A+B+C-r-2d	D باید حداقل 2d باشد.



ادامه شکل ۳-۲: نمودار و فرمول‌ها برای محاسبه طول میلگردها [۲]

مثال: در شکل ۳-۳ جزئیات آرماتوربندی یک ستون نشان داده شده است. محاسبه طول میلگردها در جدول ۳-۲ ارائه شده است.



شکل ۳-۳: جزئیات آرماتوربندی ستون

$A+B+C$

$D=۲d=۵۰$

طول مهاری $C=۱۶\times d=۴۰۰\ mm$

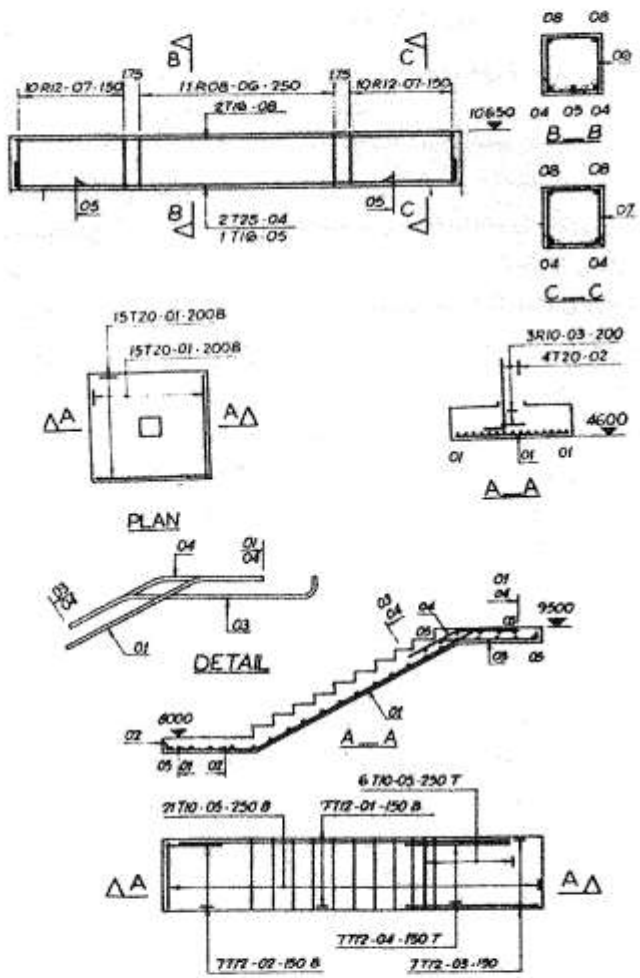
$Sin۴۵^{\circ}=\frac{۵۰}{B}\Rightarrow B=۷۱\ mm$

در جدول ۳-۲، برای محاسبه یک ضلع میلگرد با نشانه 03 ، ارتفاع سقف ۲۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است و با فرض آن که حدود ۴۰۰ میلیمتر از طول میلگرد در درون ستون است و ۳۰ میلیمتر ضخامت پوشش منظور شده است.

جدول ۳-۲: فهرست میلگردهای ستون

موقعیت	شکل و اندازه mm	تعداد مشابه	قطر mm	طول m	طول کل m	وزن یک متر kg	وزن کل kg	شرح
01	۴۰۰ ۷۱ ۲۳۷۵	۴	۲۵	۲/۹۳۶	۱۱/۷۸۴	۳/۹	۴۵/۹۶	محاسبه طول A: $A = ۳۰۰ - ۷۵ - ۵۰ - ۴۰۰ = ۲۳۷۵$
02	۲۴۰ ۲۴۰	۱۲	۸	۱/۱۲	۱۳/۴۴	۰/۴	۵/۳۸	محاسبه تعداد: $\frac{۲۶۵۰}{۲۵۰} = ۱۰/۶ + ۱ = ۱۲$
03	۵۷۰ ۵۷۰	۴	۲۰	۱/۰۹۰	۴/۳۶	۲/۵	۱۰/۹	$۴۰۰+۲۰۰-۳۰=۵۷۰$ محاسبه طول: $A+B-\frac{۱}{۲}r-d = ۵۷۰+۵۷۰- \frac{۱}{۲}۶۰-۲۰ = ۱۰۹۰$

تمرین: در شکل ۳-۴ انواع اعضای بتن آرمه نشان داده شده‌اند. برای تمرین می‌توان ابعاد و تعداد میلگردها را محاسبه کرد.



شکل ۳-٤: مشخصات آرماتور اعضای بتن آرمه، برای تمرین

۳-۳ بتن‌ریزی یا جاگذاری بتن

قبل از آن که بتن‌ریزی انجام شود، باید تمهیدات ضروری قبل از بتن‌ریزی اعمال گردد. مواردی که باید مورد بازرسی قرار بگیرند به شرح زیر است:

- خصوصیات و خواص مصالح
- طرح مخلوط بتن
- قالب‌ها
- آرماتوربندی
- ابزار و تجهیزات ساخت و انتقال بتن

بهتر است که برای هر یک از موارد، چک فهرست تهیه شود تا بازرسی آسان‌تر انجام شود. نمونه‌هایی از چک فهرست در جداول ۳-۳، ۳-۴ و ۳-۵ برای قالب‌ها، آرماتوربندی و ساخت و انتقال بتن ارائه شده‌اند [۴]. باید توجه داشت که این چک فهرست‌ها جنبه راهنمایی دارند و برای هر پروژه باید چک فهرست جداگانه‌ای تهیه شود.

قبل از بتن‌ریزی، باید خصوصیات و خواص مصالح مصرفی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته باشند و نتایج آزمایش‌ها با مشخصات فنی خصوصی و مقررات ملی ساختمان تطابق داشته باشند. برای مثال مقادیر ترکیبات سیمان و آزمایش مقاومت فشاری باید به طور کامل بررسی شوند. وجود مواد زیان‌آور مانند رس و شیل، کلریدها و سولفات‌ها در سنگدانه‌ها آزمایش شده باشند. طرح مخلوط باید بر اساس مقاومت مشخصه و انحراف معیار مناسب با شرایط کارگاه و نتایج گذشته انجام شود و تمام ضوابط ذکر شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در خصوص محاسبه مقاومت فشاری متوسط لازم رعایت شوند.

جدول ۳-۳: چک فهرست قالب‌بندی [٤]

ردیف	موضوع	چک	
		بله	خیر
۱	آیا محاسبه ورق پوشش، ابعاد اعضای مختلف مانند کمرکش‌ها طبق محاسبه و نقشه‌ها می‌باشند؟		
۲	آیا محل درزهای ساخت، انقباضی و انبساطی (در صورت نیاز) در قالب تعبیه و پیش‌بینی شده‌اند؟		
۳	آیا درزهای قالب کاملاً آب‌بندی شده‌اند؟		
۴	آیا روغن‌کاری مطلوب ۲ ساعت قبل از بتن‌ریزی اعمال شده است؟		
۵	آیا ابعاد داخل قالب طبق نقشه‌ها اجرا شده است؟		
۶	آیا قالب کاملاً محکم در محل خود نصب شده است؟		
۷	آیا نگه‌دارنده آب (در صورت نیاز) در محل مورد نظر نصب شده است؟		
۸	آیا درون قالب‌ها کاملاً تمیز است و مواد زائد مانند برگ درختان استخراج شده‌اند؟		
۹	آیا قالب‌ها کاملاً تراز هستند؟		
۱۰	آیا شمع‌ها طبق ابعاد محاسبه شده می‌باشند و در فاصله مورد نظر قرار دارند؟		

جدول ۳-٤: چک فهرست آرماتور [٤]

ردیف	موضوع	چک	
		بله	خیر
۱	آیا اندازه و مقاومت میلگردها صحیح است و آزمایش‌ها انجام شده‌اند؟		
۲	آیا شرایط سطح آرماتور مطلوب است و آلودگی مشاهده نمی‌شود؟		
۳	آیا شرایط زنگ آرماتور مطابق با وضعیت مطلوب است؟		
۴	آیا خم میلگردها صحیح است و در محل صحیح نصب شده‌اند؟		
۵	آیا طول آرماتور صحیح است؟		
۶	آیا فاصله خاموت‌ها صحیح است؟		
۷	آیا میلگردها در محل خود محکم نصب شده‌اند؟		
۸	آیا از فاصله دهنده‌های استاندارد استفاده شده است؟		
۹	آیا طول مهار (طول روی هم قرار گرفتن دو میلگرد) صحیح است؟		
۱۰	آیا ضخامت پوشش روی میلگردها طبق مشخصات فنی است؟		

جدول ۳-۵: چک فهرست بتن‌ریزی [٤]

ردیف	موضوع	چک	
		بله	خیر
۱	آیا آرماتوربندی، قالب‌بندی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و مورد تأیید می‌باشند؟		
۲	آیا دانه‌بندی سنگدانه‌ها مورد تأیید است؟		
۳	آیا نیروی انسانی به تعداد کافی در کارگاه هستند؟		
۴	آیا شرایط مخلوط‌کن مورد بررسی قرار گرفته است و مورد تأیید می‌باشد؟		
۵	آیا وسایل و تجهیزات انتقال و بتن‌ریزی مانند شوت، ویبراتور و فرغون آماده به کار هستند؟		
۶	آیا تمهیدات کافی برای بتن‌ریزی در لایه‌های ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلیمتر پیش‌بینی شده است (مانند حجم ساخت و انتقال بتن)؟		
۷	آیا وسایل نمونه‌برداری مانند قالب‌ها و آزمایش اسلامپ آماده می‌باشند؟		
۸	آیا گروه کار برای عملیات پرداخت توجیه شده‌اند و با نحوه کار آشنا می‌باشند (مانند توقف کار در هنگام آب‌انداختگی)؟		
۹	آیا مراحل عملیات پرداخت مشخص شده است (برای مثال تعداد مراحل ماله‌کشی برای پرداخت نهایی)؟		
۱۰	آیا وسایل و ابزار برای تعبیه درزها مهیا می‌باشند؟		
۱۱	آیا وسایل عمل‌آوری آماده برای استفاده می‌باشند؟		

۳-۳-۱ ضوابط بتن‌ریزی

بتن‌ریزی مانند دیگر مراحل ساخت نیاز به رعایت مواردی دارد که مقاومت و دوام بتن را تضمین کند. در هنگام بتن‌ریزی، رعایت موارد زیر ضروری است [۵و۶] (شکل ۳-۵):

- بتن باید تا حد امکان نزدیک به محل نهایی ریخته شود. به عبارت دیگر نباید بتن را فقط در یک محل تخلیه کرد و سپس با ابزار یا ویبره آن را حرکت داد و به نقاط دیگر منتقل کرد، زیرا سبب جدا شدن ذرات می‌شود.

- بتن باید در لایه‌های افقی با ضخامت‌های مساوی ریخته شود و هر لایه باید به صورت صحیح متراکم شود. ضخامت لایه‌ها تابع عوامل متعددی مانند کارآیی، فاصله میلگردها، اندازه و شکل مقطع و روش تراکم است. معمولاً ضخامت لایه‌ها ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر مناسب است.

- بتن‌ریزی به نحوی انجام شود که بتن تمام نقاط و اطراف میلگرد را پر کند.

- در هنگام انتقال بتن از کامیون حمل بتن به محل مورد نظر باید از ناوه شیب دار[1] استفاده شود. در موارد دیگر مانند اختلاف ارتفاع از محل بتن‌ریزی و محل مورد نظر نیز می‌توان از ناوه شیب‌دار استفاده کرد. ناوه باید از جنس فلزی و گردگوشه باشد.

1. *Chute*

شکل ۳-۵: روش صحیح بتن‌ریزی

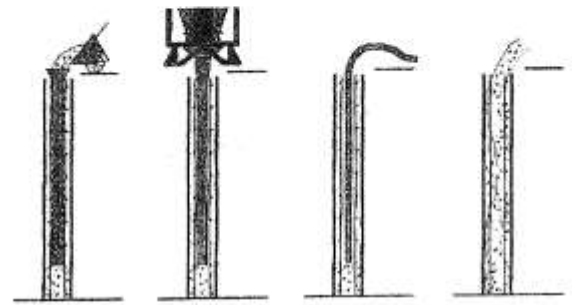
۳-۳-۲ بتن‌ریزی در ارتفاع

سقوط آزاد بتن در هنگام بتن‌ریزی در ارتفاع سبب می‌شود که پس از برخورد بتن با قالب و آرماتور دچار جدا شدن ذرات در بتن شود. همچنین در هنگام برخورد بتن با میلگردها، باعث می‌شود که مقداری از خمیر سیمان بر سطح میلگردها باقی بماند. در نتیجه خشک شدن این اندود خمیر سیمان، پیوستگی بین میلگردها و لایه‌های بعدی بتن کاهش می‌یابد. بنابراین بتن‌ریزی در ارتفاع باید به ۰/۹ تا ۱/۵ متر محدود شود. چنانچه ارتفاع بتن‌ریزی بیشتر است باید از وسیله‌ای که به شکل لوله

است و به لوله آویز[1] مرسوم است استفاده شود. بتن توسط لوله آویز به پایین قالب هدایت می‌کند و می‌توان با پرشدن قالب در پایین قالب لوله آویز را به سمت بالا حرکت داد تا بتن در تمام ارتفاع قالب پر شود. قطر لوله آویز حدود ۸ برابر بزرگ‌ترین اندازه سنگدانه مناسب است (شکل ۳-۶).

در بعضی موارد، مقدار میلگردها در دیوارها و ستون‌ها زیاد است و به دلیل این تراکم امکان قرار دادن لوله آویز وجود ندارد. در چنین مواردی می‌توان از دریچه یا بازشو در ارتفاع‌های مناسب در قالب تعبیه کرد. سپس بتن‌ریزی از طریق این بازشوها در داخل قالب انجام شود.

در هنگام بتن‌ریزی در دیوارها، بهتر است در دو انتهای قالب به جای مرکز آن بتن‌ریزی انجام شود. با این تمهید، آب ناشی از آب‌آوری در نقطه پایین در وسط جمع شود و پس از رسیدن بتن به بالای قالب، به آسانی می‌توان آن آب را جمع‌آوری کرد.

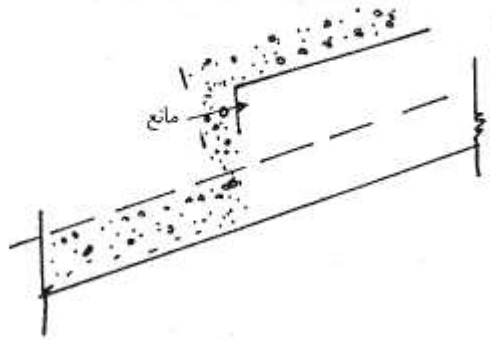


شکل ۳-۶: بتن‌ریزی در ارتفاع شوت

1. *Dropchute*

۳-۳-۳ بتن‌ریزی بر سطوح شیب‌دار

در هنگام بتن‌ریزی بر سطوح شیب‌دار، باید جاگذاری بتن از پایین شیب آغاز شود و سپس به سمت بالای شیب ادامه یابد. این توصیه به دو دلیل ضروری است. از طرفی تراکم بتن توسط وزن بتن‌های جدید افزایش می‌یابد و از طرف دیگر از جدا شدن ذرات بتن جلوگیری می‌شود (شکل ۳-۷). بتن‌ریزی باید به صورت عمودی جاگذاری شود و از صفحه سُر یا شوت استفاده شود. اگر شیب بیشتر از ۱۰° است، باید از قالب برای بتن‌ریزی بهره گرفت. به طور کلی، اسلامپ بتن باید در حدی باشد که مخلوط حرکت جانبی شدید نداشته باشد.



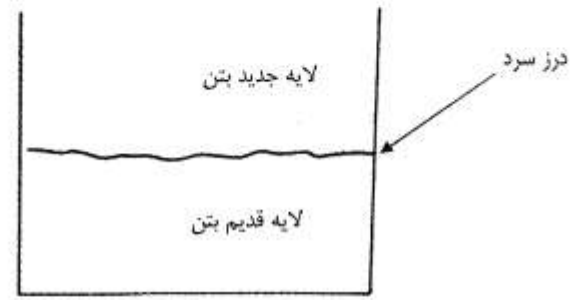
شکل ۳-۷: روش صحیح بتن‌ریزی در شیب

۳-۳-٤ اجتناب از بروز درز سرد[1]

وقتی که بتن تازه بر روی بتن قدیمی و سخت شده ریخته شود، پیوستگی بین دو لایه کاهش می‌یابد. به وجه مشترک این دو لایه، درز سرد گفته می‌شود (شکل ۳-۸). برای اجتناب از بروز درز سرد و افزایش پیوستگی باید موارد به شرح زیر رعایت شوند:

1. *Cold Joint*

- سطح بتن قدیمی باید زبر شود. زبر و مضرس کردن سطح باید با وسایل مناسب انجام شود تا سبب ترک خوردگی در بتن قدیمی نشود. بهتر است در هنگام توقف بتن‌ریزی یعنی زمانی که بتن هنوز در حالت پلاستیک است، عمل زبر کردن انجام شود چون به آسانی می‌توان این عمل را انجام داد.
- سطح بتن قدیمی باید کاملاً تمیز بدون مواد زائد مانند برگ درختان یا گرد و خاک باشد.
- بتن قدیمی باید در حالت اشباع با سطح خشک باشد. بنابراین قبل از بتن‌ریزی باید آب بر سطح بتن قدیمی ریخته شود. اما در هنگام بتن‌ریزی نباید آب بر سطح بتن باشد. زمان ریختن آب به شرایط اقلیمی (دما و رطوبت) بستگی دارد.



شکل ۳-۸: درز سرد

در واقع نباید خطوط بتن‌ریزی[1] با درزهای سرد[2] اشتباه گرفته شوند، زیرا ظاهر هر دو عوارض مشابه است. خطوط بتن‌ریزی، خطوط با رنگ تیره هستند که بین دو لایه بتن‌ریزی رخ می‌دهد و ممکن است، شره کردن خمیر سیمان از لایه بالایی باشد و یا احتمالاً لرزاننده در حد کافی به درون لایه

1. Pour Lines
2. Cold Joints

زیرین نفوذ نکرده است. درزهای سرد اثر نامطلوب در انتقال تنش‌های بین دو لایه زیرین و یا دو بخش بتن دارد، اما اثر منفی خطوط بتن‌ریزی کمتر است. از ظاهر عضو بتنی، نمی‌توان تفاوت در این دو نوع خط قائل شد و فقط با مغزه‌گیری در وجه مشترک دو لایه می‌توان به عمق خط تیره رنگ پی برد. اگر وجه مشترک در مغزه، سطح زبر همراه با نفوذ سنگدانه در هر دو لایه مشاهده شود، نشانه خط بتن‌ریزی است. اما اگر منافذ و جدایی بین دو لایه مشاهده گردد به معنی وجود درز سرد است [۷و۸].

از بروز درزز سرد باید جلوگیری شود، اما اگر ایجاد شد، روش معمول تعمیر وجود ندارد، مگر آنکه با استفاده از میلگرد به طور مناسب، پیوستگی مکانیکی ایجاد گردد. برای مثال اگر بین دو بخش بتن در دال، درز سرد ایجاد شده باشد، باید ابتدا در فواصل و عمق مناسب دال، با اره مخصوص بتن، برش داده شود و میلگردهای آجدار به طول تقریباً ۳۰۰ میلیمتر در حفره‌ها گذاشته و سپس با ملات مخصوص تعمیری، حفره‌ها پر شوند.

۳-٤ متراکم کردن بتن[1]

۳-٤-۱ اهمیت متراکم کردن بتن

در هنگام ساخت بتن، مقداری هوا در داخل بتن محبوس[2] می‌شود و همچنین در مدت انتقال بتن، جداشدگی نسبی رخ می‌دهد. اگر هوای محبوس شده خارج نشود و جداشدگی سنگدانه درشت اصلاح نشود، بتن متخلخل و ناهمگن خواهد بود و در نتیجه مقاومت بتن کاهش می‌یابد. روند خارج کردن هوای محبوس شده و جاگذاری یکنواخت بتن برای دست‌یابی به بتن همگن با حداکثر چگالی به متراکم کردن موسوم است. در صورت تراکم نامطلوب بتن و باقی ماندن حتی ۵ درصد هوا در بتن، می‌تواند منجر به کاهش مقاومت تا ۳۵ درصد شود. تراکم نقش عمده‌ای دیگر نیز دارد و آن قرار گرفتن بتن در اطراف میلگردها و مجاور دیواره قالب است، زیرا اصطکاک بین ذرات بتن از توزیع بتن در تمام نقاط به صورت یکنواخت جلوگیری می‌کند و در نتیجه مقاومت پیوستگی بین میلگردها و بتن

1. Compaction of Concrete
2. Entrapped air

کاهش می‌یابد. با انجام تراکم، نیروهای اصطکاکی از بین می‌روند و بتن به طور یکنواخت در تمام نقاط قالب پخش می‌شود.

۳-٤-۲ مکانیزم تراکم

مکانیزم تراکم را می‌توان به دو مرحله به شرح زیر تقسیم کرد [۵و۶]:

مرحله اول: ابتدا سنگدانه‌های درشت از محل ویبره دور می‌شوند زیرا جرم سنگدانه‌های درشت بیشتر از سنگدانه‌های ریز است.

مرحله دوم: پس از برخورد سنگدانه‌های درشت، ملات بین سنگدانه‌ها جاری می‌شود. با پایان رسیدن این دو مرحله، هوای محبوس شده از بتن خارج شده و به سمت سطح بتن حرکت می‌کنند.

۳-٤-۳ انواع لرزاننده یا ویبره

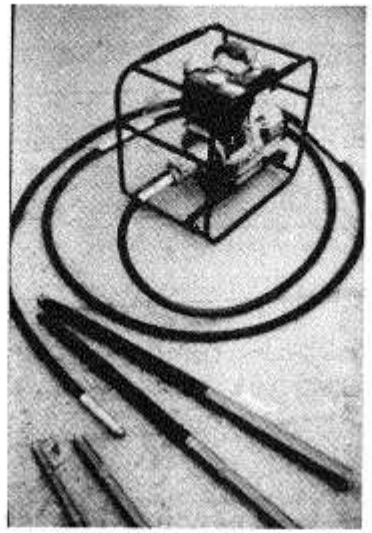
انتخاب نوع لرزاننده به نوع عضو بتنی بستگی دارد. انواع لرزاننده به شرح زیر می‌باشند:

- لرزاننده دستی[1]
- لرزاننده قالب
- لرزاننده سطحی
- میز لرزاننده

1. Hand vibrator

لرزاننده دستی

این لرزاننده به ویبره داخلی[1] یا نفوذی[2] نیز موسوم است. ساختار سر ویبره به این شرح است. پوشش خارجی ویبره که به شکل لوله است فلزی می‌باشد. درون این لوله فلزی یک شفت متحرک قرار دارد که در انتهای آن یک قطعه فلزی نصب شده است. در اثر چرخش شفت، قطعه فلزی به پوشش فلزی ضربه می‌زند که باعث لرزیدن پوشش فلزی می‌شود. فاصله خروج قطعه فلزی از مرکز دامنه[3] ویبره است و تعداد چرخش شفت در دقیقه بسامد[4] ویبره می‌باشد. قطر ویبره داخلی بین ۲۰ تا ۱۸۰ میلیمتر است (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: ویبره دستی

1. Internal vibrator
2. Immersion vibrator
3. Amplitude
4. Frequency

برای استفاده صحیح از ویبره داخلی باید موارد به شرح زیر رعایت شوند [۶-۸]:

- ویبره باید سریع به داخل بتن نفوذ کند و به آهستگی از بتن خارج شود. اما در هنگام خارج کردن ویبره حرکت ملایم بالا - پایین[1] انجام شود. این عمل سبب می‌شود که هوا از درون بتن به سطح بتن منتقل شود.

- ویبره باید با وزن خود به داخل بتن نفوذ کند و باید به لایه زیرین بتن تازه حدود ۱۵۰ میلیمتر داخل شود.

- مدت نفوذ ویبره باید کافی باشد، زیرا اگر زمان کم باشد، سنگدانه‌های درشت حرکت می‌کنند، اما ملات بین آنها جاری نمی‌شود. اگر مدت طولانی باشد، خمیر سیمان به مقدار زیاد به سطح بتن حرکت می‌کند و مقدار آب‌آوری نیز افزایش می‌یابد. برای تشخیص مدت صحیح تراکم، ظاهر شدن شعاع عمل[2] است. شعاع عمل در واقع آب‌آوری است که به شکل دایره بر سطح بتن مشاهده می‌شود. برای اجتناب از آب‌آوری شدید باید بلافاصله پس از رؤیت شعاع عمل، ویبره از بتن خارج شود.

- ویبره باید به صورت عمودی و در فواصل معین به داخل بتن وارد شود. منظور از فواصل معین هم‌پوشانی چند سانتیمتر از شعاع‌های عمل است. به دلیل ضخامت کم دال‌ها، قرار دادن ویبره به صورت مورب اشکال ندارد.

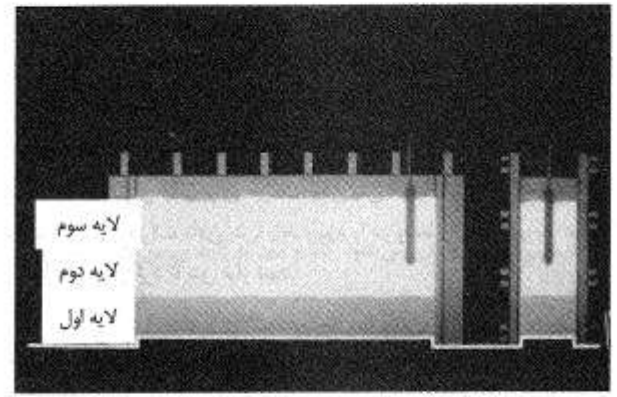
- از ضربه زدن ویبره به قالب و آرماتور باید اجتناب شود، زیرا احتمال جابجایی قالب و میلگردها وجود دارد.

1. Jigging
2. Radius of action

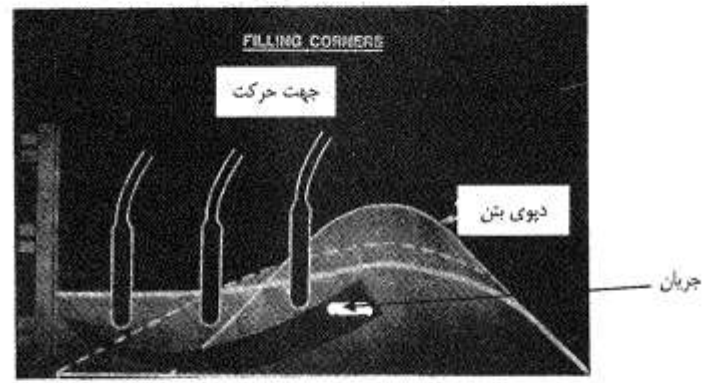
- ضخامت لایه بتن برای ویبره کردن باید مناسب باشد و نباید از ۱۵۰ میلیمتر کمتر باشد. در مورد دال‌ها که ضخامت کم دارند، محدودیت در ضخامت اشکال ندارد. به طور کلی ضخامت لایه بتن حدود ۴۰۰ میلیمتر مناسب است.

- از ویبره نباید به عنوان ابزار برای حرکت دادن بتن استفاده شود، زیرا سبب جدا شدن ذرات بتنی می‌شود. برای حرکت دادن بتن، باید ویبره را در وسط بتن به صورت عمودی وارد کرد و همین عمل را تکرار کرد تا بتن تراز شود.

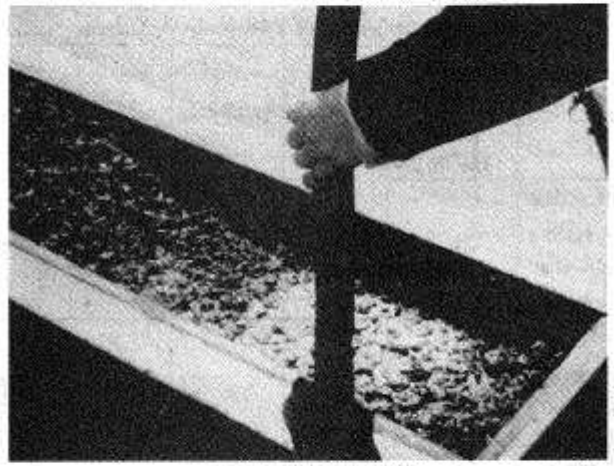
- به عنوان یک قانون کلی، هرچه سنگدانه‌ها بزرگ‌تر باشند و کارایی کمتر باشد، نیاز به دامنه و قطر بزرگ‌تر ویبراتور است. معمولاً قطر ۲۵ میلیمتر برای مقاطع پرتراکم آرماتور و مقاطع کوچک استفاده می‌شود. در چنین موارد، دامنه ویبراتور کم بوده و درجه تراکم نسبتاً کاهش می‌یابد. به طور کلی فرکانس نسبت به دامنه از اهمیت کمتری برای تراکم برخوردار است. فرکانس برحسب لرزه در دقیقه (vpm) و دامنه لرزه، انحراف چرم از نقطه ساکن است در جدول ۳-۶ اطلاعات مربوط به بازده انواع لرزاننده‌های داخلی (مقادیر تقریبی هستند) داده شده است. شکل‌های ۳-۱۰ تا ۳-۱۲، تصویرهای مربوط به ضوابط متراکم کردن بتن را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۱۰: نفوذ ویبره چند سانتیمتر در لایه دوم



شکل ۳-۱۱: حرکت دادن صحیح دپوی بتن



شکل ۳-۱۲: شعاع عمل

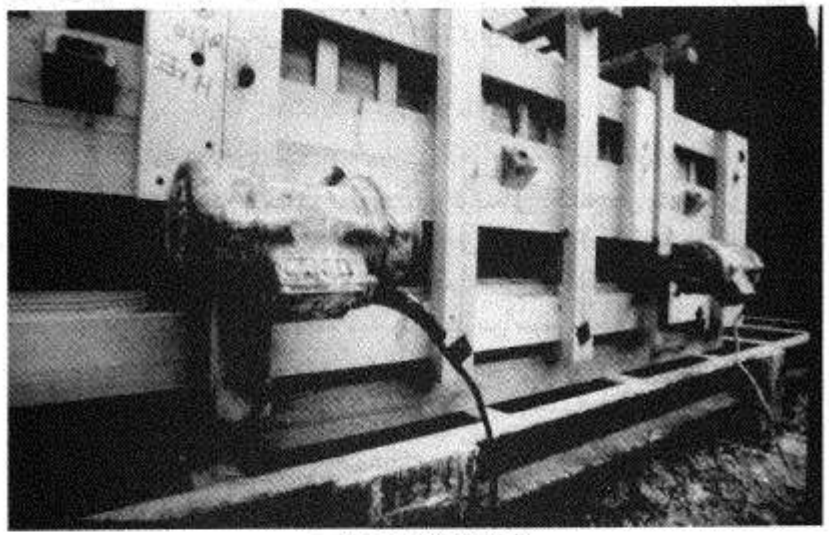
جدول ۳-۶: مشخصات و کاربرد ویبره‌های داخلی [۷]

گروه	قطر لرزاننده (cm)	فرکانس (vpm)	دامنه (cm)	شعاع عمل (cm)	حجم بتن‌ریزی به ازاء هر لرزاننده (m^3/hr)	کاربرد
۱	۲-۴	۹۰۰۰-۱۵۰۰۰	۰/۰۴-۰/۰۸	۸-۱۵	۰/۸ -۴	برای بتن‌های پلاستیک و جاری و در اعضاء نازک و اعضاء پیش تنیده و نمونه‌های آزمایشگاهی
۲	۴-۶	۸۵۰۰-۱۲۵۰۰	۰/۰۵-۰/۱۰	۱۳-۲۵	—	بتن پلاستیک برای دیواره‌های نازک، تیرها، شمع‌های پیش‌ساخته، ستون‌ها و دال‌های نازک
۳	۵-۹	۸۰۰۰-۱۲۰۰۰	۰/۰۶-۰/۱۳	۱۸-۳۶	۴/۶-۱۵	برای بتن تا حدی پلاستیک (کمتر از ۸ سانتیمتر اسلامپ) در اعضاء عمومی مانند دیوارها، ستون، تیرها و دال‌های ضخیم
۴	۸-۱۵	۷۰۰۰-۱۰۵۰۰	۰/۰۸-۰/۱۵	۳۰-۵۱	۱۱-۳۱	برای بتن‌ریزی حجیم و اعضاء سازه با اسلامپ صفر تا ۵۰ سانتیمتر
۵	۱۳-۱۸	۵۵۰۰-۸۵۰۰	۰/۱۰-۰/۲۰	۴۰-۶۱	۱۹-۳۸	برای بتن‌ریزی حجیم مانند سدها، دیوارهای ضخیم و ستون‌های پل‌ها

ویبراتور قالب

ویبراتور قالب یا خارجی، توسط گیره به صورت محکم به قالب اتصال داده می‌شود و تراکم بتن از طریق لرزش قالب انجام می‌گردد. این ویبراتور برای مقاطع باریک یا پرفولاد استفاده می‌شود. از

آنجائی که مقدار قابل توجه انرژی توسط قالب جذب می‌گردد، نیروی بیشتری در مقایسه با ویبراتور داخلی نیاز هست. قالب باید به اندازه کافی محکم و سخت باشد تا عمل لرزش را تحمل کند، به خصوص باید بدون درز باشد تا خمیر سیمان از قالب خارج نگردد. در هنگام استفاده از ویبراتور قالب ضروری است که لایه‌های بتن بیشتر از ۱۵۰ میلیمتر باشد تا بتن به صورت یکنواخت متراکم گردد. در این روش احتمال باقی‌ماندن حباب‌های هوا بیشتر از (به خصوص در لایه بالا) ویبراتور داخلی است، بنابراین توصیه می‌گردد لایه‌های آخری با عمق حدود ۶۰۰ میلیمتر توسط ویبره داخلی تراکم شوند (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳: ویبره قالب

ویبراتور سطح

ویبراتور سطح برای دال‌های کف ساختمان، جاده‌های فرودگاه استفاده می‌شود. در این روش دستگاه ویبراتور بر تیرهای فلزی یا چوبی نصب می‌گردد و در واقع عمل شمشه کاری و تراکم با هم انجام می‌شود. ضخامت لایه‌های بتن نباید بیشتر از ۱۵۰ میلیمتر باشد، در عمق بیشتر ویبراتور سطح مؤثر نخواهد بود.

ویبراتور میزی

ویبراتور میزی معمولاً در آزمایشگاه‌ها یا کارخانه‌های قطعات پیش ساخته استفاده می‌شود. این وسیله شامل یک میز فولادی است که لرزاننده به آن نصب شده است. پس از قرار دادن قالب همراه با بتن بر روی میز، ارتعاش به قالب منتقل می‌شود و عمل ویبره کردن بر روی بتن انجام می‌شود.

۳-٤-٤ تراکم مجدد[1]

در بعضی موارد، پس از متراکم کردن بتن، ریز ترک‌هایی بر سطح بتن مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از نشست پلاستیک باشد. در چنین مواردی می‌توان تراکم مجدد انجام داد، اما این عمل باید قبل از گیرش اولیه بتن و در زمانی که بتن هنوز خمیری یا پلاستیک است انجام شود. زیرا اگر در زمان طولانی اقدام به تراکم مجدد شود، ریزساختار بتن صدمه می‌بیند. تراکم مجدد در زمان مناسب (حدود ۱ تا ۲ ساعت پس از بتن‌ریزی) سبب حذف ریز ترک‌ها و عارضه آب‌آوری می‌شود. از طرف دیگر تحقیقات نشان داده که تراکم مجدد سبب افزایش مقاومت و افزایش پیوستگی بین آرماتور و بتن می‌شود.

1. Revibration

۳-۵ عمل‌آوری[1]

سیمان در بتن نیاز به آب دارد تا روند هیدراتاسیون ادامه یابد. هر چند بخشی از ذرات سیمان که بزرگ هستند احتمالاً به طور کامل هیدراته نمی‌شوند و یا سال‌ها طول بکشد تا هیدراته شوند، اما به هر حال باید هیدراتاسیون تا حد ممکن انجام شود. به طور کلی معمولاً نسبت آب به سیمان بتن‌ها به اندازه کافی هست که واکنش‌های هیدراتاسیون انجام شوند، اما در عمل به دلیل تبخیر آب از بتن یا به دلیل جذب آب بتن توسط سنگدانه‌ها یا قالب‌ها، ممکن است آب کافی برای روند هیدراتاسیون وجود نداشته باشد. وقتی که رطوبت نسبی درون بتن به کمتر از ۸۰ درصد می‌رسد، هیدراتاسیون متوقف می‌شود. کاهش رطوبت نسبی ناشی از تبخیر آب از بتن یا خودخشک‌شدگی[2] در بتن‌های پرمقاومت است. عدم اجرای مطلوب عمل‌آوری می‌تواند باعث کاهش مقاومت و دوام تا بیش از ۵۰ درصد شود.

اثر عمل‌آوری ادواری (تر و خشک شدن) به هیچ وجه جایگزین عمل‌آوری مستمر نیست. به عبارت دیگر توقف عمل‌آوری و شروع مجدد عمل‌آوری به صورت چرخه‌ای مشابه عدم عمل‌آوری است. حتی اگر پس از توقف عمل‌آوری، مجدداً پس از مدتی عمل‌آوری کامل انجام شود، نمی‌توان انتظار داشت که مقاومت مورد نظر کسب شود. در چنین موردی، حتی اگر هیدراتاسیون ادامه یابد، درجه هیدراتاسیون نامشخص است زیرا تابع نوع بتن، شرایط محیطی هندسه عضو بتنی و مدت توقف عمل‌آوری است [۵].

۳-۵-۱ روش‌های عمل‌آوری

روش‌های عمل‌آوری را می‌توان به دو گروه به شرح زیر تقسیم کرد. انتخاب روش به عوامل متعددی مانند موجود بودن آب، شرایط محیطی و وضعیت عضو بتن از نظر افقی و عمودی بستگی دارد [۹]. غیر از روش‌های ذکر شده در این بخش، روش دیگری به نام عمل‌آوری با بخار استفاده می‌شود که خاص کارخانه‌های قطعات پیش ساخته است.

1. Curing
2. Self-desiccation

- عمل‌آوری با آب[1]
- عمل‌آوری عایقی[2]

عمل‌آوری با آب

گروه عمل‌آوری با آب شامل روش‌هایی است که آب از بیرون بتن به آن اعمال می‌شود. روش‌های متعددی در این گروه قرار دارند که می‌توان ایجاد حوضچه[3]، افشاندن آب[4] و پوشش‌های خیس[5] را نام برد. ایجاد حوضچه برای سطوح افقی می‌باشد و یک لایه آب بر روی سطح ریخته می‌شود و در طول مدت عمل‌آوری این لایه آب باید به صورت مستمر تأمین شود.

افشاندن یا اسپری آب نیز یک روش مناسب است، اما مانند ایجاد حوضچه باید استمرار عمل‌آوری حفظ شود. روش دیگر مقرون به صرفه است، پوشش‌های خیس مانند پارچه چتایی (گونی) می‌باشند. اما نباید هیچ وقت در طول مدت عمل‌آوری پوشش خشک شود. برای تأخیر در خشک شدن پوشش می‌توان از ورق پلاستیک بر روی پوشش استفاده کرد. عمل‌آوری با آب باید بلافاصله پس از گیرش اولیه و سفت شدن بتن آغاز شود. در این مرحله، آب می‌تواند از طریق منافذ مویینه به درون بتن وارد شود، اما اگر عمل‌آوری با تأخیر انجام شود، به دلیل تشکیل هلال‌ها[6] در منافذ مویینه، آب قادر نیست که به درون بتن به آسانی یا به طور کامل نفوذ کند [۸ -۱۰].

عمل‌آوری عایقی

در این گروه عمل‌آوری از خروج آب از بتن جلوگیری می‌شود. این گروه عمل‌آوری شامل روش‌های متعددی مانند ورق پلاستیک یا مواد شیمیایی غشایی[7] عمل‌آوری می‌باشد. ورق پلاستیک به رنگ‌های سفید و سیاه موجود است. رنگ سفید برای هوای گرم جهت انعکاس نور و رنگ سیاه برای

1. *Water curing*
2. *Sealed curing*
3. *Ponding*
4. *Sprajing or Sprinkling*
5. *Wet coverings*
6. *Menisci*
7. *Curing membrane*

هوای سرد جهت جذب نور مفیدند. ورق پلاستیک باید تمام سطح بتن را پوشش دهد، در غیر این صورت گردش هوا در زیر ورق سبب تبخیر آب از بتن می‌شود.

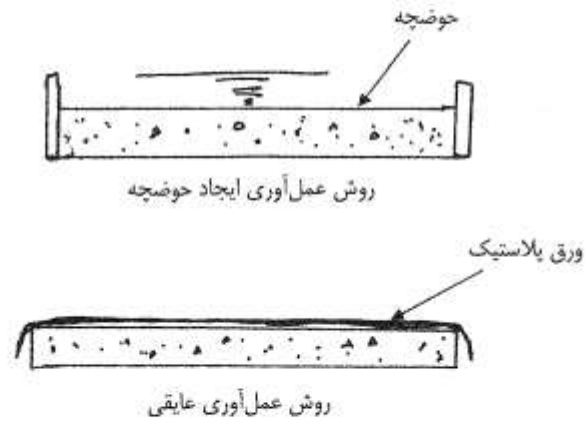
مواد شیمیایی غشایی به صورت محلول تولید می‌شوند که با وسیله اسپری بر روی سطح بتن پخش می‌شود و با تشکیل یک غشاء از تبخیر آب بتن جلوگیری می‌کند. این محلول‌ها از ترکیب رزین‌های مصنوعی و طبیعی با حلال تشکیل شده‌اند. پس از پخش کردن محلول بر سطح بتن، حلال تبخیر می‌شود و رزین بر سطح باقی می‌ماند. غشاء رزین تا مدت چهار هفته باقی می‌ماند و در اثر هوازدگی و نور آفتاب ترد و شکننده می‌شود و از سطح بتن جدا می‌شود. قبل از استفاده از این نوع مواد، توصیه‌ها به شرح زیر باید در نظر گرفته شوند [۹ و ۱۰]:

- بهتر است از محلول‌هایی استفاده شوند که دارای رنگدانه مانند ذرات آلومینیم باشند. این رنگدانه‌ها دو وظیفه را به عهده دارند: سبب انعکاس نور و کاهش دمای بتن می‌شوند و از طرف دیگر پخش یکنواخت محلول قابل رؤیت خواهد بود.
- در هنگام پخش محلول، در دو لایه عمود بر یکدیگر اعمال شود.
- اگر قرار است بر سطح بتن کاشی یا موزائیک نصب شود و یا از اندودهای حفاظتی استفاده شود، از این نوع عمل‌آوری استفاده نشود، زیرا احتمال کاهش پیوستگی وجود دارد.
- برای حصول اطمینان از مؤثر بودن این مواد، از تولید کننده تقاضای تأئیدیه فنی شود و یا در آزمایشگاه عملکرد آن مورد بررسی قرار بگیرد.

باید توجه داشت که قالب‌ها خود به عنوان عمل‌آوری عایقی محسوب می‌شوند. نکته مهم دیگر این است که در مواردی که بتن پرمقاومت با نسبت کم آب به سیمان و یا میکروسیلیس استفاده می‌شود، از عمل‌آوری با آب انتخاب شود. زیرا اگر برای این نوع بتن‌ها از عمل‌آوری عایقی استفاده شود، دچار خودجمع‌شدگی[1] می‌شوند.

1. *Autogenous Shrinkage*

در شکل ۳-۱۴، روش عمل‌آوری ایجاد حوضچه و عایقی نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴: انواع روش‌های عمل‌آوری

جدول ۳-۷ روش‌های مجاز عمل‌آوری را برای انواع بتن‌ها بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱۰] نشان می‌دهد.

جدول ۳-۷: روش مجاز عمل‌آوری

نوع بتن و نسبت آب به سیمان مخلوط بتن	روش مجاز عمل‌آوری بر اساس شرایط محیطی		
	شرایط محیطی معمولی	شرایط محیطی هوای گرم	شرایط محیطی هوای سرد
بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و بیشتر	روش آب‌رسانی و روش عایقی	روش آب‌رسانی و روش عایقی	روش عایقی
بتن حاوی مواد افزودنی معدنی مانند دوده سیلیس، سرباره و متاکائولین، با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۴	روش آب‌رسانی	روش آب‌رسانی	روش عایقی برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ تا ۰/۴۴ مجاز است. اما ساخت بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و کمتر در هوای سرد مجاز نیست.

۳-۵-۲ مدت عمل‌آوری

مدت عمل‌آوری تابع شرایط محیطی (رطوبت و دما)، نوع سیمان مصرفی و مواد افزودنی معدنی مانند پوزولان‌ها می‌باشد. اما به طور کلی حداقل ۳ روز تا ۷ روز برای بتن‌های معمولی کفایت می‌کند. اما بعضی از آئین‌نامه‌های معتبر دنیا برای سیمان‌ها یا بتن‌های خاص ۱۴ روز تا ۲۸ روز مدت عمل‌آوری نیز توصیه کرده‌اند. به هر حال پیشنهاد می‌شود که اگر از مواد خاص در ساخت بتن استفاده می‌شود، مدت عمل‌آوری در آزمایشگاه مورد بررسی قرار بگیرد [۵ و۹].

جدول ۳-۸ حداقل مدت عمل‌آوری را برای انواع بتن‌ها بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱۰] نشان می‌دهد.

جدول ۳-۸: حداقل مدت عمل‌آوری

نوع بتن و نسبت آب به سیمان مخلوط بتن	روش مجاز عمل‌آوری بر اساس شرایط محیطی، روز		
	شرایط محیطی معمولی	شرایط محیطی هوای گرم	شرایط محیطی هوای سرد
بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و بیشتر	۶	۷	۱۰
بتن حاوی مواد افزودنی معدنی مانند دوده سیلیس، سرباره و متاکائولین با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۴	۱۰	۱۴	۱۴

۳-۵-۳ کارایی روش‌های عمل‌آوری

به طور کلی، بهترین روش عمل‌آوری، آبرسانی مستمر است، اما شاید این روش برای بسیاری از اعضای بتنی مانند دیوارها و ستون‌ها امکان‌پذیر نباشد، از طرف دیگر مقرون به صرف نیست. بنابراین انتخاب مناسب، روش پارچه چتایی (گونی) خیس همراه با پوشش پلاستیک است. اما اگر از این روش استفاده می‌شود باید پارچه چتایی به طور مستمر خیس شود. در غیر اینصورت، خشک‌شدگی و خیس‌شدگی بتن عوارض خاص خود را خواهد داشت (مانند پوسته‌شدگی) و از طرف دیگر هیدراتاسیون سیمان به طور کامل انجام نمی‌شود.

تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از مواد شیمیایی عمل‌آوری، کارایی در حد روش‌های مذکور ندارند. احتمال خروج رطوبت از سطح بتن با وجود این مواد، زیاد است. همچنین یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که غیر از کاهش مقاومت بتن در مقایسه با روش‌های دیگر عمل‌آوری، احتمال

افزایش جمع‌شدگی بتن بیشتر است [۱۱و۱۲]. بنابراین توصیه می‌شود که از این مواد در مواردی استفاده شود که امکان استفاده از روش‌های دیگر مقدور نیست. برای مثال، در هنگام هوای سرد می‌توان از مواد عمل‌آوری استفاده کرد، اما باید همراه با حفاظت از یخ زدگی باشد.

۳-۵-٤ عمل‌آوری تسریع شده

معمولاً وقتی سازه‌ای در دست ساخت است، معمولاً برای تعیین مقاومت بتن از نمونه‌های استاندارد در سن ۲۸ روزه استفاده می‌شود. اما آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روز بسیار دیر است و احتمال دارد که مقاومت کمتر طرح باشد. در نتیجه باید آن بخش از سازه که مقاومت ضعیف دارد تخریب شود. اگر مقاومت نمونه‌ها بیشتر از مقاومت طرح باشد، مقرون به صرفه نیست. بنابراین، از روش‌های عمل‌آوری تسریع شده استفاده می‌شود تا مقاومت فشاری بتن در زمان کوتاه اندازه‌گیری شود و آن نتیجه قابلیت تخمین مقاومت ۲۸ روزه را داشته باشد. از طرف دیگر، این روش‌ها قادرند، تغییرات مقاومت به منظور کنترل کیفیت را اندازه‌گیری و پایش کنند. سه روش عمل‌آوری تسریع شده در ASTM 684 [۱۳] ارائه شده است. در جدول ۳-۹ خلاصه این روش‌ها نشان داده شده‌اند.

جدول ۳-۹: خلاصه روش‌های عمل‌آوری تسریع شده طبق ASTM 684 [۱۳]

روش	واسط عمل‌آوری	دمای عمل‌آوری	سن شروع عمل‌آوری تسریع شده	مدت عمل‌آوری تسریع شده	سن آزمایش
آب گرم	آب	۳۵°C	بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها	۲۴ ساعت	۲۴ ساعت
آب جوش	آب	جوش	۲۴ ساعت پس از ساخت نمونه‌ها	۳/۵ ساعت	۲۸/۵ ساعت
عمل‌آوری خودجمع‌شدگی	دمای هیدراتاسیون	دمای هیدراتاسیون	بلافاصله پس از ساخت نمونه‌ها	۴۸ ساعت	۴۹ ساعت

در روش آب گرم، نمونه‌های استوانه‌ای که در قالب هستند، باید ابتدا پوشش داده و سپس در آب گرم قرار داده شوند. قبل از آزمایش نیز، نمونه‌ها باید کلاهک‌گذاری شوند. همین تمهیدات باید برای روش آب جوش نیز اعمال شوند. در روش عمل‌آوری خودجمع‌شدگی، نمونه‌ها باید با پوشش مناسب ایزوله شوند و عمل‌آوری با دمای هیدراتاسیون سیمان در بتن صورت می‌پذیرد و قبل از آزمایش مقاومت، نمونه باید کلاهک‌گذاری شوند. در روش آب جوش باید نمونه‌ها برای ۲۳ ساعت در شرایط مرطوب در ۲۱° سلسیوس قرار داده شوند و پس از ۳/۵ ساعت در آب جوش، به مدت ۱ ساعت سرد شوند و پس از آن کلاهک‌گذاری انجام شود. به هر حال در هنگام استفاده از این روش‌ها، باید ارتباط نتایج بدست آمده از روش‌های تسریع شده و عمل‌آوری استاندارد برای بتن مورد نظر تعیین شود.

۳-۵-۵ عمل‌آوری با بخار

معمولاً عمل‌آوری با بخار در کارخانه قطعات پیش ساخته استفاده می‌شود. این روش اجازه می‌دهد که سرعت تولید افزایش یابد و قالب‌برداری در زمان کوتاه‌تر انجام گردد.

به طور کلی دمای بیشتر باعث افزایش نرخ هیدراتاسیون سیمان می‌شود، بنابراین کسب مقاومت بتن با عمل‌آوری با بخار تسریع می‌گردد. اما تسریع هیدراتاسیون با دما منجر به توزیع غیریکنواخت محصولات هیدراتاسیون می‌شود و مقاومت بتن در دراز مدت کمتر از موقعی است که بتن در شرایط استاندارد عمل‌آوری شده باشد. با افزایش دمای بتن توسط بخار توزیع اندازه منافذ تغییر می‌کند و منافذ مویینه بزرگتر از ۰/۰۱ میکرومتر افزایش می‌یابند. این فرآیند نه تنها بر مقاومت بتن در دراز مدت تأثیرگذار است، بلکه احتمال اثر منفی در دوام بتن دارد و به نفوذپذیری کلریدها افزوده می‌شود.

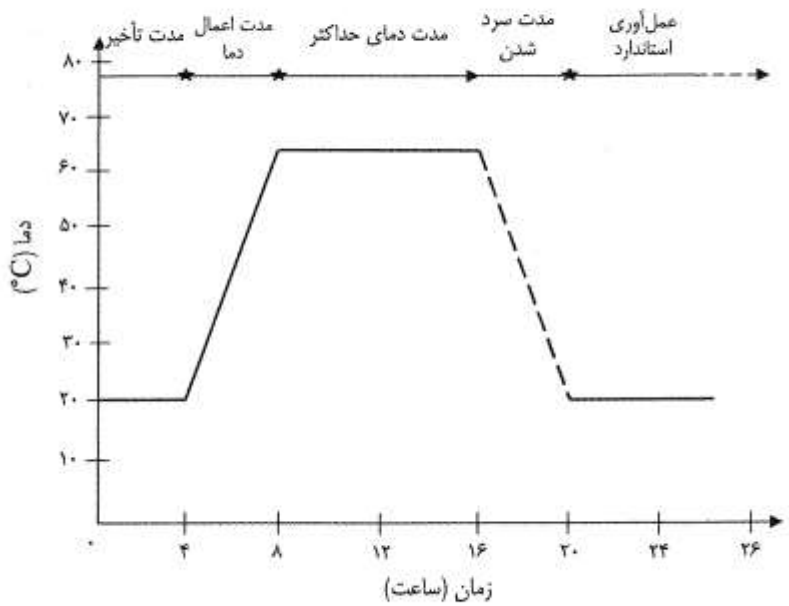
اما به هرحال عمل‌آوری با بخار مزایای خود را دارد و می‌توان در مدت ۲۴ ساعت به مقاومت تقریباً معادل سن ۲۸ روزه رسید. از طرف دیگر، بتن عمل‌آوری شده با بخار از جمع‌شدگی و خزش کاسته می‌شود و احتمال سفیدک زدگی بتن کاهش می‌یابد. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از پوزولان‌ها مانند دوده سیلیس و متاکائولین باعث کاهش معایب این روش می‌شود. زیرا پوزولان‌ها سبب افزایش مقاومت و دوام بتن می‌شوند، بنابراین کاهش آن‌ها به سبب عمل‌آوری با بخار جبران می‌شود [۱۴].

چرخه عمل‌آوری با بخار به مفهوم مدت عمل‌آوری و نحوه اعمال کردن دما و سرد کردن بتن است. چرخه عمل‌آوری بتن باید با دقت طراحی شود تا احتمال کاهش مقاومت بتن به حداقل برسد. بنابراین برای هر نوع بتن باید ابتدا چرخه عمل‌آوری با آزمایش تعیین شود. به عبارت دیگر، باید بتن مورد نظر در چرخه‌های مختلف قرار داده شود و مقاومت ۲۸ روزه آن بدست آید و سپس بهترین چرخه مقاومت بتن در دراز مدت، پس از اتمام چرخه عمل‌آوری، قطعات در معرض عمل‌آوری استاندارد قرار داده شوند.

چرخه عمل‌آوری با بخار در شکل ۳-۱۵ به عنوان نمونه نشان داده شده است. بر اساس این چرخه، قطعه بتنی پس از ساخت به مدت ۲ تا ۶ ساعت در دمای معمول کارخانه قرار داده می‌شود تا هیدراتاسیون اولیه انجام شود. به این مدت قبل از اعمال بخار، مدت تأخیر گفته می‌شود که تابع نوع سیمان و دمای حداکثر عمل‌آوری است. هرچه دمای حداکثر عمل‌آوری بیشتر باشد، باید مدت تأخیر بیشتری در نظر گرفته شود.

بخار باید به تدریج اعمال شود و افزایش دما باید کنترل شده باشد. معمولاً نرخ افزایش دما بین ۱۱° تا ۳۳° سلسیوس در ساعت است. اگر مدت تأخیر (قبل از اعمال بخار) به درستی اجرا شده باشد می‌توان نرخ افزایش دما را تا ۳۳° سیلسیوس در ساعت در نظر گرفت. معمولاً حداکثر دما بین ۶۵° تا ۸۰° سلسیوس می‌باشد. هرچه دما بیشتر باشد، احتمال کاهش مقاومت بتن در دراز مدت بیشتر است. هرچه مقدار دما بیشتر باشد، مدت اعمال بخار کاهش می‌یابد. معمولاً مدت اعمال دمای حداکثر بین ۸ تا ۱۲ ساعت است.

پس از اتمام مدت عمل‌آوری با دمای حداکثر، برای جلوگیری از شوک حرارتی (مانند زمان افزایش دما) باید دما به تدریج کاهش یابد. معمولاً نرخ کاهش دما بین ۲۲° تا ۳۳° سلسیوس در ساعت در نظر گرفته می‌شود [۱۵].



شکل ۳-۱۵: نمونه چرخه عمل‌آوری با بخار در فشار اتمسفر [۱۵]

منابع فصل سوم:

1- *ACI Committee 315, Details and Detailing of Concrete Reinforcement, American Concrete Institute, 1999.*

2- *BS 4466, Specification for Bending Dimensions and Scheduling of Reinforcement for Concrete, British Standard, 1982.*

3- *BS 8110, Structural use of Concrete, Part 1, Code of Practice for Design and Construction, British Standard, 1985.*

4- *Fisk, E.R., Rapp, R.R., Introduction to Engineering Construction Inspection, John Wiley, 2004.*

۵- مهتا، کومار.، و مونته نیرو، پائولو.، ریز ساختار، خواص و اجرای بتن، ترجمه: رمضانپور، علی اکبر.، قدوسی، پرویز.، و گنجیان، اسماعیل. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم، ۱۳۸۸.

6- *ACI Committee 309, Guide for Construction of Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, 2001.*

7- *ACI Committee 309, Guide for Consolidation of Concrete, American Concrete Institute, 2001.*

8- *ACI Committee 116, Cement and Concrete Terminology, American Concrete Institute, 2001.*

9- *ACI Committee 308, Standard Practice for Curing Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, 2001.*

۱۰- مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۲.

11- *Huo, X.S., and Wong, L.U., Experimental Study of Early-age Behavior of High Performance Concrete Eck Slabs Under Different Curing Methods, Construction and Building Materials, V. 20, 2006, pp. 1049-1056.*

12- *Wasserman, R., and Bentur, A., Efficiency of Curing Technologies: Strength and Durability, Materials and Structures, 2013.*

13- *ACI Committee 684, Making Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens, American Concrete Institute, 2005.*

14- *Gesoglu, M., Influence of Steam Curing on the Properties of Concrete Incorporating Metakaolin and Silica Fume, Materials and Structures, V. 43, 2010, pp. 1123-1134.*

پایان