دانشگاه یزد

روش های اجرای ساختمان

بتن: تکنولوژی، خواص و روش های اجرا

(ویرایش سوم)

مدرس: دکتر محمدرضا میرجلیلی

دانشگاه یزد- نیم سال اول -۱۴۰۱

(توضیح: مطالب این جزوه در حد اختصار بوده و توضیحات تکمیلی در کلاس درس ارائه خواهد شد.)

مطالب این درسنامه هر چند وقت یکبار به روز شده و در ویرایش جدیدی ارائه می گردد. برای دریافت به سایت **www.dr-mirjalili.ir** مراجعه شود.

فهرست

۱- اجزای تشکیل دهنده بتن.....۵
۱-۱- سیمان.....۵
۱-۱-۱- ترکیبات اصلی سیمان.....۵
۱-۱-۲- انواع سیمانهای استاندارد.....۷
۱-۲- سنگدانهها.....۱۱
۱-۲-۱- مشخصات سنگدانهها.....۱۱
۱-۲-۲- شکل و بافت سطحی سنگدانهها.....۱۲
۱-۲-۳- دانه بندی مصالح سنگی.....۱۴
۱-۲-۴- دانه بندی استاندارد ماسه.....۱۶
۱-۲-۵- مدول نرمی ماسه.....۱۸
۱-۲-۶- دانه بندی استاندارد شن.....۱۸
۱-۲-۷- مواد زیان آور سنگدانه ها.....۱۹
1-2-8- هم ارز ماسه (SE).....۲۱
۱-۳- آب ۲۲
۱-۳-۱- اثر مواد موجود در آب بر کیفیت بتن.....۲۲
کلریدها ۲۲
سولفات ها ۲۲
کربنات ها و بی کربنات ها.....۲۳
۱-۴- مواد افزودنی.....۲۳
۱-۴-۱- فوق روان کننده بتن (پایه نفتالین).....۲۴
۱-۴-۲- ابر روان کننده بتن (پایه کربوکسیلات).....۲۴
۱-۴-۳- میکروسیلیس.....۲۵
۱-۴-۴- حباب زا.....۲۵
۱-۴-۵- ضد یخ.....۲۶
۲- خواص بتن ۲۷
۲-۱- وزن مخصوص بتن.....۲۷
۲-۲- روانی بتن تازه (اسلامپ).....۲۷
۲-۳- مقاومت فشاری بتن.....۲۹
۲-۴- مقاومت کششی بتن.....۲۹
۲-۵- خزش یا وارفتگی بتن (Creep).....۳۰
۲-۵-۱- عوامل مؤثر بر خزش.....۳۰
۲-۶- افت یا آبرفتگی (Shrinkage).....۳۱
۲-۶-۱- راهکارهای کاهش افت.....۳۲
۲-۷- آب انداختن بتن.....۳۳
۲-۸- جدا شدن دانه ها.....۳۳

۹-۲- جمع شدگی پلاستیک ۳۴
۱۰-۲- اثرپذیری از تهاجم سولفاتها ۳۶
۱۱-۲- خوردگی میلگرد در بتن ۳۷
۱۲-۲- تاثیر نسبت آب به سیمان در بتن ۳۸
۳- اختلاط بتن ۳۹
۱-۳-اختلاط دستی ۳۹
۲-۳-اختلاط مکانیکی ۴۰
۳-۳-کارخانه تولید بتن آماده (بچینگ) ۴۰
۴-۳-اصول اختلاط در مخلوطکن ۴۱
۵-۳-مقدار سفارش بتن ۴۲
۴- انتقال بتن ۴۳
-4-1 انتقال بتن آماده از کارخانه به کارگاه ۴۳
-4-1-1 تراک میکسر یا کامیون مخلوط کن ۴۳
۲-۱-۴- پمپ دکل دار (هوایی) ۴۴
۳-۱-۴- پمپ زمینی ۴۵
-4-2 سایر روش های انتقال بتن ۴۵
۵- بتن ریزی ۴۸
۱-۵-آماده سازی قبل از بتن ریزی ۴۸
۲-۵-بتن ریزی ۴۹
۳-۵-دمای مخلوط بتن حین بتن ریزی ۵۱
-6 متراکم کردن بتن ۵۲
۱-۶- تراکم دستی ۵۲
-6-2 تراکم مکانیکی (لرزاننده‌ها) ۵۲
۳-۶- تراکم مجدد ۵۵
۷- پرداخت بتن ۵۶
-8 عمل آوری بتن ۵۸
۱-۸-مدت زمان عمل آوری بتن ۶۰
۲-۸-روشهای مراقبت از بتن (عمل آوری رطوبتی) ۶۰
-8-2-1 ضوابط کنترل روش عمل آوری بتن ۶۴
۳-۸- پروراندن بتن (عمل آوری حرارتی) ۶۴
۹- بتن ریزی و عمل آوری در هوای سرد ۶۵
۱-۹-دمای بتن در هوای سرد ۶۶
۲-۹- توصیه های عملی ۶۷
۳-۹-مواد افزودنی در بتن ریزی در هوای سرد ۶۸
۱-۳-۹- مواد حباب زا ۶۸
۲-۳-۹- مواد زودگیرکننده ۶۸

۴-۹- محافظت پس از بتن ریزی ۶۸
۱۰- بتن ریزی و عمل آوری در هوای گرم ۷۰
۱-۱۰- توصیه های عملی ۷۱
۱۱- انواع درز در بتن ۷۲
۱-۱۱- درز سرد ۷۲
۲-۱۱- درزهای اجرایی ۷۳
۱-۲-۱۱- موقعیت قرارگیری درزهای اجرایی ۷۴
۳-۱۱- درز انقباض (جمع شدگی) ۷۵
۱۲- آسیب های بتن ۷۸
۱-۱۲- انواع ترک در بتن ۷۸
۲-۱۲- کرمو شدن و شن زدگی بتن ۸۰
۱۳- ارزیابی و پذیرش بتن ۸۱
۱-۱۳- نمونه برداری ۸۱
13-2- تواتر نمونه برداری ۸۴
13-3- ضوابط پذیرش بتن ۸۴
13-4- اقدامات لازم در هنگامی که مقاومت بتن جواب ندهد ۸۵

مطالب ارائه شده در این درسنامه برگرفته از کتاب (تکنولوژی و طرح اختلاط بتن) تالیف دکتر مستوفی نژاد، کتاب (بتن و اجرای آن) از دکتر رمضانیان پور، درسنامه دکتر فرخ زاد، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و نشریه های ۸۲ و ۱۲۰ ، ۱۲۶ و ۳۲۷ سازمان مدیریت و برنامه ریزی و همچنین تعدادی از پایگاه های اینترنتی می باشد.

پیشنهاد می شود دانشجویان ، این کتابها را به عنوان یک مرجع مناسب تهیه کنند.

۱- اجزای تشکیل دهنده بتن

بتن از سه جزء اصلی سیمان ، مصالح سنگی (شن و ماسه رودخانه‌ای یا شکسته) و آب تشکیل می‌یابد و در بعضی موارد برای بهبود پاره‌ای از خواص آن ،از مواد افزودنی نیز استفاده می‌شود . خمیر سیمان (مخلوط آب وسیمان) حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد و مصالح سنگی حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد ،حجم بتن تازه را تشکیل می‌دهند . در بتن متراکم شده ، حدود ۱% تا ۲% فضای خالی وجود دارد . وزن مخصول بتن با مصالح سنگی متعارف ، حدود ۵۰± ۲۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است .

۱-۱- سیمان

به هر ماده چسبنده‌ای سیمان اطلاق می‌شود. لکن به ماده چسباننده مصالح سنگی در بتن، سیمان هیدرولیکی و اصطلاحاً سیمان گویند.

سیمان، چسبی است که پس از مخلوط با آب به صورت دوغاب سیمان یا خمیر سیمان دور دانه‌ها را آغشته و آنها را بهم می‌چسباند. لذا نقش سیمان در بتن صرفاً چسباندن دانه‌ها به یکدیگر بوده و بخودی خود تأثیری در مقاومت و باربری ندارد، از این جهت بتن خوب بتنی است که وقتی در آزمایشگاه نمونه‌ای از آن را بشکنند دانه‌های سنگی آن از وسط شکسته شود و سیمانها (چسب) پاره نشود.

۱-۱-۱-ترکیبات اصلی سیمان

ترکیبات اصلی (فازهای) سیمان معمولا به چهار ترکیب C_3S، C_2S، C_3A و C_4AF گفته می‌شود. این اکسیدها را اکسیدهای اصلی سیمان می‌نامند که در کوره و در دمای ۹۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد با یکدیگر ترکیب می‌شوند و فازهای اصلی سیمان را در کلینکر به‌وجود می‌آورند. بسیاری از ویژگی‌های سیمان به میزان این فازها بستگی دارد.

جدول ۳-۲ مشخصات ترکیبات سیمان

	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
سرعت آبگیری (هیدراتاسیون)	متوسط	آرام	سریع	آرام
مقاومت – زودرس	زیاد	کم	متوسط	کم
مقاومت – نهایی	زیاد	زیاد	کم	کم
مقدار حرارت آزاد شده	متوسط	کم	زیاد	کم
مقاومت در مقابل حملات شیمیایی	خوب	خوب	ضعیف	خوب

عناصر و ترکیبات اصلی سیمان و درصد آنها در انواع مختلف سیمان

	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3
۱	۶۶	۲۱	۷	۳	۲
۲	۶۷	۲۱	۵	۳	۲
۳	۶۴	۲۲	۷	۴	۲
۴	۶۴	۲۳	۴	۵	۲

نوع سیمان	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
I	۵۹	۱۵	۱۲	۸
II	۴۶	۲۹	۶	۱۲
III	۶۰	۱۲	۱۲	۸
IV	۳۰	۴۶	۵	۱۳
V	۴۳	۳۶	۴	۱۲

تری کلسیم سیلیکات : ($3CaO$, SiO_2) با علامت اختصاری (C_3S): مقاومت‌های کوتاه مدت و میان مدت را افزایش می‌دهد. پس از ترکیب با آب علاوه بر مواد چسباننده، مقدار آهک شکفته زیادی را به‌وجود می‌آورد. امروزه کارخانه‌های سیمان سعی وافری دارند تا میزان C_3S در کلینکر را افزایش دهند تا به دلیل ترکیب سریع‌تر آن با آب، مقاومت‌ها را بالا برند (امروزه بیش از ۴۵ تا ۶۵ درصد). گرمازایی و آهنگ گرمازایی آن نسبتا زیاد است. با افزایش دمای کوره‌ها و با حضور آهک در مواد اولیه، مقدار آن بالا می‌رود.

دی کلسیم سیلیکات ($2CaO$, SiO_2) با علامت اختصاری (C_2S): که در دمای کمتری نسبت به C_3S تولید می‌شود بر مقاومت اولیه و میان مدت سیمان بی‌تاثیر یا کم‌تاثیر است و نقش خود را در سنین بالاتر از یک ماه به نمایش می‌گذارد. از دهه ۷۰ میلادی تاکنون سعی می‌شود که $C2S$ را در سیمان‌های پرتلند به حداقل رسانند. کندی در ترکیب با آب از ویژگی‌های آن است، اما ماده چسباننده زیادی را به همراه آهک شکفته کم در سنین بالا تولید می‌کند. امروزه بین ۲۰ تا ۳۰ درصد در سیمان‌های پرتلند وجود دارد. گرمازایی و آهنگ گرمازایی آن خیلی کم است. مقدار آن با مقدار $C3S$ مرتبط است و ارتباط عکس دارند.

تری کلسیم آلومینات : ($3CaO$, AL_2O_3) با علامت اختصاری (C_3A): در سیمان‌های پرتلند از حدود ۳ تا ۱۵ درصد وجود دارد. نقش آن در مقاومت‌های ۱ تا ۳ روزه دیده می‌شود. هرچه سن بالا رود، سهم مقاومتی آن در مقاومت سیمان کاهش می‌یابد. هرچه مقدار آن بیشتر شود، نیاز به سنگ گچ بیشتر برای تنظیم زمان گیرش سیمان وجود دارد. با افزایش مقدار آن در سیمان، مقاومت سیمان در برابر حمله سولفات‌ها به شدت کاهش می‌یابد. نقش آن در ایجاد گرمازایی و آهنگ گرمازایی سیمان زیاد است. وجود آن در سیمان از نفوذ آزادانه یون کلرید در بتن می‌کاهد. در سیمان پرتلند نوع ۲ محدودیت ۸ درصد و برای سیمان نوع ۵ حد ۵ درصد و برای نوع ۴ حداکثر ۷ درصد منظور می‌شود.

تترا کلسیم آلومینوفریت : ($4CaO$, AL_2O_3 , Fe_2O_3) با علامت اختصاری (C_4AF): در سیمان‌های پرتلند عمدتا حدود ۷ تا ۱۵ درصد است. با افزایش آن رنگ سیمان تیره‌تر و چگالی ذرات آن بیشتر می‌شود اما در مورد نقش مقاومتی آن، مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها و گرمازایی و غیره ابهاماتی وجود دارد. به هر حال، گاه برای کاهش C_3A مجبور به افزایش آن هستیم و برای مقابله با سولفات‌ها گاه C_3A و C_4AF را محدود می‌کنند.

۲-۱-۱- انواع سیمان‌های استاندارد

پنج نوع اصلی سیمان و چندین نوع سیمان ویژه وجود دارد .

- سیمان نوع ۱ – سیمان معمولی
- سیمان نوع ۲ – سیمان اصلاح شده
- سیمان نوع ۳ – سیمان زود سخت شونده
- سیمان نوع ۴ – سیمان دیر گیر با حرارت زایی کم
- سیمان نوع ۵ – سیمان ضد سولفات
- سیمانهای ۱A ، ۲A، ۳A - همان سیمانهای نوع ۱ و ۲ و ۳ با مواد حباب زا می باشند .
- سیمان پرتلند سفید
- سیمان های آمیخته (۱S) – اختلاط سیمان با روبارهٔ آهنگدازی
- سیمانهای پوزولانی (۱P, P) - اختلاط سیمان با مواد پوزولانی
- سیمان بنایی – اختلاط سیمان با آهک که حالت لوز به ملات بنایی می دهد .
- سیمان چاه نفت – از ان برای نفوذ ناپذیرکردن چاههای نفت استفاده می شود .
- سیمان انبساطی

۱- سیمان تیپ یک (I) ، (سیمان معمولی)

همان سیمان معمولی بوده و در شرایط آب و هوای عادی مصرف می‌شود. همچنین در جایی بکار می‌رود که از نظر سولفات مشکلی وجود نداشته باشد.

۲- سیمان تیپ دو (II) ، (سیمان متوسط)

این سیمان از نظر خواص متوسط است، بدین معنی که تا حدی کندگیر بوده و نیز تا حدی در مقابل حمله سولفاتها مقاوم است.

برای ساخت این سیمان سعی می‌شود تا حد ممکن از مقدار (C_3A , C_3S) کاسته و (C_2S) را افزایش دهند.

۳- سیمان تیپ سه (III) ، (سیمان زودگیر)

این سیمان تقریباً اجزاء اولیه سیمان تیپ (I) را دارد، با این تفاوت که به شدت ریزتر آسیاب شده و به همین جهت گیرش سریعتری دارد.

موارد مصرف سیمان تیپ (III) :

الف : در هوای سرد (حدود ۴ درجه سانتیگراد)، در دمای زیر صفر درجه کاربرد این سیمان به تنهایی کفایت نمی‌کند و لذا در یخبندان علاوه بر مصرف این سیمان مسائل دیگری نیز باید رعایت شود (مثلاً مصرف ضد یخ). سیمان تیپ (III) در ساعات اولیه مصرف، حرارت قابل توجهی آزاد می‌کند و باعث گرم شدن بتن می‌شود.

ب : مراقبت از بتن در هوای سرد بسیار مشکل است و هزینه مراقبت در هوای سرد بالاست. سیمان زودگیر طول دوره مراقبت راکم‌کرده و موجب می‌شود بتن زودتر به مقاومت موردنظر برسد.

ج : در تعمیرات فوری، مثلاً تعمیر قسمتی از سازه‌هایی که باید سریعاً مورد بهره‌برداری قرار گیرند، این سیمان کاربرد زیادی دارد و موجب می‌شود بتن سریعاً به مقاومت موردنظر رسیده و ظرف مدت کوتاهی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

د - در جاههایی که به دلیل محدودیت امکانات قالب، بخواهند قالبها را زودتر باز کنند، نیز این سیمان کاربرد دارد.

۴- سیمان تیپ چهار (IV) ، (سیمان دیرگیر)

سیما تیپ چهار کندگیر بوده و در هنگام گیرش حرارت کمی تولید می‌کند. مقدار C_3A و C_3S موجود در این سیمان در مقایسه با انواع دیگر سیمان، کمتر بوده و در مقابل C_2S زیادتری بکار برده شده است.

موارد مصرف سیمان تیپ (IV) :

الف : در هوای گرم و در دمای بالای ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتیگراد برای تسهیل مراقبت از بتن بکار می‌رود. مصرف این سیمان در هوای گرم و در جایی که تبخیر بالاست باعث می‌شود که لااقل دمای تولید شده توسط بتن در عملیات گیرش کمتر شود، زیرا گرمای حاصل از عملیات هیدراسیون در طول مدت زمان بیشتری آزاد می‌شود.

از طرفی اجزاء موجود در این سیمان در مقایسه با سایر سیمانها (C_3A و C_3S کمتر و C_2S بیشتر) این سیمان را خودبخود کم حرارت‌تر می‌کند.

ب : مصرف این سیمان در هوای گرم باعث جلوگیری از اتصال سرد می‌شود.

ج : در بتن‌ریزی‌های حجیم به منظور کاهش تنش‌های حرارتی می‌توان از این سیمان استفاده کرد. بتن حجیم بتنی را گویند که طول و عرض و ارتفاع آن زیاد باشد مانند بتن ریزی سدها و یا پایه‌های پل. از اشکالات بتن‌ریزی حجیم، ایجاد تنش‌های حرارتی است، بدین صورت که به دلیل حجیم بودن بتن، تبادل حرارتیِ عمق بتن با محیط بیرونی، کندتر صورت می‌گیرد، و بنابراین هنگامی که بتن سفت شده، هنوز دمای قسمتهای مرکزی آن با محیط اطراف، یکنواخت نشده است از این لحظه به بعد تغییر دمای بتن در راستای تبادل حرارتی با محیط خارج، همراه با ایجاد تنش‌های حرارتی خواهد بود.

استفاده از سیمان تیپ (IV) سبب می‌شود که اولاً دمای قسمتهای میانی بتن حجیم کمتر از بتن مشابه ساخته شده با سیمان تیپ (I) باشد (چون سیمان تیپ (IV) هم کم حرارت‌تر است و هم دمای خود را در طول زمان بیشتری آزاد می‌کند) و ثانیاً فرایند سفت شدن بتن طولانی‌تر بوده و در این مدت قسمت اعظم از تبادل حرارتی بتن با محیط اطراف صورت پذیرد. قابل ذکر است که برای جبران تنش حرارتی در بتن، گاهی آرماتورهایی موسوم به آرماتورهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵- سیمان تیپ پنج (V) ، (سیمان ضدسولفات)

در ساخت این سیمان سعی می‌شود حتی‌الامکان C_3S و C_3A را به حداقل برسانند و در مقابل C_2S بیشتری مصرف نمایند.

این سیمان برای مصرف در بتن‌هایی که در معرض حمله سولفاتها قرار دارد، مناسب است و به همین جهت به سیمان ضدسولفات شهرت دارد.

مصرف این سیمان در مناطقی مانند سواحل خلیج فارس و دریای عمان که خطر حمله هم‌زمان سولفات‌ها و کلریدها به بتن وجود دارد، مجاز نیست.

نکته بسیار مهم دیگر وجود کلرید در بتن آرمه است که در ایران به ویژه در مناطق جنوبی که آب و هوای گرم مرطوب دارد می‌تواند مشکل‌ساز باشد. هنگامی که از سیمان ضد سولفات (نوع ۵) استفاده می‌شود، ممکن است کم بودن مقدار سه کلسیم آلومینات موجب آزادی عمل کلرید شود که به خوردگی آرماتور منجر می‌گردد.

باید توجه داشت که برای مقابله با حمله سولفات‌ها فقط استفاده از سیمان ضد سولفات کافی نیست و پیش بینی‌های دیگر مانند استفاده از بتنی متراکم با کیفیت عالی و با نسبت آب به سیمان کم ضروری است. در اینگونه موارد، استفاده از افزودنی‌های کاهنده قوی آب، و افزودنی-های حباب‌ساز (که نسبت آب به سیمان را کاهش می‌دهند) و مواد پوزولانی، مواد شبه سیمانی و سیمان‌های آمیخته نیز بسیار موثر است.

جدول ۳-۳-۱-الف کاربرد و مشخصات اختیاری سیمان‌های پرتلند *

نوع سیمان پرتلند	کاربرد
۱	برای مصارف عمومی
۲	برای مصارف عمومی، با حرارت‌زایی متوسط، و خاصیت ضدسولفات متوسط
۳	برای تسریع در کسب مقاومت
۴	برای حرارت‌زایی کم
۵	برای ایجاد مقاومت در برابر حمله شدید سولفات‌ها

سیمان بنایی

این سیمان را مهندس یا مجری بسته به مورد تهیه می‌کند. این سیمان در حقیقت مخلوطی است از سیمان عادی به اضافه مواد پرکننده دیگری چون خاک رس پودر شده یا هیدروکسید کلسیم (آهک آب دیده و پودر شده) یا سنگ آهک پودر شده که نسبت اختلاط آن حدود ۷۰ درصد سیمان و ۳۰ درصد مواد دیگر است.

سیمان انبساطی ، (سیمان ضد افت)

این سیمان را با افزودن مواد شیمیائی مخصوص (مانند سولفوآلومینات) به کلینکر سیمان معمولی بدست می‌آورند. سیمان ضد افت در هنگام ترکیب با آب انبساط پیدا می‌کند که افزایش حجم این سیمان (یا افزایش حجم بتن ساخته شده با این سیمان) با کاهش حجم ناشی از افت خنثی می‌شود.

۲-۱- سنگ‌دانه‌ها

دانه‌های سنگی به دو دسته دانه‌های درشت[1] یا شن[2] و دانه‌های ریز[3] یا ماسه[4] تقسیم می‌شود. مصالح سنگی (شن و ماسه) در مجموع حدود $\frac{۲}{۳}$ تا $\frac{۳}{۴}$ حجم بتن را اشغال می‌کند. ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه‌ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه‌ها را ماسه تشکیل می‌دهد.

مرز اندازه شن و ماسه، الک استاندارد نمره ۴ (4 #) است که اندازه بعد آن $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ یا ۴٫۷۶ میلیمتر است. دانه‌های عبوری از الک نمره ۴، ماسه و دانه‌های مانده روی الک نمره ۴، شن هستند. به عبارت دیگر، دانه‌های ریزتر از ۴٫۷۶ میلیمتر را ماسه و بزرگتر از ۴٫۷۶ میلیمتر را شن می‌نامند. با کمی تقریب در کارگاه، دانه‌های ریزتر از ۵ میلیمتر ماسه و بزرگتر از ۵ میلیمتر شن محسوب می‌شود. توجه شود که دانه‌های ماسه‌ای باید از ۰٫۰۷۵ میلیمتر بزرگتر باشند.

۱-۲-۱-مشخصات سنگدانه‌ها

سنگهای ضعیف و شکننده و سنگهایی که در هوا تجزیه می‌شوند و یا در آب متلاشی می‌گردند ، نباید برای ساختن بتن به‌کار روند .همچنین ،از به کار بردن سنگهایی که اثر سوء و مخربی در ترکیب شیمیایی آب وسیمان داشته باشند ، باید خودداری شود . مصالح سنگی ، باید چسبندگی خوبی با خمیر سیمان داشته باشند تا بتن مقاومی حاصل شود ،اما از آنجا که گسیختگی بتن ،یا در اثر شکستن دانه‌های سنگی و یا در اثر جدا شدن‌دانه‌ها از یکدیگر اتفاق می‌افتد ، علاوه بر چسبندگی خوب دانه‌ها با خمیر سیمان ، مقاومت برشی خود دانه‌های سنگی نیز در مقاومت نهایی‌بتن ، نقش عمده‌ای دارد .

دانه‌های سیلیس دارای سختی ۷ تا ۸ بوده و جزء مقاوم‌ترین دانه‌هائی هستند که در بتن مصرف می‌شوند. دانه‌های آهکی دارای سختی ۳ تا ۴ بوده و اکثراً در ساخت بتن به کار می‌روند. دانه‌های گچی یا ترکیباتی از گچ و آهک و غیره که سختی کمتر از ۳ دارند برای ساخت بتن مناسب نیستند.

زبر بودن سطح مصالح سنگی در حد متعارف ، موجب افزایش میزان چسبندگی با خمیر سیمان می‌شود ، ولی اگر سطح دانه‌های سنگی بیش از اندازه زبر باشدودانه‌هاتیزگوشه‌باشندویا درصد مصالح سنگی پولکی ، سوزنی و مستوی بیش از حدود ۱۵% وزن کل مصالح سنگی باشد ، برای ایجاد کارایی معین بتن ، خمیر سیمان بیشتری مصرف می‌شود و در نتیجه بتن ساخته شده با این نوع مصالح سنگی ، گرانتر تمام می‌شود .در صورتی که برای اصلاح کارایی بتن ، بدون اضافه کردن سیمان ، فقط‌آب اضافه شود ، به علت افزایش نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن ، مقاومت آن کاهش می‌یابد . این موضوع بویژه در مورد مصالح ریز دانه (ماسه)از اهمیت بیشتری برخوردار است .

عامل مهم دیگری که در چسبندگی مصالح سنگی با خمیرسیمان موءثر است ، میزان پاکیزگی سطح دانه‌های سنگی است . وجود مواد مضر و زاید مانندلای ،خاک‌رس ،ملاح و مواد آلی روی دانه‌ها ، باعث جلوگیری از اندود شدن سطح دانه‌های سنگ با خمیرسیمان می‌شود و در نتیجه علاوه بر تأثیر در واکنش شیمیایی آب و سیمان، مانع چسبیدن کامل مصالح سنگی به خمیر سیمان و به یکدیگر می‌شود . در این صورت ، مقاومت بتن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد . این عیب مصالح سنگی ، معمولا " با شستشوی خوب برطرف می‌گردد .

میزان گل و لای مجاز برای دانه‌های شن حداکثر یک درصد است. همچنین میزان گل و لای مجاز برای دانه‌های ماسه حداکثر ۳ درصد است، مشروط بر آنکه بتن تحت سایش باشد. در صورتی که بتن تحت سایش نباشد، میزان گل و لای مجاز دانه‌های ماسه، حداکثر ۵٪ است.

دانه‌بندی مصالح‌سنگی ،باید طوری باشد که‌بعد از متراکم‌کردن بتن ،دانه‌های ریز دور دانه‌های درشت‌تر از خود را به خوبی احاطه نمایند و فضای خالی بین دانه‌های درشت ، با دانه‌های ریز پر شود . در غیر این صورت ، فضای خالی بین مصالح سنگی ، با خمیر سیمان پرخواهد شد و در نتیجه علاوه بر افزایش قیمت تمام شده بتن ، مقاومت آن نیز کاهش خواهد یافت .

۲-۲-۱-شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها

دانه‌های موجود در طبیعت (شن و ماسه) را از نظر شکل ظاهری به پنج دسته می‌توان تقسیم کرد:

۱-گرد[1] ، ۲- نامنظم[2] ، ۳-گوشه‌دار[3] ، ۴- پولکی شکل[4] و ۵- سوزنی شکل[5] .

۱- دانه‌های گرد : دانه‌هائی هستند که در اثر فرسایش در طبیعت شکل آنها گرد و سطح آنها صاف شده است.

۲- دانه‌های نامنظم : معمولاً دارای سطح صاف و صیقلی هستند ولی شکل آنها کاملاً گرد نیست.

۳- دانه‌های گوشه‌دار : دارای سطح صاف نیستند، همچنین شکل هندسی مشخصی نداشته و اکثراً دارای گوشه‌های مشخص و تیز هستند.

۴- دانه‌های پولکی‌شکل : دانه‌هایی هستند که ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر آنها کم است.

۵- دانه‌های سوزنی‌شکل : دانه‌هایی هستند که طول آنها نسبت به دو بعد دیگر به میزان قابل‌توجهی بیشتر است.

اصولاً در بتن‌سازی از دانه‌های گرد، نامنظم و گوشه‌دار (شن و ماسه) استفاده می‌شود و به‌کارگیری دانه‌های پولکی و سوزنی‌شکل در ساخت بتن مجاز نیست.

بطورکلی دانه‌های گِرد در مقایسه با دانه‌های نامنظم و گوشه‌دار، در بتن‌سازی کمترین مصرف سیمان را دارد. زیرا سطح ظاهری دانه‌های گرد نسبت به سطح ظاهری دانه‌های نامنظم و گوشه‌دار کمتر بوده و چون خمیر سیمان می‌بایست تمام سطح ظاهری دانه را بپوشاند، لذا این دانه‌ها به خمیر سیمان کمتر و بالتبع به سیمان کمتری نیاز دارند.

از نظر مصرف کمتر سیمان بعد از دانه‌های گرد، دانه‌های نامنظم و سپس دانه‌های گوشه‌دار قرار می‌گیرند.

از نظر مقاومت نهایی بتن، اصولاً بتنی که با دانه‌های گوشه‌دار ساخته می‌شود به دلیل امکان درگیر شدن بهتر دانه‌ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر بین آنها، مقاوم‌تر خواهد بود، به همین دلیل توصیه می‌شود که در مواردی که مقاومت خیلی بالا مورد نظر باشد (بالای ۳۵۰ یا ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) از دانه‌های گوشه‌دار استفاده شود (مثلاً از دانه‌های شکسته شده توسط سنگ‌شکن) اما در کارهای عادی که مقاومت‌های کمتر ملاک عمل است، می‌توان از دانه‌های گرد و نامنظم استفاده کرد.

توجه شود که دانه‌های سوزنی و پولکی، به هیچ وجه برای کار بتن‌سازی مناسب نیستند، زیرا اگر کل جسم بتن تحت تنش قرار گیرد، در یک موضع از این دانه‌ها تمرکز تنش ایجاد شده و در همان موضع (از کمر، وسط دانه) دانه می‌شکنند، از طرفی در کمتر معدنی است که دانه‌های سوزنی و پولکی وجود نداشته باشد. لذا تصریح شده که جمع دانه‌های پولکی و سوزنی حداکثر از ۱۵ درصد وزن کل دانه‌ها تجاوز نکند.

جدول ۳ ـ ۴ ـ ارتباط ویژگی‌های بتن با ویژگی‌های سنگدانه

ویژگی بتن	ویژگی سنگدانه
پایائی : - مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن ـ مقاومت در برابر تر و خشک شدن - مقاومت در برابر گرمایش و سرمایش ـ مقاومت به سایش ـ واکنش قلیائی با سنگدانه	سالم بودن، تخلخل، ساختار حفره‌ای، نفوذپذیری، درجه اشباع، مقاومت کششی، بافت و ساختار ، موادمعدنی رسی ساختار حفره ای، مدول ارتجاعی ضریب انبساط حرارتی سختی وجود ترکیبات خاص سیلیسی یا کربناتی
مقاومت	مقاومت، بافت سطحی، تمیزی، شکل دانه، حداکثراندازه، دانه‌بندی
تغیرشکل های وابسته به زمان	مدول ارتجاعی، شکل دانه، دانه‌بندی، تمیزی، حداکثر اندازه، مواد معدنی رسی
ضریب انبساط حرارتی	ضریب انبساط حرارتی، مدول ارتجاعی
هدایت حرارتی	هدایت حرارتی
گرمای ویژه	گرمای ویژه
وزن مخصوص	چگالی، شکل دانه، دانه‌بندی، حداکثر اندازه
مدول ارتجاعی	مدول ارتجاعی، نسبت پواسون
لغزندگی	پرداخت‌پذیری
جنبه اقتصادی	شکل دانه، دانه بندی، حداکثر اندازه، مقدار فرایندهای مورد نیاز برای اصلاح و بهسازی دانه‌ها، دسترسی

۳-۲-۱-دانه بندی مصالح سنگی

هر چه دانه بندی سنگدانه توپر و متراکم باشد ، مقاومت برشی آن افزایش می یابد . توپری حداکثر حالتی است که حدفاصل سنگدانه‌های درشت توسط سنگدانه‌های ریزتر پرشود بطوریکه سنگدانه‌های درشت در تماس با یکدیگر قرار گیرند . در صورتیکه مقدار ریز دانه‌ها در مخلوط کم باشد ، فضای بین سنگدانه‌های درشت بصورت خالی باقی می‌ماند و در طرف مخالف اگر میزان ریز دانه‌های بیش از حد باشد ، سنگدانه‌های درشت دیگر در تماس با یکدیگر نخواهند بود . با توجه به اینکه لازمست سطح جانبی تمام سنگدانه‌ها توسط شیرهٔ سیمان اندود شده و تمام فضاهای خالی توسط آن پرشود ، دانه بندی توپر باعث کاهش مصرف سیمان و افزایش مقاومت خواهد شد.

منحنی‌های دانه‌بندی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف : منحنی دانه‌بندی پیوسته

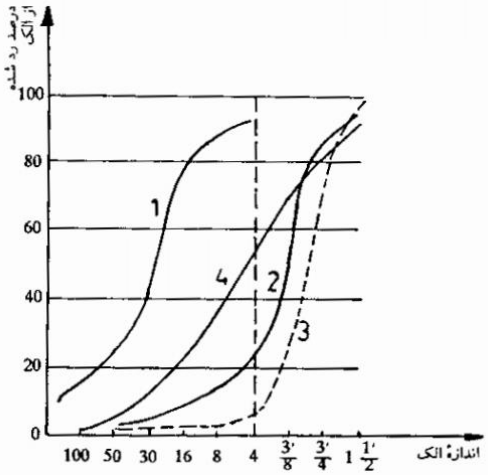
ب : منحنی دانه‌بندی ناپیوسته (گسسته)

یک منحنی دانه‌بندی در صورتی پیوسته محسوب می‌شود که دارای دو خصوصیت زیر باشد :

۱- تمام ابعاد استاندارد در دانه‌ها موجود باشد.

۲- بعضی از ابعاد نسبت به سایر ابعاد به میزان چشمگیری بیشتر یا کمتر نباشد.

در تصویر ۲-۱ نمونه‌هایی از منحنی‌های دانه‌بندی ترسیم شده است. منحنی شمارهٔ ۱ در محدوده ماسه است و در محدوده شن و ماسه پیوسته نیست ولی در محدوده ماسه پیوسته است. منحنی شمارهٔ ۲، در محدوده شن پیوسته است، اما در محدوده شن و ماسه گسسته است. منحنی شمارهٔ ۳ دارای شن و ماسه است اما در محدوده کوچکی (از الک $\frac{3''}{4}$ تا $\frac{3''}{8}$) در حدود ۶۰ درصد کل دانه‌ها قرار گرفته‌اند، یعنی بعضی از ابعاد دانه‌ها به صورت چشمگیر نسبت به سایر ابعاد دانه‌ها بیشتر هستند. (این منحنی گسسته است). منحنی شمارهٔ ۴ یک منحنی دانه‌بندی است که در محدوده شن و ماسه پیوسته بوده دارای تمام ابعاد دانه‌ها هست.



به دلایل زیر اکثراً در ساخت بتن سعی می‌شود که از مصالح با دانه‌بندی پیوسته استفاده شود :

۱- با استفاده از شن و ماسه با دانه‌بندی پیوسته، فضای خالی بین مصالح به حداقل می‌رسد، چون دانه‌های ریزتر در لابلای دانه‌های درشت قرار گرفته و در هم جفت می‌شوند و در نتیجه فضای خالی که برای پرشدن با خمیر سیمان باقی می‌ماند، کمتر می‌شود (البته علاوه بر فضای خالی بین دانه‌ها، باید سطح ظاهری کلیه دانه‌ها نیز با خمیر سیمان آغشته شود لذا معمولاً خمیر سیمان مصرفی بیشتر از فضای خالی بین دانه‌ها است).

۲- در صورت استفاده از یک دانه‌بندی پیوسته، دانه‌های در ابعاد مختلف در تمام قسمتهای بتن توزیع شده و به خوبی جای خود را در بین یکدیگر باز می‌کنند، بنابراین حجم بیشتری از بتن توسط دانه‌ها اشغال شده و بتن حاصله توپرتر و متراکم‌تر خواهد شد.

قبلاً ذکر شد که دانه‌ها بین ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را اشغال می‌کنند، به این ترتیب هرچه دانه‌بندی پیوسته‌تر باشد، حجم بیشتری از بتن توسط دانه اشغال شده و چون در بتن، نقش باربری به عهدهٔ دانه‌ها است چنین بتنی در مقابل تحمل تنش مقاوم‌تر خواهد بود.

بطورکلی بتنی که با مصالح با دانه‌بندی پیوسته ساخته می‌شود هم مصرف سیمانش کمتر است و هم مقاومت مطلوب‌تری دارد. البته دانه‌بندی گسسته در مواردی خاص کاربرد دارد که بعداً اشاره خواهد شد.

۴-۲-۱-دانه بندی استاندارد ماسه

دانه‌بندی و توزیع دانه ها در دپوی سنگدانه به طور قابل توجهی بر یکنواختی و میزان جدا شدگی نهایی بتن تأثیرگذار است.میزان ماسه تاثیر مستقیمی بر روی کارآیی و روانی بتن دارا می باشد به طوری که با افزایش ماسه روانی و کارآیی به صورت چشمگیری افزایش می یابد و با کاهش بیش از حد ماسه مخلوط بتن در نهایت بسیار زبر و خشن خواهد شد.تاثیر سنگدانه ای زیر در قابلیت پمپ پذیری بتن بسیار مشهود بوده و با افزایش میزان آن ، پمپ پذیری به صورت چشمگیری افزایش می یابد.میزان آب و سیمان در بتن بستگی بسیاری به میزان ماسه و سنگدانه ریز در بتن دارند به طوری که با افزایش ماسه مقدار آب و سیمان نیز افزایش می یابد.

ریزدانه‌های ماسه که از الک نمره ۵۰ رد می‌شوند (یعنی ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر) و یا از الک نمره ۱۰۰ رد می‌شوند (یعنی ریزتر از ۰٫۱۵ میلیمتر) باعث روان‌تر شدن و خمیرتر شدن بتن می‌شوند و لذا استفاده از دانه‌های بسیار ریز ماسه سبب می‌شود که با استفاده از آب کمتر، بتوان مخلوط روان‌تر و کاراتری به دست آورد. اما از طرفی با مصرف دانه‌های ریزتر، مصرف خمیر سیمان لازم جهت اندود سطح ظاهری دانه‌های ریز بالا می‌رود. در مجموع مصرف دانه‌های ماسه‌ای بسیار ریز (گذرنده

از الک نمره ۵۰ و ۱۰۰) سبب می‌شود که بتوان مخلوط‌های روان‌تر به دست آورد ولی مصرف سیمان بالاتر خواهد بود.

بدین جهت در مقدار دانه‌های ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر در مصالح دانه‌ای محدودیت‌هایی وجود دارد زیرا اگر از یک حد مشخص کمتر باشد، مخلوط روانی کافی ندارد و اگر بیش از حد مشخص باشد، مصرف سیمان به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد.

به همین علت، مقدار دانه‌های ماسه‌ای ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر (عبوری از الک ۵۰) بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از کل حجم ماسه تعیین شده است. چنانچه دانه‌های ماسه‌ای ریزتر از ۰٫۳ میلیمتر کمتر از ۱۰ درصد باشد مخلوط بتنی خشن شده و کار کردن با آن مشکل می‌شود (مخلوط غیر کارا است).

توصیه می‌شود چنانچه بتنی با نمای صاف مورد نظر است و از طرفی پرداخت سطحی با دست انجام می‌گیرد، دانه‌های عبوری از الک ۵۰ به میزان ۱۵٪ از کل ماسه در نظر گرفته شود، اما دانه‌های عبوری از الک نمره ۱۰۰ حداقل ۳٪ باشد طبعاً در اینجا مصرف سیمان تا حدی بالا می‌رود ولی امکان پرداخت سطحی مناسب افزایش می‌یابد.

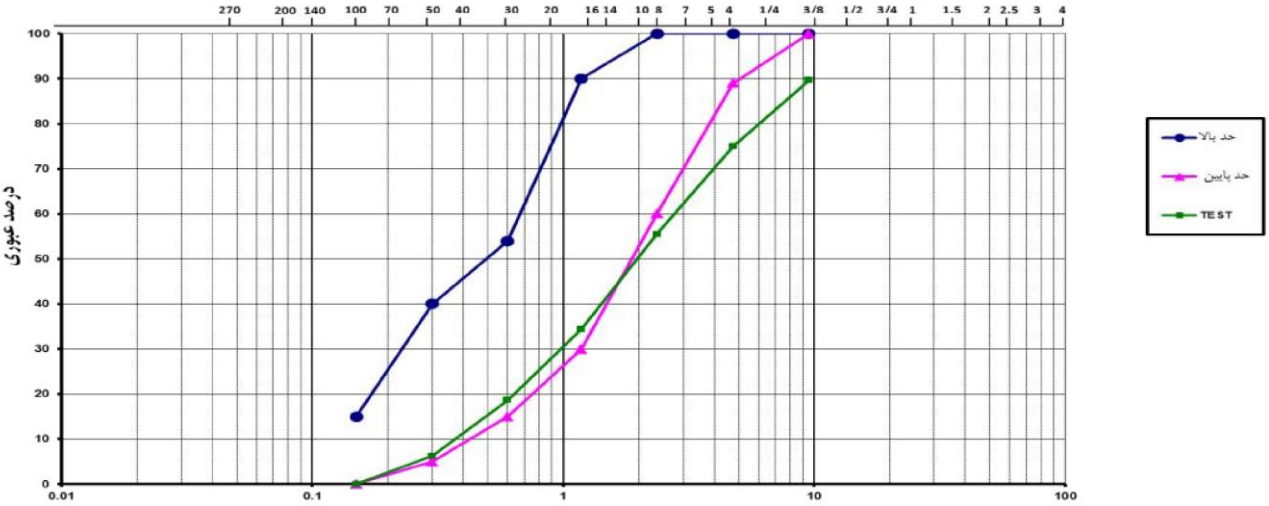
جدول ۱- الزامات دانه‌بندی و ضریب نرمی سنگدانه ریز (ماسه)

اندازه الک به میلی‌متر (نمره الک)	درصد جرمی عبور کرده	
	رده ۱	رده ۲
۹٫۵mm (۳/۸ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰
۴٫۷۵mm (نمره ۴)	۹۵ تا ۱۰۰	۸۹ تا ۱۰۰
۲٫۳۶mm (نمره ۸)	۸۰ تا ۱۰۰	۶۰ تا ۱۰۰
۱٫۱۸mm (نمره ۱۶)	۵۰ تا ۸۵	۳۰ تا ۸۰
۶۰۰µm (نمره ۳۰)	۲۵ تا ۶۰	۱۵ تا ۵۰
۳۰۰µm (نمره ۵۰)	۵ تا ۳۰	۵ تا ۳۰
۱۵۰µm (نمره ۱۰۰)	۲ تا ۱۰	۲ تا ۱۰
۷۵µm (نمره ۲۰۰)	۰ تا ۳٫۰[الف،ب]	۰ تا ۳٫۰[الف،ب]
ضریب نرمی[پ]		
ضریب نرمی	۲٫۳ تا ۳٫۱	۲٫۳ تا ۳٫۸

[الف] برای بتنی که در معرض سایش قرار نمی‌گیرد، حداکثر مواد عبوری از الک ۷۵µm می‌تواند برابر با ۵٫۰درصد باشد.

[ب] اگر ذرات ریزتر از الک ۷۵µm، عاری از رس یا شیل باشد، این حد برای بتن در معرض سایش ۵٫۰درصد و سایر بتن‌ها ۷٫۰درصد می‌باشد.

[پ] ضریب نرمی را از مجموع درصدهای تجمعی مانده روی الک‌های ۴٫۷۵mm، ۲٫۳۶mm، ۱٫۱۸mm، ۶۰۰µm، ۳۰۰µm، ۱۵۰µm و تقسیم عدد به‌دست‌آمده بر ۱۰۰ به‌دست آورید.



نتایج یک آزمایش دانه بندی ماسه و مقایسه با حدود بالا و پایین آیین نامه

۵-۲-۱-مدول نرمی ماسه

مدول نرمی تعیین کننده ی ریزی و درشتی دانه ها می باشد. هر چه دانه های سنگی درشت تر باشد مدول نرمی آنها بیشتر است. همچنین ریزدانه ها مدول نرمی کمتری دارند پس می توان گفت در صورت افزایش این مدول مقدار باید کاهش یابد. ضریب نرمی ماسه می تواند با افزایش کارایی موجب کاهش تخلخل و نفوذ پذیری شده و امکان بوجود آمدن ریز ترک و ترک ها را کاهش دهد. مدول نرمی ماسه استاندارد مطابق آیین نامه بتن بین ۲,۳ الی ۳,۱ می باشد البته این مقدار در حالت کلی بین صفر تا نه متغیر می باشد.

۶-۲-۱-دانه بندی استاندارد شن

بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه های درشت طبق تعریف عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ۱۰ درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند.بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه های درشت نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیشتر باشد:

۱) یک پنج کوچکترین بعد داخلی قالب بتن

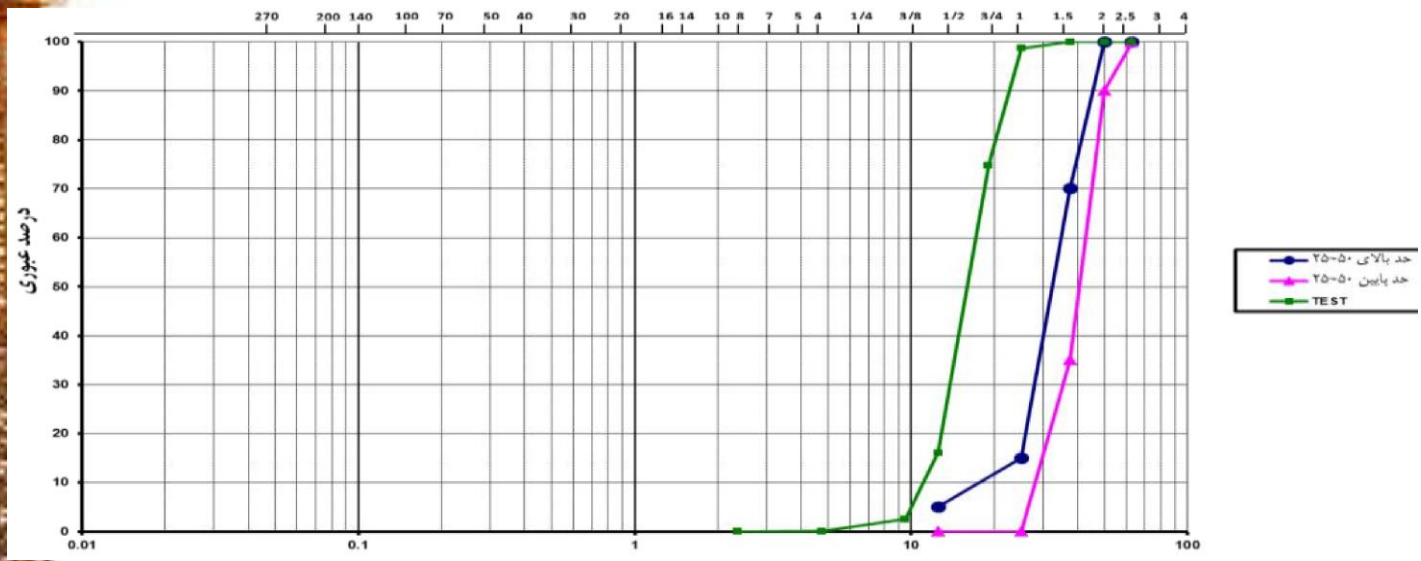
۲) یک سوم ضخامت دال

۳) سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگرد ها

۴) سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد ها

۵) ۳۸ میلیمتر (۱/۵ اینچ) در بتن آرمه

۶) ۶۳ میلیمتر (۲/۵ اینچ) در بتن غیر مسلح



نتایج یک آزمایش دانه بندی شن و مقایسه با حدود بالا و پایین آیین نامه

۷-۲-۱-مواد زیان آور سنگدانه ها

جدول ۳-۴-۵ مواد زیان‌آور سنگدانه‌ها

مواد زیان‌آور	ویژگی‌های تاثیر پذیر بتن و اثر نهائی
ناخالصی‌های آلی	گیرش سیمان و روند کسب مقاومت، خرابی احتمالی
مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر)	چسبندگی، افزایش مقدار آب لازم، پایائی
زغال سنگ، لیگنیت و سایر مصالح سبک	پایائی، لکه‌دار شدن و بیرون پریدگی در برخی قسمت‌ها
دانه های نرم	مقاومت، پایائی
کلوخه‌های رسی و دانه های سست	مقاومت، پایائی، کارآئی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت‌ها
چرت‌هائی که براحتی از هم پاشیده می‌شود (چگالی کمتر از ۲/۳۵)	مقاومت، پایائی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت‌ها
سنگدانه‌های وکنش زا با قلبائی‌ها	انبساط غیر عادی، ترک‌های ریز سطحی، پایائی، بیرون پریدگی بعضی قسمت‌ها

جدول ۴-۸ حداکثر مقادیر مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز

نوع ماده زیان آور	روش آزمایش	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه های رسی و دانه‌های سست	دت ۲۲۱	۳
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) ــ بتن تحت سایش ــ سایر بتنها	دت *۲۱۸	۳* ۵*
زغال سنگ ، لیگنیت ، یا سایر مصالح سبک : ــ هنگامی که نمای ظاهری بتن حایز اهمیت است ــ سایر بتنها	دت ۲۱۹	۰/۵ ۱
میکا	---	۱
سولفاتها برحسب (So_3^{--})	دت ۲۳۰	۰/۴**
کلرید ها برحسب (cl^-)	دت ۲۳۱	۰/۰۴+

*در مورد ماسه شکسته ، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ متشکل از پودر سنگ و عاری از رسی باشند ، میتوان این مقادیر را به ترتیب به ۵ و ۷ درصد افزایش داد . این درصدها براساس دانه بندی ماسه گذشته از الک ۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)محاسبه می شوند .

** مقدار کل سولفات قابل حل در آب بر حسب So_3^{--} در مخلوط بتن و با احتساب So_3^{--} موجود در سیمان ، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد و بهر حال مقدر کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند .

+ مقدار کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن ، برحسب درصد وزن سیمان ، نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ آئین نامه بتن ایران تجاوز کند .

ناخالصی‌های آلی ممکن است گیرش و سخت شدن بتن را به تاخیر اندازند، روند کسب مقاومت را دگرگون سازند، و برخی حالت‌های غیر عادی خرابی را ببار آورند. می‌توان ناخالصی‌های آلی را با شستن کاهش داد.

مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰، بویژه لای و رس، ممکن است بصورت پودر بسیار نرم در دانه‌ها وجود داشته، و یا بصورت پوششی روی سنگدانه‌ها را گرفته باشد. حتی پوشش نازکی از لای و رس روی دانه‌های شن می‌تواند زیانبار باشد، زیرا چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه‌های درشت را تقلیل می‌دهد. وجود بیش از حد برخی انواع لای و رس از قبیل رس منبسط شونده و بنتونیت می‌تواند مقدار آب لازم را به میزانی قابل توجه افزا یش دهد. وجود پودر سنگ ناشی از شکستن سنگدانه‌ها معمولا اثر زیانبار قابل ملاحظه‌ای را باعث نمی‌گردد.

وجود دانه‌های نرم در سنگدانه‌های درشت مشکل‌ساز است، زیرا بر پایائی و مقاومت بتن در برابر سایش اثر منفی دارد و موجب بیرون پریدگی قسمت‌هائی از بتن می‌شود. اگر این ذرات، سست باشند ممکن است در حین اختلاط خرد شوند و در نتیجه مقدار آب لازم افزایش یابد. در مواردی مانند کف‌های پرتردد که مقاومت در برابر سایش جنبه بحرانی داشته باشد، ممکن است نتایج آزمایش‌ها بر لزوم بررسی بیشتر دلالت کنند.

ماسه‌های ساحلی بطورمعمول درصد زیادی کلرید دارند و مصرف آنها در بتن مسلح مجاز نیست. اینگونه ماسه‌ها پس از شستشو ممکن است قابل پذیرش باشند، مشروط بر اینکه مقدار کل یون کلرید در بتن آرمه از مقادیر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ تجاوز نکند. اگر شستشو بخوبی انجام گیرد، کلرید به مقدار زیاد از بین می‌رود. باید توجه داشت هر چند شستشو، کلرید ماسه را تقلیل می‌دهد، ولی اثر چندانی بر سولفاتهائی با قابلیت انحلال کم (مانند سنگ گچ) نخواهد داشت.

شستن بیش از حد سنگدانه‌های ریز بدلیل کاهش مواد ریزدانه (لای و رس) توصیه نمی‌شود، زیرا حذف ذرات ریزتر از ۰/۳ میلی متر بعلت شستشوی بیش ازحد موجب زبری مصالح و افزایش مصرف سیمان در بتن می‌گردد.

۸-۲-۱-هم ارز ماسه (SE)

آزمایش هم ارز ماسه ، روش برای تعیین ریزدانه‌های رسی که بصورت آزاد یا بصورت گرد و خاک روی سنگدانه‌ها قرار دارد . این آزمایش ابتدا محلول کلرید کلسیم (محلول استرکس) درون یک استوانهٔ آزمایش ریخته شده و سپس نمونهٔ ماسه درون آن ریخته شده و کاملاً بهم زده میشود . به محلول حاصل ۲۰ دقیقه اجازهٔ ترکیب داده میشود . پس از ترکیب کامل ، دو قسمت متمایز درون استوانه قابل مشاهده است. ستون ماسه به رنگ تیره ستون مصالح ریز دانه به رنگ قهوه ای روشن، نسبت ارتفاع ستون ماسه به ارتفاع کل نمونه ، هم ارز ماسه(SE) نامیده می‌شود . حداقل SE در کاربردهای مختلف به قرار ذیل است .

جدول ۴-۱۱

نوع مصالح	SE حداقل
ماسه در بتن مسلح	۷۵
ماسه در ملات سیمان	۵۵

۳-۱- آب

آب : آب در مخلوط بتن ، علاوه بر ترکیب با سیمان (عمل آبگیری) ،کارایی لازم را برای بتن تازه تامین می‌کند . مقدار آبی که در واکنش شیمیایی با سیمان شرکت می‌کند ، از حدود ۲۵ درصد وزن سیمان تجاوز نمی‌کند ؛ در حالی‌که در عمل ، برای تأمین کارایی ، نسبتهای بالاتری مورد نیاز است . به عبارت دیگر ، با وجود تأثیر سوء افزایش نسبت آب به سیمان از مقدار حداقل یاد شده در بالا ، این نسبت برای بتنهای سفت ، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد و برای بتنهای روان حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد انتخاب می‌شود .

آب در بتن دارای سه نقش اساسی است: ۱- انجام فعل و انفعالات شیمیایی با سیمان (مقدار این آب در نهایت درحدود ۲۵ درصد وزن سیمان می‌باشد)۲- ایجاد ژل سیمان با مصرف حدود ۱۵درصد آب در نهایت به صورت آب حفرات ژل سیمان علاوه بر آب مصرفی شیمیایی ۳- آب لازم برای تر نمودن سطح جانبی دانه‌ها که آن‌ها را لیزکرده و باعث می‌شود که دانه‌ها به راحتی روی هم بلغزند و بتن کارپذیرگردد.

آب مورد استفاده در بتن ، باید صاف و عاری از مواد مضر روغنی ، اسیدی ، قلیایی ، نمکی ، قندی ،مواد آلی و یا هر ماده‌ای که برای بتن و فولاد زیانبخش است ، باشد . معمولا " هر نوع آب که قابل آشامیدن باشد ، برای ساختن بتن نیز مناسب است . ولی در مناطقی که‌آب آشامیدنی حاوی مقادیر زیادی سولفات باشد ،نباید برای ساخت بتن به کار رود . ناخالصی آب ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای از مقاومت بتن بکاهد وآن را زودگیر یا کندگیر نماید و یا موجب تغییر حجم زیاد بتن شود . ترکیبات آب ناخالص(مانند آب دریا) ، در مواردی موجب خورده شدن و زنگ زدن فولاد داخل بتن می‌شود .

۱-۳-۱-اثر مواد موجود در آب بر کیفیت بتن

کلریدها

بیشترین نگرانی در مورد مقدار زیاد کلریدها در آب، به اثر زیان آور کلرید برخوردگی میلگردها یا کابل‌های پیش تنیدگی مربوط می‌شود. به همین دلیل برای بتن بدون آرماتور می‌توان مقدار بیشتری از کلرید رادر آب مجاز دانست. یون کلرید به قشر محافظ روی میلگردها، که در محیط بتن با درجه قلیائی زیاد تشکیل می‌شود، حمله می‌کند.

سولفات ها

حملات سولفاتی موجب احتمال برقراری واکنش‌های انبساطی ویرانگر می گردد. سولفات‌دار بودن آب‌ها از مزه آن قابل تشخیص است، زیرا آب‌های سولفات دار تلخ مزه می باشند .

حملات یون سولفات ها در محیط اطراف بتن و وجود عنصر C3A در ترکیبات اصلی سیمان، موجب تشکیل سولفات کلسیم (گچ) و سولفوآلومینات کلسیم (اترینگایت) با فرمول شیمیایی $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}\cdot 26(H_2O)$ می گردد که موجب افزایش حجم ذرات بتن گردیده و در برخی موارد حجم بتن تا ۱۵۰ درصد افزایش می یابد و بتن از درون دچار انبساط و خرابی می گردد،این بتن دارای ظاهری سفیدرنگ بوده و معمولاً خرابی از لبه ها و گوشه ها شروع شده و با ترک خوردن و تجزیه بتن ادامه می یابد.

کربنات ها و بی کربنات ها

کربنات سدیم می‌تواند باعث گیرش خیلی سریع شود، بی‌کربنات‌ها می‌توانند گیرش را تسریع یا کند کنند. وجود این نمک‌ها با غلظت‌های زیاد می‌تواند مقاومت بتن را به نحو چشم‌گیری کاهش دهد.احتمال تشدید واکنش قلیایی سنگدانه نیز باید در نظر گرفته شود.

۴-۱- مواد افزودنی

مواد افزودنی: موادافزودنی موادی هستند که برای بهبود برخی از خواص بتن مانند کارایی، مقاومت فشاری و سرعت بخشیدن یا به تأخیر انداختن زمان گیرش بتن، به سیمان یا مخلوط بتن اضافه می‌شوند و باید به طور یکنواخت و طبق دستورالعمل کارخانه‌سازنده، مصرف‌شوند. کیفیت موادافزودنی، قبل از مصرف باید به تأیید دستگاه نظارت رسیده باشد. بعضی از انواع مهم مواد افزودنی عبارتند از:

الف) مواد کندگیرکننده: این مواد، برای به تأخیر انداختن فعل وانفعال شیمیایی سیمان و آب به کار می‌رود. از این مواد، معمولا" برای بتن ریزی در هوای گرم استفاده می‌شود.

ب) مواد تسریع‌کننده: این مواد ،برای تسریع در گیرش بتن، و یا تسریع در کسب مقاومت بتن‌درسنین اولیه، و یا به‌هر دو منظور به کار می‌روند. کلرور کلسیم از این نوع مواد افزودنی است، ولی به علت زیان‌آور بودن آن برای فولاد، استفاده از آن در بتن مسلح و بتن پیش تنیده ممنوع است.

ج) مواد کاهنده آب: ماده افزودنی کاهندهٔ آب، برای کاهش مقدار آب اختلاط مورد لزوم تولید بتن با روانی معین، یا افزایش روانی بتن با مقدار آب معین، به کار می‌رود.

د) مواد حباب‌ساز: با افزودن این مواد به بتن، حبابهای بسیار ریز در آن به وجود می‌آید. وجوداین حبابها در بتن ،موجب افزایش پایایی بتن‌شده و تا حدودی از به‌هم خوردن یکنواختی بتن هنگام حمل‌ونقل، جلوگیری می‌کند. علاوه بر آن، مواد حباب ساز کارایی بتن را نیز بهبود بخشیده و از مصرف آب و ماسه می‌کاهد. استفاده از این ماده افزودنی، در مواردی که دانه‌بندی مصالح سنگی ضعیف باشد، بسیار مفید است. مقاومت فشاری بتن، به علت وجود حبابهای ریز، کمی کاهش می‌یابد؛ ولی این کاهش، به علت مصرف کمتر ماسه و آب در مخلوط بتن، بسیار اندک‌است و با اندک‌افزایش در مقدار سیمان مورد مصرف ،قابل‌اصلاح است. متأسفانه، در حال حاضر به علت ناشناخته بودن این ماده افزودنی در ایران، استفاده از آن به ندرت انجام می‌گیرد.

در ادامه تعدادی از مواد افزودنی پرکاربرد تشریح شده است:

۱-۴-۱-فوق روان کننده بتن (پایه نفتالین)

قوی ترین گونه افزاینده روانی بتن و کاهنده آب مصرفی می باشد . این ماده افزودنی بتن علاوه بر سهولت اجراء بتن باعث تسریع حصول مقاومت در سنین مورد نظر و افزایش مقاومت های اولیه و نهایی بتن می گردد . دارای وزن مخصوص $1/017\ gr/cm^3$ ، دارای حالت فیزیکی مایع و رنگ قهوه ای تیره و دارای PH حدود ۸/۵ می باشد.

میزان دقیق مصرف از طریق آزمایش های کارگاهی مشخص خواهد شد اما بسته به روانی مورد نظر ، نوع مصالح سنگی و نسبت آب به سیمان ، این میزان بین ۴۵٪ الی ۱/۲٪ وزن سیمان مصرفی خواهد بود .در بازار براساس بسته بندی در گالن ۲۴ کیلوگرمی یافت می شود.

خواصی که با استفاده از این ماده افزودنی در بتن ایجاد می گردد به شرح ذیل می باشد:

۱-کاهش نسبت آب به سیمان حدود ۱۲٪ الی ۲۰٪ .۲-افزایش روانی بتن (افزایش اسلامپ) .۳-سهولت پمپاژ و کاهش استهلاک تجهیزات .۴- افزایش انسجام بتن .۵-کاهش نفوذ پذیری بتن .۶-افزایش مقاومت فشاری .۸-زمان حفظ اسلامپ ۳۰ الی ۴۵ دقیقه .

۲-۴-۱-ابر روان کننده بتن (پایه کربوکسیلات)

این ماده افزودنی جهت روان شدن بتن و کاهش مقدار آب مصرفی در بتن تولید شده است که بنیان شیمیایی پلی کربکسیلات یا پلی کربوکسیلیک اسید تولید صنعتی می گردد. وزن مخصوص ماده اصلی $1/15\ gr/cm^3$ ،حالت فیزیکی به صورت مایع و رنگ آن قهوه ای تیره و دارای PH حدود ۶,۵ می باشد.

از این ماده می توان جهت ساخت بتن های پر مقاومت و خود تراکم پذیر(SCC)، زمان حفظ اسلامپ (کارائی) ۶۰ الی ۹۰ و تا زمان حداکثر ۶ ساعت استفاده نمود.در گالن ۲۴ کیلوگرمی در بازار موجود می باشد. جدید ترین گونه مواد کاهنده آب و افزاینده کارایی بتن ، باشد.

میزان مصرف دقیق مواد افزودنی ابر روان کننده و کاهنده آب از طریق آزمایش های کارگاهی و یا بر اساس توصیه شرکت سازنده مشخص خواهد شد اما بسته به نوع مصالح سنگی ، تیپ سیمان و میزان کاهش نسبت آب به سیمان مقدار مصرف حدود ۰/۳ الی ۰/۹ درصد وزن سیمان مصرفی خواهد بود .

استفاده از این ماده افزودنی را می توان با موارد زیر تشریح نمود:

۱- افزایش روانی یا کارایی بتن .۲- امکان کاهش نسبت آب به سیمان در حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪ .۳- کاهش عیار سیمان .۴- کاهش استهلاک پمپ بتن .۵- ایجاد بتن های خوش نما یا اکسپوز .۶- عدم نیاز به ویبراتور .۷- افزایش انسجام بتن .۸- جلوگیری از حبس هوا در بتن .۹- افزایش مقاومت فشاری .۱۰- جلوگیری از جدا شدن سنگدانه ها .۱۱- بتن ریزی در مقاطع باریک و پر آرماتور .

۳-۴-۱-میکروسیلیس

این نوع افزودنی جهت ساخت بتن های با مقاومت فشاری زیاد،کاهش احتمال بروز پدیده سرطان بتن، افزایش مقاومت فرسایشی و کاهش خطر قلیایی شدن در بتن استفاده می گردد.این ماده پودری است به رنگ خاکستری روشن یا تیره که دارای حدود ۹۶٪ الی۹۴٪ دی اکسید سیلیسیوم(Sio_2)می باشد که از فرآیند تولید فروسیلیسیوم در کوره های قوس الکتریکی بدست می آید و برای ارتقاء بعضی از خواص بتن در زمان ساخت،به بتن افزوده می شود . افزودن میکروسیلیس به مخلوط بتن باعث می گردد Sio_2 فعال آن با محلول هیدرواکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ آزاد موجود در منافذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان و افزایش مقاومت بتن گردد .

بسته بندی میکروسیلیس در حالت ژله ای نیز ممکن است در بازار یافت می شود.پودر این ماده در کیسه های بزرگ ۳۰۰ الی ۴۵۰ کیلوگرمی و وزن مخصوص تقریبی kg/m^3 ۵۰۰ و دارای شکل کروی و غیر کریستاله (آمورف) می باشد.

۴-۴-۱-حباب زا

ماده افزودنی حباب زای بتن برای کاهش نفوذپذیری و افزایش طول عمر بتن در برابر سیکل های مکرر یخبندان و ذوب به بتن افزوده می گردد.این ماده با ایجاد حباب های ریز هوا به اندازه های معین و پخش شدن زنجیره ای این حباب ها در بتن خواص فوق را ایجاد می کند.استفاده این ماده می تواند جهت ساخت بتن جاده ها ، بزرگراه ها ، باند فرودگاه ها و پیاده رو ها ، شبکه های آبیاری و زهکشی ، سردخانه ها ، اسکله ها ،جداول بتنی خیابان ها و بزرگراه ها باشد.حالت فیزیکی مایع به رنگ کرم تیره بوده و وزن مخصوص حدود gr/cm^3 ۱/۰۳ و قابلیت انحلال در آب را دارا می باشد.PH آن به صورت تقریبی حدود ۸ می باشد.

خواص و اثرات استفاده از این ماده شامل موارد زیر می گردد:

۱- افزایش مقاومت بتن در برابر سیکل های یخبندان و ذوب .

۲- امکان کاهش آب مصرفی بدون کاهش کارائی بتن .

۳- افزایش دوام بتن .

۴- جلوگیری از جدایی دانه های ریز و درشت بتن .

۵- جلوگیری از آب انداختگی بتن .

۶- امکان رو آمدن مقدار کنترل شده ای از شیره سیمان را فراهم می آورد و در نتیجه باعث کاهش میزان نفوذپذیری آب و املاح شیمیایی به داخل بتن می گردد .

۷- کاهش طول لوله های مویین و کاهش نفوذپذیری .

نوع روان کننده بتن	روان کننده	فوق روان کننده	ابر روان کننده
بنیان شیمیایی	نمک های لیگنو سولفونات	فرمالدئید نفتالین سولفونات	پلی کربوکسیلات اتر
درصد کاهندگی آب بتن	۵٪ - ۱۲٪	۱۲٪ - ۲۰٪	۲۰٪ - ۳۵٪
زمان گیرش	دیرگیر	معمولی	کمی زودگیر
مقاومت بتن در سنین اولیه	متوسط	خوب	عالی
قدرت کاهندگی آب و روان کنندگی بتن	متوسط	خوب	عالی
حفظ کارایی (حفظ اسلامپ) بتن	خوب	متوسط	بسته به نوع کربوکسیلات عالی یا کم
قابلیت پمپاژ بتن	عالی	خوب	خوب
مقدار مصرف (درصد وزن سیمان)	۰/۵ تا ۱/۶	۰/۴ تا ۱/۳	۰/۱ تا ۱/۲
جدا شدگی و آب انداختگی بتن	کم	متوسط	متوسط
مکانیزم روان کنندگی بتن	دافعه الکترو استاتیکی	دافعه الکترو استاتیکی	دافعه الکترو استاتیکی و ممانعت فضایی
تاریخ انقضا	۱ سال پس از تولید	۱ سال پس از تولید	۱ سال پس از تولید

۵-۴-۱-ضد یخ

در آخرین نسخه‌ی آیین نامه آبا ۱۴۰۰ ذکر شده که استفاده از کلمه‌ی ضد یخ اشتباه است. اما در جای دیگر در تفسیر این آیین نامه که به همراه خود آیین نامه منتشر شده است کلمه‌ی زودگیر را در عرف معادل ضد یخ بتن دانسته و این مطلب را پذیرفته است.

در قسمت scope استاندارد ACI 306 کلمه ضد یخ بتن (Antifreeze Admixture) آورده شده و در انتهای همین استاندارد اینطور این کلمه تعریف کرده شده که :**ضد یخ بتن ماده ایست که نقطه‌ی انجماد آب بتن را کاهش می‌دهد.**

نکته :در لغتنامه(ACI CT18 (Terminology ، کلمه‌ی Antifreeze Admixture مشاهده نشد و در واقع انجمن بتن آمریکا کلمه ضد یخ را خیلی به رسمیت نمی‌شناسد.

تعریف ضد یخ بتن

ضد یخ بتن به ماده‌ای گفته می‌شود که **نقطه‌ی انجماد آب بتن را کاهش می‌دهد** و از یخ زدن آب درون بتن در هوای سرد جلوگیری می‌کند. این ماده می‌تواند بر پایه‌ی شیمیایی پلی هیدروکسی آمین، هیدرو اتوکسی آمین و اتیلن گلایکول باشد.

تعریف زودگیر کننده بتن

زودگیر کننده بتن ماده‌ایست که زمان گیرش بتن یعنی **زمان آغاز تغییر حالت بتن از خمیری به سخت و صلب رو کاهش میدهد** .این مواد میتواند بر پایه های شیمایی کلسیم فرمات، کلسیم آلومینات، نیترات کلسیم و ... باشد.

تعریف زود سخت کننده بتن

زود سخت کننده بتن ماده‌ی افزودنی بتن است که باعث **تسریع روند کسب مقاومت بتن در سنین اولیه** می‌گردد.

نکته :زود سخت کننده بتن می‌تواند زودگیر کننده بتن هم باشد.

۲- خواص بتن

۲-۱- وزن مخصوص بتن

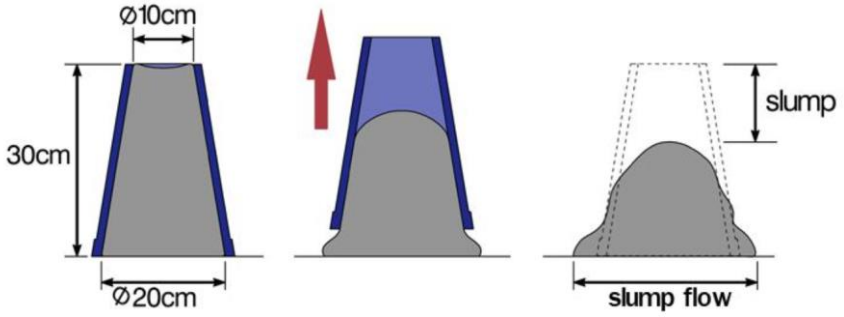
بتن هایی که به صورت عادی با سیمانهای معمول تیپ (I) تا تیپ (V) پرتلند ساخته می شوند، دارای وزن مخصوص برابر با ۲۲۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب هستند (معمولا ۲۴۰۰) . تفاوت ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ در وزن مخصوص ، ناشی از جنس دانه ها و تراکم بتن است.

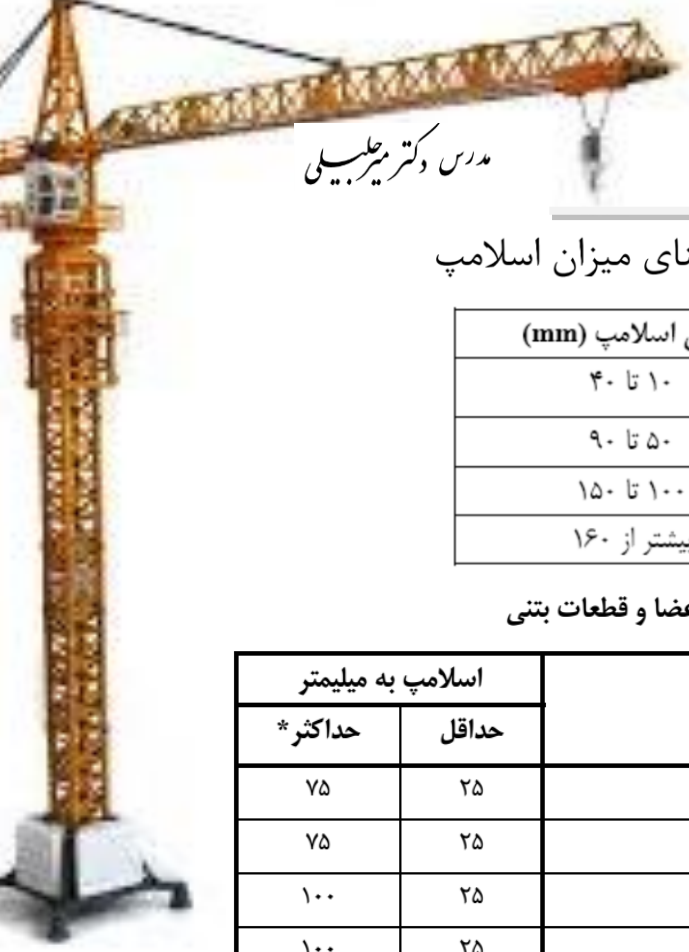
وزن مخصوص بتن سبک حدود نصف وزن مخصوص بتن معمولی است . یعنی حتی می توان بتنی با وزن مخصوص kg/m3 ۸۰۰ تهیه کرد که از آب سبک تر بوده و می تواند روی آب شناور بماند (البته تا زمانی که آب جذب نکرده است). این بتن بیشتر برای نماسازی ، دیوار های جدا کننده ، سقف کاذب و اصولا جاهایی که مقاومت طرح نباشد، به کار می رود ، امروزه از بتن جدیدی به نام فوم بتن در ساختمان ها استفاده می گردد که جهت شیب بندی استفاده می گردد.

وزن مخصوص این نوع بتن در حدود kg/cm3 ۳۵۰۰ تا ۶۰۰۰ می باشد که در حدود ۱/۵ تا ۲/۵ برابر وزن مخصوص بتن معمولی است.در ساخت بتن سنگین به جای شن و ماسه از خرده های فولاد و چدن و یا سولفات باریم و یا سنگدانه های سنگین استفاده می شود، کاربرد اینگونه بتن برای جلوگیری از تشعشع اشعه x و y و غیره بوده و اصولا برای سازه های مربوط به تاسیسات اتمی و یا هر جا که امکان تشعشعات رادیو اکتیو باشد، از اینگونه بتن استفاده می شود.

۲-۲- روانی بتن تازه (اسلامپ)

برای تعیین روانی بتن تازه از قابلیت تراکم از آزمایشی با عنوان اسلامپ استفاده می گردد،این آزمایش برای انواع بتن تازه بجز بتن‌های بسیار روان(SCC) یا بتن خود متراکم کاربرد دارد. این آزمایش برای بتن‌هائی با سنگدانه‌های به اندازه بیش از ۴۰ میلیمتر کاربرد ندارد.





رده بندی بتن بر مبنای میزان اسلامپ

طبقه‌بندی روانی	میزان اسلامپ (mm)
S_1	۱۰ تا ۴۰
S_2	۵۰ تا ۹۰
S_3	۱۰۰ تا ۱۵۰
S_4	بیشتر از ۱۶۰

جدول ۵-۳-۲-۱ میزان اسلامپ برای اعضا و قطعات بتنی

ردیف	نوع عضو یا قطعه بتنی	اسلامپ به میلیمتر	
		حداقل	حداکثر*
۱	شالوده‌ها و پی دیوارهای بتن‌آرمه[۳]	۲۵	۷۵
۲	شالوده‌های با بتن ساده، صندوقه‌ها و دیوارهای زیر سازه‌ها	۲۵	۷۵
۳	تیرها و دیوارهای بتن‌آرمه	۲۵	۱۰۰
۴	ستونها	۲۵	۱۰۰
۵	دالها و پیاده‌روهای بتنی[۴]	۲۵	۷۵
۶	بتن حجیم	۲۵	۵۰

معمولاً برای کارهای بتن آرمه اسلامپ باید در محدوده (۱۰ cm - ۵) انتخاب شود.

عدد اسلامپ برای کارهای عادی بتنی (بتن بدون آرماتور یا با آرماتور کم) در محدوده (۵cm-۲) انتخاب می‌شود. در حالت‌های استثنایی که تراکم آرماتور زیاد باشد یا از پمپ برای بتن‌ریزی استفاده شود، اسلامپ (۱۲ cm-۱۰) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بدیهی است هرچه اسلامپ کمتری انتخاب شود، خواص مطلوب بتن در بتن سخت شده، بهتر خواهد بود.

۳-۲- مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری بتن عبارت است میزان نیروی قابل تحمل در واحد سطح بوده که ممکن است دارای واحد مگاپاسکال(MPa) یا کیلوگرم بر سانتیمتر مربع گزارش شود. مقاومت فشاری بتن نه تنها به عنوان مهم ترین خصوصیت مکانیکی بتن،بلکه به عنوان یکی از مهم ترین خواص رفتاری بتن شناخته می شود به طوری که در محاسبات مهندسی به عنوان مهم ترین عامل به حساب می آید.مقاومت فشاری بتن ممکن است بر اساس نمونه استوانه ای با f'_c، و یا نمونه مکعبی با f'_{cu} سنجیده شود.نمونه استوانه ای به صورت استاندارد، قطر ۱۵۰ میلی متر و یا ۳۰۰ میلی متر است و در نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ سنجیده می شود.

انواع قالب های نمونه گیری بتن(استوانه ای و مکعبی)

هر نمونه در سه لایه و با ۲۵ بار میله زدن با میله ای به قطر ۱۶ میلی متر برای تراکم هر لایه، ریخته شده و به مدت ۲۸ روز در زیر آب و یا در اطاقی با رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد و در دمایی در محدوده ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی گراد مراقبت می شود. آن گاه نمونه ها تحت سرعت بارگذاری مشخص تا نقطه شکست بارگذاری می شوند. بتن براساس رده بندی مقاومت تعیین شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان(C50 - C45 - C40 - C35- C30 – C25 - C20 - C16 – C12 – C10 - C8– C6) مشخص می گردد ، اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن برحسب نیوتن بر میلیمتر مربع است .

۴-۲- مقاومت کششی بتن

مقاومت کششی بتن را می توان از طریق مقاومت کششی تحت کشش مستقیم f'_t و یا با استفاده از مقاومت کششی تحت کشش ناشی از خمش f_r بدست آورد. مقاومت کششی بتن اصولاً بین ۱۰ الی ۲۰

درصد مقاومت فشاری آن می باشد.جهت اندازه گیری مقاومت کششی ایجاد کشش خالص در بتن به صورت مستقیم مشکل بوده و به همین جهت از آزمایش کشش برزیلی (شکافت کششی یا آزمایش شکافت استوانه) جهت تعیین مقاومت کششی (f'_t) استفاده می گردد.

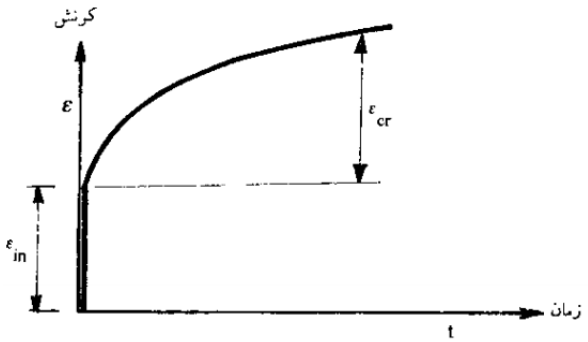
$f'_t =$ (٪۱۰ الی ٪۱۵) f'_c

$f_r =$ (۱/۶ الی ۱/۸۵) $\sqrt{f'_c}$ (بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

۵-۲- خزش یا وارفتگی بتن (Creep)

بر طبق تعریف خزش عبارت است از تغییر طول اجسام ، تحت تنش ثابت ، در طول زمان . اگر قطعه ای تحت تنش قرار گیرد ، در همان لحظه اول تغییر طولی خواهد داشت که به این تغییر طول ، تغییر طول آنی یا الاستیک گفته می شود . اگر همین قطعه تحت تنش ثابت نگهداری شود، با گذشت زمان تغییر طول اضافی تری نسبت به تغییر طول اولیه خواهد داشت که به آن تغییر طول یا کرنش ناشی از خزش می گویند.

کرنش ناشی از خزش معمولا ۲ تا ۳ برابر کرنش اولیه است.



ε_{in} = تغییر طول الاستیک (کرنش اولیه)

ε_{cr} = تغییر طول (کرنش) ناشی از خزش

تصویر ۵-۲ : تغییر طول بتن در طول زمان تحت تنش ثابت

۵-۲-۱-عوامل مؤثر بر خزش

۱- مقاومت فشاری بتن: هر چه مقاومت فشاری بتن بیشتر باشد خزش در آن کمتر است.

۲- تنش وارده بر بتن: هر چه تنش وارده بیشتر باشد، خزش بیشتر است.

۳- رطوبت محیط : هر چه رطوبت محیط بیشتر باشد، خزش کمتر است.

۴- عمر بتن: هر چه بتن مسن تر باشد و تحت با ر قرار گیرد ، خزش در آن کمتر است.

۵- تعبیه آرماتورهایی که تنش ناشی از خزش را جبران کند

۶-۲- افت یا آبرفتگی (Shrinkage)

طبق تعریف افت بتن پدیده ای است که از لحظات شروع گیرش بتن آغاز و در طول زمان سخت شدن ، ادامه می یابد و در واقع افت بتن یک نوع کاهش حجم است که در طول زمان مذکور اتفاق می افتد . اصلی ترین دلیل وقوع پدیده افت،در اثر آب اضافی به کار رفته در ساخت بتن می باشد، قبلا ذکر شد که آب مورد نیاز جهت انجام واکنش های شیمیایی سیمان ۲۵ درصد وزنی سیمان است. ولی به دلیل ایجاد کارایی مناسب در بتن ، نسبت آب به سیمان را بین ۰/۴ تا ۰/۶ در نظر می گیرند که این آب اضافی در بتن باقی می ماند. پس از خشک شدن در ساعات اولیه ، قسمتی از این آب اضافی بر اساس خاصیت موئینگی به سمت سطح بتن بالا آمده و تبخیر می شود و به دلیل فضاهای ایجاد شده ،بتن تمایل پیدا می کند که خودش را جمع کرده و حجم از دست رفته را پر کند. این تمایل به کاهش حجم به صورت تنش کششی در بتن ظاهر می شود و از آنجا که مقاومت کششی بتن بسیار ناچیز است، این پدیده موجب ترک خوردگی سطحی بتن می شود . این ترک ها را گاهی از حدود یک تا دو هفته پس از بتن ریزی می توان در سطح بتن مشاهده کرد که با گذشت زمان تشدید می شود.

افت در بتن به صورت یک سری ترک های منظم به فاصله چندین متر (۴ الی ۶ متر) بوده که هر چه بتن نامرغوب تر و نسبت آب به سیمان آن بیشتر باشد، فاصله این ترک ها نزدیک تر است . افت در بتن از پدیده های نامطلوب محسوب می شود از آن جهت که هم در سطح بتن ترک می اندازد و هم در قطعه تنش کششی ایجاد می کند.

برای کاهش افت، باید دو نکته را مورد توجه قرار داد :

۱- کاهش نسبت آب به سیمان ($\frac{W}{C}$)

۲- افزایش مراقبت (مراقبت از بتن بخصوص در طول ۷ الی ۱۰ روز اولیه موجب کاهش افت می‌شود)

کرنش (تغییر طول نسبی) ناشی از افت در بتن در محدودهٔ ۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۰۷ است. در اثر این کرنش، تمایل به کم شدن ابعاد در قطعه بتنی بوجود می‌آید، لکن محیط این امکان را به قطعه سخت شده نمی‌دهد. لذا کرنش مذکور در بتن ایجاد تنش کششی کرده که پس از ترک خوردن بتن، ممکن است قسمتی از ظرفیت باربری آرماتورها را نیز اشغال کند.

معمولاً ۱۵ الی ۳۵ درصد افت در همان دو هفته اول، ۴۰ الی ۸۰ درصد افت در سه ماهه اول و ۶۵ الی ۸۵ درصد افت در یکسال اول اتفاق می‌افتد و بعد از ۳ الی ۵ سال افت کاملاً متوقف می‌شود.

۱-۶-۲-راهکارهای کاهش افت

۱-کاهش نسبت آب به سیمان

۲- افزایش مراقبت:مراقبت از بتن به خصوص در طول ۷ الی ۱۰ روز اولیه موجب کاهش افت می شود. معمولا ۱۵ الی ۳۵ درصد افت در همان دو هفته اول ، ۴۰ الی ۸۰ درصد افت در سه ماهه اول و ۶۵ الی ۸۵ درصد افت در یکسال اول اتفاق می افتد و بعد از ۳ الی ۵ سال افت کاملاً متوقف می شود.

۳- میزان مصالح سنگی به کار رفته در ساخت بتن : هر چه مصالح سنگی به کار رفته در بتن بیشتر باشد، میزان افت کمتر است .(در بتن توپر افت کمتری دارد)

۴- نوع مصالح سنگی : هر چه در ساخت بتن از مصالح سنگی استفاده شود، افت کمتری اتفاق می افتد . آزمایش نشان داده که افت یک نمونه بتن که از ماسه سنگ تهیه شده ۳ برابر افت نمونه مشابه که از کوارتز تهیه شده است می باشد.

۵- استفاده از سیمان ضد افت : سیمان ضد افت همزمان با گیرش خود، افزایش حجمی را در بتن ایجاد می کند که این افزایش حجم می تواند با کاهش حجم ناشی از افت ، مقابله کند. (البته این سیمان گران قیمت بوده و مصرف آن باید توجیه اقتصادی داشته باشد)

۶- استفاده از درزهای مناسب: یعنی بتن را در فواصل مناسب (مثلا ۵ متر به ۵ متر) به توسط درزهای انقباض از هم جدا کنند . در مورد درزهای انقباض ، در فصل آخر بحث مستقلی شده است. در اینجا فقط متذکر می شویم که استفاده از درزهای انقباض , کمک می کند که با استفاده از ضعفی که در فواصل معین ایجاد کرده ایم ، ترک ناشی از افت دقیقا در محل دلخواه اتفاق بیفتد.

۷- استفاده از آرماتور افت و حرارت: این آرماتور ها ، برای خنثی نمودن تنش های کششی ناشی از افت در بتن به کار گرفته می شوند. در عمل اکثرا از آرماتورهایی موسوم به آرماتور افت و حرارت استفاده می شود. چنین آرماتورهایی هم برای تحمل تنش های ناشی از افت و هم برای تحمل تنش های ناشی از حرارت به کار برده می شود.حداقل آرماتور افت و حرارت ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۱۸ سطح مقطع بتن است. آرماتورهای افت را می توان به صورت ساده (صاف) درنظر گرفت.

۷-۲- آب انداختن بتن

آب انداختن بتن از نظر یک پدیده ظاهری، اینگونه تجلی می‌کند که پس از بتن‌ریزی و پرداخت سطحی بتن، یک لایه نازک آب آغشته به سیمان، روی سطح بتن ظاهر می‌شود.

این آب از قسمتهای زیرین بتن به دلیل خاصیت موئینگی به قسمتهای سطحی بالا آمده و در مسیر خود احتمالاً مقداری سیمان را نیز با خود شسته و همراه می‌کند. لذا در قسمتهای بالایی بتن، مقدار آب موجود، از آبی که در طراحی در نظر گرفته شده بیشتر خواهد شد و به عکس، در قسمتهای پائینی بتن مقدار آب کمتر خواهد گردید.

مشخصات نامطلوب بتن آب انداخته به شرح زیر است :

الف : پس از سخت شدن نامرغوب بوده و به مقاومت مطلوب و موردنظر نخواهد رسید.

ب : لایه رویی بتن آب انداخته، پس از سفت شدن (سخت شدن) به مرور زمان و با استفاده‌های ترافیکی از آن، پودر شده و به صورت گردوخاک در می‌آید و به این جهت سطح رویی ناصاف شده و پدیدهٔ «پودرشدگی»[1] اتفاق می‌افتد. چنین بتنی اولاً بدنما شده و ثانیاً نقطه ضعفی برای شرایط یخ‌زدگی و هوازدگی خواهد بود. آب انداختن پدیده بسیار نامطلوبی است و باید حتی‌المقدور از ایجاد آن جلوگیری کرد متأسفانه بعضی از استادکاران سعی می‌کنند با زیاد ماله کشیدن بر روی سطح بتن، یک قشر آب در سطح ایجاد کنند، غافل از اینکه این عمل، ضعف‌های اساسی برای بتن ایجاد می‌کند.

مهم‌ترین دلیل در آب انداختن بتن، اسلامپ بیش از حد است بنابراین کارایی و اسلامپ کم در کنار مزایایی دیگر، احتمال آب انداختن را نیز کاهش می‌دهد. دلایل دیگری از جمله ویبره بیش از حد و نیز نامناسب بودن دانه‌بندی، احتمال آب انداختن بتن را افزایش می‌دهند.

۸-۲- جدا شدن دانه ها

جدا شدن دانه‌ها از پدیده‌هایی است که در بتن تازه اتفاق می‌افتد. به این ترتیب که دانه‌های درشت مخلوط نشست کرده و به سمت پائین حرکت می‌کنند و دانه‌های ریزتر به سمت بالا منتقل

می‌شوند، بنابراین بتن حالت یکنواختی خود را از دست داده و توزیع دانه‌بندی به هم می‌خورد.

جدا شدن دانه‌ها در بتن تازه یک پدیده نامطلوب محسوب می‌شود و ناظرین و مهندسین کارگاه همواره باید سعی کنند تا از عواملی که ممکن است منجر به بروز این حالت شود، جلوگیری نمایند. بتنی که دانه‌های آن جدا شده از نظر مقاومت فشاری و خمشی ضعیف شده و به حد مطلوب نخواهد رسید.

مهم‌ترین دلیل جدا شدن دانه‌ها در بتن تازه اسلامپ بالا و بیش از حد است.

دلایل دیگری از قبیل ویبره بیش از حد، جابجاکردن بتن در قالب بوسیله بیل یا ویبراتور، ریختن بتن از ارتفاع نیز ممکن است به جدا شدن دانه‌ها منجر شود. انبارکردن نامناسب دانه‌ها ممکن است به جدا شدن دانه‌ها قبل از ساخت بتن و احتمالاً عدم وجود دانه‌بندی یکنواخت و صحیح در بتن ساخته شده منجر شود. به همین جهت لازم است انبارکردن دانه‌های شن و ماسه در کارگاه به صورت مجزا و در دپوهای جداگانه صورت گیرد. از طرفی بهتر است دانه‌بندی ابعاد مختلف شن هم در دپوهای جداگانه انجام گیرد. مثلاً بهتر است برای ماسه یک دپوی (۵ mm - ۰) و برای شن دپوهای (۱۰ mm - ۵) یا نخودی و (۲۰ mm - ۱۰) یا بادامی تنظیم شود و در صورت استفاده از دانه‌های درشت‌تر می‌توان از یک دپوی (۴۰ mm - ۲۰) نیز استفاده کرد. به این ترتیب می‌توان در هنگام ساخت بتن مصالح دانه‌ای را از هر دپو به میزان محاسبه شده جداکرده و اختلاط را انجام داد.

۹-۲- جمع شدگی پلاستیک

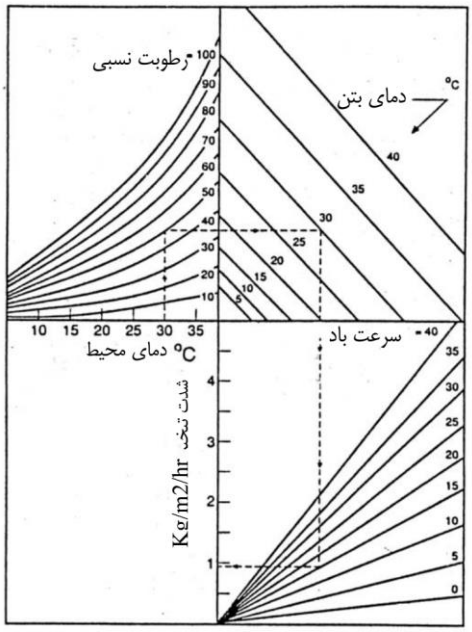
یکی از مهمترین آثار نامطلوب هوای گرم، احتمال ترک‌خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری است. این نوع ترکها به علت تبخیر سریع آب بتن رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، چنانچه مقدار تبخیر بیشتر از مقدار آب‌آوری باشد، سبب ترک خوردگی می‌شود. چهار عامل: دمای هوا، رطوبت محیط، سرعت باد و دمای بتن، در مقدار تبخیر آب از سطح بتن اثر دارند. چنانچه مقدار تبخیر آب از سطح بتن بیشتر از ۱ kg/m^2 در ساعت باشد، احتمال ترک خوردگی بسیار زیاد، لازم است تمهیدات این فصل دقیقاً اجرا گردد. اما به هر حال، وقتی مقدار تبخیر از حد ۰/۵ kg/m^2 درساعت بیشتر می‌شود، توصیه می‌شود تمهیدات ارائه شده در این فصل به کار گرفته شود.

برای تخمین مقدار تبخیر می‌توان از نمودار شکل ۱، استفاده کرد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود نیاز به دانستن رطوبت نسبی محیط، دمای هوا، سرعت باد و دمای بتن است. با استفاده از رطوبت سنج ساده و دماسنج می‌توان رطوبت و دمای محیط و هم چنین دمای بتن را اندازه‌گیری کرد. برای تعیین سرعت وزش باد می‌توان از بروز پدیده‌های ساده‌ای همچون حرکت برگها، شاخه‌ها و درختان و سایر پدیده‌هایی که دراطراف مشاهده می‌شود کمک گرفت و سرعت باد را تخمین زد. برای تقسیم‌بندی بر اساس مشاهدات ظاهری محیط می‌توان موارد زیر را ذکر کرد:

- سرعت باد تا km/h ۱۰ (کیلومتر در ساعت) باعث حرکت برگها می‌شود.
- سرعت باد تا km/h ۲۰ (کیلومتر در ساعت) درختان کوچک را حرکت می‌دهد.
- سرعت باد تا km/h ۳۰ (کیلومتر در ساعت) سبب حرکت شاخه‌های بزرگ می‌شود.

برای چگونگی استفاده از نمودار شکل ۱، به مثال زیر مراجعه شود:

فرض می‌گردد که دمای محیط ۳۰ ^{o}C باشد، یک خط عمودی ترسیم می‌گردد تا رطوبت نسبی محیط را که ۵۰ درصد است ، قطع کند. سپس یک خط افقی ترسیم می‌شود تا دمای بتن را که در این مثال، ۳۰ ^{o}C است قطع کند. فرض می‌گردد که سرعت باد ۱۵ km/h باشد، بنابراین یک خط عمودی کشیده می‌شود تا این مقدار سرعت باد را قطع کند. در آخرین مرحله از نقطه نهایی یک خط افقی کشیده می‌شود تا مقدار شدت تبخیر در محور عمودی مشخص گردد. در این مثال، مقدار شدت تبخیر نزدیک به ۱ $kg/m^2/h$، است، بنابراین باید حتماً از تمهیدات این فصل برای کاهش مقدار تبخیر استفاده گردد. در غیر این صورت، احتمال ترک خوردگی سطح بتن، زیاد خواهد بود.



شکل ۱ نمودار تخمین مقدار تبخیر آب از سطح بتن

۱۰-۲- اثرپذیری از تهاجم سولفات‌ها

حملات یون سولفات ها در محیط اطراف بتن و وجود عنصر C3A در ترکیبات اصلی سیمان، موجب تشکیل سولفات کلسیم (گچ) و سولفوآلومینات کلسیم (اترینگایت) با فرمول شیمیایی $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}\cdot 26(H_2O)$ می گردد که موجب افزایش حجم ذرات بتن گردیده و در برخی موارد حجم بتن تا ۱۵۰ درصد افزایش می یابد و بتن از درون دچار انبساط و خرابی می گردد،این بتن دارای ظاهری سفیدرنگ بوده و معمولاً خرابی از لبه ها و گوشه ها شروع شده و با ترک خوردن و تجزیه بتن ادامه می یابد.

انواع سولفات های سدیم ، کلسیم و منیزیم ممکن است در بتن آسیب دیدگی ایجاد نمایند. حمله سولفات ها ممکن است همراه با واکنش های زیر باشد:

۱ – تبدیل $Ca(OH)_2$ به سولفات کلسیم که با انبساط و تخریب بتن همراه است .

۲ – تبدیل آلومینات ها به اترینگایت که سبب انبساط و تخریب بتن می شود .

۳ – تجزیه C-S-H (همان چسب سیمان)که سبب نرم شدن بتن و کاهش مقاومت آن می شود .

* اگر سولفات کلسیم به بتن حمله کند فقط واکنش ۲ رخ می دهد .

* اگر سولفات سدیم به بتن حمله کند واکنش ۱ و ۲ انجام می شود .

* اگر سولفات منیزیم به بتن حمله کند واکنش های ۱ ، ۲ و ۳ انجام می شود .

جدول ۳-۵ مقررات بتنهایی که در شرایط مهاجم سولفاتی قرار دارند .

شرایط محیطی سولفاتی	سولفات SO_4 موجود در خاک (درصد وزنی)	سولفات SO_4 محلول در آب ppm	نوع سیمان	حداکثر نسبت آب به سیمان	حداقل مقاومت مشخصهٔ بتن f_c (MPa)
ناچیز	$0<SO_4<0.1$	$0<SO_4<150$	—	—	—
متوسط	$0.1<SO_4<0.2$	$150<SO_4<1500$	۲ ، آمیخته	۰/۵	۳۰۰
شدید	$0.2<SO_4<2$	$1500<SO_4<10000$	۵	۰/۴۵	۳۵۰
خیلی شدید	$SO_4>2$	$SO_4>10000$	۵ + پوزولان	۰/۴۵	۳۵۰

۱۱-۲- خوردگی میلگرد در بتن

معمولاً بتن عامل محافظ فولاد محسوب می شود . میزان این محافظت بستگی به قلیائیت خمیر سیمان دارد که PH آن حدود ۱۲ تا ۱۴ است . همچنین بتن پتانسیل الکترو شیمیایی فولاد را در حدی نگه می دارد که امکان خوردگی وجود نداشته باشد . PH زیاد و وجود اکسیژن در بتن ، موجب می شود لایه محافظ Fe_2O_3 بر سطح فولاد ایجاد شود. این لایه میکروسکوپی که لایه انفعالی نامیده می شود ، فولاد را در مقابل خوردگی محافظت می کند.

عامل دیگر محافظت فولاد در بتن ، پوشش بتن بر روی فولاد است . افزایش ضخامت پوشش و کاهش نفوذ پذیری آن ، نفوذ مواد زیان آور (Cl^- ، CO_2 و . . .) را محدود می کند . به طور کلی ، پوشش بتن یک عامل فیزیکی است که از خوردگی فولاد جلوگیری می کند .

یون های کلرید نیز ممکن است از طریق منافذ به داخل بتن نفوذ کنند . فرآیند انتشار ، در منافذ کاملاً اشباع یا نیمه اشباع اتفاق می افتد . بتن تا حدودی دارای ظرفیت فیزیکی و شیمیایی نگه داری یون های کلرید است . خوردگی فولاد در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی است . یون های با بار الکتریکی از میان محلول درون منافذ بتن (الکترولیت) در بین دو نقطه از سطح فولاد (آند و کاتد) انتقال می یابند . در نتیجه فرآیند خوردگی را می توان به دو قسمت آندی و کاتدی تقسیم کرد .

پیوند یون های کلرید در بتن توسط C_3A انجام می شود . C_3A با کلرید ها واکنش داده و تشکیل کلرید آلومینات کلسیم می دهد که به نمک فریدل موسوم است . پس از کربناسیون ، یون های کلرید پیوند یافته ، به صورت آزاد درآمده و در نتیجه خطر خوردگی افزایش می یابد.

در این مرحله مقاومت عضو به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و در صورتی که اقدام به تعمیر عضو یا سازه نگردد ، از عمر مفید سازه کاسته می شود و در برخی موارد احتمال خطر نیز وجود دارد .

۱۲-۲- تاثیر نسبت آب به سیمان در بتن

میزان آب در بتن معمولاً با نسبت وزنی آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) نشان داده می‌شود که W معرف وزن آب و C معرف وزن سیمان است. به صورت یک اصل باید حتی‌المقدور، نسبت $\frac{W}{C}$ کم انتخاب شود.

قسمتی از آبی که در ساخت بتن مصرف می‌شود (حدود ۲۵ درصد وزنی سیمان)، جذب ذرات سیمان شده و در واکنش‌های شیمیایی (هیدراسیون) به کار گرفته می‌شود. اما عملاً ساخت بتنی با $\frac{W}{C}$ = ۰٫۲۵ امکان‌پذیر نیست، زیرا چنین بتنی به اندازه‌ای سفت است که کار کردن با آن میسر نیست به همین جهت باید $\frac{W}{C}$ را تا آنجا افزایش داد که به سهولت بتوان با بتن کار کرد. لذا $\frac{W}{C}$ را تا ۰٫۴ الی ۰٫۶ افزایش می‌دهند. اما در همین محدوده باز هم هرچه $\frac{W}{C}$ را کمتر در نظر بگیرند، بهتر خواهد بود.

زیرا مازاد آب که در واکنش شیمیایی شرکت نمی‌کند، جا اشغال کرده و نهایتاً یا در بتن محبوس می‌شود و یا تبخیر شده و فضای خالی ایجاد می‌کند، یعنی در هر حال از حجم مفید بتن می‌کاهد.

محاسن استفاده از نسبت آب به سیمان کمتر

۱- افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن .

۲- افزایش خاصیت آب‌بندی در بتن (زیرا هر چه آب کمتری مصرف شده باشد، فضای خالی کمتری در بتن ایجاد شده و در نتیجه روزنه‌های کمتری برای عبور آب وجود خواهد داشت.)

۳- کاهش جذب آب (به دلیل محدودتر شدن فضاهای خالی).

۴- پیوستگی بهتر بین لایه‌های متوالی در بتن‌ریزی.

۵- افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن (چون سطح تماس میلگرد و بتن بیشتر خواهد بود).

۶- افزایش مقاومت در مقابل شرایط جوی نامساعد (تر و خشک شدن‌های متوالی و سرد و گرم شدن‌های متوالی).

۷- کاهش میزان افت.

۸- کاهش میزان خزش

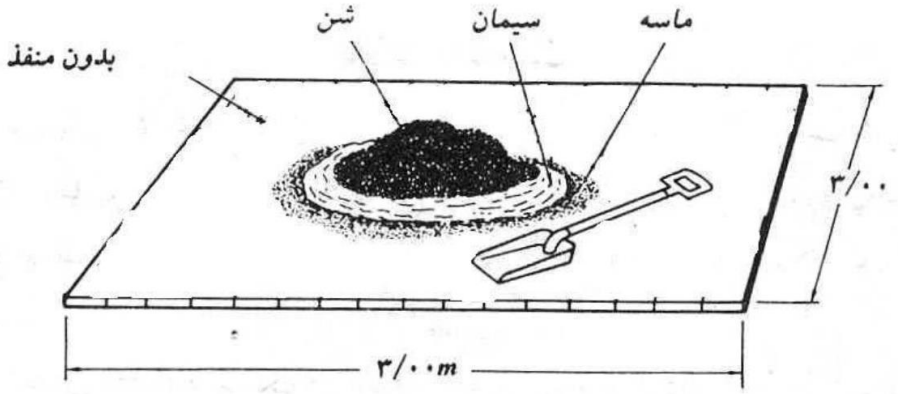
۹- کاهش امکان آب انداختن بتن.

۱۰- کاهش امکان جدا شدن دانه‌ها.

۳- اختلاط بتن

۳-۱- اختلاط دستی

برای ساخت بتن با دست، باید سنگدانه‌ها را به صورت لایه یکنواختی بر روی سطح پهن کرد. سپس سیمان را روی سنگدانه‌ها پخش کرد و مواد خشک از یک طرف سطح به طرف دیگر آن زیر و رو گردد تا اینکه مخلوط یکنواخت حاصل شود. این عمل باید حداقل سه مرتبه تکرار شود. آنگاه آب با استفاده از یک آبفشان تدریجاً اضافه گردد به طوری که آب یا دوغاب سیمان به طرف خارج مخلوط جریان نیابد. مخلوط باید سه بار دیگر زیرورو گردد و نوک بیل به صورت مکرر داخل مخلوط شود تا از لحاظ رنگ و روانی یکنواخت گردد. در حین مخلوط کردن نباید اجازه داد خاک و یا دیگر مواد خارجی در بتن مخلوط گردد. از آبخوره کردن مصالح اکیداً خودداری شود. توصیه می‌شود برای جبران برخی از کاستی‌ها در اختلاط دستی، حدود ۵ تا ۱۰ درصد به مقدار سیمان افزوده گردد.



پیمانه کردن مصالح بتن جهت اختلاط حتما باید به صورت وزنی باشد. در موارد اضطراری و در حجم کم، جدول زیر را به عنوان راهنما می توان به کار برد (اختلاط حجمی).

جدول طرح اختلاط کارگاهی بتن

مقاومت مشخصه بتن $\frac{kg}{cm^2}$	عیار بتن $\frac{kg}{m^3}$	نسبت تقریبی اختلاط حجمی بتن (برای سیمان فله)			نسبت تقریبی اختلاط حجمی بتن (برای سیمان کیسه ای)		
		شن	ماسه	سیمان فله	شن	ماسه	سیمان کیسه‌ای
۳۵۰	۴۵۰	۲	۱	۱	۲/۵	۱/۵	۱
۳۰۰	۴۰۰	۲/۵	۱/۵	۱	۳	۲	۱
۲۵۰	۳۵۰	۳	۲	۱	۳/۵	۲/۵	۱
۲۰۰	۳۰۰	۳/۵	۲/۵	۱	۴/۵	۳	۱
۱۵۰	۲۵۰	۴/۵	۳	۱	۶/۵	۳/۵	۱
۱۰۰	۲۰۰	۶/۵	۳/۵	۱	۸	۴	۱

۲-۳- اختلاط مکانیکی

مخلوط‌کن‌های با دیگ استوانه‌ای در ظرفیت‌های از ۱۴۰ تا ۲۸۰۰ لیتر ساخته می‌شوند و تولید آنها بین ۴ تا ۹۰ متر مکعب در ساعت است. سرعت دوران دیگ حدود ۱۰ تا ۳۵دور در دقیقه است. ترتیب ریختن مصالح به داخل این نوع مخلوط‌کن‌ها بستگی به نوع مخلوط دارد، ولی معمولاً ترتیب ریختن عبارت است از : شن، سیمان، ماسه و آب که بهتر است ابتدا قسمتی از آب مخلوط به مخلوط‌کن ریخته شود و سپس در حین اختلاط مصالح، بقیه آب بتدریج به مخلوط افزوده شود. مخلوط‌کن‌های دارای دیگ استوانه‌ای به دو نوع دیگ کج شونده و دیگ غیر کج شونده تقسیم می‌شوند.در مخلوط‌کن‌های کج شونده بتن بعد از اتمام اختلاط با کج شدن دیگ تخلیه می‌شود. تخلیه بتن در مخلوط‌کن کج شونده بسیار سریع بوده و در نتیجه امکان جدا شدن دانه‌ها وجود ندارد، بنابراین، این نوع مخلوط‌کن برای بتن با کارایی کم و یا برای بتن با مصالح سنگی درشت مناسب است.

در نوع مخلوط‌کن‌های غیر کج شونده ، محور دیگ همیشه به صورت افقی است و تخلیه با معکوس کردن حرکت دیگ انجام می‌پذیرد. به دلیل آنکه تخلیه با سرعت کم انجام می‌گیرد، امکان جدا شدن سنگدانه‌ها وجود دارد. بنابراین اگر مخلوط بتن مستعد جداشدگی ذرات می‌باشد، نباید از این نوع مخلوط‌کن استفاده شود.

۳-۳- کارخانه تولید بتن آماده (بچینگ)

ایستگاه یا کارگاه تولید بتن شامل لوازم و تجهیزات جهت دریافت، انبار، جابه جایی، و توزین مصالح به منظور تهیه بتن طبق فرمول کارگاهی و همچنین تحویل مواد توزین شده به تجهیزات حمل، قبل یا بعد از مخلوط نمودن مصالح می باشد. ایستگاه ها از نظرمحصول تولیدی به ایستگاه های بتن حجیم، بتن روسازی، بتن معمولی(بتن آماده) و فرآورده های بتنی طبقه بندی می شوند.[۳]

۴-۳- اصول اختلاط در مخلوط کن

با در نظر گرفتن تعداد عوامل موثر، بهترین روش برای تعیین مدت مطلوب مخلوط کردن، انجام دادن آزمایش با مخلوط کن و بتن مورد نظر است. معمولاً مخلوط‌های خشک (اسلامپ کم) نیاز به مدت اختلاط طولانی‌تر دارند. درمواردی که بتن حاوی سنگدانه‌های شکسته است نیاز به مدت بیشتری نسبت به سنگدانه‌های طبیعی (گرد) برای مخلوط کردن دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که تعداد چرخش مخلوط کن با سرعت ارائه شده توسط سازنده، مهمتر از زمان مخلوط کردن است و به طور کلی بیش از ۲۰ چرخش برای مخلوط شدن مطلوب بتن، لازم نمی‌باشد. برای انواع مخلوط کن تا m3 ۱ ظرفیت، که با سرعت صحیح کار کنند، زمان مورد نیاز برای مخلوط کردن کمی بیش از ۱ دقیقه است. معمولاً زمان مناسب مخلوط کردن بین ۱ تا ۱/۵ دقیقه است. برای مخلوط کن‌هایی که با سرعت زیاد کار می‌کنند، زمان ۳۰ ثانیه کفایت می‌کند. به طور کلی می‌توان از جدول ۱، به عنوان راهنمای زمان مخلوط کردن استفاده نمود. زمانهای ارائه شده در جدول ۱ ، پس از آنکه مصالح به غیر از آب در مخلوط کن قرار داده شدند، شروع می‌گردد.

جدول ۱ مدت مخلوط کردن

ظرفیت مخلوط کن (m^3)	زمان مخلوط کردن (دقیقه)
۲ یا کمتر	۱/۵
۲/۵	۲
۳/۰	۲/۵
۵/۰	۳

برای آنکه اختلاط بتن تازه به نحو مناسب انجام شود، رعایت نکات زیر ضروری است:

۱- در مخلوط کن‌های عمودی، بهتر است که تمام مصالح همزمان در مخلوط‌کن ریخته شود (قبل از آنکه مخلوط‌کن شروع به چرخش کند) و از ریختن مصالح پشت سر هم در حین چرخش مخلوط‌کن اجتناب گردد. ریختن مصالح به طور همزمان موجب می‌شود که مخلوط بتن یکنواخت باشد.

۲- عمل مخلوط کردن باید تا رسیدن به رنگ، ظاهر و روانی یکنواخت مخلوط بتن، ادامه یابد.

۳- نباید مخلوط‌کن را بیش از ظرفیت بارگیری کرد. مقدار مصالح بیش از حد، سبب می‌شود تا مخلوط بتن نامناسب گردد و امکان آسیب رساندن به مخلوط‌کن نیز وجود دارد.

۴- احتمال دارد سنگدانه‌های درشت که در بتن مخلوط شده، به طور یکنواخت پخش نگردد. بنابراین به جای آنکه مخلوط بتن به صورت بخش‌های کوچک از مخلوط‌کن تخلیه شوند، بهتر است تمام مخلوط بتن یکجا در داخل یک ظرف تخلیه گردد.

۵-۳- مقدار سفارش بتن

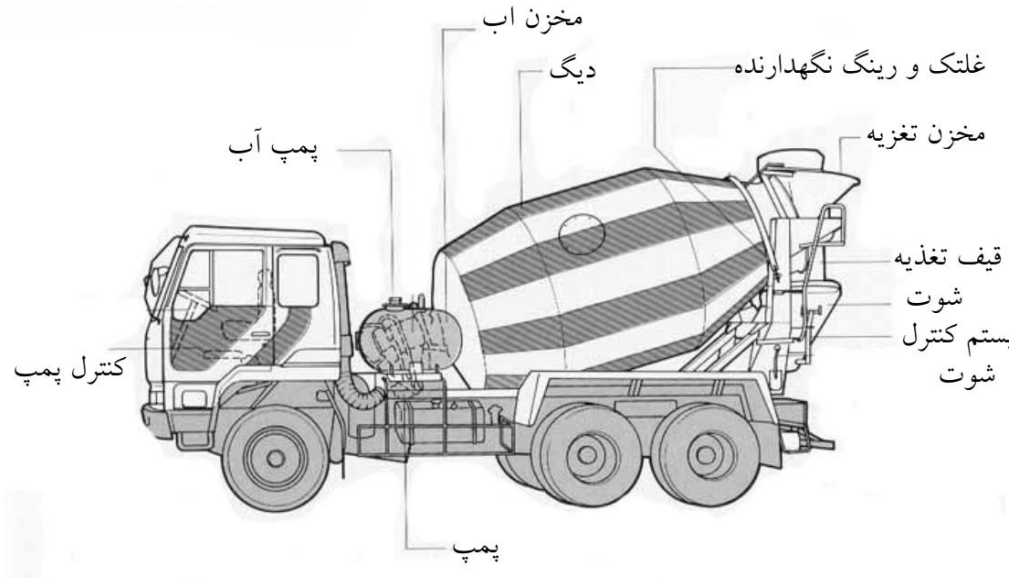
بتن به صورت حجمی فروخته میشود(متر مکعب ویا یارد مکعب).بتن هنگامیکه از تراک میکسر تخلیه میشود در شرایطی تازه وسخت نشده است.آن حجم از بتن که تحویل داده میشود براساس چگالی بتن ویا وزن واحد آن محاسبه میگردد.یک یارد مکعب بتن وزنی معادل ۴۰۰۰پوند(۲ تن).یک متر مکعب آن (تقریبا ۱/۳ یارد مکعب) وزنی معادل ۲۴۰۰ کیلوگرم دارد.ظرفیت متعارف یک تراک میکسر بین ۸ تا 12 یارد مکعب است.(۵ تا ۹ مترمکعب) ۴ تا۱۰ درصد بیشتر از میزان تخمین زده شده در طرح بتن سفارش دهید.این میزان اضافی برای پرتی بتن یا تراوشات آن ،گودبرداری اضافی،پوشش قالبها،ازدست دادن هوای اضافه شده در زمان بتن ریزی،نشست مخلوط خیس،مقداری که در تراک میکسر باقی میماند وتغییر در حجم بتن مصرف میشود.حجم بتن سخت شده ۱ تا ۲ درصد کمتر از بتن تازه است.احتیاجات را حین بتن ریزی مجددا ارزیابی کرده وهرگونه تغییری را با فروشنده بتن درمیان بگذارید.مصرف بتن باقی مانده تبعات اقتصادی ومحیطی را برای سازنده ی بتن آماده بهمراه دارد.

۴-انتقال بتن

۴-۱- انتقال بتن آماده از کارخانه به کارگاه

۴-۱-۱-تراک میکسر یا کامیون مخلوط کن

تراک میکسر وسیله‌ای برای حمل بتن آماده است.



کارخانه‌های بتن آماده معمولاً به دو گروه تقسیم می‌شوند. برخی کارخانه‌ها فقط عملیات پیمانه کردن را انجام می‌دهند، و برخی دیگر از کارخانه‌ها غیر از عملیات پیمانه کردن، عمل مخلوط کردن را نیز انجام می‌دهند. به عبارت دیگر، در کارخانه، مصالح پیمانه شده و مقادیر معین مصالح بتن به درون کامیون مخلوط‌کن ریخته می‌شود، اما عمل اختلاط در حین حمل، قبل از تخلیه بتن در دیگ کامیون مخلوط‌کن صورت می‌گیرد و آب مخلوط در حین حمل و یا در محل کارگاه به مخلوط خشک اضافه می‌گردد. بر همین اساس به این روش، پیمانه خشک نیز گفته می‌شود.

اما در گروه دوم کارخانه‌ها، بتن آماده شده، به درون دیگ کامیون مخلوط‌کن ریخته می‌شود. دیگ کامیون مخلوط‌کن دارای دو سرعت دوران کند و تند می‌باشد. دور کند یا سرعت بهم زدن۲ تا ۵ دور در دقیقه و دور تند یا سرعت اختلاط ۷ تا ۱۳ دور در دقیقه است.

باید توجه داشته باشید که تراک میکسرها عموماً نباید زیاد از محل کارخانه دور شوند تا به سهولت و در اسرع وقت بتوان از بتن ترکیب شده استفاده کرد.

در مواردی که مدت انتقال بتن طولانی است و یا احتمال وجود ترافیک سنگین وجود دارد، بهتر است بتن به صورت خشک منتقل شود و آب مورد نیاز در محل پروژه به سایر مصالح اضافه گردد زیرا اگر بتن آماده مدت زیادی در تراک میکسر بماند سفت می شود و دیگر قابل استفاده نخواهد بود

در هنگام استفاده از کامیون مخلوط‌کن، موارد زیر باید رعایت گردد :

۱- از زمانی که آب به مخلوط خشک بتن افزوده می‌شود تعداد دوران ۷۰ تا ۱۰۰ دور با سرعت تند برای اختلاط اولیه کافی است. اگر بتن آماده در داخل دیگ حمل شود و بخواهیم در هنگام تخلیه همگنی را مجدداً به دست آوریم، کافی است ۳۰ تا ۴۰ دور با سرعت کند بتن را بهم زنیم. حداکثر تعداد دوران دیگ به ۳۰۰ دور (شامل دور کند و تند)، محدود می‌گردد، به این ترتیب، مدت حمل در شرایط عادی (به غیر از بتن ریزی در هوای گرم و سرد) از زمان بارگیری تا تخلیه ، به ۴۵ دقیقه محدود می‌شود. اما از ۳۰۰ دور چرخش دیگ فقط حداکثر ۱۰۰ دور باید سرعت مخلوط کردن و بقیه باید با سرعت بهم زدن باشد، زیرا زمان طولانی حمل و یا تعداد چرخش زیاد دیگ باعث کاهش اسلامپ، سایش سنگدانه‌ها و بدنه دیگ و همچنین کاهش مقاومت و دوام بتن می‌گردد.

۹-۸-۲-۵-۱ مدت انتقال بتن از محل ساخت مخلوط تا محل بتن‌ریزی باید به حداقل زمان ممکن تقلیل داده شود تا از کاهش کارایی بتن اجتناب گردد. چنانچه حمل بتن با کامیون (تراک میکسر) انجام می‌شود، تعداد چرخش جام باید محدود به ۳۰۰ بار و زمان انتقال به ۴۵ دقیقه محدود گردد.

۲- درمواردی که مدت انتقال بتن طولانی است و یا احتمال وجود ترافیک سنگین وجود دارد، بهتر است از روش مخلوط خشک استفاده شود و آب مخلوط در کارگاه به سایر مصالح اضافه گردد. هر چند در این حالت، کنترل دقیق مقدار آب با اشکال رو به رو می‌گردد و نیاز به نظارت دقیق است تا آب مخلوط به مقدار تعیین شده افزوده شود.

۳- استفاده از کامیون مخلوط کن برای بتن‌های زیر توصیه نمی‌شود:

- بتن با اسلامپ کمتر از ۴۰ میلیمتر
- بتن با حداکثر اندازه سنگدانه بیش از ۵۰ میلیمتر
- بتن با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴ (بدون استفاده از مواد افزودنی روان کننده و یا فوق‌روان‌کننده)

۲-۱-۴-پمپ دکل دار (هوایی)

در این دسته از پمپ ها یک پمپ بتن بر روی شاسی کامیون که ممکن است به دلیل تحمل وزن دارای محورهای بیشتری از کامیون های معمول باشد، نصب می گردد. به همین دلیل اصطلاحا به آنها پمپ هوایی نیز گفته می شود همچنین به منظور انتقال بتن تا محل مصرف از بازوهای تاشو که تعداد آنها بین ۳ تا ۴ بازو متغیر است، بهره گرفته می شود.

۳-۱-۴-پمپ زمینی

این پمپ ها قدرت بیشتری نسبت به انواع دیگر پمپ های بتن معرفی شده تا کنون دارند.مورد استفاده این نوع پمپ ها در کارگاه هایی که حجم بتن ریزی زیاد دارند یا در برج هایی که نیاز به بتن ریزی در ارتفاع بالا دارند (ارتفاع تا ۴۸۰ متر اسمی ولی در عمل و متداول ۲۰۰ متر) و یا در پروژه هایی مثل تونلها و پلهای طولانی (تا ۲۰۰۰ متر طول) می باشد. این پمپ ها با لوله های به قطر ۱۲۵ میلی متر می توانند بتنهای با سنگدانه های به قطر حداکثر ۶۳ میلی متر را پمپ کنند. این پمپها یا بر روی شاسی کامیونی نصب می شوند یا در مواردی به بصورت خود کششی تولید می گردند، ولی در اغلب موارد باید توسط کشنده دیگری یدک کشیده می شوند که اصطلاحا پمپ زمینی نامیده می شوند. توان این پمپ ها عموما از دیزل تامین شده و در موارد نعدودی دارای موتور برقی نیز مشاهده می شود.

۲-۴- سایر روش های انتقال بتن

۱- استانبولی و زنبه:

برای انتقال بتن، در حجم‌ها و مسافت‌های خیلی کم و یا مکان‌هایی که امکان استفاده از فرغون وجود ندارد می‌توان از استانبولی و یا زنبه استفاده کرد.

از استانبولی برای انتقال حدود ۲۵ کیلوگرم (۱۰ لیتر) بتن استفاده می‌شود، مسافت بهینه ۱۰ متر و حداکثر مسافت قابل حمل، ۲۵ متر توصیه می‌شود.

حداکثر ظرفیت توصیه شده برای حمل با زنبه ۶۰ کیلوگرم (۲۵ لیتر) بتن و طول حمل نیز ۲۵ تا ۳۰ متر می‌باشد.

۲- چرخ دستی یا فرغون

توصیه می‌شود، در کارگاه‌های کوچک که حجم ساخت بتن از ۴۵۰ لیتر در هر نوبت تجاوز نمی‌کند، از فرغون استفاده شود. در هنگام استفاده از فرغون باید موارد زیر را رعایت کرد:

۱ .حجم جابجائی با فرغون حدود ۵۰ الی ۶۰ لیتر بتن است که حدود ۱۲۵ تا ۱۵۰ کیلوگرم وزن دارد.

۲ .حداکثر مسافت مجاز برای انتقال بتن به وسیله فرغون ۱۰۰ متر است. ولی توصیه می‌شود مسافت حمل به ۵۰ تا ۶۰ متر محدود گردد.

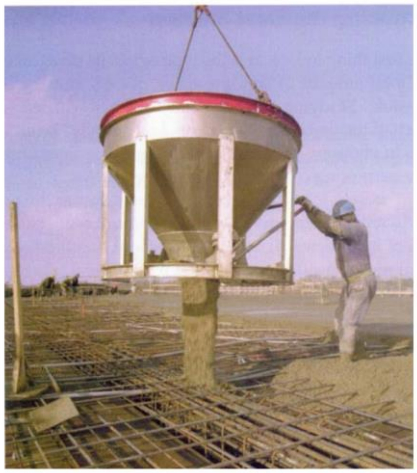
۳- دامپر (فرغون موتوری)

در کارگاه‌هایی با وسعت نسبتاً وسیع و دارای سطح هموار می‌توان از دامپر استفاده نمود (شکل ۲). حداکثر طول حمل با این وسیله ۳۰۰ متر و طول حمل بهینه ۱۰۰ متر است با استفاده از دامپر می‌توان در حدود ۲۵۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم (حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ لیتر) بتن را حمل کرد. باید توجه نمود، مسیر حمل باید کاملاً هموار بوده و در هنگام انتقال باید با حداقل سرعت حرکت نمود، در غیر این صورت امکان جداشدگی وجود دارد.

۴- جرثقیل و باکت

هنگامیکه احتیاج به حمل بتن در ارتفاع باشد بیشتر از این متد استفاده می‌شود.

معمولاًدر کارگاههای ساختمان‌های بتنی مهم استفاده از جرثقیل به علت نیاز به جابجایی قالب و شبکه‌های آرماتور اجباری است و در صورت وجود چنین جرتقیلی استفاده از آن برای حمل بتن، منطقی و اقتصادی به نظر می‌رسد ظرفیت باکت‌ها تا ۲ متر مکعب بوده و معمولاً به شکل مکعبی یا استوانه‌ای می‌باشد و بتن داخل باکت یا از دریچه‌ای که از زیر آن تعبیه می‌گردد یا باکت به صورت قیچی باز می‌شود.



شکل ۳ انتقال بتن با جام و روش تخلیه آن

شکل ۲ انتقال بتن با استفاده از فرغون موتوری

شکل ۵ – شوت قوطی، سمت راست انتقال بتن با استفاده از شوت سقوطی، سمت چپ ترکیب ناوه و شوت سقوطی

۵- بتن ریزی

۵-۱- آماده سازی قبل از بتن ریزی

قبل از آنکه عملیات بتن‌ریزی انجام شود، باید محل بتن‌ریزی کنترل گردد. مواردی که در زیر شرح داده شده، ضوابط کنترل و آماده سازی است که قبل از عملیات بتن‌ریزی باید مورد توجه مهندس ناظر قرار بگیرد. به عبارت دیگر، چنانچه مهندس ناظر اشکالی در هر یک از موارد زیر مشاهده کند، باید از ریختن بتن جلوگیری نماید تا نسبت به رفع مشکل مربوط اقدام گردد:

الف – اگر بتن‌ریزی بر روی زمین انجام می‌شود، سطح زمین باید عاری از هر گونه مواد زاید، تمیز و متراکم باشد. باید بسته به شرایط رطوبت محیط و زمین، از ساعتها قبل بر روی زمین آب پاشی شود تا رطوبت زمین در حالت اشباع با سطح خشک بوده، ولی عاری از آب اضافی باشد.

ب – ابعاد قالب‌ها باید مطابق با نقشه‌های اجرایی باشد و اندازه داخلی قالب‌ها در حد رواداریهای مجاز باشد.

پ – قالب‌ها باید در محل خود کاملا محکم نصب شده باشند. بنابراین با اعمال ضربه و نیرو به قالب‌ها هیچگونه لغزشی نباید در قالب‌ها مشاهده گردد. به عبارت دیگر، از مهاربودن قالب‌ها اطمینان حاصل شود.

ت – داخل قالب‌ها باید کاملاً تمیز و عاری از هر گونه مواد زاید باشد. وجود مواد زاید، مانند خرده چوب، آب، برف، یخ، گل و لای و شاخه و برگ درختان سبب کیفیت نامطلوب بتن می‌گردد. بنابراین قبل از بتن ریزی در صورت وجود هر نوع ذرات و مواد زیان آور در قالب، باید به روش دستی و یا با استفاده از هوای فشرده، درون قالبها تمیز گردد. لازم است قالب ستون، دیوار و حتی تیرها دارای دریچه نظافت (تخلیه) باشد تا عمل تمیز کردن قالب به راحتی انجام گردد.

ث – برای آنکه از چسبندگی بتن به قالب جلوگیری گردد و همچنین آب بتن توسط قالب چوبی جذب نگردد، باید سطوح قالب روغنکاری شود. روغن مصرفی باید از نوع مناسب باشد. مقدار روغنکاری باید در حدی باشد که از چکه کردن آن جلوگیری شود و نه آنقدر مقدار روغن کم باشد که تمام سطوح قالب به طور یکنواخت آغشته نشود.

ج – قبل از بتن ریزی، وضعیت میلگرد از نظر خوردگی باید بررسی شود. اگر بر سطح میلگرد زنگ کم مشاهده گردد (زنگ با ناخن و یا گونی زبر از بین برود) و آج آن صدمه ندیده باشد، استفاده از آن

میلگرد بدون مانع است. حتی این مقدار زنگ باعث افزایش مقاومت پیوستگی می‌شود. اما اگر مقدار زنگ روی میلگردها زیاد است، باید با ابزار مناسب نسبت به زدودن زنگ اقدام شود. روش مناسب زدودن زنگ، ماسه پاشی است، اما فرچه یا سنباده و یا برس مناسب نیست، زیرا فقط سبب صیقلی شدن زنگ می‌گردد. مقدار زیاد زنگ نه تنها فرآیند خوردگی را تشدید می‌کند، بلکه سبب کاهش مقاومت پیوستگی بین میلگرد و بتن می‌گردد. در صورتی که خوردگی سبب آسیب دیدگی آج میلگرد و یا سبب ایجاد حفره در میلگرد شده باشد، باید از به کار بردن آن میلگرد اجتناب گردد.

چ – ممکن است روی سطح میلگرد، قشری از ملات حاصل از بتن ریزی قبلی مشاهده شود. چنانچه فاصله زمانی بتن‌ریزی قبلی و بعدی فقط چند ساعت باشد، نیاز به پاک کردن ملات از سطح میلگردها نیست، در غیر این صورت باید آن قشر ملات پاک شود.

ح – میلگردها باید توسط فاصله‌دهنده‌های پلاستیکی (لقمه) در موقعیت خود تثبیت شده باشند تا هنگام بتن‌ریزی، میلگردها حرکت نکنند. در صورتی که امکان دسترس به فاصله‌دهنده‌های پلاستیکی وجود ندارد می‌توان از قطعات پیش ساخته ملات یا بتن با ضخامت مورد نظر، استفاده گردد. موقعیت و فواصل میلگردها باید مطابق با نقشه‌های اجرایی و در حد رواداریهای مجاز باشد. همچنین، ضخامت پوشش بتنی بر روی میلگردها باید کنترل گردد، زیرا رعایت نکردن ضخامت مورد نظر و یا کم بودن ضخامت پوشش، سبب کاهش دوام سازه می‌شود.

ذ – در هوای سرد، سطح زمین ویا سطح بتن قدیم و یا قالبی که قرار است روی آن بتن‌ریزی شود، نباید یخ زده باشد. در صورت مشاهده یخ، باید ابتدا نسبت به برطرف کردن یخ زدگی با وسایل مناسب اقدام گردد.

ر – تمام وسایل و ابزار بتن‌ریزی، مانند فرغون و ویبره (لرزاننده) به صورت تمیز و آماده به کار در محل مستقر شده باشد.

۲-۵- بتن ریزی

- بتن را باید در لایه‌های افقی در جای خود ریخت و نباید آن را با ویبره کردن و هل دادن جابجا کرد. ضخامت هر لایه بتن بستگی به نوع کار بین ۱۵ تا ۶۰ سانتی‌متر در قطر می گیرند و لایه بعدی را پیش از این که لایه زیرین شروع به گرفتن کند باید روی آن ریخت.
- بتن را نباید از ارتفاعی بیش از ۱ تا ۱.۵ متر خالی کرد مگر آن که از ناودان و لوله قیف یا شوتینگ استفاده شود.

- بتن ریزی در سطح شیب‌دار همیشه باید از پایین سطح شیب‌دار شروع و به طرف بالا ادامه یابد. همچنین باید طوری بتن ریزی شود که به جابجایی دانه‌ها منجر نشود. اسلامپ بتن در این موارد کم باشد (حدود ۵ سانتیمتر)

نقل و انتقال مجدد بتن می‌تواند سبب جداشدگی مصالح تشکیل دهنده آن شود. بعنوان مثال در اجرای دال‌های بتنی باید بتن‌ریزی را در امتداد پیرامون از یک انتهای دال آغاز و هر پیمانه را روی بتن ریخته شده قبلی تخلیه کرد، بتن را نباید در توده‌های جدا از هم ریخته و سپس همتراز کرد. همچنین بتن را نباید در توده‌های بزرگ ریخت و سپس به طور افقی به محل نهایی انتقال داد. زیرا در این صورت، به دلیل تمایل ملات به جاری شدن قبل از دانه‌های درشت، ممکن است جداشدگی روی دهد.

- **۷-۴-۳** در صورت افت اسلامپ و کاهش کارایی به هیچ وجه نباید با اضافه نمودن آب کارایی را افزایش داد. این امر سبب افت کیفیت بتن و کاهش مقاومت و پایایی آن خواهد شد. با ریختن بتن در مجاورت این بتن‌ها یا روی آن ممکن است پیوستگی دولایه بتن بخوبی فراهم نگردد.

- تجربه نشان می‌دهد که در هنگام بتن‌ریزی از ارتفاع بیش از ۲ متر، چنانچه تمهیدات خاص اعمال نگردد، کیفیت بتن نامطلوب خواهد بود. هر چند، آیین نامه‌های معتبر محدودیت خاصی را برای این منظور ارائه ننموده‌اند. بتن‌ریزی در ارتفاع زیاد سبب می‌شود که بتن با قالب و میلگردها برخورد کند و دچار ضربه ناگهانی شود و در نتیجه جداشدگی اجزا در بتن رخ می‌دهد. معمولاً در کشور ما آثار جداشدگی در قسمت پایین ستونها و دیوارها (حدود ۰/۵ تا ۱ متری) مشاهده می‌گردد که تصور اکثر دست اندرکاران آن است که، به علت عدم تراکم کافی بتن کرمو و فاقد ریزدانه و ملات بوده است، در حالی که عمدتاً جداشدگی و تراکم بیش از حد موجب بروز این عارضه (پدیده) می‌شود. بنابراین اجرای موارد زیر در بتن‌ریزی از ارتفاع ضروری است:

الف – درمواردی که تراکم میلگرد در ستون و یا دیوار درحد کم باشد و سطح مقطع قالب فضای کافی را ایجاد کند می‌توان از لوله‌های آویز، ناودان و یا قیف هادی برای بتن‌ریزی استفاده کرد. ناودان شامل یک لوله ویک قیف در بالای آن است. لوله ناودان درداخل قالب گذاشته می‌شود و بتن‌ریزی به صورت تدریجی اما پیوسته انجام می‌گردد. با ریختن بتن، بتدریج لوله ناودان به طرف بالا هدایت می‌شود. این عمل باعث می‌شود که از عارضه جداشدگی ذرات بتن جلوگیری گردد.

ب – قطر لوله باید حداقل ۸ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه باشد، اما در قسمت پایین (بعد از ۲ یا ۳ متر ارتفاع) قطر لوله را می‌توان کاهش داد و ۶ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه در نظر گرفت. لوله‌ها می‌توانند به صورت پلاستیکی و یا پارچه‌ای باشند که در صورت وجود بتن، قطر مورد نظر را می‌توان به دست آورد. این لوله‌ها نسبت به لوله‌های صلب (انعطاف ناپذیر) ارجحیت دارند. عملیات صحیح و ناصحیح بتن‌ریزی در ارتفاع، در شکل ۵ نشان داده شده است.

پ – در مواردی که ستون یا دیوار دارای میلگرد در حد زیاد و متراکم است، امکان دارد که استفاده از لوله‌های ناودان برای ریختن بتن عملی نباشد. بنابراین می‌توان با تعبیه دریچه یا باز شو در قالب، بتن‌ریزی را انجام داد. می‌توان فواصل دریچه‌ها را حدود ۱/۵ متر تا ۲ متر در نظر گرفت. از طرف دیگر، به کارگیری دریچه، امکان رؤیت بتن در قالب را فراهم می‌کند و کنترل لرزاننده دستی نیز بهتر انجام می‌شود. در شکل ۶، روش ایجاد دریچه را نشان می‌دهد. در این روش، بتن‌ریزی تا تراز پایین دریچه تحتانی، متراکم می‌شود، سپس این دریچه بسته و از دریچه تراز بالایی بتن ریزی ادامه می‌یابد.

شکل ۶ استفاده از یک دریچه در بتن‌ریزی در ارتفاع و یا درمواردی که تراکم میلگرد زیاد است.

۳-۵- دمای مخلوط بتن حین بتن ریزی

۹-۸-۲-۴-۱ دمای مخلوط بتن نباید بیشتر از ۳۲ درجه سلسیوس برای بتن معمولی و ۱۵ درجه سلسیوس برای بتن حجیم باشد.

۶- متراکم کردن بتن

تراکم بتن عبارت است از فشرده سازی بتن تازه به صورتی که در اطراف قالب‌ها و میلگردها دقیقاً شکل گرفته و دور آن‌ها را بپوشاند. نحوه تراکم بتن رابطه مستقیم با نحوه بتن ریزی دارد. تراکم بتن هوای محبوس را تا حدود زیادی از بتن خارج کرده و سنگدانه‌ها را به یکدیگر نزدیک و از کرمو شدن بتن جلوگیری می‌کند. تراکم بتن با لرزاندن یا اصطلاحاً ویبره کردن آن بوسیله لرزاننده یا ویبراتور انجام می‌شود و در نتیجه آن هوای محبوس ناخواسته در بتن به کمتر از ۱.۵٪ تقلیل می‌یابد.

روش تراکم باید به گونه‌ای انتخاب و اجرا شود که جداشدگی در اجزاء اصلی بتن ایجاد نشود و نکته مهم آنکه عموماً جداشدگی اجزاء قابل رؤیت نیست و لذا لازم است عوامل اجرایی با روش‌های صحیح انجام تراکم به طور کامل آشنا باشند.

۶-۱- تراکم دستی

میله کوبی، وزنه کوبی بر روی بتن، بیل زنی

در کارهای کوچک و محدود که امکان استفاده از لرزاننده‌ها و وسایل مکانیکی وجود ندارد می‌توان برای تراکم بتن از وسائل دستی به شرح زیر استفاده کرد.

۱. در مخلوط‌های خمیری و روان) با اسلامپ بیش از ۵۰ میلی‌متر می‌توان با اجازه دستگاه نظارت از میله فولادی (تخماق) یا وسائل مشابه برای تراکم بتن استفاده نمود. میله بایستی به اندازه کافی وارد بتن شود تا بتواند به راحتی به انتهای قالب یا انتهای لایه مربوط به همان بتن‌ریزی برسد، ضخامت میله بایستی چنان انتخاب شود که به راحتی از بین میلگردها عبور نماید.
۲. با عملیاتی شبیه بیل‌زنی می‌توان ظاهر سطوح بتنی قالب گیری شده را بهتر کرد. یک وسیله بیل مانند باید مکرراً به درون بتن و در مجاورت قالب فرو برده و بیرون آورده شود. این عمل درشت دانه‌های بزرگتر را وادار می‌سازد تا از قالب رانده شود و حباب‌های هوای محبوس بتوانند بالا بیایند. در این خصوص باید دقت کرد تا به وضعیت میلگردها و قالب‌ها آسیبی نرسد. در این حالت، ضخامت بتن حدود ۳ متر توصیه می‌شود.
۳. برای تراکم بتن دال‌هایی با ضخامت کمتر از ۱۵ متر می‌توان از ماله چوبی و اعمال ضربه به سطح بتن استفاده نمود.

۶-۲- تراکم مکانیکی (لرزاننده‌ها)

ویبراتورهای درونی، میزهای سقوط کننده، دستگاه‌های با کوبنده موتوری، دستگاه‌های لرزاننده یا ویبراتورها، دستگاه‌های مبتنی بر نیروی گریز از مرکز، ویبراتورهای بیرونی (ویبره‌های قالب، ویبراتورهای سطحی، میزهای لرزان).

متراکم کردن بتن، با وسایل مکانیکی مناسب‌ترین روش برای تراکم بتن است. موثرترین روش تراکم بتن با کارایی متوسط استفاده از لرزاننده یا ویبراتور است. زیرا بتن‌های خیلی سفت به فشار و بتن‌های شل به لرزش حساس هستند. عمل لرزاننده کاهش دادن اصطکاک داخلی بین سنگدانه‌هاست تا آنها به یکدیگر نزدیک شده و حباب‌های هوا به سطح برسند. در ابتدای

عمل تراکم، سنگدانه‌های درشت از لرزاننده دور می‌شوند، زیرا جرم سنگدانه‌های درشت بیشتر از سنگدانه‌های ریز است. پس از برخورد سنگدانه‌های درشت، ملات شروع به جاری شدن بین سنگدانه‌ها می‌کند. معمولترین نوع وسایل مکانیکی، ویبراتور یا لرزاننده داخلی (خرطومی) است. هر چند در مواردی که تراکم میلگرد زیاد است می‌توان از لرزاننده‌های قالب نیز استفاده نمود.

لرزاننده خرطومی از یک محرک انعطاف پذیر (در درون پوشش) که سبب چرخش میله مرکزی می‌شود، تشکیل شده است. بر اثر چرخش میله مرکزی، یک قطعه فلزی که به میله متصل است به پوشش فلزی ضربه می‌زند که سبب لرزاندن آن می‌شود. لرزاننده‌ها بر اساس قطر آن طبقه‌بندی می‌شوند، قطر لرزاننده تا حد ۱۵ سانتیمتر موجود است، اما معمولاً در کارگاه‌های ساختمانی، قطر ۲/۵ تا ۷/۵ سانتیمتر به کار گرفته می‌شود.

در هنگام استفاده از لرزاننده خرطومی باید موارد زیر رعایت شود:

۱. برای اجتناب از حبس هوا، لایه بتن باید دارای ضخامت کم و نازک باشد، ولی در هر صورت لایه نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر یا سه برابر حداکثر اندازه سنگدانه بتن باشد. معمولاً حداکثر ضخامت لایه ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر است.
۲. معمولاً زمان کافی برای اعمال لرزش با لرزاننده خرطومی بین ۵ تا ۱۵ ثانیه است. اما مدت زمان دقیق باید بر اساس ظاهر شدن شیره بتن بر سطح و تغییر صدای لرزاننده تعیین شود. اگر زمان لرزاندن کم باشد سنگدانه‌ها حرکت می‌کنند، اما ملات فرصت کافی برای جاری شدن ندارد و بتن متخلخل می‌شود. اگر زمان لرزاندن زیاد باشد، مقدار زیادی شیره بتن به سطح آمده که باعث جداشدگی در بتن و ایجاد ترک و کاهش مقاومت سطح بتن و کرمو شدن قسمت‌های زیرین بتن می‌شود.
۳. برای حذف مؤثر هوا، ویبراتور باید سریعاً به داخل بتن وارد شود و با حرکت ملایم بالا – پایین به آهستگی ویبراتور خارج شود. نفوذ سریع ویبراتور سبب می‌شود تا بتن به طرف بالا و خارج حرکت کرده و هوا خارج می‌شود. در زمانی که ویبراتور به آهستگی خارج می‌شود، هوای بالای ویبراتور به طرف بالا رانده می‌شود و از طرف دیگر، باعث جاری شدن ملات به صورت یکنواخت می‌شود. ضمناً در بتن‌هایی سفت جای میله ویبراتور به این ترتیب پر می‌شود.
٤. لرزاننده باید به صورت عمودی و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود و از خواباندن لرزاننده به صورت کاملاً مایل یا افقی پرهیز شود، مگر برای دال‌ها با ضخامت بیش از ۱ متر و قطر خرطومی مناسب. فواصل مورد نظر بر اساس شعاع عمل لرزاننده تعیین می‌شود. از طرف دیگر، شعاع‌های عمل باید تا چند سانتیمتر یکدیگر را پوشش دهند. معمولاً این فاصله ۱/۵ برابر شعاع عمل لرزاننده توصیه می‌شود. این فاصله برای لرزاننده‌های تا قطر ۷۵ میلیمتر بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلیمتر است و به قطر لرزاننده و نوع بتن مورد استفاده بستگی دارد.

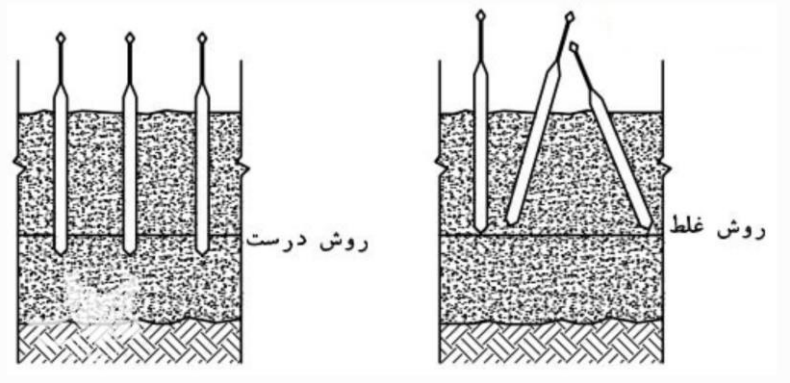
۵-هنگامی که لایه قبلی بتن، حالت خمیری دارد و هنوز به مرز گیرش اولیه آن نزدیک نشده است، لرزاننده باید به مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر به داخل لایه قبلی نفوذ کند

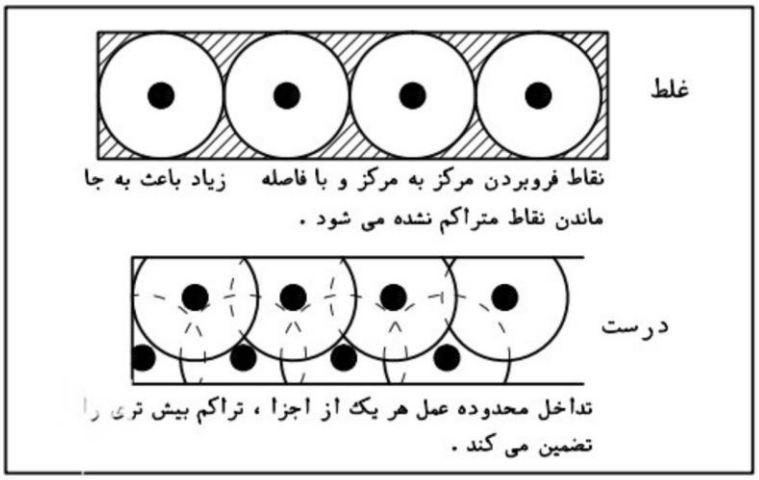
۵. لرزاننده نباید با سطح قالب و میلگرد تماس داشته باشد، زیرا ممکن است باعث صدمه زدن به سطح قالب شود و یا سبب لرزش میلگردها در بتن قبلی که در حال گیرش می‌باشند، گردیده و موجب کاهش پیوستگی بتن و میلگرد شود. همچنین لرزش قالب در قسمت‌هایی که بتن آن در حال گیرش است، می‌تواند به نمای قسمت سطحی آسیب رساند.

۶. لرزاننده نباید برای حرکت جانبی و هل دادن بتن استفاده شود، 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 شود و از هر گونه حرکت جانبی اجتناب شود.

۷. به عنوان یک قانون کلی، هر چه سنگدانه‌ها بزرگتر باشند و کارایی (اسلامپ) کمتر باشد، نیاز به ویبراتوری با قطر بزرگ احساس می‌شود. معمولاً قطر ۲/۵ سانتیمتر برای مقاطع پر میلگرد و کوچک استفاده می‌شود. در چنین مواردی، دامنه نوسان ویبراتور کم بوده و قدرت تراکم نسبتاً کاهش می‌یابد.

۸. هنگام که لایه قبلی بتن





جدول ت ۷-۳ محدوده مشخصات لرزاننده‌های داخلی و عملکرد آن‌ها

گروه	قطر mm	فرکانس پیشنهادی[1]، Hz	دامنه نوسان متوسط، mm	شعاع عمل [2و3]، mm	نرخ ریختن بتن[3و4]، m^3/h	کاربرد
۱	۴۰-۲۰	۲۵۰-۱۵۰	۰/۸ - ۰/۴	۱۵۰-۷۵	۴-۱	بتن روان و پلاستیک در اعضای نازک و کم ضخامت و محل‌های محصورشده. ممکن است به عنوان مکمل لرزاننده‌های بزرگتر به ویژه در کارهای پیش‌تنیده جایی که کابل‌ها و جای دریچه‌ها در قالب‌ها تراکم ایجاد می‌کنند. همچنین برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی به کار می‌رود.
۲	۶۵-۳۰	۲۱۰-۱۴۰	۱ - ۰/۵	۲۵۰-۱۲۵	۸-۲	بتن پلاستیک در دیوارهای نازک، ستون‌ها، تیرها، شمع‌های پیش ساخته، دال‌های نازک و در طول درزهای ساختمانی، ممکن است به عنوان مکمل لرزاننده‌های بزرگ برای مناطق محدود به کار رود.
۳	۹۰-۵۰	۲۰۰-۱۳۰	۱/۳ – ۰/۶	۳۵۰-۱۷۵	۱۵-۵	بتن سفت و پلاستیک (اسلامپ کمتر از ۸ سانتی‌متر) در ساختآن‌های عمومی نظیر دیوارها، ستون‌ها، تیرها، شمع‌های پیش ساخته و دال‌های سنگین، لرزاننده کمکی در مجاورت قالب‌های بتن حجیم و روسازی‌ها، می‌تواند به صورت گروه لرزاننده‌ها برای عرض کامل روسازی بتنی به کار رود.
۴	۱۵۰-۷۵	۱۸۰-۱۲۰	۱/۵- ۰/۸	۵۰۰-۳۰۰	۳۱-۱۱	بتن حجیم و سازه‌ای با اسلامپ (۵cm) که در مقادیر ($۳m^3$) در قالب های نسبتا" باز در ساختمان‌های سنگین (نیروگاه‌ها، پایه‌های عظیم پل‌هاو پی‌ها)، همچنین لرزاننده کمکی در ساخت سد نزدیک قالب‌ها و اطراف اقلام جاگذاری شده و آرماتورهای فولادی.
۵	۱۷۵-۱۲۵	۱۴۰-۹۰	۲ - ۱	۶۰۰-۴۰۰	۳۸-۱۹	بتن حجیم در سدهای وزنی، پایه‌های بزرگ، دیوارهای حجیم. ۲ یا چند لرزاننده ممکن است همزمان برای لرزاندن مقادیر بتن در حد ($۳m^3$) یا بیشتر در یک زمان در داخل بتن قالب به کار رود.

۱- بر اساس فرکانس در داخل بتن بدست آمده است.
۲- شعاع عمل در بتن کاملا متراکم اندازه‌گیری شده است.
۳-این محدوده‌ها نه تنها قابلیت لرزاننده را نشان می دهد، بلکه تفاوت در کارایی مخلوط، نسبت خروج هوا، یا شرایط دیگری که در ساخت و ساز وجود دارد، را نیز منعکس می‌کند.
۴- فرض بر این است که فاصله قرار دادن ۱- ۱/۵ برابر شعاع نفوذ است و این ویبراتور دو سوم زمان، در بتن قرار می گیرد.

۳-۶- تراکم مجدد

معمولاً تراکم مجدد ۱ تا ۲ ساعت پس از تراکم اولیه و قبل از اینکه بتن به مرز گیرش اولیه نزدیک شود، انجام می‌گردد. این عمل برای بهبود تراکم، پیوستگی بتن و میلگرد، کاهش ترک‌خوردگی و منافذ ناشی از جمع‌شدگی و آب‌آوری بویژه در مورد بتن‌هایی با اسلامپ بیش از ۷۵ میلیمتر مفید است. بنابراین، تراکم مجدد برای تولید بتن با کیفیت بهتر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما اگر با تأخیر زیاد و در حین گیرش اولیه انجام شود، سبب صدمه زدن به بتن و کاهش مقاومت می‌شود. به هر حال تأخیر در

تراکم مجدد به دمای بتن و محیط مجاور و نوع سیمان و بتن بستگی دارد. لرزش مجدد برای بتن‌هایی با اسلامپ کمتر از ۵۰ میلیمتر (رده S1) که به خوبی متراکم شده است توصیه نمی‌شود و ممکن است آثار زیانباری داشته باشد.

۷- پرداخت بتن

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

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

شکل ۲ استفاده از شمشه‌های دارای ویبره برای تراز کردن و متراکم نمودن سطح، به صورت همزمان

شکل ۳ تخته ماله‌کشی با تخته ماله دسته بلند

شکل ۴ مرحله ماله‌کشی

هر گاه آب حاصل از آب آوری بر سطح بتن مشاهده گردید، باید عملیات پرداخت متوقف گردد تا آب از سطح بتن تبخیر شود. معمولاً آب حاصل از آب انداختن پس از ماله‌کشی با تخته ماله 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. ادامه عملیات پرداخت که معمولاً مرحله ماله‌کشی است باید با یک آزمایش ساده انجام گردد. این آزمایش بر این 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 چتایی، 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 لایه 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.

۸- عمل آوری بتن

عمل آوردن فرایندی است که طی آن از افت رطوبت بتن جلوگیری و دمای بتن در حدی رضایت‌بخش حفظ می‌شود. عمل آوردن بتن بر ویژگیهای بتن سخت شده از قبیل میزان نفوذپذیری و مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن اثری بسزا دارد. عمل آوردن باید بلافاصله پس از تراکم بتن آغاز شود تا بتن در برابر عوامل زیانبار مورد محافظت قرار گیرد.

۷-۵-۱-۱ مراقبت به مجموعه تدابیری گفته می‌شود که باعث شود سیمان موجود در بتن به مدت کافی مرطوب بماند بطوریکه حداکثر میزان آبگیری آن، چه در لایه‌های سطحی دانه‌ها و چه در حجم آنها میسر باشد.

۷-۵-۱-۲ محافظت به مجموعه تدابیری اطلاق می‌شود که بموجب آنها از اثر نامطلوب عوامل بیرونی مانند شسته شدن بوسیله باران یا آب جاری، اثر بادهای گرم و خشک، سرد شدن سریع یا یخبندان، لرزش و ضربه خوردن بتن جوان جلوگیری شود.

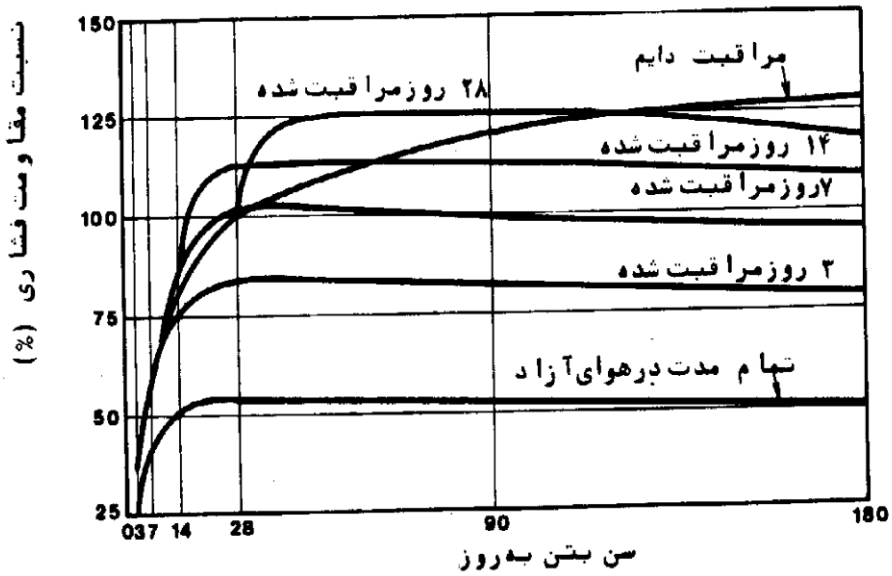
۷-۵-۱-۳ منظور از پروراندن بتن سرعت بخشیدن به گرفتن و سخت شدن آن به کمک حرارت است.

هنگامی که سیمان پرتلند با آب مخلوط می‌شود، فعل و انفعال شیمیایی که به آن هیدراتاسیون می‌گویند، آغاز می‌گردد. پیشرفت و وسعت این واکنش شیمیایی در دوام، مقاومت و وزن مخصوص بتن اثر می‌گذارد. معمولاً مقدار آب موجود در مخلوطهای بتن، بیش از آب مورد نیاز برای تکمیل هیدراتاسیون است، اما به هر حال کاهش آب به علت تبخیر، باعث تأخیر و یا توقف فرآیند هیدراتاسیون می‌گردد.

در چند روز اول، پس از جاگذاری بتن، در درجه حرارت مناسب، هیدراتاسیون نسبتا سریع است. بنابراین حفظ آب بتن، درطول این زمان بسیار با اهمیت است. هنگامی که عمل‌آوردن متوقف شود، کسب مقاومت بتن برای مدت کوتاهی ادامه می‌یابد، ولی پس از آنکه درجه اشباع حفره‌های مویینه داخل بتن به ۸۰ درصد می‌رسد، کسب مقاومت بتن متوقف می‌گردد.

عمل آبگیری در روزهای اول بعد از بتن‌ریزی، بسیار سریع انجام می‌شود، ولی به‌تدریج به‌طور لگاریتمی از سرعت آن کاسته می‌شود. به‌طور مثال، بتن ساخته شده با سیمان پرتلند نوع یک، با نسبت آب به سیمان معادل ۰/۴۹ که در شرایط آزمایشگاهی (دمای ۲۱ درجه و رطوبت نسبی ۹۰%) به عمل آمده، بعد از ۳ روز در حدود ۵۰% و بعد از ۷ روز حدود ۶۰ تا ۷۰%، مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ خود را کسب می‌کند، و بعد از ۳ ماه، فقط حدود ۲۵% به مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ آن افزوده می‌شود. درصد افزایش مقاومت بتنهای ساخته‌شده‌با یک نوع مصالح سنگی و یک‌نوع آب، که درشرایط یکسان به عمل آمده، به نوع سیمان پرتلند و به نسبت آب‌به‌سیمان مخلوط بستگی دارد.

در شرایط کارگاهی، عمل آبگیری تقریبا" همیشه قبل از کامل شدن آن متوقف می‌شود. نمودار ۲، تأثیر مراقبت در میزان افزایش مقاومت فشاری بتن را نشان می‌دهد. در این شکل، نسبت مقاومت فشاری نمونه‌های آزمایش شده به مقاومت فشاری نمونه‌هایی که در طول ۲۸ روز تحت مراقبت قرار داشته‌اند، روی محور عرضها نشان داده شده است. هریک از منحنیها، حدود تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌هایی از بتن را که به‌تعداد روزهای معینی پس از ساخت تحت مراقبت قرار گرفته، نشان می‌دهد.



نمودار ۲. تأثیر طول مدت مراقبت روی مقاومت فشاری بتن

آب از عوامل اصلی انجام عمل آبگیری است و باید مراقبت شود تا بتن خشک نشود و آب همیشه درجسم بتن موجود باشد. لذا در وهله اول، مراقبت می‌شود تا آب بتن تبخیر نگردد و از هوای گرم، بادوسایرعواملی که در تبخیر آب بتن مؤثر هستند، محافظت شود. به این منظور، سطح بتن با پوششهایی‌مانند نایلون، گونی، حصیر، کرباس، و کاه یا برگ خیس پوشانده می‌شود. در وهلهٔ دوم، آب به جسم بتن رسانده می‌شود.

علاوه برتأمین آب ، باید شرایط لازم دیگری برای تسهیل و تسریع واکنش شیمیایی تأمین شود . یکی از عوامل بسیار مهم و موءثر ، دمای جسم بتن است . عمل ترکیب شیمیایی آب با سیمان ، در دمای ۱۰ـ درجهٔ سانتیگراد کاملا" متوقف می‌شود و در دمای ۵+ درجه کند ، در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد خوب و در درجات بالاتر شدت می‌یابد .

۸-۱- مدت زمان عمل آوری بتن

مدت مراقبت به عواملی نظیر نوع سیمان، مقاومت مورد نظر، نسبت سطوح نمایان به حجم، شرایط آب و هوایی در هنگام ساختن با نسبت آب به سیمان و ریختن بتن بستگی دارد.

جدول ۷-۶ حداقل مدت عمل‌آوری برای رده‌های مختلف عمل‌آوری با توجه به دمای سطح بتن و روند کسب مقاومت آن (۱)

دمای متوسط سطح بتن (درجه سلسیوس)	حداقل مدت عمل‌آوری بر حسب روز برای روندهای کسب مقاومت بتن								
	سریع (تند) r ≥۰/۵			متوسط ۰/۵ > r ≥۰/۳			کند (آهسته) ۰/۳ > r ≥۰/۱۵ (۲)		
	رده ۲	رده ۳	رده ۴	رده ۲	رده ۳	رده ۴	رده ۲	رده ۳	رده ۴
t ≥ ۲۵	۱	۲	۳	۲	۳	۵	۳	۵	۶
۲۵ > t ≥ ۱۵	۱	۲	۵	۳	۴	۹	۵	۷	۱۲
۱۵ > t ≥ ۱۰	۲	۳	۷	۴	۷	۱۳	۸	۱۲	۲۱
۱۰ > t ≥ ۵	۳	۴	۹	۵	۹	۱۸	۱۱	۱۸	۳۰

r: نسبت مقاومت فشاری ۲ روزه به ۲۸ روزه

t: دمای متوسط سطح بتن

(۱) چنانچه دمای متوسط روزانه در مدت عمل‌آوری بیش از ۳۰ درجه سلسیوس شود، استفاده از حداقل مدت زمان عمل‌آوری ارایه شده، محافظه‌کارانه می‌باشد.

(۲) چنانچه رشد مقاومت بتن کندتر باشد لازم است از شیوه‌های مستقیم یا غیرمستقیم برای دستیابی به درصدی از مقاومت ۲۸ روزه مورد نظر استفاده نمود.

توصیه می‌شود در دمای متوسط روزانه ۲۰ درجه سانتیگراد ، آب‌پاشی بتن در ۳ شبانه‌روز اول دست‌کم ۳ بار در روز و یک‌بار در شب انجام شود و بعد از آن ، ۴ روز دیگر دست‌کم ۳ بار در روز آب‌پاشی شود .در دمای بالاتر و هوای خشک ، فواصل آب‌پاشی به نسبت کوتاهتر می‌شود . علاوه بررساندن مداوم آب به‌جسم بتن ،باید به وسیله کرباس، گونی ، نایلون ، برگ ، کاه و نظایر آنها ، بتن را از تابش مستقیم آفتاب و وزش باد حفظ نمود و روی آنها را به‌طور مداوم آب‌پاشی کرد . ظهور غیرعادی ترک در سطح بتن ، نمایانگر مراقبت ناکافی از بتن است و در چنین شرایطی باید به شدت مراقبت و محافظت افزوده شود .

۸-۲- روش‌های مراقبت از بتن (عمل آوری رطوبتی)

ایجاد حوضچه و غوطه‌ورسازی: ایجاد حوضچه برای سطوح افقی، مانند دالها مناسب است. در پیرامون دال، لبه‌هایی ساخته می‌شود و در درون این حوضچه آب قرار می‌گیرد. آب درون حوضچه نباید بیش از ۱۲°C سردتر از بتن باشد. همچنین می توان (قطعات پیش ساخته) را درون آب غوطه‌ور کرد، که در این حالت، ضوابط دمای آب باید رعایت شود.

افشاندن آب: در دمای بیش از $5^{o}C$ + روش افشاندن آب برای عمل آوردن بتن بسیار مناسب است. روند افشاندن آب باید پیوسته باشد، در صورتی که افشاندن با وقفه انجام پذیرد، باعث تروخشک شدن می‌گردد و در نتیجه عارضه پوسته شدن در سطح بتن بروز می‌کند. آب افشانی معمول در برخی از کارگاه‌های کشور ما، علاوه بر ایجاد تر و خشک شدن، باعث شوک حرارتی نیز می‌گردد، زیرا با خشک‌شدن سطح در زیر آفتاب، دمای سطح بتن بالارفته و با پاشیدن آب خنک، مشکل ترک‌خوردگی وجود خواهد داشت.

پوشش‌های خیس: در صورتی که نتوان به طور مداوم با افشاندن آب، سطح بتن را مرطوب نگه داشت، استفاده از پوشش‌های جاذب آب از قبیل چتایی، گونی، گلیم و حصیر برای عمل آوردن بتن توصیه می‌شود. چتایی نو باید قبل از مصرف کاملاً شسته شود تا مواد قابل حل آن پاک شده و قابلیت جذب آن بیشتر گردد. همچنین در صورت استفاده از گونی، که قبلاً حاوی مواد شیمیایی یا شکر و غیره بوده ، لازم است قبل از مصرف، گونی کاملاً شسته شود، زیرا برخی از مواد شیمیایی می‌توانند همراه آب عمل‌آوری، در بتن جوان نفوذ نموده و ضمن اختلال در گیرش بتن ، مقاومت و دوام آن را کاهش دهند. با افزایش وزن چتایی یا سایر پوششهای جاذب، امکان نگهداری آب توسط آن بیشتر می‌شود و نیاز به مرطوب کردن متوالی آن کمتر می‌گردد. در غیر این صورت، بهتر است از دو لایه چتایی استفاده شود. چنانچه ورق پلاستیک بر روی چتایی قرار داده شود، از تبخیر آب چتایی جلوگیری می‌گردد که مشابه عمل آوری عایقی خواهد بود. این نوع پوشش‌ها باید به نحوی روی سطح بتن قرار گیرند که لبه آنها حدود ۱۰۰ میلیمتر روی هم قرار داده شوند، و بلافاصله پس از آنکه بتن به اندازه کافی سخت شد، بر روی سطح قرار داده شوند. اگر زمانی که بتن در حالت خمیری است، پوشش روی آن قرار داده شود، سطح بتن آسیب می‌بیند. پوشش باید تمام سطح بتن را بپوشاند و به طور مداوم خیس نگاه داشته شود.

برای مقاطع کوچک بتن، عمل آوردن بتن با استفاده از خاک، ماسه، خاک اره، کاه و پوشال خیس مناسب است. ضخامت این نوع پوشش‌ها باید حداقل ۵۰ میلیمتر باشد و تمام سطح بتن پوشانده شود و به طور مداوم خیس نگاه داشته شود. ضخامت لایه کاه، ۱۰۰ میلیمتر و پوشال باید حداقل ۱۵۰ میلیمتر باشد و در صورت وزش باد با شبکه سیمی و یا چتایی روی آنها پوشانده شود تا وزش باد سبب پراکنده شدن کاه و یا پوشال نگردد. به طور کلی این نوع پوشش‌ها ممکن است باعث تغییر رنگ سطح بتن شوند و در همه موارد، مانند سطوح قائم امکان به کار گیری از آنها وجود ندارد. شکل ۱، روش عمل‌آوری با پارچه چتایی را نشان می‌دهد.

توصیه می‌شود، پس از اتمام مدت عمل‌آوری رطوبتی، اجازه دهیم پوشش موجود خشک و سپس از روی سطح بتن برداشته شود تا مشکل ایجاد نگردد. این عمل برای مناطقی که باد خیز هستند ضرورت دارد.

ورق پلاستیک یا نایلون: ورق پلاستیک وزن بسیار سبکی دارد و در رنگهای مختلف، مانند سفید و سیاه موجود است. رنگ سفید برای هوای گرم مناسب است، زیرا نور را منعکس می‌کند و رنگ سیاه برای هوای سرد مطلوب است، زیرا نور را جذب می‌کند. ورق پلاستیک معمولاً از نوع پلی اتیلن است. ورق پلاستیک باید کاملاً سطح بتن را بپوشاند و لبه بالای آن حدود ۱۰۰ میلیمتر روی هم قرار گیرد و قطعات چوب بر روی آن قرار داده شود تا ورق کاملاً در تماس با سطح بتن باشد، و وزش باد سبب بلند کردن و حرکت آن نگردد. احتمال دارد که ورق پلاستیک باعث تغییر رنگ و ظاهر سطح بتن گردد به خصوص اگر ورق چروکیده باشد. در این صورت اگر یکنواختی رنگ و ظاهر سطح بتن اهمیت دارد، باید از روشهای دیگری استفاده کرد. تعریق و چکه کردن آب ناشی از تبخیر سطح بتن می‌تواند به ظاهر بتن آسیب رساند.

مواد محافظ

ترکیبات عمل‌آوری به صورت مایع است که بر روی سطح بتن پاشیده یا مالیده می‌شود و با ایجاد یک غشاء از تبخیر آب بتن جلوگیری می‌کند. این محلولها از اختلاط رزینهای مصنوعی و طبیعی با حلال تشکیل شده است. پس از اعمال ترکیبات عمل‌آوری بر سطح بتن، حلال تبخیر شده و رزین بر سطح باقی می‌ماند. غشای رزین برای مدت حدود یک تا چهار هفته باقی مانده و بر اثر هوازدگی و نور آفتاب، ترد و شکننده می‌گردد و از سطح بتن جدا می‌شود.

نگهداشتن قالب‌ها

این قالبها می‌توانند از نقطه‌نظر مراقبت وسیله خوبی باشند. قالب‌های فلزی از این نظر خوبند که آب بتن را محبوس نموده و به هیچ وجه اجازه نمی‌دهند که آب از بتن خارج شده و تبخیر شود. لذا تا زمانی که قالب دور ستون است نباید نگران مراقبت از آن بود فقط قسمتهای باز بتن مانند سَرِ ستون باید با گونی خیس یا آب‌پاشی مراقبت شود.

در مورد قالبهای چوبی باید گفت که این قالب‌ها تا حدی آب بتن را جذب کرده از طرف دیگر عبور می‌دهند در مورد این قالب‌ها باید مراقبت ویژه‌ای در نظر گرفته شود، به این صورت که سطح قالب باید آب‌پاشی و خیس گردد (مثلاً روزی یکبار یا یک روز در میان).

۱-۲-۸-ضوابط کنترل روش عمل آوری بتن

ح- روش‌های نگه داری و عمل آوری بتن هنگامی مناسب تلقی می‌شوند که شرایط بندهای (۱) یا (۲) زیر تامین شده باشند:

۱- میانگین مقاومت استوانه‌های عمل آمده در کارگاه، در سن مشخص شده برای تعیین f_c'، باید حداقل ۸۵ درصد میانگین مقاومت استوانه‌های عمل آوری در شرایط استاندارد باشد.

۲- میانگین مقاومت استوانه‌های عمل آوری شده‌ی در کارگاه در سن مورد نظر، ۳/۵ مگاپاسکال بیش از f_c' باشد.

۳-۸- پروراندن بتن (عمل آوری حرارتی)

برای افزایش مقاومت بتن در روزهای اول و محافظت آن، در هوای سرد و جلوگیری از یخ زدن آن می‌توان دمای بتن داخل قطعه را بالا برد. بهترین روش برای این کار، به کارگیری بخار آب است. دمای محیط و بتن بهتر است از حدود ۶۵ ^{o}C بیشتر نشود و عمل بخاردهی پس از گیرش بتن آغاز گردد. روشهای حرارت رسانی خشک با سوزاندن مواد سوختی، نیروی برق و غیره، امکان پذیر است (شکل ۶). ولی به طور کلی باید نکات زیر در آن رعایت شود تا مقاومت و دوام مورد نظر حاصل گردد:

الف – قبل از گیرش بتن گرمادهی انجام نشود.

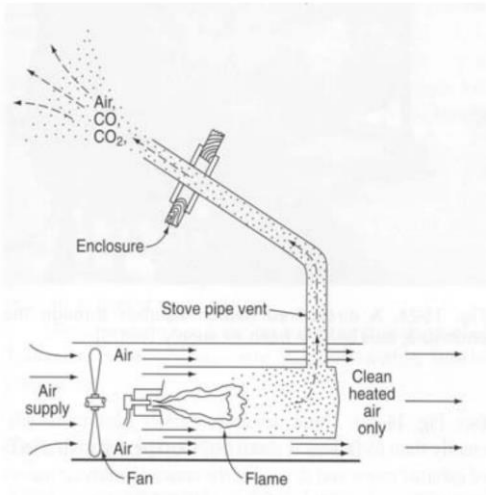
ب – گازهای ناشی از سوختن در مجاورت بتن تازه و یا جوان قرار نگیرد.

پ – خشک‌شدگی در قطعه بتنی به وجود نیاید و گرمارسانی به صورت یکنواخت و غیر متمرکز انجام گردد.

ت – افزایش دمای بتن، در هر ساعت به ۲۰ ^{o}C و کاهش آن نیز در هر ساعت به ۲۰ ^{o}C محدود شود و از بروز شوک حرارتی به بتن جلوگیری گردد. در قطعات حجیم کاهش دمای بتن در هر ساعت به ۱۰ ^{o}C محدود می‌شود.

ج – حداکثر دمای بتن به ۶۵ ^{o}C محدود شود.

چ – با ایجاد عایق حرارتی در سطح بتن می‌توان از افت دمای آن جلوگیری نمود و حتی دمای آن را افزایش داد. قالب چوبی، پشم شیشه، و عایق‌های پلی یورتان و یونولیت، کاه و پوشال و غیره به ضخامت کافی می‌تواند عمل عایق‌بندی را به انجام برساند. باید از به کار بردن مواد عایق یا گرمازا در سطح بتن که دارای مواد مضر باشد، جلوگیری نمود.



۹- بتن ریزی و عمل آوری در هوای سرد

۹-۸-۴-۱ هوای سرد به وضعیتی اطلاق می‌گردد که برای سه روز متوالی، هردوی شرایط (الف) و (ب) برقرار باشد:

الف) دمای متوسط روزانه هوا در شبانه روز کمتر از ۵ درجه سلسیوس باشد. منظور از دمای متوسط روزانه، میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در فاصله زمانی نیمه شب تا نیمه روز است.

ب) دمای هوا برای بیشتر از نصف روز از ۱۰ درجه سلسیوس زیادتر نباشد.

ویرایش جدید مبحث نهم:

۹-۲۲-۵-۴-۱ بتن ریزی در هوای سرد به مواردی اطلاق می‌شود که بتن در دمای محیطی کم‌تر از ۵ درجه‌ی سلسیوس ریخته و نگه داری می‌شود. در این موارد باید تمهیدات خاص، هم برای ریختن و هم برای عمل آوردن، به کار گرفته شوند؛ تا از شرایط یخ زدگی جلوگیری شده و شرایط مناسب برای کسب مقاومت مطلوب تامین شوند.

به طور کلی، در دمای کم، آهنگ کسب مقاومت بتن کاهش می‌یابد و در نتیجه بتن تازه باید در مقابل آثار مخرب یخبندان محافظت گردد. در مواردی که بتن در چند ساعت اول، بعد از بتن‌ریزی و یا قبل از آنکه مقاومت نمونه استوانه‌ای بتن به MPa ۳/۵ برسد، در معرض یخبندان قرار گیرد، مقاومت نهایی بتن ممکن است تا ۵۰ درصد کاهش یابد و بتن دچار آسیب دیدگی جدی گردد. اگر بتن در دمایی کمتر از ^{o}C ۵+ قرار گیرد، فرآیند هیدراتاسیون بسیار کند شده و روند کسب مقاومت بتن عملاً متوقف می‌گردد.

آب خالص در صفر درجه یخ می‌زند، اما آب در داخل بتن به علت وجود املاح مختلف، دارای نقطه انجماد کمتری است و زمانی که آب در بتن یخ می‌زند، حجم آن حدود ۹ درصد بیشتر می‌گردد. از آنجا که انجماد بتن فرآیند تدریجی است، مقداری آب در منافذ مویین باقی می‌ماند که به علت افزایش حجم یخ، تحت فشار هیدرولیک قرار می‌گیرد. این فشار اگر آزاد نگردد، سبب تنش کشش داخلی شده و در نتیجه سبب ترک خوردگی و خرابی بتن می‌شود. با افزایش تعداد چرخه‌های یخ زدن و آب شدن، بر شدت خرابی بتن نیز اضافه می‌گردد.

۱-۹- دمای بتن در هوای سرد

بتن دراوایل سن خود، نه تنها باید درمقابل یخبندان محافظت گردد، بلکه باید قادر باشد تا در طول عمر مفید خود در مقابل چرخه‌های یخ زدن و آب شدگی، مقاومت نماید. برای آنکه از یخ زدگی بتن تازه جلوگیری شود، دمای بتن در هنگام ریختن آن باید در حد مناسب، و توصیه شده باشد. جدول ۱، حداقل دمای بتن در هنگام ریختن، عمل‌آوری و نگهداری آن را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول مشاهده می‌شود، دمای مناسب بتن با افزایش ضخامت ، کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش سطح مقطع بتن، افت حرارت حاصل از هیدراتاسیون کمتر خواهد بود.

جدول ۱ دمای توصیه شده * بتن در مراحل مختلف ساخت، بتن‌ریزی و نگهداری

دمای هوا °C	حداقل ابعاد مقطع			
	کمتر از ۳۰۰ mm	۳۰۰-۹۰۰ mm	۹۰۰-۱۸۰۰mm	بالای ۱۸۰۰ mm
کمتر از ۵	حداقل دمای بتن درهنگام ریختن و نگهداری °C (۱)			
	۱۳	۱۰	۷	۵
	حداقل دمای بتن در هنگام اختلاط (۲و۳)			
بالای ۱-	۱۶	۱۳	۱۰	۷
۱- تا ۱۸-	۱۸	۱۶	۱۳	۱۰
کمتر از ۱۸-	۲۱	۱۸	۱۶	۱۳

*) حداقل دمای مجاز بتن در هنگام ریختن و عمل آوری نباید از ۵ °C+ کمتر باشد.

۱) حداکثر دمای بتن در هنگام ریختن نباید بیش از ۱۱ °C بالاتر از اعداد مندرج در جدول باشد.

۲) حداکثر دمای بتن پس از اختلاط نباید بیش از ۸ °C بالاتر از اعداد مندرج در جدول باشد.

۳) اعداد ارائه شده در این قسمت با فرض حمل بتن به مدت یکساعت در تراک میکسر چرخان بوده و برای مدت زمان حمل کمتر یا بیشتر می‌توان اعداد فوق را به تناسب تغییر داد، اما توصیه می‌شود، دمای اختلاط از مقادیر حداقل دمای بتن در هنگام ریختن کمتر نباشد.

برای تعیین دمای مخلوط بتن می‌توان مستقیماً از حرارت سنج جیوه‌ای یا هر وسیله مناسب دیگر استفاده کرد.

۲-۹- توصیه های عملی

در زیر توصیه‌های عملی برای بتن‌ریزی در هوای سرد ارائه می‌شود :

ـ در حد ممکن بتن‌ریزی در ساعت ۱۰ صبح شروع شده و در ساعت ۲ بعد از ظهر خاتمه یابد .

ـ از مصالح‌سنگی گرم شده استفاده‌شود . با گرم کردن‌این مصالح ، لایهٔ نازک یخ دور سنگدانه‌ها که از چسبیدن خمیر سیمان به دور آنها جلوگیری می‌کند ، از بین رفته و علاوه بر آن دمای بتن ساخته شده نیز افزایش خواهد یافت . دمای مصالح سنگی نباید بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد باشد . مصالح سنگی را معمولا " با بخار آب گرم می‌کنند .

ـ از آب گرم برای ساختن بتن استفاده شود . دمای آب نباید بیشتر از ۷۰ درجه سانتیگراد باشد ، زیرا آب گرمتر از ۷۰ درجه سانتیگراد برق آسا با سیمان ترکیب می‌شود .

ـ از سیمان پرتلند نوع ۳ (زودگیر) ،برای ساختن بتن استفاده‌شود تا زمان مراقبت اولیه کاهش یابد .در صورت استفاده از سیمان معمولی ، می‌توان با افزایش مقدار سیمان ، سرعت کسب مقاومت را افزایش داد .

ـ از مواد افزودنی برای زودگیر کردن‌بتن استفاده شود و با بهره‌گیری از مواد افزودنی‌مناسب نسبت به افزایش کارآیی ، اقدام گردد .استفاده از مواد افزودنی برای ایجاد حبابهای ریز هوا ، بسیار مفید خواهد بود .یادآوری می‌شود که استفاده از کلرور کلسیم"برای زودگیر کردن بتن ، مجاز نیست .

ـ دستگاههای ساخت [illegible] و لوله‌های پمپ ، باید با عایق مناسب پوشانده شوند و جامها و ناوه‌ها گرم شوند ، ولی دمای آنها نباید از ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد بیشتر باشد .

ـ روانی بتن در کمترین حد ممکن باشد .

ـ حمل بتن در کوتاهترین زمان ممکن انجام شود و پیش بینیهای لازم برای جلوگیری از تأخیرهای مربوط به زمان بارگیری و تخلیه ، به طور کامل انجام شود .

ـ محلهای بارگیری و تخلیه ، در مقابل وزش باد محافظت شود .

ـ تراک میکسرها و جامها با رنگ تیره رنگ شوند و از جامهای در پوشدار استفاده گردد تا از هدر رفتن حرارت بتن تازه جلوگیری شود .

در دمای زیر صفر ، اگر آب بتن تازه قبل از سفت شدن آن (تبدیل از حالت خمیری به حالت جامد) یخ بزند ، بسیار خسارت‌بار خواهد بود . در این حالت ، مولکولهای یخ در اثر افزایش حجم ، دانه‌های سنگ را از هم جدا خواهند نمود و بعد از رفع یخبندان ، تودهٔ بتن از هم خواهد پاشید . بهترین راه‌حل برای کاهش خسارت بتن یخ‌زده‌دراین‌حالت ، ریختن آب گرم به مقدار زیاد در سطح بتن یخ زده و تأمین دمای بالاتر از ۱۰+ درجه سانتیگراد در محیط بتن ، به مدت ۷ روز است . با انجام این کار ، در اکثر مواقع کیفیت بتن به

۳-۹- مواد افزودنی در بتن ریزی در هوای سرد

۱-۳-۹-مواد حباب زا

یکی دیگر از روشهای جلوگیری از صدمه خوردن بتن، ناشی از یخ‌زدن و آب شدگی، استفاده از ماده افزودنی حباب ساز است. این ماده محافظت از بتن را در سن اولیه و همچنین در دوران بهره‌برداری انجام می‌دهد. حباب هوا که بر اثر استفاده از ماده افزودنی در بتن ایجاد می‌گردد با حباب هوای ناخواسته که در نتیجه تراکم نامطلوب بتن به وجود می‌آید، تفاوت دارد.

۲-۳-۹-مواد زودگیر کننده

مواد افزودنی زود گیر کننده که به غلط در بازار به مواد ضد یخ بتن یا سیمان نامیده می‌شود، می‌تواند سرعت هیدراتاسیون در بتن را افزایش داده و در طول مدت کمتر، مقاومت بیشتری را کسب نماید، به شرط آنکه دمای مناسب (بالاتر از $+5\ ^{o}C$) فراهم شده باشد. با مصرف این مواد به میزان توصیه شده عملاً تغییر چشمگیری در نقطه انجماد آب حاصل نمی‌گردد و بتن مصون از یخ زدن نمی‌باشد. بنابراین نباید تصور کرد که مصرف این مواد جایگزین روش توصیه شده برای ساخت بتن و ریختن و عمل آوری آن می‌گردد. همچنین باید متذکر شد که مصرف مواد افزودنی زودگیر کننده، مانند مصرف سیمان پرتلند نوع ۳ و مصرف سیمان بیشتر ($50\ kg/m^3$) کاملاً اختیاری است و بدین ترتیب، زمان عمل آوری برای جلوگیری از خسارت ناشی از یخبندان زود هنگام و دستیابی به مقاومت بیشتر در مدت کوتاه‌تر کاملاً مفید است. مسلماً باید از موادی استفاده نمود که منطبق با استانداردهای معتبر بوده، و در مقاومت‌های دراز مدت و دوام بتن، اثر نامطلوب بیش از حد مجاز باقی نگذارد. بنابراین قبل از مصرف هر نوع ماده افزودنی باید از عملکرد مناسب آن (با آزمایش) اطمینان حاصل نمود.

۴-۹- محافظت پس از بتن ریزی

خطر جدی در زمانی رخ می‌دهد که آب بتن تازه جایدهی شده یخ بزند. در چنین حالتی ممکن است بتن یخ زده با بتنی که گیرش معمولی دارد، اشتباه شده و عمل قالب برداری انجام گردد و در هنگام فرآیند آب شدن، امکان فروپاشی وجود دارد. برای اجتناب از آن، در هیچ مورد نباید دمای بتن در قالب کمتر از $5\ ^{o}C$ باشد و تا زمانی که بتن سخت گردد، این دما باید حفظ شود. تحقیقات نشان می‌دهد که وقتی مقاومت نمونه استوانه‌ای به $5\ MPa$ می‌رسد، مقاومت لازم در مقابل آسیب دیدگی ناشی از یخ زدن را

کسب کرده است. به طور کلی اگر برای ۴۸ ساعت دمای بتن بیشتر از $5\ ^{o}C$ حفظ شود، مقاومت مذکور را کسب می‌کند. روشهای مختلف محافظت بتن، پس از جایدهی شامل پوشش مناسب یا حرارت دادن در فضای مسدود است. اعضای نازک بتن، نیاز به محافظت طولانی مدت تری دارند، اما بتن‌های حجیم به خصوص در سن اولیه نیاز به محافظت ندارند (به شرطی که دمای هیدراتاسیون جبران کننده دمای بتن باشد). درهنگام هوای سرد باید از عمل‌آوری با آب اجتناب و به روش عایقی (استفاده از پوشش برای جلوگیری از تبخیر آب) اکتفا کرد. درعمل‌آوری حرارتی (پروراندن) نباید خشک‌شدگی موضعی حاصل شود و گازهای حاصل از سوزاندن مواد مختلف در تماس با بتن جوان و نارس قرار گیرد. استفاده از بخار آب در عمل‌آوری حرارتی امکان رطوبت رسانی را فراهم می‌آورد.

۱۰- بتن ریزی و عمل آوری در هوای گرم

به طور کلی اگر دمای بتن بیشتر از $۳۲^{o}C$ باشد، هوای گرم محسوب می‌گردد و باید از تمهیدات ارائه شده در این فصل استفاده شود. در شرایط هوای گرم، لازم است از بتن‌ریزی خودداری گردد. در چنین مواردی بهتر است به جای ساخت بتن و بتن‌ریزی در اواسط روز، در اوایل صبح و یا شب هنگام، بتن‌ریزی انجام گردد.

هوای گرم آثار نامطلوب در بتن تازه و سخت شده دارد و چنانچه تمهیدات خاص اعمال نگردد، کیفیت مورد نظر بتن حاصل نمی‌شود. آثار نامطلوب هوای گرم در بتن تازه (خمیری) به شرح زیر است:

الف – افزایش سرعت افت اسلامپ که متعاقب آن، تمایل به افزودن آب به مخلوط در کارگاه نیز افزایش می‌یابد.

ب – افزایش سرعت گیرش بتن و درنتیجه، مشکلاتی مثل انتقال، پرداخت و عمل‌آوری بتن پیش می‌آید و امکان به وجود آمدن درز سرد افزایش می‌یابد.

پ – احتمال ترک خوردگی پلاستیک افزایش می‌یابد.

ت – کنترل حباب هوای ایجاد شده (توسط مواد حباب زا) در بتن تازه مشکل می‌گردد.

آثار نامطلوب هوای گرم در بتن درحالت سخت شده، شامل موارد زیر است:

الف – افزایش مقدار آب مخلوط بتن سبب کاهش مقاومت بتن می‌گردد.

ب – افزایش دمای بتن باعث کاهش مقاومت درازمدت بتن می‌شود. به طور کلی هوای گرم سبب افزایش مقاومت فشاری زود هنگام بتن می‌گردد، اما مقاومت نهایی کمتر از مقاومت بتن در شرایط معمولی خواهد بود.

پ – احتمال ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (از نوع خشک شدگی) افزایش می‌یابد.

ت – به دلیل افزایش نسبت آب به سیمان (به دلیل تمایل افزودن آب مخلوط) دوام بتن کاهش می‌یابد.

ث – نفوذپذیری بتن به دلیل رشد سریع بلورهای حاصل افزایش می‌یابد.

ج – کاهش پیوستگی بین بتن و میلگرد به وجود می‌آید.

چ – احتمال خوردگی میلگردهای بتن در شرایط خورنده (به ویژه در سواحل جنوب کشور) افزایش می‌یابد.

ح – نمای بتن دچار تغییر رنگ شده و ظاهر آن به دلایل مختلف از جمله ایجاد درز سرد، نامطلوب می‌گردد.

۱-۱۰- توصیه های عملی

ـ بتن‌ریزی در گرمترین ساعت روز باید متوقف شود و در صورت امکان در شب انجام گیرد .
ـ برای ساختن بتن ، از سیمای پرتلند نوع ۴ که کندگیرتر از سیمان پرتلند نوع ۱ است ، استفاده شود .
ـ در ساختن بتن ، از آب سرد استفاده شود . برای پایین آوردن دمای آب می‌توان از یخ استفاده کرد ، ولی هرگز نباید یخ را به طورمستقیم در دستگاه بتن ساز ریخت .

ـ مصالح سنگی از تابش مستقیم آفتاب محافظت‌شوند تا دمای آنها بیش از حد نباشد .با آب‌پاشی کردن‌می‌توان دمای مصالح سنگی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد .

ـ از مواد افزودنی برای حصول روانی بیشتر استفاده شود .
ـ دمای بتن به هنگام بتن ریزی ، نباید از ۳۰ درجه سلسیوس تجاوز کند . لازم به یادآوری است که دمای‌بتن هنگام بتن‌ریزی ، هرچه پایینتر باشد (تا ۴ درجهٔ سلسیوس) ، مقاومت نهایی آن بیشتر خواهد بود .

ـ از مصرف سیمان گرمتر از ۷۵ درجه سلسیوس خودداری شود . سیمان ممکن است در اثر تابش آفتاب گرم شود و یا اینکه به علت نزدیکی فاصلهٔ کارخانه تولید سیمان تا محل کارگاه ، سیمان تحویل شده به کارگاه ، به‌حد کافی سرد نشده باشد .

ـ روانی بتن در بالاترین حد خود باشد .
ـ دستگاههای تولید بتن و لوله‌های پمپ و جامهای بتن ، از تابش آفتاب محفوظ بمانند و با رنگ سفید ، رنگ شوند . آب‌پاشی قسمتهایی که درمجاورت قرار دارند مفید خواهد بود .تراک‌میکسرها به رنگ سفید رنگ‌شوند .

ـ سطح قالبها و بلوکها قبل از بتن ریزی به حد وفور آب‌پاشی شوند .
ـ حمل و بتن‌ریزی در کوتاهترین زمان ممکن انجام شود .
ـ از پوششهایی مانند نایلون ،حصیر ، گونی ،کاه و یا برگ خیس برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب استفاده شود .

روی سطح میلگرد، قالبها و سطح زمین باید آب پاشی شود(شکل ۲) تا دمای سطوح کاهش یابد، اما نباید بر روی سطوح مذکور، آب اضافی باقی بماند. مسلماً در هوای مرطوب به جهت کاهش تبخیر این عمل اثر مثبت چندانی نخواهد داشت مگر برای آب‌پاشی از آب خنک استفاده نماییم.

در حدود نیم ساعت پس از پرداخت سطح بتن، باید سطح بتن با پوشش نایلون پوشش داده شود. قرار دادن پوشش تا مدت ۴ تا ۵ ساعت ضروری است، اما باید اطمینان حاصل گردد که جریان هوا در زیر پوشش وجود دارد، در غیر این صورت، دمای بتن افزایش می‌یابد.

۱۱- انواع درز در بتن

۱-۱۱- درز سرد

د – در صورتی که فاصله زمانی بین بتن‌ریزی جدید و لایه قبلی طولانی باشد، برای اجتناب از بروز درز سرد باید به چند مورد توجه شود. درز سرد به معنی این است که پیوستگی مطلوب بین لایه قبلی بتن و لایه جدید بتن وجود نداشته باشد.

به منظور جلوگیری از بروز درز سرد باید از ضخامت لایه‌های بتن ریزی کاسته شود، از سیمان‌های کندگیر و یا مواد دیرگیر کننده استفاده شود. همچنین می‌توان با خنک کردن بتن، زمان گیرش را افزایش داد تا احتمال ایجاد درز سرد کم شود. یکی از راه‌های ایجاد درز سرد بویژه در شالوده‌ها یا دیوارها، کاهش فاصله درزهای اجرایی (ساخت) است. این کاهش باید با تأیید طراح و دستگاه نظارت انجام گیرد که مستلزم رعایت ضوابط مربوط است.

در صورت بروز درز سرد باید سطح لایه قبلی بتن، با ابزار مناسبی زبر گردد. اگر آخرین لایه بتن‌ریزی با توجه و آگاهی توقف بتن‌ریزی در روز انجام می‌شود، عملیات زبر کردن سطح بسیار آسان خواهد بود، زیرا به راحتی می‌توان روی سطح بتن تازه، ایجاد شیار کرد. اما اگر بتن سخت شده باشد، باید زبر کردن سطح بتن توسط ابزاری، مانند تیشه انجام شود. از طرف دیگر باید شرایط رطوبت لایه قبلی در حالت اشباع با سطح خشک باشد. برای رساندن شرایط رطوبت به این حالت، باید بسته به شرایط رطوبت محیط و شرایط رطوبت بتن قدیم، از چند ساعت قبل از بتن‌ریزی، نسبت به آب پاشی بتن قبلی اقدام کرد. اما در زمان بتن‌ریزی لایه جدید، سطح بتن قدیم باید عاری از آب اضافی باشد. همچنین روی سطح بتن قدیم باید کاملاً تمیز و پاک باشد. چنانچه سنگدانه‌هایی سست بر روی سطح بتن قدیم مشاهده می‌شود باید از بتن قدیم جدا شود.

همچنین توصیه می‌شود، به منظور ایجاد پیوستگی بیشتر بین بتن قدیم و جدید، اولین پیمانه بتن جدید که روی بتن قدیم قرار می گیرد، حتی‌الامکان ریزدانه‌تر، دارای عیار سیمان و اسلامپ بیشتری باشد ولی نباید تغییر زیادی در مشخصات بتن از نظر مقاومت و دوام ایجاد شود.

۲-۱۱- درزهای اجرایی

در بعضی از موارد امکان بتن‌ریزی یک عضو سازه‌ای در یک نوبت وجود ندارد. همچنین طبق توصیه آیین‌نامه‌ها، گاه لازم است بین اجرای اعضای قائم و افقی فاصله زمانی رعایت گردد. در چنین مواردی از درز ساخت استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، درز ساخت، سطح بتن سخت شده‌ای است که در تماس با بتن تازه قرار می‌گیرد.

در محل درز ساخت بین بتن قدیم و بتن تازه باید پیوستگی ایجاد نمود. رعایت مواردی به شرح زیر باعث افزایش مقاومت پیوستگی بین بتن قدیم و بتن تازه می‌شود:

الف – تمام مواد زاید، گردوخاک و روغن باید از سطح بتن قدیم پاک گردد. برای پاک‌کردن سطح می‌توان از برس، هوای فشرده و یا آب با فشار زیاد استفاده کرد و در صورتی که آلوده به مواد روغنی باشد باید با استفاده از حلال مناسب پاک گردد. احتمال دارد که به دلیل آب انداختگی بتن، یک لایه ضعیف از خمیر سیمان در سطح بتن قدیم مشاهده گردد که جدا کردن این لایه با ابزار ذکر شده ضروری است.

ب – سطح بتن قدیم باید زبر و ناهموار گردد. روش موثر برای زبر کردن سطح بتن، استفاده از برس زدن است که ۲ تا ۴ ساعت پس از اتمام تراکم باید انجام شود. وقتی نوک سنگدانه‌های درشت بیرون از سطح بتن قرار می‌گیرند نشان دهنده زبری مناسب است. اگرعملیات زبر کردن به روز بعد از بتن‌ریزی موکول شود، نیاز به کار زیاد خواهد داشت، بنابراین بهتر است زبر کردن در روز بتن‌ریزی و در ساعات اولیه گیرش انجام شود.

پ – بعد از آماده سازی سطح بتن قدیم و چند ساعت قبل از بتن‌ریزی، باید سطوح درزهای اجرایی با آب کاملاً اشباع شوند، اما باید صبر کرد تا آب اضافی روی سطح خشک شود و یا با استفاده از هوای فشرده، آب اضافی را از سطح زدود.

شرایط رطوبت بتن قدیم در مقاومت پیوستگی اثر مهمی دارد. شرایط رطوبت بتن قدیم باید در حالت اشباع با سطح خشک باشد. به عبارت دیگر، درون بتن باید مرطوب، اما سطح آن خشک باشد. برای رساندن بتن قدیم به این حالت، بسته به شرایط دما و رطوبت محیط، باید از چند ساعت تا دو روز قبل از بتن‌ریزی جدید، بر روی سطح بتن قدیم آب‌پاشی گردد. اما در هنگام بتن‌ریزی جدید، باید سطح بتن قدیم عاری از آب اضافی باشد.

به طور کلی امتداد درز اجرایی باید عمود بر امتداد تنش‌های عضو باشد. برای ایجاد درز در تیرها باید از قالب موقت مخصوص استفاده نمود. در تیرهای عمیق یا شالوده‌ها می‌توان از درز به شکل پلکانی یا دارای کلید برشی (کاو و زبانه) بهره گرفت.

به جای قالب موقت می‌توان از توری با چشمه‌های ریز یا از رابیتس استفاده کرد که باید به وسیله یک شبکه میلگرد در محل مورد نظر نگهداری شود. در این صورت باید از ریختن بتن شل در پشت قالب موقت و لرزاندن طولانی بتن مجاور آن خودداری گردد. رابیتس در توده بتن باقی می‌ماند یا در صورت لزوم به موقع کنده می‌شود، ولی توری باید در ساعات اولیه پس از گرفتن بتن کنده شود تا سطح حاصل بتواند پیوستگی خوبی با بتن بعدی داشته باشد. در صورتی که از رابیتس باقی مانده در توده بتن به عنوان قالب موقت استفاده شود، باید بلافاصله پس از گرفتن بتن، دوغابی را که از سوراخهای رابیتس گذشته و در پای آن جمع شده است کند و آثار آن را کاملاً تمیز نمود.

ب – در صورتی که نیاز به پیوستگی بیشتر بین سطوح محل درز باشد می‌توان از میلگرد آجدار (داول) استفاده کرد. معمولاً این روش برای دال‌های کف مناسب است به خصوص در مواردی که دال بار زیادی را تحمل می‌کند، مانند کف سالن‌های صنعتی و یا محوطه‌ای که محل آمدوشد ترافیک است. در جدول ۱، مشخصات میلگرد آجدار را برای تعبیه در درز ساخت نشان می‌دهد.

جدول ۱ مشخصات و فواصل میلگرد اتصال (داول) در درز ساخت

ضخامت دال(mm)	قطر میلگرد آجدار (mm)	طول میلگرد (mm)	فاصله میلگرد (mm)
۱۲۰–۲۰۰	۱۲	۷۵۰	۷۵۰
۲۳۰–۳۲۰	۱۶	۷۵۰	۷۵۰

پ – برای نصب میلگردها، ابتدا باید در قالب حفره‌هایی با فواصل مورد نظر ایجاد کرد و سپس میلگردها در داخل حفره‌ها جاسازی شود به صورتی که نصف طول میلگردها درطرفین قالب قرار بگیرد. سپس بتن‌ریزی انجام می‌گردد. به این صورت، در زمان قالب برداری، نصف طول میلگردها خارج از بتن ساخته شده قرار می گیرند.

۱-۲-۱۱- موقعیت قرارگیری درزهای اجرایی

درز ساخت در تیرها بهتر است در محلی که کمترین تنشها و بویژه نیروهای برشی وجود دارد، ایجاد شود.

۹–۸–۹ ایجاد درزهای اجرایی کفها باید در ثلث میانی دهانه دالها و تیرهای اصلی و فرعی قرار گیرند. در تیرهای اصلی فاصله هر درز اجرایی تا تیر فرعی متقاطع با آنها نباید از دو برابر عرض تیر فرعی کمتر باشد.

۳-۱۱- درز انقباض (جمع شدگی)

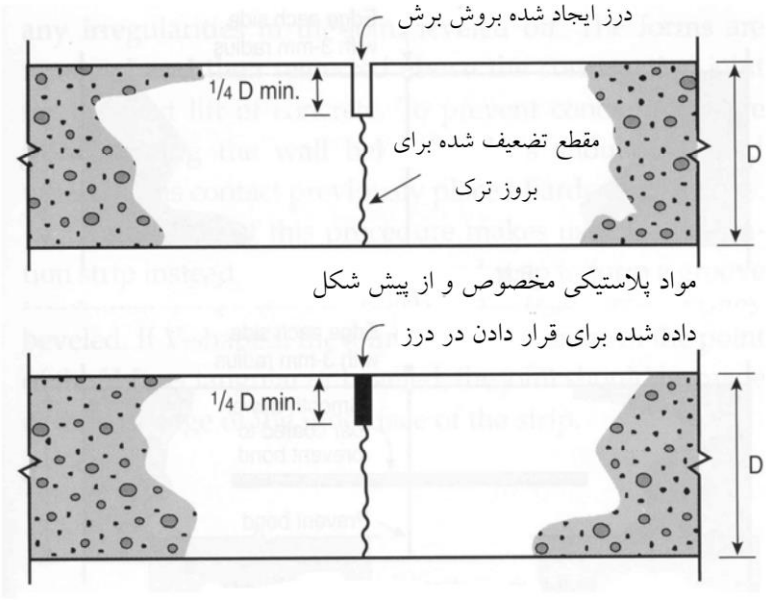
معمولاً بتن، تحت جمع‌شدگی خمیری و خشک شدگی قرار می‌گیرد و چنانچه جمع‌شدگی تحت قید قرار بگیرد، بتن احتمالاً ترک می‌خورد. برای جلوگیری از بروز ترکها در سطح بتن، درزهای انقباض تعبیه می‌شود. در مواردی که میلگرد به اندازه کافی در عضو بتنی در نظر گرفته شده باشد تا تنش‌های جمع‌شدگی را تحمل کند، نیاز به درز انقباض نیست. در چنین مواردی، میلگرد از تشکیل ترکهای قابل رؤیت جلوگیری می‌کند.

منظور از ایجاد درزهای انقباض (کنترل یا جمع‌شدگی)، تعیین محلهایی از قبل پیش بینی شده برای بروز ترکهاست. به عبارت دیگر، چنانچه درزهای انقباض در عضو بتنی ایجاد نگردد و یا در فواصل نادرست اجرا شود، ترکها در محلهای نامشخص به وجود می‌آیند. با ایجاد درزهای انقباض، یک منطقه ضعیف ایجاد می‌گردد که ترکهای جمع‌شدگی در همان محلها شکل می‌گیرند.

الف – برای ساخت درزهای انقباض می‌توان از وسیله دستی لبه‌زن استفاده نمود. اره ماشینی، وسیله دیگری برای ساخت درزهای انقباضی است، ولی عمل برش هنگامی باید آغاز گردد که بتن سخت شده باشد، در غیر این صورت، باعث جابجایی سنگدانه‌ها می‌گردد(شکل ۱).

شکل ۱ استفاده از دستگاه برش برای ایجاد درز

ایجاد درزهای انقباض در بتن تازه نیز با استفاده از نوارهای پلاستیکی، فلزی و چوبی امکان‌پذیر است. برای نصب نوارها، یک شیار به وسیله ماله و یا شیارزن در بتن تازه ایجاد کرده و سپس نوارها در آن شیار گذاشته می‌شود. پس از اتمام عملیات ایجاد درزها، باید با استفاده از ماده درزگیر، نسبت به پر کردن درزها اقدام نمود(شکل ۲). با پر کردن درزها، از لبه‌های درز محافظت شده و عبور ترافیک (آمد و شد) بدون اشکال انجام می‌گردد.



شکل ۲ درز ایجاد شده به وسیله برش و پر کردن آن با نوارهایی از جنس پلاستیک

ب – فاصله درزهای انقباض معمولاً بین ۲۴ تا ۳۶ برابر ضخامت دال است. برای تعیین فاصله تقریبی درزها به جدول ۱ مراجعه شود. فاصله درزهای انقباض به اسلامپ، حداکثر اندازه سنگدانه شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها، نسبت آب به سیمان، عیار و نوع سیمان بستگی دارد و بهتر است فواصل درزها را به مراتب کمتر از جدول زیر در نظر گرفت.

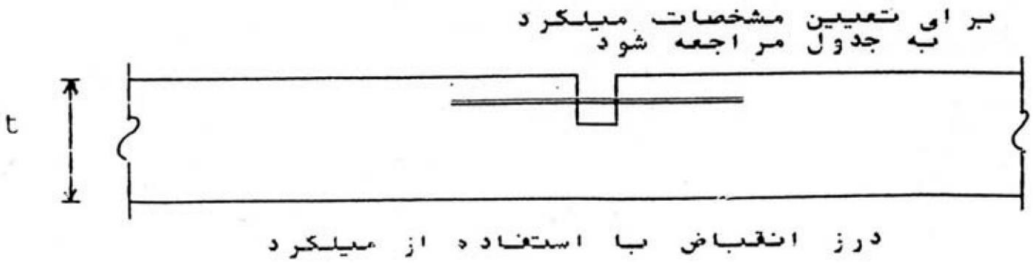
جدول ۱ حداکثر فاصله درزهای انقباضی

ضخامت دال (mm)	اسلامپ ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر- فواصل درزها (متر)*		اسلامپ کمتر از ۱۰۰ mm فواصل درزها (متر)
	حداکثر اندازه سنگدانه ۲۰ mm	حداکثر اندازه سنگدانه بیش از ۲۰ mm	
۱۰۰	۳/۰	۲/۴	۳/۶۰
۱۲۵	۳/۹۰	۳/۰	۴/۵۰
۱۵۰	۴/۵۰	۳/۶۰	۵/۴۰
۱۷۵	۵/۴۰	۴/۲۰	۶/۳۰
۲۰۰	۶/۰۰	۴/۸۰	۷/۲۰
۲۲۵	۶/۹۰	۵/۴۰	۸/۱۰
۲۵۰	۷/۵۰	۶/۰۰	۹/۰

پ – برای انتقال بهتر نیرو درمحل درزهای انقباض می‌توان از میلگرد (داول) در وسط ضخامت دال استفاده نمود. مشخصات میلگرد در جدول ۲، ارائه شده است. در هنگام تعبیه باید دقت نمود تا میلگرد به بتن پیوستگی نداشته باشد.

جدول ۲ فواصل میلگردها در درزها

فواصل میلگرد (mm)	طول میلگرد (mm)	قطر میلگرد (mm)	ضخامت دال (mm)
۳۰۰	۴۰۰	۲۰	۱۲۰–۱۵۰
۳۰۰	۴۶۰	۲۵	۱۸۰–۲۰۰
۳۰۰	۴۶۰	۳۵	۲۳۰–۲۸۰



شکل ۳ درز انقباض با استفاده از میلگرد

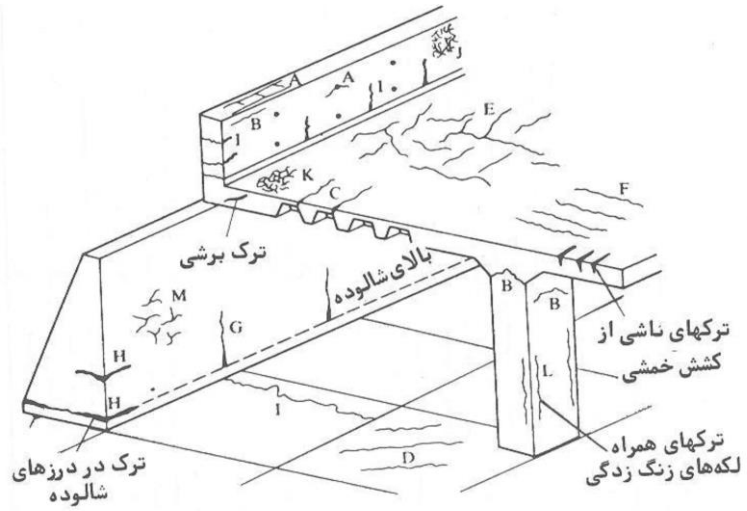
ت – برای تراکم سطح دالهای کوچک می‌توان از دستگاه ویبره استفاده کرد، اما برای سطوح وسیع توصیه می‌شود که با استفاده از یک تیر فولادی که بر روی آن ویبره متصل است، عملیات تراکم اجرا گردد.

ث – یک روش مناسب برای ساخت دال، به روش نواری موسوم است (شکل ۴). بر اساس این روش، ابتدا عرض دال به چند نوار طولی تقسیم می‌گردد و قالبها نصب می‌گردند. سپس بتن به صورت نوارهای یک در میان ریخته می‌شود. پس از بتن‌ریزی سری اول نوارهای طولی، قالبها باز می‌شوند و خود نوارهایی که بتن‌ریزی شده‌اند به صورت قالب برای نوارهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. درزهای انقباض در حد فاصل نوارها اجرا می‌گردد.

ح – محل درزها باید با یک ترکیب مناسب پر شود تا به دال از نظر نفوذ مواد زیان‌آور، خسارت وارد نگردد. این ترکیب می‌تواند ملات سیمان با ماسه سیلیسی و با نسبت کم آب به سیمان باشد (در صورتی که صرفاً درز انقباضی برای جمع‌شدگی خمیری داشته باشیم این نوع ماده پرکننده می‌تواند به کار رود).

۱۲- آسیب های بتن

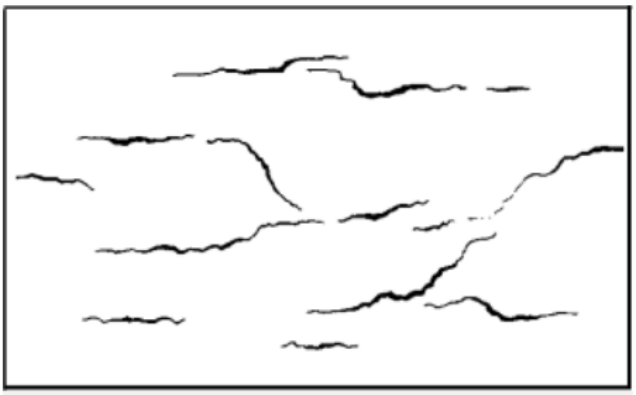
۱-۱۲- انواع ترک در بتن



شکل شماتیک انواع ترک‌ها

انواع ترک‌ها و مشخصات آن‌ها (با توجه به شکل

نوع ترک	علامت در شکل	زیر گروه‌ها	معمول‌ترین موقعیت‌ها	دلیل اولیه	دلیل دوم	علاج	زمان پیدایش ترک
نشست پلاستیک	A	روی آرماتورها	مقاطع عمیق	آب‌انداختگی زیاد	شرایط خشک شدن اولیه سریع	حباب‌زایی با ارتعاش مجدد	۱۰دقیقه تا ۳ ساعت
	B	-	بالای ستون‌ها				
	C	تغییر عمق	دال‌های مشبک				
جمع‌شدگی پلاستیک	D	قطری	دال‌ها و روسازی‌ها	خشک شدن اولیه و نزدیک سطح بودن آرماتورها	کم بودن سرعت آب‌انداختگی	بهبود عمل‌آوری اولیه	۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت
	E	اتفاقی	دال‌های بتن مسلح				
	F	روی آرماتورها	دال‌های بتن مسلح				
انقباض حرارتی اولیه	G	قید خارجی	دیوارهای ضخیم	ایجاد گرمای زیاد	سرد شدن سریع	کاهش گرما یا عایق نمودن	۱ روز تا ۳ هفته
	H	قید داخلی	دال‌های ضخیم	تغییرات دمای زیاد			
جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن	I	-	دیوارها و دال‌های نازک	ناکافی بودن درزها	جمع‌شدگی زیاد و عمل‌آوری کم	کاهش مقدار آب و بهبود عمل‌آوری	چندین هفته یا ماه
ترک‌های ریز سطحی	J	مجاور قالب‌ها	نماها	قالب‌بندی نفوذ ناپذیر	پرسیمان بودن مخلوط و عمل‌آوری ضعیف	بهبود عمل‌آوری و پرداخت بتن	۱ تا ۷ روز گاهی دیرتر
	K	بتن تخته‌ماله‌ای	دال‌ها	ماله‌کشی اضافی			

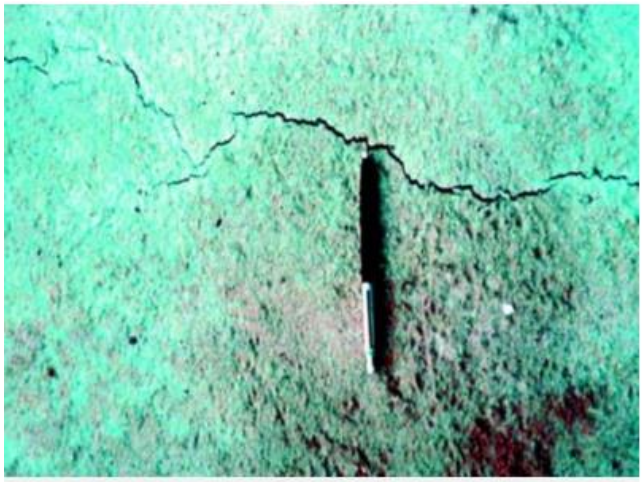


ترک ناشی از جمع شدگی خمیری

ترک ناشی از جمع شدگی خمیری (Plastic Shrinkage Cracking)

ترک ناشی از جمع شدگی خشک شدگی

ترک ناشی از جمع شدگی خشک شدگی



ترک انقباضی خمیری (Plastic shrinkage cracking)

ترک انقباضی (Shrinkage cracking)

۲-۱۲- کرمو شدن و شن زدگی بتن

کرمو شدگی بتن و شن نما شدگی بتن در واقع که بیانگر یک اتفاق واحد در بتن می باشد و آن **نمایان شدن درشت دانه و جدا شدگی بتن در سطح بتن** می باشد. البته در برخی موارد این پدیده می تواند عمقی نیز باشد در عرف بسیاری از مردم به عمقی بودن این پدیده کرمو شدگی می گویند (عمقی بودن این پدیده می‌تواند خطرات سازه‌ای را در بتن بوجود آورد اما در موارد سطحی میتواند با پودرهای ترمیم کننده قسمت آسیب دیده را به راحتی ترمیم کرد) و در صورتی که این پدیده سطحی باشد به آن شن نما شدگی می‌گویند. اما در واقعیت این پدیده به طور کل در منابع علمی آیین نامه های معتبر دنیا یا با نام پدیده **لانه زنبوری بتن** اصطلاح انگلیسی آن نیز **Honeycombing concrete** است، گفته می‌شود.

دلایل کرمو شدگی بتن

۱. یکی از دلایل اصلی کرمان شدن بتن استفاده از بتن سفت و با اسلام پایین می باشد .زمانیکه از بتن با کارایی پایین استفاده می کنیم بتن کمتر متراکم شده و پتانسیل ایجاد فضای خالی در بتن و در نهایت ظهور پدیده کرمو شدگی در بتن بالا میرود.

۲. یکی از دلایل بروز پدیده کرمو شدگی در بتن نسبت بیش از حد آب به سیمان می باشد که باعث ایجاد جداشدگی در بتن می گردد و جدا شدگی در بتن می‌تواند باعث شن نما شدن بتن در برخی نقاط شود.

۳. اعمال ویبره زیاد می‌تواند باعث ته نشینی سنگدانه ها و نشتی دوغاب سیمان از سوراخ قالب گردد همچنین ویبره نامناسب با قطر خیلی کم فرکانس و دامنه نامناسب نیز می‌تواند تراکم بتن رو دچار خلل کند. همچنین اجرای نامناسب ویبره مانند کوتاه بودن زمان فرو بردن ویبره فواصل بیش از حد فرو بردن ویبره و تعداد ناکافی ویبراتور در محل پروژه نیز می‌تواند خطر کرمو شدگی در بتن را افزایش دهد.

٤. در برخی موارد افزایش ارتفاع بتن ریزی میتواندباعث جداشدگی در بتن شود که نهایتاً کرمو شدن بتن را به همراه خواهد داشت.

٥. یکی از موارد پرتکرار در پروژه ها کاور کم در قالب بندی می باشد. این خطای اجرایی باعث گیر افتادن شن بین میلگرد و قالب می‌گردد و مانع ردشدن ریزدانه و خمیر سیمان و پرشدن قسمت پایینی شده و نهایتاً پدیده لانه زنبوری به وجود خواهد آمد.

٦. در مناطق پر آرماتور مانند اتصال تیر به تیر و اتصال تیر به ستون بتن نمی‌تواند از بین آرماتورها عبور کند و ما شاهد کرمو شدن بتن در این مناطق خواهیم بود.

۷. وجود سنگدانه های بسیار درشت که بعضاً از کارخانه های بتن به صورت غیر عمد وارد بطن میشود نیز باعث ایجاد مانع در غالب شده و کرمو شدگی در قسمت پایینی را به همراه خواهد داشت.

۸. استفاده از قالب های نامناسب شب و کهنه که دارای پستی و بلندیهای زیاد در خود می باشند جایگیری و تراکم بتن را دچار مشکل می کند.

۹. بتن زودگیر باعث می شود بتن در قالب زودتر سفت شود وقتی زمان ویبره زدن فرا می رسد بتن می تواند به صورت کامل متراکم گردد به همین دلیل خطر کرمو شدگی در بتن های زودگیر نیز بالا می باشد.

۱۰.وجود ریزدانه ناکافی در طرح اختلاط بتن باعث تولید بتنی با دانه بندی گسسته و زبر می‌گردد که این امر باعث می شود تا بتن نتواند نقش پرکنندگی خوب خود را در قالب ایفا کند.

۱۱.یکی از مناطقی که شن نما شدن بتن مشاهده میگردد قالبهای با طول زیاد می باشد. وقتی بتن در مسیر افقی حرکت طولانی داشته باشد برخی سنگدانه های درشت در این مسیر با ته نشینی و گیر کردن بین میلگردها از بتن جا می مانند و هرچه حرکت بتن در مسیر افقی بیشتر باشد جداشدگی بیشتری در بطن رخ می دهد.

۱۲.درز بندی نامناسب قالب ها مخصوصاً در بتن های با روانی بالا و بتن های خود تراکم باعث خروج شیره بتن و خمیر سیمان از درزها و سوراخ های قالب می‌شود و بسیار مشاهده شده است که در همان قسمت ها پدیده شن نما شدگی به وجود آمده است.

۱۳- ارزیابی و پذیرش بتن

۱-۱۳- نمونه برداری

للف) جهت نمونه‌برداری از مخلوط‌کن‌ها، باید ظرف نمونه‌برداری یا فرغون را به گونه‌ای جلو قسمت خروجی مخلوط کن قرار داد که بتن به راحتی وارد ظرف شده و قسمتی از بتن یا دانه‌های آن به خارج ریخته نشود.

ب) نمونه‌برداری از ماشین‌های حمل (تراک میکسر) باید طی ۴ مرحله متناوب انجام پذیرد، به گونه‌ای که طی هر مرحله، تقریباً به میزان مساوی نمونه برداشته شود (شکل ۱) .

ت) حجم نمونه بتنی تهیه شده باید حداقل پنج برابر حجم مورد نیاز برای آزمونه‌ها باشد، اما در هر صورت نباید از ۲۵ لیتر (حدوداً نصف یک فرغون) کمتر باشد.

ث) در صورتی که هدف از نمونه‌برداری تنها آزمون اسلامپ، تعیین درصد هوای بتن و یا تعیین وزن مخصوص بتن می‌باشد می‌توان نمونه‌برداری را در یک مرحله و به میزان کمتر از ۲۵ لیتر انجام داد.

چ) مدت زمان نمونه‌برداری تا زمان قالب‌گیری نباید بیش از ۱۵ دقیقه باشد، و در تمام این مدت باید بتن در مقابل از دست دادن آب، یا اضافه شدن آب، جداشدگی، وزش باد و یا تابش مستقیم آفتاب و همچنین گرما و سرما محافظت شود.

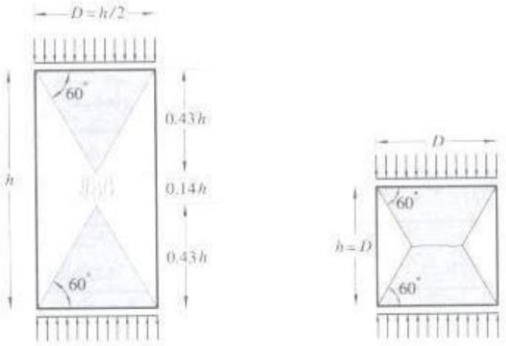
برای هر بار نمونه‌برداری و به ازای هر سن آزمایش، تهیه حداقل دو آزمونه (قالب) لازم است. اگر بخواهیم در سن دیگری بجز ۲۸ روز، مقاومت فشاری آزمونه‌ها را تعیین کنیم، لازم است تعداد آزمونه‌ها را به تناسب افزایش داد.

آزمونه‌ها استوانه‌هائی به قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر است. اگر در تهیه آزمونه یا مغزه، اندازه یا شکل آن متفاوت با استاندارد باشد می‌توان از جداول ۶-۵-۱- ۱ برای تبدیل مقاومت ها استفاده نمود.

انواع قالب های نمونه گیری بتن(استوانه ای و مکعبی)

نوع نمونه بر مقاومت فشاری بتن تاثیر بسزایی می گذارد؛ به طوری که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای استاندارد با قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر، در حدود ۸۰ درصد مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی با بعد ۱۵۰ میلیمتر ($f'_c = 0.8f'_{cu}$) می باشد.

علت اصلی تفاوت مقاومت نمونه استوانه ای و مکعبی را باید در تفاوت نسبت ابعاد هر کدام از نمونه ها، و ایجاد تنش های برشی بین صفحات فولادی اعمال بار و سطح نمونه به دلیل تفاوت درمدول الاستیسیته و ضریب پواسون فولاد و بتن جستجو کرد. چنین تنش های برشی با زاویه ۶۰ درجه در نمونه نفوذ می کنند و بنابراین نفوذ این تنش ها از دو طرف نمونه حداکثر به میزان tan60 ضرب در بعد افقی نمونه خواهد بود. بدین ترتیب برای نمونه هایی با نسبت ارتفاع به عرض بیش از فقط تحت تاثیر تنش های خالص فشاری قرار می گیرد . این وضعیت می تواند برآورد واقع بینانه ای از مقاومت فشاری تک محوری حقیقی بتن به دست دهد . در صورتی که در نمونه مکعبی با نسبت ابعاد ۱/۰ ، رئوس هرم های دربردارنده تنش های برشی تولید شده در هم تداخل کرده و هیچ ناحیه ای تحت تنش خالص فشاری قرار ندارد.[۱]



شکل شماره ۴:توزیع بار در نمونه استوانه ای و مکعبی[۱]

جدول ۸-۱ تبدیل مقاومت بتن معمولی و سبکدانه، از آزمونه مکعبی ۱۵۰ میلی‌متر به آزمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر

مقاومت فشاری مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری، مگاپاسکال	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵
مقاومت فشاری استوانه استاندارد، مگاپاسکال	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰

۱- برای تبدیل مقاومت مکعبی کمتر از ۲۵ مگاپاسکال به استوانه استاندارد، مقدار آن بر ۱/۲۵ تقسیم می‌شود.
۲- برای مقاومت‌های بین اعداد ذکر شده در جدول، کافی است ۵ مگاپاسکال از نتیجه مکعبی کم شود تا نتیجه استوانه‌ای حاصل شود.
۳- در صورت استفاده از مکعب ۱۰۰ میلی‌متری، تبدیل آن به استوانه ۱۰۰ میلی‌متری مشابه جدول فوق خواهد بود. هرچند در عمل مقاومت مکعب ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متری و همچنین مقاومت استوانه ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متری با یکدیگر تفاوت دارند، اما تبدیل آن‌ها ضرورت ندارد و صرفا از حداقل سه آزمونه کوچک‌تر به‌جای حداقل دو آزمونه بزرگ‌تر استفاده می‌شود. به‌هرحال حداقل قطر آزمونه استوانه‌ای باید از سه برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه کمتر نباشد و برای آزمونه مکعبی نیز باید از ۳/۵ برابر حداکثر اندازه اسمی سنگدانه کمتر نباشد.
۴- برای بتن‌های سبکدانه، نسبت مقاومت فشاری آزمونه مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری به استوانه به قطر ۱۵۰ میلی‌متر، برای رده‌های مقاومتی تا ۴۰ مگاپاسکال برابر با ۱/۰۵ و برای مقاومت‌های بیشتر تقریباً یک است.

برای آگاهی از روند کسب مقاومت در سنین پایین تر می توان نمونه های دیگری نیز علاوه بر نمونه ۲۸ روزه تهیه کرد و نتایج را با توجه به جدول زیر کنترل نمود.

۹-۱۰-۲۴ تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به صورت نسبی)			
	۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان نوع I	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان نوع II	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان نوع III	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان نوع IV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان نوع V	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰

۱۳-۲- تواتر نمونه برداری

۸-۳-۲-۲ در مواردی‌که حجم هر پیمانه بتن در پای کار یک متر مکعب باشد، تواتر نمونه‌برداری باید برای یک سازه و هر نوع و رده بتن، حداقل برابر با بیشترین مقادیر «الف» تا «ث» زیر باشد:

الف- یک نمونه‌برداری در هر نوبت کاری روزانه؛

ب- هر ۳۰ مترمکعب بتن؛

پ- هر ۱۵۰ متر مربع سطح دال و دیوار؛

ت- هر ۱۰۰ متر طول تیر و کلاف، در مواردی‌که جدا از سایر قطعات بتن‌ریزی شوند؛

ث- هر ۵۰ متر طول ستون و تیر طره‌ای.

الف- هر نوبت کاری، بخشی از شبانه روز را تشکیل می‌دهد که ممکن است ۸ ساعت یا بیشتر باشد.

ب- در این مورد شالوده یا سایر اعضا می‌تواند در نظر گرفته شود.

پ- مقصود از سطح دال و دیوار، سطح یک وجه آن می‌باشد و نباید مجموع دو وجه در نظر گرفته شود.

ت- در صورتی‌که تیر و کلاف با دال یا شالوده بتن‌ریزی شوند، ضوابط آن قطعات نیز در نظر گرفته می‌شود و هر یک تعداد نوبت بیشتری بدست دهد ملاک خواهد بود.

ث- مقصود از طول ستون ارتفاع از کف طبقه تا زیر تیر یا دال خواهد بود. تیرهای طره‌ای دارای ضوابطی مانند ستون خواهد بود.

حداقل ۶ نمونه‌برداری از کل هر سازه الزامی است.

۶-۵-۱-۶ در صورتی که کل حجم بتن ریخته شده در کارگاه از ۳۰ متر مکعب کمتر باشد می‌توان از نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت صرفنظر کرد مشروط بر آن که به تشخیص دستگاه نظارت دلیلی برای رضایت‌بخش بودن کیفیت بتن موجود باشد.

۱۳-۳- ضوابط پذیرش بتن

مقصود از نتیجه آزمایش نمونه‌ها، میانگین دو آزمونه می‌باشد. (مقاومت معادل نمونه استوانه ای در سن ۲۸ روز)

۸-۴-۲-۱ در هر سازه و برای هر نوع و هر رده مقاومت بتن، انطباق بر رده مورد نظر زمانی وجود دارد که هر دو شرط «الف» و «ب» زیر برقرار باشد:

الف- میانگین نتایج هر سه نمونه متوالی مقاومت فشاری بتن کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.

ب- هیچ یک از نتایج مقاومت فشاری نمونه بتن کمتر از ۹۰ درصد مقاومت مشخصه نباشد.

چنانچه برای مثال فقط ۶ نمونه‌گیری موجود باشد، هر سه نمونه متوالی عبارتست از (۱و ۲و ۳)، (۲و ۳و ۴)، (۳و ۴و ۵)، (۴و ۵و ۶). بدین ترتیب میانگین نتایج هر سه نمونه متوالی باید کمتر از مقاومت مشخصه نباشد. لازم است نتایج نمونه‌ها با توجه به تاریخ و ساعت نمونه‌برداری مرتب شده و سپس مورد استفاده قرار گیرند. از نتیجه هیچ نمونه‌ای نباید صرف‌نظر کرد، مگر آن‌که دلایل و مستنداتی در دست باشد که نشان دهد نتایج این نمونه (یا آزمونه‌های آن) اعتبار و صحت کافی را ندارند.

۸-۴-۲-۵ در مواردی‌که ضوابط پذیرش مقاومت بتن طبق **بند** ۸-۴-۲-۱ برآورده نشود، بتن منطبق بر رده یا مقاومت مشخصه نیست. ولی اگر تنها ضابطه «ب» برقرار باشد، می‌توان نتیجه بتن را از نظر سازه‌ای پذیرفت، اما باید با اصلاح طرح مخلوط و یا دقت در ساخت بتن از تکرار آن جلوگیری شود.

در مواردی‌که ضابطه «ب» برآورده نشود، لازم است بررسی «بتن کم مقاومت» در دستور کار قرار گیرد.

در بررسی «بتن کم مقاومت»، امکان دارد، پذیرش بتن از نظر تامین مقاومت سازه‌ای فراهم آید.

ت ۸-۴-۲-۵ عدم انطباق بتن با رده یا مقاومت مشخصه نمی‌تواند به تنهایی دلیلی برای تخریب عضو یا قطعه مورد نظر و یا سازه باشد. همواره یک سوی بررسی بتن کم مقاومت، می‌تواند پذیرش سازه‌ای بتن از نظر تامین مقاومت یا باربری سازه باشد. تعمیر و تقویت و یا تخریب بتن و سایر اقدامات مقتضی می‌تواند پس از بررسی بتن کم مقاومت نیز در دستور کار قرار گیرد.

۴-۱۳- اقدامات لازم در هنگامی که مقاومت بتن جواب ندهد

در صورتی که بر اساس آزمایشهای مقاومت آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه، مطابق بند ۶-۵ معلوم شود که بتن بر رده مورد نظر منطبق نیست و غیر قابل قبول است، باید تدابیری به شرح زیر برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه اتخاذ شود:

۶-۶-۱ در صورتی که با استفاده از تحلیل موجود سازه و بازبینی طراحی، بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری سازه به ازای مقاومت بتن کمتر از مقدار پیش‌بینی شده هم قابل قبول است نوع بتن از نظر تامین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می‌شود.

۶-۶-۲ در صورتی که شرط بند ۶-۶-۱ برآورده نشود ولی با انجام تحلیل و طراحی مجدد بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری تمامی قسمتهای سازه با فرض وجود بتن با مقاومت کمتر در قسمتهای احتمالی قابل قبول خواهد بود، نوع بتن از نظر تامین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می‌شود.

۶-۶-۳ در صورتی که شرایط بندهای ۶-۶-۱ و ۶-۶-۲ برآورده نشوند لازم است روی مغزه‌های گرفته شده از بتن در قسمتهایی که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر داده می‌شود آزمایش به عمل آید. این آزمایشها باید با روش "آزمایش مغزه‌های مته شده و تیرهای اره شده" (دت ۶۲۵) مطابقت داشته باشند. برای قسمتهایی از سازه که نتایج آزمایشهای آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه مربوط به آنها شرایط پذیرش بتن مذکور در بند ۶-۵-۲ را برآورده نکند باید سه مغزه تهیه و آزمایش شود.

۶-۶-۵ در قسمتهایی از سازه که مقاومت بتن از طریق آزمایش مغزه‌ها ارزیابی می‌شود، در صورتی بتن از نظر تامین مقاومت قابل قبول تلقی می‌شود که متوسط مقاومتهای فشاری سه مغزه حداقل برابر ۰/۸۵ مقاومت مشخصه باشد و بعلاوه مقاومت هیچیک از مغزه‌ها از ۰/۷۵ مقاومت مشخصه کمتر نباشد. برای کنترل دقت نتایج می‌توان مغزه‌گیری را تکرار کرد.

۶-۶-۶ در صورتی که شرایط بند ۶-۶-۵ برآورده نشوند و ظرفیت باربری سازه مورد تردید باقی بماند باید آزمایش بارگذاری مطابق بند ۱۹-۱-۳ روی قسمتهای مشکوک به عمل آید یا اقدامات مقتضی دیگری صورت گیرند.

تخریب بخش‌هائی از سازه معمولاً بعنوان آخرین راه حل باید مدنظر قرار گیرد. تخریب بخشی از سازه، علاوه بر هدر رفتن سرمایه‌های ملی، می‌تواند آثار نامطلوبی را بر بخش‌های سالم و قابل قبول بر جای گذارد، لذا تخریب باید طبق دستور دستگاه نظارت و با دقت تمام انجام گیرد و از اعمال ضربه برای تخریب تا حدامکان خودداری شود.

۶-۵-۳-۴ در صورتی روش عمل آوردن و مراقبت بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود که مقاومت فشاری آزمونه‌های کارگاهی در سن مشخص شده برای مقاومت مشخصه حداقل معادل ۰/۸۵ مقاومت نظیر آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه یا به اندازه ۴ مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع) بیشتر از مقاومت مشخصه باشد. در غیر این صورت باید اقداماتی برای بهبود روشهای مذکور صورت گیرد.