



دانشگاه سبز

# روش های اجرایی ساختمان

## بتن: تکنولوژی، خواص و روش های اجرا

(ویرایش دوم)

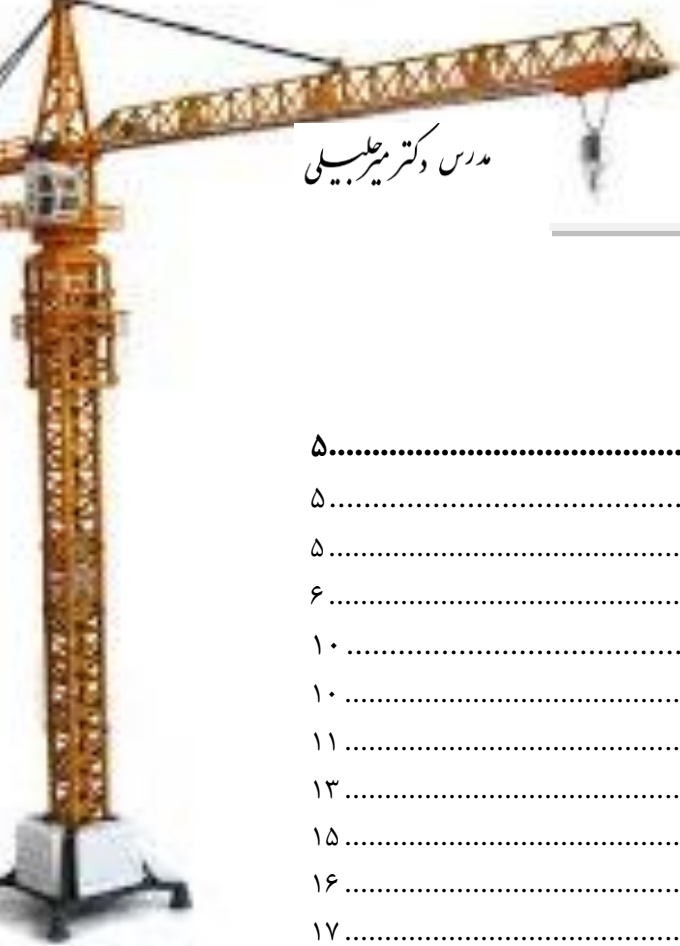
مدرس: دکتر محمد رضا میر حلیبی

دانشگاه سبز - نیم سال اول ۹۸-۹۹

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

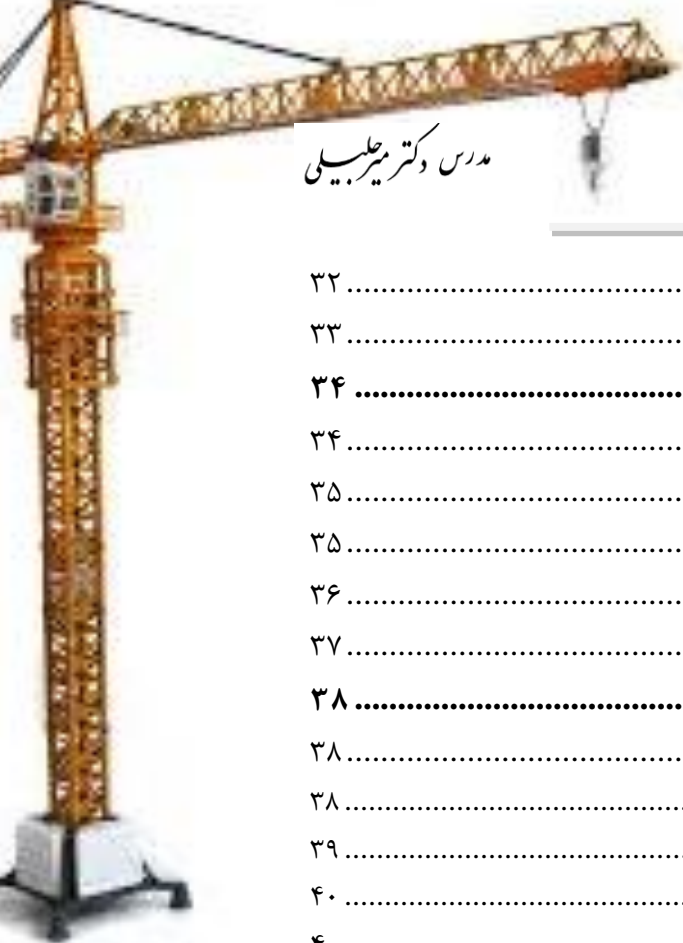
مطالب این درنامه هر چند وقت یکبار به روز شده و در ویرایش جدیدی ارائه می گردد. برای دریافت به سایت [www.mirjalii.net](http://www.mirjalii.net) مراجعه شود.



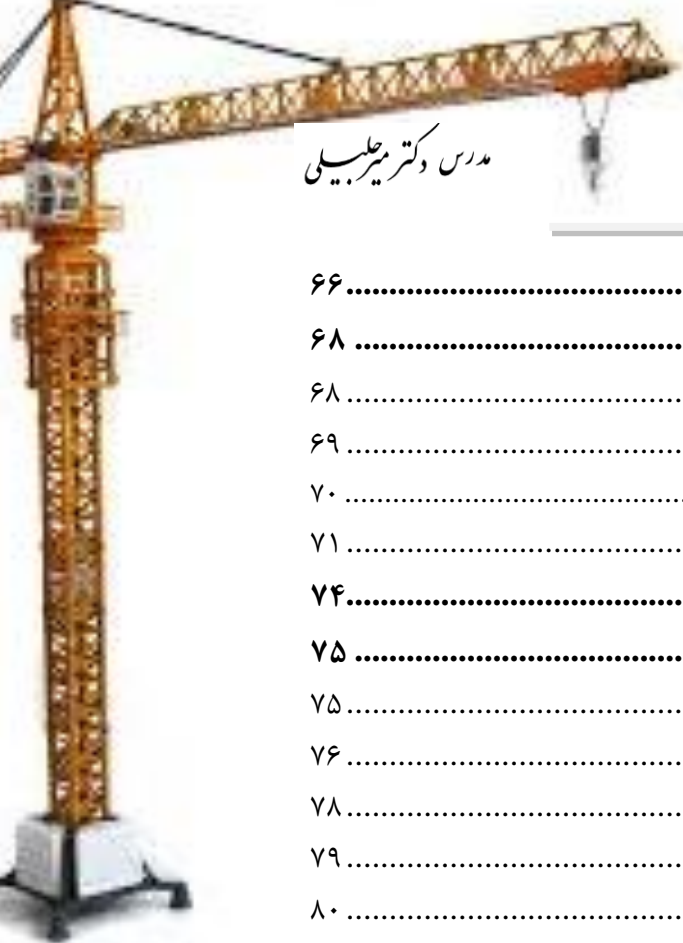


## فهرست

اجزای تشکیل دهنده بتن.....	۵	1
۱-۱-سیمان.....	۵	2
۱-۱-۱- ترکیبات اصلی سیمان.....	۵	3
۱-۱-۲- انواع سیمانهای استاندارد.....	۶	4
۲-۱- سنگدانهها.....	۱۰	5
۱-۲-۱- مشخصات سنگدانهها.....	۱۰	6
۲-۲-۱- شکل و بافت سطحی سنگدانهها.....	۱۱	7
۳-۲-۱- دانه بندی مصالح سنگی.....	۱۳	8
۴-۲-۱- دانه بندی استاندارد ماسه.....	۱۵	9
مدول نرمی ماسه.....	۱۶	10
۵-۲-۱- دانه بندی استاندارد شن.....	۱۷	11
۶-۲-۱- مواد زیان آور سنگدانه ها.....	۱۸	12
۳-۱- آب.....	۱۹	13
۱-۳-۱- اثر مواد موجود در آب بر کیفیت بتن.....	۲۰	14
کلریدها.....	۲۰	15
سولفات ها.....	۲۰	16
کربنات ها و بی کربنات ها.....	۲۰	17
۴-۱- مواد افزودنی.....	۲۱	18
۱-۴-۱- فوق روان کننده بتن (پایه نفتالین).....	۲۲	19
۲-۴-۱- ابر روان کننده بتن (پایه کربوکسیلات).....	۲۲	20
۳-۴-۱- میکروسیلیس.....	۲۳	21
۴-۴-۱- حباب زا.....	۲۳	22
۲- خواص بتن.....	۲۴	23
۱-۲- وزن مخصوص بتن.....	۲۴	24
۲-۲- روانی بتن تازه (اسلامپ).....	۲۴	25
۳-۲- مقاومت فشاری بتن.....	۲۶	26
۴-۲- مقاومت کششی بتن.....	۲۶	27
۵-۲- خزش یا وارفتگی بتن (Creep).....	۲۷	28
۱-۵-۲- عوامل مؤثر بر خزش.....	۲۷	29
۶-۲- افت یا آبرفتگی (Shrinkage).....	۲۸	30
۱-۶-۲- راهکارهای کاهش افت.....	۲۹	31
۷-۲- آب انداختن بتن.....	۳۰	32
۸-۲- جدا شدن دانه ها.....	۳۰	33
۹-۲- اثرپذیری از تهاجم سولفاتها.....	۳۱	34



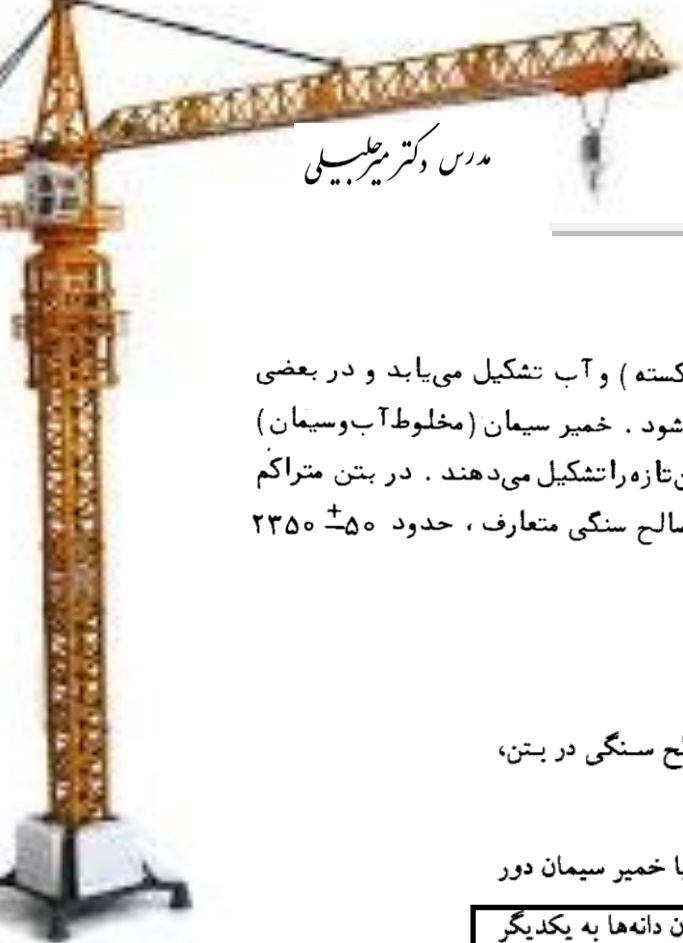
۳۲	۱۰-۲- خوردگی میلگرد در بتن	1
۳۳	۱۱-۲- تاثیر نسبت آب به سیمان در بتن	2
۳۴	۳- اختلاط بتن	3
۳۴	۱-۳- اختلاط دستی	3
۳۵	۲-۳- اختلاط مکانیکی	4
۳۵	۳-۳- کارخانه تولید بتن آماده (بچینگ)	5
۳۶	۴-۳- اصول اختلاط در مخلوطکن	6
۳۷	۵-۳- مقدار سفارش بتن	6
۳۸	۴- انتقال بتن	7
۳۸	4-1- انتقال بتن آماده از کارخانه به کارگاه	8
۳۸	4-1-1- تراک میکسر یا کامیون مخلوط کن	9
۳۹	۴-۱-۲- پمپ دکل دار (هوایی)	9
۴۰	۴-۱-۳- پمپ زمینی	10
۴۰	4-2- سایر روش های انتقال بتن	11
۴۳	۵- بتن ریزی	12
۴۳	۱-۵- آماده سازی قبل از بتن ریزی	12
۴۴	۲-۵- بتن ریزی	13
۴۶	۳-۵- دمای مخلوط بتن حین بتن ریزی	14
۴۷	6- متراکم کردن بتن	15
۴۷	۱-۶- تراکم دستی	15
۴۷	6-2- تراکم مکانیکی (لرزاننده ها)	16
۵۰	۳-۶- تراکم مجدد	17
۵۱	۷- پرداخت بتن	18
۵۳	8- عمل آوری بتن	18
۵۵	۱-۸- مدت زمان عمل آوری بتن	19
۵۶	۲-۸- روشهای مراقبت از بتن (عمل آوری رطوبتی)	20
۵۹	۳-۸- پروراندن بتن (عمل آوری حرارتی)	21
۶۰	۹- بتن ریزی و عمل آوری در هوای سرد	21
۶۰	۱-۹- دمای بتن در هوای سرد	22
۶۱	۲-۹- توصیه های عملی	23
۶۲	۳-۹- مواد افزودنی در بتن ریزی در هوای سرد	24
۶۲	۱-۳-۹- مواد حباب زا	24
۶۲	۲-۳-۹- مواد زودگیرکننده	25
۶۳	۴-۹- محافظت پس از بتن ریزی	26
۶۴	۱۰- بتن ریزی و عمل آوری در هوای گرم	27
۶۵	۱-۱۰- توصیه های عملی	27



۶۶.....	۱۱- جمع شدگی پلاستیک	1
۶۸.....	۱۲- انواع درز در بتن	2
۶۸.....	۱۲-۱- درز سرد	3
۶۹.....	۱۲-۲- درزهای اجرایی	3
۷۰.....	۱۲-۲-۱- موقعیت قرارگیری درزهای اجرایی	4
۷۱.....	۱۲-۳- درز انقباض (جمع شدگی)	5
۷۴.....	۱۳- انواع ترک در بتن	6
۷۵.....	۱۴- ارزیابی و پذیرش بتن	6
۷۵.....	۱۴-۱- انواع آزمایش های بتن	7
۷۶.....	۱۴-۲- نمونه برداری	8
۷۸.....	۱۴-۳- تواتر نمونه برداری	9
۷۹.....	۱۴-۴- ضوابط پذیرش بتن	9
۸۰.....	۱۴-۵- اقدامات لازم در هنگامی که مقاومت بتن جواب ندهد	10
۸۱.....	۱۴-۶- ضوابط کنترل روش عمل آوری بتن	11

مطالب ارائه شده در این درسنامه برگرفته از کتاب (تکنولوژی و طرح اختلاط بتن) تألیف دکتر مستوفی نژاد، کتاب (بتن و اجرای آن) از دکتر رمضان پور، درسنامه دکتر فرخ زاد، نشریه های ۸۲ و ۱۲۰، ۱۲۶ و ۳۲۷ سازمان مدیریت و برنامه ریزی 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 و سیمان) 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 محصول بتن با مصالح سنگی متعارف، حدود  $2350 \pm 50$  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 چسبانیدن 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 معمولاً 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 به وجود می‌آورند. بسیاری از ویژگی‌های سیمان به میزان این فازها بستگی دارد.

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

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

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
۱	۶۶	۲۱	۷	۳	۲
۲	۶۷	۲۱	۵	۳	۲
۳	۶۴	۲۲	۷	۴	۲
۴	۶۴	۲۳	۴	۵	۲

#### 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 به وجود 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). گرم‌زایی و آهنگ گرم‌زایی آن نسبتاً زیاد است. با افزایش دمای کوره‌ها و با حضور آهک در مواد اولیه، مقدار آن بالا می‌رود.



1 **دی کلسیم سیلیکات ( $2CaO, SiO_2$ ) با علامت اختصاری ( $C_2S$ ):** که در دمای کمتری نسبت  
2 به  $C_3S$  تولید می شود بر مقاومت اولیه و میان مدت سیمان بی تاثیر یا کم تاثیر است و نقش خود را در سنین بالاتر از  
3 یک ماه به نمایش می گذارد. از دهه ۷۰ میلادی تاکنون سعی می شود که  $C_2S$  را در سیمان های پرتلند به حداقل  
4 رسانند. کندی در ترکیب با آب از ویژگی های آن است، اما ماده چسباننده زیادی را به همراه آهک شکفته کم در سنین  
5 بالا تولید می کند. امروزه بین ۲۰ تا ۳۰ درصد در سیمان های پرتلند وجود دارد. گرمزایی و آهنگ گرمزایی آن خیلی  
6 کم است. مقدار آن با مقدار  $C_3S$  مرتبط است و ارتباط عکس دارند.

7 **تری کلسیم آلومینات: ( $3CaO, Al_2O_3$ ) با علامت اختصاری ( $C_3A$ ):** در سیمان های پرتلند از  
8 حدود ۳ تا ۱۵ درصد وجود دارد. نقش آن در مقاومت های ۱ تا ۳ روزه دیده می شود. هرچه سن بالا رود، سهم مقاومتی  
9 آن در مقاومت سیمان کاهش می یابد. هرچه مقدار آن بیشتر شود، نیاز به سنگ گچ بیشتر برای تنظیم زمان گیرش  
10 سیمان وجود دارد. با افزایش مقدار آن در سیمان، مقاومت سیمان در برابر حمله سولفات ها به شدت کاهش می یابد.  
11 نقش آن در ایجاد گرمزایی و آهنگ گرمزایی سیمان زیاد است. وجود آن در سیمان از نفوذ آزادانه یون کلرید در بتن  
12 می کاهد. در سیمان پرتلند نوع ۲ محدودیت ۸ درصد و برای سیمان نوع ۵ حد ۵ درصد و برای نوع ۴ حداکثر ۷ درصد  
13 منظور می شود.

14 **تترا کلسیم آلومینوفریت: ( $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$ ) با علامت اختصاری ( $C_4AF$ ):** در  
15 سیمان های پرتلند عمدتاً حدود ۷ تا ۱۵ درصد است. با افزایش آن رنگ سیمان تیره تر و چگالی ذرات آن بیشتر  
16 می شود اما در مورد نقش مقاومتی آن، مقاومت در برابر حمله سولفات ها و گرمزایی و غیره ابهاماتی وجود دارد. به هر  
17 حال، گاه برای کاهش  $C_3A$  مجبور به افزایش آن هستیم و برای مقابله با سولفات ها گاه  $C_3A$  و  $C_4AF$  را محدود  
18 می کنند.

### ۱-۲-۱- انواع سیمان های استاندارد

#### ۱- سیمان تیپ یک (I)، (سیمان معمولی)

همان سیمان معمولی بوده و در شرایط آب و هوای عادی مصرف می شود. همچنین در جایی  
بکار می رود 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 سولفات ها مقاوم است.

برای ساخت این سیمان سعی می شود تا حد ممکن از مقدار ( $C_3A, C_4AF$ ) 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 را کم کرده 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 جاهایی که به دلیل محدودیت امکانات قالب، بخواهند قالبها را زودتر باز کنند، نیز این سیمان کاربرد دارد.

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

سیمان تیپ چهار کندگیر بوده و در هنگام گیرش حرارت کمی تولید می‌کند. مقدار  $C_{pA}$  و  $C_{pS}$  موجود در این سیمان در مقایسه با انواع دیگر سیمان، کمتر بوده و در مقابل  $C_{pS}$  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 ( $C_{pA}$  و  $C_{pS}$  کمتر و  $C_{pS}$  بیشتر) این سیمان را خودبخود کم حرارت تر می‌کند.

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



ج : در بتن ریزی های حجیم به منظور کاهش تنش های حرارتی می توان 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 پایه های پل. از اشکالات بتن ریزی حجیم، ایجاد تنش های حرارتی است، بدین صورت که به دلیل حجیم بودن بتن، تبادل حرارتی عمق بتن با محیط بیرونی، کندتر صورت می گیرد، 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 تنش های حرارتی خواهد بود.

استفاده از سیمان تیپ (IV) سبب می شود که اولاً دمای قسمتهای میانی بتن حجیم کمتر از بتن مشابه ساخته شده با سیمان تیپ (I) باشد (چون سیمان تیپ (IV) هم کم حرارت تر است و هم دمای خود را در طول زمان بیشتری آزاد می کند) و ثانیاً فرایند سفت شدن بتن طولانی تر 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 می گیرند.

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

در ساخت این سیمان سعی می شود حتی الامکان  $C_p S$  و  $C_p A$  را به حداقل برسانند و در مقابل  $C_p S$  بیشتری مصرف نمایند.

این سیمان برای مصرف در بتن هایی 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 می تواند مشکل ساز باشد. هنگامی که از سیمان ضد سولفات (نوع ۵) استفاده می شود، ممکن است کم بودن مقدار سه کلسیم آلومینات موجب آزادی عمل کلرید شود که به خوردگی آرماتور منجر می گردد.





1 باید توجه داشت که برای مقابله با حمله سولفات ها فقط استفاده از سیمان ضد سولفات کافی  
2 نیست و پیش بینی های دیگر مانند استفاده از بتنی متراکم با کیفیت عالی و با نسبت آب به  
3 سیمان کم ضروری است. در اینگونه موارد، استفاده از افزودنی های کاهنده قوی آب، و افزودنی-  
4 های حباب ساز (که نسبت آب به سیمان را کاهش می دهند) و مواد پوزولانی، مواد شبه سیمانی  
5 و سیمان های آمیخته نیز بسیار موثر است.

6 جدول ۳-۱-۱ الف کاربرد و مشخصات اختیاری سیمان های پرتلند \*

کاربرد	نوع سیمان پرتلند
برای مصارف عمومی	۱
برای مصارف عمومی، با حرارت زایی متوسط، و خاصیت ضد سولفات متوسط	۲
برای تسریع در کسب مقاومت	۳
برای حرارت زایی کم	۴
برای ایجاد مقاومت در برابر حمله شدید سولفات ها	۵

### سیمان بنایی

15 این سیمان را مهندس یا مجری بسته به مورد تهیه می کند. این سیمان در حقیقت مخلوطی است  
16 از سیمان عادی به اضافه مواد پرکننده دیگری چون خاک رس پودر شده یا هیدروکسید کلسیم (آهک  
17 آب دیده و پودر شده) یا سنگ آهک پودر شده که نسبت اختلاط آن حدود ۷۰ درصد سیمان و  
18 ۳۰ درصد مواد دیگر است.

### سیمان انبساطی، (سیمان ضد افت)

20 این سیمان را با افزودن مواد شیمیائی مخصوص (مانند سولفوآلومینات) به کلینکر سیمان  
21 معمولی بدست می آورند. سیمان ضد افت در هنگام ترکیب با آب انبساط پیدا می کند که افزایش حجم  
22 این سیمان (یا افزایش حجم بتن ساخته شده با این سیمان) با کاهش حجم ناشی از افت خنثی می شود.  
23  
24  
25  
26  
27



## ۱-۲- سنگ دانه ها

دانه های سنگی به دو دسته دانه های درشت<sup>۱</sup> یا شن<sup>۲</sup> و دانه های ریز<sup>۳</sup> یا ماسه<sup>۴</sup> تقسیم می شود. مصالح سنگی (شن و ماسه) در مجموع حدود  $\frac{2}{3}$  تا  $\frac{3}{4}$  حجم بتن را اشغال می کند. ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه ها را ماسه تشکیل می دهد. مرز اندازه شن و ماسه، الک استاندارد نمره ۴ (# 4) است که اندازه بعد آن  $\frac{3}{16}$  اینچ یا ۴٫۷۶ میلی متر است. دانه های عبوری از الک نمره ۴، ماسه و دانه های مانده روی الک نمره ۴، شن هستند. به عبارت دیگر، دانه های ریزتر از ۴٫۷۶ میلی متر را ماسه و بزرگتر از ۴٫۷۶ میلی متر را شن می نامند. با کمی تقریب در کارگاه، دانه های ریزتر از ۵ میلی متر ماسه و بزرگتر از ۵ میلی متر شن محسوب می شود. توجه شود که دانه های ماسه ای باید از ۰٫۰۷۵ میلی متر بزرگتر باشند.

### ۱-۲-۱- مشخصات سنگدانه ها

سنگهای ضعیف و شکننده و سنگهایی که در هوا تجزیه می شوند و یا در آب متلاشی می گردند ، نباید برای ساختن بتن به کار روند . همچنین ، از به کار بردن سنگهایی که اثر سوء و مخربی در ترکیب شیمیایی آب و سیمان 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 دانه های سنگی و یا در اثر جدا شدن دانه ها از یکدیگر اتفاق می افتد ، علاوه بر چسبندگی خوب دانه ها با خمیر سیمان ، مقاومت برشی خود دانه های سنگی نیز در مقاومت نهایی بتن ، نقش عمده ای دارد .

دانه های سیلیس دارای سختی ۷ تا ۸ بوده و جزء مقاوم ترین دانه هایی هستند که در بتن مصرف می شوند. دانه های آهکی دارای سختی ۳ تا ۴ بوده و اکثراً در ساخت بتن به کار می روند. دانه های 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 می شود ، ولی اگر سطح دانه های سنگی بیش از اندازه زبر باشد و دانه ها تیز گوشه باشند و یا درصد مصالح سنگی پولکسی ، سوزنی و مستوی بیش از حدود ۱۵٪ وزن کل مصالح سنگی باشد ، برای ایجاد کارایی معین بتن ، خمیر سیمان بیشتری مصرف می شود و در نتیجه بتن ساخته شده با این نوع مصالح سنگی ، گرانتز تمام می شود . در صورتی که برای اصلاح کارایی بتن ، بدون اضافه کردن سیمان ، فقط آب اضافه شود ، به علت افزایش نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن ، مقاومت آن کاهش می یابد . این موضوع بویژه در مورد مصالح ریز دانه (ماسه) از اهمیت بیشتری برخوردار است .



عامل مهم دیگری که در چسبندگی مصالح سنگی، با خمیرسیمان مؤثر است، میزان پاکیزگی سطح دانه های سنگی است. وجود مواد مضر و زاید مانند لای، خاک رسی، ملاح و مواد آلی روی دانه ها، باعث جلوگیری از اندود شدن سطح دانه های سنگ با خمیرسیمان می شود و در نتیجه علاوه بر تأثیر در واکنش شیمیایی آب و سیمان، مانع چسبیدن کامل مصالح سنگی به خمیر سیمان و به یکدیگر می شود. در این صورت، مقاومت بتن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. این عیب مصالح سنگی، معمولاً "با شستشوی خوب برطرف می گردد".

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

دانه بندی مصالح سنگی، باید طوری باشد که بعد از متراکم کردن بتن، دانه های ریز دور دانه های درشت تر از خود را به خوبی احاطه نمایند و فضای خالی بین دانه های درشت، با دانه های ریز پر شود. در غیر این صورت، فضای خالی بین مصالح سنگی، با خمیر سیمان پر خواهد شد و در نتیجه علاوه بر افزایش قیمت تمام شده بتن، مقاومت آن نیز کاهش خواهد یافت.

#### ۱-۲-۲- شکل و بافت سطحی سنگدانه ها

دانه های موجود در طبیعت (شن و ماسه) را از نظر شکل ظاهری به پنج دسته می توان تقسیم کرد:

۱- گرد<sup>۱</sup>، ۲- نامنظم<sup>۲</sup>، ۳- گوشه دار<sup>۳</sup>، ۴- پولکی شکل<sup>۴</sup> و ۵- سوزنی شکل<sup>۵</sup>.

۱- دانه های گرد: دانه هایی هستند که در اثر فرسایش در طبیعت شکل آنها گرد و سطح آنها صاف شده است.

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

۳- دانه های گوشه دار: دارای سطح صاف نیستند، همچنین شکل هندسی مشخصی نداشته و اکثراً دارای گوشه های مشخص و تیز هستند.

۴- دانه های پولکی شکل: دانه هایی هستند که ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر آنها کم است.

۵- دانه های سوزنی شکل: دانه هایی هستند که طول آنها نسبت به دو بعد دیگر به میزان قابل توجهی بیشتر است.

اصولاً در بتن سازی از دانه های گرد، نامنظم و گوشه دار (شن و ماسه) استفاده می شود و

به کارگیری دانه های پولکی و سوزنی شکل در ساخت بتن مجاز نیست.



1 بطور کلی دانه های گرد در مقایسه با دانه های نامنظم و گوشه دار، در بتن سازی کمترین مصرف  
2 سیمان را دارد. زیرا سطح ظاهری دانه های گرد نسبت به سطح ظاهری دانه های نامنظم و گوشه دار  
3 کمتر بوده و چون خمیر سیمان می بایست تمام سطح ظاهری دانه را بپوشاند، لذا این دانه ها به خمیر  
4 سیمان کمتر و بالتبع به سیمان کمتری نیاز دارند.

5 از نظر مصرف کمتر سیمان بعد از دانه های گرد، دانه های نامنظم و سپس دانه های گوشه دار قرار  
6 می گیرند.

7 از نظر مقاومت نهایی بتن، اصولاً بتنی که با دانه های گوشه دار ساخته می شود به دلیل امکان  
8 درگیر شدن بهتر دانه ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر بین آنها، مقاوم تر خواهد بود، به همین  
9 دلیل توصیه می شود که در مواردی که مقاومت خیلی بالا مورد نظر باشد (بالای ۳۵۰ یا ۴۰۰  
10 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) از دانه های گوشه دار استفاده شود (مثلاً از دانه های شکسته شده توسط  
11 سنگ شکن) اما در کارهای عادی که مقاومت های کمتر ملاک عمل است، می توان از دانه های گرد و  
12 نامنظم استفاده کرد.

13 توجه شود که دانه های سوزنی و پولکی، به هیچ وجه برای کار بتن سازی مناسب نیستند، زیرا اگر  
14 کل جسم بتن تحت تنش قرار گیرد، در یک موضع از این دانه ها تمرکز تنش ایجاد شده و در همان  
15 موضع (از کمر، وسط دانه) دانه می شکند، از طرفی در کمتر معدنی است که دانه های سوزنی و  
16 پولکی وجود نداشته باشد. لذا تصریح شده که جمع دانه های پولکی و سوزنی حداکثر از ۱۵ درصد  
17 وزن کل دانه ها تجاوز نکند.

جدول ۳ - ۴ - ارتباط ویژگی های بتن با ویژگی های سنگدانه

ویژگی بتن	ویژگی سنگدانه
پایائی :	
- مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن	سالم بودن، تخلخل، ساختار حفره ای، نفوذپذیری، درجه اشباع، مقاومت کششی، بافت و ساختار، مواد معدنی رسی
- مقاومت در برابر تر و خشک شدن	ساختار حفره ای، مدول ارتجاعی
- مقاومت در برابر گرمایش و سرمايش	ضریب انبساط حرارتی
- مقاومت به سایش	سختی
- واکنش قلیائی با سنگدانه	وجود ترکیبات خاص سیلیسی یا کربناتی
مقاومت	مقاومت، بافت سطحی، تمیزی، شکل دانه، حداکثر اندازه، دانه بندی
تغییر شکل های وابسته به زمان	مدول ارتجاعی، شکل دانه، دانه بندی، 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، دانه بندی، حداکثر اندازه
مدول ارتجاعی	مدول ارتجاعی، نسبت پواسون
لغزندگی	پرداخت پذیری
جنبه اقتصادی	شکل دانه، دانه بندی، حداکثر اندازه، مقدار فرایندهای مورد نیاز برای اصلاح و بهسازی دانه ها، دسترسی

### ۱-۲-۳- دانه بندی مصالح سنگی

منحنی های دانه بندی به دو دسته تقسیم می شوند :

الف : منحنی دانه بندی پیوسته

ب : منحنی دانه بندی ناپیوسته (گسته)

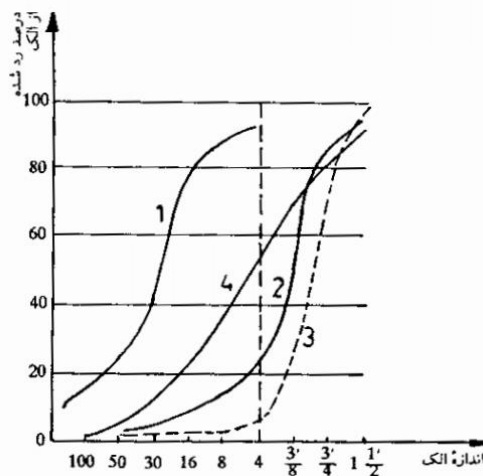
یک منحنی دانه بندی در صورتی پیوسته محسوب می شود که دارای دو خصوصیت زیر باشد :

۱- تمام ابعاد استاندارد در دانه ها موجود باشد.

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



در تصویر ۱-۲ نمونه هایی از منحنی های دانه بندی ترسیم شده است. منحنی شماره ۱ در محدوده ماسه است و در محدوده شن و ماسه پیوسته نیست ولی در محدوده ماسه پیوسته است. منحنی شماره ۲، در محدوده شن پیوسته است، اما در محدوده شن و ماسه گسسته است. منحنی شماره ۳ دارای شن و ماسه است اما در محدوده کوچکی (از  $\frac{3}{4}$  الی  $\frac{3}{8}$ ) در حدود ۶۰ درصد کل دانه ها قرار گرفته اند، یعنی بعضی از ابعاد دانه ها به صورت چشمگیر نسبت به سایر ابعاد دانه ها بیشتر هستند. (این منحنی گسسته است). منحنی شماره ۴ یک منحنی دانه بندی است که در محدوده شن و ماسه پیوسته بوده دارای تمام ابعاد دانه ها هست.



به دلایل زیر اکثراً در ساخت بتن سعی می شود که از مصالح با دانه بندی پیوسته استفاده شود:

- ۱- با استفاده از شن و ماسه با دانه بندی پیوسته، فضای خالی بین مصالح به حداقل می رسد، چون دانه های ریزتر در لابلای دانه های درشت قرار گرفته و در هم جفت می شوند و در نتیجه فضای خالی که برای پرشدن با خمیر سیمان باقی می ماند، کمتر می شود (البته علاوه بر فضای خالی بین دانه ها، باید سطح ظاهری کلیه دانه ها نیز با خمیر سیمان آغشته شود لذا معمولاً خمیر سیمان مصرفی بیشتر از فضای خالی بین دانه ها است).

- ۲- در صورت استفاده از یک دانه بندی پیوسته، دانه های در ابعاد مختلف در تمام قسمتهای بتن توزیع شده و به خوبی جای خود را در بین یکدیگر باز می کنند، بنابراین حجم بیشتری از بتن توسط دانه ها اشغال شده و بتن حاصله توپرتر و متراکم تر خواهد شد.

قبلاً ذکر شد که دانه ها بین ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را اشغال می کنند، به این ترتیب هرچه دانه بندی پیوسته تر باشد، حجم بیشتری از بتن توسط دانه اشغال شده و چون در بتن، نقش باربری به عهده دانه ها است چنین بتنی در مقابل تحمل تنش مقاوم تر خواهد بود.

بطور کلی بتنی که با مصالح با دانه بندی پیوسته ساخته می شود هم مصرف سیمان آن کمتر است و هم مقاومت مطلوب تری دارد. البته دانه بندی گسسته در مواردی خاص کاربرد دارد که بعداً اشاره خواهد شد.



۱-۲-۴- دانه بندی استاندارد ماسه

دانه بندی 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 کارایی و روانی بتن دارا می باشد به طوری که با افزایش ماسه روانی و کارایی 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.

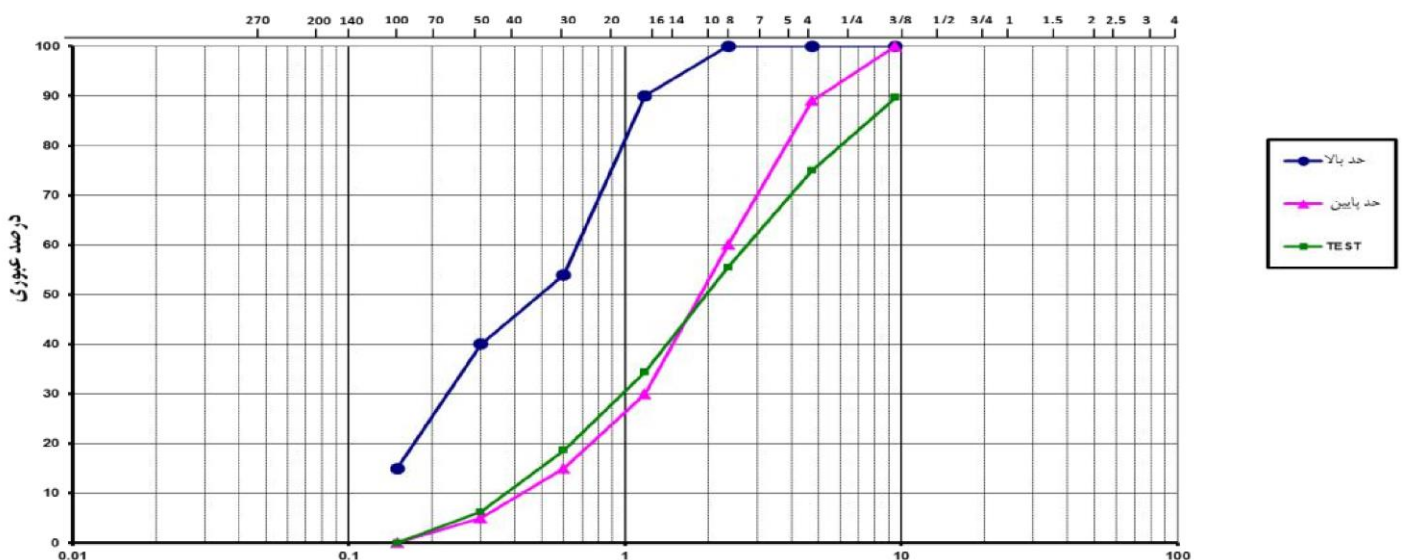
ریزدانه های ماسه که از الک نمره ۵۰ رد می شوند (یعنی ریزتر از ۰/۳ میلیمتر) و یا از الک نمره ۱۰۰ رد می شوند (یعنی ریزتر از ۰/۱۵ میلیمتر) باعث روان تر شدن و خمیرتر شدن بتن می شوند و لذا استفاده از دانه های بسیار ریز ماسه سبب می شود که با استفاده از آب کمتر، بتوان مخلوط روان تر و کاراتری به دست آورد. اما از طرفی با مصرف دانه های ریزتر، مصرف خمیر سیمان لازم جهت اندود سطح ظاهری دانه های ریز بالا می رود. در مجموع مصرف دانه های ماسه ای بسیار ریز (گذرنده از الک نمره ۵۰ و ۱۰۰) سبب می شود که بتوان مخلوط های روان تر به دست آورد ولی مصرف سیمان بالاتر خواهد بود.

بدین جهت در مقدار دانه های ریزتر از ۰/۳ میلیمتر در مصالح دانه ای محدودیت هایی 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 می یابد.

به همین علت، مقدار دانه های ماسه ای ریزتر از ۰/۳ میلیمتر (عبوری از الک ۵۰) بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از کل حجم ماسه تعیین شده است. چنانچه دانه های ماسه ای ریزتر از ۰/۳ میلیمتر کمتر از ۱۰ درصد باشد مخلوط بتنی خشن شده و کار کردن با آن مشکل می شود (مخلوط غیر کارا است). توصیه می شود چنانچه بتنی با نمای صاف مورد نظر است و از طرفی پرداخت سطحی با دست انجام می گیرد، دانه های عبوری از الک ۵۰ به میزان ۱۵٪ از کل ماسه در نظر گرفته شود، اما دانه های عبوری از الک نمره ۱۰۰ حداقل ۳٪ باشد طبعاً در اینجا مصرف سیمان تا حدی بالا می رود ولی امکان پرداخت سطحی مناسب افزایش می یابد.

ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های ریز مصرفی در بتن

ردیف	اندازه الک (mm)	اندازه الک بر حسب اینچ یا نمبر الک	درصد وزنی رد شده از الک
۱	۹/۵۰	$\frac{3}{8}$ in	۱۰۰
۲	۴/۷۵	# ۴	۸۹ - ۱۰۰
۳	۲/۳۶	# ۸	۶۰ - ۱۰۰
۴	۱/۱۸	# ۱۶	۳۰ - ۹۰
۵	۰/۶	# ۳۰	۱۵ - ۵۴
۶	۰/۳	# ۵۰	۵ - ۴۰
۷	۰/۱۵	# ۱۰۰	۰ - ۱۵



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

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.





۱-۲-۵- دانه بندی استاندارد شن

۲ بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه های درشت طبق تعریف عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر  
۳ ۱۰ درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند. بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه های درشت نباید از هیچ یک از  
۴ مقادیر زیر بیشتر باشد:

۵ ( ۱ ) یک پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب بتن

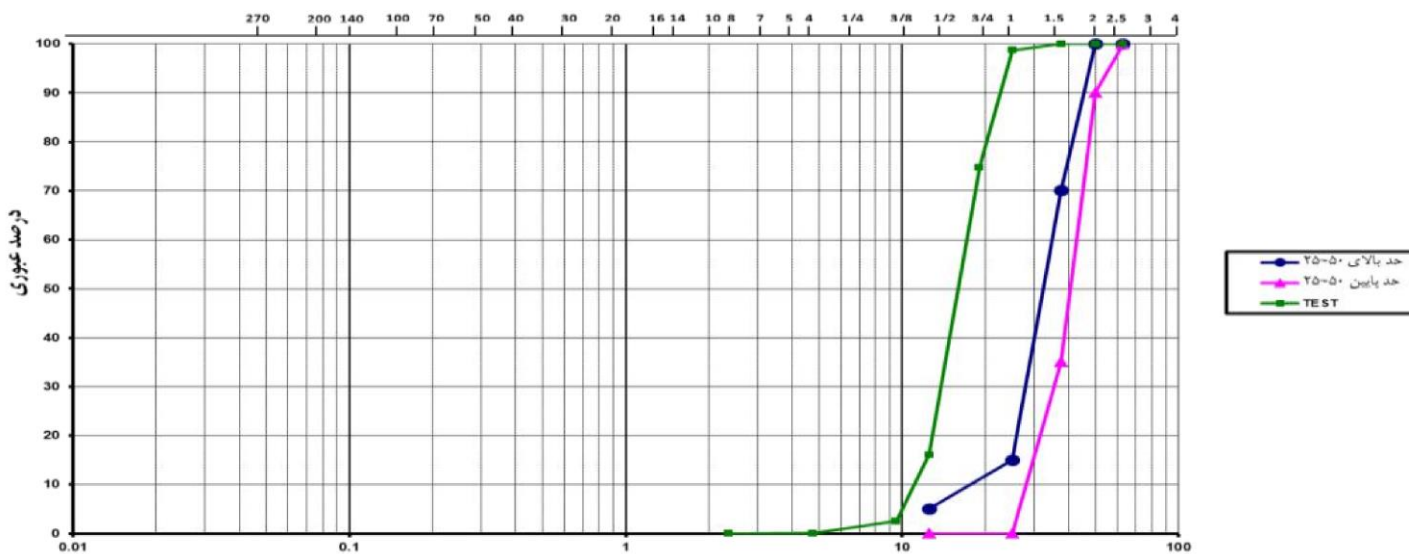
۶ ( ۲ ) یک سوم ضخامت دال

۷ ( ۳ ) سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگرد ها

۸ ( ۴ ) سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد ها

۹ ( ۵ ) ۳۸ میلیمتر ( ۱/۵ اینچ ) در بتن آرمه

۱۰ ( 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

۱-۲-۶- مواد زیان آور سنگدانه ها

جدول ۳-۴-۵ مواد زیان آور سنگدانه ها

ویژگی های تاثیر پذیر بتن و اثر نهائی	مواد زیان آور
گیرش سیمان و روند کسب مقاومت، خرابی احتمالی	ناخالصی های آلی
چسبندگی، افزایش مقدار آب لازم، پایانی	مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰ ( ۰/۰۷۵ میلی متر )
پایانی، لکه دار شدن و بیرون پریدگی در برخی قسمت ها	زغال سنگ، لیگنیت و سایر مصالح سبک
مقاومت، پایانی	دانه های نرم
مقاومت، پایانی، کارائی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت ها	کلوخه های رسی و دانه های سست
مقاومت، پایانی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت ها	چرت هائی که براحتی از هم پاشیده می شود (چگالی کمتر از ۲/۳۵)
انبساط غیر عادی، ترک های ریز سطحی، پایانی، بیرون پریدگی بعضی قسمت ها	سنگدانه های وکنش زا با قلبائی ها

ناخالصی های آلی ممکن است گیرش و سخت شدن بتن را به تاخیر اندازند، روند کسب مقاومت را دگرگون سازند، و برخی حالت های غیر عادی خرابی را ببار آورند. می توان ناخالصی های آلی را با شستن کاهش داد.

مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰، بویژه لای و رس، ممکن است بصورت پودر بسیار نرم در دانه ها وجود داشته، و یا بصورت پوششی روی سنگدانه ها را گرفته باشد. حتی پوشش نازکی از لای و رس روی دانه های شن می تواند زیانبار باشد، زیرا چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه های درشت را تقلیل می دهد. وجود بیش از حد برخی انواع لای و رس از قبیل رس منبسط شونده و بنتونیت می تواند مقدار آب لازم را به میزانی قابل توجه افزایش دهد. وجود پودر سنگ ناشی از شکستن سنگدانه ها معمولاً اثر زیانبار قابل ملاحظه ای را باعث نمی گردد.

وجود دانه های نرم در سنگدانه های درشت مشکل ساز است، زیرا بر پایانی و مقاومت بتن در برابر سایش اثر منفی دارد و موجب بیرون پریدگی قسمت هائی از بتن می شود. اگر این ذرات، سست باشند ممکن است در حین اختلاط خرد شوند و در نتیجه مقدار آب لازم افزایش یابد. در مواردی مانند کف های پرتدد که مقاومت در برابر سایش جنبه بحرانی داشته باشد، ممکن است نتایج آزمایش ها بر لزوم بررسی بیشتر دلالت کنند.



۱ ماسه های ساحلی بطور معمول درصد زیادی کلرید دارند و مصرف آنها در بتن مسلح  
 ۲ مجاز نیست. اینگونه ماسه ها پس از شستشو ممکن است قابل پذیرش باشند، مشروط بر اینکه  
 ۳ مقدار کل یون کلرید در بتن آرمه از مقادیر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ تجاوز نکند. اگر  
 ۴ شستشو بخوبی انجام گیرد، کلرید به مقدار زیاد از بین می رود. باید توجه داشت هر چند  
 ۵ شستشو، کلرید ماسه را تقلیل می دهد، ولی اثر چندانی بر سولفاتهای با قابلیت انحلال کم  
 ۶ (مانند سنگ گچ) نخواهد داشت.  
 ۷ شستن بیش از حد سنگدانه های ریز بدلیل کاهش مواد ریزدانه (لای و رس) توصیه نمی شود،  
 ۸ زیرا حذف ذرات ریزتر از  $0/3$  میلی متر باعث شستشوی بیش از حد موجب زبری مصالح و  
 ۹ افزایش مصرف سیمان در بتن می گردد.

### ۱-۳- آب

۱۲ آب: آب در مخلوط بتن، علاوه بر ترکیب با سیمان (عمل آگیری)، کارایی لازم را برای بتن تازه تأمین می کند.  
 ۱۳ مقدار آبی که در واکنش شیمیایی با سیمان شرکت می کند، از حدود ۲۵ درصد وزن سیمان تجاوز نمی کند؛ در  
 ۱۴ حالی که در عمل، برای تأمین کارایی، نسبتهای بالاتری مورد نیاز است. به عبارت دیگر، با وجود تأثیر  
 ۱۵ سوء افزایش نسبت آب به سیمان از مقدار حداقل یاد شده در بالا، این نسبت برای بتنهای سفت، حدود ۳۰  
 ۱۶ تا ۴۰ درصد و برای بتنهای روان حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد انتخاب می شود.

۱۷ آب در بتن دارای سه نقش اساسی است: ۱- انجام فعل و انفعالات شیمیایی با سیمان (مقدار این آب در  
 ۱۸ نهایت در حدود ۲۵ درصد وزن سیمان می باشد) ۲- ایجاد ژل سیمان با مصرف حدود ۱۵ درصد آب در نهایت  
 ۱۹ به صورت آب حفرات ژل سیمان علاوه بر آب مصرفی شیمیایی ۳- آب لازم برای تر نمودن سطح جانبی  
 ۲۰ دانه ها که آنها را لیز کرده و باعث می شود که دانه ها به راحتی روی هم بلغزند و بتن کارپذیر گردد.

۲۱ آب مورد استفاده در بتن، باید صاف و عاری از مواد مضر روغنی، اسیدی، قلیایی، نمکی، قندی، مواد  
 ۲۲ آلی و یا هر ماده ای که برای بتن و فولاد زیان بخش است، باشد. معمولاً هر نوع آب که قابل آشامیدن باشد،  
 ۲۳ برای ساختن بتن نیز مناسب است. ولی در مناطقی که آب آشامیدنی حاوی مقادیر زیادی سولفات باشد، نباید  
 ۲۴ برای ساخت بتن به کار رود. ناخالصی آب ممکن است به طور قابل ملاحظه ای از مقاومت بتن بکاهد و آن را  
 ۲۵ زودگیر یا کندگیر نماید و یا موجب تغییر حجم زیاد بتن شود. ترکیبات آب ناخالص (مانند آب دریا)، در  
 ۲۶ مواردی موجب خورده شدن و زنگ زدن فولاد داخل بتن می شود.



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 بر خوردگی میلگردها یا کابل های پیش تنیدگی مربوط می شود. به همین دلیل برای بتن بدون آرماتور می توان مقدار بیشتری از کلرید را در آب مجاز دانست. یون کلرید به قشر محافظ روی میلگردها، که در محیط بتن با درجه قلیائی زیاد تشکیل می شود، حمله می کند.

سولفات ها

حملات سولفاتی موجب احتمال برقراری واکنش های انبساطی ویرانگر می گردد. سولفات دار بودن آب ها از مزه آن قابل تشخیص است، زیرا آب های 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 می تواند باعث گیرش خیلی سریع شود، بی کربنات ها می توانند گیرش را تسریع یا کند کنند. وجود این نمک ها با غلظت های زیاد می تواند مقاومت بتن را به نحو چشم گیری کاهش دهد. احتمال تشدید واکنش قلیایی سنگدانه نیز باید در نظر گرفته شود.

#### ۱-۴- مواد افزودنی

مواد افزودنی: مواد افزودنی 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 کارخانه سازنده، مصرف شوند. کیفیت مواد افزودنی، 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 و انفعال شیمیایی سیمان و آب به کار می‌رود. از این مواد، معمولاً "برای بتن ریزی در هوای گرم استفاده می‌شود.

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

ج) مواد کاهنده آب: ماده افزودنی کاهنده 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 حباب ساز: با افزودن این مواد به بتن، حبابهای بسیار ریز در آن به وجود می‌آید. وجود این حبابها در بتن، موجب افزایش پایداری بتن شده و تا حدودی از به هم خوردن یکنواختی بتن هنگام حمل و نقل، 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 دانه بندی 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 اندک است و با اندک افزایش در مقدار سیمان مورد مصرف، قابل اصلاح 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 پر کاربرد تشریح شده است:

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

قوی ترین گونه افزایش دهنده روانی بتن و کاهش دهنده 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  $1/0.17 \text{ gr/cm}^3$ ، دارای حالت فیزیکی مایع و رنگ قهوه ای تیره و دارای  $PH$  حدود  $8/5$  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  $4.5\%$  الی  $1.2\%$  وزن سیمان مصرفی خواهد بود. در بازار براساس بسته بندی در گالن  $24$  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  $12\%$  الی  $20\%$ -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  $30$  الی  $45$  دقیقه.

۱-۴-۲- 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 کربوکسیلات یا پلی کربوکسیلیک اسید تولید صنعتی می گردد. وزن مخصوص ماده اصلی  $1/15 \text{ gr/cm}^3$ ، حالت فیزیکی به صورت مایع و رنگ آن قهوه ای تیره و دارای  $PH$  حدود  $6.5$  می باشد.

از این ماده می توان جهت ساخت بتن های پر مقاومت و خود تراکم پذیر ( $SCC$ )، زمان حفظ اسلامپ (کارایی)  $60$  الی  $90$  و تا زمان حداکثر  $6$  ساعت استفاده نمود. در گالن  $24$  کیلوگرمی در بازار موجود می باشد. جدیدترین گونه مواد کاهش دهنده آب و افزایش دهنده کارایی بتن، باشد.

میزان مصرف دقیق مواد افزودنی ابر روان کننده و کاهش دهنده 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  $0/3$  الی  $0/9$  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  $30\%$  تا  $40\%$ -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.



۱-۴-۳- میکروسیلیس

این نوع افزودنی جهت ساخت بتن های با مقاومت فشاری زیاد، کاهش احتمال بروز پدیده سرطان بتن، افزایش مقاومت فرسایشی و کاهش خطر قلبیایی شدن در بتن استفاده می گردد. این ماده پودری است به رنگ خاکستری روشن یا تیره که دارای حدود ۹۶٪ الی ۹۴٪ 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  $500 \text{ kg/m}^3$  و دارای شکل کروی و غیر کریستاله (آمورف) می باشد.

۱-۴-۴- 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  $1/03 \text{ gr/cm}^3$  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.

## ۲- خواص بتن

### ۲-۱- وزن مخصوص بتن

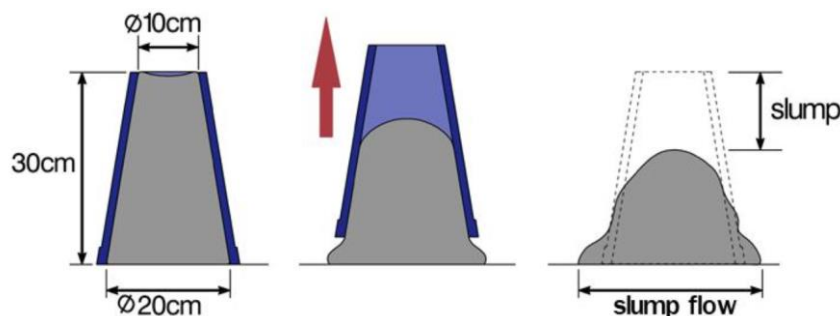
بتن هایی که به صورت عادی با سیمانهای معمول تیپ ( I ) تا تیپ ( V ) پرتلند ساخته می شوند، دارای وزن مخصوص برابر با ۲۲۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب هستند ( معمولاً ۲۴۰۰ ). تفاوت ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ در وزن مخصوص، ناشی از جنس دانه ها و تراکم بتن است.

وزن مخصوص بتن سبک حدود نصف وزن مخصوص بتن معمولی است. یعنی حتی می توان بتنی با وزن مخصوص  $800 \text{ kg/m}^3$  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، دیوارهای جدا کننده، سقف کاذب و اصولاً 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  $3500 \text{ kg/cm}^3$  تا  $6000$  می باشد که در حدود  $1/5$  تا  $2/5$  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 اصولاً 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 بتن های بسیار روان (SCC) یا بتن خود متراکم کاربرد دارد. این آزمایش برای بتن هایی با سنگدانه های به اندازه بیش از ۴۰ میلیمتر کاربرد ندارد.





رده بندی بتن بر مبنای میزان اسلامپ

میزان اسلامپ (mm)	طبقه بندی روانی
۴۰ تا ۱۰	S <sub>1</sub>
۹۰ تا ۵۰	S <sub>2</sub>
۱۵۰ تا ۱۰۰	S <sub>3</sub>
بیشتر از ۱۶۰	S <sub>4</sub>

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

ردیف	نوع عضو یا قطعه بتنی	اسلامپ به میلیمتر	
		حداقل	حداکثر*
۱	شالوده ها و پی دیوارهای بتن آرمه <sup>۳</sup>	۲۵	۷۵
۲	شالوده های با بتن ساده، صندوقه ها و دیوارهای زیر سازه ها	۲۵	۷۵
۳	تیرها و دیوارهای بتن آرمه	۲۵	۱۰۰
۴	ستونها	۲۵	۱۰۰
۵	دالها و پیاده روهای بتنی <sup>۴</sup>	۲۵	۷۵
۶	بتن حجیم	۲۵	۵۰

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

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

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

## ۲-۳- 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.

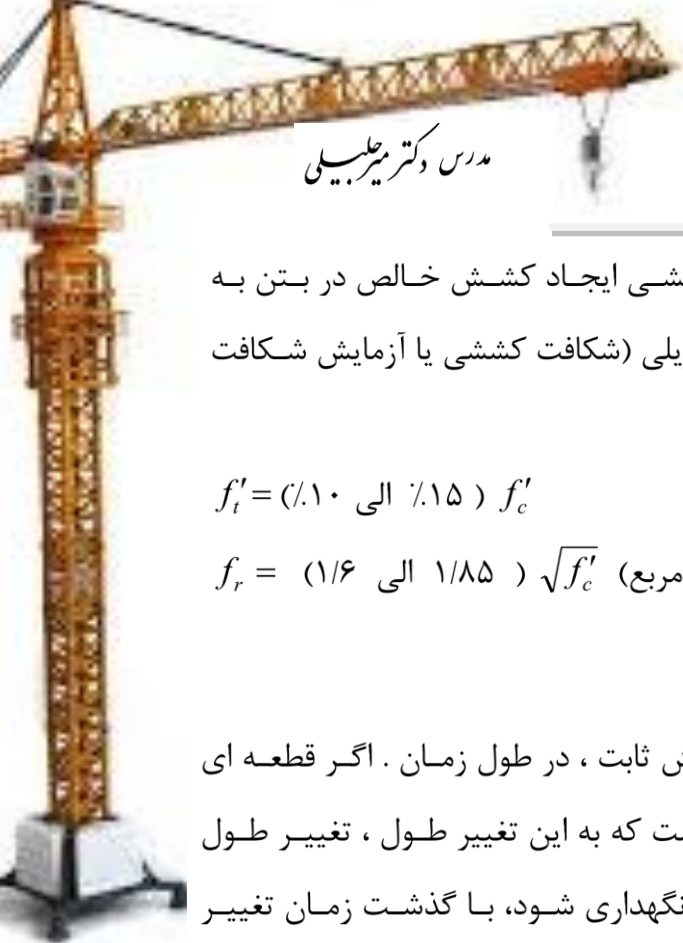


انواع قالب های نمونه گیری بتن (استوانه ای و مکعبی)

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 بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع است.

## ۲-۴- 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



1 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.

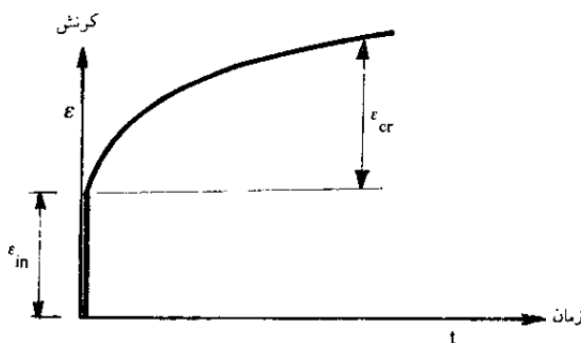
$$f_t' = (0.10 \text{ الی } 0.15) f_c'$$

$$f_r = (1/6 \text{ الی } 1/85) \sqrt{f_c'} \quad (\text{بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع})$$

## ۲-۵- 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 معمولاً ۲ تا ۳ برابر کرنش اولیه است.



$$\epsilon_{in} = \text{تغییر طول الاستیک (کرنش اولیه)}$$

$$\epsilon_{cr} = \text{تغییر طول (کرنش) ناشی از خزش}$$

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

## ۲-۵-۱- 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 بار قرار گیرد، خزش در آن کمتر است.
- ۵- تعبیه آرماتورهایی که تنش ناشی از خزش را جبران کند



## ۲-۶- افت یا آب رفتگی (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، قبلاً 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 مؤینگی 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

می شود)

کرنش (تغییر طول نسبی) ناشی از افت در بتن در محدوده ۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۰۷ است. در اثر این کرنش، تمایل به کم شدن ابعاد در قطعه بتنی بوجود می آید، لکن محیط این امکان را به قطعه سخت شده نمی دهد. 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.



1 معمولاً ۱۵ الی ۳۵ درصد افت در همان دو هفته اول، ۴۰ الی ۸۰ درصد افت در سه ماهه اول و  
2 ۶۵ الی ۸۵ درصد افت در یکسال اول اتفاق می افتد و بعد از ۳ الی ۵ سال افت کاملاً متوقف  
3 می شود.

#### ۲-۶-۱- راهکارهای کاهش افت

- 4 ۱- کاهش نسبت آب به سیمان
- 5 ۲- افزایش مراقبت: مراقبت از بتن به خصوص در طول ۷ الی ۱۰ روز اولیه موجب کاهش افت می شود.
- 6 معمولاً ۱۵ الی ۳۵ درصد افت در همان دو هفته اول، ۴۰ الی ۸۰ درصد افت در سه ماهه اول و ۶۵ الی
- 7 ۸۵ درصد افت در یکسال اول اتفاق می افتد و بعد از ۳ الی ۵ سال افت کاملاً متوقف می شود.
- 8 ۳- میزان مصالح سنگی به کار رفته در ساخت بتن: هر چه مصالح سنگی به کار رفته در بتن بیشتر باشد،
- 9 میزان افت کمتر است. ( در بتن توپیر افت کمتری دارد)
- 10 ۴- نوع مصالح سنگی: هر چه در ساخت بتن از مصالح سنگی استفاده شود، افت کمتری اتفاق می افتد.
- 11 آزمایش نشان داده که افت یک نمونه بتن که از ماسه سنگ تهیه شده ۳ برابر افت نمونه مشابه که از
- 12 کوارتز تهیه شده است می باشد.
- 13 ۵- استفاده از سیمان ضد افت: سیمان ضد افت همزمان با گیرش خود، افزایش حجمی را در بتن ایجاد
- 14 می کند که این افزایش حجم می تواند با کاهش حجم ناشی از افت، مقابله کند. ( البته این سیمان گران
- 15 قیمت بوده و مصرف آن باید توجیه اقتصادی داشته باشد)
- 16 ۶- استفاده از درزهای مناسب: یعنی بتن را در فواصل مناسب ( مثلاً ۵ متر به ۵ متر ) به توسط درزهای
- 17 انقباض از هم جدا کنند. در مورد درزهای انقباض، در فصل آخر بحث مستقلی شده است. در اینجا فقط
- 18 متذکر می شویم که استفاده از درزهای انقباض، کمک می کند که با استفاده از ضعیفی که در فواصل معین
- 19 ایجاد کرده ایم، ترک ناشی از افت دقیقاً در محل دلخواه اتفاق بیفتد.
- 20 ۷- استفاده از آرماتور افت و حرارت: این آرماتور ها، برای خنثی نمودن تنش های کششی ناشی از افت در
- 21 بتن به کار گرفته می شوند. در عمل اکثراً از آرماتورهایی موسوم به آرماتور افت و حرارت استفاده می شود.
- 22 چنین آرماتورهایی هم برای تحمل تنش های ناشی از افت و هم برای تحمل تنش های ناشی از حرارت به
- 23 کار برده می شود. حداقل آرماتور افت و حرارت ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۱۸ سطح مقطع بتن است. آرماتورهای افت
- 24 را می توان به صورت ساده ( صاف ) در نظر گرفت.
- 25
- 26
- 27



## ۲-۷- آب انداختن بتن

آب انداختن بتن از نظر یک پدیده ظاهری، اینگونه تجلی می کند که پس از بتن ریزی و پرداخت سطحی بتن، یک لایه نازک آب آغشته به سیمان، روی سطح بتن ظاهر می شود. 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 می کند. 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 مورد نظر نخواهد رسید.

ب: لایه رویی بتن آب انداخته، پس از سفت شدن (سخت شدن) به مرور زمان و با استفاده های ترافیکی از آن، پودر شده و به صورت گرد و خاک در می آید و به این جهت سطح رویی ناصاف شده و پدیده «پودرشدگی»<sup>۱</sup> اتفاق می افتد. چنین بتنی اولاً بدنما شده و ثانیاً نقطه ضعفی برای شرایط یخ زدگی و هوازگی خواهد بود. آب انداختن پدیده بسیار نامطلوبی است و باید حتی المقدور از ایجاد آن جلوگیری کرد متأسفانه بعضی از استادکاران سعی می کنند با زیاد ماله کشیدن بر روی سطح بتن، یک قشر آب در سطح ایجاد کنند، غافل از اینکه این عمل، ضعف های اساسی برای بتن ایجاد می کند.

مهم ترین 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 می دهد. دلایل دیگری از جمله ویبره بیش از حد و نیز نامناسب بودن دانه بندی، احتمال آب انداختن بتن را افزایش می دهند.

## ۲-۸- جدا شدن دانه ها

جدا شدن دانه ها از پدیده هایی است که در بتن تازه اتفاق می افتد. به این ترتیب که دانه های درشت مخلوط نشست کرده و به سمت پائین حرکت می کنند و دانه های ریزتر به سمت بالا منتقل



می شوند، بنابراین بتن حالت یکنواختی خود را از دست داده و توزیع دانه بندی به هم می خورد.  
 جدا شدن دانه ها در بتن تازه یک پدیده نامطلوب محسوب می شود و ناظرین و مهندسين کارگاه همواره باید سعی کنند تا از عواملی که ممکن است منجر به بروز این حالت شود، جلوگیری نمایند.  
 بتنی که دانه های آن جدا شده از نظر مقاومت فشاری و خمشی ضعیف شده و به حد مطلوب نخواهد رسید.

مهم ترین دلیل جدا شدن دانه ها در بتن تازه اسلامپ بالا و بیش از حد است.  
 دلایل دیگری از قبیل ویریه بیش از حد، جابجا کردن بتن در قالب بوسیله بیل یا ویراتور، ریختن بتن از ارتفاع نیز ممکن است به جدا شدن دانه ها منجر شود. انبار کردن نامناسب دانه ها ممکن است به جدا شدن دانه ها قبل از ساخت بتن و احتمالاً عدم وجود دانه بندی یکنواخت و صحیح در بتن ساخته شده منجر شود. به همین جهت لازم است انبار کردن دانه های شن و ماسه در کارگاه به صورت مجزا و در دپوهای جداگانه صورت گیرد. از طرفی بهتر است دانه بندی ابعاد مختلف شن هم در دپوهای جداگانه انجام گیرد. مثلاً بهتر است برای ماسه یک دپوی (۵ - ۰) و برای شن دپوهای (۱۰ - ۵) یا نخودی و (۲۰ - ۱۰) یا بادامی تنظیم شود و در صورت استفاده از دانه های درشت تر می توان از یک دپوی (۴۰ - ۲۰) نیز استفاده کرد. به این ترتیب می توان در هنگام ساخت بتن مصالح دانه ای را از هر دپو به میزان محاسبه شده جدا کرده و اختلاط را انجام داد.

## ۹-۲- اثرپذیری از تهاجم سولفات ها

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.



- 1 انواع سولفات های سدیم ، کلسیم و منیزیم ممکن است در بتن آسیب دیدگی ایجاد نمایند. حمله سولفات
- 2 ها ممکن است همراه با واکنش های زیر باشد:
- 3 ۱ - تبدیل  $Ca(OH)_2$  به سولفات کلسیم که با انبساط و تخریب بتن همراه است .
- 4 ۲ - تبدیل آلومینات ها به اترینگایت که سبب انبساط و تخریب بتن می شود .
- 5 ۳ - تجزیه C-S-H (همان چسب سیمان) که سبب نرم شدن بتن و کاهش مقاومت آن می شود .
- 6
- 7 \* اگر سولفات کلسیم به بتن حمله کند فقط واکنش ۲ رخ می دهد .
- 8 \* اگر سولفات سدیم به بتن حمله کند واکنش ۱ و ۲ انجام می شود .
- 9 \* اگر سولفات منیزیم به بتن حمله کند واکنش های ۱ ، ۲ و ۳ انجام می شود .

## ۱۰-۲- خوردگی میلگرد در بتن

- 11 معمولاً بتن عامل محافظ فولاد محسوب می شود . میزان این محافظت بستگی به قلیائیت خمیر سیمان
- 12 دارد که PH آن حدود ۱۲ تا ۱۴ است . همچنین بتن پتانسیل الکترو شیمیایی فولاد را در حدی نگه می
- 13 دارد که امکان خوردگی وجود نداشته باشد . PH زیاد و وجود اکسیژن در بتن ، موجب می شود لایه
- 14 محافظ  $Fe_2O_3$  بر سطح فولاد ایجاد شود. این لایه میکروسکوپی که لایه انفعالی نامیده می شود ، فولاد را
- 15 در مقابل خوردگی محافظت می کند.
- 16 عامل دیگر محافظت فولاد در بتن ، پوشش بتن بر روی فولاد است . افزایش ضخامت پوشش و کاهش نفوذ
- 17 پذیری آن ، نفوذ مواد زیان آور (  $CO_2$  ،  $Cl^-$  و ... ) را محدود می کند . به طور کلی ، پوشش بتن یک
- 18 عامل فیزیکی است که از خوردگی فولاد جلوگیری می کند .
- 19 یون های کلرید نیز ممکن است از طریق منافذ به داخل بتن نفوذ کنند . فرآیند انتشار ، در منافذ کاملاً
- 20 اشباع یا نیمه اشباع اتفاق می افتد . بتن تا حدودی دارای ظرفیت فیزیکی و شیمیایی نگه داری یون های
- 21 کلرید است . خوردگی فولاد در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی است . یون های با بار الکتریکی از میان
- 22 محلول درون منافذ بتن ( الکترولیت ) در بین دو نقطه از سطح فولاد ( آند و کاتد ) انتقال می یابند . در
- 23 نتیجه فرآیند خوردگی را می توان به دو قسمت آندی و کاتدی تقسیم کرد .
- 24 پیوند یون های کلرید در بتن توسط  $C_3A$  انجام می شود .  $C_3A$  با کلرید ها واکنش داده و تشکیل کلرید
- 25 آلومینات کلسیم می دهد که به نمک فریدل موسوم است . پس از کربناسیون ، یون های کلرید پیوند یافته
- 26 ، به صورت آزاد درآمده و در نتیجه خطر خوردگی افزایش می یابد.





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

### 3 ۱۱-۲- تاثیر نسبت آب به سیمان در بتن

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

7 قسمتی از آبی که در ساخت بتن مصرف می شود (حدود ۲۵ درصد وزنی سیمان)، جذب ذرات  
8 سیمان شده و در واکنش های شیمیایی (هیدراسیون) به کار گرفته می شود. اما عملاً ساخت بتنی با  
9  $\frac{W}{C} = ۰٫۲۵$  امکان پذیر نیست، زیرا چنین بتنی به اندازه ای سفت است که کار کردن با آن میسر نیست  
10 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  
11 ۰٫۶ افزایش می دهند. اما در همین محدوده باز هم هرچه  $\frac{W}{C}$  را کمتر در نظر بگیرند، بهتر خواهد بود.

12 زیرا مازاد آب که در واکنش شیمیایی شرکت نمی کند، جا اشغال کرده و نهایتاً یا در بتن محبوس  
13 می شود و یا تبخیر شده و فضای خالی ایجاد می کند، یعنی در هر حال از حجم مفید بتن می کاهد.

14 محاسن استفاده از نسبت آب به سیمان کمتر

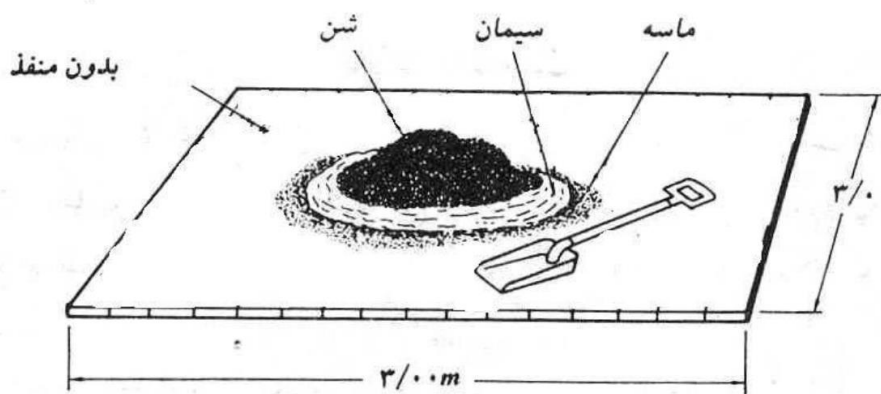
- 15 ۱- افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن .
- 16 ۲- افزایش خاصیت آب بندی در بتن (زیرا هر چه آب کمتری مصرف شده باشد، فضای خالی  
17 کمتری در بتن ایجاد شده و در نتیجه روزه های کمتری برای عبور آب وجود خواهد داشت.)
- 18 ۳- کاهش جذب آب (به دلیل محدودتر شدن فضاهای خالی).
- 19 ۴- پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی در بتن ریزی.
- 20 ۵- افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن (چون سطح تماس میلگرد و بتن بیشتر خواهد بود).
- 21 ۶- افزایش مقاومت در مقابل شرایط جوی نامساعد (تر و خشک شدن های متوالی و سرد و  
22 گرم شدن های متوالی).
- 23 ۷- کاهش میزان افت.
- 24 ۸- کاهش میزان خزش
- 25 ۹- کاهش امکان آب انداختن بتن.
- 26 ۱۰- کاهش امکان جدا شدن دانه ها.



### 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 حتماً باید به صورت وزنی باشد. در موارد اضطراری و در حجم کم، جدول زیر را به عنوان راهنما می‌توان به کار برد (اختلاط حجمی).

جدول طرح اختلاط کارگاهی بتن

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

### ۳-۲- اختلاط مکانیکی

مخلوط کن های با دیگ استوانه ای در ظرفیت های از ۱۴۰ تا ۲۸۰۰ لیتر ساخته می شوند و تولید آنها بین ۴ تا ۹۰ متر مکعب در ساعت است. سرعت دوران دیگ حدود ۱۰ تا ۳۵ دور در دقیقه است. ترتیب ریختن مصالح به داخل این نوع مخلوط کن ها 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 مخلوط کن ریخته شود و سپس در حین اختلاط مصالح، بقیه آب بتدریج به مخلوط افزوده شود. مخلوط کن های دارای دیگ استوانه ای به دو نوع دیگ کج شونده و دیگ غیر کج شونده تقسیم می شوند. در مخلوط کن های کج شونده بتن بعد از اتمام اختلاط با کج شدن دیگ تخلیه می شود. تخلیه بتن در مخلوط کن کج شونده بسیار سریع بوده و در نتیجه امکان جدا شدن دانه ها وجود ندارد، بنابراین، این نوع مخلوط کن برای بتن با کارایی کم و یا برای بتن با مصالح سنگی درشت مناسب است.

در نوع مخلوط کن های غیر کج شونده، محور دیگ همیشه به صورت افقی است و تخلیه با معکوس کردن حرکت دیگ انجام می پذیرد. به دلیل آنکه تخلیه با سرعت کم انجام می گیرد، امکان جدا شدن سنگدانه ها وجود دارد. بنابراین اگر مخلوط بتن مستعد جداشدگی ذرات می باشد، نباید از این نوع مخلوط کن 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 نظر محصول تولیدی به ایستگاه های بتن حجیم، بتن روسازی، بتن معمولی (بتن آماده) و فرآورده های بتنی طبقه بندی می شوند. [۳]



### ۳-۴- 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 مخلوط های خشک (اسلامپ کم) نیاز به مدت اختلاط طولانی تر دارند. در مواردی که بتن حاوی سنگدانه های شکسته است نیاز به مدت بیشتری نسبت به سنگدانه های طبیعی (گرد) برای مخلوط کردن دارد. تحقیقات نشان می دهد 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 نمی باشد. برای انواع مخلوط کن تا ۱ m<sup>3</sup> 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 کن هایی که با سرعت زیاد کار می کنند، زمان ۳۰ ثانیه کفایت می کند. به طور کلی می توان 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 می گردد.

جدول ۱ مدت مخلوط کردن

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



- 1 برای آنکه اختلاط بتن تازه به نحو مناسب انجام شود، رعایت نکات زیر ضروری است:
- 2 ۱- در مخلوط کن های عمودی، بهتر است که تمام مصالح همزمان در مخلوط کن ریخته شود (قبل از آنکه
- 3 مخلوط کن شروع به چرخش کند) و از ریختن مصالح پشت سر هم در حین چرخش مخلوط کن اجتناب
- 4 گردد. ریختن مصالح به طور همزمان موجب می شود که مخلوط بتن یکنواخت باشد.
- 5 ۲- عمل مخلوط کردن باید تا رسیدن به رنگ، ظاهر و روانی یکنواخت مخلوط بتن، ادامه یابد.
- 6 ۳- نباید مخلوط کن را بیش از ظرفیت بارگیری کرد. مقدار مصالح بیش از حد، سبب می شود تا مخلوط بتن
- 7 نامناسب گردد و امکان آسیب رساندن به مخلوط کن نیز وجود دارد.
- 8 ۴- احتمال دارد سنگدانه های درشت که در بتن مخلوط شده، به طور یکنواخت پخش نگردد. بنابراین به
- 9 جای آنکه مخلوط بتن به صورت بخش های کوچک از مخلوط کن تخلیه شوند، بهتر است تمام مخلوط بتن
- 10 یکجا در داخل یک ظرف تخلیه گردد.

### ۳-۵- مقدار سفارش بتن

11 بتن به صورت حجمی فروخته میشود (متر مکعب و یا یارد مکعب). بتن هنگامیکه از تراک میکسر تخلیه

12 میشود در شرایطی تازه و سخت نشده است. آن حجم از بتن که تحویل داده میشود براساس چگالی بتن و یا

13 وزن واحد آن محاسبه میگردد. یک یارد مکعب بتن وزنی معادل ۴۰۰۰ پوند (۲ تن). یک متر مکعب آن

14 (تقریباً ۱/۳ یارد مکعب) وزنی معادل ۲۴۰۰ کیلوگرم دارد. ظرفیت متعارف یک تراک میکسر بین ۸ تا 12

15 یارد مکعب است. (۵ تا ۹ متر مکعب) ۴ تا ۱۰ درصد بیشتر از میزان تخمین زده شده در طرح بتن سفارش

16 دهید. این میزان اضافی برای پرتی بتن یا تراوشات آن، گودبرداری اضافی، پوشش قالبها، از دست دادن هوای

17 اضافه شده در زمان بتن ریزی، نشست مخلوط خیس، مقداری که در تراک میکسر باقی میماند و تغییر در

18 حجم بتن مصرف میشود. حجم بتن سخت شده ۱ تا ۲ درصد کمتر از بتن تازه است. احتیاجات را حین بتن

19 ریزی مجدداً ارزیابی کرده و هرگونه تغییری را با فروشنده بتن در میان بگذارید. مصرف بتن باقی مانده تبعات

20 اقتصادی و محیطی را برای سازنده ی بتن آماده به همراه دارد.

21

22

23

24

25

26

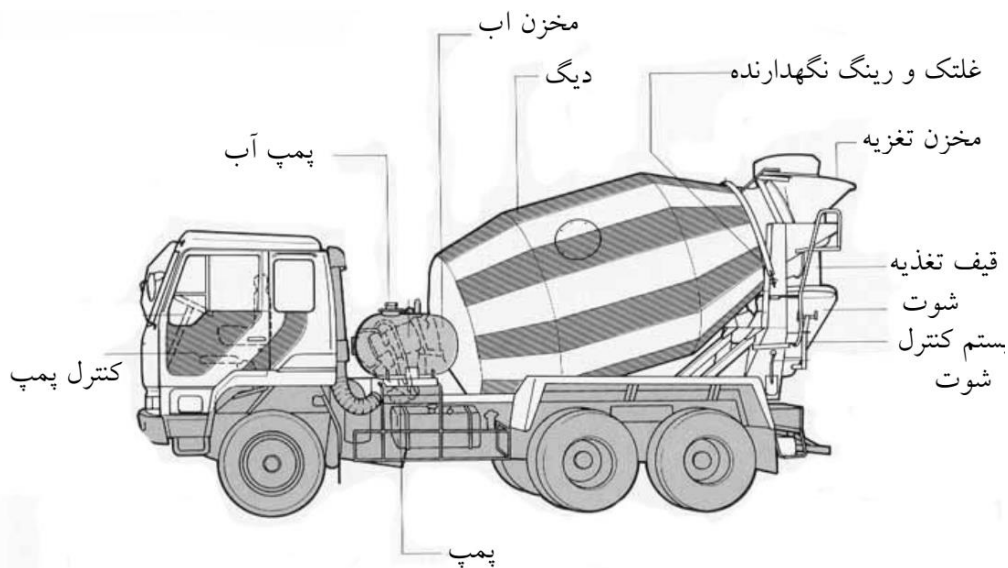
27

## ۴- انتقال بتن

### ۴-۱- انتقال بتن آماده از کارخانه به کارگاه

#### ۴-۱-۱- تراک میکسر یا کامیون مخلوط کن

تراک میکسر وسیله ای برای حمل بتن آماده است.



کارخانه های بتن آماده معمولاً به دو گروه تقسیم می شوند. برخی کارخانه ها فقط عملیات پیمانته کردن را انجام می دهند، و برخی دیگر از کارخانه ها غیر از عملیات پیمانته کردن، عمل مخلوط کردن را نیز انجام می دهند. به عبارت دیگر، در کارخانه، مصالح پیمانته شده و مقادیر معین مصالح بتن به درون کامیون مخلوط کن ریخته می شود، اما عمل اختلاط در حین حمل، قبل از تخلیه بتن در دیگ کامیون مخلوط کن صورت می گیرد و آب مخلوط در حین حمل و یا در محل کارگاه به مخلوط خشک اضافه می گردد. بر همین اساس به این روش، پیمانته خشک نیز گفته می شود.

اما در گروه دوم کارخانه ها، بتن آماده شده، به درون دیگ کامیون مخلوط کن ریخته می شود. دیگ کامیون مخلوط کن دارای دو سرعت دوران کند و تند می باشد. دور کند یا سرعت بهم زدن ۲ تا ۵ دور در دقیقه و دور تند یا سرعت اختلاط ۷ تا ۱۳ دور در دقیقه است.

باید توجه داشته باشید که تراک میکسر ها 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



1 در هنگام استفاده از کامیون مخلوط کن، موارد زیر باید رعایت گردد :

2 ۱- از زمانی که آب به مخلوط خشک بتن افزوده می شود تعداد دوران ۷۰ تا ۱۰۰ دور با سرعت تند برای اختلاط اولیه  
3 کافی است. اگر بتن آماده در داخل دیگ حمل شود و بخواهیم در هنگام تخلیه همگنی را مجدداً به دست آوریم، کافی  
4 است ۳۰ تا ۴۰ دور با سرعت کند بتن را بهم زنیم. حداکثر تعداد دوران دیگ به ۳۰۰ دور (شامل دور کند و تند)،  
5 محدود می گردد، به این ترتیب، مدت حمل در شرایط عادی (به غیر از بتن ریزی در هوای گرم و سرد) از زمان بارگیری  
6 تا تخلیه، به ۴۵ دقیقه محدود می شود. اما از ۳۰۰ دور چرخش دیگ فقط حداکثر ۱۰۰ دور باید سرعت مخلوط کردن و  
7 بقیه باید با سرعت بهم زدن باشد، زیرا زمان طولانی حمل و یا تعداد چرخش زیاد دیگ باعث کاهش اسلامپ، سایش  
8 سنگدانه ها و بدنه دیگ و همچنین کاهش مقاومت و دوام بتن می گردد.

9 ۹-۸-۲-۵-۱ مدت انتقال بتن از محل ساخت مخلوط تا محل بتن ریزی باید به حداقل زمان ممکن  
10 تقلیل داده شود تا از کاهش کارایی بتن اجتناب گردد. چنانچه حمل بتن با کامیون (تراک میکسر)  
11 انجام می شود، تعداد چرخش جام باید محدود به ۳۰۰ بار و زمان انتقال به ۴۵ دقیقه محدود گردد.

12 ۲- در مواردی که مدت انتقال بتن طولانی است و یا احتمال وجود ترافیک سنگین وجود دارد، بهتر است از روش  
13 مخلوط خشک استفاده شود و آب مخلوط در کارگاه به سایر مصالح اضافه گردد. هر چند در این حالت، کنترل دقیق  
14 مقدار آب با اشکال رو به رو می گردد و نیاز به نظارت دقیق است تا آب مخلوط به مقدار تعیین شده افزوده شود.

15 ۳- استفاده از کامیون مخلوط کن برای بتن های زیر توصیه نمی شود:

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

#### 20 ۴-۱-۲- پمپ دکل دار (هوایی)

21 در این دسته از پمپ ها یک پمپ بتن بر روی شاسی کامیون که ممکن است به دلیل تحمل وزن دارای  
22 محورهای بیشتری از کامیون های معمول باشد، نصب می گردد. به همین دلیل اصطلاحاً به آنها پمپ  
23 هوایی نیز گفته می شود همچنین به منظور انتقال بتن تا محل مصرف از بازوهای تاشو که تعداد آنها بین ۳  
24 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 صورت 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 مسافت های خیلی کم و یا مکان هایی که امکان استفاده از فرغون وجود ندارد می توان از استانبولی و یا زنبه استفاده کرد.





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

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

## ۲- چرخ دستی یا فرغون

توصیه می شود، در کارگاه های کوچک که حجم ساخت بتن از ۴۵۰ لیتر در هر نوبت تجاوز نمی کند، 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 می شود مسافت حمل به ۵۰ تا ۶۰ متر محدود گردد.

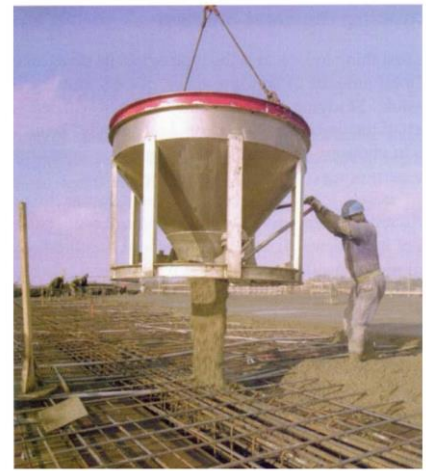
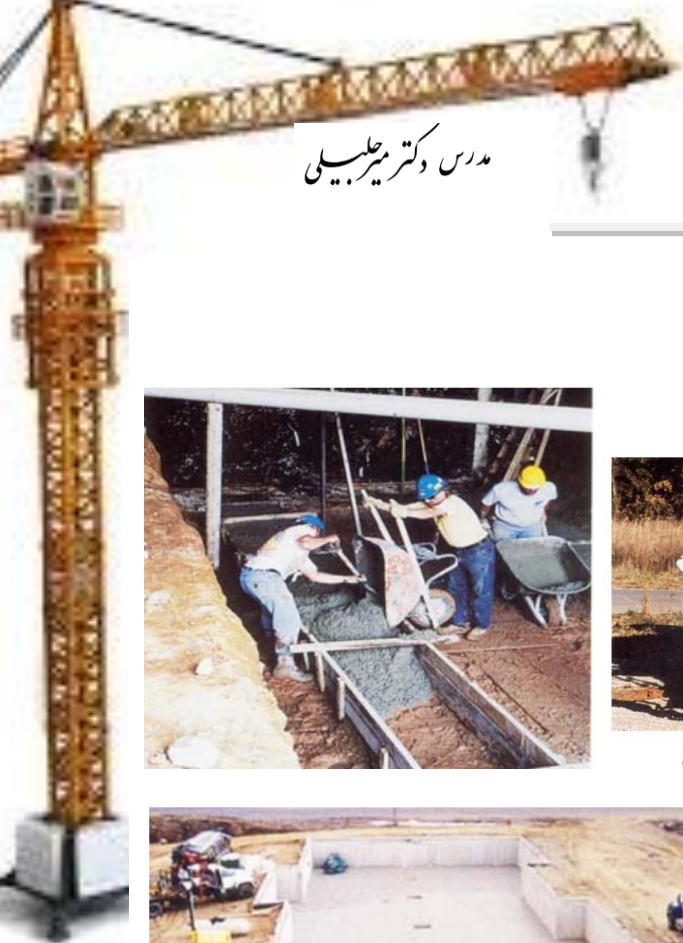
## ۳- دامپر (فرغون موتوری)

در کارگاه هایی با وسعت نسبتاً وسیع و دارای سطح هموار می توان 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 می توان 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 می شود.

معمولاً در کارگاه های ساختمان های بتنی مهم استفاده از جرثقیل به علت نیاز به جابجایی قالب و شبکه های آرماتور اجباری است و در صورت وجود چنین جرثقیلی استفاده از آن برای حمل بتن، منطقی و اقتصادی به نظر می رسد ظرفیت باکت ها تا ۲ متر مکعب بوده و معمولاً به شکل مکعبی یا استوانه ای می باشد و بتن داخل باکت یا از دریچه ای که از زیر آن تعبیه می گردد یا باکت به صورت قیچی باز می شود.



شکل ۲ انتقال بتن با استفاده از فرغون موتوری

شکل ۳ انتقال بتن با جام و روش تخلیه آن



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

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27

## ۵- بتن ریزی

### ۵-۱- آماده سازی قبل از بتن ریزی

قبل از آنکه عملیات بتن ریزی انجام شود، باید محل بتن ریزی کنترل گردد. مواردی که در زیر شرح داده شده، ضوابط کنترل و آماده سازی است که قبل از عملیات بتن ریزی 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 بتن ریزی بر روی زمین انجام می شود، 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 نقشه های اجرایی باشد و اندازه داخلی قالبها در حد رواداریهای مجاز باشد.

پ - قالبها باید در محل خود کاملاً 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 می گردد. 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 زیر از بین برود) و آج آن صدمه ندیده باشد، استفاده از آن



- 1 میلگرد بدون مانع است. حتی این مقدار زنگ باعث افزایش مقاومت پیوستگی می شود. اما اگر مقدار زنگ
- 2 روی میلگردها زیاد است، باید با ابزار مناسب نسبت به زدودن زنگ اقدام شود. روش مناسب زدودن
- 3 زنگ، ماسه پاشی است، اما فرچه یا سنباده و یا برس مناسب نیست، زیرا فقط سبب صیقلی شدن زنگ
- 4 می گردد. مقدار زیاد زنگ نه تنها فرآیند خوردگی را تشدید می کند، بلکه سبب کاهش مقاومت پیوستگی
- 5 بین میلگرد و بتن می گردد. در صورتی که خوردگی سبب آسیب دیدگی آج میلگرد و یا سبب ایجاد حفره
- 6 در میلگرد شده باشد، باید از به کار بردن آن میلگرد اجتناب گردد.
- 7 چ - ممکن است روی سطح میلگرد، قشری از ملات حاصل از بتن ریزی قبلی مشاهده شود. چنانچه
- 8 فاصله زمانی بتن ریزی قبلی و بعدی فقط چند ساعت باشد، نیاز به پاک کردن ملات از سطح میلگردها
- 9 نیست، در غیر این صورت باید آن قشر ملات پاک شود.
- 10 ح - میلگردها باید توسط فاصله دهنده های پلاستیکی (لقمه) در موقعیت خود تثبیت شده باشند تا
- 11 هنگام بتن ریزی، میلگردها حرکت نکنند. در صورتی که امکان دسترس به فاصله دهنده های پلاستیکی
- 12 وجود ندارد می توان از قطعات پیش ساخته ملات یا بتن با ضخامت مورد نظر، استفاده گردد. موقعیت و
- 13 فواصل میلگردها باید مطابق با نقشه های اجرایی و در حد رواداریهای مجاز باشد. همچنین، ضخامت
- 14 پوشش بتنی بر روی میلگردها باید کنترل گردد، زیرا رعایت نکردن ضخامت مورد نظر و یا کم بودن
- 15 ضخامت پوشش، سبب کاهش دوام سازه می شود.
- 16 ذ - در هوای سرد، سطح زمین و یا سطح بتن قدیم و یا قالبی که قرار است روی آن بتن ریزی شود،
- 17 نباید یخ زده باشد. در صورت مشاهده یخ، باید ابتدا نسبت به برطرف کردن یخ زدگی با وسایل مناسب
- 18 اقدام گردد.
- 19 ر - تمام وسایل و ابزار بتن ریزی، مانند فرغون و ویبره (لرزاننده) به صورت تمیز و آماده به کار در
- 20 محل مستقر شده باشد.

## ۵-۲- بتن ریزی

- 23 • بتن را باید در لایه های افقی در جای خود ریخت و نباید آن را با ویبره کردن و هل دادن جابجا کرد. ضخامت هر لایه
- 24 بتن بستگی به نوع کار بین ۱۵ تا ۶۰ سانتی متر در قطر می گیرند و لایه بعدی را پیش از این که لایه زیرین شروع به
- 25 گرفتن کند باید روی آن ریخت.
- 26 • 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.

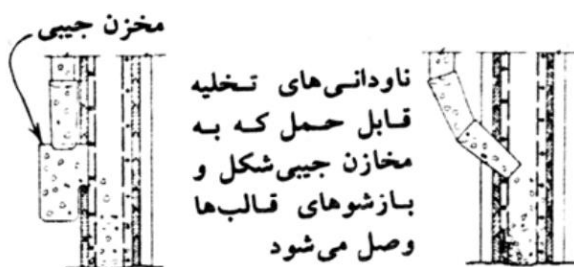


- 1 بتن ریزی در سطح شیبدار همیشه باید از پایین سطح شیبدار شروع و به طرف بالا ادامه یابد. همچنین باید طوری
- 2 بتن ریزی شود که به جابجایی دانه‌ها منجر نشود. اسلامپ بتن در این موارد کم باشد (حدود ۵ سانتیمتر)
- 3 نقل و انتقال مجدد بتن می‌تواند سبب جداشدگی مصالح تشکیل دهنده آن شود. بعنوان مثال
- 4 در اجرای دال‌های بتنی باید بتن‌ریزی را در امتداد پیرامون از یک انتهای دال آغاز و هر پیمانه
- 5 را روی بتن ریخته شده قبلی تخلیه کرد، بتن را نباید در توده‌های جدا از هم ریخته و سپس
- 6 همتراز کرد. همچنین بتن را نباید در توده‌های بزرگ ریخت و سپس به طور افقی به محل
- 7 نهایی انتقال داد. زیرا در این صورت، به دلیل تمایل ملات به جاری شدن قبل از دانه‌های
- 8 درشت، ممکن است جداشدگی روی دهد.
- 9 ۷-۴-۳ در صورت افت اسلامپ و کاهش کارایی به هیچ وجه نباید با اضافه نمودن آب کارایی
- 10 را افزایش داد. این امر سبب افت کیفیت بتن و کاهش مقاومت و پایداری آن خواهد شد. با
- 11 ریختن بتن در مجاورت این بتن‌ها یا روی آن ممکن است پیوستگی دولایه بتن بخوبی فراهم
- 12 نگردد.
- 13 تجربه نشان می‌دهد که در هنگام بتن‌ریزی از ارتفاع بیش از ۲ متر، چنانچه تمهیدات خاص اعمال
- 14 نگردد، کیفیت بتن نامطلوب خواهد بود. هر چند، آیین‌نامه‌های معتبر محدودیت خاصی را برای این
- 15 منظور ارائه ننموده‌اند. بتن‌ریزی در ارتفاع زیاد سبب می‌شود که بتن با قالب و میلگردها برخورد کند و
- 16 دچار ضربه ناگهانی شود و در نتیجه جداشدگی اجزا در بتن رخ می‌دهد. معمولاً در کشور ما آثار
- 17 جداشدگی در قسمت پایین ستونها و دیوارها (حدود ۰/۵ تا ۱ متری) مشاهده می‌گردد که تصور اکثر
- 18 دست‌اندرکاران آن است که، به علت عدم تراکم کافی بتن کرمو و فاقد ریزدانه و ملات بوده است، در
- 19 حالی که عمدتاً جداشدگی و تراکم بیش از حد موجب بروز این عارضه (پدیده) می‌شود. بنابراین اجرای
- 20 موارد زیر در بتن‌ریزی از ارتفاع ضروری است:
- 21 الف - درموردی که تراکم میلگرد در ستون و یا دیوار در حد کم باشد و سطح مقطع قالب فضای
- 22 کافی را ایجاد کند می‌توان از لوله‌های آویز، ناودان و یا قیف هادی برای بتن‌ریزی استفاده کرد. ناودان
- 23 شامل یک لوله و یک قیف در بالای آن است. لوله ناودان در داخل قالب گذاشته می‌شود و بتن‌ریزی به
- 24 صورت تدریجی اما پیوسته انجام می‌گردد. با ریختن بتن، بتدریج لوله ناودان به طرف بالا هدایت
- 25 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 می توان کاهش داد و ۶ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه در نظر گرفت. لوله ها می توانند به صورت پلاستیکی و یا پارچه ای باشند که در صورت وجود بتن، قطر مورد نظر را می توان به دست آورد. این لوله ها نسبت به لوله های صلب (انعطاف ناپذیر) ارجحیت دارند. عملیات صحیح و ناصحیح بتن ریزی 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 لوله های ناودان برای ریختن بتن عملی نباشد. بنابراین می توان با تعبیه دریچه یا باز شو در قالب، بتن ریزی را انجام داد. می توان فواصل دریچه ها را حدود ۱/۵ متر تا ۲ متر در نظر گرفت. از طرف دیگر، به کارگیری دریچه، امکان رؤیت بتن در قالب را فراهم می کند و کنترل لرزاننده دستی نیز بهتر انجام می شود. در شکل ۶ روش ایجاد دریچه را نشان می دهد. در این روش، بتن ریزی تا تراز پایین دریچه تحتانی، متراکم می شود، سپس این دریچه بسته و از دریچه تراز بالایی بتن ریزی ادامه می یابد.



**صحیح**  
ریختن بتن به طور قائم در مخازن جیب مانند بیرونی قالبها در نقاط مختلف باعث می شود بتن به آرامی به داخل قالب بدون جداشدگی داخل شود.

**غیر صحیح**  
برای ریختن سریع بتن به داخل قالبها از سیستم زاویه دار نسبت به قائم استفاده شده است. این حالت منجر به جداشدگی می شود.

شکل ۶ استفاده از یک دریچه در بتن ریزی در ارتفاع و یا در مواردی 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- تراکم کردن بتن

تراکم بتن عبارت است از فشردن بتن تازه به صورتی که در اطراف قالب ها و میلگردها دقیقاً شکل گرفته و دور آن ها را پوشاند. نحوه تراکم بتن رابطه مستقیم با نحوه بتن ریزی دارد. تراکم بتن هوای محبوس را تا حدود زیادی از بتن خارج کرده و سنگدانه ها را به یکدیگر نزدیک و از کرم شدن بتن جلوگیری می کند. تراکم بتن با لرزاندن یا اصطلاحاً ویریه کردن آن بوسیله لرزاننده یا ویراتور انجام می شود و در نتیجه آن هوای محبوس ناخواسته در بتن به کمتر از ۱،۵٪ تقلیل می یابد.

روش تراکم باید به گونه ای 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 روش های 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 لرزاننده ها و وسایل مکانیکی وجود ندارد می توان برای تراکم بتن از وسایل دستی به شرح زیر استفاده کرد.

۱. در مخلوط های خمیری و روان (با اسلامپ بیش از ۵۰ میلی متر می توان با اجازه دستگاه نظارت از میله فولادی (تخماق) یا وسایل 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 بتن ریزی برسد، ضخامت میله بایستی چنان انتخاب شود که به راحتی از بین میلگردها عبور نماید.
۲. با عملیاتی شبیه بیل زنی می توان 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 دانه های بزرگتر را وادار می سازد تا از قالب رانده شود و حباب های هوای محبوس بتوانند بالا بیایند. در این خصوص باید دقت کرد تا به وضعیت میلگردها و قالب ها آسیبی نرسد. در این حالت، ضخامت بتن حدود ۳ متر توصیه می شود.
۳. برای تراکم بتن دال هایی با ضخامت کمتر از ۱۵ متر می توان از ماله چوبی و اعمال ضربه به سطح بتن استفاده نمود.

### ۶-۲- تراکم مکانیکی (لرزاننده ها)

- ویراتورهای درونی، میزهای سقوط کننده، دستگاه های با کوبنده موتوری، دستگاه های لرزاننده یا ویراتورها، دستگاه های مبتنی بر نیروی گریز از مرکز، ویراتورهای بیرونی (ویریه های قالب، ویراتورهای سطحی، میزهای لرزان).
- تراکم کردن بتن، با وسایل مکانیکی مناسب ترین روش برای تراکم بتن است. موثرترین روش تراکم بتن با کارایی متوسط استفاده از لرزاننده یا ویراتور است. زیرا بتن های خیلی سفت به فشار و بتن های شل به لرزش حساس هستند. عمل لرزاننده



1 کاهش دادن اصطکاک داخلی بین سنگدانه‌هاست تا آنها به یکدیگر نزدیک شده و حباب‌های هوا به سطح برسند. در ابتدای  
2 عمل تراکم، سنگدانه‌های درشت از لرزاننده دور می‌شوند، زیرا جرم سنگدانه‌های درشت بیشتر از سنگدانه‌های ریز است.  
3 پس از برخورد سنگدانه‌های درشت، ملات شروع به جاری شدن بین سنگدانه‌ها می‌کند. معمولترین نوع وسایل مکانیکی،  
4 ویراتور یا لرزاننده داخلی (خرطومی) است. هر چند در مواردی که تراکم میلگرد زیاد است می‌توان از لرزاننده‌های قالب نیز استفاده  
5 نمود.

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



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

- 16 ۱. برای اجتناب از حبس هوا، لایه بتن باید دارای ضخامت کم و نازک باشد، ولی در هر صورت لایه نباید کمتر از ۱۵۰  
17 میلیمتر یا سه برابر حداکثر اندازه سنگدانه بتن باشد. معمولاً حداکثر ضخامت لایه ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر است.
- 18 ۲. معمولاً زمان کافی برای اعمال لرزش با لرزاننده خرطومی بین ۵ تا ۱۵ ثانیه است. اما مدت زمان دقیق باید بر اساس ظاهر  
19 شدن شیره بتن بر سطح و تغییر صدای لرزاننده تعیین شود. اگر زمان لرزاندن کم باشد سنگدانه‌ها حرکت می‌کنند، اما ملات  
20 فرصت کافی برای جاری شدن ندارد و بتن متخلخل می‌شود. اگر زمان لرزاندن زیاد باشد، مقدار زیادی شیره بتن به سطح  
21 آمده که باعث جداشدگی در بتن و ایجاد ترک و کاهش مقاومت سطح بتن و کرم شدن قسمت‌های زیرین بتن می‌شود.
- 22 ۳. برای حذف مؤثر هوا، ویراتور باید سریعاً به داخل بتن وارد شود و با حرکت ملایم بالا - پایین به آهستگی ویراتور خارج  
23 شود. نفوذ سریع ویراتور سبب می‌شود تا بتن به طرف بالا و خارج حرکت کرده و هوا خارج می‌شود. در زمانی که ویراتور  
24 به آهستگی خارج می‌شود، هوای بالای ویراتور به طرف بالا رانده می‌شود و از طرف دیگر، باعث جاری شدن ملات به  
25 صورت یکنواخت می‌شود. ضمناً در بتن‌هایی سفت جای میله ویراتور به این ترتیب پر می‌شود.
- 26 ۴. لرزاننده باید به صورت عمودی و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود و از خواباندن لرزاننده به صورت کاملاً  
27 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 ۱/۵ برابر شعاع عمل لرزاننده توصیه می شود. این فاصله برای لرزاننده های تا قطر ۷۵ میلیمتر بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلیمتر است و به قطر لرزاننده و نوع بتن مورد استفاده بستگی دارد.

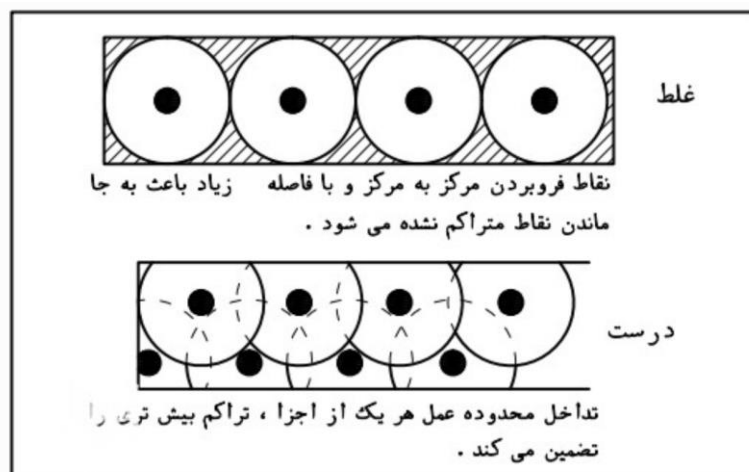
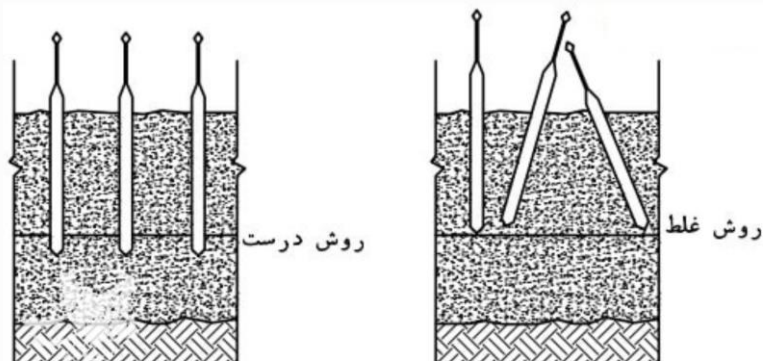
۲ ۵- هنگامی که لایه قبلی بتن، حالت خمیری دارد و هنوز به مرز گیرش اولیه آن نزدیک نشده است، لرزاننده باید به مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر به داخل لایه قبلی نفوذ کند

۳ 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 می باشند، گردیده و موجب کاهش پیوستگی بتن و میلگرد شود. همچنین لرزش قالب در قسمت هایی که بتن آن در حال گیرش است، می تواند به نمای قسمت سطحی آسیب رساند.

۴ ۶. لرزاننده نباید برای حرکت جانبی و هل دادن بتن استفاده شود، زیرا سبب جداشدگی اجزای مخلوط بتن می شود. برای صاف و تراز کردن سطح بتن می توان لرزاننده را به وسط توده بتن داخل کرده تا بتن هموار شود و از هر گونه حرکت جانبی اجتناب شود.

۵ ۷. به عنوان یک قانون کلی، هر چه سنگدانه ها بزرگتر باشند و کارایی (اسلامپ) کمتر باشد، نیاز به ویراتوری با قطر بزرگ احساس می شود. معمولاً قطر ۲/۵ سانتیمتر برای مقاطع پر میلگرد و کوچک استفاده می شود. در چنین مواردی، دامنه نوسان ویراتور کم بوده و قدرت تراکم نسبتاً کاهش می یابد.

۶ ۸ هنگامی که لایه قبلی بتن



اطلاعات مربوط به بازده و کاربرد انواع لرزاننده های داخلی

گروه	قطر لرزاننده (سانتیمتر)	بسامد (دور در دقیقه)	دامنه نوسان (سانتیمتر)	شعاع عمل (سانتیمتر)	حجم بتن ریزی به ازاء هر لرزاننده	کاربرد
۱	۲-۴	۱۵۰۰ تا ۹۰۰۰	۰/۴-۰/۸	۸-۱۵	۰/۸-۴	برای بتن های خمیری و روان و در اعضای نازک و اعضای پیش تنیده و نمونه های آزمایشگاهی
۲	۳-۶	۱۲۵۰ تا ۸۵۰۰	۰/۰۵-۰/۱۰	۱۳-۲۵	۲/۳-۸	بتن خمیری برای دیوارهای نازک، تیرها، شمع های پیش ساخته، ستونها و دال های نازک
۳	۵-۹	۱۲۰۰ تا ۸۰۰۰	۰/۰۶-۰/۱۳	۱۸-۳۶	۴/۶-۱۵	برای بتن نسبتاً خمیری (کمتر از ۸ سانت اسلامپ) در اعضای عمومی، مانند دیوارها، ستون، تیرها و دالهای ضخیم
۴	۸-۱۵	۱۰۵۰ تا ۷۰۰۰	۰/۰۸-۰/۱۵	۳۰-۵۱	۱۱-۳۱	برای بتن ریزی حجیم و اعضای سازه ای با اسلامپ ۰ تا ۵۰ سانتیمتر که کمتر از ۳ متر مکعب بتن در هر نوبت ریخته می شود
۵	۱۳-۱۸	۸۵۰ تا ۵۵۰۰	۰/۱۰-۰/۲۰	۴۰-۶۱	۱۹-۳۸	برای بتن ریزی حجیم، مانند سدها، دیوارهای ضخیم و ستون های پلها که در هر نوبت بیش از ۳ متر مکعب ریخته می شود

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 می گردد. این عمل برای بهبود تراکم، پیوستگی بتن و میلگرد، کاهش ترک خوردگی و منافذ ناشی از جمع شدگی و آب آوری بویژه در مورد بتن هایی با اسلامپ بیش از ۷۵ میلیمتر مفید است. بنابراین، تراکم مجدد برای تولید بتن با کیفیت بهتر، مورد استفاده قرار می گیرد. اما اگر با تأخیر زیاد و در حین گیرش اولیه انجام شود، سبب صدمه زدن به بتن و کاهش مقاومت می شود. به هر حال تأخیر در تراکم مجدد به دمای بتن و محیط مجاور و نوع سیمان و بتن بستگی دارد. لرزش مجدد برای بتن هایی با اسلامپ کمتر از ۵۰ میلیمتر (رده S1) که به خوبی متراکم شده است توصیه نمی شود و ممکن است آثار زیانباری داشته باشد.



## ۷- پرداخت بتن

معمولاً پرداخت سطح بتن، بلافاصله پس از اتمام بتن ریزی و تراکم بتن انجام می شود. روش پرداخت اثر مهمی در مقاومت فشاری، نفوذپذیری و مقاومت سایشی لایه 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 شمشه های دارای ویبره برای تراز کردن و متراکم نمودن سطح، به صورت همزمان



شکل ۳ تخته ماله کشی با تخته ماله دسته بلند



شکل ۴ مرحله ماله کشی



- 1 هر گاه آب حاصل از آب آوری بر سطح بتن مشاهده گردید، باید عملیات پرداخت متوقف گردد تا آب از
- 2 سطح بتن تبخیر شود. معمولاً آب حاصل از آب انداختن پس از ماله کشی با تخته ماله دسته بلند و کوتاه
- 3 مشاهده می شود. اما به هر حال هنگامی که آب انداختن در بتن رخ دهد باید عملیات به صورت موقت
- 4 متوقف شود. ادامه عملیات پرداخت که معمولاً مرحله ماله کشی است باید با یک آزمایش ساده انجام
- 5 گردد. این آزمایش بر این اساس است که فشار پا بر روی بتن باید حداکثر ۵ میلیمتر اثر بگذارد. این
- 6 حالت نشان می دهد که سطح بتن آماده ماله کشی است.
- 7 اگر شرایط رطوبت و دمای محیط به صورتی است که امکان تبخیر آب حاصل از آب انداختن در
- 8 مدت کوتاه وجود ندارد می توان با یک تمهید ساده نسبت به رفع آب سطح بتن اقدام نمود. با گذاشتن
- 9 یک لایه گونی بر سطح بتن و ریختن گرد سیمان بر روی سطح پارچه چتایی، سریعاً آب سطح جذب و
- 10 حذف می گردد. اما باید توجه داشت که به هیچوجه نباید گرد سیمان بر روی سطح بتن به صورت
- 11 مستقیم ریخته شود، زیرا باعث تضعیف بیشتر لایه سطحی بتن می گردد.
- 12 بنابراین باید توجه داشت که در صورت مشاهده آب انداختن، اگر عملیات پرداخت انجام شود، یک
- 13 لایه سست از خمیر سیمان بر سطح بتن تشکیل می شود که سبب کاهش شدید مقاومت سایشی بتن و
- 14 دوام سطحی می گردد.

## ۸- عمل آوری بتن

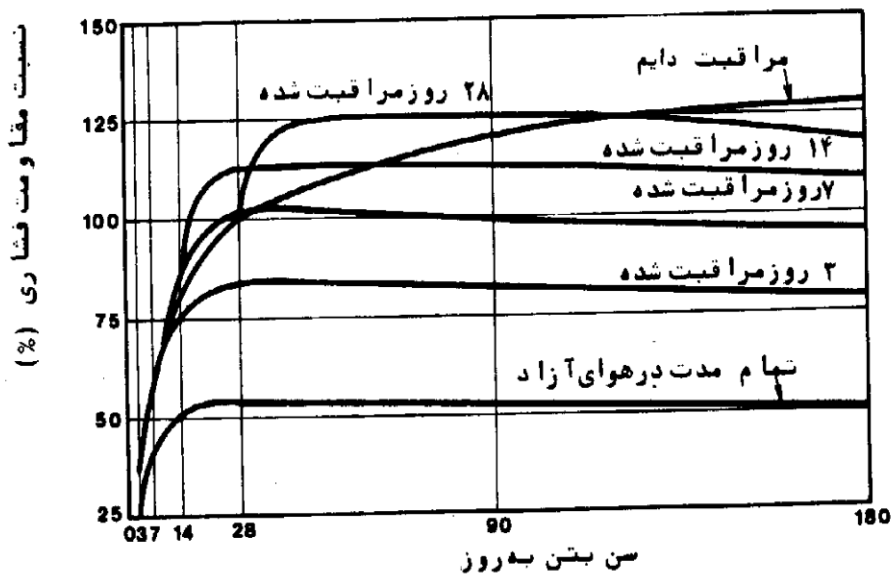
عمل آوردن فرایندی است که طی آن از افت رطوبت بتن جلوگیری و دمای بتن در حدی رضایت بخش حفظ می شود. عمل آوردن بتن بر ویژگیهای بتن سخت شده از قبیل میزان نفوذپذیری و مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن اثری بسزا دارد. عمل آوردن باید بلافاصله پس از تراکم بتن آغاز شود تا بتن در برابر عوامل زیانبار مورد محافظت قرار گیرد. ۷-۱-۵-۱ مراقبت به مجموعه تدابیری گفته می شود که باعث شود سیمان موجود در بتن به مدت کافی مرطوب بماند بطوریکه حداکثر میزان آبیگری آن، چه در لایه های سطحی دانه ها و چه در حجم آنها میسر باشد.

۷-۱-۵-۲ محافظت به مجموعه تدابیری اطلاق می شود 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. ۷-۱-۵-۳ منظور از پروراندن بتن سرعت بخشیدن به گرفتن و سخت شدن آن به کمک حرارت است.

هنگامی که سیمان پرتلند با آب مخلوط می شود، فعل و انفعال شیمیایی که به آن هیدراتاسیون می گویند، آغاز می گردد. پیشرفت و وسعت این واکنش شیمیایی در دوام، مقاومت و وزن مخصوص بتن اثر می گذارد. 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 می گردد. در چند روز اول، پس از جاگذاری بتن، در درجه حرارت مناسب، هیدراتاسیون نسبتاً سریع است. بنابراین حفظ آب بتن، در طول این زمان بسیار با اهمیت است. هنگامی که عمل آوردن متوقف شود، کسب مقاومت بتن برای مدت کوتاهی ادامه می یابد، ولی پس از آنکه درجه اشباع حفره های مویینه داخل بتن به ۸۰ درصد می رسد، کسب مقاومت بتن متوقف می گردد.

عمل آبیگری در روزهای اول بعد از بتن ریزی، بسیار سریع انجام می شود، ولی به تدریج به طور لگاریتمی از سرعت آن کاسته می شود. به طور 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 ۹۵٪) به عمل آمده، بعد از ۳ روز در حدود ۵۵٪ و بعد از ۷ روز حدود ۶۰ تا ۷۰٪، مقاومت فشاری ۲۸ روزه خود را کسب می کند، و بعد از ۳ ماه، فقط حدود ۲۵٪ به مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن افزوده می شود. درصد افزایش مقاومت بتنهای ساخته شده با یک نوع مصالح سنگی و یک نوع آب، که در شرایط یکسان به عمل آمده، به نوع سیمان پرتلند و به نسبت آب به سیمان مخلوط بستگی دارد.

در شرایط کارگاهی، عمل آبیگری تقریباً همیشه قبل از کامل شدن آن متوقف می شود. نمودار ۲، تأثیر مراقبت در میزان افزایش مقاومت فشاری بتن را نشان می دهد. در این شکل، نسبت مقاومت فشاری نمونه های آزمایش شده به مقاومت فشاری نمونه هایی که در طول ۲۸ روز تحت مراقبت قرار داشته اند، روی محور عرضها نشان داده شده است. هر یک از منحنیها، حدود تغییرات مقاومت فشاری نمونه هایی از بتن را که به تعداد روزهای معینی پس از ساخت تحت مراقبت قرار گرفته، نشان می دهد.



نمودار ۲. تأثیر طول مدت مراقبت روی مقاومت فشاری بتن

آب از عوامل اصلی انجام عمل آبیگری است و باید مراقبت شود تا بتن خشک نشود و آب همیشه در جسم بتن موجود باشد. لذا در وهله اول، مراقبت می شود تا آب بتن تبخیر نگردد و از هوای گرم، باد و سایر عواملی که در تبخیر آب بتن مؤثر هستند، محافظت شود. به این منظور، سطح بتن با پوششهایی مانند نایلون، گونی، حصیر، کریاس، و گاه یا برگ خیس پوشانده می شود. در وهله دوم، آب به جسم بتن رسانده می شود.

علاوه بر تأمین آب، باید شرایط لازم دیگری برای تسهیل و تسریع واکنش شیمیایی تأمین شود. یکی از عوامل بسیار مهم و مؤثر، دمای جسم بتن است. عمل ترکیب شیمیایی آب با سیمان، در دمای ۱۰- درجه سانتیگراد کاملاً متوقف می شود و در دمای ۵+ درجه کند، در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد خوب و در درجات بالاتر شدت می یابد.

### 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 ۱ حداقل زمان عمل آوری بتن

روند افزایش مقاومت بتن**						زمان عمل آوری
کند		متوسط		سریع		
بالاتر از ۱۰		بالاتر از ۱۰		بالاتر از ۱۰		دمای متوسط سطح بتن (هوای مجاور) °C
۸	۱۰	۶	۸	۳	۴	ضعیف
۵	۸	۴	۶	۳	۴	متوسط
۳	۳	۳	۳	۲	۴	خوب

شرایط محیطی مندرج در این ستون به شرح زیر تعریف می شود:

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

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

متوسط: شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.

\*\* مفاهیم روند افزایش مقاومت بتن؛ سریع: بتن دارای سیمانهای زودگیر (مانند پرتلند نوع ۳) افزودنی های زودگیر کننده، نسبت آب به سیمان، بسیار کم و عیار سیمان زیاد است، متوسط: نوع ۱، ۲ و پرتلند پوزولانی، کند: نوع ۵ و پوزولانی ویژه

توصیه می شود در دمای متوسط روزانه ۲۰ درجه سانتیگراد، آب پاشی بتن در ۳ شبانه روز اول دست کم ۳ بار در روز و یک بار در شب انجام شود و بعد از آن، ۴ روز دیگر دست کم ۳ بار در روز آب پاشی شود. در دمای بالاتر و هوای خشک، فواصل آب پاشی به نسبت کوتاه تر می شود. علاوه بر رساندن مداوم آب به جسم 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 به طور مداوم آب پاشی 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- روش های مراقبت از بتن (عمل آوری رطوبتی)

**ایجاد حوضچه و غوطه ورسازی:** ایجاد حوضچه برای سطوح افقی، مانند دالها مناسب است. در پیرامون دال، لبه هایی ساخته می شود و در درون این حوضچه آب قرار می گیرد. آب درون حوضچه نباید بیش از  $12^{\circ}\text{C}$  سردتر از بتن باشد. همچنین می توان (قطعات پیش ساخته) را درون آب غوطه ور کرد، که در این حالت، ضوابط دمای آب باید رعایت شود.

**افشاندن آب:** در دمای بیش از  $5^{\circ}\text{C} +$  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 می گردد و در نتیجه عارضه پوسته شدن در سطح بتن بروز می کند. آب افشانی معمول در برخی از کارگاه های کشور ما، علاوه بر ایجاد تر و خشک شدن، باعث شوک حرارتی نیز می گردد، زیرا با خشک شدن سطح در زیر آفتاب، دمای سطح بتن بالا رفته و با پاشیدن آب خنک، مشکل ترک خوردگی وجود خواهد داشت.

**پوشش های خیس:** در صورتی که نتوان به طور مداوم با افشاندن آب، سطح بتن را مرطوب نگه داشت، استفاده از پوشش های جاذب آب از قبیل چتایی، گونی، گلیم و حصیر برای عمل آوردن بتن توصیه می شود. 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 می توانند همراه آب عمل آوری، در بتن جوان نفوذ نموده و ضمن اختلال در گیرش بتن، مقاومت و دوام آن را کاهش دهند. با افزایش وزن چتایی یا سایر پوشش های جاذب، امکان نگهداری آب توسط آن بیشتر می شود و نیاز به مرطوب کردن متوالی آن کمتر می گردد. 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 می گردد که مشابه عمل آوری عایقی خواهد بود. این نوع پوشش ها باید به نحوی روی سطح بتن قرار گیرند که لبه آنها حدود  $100$  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 می بیند. 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 پوشش ها باید حداقل  $50$  میلیمتر باشد و تمام سطح بتن پوشانده شود و



1 به طور مداوم خیس نگاه داشته شود. ضخامت لایه کاه، ۱۰۰ میلیمتر و پوشال باید حداقل ۱۵۰ میلیمتر  
2 باشد و در صورت وزش باد با شبکه سیمی و یا چتایی روی آنها پوشانده شود تا وزش باد سبب پراکنده  
3 شدن کاه و یا پوشال نگردد. به طور کلی این نوع پوشش ها ممکن است باعث تغییر رنگ سطح بتن  
4 شوند و در همه موارد، مانند سطوح قائم امکان به کار گیری از آنها وجود ندارد. شکل ۱، روش  
5 عمل آوری با پارچه چتایی را نشان می دهد.

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



9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17 **ورق پلاستیک یا نایلون:** ورق پلاستیک وزن بسیار سبکی دارد و در رنگهای مختلف، مانند  
18 سفید و سیاه موجود است. رنگ سفید برای هوای گرم مناسب است، زیرا نور را منعکس می کند و رنگ  
19 سیاه برای هوای سرد مطلوب است، زیرا نور را جذب می کند. ورق پلاستیک معمولاً از نوع پلی اتیلن  
20 است. ورق پلاستیک باید کاملاً سطح بتن را بپوشاند و لبه بالای آن حدود ۱۰۰ میلیمتر روی هم قرار  
21 گیرد و قطعات چوب بر روی آن قرار داده شود تا ورق کاملاً در تماس با سطح بتن باشد، و وزش باد  
22 سبب بلند کردن و حرکت آن نگردد. احتمال دارد که ورق پلاستیک باعث تغییر رنگ و ظاهر سطح بتن  
23 گردد به خصوص اگر ورق چروکیده باشد. در این صورت اگر یکنواختی رنگ و ظاهر سطح بتن اهمیت  
24 دارد، باید از روشهای دیگری استفاده کرد. تعریق و چکه کردن آب ناشی از تبخیر سطح بتن می تواند به  
25 ظاهر بتن آسیب رساند.  
26  
27



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27

### مواد محافظ

ترکیبات عمل آوری به صورت مایع است که بر روی سطح بتن پاشیده یا مالیده می شود و با ایجاد یک غشاء از تبخیر آب بتن جلوگیری می کند. این محلولها از اختلاط رزینهای مصنوعی و طبیعی با حلال تشکیل شده است. پس از اعمال ترکیبات عمل آوری بر سطح بتن، حلال تبخیر شده و رزین بر سطح باقی می ماند. غشای رزین برای مدت حدود یک تا چهار هفته باقی مانده و بر اثر هوازگی و نور آفتاب، ترد و شکننده می گردد و از سطح بتن جدا می شود.

### نگهداشتن قالبها

این قالبها می توانند از نقطه نظر مراقبت وسیله خوبی باشند. قالب های فلزی از این نظر خوبند که آب بتن را محبوس نموده و به هیچ وجه اجازه نمی دهند 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 سر ستون باید با گونی خیس یا آب پاشی مراقبت شود.

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

### ۸-۳- پروراندن بتن (عمل آوری حرارتی)

برای افزایش مقاومت بتن در روزهای اول و محافظت آن، در هوای سرد و جلوگیری از یخ زدن آن می توان 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  $65^{\circ}\text{C}$  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.

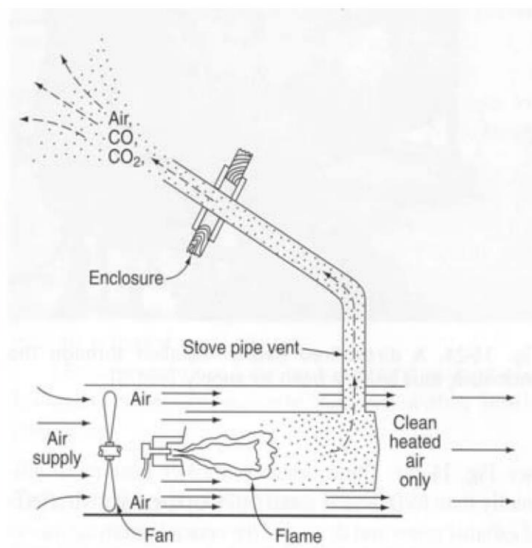
ب - گازهای ناشی از سوختن در مجاورت بتن تازه و یا جوان قرار نگیرد.

پ - خشک شدگی در قطعه بتنی به وجود نیاید و گرماسانی به صورت یکنواخت و غیر متمرکز انجام گردد.

ت - افزایش دمای بتن، در هر ساعت به  $20^{\circ}\text{C}$  و کاهش آن نیز در هر ساعت به  $20^{\circ}\text{C}$  محدود شود و از بروز شوک حرارتی به بتن جلوگیری گردد. در قطعات حجیم کاهش دمای بتن در هر ساعت به  $10^{\circ}\text{C}$  محدود می شود.

ج - حداکثر دمای بتن به  $65^{\circ}\text{C}$  محدود شود.

چ - با ایجاد عایق حرارتی در سطح بتن می توان از افت دمای آن جلوگیری نمود و حتی دمای آن را افزایش داد. قالب چوبی، پشم شیشه، و عایق های پلی یورتان و یونولیت، کاه و پوشال و غیره به ضخامت کافی می تواند عمل عایق بندی 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 می گردد 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.

به طور کلی، در دمای کم، آهنگ کسب مقاومت بتن کاهش می یابد و در نتیجه بتن تازه باید در مقابل آثار مخرب یخبندان محافظت گردد. در مواردی که بتن در چند ساعت اول، بعد از بتن ریزی و یا قبل از آنکه مقاومت نمونه استوانه ای بتن به  $3/5 \text{ MPa}$  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  $+5^\circ \text{C}$  قرار گیرد، فرآیند هیدراتاسیون بسیار کند شده و روند کسب مقاومت بتن عملاً متوقف می گردد.

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

### ۹-۱- دمای بتن در هوای سرد

بتن در اوایل سن خود، نه تنها باید در مقابل یخبندان محافظت گردد، بلکه باید قادر باشد تا در طول عمر مفید خود در مقابل چرخه های 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، عمل آوری و نگهداری آن را نشان می دهد. همان طور که در جدول مشاهده می شود، دمای مناسب بتن با افزایش ضخامت، کاهش می یابد. زیرا با افزایش سطح مقطع بتن، افت حرارت حاصل از هیدراتاسیون کمتر خواهد بود.

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

حداقل ابعاد مقطع				دمای هوا °C
کمتر از ۳۰۰ mm	۳۰۰-۹۰۰ mm	۹۰۰-۱۸۰۰ mm	بالای ۱۸۰۰ mm	
حداقل دمای بتن در هنگام ریختن و نگهداری °C <sup>(۱)</sup>				کمتر از ۵
۱۳	۱۰	۷	۵	
حداقل دمای بتن در هنگام اختلاط (۳ و ۲)				بالای -۱ -۱ تا -۱۸ کمتر از -۱۸
۱۶	۱۳	۱۰	۷	
۱۸	۱۶	۱۳	۱۰	

\* حداقل دمای مجاز بتن در هنگام ریختن و عمل آوری نباید از  $5^{\circ}\text{C}$  + کمتر باشد.

(۱) حداکثر دمای بتن در هنگام ریختن نباید بیش از  $11^{\circ}\text{C}$  بالاتر از اعداد مندرج در جدول باشد.

(۲) حداکثر دمای بتن پس از اختلاط نباید بیش از  $8^{\circ}\text{C}$  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 می توان اعداد فوق را به تناسب تغییر داد، اما توصیه می شود، دمای اختلاط از مقادیر حداقل دمای بتن در هنگام ریختن کمتر نباشد.

برای تعیین دمای مخلوط بتن می توان مستقیماً از حرارت سنج جیوه ای یا هر وسیله مناسب دیگر استفاده کرد.

## ۹-۲- توصیه های عملی

در زیر توصیه های عملی برای بتن ریزی در هوای سرد ارائه می شود :

- در حد ممکن بتن ریزی در ساعت ۱۰ صبح شروع شده و در ساعت ۲ بعد از ظهر خاتمه یابد .

- از مصالح سنگی گرم شده استفاده شود . با گرم کردن این مصالح ، لایه نازک یخ دور سنگدانه ها که از چسبیدن خمیر سیمان به دور آنها جلوگیری می کند ، از بین رفته و علاوه بر آن دمای بتن ساخته شده نیز افزایش خواهد یافت . دمای مصالح سنگی نباید بیش از  $35^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد باشد . مصالح سنگی را معمولاً " با بخار آب گرم می کنند .

- از آب گرم برای ساختن بتن استفاده شود . دمای آب نباید بیشتر از  $75^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد باشد ، زیرا آب گرمتر از  $75^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد ، برق آسا با سیمان ترکیب می شود .

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

- از مواد افزودنی برای زودگیر کردن بتن استفاده شود و با بهره گیری از مواد افزودنی مناسب نسبت به افزایش کارایی ، اقدام گردد . استفاده از مواد افزودنی برای ایجاد حبابهای ریز هوا ، بسیار مفید خواهد بود . یادآوری می شود که استفاده از کلرور کلسیم برای زودگیر کردن بتن ، مجاز نیست .



1 ...ستگاههای ساختمانی و برج های پمپ، باید با عایق مناسب پوشانده شوند و جامها و ناوہها گرم شوند،  
2 ولی دمای آنها نباید از ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد بیشتر باشد.

3 -روانی بتن در کمترین حد ممکن باشد.

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

6  
7 - محلهای بارگیری و تخلیه، در مقابل وزش باد محافظت شود.

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

10 در دمای زیر صفر، اگر آب بتن تازه قبل از سفت شدن آن (تبدیل از حالت خمیری به حالت جامد) یخ  
11 بزند، بسیار خسارت بار خواهد بود. در این حالت، مولکولهای یخ در اثر افزایش حجم، دانه های سنگ را از  
12 هم جدا خواهند نمود و بعد از رفع یخبندان، توده بتن از هم خواهد پاشید. بهترین راه حل برای کاهش  
13 خسارت بتن یخ زده در این حالت، ریختن آب گرم به مقدار زیاد در سطح بتن یخ زده و تأمین دمای بالاتر از  
14 ۱۰+ درجه سانتیگراد در محیط بتن، به مدت ۷ روز است. با انجام این کار، در اکثر مواقع کیفیت بتن به

### 15 ۹-۳- مواد افزودنی در بتن ریزی در هوای سرد

#### 16 ۹-۳-۱- مواد حباب زا

17 یکی دیگر از روشهای جلوگیری از صدمه خوردن بتن، ناشی از یخ زدن و آب شدگی، استفاده از ماده  
18 افزودنی حباب ساز است. این ماده محافظت از بتن را در سن اولیه و همچنین در دوران بهره برداری  
19 انجام می دهد. حباب هوا که بر اثر استفاده از ماده افزودنی در بتن ایجاد می گردد با حباب هوای ناخواسته  
20 که در نتیجه تراکم نامطلوب بتن به وجود می آید، تفاوت دارد.

#### 21 ۹-۳-۲- مواد زودگیر کننده

22 مواد افزودنی زود گیر کننده که به غلط در بازار به مواد ضد یخ بتن یا سیمان نامیده می شود، می تواند  
23 سرعت هیدراتاسیون در بتن را افزایش داده و در طول مدت کمتر، مقاومت بیشتری را کسب نماید، به  
24 شرط آنکه دمای مناسب (بالاتر از ۵ ° C +) فراهم شده باشد. با مصرف این مواد به میزان توصیه شده  
25 عملاً تغییر چشمگیری در نقطه انجماد آب حاصل نمی گردد و بتن مصون از یخ زدن نمی باشد. بنابراین  
26 نباید تصور کرد که مصرف این مواد جایگزین روش توصیه شده برای ساخت بتن و ریختن و عمل آوری  
27



آن می گردد. همچنین باید متذکر شد که مصرف مواد افزودنی زودگیر کننده، مانند مصرف سیمان پرتلند نوع ۳ و مصرف سیمان بیشتر ( $50 \text{ kg/m}^3$ ) 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 کوتاه تر کاملاً مفید است. مسلماً باید از موادی استفاده نمود که منطبق با استانداردهای معتبر بوده، و در مقاومت های 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.

### ۹-۴- محافظت پس از بتن ریزی

خطر جدی در زمانی رخ می دهد 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  $5^\circ \text{C}$  باشد و تا زمانی که بتن سخت گردد، این دما باید حفظ شود. تحقیقات نشان می دهد که وقتی مقاومت نمونه استوانه ای به  $5 \text{ MPa}$  می رسد، 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  $5^\circ \text{C}$  حفظ شود، مقاومت مذکور را کسب می کند. 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 بتن های حجیم به خصوص در سن اولیه نیاز به محافظت ندارند (به شرطی که دمای هیدراتاسیون جبران کننده دمای بتن باشد). در هنگام هوای سرد باید از عمل آوری با آب اجتناب و به روش عایقی (استفاده از پوشش برای جلوگیری از تبخیر آب) اکتفا کرد. در عمل آوری حرارتی (پروراندن) نباید خشک شدگی موضعی حاصل شود و گازهای حاصل از سوزاندن مواد مختلف در تماس با بتن جوان و نارس قرار گیرد. استفاده از بخار آب در عمل آوری حرارتی امکان رطوبت رسانی را فراهم می آورد.

## ۱۰- بتن ریزی و عمل آوری در هوای گرم

به طور کلی اگر دمای بتن بیشتر از  $32^{\circ}C$  باشد، هوای گرم محسوب می گردد و باید از تمهیدات ارائه شده در این فصل استفاده شود. در شرایط هوای گرم، لازم است از بتن ریزی خودداری گردد. در چنین مواردی بهتر است به جای ساخت بتن و بتن ریزی در اواسط روز، در اوایل صبح و یا شب هنگام، بتن ریزی انجام گردد.

هوای گرم آثار نامطلوب در بتن تازه و سخت شده دارد و چنانچه تمهیدات خاص اعمال نگردد، کیفیت مورد نظر بتن حاصل نمی شود. 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 می یابد.

ب - افزایش سرعت گیرش بتن و در نتیجه، مشکلاتی مثل انتقال، پرداخت و عمل آوری بتن پیش می آید و امکان به وجود آمدن درز سرد افزایش می یابد.

پ - احتمال ترک خوردگی پلاستیک افزایش می یابد.

ت - کنترل حباب هوای ایجاد شده (توسط مواد حباب زا) در بتن تازه مشکل می گردد.

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

الف - افزایش مقدار آب مخلوط بتن سبب کاهش مقاومت بتن می گردد.

ب - افزایش دمای بتن باعث کاهش مقاومت درازمدت بتن می شود. به طور کلی هوای گرم سبب

افزایش مقاومت فشاری زود هنگام بتن می گردد، 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 می یابد.

ت - به دلیل افزایش نسبت آب به سیمان (به دلیل تمایل افزودن آب مخلوط) دوام بتن کاهش می یابد.

ث - نفوذپذیری بتن به دلیل رشد سریع بلورهای حاصل افزایش می یابد.

ج - کاهش پیوستگی بین بتن و میلگرد به وجود می آید.

چ - احتمال خوردگی میلگردهای بتن در شرایط خورنده (به ویژه در سواحل جنوب کشور) افزایش می یابد.

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



## ۱-۱۰- توصیه های عملی

- 1 - بتن ریزی در گرمترین ساعت روز باید متوقف شود و در صورت امکان در شب انجام گیرد .
- 2 - برای ساختن بتن ، از سیمای پرتلند نوع ۴ که کندگیرتر از سیمان پرتلند نوع ۱ است ، استفاده شود .
- 3 - در ساختن بتن ، از آب سرد استفاده شود . برای پایین آوردن دمای آب می توان از یخ استفاده کرد ، ولی
- 4 - هرگز نباید یخ را به طور مستقیم در دستگاه بتن ساز ریخت .
- 5 - مصالح سنگی از تابش مستقیم آفتاب محافظت شوند تا دمای آنها بیش از حد نباشد . با آب پاشی کردن می توان
- 6 - دمای مصالح سنگی را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش داد .
- 7 - از مواد افزودنی برای حصول روانی بیشتر استفاده شود .
- 8 - دمای بتن به هنگام بتن ریزی ، نباید از ۳۰ درجه سلسیوس تجاوز کند . لازم به یادآوری است که دمای بتن
- 9 - هنگام بتن ریزی ، هرچه پایینتر باشد ( تا ۴ درجه سلسیوس ) ، مقاومت نهایی آن بیشتر خواهد بود .
- 10 - از مصرف سیمان گرمتر از ۷۵ درجه سلسیوس خودداری شود . سیمان ممکن است در اثر تابش آفتاب گرم شود
- 11 - و یا اینکه به علت نزدیکی فاصله کارخانه تولید سیمان تا محل کارگاه ، سیمان تحویل شده به کارگاه ، به حد
- 12 - کافی سرد نشده باشد .
- 13 - روانی بتن در بالاترین حد خود باشد .
- 14 - دستگاههای تولید بتن و لوله های پمپ و جامه های بتن ، از تابش آفتاب محفوظ بمانند و با رنگ سفید ، رنگ
- 15 - شوند . آب پاشی قسمتهایی که در مجاورت قرار دارند مفید خواهد بود . تراک میکسرها به رنگ سفید رنگ شوند .
- 16 - سطح قالبها و بلوکها قبل از بتن ریزی به حد وفور آب پاشی شوند .
- 17 - حمل و بتن ریزی در کوتاهترین زمان ممکن انجام شود .
- 18 - از پوششهایی مانند نایلون ، حصیر ، گونی ، گاه و یا برگ خیس برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب استفاده
- 19 - شود .
- 20 - روی سطح میلگرد ، قالبها و سطح زمین باید آب پاشی شود ( شکل ۲ ) تا دمای سطوح کاهش
- 21 - یابد ، اما نباید بر روی سطوح مذکور ، آب اضافی باقی بماند . مسلماً در هوای مرطوب به جهت کاهش
- 22 - تبخیر این عمل اثر مثبت چندانی نخواهد داشت مگر برای آب پاشی از آب خنک استفاده نماییم .
- 23 - در حدود نیم ساعت پس از پرداخت سطح بتن ، باید سطح بتن با پوشش نایلون پوشش داده
- 24 - شود . قرار دادن پوشش تا مدت ۴ تا ۵ ساعت ضروری است ، اما باید اطمینان حاصل گردد که جریان هوا
- 25 - در زیر پوشش وجود دارد ، در غیر این صورت ، دمای بتن افزایش می یابد .

## ۱۱- جمع شدگی پلاستیک

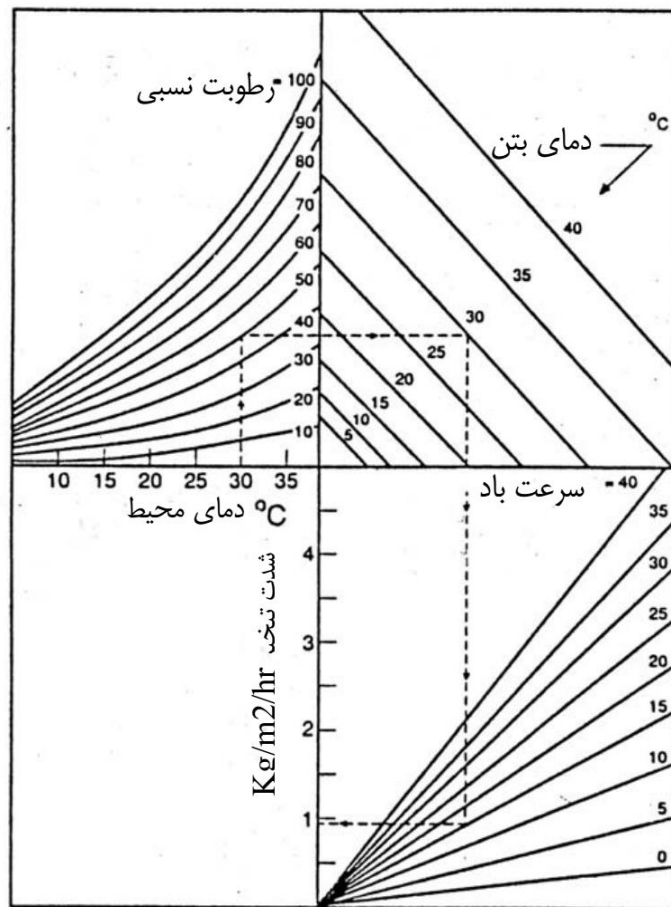
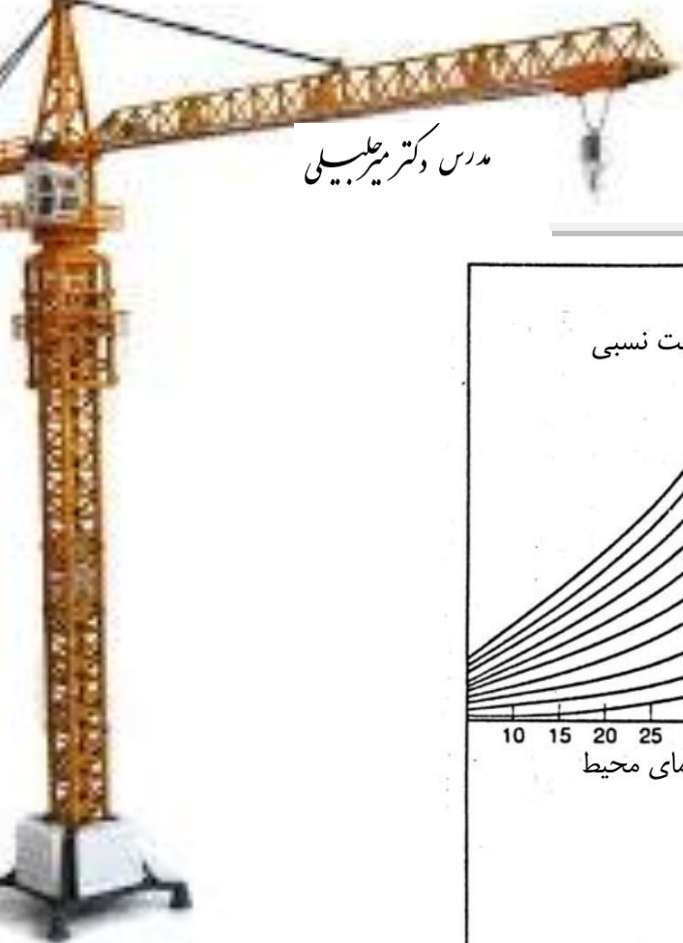
یکی از مهمترین آثار نامطلوب هوای گرم، احتمال ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری است. این نوع ترکها به علت تبخیر سریع آب بتن رخ می دهد. به عبارت دیگر، چنانچه مقدار تبخیر بیشتر از مقدار آب آوری باشد، سبب ترک خوردگی می شود. چهار عامل: دمای هوا، رطوبت محیط، سرعت باد و دمای بتن، در مقدار تبخیر آب از سطح بتن اثر دارند. چنانچه مقدار تبخیر آب از سطح بتن بیشتر از  $1 \text{ kg/m}^2$  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  $0.5 \text{ kg/m}^2$  در ساعت بیشتر می شود، توصیه می شود تمهیدات ارائه شده در این فصل به کار گرفته شود.

برای تخمین مقدار تبخیر می توان از نمودار شکل ۱، استفاده کرد. همان طور که در شکل مشاهده می شود نیاز به دانستن رطوبت نسبی محیط، دمای هوا، سرعت باد و دمای بتن است. با استفاده از رطوبت سنج ساده و دماسنج می توان رطوبت و دمای محیط و هم چنین دمای بتن را اندازه گیری کرد. برای تعیین سرعت وزش باد می توان از بروز پدیده های ساده ای همچون حرکت برگها، شاخه ها و درختان و سایر پدیده هایی که در اطراف مشاهده می شود کمک گرفت و سرعت باد را تخمین زد. برای تقسیم بندی بر اساس مشاهدات ظاهری محیط می توان موارد زیر را ذکر کرد:

- سرعت باد تا  $10 \text{ km/h}$  (کیلومتر در ساعت) باعث حرکت برگها می شود.
- سرعت باد تا  $20 \text{ km/h}$  (کیلومتر در ساعت) درختان کوچک را حرکت می دهد.
- سرعت باد تا  $30 \text{ km/h}$  (کیلومتر در ساعت) سبب حرکت شاخه های بزرگ می شود.

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

فرض می گردد که دمای محیط  $30^\circ \text{C}$  باشد، یک خط عمودی ترسیم می گردد تا رطوبت نسبی محیط را که ۵۰ درصد است، قطع کند. سپس یک خط افقی ترسیم می شود تا دمای بتن را که در این مثال،  $30^\circ \text{C}$  است قطع کند. فرض می گردد که سرعت باد  $15 \text{ km/h}$  باشد، بنابراین یک خط عمودی کشیده می شود تا این مقدار سرعت باد را قطع کند. در آخرین مرحله از نقطه نهایی یک خط افقی کشیده می شود تا مقدار شدت تبخیر در محور عمودی مشخص گردد. در این مثال، مقدار شدت تبخیر نزدیک به  $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  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

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27



## ۱۲- انواع درز در بتن

### ۱۲-۱- درز سرد

د - در صورتی که فاصله زمانی بین بتن ریزی 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 لایه های بتن ریزی کاسته شود، از سیمان های کندگیر و یا مواد دیرگیر کننده استفاده شود. همچنین می توان با خنک کردن بتن، زمان گیرش را افزایش داد تا احتمال ایجاد درز سرد کم شود. یکی از راه های ایجاد درز سرد بویژه در شالوده ها 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 بتن ریزی با توجه و آگاهی توقف بتن ریزی در روز انجام می شود، عملیات زبر کردن سطح بسیار آسان خواهد بود، زیرا به راحتی می توان 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 بتن ریزی، نسبت به آب پاشی بتن قبلی اقدام کرد. اما در زمان بتن ریزی لایه جدید، سطح بتن قدیم باید عاری از آب اضافی باشد. همچنین روی سطح بتن قدیم باید کاملاً تمیز و پاک باشد. چنانچه سنگدانه هایی سست بر روی سطح بتن قدیم مشاهده می شود باید از بتن قدیم جدا شود.

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

## ۱۲-۲- درزهای اجرایی

در بعضی از موارد امکان بتن ریزی 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 پاک کردن 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. اگر عملیات زبر کردن به روز بعد از بتن ریزی موکول شود، نیاز به کار زیاد خواهد داشت، بنابراین بهتر است زبر کردن در روز بتن ریزی و در ساعات اولیه گیرش انجام شود.

پ - بعد از آماده سازی سطح بتن قدیم و چند ساعت قبل از بتن ریزی، 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 بتن ریزی جدید، بر روی سطح بتن قدیم آب پاشی گردد. اما در هنگام بتن ریزی 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 می توان از توری با

چشمه های 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 می ماند یا در صورت لزوم به موقع کنده می شود، 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 می توان از میلگرد آجدار (داول) استفاده کرد. معمولاً این روش برای دال های کف مناسب است به خصوص در مواردی که دال بار زیادی را تحمل می کند، مانند کف سالن های صنعتی و یا محوطه ای که محل آمدوشد ترافیک است. در جدول ۱، مشخصات میلگرد آجدار را برای تعبیه در درز ساخت نشان می دهد.

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

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

پ - برای نصب میلگردها، ابتدا باید در قالب حفره هایی با فواصل مورد نظر ایجاد کرد و سپس میلگردها در داخل حفره ها جاسازی شود به صورتی که نصف طول میلگردها در طرفین قالب قرار بگیرد. سپس بتن ریزی انجام می گردد. به این صورت، در زمان قالب برداری، نصف طول میلگردها خارج از بتن ساخته شده قرار می گیرند.

## ۱۲-۲-۱- 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.

## ۱۲-۳- درز انقباض (جمع شدگی)

معمولاً بتن، تحت جمع شدگی خمیری و خشک شدگی قرار می گیرد و چنانچه جمع شدگی تحت قید قرار بگیرد، بتن احتمالاً ترک می خورد. برای جلوگیری از بروز ترکها در سطح بتن، درزهای انقباض تعبیه می شود. در مواردی که میلگرد به اندازه کافی در عضو بتنی در نظر گرفته شده باشد تا تنش های جمع شدگی را تحمل کند، نیاز به درز انقباض نیست. در چنین مواردی، میلگرد از تشکیل ترکهای قابل رؤیت جلوگیری می کند.

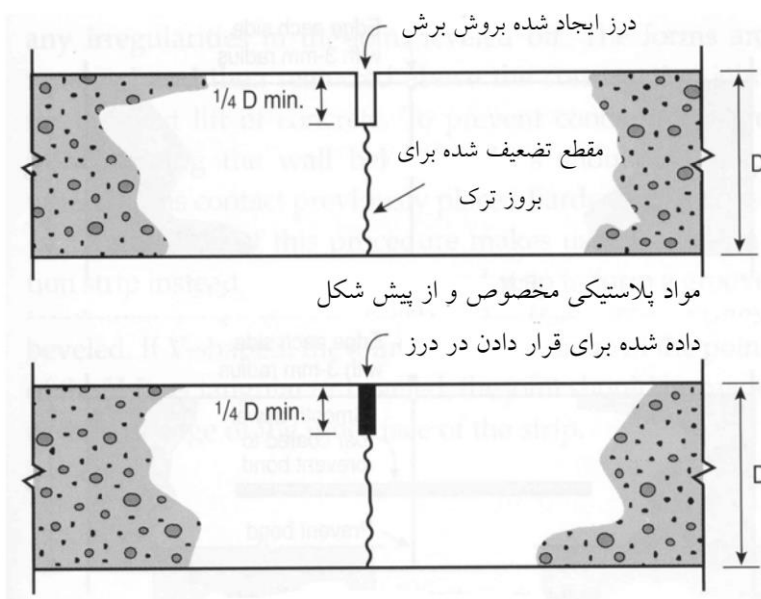
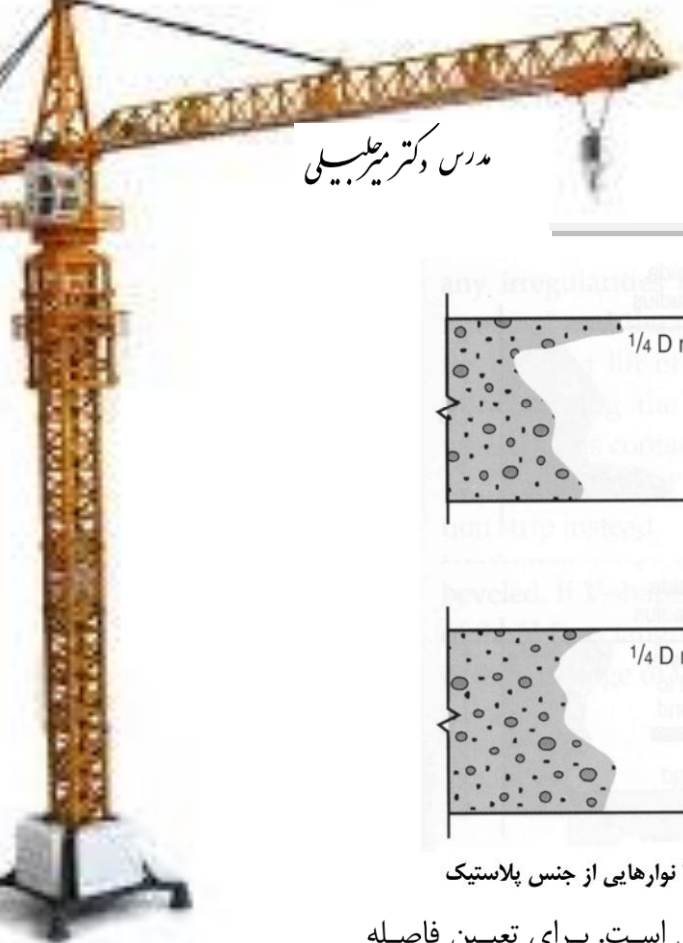
منظور از ایجاد درزهای انقباض (کنترل یا جمع شدگی)، تعیین محللهایی از قبل پیش بینی شده برای بروز ترکهاست. به عبارت دیگر، چنانچه درزهای انقباض در عضو بتنی ایجاد نگردد و یا در فواصل نادرست اجرا شود، ترکها در محللهای نامشخص به وجود می آیند. با ایجاد درزهای انقباض، یک منطقه ضعیف ایجاد می گردد که ترکهای جمع شدگی در همان محلها شکل می گیرند.

الف - برای ساخت درزهای انقباض می توان از وسیله دستی لبه زن استفاده نمود. اهر 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 سنگدانه ها می گردد (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 امکان پذیر است. برای نصب نوارها، یک شیار به وسیله ماله و یا شیارزن در بتن تازه ایجاد کرده و سپس نوارها در آن شیار گذاشته می شود. 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 لبه های درز محافظت شده و عبور ترافیک (آمد و شد) بدون اشکال انجام می گردد.



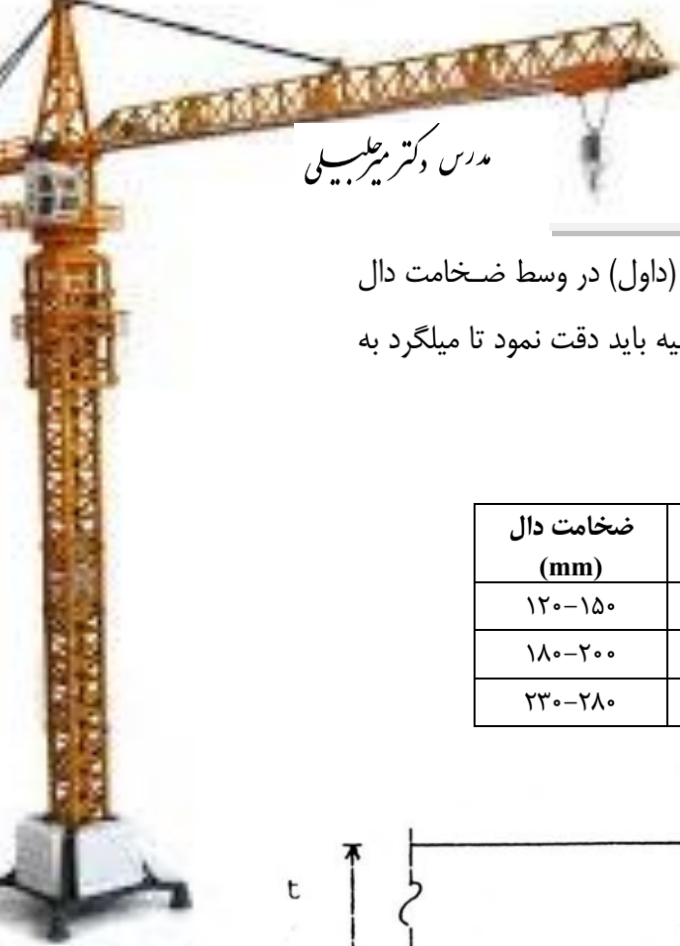
شکل ۲ درز ایجاد شده به وسیله برش و پر کردن آن با نوارهایی از جنس پلاستیک

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

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



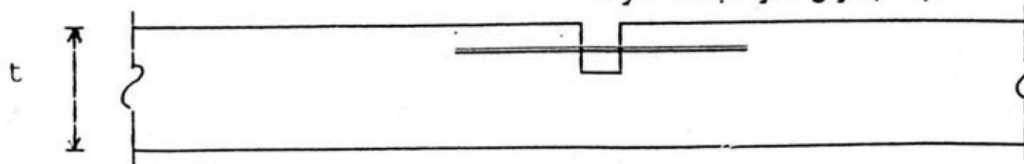


پ - برای انتقال بهتر نیرو درمحل درزهای انقباض می توان از میلگرد (داول) در وسط ضخامت دال استفاده نمود. مشخصات میلگرد در جدول ۲، ارائه شده است. در هنگام تعبیه باید دقت نمود تا میلگرد به بتن پیوستگی نداشته باشد.

جدول ۲ فواصل میلگردها در درزها

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

برای تعیین مشخصات میلگرد به جدول مراجعه شود



درز انقباض با استفاده از میلگرد

شکل ۳ درز انقباض با استفاده از میلگرد

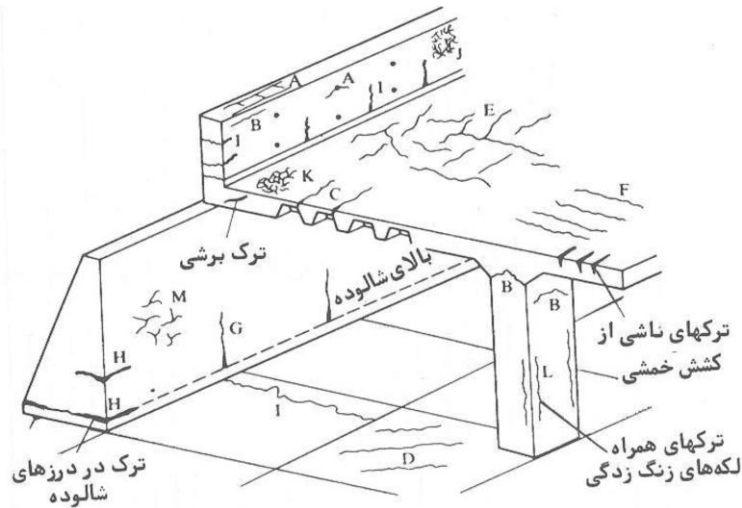
ت - برای تراکم سطح دالهای کوچک می توان از دستگاه ویبره استفاده کرد، اما برای سطوح وسیع توصیه می شود که با استفاده از یک تیر فولادی که بر روی آن ویبره متصل است، عملیات تراکم اجرا گردد.

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 می گردد و قالبها نصب می گردند. سپس بتن به صورت نوارهای یک در میان ریخته می شود. پس از بتن ریزی سری اول نوارهای طولی، قالبها باز می شوند و خود نوارهایی که بتن ریزی شده اند به صورت قالب برای نوارهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. درزهای انقباض در حد فاصل نوارها اجرا می گردد.

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

### ۱۳- انواع ترک در بتن

انواع ترکها در بتن تازه وابسته به خصوصیات ذاتی بتن به سه دسته تقسیم می شوند: ۱- ترکهای خمیری  
۲- ترکهای حرارتی سنین اولیه ۳- ترکهای جمع شدگی ناشی از خشک شدن.



شکل شماتیک انواع ترکها

انواع ترکها و مشخصات آنها (با توجه به شکل)

نوع ترک	علامت در شکل	زیر گروهها	معمول ترین موقعیتها	دلیل اولیه	دلیل دوم	علاج	زمان پیدایش ترک
نشست پلاستیک	A	روی آرماتورها	مقاطع عمیق	آب انداختگی زیاد	شرایط خشک شدن اولیه سریع	حباب زایی با ارتعاش مجدد	۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت
	B	-	بالای ستونها	-	-	-	-
	C	تغییر عمق	دالهای مشبک	-	-	-	-
جمع شدگی پلاستیک	D	قطری	دالها و روسازیها	خشک شدن اولیه و نزدیک سطح بودن آرماتورها	کم بودن سرعت آب انداختگی	بهبود عمل آوری 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	-	-	-
جمع شدگی ناشی از خشک شدن	I	-	دیوارها و دالهای نازک	ناکافی بودن درزها	جمع شدگی زیاد و عمل آوری کم	کاهش مقدار آب و بهبود عمل آوری	چندین هفته یا ماه
ترکهای ریز سطحی	J	مجاور قالبها	نماها	قالب بندی نفوذ ناپذیر	پرسیمان بودن مخلوط و عمل آوری ضعیف	بهبود عمل آوری و پرداخت بتن	۱ تا ۷ روز گاهی دیرتر
	K	بتن تخته ماله ای	دالها	ماله کشی اضافی	-	-	-



## ۱۴- ارزیابی و پذیرش بتن

### ۱۴-۱- انواع آزمایش های بتن

- ۱ - مقاومت فشاری، کششی و خمشی
- ۲ - خشک شدگی و جمع شدگی بتن سخت شده
- ۳ - مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون
- ۴ - آزمایش اولتراسونیک جهت تعیین سرعت پالس در بتن و تعیین مدل الاستیسیته دینامیکی
- ۵ - تعیین چگالی و جذب آب و تخلخل
- ۶ - تعیین عیار سیمان بتن سخت شده
- ۷ - تعیین وضعیت میکروسکوپی سیستم حبابهای هوا
- ۸ - مقاومت بتن در برابر یخبندان و آب شدن سریع
- ۹ - مقاومت در برابر سایش
- ۱۰ - تهیه مغزه و تعیین مقاومت آن
- ۱۱ - تعیین مقاومت در برابر بیرون کشیدن
- ۱۲ - چکش اشمیت و تعیین عدد برجهندگی
- ۱۳ - آزمایش بتن با اشعه گاما
- ۱۴ - تعیین یون کلر بتن
- ۱۵ - مقاومت بتن در برابر یون کلر با شاخص الکتریکی
- ۱۶ - مقاومت الکتریکی بتن
- ۱۷ - آزمایش جذب آب حجمی
- ۱۸ - آزمایش جذب آب سطحی
- ۱۹ - آزمایش جذب آب موئینه
- ۲۰ - تعیین نفوذپذیری تحت فشار آب
- ۲۱ - تعیین نفوذپذیری تحت فشار هوا

## ۱۴-۲- نمونه برداری

الف) جهت نمونه برداری از مخلوط کن ها، باید ظرف نمونه برداری یا فرغون را به گونه ای جلو قسمت خروجی مخلوط کن قرار داد که بتن به راحتی وارد ظرف شده و قسمتی از بتن یا دانه های آن به خارج ریخته نشود.

ب) نمونه برداری از ماشین های حمل (تراک میکسر) باید طی ۴ مرحله متناوب انجام پذیرد، به گونه ای 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 آزمونه ها باشد، اما در هر صورت نباید از ۲۵ لیتر (حدوداً نصف یک فرغون) کمتر باشد.

ث) در صورتی که هدف از نمونه برداری تنها آزمون اسلامپ، تعیین درصد هوای بتن و یا تعیین وزن مخصوص بتن می باشد می توان نمونه برداری را در یک مرحله و به میزان کمتر از ۲۵ لیتر انجام داد.  
چ) مدت زمان نمونه برداری تا زمان قالب گیری نباید بیش از ۱۵ دقیقه باشد، و در تمام این مدت باید بتن در مقابل از دست دادن آب، یا اضافه شدن آب، جداسدگی، وزش باد و یا تابش مستقیم آفتاب و همچنین گرما و سرما محافظت شود.



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

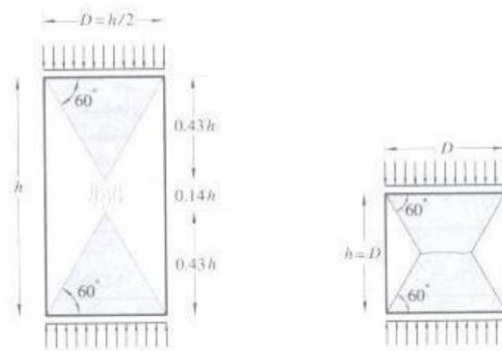
4 آزمونه‌ها استوانه‌هایی به قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر است. اگر در تهیه آزمونه یا  
5 مغزه، اندازه یا شکل آن متفاوت با استاندارد باشد می‌توان از جداول ۶-۵-۱-۱ برای تبدیل  
6 مقاومت‌ها استفاده نمود.



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

7  
8  
9  
10  
11 نوع نمونه بر مقاومت فشاری بتن تاثیر بسزایی می‌گذارد؛ به طوری که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه  
12 استوانه ای استاندارد با قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی متر، در حدود ۸۰ درصد مقاومت فشاری  
13 ۲۸ روزه نمونه مکعبی با بعد ۱۵۰ میلیمتر ( $f'_c = 0.8f'_{cu}$ ) می‌باشد.

14  
15 علت اصلی تفاوت مقاومت نمونه استوانه ای و مکعبی را باید در تفاوت نسبت ابعاد هر کدام از نمونه‌ها، و  
16 ایجاد تنش های برشی بین صفحات فولادی اعمال بار و سطح نمونه به دلیل تفاوت درمدول الاستیسیته و  
17 ضریب پواسون فولاد و بتن جستجو کرد. چنین تنش های برشی با زاویه ۶۰ درجه در نمونه نفوذ می‌کنند  
18 و بنابراین نفوذ این تنش‌ها از دو طرف نمونه حداکثر به میزان  $\tan 60$  ضرب در بعد افقی نمونه خواهد بود.  
19 بدین ترتیب برای نمونه‌هایی با نسبت ارتفاع به عرض بیش از فقط تحت تاثیر تنش های خالص فشاری  
20 قرار می‌گیرد. این وضعیت می‌تواند برآورد واقع بینانه ای از مقاومت فشاری تک محوری حقیقی بتن به  
21 دست دهد. در صورتی که در نمونه مکعبی با نسبت ابعاد ۱/۰، رئوس هرم های دربردارنده تنش های  
22 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 ضرایب تبدیل ابعاد نمونه ها

۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	$25 \geq$	مقاومت فشاری مکعبی MPa
۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۳	۱/۱۴	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۲۵	ضریب تبدیل استوانه به مکعب
۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	$20 \geq$	مقاومت فشاری استوانه های استاندارد MPa
۰/۹۱	۰/۹	۰/۸۸۸	۰/۸۷۵	۰/۸۵۷	۰/۸۳۳	۰/۸	ضریب تبدیل مکعب به استوانه

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

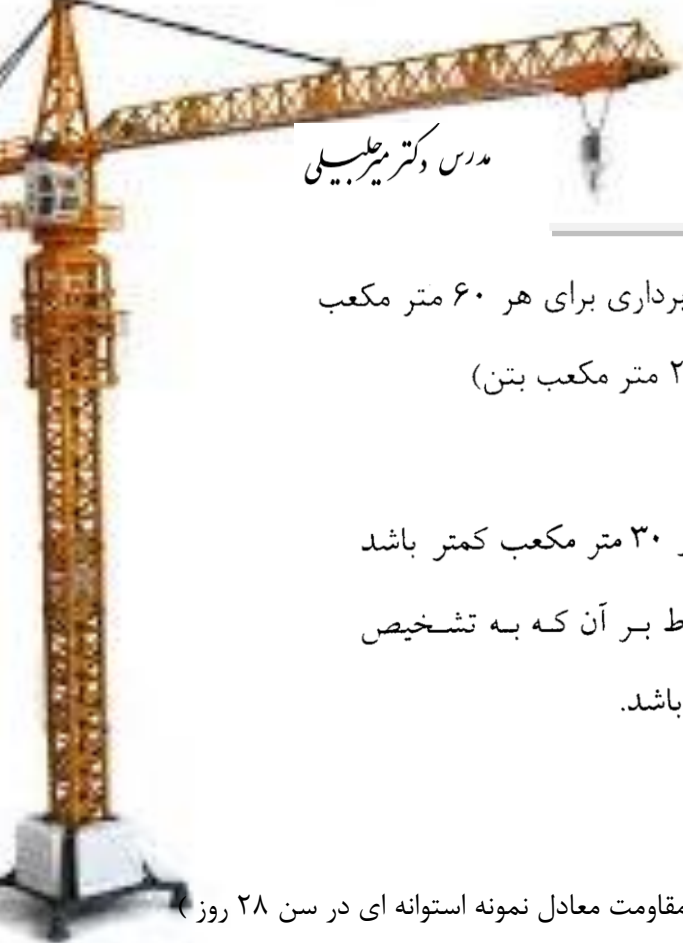
مقاومت فشاری (به صورت نسبی)				نوع سیمان
۹۰ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۱ روزه	
۱/۲۰	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۳۰	سیمان نوع I
۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۵۶	۰/۲۳	سیمان نوع II
۱/۲۰	۱/۱۰	۰/۷۹	۰/۵۷	سیمان نوع III
۱/۲۰	۰/۷۵	۰/۴۳	۰/۱۷	سیمان نوع IV
۱/۲۰	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/۲۰	سیمان نوع V

### ۱۴-۳- تواتر نمونه برداری

الف- برای دالها و دیوارها، یک نمونه برداری از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا ۱۵۰ متر مربع سطح.

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

پ- برای ستونها، یک نمونه برداری از هر ۵۰ متر طول.



اگر قطعاتی مانند شالوده‌ها، با حجم زیاد موجود باشد، یک نمونه برداری برای هر ۶۰ متر مکعب بتن توصیه می‌شود (به ویژه برای حجم هر نوبت اختلاط بیش از ۲ متر مکعب بتن) حداقل ۶ نمونه برداری از کل هر سازه الزامی است.

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

### ۱۴-۴- ضوابط پذیرش بتن

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

برای اینکه بتن را منطبق بر رده مورد نظر و قابل قبول تلقی نماییم لازم است یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

الف: هر سه نتیجه نمونه‌های متوالی مساوی یا بیشتر از مقاومت مشخصه باشد.

ب: میانگین نتایج مقاومت فشاری هر سه نمونه متوالی حداقل  $1/5 \text{ MPa}$  بیشتر از مقاومت مشخصه باشد. همچنین مقاومت هر یک از سه نمونه متوالی بیشتر از  $4 \text{ MPa}$  کمتر از مقاومت مشخصه نباشد.

$$X_{1,2,3} \geq f_c \quad (3-6)$$

$$\bar{x}_3 \geq f_c + 1.5 \quad (4-6)$$

$$x_{\min} \geq f_c - 4 \quad (5-6)$$

۶-۲-۵-۲ مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول است که متوسط مقوامتهای نمونه‌ها از

مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت مشخصه منهای ۴

مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع) کمتر باشد:

$$x_{\min} < f_c - 4 \quad \text{یا} \quad \bar{x}_3 < f_c \quad (6-6)$$

اگر بتن قابل قبول نباشد و همچنین قابل قبول نیز به شمار نیاید می‌توان به تشخیص طراح و بدون

بررسی بیشتر بتن را از نظر سازه‌ای نیز قابل قبول تلقی نمود.



#### ۱۴-۵- اقدامات لازم در هنگامی که مقاومت بتن جواب ندهد

- 1 در صورتی که بر اساس آزمایشهای مقاومت آزمونه های عمل آمده در آزمایشگاه، مطابق بند
- 2
- 3
- 4 ۵-۶ معلوم شود که بتن بر رده مورد نظر منطبق نیست و غیر قابل قبول است، باید تدابیری
- 5 به شرح زیر برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه اتخاذ شود:
- 6 ۶-۶-۱ در صورتی که با استفاده از تحلیل موجود سازه و بازبینی طراحی، بتوان ثابت کرد
- 7
- 8 که ظرفیت باربری سازه به ازای مقاومت بتن کمتر از مقدار پیش بینی شده هم قابل قبول
- 9 است نوع بتن از نظر تامین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می شود.
- 10 ۶-۶-۲ در صورتی که شرط بند ۶-۶-۱ برآورده نشود ولی با انجام تحلیل و طراحی مجدد
- 11 بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری تمامی قسمتهای سازه با فرض وجود بتن با مقاومت کمتر
- 12 در قسمتهای احتمالی قابل قبول خواهد بود، نوع بتن از نظر تامین مقاومت سازه قابل قبول
- 13 تلقی می شود.
- 14
- 15 ۶-۶-۳ در صورتی که شرایط بندهای ۶-۶-۱ و ۶-۶-۲ برآورده نشوند لازم است روی
- 16
- 17 مغزه های گرفته شده از بتن در قسمتهایی که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر داده می شود
- 18 آزمایش به عمل آید. این آزمایشها باید با روش "آزمایش مغزه های مته شده و تیرهای اهر
- 19 شده" (دت ۶۲۵) مطابقت داشته باشند. برای قسمتهایی از سازه که نتایج آزمایشهای
- 20
- 21 آزمونه های عمل آمده در آزمایشگاه مربوط به آنها شرایط پذیرش بتن مذکور در بند ۶-۵-۲
- 22 را برآورده نکند باید سه مغزه تهیه و آزمایش شود.
- 23 ۶-۶-۵ در قسمتهایی از سازه که مقاومت بتن از طریق آزمایش مغزه ها ارزیابی می شود، در
- 24
- 25 صورتی بتن از نظر تامین مقاومت قابل قبول تلقی می شود که متوسط مقاومتهای فشاری سه
- 26 مغزه حداقل برابر  $0/85$  مقاومت مشخصه باشد و بعلاوه مقاومت هیچیک از مغزه ها از  $0/75$
- 27 مقاومت مشخصه کمتر نباشد. برای کنترل دقت نتایج می توان مغزه گیری 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 قسمت های مشکوک به عمل آید یا اقدامات مقتضی دیگری صورت گیرند.

تخریب بخش هایی از سازه معمولاً بعنوان آخرین راه حل باید مدنظر قرار گیرد. تخریب بخشی از سازه، علاوه بر هدر رفتن سرمایه های ملی، می تواند آثار نامطلوبی را بر بخش های 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 حد امکان خودداری شود.

#### ۱۴-۶- ضوابط کنترل روش عمل آوری بتن

۶-۵-۳-۴ در صورتی روش عمل آوردن و مراقبت بتن رضایت بخش تلقی می شود که مقاومت فشاری آزمون های کارگاهی در سن مشخص شده برای مقاومت مشخصه حداقل معادل  $0.85$  مقاومت نظیر آزمون های 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 روش های مذکور صورت گیرد.