



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



بتن‌ریزی در هوای سرد

ارائه:

مهدی نعمتی، عضو هیات علمی بخش فناوری بتن



وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

تعریف هوای سرد برای بتن

تاثیر هوای سرد بر مشخصات بتن تازه

تاثیر هوای سرد بر مشخصات بتن سخت‌شده

ملاحظات و اقدامات لازم برای بتن‌ریزی در هوای سرد (مصالح، طرح اختلاط، روش‌ها (گرم

کردن مواد، گرم کردن هوای محیط، عایق کردن)، دماهای ساخت، محافظت، عمل‌آوری و

قالب‌برداری)

جمع‌بندی





تعریف هوای سرد برای بتن

طبق گزارش کمیته ۳۰۶ انجمن بتن آمریکا در سال ۲۰۱۰:

زمانی هوا سرد است که:

۱- دمای هوا، کمتر از 40°F (4°C) باشد.

یا

۲- انتظار رود در طول دوره محافظت، کمتر از 40°F (4°C) شود.



تعریف هوای سرد برای بتن

طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در سال ۱۳۹۲:

زمانی هوا سرد است که طی سه روز متوالی:

۱- متوسط روزانه دمای هوا در شبانه‌روز، کمتر از 5°C باشد.

و

۲- دمای هوا برای بیشتر از نصف روز از 10°C بیشتر نباشد.



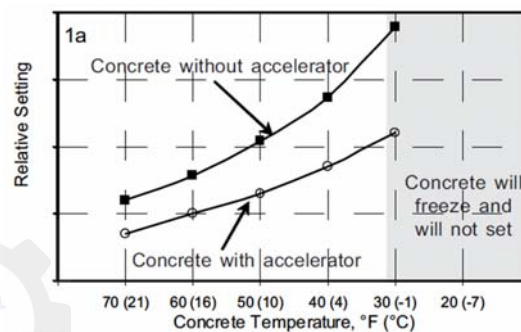
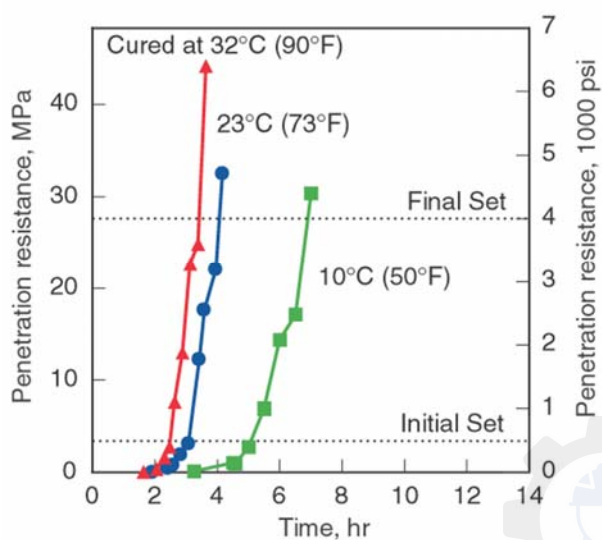


تأثیر هوای سرد بر بتن تازه

- افزایش زمان گیرش
- یخ زدگی بتن در حالت تازه بودن



تأثیر هوای سرد بر بتن تازه





تأثیر هوای سرد بر بتن سخت شده

- احتمال یخ زدن و تاخیر در سخت شدن
- کاهش سرعت کسب مقاومت در کوتاه مدت
- ترک خوردگی بتن



تأثیر هوای سرد بر بتن سخت شده

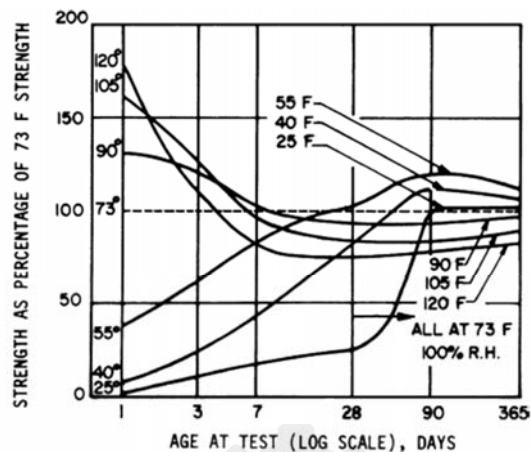


Fig. 8.4—Effect of temperature conditions on the strength development of concrete (Type I cement) (Kleiger 1958).



برای بتن‌ریزی در هوای سرد چه باید کرد؟

- ۱- محافظت در برابر یخ‌زدن
- ۲- کسب مقاومت اولیه بعد از دوره محافظت
- ۳- استفاده از شرایط عمل‌آوری مناسب برای کسب مقاومت با سرعت نرمال
- ۴- تحمل سیکل ذوب و یخ بعد از دوره عمل‌آوری
- ۵- جلوگیری از ترک‌خوردگی بتن
- ۶- کسب مقاومت لازم برای قالب‌برداری ایمن
- ۷- کسب مقاومت کافی برای تحمل بارگذاری در دوره اجرا



برای بتن‌ریزی در هوای سرد چه باید کرد؟

- ۱- محافظت در برابر یخ‌زدن

الف- مواد و مصالح

ب- طرح اختلاط بتن

پ- تولید

ت- حمل

ث- اجرا

ج- محافظت بعد از اجرا





مواد و مصالح

سیمان:

- می‌توان از سیمان پرتلند استاندارد یا سیمان آمیخته (نوع B) استفاده نمود (JSCE).
- از سیمان نوع ۳ یا سیمان با مقاومت اولیه زیاد استفاده شود (مقررات ملی).
- استفاده از سیمان‌های آمیخته، به ویژه سیمان پوزولانی، در بتن‌ریزی در هوای سرد توصیه نمی‌شود (مقررات ملی).
- در صورت عدم وجود مشکل ترک‌خوردگی، می‌توان از سیمان با مقاومت اولیه زیاد استفاده کرد.
- سیمان نباید بطور مستقیم حرارت داده شود (JSCE).



مواد و مصالح

سنگدانه:

- سنگدانه‌های حاوی یخ یا سنگدانه‌های یخ‌زده در بتن استفاده نشود (JSCE).
- توده یخ‌زده بزرگتر از ۷۵ میلیمتر، اغلب در زمان اختلاط و حمل بتن، ذوب نمی‌شوند و در بتن باقی می‌مانند.
- سنگدانه‌ها بهتر است در شرایطی ذخیره شوند که امکان یخ‌زدن یا ورود یخ در آنها نباشد.
- زمانیکه برف و توده‌های یخ‌زده در سنگدانه وجود ندارد و هوای محیط معتدل است، لازم نیست مصالح سنگی گرم شوند.





مواد و مصالح

سنگدانه:

- برای گرمایش بتن، تنها آب و سنگدانه گرم شود (JSCE).
- سنگدانه باید بصورت یکنواخت و به گونه‌ای گرم شود که این فرایند باعث خشک شدن آنها نشود (JSCE).
- اگر دمای هوا زیر ۴- درجه سانتی‌گراد باشد و دمای آب تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم شود، معمولاً لازم است که مصالح سنگی تا دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد گرم شوند.



مواد و مصالح

آب:

- دمای آب گرم شده باید کنترل شده و در تماس مستقیم با سیمان قرار نگیرد. باید از تماس مستقیم آب گرم با دمای بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سیمان جلوگیری شود.
- بهتر است آب و سنگدانه در ابتدا مخلوط شوند بطوریکه دمای مخلوط آنها برابر یا کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد شود.





مواد و مصالح

مواد افزودنی:

- موادی مانند مواد ضد یخ و مواد مقاوم در برابر سرما که مشخصات آنها در استاندارد موجود نیست، در صورتی قابل استفاده است که کیفیت آنها بطور کامل مورد بررسی و تایید قرار گرفته باشد (JSCE).

- استفاده از مواد کاهنده آب برای کاهش نسبت آب به سیمان برای مقاومت در برابر یخزدن می تواند مفید باشد (JSCE).

- مواد افزودنی مختلف مانند **مواد ضد یخ**، مواد مقاوم در برابر یخزدگی، تسریع کننده گیرش، حبابساز، مواد کاهنده آب می توانند برای بتن ریزی در هوای سرد استفاده شوند (JSCE).



مواد و مصالح

مواد افزودنی:

- مواد افزودنی شیمیایی باید به گونه ای استفاده شوند که کیفیت مناسب برای بتن، بتواند بدست آید (JSCE).

- استفاده از مواد حبابساز و ساخت بتن با حباب هوا برای بتن هایی که در معرض رطوبت و چرخه های ذوب و یخ در دوره ساخت قرار می گیرند، **ممکن است** لازم باشد (ACI).

- تماس مواد حبابساز با آب گرم باعث کاهش کارایی آن می شود.





مواد و مصالح

مواد افزودنی تسریع کننده:

- کلرید کلسیم
- زودگیری که بخشی از آن، کلرید کلسیم است
- زودگیر غیر کلرایدی (کلراید کمتر از ۰/۰۵ درصد)
- زودگیر غیر کلرایدی برای ساخت بتن با دمای زیر صفر (تا ۵- درجه سانتیگراد) مانند نیترات کلسیم، تیوسیونات سدیم، کربنات پتاسیم، فرمات کلسیم



طرح اختلاط بتن

- برای جلوگیری از آسیب ناشی از یخ زدن اولیه، مقدار آب بتن باید تا حد امکان (برای حفظ کارایی) کاهش یابد (JSCE و ACI).
- از سیمان بیشتر استفاده شود (ACI).
- نسبت آب به سیمان از ۰/۵ بیشتر نشود (مقررات ملی).





تولید بتن

- دمای بتن درست بعد از اختلاط باید به حدی باشد که دمای مورد نیاز برای بتن‌ریزی را با توجه به شرایط و زمان حمل تامین نماید.
- دمای مصالح گرم شده باید به اندازه‌ای باشد که باعث گیرش سریع سیمان نشود. برای این منظور، می‌توان ترتیب اضافه کردن مصالح شامل اول سه چهارم آب گرم، سپس سنگدانه درشت، سنگدانه ریز، سیمان، و در آخر یک چهارم مابقی آب گرم باشد.
- دمای بتن در زمان اختلاط باید طوری کنترل شود که تغییرات دما از هر بیج به بیج دیگر به حداقل برسد.



حمل بتن

- بتن باید به گونه‌ای حمل و ریخته شود که افت دمای آن به حداقل برسد. این کار می‌تواند با کاهش زمان حمل و ریختن انجام شود.





حمل بتن



- افت دما برای تراک میکسر:

$$T=0.25(t_r-t_a)$$



- افت دما برای کامیون حمل بتن با پوشش:

$$T=0.10(t_r-t_a)$$



- افت دما برای کامیون حمل بتن روباز:

$$T=0.20(t_r-t_a)$$

t_a = ambient air temperature, °F (°C)
 t_r = concrete temperature required at the job, °F (°C)



اجرای بتن

- در مواردی که بتن روی زمین ریخته می‌شود، اگر زمین یخ زده باشد، دمای بتن به سرعت افت می‌کند. همچنین ممکن است زمین یخ زده ذوب شود، بطوریکه بتن نشست کند.
- در شرایطی که زمین قبلاً یخ زده باشد، باید قبل از بتن‌ریزی، یخ‌ها ذوب شود.
- باید اطمینان حاصل شود که برف/یخ به میلگردها و قالب در زمان اجرا نچسبیده است.
- دمای سطح بتن در تماس با زمین یا قالب، نباید ۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر یا ۸ درجه سانتی‌گراد کمتر از توده بتن باشد (ACI).





اجرای بتن

- با توجه به اینکه دمای پایین بتن باعث افزایش فشار جانبی قالب می‌شود، لازم است توجه کافی در سرعت بتن‌ریزی و ارتفاع بتن صورت پذیرد.
- اسپری کردن آب یا بخار گرم روی بدنه قالب و حائل‌ها باعث ذوب شدن برف/یخ می‌شود.



اجرای بتن

- دمای بتن در هنگام ساخت باید بین ۷ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد بسته به ابعاد مقطع بتن‌ریزی و شرایط محیطی و در هنگام ریختن باید بین ۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد بسته به ابعاد مقطع بتن‌ریزی باشد (ACI).





اجرای بتن

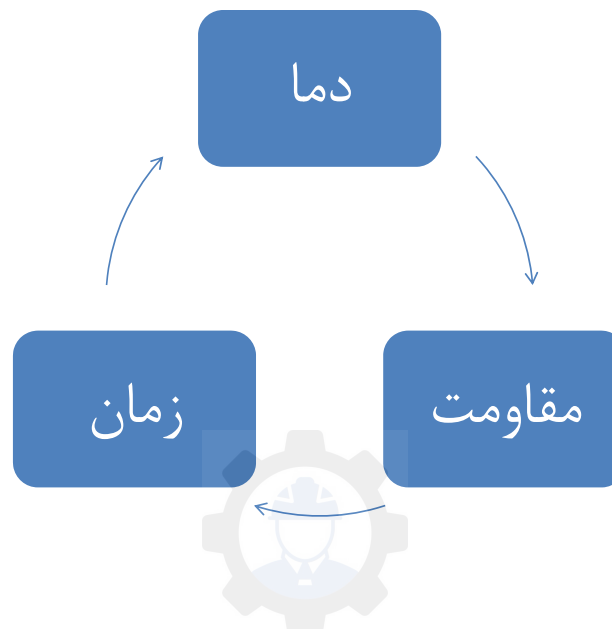
جدول ۷-۳-۶ دمای بتن بر حسب درجه سلسیوس (سانتیگراد) در مراحل مختلف کار با توجه به دمای محیط و اندازه اعضا و قطعات

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

* چنانچه تدابیری ویژه برای اختلاط و بتن ریزی فراهم نگردد، ریختن بتن در دمای ۲۰- درجه سلسیوس (سانتیگراد) و کمتر از آن ممنوع است.



اجرای بتن





اجرای بتن

نکات مهم:

- روش و مدت حفاظت باید با توجه به عوامل مختلف مانند دمای هوای محیط، طرح اختلاط بتن، نوع و اندازه سازه تعیین شود.
- در اصل، دوره حفاظت باید بوسیله آزمایش تعیین شود، زیرا نوع سیمان، طرح اختلاط و دمای شرایط حفاظت، دوره حفاظت مورد نیاز برای کسب مقاومت فشاری اولیه را تحت تاثیر قرار می دهد.



اجرای بتن

نکات مهم:

- علاوه بر این، در طی زمان ساخت، دمای بتن و محیط اتمسفر باید بطور دوره ای (دو بار شبانه روز) اندازه گیری شود و برنامه ساخت با توجه به آنها تنظیم شود. همچنین لازم است تا موثر بودن روش محافظت ارزیابی شود. تاریخ و زمان اندازه گیری، همچنین حداقل و حداکثر دما نیز باید توسط پرسنل بازرسی ثبت شود.





محافظت بعد از اجرای بتن

تعریف محافظت

مجموعه اقداماتی است که برای حفظ بتن از یخزدگی و کسب مقاومت اولیه لازم، صورت می‌پذیرد. به عبارت دیگر محافظت بتن بعد از اجرا، در بخش اولیه عمل‌آوری صورت می‌گیرد تا بتن بتواند به مقاومت اولیه مورد نیاز دست یابد.



محافظت بعد از اجرای بتن

انواع محافظت

- محافظت با روش عایق‌سازی بتن برای جلوگیری از اتلاف حرارت و افت دما (عایق‌سازی)
- محافظت با روش پوشاندن بتن برای جلوگیری از وزش باد و بارش برف (پوشاندن)
- تولید حرارت اطراف محیط بتن برای افزایش و حفظ دمای محیط مجاور بتن یا افزایش دمای بتن (حرارتی)
- محبوس کردن
- ترکیبی از روش‌های فوق





محافظت بعد از اجرای بتن

انواع محافظت - حرارتی

- بخاری با حرارت مستقیم
- بخاری با حرارت غیر مستقیم
- سیستم‌های گرمایشی هیدرونیك



محافظت بعد از اجرای بتن

نکته مهم در محافظت حرارتی

- دمای بتن در معرض هوای سرد باید بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شود تا مقاومت اولیه مورد نیاز بدست آید. همچنین برای جلوگیری از سرد شدن سریع سطح بتن، دمای بتن برای دو روز بعد از دوره محافظت بالاتر از صفر نگه داشته شود.
- در دوره محافظت، سطح بتن نباید در معرض هوای گرم با دمای بیشتر از ۱۱ درجه سانتی‌گراد بالاتر از حداقل دمای بتن‌ریزی قرار گیرد.
- عمل آوری باید به گونه‌ای باشد که دمای سطح بتن از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر نشود.





محافظت بعد از اجرای بتن

نکته مهم در محافظت حرارتی

- در روش حفاظت حرارتی، مهم است تا از حرارت‌دهی موضعی اجتناب شود زیرا ممکن است احتمال ترک‌خوردگی ناشی از گرادیان حرارتی افزایش یابد.
- زمانیکه از حفاظت حرارتی استفاده می‌شود، لازم است از خشک‌شدن سریع بتن اجتناب شود و حرارت دادن باید بطور یکنواخت در سرتاسر بتن صورت پذیرد.
- اگر دمای سطح بتن بعد از ۶ ساعت از قطع محافظت، به اندازه مقادیر بیان شده برای حداکثر افت حرارتی در طی ۲۴ ساعت منهای ۸ درجه سانتی‌گراد بود، دوره محافظت باید ۴۸ ساعت دیگر ادامه یابد.



محافظت بعد از اجرای بتن

انواع محافظت

- محافظت با روش عایق‌سازی بتن برای جلوگیری از اتلاف حرارت و افت دما (عایق‌سازی)
- محافظت با روش پوشاندن بتن برای جلوگیری از وزش باد و بارش برف (پوشاندن)
- تولید حرارت اطراف محیط بتن برای افزایش و حفظ دمای محیط مجاور بتن یا افزایش دمای بتن (حرارتی)

- محبوس کردن

- ترکیبی از روش‌های فوق





محافظت بعد از اجرای بتن

توصیه‌ها:

- توصیه می‌شود از ترکیب عمل‌آوری حرارتی با عمل‌آوری عایقی با استفاده از پوشش‌های مناسب برای بهینه کردن اثرات عمل‌آوری استفاده شود.
- بتن ریخته شده در هوای سرد بعد از عمل‌آوری عایقی با حرارتی در معرض هوای سرد قرار می‌گیرد و دستیابی به مقاومت مورد نیاز، کند می‌شود. بنابراین به جز مواردی که زمان بارگذاری به طور قابل ملاحظه‌ای دیر است، توصیه می‌شود که عمل‌آوری تا بعد از کسب مقاومتی که بتن را برابر یخ‌زدن اولیه محافظت می‌کند، ادامه یابد تا سازه بتنی بتواند بار مورد نظر را تحمل کند.



کسب مقاومت اولیه بعد از دوره محافظت

مقاومت اولیه مورد نیاز (ACI 306-88 و ACI 306-10)

دوره محافظت باید تا کسب مقاومت $3/5 \text{ MPa}$ ادامه یابد (در صورت وجود یک چرخه ذوب و یخ).

مقاومت اولیه مورد نیاز (CSA)

دوره محافظت باید تا کسب مقاومت 7 MPa ادامه یابد.

مقاومت اولیه مورد نیاز (مبحث نهم مقررات ملی ۱۳۹۲)

دوره محافظت باید تا کسب مقاومت 5 MPa ادامه یابد.

مقاومت اولیه مورد نیاز (آیین‌نامه آبا)

دوره محافظت باید تا حداقل تا زمان ۲۴ ساعت بعد از بتن ریزی و کسب مقاومت 5 MPa ادامه یابد.



کسب مقاومت اولیه بعد از دوره محافظت

زمان لازم برای دوره محافظت (ACI)

Table 7.1—Length of protection period for concrete placed during cold weather

Line	Service condition	Protection period at minimum temperature indicated in Line 1 of Table 5.1, days*	
		Normal-set concrete	Accelerated-set concrete
1	No load, not exposed	2	1
2	No load, exposed	3	2
3	Partial load, exposed	6	4
4	Full load	Refer to Chapter 8	

*A day is a 24-hour period.



عمل آوری بعد از دوره محافظت

زمان لازم برای دوره

عمل آوری (ACI 308)

Table 2.1—Recommended minimum duration of curing for concrete mixtures*

	Minimum curing period
ASTM C 150 Type I	7 days
ASTM C 150 Type II	10 days
ASTM C 150 Type III or when accelerators are used to achieve results demonstrated by test to be comparable to those achieved using ASTM C 150 Type III cement	3 days
ASTM C 150 Type IV or Type V cement	14 days
Blended cement, combinations of cement and other cementitious materials of various types in various proportions in accordance with ASTM C 595, C 845, and C 1157	Variable. See Section 2.9.

*with various cement types when no testing is performed and no concrete properties are specified



عمل آوری بعد از دوره محافظت

زمان لازم برای دوره

عمل آوری (مقررات ملی)

جدول ۷-۲ حداقل مدت عمل آوری

نوع بتن و نسبت آب به سیمان مخلوط بتن	شرایط محیطی	شرایط محیطی هوای گرم	شرایط محیطی هوای سرد
بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۳ و بیشتر	۶	۷	۱۰
بتن حاوی مواد افزودنی معدنی مانند دوده سیلیس، سرباره و متاکولین، با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۳	۱۰	۱۴	۱۴



عمل آوری بعد از دوره محافظت

روش مجاز عمل آوری

(مقررات ملی)

جدول ۷-۱ روش های مجاز عمل آوری

نوع بتن و نسبت آب به سیمان مخلوط بتن	شرایط محیطی	شرایط محیطی هوای گرم	شرایط محیطی هوای سرد
بتن معمولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۳ و بیشتر	روش آبرسانی و روش عایقی	روش آبرسانی و روش عایقی	روش عایقی
بتن حاوی مواد افزودنی معدنی مانند دوده سیلیس، سرباره و متاکولین، با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۳	روش آبرسانی	روش آبرسانی	روش عایقی برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ تا ۰/۴۳ مجاز است اما ساخت بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ کمتر در هوای سرد مجاز نیست.



عمل آوری بعد از دوره محافظت

نکات مهم:

- اگر زمان مشخص و یا ویژگی مشخصی برای بتن ذکر نگردد، معمولاً زمان رسیدن به ۷۰ درصد مقاومت فشاری ۲۸ روزه، زمانی است که باید عمل آوری تا رسیدن به آن، انجام شود.
- بعد از اتمام عمل آوری با روش عایق سازی یا حرارتی، بتن نباید به سرعت سرد شود.
- در مواردی که بتن نسبت به یخ زدگی تحت شرایط هوای سرد بعد از عمل آوری، آسیب پذیر است، آب دادن به بتن درست قبل از اتمام عمل آوری نباید انجام شود. این مدت، توسط CSA، ۱۲ ساعت اعلام شده است.



عمل آوری بعد از دوره محافظت

نکات مهم:

- بتن در معرض هوای سرد تمایل به خشک شدن دارد. به عبارت دیگر اگر بتن با دمای بیشتر از ۱۶ درجه سانتی گراد در معرض هوای سردتر از ۱۰ درجه سانتی گراد قرار گیرد، اقداماتی برای جلوگیری از خشک شدن بتن باید صورت پذیرد.
- گرم کردن حرارتی با بخار گرم، می تواند از خشک شدن سطح بتن جلوگیری نماید. درصد رطوبت نسبی هوای گرم باید بالاتر از ۴۰ درصد باشد.
- در صورت استفاده از گرم کردن محیط به روش خشک، لازم است روی بتن پوششی برای جلوگیری از افت رطوبت سطح بتن انداخته شود (ASTM C171 و ASTM C309).



قالب‌برداری

نکات مهم

- در استاندارد JSCE حداکثر مجاز افت دما در مدت ۲۴ ساعت بعد از اتمام دوره عمل‌آوری، ۲۲ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد برای مقاطع نازک و ۱۷ درجه سانتی‌گراد برای مقاطع ضخیم است.



قالب‌برداری

نکات مهم

- قالب‌برداری باید به روشی انجام شود که دمای بتن به سرعت افت نکند.
- قالب باید بتواند حرارت درون بتن را به نحو مناسبی حفظ نماید.
- در مقایسه با قالب‌های فلزی، قالب‌های چوبی هدایت حرارتی کمتری دارند و بنابراین حرارت را بهتر حفظ می‌نمایند.
- در اثر طولانی‌تر شدن زمان گیرش، قالب‌برداری معمولاً با تاخیر انجام می‌شود.
- پایه‌ها باید بطور محکم روی زمین بدون تغییر شکل ناشی از یخ زدن و ذوب شدن زمین جایگذاری شود.





قالب‌برداری

نکات مهم

- بعد از قالب‌برداری، بتن باید برای زمان توصیه شده با پوشش‌های عایق حرارتی پوشانده شود یا در معرض هوای گرم قرار گیرد.
- بتن باید به آرامی سرد شود تا خطر ترک‌خوردگی در اثر گرادیان تنش بین قسمت داخلی و خارجی بتن کاهش یابد.
- شل کردن اولیه قالب از بتن و پوشاندن بتن با ورقه‌های پلی‌اتیلن برای گردش هوا می‌تواند مشکل را کم کند.
- حداقل زمان قالب‌برداری می‌تواند با روش تجربی تعیین شود.
- مقاومت بتن قبل از قالب‌برداری باید تعیین شود.



قالب‌برداری

تعیین مقاومت بتن قبل از قالب‌برداری

- با استفاده از آزمون‌های نگهداری شده در سایت (شرایط محیطی)
- آزمایش Pull out (ASTM C900)
- آزمایش مقاومت نفوذ (ASTM C803)
- اندازه‌گیری سرعت پالس (ASTM C597)
- آزمایش چکش اشمیت (ASTM C805)
- روش بلوغ‌سنجی





کسب مقاومت لازم برای جلوگیری از یخ زدن

مقاومت لازم (ACI)

بتن باید تا کسب مقاومت 24MPa از یخ زدگی محافظت شود.

مقاومت لازم (مقررات ملی)

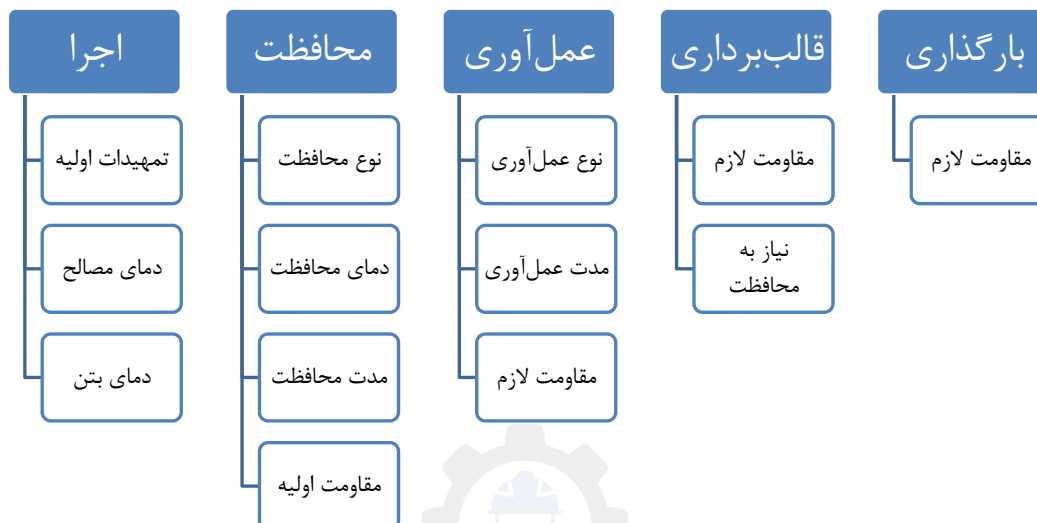
بتن باید تا کسب مقاومت 14MPa از یخ زدگی محافظت شود.

مقاومت لازم (آبا)

بتن باید تا کسب مقاومت 24MPa از یخ زدگی محافظت شود.



جمع بندی



از توجه شما متشکرم

