بتن ریزی در هوای سرد و یخبندان

محسن تدین، عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا
مدرس دانشگاه علم و صنعت و انجمن بتن ایران و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
تلفن: ۱۲۷۲۹۹۳- ۰۹۱۲، نمابر: ۲۲۹۰۱۳۵۵- ۰۲۱، پست الکترونیکی: *tadayonmoh@yahoo.com*

مقدمه

چنانچه هوا سرد و دمای بتن کم شود ، سرعت واکنش سیمان با آب کند می گردد و زمان گیرش طولانی می شود و در نتیجه مقاومت چندانی در ساعا ت و روزها ی اولیه حاصل نمی گردد. زمان قالب برداری طولانی خواهد شد و ممکن است در طول این مدت به واسطه لرزش و ضربه آسیبی به بتن وارد گردد. چنانچه در هنگام گیرش و یا پس از آن ، رمانی که مقاومت بتن چندان زیاد نیست یخبندان در بتن حاصل شود ، بتن به واسطه انبساط ناشی از یخ زدن آب در حفرات ، در اثر تنشهای کششی حاصله ، ترک می خورد و از بین می رود در این دستور العمل سعی می شود تا از بروز این خسارت ها جلوگیری بعمل آید.

شرایط حصول هوای سرد (تعریف)

طبق تعریف جدید آیین نامه بتن ایران ، هوای سرد درحالی حاصل می گردد که در سه روز متوالی شرایط زیر برقرار باشد:

الف : دمای متوسط هوا در شبانه رو زکنتر از ۵+ باشد (دمای متوسط روزانه ، میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در شبانه روز است و مای هوا با دماسنج حداقل و حداکثر که در حعبه چوبی استاندارد قرار دارد اندازه گیری می شود)

ب : دمای هوا برای بیش از نصف شبانه روز از ^{0}C ۱۰ بیشتر نباشد.

در تعریف قبلی آبا هوای سرد و قتی حاصل می گشت که دمای هوا در هنگام بتن ریزی کمتر از ^{0}C ۲ بوده و یا زمین کارگاه در هنگام بتن ریزی یخ زده باشد. بهتر است حتی الامکان از تعریف قدیمی نیز استفاده شود و لازم است بدون رعایت تدابیر خاص در این شرایط از بتن ریزی خودداری گردد تاخساراتی به بتن وارد نیاید.

تدابیر خاص الزامی در هوای سرد

ج : قالب و میلگردها نباید یخ زده باشد و از ریختن بتن بر روی زمین یخ زده باید خودداری شود.

تدابیر احتیاطی هوای سرد

با رعایت تدابیر الزامی برای اطمینان از عدم بروز مشکل بهتر است تـدابیر احتیـاطی زیـر مـد نظـر قرار گیرد :

الف : حداقل دمای بتن در هنگام ریختن و عمـل آوری ^{0} C ۱۰ + باشـی (بـویژه بـرای قطعـات تـا حداقل بعد کمتر از ۹۰ سانتی متر)

ب : عمل آوری تا رسیدن به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه بتن ادامه یابد.

ج : دمای ساخت ، بالاتر از دمای بتن ریزی باشد. این مقدار طبق دستورالعمل باید محاسبه شود.

د : اسلامپ بتن تا حـد امکـان ، کمتـر اختیـار شـود ، هـر چنـد آئـین نامـه بـتن ایـران آن را بـه ۵۰ میلی متر محدود کرده است اما با توجه به شرایط اجرایی هر پروژه ممکن است مقادیر بالاتر نیز در صورت توجه به تدابیر الزامی و احتیاطی ، مشکلی را بوجود نیاورد.

هـ : بهتر است نسبت آب به سیمان از ۰/۵ تجاوز نکند. بهرحال علی رغـم ذکـر ایـن محـدودیت در آئین نامه بتن ایران ، نمی توان آن را اجباری تلقی کرد.

و : دمای بتن در هنگام ریختن نباید بیش از ^{0} C ۱۰ بالاتر از حداقل توصیه شده باشد.

ز : دمای بتن در هنگام ساخت (اختلاط) نباید بیش از ^{0} C ۱۰ بالاتر از حداقل دمـای محاسـباتی ساخت بتن باشد.

ح : حمل و ریختن بتن باید حتی الامکان در اسرع وقت انجام شود و در طول حمل از افـت شـدید دما جلوگیری گردد.

ط : نباید پس از خاتمه عمل آوری اجازه داد تا بتن سریعا" سرد شود و شوک حرارتـی بـه آن وارد گردد.

ی : نباید برای شروع عمل آوری ، دمای بتن سریع بالا رود و شوک حرارتی به آن وارد گردد

ک : استفاده از سیمانهایی که با سرعت واکنش بیشتر توصیه می شود و مصرف سیمانهای آمیختـه مطلوب نیست.

ل : مصرف مواد افزودنی زود گیر کننده (ضد یخ) اختیاری بوده و در شرایطی که بخـواهیم طـول مدت عمل آوری را کم نموده و احتمال خسارت را بشدت پـائین آوریـم ، مـی تـوانیم از ایـن مـواد استفاده نماییم به شرطی که این مواد استاندارد بوده و برای دوام بتن و میلگرد ضرری نداشته باشد.

م : مصرف مواد افزودنی حباب زا معمولا" در این بتن ها توصیه می شود. این مـواد معمـولا" طـول مدت محافظت از بتن را برای جلوگیری از وارد شدن خسارت در اثر یخبندان کـاهش مـی دهنـد و برای شرایط بهره برداری در محیط سرد و یخبندان مناسب است.

ن : بهتر است از یخ زدن سنگدانه ها برای تأمین شرایط مورد نظر جلوگیری گردد و ساخت بتن در دمای مطلوب ، آسان تر خواهد بود.
س : استفاده از مواد روان کننده برای کاهش آب و نسبت آب به سیمان و به حداقل رساندن آب انداختن توصیه می شود ، هرچند می توان از افزایش عیار سیمان نیز استفاده نمود. مصرف اضافی سیمان می تواند طول مدت حفاظت را برای جلوگیری از وارد شدن خسارت ناشی از یخ بندان کاهش دهد (مانند بند ک ، ل ، م).

نکات اجرایی برای اعمال تدابیر الزامی و احتیاطی

با انداختن نایلون یا برزنت بر روی سنگدانه ها به ویژه در هنگام شب و بارندگی از خیس شدن آن ها جلوگیری گردد. اگر می توان لحاف پشم شیشه تهیه نمود که رویه آن ضد نفوذ آب باشد بسیار مطلوب است زیرا می توان دمای کسب شده از تابش آفتاب یا بالا رفتن دما در طول روز را تا حدودی در طول شب حفظ نمود.

- در صورتی که بنا به هر دلیلی بخش های فوقانی توده سنگدانه یخ زده باشد ، لازم است لایه رویی کنار زده شود. این کار دو حسن در بر دارد. اولا" مصالح یخ زده وارد دیگ اختلاط نمی گردد ، ثانیا" جلوی دریچه تخلیه مصالح به باکت انتقال سنگدانه به دیگ اختلاط را مسدود نمی کند.
  وجود سنگدانه یخ زده باعث می شود دمای مخلوط بتن به شدت افت کند و تأمین دمای مناسب بتن را با مشکل مواجه نماید. لذا توصیه می شود به هر ترتیب سعی شود از مصرف سنگدانه یخ زده پرهیز گردد.
- با گرم کردن آب و رسیدن به دمای مورد نظر معمولا" می توان دمای مطلوب بتن را بدست آورد مشروط بر اینکه سنگدانه یخ زده مصرف نگردد.
- بهتر است دمای آب از $60\ ^0C$ تجاوز نکند. در صورت نیاز به دمای بالاتر برای دستیابی به دمای مطلوب در بتن ، می توان آب را تا $90\ ^0C$ گرم نمود ، در این حالت باید ابتدا آب را با سنگدانه مخلوط نمود و سپس سیمان را اضافه کرد. به هر حال نباید سیمان را با آب داغ مواجه ساخت زیرا سیمان دچار گیرش آنی و کلوخه شدن می گردد و کیفیت مقاومتی و دوام بتن آسیب می بیند.
- برای پرهیز از کاهش دمای بتن ، بهتر است طول مدت اختلاط پس از ریختن آخرین جزء از بتن از ۲ دقیقه تجاوز نکند. بدیهی است حداقل زمان اختلاط ، حصول یکنواختی در بتن تأمین می کند.

- بهتر است تراک میکسر بیش از ۳/۵ متر مکعب و کمتر از ۲/۵ متر مکعب بـارگیری نکنـد. باید در طول حمل تراک میکسر از چرخاندن دیگ بتن خـودداری نمـود و صـرفا" در حـد اختلاط مجدد و دستیابی به یکنواختی ، دیگ تراک میکسر چرخانده شود.
- سعی گردد از معطلی های مختلف در طول حمل با برنامه ریزی صحیح خودداری شود تا از اتلاف دمای مطلوب بتن جلوگیری شود.
- حمل با پمپ بواسطه اصطکاک موجود معمولا" موجب کاهش دمای بتن نمـی گـردد و در هوای سرد حمل با پمپ مطلوب تلقی می شود.
- در ریختن بتن باید تسـریع بعمـل آیـد. اگـر ریخـتن بـتن در لایـه هـای مختلـف صـورت می گیرد بهتر است حتی الامکان ضخامت لایه ها را زیاد گرفت. توصیه می شود لایه هـای ۴۰ تا ۵۰ سانتی متری بکار گرفته شود.
- بلافاصله پس از ریختن باید سعی شود دمای محیط را در حداقل مـورد نیـاز تـأمین نمـود. استفاده از عایق بندی (بویژه برای قطعات حجیم و نیمه حجیم) می تواند گرمای ناشی از ترکیب سیمان با آب را حفظ کند و دمای بتن را بالا برده یا دست کم در حد مطلوب نگـاه دارد.
- استفاده از عایق پشم شیشه ، یونولیت ، کاه و پوشال ، ماسـه یـا خـاک و غیـره مـی توانـد گرمای ناشی از واکنش های سیمان را تا حد زیادی حفظ کند.
- استفاده از پوشش برزنتی و بکارگیری یـک یـا چنـد بخـاری (ترجیحـا" بخـاری برقـی) می تواند به حفظ یا بالا بردن دما کمک نماید.
- در صورت استفاده از بخاری هایی که یک ماده سوختنی را می سوزاند بایـد دود و گازهـای ناشی از سوختن ، در تماس با بتن جوان قرار نگیرد.
- چنانچه از یک وسیله گرمایش استفاده می شود باید دقت کرد که بتن خشـک نگـردد و در صورت حصول اطمینان از عدم یخ زدن بتن لازم است بتن را مرطوب نمود.
- بهترین وسیله برای ایجاد دمای مناسب ، استغاده از بخار آب می باشـد. توصـیه مـی شـود دمای محیط نگهداری از $55\ C^0$ و دمای بخار آب از $65\ C^0$ تجاوز نکند.
- می توان از لامپ های مادون قرمز برای ایجاد گرما با کارآیی خوب استفاده نمود.
- بهترین مصالح برای قالب بندی چوب می باشد ، به هر حال جنس قالب بر اساس امکانـات پروژه انتخاب می گردد.

- افت دما در طول حمل با رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$\Delta t = k.D(t_r - t_a)$$

Δt افت دما در طول زمان حمل و معطلی های موجود یعنی D ساعت می باشد.
t_r دمای در هنگام ریختن و t_a دمای هوا است.
k ضریبی است که به نوع وسیله حمل بستگی دارد. برای وسیله حمل سربسته چرخان ۰/۱ ، برای وسیله روباز غیر چرخان ۰/۱۷ و برای وسیله چرخان (مانند تراک میکسر) ضریب ۰/۲۴ بکار می رود.
بنابراین حداقل دمای ساخت بتن برابر است با :

$$t_m = t_r + \Delta t$$

لذا توصیه می شود دمای ساخت بتن بیش از t_m باشد.

- دمای بتن در هنگام اختلاط از رابطه زیر می تواند محاسبه شود (به شرط یخ زده نبودن سنگدانه ها) :

$$t_m = \frac{0.22(C.T_C + G.T_G + S.T_S) + W.T_W + T_G.W_G + T_S.W_S}{0.22(C + G + S) + W_t}$$

T_W, T_S, T_G, T_C به ترتیب دمای سیمان ، شن ، ماسه و آب مصرفی می باشد. (سانتی گراد)
$W_t, W_s, W_c, W, S, G, C$ به ترتیب وزن سیمان ، شن خشک ، ماسه خشک ، آب مصرفی برای اختلاط ، آب موجود در شن ، آب موجود در ماسه و آب کل بتن خواهند بود (کیلوگرم). معمولا" با توجه به t_m (دمای ساخت بتن) و اطلاعات موجود ، دمای آب مصرفی برای ساخت بتن بدست می آید.

- وجود رطوبت در سنگدانه ها ، به دلیل کاهش آب ساخت ، ضرورت افزایش دما را برای دستیابی به دمای مطلوب در بتن باعث می شود.
- در صورت وجود یخ در سنگدانه ها به جای دمای سنگدانه ها به جای دمای سنگدانه ها به صورت مضرب وزن آب موجود در سنگدانه ها ، عبارت $(0.5t_G - 80)$ یا $(0.5t_S - 80)$ بکار می رود. بدیهی است در این حالت لازم است دمای آب مصرفی به شدت بالا رود تا دمای مطلوب بتن حاصل شود و معولا" به آب بیش از ^{0}C ۶۰ نیاز خواهد بود ، لذا بهتر است از مصرف شن و ماسه یخ زده خودداری نمود.
- برای کنترل بتن و اجزای آن می توان از یک دماسنج معمولی یا دماسنج مخصوص بتن استفاده نمود و لازم است پس از ساخت و پس از ریختن بتن دمای بتن را ثبت نمود.
- برای کنترل کفایت عمل آوری می توان نمونه هایی را در شرایط قطعه عمل آوری نمود و در زمان مورد نظر آن را مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار داد. این نمونه ها بعنوان نمونه های آگاهی یا عمل آمده در کارگاه شناخته می شود.

- برای اینکه بتن در اولین نوبت یخبندان آسیب نبیند لازم است مقاومت نمونه آگاهی به Mpa ۵ (استوانه ای) برسد. مسلما" برای قالب برداری این مقاومت برای قالب زیرین

قطعات خمشی باید به ۷۰ درصد مقاومت مشخصه برسد و برای پایه های اطمینان لازم است مقاومت نمونه آگاهی به مقاومت مشخصه نایل گردد.

- هر چه دمای عمل آوری زیاد شود طول مدت عمل آوری کاهش می یابد.
- مصرف مواد زود گیر کننده (ضد یخ) یا استفاده از سیمان اضافی یا مواد حباب زا می تواند طول مدت عمل آوری را کاهش دهد و حتی آن را به نصف برساند.
- باید توجه کرد مصرف مواد زود گیر کننده (ضد یخ) نمی تواند دلیلی بر عدم رعایت ضوابط بتن ریزی در هوای سرد باشد. مصرف این مواد معمولا" نقطه یخبندان را بطور قابل ملاحظه ای کاهش نمی دهد و بتن با وجود این مواد براحتی یخ می زند.
- برای مصرف زودگیرکننده باید در طرح اختلاط پیش بینی مصرف به عمل آید و نباید آنرا بدون ساخت مخلوط آزمایشی بکار برد.

جداول و روابط

برای اطلاع بیشتر دست اندرکاران ، در زیر جداول توصیه شده ACI برای بتن ریزی در هوای سرد ارائه می گردد.

جدول ۱- دمای توصیه شده برای بتن ریزی در هوای سرد بر حسب درجه سانتی گراد

حداقل بعد قطعه Cm		تا ۳۰	۳۰-۹۰	۹۰-۱۸۰	بیش از ۱۸۰
حداقل دمای بتن در هنگام ریختن و عمل آوری		۱۳	۱۰	۷	۵
حداقل دمای * ساخت بتن در دمای هوای	تا۱-	۱۶	۱۳	۱۰	۷
	۱- تا ۱۸-	۱۸	۱۶	۱۳	۱۰
	کمتر از ۱۸-	۲۱	۱۸	۱۶	۱۳
حداکثر افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت پس از حفاظت		۲۸	۲۲	۱۷	۱۱

*حداقل دمای ساخت با فرض طول حمل و معطلی یک ساعته با وسیله حمل چرخان توصیه شده است.

جدول ۲- حداقل زمان لازم حفاظت برای جلوگیری از خسارت ناشی از یخبندان زود هنگام بتن معمولی با فرض عمل آوری در دمای جدول شماره *۱

نوع مصالح و سیمان	سیمان نوع ۱ یا ۲	سیمان نوع ۳ ، زودگیرکننده یا ضد یخ ۶۰۰ کیلوگرم سیمان اضافی در هر متر مکعب بتن
بتن بطور جدی در معرض یخبندان نیست	۴	۲
بتن در معرض یخبندان است	۶	۴

جدول ۳- مدت زمان توصیه شده برای دستیابی به بخشی از مقاومت ۲۸ روزه عمل آمده در آزمایشگاه

دمای عمل آوری	۱۰ درجه سانتی گراد			۲۱ درجه سانتی گراد		
نوع سیمان*	۱	۲	۳	۱	۲	۳
٪ ۵۰	۶	۹	۳	۴	۶	۳
٪ ۷۵	۱۱	۱۴	۵	۸	۱۰	۴
٪ ۸۵	۲۱	۲۸	۱۶	۱۶	۱۸	۱۲
٪ ۹۵	۲۹	۳۵	۲۶	۲۳	۲۴	۲۰

*در صورتیکه دمای نگهداری و عمل آوری با اعداد جدول متفاوت باشد مدت عمل آوری تغییر خواهد کرد.

** در صورت استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی یا سرباره ای آن را مانند نوع ۲ در نظر بگیرید و در صورت مصرف نوع ۵ مدت عمل آوری برای درصد مقاومت های کم تا ۵۰ در صد و برای درصد مقاومت های بیشتر تا ۱۰ درصد افزایش می یابد. سیمان پرتلند پوزولانی ویژه و پرتلند سرباره ای ویژه مانند سیمان نوع ۵ می باشد.

برای محاسبه مدت عمل آوری با توجه به تغییر دمای مندرج در جدول ۲ و ۳ می توان از فرمول Saul استفاده نمود. این رابطه بر اساس بر روابط بلوغ یا رد شدن بتن استوار است.

$$M = t_{t1}(t_1 + 10) = a_{t2}(t_2 + 10)$$

a_{t1} و a_{t2} بترتیب مدت زمان عمل آوری در دمای t1 و t2 می باشد بنابراین با مجهول بودن یکی از چهار پارامتر در رابطه فوق ، می توان آن را بدست آورد.

۴-۶-۳- بتن ریزی در هوای سرد

۴-۶-۳-۱- کلیات

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

الف: دمای متوسط هوا در شبانه روز کمتر از ۵ درجه سلسیوس (سانتیگراد) باشد (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 (سانتیگراد) زیادتر نباشد.

۴-۶-۳-۲- تدابیر احتیاطی

الف: برای بتن ریزی در هوای سرد باید دقت لازم در انتخاب مصالح مصرفی، طرح اختلاط بتن، شرایط اختلاط، حمل، ریختن و عمل آوردن بتن صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که بتن تازه ریخته شده دچار یخزدگی نگردد و بتن سخت شده نیز دارای کیفیت لازم باشد.

ب: دمای بتن در طول مدت بتن ریزی و عمل آوردن باید ثبت گردد تا اطمینان حاصل شود که محدوده توصیه شده در این فصل حفظ شده باشد.

پ: دمای بتن باید حداقل دو بار در شبانه روز در نقاط مختلف سازه ثبت گردد تا از وضعیت نگهداری بتن اطمینان کافی حاصل شود.

ت: گوشه ها و لبه های بتن در مقابل یخ زدن آسی ب پذیرند، بنابراین دمای این نقاط باید با دقت کنترل شود.

۴-۶-۳-۳- مصالح مصرفی

الف: می توان از سیمان زودگیر (پرتلند نوع ۳) به جای سیمان معمولی برای اطمینان از سرعت بیشتر کسب مقاومت بتن استفاده نمود.

ب: استفاده از سیمان روباره ای و سیمانهای آمیخته در بتن ریزی در هوای سرد توصیه نمی گردد.

پ: می توان از آب گرم برای رساندن بتن به دمای مطلوب استفاده نمود. در این حالت باید از تماس مستقیم آب گرم و سیمان جلوگیری شود و این موضوع در نحوه ریختن مصالح به مخلوط کن با افزودن آب گرم به مصالح سرد و سپس اضافه کردن سیمان مراعات گردد.

ت: سنگدانه ها نباید آغشته به یخ و برف باشند. معمولا ماسه از شن مرطوب تر و احتمال وجو د یخ در آن بیشتر است. بنابراین اغلب گرم کردن ماسه ضرورت پیدا نمی کند.

ث: حداکثر جذب آب سنگدانه های مصرفی در بتن، برای سنگدانه های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه های ریز به ۳ درصد محدود می شود.

ج: استفاده از مواد حباب زا و ساخت بتن با حباب هوا برای بتن ه ایی که در معرض رطوبت و یخ زدن و آب شدنهای متوالی قرار می گیرند، الزامی است.

چ: می توان از مواد زودگیر کننده یا ضدیخ بتن نیز در مواردی که خطر یخزدگی وجود دارد، مشروط بر آن که با ضوابط استاندارد مطابقت داشته باشد، استفاده نمود.

۴-۶-۳-۴- الزامات طرح اختلاط بتن

الف: نسبت آب به سیمان باید با توجه به روند کسب مقاومت بتن در دمای محیط انتخاب گردد. این نسبت نباید از ۰/۵ بیشتر باشد، و قبل از شروع بتن ریزی تدابیر لازم برای روند کسب مقاومت بتن صورت گیرد.

ب: برای کاهش میزان آب قابل یخ زدن در بتن و همچنین کاهش میزان آب ان داختن بتن تازه باید مقدار آب اختلاط حداقل ممکن باشد. بنابراین برای تأمین کارایی لازم می توان از مواد افزودنی خمیری کننده و روان کننده استفاده نمود.

پ: در صورتی که از مواد افزودنی روان کننده استفاده نمی شود اسلامپ بتن نباید بیشتر از ۵۰ میلیمتر انتخاب گردد.

ت: درصد حباب هوای مورد نیاز در طرح اختلاط باید مطابق جدول ۴-۱۴ انتخاب شود.

۴-۶-۳-۵- حداقل دمای بتن

الف: حداقل دمای مجاز بتن هنگام اختلاط، ریختن و نگهداری و نیز حداکثر مجاز افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه از حفاظت بتن مطابق جدول ۴-۲۴ است.

ب: دمای بتن هنگام اختلاط نباید بیش از ۸ درجه سلسیوس (سانتیگراد) زیادتر از مقادیر جدول ۴-۲۴ باشد زیرا موجب اتلاف انرژی بیشتر، افت شدید اسلامپ و در نهایت کاهش کیفیت بتن می گردد.

پ: دمای بتن هنگام ریختن نباید بیش از ۱۱ درجه سلسیوس (سانتیگراد) زیادتر از مقادیر جدول باشد، در غیر این صورت موجب کاهش کیفیت بتن می گردد.

۴-۶-۳-۶- نکات مربوط به حمل و ریختن بتن

الف: حمل و ریختن بتن باید به نحوی باشد که بتن تازه، دمای خود را از دست ندهد. بتن باید تا حد امکان در وسایل سربسته و عایق بندی شده حمل گردد.

ب: قبل از بتن ریزی باید میلگ ردها، قالب، سطح بتن سخت شده قبلی و زمین از هر نوع یخزدگی زدوده شود.

۴-۲۴- دمای بتن بر حسب درجه سلسیوس (سانتیگراد) در مراحل مختلف کار باتوجه به دمای محیط و اندازه اعضا و قطعات

ردیف	شرح	دمای محیط	ابعاد اعضا و قطعات (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		۱۸- تا ۱-	۱۸	۱۶	۱۳	۱۰
۳		کمتر از ۱۸-*	۲۱	۱۸	۱۶	۱۳
۴	حداقل دمای بتن هنگام ریختن و نگهداری	به هر میزان	۱۳	۱۰	۵	۷
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.

۴-۶-۳-۷- عمل آوردن بتن تازه

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

ب: برای عمل آوردن بتن تازه و محافظت آن از یخ زدن می توان از روشهای زیر استفاده نمود:

۱- با استفاده از پوششهای عایق

۲- با استفاده از گرم کردن بتن و محیط اطراف

۳- سایر روشها به تأیید دستگاه نظارت

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

۴-۶-۳-۸- محافظت بتن سخت شده

لازم است که از یخزدگی بتن اشباع شده ای که مقاومت آن به ۲۴ مگاپاسکال نرسیده باشد، جلوگیری به عمل آید. باید از روشهای استاندارد و با تهیه نمونه های کارگاهی برای تشخیص رسیدن بتن به مقاومت کافی استفاده نمود. می توان با روشهای غیر مخرب استاندارد شده نیز مقاومت فشاری بتن را تخمین زد.

۵-۷-۹-۲- بتن ریزی در هوای سرد

الف: کلیات

در کارهای بتنی، هوای سرد به شرایطی اطلاق می شود که بیش از سه روز متوالی ، متوسط درجه حرارت روزانه از ۵ درجه سلسیوس کمتر باشد. چنانچه بیش از نیمی از روز دمای محیط بالای ۱۰ درجه سلسیوس باشد ، هوا سرد تلقی نمی شود. پیمانکار باید تدابیر لازم را برای حفاظت بتن در مراحل مختلف ساخت، حمل و ریختن اتخاذ نماید. پیمانکار موظف است برای جلوگیری از وقفه در عملیات بتن ریزی قبلاً برنامه اجرای کار را به تصویب دستگاه نظارت برساند. رعایت نکات زیر برای بتن ریزی در هوای سرد الزامی است.

ب: دما

توصیه می شود هنگام بتن ریزی ، دمای هیچ قسمت از بتن تازه از ۱۰ درجه سلسیوس کمتر نباشد، ولی به هر حال این دما نباید از ۵ درجه سلسیوس به عنوان حداقل مجاز، کمتر شود.

پ: در هوای سرد باید با گرم کردن مواد متشکله بتن، دمای مخلوط را به حد قابل قبول رسانید.

ت: برای تهیه بتن در درجه حرارت زیر صفر ، ابتدا باید ق طعات یخ و مصالح یخ زده را از مصالح سنگی جدا و مصالح سنگی را تا بالای ۱۵ درجه و در صورت لزوم آب را تا ۶۰ درجه سلسیوس گرم نمود.در صورتی که مصالح سنگی خشک باشد ، می توان ماسه را تا ۴۰ درجه سانتیگراد گرم کرد، در این حالت نیز آب نباید از ۶۰ درجه بیشتر گرم شود.

ث: هنگامی که گرم کردن مصالح سنگی مشکل بوده و یا عملی نباشد ، می توان با تأیید دستگاه نظارت ضمن استفاده از آب گرم دمای مخلوط بتن را بالا برد.

ج: تغییر سریع دمای سطح بتن پس از اتمام دوران حفاظت، باعث ایجاد ترک در سطوح خارجی خواهد شد. لذا پیمانکار باید در طول حداقل ۲۴ ساعت اولیه پس از اتمام دوران نگهداری بتن، تدابیر لازم را اتخاذ نماید.

چ: دمای آب مصرفی باید یکنواخت و ثابت باشد تا تغییری در اسلامپ ساختهای مختلف بتن حادث نشود.

ح: دمای نهایی مخلوط بتن از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T = \frac{0.22(T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_s W_{ws} + T_a . W_{wa}}{0.22(W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{wa} + W_{ws}}$$

در رابطه فوق:

T دمای نهایی مخلوط بتن بر حسب درجه سلسیوس

T_w, T_a, T_s, T_c به ترتیب دمای سیمان، ماسه، شن و آب

W_w, W_a, W_s, W_c به ترتیب وزن سیمان، ماسه، شن خشک و آب بر حسب کیلوگرم

و W_{wa} و W_{ws} وزن ماسه و شن مرطوب بر حسب کیلوگرم است. چنانچه دمای شن یا ماسه، زیر صفر باشد، رطوبت مصالح به صورت یخ ظاهر می شود. بنابراین گرمای نهان ذوب یخ برای آب کردن یخ به مصالح، باید به میزان فوق اضافه شود ، در این صورت پارامترهای $T_s W_{ws}$ و $T_a W_{wa}$ به ترتیب به فاکتورهای $W_{ws}(0.5T_s\text{-}80)$ و $W_{wa}(0.5Ta\text{-}80)$ بدل می شوند.

خ: پیش بینیهای لازم، قبل و حین اجرای بتن ریزی، در هوای سرد به شرح زیر است:

شن، ماسه و آب مصرفی باید عاری از برف، یخ و مصالح یخ زده باشند.

در صورت نیاز و قبل از بتن ریزی ، مصالح سنگی و آب بر اساس دستورالعم لهای این بخش گرم شوند.

قبل از اجرای بتن ریزی تمامی سطوح در تماس با بتن نظیر سطح قالب، آرم اتورها و کابلهای پیش تنیدگی باید عاری از برف و یخزدگی بوده و حتی الامکان دارای دمای مخلوط بتن مورد نظر باشند.

استفاده از مواد افزودنی باید با توجه به نکات مندرج در این دستورالعمل صورت پذیرد. در هوای سرد توصیه می شود از بتن با حباب هوا استفاده شود.

از سیمانهای مخصوص زودگیر نظیر سیمان تیپ ۳ استفاده شود.

از پوشینه و عایقهای مناسب به شرح مندرجات بند ۵-۸-۴ استفاده شود.

از طریق بالا بردن دمای محیط بتن ریزی و ایجاد بادشکن، مراقبتهای لازم به عمل آید.

فاصله حمل بتن حتی الامکان کوتاه اختیار شود.

چنانچه امکان افت سریع دما هنگام ساختن و ریختن بتن به دمای پایین تر از حد مجاز وجود داشته باشد، دستگاه نظارت می تواند دستور توقف بتن ریزی را صادر نماید.