دستورالعمل بتن ریزی در هوای سرد و یخبندان

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 $^{\circ}C$ ۱۰ بیشتر نباشد.
در تعریف قبلی آبا هوای سرد و قتی حاصل می گشت که دمای هوا در هنگام بتن ریزی کمتر از $^{\circ}C$ 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

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 تدابیر احتیاطی زیر مد نظر قرار گیرد :

الف : حداقل دمای بتن در هنگام ریختن و عمل آوری ۱۰ C° + باشی (بویژه برای قطعات تا 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 حد امکان ، کمتر اختیار شود ، هر چند آئین نامه بتن ایران آن را به 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 رغم ذکر این محدودیت در آئین نامه بتن ایران ، نمی توان آن را اجباری تلقی کرد.

و : دمای بتن در هنگام ریختن نباید بیش از ۱۰ C° بالاتر از حداقل توصیه شده باشد.

ز : دمای بتن در هنگام ساخت (اختلاط) نباید بیش از ۱۰ C° بالاتر از حداقل دمای محاسباتی ساخت بتن باشد.

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

ط : نباید پس از خاتمه عمل آوری اجازه داد تا بتن سریعا" سرد شود و شوک حرارتی به 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 آمیخته مطلوب نیست.

ل : مصرف مواد افزودنی زود گیر کننده (ضد یخ) اختیاری بوده و در شرایطی که بخواهیم طول مدت عمل آوری را کم نموده و احتمال خسارت را بشدت پائین آوریم ، می توانیم از این مواد 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 مواد معمولا" طول مدت محافظت از بتن را برای جلوگیری از وارد شدن خسارت در اثر یخبندان کاهش می دهند 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 $^{\circ}C$ ۶۰ تجاوز نکند. در صورت نیاز به دمای بالاتر برای دستیابی به دمای مطلوب در بتن ، می توان آب را تا $^{\circ}C$ ۹۰ 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 بارگیری نکند. باید در طول حمل تراک میکسر از چرخاندن دیگ بتن خودداری نمود و صرفا" در حد 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 نمی گردد و در هوای سرد حمل با پمپ مطلوب تلقی می شود.
- در ریختن بتن باید تسریع بعمل آید. اگر ریختن بتن در لایه های مختلف صورت می گیرد بهتر است حتی الامکان ضخامت لایه ها را زیاد گرفت. توصیه می شود لایه های ۴۰ تا ۵۰ سانتی متری بکار گرفته شود.
- بلافاصله پس از ریختن باید سعی شود دمای محیط را در حداقل مورد نیاز تأمین نمود. 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 نگاه دارد.
- استفاده از عایق پشم شیشه ، یونولیت ، کاه و پوشال ، ماسه یا خاک و غیره می تواند گرمای ناشی از واکنش های سیمان را تا حد زیادی حفظ کند.
- استفاده از پوشش برزنتی و بکارگیری یک یا چند بخاری (ترجیحا" بخاری برقی) می تواند به حفظ یا بالا بردن دما کمک نماید.
- در صورت استفاده از بخاری هایی که یک ماده سوختنی را می سوزاند باید دود و گازهای ناشی از سوختن ، در تماس با بتن جوان قرار نگیرد.
- چنانچه از یک وسیله گرمایش استفاده می شود باید دقت کرد که بتن خشک نگردد و در صورت حصول اطمینان از عدم یخ زدن بتن لازم است بتن را مرطوب نمود.
- بهترین وسیله برای ایجاد دمای مناسب ، استفاده از بخار آب می باشد. توصیه می شود دمای محیط نگهداری از $^{\circ}C$ ۵۵ و دمای بخار آب از $^{\circ}C$ ۶۵ 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 امکانات پروژه انتخاب می گردد.
- افت دما در طول حمل با رابطه زیر محاسبه می گردد :

افت دما در طول زمان حمل و معطلی های موجود یعنی D ساعت می باشد.

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 :

لذا توصیه می شود دمای ساخت بتن بیش از باشد.

- دمای بتن در هنگام اختلاط از رابطه زیر می تواند محاسبه شود (به شرط یخ زده نبودن سنگدانه ها) : به ترتیب دمای سیمان ، شن ، ماسه و آب مصرفی می باشد. (سانتی گراد)

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 (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 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 ۶۰ C° 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 ۵ Mpa (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 ACIبرای 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
تا۱-		۱۶	۱۳	۱۰	۷
حداقل دمای * ساخت بتن در دمای هوای	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.

ترتیب مدت زمان عمل آوری در دمای t۱ و t۲ می باشد بنابراین با مجهول بودن یکی از چهار پارامتر در رابطه فوق ، می توان آن را بدست آورد.