جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

آیین‌نامه سازه‌های بتنی حجیم

نشریه شماره ۳۴۴

(بخش الحاقی به آیین نامه بتن ایران "آبا")

معاونت امور فنی

دفتر امورفنی، تدوین معیارها و

کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

۱۳۸۵

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۰۰/۱۱۱۴۹۵ تاریخ : ۱۳۸۵/۷/۵

موضوع :

آیین‌نامه سازه‌های بتنی حجیم

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیات محترم وزیران به پیوست نشریه شماره ۳۴۴ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «**آیین‌نامه سازه‌های بتنی حجیم**» به عنوان یکی از بخش‌های الحاقی آیین‌نامه بتن ایران از نوع گروه اول (لازم‌الاجرا)، ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۳۸۵/۸/۱ به اجرا درآید.

رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح‌های عمرانی، الزامی است. ولی در یک دوره گذر دوساله تا ۱۳۸۷/۸/۱، استفاده از دیگر آیین‌نامه‌های معتبر مجاز خواهد بود.

فرهاد رهبر
معاون رییس جمهور و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این اثر نموده و آن را برای استفاده جامعه مهندسی کشور در اختیار قرار داده است. این دفتر معتقد است که با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، این دفتر صمیمانه از شما خواننده گرامی تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید :

۱- *شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر رامشخص کنید.*

۲- *ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.*

۳- *در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.*

۴- *نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.*

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به‌دقت مطالعه نموده و اقدام لازم را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما همکار ارجمند قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه :

تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی، کوچه لادن، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، صندوق پستی ۱۹۹۱۷۴۵۴۸۱
http://tec.mporg.ir

آیین نامه بتن ایران

(آبا)

مبحث دوم – سازه‌های خاص

پیشگفتار

آیین نامه سازه های بتنی حجیم از بخش‌های الحاقی به آیین نامه بتن می‌باشد. همان‌گونه که در آیین نامه بتن ایران آمده است ضوابط ویژه سازه‌ها یا ابنیه خاص موضوع بخش های بعدی آیین نامه بتن ایران خواهد بود.

هدف از تهیه این آیین‌نامه " ارایه حداقل ضوابط و مقررات ویژه مربوط به سازه‌های بتنی حجیم است که طراحی و اجرای آنها نیازمند تدابیر خاص می‌باشد و با رعایت آنها میزان مناسبی از ایمنی، قابلیت بهره‌برداری و پایایی این سازه‌ها تامین می‌شود."

در مورد این آیین نامه به نکات زیر اشاره می‌شود.

- در تدوین آیین نامه رعایت جدیدترین روش‌های اجرایی و طراحی با ملاحظه شرایط اقلیمی و اجرایی کشور مورد نظر بوده‌است.
- در نگارش آیین نامه علائم متحد الشکل مورد تائید سازمان بین المللی استاندارد (ISO) به کار گرفته شده است.
- در استفاده از واژه‌های تخصصی سعی شده است تا حد امکان از واژه های «واژه نامه بتن» که از ضمایم آبا محسوب می‌شود استفاده به عمل آید.

تدوین آیین نامه سازه‌های بتنی حجیم بر اساس نیاز جامعه مهندسی و با توجه به پروژه‌های متعدد سدسازی در دست مطالعه و احداث در دستور کار قرار گرفت. به این منظور گروه کاری متشکل از کارشناسان منتخب زیرکمیته سدهای بتنی از کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، IRCOLD ، برای تدوین آیین نامه انتخاب شدند. مطالب تهیه شده از طرف گروه کارشناسی به منظور بررسی و اظهار نظر برای اعضای کمیته تدوین آیین نامه بتن ایران و نیز برخی شرکت‌ها و موسسات ارسال گردید. نظریات ارسال شده در کمیته مورد بررسی مجدد قرار گرفت و متن نهایی به تصویب داوران رسید.

معاونت امور فنی علاوه بر گروه‌های کارشناسی تدوین و داوری مشروح فوق از سرکار خانم مهندس پورسید، مدیرکل، و نیز آقایان مهندس علیرضا دولتشاهی و مهندس علی تبار همکاران دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله که در امور پشتیبانی و نظارتی پروژه در راستای اهداف دفتر تلاش داشتند تشکر می‌نماید.

فرآیند تدوین آیین نامه:

کمیته تدوین:

- دالی بندار
- محمد رضا جبروتی
- حمید رضا خاشعی
- علی اکبر رمضانیان‌پور
- ساسان زهتاب
- هرمز فامیلی
- فرزاد منوچهری دانا

کمیته بررسی کننده:

- اسماعیل اسماعیل پور
- حمید جاسمی زرگانی
- محمد شکرچی‌زاده
- محمود نیلی
- سید اکبر هاشمی
- شرکت‌های مهندس مشاور و یا موسساتی که در پاسخ به نظرخواهی از این مجموعه اظهار نظر کرده‌اند عبارتند از: مهندسین مشاور آب و محیط خاورمیانه، انستیتو مصالح ساختمانی- دانشگاه تهران، مهندسین مشاور دزآب، مهندسین مشاور کوبان‌کاو، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق- مشانیر

حبیب امین‌فر
معاون امور فنی
تابستان ۱۳۸۵

سازه‌های بتنی حجیم

فهرست مطالب

فصل اول - کلیات

۱-۱- هدف ۱۷
۱-۲- تعریف ۱۷
۱-۳- دامنه کاربرد ۱۸
۱-۴- مبانی و طراحی ۱۸
۱-۵- روش‌های تحلیل ۱۸
۱-۶- واحدها، علایم و اختصارات ۱۸
۱-۷- استانداردها و متون مرتبط با آیین‌نامه ۱۹

فصل دوم - مصالح بتن

۲-۱- سنگدانه‌ها ۲۱
۲-۲- سیمان ۲۵
۲-۳- مواد افزودنی ۲۸
۲-۴- آب ۳۰

فصل سوم – کیفیت و طرح اختلاط بتن

۳-۰- علایم اختصاری ۳۱
۳-۱- مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط ۳۱
۳-۲- پایایی بتن ۳۲
۳-۳- تعیین نسبت‌های اختلاط بر اساس مخلوط‌های آزمایشی ۴۰
۳-۴- ارزیابی و پذیرش بتن ۴۱

فصل چهارم – تولید بتن

۴-۱- نیروی انسانی، تجهیزات و آماده‌سازی مصالح ۴۵

۴-۲- تولید بتن ۴۶

۴-۳- دمای بتن ۴۸

فصل پنجم – اجرای بتن حجیم

۵-۱- نیروی انسانی، تجهیزات و آماده سازی محل بتن‌ریزی ۵۳

۵-۲- انتقال، ریختن و تراکم بتن ۵۶

۵-۳- پرداخت سطوح، قالب برداری و تعمیرات ۶۴

۵-۴- عمل‌آوری و محافظت بتن ۶۵

فصل ششم – اصول تحلیل و طراحی

۶-۰- علایم اختصاری ۶۷

۶-۱- کلیات ۶۸

۶-۲- تعاریف ۶۸

۶-۳- خواص بتن حجیم ۶۹

۶-۴- بارگذاری حرارتی ۷۲

فهرست مراجع ۷۹

نمایه ۸۱

فهرست نشریات

خلاصه انگلیسی

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱- حدود دانه‌بندی سنگدانه ریز (ماسه) ۲۲
جدول ۲-۲- حدود دانه‌بندی محدوده‌های سنگدانه‌های درشت (شن) ۲۳
جدول ۲-۳- آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح سنگی ۲۴
جدول ۲-۴- تواتر انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت سنگدانه‌ها در حین اجرا ۲۵
جدول ۲-۵- سیمان‌های قابل مصرف در بتن برای مقابله با درجات حمله سولفات‌ها ۲۶
جدول ۲-۶- آزمایش‌های کارگاهی سیمان‌های پرتلند ۲۷
جدول ۲-۷- افزودنی‌های شیمیایی مصرفی در بتن حجیم ۲۸
جدول ۳-۱- عوامل مؤثر در حمله شیمیایی زیان‌آور به بتن ۳۴
جدول ۳-۲- مقدار کل حباب هوا برای بتن مقاوم در برابر یخبندان ۳۵
جدول ۳-۳- حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز برای بتن‌های حجیم ۳۶
جدول ۳-۴- مقاومت فشاری متوسط لازم در حالتی که نتایجی برای تعیین انحراف استاندارد در دسترس نباشد ۴۱
جدول ۴-۱- رواداری توزین اجزای تشکیل دهنده بتن‌های حجیم ۴۷
جدول ۴-۲- روش‌های پیش سرمایش ۵۰
جدول ۵-۱- فاصله زمانی نوبت‌های بتن‌ریزی ۵۵
جدول ۵-۲- حداکثر ضخامت و حداقل زمان بین دو نوبت بتن ۶۰
جدول ۶-۱- ضرایب تبادل حرارتی بتن ۷۶
جدول ۶-۲- ضریب انبساط حرارتی ۷۷
جدول ۶-۳- حداکثر گرادیان حرارتی مجاز به صورت تابعی از اندازه بلوک‌ها ۷۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱- نمودار کنترل کیفیت تولید سنگدانه‌ها ۴۲

فصل اول

کلیات

❑ ۱-۱- هدف

هدف این آیین‌نامه ارایه حداقل ضوابط و مقررات ویژه مربوط به سازه‌های بتنی حجیم است که طراحی و اجرای آنها نیازمند تدابیر خاص می‌باشد و با رعایت آنها میزان مناسبی از ایمنی، قابلیت بهره برداری و پایایی این سازه‌ها تامین می‌شود.

❑ ۱-۲- تعریف

بتن حجیم

هر حجمی از بتن (معمولا با ابعاد بزرگ) که نیازمند تدابیری ویژه برای کاهش ترک خوردگی ناشی از گرمای آبگیری (هیدراتاسیون) سیمان باشد، بتن حجیم نامیده می‌شود.

واکنش میان سیمان و آب، توام با تولید گرما می‌باشد وسبب افزایش قابل ملاحظه دمای درون قطعات بزرگ بتنی می‌شود. اگر این گرما نتواند به سرعت تخلیه شود، تغییر حجم ناشی از افزایش و کاهش دمای سازه، ممکن است تنش‌ها و کرنش‌های قابل ملاحظه‌ای ایجاد نماید که ترک خوردگی بتن را به دنبال خواهد داشت.

تدابیر لازم برای کنترل دمای بتن ممکن است قبل، همراه و یا بعد از بتن ریزی اعمال شوند.

اندازه بزرگترین دانه سنگی بتن‌های حجیم معمولا بزرگتر از بتن‌های متداول است و دانه بندی سنگدانه‌ها باید با دقت بیشتری کنترل شود تا با حداقل سیمان ممکن (یا به کمک پوزولان‌ها)، طرح اختلاط مناسب تهیه گردد.

هدف از طراحی بتن حجیم برآوردن الزامات مورد نیاز همراه با تولید کمترین گرمای ممکن و درنظر داشتن صرفه اقتصادی است.

معمولا پایایی، مسائل حرارتی و اقتصاد مهمترین عوامل در طراحی سازه‌های بتنی حجیم هستند و عامل مقاومت اغلب در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

در طراحی مخلوط های بتنی حجیم با کیفیت (مقاومت و پایایی) مطلوب ، باید کمترین مقدار سیمان به مصرف برسد، تا ترک خوردگی حرارتی کاهش یابد.

☐ ۱-۳-دامنه کاربرد

ضوابط و مقررات این آیین‌نامه باید در طرح، محاسبه، اجرا و کنترل مشخصات مواد تشکیل دهنده در ساخت سازه‌های بتنی حجیم رعایت شوند. این آیین‌نامه مربوط به سازه‌های بتنی حجیمی است که با سنگدانه‌ها و سیمان‌های پرتلند یا آمیخته مجاز ساخته می شوند.

این آیین‌نامه یکی از بخش های الحاقی به آیین‌نامه بتن ایران است و شامل ضوابط تکمیلی مربوط به سازه‌های بتنی حجیم می‌باشد.

☐ ۱-۴-مبانی طراحی

در این آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی بر مبنای تنش‌های مجاز صورت می‌گیرد.

☐ ۱-۵-روش‌های تحلیل

در سازه‌های بتنی حجیم معمولا از روش‌های تحلیل اجزای محدود استفاده می‌شود. به طور خاص روش‌های زیر برای تحلیل سدهای بتنی کاربرد دارند.

الف- تحلیل وزنی
ب- بار آزمون
پ- شبیه سازی دال
ت- اجزای محدود
ث- روش‌های آزمایشگاهی شامل ساخت و مطالعه مدل

☐ ۱-۶-واحدها، علایم و اختصارات

سیستم واحدهای مورد استفاده برای کمیتهای مختلف در این آیین‌نامه سیستم دهدهی بین المللی(S.I) است.

واحدهایی که در این آیین‌نامه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

الف- برای طول، متر(m) و میلیمتر(mm)
ب- برای سطح، متر مربع(m2) و میلیمتر مربع(mm2)
پ- برای بارهای متمرکز، کیلونیوتن(kN) و برای بارهای گسترده طولی، کیلونیوتن بر متر (kN/m) و برای بارهای گسترده سطحی کیلو نیوتن بر متر مربع(kN/m2) که برابر با یک کیلو پاسکال (kPa) است.
ت- برای جرم مخصوص(جرم واحدحجم)، کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m3)
ث- برای وزن مخصوص(وزن واحد حجم)، کیلونیوتن بر متر مکعب (kN/m3)

ج- برای تنش‌ها و مقاومت‌ها، مگاپاسکال (MPa) که معادل یک نیوتن بر میلیمتر مربع یا مگا نیوتن بر مترمربع (MN/m2) است و گیگاپاسکال که معادل هزار مگاپاسکال است.

چ- برای لنگرها، کیلونیوتن- متر(kN.m)

ح- برای دما، درجه سانتیگراد (سلسیوس)(°C)

❑ ۱-۷-استانداردها و متون مرتبط با آیین‌نامه

در مواردی‌که بین مفاد این آیین‌نامه و سایر آیین‌نامه‌ها، آیین کاربردها و مشخصات فنی اجرایی منتشر شده توسط دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور یا موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در مورد سازه‌های بتنی حجیم تفاوتی باشد، مشخصات، ضوابط و مقررات ارائه شده در این آیین نامه اولویت دارند و نافذ خواهند بود.

فصل دوم

مصالح بتن

❑ ۲-۱ سنگدانه‌ها

۲-۱-۱ کلیات

سنگدانه‌های مصرفی در بتن حجیم باید از نزدیکترین و مناسب ترین منابع قرضه موجود در اطراف ساختگاه تامین شوند. منابع قرضه مورد تایید می‌توانند شامل سنگدانه‌های طبیعی موجود در آبرفت‌های کنار رودخانه‌ها، تراس‌های آبرفتی مرتفع‌تر، معادن سنگ کوهی یا مخلوطی از آنها باشند.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌های مناسب برای بتن ریزی‌های حجیم باید منطبق بر ضوابط مندرج در آیین‌نامه بتن ایران باشد. افزون بر این بسیاری از سنگدانه‌هایی که حداقل کیفیت مورد نیاز را دارا می باشند نیز به شرط حفظ پایایی بتن می‌توانند مورد تایید قرار گیرند.

در بتن‌های حجیم به منظور کاهش مشکلات ناشی از گرمای آبگیری باید با توجه به سایر الزامات طرح از بزرگترین اندازه ممکن سنگدانه استفاده شود، ولی استفاده از سنگدانه‌های درشت سبب افزایش پدیده جداشدگی در بتن می‌گردد، که این پدیده باید به کمک طراحی مخلوط هایی با دانه بندی مناسب و با اعمال الزامات اجرایی آیین‌نامه کنترل شود.

۲-۱-۲ طبقه بندی

الف – برای تولید بتن‌هایی با دانه بندی مناسب باید سنگدانه‌ها براساس اندازه طبقه بندی شوند. سنگدانه‌ها به دو گروه اصلی درشت (شن) و ریز (ماسه) طبقه بندی می‌شوند.

طبقه بندی سنگدانه‌های مصرفی در بتن حجیم با بزرگترین اندازه اسمی ۱۵۰ میلی متر براساس پنج محدوده زیر توصیه می‌شود:

ماسه صفر تا ۵ میلی متر
شن ۵ تا ۲۰ میلی متر
شن ۲۰ تا ۴۰ میلی متر
شن ۴۰ تا ۷۵ میلی متر
شن ۷۵ تا ۱۵۰ میلی متر

هر یک از محدوده های فوق می‌تواند بر اساس نیاز طرح و با تایید دستگاه نظارت به دو محدوده کوچکتر تقسیم شود.

ب- استفاده از سنگدانه‌های بزرگتر از ۱۵۰ میلی متر در بتن‌های حجیم با این شرط امکان پذیر است که بتوان نشان داد در کیفیت بتن، استهلاک دستگاه‌ها و روش اجرا اثر منفی نداشته و موجب کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

پ- در صورت استفاده از بتن آرمه حجیم، ضوابط مندرج در آیین نامه بتن ایران برای تعیین حداکثر اندازه دانه سنگی لازم‌الاجرا است.

ت- بزرگترین اندازه دانه سنگی مورد استفاده در بتن حجیم با توجه به محدودیت های طرح و صرفه اقتصادی تعیین می‌شود.

۲-۱-۳ دانه بندی

الف- شن و ماسه باید بطور جداگانه انباشته شده و توزیع دانه بندی هر یک باید با حدود مندرج در جداول ۲-۱ و ۲-۲ منطبق باشد.

ب- از آنجا که تغییر دانه بندی ماسه (هرچند در محدوده مجاز) پی‌آمدهای منفی در کارآیی مخلوط بتن خواهد داشت، بنابراین پیمانکار باید تدابیری اتخاذ نماید تا دانه بندی ماسه مصرفی و میزان رطوبت آن تاحدامکان در طول زمان اجرا یکنواخت باقی بماند. دانه بندی ماسه باید طوری کنترل گردد که مدول نرمی ۹ نمونه از ۱۰ نمونه متوالی اخذ شده بیش از ۰/۲ با میانگین مدول نرمی ۱۰ نمونه اختلاف نداشته باشد و بهتر است رطوبت ماسه به کمتر از ۵ درصد تقلیل یابد.

پ- در بتن‌های حجیم که قطر بزرگترین سنگدانه مصرفی در آنها بیش از ۴۰ میلی متر است و به ویژه بتن‌هایی که با استفاده از سنگدانه‌های شکسته حاصل از معدن سنگ تهیه می‌شوند، چون میزان سنگدانه‌های درشت نسبت به بتن‌های معمولی زیادتر و میزان سیمان و ماسه مصرفی کمتر است، بتن ظاهری خشن داشته و چسبندگی و قوام آن کم می‌شود. در این حالت توصیه می شود از طریق ساخت طرح های اختلاط آزمایشی و پس از تایید دستگاه نظارت، این کمبود با مصرف میزان مناسبی پودر سنگ، حاصل از فرآیند تولید سنگدانه، یا دیگر افزودنی‌های معدنی مجاز جبران شود.

جدول ۲-۱- حدود دانه بندی سنگدانه ریز (ماسه)

اندازه الکهای استاندارد (میلیمتر)	۱۰	۴/۷۵ (نمره ۴)	۲/۴۰ (نمره ۸)	۱/۲۰ (نمره ۱۶)	۰/۶۰ (نمره ۳۰)	۰/۳۰ (نمره ۵۰)	۰/۱۵ (نمره۱۰۰)	۰/۰۷۵ (نمره۲۰۰)
درصد وزنی رد شده از هر الک	۱۰۰	۹۵ -۱۰۰	۱۰۰-۸۰	۸۵-۵۰	۲۵ -۶۰	۵ -۳۰	۰ -۱۰	۰ -۵†

†درصد ذرات رد شده از الک نمره ۲۰۰ موجود در ماسه مصرفی بتنهای حجیم نباید از ۵٪ تجاوز نماید مگر آنکه ذرات متشکله غیرپلاستیک باشند.

اگر حد روانی سنگدانه‌های عبوری از الک نمره ۴۰ کمتر از ۲۵ و اندیس خمیری آن کمتر از ۵ باشد، درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ می‌تواند تا ۷ درصد افزایش یابد.

جدول ۲-۲- حدود دانه بندی محدوده های سنگدانه‌های درشت (شن)

اندازه الک استاندارد (میلیمتر)	در صد وزن رد شده از هر الک در هر یک از محدوده های شن			
	۵ تا ۲۰ † میلیمتر	۲۰ تا ۴۰ میلیمتر	۴۰ تا ۷۵ میلیمتر	۷۵ تا ۱۵۰ میلیمتر
۱۷۵				۱۰۰
۱۵۰				۹۰-۱۰۰
۱۰۰			۱۰۰	۲۰-۴۵
۷۵			۹۰-۱۰۰	۰-۱۵
۵۰		۱۰۰	۲۰-۵۵	۰-۵
۳۸		۹۰-۱۰۰	۰-۱۰	
۲۵	۱۰۰	۲۰-۵۵	۰-۵	
۱۹	۹۰-۱۰۰	۰-۱۵		
۹	۳۰-۵۵	۰-۵		
۵	۰-۵			

† بر اساس نیاز کارگاه و با نظر دستگاه نظارت می‌توان محدوده ۵ - ۲۰ را به دو بخش ۵-۱۰ و ۱۰-۲۰ تقسیم نمود .

۲-۱-۴ کیفیت سنگدانه‌ها

شن و ماسه باید تمیز ، مقاوم ، سخت، پایا و بدون هرگونه اندود باشد . دانه‌ها باید تا حد امکان گرد و مکعبی شکل بوده و با شرایط مندرج در آیین‌نامه بتن ایران تطابق داشته باشند.

در ضمن معیارهای بند ۲-۱-۳ آیین نامه باید در مورد ذرات ریزتر از الک نمره ۲۰۰ رعایت شوند.

۲-۱-۵ مرکز تولید شن و ماسه

قبل از سفارش تجهیزات و سیستم تولید شن و ماسه، اطلاعات زیر باید برای بررسی و اعلام نظر دستگاه نظارت ارائه شود.

الف- نمودار مسیر تولید سنگدانه‌ها.

ب- نقشه موقعیت دستگاه‌ها (سرندها، نقاله ها، سنگ شکن، ماسه شوی و ...) و مشخص نمودن محل انباشت سنگدانه‌ها.

پ- شرح و مشخصات تجهیزات مختلف سیستم بطور جداگانه مانند: نوع ، اندازه ، ظرفیت و قدرت.

ت- نحوه کنترل و جمع آوری گرد و غبار و هرز آب‌های حاصل از شستشوی مصالح .

سیستم تولید سنگدانه‌های مصرفی باید قبل از تهیه و نصب به تایید دستگاه نظارت برسد.

۲-۱-۶ ارزیابی کیفیت مصالح سنگی

برای بررسی و ارزیابی کلی کیفیت منابع قرضه مورد نظر، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی روی نمونه های اخذ شده از نقاط مختلف منبع قرضه الزامی است. درمواردی‌که دسترسی به نتایج این بررسی ها قبل از تجهیز کارگاه و استقرار آزمایشگاه در محل

کارگاه ضروری باشد، نمونه‌های اخذ شده باید به آزمایشگاه مرکزی طرف قرارداد فرستاده شوند. نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها باید مطابق استاندارد نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها، دت ۲۰۴، انجام شود. آزمایش‌های مورد نیاز مطابق جدول ۲-۳ می باشد، ولی الزاما به آنها محدود نمی‌شوند.

جدول ۲-۳- آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح سنگی

شرح آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح سنگی	شناسه آزمایش استاندارد ایران	شناسه آزمایش استاندارد ASTM یا CSA
دانه بندی	دت۲۰۶	ASTM C136
وزن مخصوص ظاهری، حقیقی و جذب آب	دت۲۱۰ و دت۲۱۱	ASTM C127 وASTM C128
سلامت سنگدانه‌ها	دت۲۱۲	ASTM C88
مقاومت دربرابر سیکل های یخ زدن و آب شدن	-	CSA-A23.2.24A
تعیین میزان رس و ذرات ریز تر از الک نمره ۲۰۰	دت۲۱۸	ASTM C117
استعداد واکنش زایی سیلیسی	-	ASTM C1260 و ASTM C1293
استعداد واکنش زایی کربناتی	-	ASTM C586 و ASTM C1293
مقاومت فشاری مغزه های اخذ شده از معادن سنگ	-	ASTM C170
پتروگرافی سنگدانه‌های بتن	دت۲۰۵	ASTM C295
تعیین میزان نا خالصی های آلی	دت۲۱۶ و دت۲۱۷	ASTM C40 و ASTM C87
میزان دانه‌های پولکی و سوزنی	دت۲۲۰	ASTM D4791
کلوخه های رسی و ذرات شکننده و سست	دت۲۲۱	ASTM C142
درصد دانه‌های سبک	دت ۲۱۹	ASTM C123
مقاومت سنگدانه در برابر سایش	دت۲۱۵	ASTM C 535 وASTM C131
درصد دانه‌های نرم	دت۲۲۳	ASTM C851 و ASTM C235

نتایج آزمایش‌ها به مهندس مشاور ارایه شده و براساس مشخصات فنی پروژه توسط دستگاه نظارت یا مهندس مسئول، ارزیابی می‌شود.

۲-۱-۷ کنترل کیفیت سنگدانه‌ها

پس از طی شدن هر یک از مراحل فرآیند تولید، طبقه بندی و انباشت سنگدانه‌ها و در حین عملیات اجرایی، آزمایشگاه مستقر در کارگاه باید کیفیت سنگدانه‌های مصرفی را بر اساس برنامه کنترل کیفیت مصوب تایید نماید. کلیات برنامه کنترل کیفیت سنگدانه‌ها باید بر اساس نمودار شکل ۳-۱ باشد. کلیه برنامه ریزی‌ها و فعالیت‌های سیستماتیک باید در قالب سیستم کنترل کیفیت بکار بسته شود تا اطمینان لازم از رعایت تمامی الزامات وضع شده برای دستیابی به کیفیت مناسب حاصل گردد. نام و تواتر آزمایش‌هایی که باید در هر یک از محدوده های مختلف شن و ماسه انجام شوند، در جدول۲-۴ درج شده است.

جدول ۲-۴-تواترانجام آزمایش‌های کنترل کیفیت سنگدانه‌ها در حین اجرا

ردیف	نوع مصالح	شرح آزمایش	تواتر آزمایش
۱	ماسه	دانه بندی و تعیین مدول نرمی	روزی دو بار
۲	شن	دانه بندی	روزی یک بار
۳	شن و ماسه	ذرات عبوری از الک نمره ۲۰۰ از طریق شستن	روزی یک بار
۴	ماسه	درصد رطوبت	بر حسب نیاز جهت انجام تنظیم های لازم در طرح اختلاط
۵	شن	درصد رطوبت	روزی دو بار
۶	ماسه	حدود آتربرگ	هر هفته یک بار
۷	شن و ماسه	درصد ناخالصی ها	طبق نظر دستگاه نظارت
۸	شن و ماسه	وزن مخصوص ظاهری ، حقیقی و جذب آب	هر هفته یک بار
۹	شن	دانه‌های پولکی و سوزنی	طبق نظر دستگاه نظارت

تواتر انجام آزمایش‌ها می‌تواند با نظر دستگاه نظارت و با توجه به اهمیت و احجام کار، همگنی و یکنواختی مصالح در محل انباشت اولیه تغییر یابد.

❑ ۲-۲ سیمان

عامل چسباننده سنگدانه‌ها در بتن- یعنی خمیر سیمان- نقش مهمی در عملکرد سازه بتنی حجیم ایفا میکند. علاوه بر الزامات پایایی و مقاومتی مورد نیاز، واکنش‌های آبگیری در بتن‌های حجیم باید آهسته تر از بتن‌های معمولی صورت گیرد تا گرمای حاصل از این واکنش‌ها سبب افزایش بیش از حدود مجاز دمای سازه نشود. در بتن‌های حجیم یکی از چند گونه سیمان پرتلند نوع ۲ ، ۴ یا ۵ و یا انواع بخصوصی از سیمان‌های آمیخته پرتلند پوزولانی و روباره‌ای استفاده می‌شود.

۲-۲-۱ سیمان‌های پرتلند

الف- سیمان پرتلند نوعی سیمان آبی است که گیرش آن در اثر ترکیب با آب آغاز شده و به تدریج سخت می‌شود. در طول این واکنش، که به آبگیری (هیدراتاسیون) موسوم است، سیمان با آب ترکیب شده و ضمن تولید گرما جسم سنگ گونه‌ای بوجود می‌آید.

ب- انواع سیمان‌های پرتلند که بطور معمول در بتن ریزی های حجیم کاربرد دارند باید علاوه بر انطباق با مشخصات ذکر شده در مشخصات سیمان پرتلند به شماره دت ۱۰۱ الزامات زیر را نیز برآورده نمایند.

سیمان نوع دو با گرمای آبگیری متوسط، در صورتی برای استفاده در بتن ریزی‌های حجیم مناسب است که مجموع سه کلسیم سیلیکات و سه کلسیم آلومینات($C3S+C3A$) آن کمتر از ۵۸ درصد یا گرمای آبگیری ۷ روزه آن کمتر از ۷۰ کالری بر گرم باشد.

سیمان نوع چهار با گرمای آبگیری کم برای سازه‌های بتنی حجیم که در آنها الزامات حرارتی تعیین کننده می‌باشد، مناسب است. گرمای آبگیری ۷ روزه این سیمان به ۶۰ کالری بر گرم محدود شده است.

سیمان نوع پنج (مقاوم در برابر سولفاتها) به دلیل روند حرارت زایی متوسط در بتن ریزی‌های حجیم نیز کاربرد دارد. میـزان سه کلسیم آلومینات در این سیمان به ۵ درصد محدود شده است. به همین دلیل زمانی که میزان سولفات در آب یا خاک مجاور سازه بتنی از حدود مجاز جدول ۲-۵ تجاوز نماید، باید از سیمان نوع پنج استفاده شود. در سازه‌های بتن آرمه حجیم کـه در معـرض خطـر حمله توام یون‌های کلرید و سولفات (مانند مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان) قرار دارد، نباید از سیمان نوع پنج استفاده شود.

جدول ۲-۵- سیمان‌های قابل مصرف در بتن برای مقابله با درجات مختلف حمله سولفات‌ها

شدت حمله سولفات‌ها	سولفات‌های محلول درآب[۱] برحسب SO_4^{--} درخاک (درصد)	مقدارسولفات موجود در آب[۱] برحسب SO_4^{--} (ppm)	نوع مواد سیمانی لازم	حداکثر نسبت وزنی آب به سیمان
ملایم	صفر تا ۰/۱	صفر تا ۱۵۰	-	-
متوسط	۰/۱ تا ۰/۲	۱۵۰ تا ۱۵۰۰	پرتلند نوع دو یا هم ارز آن[۲و۵]	۰/۵۰
شدید	۰/۲ تا ۲	۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰	پرتلند نوع پنج یا هم ارز آن[۳و۵]	۰/۴۵
خیلی شدید	بالاتر از ۲	بالاتر از ۱۰۰۰۰	پرتلند نوع پنج + پوزولان یا روباره[۴و۵]	۰/۴۰

۱- برای تبدیل سولفات بر حسب SO_3 به SO_4، باید آن را در ۱/۲ ضرب نمود.

۲- سیمان هم ارز پرتلند نوع دو، سیمان پرتلند نوع ۱ استاندارد ایران با حداکثر ۸٪ سه کلسیم آلومینات یا سیمان پرتلند پوزولانی با ویژگی ضد سولفاتی متوسط می‌باشد.

۳- سیمان هم ارز پرتلند نوع پنج، سیمان پرتلند نوع ۱ استاندارد ایران با حداکثر ۵٪ سه کلسیم آلومینات یا هر نوع سیمان پرتلند استاندارد ایران که نمونه‌های آزمایشی آن در آزمایش ASTM C452 پس از ۱۴ روز ۰/۰۴ درصد یا کمتر، از خود انبساط نشان دهند، یا مخلوط هر نوع سیمان پرتلند استاندارد ایران با خاکستر بادی یا پوزولان طبیعی، میکروسیلیس یا روباره می‌باشد. مواد پوزولانی اخیرالذکر باید بترتیب الزامات استانداردهای دت۴۰۳، ASTM C1240 و دت ۴۱۰ را برآورده نموده و در آزمایش ASTM C1012 پس از ۶ ماه، ۰/۰۵ درصد یا کمتر، از خود انبساط نشان دهند.

۴- مصالح سیمانی برای شرایط تماس خیلی شدید: مخلوط سیمان پرتلند نوع پنج استاندارد ایران و خاکستر بادی یا پوزولان طبیعی، میکروسیلیس یا روباره که الزامات استانداردهای دت ۴۰۳، ASTM C1240 و دت ۴۱۰ را برآورده نموده و در آزمایش ASTM C1012 پس از ۱۸ ماه، ۰/۱۰ درصد یا کمتر، از خود انبساط نشان دهند.

۵- میزان جایگزینی سیمان با مواد افزودنی معدنی مانند پوزولان یا خاکستر بادی، میکروسیلیس و روباره به شدت حمله سولفاته بستگی دارد. بنابر این حدود مصرف از هر یک از سه گزینه اخیر در بتن حجیم با توجه به فعالیت پوزولانی هر ماده و نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی حاصله بترتیب بین ۲۰ تا ۵۰ درصد، ۷ تا ۱۵ درصد و ۴۰ تا ۷۰ درصد از وزن کل مصالح سیمانی را تشکیل خواهد داد.

پ – زمانی‌که کلریدها یا یون‌های مخربی نظیر آن علاوه بر یون سولفات وجود داشته باشد، برای جلوگیری از خوردگی آرماتورها، باید نسبت آب به سیمان را کاهش داده و سیمان نوع دو مصرف نمود.

ت- سیمان پرتلند نوع یک نباید به تنهایی در بتن‌های حجیم مصرف شوند، مگر آنکه نشان داده شود به همراه پوزولان‌ها، روباره‌ها یا دیگر مواد افزودنی معدنی کلیه الزامات مربوطه را برآورده می‌کند. مصرف سیمان نوع ۳ در بتن‌های حجیم مجاز نیست.

۲-۲-۲ کنترل کیفیت کارگاهی سیمان‌های پرتلند

الف – در صورتی‌که ابعاد یا حساسیت پروژه ایجاب نماید، کنترل کیفیت ویژه سیمان می‌تواند در محل کارخانه و همزمان با فرآیند تولید صورت گیرد. دراین صورت سیلوهای ویژه از طرف کارخانه برای پروژه تخصیص داده می‌شود و فقط سیمان‌های مورد تایید دستگاه نظارت اجازه انباشت در این سیلوها دارند. سیمانی که از سیلوهای تایید شده به کارگاه ارسال می‌شود، بدون نیاز به کنترل دوباره در کار مصرف خواهند شد ولی دستگاه نظارت می‌تواند به صورت اتفاقی نمونه هایی از سیمان مصرفی در کارگاه را به آزمایشگاه مرکزی طرف قرارداد کارفرما ارسال نماید تا ضمن ثبت مستندات، از کیفیت سیمان ارسال شده به کارگاه اطمینان حاصل شود.

ب – در صورتی که استقرار عوامل کنترل کیفی کارگاه در کارخانه تولید سیمان مقدور نباشد، قبل از آغاز عملیات بتن‌ریزی، باید آزمایشگاه مجهز به وسایل انجام آزمایش‌های فیزیکی سیمان مطابق جدول ۲–۶ در کارگاه مستقر گردد.

جدول ۲-۶- آزمایش‌های کارگاهی سیمان‌های پرتلند

آزمایش‌های فیزیکی سیمان	شناسه استاندارد
گیرش اولیه و ثانویه سیمان(روش ویکات)	دت۱۱۳ یا ASTM C191
سلامت سیمان در دستگاه اتوکلاو	دت۱۲۳ یاASTM C151
مقاومت فشاری قالب های مکعبی ۵ × ۵ × ۵ سانتیمتری	دت۱۱۹ یا ASTM C109
سطح ویژه (بلین)	دت۱۰۹ یا ASTM C204

پ – قبل از استفاده از سیمان در عملیات اجرایی باید مطابق آزمایش نمونه‌گیری از سیمان، دت ۱۰۶، از هر ۵۰۰ تن سیمان ورودی به کارگاه یا طبق دستور دستگاه نظارت نمونه برداری شده و به کمک آزمایش‌های فوق کیفیت آن مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج آزمایش‌های فوق، ملاک قبول یا رد محموله‌های سیمان خواهد بود.

ت – قبل از استقرار آزمایشگاه محلی در کارگاه، کنترل کیفیت سیمان‌های مصرفی در کارگاه بر اساس ارزیابی نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی که توسط کارخانه تولید کننده یا آزمایشگاه مورد تایید دستگاه نظارت انجام می‌شود، صورت می‌گیرد. همچنین بعد از استقرار آزمایشگاه محلی در کارگاه، به علت محدودیت امکانات و تخصصی بودن ماهیت آزمایش‌های شیمیایی و بعضی آزمایش‌های فیزیکی هر ۳ ماه یکبار یا با تشخیص دستگاه نظارت بصورت ادواری یا موردی از سیمان نمونه گیری شده و به آزمایشگاه مرکزی طرف قرارداد ارسال می‌شود.

۲-۲-۴ سیمان‌های آمیخته

الف– سیمان‌های پرتلند آمیخته مخلوطی از سیمان پرتلند و درصدی مواد مضاف معدنی هستند که از آسیاب کردن همزمان و یا مخلوط کردن پودر این دو تولید می‌شوند. مواد مضافی که در تولید این سیمان‌ها به کار گرفته می‌شوند شامل پوزولان‌های طبیعی، پوزولان‌های مصنوعی شامل خاکسترهای صنعتی، خاکستر بادی، روباره‌های کوره آهن گدازی و غیره می‌باشند.

ب- انواع سیمان‌های آمیخته‌ای که در اجرای سازه‌های بتنی حجیم کاربرد دارند، مطابق استاندارد ASTM C595 به شرح زیر میباشند:

- سیمان پرتلند روباره ای نوع IS (۲۵ الی ۷۰ درصد روباره)
- سیمان پرتلند - پوزولانی نوع IP (۱۵ الی ۴۰ درصد پوزولان)

استاندارد ملی ایران با شماره ۳۴۳۲، سیمان پرتلند- پوزولانی نوع IP را به نام سیمان پرتلند پوزولانی ویژه می‌شناسد.

پ- مشخصات سیمان‌های آمیخته روباره‌ای و پوزولانی باید بترتیب مطابق دت۱۰۲ و دت۱۰۳ باشند.

☐ ۲-۳ مواد افزودنی

تعریف، انواع و الزامات فنی مواد افزودنی شیمیایی و معدنی در بند ۳-۶ آیین‌نامه بتن ایران شرح داده شده است.

علت مصرف مواد افزودنی در بتن‌های حجیم می‌تواند یک یا ترکیبی از موارد زیر باشد.

- برای کاهش مصرف سیمان و در نتیجه کاهش حرارت آبگیری.
- برای کاهش نرخ گیرش سیمان و در نتیجه امکان اجرای بلوک‌های بزرگتر در یک نوبت بتن ریزی.
- برای کمک به اجرای کار در شرایط جوی نامطلوب و بهبود کارآیی بتن.
- برای افزایش کیفیت و کاهش هزینه اجرای کار.
- برای افزایش پایایی در برابر دوره های مکرر یخ زدن و آب شدن و نیز بهبود کارآیی.

باید در نظر داشت که مصرف مواد افزودنی نمی‌تواند جایگزین رعایت دستور العمل های لازم برای اجرای خوب بتن گردد. انتخاب نوع و میزان مصرف مواد افزودنی در یک متر مکعب بتن باید بر اساس معیار های فنی و اقتصادی توجیه پذیر بوده و به تایید دستگاه نظارت برسد.

۲-۳-۱ افزودنی‌های شیمیایی

مهمترین افزودنی‌های شیمیایی که در بتن ریزی‌های حجیم کاربرد دارند در جدول ۲-۷ درج شده‌اند. تعریف و کاربرد افزودنی‌های شیمیایی در بند ۳-۶-۳ آیین نامه بتن ایران- تجدید نظر اول ذکر شده است.

جدول ۲-۷- افزودنی‌های شیمیایی مصرفی در بتن حجیم

انواع افزودنی‌های شیمیایی مصرفی در بتن حجیم	شناسه استاندارد
مواد افزودنی حباب ساز	دت ۴۰۲ یا ASTM C260
مواد افزودنی کاهنده آب	دت ۴۰۱ یا ASTM C494
مواد افزودنی کند گیر کننده	دت ۴۰۱ یا ASTM C494
مواد خمیری کننده و روان کننده	دت ۴۰۲، دت ۴۰۸ یا ASTM C494

۲-۳-۲ افزودنی‌های معدنی

مهمترین افزودنی‌های معدنی که در بتن‌های حجیم کاربرد دارند شامل پوزولان‌ها و مواد شبه سیمانی مانند روباره آهن گدازی هستند. بند ۳-۶-۴ آیین نامه بتن ایران به ذکر مشخصات افزودنی‌های معدنی اختصاص دارد.

۲-۳-۲-۱ مواد پوزولانی

مواد پوزولانی در بتن ریزیهای حجیم کاربرد فراوانی دارند. حداقل ۳۰ درصد جایگزینی سیمان با پوزولان مناسب می‌تواند ضمن کاهش مصرف سیمان، عملکرد بتن را از نظر پایایی در برابر حمله مواد شیمیایی و ترک خوردگی حرارتی بهبود بخشد.

الف- تعریف

پوزولان‌ها مواد سیلیسی یا سیلیسی و آلومینی هستند که بخودی خود خاصیت سیمانی نداشته ولی پس از آسیاب شدن در مجاورت رطوبت با هیدراکسید کلسیم واکنش شیمیایی نشان داده و ترکیب هایی با ویژگی‌های مواد سیمانی بوجود می‌آورند.

ب- انواع

پوزولان‌ها بر دو نوعند:

- پوزولان‌های طبیعی خام یا تکلیس شده (نوع N) شامل خاک‌های دیاتومه‌ای، چرت های اوپالینی و شیل‌ها، توف‌ها و خاکسترها یا سنگ‌های آتشفشانی و همچنین مواد دیگری مانند بعضی از رس‌ها و شیل‌ها که برای بروز خواص پوزولانی نیاز به عملیات تکلیس دارند و از آن‌جمله می‌توان متاکائولین را نام برد.

- پوزولان‌های صنعتی که به طور عمده شامل دوده سیلیسی(میکروسیلیس)، متاکائولین و خاکستر بادی انواع F و C می‌باشند.

دوده سیلیسی در بتن ریزی حجیم کاربرد چندانی ندارد.

خاکستر بادی نوع F عبارت است از خاکستر باقی مانده از احتراق پودر ذغال سنگ در نیروگاه‌های حرارتی، که به علت داشتن ذرات کروی شکل، اغلب کارآیی بتن را بهبود می‌بخشد.

خاکستر بادی نوع C که از لیگنیت یا ذغال‌سنگ‌هایی با درجه خلوص کم حاصل می‌شود، به دلیل داشتن اکسید کلسیم بیشتر، علاوه بر خواص پوزولانی دارای خاصیت سیمانی نیز می باشد.

هر چند کاربرد خاکستر بادی در بتن‌های حجیم فواید بسیاری دارد ولی به علت عدم تولید در ایران، مصرف آن متداول نیست.

متاکائولین از کلسینه شدن کائولین به‌دست می‌آید و در کنترل واکنش‌های سیلیکاتی- قلیایی به‌کار می‌رود.

انواع پوزولان‌های خام طبیعی و یا تکلیس شده و خاکستر بادی باید با مشخصات دت ۴۰۳ مطابقت داشته باشند.

۲-۳-۲-۲مواد شبه سیمانی (روباره آهن گدازی)

روباره کوره‌های آهن گدازی می‌تواند به عنوان یک ماده سیمانی مکمل در بتن‌های حجیم مورد استفاده قرار گیرد.

مشخصات روباره آهن گدازی باید مطابق دت ۴۱۰ باشد.

به منظور کاهش موثر گرمای آبگیری در بتن حجیم باید حداقل ۵۰ درصد سیمان با روباره کوره های آهن گدازی با کیفیت مناسب و شاخص فعالیت پوزولانی مطلوب جایگزین گردد.

۲-۳-۳ کنترل کیفیت

الف- کنترل کیفیت مواد افزودنی معدنی مانند سیمان و کنترل کیفیت مواد افزودنی شیمیایی باید در محل کارخانه تولیدی صورت گرفته و نتایج آزمایش‌ها یا برگه تضمین کیفیت همراه محموله به کارگاه ارسال شود.

ب- دستگاه نظارت هر ۳ ماه یکبار یا بر حسب نیاز می‌تواند دستور نمونه گیری و انجام آزمایش‌های تطبیقی از مواد وارد شده به کارگاه را صادر نماید.

پ- مواد افزودنی باید با سیمان مصرفی سازگار باشند. اگر بیشتر از یک نوع ماده افزودنی به کار رود، باید سازگاری مواد مصرفی با یکدیگر به تایید دستگاه نظارت برسد.

ت – درصورتی‌که بیشتر از ۶ ماه از آخرین آزمایش‌های انجام شده بر روی مواد پوزولانی انبارشده گذشته باشد، این مواد قبل از حمل به کارگاه باید دوباره مورد آزمایش قرار گیرند.

❑ ۲-۴- آب

آبی که برای اختلاط، عمل‌آوری و شستن مصالح سنگی بتن بکار می‌رود باید تازه، تمیز و عاری از فضولات ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی، روغن، اسید، نمک، مواد قلیایی و آلی و دیگر مواد زیان آور بوده و به طور کلی مطابق آیین‌نامه بتن ایران باشد.

در مواقع سیلابی و گل آلود بودن آب رودخانه ها باید با اعمال تدابیری مانند استفاده از حوضچه های ته نشینی، مواد معلق در آب تا میزان قابل قبول کاهش یابد.

فصل سوم

کیفیت و طرح اختلاط بتن

☐ ۳-۰ علایم اختصاری

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، بر اساس آزمونه های استوانه‌ای استاندارد، بر حسب مگاپاسکال (نیوتن بر میلیمتر مربع)

f_{cm} = مقاومت فشاری متوسط بتن، بر حسب مگاپاسکال

$X_{1,2,3}$ = مقاومت فشاری نمونه های شماره ۱ و ۲ و۳

S = انحراف استاندارد مقاومت فشاری نمونه‌ها

X_3 = میانگین مقاومت فشاری سه نمونه

X_{min} = حداقل مقاومت فشاری سه نمونه

☐ ۳-۱ مبانی تعیین نسبت های اختلاط

۳-۱-۱- کیفیت بتن حجیم از نظر پایایی، مقاومت و سایر نیازهای ویژه محیطی باید با ضوابط مندرج در این فصل مطابقت داشته باشد. همچنین ویژگی‌های مواد تشکیل دهنده بتن باید با ضوابط مندرج در فصل دوم مطابقت داشته باشد.

۳-۱-۲- تعیین نسبت‌های اختلاط بتن در آزمایشگاه باید طوری باشدکه مقاومت فشاری متوسط مورد نظر مطابق بند۳-۳-۵ به‌دست آید.

۳-۱-۳- تمامی ضوابط مربوط به مقاومت فشاری مشخصه بتن حجیم بر اساس آزمایش آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد به ابعاد ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتر استوار است که مطابق بند ۳-۴-۸ و با روش ساختن و عمل آوری آزمونه بتن در کارگاه (دت ۵۰۴) و یا در آزمایشگاه (دت ۵۰۳) تهیه می‌شوند.

۳-۱-۴- نسبت‌های اختلاط مواد تشکیل دهنده بتن حجیم باید علاوه بر الزامات قید شده در آیین‌نامه بتن ایران با شرایط زیر مطابقت داشته باشد.

۳-۱-۴-۱- در صورتی‌که پخش بتن با استفاده از ماشین آلات سنگین مانند بولدوزر انجام شود، بتن تازه باید آنقدر سفت باشد که ماشین امکان حرکت داشته و چرخ زنجیری آن بیش از اندازه در بتن تازه فرو نرود. در غیر این‌صورت کافیست بتن وزن کارگران را تحمل نماید.

۳-۱-۴-۲- پایایی بتن در برابر شرایط محیطی باید مطابق بند ۳-۲ باشد.

۳-۱-۴-۳- نسبت‌های اختلاط مواد تشکیل دهنده بتن حجیم بر اساس مخلوط‌های آزمایشی و استفاده از مصالح مصرفی و ماشین‌آلات نصب شده در کارگاه بهینه و نهایی می‌شوند.

☐ ۳-۲- پایایی بتن

۳-۲-۱- کلیات

پایایی بتن به کارآیی و قابلیت مقاومت در برابر هوازدگی، حمله عوامل شیمیایی، سایش و فرسایش، یا فرایندهای مخرب دیگر اطلاق می گردد. برای ایجاد و حفظ پایایی مطلوب در بتن حجیم، راهکارهای ارائه شده در این بخش باید به کار بسته شوند.

۳-۲-۲- مقدمه

در سازه‌های بتن حجیم مخلوط بتن باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شود که ضمن کسب مقاومت فشاری لازم در سن مورد نظر، کیفیت اولیه سازه درخلال‌دوره بهره‌برداری مفید به‌گونه‌ای تنزل نیابد که عملیات ترمیم و بازسازی پر هزینه‌ای را به‌دنبال داشته باشد.

با این حال با توجه به هزینه بر بودن ساخت سازه‌های بتنی حجیم نظیر سدها و ابنیه وابسته به آنها در مقایسه با دیگر سازه‌های بتنی متعارف بایددر نظر داشت برای افزایش عمر مفید سازه‌های بتنی ممکن است اعمال تمامی ملاحظات پایایی برای تمامی سازه‌ها مورد نیاز نباشد. به همین دلیل در تعیین و اعمال الزامات پایایی برای سازه‌های مختلف بتنی حجیم باید اهمیت، دوره، تواتر بهره برداری و شرایط اقلیمی منطقه طرح مدنظر قرار گیرد. بطورکلی برای اقتصادی‌تر نمودن اجرای این‌گونه سازه‌ها ابتدا باید طبقه بندی آنها از حیث اهمیت در کل پروژه صورت گیرد و سپس مجموعه الزامات پایایی باتوجه به حساسیت‌ها و اولویت‌های موجود برای هر مورد به طور جداگانه اعمال شوند.

۳-۲-۳- عوامل کاهنده پایایی

اغلب برای بهینه سازی و اقتصادی کردن ساخت سازه‌های بتنی حجیم مانند سدها، سازه را به دو بخش رویه و هسته تقسیم می‌نمایند. الزامات پایایی قابل اعمال در این دو بخش می تواند متفاوت باشد. در صورتی‌که بنا به دلایلی طراحی به صورت یکپارچه و بدون تقسیم بندی رویه و هسته صورت گیرد، آن گاه الزامات قابل تفکیک نبوده و تنها مجموعه‌ای از راهکارها برای افزایش پایایی به کار بسته خواهد شد. در این بخش ملاحظات پایایی با توجه به پیش فرض اول مورد بحث قرار خواهد گرفت، مگر آنکه توضیحات تکمیلی در این مورد ارایه گردد. به طور کلی تعاریف و الزامات قید شده در بخش ۶-۳-۲ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول تحت عنوان عوامل کاهنده پایایی مشمول بتن رویه سد که در تماس دائم و مستقیم با عوامل محیطی قرار دارد، خواهد بود. بتن آرمه‌های حجیم باید کلیه الزامات زیر مجموعه بند ۷-۶-۲ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول را به استثنای بندهای ۷-۶-۲-۳، ۷-۶-۲-۵، ۷-۶-۲-۶ و ۷-۶-۲-۹ برآورده نمایند.

۳-۲-۳-۱- یخ زدن وآب شدن

مندرجات بند ۶-۳-۲-۱ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول به طور کلی در خصوص دوره های تناوب یخ زدن و آب شدن در بتن حجیم نیز صادق بوده ولی به آن محدود نمی‌شود.

زمانی که بتن مرطوب در معرض دوره های متناوب یخ زدن و آب شدن قرار گیرد، در صورت دارا بودن کیفیت مطلوب آسیب کمتری می بیند. برای ارتقای کیفیت بتن و مقابله با آثار یخبندان‌های متناوب رعایت نکات زیر ضروری است.

الف- تدابیر لازم برای ایجاد حباب‌های هوا به میزان لازم در بتن اتخاذ گردد.

ب- مصالح مصرفی در ساخت بتن دارای کیفیت مناسبی باشند.

پ- نسبت آب به سیمان تا جایی که خدشه ای به عملیات پیش سرمایش بتن وارد نیاید، کاهش داده شود.

ت- روش‌های مناسب و صحیح در تهیه، انتقال، اجرا، عمل آوری و محافظت بتن به کار بسته شود. وجود رطوبت و آب عاملی تعیین کننده در تخریب بتن در اثر یخبندان‌های متناوب به شمار می‌رود، از این رو طراح و مجری تا حدامکان باید از طریق زهکشی و انتخاب جزییات اجرایی مناسب یا دیگر تدابیر لازم، آب و رطوبت را از سازه بتنی در معرض یخبندان دور نموده و یا مقدار آن را به حداقل ممکن کاهش دهد.

۳-۲-۳-۲- عوامل شیمیایی خورنده

مندرجات بند ۶-۳-۲-۲ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول در خصوص عوامل شیمیایی خورنده به طور کلی در مورد بتن حجیم نیز صادق بوده ولی به آن محدود نمی‌شود. در این بند موارد ویژه بتن حجیم ارایه خواهد شد.

از عوامل مهم در افزایش پایایی بتن در برابر عوامل شیمیایی خورنده اسیدی، افزایش میزان سیمان و کاهش نسبت آب به سیمان می‌باشد. عوامل شیمیایی خورنده مطرح در سازه‌های بتنی حجیم شامل املاح کلریدها، سولفات‌ها، سولفیت‌ها و کربنات‌ها می‌باشد.

با توجه به ابعاد قابل ملاحظه سازه‌های بتنی حجیم نظیر سدها، افزایش میزان سیمان مصرفی به دلیل خطر بروز ترک‌های حرارتی توصیه نمی‌شود. به عنوان مثال برای کاهش نفوذپذیری بتن‌های حجیم می توان از مواد افزودنی معدنی با پایه سیلیسی نظیر پوزولان به جای افزودن میزان سیمان استفاده نمود.

عوامل تاثیر گذار بر حملات شیمیایی زیان آور در بتن در جدول ۳-۱ ارائه شده‌اند.

۳-۲-۳-۳- سایش و فرسایش

در بعضی موارد سطوح بتن‌های حجیم سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریزها و حوضچه‌های آرامش در سدها تحت فرآیند سایش، فرسایش و خلازایی قرار می گیرند که باید با تدابیر مناسب از آن جلوگیری نمود.

جدول شماره ۳-۱- عوامل مؤثر در حمله شیمیایی زیان‌آور بر بتن

عوامل بازدارنده یا کندکننده حمله	عوامل تسریع کننده یا تشدیدکننده حمله
۱- بتن متراکم بر اثر : - طرح اختلاط مناسب - کاهش میزان آب اختلاط - افزایش میزان مواد سیمانی - هوازایی - تراکم کافی - عمل آوری مناسب	۱- تخلخل زیاد به علت : - جذب آب زیاد - نفوذپذیری - وجود حفره ها
۲- کاهش تنش کششی در بتن از طریق : - آرماتورگذاری با قطر کافی و استقرار آن در محل صحیح - کاربرد پوزولان‌ها (برای کنترل افزایش دما) - در نظر گرفتن درزهای انقباض کافی	۲- ترک‌ها و گسستگی‌ها به علت : - تمرکز تنش‌ها - شوک حرارتی (ناشی از تماس با سرمای ناگهانی)
۳- در طراحی سازه اهداف زیر مد نظر قرار گیرد:+ - برای به حداقل رسانیدن مناطق اغتشاش(Turbulance) - درنظر گرفتن لایه محافظ برای کاهش نفوذ آب حاوی املاح زیان آور	۳- نفوذ مایعات به علت :+ - جریان مایع - ذخیره سازی - فشار هیدرواستاتیک

+ این بند مختص سازه‌های حجیم در معرض جریان مایعات است.

۳-۲-۳-۴- خوردگی فولاد و سایر اقلام مدفون در بتن

موارد ذکر شده در این بخش از آیین نامه تنها مشمول انواع بتن آرمه حجیم و یا بتن‌های حجیمی است که دارای اقلام مدفون فلزی می‌باشند. بدیهی است بتن‌های حجیم بدون آرماتور از این قاعده مستثنی می‌باشند. بطور معمول بتن می‌تواند انواع فولاد و سایر اقلام مدفون در خود را به علت ایجاد محیط قلیایی با pH بالا در خمیر سیمان در برابر خوردگی محافظت نماید. کارآیی این حفاظ به میزان پوشش بتنی روی فولادها، کیفیت بتن، جزئیات اجرایی و میزان یون‌های کلرید مجاور سطح فولاد در مواد متشکله بتن یا شرایط محیطی اطراف بتن بستگی دارد.

در بتن آرمه حجیم، به منظور حفاظت آرماتورها در برابر خوردگی، حداکثر یون کلرید قابل حل در آب در بتن سخت شده ۲۸ روزه، (ناشی از مواد تشکیل دهنده بتن یعنی آب، سنگدانه‌ها و مواد افزودنی) نباید از مقادیر حداکثر مجاز قید شده در جدول ۶-۳-۶ آیین نامه بتن ایران تجاوز نماید. همچنین مقدار کلرید موجود در بتن آرمه در هر صورت نباید از ۰/۶ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن بیشتر شود.

۳-۲-۳-۵- واکنش قلیایی سنگدانه‌ها (AAR)

واکنش قلیایی در بتن عبارت است از واکنش کانیهای مستعد موجود در سنگدانه‌های مصرفی با املاح قلیایی آزاد موجود در بتن در محیط با رطوبت کافی. منابع تأمین مواد قلیایی شامل دو منبع درونی و بیرونی می‌باشند. منبع درونی می تواند شامل کلیه مصالح تشکیل دهنده بتن از جمله سنگدانه‌ها، سیمان، آب و مواد افزودنی معدنی و شیمیایی باشد. آب یا مایعات حاوی املاح قلیایی

درصورتی‌که زمینه نفوذ آنها به داخل بتن فراهم گردد، خود می توانند منبع بیرونی تأمین قلیایی‌ها در بتن تلقی شوند. این واکنش‌ها می‌توانند سبب انبساط مخرب، ترک‌خوردگی و خرابی بتن گردند. واکنش‌های قلیایی شناخته شده در بتن شامل نوع سیلیسی و کربناتی می‌باشند.

برای شروع و ادامه پدیده واکنش قلیایی باید سه شرط زیر برقرار باشد:

- وجود سنگدانه‌های حاوی کانیهای فعال و مستعد واکنش زایی
- دسترسی سنگدانه‌ها به میزان قلیای کافی(منبع اصلی تأمین قلیایی‌ها در بتن اکسیدهای سدیم و پتاسیم موجود در سیمان است.)
- دسترسی به رطوبت کافی

۳-۲-۴-ضوابط ویژه برای افزایش پایایی در شرایط مختلف

۳-۲-۴-۱- درخصوص انتخاب سیمان و سنگدانه برای جلوگیری از بروز فرایند های مخرب و بهبود پایایی بتن باید راهکارهای قید شده در بخش مصالح بتن این آیین نامه بکار بسته شوند.

۳-۲-۴-۲-استفاده از مواد حباب‌ساز

مواد حباب ساز بطور معمول در بتن حجیم به منظور افزایش مقاومت در برابر یخبندان، افزایش کارآیی بتن تازه، افزایش حجم خمیره بتن، کاهش آب مخلوط بتن و در نهایت کاهش نسبت آب به سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. بتنی که در معرض یخ زدن و آب شدن مکرر قرار می‌گیرد و همچنین در تماس با مواد یخ زدا می‌باشد، علاوه بر موارد زیر باید الزامات آیین‌نامه بتن ایران را نیز برآورده نماید. میزان مجاز هوا در بتن حجیم بشرح جدول ۳-۲ می‌باشد.

جدول شماره ۳-۲- مقدار کل حباب هوا برای بتن مقاوم در برابر یخبندان

حداکثر قطر سنگدانه (میلیمتر)	درصد هوای موجود در بتن	
	شرایط محیطی ملایم	شرایط محیطی شدید
۱۰	۵–۷	۷–۸
۲۰	۴–۶	۵–۷
۴۰	۴–۵	۵–۶
۷۵	(۳–۴)+	(۴–۵)+
۱۵۰	(۲–۴)+	(۳–۵)+

+ برای تعیین درصد هوای این بتن‌ها، ابتدا باید سنگدانه‌های بزرگتر از ۴۰ میلیمتر توسط سرند از بتن جدا شده و پس از اندازه گیری هوای مخلوط باقی مانده، درصد هوای کل را با توجه به حجم سنگدانه‌های درشت جدا شده محاسبه نمود.

برای افزایش پایایی بتن در برابر دوره های یخ زدن و آب شدن در زمان اجرا باید نکات زیر رعایت شوند.

- بهره‌گیری از مصالح مرغوب، اعمال نسبت آب به سیمان مناسب و مصرف مواد حباب ساز.
- تراکم کافی بتن ضمن پرهیز از جداشدگی سنگدانه‌ها و آب انداختن سطحی بتن.
- پرداخت کافی و بهینه سطوح بتنی.
- انتخاب و اجرای روش مناسب عمل آوری به منظور کامل شدن فرآیند آبگیری سیمان و درنهایت کاهش نفوذپذیری بتن.
- به کار بستن تدابیر لازم در بتن ریزیهای حجیم به منظور رها سازی تدریجی گرمای آبگیری سیمان.

۳-۲-۴-۳- محدودیت نسبت آب به سیمان

نسبت آب به سیمان بتن‌های حجیمی که در تماس با عوامل محیطی موضوع بند۳-۲-۳-۲ این آیین‌نامه قرار می‌گیرند نباید از مقادیر قید شده در جدول ۳-۳ تجاوز نماید.

جدول شماره ۳-۳- حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز برای بتن‌های حجیم

محل سازه و شرایط استقرار	نسبت وزنی آب به سیمان	
	شرایط آب و هوایی شدید تا متوسط	شرایط آب و هوایی ملایم
در محل تراز آب سازه‌های هیدرولیکی یا بندری (نظیر اسکله‌ها) که بروز وضعیت اشباع به صورت متناوب میسر باشد	۰/۵۰	۰/۵۵
بتن هسته یا بدنه سدها یا سایر سازه‌های وزنی که در آن بهره گیری از دو رده بتن جداگانه مورد نظر باشد	۰/۷۰	۰/۷۰
سازه‌های روباز معمولی	۰/۵۰	۰/۵۵
غرقاب شدن دائم در آب	۰/۵۸	۰/۵۸
بتن ریزی در آب	۰/۴۵	۰/۴۵
تماس مستقیم با آبهای زیرزمینی حاوی مقادیر زیاد املاح سولفات یا مایعات خورنده دیگر نظیر آب شور و یا آب دریا	۰/۴۵	۰/۴۵
بتن در معرض تماس با جریان سریع آب (بیش از ۱۲ متر در ثانیه) در سازه‌هایی نظیر سرریزها و حوضچه های آرامش	۰/۴۵	۰/۴۵

نسبتهای آب به سیمان تمامی بتن‌های حجیمی که بصورت متناوب یا دایم در تماس با آب دریا قرار می‌گیرند باید به میزان ۰/۰۵ از مقادیری که در جدول فوق نشان داده شده کمتر در نظر گرفته شوند. درهر حال نسبت آب به سیمان نباید از ۰/۴۵ کمتر شود.

نسبت‌های اختلاط بتن باید با توجه به کارایی مناسب و میزان هوای تعیین شده طراحی شوند. برای اینکه اثر نوسانات ناشی از پیمانه گیری مصالح در دستگاه بتن ساز در مقاومت فشاری بتن حجیم در نظر گرفته شود، لازم است به میزان ۰/۰۲ از نسبت آب به سیمان قید شده در جدول فوق کاسته شود.

۳-۲-۴-۴-تدابیر ویژه برای محیط‌های سولفاتی و سولفات‌های موجود در بتن

زمانی که سازه بتنی حجیم در معرض آب زیرزمینی یا خاک دارای سولفات‌های سدیم، پتاسیم یا منیزیم باشد، بتن تحت تأثیر قرار گرفته و به تدریج خرابی در آن گسترش می‌یابد.

برای حفاظت بتن حجیم در برابر حمله سولفات‌ها رعایت موارد زیر توصیه می شوند:

- استفاده از سیمان مناسب (سیمان نوع ۵، درصورتی‌که یون کلراید به‌طور هم‌زمان وجود نداشته باشد، یا معادل آن از نوع سیمان‌های آمیخته)
- کاهش نسبت آب به سیمان
- استفاده از پوزولان مناسب به میزان مؤثر (حداقل ۲۰ درصد وزن سیمان)
- طرح اختلاط مناسب و تراکم کافی بتن در حین بتن ریزی
- ایجاد حباب‌های هوا در بتن برای کاهش نسبت آب به سیمان (کاهش نفوذپذیری)
- عمل‌آوری مناسب و کافی

در جدول شماره ۲-۵ نوع سیمان و نسبت آب به سیمان مناسب برای بتن‌های در معرض حمله سولفات‌ها نشان داده شده است. بعضی پوزولان‌ها و روباره‌هایی که کیفیت فیزیکی و شیمیایی آن با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی مورد تأیید قرار گرفته‌اند می‌توانند پایایی بتن‌های ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱ و ۲ را در برابر حمله سولفات‌ها بهبود بخشند.

۳-۲-۴-۵- تدابیر ویژه برای محیط های خورنده

برای جلوگیری از خوردگی آرماتورها و سایر اقلام مدفون در بتن باید نکات زیر رعایت شوند.

الف- ساخت بتن با نفوذپذیری کم

بتن با نفوذپذیری کم از نفوذ آب و سایر یون‌های مهاجم جلوگیری نموده و به همین دلیل دارای خاصیت هدایت الکتریکی کمتری است. بتنی با این ویژگی در مقابل جذب املاح و اثر آنها بر اقلام مدفون در بتن مقاومت کافی داشته و مانع نفوذ اکسیژن می‌شود. استفاده از دوده سیلیسی یا پوزولان‌های مناسب دیگر، رعایت نسبت‌های اختلاط مناسب، اجرا و عمل آوری صحیح، نفوذپذیری بتن را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

در این شرایط عمل‌آوری بتن باید به صورت شبانه روزی و بلافاصله پس از پایان عملیات بتن ریزی و پرداخت سطوح آغاز شده و حداقل تا ۷ روز ادامه یابد. در مورد بتن‌های حاوی دوده سیلیسی و سایر پوزولان‌ها مدت عمل‌آوری باید تا ۱۴ روز تداوم یابد.

ب- پوشش مناسب روی فولاد

در سازه‌های بتن آرمه حجیم که در معرض محیط‌های خورنده یا شرایط محیطی شدید، بسیار شدید و فوق العاده شدید، مطابق تعریف آیین نامه بتن ایران، قرار می گیرند حداقل پوشش روی آرماتور به ترتیب ۶۰، ۷۵ و ۹۰ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود.

پ– زهکشی مناسب

در مناطقی که سازه در تماس با عوامل خورنده می باشد، به ویژه در مناطق سردسیر، جزییات زهکشی باید به دقت طراحی و اجرا شود.

ت– محدود کردن مقدار یون‌های کلرید در هر یک از مواد تشکیل دهنده بتن

ث– دقت در مورد اقلامی که از بتن بیرون می‌زنند

در محیط‌های خورنده در صورتی که اقلام مدفون در بتن، نظیر میل مهارها، باید از بتن بیرون بزنند، لازم است دقت ویژه‌ای نسبت به انتخاب مصالح مصرفی، نوع محیط خورنده، اجتناب از تماس این نوع اقلام با فلزات غیرمشابه در درون بتن، اجرای دقیق بتن در اطراف قطعه مورد بحث و اجتناب از ایجاد روزنه برای نفوذ عوامل خورنده به بخش‌های داخلی بتن، مبذول شود.

ج– استفاده از سیستم‌های محافظ

به علت هزینه قابل ملاحظه تعمیر خرابی‌های ناشی از خوردگی در سازه‌های بتنی حجیم استفاده از سیستم‌های محافظ می تواند مورد نظر قرار گیرد. این سیستم‌ها می‌تواند شامل پوشش متراکم بتنی، پوشش اپوکسی و غشاهای ویژه مقاوم در برابر نفوذ آب باشند.

۳-۲-۴-۶- تدابیر ویژه برای کاهش سایش و فرسایش در بتن

مقاومت فشاری مهمترین عامل کنترل کننده مقاومت سایشی بتن است، بنابراین اولین گام، انتخاب مقاومت فشاری مناسب است. بهبود روشهای تراکم، پرداخت سطوح و عمل آوری بتن نیز در افزایش مقاومت سایشی بتن مؤثرند. برای دستیابی به این ویژگی باید توصیه های زیر را مدنظر قرار داد:

- پرهیز از جداشدگی دانه‌ها حین بتن ریزی
- اجتناب از آب انداختن سطوح بتن
- انتخاب زمان صحیح برای پرداخت سطوح بتن
- افزایش نسبت سنگدانه به سیمان در مخلوط بتن
- به حداقل رساندن نسبت آب به سیمان بتن‌های مجاور سطوح
- پرهیز از افزودن آب به سطوح بتنی برای سهولت پرداخت
- انجام ماله کشی سطوح پس از حذف آبهای اضافی سطوح
- اجرای روش‌های صحیح تراکم و عمل آوری بتن

کاربرد سنگدانه‌های با سختی زیاد، مصرف سیمان به میزان کافی و استفاده از پوزولان‌هایی مانند دوده‌سیلیسی می‌تواند باعث افزایش مقاومت بتن در برابر سایش و فرسایش گردد.

در بعضی از سازه‌های انتقال آب سدها نظیر سرریزها، بتن به دو بخش مغزه و رویه تفکیک می گردد. الزامات فیزیکی و مقاومت زیاد در برابر عوامل سایش تنها در خصوص بتن رویه که در زمان تخلیه سیلاب در تماس مستقیم با اینگونه عوامل می باشند، اعمال خواهد شد.

۳-۲-۴-۷- تدابیر ویژه برای پیشگیری یا کاهش خطر وقوع واکنش قلیایی در بتن

پتانسیل واکنش‌زایی سنگدانه‌هایی که قرار است در بتن‌های حجیم مصرف شوند باید مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند. بر اساس نتایج آزمایش‌های استاندارد محدوده‌هایی از منابع قرضه که احتمال وقوع پدیده واکنش قلیایی در آنها بیش از حدود استاندارد است باید مورد شناسایی قرار گرفته و از مصرف آنها جلوگیری شود.

درصورتی‌که منابع قرضه غیر واکنش‌زا در فواصل اقتصادی یافت نشوند باید به کمک راه حل‌های زیر و ضمن ارایه توجیه فنی و اقتصادی لازم، پدیده واکنش قلیایی تحت کنترل در آید.

الف- استفاده از سیمان کم قلیا

اگر سنگدانه‌های مشکوک به واکنش‌زایی، به قلیای کافی دسترسی نداشته باشند، احتمال وقوع پدیده واکنش قلیایی نیز کاهش می یابد. منظور از سیمان کم قلیا سیمانی است که میزان قلیایی معادل آن بر حسب Na_2O $(Na_2O + 0.658 \times K_2O)$ کمتر از ۰/۶ درصد باشد. مورد اخیر تنها در مورد سنگدانه‌های با قابلیت واکنش پذیری سیلیسی صادق است. در خصوص سنگدانه‌های با قابلیت واکنش پذیری کربناتی، میزان قلیای معادل موجود در سیمان بر حسب Na_2O نباید از ۰/۴ درصد تجاوز نماید.

ب- محدود نمودن میزان کل قلیای موجود در بتن

به جز درصد مواد قلیایی موجود در سیمان، باید میزان کل قلیای محلول در آب مصالح تشکیل دهنده بتن اعم از سیمان، سنگدانه، آب، مواد مضاف و افزودنی‌های شیمیایی نیز اندازه‌گیری و کنترل گردند. مجموع وزن مواد قلیایی موجود در یک مترمکعب بتن باید کمتر از ۳ کیلوگرم باشد. ولی در پروژه‌های مهم با حجم بتن ریزی زیاد، نظیر سدها باید مقدار حداکثر مجاز برابر با ۲ کیلوگرم قلیا در هر مترمکعب بتن رعایت شود.

پ- جایگزینی مواد سیمانی مکمل و افزودنی‌های معدنی به‌جای بخشی از سیمان مصرفی

این مواد شامل خاکستر بادی، دوده سیلیسی، روباره کوره آهن گدازی و سایر پوزولان‌های طبیعی هستند. میزان لازم جایگزینی این مواد برای کنترل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها باید بر اساس آزمایش‌های آزمایشگاهی تعیین گردد.

ت- استفاده از نمک‌های حاوی لیتیوم

مصرف نمک‌های لیتیوم در بتن می تواند در کاهش اثرات مخرب سنگدانه‌های واکنش‌زا مؤثر واقع شود. تأثیر واقعی اینگونه نمک‌ها در جلوگیری یا تعدیل این واکنشها باید به کمک آزمایش‌های آزمایشگاهی طولانی مدت مورد بررسی قرار گیرد.

ث- اختلاط مصالح غیرواکنش‌زا با مصالح واکنش‌زای موجود

به منظور استفاده بهینه از مصالح سنگی واکنش‌زای محلی می توان از طریق اختلاط کنترل شده، ترکیبی از مصالح غیرواکنش‌زا و مصالح واکنش‌زای محلی را در ساخت بتن به کار برد. قبل از اینکه این ترکیب در ساخت بتن حجیم مورد استفاده قرار گیرد، میزان بهینه اختلاط مصالح باید با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی مندرج در بند۲-۱-۶ این آیین‌نامه تعیین گردد.

۳-۳- تعیین نسبت‌های اختلاط بر اساس مخلوط‌های آزمایشی

۳-۳-۱- مقاومت فشاری مشخصه بتن حجیم

مقاومت فشاری مشخصه بتن حجیم مقاومتی است که حداکثر ۱۰ درصد تمامی مقاومتهای اندازه گیری شده برای رده بتن مورد نظر ممکن است کمتر از آن باشد. در عمل ، در صورتی بتن منطبق بر مشخصات و قابل قبول تلقی می‌شود که با شرایط بند ۳-۴ مطابقت داشته باشد.

۳-۳-۲- رده بندی بتن حجیم

رده بندی بتن حجیم بر اساس مقاومت و به ترتیب آیین‌نامه بتن ایران – تجدیدنظر اول می‌باشد، با این تفاوت که مقاومت‌های مشخصه بیش از C35 به ندرت در سازه‌های بتنی حجیم مورد نیاز می باشند.

عدد مندرج در سمت راست حرف C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

۳-۳-۳- روش‌های تعیین نسبت های اختلاط

با توجه به حجم بتن ریزی، الزامات مربوط به کاهش سیمان مصرفی و امکان صرفه جویی قابل ملاحظه، تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط در بتن‌های حجیم باید از طریق مطالعات آزمایشگاهی شروع و با انجام آزمایش‌های کارگاهی تکمیل گردد.

۳-۳-۴- انحراف استاندارد

ضوابط و روش محاسبه انحراف استاندارد مطابق آیین‌نامه بتن ایران – تجدیدنظر اول می‌باشد.

۳-۳-۵- مقاومت فشاری متوسط لازم

۳-۳-۵-۱- مقاومت فشاری متوسط لازمی که به عنوان مبنای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن حجیم به کار می رود باید با توجه به انحراف استاندارد حاصل از بند ۳-۳-۴ معادل مقدار به دست آمده از رابطه ۳-۱ باشد.

$$f_{cm} = f_{c+1.28\ S} \qquad (۳-۱)$$

۳-۳-۵-۲- در مواردی‌که در کارگاه پرونده آزمایش‌های مقاومت برای تعیین انحراف استاندارد مطابق بند ۳-۳-۴ موجود نباشد، برای تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم از جدول ۳-۳-۵-۲ استفاده می‌شود.

جدول ۳-۴ مقاومت فشاری متوسط لازم در حالتی که نتایجی برای تعیین انحراف استاندارد در دسترس نباشد

رده بتن	مقاومت فشاری متوسط لازم، مگاپاسکال
C16و پایین تر	$f_{cm} = f_{c+4}$
C20 و بالاتر	$f_{cm} = f_{c+5}$

۳-۳-۵-۳- سایر موارد مربوط به تدوین مدارک مرتبط با مقاومت فشاری متوسط و تقلیل یا افزایش مقاومت فشاری متوسط مطابق بندهای ۶-۴-۵ و ۶-۴-۶ آیین‌نامه بتن ایران – تجدیدنظر اول انجام می‌شوند.

☐ ۳-۴- ارزیابی و پذیرش بتن

۳-۴-۱- مقاومت فشاری مشخصه بتن حجیم سازه‌های بتنی بزرگ که پس از گذشت چندین ماه یا سال تحت اثر بارهای بهره برداری قرار می گیرند، با تشخیص طراح می تواند به جای ۲۸ روز، برای سن ۹۰ یا ۱۸۰ روز در نظر گرفته شود. در این صورت ارزیابی و پذیرش بتن ریزی های حجیمی که در زمان تعیین مقاومت فشاری نمونه های آن زیر چندین نوبت بتن ریزی بعدی قرار دارد، نمی‌تواند ملاک و معیار مناسبی باشد. لذا پذیرش بتن چنین سازه‌هایی (مانند سدها) باید بر اساس تایید کیفیت مصالح تشکیل دهنده آنها، ارزیابی خواص بتن تازه، کنترل روش‌های اجرا و بررسی مقاومت فشاری طولانی مدت نمونه‌های اخذ شده ضمن انجام کار صورت پذیرد.

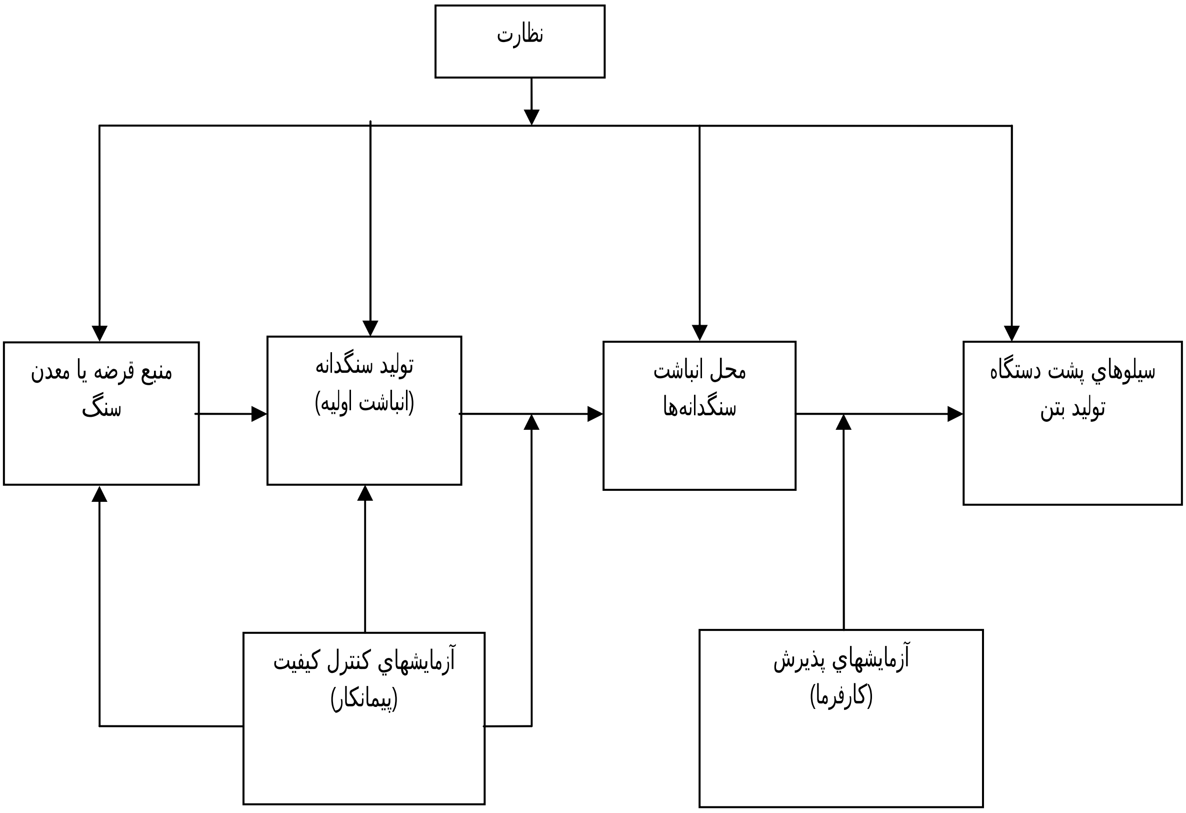
۳-۴-۲- کنترل کیفیت سنگدانه‌های بتن باید مطابق بندهای ۲-۱-۶ و ۲-۱-۷ بر اساس نمودار کنترل کیفیت شکل ۳-۱ انجام شود.

۳-۴-۳- کیفیت سیمان باید بر اساس بند ۲-۲-۲ این آیین‌نامه کنترل شود.

۳-۴-۴- کیفیت بتن تازه باید در محل تولید و قبل از انتقال به محل بتن ریزی ارزیابی شود. بتنی که ویژگی‌های آن خارج از محدوده رواداری‌های مجاز باشد، نباید به محل بتن ریزی حمل شود.

۳-۴-۵- پذیرش نهایی بتن تازه باید در محل بتن ریزی انجام شود تا آثار گذشت زمان و نحوه انتقال بتن بر کاهش کارآیی، دما و درصد هوای بتن کنترل شود.

۳-۴-۶- کنترل روش‌های صحیح آماده سازی، تولید، انتقال، توزیع، پخش، تراکم، عمل آوری و محافظت بتن مطابق الزامات فصل‌های ۴ و ۵ این آیین‌نامه انجام می‌شود.


نظارت
منبع قرضه یا معدن سنگ
تولید سنگدانه (انباشت اولیه)
محل انباشت سنگدانه‌ها
سیلوهاي پشت دستگاه تولید بتن
آزمایشهاي کنترل کیفیت (پیمانکار)
آزمایشهاي پذیرش (کارفرما)

شکل ۳-۱ نمودار کنترل کیفیت تولید سنگدانه‌ها

۳-۴-۷- مقصود از هر نمونه برداری از بتن حجیم، تهیه دو آزمونه از آن است که آزمایش فشاری آنها در سن مقرر انجام می‌پذیرد و متوسط مقاومت‌های فشاری به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می توان دو آزمونه دیگر نیز به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد.

۳-۴-۸- برای تهیه آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد از بتن‌های حجیم، سنگدانه‌های بزرگتر از ۴۰ میلی متر در نمونه بتن تازه به وسیله سرند جدا می شوند.

۳-۴-۹- برای تعیین مقاومت فشاری بتن حجیم در شرایط واقعی‌تر می توان با تایید دستگاه نظارت، آزمونه های استوانه‌ای با ابعاد (۵۰۰×۲۵۰) یا (۶۰۰×۳۰۰) میلی‌متر و بدون سرند نمودن بتن تازه تهیه نمود. تهیه نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۳۰۰ میلی متر منوط به موافقت دستگاه نظارت می‌باشد و در این صورت باید مقاومت آنها با استفاده از ضرایب مندرج در تفسیر آیین‌نامه بتن ایران به مقاومت نظیر آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد تبدیل شود.

۳-۴-۱۰– تواتر نمونه برداری از بتن‌های حجیم به حجم بتن ریزی در هر نوبت بستگی دارد. در صورتی که حجم هر پیمانه مخلوط بتن بیش از ۲ متر مکعب یا حجم متوسط نوبت‌های بتن ریزی بیش از ۴۰۰ متر مکعب باشد، یک نمونه برداری از هر ۲۰۰ متر مکعب بتن الزامی است.

۳-۴-۱۱– در صورتی که حجم هر پیمانه بتن کمتر از دو متر مکعب باشد، می توان تواتر نمونه برداری را به همان نسبت افزایش داد.

۳-۴-۱۲– حداقل یک نمونه برداری از هر رده بتن در هر روز الزامی است.

۳-۴-۱۳– مشخصات بتن در صورتی منطبق بر رده مورد نظر و قابل قبول تلقی می‌شود که یکی از شرایط زیر برقرار باشد.

الف– در آزمایش سه نمونه برداری متوالی، مقاومت هیچکدام کمترا ز مقاومت مشخصه نباشد:

$$X_{1,2,3} \geq f_c \qquad (۳-۲)$$

ب– متوسط مقاومت‌های نمونه‌ها مساوی یا بیشتر از مقاومت مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت‌های نمونه ها از ۸۵ درصد مقاومت مشخصه کمتر نباشد.

$$\overline{X}_3 \geq f_c \qquad (۳-۳)$$

$$X_{min} \geq 0.85 \times f_c \qquad (۳-۴)$$

۳-۴-۱۴– مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول است که متوسط مقاومت های نمونه ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه ها از ۸۵ درصد مقاومت مشخصه کمتر باشد.

$$\overline{X}_3 < f_c \quad \text{یا} \quad X_{min} < 0.85 \times f_c \qquad (۳-۵)$$

۳-۴-۱۵– ضوابط فوق برای پذیرش بتن‌های حجیمی اعتبار دارد که در آنها مقاومت فشاری از درجه اهمیت کمتری نسبت به سایر خصوصیات بتن مانند پایایی یا آب بندی برخوردار است. در صورتی که بتن حجیم در اعضای سازه ای و همراه با فولاد تقویتی به کار رود، برآورده شدن ضوابط آیین‌نامه بتن ایران الزامی است.

۳-۴-۱۶– در صورتی‌که مشخصات بتن مطابق بند ۳-۴-۱۴ غیر قابل قبول باشد، با توجه به آیین‌نامه بتن ایران و با استفاده از ارزیابی نتایج مغزه گیری بتن‌های مشکوک، بررسی نتایج تحلیل موجود سازه و بازبینی طراحی و درنهایت انجام تحلیل و طراحی مجدد نسبت به بررسی بتن‌های با مقاومت کم اقدام می‌شود.

فصل چهارم

تولید بتن

☐ ۴-۱ نیروی انسانی، تجهیزات و آماده سازی مصالح

۴-۱-۱ نیروی انسانی

تهیه، کاربردو کنترل کارهای بتنی باید به افراد صاحب صلاحیتی واگذار شود که از تجربه و دانش کافی برخوردار باشند.

در کارهای بتنی حجیم با اهمیت زیاد (مانند سدها)، علاوه بر الزامات فصل هفتم آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول، موارد زیر نیز باید رعایت شوند.

الف- پیمانکار باید قبل از شروع عملیات اجرایی برنامه دقیق، موثر و قابل اجرا برای رعایت ایمنی، تضمین و کنترل کیفیت کار (از ابتدای تهیه یا تولید مصالح تا پایان زمان عمل آوری بتن) به دستگاه نظارت ارایه دهد.

ب- اجرای برنامه کنترل کیفی پیمانکار نباید جایگزین بازرسی کار توسط دستگاه نظارت گردد.

۴-۱-۲ تجهیزات و وسایل

علاوه بر الزامات فصل هفتم آیین‌نامه بتن ایران موارد زیر نیز باید رعایت شوند.

الف- تجهیزات سنگ شکن، تسمه نقاله‌ها، سرندها و ماسه شورها باید بر اساس نوع سنگدانه مصرفی (کوهی یا رودخانه‌ای)، وسعت محل استقرار، پیش بینی های برنامه زمان بندی و ظرفیت تولید و مصرف بتن کارگاه انتخاب شده و قادر باشند سنگدانه‌هایی مطابق مشخصات فنی پروژه تولید نمایند هرچند مصالح اولیه از کیفیت بالایی برخوردار نباشند.

ب- محل استقرار تجهیزات تولید سنگدانه و محل دپو سنگدانه‌های تولیدی باید بر اساس محل منابع قرضه، کاهش فاصله حمل و حداقل نمودن دفعات جابجایی طی فرآیند تولید و انتقال مصالح به دستگاه بتن ساز آرایش داده شوند.

پ- تدابیر ویژه‌ای باید برای یکنواختی دانه بندی و رطوبت ماسه مصرفی درنظر گرفته شود.

۴-۱-۳ آماده سازی مصالح

علاوه بر الزامات فصل هفتم آیین‌نامه بتن ایران موارد زیر نیز باید رعایت شوند.

الف- ظرفیت سیلوهای ذخیره سیمان باید طوری انتخاب گردد که ضمن تامین مصرف حداقل ۱۵ روز بتن ریزی، فرصت کافی برای کاهش دمای سیمان تا حدود مقرر فراهم آورد. میزان ذخیره سنگدانه‌ها پس از گذراندن فرآیند تولید در همه حالات باید برابر یا بیش از مصرف ۳۰ روز کارگاه طبق پیش بینی های برنامه زمان بندی پروژه باشد.

ب- محل انباشت نهایی مصالح باید طوری انتخاب شود که سنگدانه‌ها و سایر مصالح متشکله بتن از هرگونه عوامل جوی و محیطی مضر مصون باشند. درصورتیکه با توجه به جهت باد غالب و یا شدت آفتاب این مصونیت در فضای باز امکان نداشته باشد، باید از فضای سر پوشیده استفاده گردد.

پ- به منظور کاهش دمای سنگدانه‌های درشت قبل از مصرف در بتن باید از تدابیری ویژه نظیر آب پاشی و تهویه هوا یا عبور از زیر دوش آب سرد در حین انتقال سنگدانه‌ها روی نوار نقاله به دستگاه بتن ساز یا استغراق در آب سرد ویا روش‌های پیشرفته دیگر (بر اساس تحلیل فنی – اقتصادی) استفاده شود تا ضمن کنترل دمای بتن تازه در حدود مقرر، هزینه عملیات پس سرمایش بتن کاهش یافته یا به کلی حذف گردد.

ت- رطوبت سنگدانه‌های درشت قبل از تحویل به دستگاه بتن ساز بایدتا حد امکان در حدود حالت اشباع با سطح خشک باشد، تا کارایی بتن در زمان حمل به محل بتن ریزی از دست نرود.

ث- ابعاد و شکل محل ذخیره سنگدانه‌های ریز و درشت در محل انباشت نهایی و دستگاه بتن ساز باید بگونه‌ای باشند که از اختلاط سنگدانه‌ها در محدوده های مختلف جلوگیری شود.

ج- کارخانه تامین آب سرد و یخ مصرفی در بتن باید در نزدیکترین محل به مرکز تهیه بتن درنظر گرفته شوند و در مناطق گرمسیر لوله های آبسرد و کانال‌های انتقال یخ به خوبی عایقکاری شوند.

چ- یخ مصرفی باید به صورت پولکی یا تراشه بوده ودما و ابعاد آن طوری باشد که در حین فرآیند اختلاط بتن آب شده و اثری از یخ در بتن خروجی از دستگاه بتن ساز مشاهده نشود.

ح- محل آماده سازی مواد افزودنی قبل از مصرف در بتن نباید سبب اختلال در کار یا آلودگی دستگاه تولید بتن باشد.

خ- مصرف مصالح ذخیره شده در مجاورت دستگاه بتن ساز پس‌از تایید متناوب کیفیت آنها (بر اساس بررسی نتایج آزمایش‌های کنترل کیفی ذکر شده در مشخصات فنی پروژه) مجاز می‌باشد.

❑ ۴-۲- تولید بتن

الف- انتخاب نوع دستگاه بتن ساز باید بر اساس الزامات مندرج در مشخصات فنی، شامل ظرفیت اسمی و انواع بتن مورد نیاز، ظرفیت و حساسیت پیمانه ها، نوع و ظرفیت دیگ مخلوط کن، زمان اختلاط، کیفیت بتن تولیدی (کمترین تغییرات در مقاومت بتن طی زمان اجرا) و با توجه به محدودیت های بازار صورت گیرد.

ب- انتخاب محل دستگاه بتن ساز (به ویژه برای سازه‌های بتنی بزرگ مانند سدها) باید بر اساس موقعیت ساختگاه، پستی و بلندی زمین و با توجه به سیستم توزیع بتن انتخاب شود، به طوری که در طول زمان احداث سازه اصلی در معرض خطرهای ناشی از سیل، رانش زمین یا دیگر مخاطرات محتمل قرار نگیرد.

پ- تامین بتن حجیم برای سازه‌های بزرگ باید همانند عملیات خطوط تولید کارخانه‌ها با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی و به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های موثر صورت گیرد تا عوامل هزینه و زمان قابل کنترل باشند. ظرفیت و تعداد دستگاه‌های بتن ساز مورد نیاز بر مبنای برنامه زمان بندی پروژه و حجم بتن ریزی متوسط در یک نوبت بتن ریزی (که بهترین حالت آن یک نوبت کاری است) و با توجه به ظرفیت حمل و توزیع بتن تعیین می‌شود.

ت- ظرفیت اسمی دستگاه تولید بتن بر اساس حجم پیمانه آن و زمان لازم برای بار کردن، اختلاط و تخلیه دیگ مخلوط کن محاسبه می‌شود.

ث- برای جلوگیری از توقف عملیات تولید بتن باید همواره یک سیستم آماده به کار در کنار سیستم اصلی درنظر گرفته شود، به طور مثال استفاده از دو دیگ اختلاط در یک دستگاه ارجح می‌باشد.

۴-۲-۱ پیمانه کردن

الف- ظرفیت ترازوهای توزین مصالح و دیگ اختلاط باید متناسب با حجم پیمانه دستگاه بتن ساز تعیین شود.

ب- رواداری توزین اجزای تشکیل دهنده بتن در کارهای بزرگ باید به شرح مندرج در جدول ۴-۱ باشد.

جدول ۴-۱- رواداری توزین اجزای تشکیل دهنده بتن‌های حجیم

مواد تشکیل دهنده بتن	درصد رواداری
سیمان و دیگر مواد پوزولانی و سیمانی	±۱
آب	±۱
سنگدانه کوچکتر از ۳۸ میلی متر	±۲
سنگدانه بزرگتر از ۳۸ میلی متر	±۳
مواد افزودنی شیمیایی	±۳

پ- رواداری‌های فوق باید هر هفته در حضور نماینده دستگاه نظارت مورد ارزیابی قرار گیرند. ارزیابی باید بر این اصل استوار باشد که در محدوده رواداری‌های مجاز، یکنواختی و تکرار نتایج مشابه طی زمان از دستیابی به دقت های زیاد مهم‌تر است.

ت- اجزای تشکیل دهنده بتن باید به طور جداگانه توزین شده و به پیمانه بتن اضافه شوند.

ث- فقط آب و مواد افزودنی شیمیایی مایع در صورتی‌که جرم حجمی آنها از ۱/۵ برابر جرم حجمی آب تجاوز نکند می‌توانند به صورت حجمی اندازه گیری و پیمانه شوند.

ج- مواد افزودنی شیمیایی مختلف مانند مواد هوازا، کاهنده آب، کندگیر کننده و غیره باید با دقت اندازه گیری و طبق توصیه سازنده مواد و تأیید دستگاه نظارت به پیمانه بتن اضافه شوند.

چ- میزان رطوبت سنگدانه‌ها و اثر آن بر طرح اختلاط باید به طور دستی یا خودکار در زمان توزین سنگدانه‌ها و آب هر پیمانه بتن لحاظ گردند.

ح- پیمانه های خودکار باید طوری تنظیم شوند که قبل از تخلیه کامل مخلوط کن، اجازه ورود مصالح پیمانه جدید به دیگ بتن ساز داده نشود.

۴-۲-۲ اختلاط

الف- دیگ اختلاط بتن حجیم باید دارای ظرفیت کافی بوده و قادر به اختلاط کامل مواد تشکیل دهنده بتن با سنگدانه‌هایی به بزرگی ۱۵۰ میلی متر باشد، به طوری که مخلوط بتن پس از تخلیه از دستگاه کاملا همگن و بدون جداشدگی باشد.

دیگ اختلاط باید بتواند مخلوط‌های نسبتا خشک و با کارآیی کم را با سرعت زیاد تخلیه نماید.

ب- زمان اختلاط بتن از بررسی های آزمایشی مطابق مشخصات بتن آماده (دت۵۰۱) بدست می‌آید ولی در صورت عدم وجود نتایج برای دیگ‌های تا یک متر مکعب باید حداقل ۶۰ ثانیه باشد و به‌ازای هر نیم متر مکعب بعدی حداقل ۲۰ ثانیه افزایش یابد.

پ- کامیون‌های مخلوط کن برای اختلاط و تخلیه بتن‌های با اسلامپ کم و یا حداکثر اندازه سنگدانه بیش از ۴۰ میلی متر نباید به‌کار روند.

ت- بتن باید در حین اختلاط و یا پس از تخلیه به طور مستقیم یا توسط دوربین مدار بسته قابل مشاهده باشد، تا مسئول تولید بتن بتواند اصلاحات احتمالی مورد نیاز را در پیمانه بعدی اعمال و کنترل نماید.

ث- استفاده از روش اختلاط دایم فقط برای پیمانه کردن اجزای تشکیل دهنده و اختلاط بتن کوبیده غلتکی مجاز است.

❑ ۴-۳- دمای بتن

تغییر دمای بتن تازه تأثیر محسوسی برخواص بتن نظیر کارآیی، مقاومت، گیرش، جمع شدگی و غیره خواهد داشت (به بند شماره ۷-۶-۱-۱ آیین‌نامه بتن ایران مراجعه شود). به همین دلیل دمای بتن تازه باید هنگام اجرا اندازه گیری شده و در صورت اختلاف با الزامات مشخصات فنی و یا موازین این آیین نامه اقدامات لازم طبق صلاحدید دستگاه نظارت صورت گیرد.

اجزای سازه‌های بتنی متعارف به لحاظ ضخامت کم بطور معمول نیازی به اقدامات ویژه برای جلوگیری از افزایش دما ندارند. ولی با توجه به ابعاد قابل ملاحظه سازه‌های بتن حجیم، نحوه کنترل دما در این بتن اهمیت داشته و اعمال تدابیر خاصی را طلب می‌نماید. برای کنترل دمای بتن و جلوگیری از افزایش یا کاهش بی رویه آن و حفظ بتن در برابر ترک خوردگی‌های احتمالی، موارد زیر علاوه بر روش‌های معمول و متعارف طبق مفاد بند های شماره ۷-۶-۱-۵ الی ۷-۶-۱-۹ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول میتوانند مد نظر قرار گیرند:

- استفاده از روش‌های پیش سرمایش و پس سرمایش موضوع بند های ۴-۳-۱-۱و ۴-۳-۱-۲ این آیین نامه
- نصب سایبان بر روی تسمه نقاله های حمل مصالح سنگی
- غرقاب کردن سنگدانه‌های درشت (شن) در آب سرد
- سرمایش تبخیری رطوبت موجود در شن از طریق ایجاد خلاء
- تزریق نیتروژن بداخل مخلوط بتن
- پس سرمایش با استفاده از لوله های سرد کننده تعبیه شده در بتن
- جلوگیری از بروز شوک حرارتی در زمان قالب برداری
- محافظت لبه ها و گوشه های قطعات بتنی روباز در برابر دفع بیش از حد دما

بطور معمول برای صرفه جویی در مخارج قابل ملاحظه عملیات پیش سرمایش و پس سرمایش بتن حجیم و کاهش خطر بروز ترک های حرارتی، مصرف سیمان های پرتلند نوع۲، ۴ یا ۵ و یا آمیخته با گرمای آبگیری کم یا متوسط باید در نظر گرفته شود. سیمان‌های با حرارت زائی زیاد نظیر سیمان پرتلند نوع ۳ برای عملیات اجرایی بتن حجیم مجاز نمی‌باشد.

در عملیات تبرید سازه‌های بتن حجیم درجه حرارت بتن تازه یا دمای بتن ریزی باید بگونه ای محاسبه و تعیین گردد که علاوه بر برآورده شدن الزامات موجود در مشخصات فنی و این آیین نامه، ملاحظات ناشی از منطقه طرح، شرایط اقلیمی ساختگاه و امکانات محلی نیز در نظر گرفته شده باشد.

به هر حال دمای مخلوط های بتن حجیم هنگام بتن ریزی نباید از ۲۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید.

به جز در هوای سرد، سطوح افقی بتن تا نوبت بعدی بتن ریزی باید کاملا مرطوب نگه داشته شود، مگر آن که رطوبت سطح بتن منجر به سرد شدن بیش از حد سطح و اختلاف دمای زیاد بین سطح و هسته بتن شود .

ارتفاع نوبت های بتن ریزی به ابعاد سازه، ظرفیت تجهیزات تولید و انتقال بتن، دمای محیط، مقدار و نوع سیمان و سنگدانه مصرفی، افزودنی های معدنی و شیمیایی، میزان آب مصرفی در مخلوط، روش‌های کنترل حرارت و اجرای بتن حجیم بستگی دارد و حداکثر آن به ۳ متر محدود می‌گردد.

۴-۳-۱- کنترل دما و ملاحظات حرارتی بتن حجیم

قبل از آنکه ملاحظات حرارتی بتن هنگام اجرا مد نظر قرار گیرد، طراحی سازه‌های بتن حجیم باید بگونه‌ای صورت گرفته باشد که احتمال بروز ترک‌های حرارتی به حداقل ممکن برسد.

برای جلوگیری از ترک خوردگی حرارتی که یکپارچگی سازه‌های بتن حجیم را با خطر مواجه خواهند ساخت، لازم است اقداماتی صورت گیرد. روش‌های متعارف برای کنترل دمای بتن حجیم عبارتند از روش پیش سرمایش و روش پس سرمایش.

۴-۳-۱-۱- پیش سرمایش

پیش سرمایش به روشی اطلاق می‌شود که در آن با کاستن دمای اجزای متشکله بتن شامل آب و سنگدانه مصرفی، دمای بتن تازه کاهش می‌یابد.

روش مورد استفاده برای کاهش دمای بتن ریزی برحسب میزان سرمایش مورد نیاز به شرایط محیطی و تجهیزات و ماشین آلات اجرایی پیمانکار بستگی دارد. روش‌های متداول پیش سرمایش بتن به ترتیب افزایش هزینه به شرح جدول۴-۲ می باشد.

پیش سرمایش یکی از مؤثرترین روش‌ها برای کاهش دمای بتن ریزی و در نهایت جلوگیری یا به حداقل رساندن خطر بروز ترک های حرارتی محسوب می شود. به طور کلی هر چه دمای بتن به هنگام تبدیل از حالت خمیری به حالت سخت شده کمتر باشد، گرایش بتن نسبت به ترک خوردن کمتر خواهد بود.

میزان سرمایش مورد نیاز برای هر سازه حجیم باید با توجه به شرایط محیطی، نوع مخلوط بتن و مصالح تشکیل دهنده آن محاسبه و به تصویب دستگاه نظارت برسد.

جدول۴-۲- روش‌های پیش سرمایش

روش‌های پیش سرمایش بتن	میزان تقریبی کاهش دما (درجه سانتیگراد)
آب پاشی دپوهای شن	۳
سرد کردن آب مصرفی در بتن	۲
جایگزینی ۸۰ درصد از آب مخلوط بتن با یخ	۷
سرد کردن شن به وسیله مکش تا دمای ۲ یا ۳ درجه سانتیگراد	۱۷
سرد کردن شن تا دمای۴ درجه سانتیگراد به وسیله هوای خنک	۱۴
سرد کردن شن از طریق غرقاب کردن تا دمای ۴ درجه سانتیگراد	۱۷
خنک کردن ماسه به وسیله مکش تا دمای ۱ درجه سانتیگراد	۷
خنک کردن مستقیم سیمان تا دمای ۲۷ درجه سانتیگراد	۲

۴-۳-۱-۱-۱- مصالح

برای پیش سرمایش بتن تازه باید مواد تشکیل دهنده آن را سرد نمود. آب مصرفی در بتن بسته به طرح اختلاط مورد نظر و شرایط اقلیمی منطقه طرح میتواند به سه صورت آب سرد، یخ و یا مخلوطی از این دو تامین و پیمانه شود. آب موجود در شن و ماسه نه تنها در محاسبات طرح اختلاط بلکه برای کنترل دمای بتن حجیم نیز باید در نظر گرفته شود.

برای جلوگیری از افزایش دمای سنگدانه‌های مصرفی، باید در محل های انباشت آنها سایبان نصب نمود. ماسه را می‌توان در ماسه شورها و یا جدا کننده هایی شست یا جدا کرد که آب آنها سرد شده است. روش‌های سرد کردن شن شامل پاشیدن آب سرد بر روی محل های انباشت شن، افشاندن آب سرد بر روی تسمه های کم سرعت انتقال شن، غرقاب کردن شن در مخازن حاوی آب سرد، دمیدن هوای سرد به درون مخازن سنگدانه‌های دستگاه بتن ساز و یا ایجاد سرمایش تبخیری شن از طریق ایجاد خلاء می‌باشد. سرمایش سیمان تا پایین تر از نقطه شبنم مجاز نمی‌باشد.

۴-۳-۱-۱-۲- مراحل تولید

برای جلوگیری از جذب حرارت توسط مواد اولیه بتن و بتن تازه که می‌تواند اقدامات پیش سرمایش را تحت تاثیر قرار دهد، مراحل تولید و بتن ریزی باید با سرعت هرچه بیشتر اجرا گردد. در عملیات کنترل دمای بتن باید جذب یا دفع حرارت بتن یا مواد تشکیل دهنده آن در خلال ذخیره سازی در پیمانه های دستگاه بتن ساز، اختلاط مصالح بتن، جابجایی و اجرای بتن در نظر گرفته شود. برای کاهش میزان تبادل حرارتی احتمالی، باید عایق بندی تجهیزات تولید بتن مد نظر قرار گیرد.

۴-۳-۱-۱-۳-ظرفیت دستگاه‌های سرد کننده

دستگاه های سرد کننده آب، یخ ساز، سرد کننده سنگدانه و سایر تجهیزات مورد استفاده در عملیات پیش سرمایش بتن حجیم باید ظرفیتی متناسب با حجم عملیات داشته باشد. ظرفیت آنها قبل از خرید و نصب و راه اندازی در کارگاه باید توسط دستگاه نظارت

مورد تأیید قرار گیرد. چون دمای سنگدانه بطور معمول از دوره‌های سالانه دمای هوای محیط تبعیت می نماید، لذا ظرفیت دستگاه سرماساز باید با توجه به نیاز کار در فصول مختلف قابل تنظیم باشد.

۴-۳-۱-۲-پس سرمایش

پس سرمایش برای کاهش دمای اوج بتن (که در روزهای اولیه پس از بتن ریزی حادث می‌شود) و همچنین فراهم آوردن زمینه کاهش تدریجی و یکنواخت دما در توده بتن سدهای بتنی – قوسی تا حدی که درز ها را بتوان تزریق نمود، استفاده می شود. پس سرمایش با گذراندن مایعی نظیر آب از داخل لوله هایی که در هر نوبت بتن ریزی تعبیه می‌شوند، صورت می گیرد. تا زمانی‌که دمای اوج بتن در محدوده لوله های خنک کننده حادث نشده است، لزومی به محدود ساختن نرخ سرمایش نمی‌باشد. پس از آنکه نقطه اوج دمای بتن حادث گردید، پس سرمایش باید تا زمان وقوع یکی از سه حالت زیر ادامه یابد :

- نرخ سرمایش بتن به حداکثر میزانی که بتواند بدون ترک خوردن قابل تحمل باشد، برسد.
- دمای بتن به میزان ۱۷ درجه سانتیگراد از دمای نقطه اوج اولیه کاهش یابد.
- بتن تا دمای پایدار نهایی یا دمای تعیین شده توسط طراح خنک شده باشد.

نرخ سرمایش بتن (بر حسب درجه سانتیگراد در روز) باید بتدریج با افزایش سن کاهش یابد چون مدول الاستیسیتهٔ بتن با گذشت زمان افزایش خواهد یافت.

۴-۳-۱-۲-۱-لوله گذاری ها و وسایل سرد سازی و پمپ آب

جنس، اندازه، شکل و فاصله لوله ها از یکدیگر، آرایش و چیدمان کلی لوله گذاری ها، نوع و ظرفیت وسایل سرمایشی و پمپ آب مورد نیاز در عملیات پس سرمایش بتن حجیم باید الزامات مشخصات فنی را برآورده نماید.

۴-۳-۱-۲-۲-نرخ سردسازی

در مدت حرارت زایی و افزایش دمای سریع اولیه، سرمایش باید با حداکثر ظرفیت ادامه یابد. پس از اینکه بتن به نقطه اوج دمای خود رسید، سرمایش باید تا حداکثر دو هفته با نرخ مقرر ادامه یابد. در این شرایط افت دمای بتن نباید از ۰/۶ درجه سانتیگراد در روز تجاوز نماید. اگر میزان افت دما از میزان یاد شده تجاوز نماید، آنگاه عملیات پس سرمایش باید تا زمانیکه دمای بتن بار دیگر افزایش یابد، متوقف شود. در شرایطی که دمای بتن از میزان اوج اولیه خود فراتر رفته و پیش بینی شود که این افزایش به حدود غیر قابل قبولی برسد، عملیات پس سرمایش باید دوباره آغاز شود.

۴-۳-۱-۲-۳-کنترل حرارت

با نصب دماسنج مناسب در نقاط معینی در داخل بتن حجیم نظیر محل های نزدیک به لوله‌های پس سرمایش باید تاریخچه‌ای از آمار سرمایش بتن تهیه و نگهداری شود.

با نصب این‌گونه دماسنج‌ها در نقاطی از بتن که بتوانند دمای میانگین بتن را نشان دهند، باید کلیه تغییرات حرارتی در بتن ثبت شود. با اندازه گیری دمای آب در آغاز و پایان دوره پس سرمایش وضعیت تبرید بتن باید بطور مستمر تحت کنترل قرار گیرد.

۴-۳-۱-۲-۴-سردسازی سطوح

نرخ تبرید سطحی بتن نباید به اندازه‌ای باشد که زمینه‌ی ترک خوردگی بتن را فراهم آورده و در نهایت باعث گسترش آن بداخل بتن حجیم گردد. روش‌هایی که پیمانکار برای این منظور مورد استفاده قرارخواهد داد، باید قبلا به تأیید دستگاه نظارت برسد.

۴-۳-۱-۲-۵-پوشش سطوح

میزان محافظت سطوح ازتبادل حرارتی با محیط، متناسب با ابعاد سازه، نوع ومقدار سیمان، پوزولان‌ها و مواد افزودنی، نسبت آب به سیمان، نسبت سنگدانه به سیمان، سرعت کاهش یا افزایش دمای محیط، میانگین دمای محیط، وضعیت بارندگی و غیره تغییر می‌کند. میزان این محافظت باید توسط پیمانکار بصورت راهکار پیشنهادی ارایه و به تصویب دستگاه نظارت برسد. با این حال افت دمای کلی در خلال ۳ ماه اولیه سرمایش بتن نباید از ۱۲ درجه سانتیگراد فراتر رود. پوشش سطوح افقی، عمودی و قالب بندی شده و الزامات بازکردن قالب ها باید با دستورالعمل‌های قید شده در مشخصات فنی پروژه منطبق بوده و مورد تأیید دستگاه نظارت باشد.

فصل پنجم

اجرای بتن حجیم

❑ ۵-۱- نیروی انسانی، تجهیزات و آماده سازی محل بتن ریزی

۵-۱-۱- نیروی انسانی

نیروی انسانی مورد استفاده در کارهای بتنی حجیم، علاوه بر صلاحیت عمومی‌در عملیات بتنی باید دانش و تجربه کافی در موارد زیر داشته باشد.

الف- روش‌های کنترل دما و ملاحظات حرارتی در بتن حجیم

ب- کار با تجهیزات ویژه بتن حجیم شامل تجهیزات انتقال، توزیع و تراکم بتن در سازه‌های بتنی حجیم

پ- خصوصیات و عملکرد خاص بتن حجیم به دلیل استفاده از سنگدانه‌های بزرگ (تا قطر ۱۵۰ میلیمتر) و مقدار سیمان و کارائی کم

ت-کنترل کیفیت

ث- بتن‌های حجیم خاص مانند بتن غلتکی در صورت لزوم

ج- روش‌های پیش سرمایش و پس سرمایش بتن

۵-۱-۲- تجهیزات و وسایل

علاوه بر ملاحظاتی که در زمینه تجهیزات عملیات بتنی بصورت معمول مد نظر قرار می‌گیرد در تجهیزات مورد نیاز جهت انتقال، بتن ریزی، پخش و تراکم بتن حجیم باید موارد زیر نیز در نظر گرفته شود.

الف- در انتخاب تجهیزات انتقال، ریختن، پخش و تراکم بتن باید به برنامه زمان بندی پروژه و کمترین و بیشترین احجام هر نوبت بتن‌ریزی توجه شود.

ب- نوع تجهیزات با توجه به قطر بزرگترین دانه سنگی مورد مصرف انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال کامیون‌های مخلوط کن برای حمل بتن‌های دارای سنگدانه‌های بزرگتر از ۴۰ میلیمتر مناسب نیستند.

پ- با توجه به وجود تمایل به جدایش سنگدانه‌ها در بتن حجیم (به دلیل کارایی کم و استفاده از سنگدانه‌های بزرگ) باید تدابیر لازم در هنگام انتقال، ریختن، پخش و تراکم بتن برای جلوگیری از این پدیده در نظر گرفته شود، مانند تنظیم ارتفاعی که بتن از آن تخلیه می‌شود و همچنین تخلیه بتن در محل نهایی آن.

ت- در صورت استفاده از وسایل انتقال روباز(مانند کامیون) تدابیر لازم برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب و یا ریزش باران روی بتن تازه اتخاذ شود.

ث- در صورتی‌که نرخ بتن‌ریزی زیاد باشد استفاده از ماشین آلات مناسب پخش و تراکم منظم بتن الزامی است. استفاده از بولدوزر برای پخش و با نصب چند لرزاننده روی بازوی بیل مکانیکی برای تراکم بتن از جمله این راهکارهاست.

ج- در صورت استفاده از بتن غلتکی تجهیزات ویژه حمل، ریختن، پخش و تراکم، مطابق با مشخصات فنی طرح مورد نیاز است.

ح- معمولا کنترل دمای سازه‌های بتنی بزرگ مانند سدهای بتنی نیازمند تجهیزات پس سرمایش بتن می‌باشد.

۵-۱-۳- آماده سازی محل

۵-۱-۳-۱- اقلام مدفون

قبل از ریختن بتن باید دقت شود که تمامی اقلام مدفون (مانند لوله‌های پس سرمایش و وسایل تزریقات احتمالی) بصورت ایمن در محل‌های خود تثبیت شده‌اند. اقلام مدفون باید عاری از هرگونه آلاینده مانند روغن، گرد وغبار و غیره باشند. همچنین لازم است در مورد آب بندی سیستم‌های مدفون دقت شود.

۵-۱-۳-۲- بتن‌ریزی روی بستر خاکی

بستر خاکی باید تمیز، عاری از کلوخه، یخ و سایر آلاینده‌ها، آب جاری و ساکن باشد. قبل از بتن‌ریزی بستر خاکی باید بصورت رضایت بخشی طبق مشخصات فنی متراکم گردد.

۵-۱-۳-۳- بتن‌ریزی روی بستر سنگی

سطوح سنگی ، بتنی و غیره که بتن‌ریزی روی آنها صورت میگیرد باید قبل از انجام بتن‌ریزی عاری از هرگونه مواد خارجی مانند روغن، آب ساکن یاجاری، گل، اندود زاید، نخاله‌ها و ذرات ریز دیگر باشد. قبل از انجام عملیات بتن‌ریزی تمامی‌سطوح موردنظر باید از طریق شستن با جت آب با فشار زیاد و یا با روش رضایت بخش دیگر مورد تایید دستگاه نظارت کاملا تمیز گردد.

تمام بستر سنگی باید بطور پیوسته و به مدت ۲۴ ساعت قبل از بتن‌ریزی مرطوب نگه داشته شود.

سطح کار باید قبل از بتن‌ریزی با ملات ماسه سیمانی به ضخامت ۳۰ میلیمتر و از مصالحی که بتن اصلی از آن ساخته می‌شود پوشانده شود. نسبت ماسه به سیمان و آب به سیمان باید تقریبا مشابه با بتن اصلی باشد. بتن‌ریزی باید قبل از گیرش اولیه ملات شروع شود.

۵-۱-۳-۴- آماده سازی درزهای اجرایی

بطور کلی بهتر است سطوح دارای شیب ملایم باشند تا امکان زهکشی آب وجود داشته باشد این عمل همچنین تمیز کردن سطوح را ساده تر می‌نماید.

عملیات تمیز کاری نهایی سطوح باید در نزدیکترین زمان قبل از شروع بتن‌ریزی نوبت بعد صورت گیرد.

دوغاب زدایی سطوح بتنی به نحوی‌که موجب کنده شدن سنگدانه‌ها شود عملی غیر ضروری است. عمق زدودن دوغاب سیمان از سطوح بتن‌ریزی قبلی به ۳ میلیمتر محدود می‌شود. به این منظور می‌توان از روش‌های مشروح زیر استفاده نمود.

- جت آب و هوا

جت آب و هوا باید در زمان مناسب (معمولا بین ۴ تا ۱۲ ساعت بعد از بتن ریزی) انجام پذیرد. این زمان با توجه به زمان گیرش سیمان و استفاده از مواد افزودنی دیرگیرکننده تعدیل می‌گردد. این روش فقط در درزهای افقی قابل انجام است.

فشار هوا باید بین ۶۲۰ تا ۷۶۰ کیلو پاسکال و فشار آب باید فقط به اندازه ای باشد که آب را تا نازل حمل کند.

- جت آب با فشار زیاد

آب با فشار زیاد(حداقل ۲۱ مگا پاسکال) می‌تواند برای تمیز کردن سطوح استفاده شود. اعمال فشار آب باید تا زمانی به تاخیر افتد که بتن به اندازه کافی سخت شده باشد و فقط ملات و دوغاب خشک شده و نه سنگدانه‌های درشت کنده شوند.

۵-۱-۳-۵-درزهای اجرایی در بتن غلتکی

اگر در زمان پخش بتن غلتکی، بتن نوبت قبل هنوز به گیرش اولیه نرسیده باشد، پس از تمیز کاری سطوح با جاروب یا هوای فشرده و بدون انجام تدابیر اضافی دیگر عملیات بتن‌ریزی با سرعت ادامه می‌یابد. ولی زمانی که بتن‌ریزی در نوبت‌های متوالی با فواصل زمانی بیش از زمان‌های جدول ۵-۱ انجام شود، تمیز کاری با جت آب و اجرای لایه ملات پر سیمان بین دو نوبت بتن‌ریزی لازم می‌گردد. مقادیر جدول ۵-۱ بر حسب شرایط کار می‌تواند با نظر دستگاه نظارت تغییر یابد.

جدول ۵-۱- فاصله زمانی نوبت‌های بتن ریزی

دمای متوسط محیط (سانتیگراد)	زمان بین دو نوبت بتن‌ریزی متوالی(ساعت)
کمتر از ۱۵	۱۰
بین ۱۵ تا ۲۰	۸
بین ۲۰ تا ۲۵	۶
بین ۲۵ تا ۳۰	۵
بیش از ۳۰	۴

درهر حال سطوح نوبت‌های بتن‌ریزی باید تا اجرای نوبت بعدی مرطوب نگه داشته شوند تا چسبندگی مطلوبی میان نوبت‌های بتن‌ریزی ایجاد شود. در صورت سخت شدن بتن، برای آنکه بتن نوبت بعدی به نوبت قبلی به خوبی متصل گردد، اجرای لایه نازک ملات ماسه – سیمان یا بتن نرمه با عیار حداقل ۳۵۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب ملات و به ضخامت ۲۰ الی ۳۰ میلیمتر روی سطح بتن سخت شده الزامی‌است. در موقع پخش بتن غلتکی برروی ملات بستر نباید بیش از ۳۰ دقیقه از پخش ملات مذکور گذشته باشد.

از شستشوی بیش از اندازه سطوح که باعث بیرون زدن سنگدانه می‌گردد، باید اجتناب گردد. بعد از آماده سازی درز، بتن باید در حالت مرطوب نگهداری شود، تا ملات روی بستر پخش گردد.

۵-۱-۳-۶- قالب بندی

قالب‌ها باید طوری طراحی شوند که ریختن و تراکم صحیح بتن براحتی امکان پذیر باشد قالب‌ها نباید مانع انقباض بتن شده و بدین ترتیب باعث بروز ترک در سطوح بتنی گردند.

قالب‌ها باید از استحکام و مقاومت کافی در برابر فشارهای مختلف بتن در حال ریختن و یا ریخته شده، برخوردار باشند. تغییر شکل قالب‌ها تحت تاثیر تنش‌هایی که ممکن است به آنها وارد شود نباید سبب وارد آمدن صدمه به بتنی که تازه ریخته شده گردد. در ضمن قالب‌ها باید صلبیت و استحکام لازم را قبل، در حین و پس از بتن‌ریزی و در حین ویبره کردن حفظ نمایند. استحکام و آب‌بندی قالب‌ها باید به گونه‌ای باشد تا از خروج شیره بتن و یا ملات به خارج از قالب جلوگیری شود.

☐ ۵-۲- انتقال، ریختن و تراکم بتن

۵-۲-۱- انتقال و توزیع بتن

نحوه انتقال بتن از محل ساخت تا محل توزیع و ریختن باید بر اساس معیارهای زیر در نظر گرفته شود:

الف- کوتاه نمودن مسیر حمل و نقل بتن.

ب – محافظت از بتن حین انتقال.

پ – استفاده از ظروف حجیم و عمیق بجای ظروف پهن و مسطح.

ت – همگن باقی ماندن مخلوط بتن و عدم جدایی سنگدانه‌ها.

ث – اسلامپ بتن ریخته شده در قالب نسبت به زمان خروج از مخلوط کن نباید بیش از ۲۵ میلیمتر کاهش یابد.

ج – دمای بتن در زمان تخلیه در قالب نباید از حدود مجاز فراتر رود.

۵-۲-۱-۱- انتقال با کامیون یا واگن به محل توزیع

بتن حجیم یا بتن غلتکی را می‌توان با استفاده از کامیون، واگن یا سیلوبوس (جام خودکشش بتن) حمل کرد. با این روش حمل، در شرایط آب و هوایی معتدل، حداکثر زمان مجاز حمل (از مرکز تهیه بتن تا محل بتن ریزی) بین ۳۰ تا ۴۵ دقیقه خواهد بود. در صورتی که شرایط آب و هوایی محیط گرم یا سرد باشد، مدت مجاز حمل به ترتیب کمتر و بیشتر خواهد بود. این مدت توسط دستگاه نظارت تعیین خواهد شد.

سطوح فلزی قسمت بار کامیون ، واگن یا سیلوبوس (جام خودکشش بتن) که بتن در آن حمل می‌شود، باید کاملا صیقلی باشد. در صورت لزوم و به دستور دستگاه نظارت باید سطح بالای بتن به هنگام حمل با پوشانندههای مناسب پوشیده شود، تا بتن از گزند وزش باد، بارش باران و تابش آفتاب در امان باشد.

۵-۲-۱-۲-توزیع با جام

دریچه تخلیه جام باید حداقل یک سوم بزرگترین دهانه آن یا پنج برابر بزرگترین اندازه سنگدانه‌ها باشد. زاویهٔ صفحهٔ کنار دریچه‌های تخلیه باید حداقل ۶۰ درجه نسبت به افق باشد. این دریچه‌ها باید هنگام عملیات به سهولت باز و بسته شوند. ظرفیت جام بر اساس برنامه زمان بندی، ظرفیت جرثقیل، احجام متوسط یا اوج بتن ریزی، زمان گیرش بتن، تعداد لایه در یک نوبت بتن‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی تعیین می‌شوند.

در استفاده از جرثقیل‌های کابلی و جام‌های با حجم زیاد، اپراتور جرثقیل باید با پایین آوردن جام هم زمان با تخلیه بتن از آن سعی نماید الزامات مربوط به حداکثر ارتفاع رها نمودن بتن را رعایت کند.

۵-۲-۱-۳-انتقال با پمپ

به طور معمول از این روش بتن‌ریزی در محلهایی که دسترسی وسایل حمل بتن به آنها امکان پذیر نیست و حداکثر قطر سنگدانه مصرفی در بتن به ۴۰ میلیمتر محدودشده, استفاده می‌گردد . وسایل و تجهیزات مورد استفاده در این روش باید امکان بتن‌ریزی آهسته را در داخل قالب بدون جداشدگی دانه‌ها از یکدیگر فراهم سازند.

دستگاه پمپاژ باید در نزدیکترین نقطه ممکن به محل بتن‌ریزی مستقر شود . خم و انحنای لوله‌های انتقال بتن از پمپ تا محل بتن‌ریزی باید به حداقل ممکن رسانده شود . قطر داخلی لوله پمپاژ باید حداقل ۳ برابر اندازه حداکثر قطرسنگدانه مصرفی در بتن باشد .

این نوع بتن‌ریزی و کار با تجهیزات پمپاژ باید بوسیله اپراتورهای مجرب انجام شود . دقت خاص باید معمول گردد تا بتن تحت فشار ناهمواری‌های سطوح سنگی و کلیه فضاهای خالی را پر نماید.

اگرچه دانه بندی سنگدانه مصرفی در بتنی که پمپ می‌شود با دانه بندی بتنی که به روش‌های دیگر ریخته می‌شود فرق زیادی ندارد اما نکات زیر باید در مورد آن رعایت شود:

- قبل از شروع بتن‌ریزی باید مقداری ملات پرسیمان از داخل لوله‌ها عبور داده شود . این ملات صرفا به منظور آماده شدن لوله‌ها برای عملیات پمپاژ بکار می‌رود. مقدار ۰/۵ متر مکعب از ملات مذکور برای لوله‌های با قطر ۱۵۲ الی ۲۰۳ میلیمتر مورد نیاز خواهد بود تا ۳۰۰ متر لوله پمپاژ را آماده بتن‌ریزی نماید.
- تمامی‌آزمایش‌های بتن تازه از جمله آزمایش اسلامپ، از بتن خروجی انتهای لوله پمپاژ صورت می‌پذیرد مگر آنکه دستگاه نظارت دستور دیگری صادر نماید.

۵-۲-۱-۴- انتقال و توزیع با نوار نقاله

هنگامی‌که حمل بتن حجیم با اسلامپ کم و سنگ دانه‌های درشت در کوتاهترین زمان مورد نظر باشد، می‌توان از نوار نقاله استفاده کرد. عملیات حمل ممکن است از ترکیب نوار نقاله، کامیون مخلوط کن، کامیون و یا ترکیب نوار نقاله با انواع جرثقیل انجام شود.

مواردی که در طراحی نوار نقاله باید مورد نظر باشد، عبارتند از:

- تمام اجزای یک سیستم نوار نقاله (به ویژه موتورهای محرکه ، قاب نگهدارنده و کل سیستم سازه ای نوار نقاله) باید قادر باشند وزن بتن را تحمل کنند.
- نقاله و یا مکانیزم تخلیه آن باید قادر باشد توزیع بتن را در تمام سطوح بتن‌ریزی بدون نیاز به حمل مجدد پوشش دهند. هنگامی‌که بتن به صورت لایه به لایه ریخته می‌شود، قدرت مانور نوار نقاله در تمامی‌جهات باید فراهم باشد تا تراکم بتن به موقع انجام شود.
- نوار حمل بتن باید قادر باشد درموقعی که حداکثر بار بر روی آن است، توقف کند، متوقف بماند و دوباره حرکت کند، چرا که بتن‌ریزی نباید سریع تر یا کندتر از مراحل تراکم و پرداخت انجام شود.
- به طور کلی باید این اطمینان وجود داشته باشد که نوارهای نقاله قادرند بدون خرابی تحت حداکثر ظرفیت کار کنند. هنگامی‌که یک نوبت بتن‌ریزی آغاز می‌شود، باید عملیات به طور مداوم و بدون تأخیر تا پایان کار ادامه یابد، تا از بروز درز سرد جلوگیری شود. در این صورت عرض نوار نقاله باید متناسب با احجام نوبت‌های مختلف بتن‌ریزی و ظرفیت تولید و حمل بتن انتخاب شود.
- سیستم نوار نقاله باید در شرایط کارگاهی، قبل از انجام هرگونه بتن‌ریزی مورد آزمایش قرارگیرد.

۵-۲-۱-۵- ناوه بتن

ناوه‌ها باید دارای سطح مدور فلزی با حجم مناسب برای جلوگیری از لبریز شدن بتن باشند. شیب ناوه در هر نوبت بتن‌ریزی باید با توجه به کارآیی بتن به گونه ای تعیین شود که بتن به طور یکنواخت و بدون جداشدگی ریخته شود . ناوه‌های با طول بلند باید با سایبان پوشانده شوند تا از تبخیر آب بتن به دلیل تابش آفتاب یا وزش باد جلوگیری شود.

لوله بتن‌ریزی که برای انتقال عمودی بتن از بالا به پایین استفاده می‌شود، باید مدور و در ۲تا۳ متر بالای لوله دارای قطری حداقل ۸ برابر قطر بزرگترین سنگ دانه باشد. این قطر در قسمت‌های پایینی لوله می‌تواند تا ۶ برابر قطر بزرگترین سنگ دانه کاهش یابد. این روش برای فواصل عمودی طولانی قابل استفاده است. در انتهای لوله‌های عمودی باید جام ذخیره بتن تعبیه شود تا مخلوط همگنی لازم را از دست ندهد.

۵-۲-۱-۶- انتقال بتن غلتکی

بتن غلتکی پس از اختلاط در دستگاه بتن ساز توسط نوار نقاله یا کامیون یا ترکیبی از این دو به محل اجرای کار حمل می‌شود.

درصورت استفاده از کامیون، باید چرخ‌های آن قبل از رسیدن به محل بتن‌ریزی شسته شده و از گل و سایر مواد مضر عاری باشد. جاده‌های منتهی به محل بتن‌ریزی با شن‌ریزی تمیز نگاه داشته شوند. در هر صورت سطح هر نوبت بتن قبل از بتن‌ریزی نوبت بعدی باید عاری از هرگونه مواد مضر باشد.

درصورت استفاده از نوار نقاله، سرعت آن باید طوری تنظیم شود که از جدایی سنگدانه‌ها جلوگیری و الزامات برنامه زمان بندی نیز برآورده شود. همچنین باید تدابیری برای جلوگیری از خشک شدن بتن در اثر تابش آفتاب، خیس شدن بیش از حد آن در اثر ریزش باران و ریزش مواد چسبیده به نوار، از قسمت زیرین نوار نقاله برروی سطح تمام شده کار در حین بازگشت نوار، بعمل آید.

در انتخاب تجهیزات و ماشین‌الات موردنیاز، برای انتقال بتن از محل تولید تا محل بتن‌ریزی باید عواملی نظیر حجم بتن ریزی، نحوه دسترسی به محل بتن‌ریزی، هزینهٔ ساعتی ماشین آلات و تجهیزات، و دیگر عوامل موثر مد نظر قرار گیرد.

درصورت استفاده از جام ذخیره موقت ، حجم آن باید حداقل ۲ برابر حجم کامیون توزیع بتن باشد.

کامیون‌های حامل بتن غلتکی یا سایر ماشین‌آلات مجاز نیستند تا ۳ ساعت پس از زمان تراکم بتن غلتکی از روی آن عبور نمایند. کامیون‌ها باید در وضعیت کاری خوبی بوده و روغن ریزی نداشته باشند.

رانندگان تمامی‌وسایل و ماشین‌آلات باید از ترمز سریع و دورزدن با قوس تند و هرگونه حرکتی که به بتن تازه ریخته شده صدمه وارد کند خودداری نمایند.

زمان انتقال بتن غلتکی از شروع تهیه تا رسیدن به محل بتن‌ریزی نباید از ۱۰ دقیقه تجاوز نماید.

۵-۲-۲- ریختن بتن

۵-۲-۲-۱- کلیات

در بتن ریزی‌های حجیم باید علاوه بر الزامات بند ۷-۴ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول موارد زیر نیز رعایت شوند.

الف- بتن باید تا حد امکان در محل نهائی ریخته شود به نحوی که جریان بتن به اطراف سبب جدایی بتن نشود . حرکت دادن بتن به اطراف توسط ویبراتور مجاز نمی‌باشد. سطح تمام شده بتن باید تا ۲۴ ساعت با نظر دستگاه نظارت از عبور و مرور افراد حفاظت گردد

ب- بتن‌ریزی باید با سرعتی انجام گیرد که سطح بتن ریخته شده قبلی تا زمان بتن‌ریزی لایه بعدی به گیرش ابتدایی خود نرسیده باشد.

پ- درصورت بروز بارندگی شدید یا طولانی مدت که ممکن است باعث شسته شدن شیره یا تغییر در میزان روانی بتن شود، باید بتن‌ریزی متوقف و بتن ریخته شده حفاظت گردد.

ت- بتن نباید از ارتفاع بیش از ۲ متر ریخته شود، بنابراین مراحل قالب بندی و آرماتورگذاری بایدبا توجه به ظرفیت جام انتقال بتن و ارتفاع تخلیه هماهنگ شود. تخلیه بتن به درون قالب‌ها نباید در یک نقطه متمرکز شود، بلکه بصورت یکنواخت در چند نقطه و یا در یک لایه افقی به گونه‌ای تخلیه شود که ضخامت لایه بتن تازه از ۰/۵ متر تجاوز نکند.

ث- برای بتن‌ریزی دیوارها، باید بوسیله لوله، بتن را تا نزدیک سطح بتن‌ریزی پایین برد . ضخامت قشرهای متوالی بتن باید تقریبا مساوی و به اندازه ای باشد که تراکم لازم بتن تامین شود. ریختن بتن در احجام بزرگ و پخش آن با ویبراتور مجاز نیست.

۵-۲-۲-۲- ترتیب بتن‌ریزی و ضخامت لایه‌ها

یک نوبت بتن‌ریزی به حجمی‌از بتن گفته می‌شود که در یک عملیات پیوسته بتن‌ریزی بین دو درز اجرایی افقی انجام می‌پذیرد. هر نوبت بتن‌ریزی را می‌توان در لایه‌های متوالی اجرا نمود.

درشرایط معمولی (بدون اعمال تدابیر پس سرمایش) حداکثر ضخامت بتن‌ریزی درهر نوبت و هر لایه بتن‌ریزی و حداقل زمان بین دو نوبت بتن‌ریزی باید مطابق با مندرجات جدول ۵-۲ باشد.

جدول۵-۲- حداکثر ضخامت و حداقل زمان بین دو نوبت بتن+

محل بتن ریزی	حداکثرضخامت یک نوبت بتن‌ریزی(متر)	حداکثرضخامت یک لایه بتن‌ریزی(متر)	حداقل زمان بین دو نوبت بتن ریزی(ساعت)	
			دمای کمتر از ۳۰ درجه سانتیگراد	دمای بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد
دیوارهای با پهنای کمتر از ۵ متر	۳/۰	۰/۵	۴۸	۶۰
دال با ضخامت بیشتر از ۰/۵ متر	۱/۵	۰/۵	۶۴	۷۲
دال با ضخامت کمتر از ۰/۵ متر	یک نوبت	-	-	-

+ در مورد بتن‌ریزی بدنه سدها که از تدابیر پس سرمایش استفاده می‌شود ضخامت نوبت‌ها، لایه‌های بتن‌ریزی و حداقل زمان بین دو نوبت بتن‌ریزی براساس مطالعات حرارتی تعیین می‌شوند.

۵-۲-۲-۳- سطوح واریز

وقتی به‌دلایل اجرایی بتن‌ریزی نمی‌تواند بطور پیوسته انجام شود و بناچار عملیات مدتی قطع می‌گردد، بین قسمت قدیم وجدید سطحی پدید می‌آید که آن را سطح واریز می‌نامند.

باید سعی نمود که این سطوح درمحل‌هایی قرار گیرند که تحت تنشهای پایین‌تری بوده و تاحدامکان بر درزهایی که به‌دلایل دیگر تعبیه می‌شوند منطبق گردد. درسازه‌هایی که در آب غوطه ور می‌باشند این سطوح باید تا حدامکان درخارج از منطقه تغییرات سطح آب قرار گیرد.

در صورتی‌که قرار باشد روی بتن حجیم با سطح شیب دار بتن مرحله دوم ریخته شود، باید دقت گردد که بتن در محل سطوح واریز بصورت پلکانی اجرا شود. ایجاد سطوح واریز قائم بوسیله قالب موقت عملی می‌شود.

باید دقت نمود بتن درمحل سطوح واریز به اندازه کافی آب بند شود تا میلگردهای فولادی در معرض خطر زنگ زدگی قرار نگیرند. برای ایجاد چسبندگی بهتر بتن قدیم به بتن جدید باید شیره خشک شده روی بتن قدیم بطور کامل زدوده شود و سطوح بتن قدیم کاملا مرطوب و در صورت لزوم از یک لایه بتن نرمه با عیار حداقل ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن به ضخامت ۲۰ الی ۳۰ میلیمتر استفاده شود.

۵-۲-۲-۴- بتن‌ریزی در هوای گرم

در هوای گرم باید تدابیری اتخاذ گردد که بتن آب خود را به سرعت در اثر تبخیر از دست ندهد . تدابیر زیر با نظر دستگاه نظارت در طول مدت حمل ، ریختن ، گیرش و سخت شدن بتن بر اساس شدت گرما و سرعت جریان هوا اتخاذ می‌شوند.

- توقف بتن‌ریزی در گرمترین ساعات روز و انجام عملیات بتن‌ریزی در شب.
- مصرف آب سرد و یا جایگزینی بخشی از آب اختلاط با یخ خرد شده.
- عایق بندی حرارتی منبع آب دستگاه بتن ساز و لوله‌ها.
- استفاده از رنگ سفید برای پوشش کلیه تجهیزات تولید و حمل بتن.
- حفاظت سنگدانه‌های انبار شده از تابش آفتاب (نصب سایبان) و خنک کردن آن با پاشیدن آب.
- حفاظت سیمان مصرفی از تابش آفتاب و احتراز از مصرف سیمان گرم.
- خودداری از مصرف بتن‌های خیلی خشک.
- پوشاندن ظروف حمل بتن.
- آب پاشی و مرطوب کردن سطوح بیرونی قالب‌ها قبل و بعد از بتن‌ریزی به میزان کافی.
- انتقال و بتن‌ریزی سریع.
- به‌کار بردن مواد افزودنی روان کننده یا فوق روان کننده با خاصیت کندگیری.
- ذخیره سازی مواد افزودنی در انبارهای مناسب برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب.
- استفاده از قالب فلزی.

در هر حال اختلاف دمای درون بتن‌های حجیم و سطوح آن به هیچ وجه نباید از ۳۵ درجه سانتیگراد تجاوز نماید. در بتن‌های حجیم باید با نصب دماسنج‌های مناسب بتعداد لازم درمحل‌های مورد نظر، افزایش دمای بتن پس از بتن‌ریزی کنترل شود.

برای جلوگیری از سخت شدن زودهنگام بتن در تماس با سطوح خشک و داغ در هوای بسیار گرم باید از امکانات و تسهیلات مناسب استفاده شود. با آب‌پاشی روی سطوح خشک و پوشاندن بتن با حصیر یا گونی مرطوب و همچنین روی آرماتورهایی که قرار است با بتن جدید در تماس باشند، باید جذب آب بتن تازه و تبخیر سریع آب داخل بتن را به حداقل رساند.

حداکثر دمای بتن تازه برای بتن‌های حجیم بر اساس آنالیزهای حرارتی تعیین می‌گردد.

۵-۲-۲-۵- بتن‌ریزی در هوای سرد

بطور کلی دمای محیطی که در آن بتن (حاوی سیمان پرتلند معمولی فاقد مواد افزودنی شیمیایی) اجرا می‌شود باید تا ۲۴ ساعت بعد از بتن‌ریزی بالاتر از صفر درجه سانتیگراد باشد.

در مواردی‌که حجم قطعه زیاد و تدابیر خاصی برای مقابله با یخ زدگی بتن تازه در نظر گرفته شده است، دمای توده بتن در تمام مدت بتن ریزی، فرایند گیرش و سخت شدن باید از صفر درجه سانتیگراد بیشتر باشد. با نظر دستگاه نظارت برای جلوگیری از یخزدگی بتن تازه تدابیر زیر اتخاذ می‌گردد.

- انبار کردن سنگدانه‌ها در محیط سرپوشیده و ترجیحا گرم و یا گرم نمودن سنگدانه بوسیله هوای گرم و خشک.
- افزایش نسبی سیمان مصرفی و کاهش نسبت آب به سیمان.
- بکاربردن مواد افزودنی روان کننده.
- گرم کردن آب اختلاط تا حداکثر ۶۰ درجه سانتیگراد.
- کاهش فاصله زمانی بین تهیه و ریختن بتن در قالب.
- بکاربردن قالب‌های چوبی با ضخامت زیاد و استفاده از عایقهای حرارتی برای قالب‌های فلزی.
- حفاظت سطوح نمایان بتن بلافاصله پس از بتن‌ریزی.

در ضمن استفاده از نمک و یا مواد شیمیایی غیر مجاز و زودگیر کننده (نظیر کلرور کلسیم که باعث خوردگی آرماتورها می‌شود) در بتن آرمه حجیم برای جلوگیری از یخ زدگی ممنوع است.

۵-۲-۲-۶- بتن غلتکی

بتن غلتکی باید در محل نهایی بتن‌ریزی تخلیه و تدابیری برای جلوگیری از جداشدگی بتن به کار گرفته شود.

بتن غلتکی باید روی لایه تازه ریخته شده و متراکم نشده تخلیه گردد.

بتن غلتکی باید حداکثر ۱۰ دقیقه پس از ریختن پخش، تسطیح و آماده تراکم باشد. ضخامت لایه کوبیده شده باید در حدود ضخامت تعیین شده در مدارک طرح باشد. رواداری مجاز برای ضخامت هر نوبت بتن‌ریزی ۵۰ ± میلیمتر است.

بتن غلتکی باید به صورت نوارهایی در طول کار پخش و متراکم شود. حدود ۰/۵ متر از کناره هر نوار باید تا بتن‌ریزی نوار مجاور به صورت غیرمتراکم رها شود تا بعدا حاشیه بیرونی این دونوار با یکدیگر مخلوط و یکباره متراکم گردند.

ضخامت نوبت‌های بتن‌ریزی با استناد به مدارک فنی طرح تعیین و طی آزمایش‌هایی در مقیاس بزرگ و در حین اجرای بستر آزمایشی بررسی و در صورت نیاز بهینه سازی گردد.

مصالح و سنگدانه‌هایی که از مخلوط بتن جدا می‌گردد باید به نحو قابل قبولی با بتن مخلوط و یا پس از جمع‌آوری از محل بتن‌ریزی دور گردد.

بولدوزر و سایر ماشین‌آلات چرخ زنجیری فقط مجاز به عبور از روی بتن غیرمتراکم (غلتک نخورده) می‌باشند. در صورتی که سطوح متراکم شده و غلتک خورده صدمه ببیند و بتن به گیرش اولیه خود نرسیده باشد، باید با عبور دادن غلتک سطوح صدمه دیده دوباره متراکم گردند. ولی بتن‌هایی که گیرش حاصل نموده اند باید کنده شده و از محل اجرای کار دور شود. در صورت لزوم برای انتقال بولدوزر از روی سطوح متراکم شده باید از تریلر یدک کش چرخ لاستیکی استفاده نمود.

پخش بتن غلتکی در محل اجرا با ماشین‌آلات سنگین‌تر از بولدوزر معادل D-6 ممنوع است. برای پخش بتن غلتکی نباید از گریدر استفاده شود.

۵-۲-۳- تراکم بتن

۵-۲-۳-۱- کلیات

در بتن ریزی‌های حجیم با ابعاد زیاد باید تا حد امکان از تجهیزات مکانیکی سنگین (مانند نصب چند لرزاننده روی یک ماشین) استفاده شود تا تراکم یکنواخت بدست آید.

بلافاصله پس از بتن‌ریزی هر لایه باید به کمک تجهیزات مناسب این لایه متراکم گردد. نباید از لرزاننده برای جابجاکردن بتن در مسافت‌های قابل ملاحظه استفاده شود. لرزاننده باید بصورت عمودی و در فواصل یکنواخت (تقریبا ۱/۵ برابر شعاع تاثیر لرزاننده) در بتن فرو برده شود. لرزاننده باید با سرعت به سمت پایین لایه و حداقل تا ۱۵۰ میلیمتر درون لایه سخت نشده قبلی فرو برده شود. لرزاننده باید بصورت ثابت در داخل بتن نگه داشته شود و پس از تراکم کافی به آرامی‌از بتن بیرون کشیده شود.

سطوح هر نوبت بتن‌ریزی حجیم باید طوری باشد که آثار لرزاننده و جای پای پرسنل روی سطوح باقی نماند.

سنگدانه‌های بزرگ جداشده از بتن باید بطور مناسبی با بتن مخلوط شوند.

قطر، تواتر ارتعاش و سایر مشخصه‌ها ی لرزاننده‌های مورد استفاده باید با توجه به اندازه اسمی‌بزرگترین دانه سنگی انتخاب شود.

۵-۲-۳-۲- کارآیی بتن

کارایی بتن تازه باید به حدی باشدکه بتوان آنرا با سهولت کافی جابجا نمود، در قالب ریخت ، متراکم نمود و سطح آنرا صاف کرد. در کلیه این مراحل مواد متشکله بتن نباید از یکدیگر جدا شوند. بتنی که شرایط مذکور را داشته باشد دارای کارآیی مطلوب است.

کارایی بتن به مواد متشکله مخلوط، بخصوص به میزان آب، نرمی‌و مقدار ماسه، دانه بندی و شکل سنگدانه‌ها بستگی دارد. به علاوه کارایی بتن تحت تاثیر بعضی مواد افزودنی مانند روان کننده‌ها، مواد هوازا و گاهی اوقات پوزولان‌ها قرار می‌گیرد.

۵-۲-۳-۳- تراکم بتن غلتکی

حداقل دو دستگاه غلتک ویبره چرخ آهنی برای تراکم هر نوبت بتن‌ریزی باید در محل کار آماده ومستقرگردد. تعداد غلتک موردنیاز هر پروژه باید با توجه به روش اجرا و احجام کار محاسبه گردد.

برای تراکم محل‌های نزدیک به سطوح سنگی، نمای بالادست و پایین دست و درزهای عمودی باید از دستگاه‌های تراکم دستی و کوچک استفاده گردد. میزان تراکم حاصل از دستگاه‌های کوچک باید معادل تراکمی‌باشد که از کاربرد غلتک‌های ویبره چرخ آهنی حاصل می‌گردد.

غلتک‌های ویبره چرخ آهنی باید مجهز به بادامک معکوس شونده باشند تا تراکم بتن در هر دو جهت حرکت به جلو و عقب امکان‌پذیر باشد. حداکثر سرعت مجاز غلتک روی بتن ۳ کیلومتر در ساعت است. تعداد عبور لازم برای رسیدن به تراکم کافی باید با توجه به نتایج کار روی بستر آزمایشی تعیین شود.

بتن تسطیح شده باید هرچه سریع تر متراکم شود و نبایدبه خاطر اصلاح جزئی ضخامت لایه یا نوبت بتن ریزی، تراکم به تأخیر افتد.

کارها باید طوری برنامه‌ریزی شود که کل مدت بین زمان اختلاط تا تراکم کامل بتن غلتکی از ۳۵ دقیقه تجاوز نکند و بتنی که طی این مدت به طور کامل پخش و متراکم نشده است، باید با نظر دستگاه نظارت جمع‌آوری و دور ریخته شود. این زمان ممکن است در فصل گرما کمی‌کاهش و در فصل سرما افزایش داده شود.

☐ ۵-۳- پرداخت سطوح، قالب برداری و تعمیرات

۵-۳-۱- پرداخت سطوح بتن

نوع سطح نمای بتن برای کارهای مختلف باید مطابق با مشخصات فنی طرح باشد. « نامنظمی‌سطوح» به دو صورت اتفاقی و یکنواخت تعریف و تقسیم میشوند . نامنظمی‌هایی‌که در بتن در اثر اشتباه در قالب‌گذاری، حرکت قالب‌ها و جابجایی آن، جابجایی قالب بخاطر شل و یا کم بودن پیچ و مهره‌ها و یا سایر نقایص قالب و پشت بندهای آن بوجود می‌آید در ردیف انواع اتفاقی تلقی و بطور مستقیم اندازه گیری می‌شود . بقیه ناهمواری‌ها یکنواخت خوانده شده و میزان آن با شمشه تراز اندازه‌گیری خواهد شد. طول شمشه تراز برای سطوح قالب دار ۱/۵ و برای سطوح بدون قالب ۳ متر خواهد بود . شمشه تراز برای استفاده در سطوح صفحه‌ای مستقیم و برای سطوح منحنی شمشه با الگوی منحنی ساخته می‌شود. کرمو شدن سطوح نهایی بتن در زمره نامنظمی‌ها محسوب نمیشود و باید تحت عنوان «تعمیرات بتن» بررسی و ترمیم گردد.

۵-۳-۲- قالب برداری

قالب برداری بتن باید با احتیاط و بدون ضربه وفقط به کمک نیروی استاتیک انجام پذیرد. ضربه زدن به قالب و برداشتن ناگهانی قالب بطوری‌که آسیبی به بتن وارد سازد مجاز نیست.

بطور کلی بمنظور جلوگیری از تاخیر در عمل آوری بتن و عملیات تعمیرات و برطرف نمودن نواقص آن، قالب‌ها باید پس از حداقل زمان ممکن و عملی، و با توجه به صدمات احتمالی ناشی از شوک حرارتی در فصول پاییز و بهار باز شوند.

تعمیرات مورد نیاز باید سریع و یکباره باشد و پس از آن بلافاصله کارهای عمل آوری بتن صورت پذیرد.

۵-۳-۳- تعمیرات

سطوح بتن پس از جمع آوری قالب‌ها باید مطابق نقشه‌ها با احتساب رواداری‌های مجاز باشد. تعمیرات باید توسط گروه ورزیده و در اسرع وقت پس از بتن‌ریزی و ظرف حداکثر ۲۴ ساعت پس از باز کردن قالب‌ها انجام گیرد. در مواردی‌که هدف پرکردن حفره‌های سطح بتن باشد، بتن یا ملات مورد استفاده باید بتواند پیوستگی کامل بابتن قدیمی‌حاصل نماید و دارای آثار حفره یا ترک‌های انقباضی نباشد. درصورتی که سطح بتن بصورت موضعی صدمه دیده و یا کرمو شده باشد باید با نظر دستگاه نظارت تعمیر شود. قسمت‌های بیرون آمده و اضافی باید با روش‌های مورد تایید دستگاه نظارت برداشته شوند.

❑ ۵-۴- عمل آوری و محافظت بتن

علاوه بر ملاحظات بند ۷-۵ آیین‌نامه بتن ایران- تجدید نظر اول موارد زیر نیز باید در بتن‌های حجیم رعایت گردد.

تمامی بتن‌ها باید بمدت حداقل ۱۴ روز متوالی با روشهای مناسب مرطوب نگاهداشته شده و حفاظت شوند.

عمده ترین آثار نامطلوب محیطی که باید بتن را در برابر آن محافظت نموده عبارتند از:

- خشک شدن زودرس که بخصوص در اثر تابش آفتاب و وزش باد پیش می‌آید.
- شسته شدن بتن تازه توسط باران یا آب جاری.
- کاهش سریع دمای بتن در روزهای نخست.

محافظت از بتن با مرطوب نگهداشتن سطوح آن بکمک آب پاشی و یا پوشاندن سطوح با گونی خیس انجام می‌شود. شیوه محافظت و نیز مدت آن به عوامل مختلف از جمله شرایط محیط، ویژگی‌های مورد انتظار از بتن، نوع سیمان مصرفی و نیز نسبت‌های اختلاط بتن بستگی دارد که با نظر دستگاه نظارت تعیین می‌شود.

بتنی که درهوای سرد ریخته شده است باید در چند روز اول پس از بتن‌ریزی در مقابل یخ زدن محافظت گردد.

فصل ششم

اصول آنالیز و طراحی

❑ ۶-۰-علائم اختصاری

c = ضریب گرمای ویژه بتن (kj/kg°c)

C = چسبندگی بتن، مگا پاسکال (MPa)

C_{th} = ضریب انبساط حرارتی (1/°C)

f_c = مقاومت فشاری بتن، مگا پاسکال (MPa)

f_t = مقاومت کششی بتن، مگا پاسکال (MPa)

h^2 = ضریب انتشار حرارتی (m^2/day)

H = ارتفاع بالای پی بر حسب متر (m)

k = ضریب هدایت حرارتی (kj/mhr°c)

K_R = ضریب گیرداری سازه که باتوجه به فاصله افقی درزهاوعمق بلوک کششی تعیین می‌گردد.

K_f = ضریب گیرداری پی

L = طول بلوک بر حسب متر (m)

ρ = وزن مخصوص بتن (kg/m^3)

R_x = دامنه حرارت درفاصله x (°C)

R_0 = دامنه حرارت در سطح خارجی بتن (°C)

T = طول زمان مورد نظر (روز)

dT = تغییر درجه حرارت (°C)

W = حرارت زایی مصالح سیمانی (kj /kg)

x = فاصله از سطح خارجی بتن (m)

γ = دانسیته (Kg/m^3)

Z = میزان مصالح سیمانی (kg/m^3)

τ = تنش برشی ، مگا پاسکال (MPa)

σ = تنش نرمال، مگا پاسکال (MPa)

θ = افزایش دمای بی‌دررو (°C)

ϕ = زاویه اصطکاک داخلی

☐ ۶-۱-کلیات

از ویژگی‌های مهمی که بتن حجیم را از سایر انواع بتن مجزا می‌کند رفتار حرارتی آن است. ابعاد نسبتا بزرگ سازه‌های بتن حجیم باعث ایجاد اختلاف دما بین سطوح داخلی و خارجی بتن شده و در اثر این گرادیان، تغییر حجم متفاوت ایجاد و به‌همراه قیدی که وجود دارد (داخلی و خارجی) کرنش و تنش کششی بوجود آمده که می‌تواند منجر به ترک خوردگی شود.

ترک‌های حرارتی بوسیله ایجاد درزهای انقباض حرارتی یا کاهش حداکثر دمای بتن ریزی یا تهیه بتن با خواص انقباضی کم و یا ترکیبی از هر سه روش قابل کنترل هستند. در سدهای وزنی درزها اندازه بلوک‌ها را تا حدی کاهش داده و خطرایجاد ترک‌های حرارتی را کم می‌کنند. در سدهای قوسی نباید ترک‌هایی عمود به محور سد ایجاد شود تا انتقال بار بتواند در امتداد محور سد صورت گیرد.

روش‌های مختلفی برای تعیین تنش‌های حرارتی که باعث ترک خوردگی می‌شود بکار می‌رود. متداول ترین روش تحلیل، روش اجزای محدود است که خواص بتن را به صورت تابعی از زمان همراه با پارامترهای ساخت نظیر دمای بتن ریزی و افت حرارتی محیطی در نظر می‌گیرد.

☐ ۶-۲- تعاریف

۶-۲-۱- قید داخلی

قید داخلی عبارت است از سرد شدن سطوح خارجی در حالی که این سطوح بوسیلهٔ هسته بتن گرم مقید شده و تنش کششی در سطوح بلوک بتنی ایجاد می‌شود. این جمع‌شدگی باعث کشش در پوسته خارجی و فشار در هسته بتن می‌گردد. در صورت بروز ترک، این ترک‌خوردگی بیشتر سطحی خواهد بود و معمولا در عمق گسترش پیدا نمی‌کند.

۶-۲-۲- قید خارجی

قید خارجی از طریق پی و دیواره‌های سنگی و یا لایه قبلی بتن که بصورت پی عمل می‌نماید، ایجاد می‌شود. بدلیل تغییر حجم در خلال سرد شدن و قید تکیه‌گاه، تنش کششی در مقاطع عمودی ایجاد می‌شود که حداکثر مقدار آن در وسط پی و در محل تماس پی و بتن خواهد بود. چنانچه تنش کششی ایجاد شده از مقاومت کششی بتن زیادتر شود ترک‌خوردگی در این محل شروع شده و به

طرف بالا و سمت خارج جسم بتن ادامه پیدا خواهد کرد. بطورکلی می‌توان انتظار داشت که قید خارجی سبب ایجاد تنش کششی در امتداد مقطع شود و باعث ترک‌خوردگی در داخل ضخامت بلوک بتنی گردد.

☐ ۶-۳- خواص بتن حجیم

۶-۳-۱- کلیات

خواص بتن که در طراحی سازه‌های بتن حجیم مورد استفاده قرار می‌گیرد: عبارتند از وزن مخصوص، مقاومت‌های فشاری، کششی و برشی، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، خزش، ضرایب انبساط حرارتی، هدایت حرارتی، گرمای ویژه و انتشار. طراح می‌تواند در مرحلهٔ شناخت و ابتدای مطالعات از مقادیری که در منابع معتبر آورده شده‌اند استفاده نماید. در طرح نهایی ضرایب و خواص مورد نیاز باید تا حد امکان از انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و بررسی‌های محلی استخراج گردد.

۶-۳-۲- خواص مقاومتی

مقاومت بتن با سن، نوع سیمان، جنس سنگدانه‌ها و دیگر اجزای نسبت‌های اختلاط، کیفیت اجرا، عمل آوری و شرایط محیطی تغییر می‌کند. عامل اصلی مؤثر در مقاومت بتن نسبت آب به سیمان می‌باشد. ویژگی‌های مقاومتی بتن باید پاسخگوی بارگذاری اولیه، نیازهای اجرایی و شرایط بهره برداری باشد. در نظر گرفتن مقاومت‌های فشاری بتن در زمان بهره‌برداری امکان استفاده از مزایایی مانند بهره‌گیری از سیمان‌های آمیخته، کاهش سیمان مصرفی و به تبع آن کاهش دمای داخلی و کنترل ترک‌خوردگی بتن را میسر می‌سازد. مقاومت مورد نیاز بتن در سنین مختلف باید در مقاطع خواسته شده به دقت کنترل گردد.

۶-۳-۲-۱- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری از آزمایش استاندارد فشاری بدون منظور نمودن اثرات خزش با روش آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی (دت ۶۰۲)، روش نمونه‌گیری مخلوط بتن تازه (دت ۵۰۲) و روش ساختن و عمل‌آوری نمونه‌های آزمایش در محل (دت ۵۰۴) تعیین می‌شود.

از آنجا که در اکثر سازه‌های بتنی حجیم در سنین اولیه، بتن تحت تاثیر بخش عمده بارهای شرایط بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد لذا برای استفاده بهینه از خواص مقاومتی بتن، مقاومت طراحی می‌تواند معادل مقاومت ۹۰ روزه یا بیشتر در نظر گرفته شود.

حداکثر تنش مجاز فشاری بتن در حالت بارگذاری عادی معادل ۰/۳۳ مقاومت گسیختگی بتن در نظر گرفته می‌شود.

۶-۳-۲-۲- مقاومت برشی

مقاومت برشی در امتداد درزهای اجرایی یا در سطح تماس با پی سنگی با توجه به رابطه خطی ۶-۱ زیر تعیین می‌گردد.

$$T = C + \sigma \tan \phi \qquad (۱-۶)$$

آزمایش برش مستقیم روش معمول برای دستیابی به داده‌های چسبندگی و زاویه اصطکاک با استفاده از بارهای نرمال مختلف می‌باشد. در صورتی‌که دسترسی به نتایج آزمایش‌ها ممکن نباشد، می‌توان در طراحی اولیه ضریب اصطکاک داخلی را معادل یک و چسبندگی بتن را معادل ده درصد مقاومت فشاری بتن در نظر گرفت.

۶-۳-۲-۳- مقاومت کششی

آزمایش تعیین مقاومت کششی دو نیم کردن به‌روش دت ۶۰۶ یا تعیین مدول گسیختگی به روش دت ۶۰۷ به منظور تعیین مقاومت کششی بتن سخت شده بکار می‌رود. آزمایش مدول گسیختگی نتایجی سازگار با رفتار الاستیک خطی فرض شده در طراحی به دست می‌دهد. نتایج آزمایش کشش دو نیم کردن نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. هر چند طراح باید بداند که نتایج این آزمایش رفتار غیرخطی نمونه را نشان می‌دهد.

به طور معمول با افزایش مقاومت فشاری بتن مقاومت کششی آن هم افزایش می‌یابدکه این رابطه خطی نبوده و بصورت رابطه ۶-۲ بیان می‌گردد.

$$f_t = 0.32 f_c^{2/3} \qquad (۶-۲)$$

درصورتی‌که نتایج آزمایش‌های مربوط در دسترس نباشند می‌توان مقاومت کششی را حدود ۴ تا ۱۰ درصد مقاومت فشاری فرض نمود.

۶-۳-۳- خواص الاستیک

۶-۳-۳-۱- رابطهٔ تنش- کرنش برای بتن تحت اثر بار افزایشی پیوسته یک خط منحنی می‌باشد. هر چند برای اهداف عملی در طراحی مدول الاستیسیته برای محدوده‌های تنشی که بتن حجیم معمولاً تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد ثابت در نظر گرفته می‌شود. به طور معمول با افزایش مقاومت فشاری بتن، مدول الاستیسیته نیز افزایش می‌یابد ولی مقدار افزایش مدول الاستیسیته مستقیماً متناسب با افزایش مقاومت نمی‌باشد و بهرحال مقدار مدول الاستیسیته به جنس سنگدانه بستگی دارد. برای بتن حجیم ۲۸ روزه مقدار مدول الاستیسیته در محدوده ۱۹ تا ۳۸ گیگاپاسکال و برای بتن یکساله در محدوده ۲۶ تا ۴۷ گیگاپاسکال تغییر می‌نماید. ضریب پوآسون نیز مشابه مدول الاستیسیته تحت تأثیر نوع سنگدانه، نوع سیمان و نسبت وزنی این‌دو قرارمی‌گیرد و در محدودهٔ ۰/۱۱ تا ۰/۲۷ متغیر است.

۶-۳-۳-۲- مدول الاستیسیته و ضریب پوآسون به روش آزمایش مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون (دت ۶۱۰) تعیین می‌گردد.

۶-۳-۳-۳- تغییرشکل سازه بتنی حجیم تحت اثر بار ثابت به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول، تغییر شکل نسبی الاستیک که بلافاصله بعد از بارگذاری اندازه‌گیری شده و مدول الاستیسیته آنی را نتیجه می‌دهد. بخش دیگر تغییرشکل درازمدت بوده که بصورت تغییرشکل غیرالاستیک یا خزشی بیان می‌شود. برای تعیین میزان خزش می‌توان از مقادیر کاهش یافته مدول آنی استفاده

نمود. هرگاه در طراحی به مقادیر واقعی‌تر نیاز باشد، خزش باید براساس آزمایش استاندارد برای خزش بتن در فشار (دت ۶۱۳) منظور شود.

برای زمانی‌که آزمایش‌های درازمدت صورت نگرفته‌اند، مقدار مدول الاستیسیته دائمی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مقدار مدول الاستیسیته آنی که از آزمایش به دست آمده است، توصیه می‌شود و در صورتی‌که نتایج آزمایش‌ها در دسترس نباشد میتوان مقدار مدول الاستیسیته آنی را ۳۵ گیگاپاسکال و مدول الاستیسیته دایمی را تحت اثر بارگذاری استاتیک با خزش ۲۱ گیگا پاسکال فرض نمود.

۶-۳-۴- خواص دینامیکی

۶-۳-۴-۱- خواص بتن که در تحلیل دینامیکی خطی با فرض رفتار الاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل وزن مخصوص، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون می‌باشند. بتن آزمایش شده باید به منظور نشان دادن خواص نهایی آن دارای سن کافی باشد، لذا نمونه‌های یک‌ساله ترجیح داده می‌شوند.

۶-۳-۴-۲- خواصی از بتن که به منظور ارزیابی نتایج تحلیل دینامیکی لازم می‌باشند شامل مقاومت‌های فشاری و کششی آن است. آزمایش فشاری استاندارد بحث شده در بند ۶-۳-۲-۱ حتی بدون لحاظ نمودن سرعت بارگذاری قابل قبول بوده چرا که معمولاً تنش‌های فشاری تحلیل دینامیکی را کنترل نمی‌نماید. هر چند در هنگام اعمال بار با سرعت زیاد, نظیر زلزله, مقاومت فشاری بتن تا حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. برای تعیین مقاومت کششی از آزمایش کشش دو نیم کردن یا مدول گسیختگی استفاده می‌شود و مقاومت کششی استاتیکی تعیین شده از آزمایش کشش دو نیم کردن به میزان ۳۳درصد افزایش داده می‌شود تا با آزمایش مدول گسیختگی استاندارد قابل مقایسه باشد.

۶-۳-۴-۳- مقدار تعیین شده از آزمایش مدول گسیختگی باید به عنوان مقاومت کششی در تحلیل خطی با روش اجزائ محدود به منظور تعیین شروع ترک‌خوردگی در بتن حجیم مورد استفاده قرار گیرد. مقاومت کششی باید هنگام بارگذاری لرزه‌ای به میزان ۵۰ درصد افزایش داده شود تا اثرات سرعت بارگذاری ملحوظ گردد. هنگامیکه تنش کششی در سازه‌های حجیم از ۱۵۰ درصد مدول گسیختگی فراتر رود، از روش تحلیل غیرخطی به منظور ارزیابی گسترش ترک‌خوردگی استفاده می‌شود.

۶-۳-۵- تغییر حجم

تغییرات حجمی بتن در اثر تغییر در رطوبت، درجه حرارت، واکنش‌های شیمیایی و تنش‌های ناشی از بارگذاری رخ می‌دهد و ممکن است باعث ایجاد ترک در بتن شوند. با توجه به اینکه ترک‌ها یک عامل تضعیف‌کننده مقاومت بتن در مقابل نیروهای خارجی هستند و سبب کاهش دوام بتن می‌گردند، شناخت عوامل مؤثر در ترک‌خوردگی در کاهش مشکلات احتمالی مفید است.

میزان آب بتن و نوع ومقدار سنگدانه از مهمترین عواملی هستند که بر روی جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن تأثیر می‌گذارند و محدودهٔ تغییرات انقباض خشک برای بتن با آب کم و کیفیت مطلوب مصالح در حدود ۰/۰۲ درصد و برای بتنی با آب زیاد و کیفیت نامناسب سنگدانه در حدود ۰/۱ درصد می‌باشد.

تغییرات حجم که به صورت خود به خود در بتن به وجود می‌آید ناشی از واکنش‌های شیمیایی است. این تغییر حجم وابسته به میزان آب مصرفی در بتن بوده و مقدار آن در بتن‌های حاوی پوزولان بیشتر از بتن‌های بدون پوزولان می‌باشد.

۶-۳-۶- خواص حرارتی

انجام مطالعات حرارتی برای سازه‌های بتنی حجیم الزامی است تا آثار تنش ایجادشده با تغییرات دما در بتن تعیین و تمهیدات لازم به منظور جلوگیری از ترک‌خوردگی‌های حرارتی صورت پذیرد.

شاخص‌ترین پارامترهای حرارتی بتن عبارتند از:

۱- ضریب انبساط حرارتی: این ضریب مقدار انبساط حرارتی به ازای یک درجه سلسیوس را نشان‌داده و بستگی زیادی به نوع سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن دارد. مقدار متوسط این ضریب ۱۰×۱۰^{-۶} برای هر درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود.

۲- گرمای ویژه: مقدار گرمای لازم برای افزایش یا کاهش حرارت واحد وزن بتن به میزان یک درجه را نشان داده و میزان آن به نوع مصالح و دما بستگی داشته و مقدار متوسط آن $1 kj / kg^\circ c$ می‌باشد.

۳- ضریب هدایت حرارتی: مقدار جریان حرارتی عبور کرده از واحد سطح تحت گرادیان حرارتی به مقدار واحد را نشان داده و تابع جنس سنگدانه، مقدار رطوبت، وزن مخصوص و دما بوده و مقدار متوسط آن برای بتن تازه $W / m^\circ k$ ۳/۴۶ در نظر گرفته می‌شود.

۴- ضریب انتشار حرارتی: سهولت یا صعوبت حرکت گرما را در بتن نشان داده و به نوع سنگدانه بستگی داشته و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$h^2 = k / c\rho \qquad (۳-۶)$$

۶-۳-۷- نفوذپذیری

بطور کلی قابلیت نفوذپذیری بتن در برابر آب ناچیز است. نفوذپذیری با افزایش نسبت آب به سیمان زیاد شده و از این رو نسبت کم آب به سیمان همراه با تراکم و عمل‌آوری مناسب، عوامل مهم برای تولید بتن نفوذناپذیر هستند. استفاده از مواد حباب‌ساز و افزودنی‌های شیمیایی که کارآیی بتن را افزایش می‌دهند درکاهش نفوذپذیری موثر می‌باشند. استفاده از پوزولان‌ها نظیر دوده سیلیسی و متاکائولین نیز سبب کاهش نفوذپذیری بتن می‌شوند.

❑ ۶-۴- بارگذاری حرارتی

از مسایل اصلی مرتبط با سازه‌های بتن حجیم کنترل ترک‌خوردگی ناشی از تغییرات حرارتی می‌باشد. تغییر شکل‌ها و تنش‌های حرارتی در بتن حجیم تحت تاثیر دو عامل حرارت آبگیری (هیدراتاسیون) و چرخه‌های تناوبی حرارت محیط قرار دارند.

در بارگذاری حرارتی سدها بارهای حرارتی حاصل از تغییر دمای فصلی محیط یا اختلاف دمای بالادست و پایین‌دست سد مهم می‌باشد. در حالت اول با استفاده از اطلاعات محلی ثبت شده (روزانه، هفتگی و ماهانه) در سال‌های مختلف و با توجه به شرایط زمان ساخت (که خود ممکن است چند سال طول بکشد) اختلاف بین حداکثر و حداقل دمای ثبت شده با معدل دمای متوسط ماهانه تعیین و تغییر شکل‌ها و تنش‌های مربوط محاسبه می‌شود. در حالت دوم، در روزهای سرد سال درجه حرارت پایین دست سد کمتر از درجه حرارت بالادست آن (در صورت وجود آب) و در روزهای گرم برعکس بوده و این تغییر دما از بالادست به پایین دست تغییر شکل‌های ناهمگون و گاه پیچشی را موجب می‌شود.

۶-۴-۱-چرخه‌های تناوبی حرارت محیط

چنانچه تغییرات دمای محیط به صورت تغییرات سینوسی در نظر گرفته شود و ضخامت بتن زیاد بوده بطوری‌که تغییرات آن در مقایسه با سطح خارجی قابل صرفنظر باشد دامنه تغییرات درجه حرارت در داخل بتن از رابطه ۶-۴ بدست می‌آید.

$$R_x / R_0 = e^{-x(\pi / h^2 \gamma)1/2} \qquad (۶\text{-}۴)$$

بنابراین سطح خارجی بتن تحت تاثیر کامل تغییرات روزانه و سالانه حرارت بوده حال آنکه عمق ۰/۶ متری تحت تاثیر۱۰٪ تغییرات حرارتی روزانه و عمق ۷/۶ متری تحت تاثیر۱۰٪ تغییرات حرارتی سالانه می‌باشد. لذا سطح بتن کاملا توسط عمق مقید می‌شود.

۶-۴-۲- حرارت آبگیری

در حین فرآیند آبگیری سیمان، دما افزایش می‌یابد. لبه‌های سازهٔ بتن حجیم زودتر از قسمت‌های داخلی آن خنک می‌شود، بنابراین هسته تحت فشار و رویه تحت کشش قرار می‌گیرد. این حرارت به سرعت از بتن خارج نمی‌شود و هسته مرکزی بتن حالت بی دررو (آدیاباتیک) دارد. هنگامیکه بتن شروع به خنک‌شدن می‌کند قیود داخلی و خارجی از انقباض بتن جلوگیری می‌کنند. چنانچه کرنش ایجاد شده از ظرفیت کششی بتن بیشتر شود، ترک‌ها در سازه انتشار می‌یابند.

افزایش دمای بی‌دررو با درصد مصالح سیمانی طبق رابطه ۵ با درصد مصالح سیمانی مصرف شده ارتباط دارد.

$$\theta = (W.Z)/(c.\gamma) \qquad (۶\text{-}۵)$$

۶-۴-۳- انواع سازه‌های بتنی حجیم

سازه‌های بتنی حجیم به سه دسته تقسیم می‌شوند.

الف- سازه‌های ثقلی مانند سدهای وزنی (شامل سدهای بتن غلتکی)

ب- سازه‌های پوسته‌ای ضخیم مانند سدهای قوسی

ج- سازه‌های بتن آرمه ضخیم مانند ایستگاه‌های پمپاژ بزرگ، نیروگاه‌ها و پایه‌های حجیم پل‌ها

۶-۴-۴- انواع تحلیل‌های حرارتی

انجام تحلیل حرارتی به عنوان یک حالت بارگذاری و در ترکیب با سایر حالات، برای سازه‌هایی که احتمال بروز ترک‌خوردگی حرارتی در آنها می‌رود، الزامی است. بررسی‌های حرارتی برای سازه‌های بتنی حجیم باید متناسب با ابعاد، عملکرد و افزایش پیچیدگی سازه در یکی از سطوح زیر انجام شوند.

برای تحلیل‌های حرارتی باید دانسته‌های اولیه محیطی (دمای متوسط ماهانه، میانگین دمای سالیانه و ....)، هندسه سازه، مشخصه‌های رفتاری بتن مورد استفاده و شرایط اجرایی پروژه به نحوی مدلسازی شوند که بتوان تغییر شکل‌های ناشی از تغییرات دما در طول بهره برداری از سازه مورد نظر را با ظرفیت تغییر شکل پذیری بتن مورد استفاده مقایسه نمود.

الف- تحلیل سطح یک، ساده ترین سطح تحلیل حرارتی می‌باشد و برای سدهای بتنی کوتاه (ارتفاع کمتر از ۱۵ متر)، بندهای انحرافی، سیل بندهای کوتاه، سازه‌های بتن آرمه ضخیم (پی و پایه پل‌ها) و مانند آن که ترک خوردگی حرارتی اثر چندانی بر ایمنی، پایداری و عملکرد مطلوب سازه ندارد یا در مطالعات مراحل امکان‌سنجی و توجیهی پروژه‌های بزرگتر می‌تواند به‌کار گرفته شود. در این سطح گام‌های زیر طی می‌گردد.

الف-۱) تعیین داده‌ها

- شرایط پیرامونی با توجه به اینکه تحلیل سطح یک به دمای متوسط ماهانه وابسته است تعیین می‌گردد.
- حداقل خواص مصالح شامل ضریب انبساط حرارتی، افزایش دمای بی‌دررو و ظرفیت کرنش کششی تعیین می‌گردد.
- پارامترهای اجرایی مانند درجه حرارت بتن‌ریزی ، ارتفاع نوبت‌های بتن ریزی و فاصله درزهای اجرایی انتخاب می‌شوند. درجه حرارت بتن ریزی در ابتدا می‌تواند بطور مستقیم برابر درجه حرارت متوسط ماهانه منظور گردد. روش دقیق‌تر، اصلاح آن بر اساس دوره زمانی تولید بتن است.

الف-۲) تحلیل دما

برای تحلیل سطح یک، تغییر دمای دراز مدت ازتفاضل دمای حداکثر بتن و دمای پایدار نهایی بتن بدست می‌آید. بنابراین در این مرحله باید موارد زیر تعیین گردد:

- دمای حداکثر که مجموع دمای بتن ریزی و افزایش دمای بی دررو بدست آمده از رابطه (۶-۵) است.
- دمای پایای نهایی سازه که برای بتن سازه‌های بزرگ برابر با دمای متوسط پیرامونی فرض می‌گردد. برای سازه‌های بتنی کوچک‌تر(بدلیل آنکه توده کافی به منظور عایق نمودن قسمت داخلی وجود ندارد) این دما معادل با چرخه‌های پایدار حرارتی سالانه بصورت فصلی تعیین می‌شوند.

الف-۳) تحلیل ترک‌خوردگی

تحلیل ترک‌خوردگی گرادیان توده با استفاده از تغییرات درازمدت دما و رابطه ۶-۶ تعیین گردیده و کرنش‌های بدست آمده با ظرفیت کرنش کششی مقایسه می‌گردد تا امکان اتفاق ترک خوردگی مشخص گردد. کل کرنش ایجاد شده با توجه به تغییرات دمای دراز مدت، ضریب انبساط حرارتی و ضرایب گیرداری، مطابق رابطه ۶-۶ تعیین می‌شود.

$$\text{کرنش کل} = (C_{th})(dT)(K_R)(K_f) \qquad (۶-۶)$$

ب- تحلیل سطح دو، شامل تعیین دقیقتر تاریخچه دمای بتن در سازه و استفاده بیشتر از دامنه گسترده ابزار تحلیل حرارتی است. تحلیل‌های سطح دو باید در مطالعات مرحله تفصیلی و تهیه نقشه‌های اجرایی سدهای وزنی بلند، ایستگاههای پمپاژ، نیروگاهها و سدهای قوسی با ارتفاع متوسط که ترک خوردگی حرارتی ممکن است خطرات جانی یا مالی قابل توجه دربرداشته یا منجر به از دست رفتن عملکرد سازه یا سبب صرفه جویی قابل توجه در هزینه‌ها گردد، استفاده شود. مراحل و داده‌های مورد نیاز برای این تحلیل عبارتند از:

ب-۱) تعیین داده‌ها

- شرایط پیرامونی با توجه به اینکه تحلیل سطح دو به درجه حرارت متوسط ماهانه برای تحلیل‌های با پیچیدگی کمتر یا درجه حرارت متوسط روزانه در تحلیل‌های پیچیده وابسته است، تعیین می‌گردد. در این حالت تعیین سرعت باد معمولا برای محاسبه ضریب انتشار حرارتی لازم می‌باشد.
- خواص حرارتی لازم برای تجزیه و تحلیل حرارتی به روش اجزا محدود شامل تعیین ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه و افزایش دمای بی‌درو مخلوط بتن همراه با دانسیته مصالح متشکله بتن و پی می‌باشد. ضریب انبساط حرارتی، کرنش ناشی از تغییر دما و مدول‌های الاستیسیته مصالح پی و بتن، ضرایب گیرداری پی را مشخص می‌کند. ظرفیت کرنش کششی بتن در تعیین ترک‌خوردگی‌ها حائز اهمیت می‌باشد.
- پارامترهای اجرایی شامل دمای بتن‌ریزی, هندسه سازه، ارتفاع نوبت بتن ریزی, تاریخ‌های شروع کار و آماده سازی و شرایط قالب بندی باید تعیین شوند. در تحلیل حرارتی سطح دو به منظور تعیین دمای بتن ریزی اولین تقریب آن است که فرض شود دمای بتن ریزی مستقیما متناسب با منحنی درجه حرارت متوسط روزانه می‌باشد. از آنجاییکه درجه حرارت دپوی مصالح در بهار و پاییز آهسته تر از حرارت محیط افت می‌نماید، لذا دمای بتن ریزی در بهار چند درجه زیر دمای متوسط روزانه و در پاییز چند درجه بیش از آن خواهد بود.

ب-۲) تحلیل دما

- روش‌های تحلیل حرارتی متفاوتی از جمله انتگرال‌گیری گام به گام در تحلیل سطح دو مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بین مدل‌های یک بعدی نواری در ابتدا برای تحلیل پارامتریک یا به منظور شناخت مفاهیم جهت تحلیل دو بعدی با جزییات بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- تاریخچه زمانی دما و توزیع آن محاسبه می‌شود تا نمودار خوبی از توزیع دما را در سازه نشان دهد.
- تفاوت های دما برای تحلیل ترک‌خوردگی گرادیان توده بصورت تفاوت بین دمای حداکثر بتن و دمای پایدار نهایی که بتن پس ازخنک شدن سرانجام به آن می‌رسد، محاسبه می‌شود.
- تغییرات دمای سطحی با عمق و زمان در محلهای بحرانی با مدل‌های نواری یک بعدی یا تحلیل دو بعدی تعیین می‌گردد. مقاطع نازک‌تر نیاز به توزیع حرارتی در کل مقطع داشته درحالی‌که در مقاطع ضخیم‌تر معمولا دما تا عمقی که تغییرات حرارتی نسبتا کم می‌شود منظور می‌گردد.

ب-۳) تحلیل ترک‌خوردگی

تحلیل ترک‌خوردگی با توجه به بیشترین تفاوت‌های دماهای سطح و داخل بتن که ایجاد ناحیه‌های کششی تا عمق مشخص می‌کند، انجام می‌شود. کرنش کششی بر حسب ضریب انبساط حرارتی، اختلاف دما در عمق مشخص و درجه گیرداری براساس

عمق ترک‌خوردگی تعیین می‌گردد. اختلاف دما با توجه به دمایی که در آن بتن شروع به سخت‌شدن می‌کند (در زمان۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت) و دمای حداکثری که بتن به حالت پایدار می‌رسد، تعیین می‌گردد. نقطه‌ای که مناطق کشش و فشار به تعادل میرسد، مرز آزاد تنش-کرنش بوده و برای محاسبه گیرداری در تحلیل بکار می‌رود. برای تحلیل ترک خوردگی بر اساس تنش، مدول الاستیسیته پایدار شامل اثرات خزش در نظر گرفته می‌شود و کرنش به تنش تبدیل می‌گردد. کرنش‌های بدست آمده با ظرفیت کرنش کششی بتن در سن خاص مقایسه می‌شود تا مشخص گردد ترک‌خوردگی در چه محل و در چه موقع اتفاق می‌افتد.

ج) تحلیل سطح سه، فقط برای سازه‌های بسیار پیچیده که ترک‌خوردگی سبب ایجاد خطر زیادی می‌شود (مانند سدهای بتنی قوسی بلند)، الزامی است. در این روش رابطه فوریه و اصل بقا انرژی با استفاده از روش اجزای محدود بکار گرفته شده و با حل معادلات دیفرانسیل غیر خطی و ارضای شرایط مرزی برای یک محیط همگن، توزیع حرارت بدست می‌آید. ضرایب تبادل حرارتی بتن با محیط خارج از جدول ۶-۱ بدست می‌آید.

جدول ۶-۱- ضرایب تبادل حرارتی بتن

ضریب تبادل گرمایی سطحی (Kcal/m2.h.°C)	نوع ایزولاسیون
۱۱/۶	بتن-هوا
۳۰۰	بتن-آب‌عمل آوری
۲/۶	بتن با قالب چوبی-هوا
۱۱/۶	بتن با قالب فلزی-هوا
۲/۰	بتن با قالب ایزوله-هوا

۶-۴-۵- کنترل ترک‌خوردگی حرارتی

بتن حجیم با بتن سازه‌ای معمولی تفاوت دارد زیرا بصورت مقاطع ضخیم اجرا میشود و حرارت آبگیری در آن به کندی مستهلک می‌گردد و انقباض حرارتی میتواند تنش‌های کششی همراه با خطر ترک‌خوردگی ایجاد نماید. ظرفیت کرنش کششی بتن یا کرنشی که در آن ترک‌خوردگی اتفاق میافتد وابسته به زمان بوده و در بتن جوان بیشترین مقدار را داراست. یکی از عوامل موثر در کنترل ترک‌خوردگی کنترل دمای بتن است. کنترل دمای بتن می‌تواند حین ساخت، اجرا یا هر دو اعمال شود.

۶-۴-۵-۱-کنترل دمای بتن حین ساخت

در کنترل دمای بتن حین ساخت رعایت موارد زیر ضروری است.

الف- مشخصات مصالح سیمانی

در انواع سیمان‌های پرتلند معمولی، سیمان‌های نوع ۴، ۵ و۲ بدلیل حرارت آبگیری کمتر برای بتن‌های حجیم پیشنهاد می‌گردد. برای جلوگیری از افزایش حرارت، از سیمان‌های آمیخته که در آنها ۲۰٪ الی ۵۰٪ سیمان پرتلند با افزودنی‌های معدنی نظیر پوزولان یا سرباره جایگزین شده، استفاده می‌شود.

ب- درصد مصالح سیمانی

کاهش مصرف مواد سیمانی در بیشتر موارد، موثرترین روش کاهش روند افزایش دمای بتن می‌باشد.

پ- نوع سنگدانه‌ها

در صورتی‌که امکان انتخاب سنگدانه وجود داشته باشد، سنگدانه با کمترین ضریب انبساط حرارتی انتخاب می‌شود ولی برای بسیاری از پروژه‌ها منبع قرضه اقتصادی محدود است. تنشهای حرارتی کششی متناسب با ضریب انبساط حرارتی سنگدانه می‌باشد لذا ضروری است که این پارامتر برای تحلیل تنش حرارتی، کنترل و مشخص گردد.

رفتار حرارتی سنگدانه با ضریب انبساط حرارتی آن مشخص شده و برای سنگدانه‌های متداول به شرح جدول ۶-۲ می‌باشد.

جدول ۶-۲- ضریب انبساط حرارتی

نوع سنگ	$۱۰^{-۶}$×ضریب انبساط حرارتی (1/°C)
ماسه سنگ	۴–۱۴
دولومیت	۷–۱۰
آهک	۱–۱۲
بازالت	۸–۶
گرانیت	۲–۱۲

ت- حداکثر اندازه سنگدانه

از آنجایی‌که ضریب انبساط حرارتی سیمان خالص از همه انواع سنگ‌ها بیشتر می‌باشد، نسبت بیشتر سنگدانه‌ها در اختلاط موجب می‌شود تا ضریب انبساط حرارتی بتن کاهش یابد. ضریب انبساط حرارتی با حداکثر اندازه سنگدانه نسبت عکس دارد. این در حالی است که میزان سنگدانه مصرفی با حداکثر اندازه سنگدانه افزایش می‌یابد. لذا افزایش حداکثر اندازه سنگدانه تاثیر مطلوبی در ترک‌خوردگی حرارتی دارد، زیرا در صد مواد سیمانی لازم برای بدست آوردن مقاومت معین با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه کاهش می‌یابد.

ث- درصد آب

درصد آب بر هدایت حرارتی بتن و رفتار حرارتی آن موثر بوده و هدایت حرارتی نیز میزان نفوذ حرارت در بتن را تعیین می‌نماید و بر مقدار گرادیان و تنش‌های حرارتی موثر است. بنابراین با کاهش درصد آب تنش‌های حرارتی کاهش می‌یابد.

۶-۴-۵-۲- کنترل دمای حین اجرا

عوامل موثر بر کنترل دمای بتن حین اجرا به‌قرار زیر می‌باشند.

الف- کنترل دما در زمان اجرا

کنترل دما در حین اجرا با توجه به مشخصات حرارتی و روش‌های خنک کردن تعین شده صورت می‌گیرد. موارد فوق شامل حداکثر دمای بتن ریزی، پیش سرمایش و پس سرمایش می‌باشد که به تغییرات دمای فصلی بستگی دارد.

ب- ابعاد بلوک‌ها

در روش‌های متعارف ساخت سدهای بتنی، چنانچه خطر ترک‌خوردگی حرارتی پیش‌بینی شود، دو روش برای محدود کردن ابعاد بلوک وجود دارد.

- در نظر گرفتن درزهای عرضی
- محدود نمودن ارتفاع نوبت‌های بتن ریزی

جدول ۶-۳ افت حرارتی مجاز که در آن کنترل حرارت و ترک‌خوردگی حرارتی لازم نیست را نشان می‌دهد.

۶-۳-حداکثر گرادیان حرارتی مجاز به صورت تابعی از اندازه بلوک‌ها

طول بلوک	گرادیان حرارتی از درجه حرارت حداکثر بتن تا درجه حرارت بهره برداری (۸° سانتیگراد)		
	Hکمتر از0.2L	H=0.2-0.5L	Hبیش از 0.5L
بیش از ۶۰ متر	استفاده ازدرزهای طولی برای اتصال بلوکهای با حداقل طول ۹متر		
۴۵ تا۶۰ متر	۱۴	۱۹	۲۲
۳۶ تا ۴۵ متر	۱۷	۲۲	۲۵
۲۷ تا ۳۶ متر	۱۹	۲۵	بدون محدودیت
۱۸ تا ۲۷ متر	۲۲	بدون محدودیت	بدون محدودیت
تا ۱۸ متر	۲۵	بدون محدودیت	بدون محدودیت

پ- زمان انتظار

معمولا تجهیزات پیمانکار برای انتقال، بتن ریزی و تراکم زمان انتظار بین نوبت‌های بتن ریزی در هر بلوک را تعیین می‌کند. حداقل زمان انتظار۳ تا ۴ روز معمولا آستانه پیشرفت موثر را تعیین می‌کند. زمان انتظار طولانی اختلاف دماهای زیادی در درز لایه‌ها ایجاد نموده و موجب افزایش صلبیت بلوک‌های کناری یا پی شده که زیادتر شدن ضریب گیرداری خارجی و در نتیجه افزایش تنش را به‌همراه داشته و باید از آن اجتناب نمود.

ت- ضریب پخش حرارتی بتن

این ضریب سرعت تغییر دما را مشخص می‌کند.

فهرست مراجع

1- ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete", (ACI 201.2R-01), ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

2- ACI Committee 207, "Mass Concrete", (ACI 207.1R-96), ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

3- ACI Committee 207, "Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete", (ACI 207.4R-93) (Reapproved 1998), ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

4- ACI Committee 207, "Roller-Compacted Mass Concrete", (ACI 207.5R-99), ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

5- ACI Committee 212, "Chemical Admixtures for Concrete", (ACI 212.3 R-91) Reapproved 1997, ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

6- ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", (ACI 211.1-91) Reapproved 1997, ACI Manual of Concrete Practice, Part1, 2004

7- ACI Committee 304, "Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete", (ACI 304R-00), ACI Manual of Concrete Practice, Part2, 2004

8- ACI Committee 308, "Guide to Curing Concrete", (ACI 308R-01), ACI Manual of Concrete Practice, Part2, 2004

9- ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting", (ACI 305R-99), ACI Manual of Concrete Practice, Part2, 2004

10- ACI Committee 309, "Guide for Consolidation of Concrete", (ACI 309R-96), ACI Manual of Concrete Practice, Part2, 2004

11- ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete", (ACI 347R-01), ACI Manual of Concrete Practice, Part4, 2004

12- ASTM Standard, Cement; Lime; Gypsum, Section 4, Construction, Vol.04.01, American Society for Testing and Material, Philadelphia, 1998

13- ASTM Standard, Concrete and Mineral Aggregates, Section 4, Construction, Vol.04.02, American Society for Testing and Material, Philadelphia, 1998

14- International Commission on Large Dams (ICOLD), "Quality Control of Concrete", Bulletin No.47, 1983

15- U.S. Army Corps of Engineers Manual, "Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures", EM 1110-2-2000, 1994

16- U.S. Army Corps of Engineers Manual, "Roller-Compacted Concrete", EM 1110-2-2006, 2000

17- U.S. Army Corps of Engineers Technical Letter, "Thermal Studies of Mass Concrete Structures", ETL 1110-2-542, 1997

18- U.S. Army Corps of Engineers Guide Specification for Construction, "Mass Concrete", CEGS-03700, 1992

19- United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, "Concrete Manual - A Manual for the Control of Concrete Construction", 1981

20- United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, "Design of Gravity Dams", 1976

۲۱- استانداردها و آیین کاربردهای ملی ایران در رشته راه و ساختمان، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

۲۲- واژه نامه بتن، بخشی از آیین نامه بتن ایران، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۷۷

نمايه

آبگيري ÛĪĦ ÛĪĥ ÛħĬ ÛĦĩ ÛĥĬ ÛĥĪ ÛĥĨ ÛĥĤ ÛĤĪ
ĪĪ ÛĪĩ
آرماتور ĩĥ ÛĩĤ ÛĨĬ ÛĦĪ ÛĦħ ÛĥĨ
آزمايـ ا برش‌مȿتيǬ Īġ
آيين‌نامه بتن ايران ÛĦĥ ÛĦĤ ÛĦġ ÛĥĬ ÛĥĪ ÛĥĦ Ûĥĥ ÛĥĤ ÛĤĪ
ÛħĨ ÛħĦ Ûħĥ ÛħĤ Ûħġ ÛĦĪ ÛĦĨ ÛĦħ ÛĦĦ
ĩĪ ÛĪĬ ÛħĪ
اپوكȿǼ ĦĪ
اسكله Ħĩ
اسـمـŘ ĪĪ ÛĪĪ ÛĪĩ ÛħĪ
افـزودنـǼ شيميايـǼ Īĥ ÛĩĤ ÛħĪ ÛĦĬ ÛĥĬ ÛĥĪ
افـزودنـǼ معدنـǼ ĪĪ ÛĦĪ ÛĥĨ ÛĥĪ Ûĥĩ Ûĥĥ
اقتصاد ĨĪ ÛħĪ Ûħĩ ÛĥĪ Ûĥĥ ÛĤĪ
اقـ مدفون Īĥ ÛĦĪ ÛĦĪ ÛĦĩ ÛĦħ
انحرا استاندارد ħĤ Ûħġ ÛĦĤ
ايمنǼ Īĥ ÛħĬ ÛĤĪ
بارگذاري Īĥ ÛĪĦ ÛĪĥ ÛĪĤ ÛĪġ ÛĩĬ
بتن Ǽتكـ ÛĩĦ Ûĩĥ ÛĨĬ ÛĩĪ ÛĨĩ ÛĨĪ ÛĨħ ÛĩĦ Ûħĩ
ĪĦ Ûĩħ
بهره‌برداري Īī ÛĪħ ÛĩĬ ÛħĤ ÛĦĥ ÛĤĪ
بولدوزر Īħ ÛĩĦ ÛĦĤ
پايايǼ ħĦ ÛĦĪ ÛĦĥ ÛĦĤ ÛĥĬ ÛĥĪ ÛĤĤ ÛĤĪ
پذيرش بتن ħĦ Ûħĥ ÛħĤ
پـ سرمايـ ا Īī ÛĪġ ÛĪħ ÛĪĦ ÛĪĤ ÛħĨ
پوزوȅن ÛĪĥ ÛĦĬ ÛĦī ÛĦĪ ÛĦħ ÛĥĬ ÛĥĪ Ûĥĩ ÛĥĤ
Īĥ ÛĩĦ
پيـ ا سرمايـ ا Īī ÛĪĦ ÛĪġ ÛħĬ ÛĦĦ
پيمانكار Īī ÛĪĥ ÛħĨ Ûħĥ Ûĥĥ
تحليل اƩƷاي محدود Īĩ ÛĩĪ ÛĤī
ǪUƖUز Ħħ
تراكǬ بتن ÛĪĬ ÛĪī ÛĪĩ ÛĪħ ÛĪĦ ÛħĤ ÛĦī ÛĦĪ ÛĦĩ
Īī Ûĩħ ÛĩĦ
ترǣ ƱوردǖǼ ÛĪĪ ÛĪħ ÛĪĥ ÛĪĤ ÛĩĬ Ûĩī ÛħĬ ÛĥĬ ÛĤĪ
Īī ÛĪĪ ÛĪĩ
تـ ا برشǼ ĩĪ
تـ ا نرمان ĩĪ
توزيع مȍǲǌǺ ħĪ
ƩداشدǖǼ ĩĥ ÛĪī ÛĪĪ Ûħī ÛĦī ÛĦĩ ÛĤĤ
ƩرǶيل Īī ÛĪĪ
ŠƾبندǖǼ Īġ Ûĩī ÛĩĤ ÛĪĪ Ûĥĥ
ȶوضǛه آرام ا ĦĨ ÛĦĦ
ƱاƾǼتر بادي ĦĪ ÛĥĬ ÛĥĪ
ƱوردǖǼ ĩĥ ÛĦĪ ÛĦħ ÛĥĨ
دانه‌بندي ĩĦ ÛĪĪ ÛħĬ ÛĥĬ Ûħħ ÛĥĦ Ûĥĥ ÛĤĤ ÛĤĪ
درز اƩرايǼ Īĥ ÛĩĬ Ûĩġ ÛĪĪ ÛĩĦ
دستگاه نظارت Ûħī ÛħĪ ÛħĬ ÛĦġ Ûĥī ÛĥĪ ÛĥĬ Ûħĥ ÛĦĦ
ÛĩĤ ÛĪĬ ÛĪī ÛĩĨ ÛĪĪ ÛĩĦ ÛĪĥ Ûĩġ ÛħĬ
ĩĪ Ûĩħ Ûĩĥ

دوده سیلیǂǢ ĦĪ ÜĦī ÜĦĪ ÜĥĪ
دیگ ەǙلوزǋکن ħī ÜħĪ ÜħĪ
رواداري Īħ ÜĪĥ ÜħĪ ÜħĤ
زهکشǢ Īħ ÜĦī ÜĦĦ
ساي ا Ħī ÜĦĦ ÜĦĥ Üĥħ
سنگ‌شکن ħĪ ÜĥĦ
سیلو ĪĪ ÜĪĪ ÜħĪ ÜĥĪ
سیمان آمیǙته ĪĪ ÜĪĪ ÜĦĪ Üĥī ÜħĪ ÜĥĪ ÜĦī
سیمان پرتلند ĪĪ ÜĪĤ ÜħĪ ÜĦĪ Üĥī ÜĥĪ ÜĥĪ ÜĥĪ ÜĦī
شمشه‌تراز Īħ
ضري ا پواسون ĪĤ ÜĪġ ÜĪĪ
ǋĚƼƱ ţرǍ Īġ Üħī ÜĦĪ ÜĦħ ÜĦĤ ÜĦġ ÜĥĪ Üĥĥ ÜĥĪ
Ǚمل‌آوري ÜĪħ ÜħĪ ÜħĤ ÜĦī ÜĦĪ ÜĦĪ ÜĦħ ÜĦĦ ÜĦĤ
Īī ÜĪĥ ÜĪĪ ÜĪĪ
قالا برداري Īħ Üħī
قالا بندي ĪĪ ÜĪĪ ÜĪĪ
قرضه ĪĪ ÜħĪ Üħĥ ÜĦĪ ÜĥĦ ÜĥĤ
کامیون ەǙلوزǋ کن Īī ÜĪĦ Üħī
کنترل کیفیت ĪĦ ÜħĪ Üħĥ ÜħĤ ÜĦġ ÜĥĪ Üĥħ
ǙǓیرش اولیه Īĥ ÜĪĪ ÜĪĪ ÜĪħ ÜĥĪ
متاکوǝولین ĪĪ
مدول ǙǂǙǟتگǢ Īġ
ناوه Īī
نمونه‌برداري ħĦ Üħĥ ÜĥĪ
نمونه‌ǙǓیري Ħġ ÜĥĪ
واکن ا قلیایǢ ĦĪ ÜĦĪ ÜĦħ
ویبراتور Īġ ÜĪĪ
يǙبندان ĦĪ ÜĦĦ
يǙǚزدن و ƙآ شدن ĦĪ ÜĦĦ Üĥħ
یون سولفات ĥĪ
یون کلرید Ħī ÜĦĪ ÜĦħ ÜĥĪ

THE MASS CONCRETE CODE

SYNOPSIS

Mass concrete is "any volume of concrete with dimensions large enough to require that measures be taken to cope with generation of heat from hydration of the cement and attendant volume change to minimize cracking."

The design of mass concrete structures is generally based on durability, economy, and thermal action, with strength often being a secondary concern. Measures should be taken where cracking due to thermal behavior may cause loss of structural integrity and monolithic action, or may cause excessive seepage and shortening of the service life of the structure.

This code of practice contains six sections:

1) General,
2) Requirements for selecting mass concrete materials including aggregates, cements, pozzolans and other components,
3) Quality control, mix proportioning, durability precautions, and acceptance criteria,
4) Concrete production,
5) Construction practice,
6) Thermal analysis and design.

Mass concrete practices were largely developed from concrete dam construction, for this reason the "Iranian National Committee on Large Dams" was appointed to prepare this code of practice.