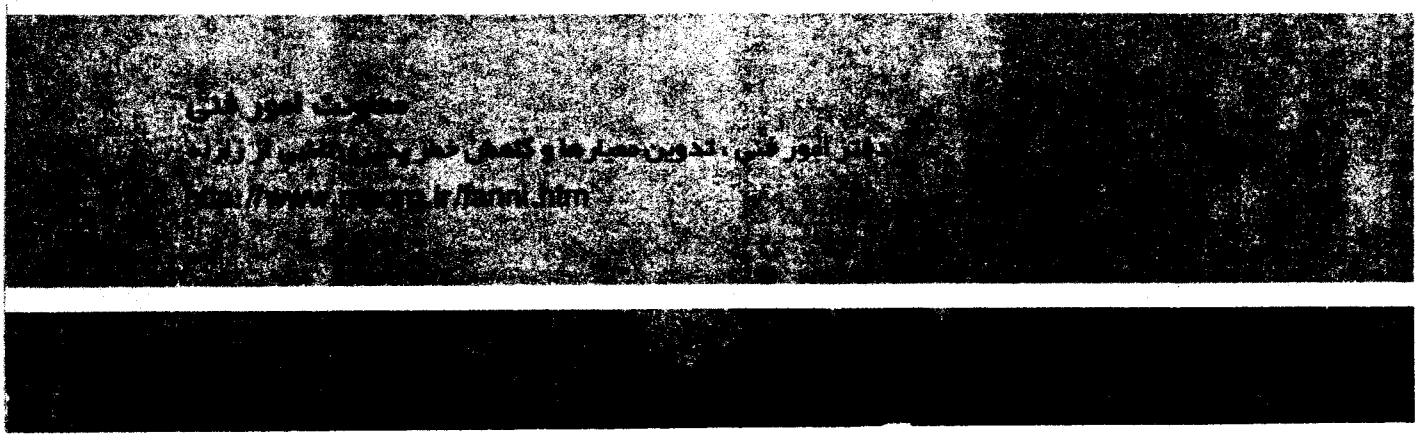
جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

تفسیر بخش اول
آیین‌نامه بتن ایران «آبا»

کلیات ، مصالح و مسایل اجرایی

(تجدید نظر اول)
ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰



فهرست‌برگه

آیین‌نامه بتن ایران

تفسیر بخش اول آیین‌نامه بتن ایران (آبا): ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰: کلیات، مصالح و مسایل اجرایی/ [انجمن بتن ایران].- تجدید نظر اول [ویرایش ۲].- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۳.

۲۲۸ ص.: جدول.- (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۳/۰۰/۸۳)

ISBN 964-425-573-9

تهیه شده برای: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

ویرایش قبلی این کتاب در سال ۱۳۶۹ همراه با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) منتشر شده است.

کتابنامه: ص. ۲۱۹-۲۲۳

۱. بتن – مشخصات. ۲. بتن – استانداردها. الف. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات ج. عنوان. ب. عنوان: ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰: کلیات، مصالح مسایل اجرایی

۱۳۸۳ ضمیمه ش. ۱۲۰ ۲ س/۳۶۸ TA

شابک ۹-۵۷۳-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-573-9

تفسیر بخش اول آیین‌نامه بتن ایران (آبا): ضمیمه نشریه شماره ۱۲۰: کلیات، مصالح و مسایل اجرایی

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۳۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۱۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۳

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: قاسملو

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر امورفنی، تدوین معیارهاوکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این آیین‌نامه نموده و آن رابرای 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. ***شماربند و صفحه موضوع موردنظر را مشخص کنید.***
۲. ***ایراد موردنظر را به صورت 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 به دقت مطالعه نموده و اقدام لازم را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت‌نظر شما همکار ارجمند قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه :

تهران، خیابان‌ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی، کوچه لادن، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
دفتر امورفنی، تدوین معیارها وکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
صندوق پستی ۱۹۹۱۷۴۵۴۸۱

آیین نامه بتن ایران

(آبا)

مبحث اول - کلیات و ساختمان‌های متعارف

بسمه تعالی

پیشگفتار

بخش اول آیین‌نامه بتن ایران(آبا) ، شامل تفسیر، اولین بار در سال ۱۳۶۹ انتشار یافت. با توجه به پیشرفت های حاصل در زمینه فناوری تولید بتن تجدید نظر اول آئین نامه، بدون تفسیر، در سال ۱۳۷۹ منتشر گردید. از آنجا که تفسیر هر آئین نامه می تواند باعث برطرف نمودن ابهامات احتمالی و روشن‌تر شدن نکات فنی آن گردد، تجدیدنظر در تفسیر بخش اول آبا نیز در دستور کار قرار گرفت.

برای این‌منظور سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور بر اساس قراردادی این تجدید نظر را به انجمن بتن ایران واگذار نمود. انجمن با تکیه بر توان علمی و تجربی اعضای خود و با تشکیل کمیته فنی تفسیر بخش اول "آبا" این مسئولیت را پذیرفت و آنچه در این تفسیر از نظر می گذرد حاصل زحمات کارشناسانی می‌باشد که اسامی آنها به ترتیب حروف الفبا بشرح زیر است :

۱- اسماعیل اسماعیل‌پور	مهندسان مشاور
۲- محسن تدین	دانشگاه بوعلی سینا همدان ـ دانشکده مهندسی عمران
۳- حمیدرضا خاشعی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۴- علیرضا خالو	دانشگاه صنعتی شریف ـ دانشکده مهندسی عمران
۵- علی‌اکبر رمضانیان‌پور	دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ دانشکده مهندسی عمران
۶- شاپور طاحونی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ دانشکده مهندسی عمران
۷- هرمز فامیلی (مسئول کمیته)	دانشگاه علم و صنعت ایران ـ دانشکده مهندسی عمران
۸- مهدی قالیبافیان	دانشگاه تهران ـ دانشکده فنی

۹- محمود نیلی دانشگاه بوعلی سینا همدان ـ دانشکده فنی

۱۰- سیداکبر هاشمی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

در نگارش این تفسیر علائم متحد الشکل مورد تائید سازمان بین المللی استاندارد (ISO) به کار گرفته و سعی شده است تا حد امکان از واژه های «واژه نامه بتن» که از ضمائم آبا محسوب می‌شود استفاده به عمل آید.

مشخصات و استانداردهای ذکر شده در این تفسیر توسط دفتر امورفنی، تدوین معیارها وکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با حروف (دت) شماره‌گذاری شده اند.

بندها و مواردی که در این تجدیدنظر نسبت به ویرایش قبلی تغییر کرده‌اند با خطی در حاشیه سمت راست متمایز شده‌اند.

فصل دوم و برخی بندهای آیین‌نامه که در این تفسیر جای آنها خالی است دارای تفسیر نمی‌باشند.

معاونت امور فنی علاوه بر گروه کارشناسی که کارتجدید نظر تفسیر بخش اول را به عهده گرفتند،از سرکار خانم مهندس پورسید مدیرکل دفترامورفنی،تدوین معیارها وکاهش خطرپذیری ناشی اززلزله که در هدایت پروژه درراستای اهداف دفتر تلاش نمودند و نیزآقایان مهندس سیداکبرهاشمی و مهندس حمیدرضاخاشعی که ویرایش نهایی متن را انجام دادند تشکر می نماید.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۳

فهرست

تفسیر بخش اول : کلیات، مصالح و مسایل اجرایی

تفسیر فصل اول - کلیات	۱۳
تفسیر فصل سوم – مصالح بتن	۱۷
تفسیر فصل چهارم – فولاد	۷۹
تفسیر فصل پنجم – استانداردهای مشخصات و آزمایشها	۸۷
تفسیر فصل ششم – کیفیت بتن	۱۰۵
تفسیر فصل هفتم – اختلاط بتن و بتن‌ریزی	۱۴۵
تفسیر فصل هشتم – جزییات آرماتوربندی	۱۶۹
تفسیر فصل نهم – ضوابط قالب‌بندی، لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی	۲۰۱
مراجع	۲۱۹
نمایه	۲۲۵

تفسیر بخش اول

کلیات، مصالح و مسایل اجرایی

تفسیر فصل اول

کلیات

۱-۱ هدف

منظور از طرح و آنالیز هر سازه تأمین سه هدف اصلی زیر است :

الف ـ ایمنی، یعنی خدشه‌دار نشدن معیارهای پایداری سازه تحت اثر بارها و سایر عامل‌ها.

ب ـ عملکرد مطلوب، یعنی انجام وظیفه سازه بدون مختل کردن گردش کار پیش‌بینی شده ساختمان.

پ ـ پایائی، یعنی حفظ معیارهای قابلیت بهره‌برداری در طول عمر پیش‌بینی شده.

در فصل دهم آئین‌نامه و تفسیر آن، توضیحات لازم و کافی در این‌باره داده شده است.

۱-۲ دامنه کاربرد

ضوابط و مقررات این آئین‌نامه باید در طرح، محاسبه، اجرا و کنترل کیفیت تمام سازه‌های بتنی مراعات شوند، اما برای سازه‌ها و قطعات ویژه، رعایت ضوابط تکمیل‌کننده ویژه نیز ضرورت دارد.

۱-۳ مبانی طراحی

طراحی سازه‌های بتن آرمه براساس این آئین‌نامه مستلزم شناخت طراح از وظائف سازه و شرایط پیرامونی آن است تا بتواند براساس این شناخت و ضوابط فصل دهم این آئین‌نامه، «حالات حدی» مناسب را در محاسبه منظور نماید.

۱-۴ روش‌های تحلیل

طراح باید متناسب با سازه ای که در دست طرح و تحلیل دارد و با رعایت ضوابط موضوع فصول مختلف مبحث دوم این آئین‌نامه، روش تحلیل مناسب را برگزیند و تلاش‌ها و تغییر شکل‌های موردنظر را به دست آورد.

۱-۵ ضوابط خاص برای تأمین ایمنی در برابر زلزله

طراح باید متناسب با وظایفی که سازه مورد طراحی به عهده دارد، قابلیت جذب و اتلاف انرژی مناسب را، که تحت عنوان «شکل‌پذیری» تعریف شده است، مطابق ضوابط فصل بیستم برای آن تأمین نماید.

۱-۶ واحدها

با توجه به استفاده روزافزون کشورها از سیستم بین‌المللی واحدها (S.I.) در رشته‌های مختلف علوم و فنون در این آیین‌نامه هم از این سیستم واحدها استفاده شده است.

ضرایب تبدیل واحدهای بعضی از کمیت‌های مورد استفاده در آیین‌نامه، از سیستم بین‌المللی به سیستم متریک در جدول ۱-۶ آمده است.

جدول۱-۶ تبدیل واحدها

شرح / کمیت	سیستم S.I.	ضریب تبدیل S.I.به متریک	سیستم متریک(قدیمی)
طول	m	$\times 10^2$	Cm
سطح	m^2	$\times 10^4$	Cm^2
نیرو	N	$\times 0.102$	Kg
بارگسترده	KN/m KN/m^2 (KPa)	$\times 102$ $\times 102$	Kg /m
تنش یا مقاومت	N/mm^2 (MPa)	$\times 10.2$	Kg/Cm^2
لنگر	KN.m	$\times 102$	Kg.m

۱-۷ علائم و اختصارات

در ساختن علائم و اختصارات جدید بر مبنای استاندارد ISO باید تا حداکثر امکان سادگی مراعات شود، به ویژه تا آنجاکه امکان اشتباه و اختلاط مفاهیم به وجود نیاید باید از کاربرد علامت (′) پریم و زیرنویس‌ها (اندیس‌ها)ی مرکب پرهیز گردد.

۱-۸ استانداردها و متون مرتبط با آئین نامه

در این بند از آئین‌نامه، آخرین چاپ مدارک مورد اشاره مدنظر است.

تفسیر فصل سوم

مصالح بتن

❑ ۳-۱ انتخاب و تأیید مصالح

در انتخاب مصالح مصرفی بتن باید همواره روش‌ها و فرآیندهای اجرایی پروژه را در نظر داشت،باین منظور باید مزایای احتمالی فنی و اقتصادی حاصل از مصرف مصالحی که استاندارد آزمایش آنها در این آئین‌نامه گنجانده نشده ، به طور کامل مورد بررسی قرار گیرند.

استفاده از مصالحی که از آنها شناختی کامل وجود ندارد یا در به کار بردن ترکیب‌هایی گوناگون از مصالح، باید اثر متقابل احتمالی مصالح بر هم، اثر شرایط محیطی، و تمامی ضوابط ویژه مربوط به بتن تهیه شده را به دقت بررسی کرد. ممکن است ویژگی‌های اینگونه بتن تفاوتی قابل توجه با بتن ساخته شده ازمصالح متداول داشته باشند. به عنوان مثال سیمان‌های حاوی روباره آهن‌گدازی، سنگدانه‌های غیر معمولی، و مواد افزودنی می‌توانند خواص بتن تازه یا سخت شده را تغییر دهند. عملکرد بتن ساخته شده با اینگونه مصالح و مناسب بودن آنها برای هدف موردنظر باید از طریق اطلاعات قبلی، تجربه یا آزمایش و بررسی شود (به مرجع ۵ رجوع شود).

❑ ۳-۳ سیمان

۳-۳-۱ سیمان‌های پرتلند در انواع مختلف و با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گوناگون، برای هدف‌ها و کاربردهای مختلف تولید می‌شوند. همه این انواع باید شرایط و مشخصات استاندارد را برآورده کنند و خواص آنها باید با استانداردهای مشروح در فصل پنجم مطابقت داشته باشند. کاربرد انواع سیمان‌ها به اختصار به شرح زیر است (به مراجع ۴، ۵، ۳۱، ۳۲، ۴۱ رجوع شود):

الف- سیمان‌های پرتلند

سیمان پرتلند نوع ۱ مصارف عمومی دارد و برای هر کاری که مستلزم ویژگی‌های سایر انواع سیمان نباشد مناسب است. در هر موردی که سیمان یا بتن، تحت اثر شرایط محیطی ویژه مانند حمله سولفات‌های خاک یا آب و ازدیاد دمای ناشی از حرارت آزاد شده از آبگیری نباشد، می‌توان این نوع سیمان را به کار برد. بیشترین مصرف آن در ساختمان‌های بتن آرمه، پل‌ها، جاده‌ها یا پیاده‌روها، و مخازن و منابع، آبروها، لوله‌های آب، و سازه‌های بنایی است. مشخصات این سیمان باید با مشخصات دت ۱۰۱ مطابقت داشته باشد. در استاندارد ایران این سیمان بر حسب مقاومت ۲۸ روزه به سه نوع ۳۲۵-۱، ۴۲۵–۱ و ۵۲۵–۱ طبقه‌بندی شده است.

سیمان پرتلند نوع ۲ در مواردی مصرف می شود که اقدام احتیاطی برای جلوگیری از حمله سولفات‌ها لازم باشد، مانند سازه‌های مجاور آب‌های زیرزمینی که غلظت سولفات در آنها بیشتر از آبهای معمولی است، ولی به میزان غیر عادی شدید نیست (به بند ۶-۳-۳-۳ رجوع شود). این

سیمان همچنین در سواحل خلیج فارس و دریای عمان که حمله هم‌زمان سولفات ها و کلریدها در بتن وجود دارد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

سیمان نوع ۲ گرمای آبگیری را با سرعتی کمتر نسبت به سیمان نوع ۱ آزاد می‌کند. به این ترتیب برای سازه‌های نسبتاً حجیم مانند پایه‌های بزرگ پل‌ها، لوله و دیوارهای حایل سنگین مناسب است. استفاده از این نوع سیمان به علت جلوگیری از افزایش دما در بتن‌ریزی در هوای گرم حایز اهمیتی ویـژه است (به بند ۷-۶-۱ رجوع شود). مشخصات این سیمان باید با مشخصات دت ۱۰۱ مطابقت داشته باشد.

سیمان پرتلند نوع ۳ سیمانی با مقاومت زودرس است و ازآنجاکه در زمانی کوتاه در حدود سه روز یا کمتر می‌تواند مقاومتی بیشتر از مقاومت۷ روزه سیمان پرتلند نوع ۱ را کسب نماید، به سیمان زود سخت شونده نیز موسوم است. این نوع سیمان در مواردی به کار می رود که قالب‌ها باید تا حد امکان زود باز شوند یا سازه باید به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گیرد. این نوع سیمان در سازه‌های ویژه مانند سیلوها که به کمک قالب‌های لغزان اجرا می‌شوند، قابل مصرف است. مصرف آن در بتن‌ریزی در هوای سرد، دوره عمل آوردن کنترل شده بتن را کاهش می دهد (به بند ۷-۶-۳ رجوع شود). هر چند مخلوط‌های پر سیمان حاوی سیمان پرتلند نوع ۱ را نیز می‌توان برای کسب مقاومت زودرس به کار برد، اما در اینگونه موارد با استفاده سیمان پرتلند نوع ۳ مخلوطی رضایت بخش‌تر و با صرفه‌تر به دست می‌آید. استفاده از این نوع سیمان در بتن‌ریزی‌های حجیم مجاز نیست. مشخصات این سیمان باید با مشخصات دت ۱۰۱ مطابقت داشته باشد.

سیمان پرتلند نوع ۴ سیمانی با حرارت‌زایی کم است و در شرایطی که آهنگ و مقدار حرارت تولید شده باید حداقل باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. روند کسب مقاومت این سیمان نسبت به سیمان نوع ۱ آهسته تر است. سیمان پرتلند نوع ۴ در سازه‌های بتنی حجیم، مانند سدهای وزنی بزرگ به کار می‌رود که در چنین سازه‌هایی افزایش دما بر اثر گرمای ایجاد شده از آبگیری سیمان در هنگام سخت شدن بتن، عاملی بحرانی به شمار می‌آید. این نوع سیمان بطور معمول طبق سفارش ویژه تولید می‌شود. مشخصات سیمان نوع ۴ باید با مشخصات دت ۱۰۱ مطابقت داشته باشد.

سیمان پرتلند نوع ۵ سیمانی مقاوم در برابر حمله سولفات‌ها است و در بتن‌هایی که در معرض حمله شدید سولفات‌ها قرار دارند یا وقتی که خاک یا آب‌های زیرزمینی دارای مقدار زیادی سولفات باشند، به کار می‌رود. در مواردی که حمله سولفات‌ها شدید، بسیار شدید، یا فوق‌العاده شدید باشد، استفاده از این سیمان الزامی است (به جداول ۶-۳-۳-۳ رجوع شود). مصرف این سیمان در مناطقی مانند سواحل خلیج فارس و دریای عمان که خطر حمله هم‌زمان سولفات‌ها و کلریدها به بتن وجود دارد، مجاز نیست. مشخصات این سیمان باید با مشخصات دت ۱۰۱ مطابقت داشته باشد.

باید توجه داشت که برای مقابله با حمله سولفات‌ها فقط استفاده از سیمان ضد سولفات کافی نیست و پیش بینی‌های دیگر مانند استفاده از بتنی متراکم با کیفیت عالی و با نسبت آب به سیمان کم ضروری است. در اینگونه موارد، استفاده از افزودنی‌های کاهنده قوی آب، و افزودنی-های حباب‌ساز (که نسبت آب به سیمان را کاهش می‌دهند) و مواد پوزولانی، مواد شبه سیمانی و سیمان‌های آمیخته نیز بسیار موثر است.

جدول‌های ۶-۳-۳-۳-الف تا ۶-۳-۳-۳-ت شرایط کاربرد انواع سیمانهای پرتلند و آمیخته را با حداقل عیار سیمان و حداکثر نسبت آب به سیمان برای بتن هائیکه در معرض حمله متوسط و شدید سولفاتهای آب و خاک قرار دارند، نشان می دهد.

باید خاطر نشان شود که بین مقاومت سیمان در برابر سولفاتها و مقدار سه کلسیم آلومینات (C_3A) موجود در سیمان رابطه ای معکوس وجود دارد. مقدار C_3A برای سیمان پرتلند ضد سولفات نوع ۵ به ۵ درصد و برای سیمان نوع ۲ که در برابر سولفاتها مقاومتی متوسط دارد به ۸ درصد محدود می‌شود. به علاوه شواهدی در دست است که نشان می‌دهد درصد زیاد چهار کلسیم آلومینوفریت (C_4AF) نیز بر مقاومت در برابر سولفاتها اثر منفی دارد. برای سیمان پرتلند نوع ۵ مقدار $C_4AF + 2C_3A$ نباید از ۲۵ درصد تجاوز کند.

باید توجه داشت که استعداد سولفات‌ها از نظر تخریب بتن تابع کاتیون‌های محلول سولفات است که معمول‌ترین آنها کاتیون‌های Ca^{++}، Na^{+}، K^{+}، Mg^{++} می‌باشد. تهاجم سولفات منیزیم در مقایسه با دیگر سولفات‌ها شدت بیشتری دارد زیرا قابلیت حلالیت بیشتری با آب دارد. استعداد تخریب سولفات سدیم بیشتر از سولفات کلسیم است زیرا قابلیت حلالیت آن بیشتر از سولفات کلسیم می باشد. سولفات کلسیم متبلور (SO_4Ca , $2H_2O$) چندان در آب حل نمی‌شود ،ازاین رو تهاجم آن به بتن بستگی به مقدار گچ حل شده در آب در تماس با بتن دارد. نکته بسیار مهم دیگر وجود کلرید در بتن آرمه است که در ایران به ویژه در مناطق جنوبی که آب و هوای گرم مرطوب دارد می‌تواند مشکل‌ساز باشد. هنگامی که از سیمان ضد سولفات (نوع ۵) استفاده می‌شود، ممکن است کم بودن مقدار سه کلسیم آلومینات موجب آزادی عمل کلرید شود که به خوردگی آرماتور منجر می‌گردد. در واقع مطالعات مربوط به پایایی بتن در شرایط محیطی گزندبار نشان داده که با استفاده از سیمان‌های محتوی ۵ تا ۸ درصد سه کلسیم

آلومینات، ترک‌خوردگی ناشی از خوردگی فولاد کمتر از مقداری است که سیمان مصرفی حاوی کمتر از ۵ درصد C_3A باشد زیرا در اثر ترکیب C_3A با یون های کلرید ترکیبی بنام کلرور آلومینات کلسیم یا نمک فریدل (Friedels salt) تشکیل می‌شود که یون‌های کلرید را بصورت غیر قابل حل در آب تبدیل می‌کند. به این ترتیب هنگامی که پایایی بتن در برابر سولفات‌ها و کلریدها بطور هم‌زمان مطرح باشد، استفاده از سیمان پرتلند نوع ۲ با بیش از ۵ درصد C_3A می‌تواند مؤثر واقع شود (به مرجع ۱۶ رجوع شود). تجارب بدست آمده در برخی مناطق خاورمیانه نشان داده هنگامی که بتن در معرض تهاجم شدید سولفات‌های خاک قرار می‌گیرد، استفاده از سیمان ضد سولفات و نیز نگاه داشتن مقدار کل کلرید در حدی بسیار کم در مخلوط بتن ضروری است، ولی با توجه به اینکه با استفاده از سنگدانه‌های موجود محلی ممکن است نتوان کلرید را در مخلوط بتن در حد کم نگاه داشت، در بسیاری موارد به کاربردن سیمانی با مقاومت متوسط در برابر سولفات‌ها (مانند نوع ۲) می‌تواند راه‌حلی مناسب به شمار آید و حفاظت بیشتری را از نظر خوردگی آرماتور ناشی از تهاجم کلریدها تأمین نماید (به مرجع ۳۰ رجوع شود).

با توجه به اینکه پایایی بتن از مشخصه‌های ضروری برای تأمین دوام سازه‌های بتن آرمه به شمار می‌آید، توجه به شرایط خورنده‌ای که در برخی مناطق ایران وجود دارد، طراحی بتن پایا را از اهمیتی ویژه برخوردار می سازد. پایایی بتن و عوامل مؤثر بر آن در فصل‌های ششم و هفتم موردبحث قرارگرفته است.

مشخصات دت ۱۰۱ برای سیمان های پرتلند علاوه بر ویژگی‌های الزامی، ویژگی‌های اختیاری نیز تعیین کرده است که در موارد خاص می‌توان از آنها استفاده کرد. جدول ۳-۳-۱-الف این ویژگیهای اختیاری را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳-۱-الف کاربرد و مشخصات اختیاری سیمان‌های پرتلند *

نوع سیمان پرتلند	کاربرد	مشخصات اختیاری
۱	برای مصارف عمومی	(۴)
۲	برای مصارف عمومی، با حرارت‌زایی متوسط، و خاصیت ضدسولفات متوسط	(۳)، (۴)
۳	برای تسریع در کسب مقاومت	(۱)، (۲)، (۴)
۴	برای حرارت‌زایی کم	(۴)
۵	برای ایجاد مقاومت در برابر حمله شدید سولفات‌ها	(۴)

* سیمان پرتلند منطبق با مشخصات دت ۱۰۱، شامل ویژگی‌های الزامی و اختیاری

(۱) ضد سولفات متوسط با حداکثر سه کلسیم آلومینات ۸ درصد

(۲) ضد سولفات قوی با حداکثر سه کلسیم آلومینات ۵ درصد

(۳) حرارت‌زایی متوسط، حداکثر معادل ۷۰ کالری به ازای یک گرم سیمان، یا ۲۹۰ کیلو ژول به ازای یک کیلوگرم سیمان در ۷ روز، یا کل درصد وزنی سه کلسیم سیلیکات و سه کلسیم آلومینات معادل ۵۸ درصد.

(۴) سیمان با قلیایی کم که حداکثر معادل قلیایی آن بر حسب $(Na_2O + 0.658\ K_2O)$ درحد ۰/۶ درصد است و برای بتنی مصرف می‌شود که واکنش سنگدانه‌های آن با قلیایی‌های سیمان زیاد و یا مخرب باشد.

ب - سیمان پرتلند آمیخته روباره‌ای

سیمان‌های پرتلند روباره ای از سیمان‌های آبی آمیخته به شمار می‌آیند و باید با مشخصات دت ۱۰۲، معادل با استاندارد ایران به شماره ۳۵۱۷، مطابقت داشته باشند. مقدار روباره این سیمان می‌تواند بین ۲۵ تا ۷۰ درصد باشد. سیمان پرتلند روباره‌ای از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر

سیمان پرتلند و روباره دانه شده و یا از مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر روباره، به نسبت‌های تعیین شده در استاندارد بدست می‌آید و برای کارهای عمومی و ویژه ساختمانی مصرف می‌شود.

سیمان پرتلند آمیخته روباره‌ای در سه نوع تهیه می‌شود :

۱- سیمان پرتلند روباره‌ای که حداکثر وزنی روباره آن ۲۵ درصد است.

۲- سیمان پرتلند روباره‌ای ضد سولفات قوی که حداکثر وزنی روباره آن ۲۵ تا ۷۵ درصد است.

۳- سیمان روباره‌ای که بطورعمده از مخلوط کردن کامل و یکنواخت روباره و سیمان پرتلند یا آهک هیدراته و یا هر دو تهیه می‌شود. مقدار وزنی روباره این سیمان بیشتر از ۷۰ درصد است.

این سیمان‌ها هنگام آبگیری از حرارت‌زایی کم تا متوسط برخوردارند و حداکثر حرارت آبگیری ۷ روزه و ۲۸ روزه آنها به ترتیب ۷۰ و ۸۰ کالری به ازای یک گرم سیمان است.

روباره مصرفی برای تهیه سیمان‌های پرتلند آمیخته روباره‌ای، یا سیمان روباره‌ای باید با مشخصات دت ۴۱۰ مطابقت داشته باشد. مشخصات دت ۱۰۲ علاوه بر ویژگی‌های الزامی، ویژگی‌های اختیاری نیز برای این سیمان‌ها تعیین کرده است که در موارد خاص می‌توان از آنها استفاده کرد. با توجه به محدود بودن اطلاعات تجربی در مورد این سیمان‌ها، باید ویژگی‌ها و رفتار آنها براساس عملکرد دراز مدت مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

پ - سیمان پرتلند آمیخته پوزولانی

سیمان‌های پرتلند پوزولانی از سیمان‌های آبی آمیخته به شمار می‌آیند و باید با مشخصات دت ۱۰۳، معادل با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ مطابقت داشته باشند. مقدار پوزولان این سیمان می‌تواند بین ۱۵ تا ۴۰ درصد باشد. سیمان‌های پرتلند پوزولانی از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلنـــد و پوزولان و یا از اختلاط سیمان پرتلند و پودر پوزولان به نسبت‌های تعیین شده در استاندارد تهیه می‌شوند، و برای مصارف عمومی در ساخت بتن یا ملات بکار می‌روند.

پوزولان مصرفی برای تهیه این نوع سیمان‌ها باید با مشخصات دت ۴۰۳ مطابقت داشته باشد.

سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی در دو نوع تولید می‌شوند:

۱- سیمان پرتلند پوزولانی که پوزولان آن حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ درصد وزنی سیمان آمیخته پرتلند پوزولانی را تشکیل می‌دهد.

۲- سیمان پرتلند پوزولانی که درصد وزنی مواد پوزولانی آن بین ۱۵ تا ۴۰ درصد است و دارای مشخصات عمومی زیر می‌باشد:

۲-۱- حرارت آبگیری آن کم است.

۲-۲- در برابر املاح شیمیایی مقاوم است.

۲-۳- مقاومت فشاری اولیه (تا سه روز) آن کم است.

بطور کلی مقاومت سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی قبل از ۲۸ روز نسبت به سیمان‌های پرتلند فاقد پوزولان کمتر است. در صورت کاهش مقدار سیمان ناشی از مصرف مواد پوزولانی باید تغییرات مقاومت و پایایی آن مورد آزمایش و بررسی قرار گیرد. اگر مقاومت زیاد در روزهای

اولیه مورد نیاز نباشد می‌توان از سیمان‌های پوزولانی در اجرای سازه‌هائی نظیر شالوده‌های حجیم، سدها، و پایه‌های پل‌ها، استفاده کرد. ویژگی و رفتار سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی باید بر اساس عملکرد دراز مدت آنها مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

مطابق مشخصات دت ۱۰۳، علاوه بر ویژگی‌های الزامی، ویژگی‌های اختیاری نیز برای این سیمان‌ها تعیین شده است که در موارد خاص می‌توان از آنها استفاده کرد.

ت - سیمان پرتلند آمیخته آهکی (پ - آ)

این سیمان، از خانواده سیمان پرتلند است که حاوی ۶ تا ۲۰ درصد سنگ آهک ویژه همراه با درصد مناسبی سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور)، و حداقل ۸۰ درصد کلینگر سیمان پرتلند می‌باشد.

سیمان پرتلند آهکی در تهیه ملات و بتن، و در تمامی مواردی که سیمان پرتلند نوع یک مصرف می‌شود کاربرد دارد. حرارت آبگیری این سیمان نسبت به سیمان پرتلند نوع یک کمتر است. حفظ و نگهداری آب با مصرف سیمان پرتلند آهکی در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی بیشتر است ،این امر موجب بهبود کارآئی و قابلیت پمپ شدن بتن ساخته شده با آن می‌گردد.

ویژگی های این سیمان باید با دت ۱۲۹ و مشخصات استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۲۰ مطابقت داشته باشد.

ث – سیمان‌های متفرقه

علاوه بر سیمان‌های مذکور، انواع دیگری از سیمان به شرح زیر وجود دارند که برای مصارف ویژه می‌توان از آنها استفاده کرد.

۱- سیمان پرتلند سفید که در نماسازی ، پانل‌های پیش ساخته و دیگر موارد خاص معماری کاربرد دارد و معمولاً دارای همان مشخصات سیمان نوع ۱ یا ۲ پرتلند به شرح دت ۱۰۱ می‌باشد.

۲- سیمان منبسط شونده مطابق مشخصات دت ۱۰۴ که برای ایجاد انبساط جزئی طی روزهای اولیه فرآیند آبگیری سیمان و به منظور جبران اثر جمع‌شدگی و کاهش ترک‌های ناشی از خشک شدن بتن مصرف می‌شود.

۳- سیمان بنایی که مطابق با مشخصات دت ۱۳۰ می باشد و شرایط مصرف آن در دت ۱۳۱ ارائه شده است. این سیمان نباید در اعضا و قطعات بتن آرمه مصرف شود.

در مورد انواع مختلف سیمان‌ها و خواص آنها می‌توان به مراجع ۳۳، ۴۳، ۴۴ مراجعه کرد.

☐ ۳-۴ سنگدانه‌ها

۳-۴-۱ سنگدانه‌ها اغلب ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را اشغال می‌کنند ،از این رو می‌توان انتظار داشت که اثری بسزا بر ویژگی‌های بتن داشته باشند. در جدول ۳-۴، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن بر حسب ویژگی‌های سنگدانه‌ها خلاصه شده‌اند. همانطور که از این جدول بر می‌آید، کیفیت سنگدانه‌ها اثری مستقیم بر مقاومت، پایائی و سایر خواص بتن دارد. برای اطلاعاتی جامع‌تر در مورد سنگدانه‌ها، می‌توان به مراجع ۳۱، ۴۰ و۴۱ رجوع کرد. برای حصول نتایج مطلوب، سنگدانه‌های مصرفی باید با استانداردهای معتبر مطابقت داشته باشند. همچنین باید تمیز، سخت، مقاوم، پایا، فاقد مواد شیمیائی جذب شده، پوشش‌های رسی و مواد ریز دیگر بحدی که بر آبگیری و چسبندگی خمیر سیمان اثر منفی گذارند، باشند. دانه‌هائی که ترد و شکننده یا پولکی و سوزنی باشند، مناسب نیستند. از مصرف دانه‌های حاوی مقدار زیادی شیل

یا سایر سنگ‌های رسی، سنگدانه‌های نرم یا سست و متخلخل و برخی از انواع چرت‌ها باید خودداری کرد. استفاده از اینگونه سنگدانه‌ها به خرابی‌های سطحی بتن مانند بیرون پریدگی منجر می‌شود.

شناخت مواد تشکیل دهنده سنگدانه‌ها به تنهائی نمی‌تواند ملاک پیش‌بینی رفتار آنها در زمان بهره‌برداری باشد. اغلب می‌توان با مشاهدات عینی به نقاط ضعف سنگدانه‌های درشت پی‌برد. سابقه عملکرد سنگدانه‌ها در ارزیابی آنها بسیار با ارزش است. آزمایش سنگدانه‌ها باید طبق استاندارد مربوط انجام گیرد.

جدول ۳ ـ ۴ ـ ارتباط ویژگی‌های بتن با ویژگی‌های سنگدانه

ویژگی بتن	ویژگی سنگدانه
پایائی : - مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن - مقاومت در برابر تر و خشک شدن - مقاومت در برابر گرمایش و سرمایش - مقاومت به سایش - واکنش قلیائی با سنگدانه	سالم بودن، تخلخل، ساختار حفره‌ای، نفوذپذیری، درجه اشباع، مقاومت کششی، بافت و ساختار ، موادمعدنی رسی ساختار حفره ای، مدول ارتجاعی ضریب انبساط حرارتی سختی وجود ترکیبات خاص سیلیسی یا کربناتی
مقاومت	مقاومت، بافت سطحی، تمیزی، شکل دانه، حداکثراندازه، دانه‌بندی
تغیرشکل های وابسته به زمان	مدول ارتجاعی، شکل دانه، دانه‌بندی، تمیزی، حداکثر اندازه، مواد معدنی رسی
ضریب انبساط حرارتی	ضریب انبساط حرارتی، مدول ارتجاعی
هدایت حرارتی	هدایت حرارتی
گرمای ویژه	گرمای ویژه
وزن مخصوص	چگالی، شکل دانه، دانه‌بندی، حداکثر اندازه
مدول ارتجاعی	مدول ارتجاعی، نسبت پواسون
لغزندگی	پرداخت‌پذیری
جنبه اقتصادی	شکل دانه، دانه بندی، حداکثر اندازه، مقدار فرایندهای مورد نیاز برای اصلاح و بهسازی دانه‌ها، دسترسی

دانه‌ها را می‌توان بر اساس چگالی طبقه‌بندی کرد. چگالی اشباع با سطح خشک شده دانه‌های معمولی بین ۲۴۰۰ تا ۲۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. سبکدانه‌ها ساختاری متخلخل و چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب دارند. با استفاده از دانه‌های حاوی روباره، رس و شیل منبسط شده می‌توان بتن‌هائی با چگالی حدود ۲۵۰ تا ۱۴۵۰ کیلو گرم بر متر مکعب بدست آورد. دانه‌های سنگین چگالی بیشتر از ۳۰۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب دارند. با دانه‌های سنگین مانند باریت و هماتیت می‌توان بتن سنگین وزن ساخت. علاوه بر این طبقه‌بندی، سنگدانه‌ها را می‌توان براساس مواد تشکیل دهنده (کانی‌ها)، دانه‌بندی، روش تولید (طبیعی یا مصنوعی)، شکل (تیزگوشه، غلتیده، پولکی، سوزنی و کشیده)، بافت سطحی (زبر یا صاف)، مقاومت، پایائی و سایر موارد نیز طبقه‌بندی کرد (به مراجع ۱و۵ مراجعه شود).

۳-۴-۳ باید توجه داشت سنگدانه‌هائی که با مشخصات این آئین‌نامه یا سایر استانداردها مطابقت داشته باشند (به فصل پنجم رجوع شود)، همیشه بطور اقتصادی در دسترس نیستند. ممکن است بتوان مصالحی را یافت که بدون مطابقت با برخی از ویژگی‌های این استانردها، سابقه طولانی عملکرد رضایت‌بخش داشته باشد. بنابراین به شرط ارائه مدرکی قابل قبول ازعملکرد رضایت بخش اینگونه مصالح، مصرف آنها با تائید دستگاه نظارت بلامانع است. نباید فراموش کرد که عملکرد رضایت‌بخش در گذشته، تضمینی بر عملکرد خوب سنگدانه‌ها در سایر شرایط و مناطق محسوب نمی‌شود.

۳-۴-۴ محدودیت‌های اندازه سنگدانه‌ها در بتن آرمه بدین‌منظور است که بتن به گونه‌ای مطلوب میلگردها را در بر گیرد، پیوستگی لازم را ایجاد نماید واحتمال کرمو شدن بتن را به حداقل برساند.

در مورد حداکثر اندازه دانه‌ها باید توجه داشت که هر قدر دانه مصرفی درشت‌تر باشد، سطح ویژه آن کاهش می‌یابد. با ازدیاد حداکثر اندازه دانه‌ها، مقدار آب لازم در طرح مخلوط بتن برای دستیابی به کارائی ثابت کم می‌شود. بنابراین برای حفظ کارائی در حد موردنظر، می توان نسبت آب به سیمان را کم کرد تامقاومت زیاد شود. آزمایش‌ها نشان داده است که در صورت تجاوز اندازه دانه‌ها از حدود ۳۸ میلی متر مزیتی از نظر مقاومت ایجاد نمی‌شود. علاوه بر آن مصرف سنگدانه‌های بزرگتر، کارهائی نظیر نقل و انتقال و انباشتن مصالح را مشکل می‌کند و احتمال جدا شدگی دانه‌ها را در انباشتن سنگدانه و مخلوط بتن افزایش می‌دهد. برای اندازه‌های بزرگتر حتی شکستگی دانه‌ها هم می‌تواند روی دهد، که برای جلوگیری از آن باید روش‌های مناسب برای نقل و انتقال برگزید. اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌های فشاری بتن‌های ساخته شده با سنگدانه‌های بسیار درشت (بزرگتر از ۱۰۰ میلی متر) نتایج چندان روشنی نشان نمی‌دهند و بدلیل محدودیت در اندازه آزمونه‌های آزمایشی، نتایج بدست آمد ه بسیار پراکنده و متناقض‌اند (به مراجع ۳۵ و ۴۱ رجوع شود).

۳-۴-۵ مواد زیان آور در سنگدانه‌ها

۳-۴-۵-۱ کلیات

ممکن است در سنگدانه‌ها مواد زیان‌آوری مانند ناخالصی‌های آلی، لای، رس، زغال‌سنگ و مواد زغالی، و برخی مواد سبک و سست موجود باشد. بعضی از سنگ‌ها و مواد معدنی، از قبیل برخی

از چرت‌ها و سنگ آهک‌های دولومیتی، از خود واکنش قلیائی نشان می‌دهند. اکثر استانداردها، مقادیر مجاز آینگونه مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها را محدود کرده‌اند. سابقه عملکرد سنگدانه‌ها را باید عاملی تعیین کننده در مشخص کردن حدود مواد زیان‌آور بشمار آورد. در جدول ۳-۴-۵ مواد زیان آور در سنگدانه‌ها و اثر آنها بر ویژگی‌های بتن و روش‌های آزمایش آنها خلاصه شده‌اند. برخی از روش‌های آزمایش این جدول، در جداول ۳-۴-۵-۲ و ۳-۴-۵-۳ در متن آئین‌نامه نیز ذکر شده‌اند (به مراجع ۳۱، ۴۰، ۳۳ و ۳۵ رجوع شود).

جدول ۳-۴-۵ مواد زیان‌آور سنگدانه‌ها

مواد زیان‌آور	ویژگی‌های تاثیر پذیر بتن و اثر نهائی	روش آزمایش
ناخالصی‌های آلی	گیرش سیمان و روند کسب مقاومت، خرابی احتمالی	دت ۲۱۶ و دت ۲۱۷
مواد ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی متر)	چسبندگی، افزایش مقدار آب لازم، پایائی	دت ۲۱۸
زغال سنگ، لیگنیت و سایر مصالح سبک	پایائی، لکه‌دار شدن و بیرون پریدگی در برخی قسمت‌ها	دت ۲۱۹
دانه های نرم	مقاومت، پایائی	دت ۲۲۳
کلوخه‌های رسی و دانه های سست	مقاومت، پایائی، کارآئی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت‌ها	دت ۲۲۱
چرت‌هائی که براحتی از هم پاشیده می‌شود (چگالی کمتر از ۲/۳۵)	مقاومت، پایائی، بیرون پریدگی احتمالی بعضی قسمت‌ها	دت ۲۱۹ و دت ۲۰۵
سنگدانه‌های وکنش زا با قلیائی‌ها	انبساط غیر عادی، ترک‌های ریز سطحی، پایائی، بیرون پریدگی بعضی قسمت‌ها	دت ۲۲۴ و دت ۲۲۶و دت ۲۰۵ و دت ۲۲۷ و دت ۲۲۸

سنگدانه‌ها در صورتی زیان‌آور تلقی می‌شوند که نتایج زیر را ببار آورند:

الف ـ تغیرات زیاد در حجم خمیر سیمان، سنگدانه و یا هردو

ب ـ مزاحمت در روند گیرش سیمان

پ ـ ایجاد فرآورده‌های زیان‌آور

ت ـ کاهش مقاومت

ث ـ کاهش پایائی

ناخالصی‌های آلی ممکن است گیرش و سخت شدن بتن را به تاخیر اندازند، روند کسب مقاومت را دگرگون سازند، و برخی حالت‌های غیر عادی خرابی را ببار آورند. می‌توان ناخالصی‌های آلی را با شستن کاهش داد.

در صورت انجام آزمایش دت ۲۱۷ نسبت مقاومت ۷ روزه ملات ساخته شده با مصالح مشکوک به ملات ساخته شده با مصالح شسته شده با سود سوزآور ۳ درصد نباید از ۹۵ درصد کمتر باشد.

مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰، بویژه لای و رس، ممکن است بصورت پودر بسیار نرم در دانه‌ها وجود داشته، و یا بصورت پوششی روی سنگدانه‌ها را گرفته باشد. حتی پوشش نازکی از لای و رس روی دانه‌های شن می‌تواند زیانبار باشد، زیرا چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه‌های درشت را تقلیل می‌دهد. وجود بیش از حد برخی انواع لای و رس از قبیل رس منبسط شونده و بنتونیت می‌تواند مقدار آب لازم را به میزانی قابل توجه افزا یش دهد. وجود پودر سنگ ناشی از شکستن سنگدانه‌ها معمولا اثر زیانبار قابل ملاحظه‌ای را باعث نمی‌گردد.

وجود زغال‌سنگ یا لیگنیت، یا سایر مصالح سبک مانند چوب اثر منفی بر پایائی بتن دارد. وجود این ناخالصی‌ها روی سطح بتن یا در نزدیکی آن می‌تواند موجب متلاشی شدن، بیرون پریدگی، یا لکه‌دار شدن آن شود.

وجود دانه‌های نرم در سنگدانه‌های درشت مشکل‌ساز است، زیرا بر پایائی و مقاومت بتن در برابر سایش اثر منفی دارد و موجب بیرون پریدگی قسمت‌هائی از بتن می‌شود. اگر این ذرات، سست باشند ممکن است در حین اختلاط خرد شوند و در نتیجه مقدار آب لازم افزایش یابد. در مواردی مانند کف‌های پرتردد که مقاومت در برابر سایش جنبه بحرانی داشته باشد، ممکن است نتایج آزمایش‌ها بر لزوم بررسی بیشتر دلالت کنند.

کلوخه‌های رسی موجود در بتن، ممکن است مقداری از آب اختلاط را جذب کنند، موجب بیرون پریدگی بعضی قسمت‌های بتن سخت شده شوند و بر پایائی و مقاومت دربرابر سایش اثر منفی گذارند. این کلوخه‌ها ممکن است در حین اختلاط خرد شوند، که در این صورت مقدار آب لازم برای اختلاط افزایش می‌یابد.

ممکن است سنگدانه‌ها حاوی اکسید آهن یا سولفور آهن باشند، درنتیجه روی سطح بتن‌های نمایان، لکه‌هائی بد منظر بوجود می‌آید. در ظاهر معدن و توده سنگدانه‌ها نباید آثار لک‌زدگی دیده شود.

سنگدانه‌هائی که در بتن از نظر شیمیائی خنثی می‌باشند، واکنش شیمیائی با سیمان نخواهند داشت. دانه‌هائی که دارای برخی مواد معدنی باشند، با قلیائی‌های سیمان (Na_2O , K_2O) واکنش نشان می‌دهند، به ویژه زمانی که بتن در معرض گرما و رطوبت باشد. اینگونه واکنش‌های قلیائی سنگدانه‌ها می‌تواند موجب انبساط غیرعادی و ترک‌خوردگی ریز سطحی در بتن شود. در مصرف سنگدانه‌های واکنش‌زا، می‌توان با محدود کردن میزان معادل قلیائی

سیمان ($Na_2O + 0.658\ K_2O$) در حد ۰/۶ درصد، خرابی را به حداقل رساند. این محدودیت در دت ۱۰۱ ارائه شده است. در اینگونه موارد، افزودن برخی مواد پوزولانی سودمند خواهد بود. مقدار و نوع مواد پوزولانی افزوده شده باید مطابق مشخصات برای هر نوع خاص مخلوط بتن تعیین شود. کاهش رطوبت و نفوذپذیری بتن نیز می‌تواند بروز این پدیده را به تاخیر اندازد. وجود کانی‌های واکنش‌زا در سنگدانه‌هائی که از پایائی کافی برخوردار باشند بی‌ضرر تلقی می‌شوند، بشرطی که سیمانی با معادل قلیائی کمتر از ۰/۶ و ترجیحاً ۰/۴ درصد بکار رود، و حداقل ۱۵ درصد وزنی سیمان با مواد پوزولانی جایگزین شود که در عمل توانائی آن در جلوگیری از خسارات ناشی از واکنش‌های قلیایی سنگدانه‌ها ثابت شده باشد. بطور کلی استفاده از اینگونه سنگدانه‌های واکنش‌زا توصیه نمی‌شود (به مرجع ۳۵ رجوع شود).

جایگزین کردن حدود ۳۰ درصد از سنگدانه‌های واکنش‌زا با سنگدانه‌های آهکی، می‌تواند در جلوگیری از خرابی بتن مؤثر باشد.

میزان انبساط بالقوه این نوع ترکیبات قلیایی سیمان و سنگدانه‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری تغییر طول ملات منشوری در دما و رطوبت مشخص بر اساس استانداردهای دت ۲۲۸ یا دت ۲۲۴ و دت ۲۲۵ تعیین کرد.

ممکن است برخی سنگدانه‌های واکنش‌زا موجب بیرون پریدگی قسمتی از بتن در اثر واکنش‌های قلیایی سیلیسی شوند. دربیشترموارد سوابق عملکرد در کارگاه بهترین اطلاعات را برای انتخاب سنگ‌دانه بدست می‌دهد. اگر سابقه عملکردی از سنگ‌دانه در دست نباشد و تردیدی در سالم بودن آن از نظر واکنشزائی بوجود آید، در ابتدا انجام آزمایش‌های شیمیائی و سنگ‌نگاری توصیه می‌شود. برای قضاوت نهائی می‌توان از آزمایش‌های انبساط ملات یا منشور بتن استفاده نمود.

باید توجه داشت سنگدانه‌هائی که کم و بیش قابل قبول بنظر می‌رسند ممکن است حاوی مواد معدنی واکنش‌زا باشند، یکی از روش‌های مهندسی قابل قبول برای تعیین میزان خطرپذیری انبساط ناشی از سنگدانه‌ها توجه به سوابق عملکرد آنها همرا با نتایج آزمایشگاهی است. میزان خطرپذیری مذکور ممکن است مصرف نوع دیگری از سنگدانه‌ها را ایجاب کند، یا نشان دهدکه می توان همان سنگدانه‌ها را با احتیاط‌های لازم به کار برد. بهرحال سوابق عملکرد سنگدانه‌ها در کارگاه، مهم‌ترین ملاک قضاوت است.

۳-۴-۵-۲ ماسه‌های ساحلی بطورمعمول درصد زیادی کلرید دارند و مصرف آنها در بتن مسلح مجاز نیست. اینگونه ماسه‌ها پس از شستشو ممکن است قابل پذیرش باشند، مشروط بر اینکه مقدار کل یون کلرید در بتن آرمه از مقادیر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ تجاوز نکند. اگر شستشو بخوبی انجام گیرد، کلرید به مقدار زیاد از بین می‌رود. باید توجه داشت هر چند شستشو، کلرید ماسه را تقلیل می‌دهد، ولی اثر چندانی بر سولفاتهائی با قابلیت انحلال کم (مانند سنگ گچ) نخواهد داشت.

شستن بیش از حد سنگدانه‌های ریز بدلیل کاهش مواد ریزدانه (لای و رس) توصیه نمی‌شود، زیرا حذف ذرات ریزتر از ۰/۳ میلی متر بعلت شستشوی بیش ازحد موجب زبری مصالح و افزایش مصرف سیمان در بتن می‌گردد.

۳-۴-۵-۳ در صورتی که مقدار ذرات گذشته از الک شماره ۲۰۰ بیش از حد مجاز باشد اما بتوان نشان داد مقدار این ذرات در کل سنگدانه‌های بتن از حد مجاز کمتر است می توان با

تأیید دستگاه نظارت آن را مصرف نمود. مشروط بر اینکه ذرات مزبور به سطح سنگدانه‌های درشت نچسبیده باشد (به دت ۲۰۱ مراجعه شود).

۳-۴-۵-۴ وجود دانه‌های پولکی، سوزنی و کشیده و طویل در سنگدانه های ریز و درشت می‌تواند به افزایش آب اختلاط، کاهش کارآئی و تراکم‌پذیری در بتن تازه منجر شود. همچنین این دانه ها در بتن سخت شده می‌تواند باعث کاهش مقاومت و پاپایی گردد. بهرحال بدلیل مشکل تعیین میزان دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های ریز، این محدودیت‌ها صرفاً برای سنگدانه‌های درشت ارائه شده است.

❑ ۳-۵-آب

بطورمعمول آبی را که طبق استانداردهای معتبر قابل آشامیدن بوده و مزه و بوی مشخصی نداشته باشد، می‌توان بعنوان آب اختلاط در ساخت بتن و هم چنین برای عمل‌آوری بکار برد. با این حال ممکن است این حکم در بعضی موارد صحیح نباشد. بر عکس در برخی موارد آب غیر آشامیدنی برای استفاده در بتن رضایت‌بخش محسوب می‌شود. در ارزیابی آب اختلاط اثر ناخالصی‌های آب بر کیفیت بتن و مقدار ناخالصی‌های مجاز آب باید بررسی شود. هرگاه کیفیت آب مورد تردید باشد، باید آن را مورد آزمایش شیمیائی قرار داد. بعلاوه آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی باید طبق دت ۱۱۹، دت ۱۱۳، دت ۱۲۳ مندرج در بندهای ۳-۵-۲-۲ الی ۳-۵-۲-۴ انجام پذیرد. آثار نامطلوب، اغلب در سنین اولیه آشکار نمی‌شوند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد آب مصرفی بتن به مراجع ۴، ۶، ۳۱، ۳۴ و ۴۰ رجوع شود.

ناخالصی‌های آب اختلاط ممکن است بر زمان گیرش، مقاومت بتن و ثبات حجمی آن اثر گذارد، و موجب شوره‌زدن یا خوردگی آرماتور شود. باید تا حد امکان، از مصرف آبی که غلظت مواد محلول آن زیاد است خودداری کرد.

برای ارزیابی قابلیت پذیرش میزان مواد زیان‌آور برای بتن و فولاد، باید املاح و سایر مواد زیان‌آور موجود در سنگدانه‌ها، مواد افزودنی، سیمان و آب را به صورت تجمعی منظور نمود.

۳-۵-۱ نا خالصی های آب اختلاط و عمل‌آوری می‌توانند اثر منفی بر کیفیت بتن داشته باشند. نام برخی از انواع مواد زیان‌آور، حداکثر مجاز آنها و اثرهایشان بر ویژگی‌های بتن در جدول ۳-۵-۱-الف ارائه شده است.

جدول ۳-۵-۱- الف برخی مواد زیان‌آور آب، حداکثر مجاز و اثر آنها بر بتن

مواد زیان آور	حداکثر مجاز غلظت (قسمت در میلیون)	اثر بر ویژگیهای بتن
کربنات‌ها	۱۰۰۰	کاهش زمان گیرش، دوام و مقاومت
بی‌کربنات‌ها	۴۰۰ تا ۱۰۰۰	کاهش زمان گیرش، دوام و مقاومت
فسفات‌ها، آرسنات‌ها و برات‌ها	۵۰۰	افزایش زمان گیرش
نمک‌های روی، مس، سرب، منگنز و قلع	۵۰۰	افزایش زمان گیرش
سولفور سدیم	۱۰۰	لزوم آزمایش بتن

اثر ناخالصی‌های مختلف آب بر بتن بطور خلاصه در زیر تشریح شده است (به مراجع ۳۱ و ۴۰ رجوع شود).

ذرات جامد معلق :

ذرات جامد معلق بیشتر از مقادیر مجاز جدول ۳-۵-۱-الف ممکن است اثری بر مقاومت نداشته باشد، لیکن سایر خواص برخی از مخلوط‌های بتن را تحت تأثیر قرار خواهد داد. آب گل آلود را باید قبل از مصرف، از حوضچه‌های ته‌نشینی عبور داد یا به روش دیگری تصفیه کرد تا مقدار لای ورس آن کاهش یابد.

مواد محلول :

هر نوع آب را با مواد محلول کمتر از مقادیر مجاز جدول ۳-۵-۱ می توان در ساخت بتن رضایت بخش تلقی کرد. آبی که حاوی مواد محلول بیش از حد مجاز باشد، بر مقاومت و زمان گیرش بتن اثر می‌گذارد.

خزه‌ها :

آب خزه‌دار برای ساختن بتن مناسب نیست، زیرا خزه‌ها می‌توانند با تأثیر بر فرآیند آبگیری سیمان، یا ایجاد مقدار زیادی هوا در بتن، مقاومت را کاهش دهند. خزه‌ها ممکن است روی سنگدانه‌ها چسبیده باشند که در این صورت، چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه‌ها کاهش می‌یابد.

کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها :

کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های سدیم و پتاسیم بر زمان گیرش سیمان‌های گوناگون اثرهای متفاوتی دارند. کربنات سدیم می‌تواند گیرش را بسیار تسریع کند. ولی اغلب بی‌کربنات‌ها می‌توانند گیرش را سریع یا کند سازند. وجود این نمک‌ها با غلظت زیاد می‌توانند مقاومت بتن را کاهش دهند. هرگاه کل نمک‌های محلول از ۱۰۰۰ قسمت در میلیون تجاوز کند، باید آزمایش‌هائی برای تعیین اثر آنها بر زمان گیرش و مقاومت انجام پذیرد.

کربنات‌های کلسیم و منیزیم در آب چندان محلول نیستند، و غلظت آنها معمولاً در حدی نیست که بر مقاومت بتن تأثیر داشته باشند. در برخی آبها ممکن است بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم وجود داشته باشند، که تا حد ۴۰۰ قسمت در میلیون زیانی در بر ندارند.

کلریدها :

بیشترین نگرانی در مورد مقدار زیاد کلریدها در آب، به اثر زیان آور کلرید برخوردگی میلگردها یا کابل‌های پیش تنیدگی مربوط می‌شود. به همین دلیل برای بتن بدون آرماتور می‌توان مقدار بیشتری از کلرید رادر آب مجاز دانست. یون کلرید به قشر محافظ روی میلگردها، که در محیط بتن با درجه قلیائی زیاد تشکیل می‌شود، حمله می‌کند. کلریدها می‌توانند توسط هر یک از مواد اختلاط، مانند افزودنی‌ها، سنگدانه‌ها، سیمان و آب یا از طریق نمک‌های یخزدا یا آب دریا وارد بتن شوند و با توجه به تعدد منابع ورود کلرید به بتن، تعیین حداقل قابل قبول برای مقدار کلریدها در هر یک از مواد تشکیل دهنده از قبیل آب اختلاط، دشوار است. ولی بهر حال این حد قابل قبول در بتن بستگی به کیفیت بتن و چگونگی مجاورت آن باهوا، خاک، یا آب دریا و

نیز میزان اهمیت مشارکت آب اختلاط در مقدار کل کلرید دارد. محدویتهای مقدار کلرید در جدول ۶-۳-۳-۶ داده شده است (به مرجع ۳۴ رجوع شود).

سولفات‌ها :

آبی که از نظر مقدار سولفات‌ها مورد تردید باشد باید آزمایش شود. هر آبی که سخت و تلخ مزه باشد باید از نظر داشتن سولفات‌ها با غلظت زیاد مشکوک تلقی شود (به مرجع ۳۴ رجوع شود).

نمک‌های متفرقه :

نمک‌های روی، مس، سرب، منگنز و قلع نیز می‌توانند با حضور در آب موجب کاهش قابل توجه مقاومت و تغیرات زیاد زمان گیرش شوند. از این میان، نمک‌های روی، مس و سرب بیشترین اثر را دارند. نمک‌های دیگرنیز مانند یدید سدیم، فسفات سدیم، آرسنات سدیم و برات سدیم کندگیرهائی فعال بشمار می‌آیند. این نمک‌ها در غلظتی حدود چند دهم درصد وزنی سیمان، گیرش و کسب مقاومت بتن را بسیار کند می‌کنند. عموماً غلظت این نمک‌ها در آب بتن تا حدود ۵۰۰ قسمت در میلیون قابل قبول است.

سولفور سدیم از نمک‌هائی است که می‌تواند برای بتن زیان‌آور باشد. وجود حتی ۱۰۰ قسمت در میلیون از این نمک، انجام آزمایش‌های تائید آب را الزامی می‌کند.

آب دریا :

آب دریا اغلب حاوی کلریدها و سولفات‌های سدیم و منیزیم است. چند نمونه از نمک‌های آب دریا و مقادیر آنها در جدول ۳-۵-۱-ب ارائه شده اند. اگرچه بتن ساخته شده با آب دریا

می‌تواند گیرشی سریع‌تر از بتن معمولی و مقاومت اولیه‌ای بیشتر از آن داشته باشد، ولی مقاومت آن در سنین بعد از ۲۸ روز ممکن است نسبت به بتن معمولی کمتر شود. مقاومت اولیه زیاد در واقع بدلیل اثر تسریع کننده یون کلرید است. ولی مقدار زیاد سولفات، بلوری شدن سولفو آلومینیات کلسیم در خمیر سیمان را به تاخیر می‌اندازد و در نتیجه مقاومت ۲۸ روزه را تقلیل می‌دهد. در صورت مصرف آب دریا می‌توان کاهش حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد مقاومت فشاری را انتظار داشت. بهر حال استفاده از آب دریا در بتن آرمه مجاز نیست.

جدول ۳-۵-۱-ب نمک‌های موجود در آب دریا بطور نمونه بر حسب ppm

نام املاح		مقدار غلظت (قسمت در میلیون)
کلریدسدیم	$(NaCl)$	۲۷۰۰۰
کلریدمنیزیم	$(MgCl_2)$	۳۲۰۰
سولفات منیزیم	$(MgSo_4)$	۲۲۰۰
سولفات کلسیم	$(CaSo_4)$	۱۱۰۰
کلرید کلسیم	$(CaCl_2)$	۵۰۰
کل نمک‌های محلول		۳۴۰۰۰

۳-۵-۲ تقریباً هر نوع آب قابل آشامیدن طبق استانداردهای معتبر و بدون مزه و بوی خاص را می‌توان بعنوان آب اختلاط در ساخت و عمل‌آوری بتن بکار برد. آب‌هائی را که سابقه عملکرد شناخته شده‌ای ندارند، تنها در صورتی می‌توان در تهیه بتن بکار برد که نمونه‌های مکعبی ساخته شده با آنها، مقاومت‌های ۷و ۲۸ روزه‌ای حداقل معادل ۹۰ درصد نمونه‌های نظیر ساخته شده با آب مقطر را نشان دهند. تهیه و آزمایش این نمونه‌ها باید با مشخصات دت ۱۱۹ مطابقت

داشته باشد.بطور معمول آزمایش‌های ملات و خمیر سیمان زمانی ضرورت می‌یابد کـه سابقه‌ای کافی از آب مورد نظر در دست نباشد، یا هـیچ نتیجـه رضـایت‌بخـش از آزمـایش شـیمیائی آن بدست نیامده باشد.

۳-۵-۳ مقدار pH آب تنها شدت حالت اسیدی یا بازی بودن را بیان می‌کند و لزوماً نمی‌توانـد واکنش اسیدی یا بازی را نشان دهد (به آب‌هـای اسـیدی و آب‌هـای قلیـائی در جـدول ۳-۵-۱ رجوع شود). ولی بهرحال باید حدودی بـرای مقـدار pH آب قایـل شـد. ایـن مقـدار در مراجـع مختلف بین ۵ تا ۸/۵ داده شده است. روش آزمایش pH بر نتیجه حاصله تـاثیر مـی‌گـذارد (بـه مراجع ۳۰ و ۳۱ رجوع شود) .

☐ ۳-۶ مواد افزودنی

۳-۶-۱ تعریف

مواد افزودنی را نباید با مواد مضاف ویاافزونه ها اشتباه کرد. ماده مضاف ماده‌ای است که برای کسب خواصی ویژه یا به منظور کمک به امر تولید، با سیمان پرتلندو یا کلینکر آن در حین تولیددرکارخانه آسیاب می‌شود. برای مثال، به منظور تولیدسیمان پرتلند آمیخته درصد معینی از روباره یا پوزولان (۵ تا ۷۰ درصد) که مواد مضاف معدنی نام دارند در کارخانه و در موقع آسیاب کردن به سیمان افزوده می‌شود، در حالی که ماده افزودنی به مقدار کم در زمان اختلاط بتن با مصالـح و اجزاء متشکلـه آن مخلوط می‌گردد،وزن ماده افزودنی درنسبت های اختلاط دخالت داده نمی شود.

موادی همچون میکروسیلیس را که برای اصلاح خواص بتن درکارگاه هنگام اختلاط به موادمتشکله بتن اضافه می شوند،افزونه می نامند،مقداراین مواددرتعیین نسبت های اختلاط بحساب می آیند.

۳-۶-۲ کلیات

از آنجا که ممکن است ادعاهای تولیدکنندگان مواد افزودنی در مورد ویژگی‌های آنها بطور کلی یا لااقل در پروژه موردنظر کاملاً صحیح نباشد و یا مصرف ماده افزودنی معینی که بعضی از خواص بتـــن را بهبود می‌بخشد اثری سوء بر سایر خواص آن داشته باشد، هر نوع ماده افزودنی باید قبل از مصرف آزمایش شود و به تأیید دستگاه نظارت برسد. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به مراجعی مانند ۱۴، ۱۵، ۳۳، ۴۳ رجوع کرد.

باید توجه داشت که بتن باید از کارآیی، مقاومت، قابلیت پرداخت، پایایی و توان آب‌بندی برخوردار باشد، این خواص را می‌توان با انتخاب مصالح مناسب و نسبت‌های مطلوب اختلاط و رعایت صرفه اقتصادی بدون کاربرد مواد افزودنی بدست آورد. اما امروزه برای تسهیل کار و تأمین بعضی خواص ویژه دلخواه از قبیل طولانی کردن زمان گیرش، تسریع در روند کسب مقاومت اولیه، کنترل واکنش‌های قلیایی بعضی از سنگدانه‌ها با سیمان، تقلیل گرمای آبگیری، افزایش کارآیی بدون افزایش نسبت آب به سیمان، تهیه بتن پر مقاومت، و بتن مقاوم در برابر یخ زدن و آب شدن مکرر، استفاده از این مواد اجتناب‌ناپذیر است. باید توجه داشت که بعضی از این خواص فقط با مصرف مواد افزودنی به دست می آیند. به هر حال تأکید بر این نکته ضروری است که هیچ نوع ماده افزودنی جبران کننده کاستی‌های احتمالی در اجرای خوب بتن نیست.

نتیجه‌بخش بودن و میزان تأثیر هر ماده افزودنی به عوامل گوناگون ازجمله نوع و عیار سیمان، مقدار آب، دانه‌بندی و شکل سنگدانه‌ها، نسبت‌های اختلاط مصالح، مدت اختلاط، اسلامپ، دمای بتن ، هوای محیط و کاربرد همزمان افزودنی‌های دیگر بستگی دارد. مواد افزودنی مورد استفاده در بتن باید با استانداردهای این آیین‌نامه مطابقت داشته باشند. مخلوط‌های آزمایشی با

مواد افزودنی موردنظر، مصالح کارگاهی و رعایت شرایط مورد انتظار باید در کارگاه ساخته شوند تا سازگاری مواد افزودنی با یکدیگر و با سایر مصالح و نیز آثار آنها بر خواص بتن تازه یا سخت شده مورد بررسی قرار گیرد. مقدار مصرف مناسب مواد افزودنی را باید در محدوده توصیه شده تولیدکنندگان و بررسی‌های آزمایشگاهی و کارگاهی تعیین کرد.

دقت در اندازه‌گیری مقدار مواد افزودنی اهمیتی خاص دارد، زیرا تغییر بسیار کم این مواد می تواند اثری زیاد بر خواص مختلف بتن داشته باشند. تغییر مقدار مواد افزودنی نسبت به مقدار تعیین شده در طرح نباید از ۳ ± درصد تجاوز کند.

مواد افزودنی شیمیایی را باید به صورت محلول و به عنوان قسمتی از آب اختلاط بتن به کار برد. در صورتی که مصرف مواد افزودنی به صورت محلول مقدور نباشد، می‌توان آنها را به طور وزنی یا حجمی مطابق دستورالعمل‌های تولیدکنندگان اندازه گرفت. پیمانه‌های اندازه‌گیری را باید به‌طور مرتب کنترل کرد، زیرا اشتباه در مقدار مواد افزودنی، می‌تواند به عواقبی سوء در بتن تازه یا سخت شده منجـر شود (به جدول ۳-۸ موضوع بازرسی و کنترل کیفیت مصالح بتن مراجعه شود).

چنانچه ذکر شد، اغلب با تغییر نسبت‌های اختلاط یا انتخاب مناسب مواد بتن می‌توان همان نتایج مورد انتظار از مواد افزودنی خاص را به طور اقتصادی به دست آورد، بنابراین باید مقایسه‌ای بین هزینه‌های دو روش شامل تغییر مخلوط اصلی، یا مصرف مواد افزودنی به عمل آید. در این مقایسه باید اثر مواد افزودنی بر هزینه‌های تولید از قبیل حمل، بتن‌ریزی، پرداخت و عمل آوردن بتن را نیز در نظر گرفت.

۳-۶-۳ افزودنی های شیمیایی

۳-۶-۳-۱ مواد افزودنی حباب ساز

با استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز، حباب‌های ریز هوا که با یکدیگر ارتباط ندارند با حجمی کنترل شده، به طور یکنواخت در خمیر سیمان توزیع می‌شوند. ماده حباب‌ساز باید دارای چنان ویژگی‌هایی باشد که حباب‌هـــای ایجاد شده ریز و پایدار بوده و به یکدیگر نپیوندد. حمل، ریختن، جا دادن و تراکم بتن باید با دقت ویژه صورت گیرد تا حتی‌الامکان حباب‌ها از بتن خارج نشوند. این حباب‌ها نباید با حباب‌های محبوس در حجم بتن در موقع اختلاط که دارای اشکال و ابعاد مختلف می‌باشند و بصورت نامنظم در بتن پراکنده شده‌اند، و بر خواص بتن اثر منفی دارند اشتباه شوند. حباب‌های هوای ایجاد شده بطور شگفت‌انگیزی پایایی بتن را در برابر رطوبت، یخ زدن و آب شدن مکرر و مواد شیمیایی یخزدا بهبود می‌بخشند، در حالیکه حباب‌های محبوس اثر منفی دارند. مقاومت بتن بدون حباب هوا در مقابل یخزدن و آب شدن کم است. ایجاد حباب‌های هوا ظرفیت تحمل نیروهای ناشی از انبساط یخ تشکیل شده در درون بتن را افزایش می‌دهد و بعلاوه بر سایر خواص بتن نیز آثاری مطلوب دارد. از جمله مقاومت بتن را در برابر پوسته شدن افزایش می‌دهد، کارآیی آن را بهبود می‌بخشد و جداشدگی دانه ها و آب انداختن بتن را کاهش می‌دهد. همچنین با ایجاد حباب‌های هوا مقاومت بتن در برابر سولفات‌ها بهبود می‌یابد. بتنی که با نسبت آب به سیمان کم، مقدار کافی سیمان با درصد کمتری سه کلسیم آلومینات و با مواد افزودنی حباب‌ساز ساخته شود بیشترین مقاومت را در برابر حمله آب‌های سولفات‌دار خواهد داشت.

آب‌بندی بتن با حباب هوانیز بهتر از بتن بدون حباب هوا خواهد بود. با عیار سیمان معین و با روانی یکسان، و استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز، می‌توان بتنی با نسبت آب به سیمان کمتر

که خاصیت نفوذپذیری کمتری دارد، تولید کرد. به طور کلی، حباب‌های هوا در هر نوع کار بتنی به ویژه در هوای سرد و در شرایط یخبندان می‌تواند مطلوب باشد. البته باید هزینه کاربرد این مواد، ضرورت کنترل کیفیت دقیق‌تر و فراهم نمودن تجهیزات اندازه‌گیری حباب هوا در بتن مدنظر قرار گیرد.

مقاومت بتن در برابر یخ زدن و آب شدن‌های مکرر علاوه بر مقدار هوای ناشی از مصرف افزودنی‌های حباب‌ساز که مقادیر آنها با توجه به شرایط محیطی در جدول ۶-۳-۳-۱ تعیین شده، تابع ابعاد حباب‌ها، چگونگی توزیع آنها در حجم بتن، و فواصل حباب ها از یکدیگر است، که می‌تواند به روش دت ۶۱۶ تعیین گردد.

با ایجاد حباب هوا در مخلوط بتن مقاومت فشاری و خمشی کاهش می‌یابد ولی با توجه به افزایش کارآیی و در نتیجه کاهش آب اختلاط در کار آیی ثابت و نیـــز تقلیل مقدار ماسه در بتن حاوی مواد حباب‌ساز، می‌توان در طرح اختلاط اصلاحاتی انجام داد که کاهش مقاومت بتن جبران شود.

طبق مشخصات دت ۴۰۲ کاهش مقاومت فشاری و خمشی بتن دارای افزودنی حباب‌ساز در سنین ۷ و ۲۸ روز نسبت به بتن شاهد نباید بیشتر از ده درصد باشد.

دوام بتن با حباب‌های هـــوا در برابر یخ زدن و آب شدن با آزمایش تسریـــع شده مطابق دت ۶۱۸ اندازه‌گیری می‌شود. ضریب پایایی حاصل از این آزمایش نباید کمتر از ۸۰ درصد باشد.

مواد حباب‌ساز کیفیت بتن تازه و ویژگی‌های بتن سخت شده را بهبود می‌بخشد.

۳-۶-۳-۲ مواد افزودنی کاهنده آب (روان‌کننده ها و فوق روان‌کننده ها)

عملکرد اصلی افزودنی‌های کاهنده آب، کاهش مقدار آب اختلاط به ازاء کارآیی ثابت بتن و ملات است. به عبارت دیگر با مصرف این افزودنی‌ها می‌توان روانی مشخصی را با نسبت آب به سیمان کمتر بدست آورد. این مواد به دو نوع کاهنده معمولی و کاهنده قوی آب تقسیم می‌شوند. کاهنده‌های معمولی باید حداقل ۵ درصد و کاهنده‌های قوی حداقل ۱۲ درصد آب اختلاط بتن را در کارآیی ثابت، نسبت به بتن شاهد، تقلیل دهند. افزودنی‌های کاهنده معمولی می‌توانند کندگیر کننده یا تسریع‌کننده باشند در حالیکه افزودنی‌های کاهنده قوی آب معمولاً عملکرد کندگیرکننده دارند. مصرف بعضی از این مواد در بتن، حباب‌های هوا بوجود می‌آورند که برای بتن با افزودنی حباب‌ساز نباید از ۷ درصد، و بتن معمولی فاقد حباب ساز از ۳ درصد تجاوز نماید. در بتن‌های ساخته شده با بعضی از افزودنی‌های کاهنده آب، با وجود کاهش مقدار آب، افزایشی قابل توجه در میزان جمع‌شدگی خشک شدن بتن مشاهده شده است.

افزودنی‌های کاهنده معمولی و قوی آب چنانچه به منظور کاهش نسبت آب به سیمان در بتن با اسلامپ ثابت مصرف شوند، موجب افزایش مقاومت فشاری، کاهش جمع شدگی و کاهش نسبی نفوذپذیری بتن می‌شوند.

۳-۶-۳-۳ مواد افزودنی کندگیر کننده

هنگامی که دمای بتن تازه از حدود ۳۰ درجه سلسیوس تجاوز کند، اغلب روند سخت شدن آن آفزایش می‌یابد و بتن‌ریزی و پرداخت بتن مشکل می‌شود. یکی از عملی‌ترین روش‌های مقابله با این مشکل، کاهش دمای بتن از طریق خنک کردن آب اختلاط یا سنگدانه‌ها یا هر دو است. مواد افزودنی کندگیر کننده دمای اولیه بتن را تقلیل نمی‌دهند، ولی می‌توانند روند گیرش بتن

را کند کنند، که این تأخیر نسبت به بتن شاهد باید حداقل ۱/۵ ساعت و حداکثر ۳/۵ ساعت باشد. بطور کلی در این موارد ضوابط بتن‌ریزی در هوای گرم باید رعایت شود (به بند ۷-۶-۱ رجوع شود).

گاهی کندگیرکننده‌ها را به منظورهای زیر نیز به کار می‌برند :

(۱) جبران اثر تسریع‌کنندگی گرمای هوا بر گیرش بتن، و (۲) تعویق گیرش اولیه بتن یا دوغاب سیمان در شرایط مشکل یا غیر معمول بتن‌ریزی مانند بتن‌ریزی در شالوده‌ها و پایه‌های بزرگ پل‌ها، سیمانکاری چاه‌های نفت، و پمپاژ دوغاب یا بتن در مسافت‌های طولانی.

کندگیر کننده‌ها را می توان به سه نوع زیر تقسیم کرد:

الف- کندگیر کننده‌های معمولی که خاصیت کاهندگی آب ندارند (نوع B طبق مشخصات دت ۴۰۱)

ب - کندگیر کننده‌های کاهنده معمولی آب با حداقل ۵ درصد کاهش آب (نوع D طبق مشخصات دت ۴۰۱)

پ - کندگیر کننده‌های کاهنده قوی آب با حداقل ۱۲ درصد کاهش آب (نوع G طبق مشخصات دت ۴۰۱)

این افزودنی‌ها می‌توانند موجب افزایش مقدار هوای موجود در بتن شوند که مطابق مشخصات (دت ۴۰۱) نباید برای بتن‌های فاقد افزودنی حباب‌ساز از سه درصد تجاوز کند.

بطور کلی استفاده از کندگیر کننده‌های معمولی و فاقد خاصیت کاهندگی آب با کاهش مقاومت فشاری و خمشی بتن حداکثر تا ۱۰ درصد نسبت به بتن شاهد، در سنین یک روزه تا یک ساله

همراه است که با مشخصات دت ۴۰۱ نیز مطابقت دارد، ولی مقاومت بتن حاوی کندگیر کننده‌های کاهنده معمولی و قوی آب باید مطابق مشخصات فوق حداقل مقاومتی بیش از ده درصد بتن شاهد داشته باشند.

برای پذیرش کندگیر کننده‌ها باید آزمایش‌هائی با مصالح مصرفی در شرایط مورد انتظار کارگاهی انجام گیرد زیرا ممکن است اثرات آنها روی سایر خواص بتن از قبیل جمع‌شدگی قابل پیش‌بینی نباشد.

۳-۶-۳-۴ افزودنی تسریع‌کننده

الف- تسریع‌کننده‌های بتن

این افزودنی‌ها برای تسریع در کسب مقاومت بتن در سنین اولیه بکار می‌روند. با مصرف این مواد در هوای سرد می‌توان زمان لازم برای حفاظت موقت بتن را حداقل یک ساعت و حداکثر ۳/۵ ساعت نسبت به بتن شاهد (بدون افزودنی) تقلیل داد و در سنین اولیه (۳ روز) حداقل مقاومتی تا ۲۵ درصد بیشتر از مقاومت بتن شاهد بدست آورد، به نحوی که بتوان سازه را مورد بهره‌برداری قرار داد و قالب‌ها را برای استفاده مجدد با سرعت بیشترآزاد کرد. کسب مقاومت بتن را با روش‌های دیگر، از قبیل استفاده از سیمان پرتلند نوع ۳، تقلیل نسبت آب به سیمان از طریق افزایش عیار سیمان، و عمل آوردن بتن در دمای بالاتر، می‌توان تسریع کرد. مصرف مواد تسریع‌کننده، غالباً موجب افزایش جمع‌شدگی خشک شدن، جمع‌شدگی حرارتی و نیز افزایش ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری می‌شود. برای کاهش نقطه انجماد بتن نباید از تسریع کننده‌ها استفاده کرد، زیرا مقدار مورد نیاز آنها برای تقلیل نقطه انجماد به قدری زیاد است که می‌تواند روی مقاومت و سایر

خواص بتن آثار منفی شدید داشته باشد. بطور کلی تسریع‌کننده‌ها نباید به عنوان جایگزین عمل‌آوری صحیح و محافظت بتن در برابر یخزدگی بکار روند. باید توجه داشت که اجرای مطلوب در چنین شرایطی مستلزم رعایت ضوابط بتن‌ریزی در هوای سرد می‌باشد (به بند ۷-۶-۳- مراجعه شود).

افزودنی‌های تسریع کننده بتن شامل انواع زیر می باشند :

۱- تسریع‌کننده‌های معمولی که خاصیت کاهندگی آب ندارند (نوع C طبق مشخصات دت ۴۰۱)، مقاومت سنین اولیه (۳ روزه) بتن حاوی این افزودنی باید حداقل ۲۵ درصد بیش از بتن شاهد و در ۲۸ روز حداقل معادل مقاومت ۲۸ روزه بتن شاهد باشد. مصرف این افزودنیها نباید موجب بیشتر از ۱۰ درصد کاهش مقاومت بتن نسبت به بتن شاهد در سنین ۶ ماه تا یک سال گردد.

۲- افزودنی‌های تسریع کننده و کاهنده آب (حداقل ۵ درصد مطابق مشخصات دت ۴۰۱) که نباید موجب تقلیل مقاومت بتن در سنین ۲۸ روزه و یکساله در مقایسه با بتن شاهد شود.

۳- افزودنی تسریع‌کننده کلرید کلسیم که باید با مشخصات دت ۴۰۴ مطابقت داشته و براساس دت ۴۰۵ نمونه‌گیری و آزمایش شود. این افزودنی خاصیت ضد یخ ندارد و فقط به عنوان تسریع‌کننده بکار می‌رود. این ماده در صورتی که به مقدار مجاز مصرف شود، نقطه انجماد بتن را بیش از چند درجه تقلیل نمی‌دهد.

کلرید کلسیم را باید بصورت محلول و به عنوان جزیی از آب اختلاط، به مخلوط بتن اضافه کرد. در صورت مصرف این ماده بصورت خشک، ممکن است همه ذرات در حین اختلاط کاملاً حل نشوند و در نتیجه در بتن سخت شده بیرون پریدگی یا لکه‌های تیره به وجود آید.

مقدار کلریدکلسیم افزوده شده، نباید از حد لازم برای کسب نتایج مطلوب بیشتر باشد و در هیچ حالت نباید از ۲ درصد وزنی سیمان تجاوز کند. مصرف بیش از اندازه این ماده می‌تواند برای بتن زیان‌آور باشد و ممکن است باعث سخت شدن سریع، افزایش جمع‌شدگی، خشک شدن و افت مقاومت در سنین بعدی شود. افزودن کلریدکلسیم به بتن آرمه، اثر خوردگی قابل توجهی بر میلگردهای فولادی دارد. به همین دلیل مصرف کلریدکلسیم در بتن آرمه مجاز نیست.

در شرایط زیر استفاده از کلریدکلسیم یا هر نوع ماده افزودنی حاوی کلرید توصیه نمی‌شود:

در بتن حاوی اقلام آلومینیومی مدفون به دلیل خطر خوردگی شدید، به ویژه اگر بتن در محیط مرطوب قرار گیرد، در بتن ریخته شده در قالب‌های فلزی گالوانیزه ماندگار ، در بتن‌های رویارو با واکنش شیمیایی سنگدانه‌ها یا در معرض خاک یا آب حاوی سولفات، و بطور کلی در بتن‌ریزی در هوای گرم.

ب- تسریع‌کننده‌های بتن‌پاشیده

این تسریع‌کننده‌ها برای بتن‌پاشی با روش خشک و تر، و با خاصیت گیرش معمولی، یا سریع و فوری باید با افزودنی‌های نظیر شرح دادشده در مشخصات دت ۴۱۳ مطابقت داشته باشند. کاربرد افزودنی‌های با عملکرد سریع در بتن‌پاشی با روش تر، موجب سفت شدن فوری بتن پاشیده و حصول گیرش اولیه آن می‌گردد در حالی که گیرش نهائی آنها خیلی دیرتر از آنچه که

برای بتن‌پاشی با روش خشک به وقوع می‌پیوندد، حاصل می‌شود. با این وجود سفت شدن اولیه بتن پاشیده، ناشی از مصرف این تسریع‌کننده‌ها می‌تواند برای بتن‌پاشی در سطوح عمودی و فوقانی بالاسری موثر واقع شود.

تسریع‌کننده‌های مصرفی در بتن پاشیده به دو گروه شامل تسریع‌کننده‌های معمولی، و زودگیر با ویژگی‌های زیر تقسیم می‌شوند:

۱- تسریع‌کننده‌های معمولی

مشخصات این نوع افزودنی‌ها باید با انواع C و Eمندرج در دت ۴۰۱، و در صورت مصرف کلریدکلسیم برای بتن‌های غیر مسلح با مشخصات دت ۴۰۴ مطابقت داشته باشند.

۲- تسریع‌کننده‌های زودگیر

گیرش اولیه خمیر سیمان با مصرف این مواد مطابق آزمایش دت ۴۱۳ باید بین ۱ تا ۳ دقیقه و گیرش نهائی آن حداکثر ۱۲ دقیقه باشد.

۳-۶-۳-۵ مواد خمیری‌کننده و روان‌کننده

گاهی بتن تازه به دلیل برخی مشخصات سنگدانه‌ها از جمله شکل و دانه‌بندی نامناسب یا اختلاط نا درست، کارآئی لازم را ندارد، به‌ویژه در مواردی از قبیل پرداخت بتن با ماله آهنی، بتن‌ریزی با پمپ یا قیف و لوله، و ریختن بتن با اعضای دارای تراکم زیاد، که در این صورت بهبود کارآئی ضرورت می‌یابد. در اغلب موارد افزایش عیار سیمان یا مقدار دانه‌های ریز به کارآئی مطلوب منجر می‌شود.

بهترین ماده روان‌کننده حباب هواست. حباب‌های ریز و بسته هوا مانند ساچمه عمل می‌کنند و به‌ویژه در بهبود کارآئی مخلوط‌های خشن کم سیمان موثرند.

برای بهبود مخلوط‌هائی که در آنها دانه‌های رد شده از الک‌های شماره ۵۰ و ۱۰۰ (۳۰۰ و ۱۵۰ میکرون) کم است، می‌توان از مصالح ریز به عنوان مواد افزودنی خمیری کننده استفاده کرد. بعضی از دانه های ریز مانند پودر سنگ‌های آهکی از نظر شیمیائی بی‌اثرند، در حالی که بعضی مانند پوزولانها با سیمان واکنش‌زائی شیمیائی دارند. با افزودن این مواد به مخلوط‌هائی که کمبود مواد ریزدانه ندارند، آب بیشتری برای ثابت نگاه داشتن کارآئی مورد نظر لازم می‌شود و این امر ممکن است مقاومت را کاهش دهد، جمع‌شدگی خشک شدن را زیاد کند، و بر سایر خواص بتن اثر مخرب داشته باشد.

خاکستر بادی و پوزولانهای طبیعی در صورتی که به عنوان مواد خمیری‌کننده و روان‌کننده مصرف شوند باید با مشخصات دت ۴۰۳ مطابقت داشته باشند.

با استفاده از روان‌کننده‌های اعلا می‌توان بتنی فوق‌العاده روان و سیال با اسلامپ بیشتر از ۲۰ سانتیمتر بدست آورد. چنین بتنی نیاز به ارتعاش ندارد و دچار آب انداختن بیش از حد یا جداشدگی سنگدانه‌ها نمی‌شود. روان‌کننده‌های اعلا به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

- روان‌کننده معمولی
- کند گیرکننده

روان‌کننده‌های اعلا و سیال‌کننده بتن باید با مشخصات دت ۴۰۸ مطابقت داشته باشند. اثر روان‌کننده‌های اعلا عموماً در محدوده زمانی کوتاه ۳۰ الی ۶۰ دقیقه است و بیش از آن کارآئی به سرعت کاهش می‌یابد.

۳-۶-۴ افزودنی‌های معدنی

اثر پوزولانهای طبیعی، خاکستر بادی، دوده سیلیسی و مواد شبه سیمانی (روباره‌های آهن‌گدازی) به‌عنوان افزودنی‌های معدنی در مخلوط‌های بتنی حاوی سیمان پرتلند بسیار متغیر است. مصرف هر یک از این ترکیبات در بتن باید برای تعیین قابلیت پذیرش با سیمان و سنگدانه‌های مصرفی در هر پروژه مورد آزمایش قرار گیرد تا از مناسب بودن آنها از نظر میزان آب مصرفی، کارآئی، انسجام بتن تازه، روند کسب مقاومت، جمع‌شدگی، حرارت آبگیری، و سایر خواص از قبیل واکنش قلیایی سنگدانه‌ها، نفوذناپذیری، و درنهایت پایائی بتن اطمینان حاصل شود.

در جریان این بررسی و آزمایش که از مرحله طرح اختلاط بتن با افزودنی معدنی موردنظر و برای تعیین و محاسبه نسبت اختلاط وزنی و یا حجمی اجزای تشکیل دهنده بتن آغاز می‌شود موارد زیر باید لحاظ شود:

الف- فعالیت پوزولانی افزودنی‌های معدنی مصرفی، انطباق آنها با مشخصات مربوط و اثر آنها روی مقاومت بتن در سنین مختلف.

ب - اثر افزودنی‌های شیمیایی مصرفی روی مقدار آب اختلاط، کارآئی موردنظر، بتن‌ریزی و جادادن بتن، و درصد هوا در بتن حاوی موادحباب‌ساز.

پ - تعیین وزن مخصوص هر یک از اجزا و مصالح مصرفی در بتن و تأثیر آنها روی حجم بتن در هر متر مکعب یا در هر پیمانه (Batch).

ت - اثر ترکیب مصالح روی بعضی از خواص اصلی بتن شامل زمان گیرش در دمای محیط بتن‌ریزی، حرارت گرمازائی، روند کسب مقاومت و پایایی بتن.

ث - تعیین مقدار مورد نیاز و بهینه افزودنی معدنی موردنظر و سیمان پرتلند برای انطباق باویژگی های بتن در شرایط خاص هر پروژه.

ج ـ در جریان این بررسی می‌توان محدوده مقادیر زیر را برای انواع افزودنی‌های معدنی، برحسب درصد کل مواد چسباننده سیمانی جهت بتن‌های سازه‌ای مورد آزمایش قرار داد تا مقدار بهینه افزودنی معدنی انتخاب شود.

پوزولانهای طبیعی مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۲۰–۱۰ درصد

خاکستر بادی نوع F مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۲۵–۱۵ درصد

خاکستر بادی نوع C مطابق مشخصات دت ۴۰۳ : ۳۵–۱۵ درصد

دوده سیلیسی مطابق مشخصات دت ۴۰۹ : ۱۵- ۵ درصد

مواد شبه سیمانی (روباره آهن‌گدازی) مطابق مشخصات دت ۴۱۰ : ۷۰–۲۵ درصد

چ ـ برای پروژه‌های خاص یا تأمین برخی ویژگیها برای بتن حاوی افزودنی‌های معدنی، محدوده درصدهای وزنی فوق می‌تواند بر حسب مورد تغییر کند.

موارد کلی دیگری که در مصرف افزودنی‌های معدنی باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از :

الف- کسب مقاومت بتن حاوی افزودنی‌های معدنی شامل پوزولانهای طبیعی، خاکستر بادی و روباره‌ها، بدلیل سرعت آهسته و تدریجی فعالیت پوزولانی و سیمانی روباره، و در نتیجه افزایش زمان گیرش بتن، کندتر از بتن معمولی است،بنابراین عمل‌آوری چنین بتنی به مدت زمان بیشتری در مقایسه با بتن معمولی احتیاج دارد. چنانچه این ترکیبات بعنوان جایگزین سیمان پرتلند مصرف شوند، و افزودنی تسریع‌کننده نیز مورد استفاده قرار نگیرد، مدت عمل‌آوری طولانی‌تر می‌شود.

ب ـ مواد پوزولانی و روباره‌ای به منظور کمک به کاهش دمای داخلی بتن در سازه‌های حجیم مانند سدها که به دلیل استهلاک آهسته گرمای تولید شده ناشی از آبگیری سیمان ممکن است دمائی زیاد پدید آید، مصرف می‌شوند، ضمن آن که این دما را از طریق مصرف سیمان‌های پرتلند نوع ۲، ۴، ۵، و یا سیمان‌های آمیخته پوزولانی و یا روباره‌ای و تقلیل دمای آب اختلاط و سنگدانه‌ها نیز می‌توان کاهش داد.

پ ـ برخی از پوزولانها و روباره‌ها به منظور کاهش یا از بین بردن قابلیت انبساط ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه‌ها مصرف می‌شوند. در چنین شرایطی باید کیفیت این افزودنی‌های معدنی با آزمایش دت ۲۲۹ مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

ث ـ پوزولانها و روباره‌ها مقاومت بتن را در برابر سولفات‌ها بهبود می‌بخشند ولی در صورت استفاده آنها به عنوان جایگزین سیمان، احتمال دارد مقاومت در برابر سولفات‌ها کاهش یابد.

ت ـ استفاده از پوزولانها و روباره‌ها بعنوان جایگزین سیمان می‌تواند مقاومت ۲۸ روزه بتن و در نتیجه پایائی آن را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

ج ـ برخی اوقات با مصرف خاکستر بادی و مواد شبه سیمانی در بتن، ممکن است میزان آب اختلاط بتن برای تأمین کارآئی موردنظر ، درمقایسه بازمانی که بتن حاوی سیمان پرتلند تنهاست،کمترباشد.

۳-۶-۴-۱ افزودنی‌های معدنی خنثی و رنگدانه‌ها

این ترکیبات با سیمان واکنش شیمیایی ندارند و افزودنیهای بی‌اثر نامیده می‌شوند. برخی از آنها مانند نرمه سنگ‌های آهکی مصرفی در سیمان پرتلند آمیخته آهکی، و یا سنگدانه‌های ریز

عبوری از الک‌های شماره ۵۰ یا ۱۰۰ ضمن اینکه موجب افزایش کارآئی بتن و بهبود چسبندگی و قابلیت پمپ شدن آن می‌گردد، هم زمان الزامات سنگدانه‌های بتن را نیز تأمین می‌کنند. ترکیبات معدنی طبیعی یا صنعتی که بطورعمده شامل اکسیدهای فلزی می‌باشند و به عنوان رنگدانه برای تهیه سیمان یا بتن رنگی مصرف می‌شوند، نیز در شمار افزودنی‌های معدنی خنثی قرار می‌گیرند.

رنگدانه‌های زیر را می‌توان برای ساختن بتن رنگی مصرف کرد:

اکسید آهن : رنگ‌های قرمز، زرد، قهوه‌ای و سیاه

اکسید منگنز : رنگ‌های سیاه و قهوه‌ای

اکسید کرم : رنگ سبز

اکسید آبی کبالت : رنگ آبی

اکسید تیتان : رنگ سفید

کربن سیاه (که یک فرآورده صنعتی است): رنگ سیاه

مصرف رنگدانه‌ها نباید از ده درصد وزنی سیمان، و در مورد کربن سیاه از شش درصد تجاوز کند.

رنگدانه‌های مصرفی برای تهیه بتن رنگی باید با مشخصات دت ۴۱۱ مطابقت داشته باشند. مقاومت فشاری بتن رنگـــــی تهیه شده با رنگدانه نباید کمتر از ۹۰ درصد مقاومت فشاری بتن شاهد (بدون رنگدانه) و نسبت آب به سیمان آن نباید بیشتر از ۱۱۰ درصد نسبت آب به سیمان بتن شاهد باشد.

۳-۶-۴-۲ پوزولانها

الف - تعریف

پوزولانها بطور عمده از سیلیس بلوری نشده یا سیلیس و آلومینیوم و کانی‌های فرعی دیگر مانند اکسیدهای آهن، منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم تشکیل شده‌اند. خواص پوزولانها به کیفیت و قابلیت واکنش‌زائی آنها با هیدرواکسیدکلسیم که محصول آبگیری سیمان پرتلند است بستگی دارد. فرآورده‌های این واکنش شیمیائی از نظر ترکیب و ساختار مشابه ترکیباتی است که در جریان آبگیری سیمان پرتلند، اما با سرعت کمتری، حاصل می‌شود.

پ ـ انواع پوزولانها

پوزولانهای طبیعی : این ترکیبات شامل کفسنگ‌ها، پوکه سنگ‌ها، توف‌ها و خاکسترهای آتشفشانی است که هنگام بیرون ریختن از دهانه آتشفشان‌ها به سرعت در هوا یا زیر آب سرد شده به طوری که سیلیس موجود در آنها بلوری نشده است. دوغاب آهک، و در صورت اختلاط آنها با سیمان پرتلند، هیدرواکسیدکلسیم محصول آبگیری سیمان در مجاورت رطوبت، با این سیلیس بلوری نشده ، در دمای محیط تشکیل سیلیکات کلسیم می‌دهد که جسم چسباننده ملات‌های آبی است. پوزولانهای طبیعی را سیمان طبیعی و یا تراس می‌نامند.

خاک‌رس و شیل در حالت طبیعی خاصیت پوزولانی ندارند ولی از حرارت دادن آنها به میزان ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد پوزولان حاصل می‌شود. به این نوع مواد که تحت تأثیر حرارت دارای فعالیت پوزولانی می‌شوند، پوزولانهای سوخته ، تکلیس شده یا آهکی شده می‌گویند. این پوزولانها در واقع مصنوعی هستند اما طبق مشخصات دت ۴۰۳ در گروه پوزولانهای طبیعی قرار

می‌گیرند. خاک دیاتومیت نیز نوعی پوزولان طبیعی است که بخش عمده آن از اسکلت سیلیسی دیاتومه‌ها تشکیل شده است.

پوزولانهای طبیعی مصرفی برای تولید سیمان‌های آمیخته و یا پوزولان هایی که به عنوان افزودنی معدنی در جریان اختلاط و تهیه بتن پوزولانی با مصالح و اجزای تشکیل دهنده آن مخلوط می‌گردد باید با روش دت ۴۰۷ مورد آزمایش قرار گیرند تا انطباق آنها با مشخصات نوع N دت ۴۰۳ معادل با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳ به اثبات برسد.

خاکستر بادی : در نیروگاه‌هائی که از زغال‌سنگ به عنوان سوخت استفاده می‌کنند، ذرات شیشه‌ای و کروی شکل بسیار ریز با ابعاد از یک تا هشتاد میکرون و در حرارت ۱۶۰۰ درجه سلسیوس بعنوان محصول فرعی تولید می‌شود که از بالای کوره احتراق خارج و به سرعت سرد می‌شود. این محصول که خواص پوزولانی دارد وخاکستر بادی نامیده می‌شود از اختلاط دو فاز شیشه‌ای یا بلوری نشده(با حدود ۶۰–۹۰ درصد وزنی)، و بلوری شده تشکیل می‌گردد.

کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده خاکستر بادی شامل اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم، آهن و کلسیم است که حاصل جمع درصد وزنی سه کانی سیلیس، آلومینیوم و آهن آن طبق مشخصات دت ۴۰۳ برای خاکستر بادی نوع F (با کلسیم کمتر از ۱۰ درصد) حداقل ۷۰ درصد و نوع C (با کلسیم بیشتر از ۱۰ درصد) حداقل ۵۰ درصد است.

خاکستر بادی نوع F فقط خاصیت پوزولانی دارد در حالی که نوع C علاوه بر ویژگی‌های پوزولانی، خواص سیمانی نیز دارد زیرا مانند سیمان بعد از اختلاط با آب خاصیت گیرش و سخت شدن دارد.

خواص و کیفیت خاکستر بادی به عوامل متعددی از جمله نوع زغال سنگ و ترکیب آن، کارآئی آسیاب خردکننده زغال، شرایط احتراق شامل درجه حرارت و تأمین اکسیژن لازم برای سوخت، نوع کوره و به ویژه سرعت سردکردن ذرات بستگی دارد.

پیش‌بینی عملکرد بتن حاوی خاکستر بادی، فقط براساس خواص فیزیکی و شیمیائی و انطباق آنها با مشخصات دت ۴۰۳، قابل ارزیابی نیست. اثر خاکستر بادی بر روی کارآئی، مقاومت، نفوذناپذیری، دوام وسایر ویژگی‌ها باید با مخلوط‌های آزمایشی مورد بررسی قرار گیرد، ضمن آن که برخی آثار ناشی از مصرف آن روی بتن را می‌توان بشرح موارد زیر نام برد:

الف- ذرات ریز و کروی شکل خاکستر بادی که عمدتاً دارای ابعاد یک میکرون تا یک میلیمتر است، میزان آب اختلاط بتن را برای کارآئی معین کاهش می‌دهد، قابلیت پمپ شدن بتن را بهبود می‌بخشد، و موجب تقلیل پدیده آب انداختن بتن و جداشدگی سنگدانه‌ها می‌شود.

ب - برای بتن‌هائی که کمبود مواد ریزدانه دارند و یا عیار سیمان آنها کم است موجب افزایش چسبندگی و انسجام بتن می‌شود.

پ - اگرچه زمان گیرش بتن حاوی خاکستر بادی به عوامل متعددی مانند دمای بتن، دمای محیط، نوع و عیار سیمان، نرمی سیمان، مقدار آب، نوع و مقدار مصرف افزودنی‌های شیمیائی، نوع و مقدار خاکستر بادی و خواص آن بستگی دارد، ولی با لحاظ کردن این عوامل، جایگزینی سیمان با خاکستر بادی، معمولاً زمان گیرش بتن را افزایش می‌دهد.

ت - استفاده از خاکستر بادی نوع F، و یا افزایش مقدار کربن خاکستر بادی، موجب کاهش هوای بتن دارای ماده حباب‌ساز و در نتیجه افزایش میزان ماده افزودنی حباب‌ساز

مصرفی برای تأمین درصد هوای مشخص در بتن می‌شود. یکی از عوامل تعیین‌کننده مقدار کربن خاکستر بادی، درصد افت وزنی حرارتی آنست که نباید از ۶ درصد تجاوز کند.

ث ـ افزایش درصد ذرات با ابعاد کوچکتر ار ۱۰ میکرون در خاکستر بادی، اثر مثبتی بر افزایش مقاومت فشاری بتن دارد.

ج ـ اثر خاکستر بادی بر روی مقاومت فشاری و روند کسب مقاومت بتن به خواص خاکستر بادی و سیمان مصرفی، و نسبت اختلاط آنها بستگی دارد.

چ ـ واکنش خاکستر بادی با هیدرواکسیدکلسیم حاصل از آبگیری سیمان و تولید CSH که منافذ بتن را پر می‌کند موجب کاهش نفوذپذیری بتن و افزایش مقاومت آن در برابر نفوذ محلول‌های شیمیایی گزندبار از جمله یون سولفات می‌شود.

ح ـ مقدار سیمان قابل جایگزینی با خاکستر بادی با توجه به نوع سازه ، شرایط محیطی که سازه بتنی با آن مواجه است و نوع سیمان می‌تواند حدود ۳۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد.

خ ـ باید توجه داشت که خاکستر بادی می‌تواند حاوی مقادیر متغیر کربن، سیلیس، قلیائی‌ها، سولفور و سایر ترکیباتی باشد که مقادیر بیش از اندازه آنها بر مقاومت، مقدار هوا و پایائی بتن اثر مخرب دارد.

د ـ برای طرح اختلاط بتن حاوی خاکستر بادی، می‌توان از مراجع ACI 211.1 و ACI 232.2R-96 استفاده کرد.

دوده سیلیسی (میکروسیلیس) : دوده سیلیسی محصول فرعی کوره‌های قوسی الکتریکی در جریان تولید فلز سیلیسیم و آلیاژهای سیلیسیم، به ویژه آلیاژ فرو سیلیس است. این فرآورده

صنعتی با بیش از ۸۵ درصد سیلیس بلوری نشده (غیربلوری یا آمورف)، با ذرات بی‌نهایت ریز و کروی شکل با قطر متوسط حدود ۰/۱ تا ۰/۲ میکرون، یک ماده بشدت فعال پوزولانی است.

هدف استفاده از دوده سیلیسی در بتن می‌تواند تأمین یک یا چند ویژگی زیر باشد :

- تهیه بتن با مقاومت زیاد
- افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذ پذیری
- جایگزینی با سیمان بشرط وجود توجیه اقتصادی

هر چند کاربرد دوده سیلیسی در بتن، کیفیت آن را بهبود می‌بخشد اما دست‌یابی به چنین کیفیتی مستلزم شناخت برخی ویژگی‌های دوده سیلیسی و در عین حال مراعات نکاتی به شرح زیر است :

الف ـ وزن مخصوص دوده سیلیسی حدود ۲/۲، میانگین قطر ذرات آن ۰/۱ میکرون و سطح مخصوص متوسط آن $20000\ m^2/kg$ است. جدول زیر سطح مخصوص دوده سیلیسی، خاکستر بادی، روباره آهن‌گدازی و سیمان را برای مقایسه نشان می‌دهد :

شرح / ماده	سطح مخصوص m^2/Kg	روش اندازه‌گیری
دوده سیلیسی	13000-30000	Nitrogen Absorption
خاکستر بادی	400-700	Blain
روباره	350-600	Blain
سیمان پرتلند	300-400	Blain

ب ـ بشرح ارقام فوق سطح مخصوص دوده سیلیسی حداکثر۱۰۰ برابر سطح مخصوص سیمان پرتلند است. سطح مخصوص زیاد و ذرات بی‌نهایت ریز دوده سیلیسی موجب می‌شود که در بتن حاوی ۱۵ درصد دوده سیلیسی جایگزین شده با سیمان، تقریباً برای هر یک‌دانه یا ذره سیمان حدود ۲/۰۰۰/۰۰۰ دانه دوده سیلیسی وجود داشته باشد که معرف تأثیر قابل ملاحظه آن روی خواص بتن می‌باشد.

پ ـ وزن مخصوص ظاهری پودر دوده سیلیسی حدود ۴۳۰–۱۳۰ کیلوگرم در متر مکعب و دوغاب دوده سیلیسی۱۴۴۰–۱۳۲۰ کیلوگرم در متر مکعب، و نوع متراکم یا Densified آن ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد.

ت ـ ابعاد بی‌نهایت ریز، سطح مخصوص زیاد، و حضور بیش از ۸۵ درصد سیلیس غیر بلوری موجب شده است که واکنش پوزولانی دوده سیلیسی بسیار سریعتر از پوزولانهای معمولی مانند خاکستر بادی و پوزولانهای طبیعی باشد. در این واکنش دوده سیلیسی با هیدرواکسیدکلسیم حاصل از آبگیری سیمان، سیلیکات کلسیم هیدراته یا CSH تشکیل می دهد.

ث ـ مصرف دوده سیلیسی می‌تواند برای تهیه بتن با مقاومت زیاد، با نفوذپذیری کم و مقاومت زیاد در برابر عوامل مخرب شیمیایی نتایج موفقیت‌آمیزی داشته باشد. مقدار وزنی دوده سیلیسی چنین بتنی تقریباً ۲۵ درصد وزن سیمان است که معمولاً موجب افزایش آب اختلاط بتن می‌شود، برای احتراز از افزایش میزان آب اختلاط باید از روان‌کننده‌ها استفاده کرد.

ج ـ برای افزایش پتانسیل مقاومتی و نفوذناپذیری بتن حاوی دوده سیلیسی باید از افزودنی کاهنده آب و ترجیحاً از کاهنده قوی استفاده کرد. در صورت مصرف کاهنده معمولی

آب (انواع A, D, E مشخصات دت ۴۰۱) کاهش آب اختلاط نسبت به بتن کنترل باید حداقل پنج درصد، و مصرف کاهنده قوی، حداقل ۱۲ درصد باشد.

چ ـ با توجه به اینکه وزن مخصوص میانگین دوده سیلیسی ۲/۲ و کمتر از وزن مخصوص سیمان یعنی ۳/۱۵ می‌باشد، وقتی جایگزینی سیمان با دوده سیلیسی بصورت وزنی صورت می‌گیرد، حجم میکروسیلیس جایگزین شده، بیشتر از حجم سیمانی است که از مخلوط بتن حذف می‌شود که این امر موجب افزایش حجم کل مواد سیمانی و کاهش نسبت حجمی آب به مواد سیمانی می‌گردد.

ح ـ مدت زمان اختلاط بتن حاوی دوده سیلیسی به درصد دوده سیلیسی مصرفی و شرایط اختلاط بستگی دارد، که در صورت لزوم باید افزایش یابد. مصرف افزودنی‌های شیمیایی کاهنده قوی آب، توزیع یکنواخت دوده سیلیسی در بتن را تأمین می‌کند.

خ ـ بتن تازه حاوی دوده سیلیسی در مقایسه با بتن بدون دوده سیلیسی از چسبندگی بیشتر و گرایش کمتر به جداشدگی و نیز کاهش آب انداختن، و افزایش قابلیت پمپ شدن برخوردار است. بتن دارای بیش از ۱۰ درصد وزنی دوده سیلیسی نسبت به وزن کل مواد سیمانی، فوق‌العاده چسبنده و خمیری است. برای حفظ کارآئی مورد نظر برای چنین بتنی در موقع بتن‌ریزی و جادادن، توصیه شده است که اسلامپ آن نسبت به بتن فاقد دوده سیلیسی حدود ۵ سانتیمتر بیشتر باشد.

د ـ مقدار افزودنی حباب‌ساز مصرفی در بتن حباب‌ساز حاوی دوده سیلیسی برای تولید میزان حباب هوای مشخص، با افزایش دوده سیلیسی، افزایش می‌یابد که این موضوع ناشی از سطح مخصوص زیاد و کربن موجود در دوده سیلیسی است. ماده افزودنی حباب‌ساز معمولاً برای بتن با مقاومت زیاد مصرف نمی‌شود، مگر آنکه بتن در حال

اشباع در شرایطی قرار گیرد که با پدیده یخ زدن و آب شدن و یا نمک‌های یخ‌زدا مواجه شود.

ذ ـ کاهش آب انداختن بتن دوده سیلیسی ناشی از سطح مخصوص زیاد دوده سیلیسی است که موجب می‌گردد مقدار آب کمتری برای ظهور این پدیده در مخلوط بتن باقی بماند، ضمن اینکه کاهش آب انداختن بتن، گرایش آن را به ایجاد ترک ناشی از جمع شدگی خمیری افزایش می‌دهد.

ر ـ دوده سیلیسی موجب افت اسلامپ و تغییر روند آن در بتن نمی‌شود، اما با استفاده از افزودنی‌های کاهنده قوی آب در بتن حاوی دوده سیلیسی، کاهش اسلامپ و تغییر روند آن با انتخاب افزودنی‌های دارای خواص مختلف و مقادیر مصرف متفاوت، همواره قابل پیش بینی است که باید طی آزمایش‌های کارگاهی مورد بررسی قرار گیرد.

ز ـ مصرف انواع متفاوت افزودنی‌های شیمیایی کاهنده قوی آب، در بتن حاوی دوده سیلیسی می‌توانند بر زمان گیرش بتن تأثیر بگذارند، ضمن اینکه تجربه نشان داده است که دوده سیلیسی نقشی در این مورد ندارد. تغییرات زمان گیرش باید با توجه به نوع و کیفیت و مقدار مصرف افزودنی مربوطه کنترل شود.

ژ ـ دوده سیلیسی آب آزاد موجود در بتن را به سرعت جذب می‌نماید و بروز ترک‌های ناشی از نشست خمیری و خشک شدن سطح را تشدید و تسریع می‌کند. از این دیدگاه بتن حاوی دوده سیلیسی باید بلافاصله پس از جا دادن و پرداخت سطح، مراقبت شوند تا از خشک شدن سطح آنها جلوگیری بعمل آید. عموماً عمل‌آوری با آب شرایط بهتری را نسبت به سایر روش‌ها از جمله با ورقه‌های پلاستیک یا مواد عمل‌آورنده به وجود می‌آورد.

س ـ حضور دوده سیلیسی در لعاب سیمان سبب کاهش سریع مواد قلیایی موجود در آب حفره‌ای لعاب شده و این مواد را از دسترس خارج نموده و از واکنش بعدی آنها با سیلیس موجود در سنگدانه‌ها که بسیار آهسته و تدریجی در آب موجود در بتن حل می‌شوند ممانعت می‌کند. همچنین دوده سیلیسی معمولاً آب اضافی خمیر سیمان را جذب کرده و حل شدن سنگدانه‌ها را مشکل می‌کند. با توجه به فرآیندهای فوق، مصرف دوده سیلیسی در بتن، احتمال بروز پدیده واکنش قلیایی را تا حد نزدیک صفر کاهش می‌دهد.

ش ـ دوده سیلیسی مقاومت بتن را در مقابل تهاجم یون‌های سولفات افزایش می‌دهد زیرا از مقدار گچ تشکیل شده کاسته می‌شود. آسیب دیدگی بتن در اثر تهاجم سولفات به دلیل واکنش سولفات با هیدرواکسیدکلسیم و آلومینات کلسیم هیدراته است که منجر به تشکیل گچ و اترینگات می‌شود و در اثر تولید این دو محصول تولید شده انبساط و ترک‌خوردگی به وقوع می‌پیوندد. از آنجا که دوده سیلیسی مقداری از هیدرواکسید کلسیم بتن را مصرف می‌کند در نتیجه گچ کمتری تولید می‌گردد و درنهایت از شدت تخریب کاسته می‌شود.

ص ـ درباره کاهش نفوذپذیری بتن حاوی دوده سیلیسی در مقابل یون کلر، تقریباً نظریه واحدی بین محققین وجود دارد. براساس این نظریه، نفوذ پذیری بتن دوده سیلیسی در مقایسه با بتن معمولی به مراتب کمتر است. آزمایش نشان می‌دهد که نفوذپذیری بتن حاوی دوده سیلیسی در مقابل کلر با نسبت آب به سیمان ۳۵ /۰ معادل $۷/۶\times۱۰^{-۱۳}m/s$ و بـــرای بتن معمولی $۱۵۶\times۱۰^{-۱۳}m/s$ است. به عبارت دیگر نفوذپذیری بتن دوده سیلیسی حدود ۲۰ برابر کمتراز بتن معمولی است.

ض ـ کنترل کیفیت دوده سیلیسی، ضمن دست‌یابی به امتیازاتی که در بالا به آنها اشاره شد، از اهمیت خاصی برخوردار است. برای حصول اطمینان از قابلیت مصرف و عملکرد دوده سیلیسی باید بطور مستمر، نرمی، سطح مخصوص، درصد سیلیس، نسبت بخش بی شکل و آمورف به بخش بلوری، درصد قلیایی‌ها، و درصد کربن موادی که از الکترو فیلترها بدست می آیند، کنترل گردند تا انطباق آنها با مشخصات دت ۴۰۹ به اثبات برسد.

ط ـ برای تهیه طرح اختلاط بتن حاوی دوده سیلیسی و سایر اطلاعات تکمیلی مربوط می‌توان از مراجع ACI 230/R-96 و ACI 211.1 استفاده کرد.

۳-۶-۴-۱ افزودنی‌های شبه سیمانی (روباره آهنگدازی)

الف - کلیات

روباره کوره‌های آهن‌گدازی یکی از محصولات جانبی کارخانه ذوب آهن است که اگر به آن آب اضافه شود واکنشی صورت نمی‌گیرد. این ترکیب بر خلاف پوزولانها که با هیدرواکسید کلسیم حاصل از آبگیری سیمان واکنش نشان می‌دهند و آن را به مصرف می‌رسانند، از هیدرواکسیدکلسیم فقط به عنوان کاتالیزور استفاده می‌کنند و در حضور آب واکنشی شبیه سیمان دارند با این تفاوت که هیدرواکسیدکلسیم تولید نمی‌شود.

۹۵ درصد وزنی روباره عمدتاً از اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم، کلسیم، و منیزیم تشکیل شده و بقیه آن شامل گوگرد، اکسیدهای آهن و منگنز است. کیفیت روباره و فعالیت واکنش‌زائی آن به نسبت‌های وزنی تشکیل‌دهنده اکسیدهای اصلی بستگی دارد که باید ترکیب زیر را داشته باشد :

$$\frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2} > 1$$

خاصیت هیدرولیکی روباره از سرد شدن سریع روباره مذاب حاصل می‌شود که معمولاً این عمل توسط آب انجام می‌گیرد و روباره به ماده شیشه‌ای با ابعاد کوچکتر از ۴/۷۵ میلیمتر (الک شماره ۴) تبدیل می‌شود. پس از سرد شدن، روباره را خشک و آسیاب می‌کنند تا ریزی‌دانه‌های آن به اندازه سیمان شود، و درصد مانده آن روی الک ۴۵ میکرون (الک شماره ۳۲۵) از ۲۰ درصد تجاوز نکند. چنانچه سرد شدن تدریجی انجام گیرد، روباره ترکیب بلوری می‌یابد که خواص سیمانی لازم و کافی ندارد.

عوامل تعیین‌کننده خاصیت سیمانی روباره را می‌توان بشرح زیر بر شمرد :

- ترکیب شیمیایی روباره
- درصد ترکیبات شیشه‌ای و آمورف
- نرمی
- دمای محیط در مرحله فرآیند آبگیری
- غلظت ترکیبات قلیایی در جریان واکنش

ارزیابی خاصیت سیمانی روباره، یا ضریب فعالیت واکنش‌زائی آن بشرح مشخصات دت ۴۱۰ تعیین می‌شود.

ب ـ اثر روباره روی بتن تازه

افزودنی‌های شیمیایی

اثر افزودنی‌های شیمیایی روی عملکرد بتن حاوی روباره مانند بتنی است که درساخت آن فقط از سیمان استفاده می‌شود. در مورد افزودنی حباب ساز، چنانچه سطح مخصوص روباره بیشتر از سطح مخصوص سیمان باشد مقدار مصرف آن افزایش می‌یابد. مقدار مصرف کاهنده‌های قوی آب برای تولید بتن سیال حاوی روباره، معمولاً ۲۵ درصد کمتر از مقداری است که روباره مصرف نمی‌شود. وقتی که مقدار روباره در بتن افزایش می‌یابد، میزان معینی از افزودنی شیمیایی کندگیر کننده، گیرش را بیشتر به تأخیر می‌اندازد.

۱- کارآئی

بتن حاوی روباره در مقایسه با بتن بدون روباره، موجب بهبود کارآئی و جـــــادادن بتن می‌شود.

۲- زمان گیرش

جایگزینی سیمان با روباره در بتن حاوی روباره، زمان گیرش را به تأخیر می‌اندازد. مدت این تأخیر به دمای اولیه بتن، نسبت اختلاط سیمان و روباره، نسبت آب به مواد سیمانی و خواص سیمان بستگی دارد. در دمای حدود ۲۳ درجه سلسیوس، زمان گیرش نیم الی یک ساعت افزایش می‌یابد در حالیکه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس افزایش زمان گیرش صفر یا بسیار ناچیز است.

افزایش زمان گیرش در دمای پائین زیاد و قابل ملاحظه است که معمولاً با استفاده از افزودنی‌های شیمیایی تسریع کننده می‌توان آن را کاهش داد. نظر باینکه عیار سیمان روی گیرش اثر تعیین کننده دارد، افزایش مقدار سیمان در بتن حاوی روباره نیز می‌تواند در شرایط بتن‌ریزی در هوای سرد مؤثر بوده و موجب کاهش زمان گیرش شود.

در دمای خیلی زیاد تدریجی شدن گیرش در اغلب شرایط اگر چه مطلوب است اما باید به موضوع کاهش ترک‌های ناشی از جمع شدگی خمیری نیز توجه شود.

۳- آب انداختن

آب انداختن در بتن حاوی روباره به سطح مخصوص و نرمی روباره در مقایسه با سیمان و نیز اثر ناشی از مجموعه سیمان و روباره بستگی دارد. وقتی روباره ریزتر از سیمان باشد و جایگزینی وزنی به نسبت مساوی انجام گیرد، آب انداختگی تقلیل می‌یابد و بالعکس چنانچه سطح مخصوص روباره کم شود، احتمال دارد روند آب انداختگی و مقدار آن کاهش یابد.

۴- دمای آبگیری

سرعت آبگیری روباره کمتر از سیمان پرتلند است، بنابراین دمای حاصل نیز کمتر است. کاهش دما به مقدار روباره مصرفی و نسبت جایگزینی آن با سیمان بستگی دارد.

پ - اثر روباره روی بتن سخت شده

۱- مقاومت

سرعت کسب مقاومت بتن روباره‌ای به عوامل متعددی بستگی دارد. در مقایسه با سیمان پرتلند، مصرف روباره نوع ۱۲۰ (به دت ۴۱۰ مراجعه شود) مقاومت ۱ تا ۳ روزه را کاهش و مقاومت ۷ روزه و بیشتر را افزایش می‌دهد. مصرف روباره نوع ۱۰۰ موجب کاهش مقاومت در سنین ۱ تا ۲۱ روزه می‌شود و بعد از آن مقاومت بیشتر و یا مساوی می‌شود. استفاده از روباره نوع ۸۰ بطور کلی موجب کاهش مقاومت می‌شود. تأثیر روباره روی مقاومت علاوه بر موارد فوق به ضریب فعالیت واکنش‌زائی روباره و نسبت مصرف آن در بتن روباره‌ای بستگی دارد. درروباره های شدیدا فعال باضریب واکنش‌زائی زیاد،چنانچه درصدروباره نسبت به سیمان ۴۰ تا۵۰ درصدباشد، مقاومت ۲۸روزه بتن بیشترازبتنی خواهدبودکه درآن نسبت روباره به سیمان بیشتر از ۵۰ درصداست.

از عوامل مؤثر دیگر در سرعت کسب مقاومت بتن می‌توان نسبت آب به مواد سیمانی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روباره و سیمان و شرایط عمل‌آوری را نام برد.

بطور کلی می‌توان گفت چون روند آبگیری بتن روباره‌ای کندتر از بتن معمولی است در نتیجه سرعت کسب مقاومت آن نیز کم‌تر است، ولی مقاومت بتن روباره‌ای در دراز مدت نسبت به بتن معمولی افزایش می‌یابد.

۲- نفوذپذیری

واکنش تدریجی روباره با هیدرواکسید کلسیم و قلیائی‌های حاصل از آبگیری سیمان، موجب ایجاد ژل بیشتر و مسدود شدن فضاهای خالی و در نتیجه کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود.

۳- مقاومت در مقابل سولفات

جایگزینی سیمان با روباره موجب بهبود مقاومت بتن در مقابل سولفات می‌شود. افزایش مقاومت در مقابل سولفات با مصرف بیش از ۵۰ درصد روباره و استفاده از سیمان نوع دو به اثبات رسیده است. آزمایش نشان داده است که مقاومت در مقابل سولفات با مصرف ۵۰ درصد روباره و استفاده از سیمان نوع یک حاوی تا ۱۲ درصد سه کلسیم آلومینات، مشابه عملکرد سیمان تیپ پنج می‌باشد.

۴- واکنش قلیایی سنگدانه‌ها

جایگزینی بخشی از سیمان با روباره موجب کاهش پدیده واکنش قلیایی می‌گردد. به شرح ضمیمه مشخصات دت ۴۱۰، وقتی که مقدار روباره از ۴۰ درصد وزن کل مواد سیمانی بتن تجاوز کند و درصد قلیایی سیمان برحسب معادل Na_2O تا یک درصد باشد، پدیده واکنش‌زائی قلیایی کاهش می‌یابد. نتایج برخی از کارهای تحقیقاتی نیز معرف آن است که با مصرف ۴۰ تا ۶۵ درصد روباره بر حسب وزن مواد سیمانی، پدیده انبساط در آزمایش منشور ملات(دت ۲۲۴) منتفی شده است.

۵- خوردگی میلگردها

تقلیل نفوذپذیری بتن روباره‌ای، نفوذ یون کلر را به منافذ و فضاهای خالی بتن، کاهش می‌دهد. این اثر وقتی که مقدار روباره افزایش یابد بیشتر است.

۶-۳-۵ مواد افزودنی متفرقه

عبور آب از درون بتن، بیشتر از جاهای ترک خورده یا قسمتهای با تراکم ناقص روی می‌دهد. بتن سالم و متراکمی که با نسبت وزنی آب به سیمان کمتر از ۰/۵ ساخته شود، در صورتی که درست ریخته و عمل آورده شود، عموماً آب‌بند خواهد بود.

افزودنی‌هایی که به عنوان مواد ضد رطوبت و آب‌بند کننده شناخته شده‌اند ممکن است نفوذپذیری بتن‌هایی را تقلیل دهند که عیار سیمان آنها کم و نسبت آب به سیمانشان زیاد باشد و با کمبود دانه‌های ریز مواجه باشند. به هر حال، استفاده از این‌گونه مواد در مخلوط‌های خوب با نسبت‌های مناسب، ممکن است به افزایش مقدار آب لازم منجر شود، و حتی بر خلاف انتظار نفوذپذیری را افزایش دهد.

از مواد افزودنی ضد رطوبت، گاهی اوقات به منظور کاهش انتقال رطوبت به درون بتنی که در تماس با آب یا خاک مرطوب است، استفاده می‌شود. بسیاری از این گونه موادضد رطوبت، به ویژه وقتی که در تماس با آب تحت فشار قرارگیرند مؤثر نیستند.

از دوغاب‌های سیمان پرتلند در مواردی گوناگون از جمله پایدار کردن پی‌ها، پرکردن ترک‌ها و درزهای کارهای بتنی، سیمان‌کاری چاه‌های نفت، پر کردن فضاهای دیوارهای بنایی، تزریق دور کابل‌های بتن پیش تنیده، پوشاندن میل مهارها، پرکردن فضاهای میان سنگدانه‌ها دربتن پیش آکنده استفاده می‌شود.

گاهی برای ایجاد انبساط قبل از سخت شدن، مقدار کمی پودر آلومینیوم یا سایر موادمولد گاز به بتن یا دوغاب افزوده می‌شود. این اقدام در مواردی می‌تواند سودمند باشد که دوغاب‌ریزی کاملی برای منطقه‌ای محبوس ، مانند شالوده زیر ماشین‌آلات یا غلاف‌های کابل‌های پس کشیده در بتن پیش تنیده ضروری باشد. مقدار بیشتر این مواد به منظور

تولید بتن های متخلخل و سبک به کار می‌رود. میزان انبساط حاصل به مقدار مواد گازساز مصرفی، دمای مخلوط بتن تازه، مقدار مواد قلیایی سیمان، و عوامل دیگر بستگی دارد. در مواردی که میزان انبساط حساس و مهم باشد، مخلوط و دمای آن باید به خوبی تحت کنترل قرار گیرد. باید توجه داشت که مواد گازساز، جمع‌شدگی پس از سخت شدن در اثر خشک یا کربناتی شدن را بر طرف نمی‌سازند.

همان‌طور که در بند (۳-۶-۳-۴) ذکر شد استفاده از کلرید کلسیم به عنوان ضد یخ در بتن آرمه مجاز نیست. بطور کلی استفاده از مواد افزودنی شیمیایی به مقدار زیاد، اثری سوء بر مقاومت بتن و سایر خواص آن در کوتاه مدت یا دراز مدت دارد. استفاده از ضدیخ نباید جایگزین روش‌های صحیح ساخت بتن و اجرای بتن‌ریزی در هوای سرد باشد، بلکه ضوابط بتن‌ریزی در هوای سرد باید ملاک عمل قرار گیرند (به بند ۷-۶-۳ رجوع شود).

برای کلیه افزودنی‌های متفرقه فوق، به استثنای کلرید کلسیم، آئین نامه و مشخصات استاندارد شده وجود ندارد.

❑ ۳-۷ انبار کردن و نگهداری مصالح بتن

۳-۷-۱ سیمان پرتلند در برابر رطوبت حساس است، ولی اگر بصورت خشک نگهداری شود، مدت بیشتری کیفیت خود را حفظ می‌کند. سیمان پرتلندی که در تماس با رطوبت انبار شود نسبت به سیمانی که خشک نگهداری شده، دیرتر می‌گیرد و مقاومتی کمتر را نشان می‌دهد. رطوبت نسبی در انبار باید تا حد امکان کم باشد. پاکت‌های سیمان نباید مستقیماً روی کف‌های مرطوب انبار شوند بلکه باید روی تخته قرار گیرند. در مناطق مرطوب به ویژه در مناطقی که

رطوبت نسبی از ۹۰ درصد بیشتر است باید پاکت‌ها را بهم نزدیک نمود یا بهم چسبانید تا از جریان هوای مرطوب بین آنها کاسته شود.

پاکت‌های سیمان هرگز نباید در تماس با دیوارهای بیرونی قرار گیرند. روی پاکت‌هائی که به مدت طولانی انبار می‌شوند باید با نایلون یا سایر روکش‌های ضد آب پوشانده شود. در کارگاه‌های کوچک که دسترسی به سایبان مقدور نیست، پاکت‌ها را باید روی سکوهای مرتفع چوبی قرار داد و روکش‌های ضد آب باید تا روی لبه سکوها ادامه یابد تا از نفوذ باران به سیمان و سکو جلوگیری شود. سیمانی که به مدت زیاد انبار شود، ممکن است به صورت کلوخه‌های فشرده درآید. کلوخه‌های سیمان را می‌توان با غلتاندن پاکت‌ها روی کف خرد کرد. به‌هرحال سیمان باید در زمان مصرف بصورت پودر و فاقد کلوخه باشد. در صورتی که کلوخه‌ها به سهولت با یکبار غلتاندن خرد نشوند باید سیمان را قبل از مصرف در کارهای مهم، آزمایش کرد. در هر مورد که کیفیت سیمان انبار شده مشکوک باشد، باید به انجام آزمایش‌های مقاوت فشاری ملات ماسه سیمان استاندارد و افت وزنی ناشی از حرارت دادن (سرخ شدن) اقدام نمود.

تعداد پاکت‌هائی که می‌توان روی هم چید به میزان رطوبت نسبی محیط انبار، نوع سیمان و مدت انبار کردن بستگی دارد. بهر حال این تعداد نباید از ۱۲ پاکت تجاوز نماید.

۳-۷-۲ سنگدانه‌ها باید طوری حمل و انبار شوند که جداشدگی دانه‌ها به حداقل برسد و از آلودگی آنها به مواد زیان‌آور جلوگیری شود. انباشته‌ها باید در لایه‌هائی با ضخامت یکنواخت ایجاد شوند که هر بار قسمت‌هائی از همه لایه‌های افقی برداشته شوند.

بهتر است نسبت حداکثر اندازه اسمی هر توده به حداقل اندازه اسمی آن توده برای سنگدانه‌های درشت‌تر از ۲۰ میلی متر مساوی یا کمتر از ۲ باشد تا جداشدگی به حداقل برسد.

برای سنگدانه‌های درشت با حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر یا کمتر، این نسبت می‌تواند تا حد ۴ افزایش یابد.

تفسیر فصل چهارم

فولاد

❑ ۴-۳ قطر اسمی

۴-۳-۲ قطر میلگردهای ساده نباید با توجه به میزان مندرج جدول زیر، کمتر از قطر اسمی آنها باشد.

محدوده قطر اسمی میلگرد ساده (میلیمتر)	۵ تا ۱۰	۱۱ تا ۲۰	۲۱ تا ۳۲	۳۳ تا ۵۰
میزان مجاز کاهش قطر (میلیمتر)	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۸

۴-۳-۳ وزن میلگردهای آجدار نباید با توجه به میزان محاسبه شده از فرمول زیر، کمتر از وزن اسمی آنها باشد.

در صد مجاز کاهش وزن میلگرد آجدار $= 12 - 0.2d$

d قطر اسمی میلگرد آجدار است.

۴-۳-۶ مزیت قطرهای مرجح در آن است که تشخیص قطرهای مختلف میلگردها از همدیگر در حین اجرا آسانتر و در عین حال مجموع سطح مقطع هر ۲ شماره متوالی تقریباً برابر سطح مقطع میلگرد شماره بالاتر می‌باشد.

❑ ۴-۴ مشخصات مکانیکی

آزمایش در کارخانه قبل از تحویل : در صورت درخواست کارفرما (که باید در مدارک پیمان) تصریح شده باشد، لازم است میلگردها در کارخانه و قبل از تحویل مورد آزمایش قرار گیرند. در این صورت آزمایش روی نمونه‌هایی از محموله‌های حداکثر ۴۰ تنی با قطر اسمی یکسان صورت می‌گیرد. در مواردی که سازنده مشخصات فولاد را تضمین نکرده باشد انجام آزمایش پذیرش در کارخانه الزامی است.

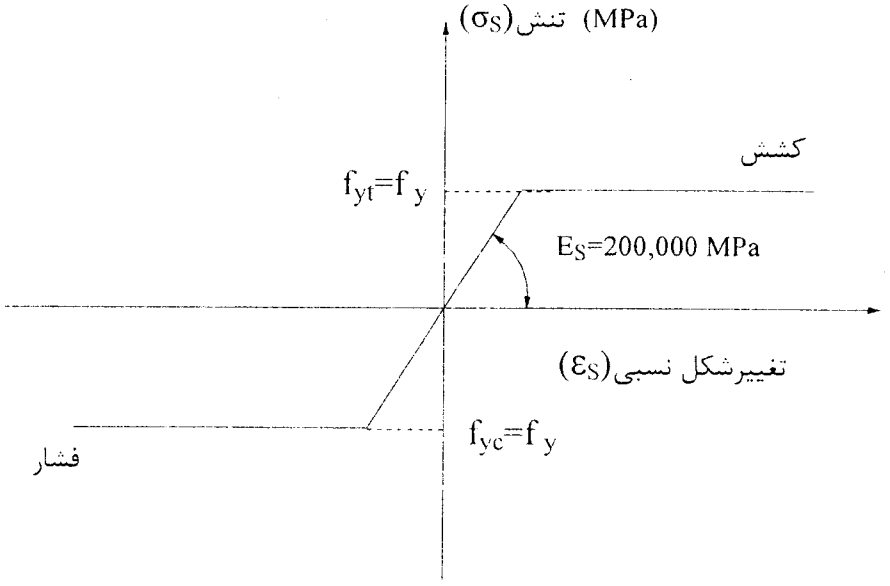
آزمایش کنترل بعد از تحویل : انجام آزمایش‌های کنترل بعد از تحویل فولاد به کارگاه اجباری است و فقط در صورتی که وزن کل میلگردهای مصرفی در کارگاه از ۵۰ تن کمتر باشد می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت، از انجام این آزمایش‌ها صرف‌نظر کرد. در صورت نیاز میلگردهای فولادی باید مطابق بند ۴-۴ نمونه‌برداری، آزمایش و پذیرفته شوند.

طبقه‌بندی میلگردها بر اساس مقاومت مشخصه فولاد f_{yk}، انجام می‌شود. میلگردهای موجود در بازار از تنوع بسیار برخـــوردارند، ولی اغلب میلگردهای متداول در ایران را که بنام AI، AII، AIII و AIV خوانده می‌شوند، می‌توان به ترتیب معادل فولادهای S220، S300، S400 و S500 دانست. برای میلگرد S350 معادلی در طبقه بندی متداول ایران وجود ندارد.

۴-۴-۶ در صورت عدم انطباق مقاومت میلگرد با طبقه مورد نظر چنانچه متوسط مقاومت مشخصه میلگردها (f_{ym}) از مقاومت مشخصه موردنظر(f_{yk}) کمتر نباشد می‌توان میلگرد را از نظر سازه‌ای مورد پذیرش قرار داد. لیکن در مواردی که این شرط نیز تحقق نیابد می‌توان با در نظر گرفتن مقاومت واقعی، طرح ومحاسبه را انجام داد.

❑ ۴-۵ تغییر شکل‌ها

در صورت نداشتن اطلاعات دقیق‌تر می توان، نمودار تنش - تغییر شکل نسبی فولاد را به منظور آسان‌کردن محاسبات مطابق شکل ۴-۵-۱- الف در نظر گرفت که در آن هر کدام از قسمت‌های کششی و فشاری متشکل از دوپاره خط است. پاره خط شیب‌دار این نمودار به وسیله مدول الاستیسیته فولاد Es، و پاره خط افقی آن با تنش تسلیم فولاد، f_y، مشخص می‌گردد که اغلب در کشش و فشار یکسان فرض می شود.



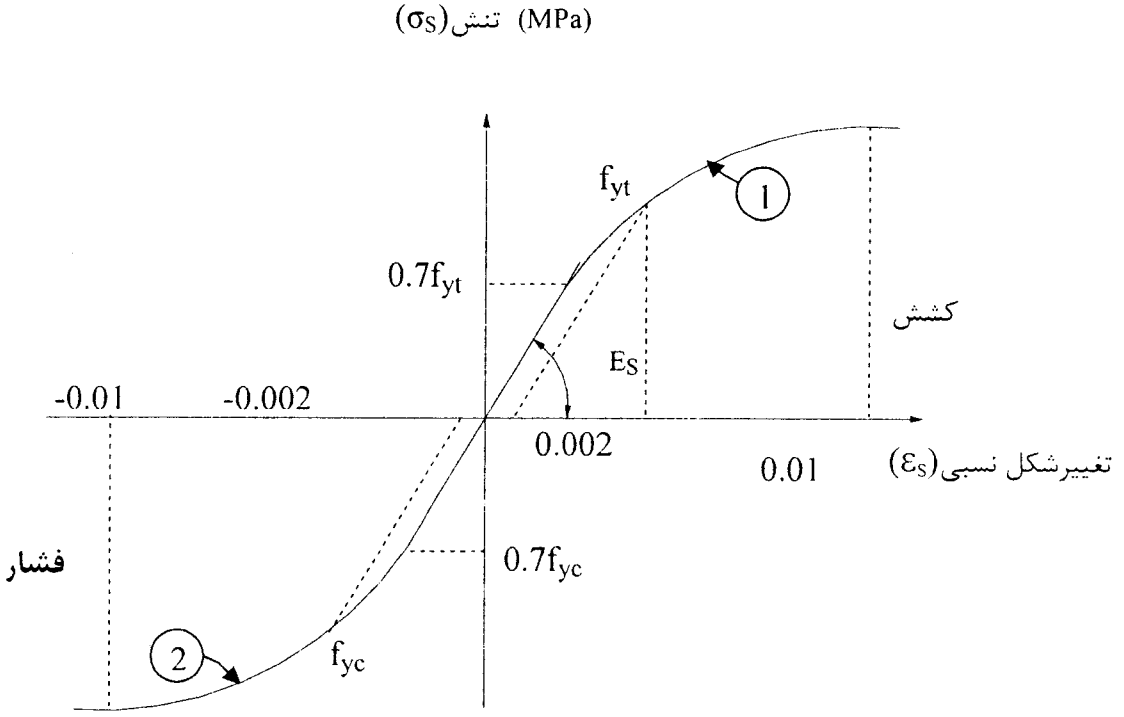
شکل ۴-۵-۱-الف نمودار ساده شده تنش - تغییر شکل نسبی فولاد

فولادهایی که بطور کلی یا جزیی از طریق کشش اصلاح سرد شده‌اند، ممکن است در فشار تنش تسلیم کمتری در مقایسه با کشش داشته باشند، یعنی :

$| f_{yc} | < f_{yt}$

برای این گونه فولادها باید مقدار f_{yc} محاسباتی در برگ شناسایی فولاد قید شود.

نمودار دوخطی تنش و تغییر شکل نسبی، مطابق با آنچه که شرح داده شد، برای میلگردهای گرم نورد شده به واقعیت نزدیک است، اما برای میلگردهای سرد اصلاح شده از طریق پیچاندن و یا کشیدن می‌توان نمودار مطلوبی متشکل از یک قسمت خطی با شیب معادل مدول الاستیسیته، Es، و یک قسمت منحنی مطابق شکل ۴-۵-۱-ب در نظر گرفت.



① $$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{2\times 10^5} + 0.823\left(\frac{\sigma_s}{f_{yt}} - 0.7\right)^5$$

② $$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{2\times 10^5} + 0.823\left(\frac{\sigma_s}{f_{yt}} - 0.7\right)^5$$

شکل ۴-۵-۱-ب نمودار مطلوب تغییر شکل نسبی فولاد

❑ ۴-۶ جوش‌پذیری

جوش‌پذیری میلگردهای فولادی بطورکلی به روش تولید (گرم نورد شده یا سرد اصلاح شده)، ترکیبات شیمیایی، و قطر آنها بستگی دارد. میلگردها از نظر جوش‌پذیری به سه گروه جوش‌پذیر، جوش‌پذیر مشروط و جوش‌ناپذیر تقسیم می‌شوند.

میلگردهای فولادی گرم نورد شده را می‌توان با توجه به ترکیبات شیمیایی، نوع جوشکاری، و قطر آنها مطابق جدول ۴-۷ گروه‌بندی کرد. همانطور که از این جدول بر می‌آید، با افزایش مقدار کربن (C) و کربن معادل فولاد (C_{equiv})، جوش‌پذیری کاهش می‌یابد.

همینطور با افزایش قطر میلگردها، جوش‌پذیری آنها کم می‌شود. مقدار کربن معادل از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$C_{equiv} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{15}$$

که در آن نشانه‌های C، M_n، C_r، M_o، V، N_i، C_u به ترتیب علایم شیمیایی عناصر کربن، منگنز، کرم، مولیبدن، وانادیم، نیکل و مس هستند.

جدول ۴-۷ گروه بندی فولادهای جوش پذیر

گروه	جوشکاری پیوسته	جوشکاری موضعی
(الف) جوش‌پذیر	$C \leq 0.24\ \%$ $C_{equiv} \leq 0.52\ \%$	$6 \leq \Phi \leq 16$, $C \leq 0.22\ \%$ $16 \leq \Phi \leq 25$, $C \leq 0.20\ \%$ $\Phi > 25$, $C \leq 0.18\ \%$ $Cequiv \leq 0.48\ \%$
(ب) جوش‌پذیر مشروط	$C \leq 0.35\ \%$ $C_{equiv} \leq 0.60\ \%$	$6 \leq \Phi \leq 16$, $C \leq 0.28\ \%$ $16 \leq \Phi \leq 25$, $C \leq 0.26\ \%$ $\Phi > 25$, $C \leq 0.24\ \%$ $Cequiv \leq 0.54\ \%$

❑ ۴-۸ انبار کردن و نگهداری فولاد

۴-۸-۱ میلگردهای فولادی را باید بر حسب نوع و قطر انها تفکیک و در کارگاه انبار کرد. در صورت وجود میلگردهای هم قطر با مقاومت‌های مشخصه متفاوت، باید آنها را در محل‌های جداگانه انبار نمود و نوک آنها را رنگ زد تا کاملاً از هم متمایز شوند. در صورت تردید در نوع میلگرد، باید بر اساس مشخصات، آزمایش کششی بعمل آورد. محل‌های انبار کردن میلگرد باید تمیز باشند. میلگردها نباید با خاک یا سایر مصالحی که رطوبت را در خود نگه می‌دارند تماس داشته باشند. بطور کلی محل انبار کردن میلگردها باید طوری باشد که کثیف شدن سطح فولاد و زنگ زدن آن بطور محسوس روی ندهد.

۴-۸-۲ میلگردهائی که بیش از حد زنگ زده باشند باید با استفاده از روش‌های مناسب مانند ماسه پاشی زنگ‌زدائی شوند. به هر حال وزن یا قطر میلگردها نباید بیش از آنچه در بندهای ۴-۳-۲ و ۴-۳-۳ قید شده کاهش یابد ، درغیراینصورت قطر آنها کمتر از قطر اسمی خواهد بودو مصرف آنها بامنظور نمودن قطر جدید میسر می‌باشد.

در مناطقی که خوردگی میلگردها محتمل است ، توصیه می شود زنگ میلگرد پاک شود، زیرا با وجود زنگ در حدی کمتر از پوسته شدن، امکان خوردگی میلگرد افزایش می یابد. زنگ میلگرد در این موارد باید در حدی باشد که بتوان با ناخن یا کشیدن پارچه زبر (چتائی) آن را پاک نمود.

تفسیر فصل پنجم

استاندارد مشخصات و آزمایشها

۵-۲ استانداردهای مربوط به آئین‌نامه

در جداول این قسمت از تفسیر آئین‌نامه، فهرست مشخصات و آزمایشهای استاندارد با شماره‌گذاری دفتر امورفنی، تدوین معیارها وکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه شده است. این استانداردها حتی‌الامکان بر اساس مشخصات و آزمایشهای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه شده‌اند و در مواردی که استانداردهای ایرانی تدوین نشده بطورعمده از استانداردهای ASTM[1] استفاده شده است. در این جداول استانداردهای معادل آن نیز مطابق AASHTO[2]، BSI[3]، ISO[4]، استاندارد ایران، و استانداردهای دیگر شامل RILEM[5]، CEB[6]، FIP[7]، CSA[8]، ACI[9] و IS[10] مشخص شده‌اند.

---

[1] - American Society for Testing and Materials
[2] - American Association of State Highway and Transportation Officials
[3] - British Standards Institution
[4] - International Standard Organization
[5] - Reunion International des Laboratoires d Essais de Recherches sur Les Materiaux
[6] - Commite Euro- International du Beton
[7] - Federation International de La Precontrainte
[8] - Canadian Standards Association
[9] - American Concrete Institute
[10] - Indian Standards

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : سیمان و ملات								
سایراستانداردها CSA , ACI ,IS	استاندارد ایران	ISO	BSI	AASH TO	ASTM	عنوان	مشخصات آزمایش‌ها	دفتر امور فنی و تدوین معیارها
CAN3- A5	389		BS12 BS1370 BS4027	M85	C150	سیمان پرتلند Portland Cement	مشخصات	دت ۱۰۱
	3517		BS146 BS4246	M240	C595	سیمان پرتلند روباره ای Portland Blast – Furnace Slag Cement	مشخصات	دت ۱۰۲
A362-M1977	3432		BS146 BS4246	M240	C595	سیمان های پرتلند آمیخته پوزولانی Blended Portland Pozzolan Cement	مشخصات	دت ۱۰۳
					C845	سیمان منبسط شونده Expansive Cement	مشخصات	دت ۱۰۴
	1694				C563	مقدار بهینه So3 در سیمان پرتلند Optimum SO3 in Portland Cement	آزمایش	دت ۱۰۵
CAN3- A5			BS4550 Part 1		C183	نمونه‌گیری از سیمان Sampling Cement	آزمایش	دت ۱۰۶
CAN3- A5	1692 1693 1694 1695		BS4550 Part 2	T105	C114	تجزیه شیمیایی سیمان Chemical Analysis of Cement	آزمایش	دت ۱۰۷
			BS4550 Part 3	T133	C188	جرم مخصوص سیمان به وسیله نفوذ هوا Density of Cement by Air Permeability	آزمایش	دت ۱۰۸
	390		BS4550 Part 3	T153	C204	نرمی سیمان (نفوذ هوا) (بلین) Fineness of Cement (Air Permeability) (Blaine)	آزمایش	دت ۱۰۹
				T98	C115	نرمی سیمان (کدری سنج واگنر) Fineness of Cement (Wagner Turbidimeter)	آزمایش	دت ۱۱۰

شماره ها و عناوین استانداردهای : سیمان و ملات								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA , ACI ,IS
دت ۱۱۱	آزمایش	اختلاط مکانیکی خمیرهای سیمان و ملاط Mechanical Mixing of Cement Pastes and Mortars	C350	T162				CAN3-A5
دت ۱۱۲	آزمایش	میز جاری شدن Flow Table	C230	T152				CAN3-A5
دت ۱۱۳	آزمایش	زمان گیرش سیمان بوسیله سوزن ویکات Time of Setting of Cement by Vicat Needle	C191	T131			392	CAN3-A5
دت۱۱۴	آزمایش	زمان گیرش سیمان بوسیله سوزن گیلمور Time of Setting Cement by Cillmore Needle	C266	T154				
دت۱۱۵	آزمایش	مقدار هوای ملاط Air Content of Mortar	C185	T137	BS4551 Part 1			
دت۱۱۶	آزمایش	روانی و زمان گیرش سیمان Cement Consistency and Setting Time	C187	T129	Bs4550 Part 3			CAN3-A5
دت۱۱۷	آزمایش	مقاومت کششی ملاط Tensile Strength of Mortars	C190	T132				
دت۱۱۸	آزمایش	مقاومت خمشی ملاط Flexural Strength of Mortars	C348				393	
دت۱۱۹	آزمایش	مقاومت فشاری ملاط (آزمایش نمونه مکعبی) Compressive Strength of Mortars (Cube Test)	C109	T106	Bs4550 Part 3			CAN3-A5
دت ۱۲۰	آزمایش	مقاومت فشاری ملاط (آزمایش نمونه منشوری) Compressive Strength of Mortars (Prism Test)	C349			R679	393	

شماره ها و عناوین استانداردهای : سیمان و ملات								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA, AC1, IS
دت۱۲۱	آزمایش	آب انداختن خمیرهای سیمان و ملاط Bleeding of Cement Pastes and Mortars	C243					
دت۱۲۲	آزمایش	حرارت آبگیری سیمان Heat of Hydration of Cement	C186		BS4550 Part 3		394	
دت۱۲۳	آزمایش	انبساط سیمان در اتو کلاو (آزمایش سلامت) Autoclave Expansion of Cement (Soundness Test)	C151	T107	BS 4550 Part 3		391	CAN3-A5
دت۱۲۴	آزمایش	تغییر طول ملاط و بتن سخت شده Length Change of Hardened Mortar and Conerete	C157					CAN3-A5
دت۱۲۵	آزمایش	قابلیت انبساط سولفاتی ملاطها Potential Sulfate Expansion of Mortar	C452					
دت۱۲۶	آزمایش	انبساط مقید سیمان منبسط شونده Restrained Expansion of Expansive Cement	C806					
دت۱۲۷	آزمایش	جمع شدگی خشک شدن ملاط Drying Shrinkage of Mortar	C596					
دت۱۲۸	مشخصات	سیمان سوپر سولفات Super Sulphated Cement			BS4248			
دت۱۲۹	مشخصات	سیمان آمیخته آهکی Portland Limestone Cement					4220	EN 197-1
دت۱۳۰	مشخصات	سیمان بنائی Masonry Cement	C91				3516	
دت۱۳۱	مشخصات	مشخصات ملاط بنائی Specification for Mortar for unit Masonry	C270					ACI 547R
دت۱۳۲	آزمایش	سختی اولیه سیمان پرتلند (روش ملاط) Test Method for Early Stiffening of Portland Cement (Mortar Method)	C359					

شماره ها و عناوین استانداردهای : سنگدانه ها								
دفتر امورفنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASH TO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA , ACI, IS
دت۲۰۱	مشخصات	سنگدانه های بتن Concrete Aggregates	C33		BS882 BS1201		300 302	CAN3-A23.1
دت۲۰۲	مشخصات	سنگدانه ها برای بتن حفاظت کننده در برابر تشعشع Aggregates for Radiation-Shielding Concrete	C637		BS4619			
دت۲۰۳	مشخصات	سبکدانه ها برای بتن سازه ای Lightweight Aggregates for Structural Concrete	C330	M19 5	BS3797 BS877 BS1165			
دت۲۰۴	آزمایش	نمونه برداری از سنگدانه ها Sampling Aggregates	D75	T2	BS812 Part 1 BS 3681			A23-2-1A
دت۲۰۵	آزمایش	آزمایش سنگ شناسی Petrographic Examination	C295					A23-2-15A
دت۲۰۶	آزمایش	دانه بندی با الک Sieve Analysis	C136	T27	BS812 Part 1		447	A23-2-2A
دت۲۰۷	آزمایش	مقدار کل رطوبت Total Moisture Content	C566		BS812 Part 2			
دت۲۰۸	آزمایش	رطوبت سطحی سنگدانه های ریز Surface Moisture in Fine Aggregates	C70	T142				A23-2-11A
دت۲۰۹	آزمایش	وزن مخصوص Unit Weight	C29	T19	BS812 Part 2			A23-2-10A
دت۲۱۰	آزمایش	چگالی و جذب آب سنگدانه های درشت Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate	C127	T85	BS812 Part 2		611 578	A23-2-12A

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : سنگدانه‌ها								
سایراستانداردها CSA ACI BS	استاندارد ایران	ISO	BSI	AAS HTO	ASTM	عنوان	مشخصات آزمایشها	دفتر امورفنی و تدوین معیارها
A23-2-6A	1686		BS812 Part 2	T 84	C128	چگالی وجذب آب سنگدانه ای ریز Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate	آزمایش	دت۲۱۱
A23-2-9A	449			T104	C88	سلامت سنگدانه ها Soundness of Aggregates	آزمایش	دت۲۱۲
	578				C682	ارزیابی مقاومت سنگدانه های درشت در برابر یخبندان در بتن با حباب هوا Evaluation of Frost Resistance of Coarse Aggregates in Air-Entrained Concrete	آزمایش	دت۲۱۳
	669		BS812 Part 3			ضربه و خرد شدن Impact and Crushing	آزمایش	دت۲۱۴
	448		BS812 Part 3	T96	C131 C535	مقاومت در برابر سایش (ماشین لوس آنجلس) Resistance to Abrasion (losAngeles Machine)	آزمایش	دت۲۱۵
A23-2-8A					C40	ناخالصیهای آلی در ماسه Orgarnic Impurities in Sands	آزمایش	دت۲۱۶
A23-2-9A				T71	C87	اثر ناخالصیهای آلی روی مقاومت Effect of Organic Impurities on Strength	آزمایش	دت۲۱۷
A23-2-5A	446		BS812 Part 1	T11	C117	مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرومتر) Materials Finer than No.200 (75 - m) Sieve	آزمایش	دت۲۱۸
A23-2-4A				T113	C123	تکه های سبک Lightweight Piece	آزمایش	دت۲۱۹
A23-2-13A			BS812 Part 1			دانه های پولکی و سوزنی Flat and Elongated Particles	آزمایش	دت۲۲۰

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : سنگدانه‌ها								
دفتر امورفنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA , ACI, IS
دت ۲۲۱	آزمایش	کلوخه های رسی و دانه های سست Clay Lumps and Friable Particles	C142	T112				A23-2-3A
دت۲۲۲	آزمایش	سنگدانه برای ملاط بنایی Aggregate for Masonry Mortar	C144				299	
دت۲۲۳	آزمایش	دانه های نرم Soft Particles	C851					
دت۲۲۴	آزمایش	قابلیت واکنش قلیایی مخلوطهای سیمان‌وسنگدانه(روش منشور ملاط) Potential Alkalai Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar Bar Method)	C227					
دت۲۲۵	آزمایش	واکنش قلیایی سنگدانه (منشورهای بتنی) Alkalai- Aggregate Reaction (Chemicl Method)	C1260					A23-2-14A
دت۲۲۶	آزمایش	قابلیت واکنش زایی سنگدانه (روش شیمیایی) Potential Reactivity of Aggregate (Chemical Method)	C289					
دت۲۲۷	آزمایش	واکنش قلیایی‌بالقوه‌سنگهای کربناتی Potential Alkalai Reactivity of Carbonate Rocks	C586					
دت۲۲۸	آزمایش	قابلیت تغییرات حجمی مخلوطهای سیمان و سنگدانه ها Potential Volme Change of Cement-Aggtegate Combinations	C342					
دت۲۲۹	آزمایش	کنترل واکنش قلیایی سنگدانه با استفاده از مواد افزودنی معدنی Control of Alkalai- Aggregate Reaction Using Mineral Admixtures	C441					
دت۲۳۰	آزمایش	مقدار کل یون‌سولفات قابل‌حل درآب Total of Water Soluble Sulfate Ion Content			BS1377 Test 9			A23-2-3B

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : سنگدانه‌ها								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA,ACI,IS
دت ۲۳۱	آزمایش	مقدار کلرید سنگدانه Cheoride Content of Aggregate			BS812 Part 4 BS1881 Part 6			
دت۲۳۲	آزمایش	ارزش ماسه‌ای خاک‌وسنگدانه‌های‌ریز Sand Equivalent Value of Soil and Fine Aggregates	D2419	T 176				

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : آب								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA , ACI,IS
دت ۳۰۱	مشخصات	تعاریف واژه‌هایی که‌به‌آب ارتباط دارند Definitions of Terms Relating to Water	D1129					
دت ۳۰۲	آزمایش	کلسیم و منیزیم در آب Calcium and Magnesium in water	D511					
دت۳۰۳	آزمایش	pH آب و فاضلاب pH of Water and Waste Water	D1293	T26				
دت۳۰۴	آزمایش	اسیدی یا قلیایی بودن آب Acidity or Alkalinity of Water	D1067					
دت۳۰۵	آزمایش	ذرات معلق و مواد محلول در آب Particulate and Dissolved Matter in Water	D1888					
دت۳۰۶	آزمایش	یون کلرید در آب و فاضلاب Chloride Ion in Water and Waste water	D512					
دت۳۰۷	آزمایش	یون سولفات در آبهای زیرزمینی Sulfate Ion Content in Groundwater	D516		BS1377 Test10			A23-2-2B
دت۳۰۸	آزمایش	کیفیت آب مصرفی در بتن Quality of Water to be Used in Concrete		T26	BS3148			ACI318 IS456

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : مواد افزودنی								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA ,ACI, IS
دت۴۰۱	مشخصات	مواد افزودنی شیمیایی Chemical Admixtures	C494	M194	BS5075 Part I			CAN3-A226-2
دت۴۰۲	مشخصات	مواد افزودنی حباب ساز Air-Entraining Admixtures	C260	M154				CAN3-A226-1
دت۴۰۳	مشخصات	خاکستر بادی و پوزولان های طبیعی خام یا تکلیس شده Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans	D618	M295			3433	CAN3-A226-3
دت۴۰۴	مشخصات	ضوابط کلرید کلسیم Requiremonts for Calcium Chloride	D98	M144				
دت۴۰۵	آزمایش	نمونه گیری و آزمایش کلرید کلسیم Sampling and Testing Calcuim Chloride	D345	T143				
دت۴۰۶	آزمایش	مواد افزودنی حباب ساز Air-Entraining Admixtures	C233	T157				CAN3-A226-1
دت۴۰۷	آزمایش	نمونه برداری و آزمایش خاکستر بادی یا پوزولان های طبیعی Sampling and Testing Fly Ash or Natrural Pozzolans	C311					CAN3-A226-3
دت۴۰۸	مشخصات	مواد افزودنی شیمیایی برای تولید بتن سیال Chemical Admixtures for use in Producing Flowing Concrete	C1017					
دت۴۰۹	مشخصات	دوده سیلیسی مصرفی در بتن و ملاط Silica Fume for use in Hydraulic Cement Concrete and Montar	C1240	M307				
دت۴۱۰	مشخصات	روباره دانه ای کوره آهنگدازی برای مصرف در بتن و ملاط Ground granulated Blast Furnace Slag for use in Concrete and Mortar	C989	M302				
دت۴۱۱	مشخصات	افزودنی رنگدانه‌ای برای تولید بتن رنگی Pigments for Integrally Colored Concrete	C979					
دت۴۱۲	مشخصات	افزودنیهای مصرفی برای بتن پاشی Admixtures for Shotcrete	C1141					
دت۴۱۳	آزمایش	زمان گیرش خمیر سیمان حاوی افزودنی تسریع کننده فوری مصرفی در شات کریت با سوزن گیلمور Time of Setting of Portlant Cement Paste Containing Quick-Setting Accelerating Admixtures for Shotcrete by the use of Gillmore Needle	C1102					
دت۴۱۴	آزمایش	فعالیت هیدرولیکی روباره از طریق واکنش با قلیائیها Hydraulic Reactivity of Ground Slag by Reaction with Alkali	C1073					

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن تازه								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASHTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA ,ACI ,IS
دت۵۰۱	مشخصات	بتن آماده Ready- Mixed Concrete	C94		BS1926			CAN3-A23-
دت۵۰۲	آزمایش	نمونه برداری بتن تازه Sampling Freshly Mixed Concrete	C172		BS1881 Part 1		489	A23-2-1C
دت۵۰۳	آزمایش	ساختن و عمل آوردن نمونه های آزمایشی بتنی در آزمایشگاه Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory	C192	T126	BS1881 Part 3		581	A23-2-2C
دت۵۰۴	آزمایش	ساختن و عمل آوردن نمونه های آزمایشی بتن در کارگاه Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field	C31	T23	BS1881 Part 3			A23-2-2C
دت۵۰۵	آزمایش	آزمایش اسلامپ Slump Test	C143	T119	BS1881 Part 2	4109	492	A23-2-5C
دت۵۰۶	آزمایش	آزمایش روان سنجی وی – بی V.B Consistometer Test			BS1881 Part 2			
دت۵۰۷	آزمایش	نفوذ گلوله در بتن تازه (گلوله کلی) Ball Penetration in Fresh Concrete (Kelly Ball)	C360				511	
دت۵۰۸	آزمایش	آزمایش ضریب تراکم Compacting Factor Test			BS1881 Part 2			
دت۵۰۹	آزمایش	وزن مخصوص ، بازدهی و مقدار هوا (اندازه گیری وزنی) Unit Weight,Yield, and Air Content(Gravimetric)	C138	T121	BS1881 Part 2			A23-2-6C
دت۵۱۰	آزمایش	مقدار هوای بتن تازه (اندازه گیری حجمی) Air Content of Fresh Concrete (Volumetric)	C173					A23-2-7C

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن تازه								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA , ACI,IS
د‌ت۵۱۱	آزمایش	مقدار هوای بتن تازه (روش فشاری) Air Content of Fresh Concrete (Pressure Method)	C231		BS 1881 Part2			A23-2-4C
د‌ت۵۱۲	آزمایش	تجزیه بتن تازه Analysis of Fresh Concrete			BS1881 Part 2			
د‌ت۵۱۳	آزمایش	آب انداختن Bleeding	C232					
د‌ت۵۱۴	آزمایش	زمان گیرش بوسیله مقاومت در برابر نفوذ Time of Setting by Penetration Resistance	C403					
د‌ت۵۱۵	آزمایش	تغییرات حجمی اولیه Early Volume Changes	C827					
د‌ت۵۱۶	آزمایش	نگهداری آب بوسیله مواد عمل آورنده بتن Water Retention by Concrete Curing Materials	C156					
د‌ت۵۱۷	آزمایش	بتن ساخته شده بوسیله پیمانه کردن حجمی و اختلاط پیوسته Concrete Made by Volumetric Batching and ontinuous Mixing	C685					
د‌ت۵۱۸	مشخصات	مواد مایع عمل آورنده بتن Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete	C309					
د‌ت۵۱۹	مشخصات	مواد عشائی عمل آورنده بتن Sheet Materails for Curing Concrete	C171					
د‌ت۵۲۰	مشخصات	دانه بندی سنگدانه های مصرفی در شات کریت Gradation of AggregateUsed in Shotcrete						ACI 506 R
د‌ت۵۲۱	آزمایش	ارزیابی اثر مواد عمل آورنده بتن Evaluating the Effectiveness of Matrials for Curing Concrete	C1151					
د‌ت۵۲۲	آزمایش	نمونه گیری از شات کریت Sampling Materials for Shotcrete	C1385					
د‌ت۵۲۳	آزمایش	زمان گیرش شاتکریت بوسیله مقاومت در برابر نفوذ Time of Setting of Shotcrete Mixtures by Penetration Resistanc	C1117					
د‌ت۵۲۴	آزمایش	تهیه و آزمایش نمونه از ورقه های شاتکریت Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Panels	C1140					

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن سخت شده								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA ,ACI, IS
دت۶۰۱	آزمایش	کلاهک گذاری نمونه‌های استوانه‌ای Capping Cylinders	C617		BS1881 Part 3			
دت۶۰۲	آزمایش	مقاومت فشاری Compressive Strength	C39	T22	BS1881 Part 4			A23-2-9C
دت۶۰۳	آزمایش	مقاومت فشاری بتن (نمونه منشوری) Compressive Strength of Concrete(Prisms)	C116		BS1881 Part 4			
دت۶۰۴	آزمایش	آزمایشهای فشاری بتن بدون اسلامپ Compression Tests of No-Slump Concrete						A232-12C
دت۶۰۵	آزمایش	عمل آوردن تسریع شده و آزمایش بتن Accelerated Curing and Testing of Concrete	D684					A23-2-10C
دت۶۰۶	آزمایش	مقاومت کششی دو نیم کردن Splitting Tensile Stength	C496		BS1881 Part 4			
دت۶۰۷	آزمایش	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در نقاط یک سوم دهانه Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam With Third Point Loading	C78	T97	Bs1881 Part 4 BS 340 BS368		490	A23-2-8C
دت۶۰۸	آزمایش	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در وسط دهانه Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam With Center Point Loading	C293	T 177				
دت۶۰۹	آزمایش	تعیین خشک شدگی ،جمع شدگی، و حرکت رطوبت Determination of Drying , Shrinkage and Moisture Movement	C490		BS1881 Part 5			
دت۶۱۰	آزمایش	مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون Static Modulus of Elasticity and Poisson s Ratio	C469		BS1881 Part 5		525	

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن سخت شده								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AASH TO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایر استانداردها CSA , ACI, IS
دت۶۱۱	آزمایش	فرکانسهای اصلی ،عرضی، طولی و پیچشی Fundamental , Transverse, Longitudinal,andTorsional Frequencies	C215		BS1881 Part 5			
دت۶۱۲	آزمایش	ویژگیهای مکانیکی تحت اثر بارهای سه محوری Mechanical Properties Under Triaxial Loads	C801					
دت۶۱۳	آزمایش	وارفتگی بتن در فشار Creep of Concrete in Compression	C512					
دت۶۱۴	آزمایش	تغییر طول نمونه های مته یا اره شده Length Change of Drilled or Sawed Specimens	C341		BS1881 Part 5			
دت۶۱۵	آزمایش	چگالی، جذب آب و فضاهای خالی Specific Gravity, Absorption and voids	C642		BS1881 Part 5			A23-2-11C
دت۶۱۶	آزمایش	تعیین میکروسکپی سیستم حبابهای هوا Microscopical Determination of the Air-Void System	C457					
دت۶۱۷	آزمایش	عیار سیمان بتن سخت شده Portland-Cement Content of Hardened Concrete	C1084		BS1881 Part 6			
دت۶۱۸	آزمایش	مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سریع Resistance to Rapid Freezing and Thawing	C666					
دت۶۱۹	آزمایش	اتساع بحرانی بتن در اثر یخبندان Critical Dilation of Concrete Subjected to Freezing	C671					
دت۶۲۰	آزمایش	مقاومت در برابر سایش بوسیله ماسه پاشی Abrasion Resistance by Sandblasting	C418					

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن سخت شده								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایر استانداردها CSA , ACI, IS
دت ۶۲۱	آزمایش	مقاومت سایشی سطوح افقی Abrasion Resistance of Horizontal Surfaces	C779					
دت ۶۲۲	آزمایش	مقاومت پوسته شدن بتن در معرض مواد شیمیایی یخ زدا Scaling Resistance of Concrete Exposed to De-icing	C672					
دت ۶۲۳	آزمایش	پیوستگی ایجاد شده با میلگردهای فولادی Bond Developed with Reniforcing Steel	C234					
دت ۶۲۴	آزمایش	امتحان و نمونه برداری ار بتن در عملیات اجرایی Examining and Sampling of Concrete in Construction	C823					
دت ۶۲۵	آزمایش	آزمایش مغزه های مته شده و تیرهای اره شد Testing Drilled Cores and Sawed Beams	C42		BS1881 Part 4			A23-2-14 C
دت ۶۲۶	آزمایش	عدد برجهندگی Rebound Number	C805		BS4408 Part 4			
دت ۶۲۷	آزمایش	مقاومت در برابر نفوذ Penetration Resistance	C803					
دت ۶۲۸	آزمایش	آزمایش بتن به به روش فرا صوتی Ultrasonic Concrete Testinng	C597		BS4409 Part 5			
دت ۶۲۹	آزمایش	مقاومت در برابر بیرون کشیدن Pull-Out Strength	C800					
دت ۶۳۰	آزمایش	تجزیه بتن سخت شده Analysis of Hardened Concrete			BS1881 Part 6			

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : بتن سخت شده								
دفتر امورفنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایراستانداردها CSA . ACI , IS
دت۶۳۱	آزمایش	دستگاههای الکترومغناطیسی اندازه گیری پوشش Electromagnetic Cover Measuring Devices			BS4408 Part 1			
دت۶۳۲	آزمایش	رادیو گرافی با اشعه گاما Gamma Radiography			BS4408 Part 3			
دت۶۳۳	آزمایش	کلر قابل حل در آب موجود در بتن و ملاط Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete	C1218					
دت۶۳۴	آزمایش	کلر قابل حل در اسید موجود در بتن و ملاط Acide-Soluble Chloride in Mortar and Concrete	C1152					
دت۶۳۵	آزمایش	مقاومت در مقابل نفوذ یون کلر با روش الکتریکی Electrical Indication of Concrete Ability toResist Chloride Ion Penetration	C1202					
دت۶۳۶	آزمایش	فعالیت خوردگی میلگرد بدون پوشش در بتن Half- Cell Potentrials of Uncoated Steel in Concrete	C876					
دت۶۳۷	آزمایش	آزمایش جذب آب بتن Water absorption test			BS 1881 Part 122 1983			
دت۶۳۸	آزمایش	ازمایش نفوذ آب Water Penetration test						DIN 1048 part 5 1991 EN* 12390-8 2000

* European Norm

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : فولاد								
دفتر امور فنی و تدوین معیارها	مشخصات آزمایشها	عنوان	ASTM	AAS HTO	BSI	ISO	استاندارد ایران	سایر استانداردها CSA , ACI ,IS
دت ۷۰۱	آزمایش	آزمایش کششی میلگرد Tensile Test on Reinforcement Bars						* RC 2
دت۷۰۲	آزمایش	آزمایش کششی بعد از خم کردن و باز کردن خم (برای میلگرد و سیم به قطر کمتر از ۹ میلیمتر) Tensile Test after Bending and Straightening						RC 3
دت۷۰۳	آزمایش	آزمایش خم کردن و باز کردن خم Rebend Test for Reinforcement Steel						RC 4
دت۷۰۴	آزمایش	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش تیر) Bond Test for Reinforcment Steel (Beam Test)						RC 5
دت۷۰۵	آزمایش	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش بیرون کشیدن میلگرد) Bond Test for Reinforcment Steel (Pull-out Test)						RC 6
دت۷۰۶	آزمایش	آزمایش وصله های جوش شده میلگرد Requirements for the Control of Weld Joints in Reinforcment						RC 7
دت۷۰۷	آزمایش	آزمایش خستگی میلگرد Fatigue Test on Concrete Reinforcing Steel						RC 8

* RILEM-CEB

تفسیر فصل ششم

کیفیت بتن

۶-۱ کلیات

۶-۱-۲ هدف این بخش، تأکید بر این نکته است که مقاومت فشاری متوسط بتن در آزمایشگاه باید همواره از مقاومت مشخصه فشاری که در محاسبات طراحی بکار می‌رود بیشتر باشد. بدین ترتیب با توجه به علم آمار و احتمالات، مقاومت فشاری بتن در هنگام ساخت و در سازه تضمین می‌گردد.

برای تهیه نمونه مخلوط بتن در آزمایشگاه باید از استاندارد روش ساختن و عمل آوردن آزمونه بتن در آزمایشگاه دت ۵۰۳ استفاده نمود.

۶-۲ مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط بتن

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بتن و پایائی آن تابع ویژگی‌های مواد تشکیل دهنده بتن و نسبت‌های اختلاط آنها است. نکته مهم در طرح مخلوط بتن، به حداقل رسانیدن فضای خالی بین سنگدانه‌ها و کاهش مقدار سیمان لازم برای پرکردن این فضاها می‌باشد. بدیهی است در این حالت، سیمان مصرفی بیشتر به کار چسباندن سنگدانه‌ها به یکدیگر می آید و مخلوطی متراکم و اقتصادی حاصل می‌گردد.

ویژگی‌های مواد تشکیل دهنده بتن در فصل سوم این آئین نامه و تفسیر آن ارائه شده است. برای دستیابی به مخلوط بتن مناسب و ایجاد بتن سخت شده مطلوب، باید از مرحله بتن تازه و خمیری گذر نمود. بنابراین ویژگی‌های بتن تازه و خمیری در تعیین نسبت‌های اختلاط مانند روانی، آب انداختن، جداشدگی، تراکم‌پذیری، سهولت پرداخت سطح بتن و جمع‌شدگی خمیری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشند.

در این بخش کلیات تعیین نسبت‌های اختلاط بتن ذکر شده است. طرح مخلوط بتن در مشخصات فنی خصوصی پروژه ارائه می‌شود. برای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن می توان از روش‌های گوناگونی استفاده نمود که روش وزنی و روش حجم مطلق از جمله آنها است. توصیه می‌شود برای دقت بیشتر، از روش حجم مطلق بصورت زیر استفاده گردد.

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{W_f}{\rho_w} + \frac{A_{ssD}}{\rho_{A_{ssD}}} + \frac{F}{\rho_F} + V_a = 1000\ (\mathrm{dm^3})$$

C , W_f , A_{ssD} , F به ترتیب جرم سیمان، آب آزاد، سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک و افزودنی در هر متر مکعب بتن بر حسب کیلوگرم می‌باشند.

ρ جرم حجمی اجزاء فوق و V_a حجم هـــوای بتن تازه متراکم برحسب دسیمتر مکعب است.

می توان سنگدانه‌ها را تفکیک نمود که در این حالت جرم اشباع با سطح خشک هر یک را جداگانه بر جرم حجمی اشباع با سطح خشک آن سنگدانه تقسیم می‌کنند و حجم‌های حاصله را با یکدیگر جمع می‌نمایند.

مقادیر W_f , C در طرح مخلوط بتن، در ابتدا با توجه به مقدار آب آزاد و نسبت آب به سیمان بتن مشخص می‌گردد.

فرمول حجم مطلق همواره برای تعیین آخرین مجهول طرح مخلوط بکار می‌رود. آخرین مجهول، معمولاً مقدار کل سنگدانه‌ها و یا سنگدانه‌های ریز خواهد بود. اگر کل سنگدانه‌ها توسط فرمول حجم مطلق بدست آید، با توجه به سهم هر یک، جرم سنگدانه‌ها به تفکیک تعیین می‌شود. بدیهی است در این حالت، جرم حجمی متوسط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک در فرمول حجم مطلق بکار می‌رود. جرم حجمی متوسط سنگدانه‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\rho_{ASSD} = \frac{1}{\frac{X}{\rho_x} + \frac{Y}{\rho_y} + \frac{Z}{\rho_z} + \dots}$$

X، Y، Z و ... نسبت وزنی هر بخش از سنگدانه‌ها در کل سنگدانه می‌باشد (بصورت اعشاری)

ρ_x ، ρ_y ، ρ_z و ... جرم حجمی متناظر با هر بخش از سنگدانه است.

X، Y، Z و ... را میتوان با توجه به دانه بندی هر بخش از سنگدانه و با عنایت به دانه بندی مطلوب کل سنگدانه بتن بدست آورد.

اگر ρ_c از طریق آزمایش بدست نیامده باشد، در این صورت این مقدار برای سیمان‌های پرتلند برابر ۳/۱۰ تا ۳/۲۰ و برای سیمان‌های پرتلند آمیخته ۳ تا ۳/۱۰ منظور می‌گردد.

جرم حجمی دوده سیلیسی معمولاً بین ۲/۲ تا ۲/۴ و ρ_w برابر $1\ Kg/dm^3$ فرض می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر درباره طرح اختلاط به مراجع ۱، ۱۲ و ۴۱ مراجعه شود.

۶-۲-۱ نسبت آب به سیمان باید آنقدر کم باشد تا مقاومت فشاری متوسط موردنظر در آزمایشگاه بدست آید، و ضوابط مربوط به حداقل مقاومت فشاری بتن در کارگاه حین ساخت حاصل گردد. همچنین باید ضوابـط پایائی بتن طبـق بند ۶-۳-۳ تأمین شود. مواد تشکیل دهنده بتن و نسبت‌های اختلاط آنها باید طوری انتخاب شوند که علاوه بر دستیابی به حداقل ضوابط این آئین‌نامه، ضوابط مربوط به مشخصات فنی خصوصی پروژه و مدارک پیمان از جمله حداقل یا حداکثر عیار سیمان مجاز، حداکثر نسبت آب به سیمان مجـاز، محـدوده روانی بتن، حداکثر اندازه یا شکل سنگدانه‌ها و دانه‌بندی آنها رعایت گردد.

۶-۲-۱-۱ برای تأمین کارآئی، روانی و تراکم‌پذیری مورد نیاز، ساخت مخلوط‌های آزمایشی در آزمایشگاه و انجام آزمایش‌های مختلف کارآئی بتن، راه‌حل اساسی و نهائی است. برای شروع می‌توان از جدول ۶-۲-۱-۱ بعنوان راهنما استفاده نمود و آب آزاد طرح اختلاط اولیه را بدست آورد. بدیهی است با استفاده از نتایج آزمایش کارآئی مخلوط آزمایشی می‌توان آب آزاد طرح اختلاط نهائی را تعیین نمود.

جدول ۶-۲-۱-۱- مقدار تقریبی آب آزاد بتن * برای تأمین کارآئی لازم ** (Kg)

اسلامپ بتن (م.م) / حداکثر اندازه سنگدانه‌ها (م.م)	۲۵ - ۵۰	۷۵ – ۱۰۰	۱۵۰ – ۱۷۵
۹/۵	۱۹۵ - ۲۲۵	۲۱۰ - ۲۴۰	۲۲۰ – ۲۵۰
۱۲/۵	۱۸۵ – ۲۱۵	۲۰۰ - ۲۳۰	۲۱۰ – ۲۴۰
۱۹	۱۷۵ - ۲۰۵	۱۹۰ – ۲۲۰	۲۰۰ – ۲۳۰
۲۵	۱۶۵ -۱۹۵	۱۸۰ - ۲۱۰	۱۹۰ – ۲۲۰
۳۸	۱۵۰ – ۱۸۰	۱۶۵ – ۱۹۵	۱۷۵ – ۲۰۵
۵۰	۱۴۰ - ۱۷۰	۱۵۵ – ۱۸۵	۱۶۵ – ۱۹۵+
۶۳	۱۳۰ – ۱۶۰	۱۴۵ – ۱۷۵+	۱۵۵ –۱۸۵+

* دقت اعداد جدول فوق ۱۰ ± کیلوگرم می‌باشد.

** محدوده اعداد جدول فوق با توجه به شکل سنگدانه‌های ریز و درشت و همچنین بافت دانه‌بندی بتن و عیار سیمان آن داده شده و کاملاً تقریبی است. بافت سطحی سنگدانه‌ها و سایر عوامل دیگر نیز در تعیین مقدار آب آزاد بتن برای دستیابی به کارائی مشخص نقش دارند. مسلماً تأثیر شکل سنگدانه‌های ریز در تعیین آب آزاد لازم برای رسیدن به کارآئی معین، بیشتر از شکل سنگدانه‌های درشت بتن می‌باشد. هر چه بافت دانه‌بندی بتن ریزدانه‌تر و عیار سیمان آن بیشتر باشد، سطح ویژه اجزای متشکله بتن افزایش می یابد و آب بیشتری برای مرطوب کردن سطح دانه های آن لازم می‌باشد.

+ احتمال جداشدگی مواد بتن به ویژه برای بتن‌های کم عیار وجود دارد.

۶-۲-۲ هدف این بند، تأکید بر این نکته است که، تجربه‌های کارگاهی یا مخلوطهای آزمایشی در آزمایشگاه، بهترین معیار برای انتخاب نسبت‌های اختلاط بشمار می‌آیند. در صورتی که سوابق قبلی و یا اطلاعات دقیقی در دسترس نباشد می‌توان نسبت‌های اختلاط را بر اساس تخمین نسبت آب به سیمان به دست آورد.

در جدول ۶-۲-۲ برای راهنمائی، نسبت‌های آب به سیمان لازم برای تأمین مقاومت فشاری متوسط آزمایشگاهی بتن ارائه می‌گردد. بدیهی است این نسبت‌ها صرفاً برای تهیه طرح‌های اختلاط اولیه و ساخت مخلوط‌های آزمایشی داده شده‌اند و پس از ساخت این مخلوط‌ها (ترجیحاً با سه نسبت آب به سیمان) می‌توان نسبت آب به سیمان موردنظر را برای ارائه طرح اختلاط نهائی به دست آورد.

جدول (۶-۲-۲) نسبت وزنی آب به سیمان تقریبی برای دستیابی به مقاومت فشاری متوسط بتن معمولی *

مقاومت فشاری متوسط بتن N/mm^2 / شکل سنگدانه درشت	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
کاملاً گرد گوشه +	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۵	—	—
کاملاً تیزگوشه وشکسته +	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۲

* این نسبت‌ها برای بتن با سنگدانه طبیعی معمولی با حداکثر اندازه سنگدانه ۲۰ تا ۲۵ میلی متر و سیمان نوع ۱(۳۲۵) و هوای ۱ تا ۲ درصد که در شرایط آزمایشگاهی استاندارد تهیه ، نگهداری و عمل‌آوری شده صادق است. مقاومت‌های ارائه شده، مقاومت فشاری متوسط ۲۸ روزه طرح اختلاط برای آزمونه استوانه‌ای استاندارد می‌باشد.

اگر سیمان نوع ۲ و ۵ مصرف شود نسبت‌های فوق به ترتیب می‌تواند در ۰/۹۵ و ۰/۹۲ ضرب گردد.

سیمان‌های پرتلند آمیخته را می‌توان با توجه به درصد مواد پوزولانی یا روباره‌ای مانند نوع ۲ یا ۵ در نظر گرفت.

افزودنی‌های مختلف ممکن است اثر زیادی بر مقاومت فشاری بتن داشته باشد.

اگر از سیمان‌های نوع ۱(۴۲۵ یا ۵۲۵) استفاده شود می‌توان نسبت آب به سیمان بیشتری را در طرح منظور نمود.

برای حداکثر اندازه اسمی سنگدانه بزرگتر از ۲۵–۲۰ میلی‌متر، نسبت آب به سیمان لازم کمتر خواهد شد و بالعکس.

اگر بتن از نوع حبابدار باشد (۴ تا ۶ درصد حباب هوا)، نسبت‌های آب به سیمان جدول را می‌توان در ضریب ۰/۹ - ۰/۸۵ با توجه به درصد حباب هوا ضرب نمود.

برای مقاومت‌های بین اعداد جدول می‌توان از درون‌یابی برای تعیین نسبت آب به سیمان استفاده نمود.

+ در صورت استفاده از سنگدانه‌های درشت نیمه شکسته، نسبت آب به سیمان مخلوط، از درون یابی مقادیر جدول فوق بدست می‌آید. معمولاً شکل سنگدانه‌های ریز اثر چندانی بر مقاومت فشاری بتن ندارند و بنابراین در تعیین نسبت آب به سیمان، بدان توجه نمی‌شود.

❑ ۶-۳ پایائی بتن

۶-۳-۱ کلیات

اعضای بتنی پایا طوری طراحی و ساخته می‌شوند که می‌توانند اقلام مدفون را در برابر خطر خوردگی حفظ کنند، و نیز در شرایط اقلیمی بهره‌برداری در عمر مفید پیش‌بینی شده، به نحوی رضایت‌بخش عمل نمایند. برای رسیدن به اهداف یادشده باید تمامی عوامل مؤثر بر طرح و اجرا را مورد توجه قرار داد. در این رابطه شکل سازه‌ای و پوشش روی فولاد باید در مرحله طراحی، با در نظر داشتن شرایط اقلیمی، مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که سازه موردنظر تحت تأثیر عوامل خورنده مشخص واقع شود، باید نوع سیمان نیز در مرحله طراحی تعیین گردد.

نفوذناپذیری در برابر آب، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و سایر مواد مضر از مشخصه‌های اصلی موثر بر پایائی بتن است. نفوذپذیری بتن تحت تأثیر مواد تشکیل دهنده و روش‌های ساخت آن قرار می‌گیرد.

می‌توان از طریق مصرف مقدار مناسب سیمان، نسبت آب به سیمان کافی و در عین حال کم، تراکم و عمل‌آوری مناسب، نفوذپذیری بتن را کاهش داد (به مراجع ۵ و ۱۶ رجوع شود).

۶-۳-۲ عوامل کاهنده و افزاینده پایائی

۶-۳-۲-۱ یخبندانهای متناوب (پی در پی)

در طرح و ساخت بتنی که تحت اثر هم زمان رطوبت و یخبندان‌های پی در پی واقع می‌شود باید نکات زیر را رعایت کرد :

- طراحی مناسب سازه با توجه به هدف کاهش رویاروئی با رطوبت

از آنجا که بسیاری از فرایندهای تخریبی بتن تنها به دلیل حضور آب آزاد بروز می‌کنند باید تا حد امکان سازه را طوری طرح کرد که رویاروئی آن با رطوبت و آب ، حداقل ممکن باشد. جزئیات هندسی سازه‌های رویارو با رطوبت و آب باید طوری باشد که زهکشی مطلوب صورت گیرد و از جمع شدن آب روی سازه جلوگیری شود تا آب به قسمت‌های تحتانی راه نیابد. همچنین باید ترک‌هایی را که موجب جمع شدن یا انتقال آب می‌شوند، تاحد امکان کاهش داد.

- نسبت آب به سیمان کم

نسبت آب به سیمان از عوامل تعیین‌کننده و موثر بر پایائی بتن است. در تهیه بتن متراکم باید نسبت آب به سیمان به کمترین حد ممکن محدود شود، بطوری که آب انداختن و جداشدگی روی ندهد.

- ایجاد حباب هوا در بتن

در مواردی که بتن مرطوب و اشباع از آب در معرض یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرد، پایایی لازم باید از طریق مصرف مواد حباب ساز تأمین شود.

- انتخاب مصالح مناسب، عمل آوری صحیح و رعایت دقیق نکات اجرائی با توجه به شرایط محیطی

عوامل فوق از مهمترین عوامل موثر بر پایایی بتن بشمار می‌آیند. همچنین تراکم بتن، بدون جدا شدگی دانه ها از طریق انتخاب روانی مطلوب، به کار گرفتن تجهیزات مناسب، تراکم کافی بتن به ویژه در مجاورت درزها و اقلام مدفون و در نهایت پرداخت مطلوب سطح، از عوامل موثر در ساخت بتن پایا محسوب می‌شوند. از انجام کارهای اضافی مانند افزودن آب و پودر سیمان برای پرداخت سطح بتن باید پرهیز نمود. مهارت در پرداخت سطح منجر به افزایش مقاومت و پایایی بتن می‌شود و سطح تمام شده را در برابر یخ زدن و آب شدن و رویارویی با نمک‌های یخ‌زدا مقاوم می‌سازد. انتخاب روش‌های مناسب عمل‌آوری و تداوم فرایند آبگیری سیمان به ویژه در مجاورت سطح بتن، موجب کاهش نفوذپذیری و افزایش پایایی بتن می‌شود. عمل‌آوری مطلوب برای جلوگیری از هرگونه اثر زیانبار ناشی از کاهش سریع رطوبت در بتن‌های جوان امری ضروری است. در صورتیکه کوچکترین بعد بتنی که در یک نوبت ریخته می‌شود از ۶۰۰ میلی متر بیشتر باشد، به ویژه با سیمان بیش از ۴۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن، باید تدابیری اتخاذ کرد تا گرمای آبگیری سیمان آهسته‌تر آزاد شود.

۶-۳-۲-۲ رویاروئی با عوامل شیمیایی خورنده

در صورت وجود عوامل مزاحم شیمیائی، مقاطع نازک یا مقاطعی که تنها از یک سمت تحت اثر فشار آب ساکن هستند و همچنین قطعات مستغرق در آب و یا گوشه و لبه‌های اعضای بتنی، بیشتر در معرض تهاجم قرار می‌گیرند.

عمر سازه را می توان از طریق افزایش پوشش بتنی روی فولاد، پخ‌دار کردن گوشه‌ها و نیز با بهره‌گیری از پوشش یا اندودهائی که باعث کاهش نفوذ آب، دی‌اکسیدکربن یا مواد شیمیائی خورنده می‌شوند، افزایش داد. ایجاد حباب هوا در بتن می‌تواند با حفظ کارآئی موجب کاهش نسبت آب به سیمان و نفوذپذیری بتن شود و پایائی بتن در برابر عوامل شیمیائی خورنده را بهبود بخشد.

برای مقابله با آثار زیانبار ناشی از حمله سولفات‌ها، می‌توان بخشی از سیمان مصرفی را با مواد پوزولانی مناسب جایگزین نمود. میزان مصرف مواد پوزولانی به نوع آنها بستگی دارد. در کارخانه می‌توان آنها را بعنوان مواد مضاف همراه کلینکر سیمان آسیاب نمود یا هنگام اختلاط بتن بعنوان ماده افزودنی معدنی از آنها در مخلوط بتن استفاده کرد.

در محیط‌هایی که بتن در معرض حمله فوق‌العاده شدید سولفات‌ها قرار می‌گیرد باید از پوزولان‌های مناسب همراه با سیمان نوع ۵ استفاده نمود.

بتن‌هائی با نسبت آب به سیمان کم، که به نحو مطلوبی متراکم شده‌اند، در برابر حمله اسیدهای ضعیف مقاوم می‌باشند.

باید توجه داشت که بتن‌های حاوی سیمان پرتلند، صرفنظر از سایر اجزای تشکیل دهنده آن، نمی‌توانند در برابر اسیدها به مدت طولانی مقاومت کنند. در اینگونه موارد باید از پوشش‌های خاص یا اندودهای حفاظتی استفاده شود.

۶-۳-۲-۳ سایش و فرسایش

با رعایت نکات زیر می‌توان پایائی بتن را در برابر سایش و فرسایش بهبود بخشید.

- انتخاب مقاومت فشاری مناسب برای بتن

مقاومت فشاری انتخاب شده برای بتن باید با نوع بهره‌برداری و عمر سازه بتنی متناسب باشد.

دست یافتن به مقاومت فشاری مناسب به رعایت نکات زیر بستگی دارد.

دانه‌بندی مناسب سنگدانه‌ها و محدود کردن حداکثر قطر اسمی آنها به ۲۵ میلی متر

انتخاب کمترین میزان روانی تا حدی که جا دادن و تراکم بتن مشکل نشود و از آب انداختن و جداشدگی اجزای متشکله بتن جلوگیری گردد.

- ساختن بتن با حداقل فضای خالی متناسب و سازگار با شرایط رویاروئی

در مورد کف‌های داخلی که در معرض یخ زدن و آب شدن قرار ندارند بهتر است هوای موجود بتن از ۳ درصد بیشتر نشود.

- استفاده از کف‌های دو لایه

در لایه فوقانی کف‌هائی که در معرض شرایط محیطی شدید واقع می‌شوند باید از بتنی با مقاومت زیاد (حداقل ۴۰ مگا پاسکال) استفاده کرد. در اینگونه موارد باید حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌های موجود در لایه فوقانی را به ۱۲/۵ میلی متر محدود نمود.

- بهره‌گیری از سنگدانه‌های ویژه

استفاده از سنگدانه‌های سخت و پایا موجب افزایش مقاومت در برابر سایش می‌شود. در کف‌های دو لایه باید در لایه فوقانی از این نوع سنگدانه‌ها استفاده کرد.

- پرداخت سطح

بهتر است هر گونه شمشه کشی، ماله‌کشی و بطور کلی پرداخت سطح تا زمانی که آب سطحی تبخیر یا جمع‌آوری گردد، به تعویق افتد. این زمان به دما و زمان گیرش بتن، نسبت‌های اختلاط و هوای موجود در بتن بستگی دارد، و برای شرایط متعارف حدود یک ساعت است. در مورد دال‌ها، می توان بلافاصله پس از بتن‌ریزی با استفاده از خلأ، آب اضافه را جمع‌آوری کرد. این عمل موجب افزایش مقاومت، سختی و پایایی سطح بتن می‌شود.

- عمل‌آوردن بتن

عمل‌آوردن باید بلافاصله پس از پرداخت سطح بتن آغاز شود و حداقل ۷ روز برای سیمان نوع ۱ ادامه یابد. بهتر است عمل‌آوری از طریق آبفشانی، یا استفاده از چتائی خیس و یا پوشینه‌های مراقبت نخی انجام گردد، تا بتن بطور دائم مرطوب بماند.

ترکیبات شیمیایی عمل‌آورنده، که کاربردی آسان دارند، مانع فرار رطوبت از سطح بتن می‌شوند و در مواردی بکار می‌روند که سهولت بکارگیری آنها یک امتیاز بوده و سایر روش‌های عمل‌آوری مقدور نباشد. در صورتی که قرار باشد در مراحل بعدی روی سطوح عمل‌آوری شده با این ترکیبات، رنگ‌آمیزی انجام شود یا با کف‌پوش‌های دارای خاصیت برجهندگی (Rebound) فرش گردد، باید سازگاری اینگونه مصالح با ترکیبات مذکور مورد بررسی دقیق قرار گیرد. همچنین می‌توان در پایان عمل‌آوری این مواد را از روی سطح زدود تا مشکلی را در آینده به‌وجود نیاید.

بهر حال عمل‌آوری با آب به ویژه برای بتن‌های با نسبت آب به سیمان کم، توصیه می‌گردد.

برای عمل‌آوری کف‌های بتنی مسلح در هوای سرد نباید از وسایل گرمایشی بدون دودکش که دی‌اکسیدکربن تولید می‌کنند استفاده کرد. همچنین بکار بردن تجهیزات نفت سوز در فضاهای بسته برای این منظور توصیه نمی‌شود، زیرا گازهای ناشی از سوختن مواد نفتی به سطوح بتنی آسیب می‌رساند و برای انسان نیز مخاطراتی را در بر دارند.

۶-۳-۲-۴ سنگدانه‌های واکنش‌زا

در صورتی که تجربیات حاصل از مصرف نوعی از سنگدانه، یا آزمایش‌های انجام شده بر روی دانه ها نشان دهد که در برابر قلیائی ها واکنش‌زا باشند، باید از مصرف آن ها در ساخت بتن‌هائی که در معرض رطوبت یا محیط‌های قلیایی قرار می‌گیرند ، خودداری کرد. در مواردی که مصرف سنگدانه‌های واکنش‌زا اجتناب‌ناپذیر باشد، این کار تنها پس از انجام آزمایش‌های کامل، و ترجیحاً پس از بررسی سوابق قبلی و با مصرف سیمان با قلیایی کم یا با استفاده از مقدار مناسبی از مواد پوزولانی یا هر دو می‌تواند انجام شود. در مواردی که بتن در تماس با آب دریا یا خاک‌های حاوی مواد قلیایی قرار می‌گیرد و سنگدانه مرغوب در محل وجود ندارد می‌توان تحت شرایطی خاص از سنگدانه‌های واکنش‌زا استفاده نمود. برای ملاحظه جزئیات بیشتر در مورد سنگدانه‌های واکنش‌زا به تفسیر بند ۳-۴-۵ رجوع شود.

۶-۳-۲-۵ خوردگی آرماتور

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

- ساخت بتن با نفوذپذیری کم

نفوذپذیری بتن عامل عمده موثر بر فرآیند خوردگی اقلام مدفون در بتن بشمار می‌آید. در بتنی با نفوذپذیری کم، آب نمی تواند به راحتی نفوذ کند. چنین بتنی احتمالاً مقاومت الکتریکی بیشتری دارد. بتنی با این ویژگی در مقابل جذب نمک‌ها و اثر آنها بر اقلام مدفون در بتن مقاومت می‌کند و مانع نفوذ اکسیژن نیز می‌شود. هر چند بتن های معمولی، کاملاً غیر قابل نفوذ نیستند، لیکن رعایت دقیق نسبت‌های اختلاط، مهارت نیروی انسانی و عمل‌آوری صحیح بتن، نفوذپذیری را بسیار کم می‌کند.

- پوشش بتنی مناسب روی فولاد

حفاظت از فولاد و سایر اقلام مدفون در بتن در برابر خوردگی بستگی زیادی به ضخامت و کیفیت پوشش بتنی روی آنها دارد. بطور کلی در مجاورت آب دریا، نواحی ترشح آب و سایر محیط‌های خورنده، در مقایسه با شرایط عادی به پوشش بیشتری نیاز است. در اینگونه موارد باید به توصیه‌های جدول ۸-۲-۹-۱ مربوط به حالت فوق‌العاده شدید عمل نمود. در صورت استفاده از مواد شیمیائی یخزدا در سطح پل‌ها و سازه‌های مجاور آن نظیر جدول‌ها، پیاده‌روها، دیوارهای حائل، جان پناه‌ها و نیز کف پارکینگ‌ها رعایت حداکثر نسبت آب به سیمان مندرج در جدول ۶-۳-۳-۲ برابر ۰/۴ و حداقل پوشش توصیه شده در جدول ۸-۲-۹-۱ مربوط به حالت شدید الزامی می‌باشد.

- زهکشی

در مناطقی که سازه با شرایط خورنده شدید رویارو می‌باشد، به ویژه در عرشه پل‌های واقع در مناطق سردسیر، باید جزئیات زهکشی را به دقت طراحی و اجرا نمود.

- محدود کردن مقدار کلریدها در مواد تشکیل دهنده بتن

بدلیل مخاطراتی که کلریدها برای بتن مسلح ایجاد می‌کنند، توصیه می‌شود مواد تشکیل دهنده بتن حاوی کلرید به میزان غیر مجاز نباشند. بنابراین در ساخت بتن مسلح به هیچوجه نباید از آب دریا یا آب‌های حاوی مقادیر غیر مجاز کلرید استفاده کرد. همچنین نباید سنگدانه‌ها را با آب دریا شست. مواد افزودنی نیز باید عملاً فاقد کلرید باشند.

از آنجا که کلریدها در طبیعت بوفور یافت می‌شوند، عاری کردن مواد تشکیل دهنده بتن از کلرید بطور مطلق امکان‌پذیر نیست. لذا بهترین راه، محدود کردن مجموع کلرید موجود در مواد تشکیل دهنده بتن (سنگدانه، سیمان، آب اختلاط و مواد افزودنی) به حدی است که فرآیند خوردگی تسریع نشود (به جدول ۶-۳-۳-۶ رجوع شود). بنظر می‌رسد با توجه به اطلاعات جدید مقدار یون کلرید موجود در بتن نسبت به وزن سیمان برای کاهش خطر خوردگی، باید از مقادیر مندرج در جدول زیر تجاوز نکند. به‌هرحال در فرآیند خوردگی نباید اثر اکسیژن و رطوبت را از نظر دور داشت، زیرا بدون حضور آنها خوردگی علیرغم وجود کلرید حاصل نخواهد شد. کلریدهای محلول در آب موجب خوردگی می‌شوند در حالیکه کلریدهای غیر محلول در آب و کلریدهای موجود در ترکیبات مواد تشکیل دهنده بتن اثر سوء کمتری را دارا هستند. بطور کلی استفاده از کلرید کلسیم به عنوان ماده افزودنی تسریع کننده در بتن مسلح و بویژه بتن پیش تنیده ممنوع می باشد (به زیر بند ۳-۶-۳-۴ رجوع شود).

جدول ۶-۳-۲-۵ حد مجاز کلرید موجود در بتن نسبت به وزن سیمان (درصد) موجود در بتن * ۲۸ روزه

نوع بتن	یون کلرید محلول در آب موجود در بتن[+]	یون کلرید محلول در اسید موجود در بتن[++]
بتن پیش تنیده	۰/۰۶	۰/۰۸
بتن مسلح در شرایط مرطوب	۰/۰۸	۰/۱۰
بتن مسلح در شرایط خشک	۰/۱۵	۰/۲۰

* این حدود مجاز برای بتن‌هائی می‌باشد که در محیط خورنده واقع خواهند شد و در واقع مقدار کلرید مصالح بتن را مشخص می‌کند و برای بتنی است که هنوز در معرض نفوذ کلرید واقع نشده است.

+ این مقدار را باید با توجه به دستور آزمایش دت ۱۰۷ بدست آورد.

++ این مقدار کلرید را باید با توجه به دستور آزمایش دت ۱۰۸ تعیین نمود. با توجه به سهولت و سرعت این آزمایش، ممکن است ابتدا با این آزمایش یون کلرید محلول در اسید موجود در بتن را بر حسب وزن سیمان بدست آوریم و در صورت بروز شک بایستی یون کلرید محلول در آب را که احتمالاً عامل اصلی خوردگی می‌باشد تعیین نمود و قضاوت را انجام داد.

مسلماً نسبت کلرید محلول در اسید به کلرید محلول در آب موجود در بتن‌های مختلف، با نسبت اعداد جدول فوق الزاماً یکسان نخواهد بود.

- توجه به اقلامی که از بتن بیرون زده‌اند

در محیط‌های خورنده، در صورتی که اقلام مدفون در بتن، نظیر میل مهارها، از بتن بیرون بزنند، لازم است توجه دقیقی به مقاومت مصالح در برابر خوردگی، نوع محیط خورنده، اجتناب از تماس این اقلام با فلزات غیر مشابه درون بتن، ریختن و تراکم دقیق بتن در اطراف قطعه موردنظر و اجتناب از ایجاد روزنه‌ای برای نفوذ عوامل خورنده به بخش‌های داخلی بتن، مبذول شود.

- استفاده از سیستم‌های محافظ

در مورد پل‌ها و سازه‌های دریائی بدلیل بالا بودن هزینه تعمیر خرابی‌های ناشی از خوردگی می‌توان از سیستم‌های محافظ کمک گرفت. این سیستم‌ها عبارتند از : پوشش متراکم بتنی روی اقلام مدفون، پوشش فولادی، پوشش اپوکسی و غشاءهای ویژه ضد آب بر روی بتن همچنین استفاده از سیستم حفاظت کاتد یک در مورد بتن‌های مسلح اشباع یا مرطوب که در محیط‌های خورنده بکار گرفته شده است. ایجاد پوشش‌های خاص مانند اپوکسی غنی شده با روی بر سطح میلگردها و اقلام مدفون می‌تواند خطر خسارت ناشی از خوردگی را کاهش دهد.

۶-۳-۳ ضوابط ویژه برای افزایش پایائی در شرایط محیطی مختلف

برای تأمین پایائی، آب‌بند بودن و مقاومت سازه‌ها در برابر سولفات‌ها، محدود کردن حداکثر نسبت آب به سیمان بتن ضروری است. باید خاطر نشان کرد که مقادیر حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان برای بتن‌های با وزن معمولی ارائه شده‌اند و برای بتن‌های سبک معتبر نخواهند بود. در مورد بتن‌های سبک، بدلیل نامشخص بودن آب جذب شده توسط دانه‌های سبک، طراحی بر اساس نسبت آب به سیمان عملی نیست و حداقل مقاومت فشاری می تواند به عنوان معیار منظور گردد (به مرجع ۴۱ رجوع شود).

۶-۳-۳-۱ مقدار حباب هوای لازم برای مقاومت بتن در برابر یخ بندان بر حسب بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها، در شرایطی محیطی شدید و متوسط در جدول ۶-۳-۳-۱ ارائه شده است. مقادیر ذکر شده حباب هوا بستگی به شدت رویاروئی با رطوبت و نمک‌های یخزدا دارد.

اگر سنگدانه‌های درشت بتن در هنگام اشباع شدن، تغییرات حجمی زیادی از خود نشان دهند، ایجاد حباب هوا بر مقاومت بتن در برابر یخبندان بی‌اثر است.

کف پارکینگ‌ها نیز ممکن است در شرایط محیطی شدید قرار داشته باشد.

در زیر بند ۶-۳-۳-۱ اجازه داده شده که مقدار حباب هوا در بتنی که مقاومت مشخصه فشاری آن از ۳۵ مگاپاسکال بیشتر باشد به مقدار ۱ درصد کاهش یابد. در اینگونه بتن‌های با مقاومت زیاد، نسبت آب به سیمان و تخلخل کمتر است، لذا در برابر یخبندان مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد (به مراجع ۴ و ۱۴ رجوع شود).

۶-۳-۳-۳ در صورتی که بتن در معرض سولفات های خاک و آب با غلظتی زیان‌آور قرار داشته باشد، باید آن را با سیمانی مقاوم در برابر سولفات ها تهیه نمود. جداول ۶-۳-۳-۳ انواع مناسب سیمان، حداقل عیار سیمان و حداکثر نسبت آب به سیمان را در شرایط گوناگون محیطی ارائه می دهند. مقدار C_3A در سیمان، عامل اصلی انتخاب آن در برابر سولفات‌ها بشمار می‌آید. مطابق استاندارد (دت ۱۰۱) حداکثر مقدار C_3A در سیمان نوع ۲ که برای شرایط محیطی متوسط مناسب است به ۸ درصد محدود می‌شود (به تفسیر بند ۳-۳ نیز رجوع شود).

سیمان‌های آمیخته مطابق دت ۱۰۳ و تهیه شده از کلینکر سیمان پرتلند در برابر سولفات‌ها مقاومتی متوسط دارند، لذا برای شرایط محیطی متوسط مناسب هستند. سیمان‌های با روباره آهن گدازی و سیمان پوزولانی هم از این قبیل سیمان‌ها بشمار می آیند. در شرایط محیطی شدید استفاده از سیمان ضد سولفات نوع ۵ با حداکثر ۵ درصد C_3A الزامی است. در برخی موارد ممکن است مقدار C_3A در سیمان نوع ۳ یا ۱ از ۸ یا ۵ درصد کمتر باشد که در این

صورت نیز به ترتیب در شرایط محیطی متوسط یا شدید قابل استفاده‌اند. باید توجه داشت که سیمان ضد سولفات، مقاومت بتن را در برابر بعضی از محلول‌های شیمیائی مهاجم افزایش نمی‌دهد (به مرجع ۳۸ رجوع شود).

از نظر پایائی در برابر سولفات‌ها می‌توان انتظار داشت در جداول ۶-۳-۳-۳ سیمان نوع ۲ و سیمان‌های آمیخته عملکردی متوسط بین سیمان نوع ۱ و ۵ را دارا باشند. استفاده از برخی مواد پوزولانی از قبیل خاکستر بادی و دوده سیلیسی همراه با سیمان پرتلندی که بیش از ۸ درصد C_3A دارد می‌تواند به افزایش مقاومت بتن در برابر سولفات‌ها در شرایط محیطی متوسط منجر شود.

حداقل عیار سیمان در جداول ۶-۳-۳-۳ برای حداکثر اندازه اسمی سنگدانه معادل ۱۹ میلی-متر ارائه شده است. برای سایر موارد می‌توان از مقادیر اصلاحی زیر جهت تعیین حداقل عیار سیمان حسب حداکثراندازه اسمی سنگدانه ها استفاده نمود. به‌هرحال عیار سیمان بتن مسلح نباید از ۲۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن کمتر شود. در مورد بتن پیش تنیده عیار سیمان نباید از ۳۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن کمتر باشد (در شرایط محیطی معمولی غیر خورنده).

مقادیر اصلاح حداقل عیار سیمان بتن در محیط سولفات دار برای حداکثر اندازه های مختلف سنگدانه * (کیلوگرم)

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (م.م)	۳۸	۲۵	۱۹	۱۲/ ۵	۹ /۵
مقدار اصلاح حداقل عیار سیمان جداول ۶-۳-۳-۳	- ۳۰	- ۱۰	۰	+ ۲۵	+ ۴۰

* حداقل سیمان مجاز را می توان تا ۱۰ درصد کم نمود مشروط بر اینکه نسبت آب به سیمان موجود از حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز در جدول بیش از ۱۰ درصد کمتر باشد و بتن با دقت ساخته و ریخته و متراکم گردد، به ویژه در صورتی که از بتن حبابدار یا حاوی افزودنی‌های آب‌بند کننده و یا افزودنی‌های معدنی استفاده شود.

اسلامپ‌های ذکر شده در زیرنویس جداول ۶-۳-۳-۳ برای بتن های بدون افزودنی روان‌کننده معتبر می‌باشد. همان طور که در جداول ۶-۳-۳-۳ مشخص شده است مقدار سولفات خاک و آب به تنهائی مهم نیست بلکه اگر بتن در منطقه آبدار باشد و سولفات در آب حل شود و بتواند در بتن نفوذ نماید شرایط زیانبارتری را به بار می آورد. مسلماً سولفاتهای غیر محلول در آب به مراتب برای بتن کم خطرتر از سولفات‌های محلول در آب می‌باشند. همچنین باید گفت آثار زیانبار سولفات‌های مختلف بر بتن یکسان نیست. سولفات سدیم ، منیزیم و کلسیم را می‌توان خطرناک‌ترین سولفات‌ها دانست.

به‌منظور کسب پایائی کافی برای بتنی که در معرض حمله سولفات‌ها قرار می‌گیرد، علاوه بر انتخاب نوع سیمان مناسب، ضوابط دیگری نیز باید رعایت شوند، در این ارتباط کم بودن نسبت آب به سیمان، کافی بودن حباب هوا، کافی بودن تراکم، تأمین یکنواختی بتن و عمل آوردن مناسب را می‌توان نام برد.

۶-۳-۳-۵ سولفات‌ها در بسیاری از سیمان‌های پرتلند و در برخی سنگدانه‌ها و آب‌ها وجود دارند. مقدار زیاد سولفات محلول در آب ناشی از مواد مذکور یا سایر مواد تشکیل دهنده مخلوط بتن می‌تواند به انبساط و فروپاشی آن منجر شود. برای ملاحظه جزئیات بیشتر در مورد سولفات‌ها در هر یک از مواد تشکیل دهنده بتن به زیر بندهای ۳-۴-۵-۲ ، ۳-۴-۵-۳ و زیر بند ۳-۵-۱ و نیز تفسیر آنها رجوع شود.

۶-۳-۳-۶ بطور کلی خوردگی میلگردها در مجاورت اکسیژن و رطوبت شدت می‌یابد. بنابراین برای سازه‌های بتن آرمه رویارو با رطوبت باید محدودیت‌های بیشتری را در نظر گرفت.

مقدار کلرید باید با آزمایش تعیین شود. می‌توان بعنوان ارزیابی اولیه، مقدار یون کلرید هر یک از مواد تشکیل دهنده بتن را با آزمایش بدست آورد. در صورتیکه مقدار کل یون کلرید محاسبه شده براساس نسبت‌های مخلوط بتن از مقادیر مجاز داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ کمتر باشد، می‌توان این مقدار را بی ضرر تلقی نمود، در غیر این صورت ممکن است آزمایش روی نمونه‌های حاصل از بتن سخت شده برای تعیین مقدار کلرید قابل حل در آب یا قابل حل در اسید لازم باشد. آزمایش مقدار کلرید قابل حل در آب باید مطابق دت ۱۰۷ و آزمایش مقدار کلرید محلول در اسید باید مطابق دت ۱۰۸ انجام گیرد.

بطور کلی کلریدهای موجود در بتن بصورت محلول در آب یا غیر محلول در آب می‌باشند. در واقع عامل خوردگی میلگردها، کلریدهای محلول در آب هستند که در حدود ۵۰ تا ۸۵ درصد کل کلریدها را تشکیل می‌دهند. آزمایش تعیین کلرید قابل حل در آب موجود در بتن باید در سن ۲۸ روزه انجام شود. مقادیر داده شده در جدول ۶-۳-۳-۶ و جدول ۶-۳-۲-۵ تفسیر آئین‌نامه، برای کلریدهای حاصل از مواد تشکیل دهنده بتن معتبرند و برای کلریدهائی که از

طریق محیط‌های اطراف بتن وارد می‌شوند اعتبار ندارند. همچنین این مقادیر برای میلگردهای اندود شده با اپوکسی یا روی و اپوکسی غنی شده با روی معتبر نمی‌باشند. برای میلگردهای ضد زنگ نیز می توان مقادیر مجاز کلرید بتن را افزایش داد.

وقتی مقدار کلرید قابل حل در آب موجود در بتن سخت شده که از محیط اطراف وارد بتن شده باشد از حدود ۰/۳ تا ۰/۳۵ درصد وزن سیمان تجاوز نماید، می تواند آغازگر خوردگی میلگردها قلمداد شود.

آستانه خوردگی برای کلرید محلول در اسید موجود در بتن سخت شده، در برخی منابع ۰/۳۵ تا ۰/۴ درصد وزن سیمان ذکر ذکر شده است. در صورت استفاده از میلگردهای اندود شده با روی یا اپوکسی و یا اپوکسی غنی شده با روی مقادیر آستانه خوردگی مذکور قابل استفاده نخواهند بود و می‌توانند افزایش یابند.

اگر از میلگردهای ضد زنگ استفاده شود، آستانه خوردگی بیشتر خواهد بود. در این حالت حداقل پوشش بتنی روی میلگردها مندرج در جدول ۸-۲-۹-۱ در شرایط محیطی دارای کلریدرا می‌توان کاهش داد. بدیهی است در رابطه با استفاده از میلگردهای ضدزنگ یا اندود شده، می‌توان حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان را در این شرایط افزایش داد.

خوردگی میلگردها یک فرآیند الکتروشیمیائی است. مقاومت الکتریکی بتن می‌تواند شروع آن را به تأخیر انداخته و آهنگ خوردگی را کند نماید. بین بتن و میلگرد همواره یک اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی وجود دارد. شروع فعالیت خوردگی میلگرد به احتمال ۹۰ درصد هنگامی است که اختلاف پتانسیل در اندازه‌گیری به روش نیم پیل مطابق دت ۱۰۹ با الکترود مس - سولفـات مس بیش از ۳۵۰ mV- باشد. اگر از الکترود کالومل اشباع استفاده شود این اختلاف پتانسیل باید بیش از ۷۵ mV- بدست آید. اگر اختلاف پتانسیل بدست آمده با

الکترود مس - سولفات مس کمتر از ۲۰۰ mV- و با الکترود کالومل کمتر از ۱۲۵ mV- باشد، به احتمال ۹۰ درصد فعالیت خوردگی در میلگردها در زمان آزمایش مشاهده نمی شود. همه این مقادیر برای میلگردهای بدون پوشش یا فاقد اندود مدفون در بتن معتبر است، همچنین برای میلگردهای ضد زنگ از این مقادیر نمی‌توان استفاده نمود.

❑ ۶-۴ نعین نسبت‌های اختلاط براساس تجربه های کارگاهی یا مخلوط‌های آزمایشی

۶-۴-۱ مقاومت فشاری مشخصه بتن

در صورتی که توزیع مقاومت فشاری بتن از نوع نرمال (منحنی Guass)، فرض شود از نظر آماری با توجه به تعریف مقاومت فشاری مشخصه بتن می‌توان نوشت :

$$f_{cm} = f_c + 1.645\ s$$

که در آن f_{cm} مقاومت فشاری متوسط بتن، fc مقاومت فشاری مشخصه آن و s انحراف معیار کل تولید بتن با توجه به توزیع نرمال است. از آنجا که مقادیر s و f_{cm} در بدو امر نامعلومند، در عمل کیفیت بتن در دو مرحله کنترل می‌شود. در مرحله اول قبل از بتن‌ریزی از طریق انتخاب نسبت‌های اختلاط بر اساس ضوابط خاص و در مرحله دوم در حین بتن‌ریزی از طریق نمونه‌برداری و آزمایش به تعدادی محدود این کنترل کیفیت براساس ضوابط پذیرش بتن صورت می‌گیرد. به بندهای ۶-۴-۴ و ۶-۵-۲ رجوع شود.

۶-۴-۲ رده بندی بتن بر اساس مقاومت مشخصه آن بر حسب مگاپاسکال(نیوتن بر میلیمتر مربع) که با آزمایش آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد اندازه‌گیری می‌شود، انجام می‌گیرد. جدول ۶-۴-۲ موارد کاربرد رده‌های مختلف بتن را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۴-۲ موارد کاربرد رده‌های مختلف بتن

رده بتن *	C6	C8	C10	C12	C16	C20	C25-C50**
موارد کاربرد	ماده پرکننده	ماده پرکننده و بتن نظافت	ماده پرکننده بتن نظافت بتن ساده (بدون میلگرد)	بتن ساده با مراعات شرایط بتن مسلح	بتن مسلح	بتن مسلح	بتن مسلح – بتن پیش تنیده

* اعدادپسوند C معرف مقاومت مشخصه ۲۸ روزه آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد و بر حسب N/mm^2 می‌باشد.

** بتن‌های بالاتر از رده C50 بتن خاص بوده و در محدوده کاربرد این آیین‌نامه نیستند.

۶-۴-۲-۱ روش‌های تعیین نسبت‌های اختلاط

تعیین نسبت‌های اختلاط بتن سه مرحله اساسی دارد :

- تعیین انحراف استاندارد
- تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم
- انتخاب نسبت‌های اختلاط

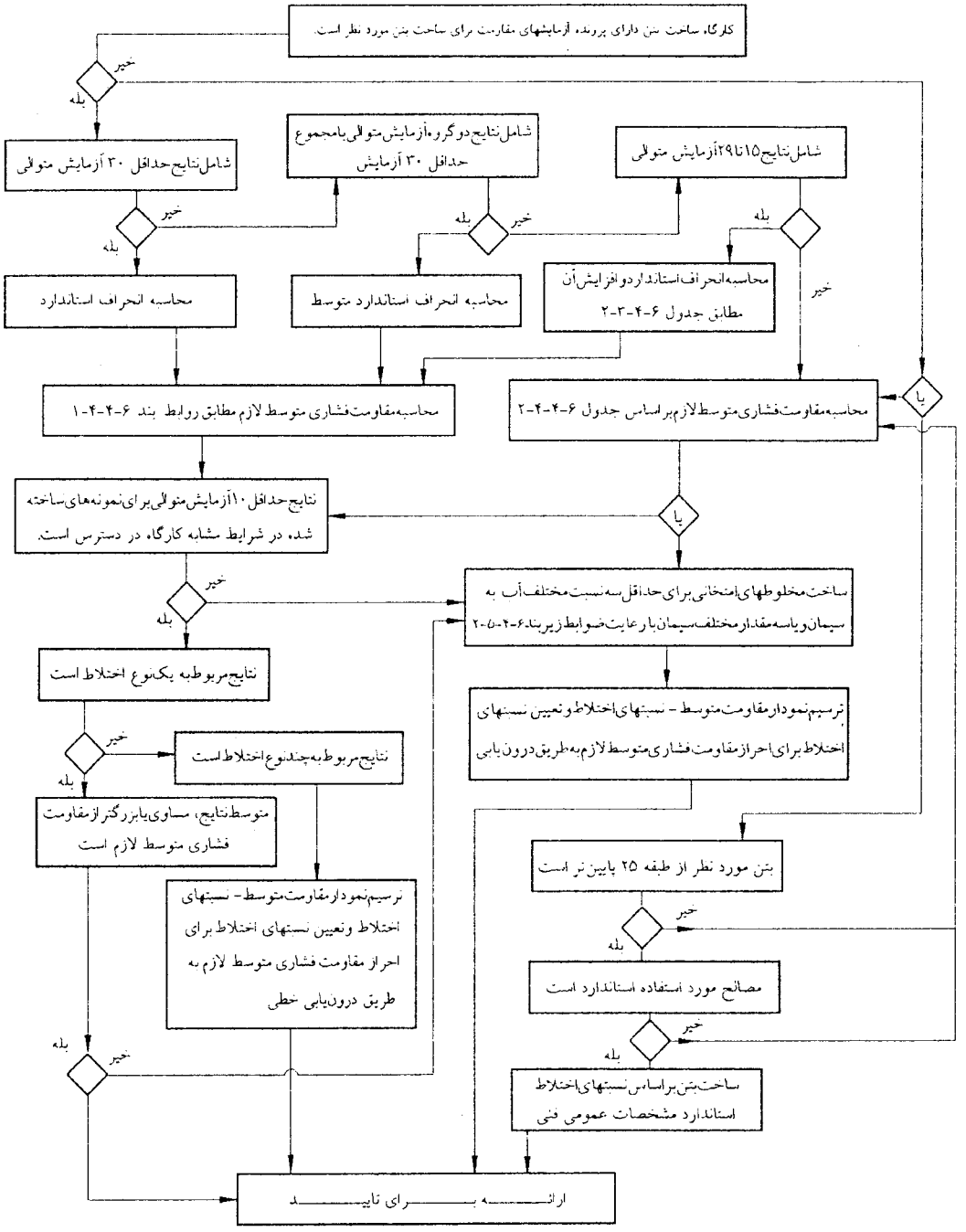
نسبت‌های اختلاط باید طوری انتخاب شوند که مقاومت متوسط فشاری آزمونه‌های آزمایشی به میزانی متناسب با پراکندگی نتایج آزمایش‌ها، بیشتر از مقاومت مشخصه فشاری بتن باشد. به بند ۶-۴-۴ نیز رجوع شود.

در مورد روش تعیین نسبت های اختلاط به بند ۶-۲ و زیر بندهای آن در تفسیر مراجعه گردد.

توصیه می‌شود برای مواردی که در مشخصات فنی خصوصی پروژه و یا آئین‌نامه ضابطه‌های خاصی از جمله حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان، حداقل یا حداکثر مجاز سیمان، علاوه بر مقاومت، برای تأمین پایائی وجود دارد، نسبت‌های اختلاط با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها و ساخت مخلوط‌های آزمایشی بدست آید و به جداول و مقادیر نسبت‌های اختلاط مندرج در مشخصات فنی عمومی اکتفا نشود.

استفاده از مخلوط‌های اسمی و تجویزی برای رده‌های بالاتر از C20 مجاز نیست و باید با روش‌های شناخته شده، نسبت‌های اختلاط بتن بدست آید.

شکل ۶-۱ چگونگی انتخاب نسبت‌های اختلاط بتن و نحوه تدوین مدارک مربوط را نشان میدهد.



شکل ۶-۱ نمودار تعیین نسبت‌های اختلاط و تدوین مدارک مربوط

۶-۴-۳-۱ انحراف استاندارد (معیار)

انحراف استاندارد از رابطه زیر بدست می آید :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

که در آن :

s انحراف استاندارد، X_i نتایج آزمایش‌های مقاومت مطابق زیر بند۶-۴-۷-۱، $\overline{X}$ متوسط نتایج آزمایش‌های مقاومت n نمونه متوالی و n تعداد نمونه‌های متوالی می‌باشد.

محاسبه انحراف استاندارد برای تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم و ضروری است. در صورت وجود دو گروه نتیجه از آزمایش‌های متوالی مقاومت با مجموع حداقل ۳۰ آزمایش، می‌توان انحراف معیار متوسط را از رابطه زیر به دست آورد :

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

که در آن :

S انحراف استاندارد متوسط، S_1 و S_2 انحراف‌های معیار محاسبه شده برای گروه‌های اول و دوم و n_1 و n_2 تعداد نمونه‌برداری متوالی در گروه‌های اول و دوم می‌باشد.

۶-۴-۳-۲ در صورتی که تعداد نتایج آزمایش‌های مقاومت کمتر از ۳۰ و بیشتر از ۱۵ باشد، انحراف معیار آن محاسبه شده و سپس با توجه به ضرایب جدول ۶-۴-۳-۱ مقدار آن افزایش داده می‌شود. این نتیجه محافظه کارانه می‌باشد و شباهتی با نتیجه ۳۰ آزمایش خواهد داشت.

انحراف استاندارد محاسبه شده برای تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم در صورتی معتبر خواهد بود که شرط الف از زیر بند ۶-۴-۳-۱ تأمین شده باشد.

در مواردی که نتایج آزمایش‌های مقاومت برای تعیین انحراف معیار در دست نباشد باید مطابق زیر بند ۶-۴-۴-۲ عمل نمود.

۶-۴-۴ مقاومت فشاری متوسط لازم

۶-۴-۴-۱ پس از تعیین انحراف استاندارد باید مقادیر حاصل از روابط زیر بند ۶-۴-۴-۱ را بدست آورد و بزرگترین آنها را به عنوان مقاومت فشاری متوسط لازم اختیار نمود.

در صورت تولید بتن برمبنای رابطه اول، احتمال آنکه میانگین مقاومت‌های فشاری سه نمونه متوالی، از مقاومت مشخصه به اضافه ۱/۵ مگا پاسکال، و در صورت تولید بتن بر اساس رابطه دوم، احتمال آنکه مقاومت یک نمونه از مقاومت مشخصه منهای ۴ مگا پاسکال کمتر شود ،معادل یک درصداست.

بنابراین در صورتی که انتخاب نسبت‌های اختلاط طوری باشد که روابط زیر بند ۶-۴-۴-۱ تأمین شوند، از نظر آماری تنها یک درصد احتمال دارد بتن حاصل با توجه به رابطه «ب» زیر بند ۶-۵-۲-۱ قابل پذیرش نباشد.

برای بتن‌های پائین‌تر از رده C25 به جای ۴ مگا پاسکال در روابط ۶-۲، ۶-۵ و ۶-۶ می‌توان ۳ مگا پاسکال را به کار برد.

۶-۴-۵ تدوین مدارک مربوط به مقاومت فشاری متوسط

پس از تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم، مرحله بعدی انتخاب نسبت‌های اختلاط می‌باشد. باید نشان داده شود که نسبت‌های اختلاط پیشنهادی، مقاومت متوسطی را ارئه می‌دهد که مساوی یا بزرگتر از مقاومت فشاری متوسط لازم بوده و در عین حال ضوابط ویژه محیطی را نیز بر آورده می‌نماید.

مجوعه مدارک مربوطه می‌توانند شامل یک پرونده آزمایش‌های مقاومت و یا چند پرونده آزمایش‌های مقاومت و یا مخلوط‌های آزمایشی آزمایشگاهی مناسب باشد.

در صورتی که از پرونده آزمایش‌های مقاومت استفاده شود، باید پرونده ای که مقدار انحراف معیار را به دست داده است، ملاک قرار گیرد.

در صورتی که متوسط نتایج آزمایش‌ها کمتر از مقدار متوسط لازم باشد، باید نسبت‌های اختلاط دیگری را به کار برد. در این صورت متوسط حداقل ۱۰ نمونه آزمایشی ملاک قضاوت خواهد بود.

در صورتی که مخلوط‌های آزمایشی ملاک تعیین نسبت‌های اختلاط قرار گیرند باید رواداری‌های مربوط به مقدار اسلامپ و مقدار هوای مجاز رعایت شوند. این رواداری‌های آزمایشگاهی به مخلوط‌های آزمایشی مربوط می‌شوند و رواداری‌های مشخص شده در مشخصات فنی عمومی یا خصوصی برای ساخت بتن در کارگاه باید رعایت گردد.

❑ ۶-۵ ضوابط ارزیابی و پذیرش بتن

۶-۵-۱ تواتر نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت

نمونه‌برداری از بتن باید بطور کاملاً تصادفی صورت گیرد. ایجاد هرگونه ضابطه خاص از جمله شکل ظاهری بتن در نمونه‌برداری، زمان نمونه‌گیری، شرایط خاص جوی و نظایر اینها به عنوان ملاک نمونه‌گیری، موجب به دست آوردن نمونه‌هائی یا شرایط ویژه خواهد شد. در این صورت مبانی آماری در ضوابط پذیرش بتن مطابق بند ۶-۵-۲ مخدوش می‌شوند و قضاوت در مورد کیفیت بتن صحت و عمومیت خود را از دست می‌دهد.

نمونه‌ها باید قبل از ریختن در محل نهائی مصرف برداشته شود.

۶-۵-۱-۱ اگر اختلاف مقاومت دو آزمونه کمتر از ۵ درصد میانگین آن دو باشد، متوسط آنها محاسبه و گزارش می‌گردد. در غیر اینصورت نتیجه آزمونه سوم تعیین‌کننده خواهد بود. اگر مشخص شود ایرادی در مراحل نمونه‌گیری تا آزمایش یک آزمونه وجود داشته است، نتیجه آن آزمونه قابل استناد و میانگین‌گیری نمی‌باشد.

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

۶-۵-۱-۱-الف تبدیل مقاومت آزمونه‌های مکعبی ۱۵۰ میلی متری به استوانه استاندارد با تقسیم مقاومت مکعبی به ضریب جدول ۶-۵-۱-۱- الف حاصل می‌گردد. همچنین در این جدول مستقیماً این مقاومت‌ها به یکدیگر قابل تبدیل می‌باشد.

جدول ۶-۵-۱-۱- الف تبدیل مقاومت مکعبی به استوانه استاندارد و بالعکس

مقاومت فشاری مکعبی MPa	≥ ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
ضریب تبدیل مقاومتها	۱/ ۲۵	۱/ ۲۰	۱/ ۱۷	۱/ ۱۴	۱/ ۱۳	۱ /۱۱	۱/ ۱
مقاومت فشاری استوانه استاندارد MPa	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

۶-۵-۱-۱-ب تبدیل مقاومت آزمونه های مکعبی با ابعاد مختلف به آزمونه مکعبی ۱۵۰ میلی متری از تقسیم مقاومت انها به ضریب مندرج در جدول ۶-۵-۱-۱- ب به دست می آید (برای بتن های با مقاومت معمولی).

جدول ۶-۵-۱-۱-ب ضرائب تبدیل مقاومت آزمونه‌های مکعبی به آزمونه مکعبی ۱۵۰ میلی متری

ابعاد آزمونه مکعبی (م.م)	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
ضریب تبدیل	۱/ ۰۵	۱ /۰۰	۱/۰۰	۰/ ۹۵	۰/ ۹

۶-۵-۱-۱-پ تبدیل مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای غیر استاندارد به استاندارد با تقسیم آنها به ضریب جدول ۶-۵-۱-۱-پ صورت می‌گیرد. کاربرد این تبدیل، در بیشتر موارد برای مغزه‌ها است. مغزه‌هائی با قطر کمتر از ۱۰۰ میلی متر معمولاً برای کنترل مقاومت بتن معمولی کاربردی ندارد.

جدول ۶-۵-۱-۱-پ ضرایب تبدیل مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای غیر استاندارد به استاندارد

آزمونه استوانه‌ای قطر – ارتفاع (م.م)	۱۰۰-۲۰۰	۱۵۰-۳۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۲۵۰-۵۰۰	۳۰۰-۶۰۰
ضریب تبدیل	۱/ ۰۲	۱/ ۰۰	۰/ ۹۷	۰/ ۹۵	۰/ ۹۱

در صورتی که نسبت ارتفاع استوانه به قطر آن کمتر از ۲ باشد باید مطابق دت ۶۲۵ تصحیح انجام گیرد. همچنین می‌توان از جدول ۶-۵-۱-۱-ت (ضرایب تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای با $h/d<2$ به استوانه استاندارد $h/d=2$) استفاده نمود. در صورتی که نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۱ باشد نمی‌توان آن را تصحیح نمود.

جدول ۶-۵-۱-۱-ت ضرایب تبدیل مقاومت نمونه استوانه ای با نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۲ به مقاومت نمونه استاندارد *

نسبت ارتفاع به قطر استوانه **	۱/ ۷۵	۱/ ۵	۱/ ۲۵	۱
ضرایب تبدیل	۰/ ۹۸	۰/ ۹۶	۰/ ۹۳	۰/ ۸۷

* وقتی نسبت ارتفاع به قطر کمتر از ۱/۹۴ باشد تصحیح لازم است. ضرایب تبدیل فوق برای بتن هائی با چگالی معمولی و یا بتن های سبک با چگالی ۱۶۰۰ تا ۱۹۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت خشک یا اشباع قابل اعمال است.

همچنین مقاومت اسمی نمونه‌ها باید بین ۱۴ تا ۴۲ مگا پاسکال باشد. درضمن مدول ارتجاعی و برخی عوامل دیگر در تغییر این ضرائب موثرند و ضرائب جدول فوق مقادیر متوسط محسوب می‌شوند.

** برای نسبت‌های ارتفاع به قطر بین ۱ تا ۱/۹۴ می‌توان با درون‌یابی ضرائب تبدیل را بدست آورد. در صورتی که این نسبت بین ۱/۹۴ تا ۲/۱ باشد نیاز به تصحیح وجود ندارد و آزمونه‌های با نسبت ارتفاع به قطر بیش از ۲/۱را باید کوتاه نمود تا در محدوده مورد نظر واقع شوند.

۶-۵-۱-۲ در محاسبه سطح دال و دیوار به منظورتعیین تعداد نمونه ها فقط یک وجه آنها در نظر گرفته می‌شود.

اگر قطعاتی مانند شالوده‌ها، با حجم زیاد موجود باشد، یک نمونه‌برداری برای هر ۶۰ متر مکعب بتن توصیه می‌شود (به ویژه برای حجم هر نوبت اختلاط بیش از ۲ متر مکعب بتن)

۶-۵-۱-۳ اگر به تشخیص دستگاه نظارت، در ساخت بتن، کنترل کیفی مطلوبی وجود نداشته باشد و یکنواختی در ساخت بتن در نوبت‌های مختلف اختلاط به نحو رضایت بخشی حاصل نشود، دستگاه نظارت می‌تواند مقادیر مذکور در بند ۶-۵-۱-۲ را کاهش دهد تا تعداد نمونه‌ها به همان نسبت بیشتر گردد.

۶-۵-۱-۴ چنانچه در یک سازه بتن‌هائی با رده‌های مختلف و طرح‌های اختلاط متفاوت به کار رود حداقل یک نمونه‌برداری در هر روز برای هر یک از آنها ضروری می‌باشد.

۶-۵-۱-۵ توصیه می‌شود نمونه‌برداری‌ها بین اعضای مختلف و در طبقات ساختمان توزیع گردد.

۶-۵-۱-۶ سابقه استفاده از یک طرح مخلوط و یا سوابق مقاومت بتن آماده بکار رفته در سایر پروژه ها ، می‌تواند به تشخیص دستگاه نظارت ، دلیلی برای صرفنظر نمودن از نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت بتن باشد.

۶-۵-۲ ضوابط پذیرش بتن – نمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه

۶-۵-۲-۱ در صورتیکه توزیع نتایج مقاومت‌های بتن، نرمال فرض شود، بـــه ازای ضوابط زیر بند ۶-۵-۲-۱، احتمال پذیرفته شدن بتن‌هائی با عیب کل ۵ درصد برابر ۹۵ تا ۹۹ درصد با توجه به مقادیر انحراف معیار کل تولید از ۳ تا ۷ مگا پاسکال خواهد بود.

۶-۵-۲-۲ به ازای ضوابط زیر بند ۶-۵-۲-۲، احتمال پذیرفته نشدن بتن‌هائی با عیب کل ۵ درصد برابر ۰/۴ تا ۱/۶ درصد، با توجه به مقادیر خطای استاندارد کل تولید از ۳ تا ۷ مگا - پاسکال خواهد بود.

۶-۵-۲-۳ در صورتی که نتایج آزمایش‌ها در محدوده‌ای بین ضوابط مندرج در زیر بند ۶-۵-۲-۱ و ۶-۵-۲-۲ قرار گیرند، طراح می‌تواند با توجه به درجه اهمیت مقاومت فشاری بتن در منطقه موردنظر و نحوه اعمال ضرایب ایمنی در تحلیل و طراحی، بتن را از نظر سازه‌ای قابل قبول تلقی نماید. در صورت عدم امکان چنین قضاوتی، باید اقداماتی مطابق بند ۶-۶ صورت گیرد.

۶-۵-۲-۴ مقصود از نتیجه آزمایش نمونه‌ها، میانگین دو آزمونه می‌باشد. خطاهای عمده‌ای ممکن است در تهیه نمونه بتن تازه، قالب‌گیری و تراکم، نگهداری و محافظت، مراقبت، حمل، عمل‌آوری و یا در انجام آزمایش تعیین مقاومت بتن معمولاً به اشکال مختلف بروز کند. عدم یکنواختی بتن تازه، عدم تراکم صحیح، نگهداری در محیطی با دمای کمتر یا بیشتر از محدوده استاندارد به ویژه در روز اول، فراهم ننمودن پوشش مانع تبخیر آب بر روی آزمونه‌ها در روز اول،

وجود شوک‌های حرارتی و رطوبتی، اعمال ضربه در خروج آزمونه از قالب و در عملیات حمل و نقل بویژه در روزهای اول، عمل‌آوری در شرایط غیر استاندارد (از نظر دما یا رطوبت)، انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی آزمونه با سطح نا صاف و غیر گونیا یا لب پریده از جمله دلائل قابل قبول برای صرفنظر نمودن از نتیجه آزمایش نمونه‌ها در مرحله پذیرش بتن می‌باشد.

۶-۵-۳ ضوابط کنترل روش عمل آوردن و محافظت بتن

ضریب ۰/۸۵ بر مبنای تجربه، برای قضاوت در مورد کفایت عمل آوردن و محافظت بتن در شرایط کارگاهی منظور شده است و می توان آن را بیانگر اجرای خوب تلقی نمود. باید توجه داشت که مقایسه بین مقاومت های اندازه گیری شده نمونه های کارگاهی و آزمایشگاهی صورت می پذیرد نه بین مقاومت های نمونه های کارگاهی و مقاومت مشخصه بتن، اما در صورتی که مقاومت نمونه‌های کارگاهی به اندازه ۴ مگا پاسکال بیشتر از مقاومت مشخصه بتن باشد، صرفنظر از ضریب ۰/۸۵، نتایج نمونه‌های کارگاهی از نظر روش عمل آوردن و محافظت بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شوند.

۶-۵-۴ نمونه‌های آگاهی نیز معمولاً در شرایطی مشابه شرایط عضو اصلی، در محل، نگهداری و عمل‌آوری می‌شوند.

❑ ۶-۶ بررسی بتن های با مقاومت کم

با وجود عدم انطباق بتن بر رده موردنظر و غیر قابل قبول بودن آن، ممکن است بتن از نظر سازه‌ای مورد قبول واقع گردد. بدیهی است قبول بتن از نظر سازه‌ای رافع مسئولیت پیمانکار نیست.

۶-۶-۱ در این رابطه، با همان مقاومت کم، با به کارگیری تحلیل موجود سازه و صرفاً با دقت در تحلیل مقاطع، اگر این بتن از نظر تأمین مقاومت همه مقاطع سازه قابل قبول باشد مشکلی وجود نخواهد داشت. هماهنگ‌سازی مقاطع، به کارگیری میلگردهائی با سطح مقطع بیشتر از حد نیاز بدلیل مصرف تعداد صحیح و استفاده از قطرهای یکسان و غیره ممکن است در پاره‌ای موارد باعث شود بتن از نظر سازه‌ای قابل قبول تلقی گردد.

۶-۶-۲ در صورت برآورده نشدن شرط بند ۶-۶-۱ می‌توان با تحلیل و طراحی مجدد و با فرض وجود بتن کم مقاومت در قسمت‌هائی از سازه که احتمال مصرف آن داده می‌شود، کنترل باربری سازه و مقاطع آن را انجام داد. در این مرحله، از تلاش‌ها و لنگرهای هر عضو که در تحلیل مجدد سازه به دست آمده است استفاده می‌شود.

در بند ۶-۶-۱ ممکن است تلاش‌ها و لنگرهای حداکثر موجود در یک عضو هماهنگ‌سازی شده بکار رفته باشد که در این حالت احتمال پذیرش بتن از نظر سازه‌ای بیشتر از حالت قبل است.

۶-۶-۳ برای تشخیص قسمت‌های مشکوک به وجود بتن با مقاومت کمتر، ابتدا مدارک کارگاه که در بند ۳-۲-۲ و ۲-۲-۴ بدان اشاره شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد و با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بتن، محل‌های مشکوک بصورت تقریبی شناسائی می‌شود. اگر این منطقه گسترده و وسیع باشد با آزمایش‌های کم هزینه و غیر مخرب مانند آزمایش‌های فراصوتی، می‌توان نقاط ضعیف را با دقت بیشتر مشخص نمود. در مرحله بعد سه مغزه از ناحیه مشکوک تهیه می‌شود. توصیه می‌شود مغزه‌ها از نقاطی تهیه شوند که ضعف اساسی در عضو

ایجاد نکند و تاحدامکان فاقد میلگرد باشد. سر و ته مغزه‌ها باید بریده و طبق استاندارد کلاهک‌گذاری شود.

۶-۶-۴ نتایج آزمایش مقاومت مغزه ها بصورت خشک یا مرطوب باید به مقاومت آزمونه استوانه ای استاندارد تبدیل گردد. برای این منظور می توان از جداول ۶-۵-۱-۱-پ وت استفاده نمود.

۶-۶-۵ برای مقایسه مقاومت فشاری متوسط مغزه‌ها با مقاومت مشخصه باید از نتایج تصحیح شده مقاومت مغزه‌ها استفاده شود. آئین‌نامه اجازه می‌دهد مقاومت بتن اعضا وقطعات سازه ای کمتر از مقاومت مشخصه باشد ،که به این منظور ضریب ۰/۸۵ ارائه شده است ، زیرا در عملیات بتن‌ریزی، تراکم، عمل‌آوری، مراقبت و محافظت بتن در کارگاه کاستی‌هائی در مقایسه با شرایط تهیه نمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه وجود خواهد داشت.

در شرایطی که سازه یا عضو موردنظر از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار باشد و یا دستگاه نظارت در انتخاب نقاط مشکوک یا مراحل تهیه و آزمایش مغزه ها شک نماید، تکرار مغزه‌گیری توصیه می‌گردد.

اگر در این مرحله، ضوابط مورد نظر بر آورده شوند، بتن از نقطه نظر تأمین مقاومت قابل قبول تلقی می گردد و نیاز به محاسبات اضافی مانند بند ۶-۶-۱ و ۶-۶-۲ وجود ندارد.

۶-۶-۶ در صورتی که شرایط بند ۶-۶-۵ بر آورده نشود، ظرفیت باربری عضو و سازه با آزمایش بارگذاری بر روی عضو خمشی مشکوک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آزمایش بارگذاری نشان می‌دهد که عضو مشکوک زیر بار استاتیکی رفتار قابل قبولی از خود نشان داده است یا خیر؟ اما نمی‌تواند روشن نماید که بتن دارای مقاومت مطلوب و قابل قبول است.

طراحی محافظه کارانه، اجرای قطعات با ابعاد بیشتر، مصرف میلگرد با مقاومت بیشتر از مقاومت مشخصه یا استفاده از مقطع بزرگتر و قرارگیری آنها به نحوی که بتواند لنگر بیشتری را تحمل نماید، می‌تواند حتی با مصرف بتن کم مقاومت نیز عضو موردنظر را قابل قبول نشان دهد. از طرف دیگر ممکن است آزمایش بارگذاری با داشتن بتن قابل قبول و منطبق بر رده مورد نظر نیز جوابی مطلوب بدست ندهد. بنابراین تفکیک صحت طراحی، اجرای صحیح ومصرف مصالح منطبق با مشخصات استاندارد از یکدیگر، با آزمایش بارگذاری به سهولت امکان‌پذیر نمی‌باشد.

در این بخش به اقدامات مقتضی دیگری نیز اشاره شده است. اگر از مقاومت مغزه‌هائی که طبق بند ۶-۶-۵ مورد پذیرش واقع نشده است در محاسبات تحلیل مقطع (شبیه بند ۶-۶-۱ و ۶-۶-۲) استفاده گردد، می‌توان در رابطه با قابل قبول بودن بتن در سازه اظهارنظر نمود. در این حالت با فرض اینکه مقاومت بتن قطعه مورد ارزیابی قرار گرفته است می‌توان در ضرایب ایمنی بتن تجدیدنظر کرد.

ممکن است، با تغییر بارهای مرده قطعه (ازطریق تغییر نقشه، تغییر مصالح و جزئیات) بتوان بتن و سازه را قابل قبول اعلام نمود. با تغییر شرایط بهره‌برداری و در پی آن تغییر بار زنده نیز ممکن است بتن مورد پذیرش قرار گیرد. در هر صورت این موارد باید با نظر مساعد کارفرما و با مشورت دستگاه نظارت و طراح پروژه به دقت بررسی شود.

با تقویت و ترمیم به کمک مواد و روش‌های مناسب ممکن است بتوان بتن را از نظر سازه‌ای به حد قابل قبول رساند.

افزایش نسبت آب به سیمان اغلب باعث پایائی کم و نفوذپذیری زیاد بتن خواهد شد. در این موارد لازم است ضوابط پایائی نیز مورد توجه قرار گیرد. پیوستگی بتن و میلگرد معمولاً متناسب با مقاومت فشاری بتن است و ضعف مقاومت بتن باعث ضعف پیوستگی می‌گردد که کنترل آن در محاسبات سازه ضروری است.

اگر در شرایط خصوصی پیمان یا مشخصات فنی خصوصی، ضوابط دیگری مطرح شده باشد، رعایت آنها الزامی است.

تخریب بخش‌هائی از سازه معمولاً بعنوان آخرین راه حل باید مدنظر قرار گیرد. تخریب بخشی از سازه، علاوه بر هدر رفتن سرمایه‌های ملی، می‌تواند آثار نامطلوبی را بر بخش‌های سالم و قابل قبول بر جای گذارد، لذا تخریب باید طبق دستور دستگاه نظارت و با دقت تمام انجام گیرد و از اعمال ضربه برای تخریب تا حدامکان خودداری شود.

تفسیر فصل هفتم

اختلاط بتن و بتن‌ریزی

۷-۱-۲ تجهیزات و وسایل

در تولید بتن لازم است مصالح تشکیل دهنده، صرف‌نظر از نوع سیستم پیمانه کردن، با دقت کافی انتخاب و اندازه‌گیری شوند. وسایل توزین نیز باید دقیق بوده و مورد بازرسی دائم قرار گیرند. لازم است در توزین دقت شود تا رواداری‌های مربوط به هر یک از مصالح تشکیل دهنده بتن یعنی سیمان و مواد چسباننده، آب، سنگدانه‌های ریز و درشت و مواد افزودنی بر اساس محدوده‌های ذکر شده، رعایت گردد. در کارهای با حساسیت بیشتر توصیه می شود رواداری‌های دقیق‌تری به ویژه برای آب و سیمان اعمال گردد.

سیمان ، سنگدانه و افزودنی‌ها به شکل پودر عموماً به صورت وزنی، و آب و افزودنی‌ها به شکل مایع بصورت وزنی و گاه حجمی پیمانه می شوند. از آنجا که محاسبه مقدار سنگدانه‌ها در طرح اختلاط به صورت وزنی و براساس حالت اشباع با سطح خشک صورت می گیرد ولی درعمل سنگدانه‌ها (به ویژه دانه های ریز) دارای رطوبت‌های متغیرند، لازم است رطوبت سنگدانه‌ها بطوردائم کنترل و اندازه‌گیری شده و آب طرح اختلاط براساس این تغییرات رطوبت اصلاح گردد.

۷-۱-۳ آماده‌سازی محل بتن‌ریزی

قبل از شروع بتن‌ریزی باید قالب‌ها ، میلگردها و بطور کلی همه وسایل بتن‌ریزی را تمیز کرد. تکه‌های چوب، قطعات کوچک سیم آرماتوربندی ،خاک اره، میخ، تکه‌های یخ و هر نوع ماده زائدی که ممکن است در درون قالب‌ها باشد، باید جمع‌آوری شود.

کلیه پوشش‌ها و مواد زیان‌آور روی میلگردها از قبیل گل، یخ، پوسته زنگ و لایه اکسید شده سطحی، باید پاک شوند. میلگردهای فولادی و سایر اقلام دفن شونده در بتن در صورتی که آغشته به ملات باشند نیاز به پاک کردن ندارند، مشروط بر آنکه عملیات بتن‌ریزی به صورت پیوسته و ظرف مدت چند ساعت پایان پذیرد. اما در صورتی که ملات روی آرماتور خشک شده و از آن جدا شدنی باشد لازم است قبل از اقدام به بتن‌ریزی بعدی از روی آرماتورها کاملاً زدوده شود.

وجود مواد زائد و لایه ضعیف دوغاب سخت شده روی بتن سخت شده باعث عدم پیوستگی بتن لایه جدید و قدیم خواهد شد. ازاین رو باید قبل از ریختن لایه جدید از سطح بتن زدوده شوند.

❑ ۷-۲ اختلاط بتن

برای بدست آوردن بتن با کیفیت یکنواخت و رضایت بخش باید مواد تشکیل دهنده آن را به طور کامل مخلوط کرد طوری که ظاهر بتن یکنواخت باشد و همه مصالح آن به صورت همگن پخش شوند. نمونه‌های تهیه شده از قسمت‌های مختلف یک پیمانه بتن باید دارای وزن مخصوص، مقدار هوا، اسلامپ و مقدار درشت دانه تقریباً یکسان باشند.

روش‌های آزمایش یکنواختی اختلاط در دت ۵۰۱ ارائه شده‌اند. زمان لازم برای اختلاط به عوامل متعدد از قبیل اندازه پیمانه، نوع و ظرفیت مخلوط کن، اندازه و دانه‌بندی سنگدانه‌ها و

کیفیت و نحوه مخلوط مصالح بهنگام ریختن در مخلوط‌کن بستگی دارد. زمان ناکافی برای مخلوط کردن موجب تولید مخلوطی غیر یکنواخت و با مقاومت نسبتاً کم شده و زمان طولانی مخلوط کردن نیز موجب سایش سنگدانه‌ها شده دانه‌بندی مصالح را ریزتر و در نتیجه کارایی را کاهش خواهد داد.

در مصرف افزودنی‌ها به ویژه مواد حباب‌ساز باید زمان لازم و ترتیب تناوب توصیه شده برای مخلوط کردن با دقت رعایت شود. زمان ناکافی سبب عدم ایجاد حباب‌های لازم و زمان مخلوط کردن طولانی موجب کاهش هوای ایجاد شده در بتن می گردد.

در صورت استفاده از کامیون مخلوط‌کن برای اختلاط بتن توصیه می‌شود دیگ مخلوط‌کن ۷۰ تا ۱۰۰ دور با سرعت اختلاط، مصالح را مخلوط نماید. در این حالت توصیه می‌شود حجم بتن بیش از $\frac{۲}{۳}$ ظرفیت دیگ مخلوط کن نباشد.

☐ ۷-۳ انتقال بتن

در کلیه مراحل نقل و انتقال بتن، باید دقت شود که یکنواختی بتن در طول اجرای پروژه حفظ گردد. جلوگیری از جداشدگی درشت دانه‌ها از ملات و جدایی آب از سایر مواد مورد تاکیدو الزامی است.

وسایل نقل و انتقال بتن باید قادر باشند بتن را در هر شرایطی و با هر روشی به‌طور مداوم و به نحوی مطمئن به محل بتن‌ریزی برسانند. ضوابط بندهای ۷-۳-۱ و ۷-۳-۲ برای کلیه روش-های بتن‌ریزی از قبیل استفاده از چرخ دستی، جام و جرثقیل، تسمه نقاله، پمپ، بتن پاش و لوله ترمی معتبر می‌باشند. در انتقال بتن به وسیله پمپ باید توجه داشت که لوله‌ها و یا شیلنگ‌های انتقال در برابر سایش مقاوم بوده و به قدر کافی سبک باشند و موادی که در ساخت

آنها به کار رفته با بتن واکنش شیمیایی نشان ندهند. در پمپ کردن بتن از طریق لوله‌های ساخته شده از آلومینیوم یا آلیاژهای آن ممکن است افت قابل توجهی در مقاومت پدید آید، در اثر واکنش شیمیایی سطح داخلی لوله‌های آلومینیومی با قلیایی‌های سیمان گاز هیدروژن تولید می‌شود که می‌تواند مقاومت بتن را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. بنابراین وسایل ساخته شده از آلومینیوم یا آلیاژهای آن نباید بعنوان خطوط پمپاژ، لوله ترمی و شوت به کار روند. استفاده از آلیاژهای آلومینیوم در شوت‌های کوتاه نظیر آنچه که در انتقال بتن از کامیون مخلوط کن به کار می‌رود بلامانع است.

در انتقال بتن از طریق پمپ باید توجهی ویژه نسبت به طرح مخلوط مبذول داشت. بتن پمپ شونده تفاوت چندانی با سایر بتن‌ها ندارد، فقط مخلوط باید حالت خمیری و چسبنده داشته باشد. مخلوط‌های خشن و خشک را نمی‌توان به آسانی پمپ کرد. در ضمن تأکیدی بیشتر بر کنترل کیفیت بتن لازم است طوری که مصالح در سراسر پروژه از کیفیت یکنواخت برخوردار باشند. در صورتی که نسبت‌های اختلاط بتن به نحو مناسب تعیین نشود، پمپی با قدرت زیاد موردنیاز خواهد بود و حتی ممکن است گرفتگی در لوله‌ها پیش آید. می‌توان با محدود کردن حداکثر اندازه سنگدانه‌ها گرفتگی لوله را به حداقل رساند.

دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز و درشت تا حد امکان باید در محدوده میانی دانه بندی مطابق استاندارد دت ۲۰۱ باشد. یکنواختی دانه‌بندی بسیار مهم است، همچنین وظیفه ریزدانه‌ها در مخلوط بتن اهمیتی ویژه دارد. کم بودن ریزدانه سبب جداشدگی و زیاد بودن آن باعث افزایش مقاومت اصطکاکی و احتمال مسدود شدن لوله‌ها می‌شود. برای بتن‌های با حداکثر اندازه سنگدانه۲۰ میلیمتر، مقدار بهینه ریزدانه بین ۳۵ تا ۴۰ درصد می‌باشد.بطورمعمول درصد

ریزدانه‌های گذشته از الک شماره ۵۰ (۳۰۰ میکرون) باید بین ۱۵ تا ۳۰ درصد و درصد دانه‌های گذشته از الک شماره ۱۰۰ (۱۵۰ میکرون) باید بین ۵ تا ۱۰ درصد انتخاب شود.

❑ ۷-۴ بتن‌ریزی

نقل و انتقال مجدد بتن می‌تواند سبب جداشدگی مصالح تشکیل دهنده آن شود. بعنوان مثال در اجرای دال‌های بتنی باید بتن‌ریزی را در امتداد پیرامون از یک انتهای دال آغاز و هر پیمانه را روی بتن ریخته شده قبلی تخلیه کرد، بتن را نباید در توده‌های جدا از هم ریخته و سپس همتراز کرد. همچنین بتن را نباید در توده‌های بزرگ ریخت و سپس به طور افقی به محل نهایی انتقال داد. زیرا در این صورت، به دلیل تمایل ملات به جاری شدن قبل از دانه‌های درشت، ممکن است جداشدگی روی دهد.

۷-۴-۳ در صورت افت اسلامپ و کاهش کارایی به هیچ وجه نباید با اضافه نمودن آب کارایی را افزایش داد. این امر سبب افت کیفیت بتن و کاهش مقاومت و پایایی آن خواهد شد. با ریختن بتن در مجاورت این بتن‌ها یا روی آن ممکن است پیوستگی دولایه بتن بخوبی فراهم نگردد.

۷-۴-۸ بتن را باید تا حدامکان بطور کامل متراکم نمود تا هوای محبوس در آن به حداقل برسد و به خوبی میلگردها و اقلام مدفون را در برگیرد. در خصوص بتن‌های با حباب هوا باید دقت نمود تا عمل تراکم با دقت انجام شده و باعث خروج حباب‌های هوای ایجاد شده نگردد. تراکم به دوروش دستی و مکانیکی امکان‌پذیر است.

روش انتخابی به روانی مخلوط و شرایط بتن‌ریزی از قبیل میزان پیچیدگی شکل قالب و مقدار آرماتور بستگی دارد. متداولترین روش تراکم استفاده از ارتعاش به کمک لرزاننده‌های درونی یا بیرونی است.

لرزاندن بتن را باید تا جایی ادامه داد که شیره بتن شروع به رو زدن نماید و حباب هوای قابل توجهی از بتن خارج نشود. باید از لرزاندن بیش از حد بتن که باعث جداشدگی اجزای بتن می‌شود اجتناب نمود.

❑ ۷-۵ عمل‌آوردن بتن

۷-۵-۱ کلیات

عمل آوردن بتن در حصول ویژگی‌های مطلوب بتن سخت شده اهمیت زیادی دارد ، به خصوص در موارد زیر جلوگیری از افت رطوبت بتن بسیار مهم است :

- هنگامیکه نسبت آب به سیمان کم باشد.
- هنگامیکه کسب مقاومت سیمان روندی سریع داشته باشد.
- هنگامیکه بتن حاوی سیمانهای پوزولانی یا روباره ای باشد.

محافظت بتن باید بلافاصله پس از تراکم آن شروع شود تا از بروز شرایط زیان‌آور زیر جلوگیری شود :

- خشک شدن زودرس به ویژه در اثر تابش خورشید یا وزش باد و ایجاد ترک‌های پلاستیک
- شسته شدن بتن به وسیله باران یا آب‌های جاری

- سرد شدن سریع در چند روز اول پس از بتن‌ریزی
- کم شدن دما یا یخ‌زدگی
- گرادیان حرارتی زیاد در درون بتن که منجر به ترک گردد.
- ارتعاش و ضربه که ممکن است موجب از هم گسیختگی ساختار بتن شود و پیوستگی بتن و آرماتور را مخدوش کند.

۷-۵-۲ روش‌های عمل‌آوردن

انتخاب روش یا مجموعه‌ای از روش‌ها برای عمل‌آوردن بتن به عواملی از قبیل دسترسی به مصالح لازم برای عمل‌آوردن ، شکل و اندازه سطح بتن، اهمیت نمای ظاهری آن و ملاحظات اقتصادی بستگی دارد.

برای عمل آوردن سطح بتن می‌توان از یک یا چند روش زیر استفاده نمود :

الف ــ غرقاب نمودن یا آب‌پاشی پیوسته

ب ــ استفاده از گونی و حصیر که بطوردائم مرطوب شوند

پ ــ استفاده از ماسه مرطوب

ت ــ مواد عمل‌آورنده که به تأیید کارفرما برسد

ث ــ ورق‌های کاغذی ضد آب یا پلاستیک

ج ــ قالب‌های در تماس نگهداشته شده با بتن

چ ــ هر روشی که بتواند بتن را مرطوب نگهدارد و به تأیید کارفرما برسد

برای تسریع در کسب مقاومت بتن و کاهش زمان عمل‌آوری می‌توان از روش‌های پروراندن بتن استفاده نمود.

از جمله این روش‌ها می توان بخار تحت فشار زیاد (اتوکلاو)، بخار تحت فشار اتمسفر، و گرمای همراه با رطوبت را ذکر کرد. این روش‌ها بیشتر برای تولید قطعات بتنی پیش ساخته به کار می‌روند.

در روش‌های تسریع شده و پروراندن باید توجه داشت که مقاومت فشاری بتن عمل آمده با بخار از مقاومت فشاری نهایی بتن مشابه عمل آمده بطور پیوسته و در شرایط مرطوب و دمای متعارف کمتر است. همچنین مدول الاستیسیته اینگونه بتن‌ها در مقایسه با بتن معمولی تغییراتی خواهد داشت.

در صورت استفاده از روش‌های بخار دادن، توصیه می‌شود نسبتهای اختلاط بتن براساس نمونه‌های استوانه‌ای عمل آمده با بخار تعیین شود.

در روش‌های پروراندن جهت حصول نتایج یکنواخت و رضایت بخش لازم است توجهی ویژه مبذول داشت به عنوان مثال جلوگیری از افت رطوبت بتن در حین عمل‌آوردن امری ضروری است.

۷-۵-۳ مدت عمل‌آوردن

مدت زمان لازم برای مراقبت بتن در برابر کاهش رطوبت به عواملی از قبیل نوع سیمان، مقاومت مورد نیاز، نسبت سطح نمایان بتن به حجم آن، رطوبت هوا، دمای بتن، و شرایط محیطی آتی بتن بستگی دارد. برای بتن‌های کم سیمان با مواد پوزولانی (که در سازه‌های حجیم نظیر سدها به کار می‌روند)، مدت مذکور ممکن است ۳ هفته یا بیشتر باشد. ولی برای مخلوط‌های پر سیمان به ویژه اگر سیمان نوع ۳ مصرف شود، این دوره ممکن است فقط چند روز باشد. دوره‌های عمل آوردن با بخار بطور معمول بسیار کوتاه است.

دوره عمل آوردن در همه شرایط و تا حد امکان باید طولانی باشد، زیرا معمولاً خواص بتن با عمل آوردن بهبود می‌یابد. جدول ۷-۵-۳ حداقل زمان لازم را برای عمل آوردن در محدوده‌ای معین از دما نشان می‌دهد. در مواردی که شرایطی غیر از آنچه در جدول آمده حاکم باشد، می‌توان مدت عمل آوردن را حداقل ۷ روز یا معادل زمان لازم برای کسب ۷۰ درصد مقاومت فشاری (یا مقاومت خمشی برای رویه‌های بتنی) اختیار کرد، مشروط بر آنکه دمای محیط از ۵ درجه سلیسیوس بیشتر باشد.

چنانچه نمونه‌های آگاهی در کارگاه ساخته و در مجاورت سازه مربوطه نگهداری و با روش‌های یکسان عمل آورده شوند، با تکیه بر نتایج آزمایش آنها می توان به عمل آوردن پایان دادوقالب ها را بازکرد.

❑ ۷-۶ بتن‌ریزی در شرایط ویژه

۷-۶-۱ بتن‌ریزی در هوای گرم

۷-۶-۱-۱ بتن‌ریزی در هوای گرم مشکلاتی فراوان نسبت به بتن‌ریزی در هوای معتدل دربر دارد. این مشکلات اثری مستقیم بر ویژگی‌های بتن تازه و بتن سخت شده دارند. به عنوان نمونه در بتن تازه آهنگ گیرش سریع یا اسلامپ به شدت کم می‌شود و در بتن سخت شده مقاومت و پایایی کاهش می‌یابند. اجرای مناسب کارهای بتنی در هوای گرم تنها با اتخاذ تدابیر احتیاطی برای مقابله با مشکلات ناشی از آن امکان‌پذیر است.

۷-۶-۱-۷ از مشکلات مهمی که در بتن‌ریزی در هوای گرم به وجود می‌آید امکان بروز ترک‌های خمیری در بتن در اثر تبخیر آب از سطح آن است. سه عامل دمای زیاد بتن، رطوبت

کم و باد زیاد این امکان را افزایش می‌دهند. تدابیر احتیاطی ذیل در زمان اجرا می‌توانند امکان بروز ترک‌های خمیری را به حداقل برسانند :

الف ــ قالب‌ها و کف زمین مرطوب شوند.

ب ــ سنگدانه‌های خشک و جاذب آب خیس شوند.

پ ــ بادشکن‌های موقت برای کاهش دمای سطح بتن، ساخته شوند.

ت ــ سایبان‌های موقت برای کاهش دمای سطح بتن، ساخته شوند.

ث ــ دمای بتن با خنک کردن آب اختلاط و سنگدانه‌ها، پائین نگهداشته شود.

ج ــ در صورت بروز وقفه طولانی در بتن‌ریزی، بتن با پوشش‌های مانند نایلون محافظت شود.

چ ــ با حذف وقفه‌های حین اجرا فاصله زمانی بتن‌ریزی و آغاز عمل‌آوردن بتن کاهش یابد.

ح ــ برای رساندن تبخیر آب از سطح بتن به حداقل ممکن، مرطوب نگهداشتن بتن به مدتی زیاد ادامه یابد.

عمل‌آوردن در هوای گرم درمقایسه با شرایط معتدل بحرانی‌تر است و توجهی ویژه راطلب می کند. نباید استفاده از قالب‌های محافظ در جا را جایگزینی مناسب برای عمل‌آوردن در هوای گرم تلقی کرد. باید اینگونه قالب‌ها تا حد امکان و به سرعت و قبل از اینکه خسارت به بتن وارد آید، از بتن جدا شوند و سپس آب رو به پایین به درون قالب‌ها جریان یابد. آب عمل‌آوردن نباید به قدری خنک‌تر از بتن باشد که ترک‌خوردگی ناشی از تغییرات دما از حداقل ممکن بیشتر شود. به طور کلی در هوای گرم عمل‌آوردن مرطوب و پیوسته در سراسر دوره مراقبت ترجیح داده می‌شود. در صورتی که عمل آوردن مرطوب را بتوان پس از ۲۴ ساعت ادامه داد، باید

سطوح بتن را مادامی که هنوز نم دارد به وسیله کاغذ محافظ، ورقه ها ی پلاستیکی منعکس کننده گرما، یا مواد عمل آورنده غشایی در برابر جریان آزاد هوای خشک، محافظت کرد. باید به سطوح عمل آمده با رطوبت امکان داده شود که پس از دوره عمل‌آوردن بطور تدریجی خشک شوند تا احتمال کرم خوردگی سطحی کاهش یابد.

مواد افزودنی را باید فقط به منظور تکمیل خواص اصلی بتن به کار برد و نمی‌توان آنها را به جای هر یک از مواد تشکیل‌دهنـده بتن منظور نمود. در هوایی که بطور غیرعادی گرم باشد، می‌توان از کندگیرکننده‌ها برای تعویق زمان گیرش کمک گرفت مشروط بر آنکه نظارتی دقیق حکمفرما باشد. در صورت مصرف این‌گونه مواد افزودنی، رعایت دقیق مشخصات و آزمایش آنها الزامی است (به بند ۳-۶ آئین‌نامه و تفسیر آن رجوع شود).

۷-۶-۲ بتن‌ریزی در مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان

مناطق ساحلی ایران اغلب محیط‌هایی بسیار مخرب و فوق‌العاده شدید برای سازه‌های بتنی محسوب می‌شوند. در مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان عوامل محیطی چون دمای زیاد، رطوبت، آب و خاک آلوده به املاح و وجود یون کلرید در محیط سبب خرابی زودرس بتن‌های به ویژه با کیفیت کم می‌شوند. برای افزایش پایایی بتن در چنین محیط‌هایی علاوه بر رعایت دستورالعمل‌ها و توصیه ها برای ساخت بتن مناسب، لازم است دستورالعمل‌های ویژه‌ای رعایت گردند. از آنجا که عوامل اصلی این خرابی‌ها در چنین محیط‌هایی مواد و مصالح تشکیل دهنده بتن، اجرای بتن و عمل‌آوری و محافظت آن تشخیص داده شده است، برای پیشگیری و کاهش این خرابی‌ها توصیه‌ها و دستورالعمل‌ها بر این اساس تنظیم شده‌اند.

۷-۶-۲-۱ و **۷-۶-۲-۲** انتخاب و استفاده از سیمان مناسب، رعایت میزان صحیح مصرف آن در کارهای مختلف بتنی، نحوه انبار نمودن و نگهداری سیمان از جمله مسائل مهمی است که برای تامین مقاومت لازم و پایایی بتن ضروری است. مصرف کم تراز میزان کمینه سیمان می‌تواند در مقاومت و پایایی بتن تأثیر بگذارد و مصرف زیادتر از حد بیشینه نیز در مسائل حرارتی و ترک خوردگی و پایایی بتن به ویژه در محیط‌های گرم مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان می‌تواند مسئله‌ساز باشد.

سیمان‌های با گرمازایی کم و به ویژه سیمان‌های پوزولانی علاوه بر کاهش دمای حاصل از آبگیری سیمان و در نتیجه کنترل ترک‌های حرارتی اولیه می‌توانند با واکنش‌های ثانویه به تدریج با تشکیل ژل فضاهای خالی در بتن را پر نموده ، نفوذپذیری آن را کاهش داده و سبب افزایش مقاومت در دراز مدت گردند.

۷-۶-۲-۳ مقادیر حداقل و حداکثر مقدار سیمان در جائی که بخشی از سیمان با پوزولان جایگزین می‌شود، برای کل مواد سیمانی نیز صادق است.

۷-۶-۲-۴ و **۷-۶-۲-۵** خرابی‌های عمده مشاهده شده در سازه‌های بتنی در مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان در اثر نفوذ یون کلرید و یا وجود درصد زیادی از این یون در مصالح تشکیل دهنده بتن به ویژه در آب مصرفی بوده که باعث خوردگی آرماتور شده است. مصرف آب دریا برای شستن سنگدانه‌ها و یا ساخت و عمل‌آوری بتن و همچنین مصرف آب‌های منطقه که دارای میزان کلریدی به مراتب بیش از حد مجاز می‌باشند، خرابی‌های زودرس را باعث می‌شوند.

۷-۶-۲-۶ استفاده از نسبت آب به سیمان زیاد علاوه بر کاهش مقاومت سبب افزایش نفوذپذیری و کاهش پایایی بتن می‌شود. در کاربرد نسبت آب به سیمان در حد ۰/۴ با توجه به محدودیت مقدار بیشینه سیمان بخصوص هنگامی که از مواد پوزولانی استفاده می‌شود، کارایی بتن برای اجرای مناسب کافی نبوده و اغلب لازم است از مواد افزودنی روان‌کننده و یا فوق روان‌کننده استفاده شود. با انتخاب نوع مناسب و میزان بهینه این مواد می‌توان ضمن ثابت نگهداشتن نسبت آب به سیمان که موجب حفظ مقاومت و پایایی خواهد شد، کارایی لازم برای سهولت کار با بتن و تهیه و ریختن و تراکم آن را فراهم نمود.

۷-۶-۲-۹ با توجه به مشکلات بتن‌ریزی در هوای گرم منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان توصیه می‌شود از افزودنی‌های کاهنده قوی آب از نوع دیرگیر برای سهولت کار استفاده شود. این ماده طول زمان کارکرد با بتن تازه و در حالت پلاستیک را افزایش می‌دهد.

۷-۶-۲-۱۰ در میان پوزولان‌ها دوده سیلیس به علت خلوص زیاد، فعالیت پوزولانی قابل ملاحظه و کاهش نفوذپذیری بتن به ویژه در مقابل نفوذ یون‌های مخرب می‌تواند نقش مؤثری در پایایی بتن در محیط‌های مخرب فوق داشته باشد. کاربرد حدود ۷ تا ۱۰ درصد دوده سیلیس بصورت وزنی در جایگزینی با سیمان به همراه افزودنی کاهنده قوی آب برای تعیین کارایی لازم در این مناطق توصیه می‌شود.

۷-۶-۲-۱۲ از آنجا که در محیط‌های کناره خلیج‌فارس و دریای عمان امکان آلودگی میلگرد به املاح مضر به ویژه کلر زیاد ست و زنگ خوردگی آرماتور می‌تواند با آغشته شدن سطح به

کلر همراه باشد، توصیه می‌شود هر میزان زنگ خوردگی بر روی میلگرد قبل از استفاده آن از سطح زدوده شود. این امر خطر خوردگی‌های موضعی بعدی را نیز کاهش خواهد داد.

۷-۶-۳ بتن‌ریزی در هوای سرد

۷-۶-۳-۱ و ۷-۶-۳-۲ هوای سرد در بعضی از مناطق کشور به فصل زمستان محدود نیست و معمولاً اوائل بهار و اواخر پائیز را نیز دربرمی گیردکه اغلب با برف سنگین و باد شدید نیز همراه می‌باشد، بنابراین داشتن اطلاعات لازم هواشناسی در بعضی مناطق سردسیر کشور برای رعایت تدابیر لازم در بتن‌ریزی سازه های بتنی الزامی است. به هر حال هنگامی که دمای محیط بتن‌ریزی کمتر از ۵+ درجه سلسیوس باشد رعایت تدابیر بتن‌ریزی در هوای سرد ضروری است.

بتن‌ریزی در ماههای سرد مشکلات ویژه‌ای دارد زیرا مقاومت بتن باید در شرایطی کسب گردد، که دمای محیط گاهی زیر صفر بوده وفرآیند آبگیری سیمان به تاخیر افتاده و گاهی نیزمتوقف می‌گردد، در نتیجه کسب مقاومت با روند کندی ادامه می‌یابد در این شرایط سه مشکل اساسی بشرح زیر بروز می نماید:

۱- یخ زدگی بتن تازه

۲- کاهش روند کسب مقاومت و طولانی شدن زمان گیرش

۳- کاهش عمر مفید سازه به دلیل تخریب ناشی از یخزدن بتن سخت شده.

البته پرهزینه بودن این نوع بتن‌ریزی از جهت تامین انرژی لازم برای افزایش دمای بتن، بکارگیری وسائل و مواد مخصوص، استفاده اختیاری از مواد افزودنی و یا سیمان‌های ویژه و نیروی کار گران قیمت از مشکلات دیگر بتن‌ریزی دراین شرایط می‌باشد.

اگر بتن بلافاصله بعد از ریختن یخ بزند مقاومت و دوام آن بشدت کاهش می‌یابد، زیرا آب برای واکنش شیمیائی سیمان کاهش یافته و آب‌گیری سیمان کند و یا متوقف می‌گردد، بنابراین نگهداری بتن تازه حداقل به مدت ۲۴ ساعت امری ضروری است.

۷-۶-۳-۳ مصالح مصرفی

از آنجا که دمای کم مصالح مصرفی باعث کاهش دمای بتن میگردد، ضروری است برای دست‌یابی به دمای بتن مطابق جدول ۷-۶-۳ مصالح را گرم کرد. باید دقت نمود که مصالح سنگی یخ‌زده و یا حاوی کلوخه‌های یخ نباشد، زیرا حضور لایه نازک یخ بر روی سنگدانه بخصوص درشت دانه‌ها باعث می‌گردد فضای خالی در حد فاصل بین ملات سیمان و سنگدانه موجب کاهش مقاومت و دوام بتن می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود در چنین شرایطی یخ از سنگدانه ها زدوده شود و زمانی که دمای مصالح از ۴- درجه سلسیوس کمتر است سنگدانه ها نیز گرم شود . بهتر است این کار از طریق عبور لوله آب، هوای گرم و بخار باشد و از داغ کردن موضعی سنگدانه‌ها پرهیز گردد.

یادآور می شود استفاده از سنگدانه با دوام در مقابل یخبندان امری ضروری است وباید تا حدامکان از حداقل آب آزاد در ساختن بتن استفاده شود تا میزان آب قابل یخ زدن و همچنین میزان رو زدن آب کاهش یابد.

از آنجا که در میان مصالح تشکیل دهنده بتن، گرم کردن آب آسانتر و باصرفه تر است توصیه می‌شود دمای آب مصرفی تا ۶۰ درجه سلسیوس افزایش یابد. در صورت نیاز به افزایش بیشتر دمای آب تا ۸۰ درجه سلسیوس باید از تماس مستقیم سیمان و آب داغ که باعث گلوله شدن و

گیرش آنی سیمان خواهد شد، جلوگیری گردد. برای این منظور می‌توان آب داغ و سنگدانه را قبل از افزودن سیمان مخلوط نمود.

استفاده از مواد افزودنی حباب‌زا در تامین پایائی بتن در سنین کم و بتن سخت شده تاثیر چشم‌گیری دارد، درضمن برای تسریع در کسب مقاومت بتن می‌توان از سیمان‌های زود سخت شونده (پرتلند نوع ۳) و یا از مواد افزودنی تسریع کننده استفاده نمود. به دلیل کندگیر بودن، استفاده از سیمان‌های پرتلند روباره‌ای و پوزولانی و پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی توصیه نمی‌گردد، مگر این که اطلاعات کاملی از عملکرد آنها در شرایط هوای سرد گزارش شده باشد.

۷-۶-۳-۵ و ۷-۶-۳-۶ حداقل دمای بتن و نکات مربوط به حمل و ریختن

جدول ۷-۶-۳ حداقل دمای بتن را در هنگام ساخت، ریختن و نگهداری در هوای سرد نشان می‌دهد. باید دقت نمود که بتن تازه روی سطح یخزده که باعث کاهش سریع دمای بتن می‌گردد ریخته نشود. بتن در هنگام ریختن نباید دمائی بیش از ۱۱ درجه سلسیوس بالاتر از حداقل دمای ذکر شده در ردیف ۴ جدول ۷-۶-۳ داشته باشد. زیرا این دمای زیاد باعث افزایش آب اختلاط، افت اسلامپ، گیرش سریع و افزایش جمع‌شدگی حرارتی می‌شود. کاهش سریع رطوبت از سطح بتن تازه باعث بروز ترک‌های ناشی از جمع شدگی خمیری می‌گردد.

سطح میلگرد، قالب و یا فولاد مورد استفاده در بتن نباید دارای قشر یخی باشد، زیرا باعث کاهش مقاومت چسبندگی بین بتن و میلگرد می‌گردد. در صورتی که لازم باشد میلگردها گرم شوند. با استفاده از هوای گرم می‌توان دمای میلگرد را به حد موردنظر رسانید.

۷-۶-۳-۷ عمل‌آوردن بتن تازه

بلافاصله بعد از بتن‌ریزی باید حفاظت از بتن تازه آغاز گردد. منظور از حفاظت تامین دمای مطلوب و رطوبت کافی در مدت زمان توصیه شده مطابق جدول ۷-۶-۳-۷ می‌باشد :

جدول ۷-۶-۳-۷ مدت زمان لازم برای حفاظت بتن جوان در مقابل یخزدن (بتن با حباب هوا)

ردیف	در معرض هوای آزاد	حداقل مدت نگهداری در دمای مندرج در ردیف ۴ جدول ۷-۶-۳ (روز*)	
		سیمان تیپ ۱ یا ۲	سیمان تیپ ۳، با استفاده از تسریع‌کننده، یا مصرف ۶۰ کیلوگرم سیمان اضافی در هر متر مکعب
۱	قرار ندارد	۲	۱
۲	قرار دارد	۳	۲

* ۲۴ ساعت معادل یک روز

در صورت استفاده از بتن بدون حباب هوا اعداد جدول فوق باید دوبرابر شود.

در صورتی که هم زمان با شرایط یخزدن و آب شدن بتن بخشی از بار سرویسی نیز بر سازه وارد آید باید طول مدت نگهداری دو برابر شود.

پس از خاتمه زمان نگهداری از بتن جوان باید دمای بتن به تدریج کاهش یابد تا باعث کاهش ترک‌های ناشی از اختلاف تغییر شکل نسبی در داخل و بیرون سازه گردد. بدین منظور می‌توان بتن را پس از برداشتن قالب‌ها با ورقه‌های نایلون پوشانید مشروط براینکه حداکثر مجاز افت دما پس از ۲۴ ساعت از پایان حفاظت، مطابق ردیف ۵ جدول ۷-۶-۳ باشد.

۷-۶-۳-۸ محافظت بتن سخت شده

پیش‌بینی کسب مقاومت بتن‌های ریخته شده در هوای سرد باید توسط روش مناسبی از جمله روش بلوغ بتن مطابق ASTM C1074 صورت گیرد. بر مبنای این روش برای دستیابی به مقاومت مورد نظر با توجه به دمای واقعی بتن و نوع سیمان زمان لازم حفاظت از بتن سخت شده محاسبه خواهد شد.

یادآورمی شود دستیابی به مقاومت مورد نظر دلیلی بر حفاظت قطعی بتن در مقابل یخ زدن و آب شدن نیست و در هر صورت بکارگیری بتن با حباب هوا در مناطق سردسیر امری ضروری است.

❑ ۷-۷ روش‌های ویژه کاربرد بتن

۷-۷-۱ بتن پاشیده

بتن پاشیده که در سال‌های اخیر در کارهای مختلف نظیر پوشش داخلی تونل‌ها، ساخت منابع بتنی، تثبیت شیب‌ها، پوشش‌های ضد آتش و تعمیرات سازه‌های مختلف و بهسازی آنها مورد استفاده قرار گرفته دارای مزیت‌هایی نسبت به بتن‌ریزی معمولی است. در این روش ضمن مصرف آب کمتر بطورمعمول مقاومت بیشتری حاصل می‌گردد. کاهش یا عدم نیاز به قالب‌بندی و سرعت در اجرای آن، در شکل‌های پیچیده کار، از مزایای این روش است. از طرفی مصرف سیمان بیشتر، نیاز به افراد متخصص در امر پاشیدن بتن، و لزوم استفاده از وسایل خاص بتن پاشی باعث ایجاد محدودیت‌هایی در کاربرد این روش گشته است.

برای پاشیدن بتن از دو روش تر و خشک استفاده می‌شود. انتخاب یکی از دو روش به عوامل متعددی بستگی دارد. از جمله عواملی که در انتخاب روش مؤثرند میتوان به هزینه دستگاه

بتن پاش، مهارت فرد بتن پاش، مقاومت و دوام مورد نظر، وسعت کار و استفاده از مواد افزودنی اشاره نمود.

۷-۷-۱-۱ و ۷-۷-۱-۲ بتن پاشیده خشک و تر

هر یک از روش‌های تر و خشک در مقایسه با یکدیگر دارای مزایا و تفاوت‌هایی می‌باشند. از جمله این تفاوت‌ها مقاومت فشاری بتن در این دو روش است که معمولاً مقاومت در روش خشک بیشتر می‌باشد. بطورمعمول دوام بتن پاشیده شده با روش تر بیشتر از بتن مشابه در روش خشک می‌باشد. میزان بازگشت و کمانه مصالح در روش خشک بیشتر است و ممکن است تا ۴۰ درصد نیز برسد لیکن در روش تر این بازگشت کمتر و تا ۲۰ درصد کاهش می یابد. بعلت ایجاد گرد و خاک بیشتر در روش خشک در محیط‌های بسته نظیر تونل‌ها بهتر است از روش تر استفاده شود. در روش خشک، مقدار آب مخلوط توسط فرد بتن پاش تنظیم می‌گردد و ممکن است تغییر نماید. این تغییرات سبب عدم یکنواختی در کیفیت بتن پاشیده شده می‌شود که در روش تر کمتر اتفاق می‌افتد. در مواقعی که عمل پاشیدن بتن به صورت متناوب انجام می‌شود، مخلوط خشک بهتر خواهد بود زیرا قبل از بتن ریزی، آب به مخلوط اضافه نمی‌شود و امکان توقف یا شروع مجدد پاشیدن بتن وجود خواهد داشت. در روش خشک محدودیت‌های طرح اختلاط کمتر از روش تر است. در روش تر نسبت سیمان به سنگدانه، حداکثر اندازه شن و دانه‌بندی سنگدانه محدود به مخلوطی است که قابلیت پاشیدن داشته باشد و برای اینکه این امر بخوبی انجام شود، نسبت آب به سیمان معمولاً در حد بیشتری نسبت به روش خشک انتخاب می‌شود. در روش تر معمولاً ضخامت لایه بتن کمتر از روش خشک می‌باشد. دستگاه بتن پاشی روش تر اغلب گرانتر از روش خشک می‌باشد. پاشیدن بتن به صورت سر بالا در روش

خشک آسانتر صورت پذیرفته و بازگشت و ریزش مصالح کمتر از روش تر خواهد بود. در استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز برای افزایش مقاومت بتن در برابر یخ زدن و آب شدن تنها می‌توان از روش تر استفاده نمود زیرا در روش خشک امکان مخلوط کردن و تولید حباب وجود ندارد. استفاده از افزودنی‌های ایجاد کننده گیرش آنی برای موارد ضروری در روش خشک میسر است.

۷-۷-۱-۳ مشخصات کلی

در انتخاب نسبتهای اختلاط در طرح بتن برای بتن پاشی باید مخلوط به اندازه‌ای خشک باشد که در هر شرایطی بتواند خود را در محل پاشیده شده نگهدارد. در عین حال مخلوط باید به اندازه‌ای تر باشد که در اثر پاشیدن، خود بخود متراکم گردد و مصالح بعد از برخورد به آن کمانه نکنند. البته واضح است که تمامی مصالحی که پاشیده می‌شوند در محل باقی نمی‌مانند و به ویژه ذرات درشت تمایل به بازگشت از سطح را دارند. کم شدن سنگدانه‌ها سبب ایجاد ملات ریزدانه و بتنی با جمع‌شدگی بیشتر می‌شود.

نسبت آب به سیمان متداول در مخلوط‌های بتن که آب انداختگی کمی نیز دارند و در بتن‌پاشی مورد استفاده قرار می‌گیرد در محدوده ۰/۳۵ تا ۰/۵ می‌باشد. نسبت وزنی سیمان مصرفی به مصالح سنگی از ۱ به ۳ تا ۱ به ۶ و حداقل مقدار سیمان مورد استفاده ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب بوده است.

حداکثر قطر سنگدانه معمولاً به ۲۰ میلیمتر محدود می‌شود و میزان سنگدانه درشت مخلوط کمتر از بتن معمولی خواهد بود.

پس از بتن پاشی بویژه در سطوح بزرگ عمل‌آوری و نگهداری این نوع بتن که با خشک شدن سریع همراه است باید آغاز گردد. یکی از بهترین روش‌های عمل‌آوری، مرطوب نگهداشتن بتن با توجه به جدول ۷-۵-۳ و حداقل ۷ روز می‌باشد.

برای اطمینان از کیفیت بتن پاشیده و کنترل آن لازم است آزمون‌هایی قبل از اجرا و همچنین بعد از پاشیدن آن بر روی بتن انجام شود.نمونه های آزمایشی معمولاً از پانل‌های آزمایشی که قبل از اجرا ساخته می‌شود تهیه و آزمایش می‌شوند. پس از اجرا نیز با برنامه‌ریزی مشخص مغزه‌هایی از قسمت‌های اجرا شده استخراج و مورد آزمایش قرار می‌گیرند. متداول‌ترین آزمایش تعیین مقاومت فشاری مغزه‌های گرفته شده می‌باشد. گاه وزن مخصوص نمونه‌ها مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان با استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب کیفیت بتن پاشیده را کنترل نمود. استفاده از دستگاه‌هایی که با عبور امواج صوتی و یا پالسی کار می‌کنند در عمل متداول بوده است.

۷-۷-۲ بتن ریزی در زیر آب

در پاره‌ای موارد برای ساخت دیوارها و شمع‌ها باید در زیر سطح آب بتن‌ریزی نمود. قبل از انجام بتن‌ریزی لازم است روش اجرا، وسایل مورد نیاز، مواد و مصالح، نسبت‌های اختلاط، نحوه کنترل کیفیت بتن مورد بررسی قرار گیرد. این کار بهتر است در زمانی که آب آرام است صورت پذیرد تا از شسته شدن بتن جلوگیری شود. مواد و مصالح و نسبت‌های اختلاط باید طوری انتخاب شوند تا ضمن فراهم آوردن کارایی لازم برای سهولت اجرای کار، حداقل شسته شدن و تغییرکیفیت در بتن حاصل شود. این امر با انتخاب مقدارونوع مناسب سیمان، نسبت آب به سیمان مناسب و تا حد امکان کم، انتخاب سنگدانه از نظر مقدار و دانه‌بندی و کنترل حداکثر

اندازه سنگدانه، مصرف افزودنی‌ها برای روان‌تر کردن و کندگیر کردن مخلوط و حفظ چسبندگی می‌تواند فراهم شود.

در حین اجرا باید دقت نمود پیوستگی در بتن ریزی حفظ گردد. همچنین قسمت انتهایی لوله ترمی و یا لوله پمپ همواره به میزان ۱ تا ۱/۵ متر در داخل بتن قبلی قرار گیرد. به منظور کنترل کیفیت بتن تازه می‌توان از آزمایش اسلامپ استفاده نمود. همچنین لازم است نمونه‌هایی بر اساس روش‌های استاندارد تهیه و با تعیین مقاومت فشاری آنها کیفیت بتن سخت شده را نیز مورد ارزیابی قرار داد.

۷-۷-۳ بتن پیش آکنده

بتن پیش آکنده یا بتن با سنگدانه پیش آکنده که برای جلوگیری از جدایی دانه‌ها در بتن‌های سنگین و نیز در زیر آب و همچنین محل‌هایی با دسترسی‌های مشکل و کارهای تعمیراتی و بتن حجیم و بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم کاربرد دارد، جهت اجرا نیاز به مهارت و تجربه خاصی نسبت به بتن معمولی دارد. نسبت‌های اختلاط ملاتی که در بین سنگدانه‌های درشت در قالب یا محل نهایی باید تزریق گردد بطورمعمول شامل دو قسمت سیمان و یک قسمت پوزولان (انتخاب پوزولان اختیاری است) و سه تا چهار قسمت ماسه ریزدانه می‌باشد که همراه با آب کافی، مخلوط مایع گونه‌ای ایجاد می‌کند. گاه مواد کمکی روان کننده که زمان گیرش ملات را نیز کند می‌کند، اضافه می‌شود. از مواد منبسط کننده نظیر پودر آلومینیوم نیز می‌توان در ملات استفاده نمود. همچنین می‌توان سیمان و سنگدانه ریز را در یک مخلوط کن مخصوص کلوئیدی که سرعت گردش در آن زیاد است با سرعت مخلوط نموده و تا قبل از تکمیل عمل پمپاژ سیمان در مخلوط کن بصورت معلق باقی نگهداشت.

برای دستیابی به پیوستگی بهتر بین سنگدانه و دوغاب یا ملات تزریقی، سنگدانه‌های درشت باید عاری از گرد و خاک و ناخالصی باشند. بهتر است مصالح سنگی را قبل از اضافه نمودن ملات بطورکامل خیس و اشباع نمود. در بتن‌ریزی‌های حجیم افزایش حرارت ناشی از آبگیری سیمان در بتن را می‌توان با جریان آب خنک در اطراف سنگدانه ها، قبل از اضافه نمودن ملات به آن، کنترل نمود. در بتن پیش آکنده اصولاً نیازی به ارتعاش و لرزاندن درونی نیست، ولی گاهی لرزاندن بیرونی در سطح بالای ملات به بهتر شدن کیفیت سطوح نهایی منجر می‌گردد. بعلت مصرف کم سیمان و اتکای مستقیم سنگدانه‌های درشت به یکدیگر جمع شدگی این نوع بتن در مقایسه با بتن معمولی کمتر می‌باشد.

۷-۷-۴ بتن مکیده

به منظور تأمین کارایی کافی، آب موجود در بتن اغلب بیش از میزان لازم برای انجام و تکمیل واکنش‌های سیمان است. در نتیجه آب اضافی، بتن سخت شده دارای مقادیر زیادی فضاهای موئینه است که سبب کاهش مقاومت و دوام بتن می‌گردند. مکیدن و خارج کردن آب از سطح بتن روشی است که برای مقابله با این ضعف در سطح بتن‌های تازه ریخته و متراکم شده به‌کار گرفته می‌شود. این روش همچنین سبب زودتر سخت شدن بتن و بهبود کیفیت و خواص فیزیکی و مکانیکی بتن در سطح می‌شود.

با اعمال این روش که توسط پمپ‌های مخصوص خلأ انجام می‌شود می‌توان حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از آب اختلاط بتن در سطح را کاست. این عمل می‌تواند تا ۲۰ الی ۲۵ سانتیمتری از سطح بتن را تحت تأثیر قرار دهد. در عمل برای بهبود کیفیت سطوح در معرض سایش و فرسایش بهنگام مکیدن آب ماله‌کشی توام با فشاربطور همزمان انجام می‌شود.

تفسیر فصل هشتم

جزییات آرماتوربندی

۸-۱ مشخصات و شرایط اجرایی

۸-۱-۲ استفاده از برش هوا گاز برای بریدن آرماتورها مجاز است، مشروط بر اینکه آرماتورها در حین برش از وضعیت کلاف خارج شده و در مجاورت و یا روی یکدیگر نباشند.

۸-۱-۳-۲ کیفیت خم‌ها باید از نظر ترک خوردگی، جداشدن آجها، و سایر مسایل، مورد بازرسی عینی قرار گیرد.

۸-۱-۳-۴ هر اندازه دمای محیط کمتر باشد سرعت خم کردن باید کاهش یابد.

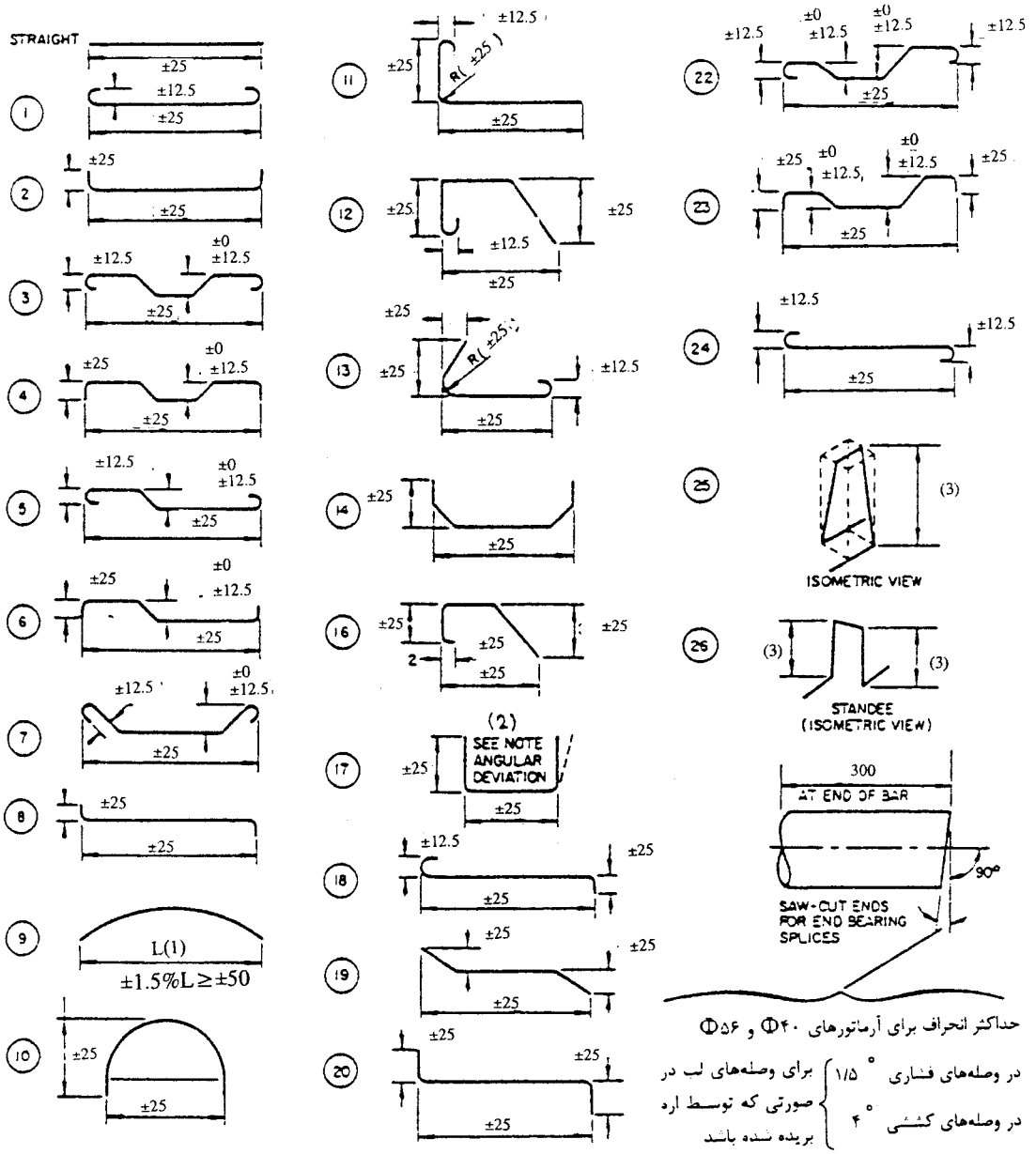
۸-۱-۳-۵ از محدودیت مذکوردراین بند می‌توان صرفنظرکرد مشروط برآنکه تدابیری خاص از قبیل افزایش قطر خمها، یاگرم کردن میلگردها تا دمایی کمتراز ۱۰۰ درجه سلسیوس با تصویب دستگاه نظارت اتخاذ شود.

۸-۱-۳-۷ دراین حالت با اجازهٔ دستگاه نظارت می‌توان میلگرد را بطور موضعی وبدون آسیب رساندن به بتن تا ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس گرم نمود.

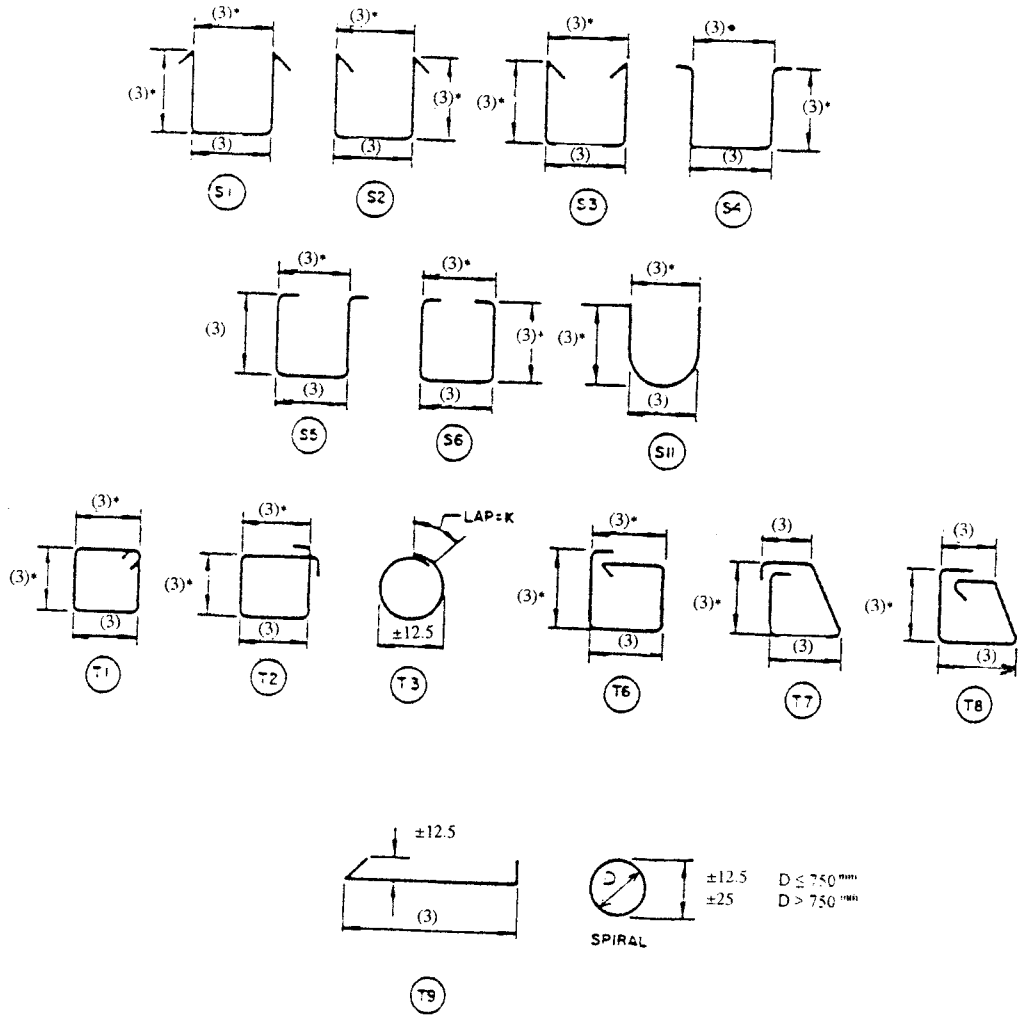
۸-۱-۵ عوامل مذکور در این بند می‌توانند برفولاد یا بتن پیرامون آن اثر شیمیایی یا مکانیکی نامطلوب داشته باشند.

۸-۱-۶-۲ موقعیت آرماتورها باید قبل و ضمن بتن‌ریزی کنترل شود تا پوشش‌های اسمی درمحدوده رواداری‌های مقررشده، به ویژه در طره ها، به دقت تامین شوند. اهمیت رعایت و حفظ پوشش محافظ آرماتور برای جلوگیری از خوردگی فولاد در تامین پایایی، توجیهی برای استفاده منظم از ابزارهای سنجش پوشش و کنترل موقعیت آرماتور در بتن سخت شده به شمار می‌آید.

رواداری خمکاری آرماتورها مطابق شکل ۸-۱-الف و ب می‌باشد.



شکل ۸-۱-الف رواداریهای مجاز برای آرماتورهای به قطر ۱۰ تا ۳۶ میلیمتر



تذکر : رواداریهای مشخص شده برای حالت‌های S1 تا S6 و S11 و T1 تا T9 تنها در مورد آرماتورهای به قطر ۱۰mm تا ۲۵mm اعمال می‌شود.

* این بعد باید در محدوده رواداریهای مشخص شده باشد اما نباید با بعد موازی خود بیش از ۱۲/۵ mm اختلاف داشته باشد.

(1) اگر با اعمال انحراف مثبت بر طول وتر مقدار آن مساوی یا بزرگتر از طول قوس یا طول آرماتور گردد.

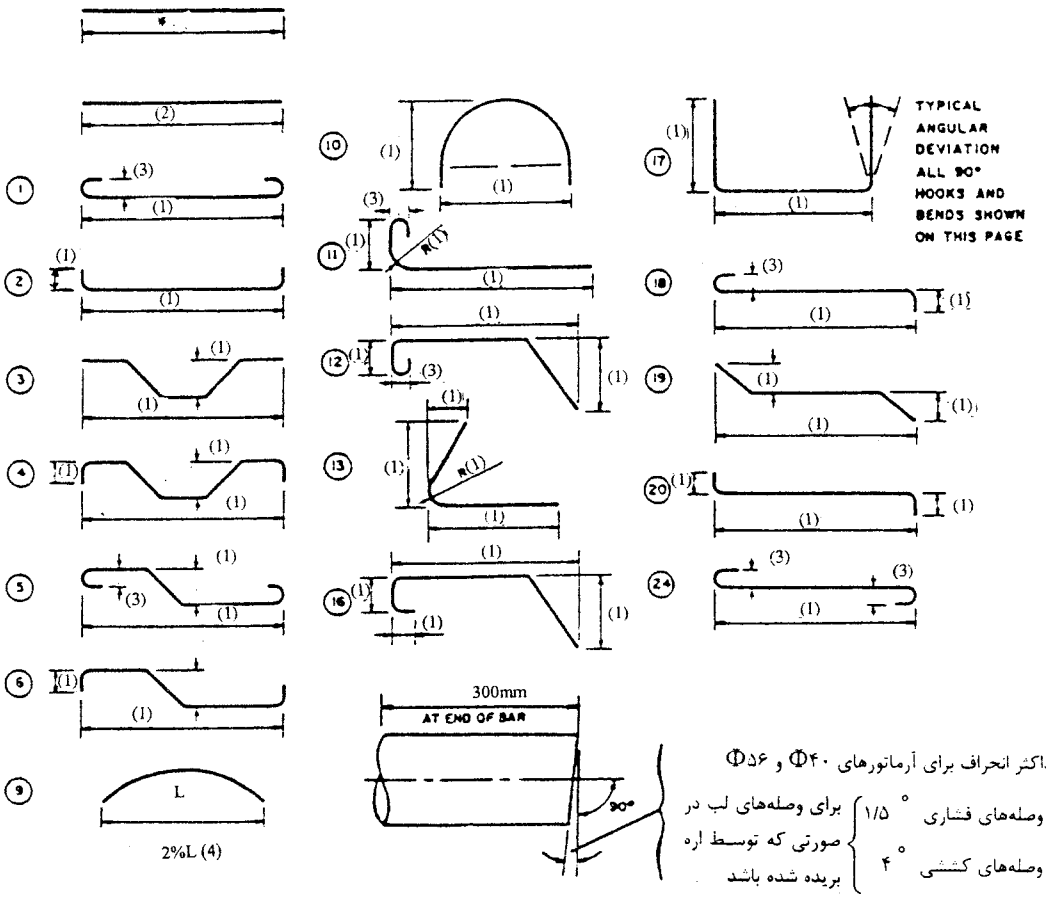
(2) انحراف زاویه‌ای : حداکثر $\pm 2.5^{\circ}$ یا $\pm \frac{1}{24}\left(\frac{cm}{cm}\right)$ که در هر صورت بزرگتر است از ۱۲/۵ mm برای قلاب‌ها و خم‌های

(3) برای آرماتورهای به قطرهای ۱۰ mm تا ۱۶ mm

طول آرماتور < ۳۶۰۰ mm ± ۱۲/۵ mm

طول آرماتور > ۳۶۰۰ mm ± ۲۵ mm

شکل ۸-۱-الف (ادامه)



حداکثر انحراف برای آرماتورهای Φ۴۰ و Φ۵۶

در وصله‌های فشاری ۱/۵° برای وصله‌های لب در صورتی که توسط اره بریده شده باشد

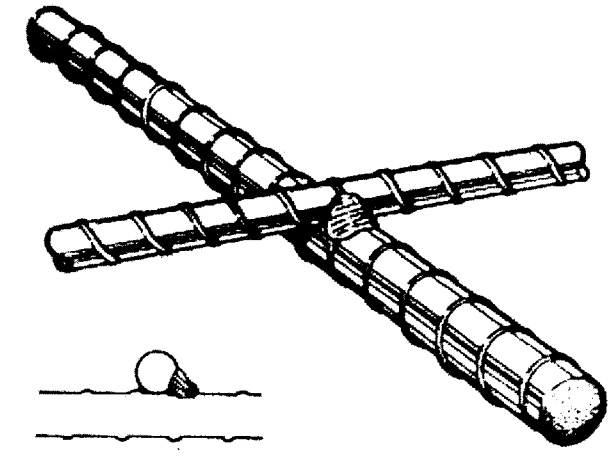
در وصله‌های کششی ۴°

* این بعد باید در محدوده رواداریهای مشخص شده باشد اما نباید با بعد موازی خود بیش از ۱۲/۵ mm اختلاف داشته باشد.

تذکر : انحراف زاویه‌ای : حداکثر برابر است با $\pm 2.5^\circ$ یا $\pm \frac{1}{24}\left(\frac{cm}{cm}\right)$ برای تمام خم‌ها و قلاب‌های 90°

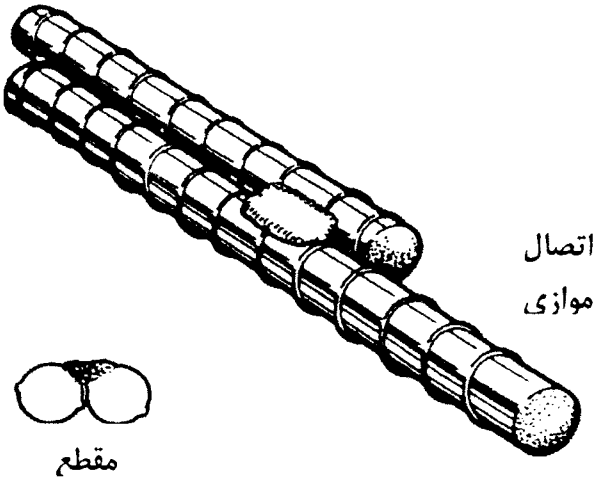
Φ56	Φ40	
± 87.5	± 62.5 mm	(1)
± 50	± 50 mm	(2)
± 50	± 37.5 mm	(3)
± 87.5	± 62.5 mm	(4)

شکل (۸-۱-ب) – برای آرماتورهای Φ۴۰ , Φ۵۶



مقطع

الف- اتصال متقاطع



ب : اتصال موازی

مقطع

شکل ۸-۲- انواع خال جوش برای به هم

۸-۱-۶-۴ رواداری قیدشده برای نواحی بسیارشدید و فوق‌العاده شدید است. برای نواحی ملایم، متوسط، و شدید طبق بند ۸-۱-۶-۲ عمل می‌گردد.

۸-۱-۶-۵ لقمه‌ها باید از جنس و نوع پایا باشند و موجب خوردگی آرماتور و قلوه کن شدن پوشش بتن نشوند.

لازم است مخلوطی که درساخت لقمه‌های بتنی به کار می‌رود از نظر مقاومت، پایایی، تخلخل و ظاهر با بتن اصلی یکسان باشد. استفاده از لقمهٔ آجری یا کلوخ مجاز نیست.

۸-۱-۶-۷ استفاده از خال جوش برای بهم بستن میلگردهای متقاطع در صورتی که جوشکاری طبق ضوابط مربوطه انجام شده و باعث ایجاد زخم و کاهش مقطع نگردد، می‌تواند باعث استحکام قفس آرماتورشده و هندسهٔ آنرا درحین بتن‌ریزی بهتر حفظ نماید. لیکن باید توجه نمود که جوش آرماتورهای متقاطع می‌تواند باعث کاهش مقاومت آرماتورها گردد،پیشنهاد می شود در این خصوص به محدودیت‌های زیر توجه شود:

۱- مطابق شکل ۸-۲ از خال جوش در اتصال متقاطع (صلیبی) و موازی استفاده شود.

۲- اتصال خال جوش نباید در موارد زیر به کاررود:

الف: برای آرماتورها در اعضایی که تحت تأثیر بارهای متمرکز و متحرک چرخ وسیله نقلیه قرار می‌گیرند (مثل شاهتیرهای پلها)

ب : برای فولادهایی که میزان کربن آنها از ۰/۳ درصدو یا میزان کربن معادل آنها از ۰/۴۲ درصد تجاوز می‌نماید.

۳- خال جوش باید منطبق بر ضوابط آیین‌نامهٔ جوشکاری ساختمان انجام شده و میزان بریدگی پای جوش[1] نباید از ۵ درصد قطر میلگرد تجاوز نماید.

۴- وقتی تنش اصلی در بتن احاطه کننده از $0.25\sqrt{f_c}$ تجاوز نماید، خستگی آرماتور باید کنترل شود.

۵- آرماتورها را می‌توان درمحل خم جوش نمود، لیکن نمی‌توان میلگرد را بعد از جوشکاری خم کرد.

❑ ۸-۲ جزئیات آرماتوربندی

۸-۲-۳-ب لازم است تشخیص و تمایز بین انواع مختلف میلگردها به شرح زیر به آسانی ممکن باشد:

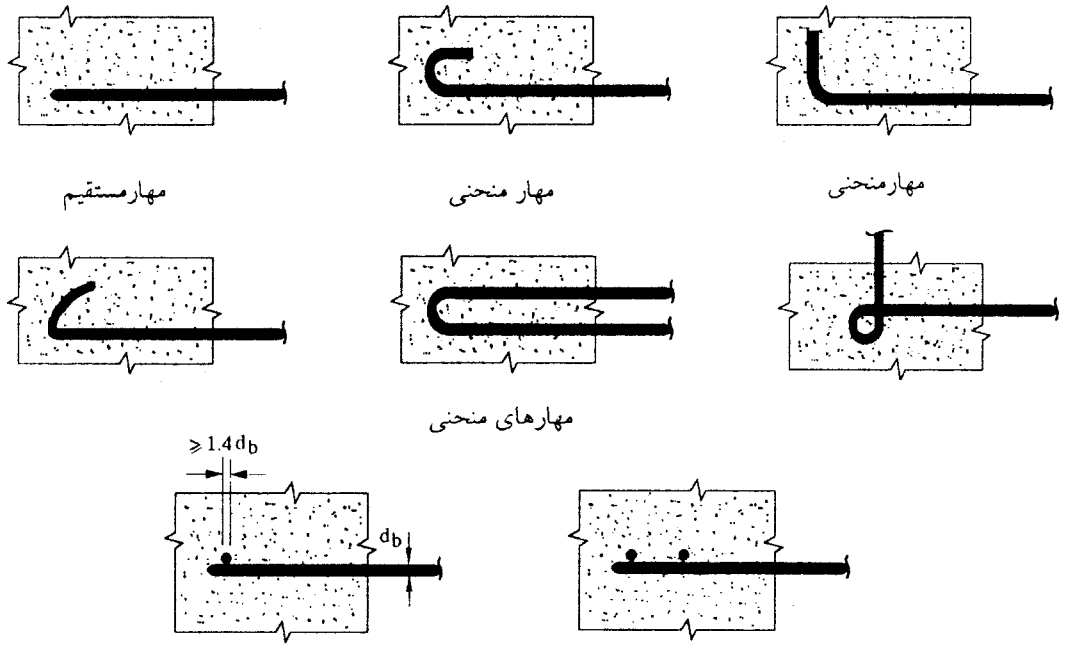
- میلگردهای صاف با رده‌های مختلف
- میلگردهای آجدار نیمه سخت یا سخت طبیعی یا سرد اصلاح شده
- شبکه‌های آرماتور پیش جوش شده یا غیر اینها

۸-۲-۴-۱ استفاده از مهار خمدار در فشار توصیه نمی‌شود مگر برای میلگردهای ساده که ممکن است در منطقه مهاری بطور اتفاقی تحت اثر نیروی کششی قرار گیرند.

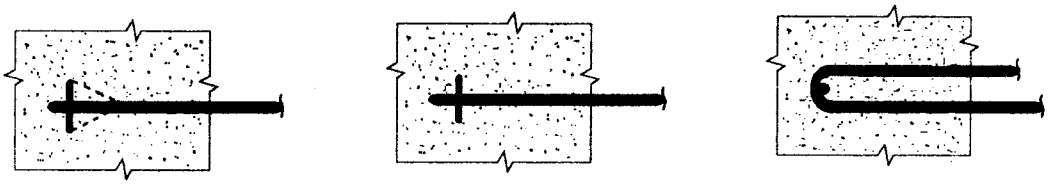
مهارهای خمدار نباید در مجاورت سطح بتن قرار گیرند و باید از تمرکز این گونه مهارها خودداری کرد. شکل ۸-۳ انواع مهارها را نشان می‌دهد.

---

[1] - undercut



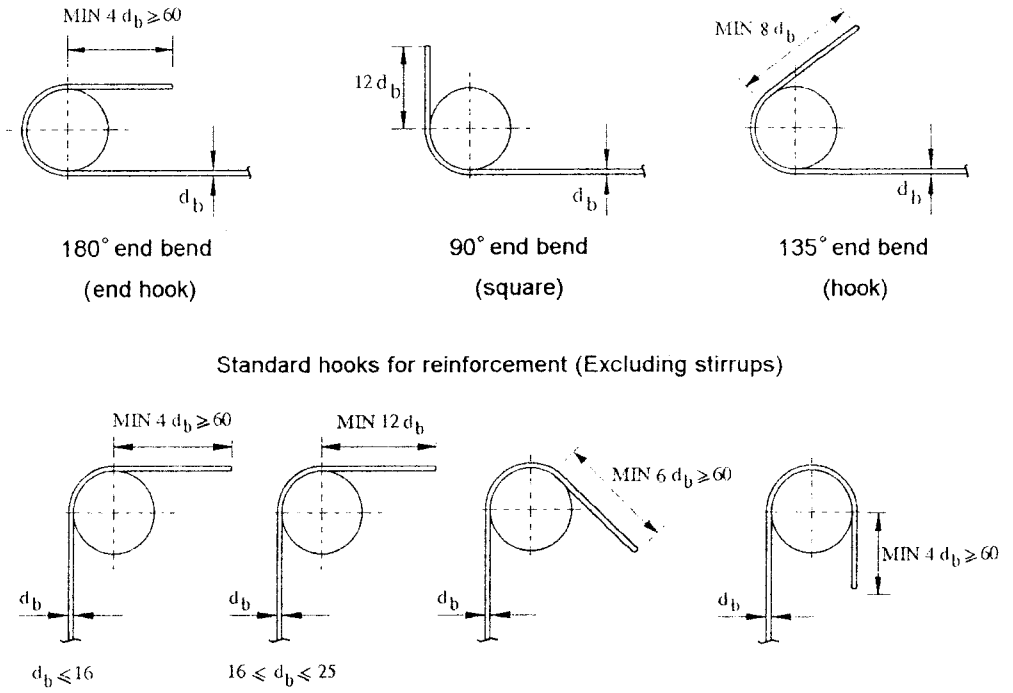
مهار مستقیم یا میلگردهای عرضی جوش شده (نوعی مهار مکانیکی)



نمونه‌هایی از مهارهای مکانیکی

شکل ۸-۳- انواع مهارهای آرماتور

۸-۲-۴-۲ شکل ۸-۴ قلابهای استاندارد را برای میلگردها و خاموت‌ها نشان می‌دهد.



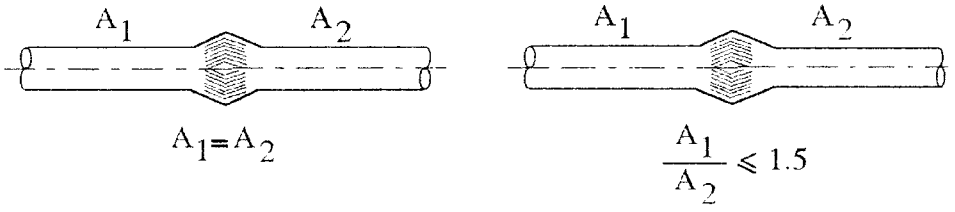
شکل ۸-۴ قلابهای استاندارد برای میلگردها و خاموتها

۸-۲-۵-۳ اتصال جوشی میلگردها فقط درمورد قلابهایی مجاز است که حدجاری شدن آنها بیشتر از ۵۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع نباشد. اتصال جوشی نباید در محل خم میلگردها واقع شود. نمونه‌های جوش شده نباید دارای تغییر شکل نسبی نظیر گسیختگی کمتر از ۸ درصد محل جوش باشند (بند۴-۶).

جوشکاری نباید موجب هیچگونه تغییر در مشخصات مکانیکی فولاد شود. اتصال میلگردهای عرضی (رکابی‌ها، تنگ‌ها، دوخت‌ها، و رابط‌ها) به میلگردهای طولی به وسیله خال جوش مجاز نیست مگر آنکه از طریق آزمایش اطمینان حاصل شود که صدمه‌ای به میلگردها وارد نمی‌شود. اتصال جوشی میلگردهای سرد اصلاح شده جز با روشهای خاص و مناسب و تحت کنترل دقیق مجاز نیست.

جوشکاری باید دور از تغییرات شدید درجه حرارت و در شرایط جوی تقریباً ثابت انجام شود. انجام اتصالات جوش دردمای زیرصفردرجه سلسیوس مجاز نیست. اتصال جوشی به دو طریق امکانپذیر است:

الف- اتصال به وسیله جوش نوک به نوک خمیری بدون الکترود (جوش الکتریکی تماسی) که فقط در کارخانه مجاز است، شکل ۸-۵.

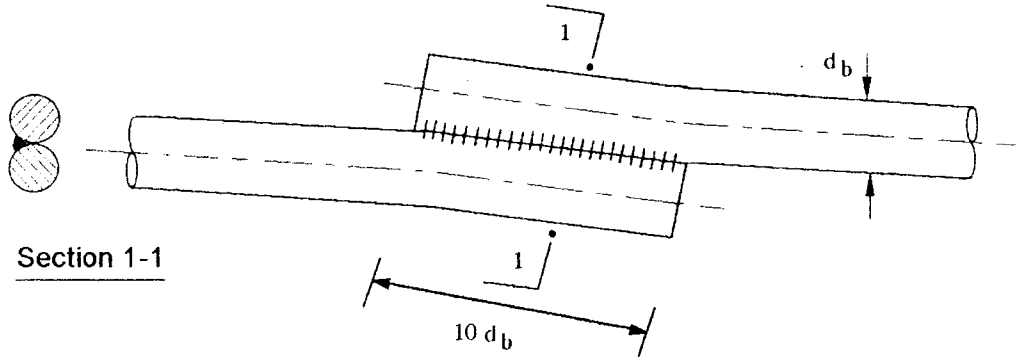


شکل ۸-۵ جوش نوک به نوک

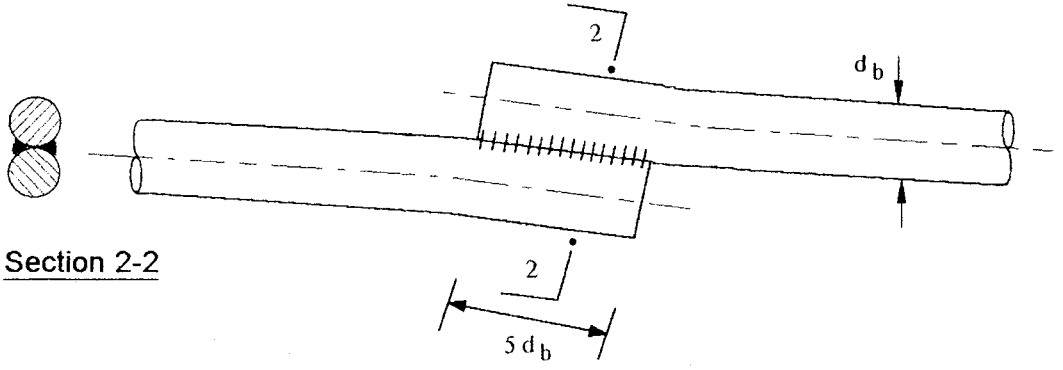
حداقل قطر میلگردها دراین نوع اتصال برای فولاد نرم معمولی ۱۰ میلیمتر و برای فولادهای اصلاح شده ۱۴ میلیمتر است. به علاوه قطر دو میلگرد متصل شونده باید طوری باشد که نسبت سطح مقطع آنها از ۱/۵ تجاوز نکند.

ب – اتصال به وسیله جوش ذوبی یا الکترود (جوش قوس الکتریکی)، به شرطی مجاز است که برای هر نوع فولاد روش جوشکاری صحیح و الکترود مناسب به کار رود. این نوع اتصال به شکل‌های مختلف امکان پذیر است:

اتصال جوشی پهلو به پهلو: دراین نوع اتصال دو میلگرد را کنار هم قرار می‌دهند و به وسیله نوار جوش به هم متصل می‌کنند، که این نوار ممکن است در یک طرف یا هردوطرف میلگردها قرارگیرد. طول قسمت جوش شده نباید از $10d_b$ برای اتصال یک طرفه و یا $5d_b$ برای اتصال دوطرفه کمترباشد ،دراین حالت توصیه می شود از اتصال دوطرفه استفاده شود. انتهای دومیلگرد متصل شونده باید قبل از جوشکاری طوری خم شود که محورهای آنها پس از اتصال در یک امتداد قرار گیرند و خط اثر نیرو در محل اتصال تغییر نکند. (شکل‌های ۸-۶ و ۸-۷).

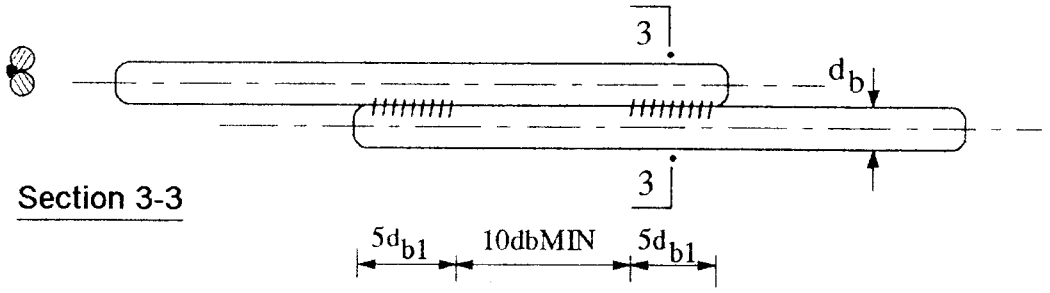


شکل ۸-۶ اتصال با نوار جوش یکطرفه



شکل ۸-۷ اتصال با نوار جوش دوطرفه

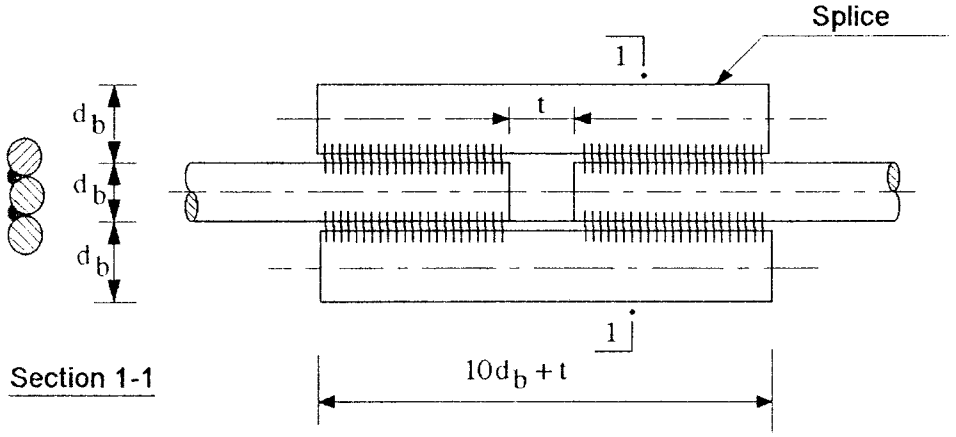
در صورتی که از این نوع اتصال جوشی برای میلگردهای تقسیم ، میلگردهای جلدی و سایر میلگردهایی که نقش درجه اول ندارند استفاده شود، می‌توان از خم کردن انتهای میلگردها صرفنظر کرد و اتصال را مطابق شکل ۸-۸ انجام داد.



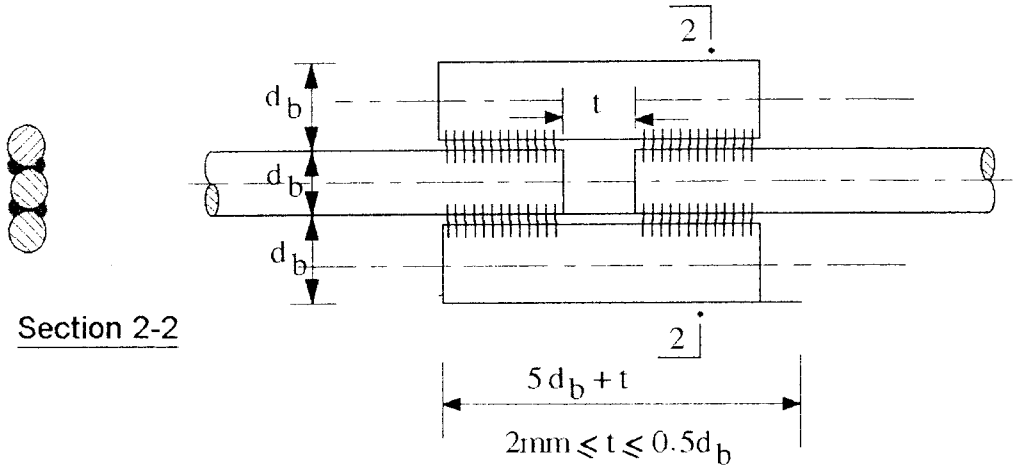
شکل ۸-۸ اتصال با نوار جوش بدون خم کردن میلگردها

اتصال جوشی پهلوبه پهلو فقط برای میلگردهای گرم نورد شده با قطر ۶ تا ۳۶ میلمتر مجاز است.

اتصال جوشی با وصله: دراین نوع اتصال ارتباط دومیلگرد به کمک وصله یا وصله‌هایی تامین می‌شود که روی آنها جوش می‌شوند. دوسر دو میلگرد به هم جوش داده نمی‌شوند. معمولاً وصله‌های جانبی از همان میلگردهای متصل شونده اختیار می‌شوند. حداقل طول این وصله‌ها و نوارهای جوش در شکلهای ۸-۹ و ۸-۱۰ نشان داده شده است.



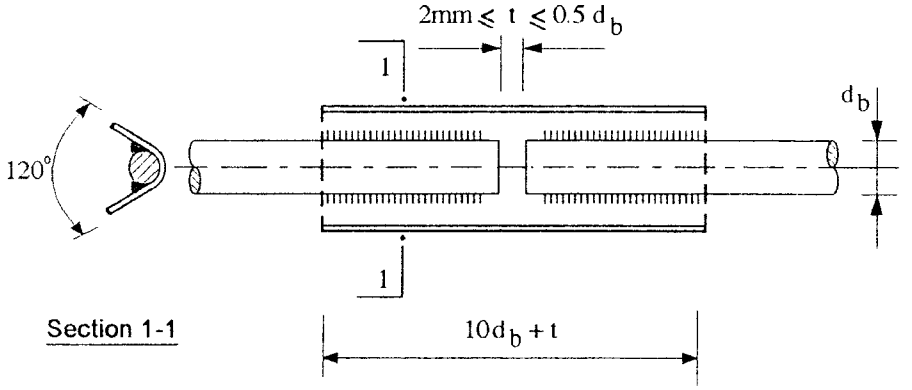
شکل ۸-۹ وصله‌های جوش شده از یک روز



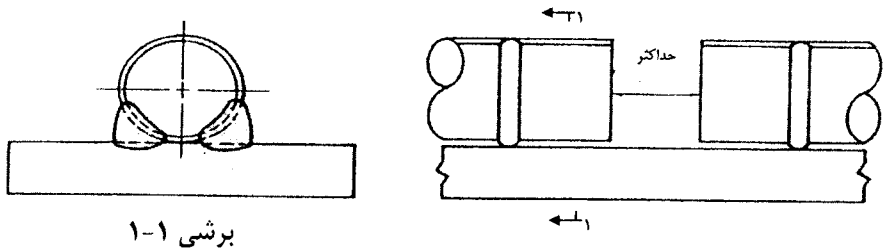
شکل ۸-۱۰ وصله‌های جوش شده از پشت و رو

این نوع اتصال نیز فقط برای میلگردهای گرم نورد شده مجاز است. استفاده از قطعه تسمه فولادی خم شده به زاویه ۱۲۰ درجه، تسمه، و نبشی به عنوان وصله جانبی امکان پذیراست (شکل ۸-۱۱).

اتصال نوک به نوک با پشت بند: این نوع اتصال با کمک پشت بند مجاز است و برای میلگردهای گرم نورد شده و سرد اصلاح شده قابل استفاده است. در مورد میلگردهای گرم نورد شده می‌توان جوش نوک به نوک را بدون آمادگی سرمیلگردها انجام داد. در اینصورت باید انتهای دو میلگرد را روی پشت بند به فاصله $0.5d_b$ از هم قرارداد و با چند



الف: اتصال با تسمهٔ خم شده



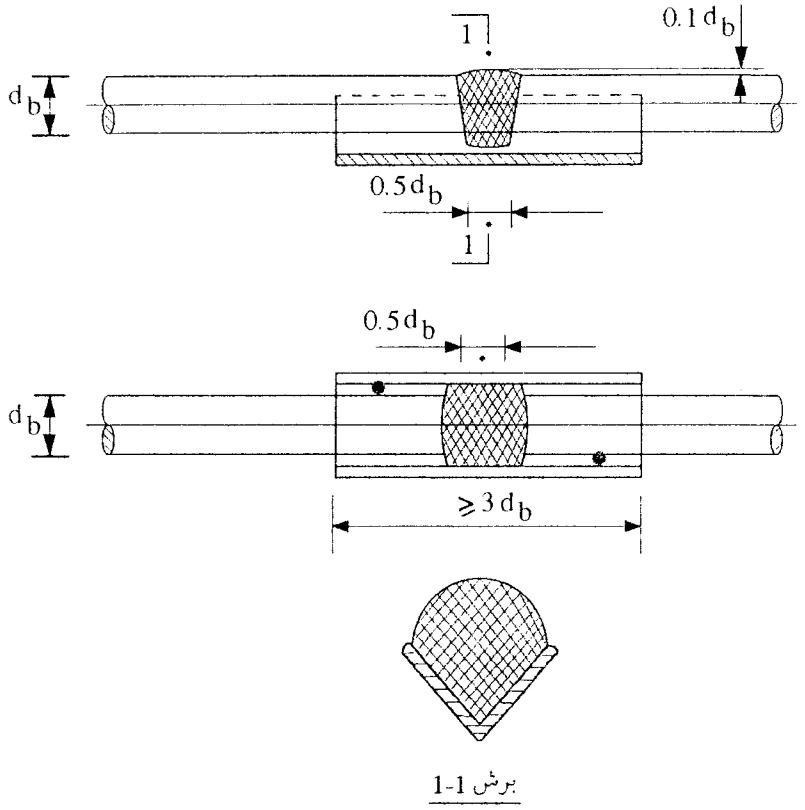
ب – وصل با تسمه

پ – وصله با نبشی

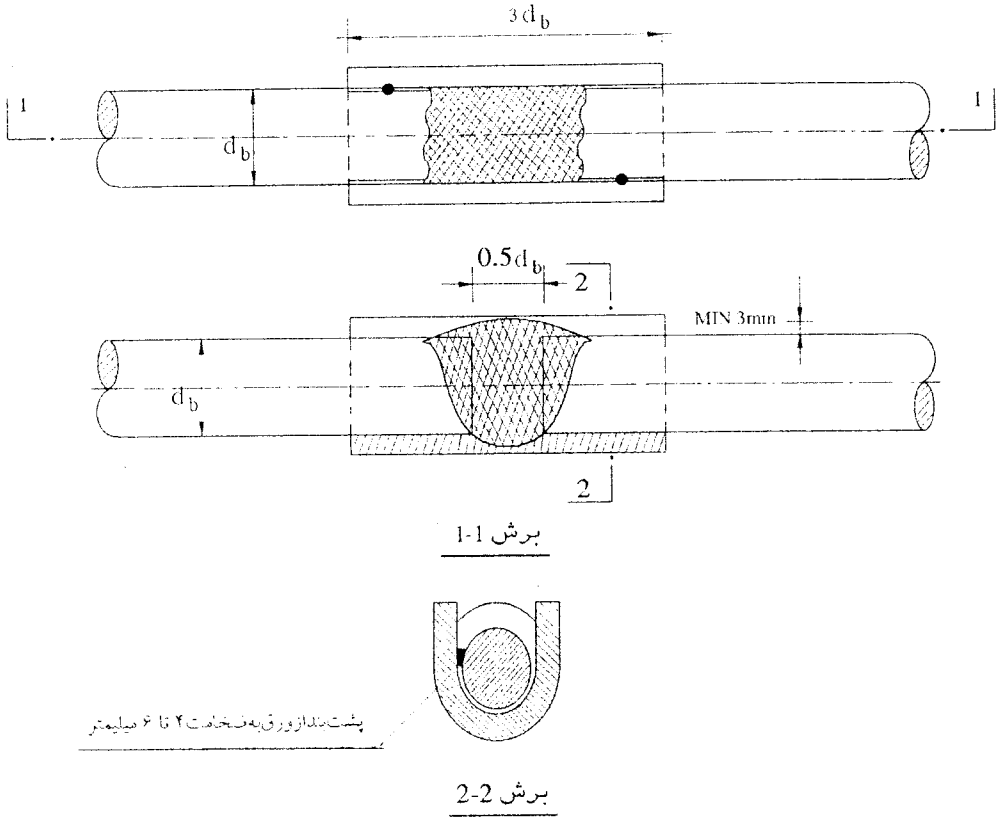
شکل ۸-۱۱- انواع اتصال با وصله

خال جوش آنها را به پشت بند متصل و سپس حدفاصل دومیلگرد را با جوش پر نمود. همانطورکه در شکل‌های ۸-۱۲ و ۸-۱۳ دیده می‌شود پشت بند می‌تواند یک قطعه نبشی یا یک قطعه ورق فولادی باشد که به طور مناسب خم شده است. حداقل طول پشت بند برای میلگردهای گرم نورد شده $3d_b$ است.

در این نوع اتصال حدفاصل میلگرد و غلاف فضای خالی می‌ماند که ممکن است بخار آب در آن تقطیر و اگر محیط خورنده باشد وجود سه نوع فلز یعنی میلگرد، غلاف و نوار جوش به بروز اثر پیل منجر شود. همچنین خال جوش در میلگردهای ترد ایجاد ضعف می‌کند و بهتر است خال جوش در محلی زده شود که بعداً با جوش اصلی پوشانده می‌شود.



شکل ۸-۱۲ اتصال نوک به نوک با پشت بند نبشی

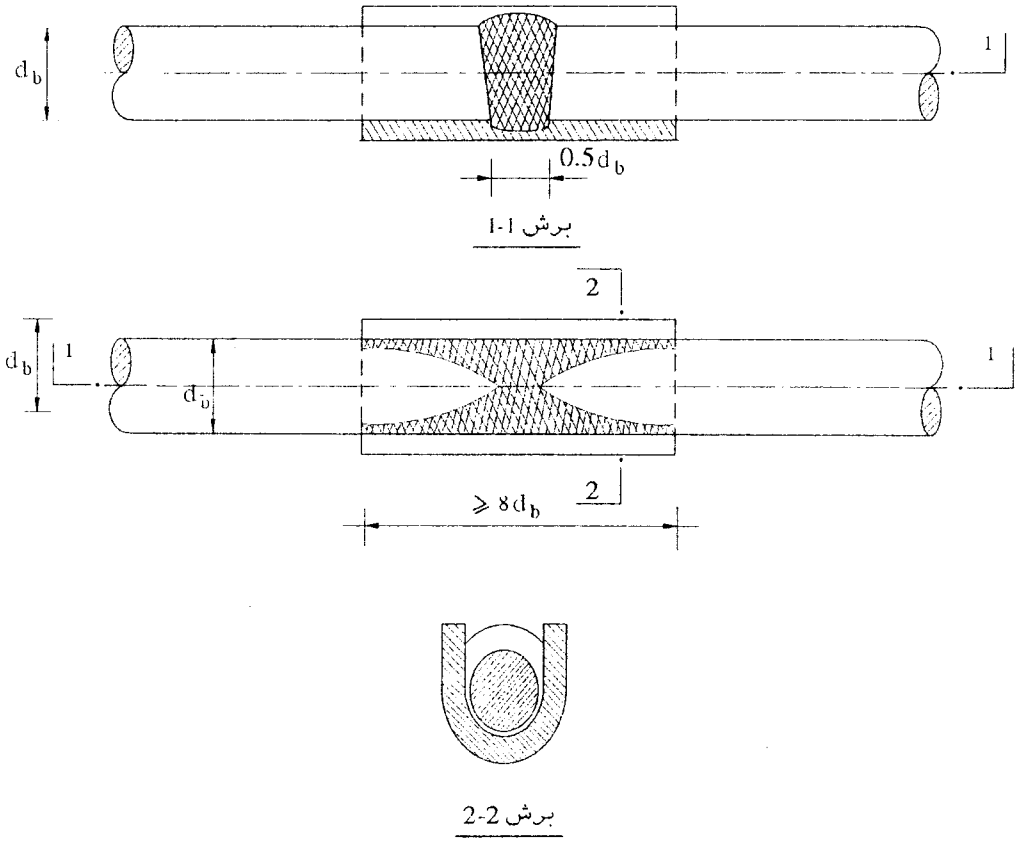


شکل ۸-۱۳ اتصال نوک به نوک با پشت بند

در صورتی که قطرمیلگردهای مورد اتصال بیشتر از ۲۴ میلیمترباشد، بهتراست قبل از شروع جوشکاری سریکی از میلگردها یا هردوی آنها به زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه پخ زده شود و سپس جوشکاری مانند حالت بدون آمادگی انجام پذیرد.

آمادگی سرمیلگردهای سرداصلاح شده درمحل اتصال الزامی است. دراین حالت باید طول پشت بند بیشتر از حالت قبل و حداقل معادل $8d_b$ باشد. بعد موثرجوش باید مطابق

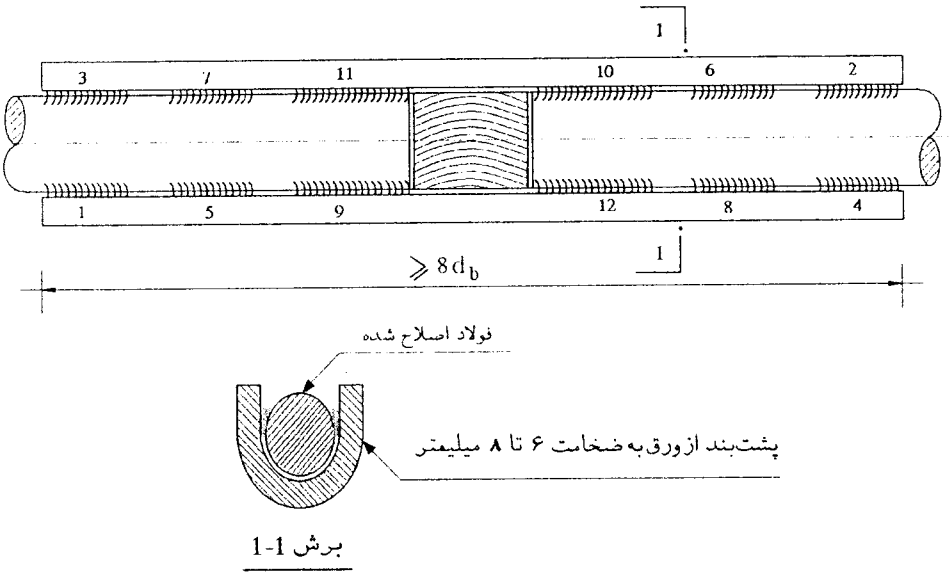
شکل ۸-۱۴ از طرفین پشت بند به طرف محل اتصال بتدریج افزایش یابد.



شکل ۸-۱۴ اتصال نوک به نوک با پشت بند با آمادگی برای میلگرد اصلاح شده

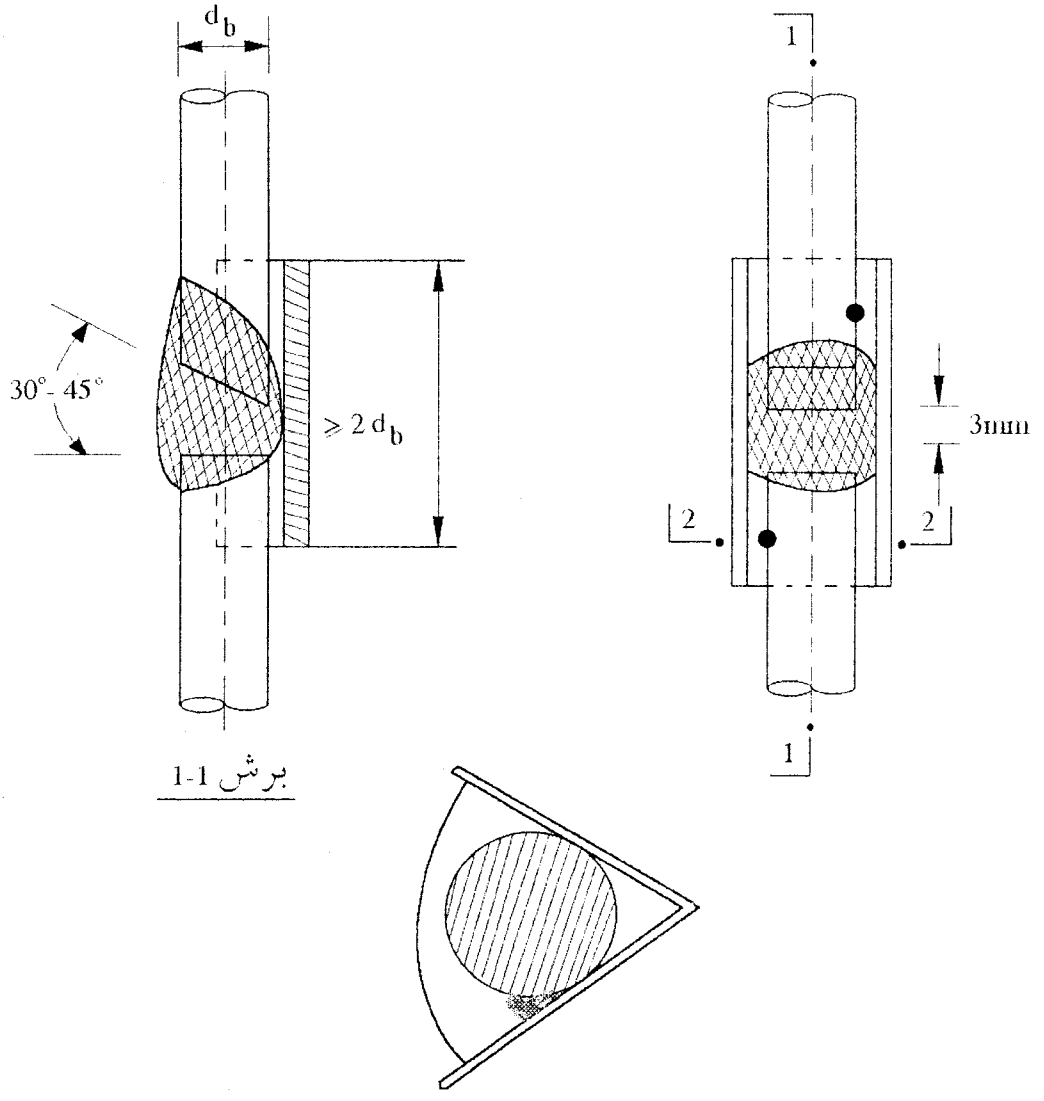
می‌توان به جای نوار جوش با بعد موثر متغیر از جوشی منقطع استفاده کرد که در آن بعد موثر هر قطعه جوش ثابت باشد. در این صورت باید جوشکاری را بترتیب شماره‌های داده شده در شکل ۸-۱۵ از انتهای پشت بند به طرف محل اتصال انجام داد و درنهایت حد فاصل دو میلگرد را با جوش پرکرد. پس از پرشدن حدفاصل دو میلگرد باید جوش روکش محل اتصال در امتداد

طولی میلگردها انجام پذیرد.



شکل ۸-۱۵ اتصال مضاعف

درصورتی که میلگردهای مورد اتصال اعم ازگرم نورد شده یا سرد اصلاح شده در وضعیت قائم باشند، باید انتهای فوقانی میلگرد تحتانی عمود برمحور آن بریده شود و انتهای تحتانی میلگرد فوقانی مطابق شکل ۸-۱۶ به زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه پخ زده شود.

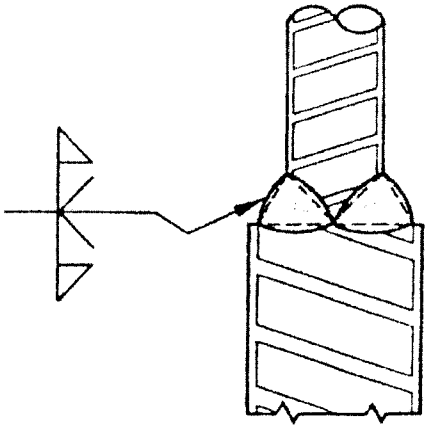


شکل ۸-۱۶ پخ زدن میلگرد

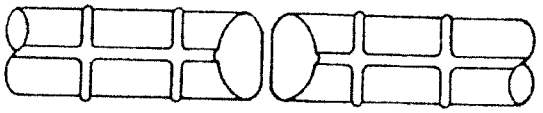
آماده سازی سرمیلگردها باید با قیچی مخصوص یا اره انجام پذیرد. درصورت آماده کردن سر میلگردهاباشعله کاربیت بایدقشرفولاد آسیب دیده در اثرحرارت به کمک سنگ زدن زدوده شود.

ضخامت قشر زدوده شده درمورد میلگردهای سرد اصلاح شده باید حداقل ۳ میلیمتر باشد.

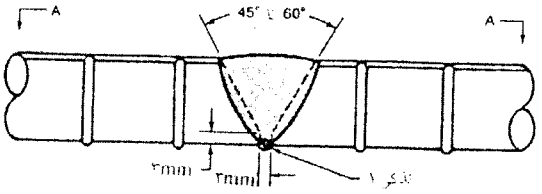
اتصال نوک به نوک بدون پشت بند: در اشکال ۸-۱۷ و ۸-۱۸ جزئیات اتصال نوک به نوک بدون استفاده از پشت بند نشان داده شده است.



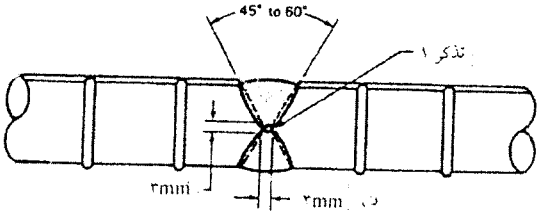
شکل ۸-۱۷ جزئیات اتصال نوک به نوک بدون پشت بند برای آرماتور با قطرهای متفاوت



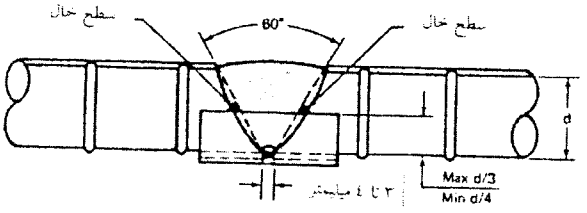
نمای A-A



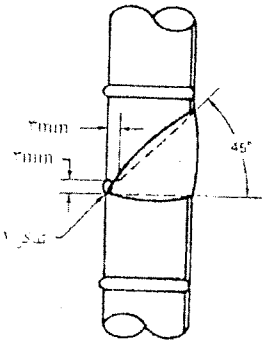
الف- جوش جناغی V



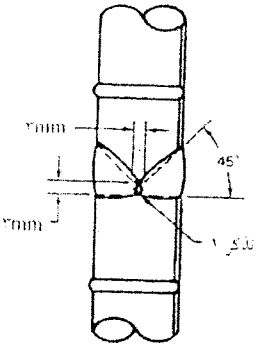
ب- جوش جناغی دوطرفه X



پ- جوش جناغی V با پشت بند لوله، آرماتور در وضعیت افقی



ت- جوش جناغی



ث- جوش نیمه جناغی دوطرفه

تذکر ۱- سنگزنی و جوش پشت

آرماتور در وضعیت قائم

آرماتور در وضعیت افقی

شکل ۸-۱۸ جزئیات اتصال نوک به نوک بدون پشت بند برای آرماتورها با قطرمساوی

ظرفیت باربری نهایی جوش در وصله‌های جوشی

ظرفیت باربری نهایی جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش دار مطابق جدول ۸-۱ است.

جدول ۸-۱ ظرفیت باربری نهایی جوش برای میلگردهای کششی و فشاری

نوع درز	نوع جوش	نوع میلگرد	الکترودمناسب	روش مقاومت نهایی ظرفیت باربری نهایی مجازجوش
نوک به نوک و T	نفوذی کامل	S220	E60	همانند فلز مبنا*
		S350 و S300	E70	
		S400	E80	
		S500	E100	
پهلوبه پهلو و یا وصله	جوش در شیار بین دو میلگرد	S220	E60	$0.6\phi F_u A_w$
		S350 و S300	E70	
		S400	E80	
		S500	E100	

* انجام آزمایش رادیوگرافی و یا الکترسونیک الزامی است.

پارامترهای موجود در جدول ۸-۱ به قرار زیر می‌باشند:

F_u = مقاومت کششی نهایی الکترود

ϕ = ضریب کیفیت جوش که به ترتیب زیر تعیین می‌شود:

$\phi = 1$ درصورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک

$\phi = 0.85$ درصورت انجام جوش درکارخانه و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب

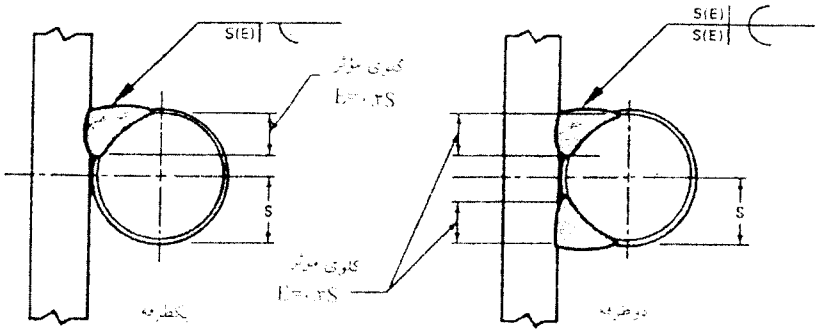
$\phi = 0.75$ درصورت انجام جوش درمحل و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب

A_W = مساحت مؤثر جوش که از رابطه زیر بدست می آید :

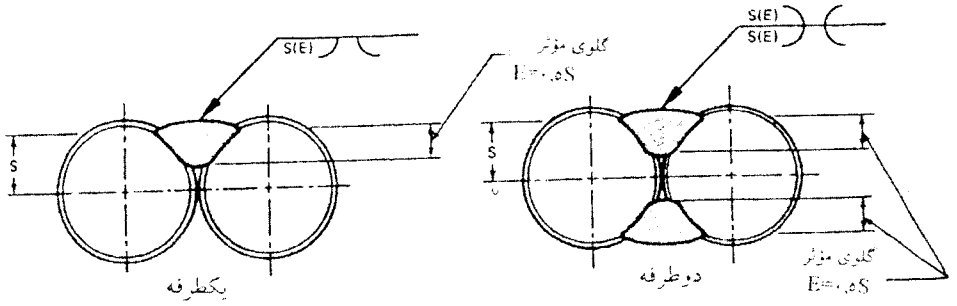
$$A_W = \ell_w t_e$$

ℓ_w = طول مؤثرجوش معادل طولی که در آن جوش بصورت تمام اندازه اجرا شده است. حداقل ℓ_w دوبرابر قطر میلگرد کوچکتر می‌باشد.

t_e = گلوی موثر جوش طبق شکل ۸-۱۹



الف - نیم جناغی



ب – تمام جناغی

شکل ۸-۱۹ گلوی مؤثر جوش در شیار بین آرماتور، تسمه، و دو آرماتور

آزمایش اتصالات جوشی: اگر جوش‌پذیری فولاد میلگردها مورد تردید باشد، باید قبل از شروع کار تعدادی نمونه تهیه و مورد آزمایش کشش و تاشدگی قرارگیرد. جوشکاری در کارگاه را تنها در صورتی می‌توان شروع کرد که نتایج آزمایشها رضایت بخش باشد.

نتیجه آزمایش کشش درصورتی رضایت بخش تلقی می‌شود که مقطع گسیخته شده درمحل جوش یا درمجاورت آن نباشد. نتیجه آزمایش تاشدگی درصورتی رضایت بخش است که در اثر خم کردن منطقه جوش شده ترک نخورد. دراین آزمایش باید ناحیه جوش شده در منطقه‌ای باشد که حداکثر ازدیاد نسبی الیاف روی می‌دهد.

در اتصالات جوشی درکارگاه باید تعدادی نمونه متناسب با نوع میلگردها تهیه شود و به منظور حصول اطمینان از نتیجه کار، مورد آزمایش قرارگیرند.

از هر ۳۰۰ اتصال مشابه برای فولادهای نرم یا ۱۵۰ اتصال مشابه برای میلگردهای سرد اصلاح شده یا هر تعداد اتصال مشابه حداقل یک بار در هرهفته باید ۳ سری نمونه تهیه و آزمایش شود.

هرسری شامل دونمونه است، که یکی برای آزمایش کشش و دیگری برای آزمایش تاشدگی به کار می‌رود.

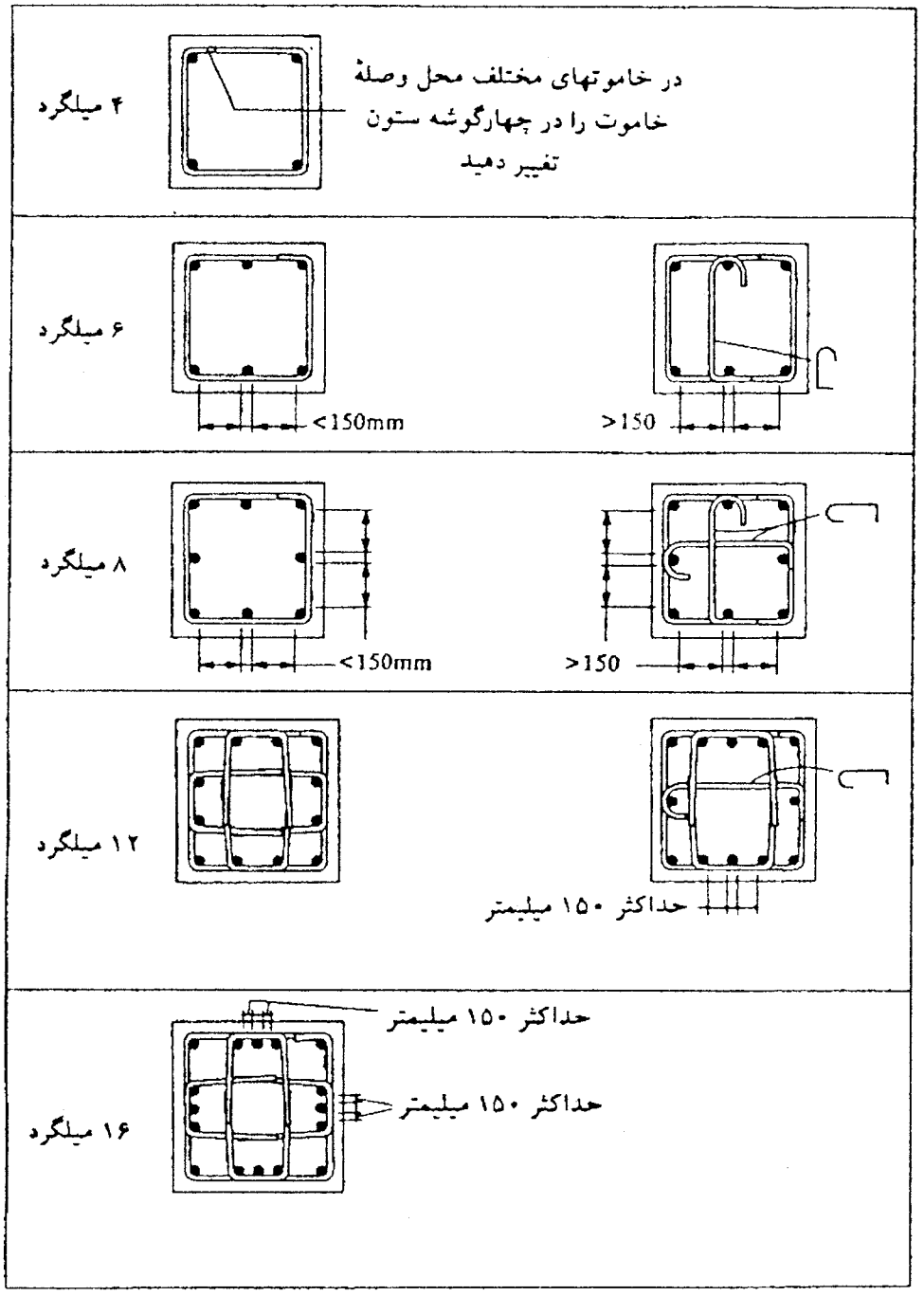
درمورد میلگردهای سرداصلاح شده درصورتی که جوشکار، وسیله جوشکاری یا شرایط کار تغییر کند، باید سه سری نمونه تهیه و پس از حصول اطمینان از قابل قبول بودن نتایج آزمایشها، کار ادامه یابد.

ابعاد نمونه‌های آزمایشی: طول نمونه‌های کششی باید حداقل $20d_b$ و طول نمونه‌های تاشدگی باید حداقل $15d_b$ باشد. مقطع جوش شده باید کاملاً دروسط نمونه قرار گیرد.

۸-۲-۹-۱ مقدارپوشش روی آرماتورنبایداز ۱/۲۵ برابر قطر بزرگترین اندازهٔ مصالح سنگی، کوچکتر باشد.

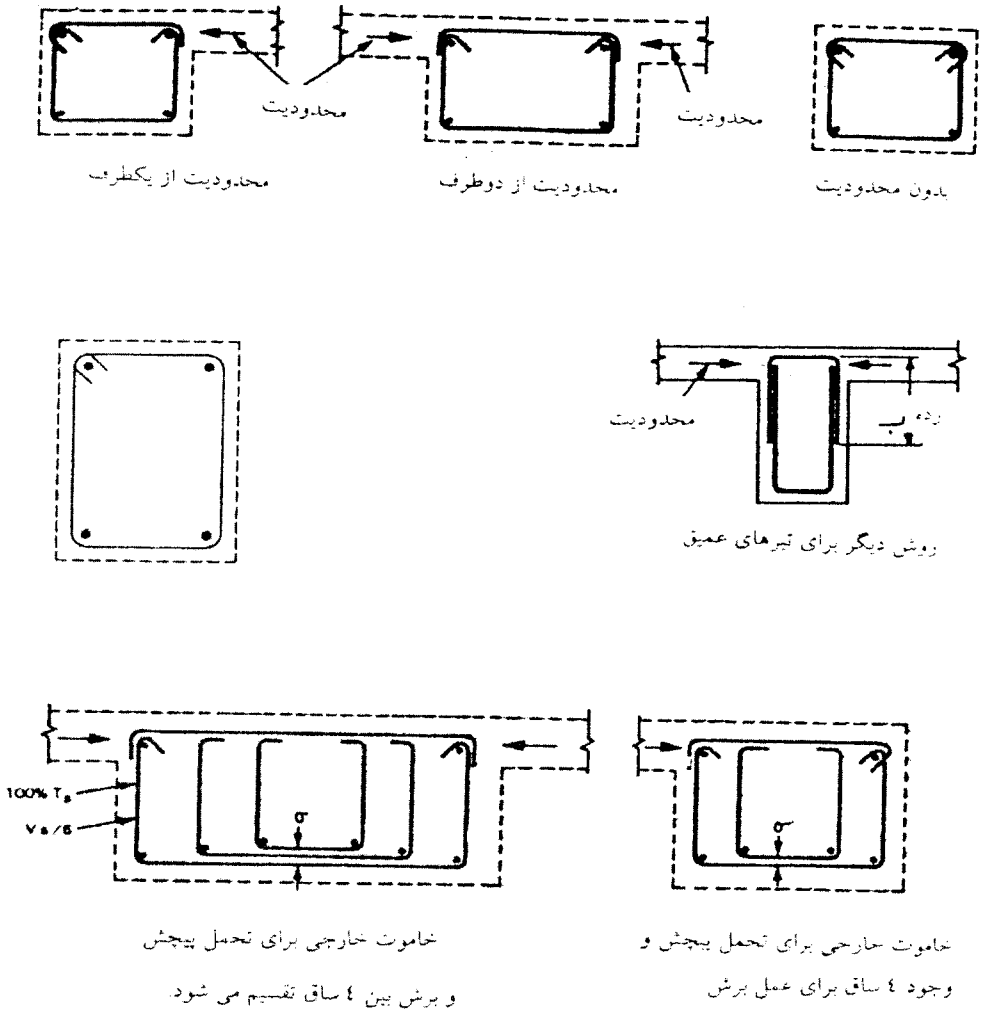
۸-۲-۹-۲ درشرایط محیطی شدید و فوق العاده شدید (شرایط محیطی ت و ث) در صورت استفاده از افزودنیهای معدنی نظیر دودهٔ سیلیسی که باعث کاهش نفوذپذیری بتن می‌شوند، می‌توان از مقادیر پوشش ارائه شده درجدول ۸-۲-۹-۱ به مقدار ۱۰ میلیمتر کاست، مشروط براینکه مقدار پوشش در هیچ حالتی از ۴۰ میلیمتر کمترنشود.

۸-۴-۳-۵ جزئیات متعارف آرایش آرماتورهای ستون و خاموت گذاری آنها درشکل ۸-۲۰ نشان داده شده است.



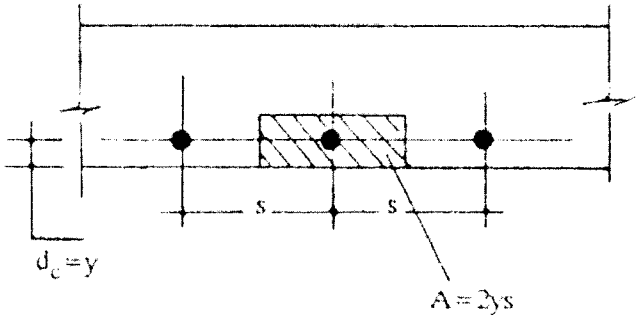
شکل ۸-۲۰ آرایش متعارف آرماتور ستونهای متقارن دومحوره و خاموت گذاری متعارف آنها

۸-۵-۲-۳ هریک از خاموت‌های نشان داده شده در شکل ۸-۲۱ می‌توانند به عنوان خاموت بسته شناخته شوند.



شکل ۸-۲۱ انواع خاموتهای بسته برای برش و پیچش

۸-۷-۵ مقدار آرماتور جلدی مصرف شده مساوی ۰/۸ درصد سطح سهمیه آرماتور می‌باشد.



تفسیر فصل نهم

ضوابط قالب‌بندی،لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن و درزهای اجرایی

۹-۱-۱ منظور از «نظایر» اعضا و قطعاتی مانند تنگ‌ها، کش‌ها و چوب اندازه‌هاست که در قالب‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۹-۱-۲ عملکردهای قالب

در مناطق گرمسیر در صورتی که قالب فلزی بدون حفاظ در مقابل تابش آفتاب قرار گیرد، در اثر انقباض و انبساط نامتجانس بین سطوح رو به آفتاب و پشت به آن و نیز بین قالب فلزی و بتن داخل آن، گوشه‌ها و خط‌الرأس‌های قطعات بتن تازه آسیب می‌بینند و پس از برداشتن قالب با اعمال کمترین نیرو خرد می‌شوند و می‌ریزند.

۹-۱-۳ نقشه‌ها و مشخصات

در تهیه و تنظیم نقشه‌ها و ارائه مشخصات قالب‌ها و مجموعه قالب‌بندی باید نکات زیر را به دقت مورد توجه قرار داد :

الف– روش اجرا و نتیجه کار تمام شده، طوری که طراح یا مجری از قبل از آن آگاه باشند.

ب – ضوابط طراحی قالب، رواداری‌ها، مشخصات مصالح مصرفی، و کیفیت سطوح تمام شده (مطابق تفسیر بند ۹-۱-۳-۲)

پ – محل درزها

ت – ترتیب بتن‌ریزی

ث – جزییات بتن‌های معماری و تزیینی

ج – تکیه‌گاه‌های میانی در قالبهای ماندگار

چ – محل و ترتیب استقرار و برچیدن پایه‌ها و شمع‌ها در اعضا و قطعات مرکب

ح – شرایط خاص برای مجموعه‌های ویژه قالب‌بندی نظیر قوسها و پوسته‌ها

خ – ضوابط ویژه برای بتن‌های پیش تنیده

د – درج اندازه خیز لازم برای جبران افتادگی تیرها و فرورفتگی دال‌ها روی نقشه‌ها

ذ – محل و اندازه پخهای مورد نیاز

ر – تعیین وضعیت اجزا و قطعات مدفون، نوارهای آب‌بندی، چارچوب و قاب باز شوها و نظایر اینها

به علاوه تمامی مبانی طراحی باید روی نقشه قالبها درج شود. این مبانی عبارتند از بارهای زنده، سرعت بتن‌ریزی، درجه حرات محیط، ارتفاع سقوط بتن، ارتفاع بتن ریخته شده، وزن تجهیزات متحرک مورد استفاده روی قالبها، فشار وارد بر شالوده‌ها، تنش‌های مجاز طراحی، دیاگرام‌های خیز و نظایر اینها.

همچنین نقشه‌های قالب‌بندی باید شامل نکات زیر نیز باشند:

الف- نوع مصالح، اندازه‌ها، و نحوه اتصال.

ب – روش، ترتیب و زمان قالب‌برداری، برچیدن شمعها، شمع‌بندی مجدد، و برپایی پایه‌های اطمینان.

پ – بارهای مجاز قابل اعمال روی دال‌های بتنی تازه ریخته شده.

ت – موقعیت مهارها، کلاف‌های قالب، شمعها، و چپ و راست‌ها.

ث – نحوه وادوات تنظیم قالبها هنگام بتن‌ریزی.

ج – محل درزهای ساختمانی، کنترل، و انبساط.

چ – ترتیب و حداقل فاصله زمانی بین دو بتن‌ریزی.

سطح تمام شده بتن : سطح تمام شده بتن تحت تأثیر عواملی از قبیل نسبت‌های اختلاط، روش ریختن و تراکم، صلبیت قالب‌ها، خصوصیات بدنه و رویه قالب، آب‌بند بودن درزها، و مقدار و نوع مواد رهاساز قرار می‌گیرد. کیفیت سطح تمام شده بتن باید با سطح و حجم آن سازگار باشد.

در صورتی که مصالحی برای اولین بار برای ساختن قالبها مورد استفاده قرار گیرند، یا مصرف انواعی از بتن به مسایلی خاص منجر شود، یا تدوین مشخصات فنی ویژه‌ای برای سطح بتن به دلیل نداشتن تجربه کافی ضرورت یابد، ممکن است ساختن قالبهای نمونه لازم شود. در این گونه موارد باید در مدارک فنی، نقشه‌ها و مشخصات، درخواست ساختن قالب‌های آزمایشی تصریح شود.

۹-۳ ضوابط طراحی

۹-۳-۲ بارهای وارد بر قالب

۹-۳-۲-۱ بارهای قائم

الف- در طراحی پایه‌ها و حایل‌های افقی نباید بار زنده را کمتر از ۲/۵ کیلوپاسکال در نظر گرفت.

ب – در صورتی که قالبها وزن وسایل نقلیه موتوری دستی نظیر فرغون‌های موتوری را نیز تحمل کنند، مقدار مذکور را باید به ۳/۷ کیلو پاسکال افزایش داد.

پ – مجموع بارهای زنده و مرده در حالت عادی نباید کمتر از ۵ و در صورتی که قالبها وزن وسایل نقلیه موتوری دستی نظیر فرغون‌های موتوری را نیز تحمل می‌کنند نباید کمتر از ۶/۲ کیلو نیوتن بر متر مربع اختیار کرد.

۹-۳-۲-۲ بارهای جانبی

الف- فشار بتن تازه

الف-۱- جز در موارد مذکور در ردیف‌های الف-۲ و الف-۳ قالب باید چنان طراحی شود که قادر به تحمل فشار جانبی بتن تازه ریخته شده برحسب کیلونیوتن بر متر مربع مطابق رابطه زیر باشد :

$$P=24\ h$$

برای قالب ستونها یا دیگر اعضا و قطعاتی که بتن‌ریزی در آنها به سرعت و قبل از سخت شدن بتن، صورت می‌پذیرد، مقدار h باید برای تمامی ارتفاع قالب برحسب متر در نظر گرفته شود. هنگامی که بتن‌ریزی در بیش از یک مرحله انجام می‌شود، مقدار h برابر است با فاصله بین درزهای اجرایی.

الف-۲- برای بتن‌های ساخته شده از سیمان نوع یک با جرم واحد حجم $2400\ \mathrm{Kg/m^3}$ که حاوی مواد پوزولانی یا مواد افزودنی نبوده، و اسلامپ آنها مساوی یا کمتر از ۱۰۰ میلیمتر باشد و از درون بطور معمول مرتعش و لرزانده شوند، می‌توان قالب را برای فشار جانبی به دست آمده از روابط زیر تعیین نمود.

- برای ستونها :

$$P = 7 + \frac{800R}{T_{C^\circ} + 18}$$

حداکثر فشار جانبی بتن تازه مقدار کوچکتر از بین دو مقدار ۱۴۴ کیلونیوتن بر متر مربع یا $24h$ است. در این حالت حداقل فشار جانبی در طراحی قالب معادل ۳۰ کیلو نیوتن بر متر مربع است.

- برای دیوارها

چنانچه سرعت بتن‌ریزی کمتر از ۲ متر بر ساعت باشد :

$$P = 7 + \frac{800R}{T_{C^\circ} + 18}$$

اگر سرعت بتن‌ریزی در دیوار ۲ تا ۳ متر بر ساعت باشد:

$$P = 7 + \frac{1200}{T_{C^\circ} + 18} + \frac{250R}{T_{C^\circ} + 18}$$

در هر صورت حداکثر مقدار P مقدار کوچکتر از بین دو مقدار ۱۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع یا 24h است. در هر حال حداقل فشار جانبی در طراحی قالب دیوارها، معادل ۳۰ کیلو نیوتن بر متر مربع است.

در روابط فوق :

P = فشار جانبی بتن تازه بر حسب کیلونیوتن بر متر مربع

R = سرعت بتن‌ریزی برحسب متر بر ساعت

T_C = دمای بتن درون قالبها برحسب درجه سلسیوس

h = ارتفاع بتن تازه در بالای نقطه موردنظر برحسب متر است.

الف-۳- حسب مورد، می‌توان از اطلاعات تجربی برای تعیین فشار جانبی در طراحی قالب، استفاده نمود.

ب – فشار و مکش باد

فشار ناشی از وزش باد باید براساس توصیه‌های آیین‌نامه‌های مربوط اختیار شود. مکش ناشی از وزش باد که به صورت قائم روی لبه‌های افقی قالب اثر می‌کند نباید کمتر از ۰/۵ کیلو نیوتن بر متر طول اختیار شود. چنانچه وزن قالب کمتر از این مقدار باشد باید آن را به نحوی مهار کرد. قالبها باید قادر باشند بارهای افقی را به نحوی مناسب به قسمت‌های تکیه‌گاهی منتقل کنند.

پ – سایر بارهای جانبی

علاوه بر موارد مذکور ممکن است بارهای دیگری نیز بر قالبها اثر کنند، از جمله این بارها نیروی موجود در کابلها و سیمها و نیروهای حاصل از حایل‌های مایل، عملیات بتن‌ریزی، حرکت و توقف وسایل نقلیه، بارهای اتفاقی و بارهای ناشی از زلزله محتمل هستند. به هر صورت بار جانبی وارد بر قالب را در هیچ شرایطی نباید کمتر از ۱/۵ کیلو نیوتن بر متر طول لبه قالب یا دو درصد بار مرده گسترده وارد بر قالب در نظر گرفت.

۹-۳-۲-۳ اگر بتن از زیر به درون قالب پمپ می‌شود، قالب باید برای کل فشار هیدروستاتیک (wh) به علاوه ۲۵ درصد به عنوان اثر پمپ طراحی شود.
هنگام استفاده از سیمان منبسط شونده در ساخت بتن یا هنگام بهره‌گیری از ارتعاش بیرونی برای متراکم کردن بتن تازه، باید فشارهای اضافی وارد بر قالب را مدنظر قرار داد.

۹-۴-۱-۳ در قالب چوبی دیوارها باید کوشش به عمل آید که حتی‌المقدور تخته‌ها در امتداد قائم قرار گرفته و درز بین آنها قائم باشد. در این حالت اثر درزها با اثر بیرون زدن شیره بتن، موازی بوده و منظر کار بهتر خواهد بود. قرار دادن یک نبشی فلزی خمکاری شده در گوشه‌ها و یک تسمه فولادی به ضخامت ۱ تا ۲ میلیمتر در فصل مشترک دو قطعه قالب از خروج شیره بتن در موقع بتن‌ریزی جلوگیری کرده و کار قالب برداری را تسهیل می‌کند.

۹-۴-۱-۸ حداقل قطر یا ضخامت پایه اطمینان در مورد پایه‌های چوبی نباید از ۱۵۰ میلیمتر که در فاصله ۱/۵ متری از پایه اندازه‌گیری می‌شود کمتر باشد. در مورد پایه‌های فلزی ظرفیت

باربری باید با منظور نمودن اثر کمانش، معادل ظرفیت باربری پایه‌های چوبی به شرح فوق باشد.

۹-۴-۲ تنظیم مجموعه قالب‌بندی

الف- تنظیم مجموعه قالب‌بندی قبل از بتن‌ریزی

برای تعیین میزان تغییر مکان قالب باید ادوات اندازه‌گیری را روی آن نصب کرد. گوه‌های به کار رفته برای تنظیم نهایی قالبها را باید قبل از بتن‌ریزی و پس از آخرین مرحله تنظیم به دقت محافظت کرد. قالبها را باید طوری به پایه‌های زیرین بست که امکان حرکت قائم و افقی در اثر بتن‌ریزی از آنها سلب شود.

ب – تنظیم مجموعه قالب‌بندی در حین بتن‌ریزی و بعد از آن

رقوم، خیز، تراز بودن، و شاقولی بودن قالب‌بندی را باید در حین بتن‌ریزی و پس از آن، ولی قبل از گیرش اولیه کنترل کرد. در حین بتن‌ریزی باید قالب را به دقت تحت نظر گرفت تا در صورت نیاز اقدامات اصلاحی لازم انجام شود.

۹-۴-۳ قالب‌برداری

۹-۴-۳-۱ قالب‌برداری و برچیدن پایه‌ها با توجه به رفتار آتی سازه باید طوری باشد که قطعه به تدریج و در هماهنگی کامل با وظیفه آتی خود تحت اثر بار قرار گیرد. به عنوان مثال برچیدن پایه‌های تیرها باید از وسط شروع شود و به طرف تکیه‌گاه ادامه یابد، یا پایه‌های زیر طره‌های

بزرگ باید به تدریج از لبه آزاد به طرف تکیه‌گاه برچیده شوند، و هر لحظه که علایمی از تغییر شکل یا ترک خوردگی در طره‌ها مشاهده شود، باید برچیدن پایه‌ها را متوقف کرد.

قالب هر دهانه تیرهای یکسره یا هر چشمه دال‌های یکسره باید وقتی برداشته شود که دهانه مجاور تیر یا چشمه مجاور دال بتن‌ریزی شده و بتن مقاومت لازم برای قالب‌برداری را به دست آورده باشد.

در ساختمان‌های چند طبقه، قالب و داربست هر طبقه را وقتی می‌توان برداشت که حداقل دو طبقه بالاتر از آن بتن‌ریزی شده و بتن مقاومت لازم را به دست آورده باشد. به عبارت دیگر بار قالب و داربست و بتن تازه ریخته شده هر طبقه باید حداقل بین دو طبقه توزیع شود تا بتن طبقات زیرین دچار تغییر شکل‌های زودرس نشود.

۹-۴-۳-۲ زمان قالب‌برداری

الف- در صورتی که دمای مجاور سطح بتن با آنچه در جدول ۹-۴-۳-۲ آمده تفاوت داشته باشد، می‌توان از روابط مندرج در تفسیر جدول ۹-۴-۳-۲ استفاده کرد. این روابط تا زمانی معتبرند که درجه حرارت محیط از ۲۵ درجه سلسیوس بیشتر نباشد.

ب – در صورتی که در اعضا و قطعات بتنی نسبت بار مرده به کل بار قابل توجه باشد، حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری مدتی است که طی آن علاوه بر تأمین شرط ۷۰ درصد مقاومت مشخصه ۲۸ روزه، قطعه قادر باشد دو برابر تنش ناشی از بار مرده خود را تحمل کند.

جدول (۹-۴-۳-۲) حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری

شرح / نوع قالب‌بندی		رابطه بین زمان قالب‌برداری و دمای مجاور سطح بتن
قالبهای قائم		$\frac{300}{T+10}$ (ساعت)
دال‌ها	قالبهای زیرین	$\frac{100}{T+10}$ (روز)
	پایه‌های اطمینان	$\frac{250}{T+10}$ (روز)
تیرها	قالبهای زیرین	$\frac{250}{T+10}$ (روز)
	پایه‌های اطمینان	$\frac{360}{T+10}$ (روز)

در این جدول T دمای سطح بتن برحسب درجه سلسیوس است.

۹-۴-۳-۳ برچیدن پایه‌های اطمینان

در صورتی که برنامه زمان‌بندی و جنبه اقتصادی ایجاب کند، بهتر است شمع‌بندی در چند طبقه صورت گیرد. توصیه می‌شود شمع‌بندی، شمع‌بندی مجدد، استقرار پایه‌های اطمینان، و برچیدن آنها با توجه به ضوابط زیر باشد :

بار هر شمعی که وزن بتن تازه را تحمل می‌کند به طبقه پایین‌تر انتقال می‌یابد. بنابراین شمعها باید تا طبقه‌ای ادامه یابند که تکیه‌گاه‌ها قادر باشند بارها فوقانی را بدون ایجاد تنش‌ها و تغییر

شکل‌های اضافه در طبقه موردنظر تحمل کنند. در صورتی که قالب‌برداری قبل از کسب مقاومت لازم صورت گیرد، رعایت چند نکته الزامی است:

الف- تیرها و شاهتیرها

با توجه به ضرورت بکار گرفتن پایه‌های اطمینان لازم است پس از برچیدن قالب و داربست بلافاصله پایه‌های اطمینان در محل‌های موردنظر زده شوند. جمع‌کردن شمعها و شمع‌بندی مجدد هر شاهتیر باید قبل از شروع عملیات مشابه روی تیر اصلی دیگر صورت پذیرد، به طوری که در هر مقطع زمانی فقط یک شاهنیر تحت این عملیات قرار داشته باشد.

پس از شاهتیرها قالب‌برداری و شمع‌بندی مجدد هر تیر و دال مجاور آن انجام می‌شود. شمع‌بندی مجدد دال‌ها نباید قبل از شمع‌بندی مجدد شاه‌تیرها و تیرها شروع شود. در صورتی که شمع‌های زیر و روی یک دال در یک امتداد واقع نشوند باید توان باربری دال را برای تحمل تنش‌های معکوس و برش سوراخ شدگی مورد بررسی قرار داد.

ب – دال‌های تخت

برداشتن شمعها و شمع‌بندی مجدد باید طوری سازمان یابد که از ایجاد تنش‌های معکوس یا مخرب در دالها جلوگیری شود. به این ترتیب در شمع‌بندی مجدد دالها باید پایه‌های اطمینان را در طول مرزهای بین نوارهای میانی و نوارهای ستونی استقرار داد. (برای آگاهی از تعریف نوارهای میانی و ستونی به فصل پانزدهم آیین‌نامه رجوع شود). در این گونه موارد باید برداشتن شمعها و شمع‌بندی مجدد هر چشمه قبل از چشمه دیگر صورت پذیرد. به طوری که در هر مقطع زمانی فقط یک چشمه تحت این عملیات قرار داشته باشد.

در مورد دالهایی که فاصله ستونهای آنها از ۷/۵ متر بیشتر باشد، بهتر است قالب‌بندی و شمع‌بندی طوری برنامه‌ریزی شوند که شمعهای واقع در مرزهای نوارهای میانی و ستونی در زمان قالب‌برداری بدون تغییر در جای خود باقی بمانند.

پ- برچیدن پایه‌های اطمینان

پایه‌های اطمینان را نباید قبل از آنکه اعضا و قطعات بتنی توان کافی برای تحمل وزن خود و بارهای وارد را کسب کنند جمع کرد. شمع‌برداری باید به ترتیبی باشد که از ایجاد ضربه، برون محوری، و برون مرکزی‌های پیش‌بینی نشده در قطعات جلوگیری شود.

ت – منظور از وسایل قابل کنترل، شمع‌ها یا پایه‌های مجهز به ادواتی است که بتوان در زمان لازم باربرداری یا بارگذاری را مهار نمود.

☐ ۹-۵ قالب‌بندی سازه‌های ویژه

کلیات – در موارد خاص نظیر بتن‌های معماری و در سازه‌های ویژه از قبیل پل‌ها و پایه‌های بزرگ، سازه‌های مختلط یا مرکب، صفحات چین‌دار و پلیسه ای، سازه‌های حجیم و سازه‌های مدفون، علاوه بر آنچه ذکر شد، شرایطی که توسط طراح تعیین می‌شود نیز باید رعایت شوند.

بتن معماری – بتن معماری به بتنی گفته می‌شود که سطح تمام شده آن جنبه نما داشته باشد. در بتن‌های معماری باید در انتخاب مصالح، طراحی، اجرای قالب، و نحوه ریختن و تراکم بتن توجهی ویژه داشت.

پل‌ها و پایه‌های بزرگ – در مورد پل‌ها باید ساخت و باز کردن قالبها و داربستها را از قبل برنامه‌ریزی کرد. قالبها و تکیه‌گاه‌های آنها باید از صلبیت کافی برخوردار باشند. شمعها و اعضای تنظیم کننده و نگهدارنده قالب نباید قبل از حصول ۷۰ درصد مقاومت مشخصه ۲۸ روزه بتن برچیده شوند. در هیچ مورد باز کردن قالب نباید زودتر از ۵ روز بعد از بتن‌ریزی باشد.

سازه‌های مختلط و مرکب – در اعضای مرکب که از بتن همراه با مصالح دیگر استفاده می‌شود باید به مسایل خاص قالب‌بندی توجه شود.

صفحات چین‌دار (پلیسه‌ای)، پوسته‌های نازک، و سقف‌های با دهانه بزرگ – در این موارد افتادگی، خمیدگی، و فرورفتگی قالبها ممکن است موجب تنگ افتادن قسمت‌هایی از مجموعه قالب‌بندی شود. این امر باید در طراحی و ساخت قالب مورد توجه قرار گیرد تا هنگام باز کردن قالبها مشکلی ایجاد نشود.

رواداریها در قالب‌بندی سازه‌های حجیم – در قالب‌بندی سازه‌های حجیم باید رواداریهای جدول ۹-۵ رعایت شوند.

جدول (۹-۵) رواداری سازه‌های حجیم

ردیف	شرح		رواداری
۱	تغییر در خطوط و حاشیه‌های خارجی سازه نسبت به پلان تعیین شده		۱۲ میلیمتر در ۶ متر طول
			۱۹ میلیمتر در هر ۱۲ متر طول
۲	تغییر در اندازه‌های سازه نسبت به موقعیت تعیین شده		۳۲ میلیمتر در هر ۲۴ متر طول یا بیشتر
			دو برابر مقدار فوق در ساختمان‌های مدفون
۳	تفاوت نسبت به نشانه‌ها، شیب‌ها و منحنی‌های تعیین شده، خطوط، لبه‌ها و سطوح ستون‌ها، دیوارها، پایه‌ها، پشت‌بندها مقاطع قوسی، درزهای شیاری قائم و کنج‌ها، زوایا و نبش‌های نمایان		۱۲ میلیمتر در هر سه متر
			۱۹ میلیمتر در هر ۶ متر
			۳۲ میلیمتر در هر ۱۲ متر طول یا بیشتر
			دو برابر مقادیر فوق در ساختمان‌های مدفون
۴	تغییر تراز زیر دالها یا تیرها، درزهای شیاری افقی، و نبش‌ها و زوایای نمایان نسبت به آنچه در نقشه‌ها نشان داده شده است.		۶ میلیمتر در هر ۳ متر طول
			۱۲ میلیمتر در هر ۹ متر طول یا بیشتر
			دو برابر مقادیر فوق در سازه‌های مدفون
۵	تغییر در اندازه‌های مقطع عرضی ستونها، تیرها، پایه‌ها، پشت سدها و اعضا مشابه		۶ میلیمتر در جهت نقصانی
			۱۲ میلیمتر در جهت اضافی
۶	تغییر در ضخامت دالها، دیوارها، مقاطع قوسی و اعضای مشابه		۶ میلیمتر در جهت نقصانی
			۱۲ میلیمتر در جهت اضافی
۷	شالوده‌ها،ستونها، پایه‌ها، دیوارها، حایل‌ها و اعضای مشابه	الف : تغییر اندازه در پلان	۱۲ میلیمتر در جهت نقصانی
			۲۵ میلیمتر در جهت اضافی
		ب : جابجایی یا خروج از مرکز	دو درصد عرض شالوده در امتداد جابجایی ولی کمتر از ۵۰ میلیمتر
		پ : کاهش ضخامت	پنج درصد ضخامت تعیین شده
۸	زیرسری و دیوارهای کناری در دریچه‌های قطاعی و اتصالات آب‌بند مشابه		تغییر نسبت به نشانه و تراز تعیین شده کمتر از سه میلیمتر در هر سه متر طول

❑ ۹-۷ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن

۹-۷-۱ در صورتی که لازم شود لوله‌ای از داخل یک قطعه و عمود بر محور آن عبور کند. باید موقع قالب‌بندی و بتن‌ریزی به کمک غلافی بزرگتر معبر لوله را باز گذاشت، و پس از بتن‌ریزی و اتمام قالب‌برداری لوله را از این معبر عبور داد. در زمان تهیه طرح باید وجود این غلاف مورد

توجه قرار گرفته و در صورت لزوم تدابیری برای تقویت اطراف آن اتخاذ شود و جزییات مربوط در نقشه‌های اجرایی مشخص گردد.

جنس غلاف‌ها باید تا حدامکان فولادی باشد به طوری‌که بتوانند به جای بتن حذف شده ایفای نقش نماید و در گرفتن و انتقال نیروی فشاری با بتن فشاری همکاری کنند. در صورتی که تأمین این نقطه نظر مقدور نباشد، اگر تقلیل مقطع محاسباتی به علت عبور غلاف کمتر از ۱۰ درصد باشد می‌توان طرفین غلاف را با دو شبکه آرماتور متشکل از میلگردهای متعامد به قطر حداقل ۱۰ میلیمتر، که به موازات محور غلاف و محور قطعه و به فاصله ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند تقویت کرد. طول میلگردهای موازی غلاف باید تقریباً برابر طول آن و طول میلگردهای موازی محور قطعه باید حداقل مساوی ۶۰ برابر قطر آنها باشد، در صورتی که تقلیل مقطع محاسباتی به علت عبور غلاف بیشتر از ۱۰ درصد باشد، و به ویژه حالتی رابوجود آوردکه کار گذاشتن غلاف به تقلیل ظرفیت برشی مقطع منجر شود، می‌توان مقطع را با در نظر گرفتن وجود غلاف در مقابل تلاش‌ها محاسبه کرد و آرماتور لازم ، اعم از کششی ، فشاری یا برشی در اطراف غلاف قرار داد، در این حالت حداقل مقدار تقویت، مشابه تقویت اطراف غلافهای کوچکتر است.

۹-۷-۶ سوراخ کردن قطعات بتن آرمه باید با مته‌های دورانی یا چکشهای ضربه‌ای دورانی به عمل آید استفاده از چکشهای ضربه‌ای ممنوع است، زیرا به ایجاد ترکهایی در درون بتن و تقلیل پایایی آن منجر می‌شود.

۹-۷-۷ بهتر است لوله‌های پلاستیکی موازی هم و در یک صفحه افقی یا قائم باشند تا تقلیل مقطع بتن به حداقل ممکن برسد.

❑ ۹-۸ درزهای اجرایی

۹-۸-۱ سازه‌های بتن آرمه قسمت به قسمت آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌شوند و نمی‌توان یک سازه بتن آرمه را، جز در موارد استثنایی، یکباره بتن‌ریزی کرد. متناسب با نوع سازه و امکانات اجرایی، بتن‌ریزی در مراحل مختلف صورت می‌گیرد. درزهای اجرایی، فصل مشترک دو بتن‌ریزی متوالی یا سطوح واریز بتن جدید در کنار بتن قبلی می‌باشند. در درزهای اجرایی باید پیوستگی دو بتن به نحوی مطلوب تأمین شود.

علاوه بر درزهای اجرایی درزهایی دیگر در سازه‌های بتن آرمه پیش‌بینی و اجرا می‌شوند که در محازات آنها قطعات سازه‌ای دو طرف درز از هم جدا می‌گردند. اهم این درزها به شرح زیر هستند :

- درزهای انقباض و انبساط برای کاهش آثار مزاحم ناشی از تغییر دما و جمع شدگی بتن که از بالای ساختمان تا روی شالوده ادامه دارند.
- درزهای نشست برای احتراز از اثر سوءنشست‌های نامتجانس دو قسمت ساختمان که ممکن است ناشی از تغییر کیفیت خاک زیر شالوده یا اختلاف در مقدار و ماهیت بارهای وارد به ساختمان باشند در نظر گرفته می‌شوند و شالوده دو بخش ساختمان را نیز از هم جدا می‌نمایند.
- درز جدایی برای جدا کردن بخش‌هایی از ساختمان که به دلیل اختلاف ارتفاع یا تغییر سیستم سازه‌ای رفتار دینامیکی متفاوت دارند و به منظور تأمین امکان نوسان مستقل

هر قسمت در برابر زلزله تعبیه می‌شود. این درزها بسته به مورد ممکن است از بالای ساختمان تا روی شالوده ادامه داشته باشند یا شالوده را نیز شامل گردند.

۹-۸-۵ سطوح درزهای اجرایی افقی نباید در اثر رو زدن شیره بتن مسطح و صیقلی شوند و در صورت لزوم باید ذرات سیمان و دانه‌های ماسه را به روشی مناسب از حد فاصل دانه‌های سطحی شن حذف کرد تا سطحی خشن به دست آید. برای این منظور می‌توان ذرات سیمان و دانه‌های ماسه را قبل از گرفتن و سخت شدن کامل بتن به کمک جارو، برس سیمی، یا آب تحت فشار حذف کرد. این کار را پس از گرفتن و سخت شدن بتن می‌توان به کمک ماسه پاش انجام داد. همچنین برای تأمین پیوستگی بیشتر در محل درز اجرایی می‌توان در بتنی که بلافاصله در کنار آن ریخته می‌شود مقدار دانه‌های درشت را با حفظ نسبت آب به سیمان و روانی لازم کم یا حذف کرد یا بلافاصله قبل از ریختن بتن سطح درز را با قشری نازک از ملات نرم ماسه و سیمان پوشاند. استفاده از دوغاب خالص سیمان در درزهای اجرایی ممنوع است.

۹-۸-۶ برای تأمین پیوستگی بین بتن قبلی و بتن بعدی می‌توان سطح بتن قبلی را از آب اشباع و صبر کرد تا قطرات آب اضافه سطح بتن از بین برود و سطح بتن به خشکی بزند. سپس می‌توان مرحله بعدی بتن‌ریزی را شروع کرد. برای تسریع کار می‌توان ذرات آب اضافه را به کمک هوای فشرده از سطح بتن زدود.

۹-۸-۷ به جای قالب موقت می‌توان از توری با چشمه‌های ریز یا از رابیتس استفاده کرد، در اینحالت باید توری یا رابیتس به وسیله یک شبکه آرماتور در محل مورد نظر نگهداری شود. در

این صورت باید از ریختن بتن شل در پشت قالب موقت و لرزاندن طولانی بتن مجاور آن خودداری کرد. رابیتس در توده بتن باقی می‌ماند یا در صورت لزوم به موقع کنده می‌شود، ولی توری باید در ساعات اولیه پس از گرفتن بتن کنده شود تا سطح حاصل بتواند پیوستگی خوبی با بتن بعدی داشته باشد. در صورتی که از رابیتس باقی مانده در توده بتن به عنوان قالب موقت استفاده شود، باید بلافاصله پس از گرفتن بتن، دوغابی را که از سوراخ‌های رابیتس گذشته و در پای آن جمع شده است برداشت و آثار آن را با آب شست.

در محیط‌های خورنده استفاده از رابیتس و توری به عنوان قالب موقت تنها در صورتی مجاز است، که قبل از ادامه کار توری و رابیتس برچیده شود.

۹-۸-۱۰ برای جلوگیری از ایجاد ترک در سطوح اصلی ستونها و دیوارهایی که تیرها یا دالهایی روی آنها قرار می‌گیرند، نباید بتن‌ریزی این اعضا را در زمانی انجام داد که بتن ستونها یا دیوارها خمیری است. ترکهای مذکور در اثر آب انداختن یا نشست بتن خمیری ایجاد می‌شوند.

مراجع

برای اطلاع بیشتر به مراجع زیر رجوع شود :

1- CEB-FIP Model Code for Concrete CEB, 3rd ed., 1978.

2- CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, 1990.

3- CAN-42 3.3-M84, National Standard of Canada Design of Concrete Structures for Buildings, 1985.

4- ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI, 95), American Concrete Institute, Detroit, 1988, MCP, pqrt 3.

5- BS 8110, Structural Use of Concrete British Standards Institution 1985.

6- IS : 456-1978, Indian Standard Code of Practice for Plain and Reinforced concrete.

7- CEB Application Manual on Concrete Reinforcement Technology, No. 140, Georgia Publishing Co., Saint-Saphorir, Switzerland, 1983.

8- Principles Généraux pour la Vérification de la Sécurite de ISO/TC 98 ISO, 1969.

9- Rules for the Design of Concrete Structures of ISO/TC 71 ISO, 1975.

10- CSA Standards, CAN3-A23, I-M77, Concrete Materials and Methods of Concrete Construction, Canadian Standards Association, Rexdale (Toronto), Ontario, Canada.

11- EURO DESIGN HANDBOOK, Concrete Structures, 1994-96.

12- ACI Committee 212, Chemical Admixtures for Concrete, (ACI 212. R-91), ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1998.

13- ACI Committee 211, "Guide for submittal of Concrete proportions", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1998.

14- ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91). Manual of concrete Practice, Part1, 1998.

15- ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-91), ACI Manual of Concrete Practice, Part, 1998.

16- ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete" (ACI 201.2R-92), ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.

17- ACI Committee 304, "Guide for Measuring, Mixing Transporting, and Placing Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, 1998.

18- ACI Committee 309, "Guide for Consolidation of Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, 1998.

19- ACI Committee 308, "Standard Practice for Curing Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, 1998.

20- ACI Committee 305, "Hot Weather Concreting, ACI 305 R-91 Also ACI Manual of Concrete Practice, Part 2.

21- ACI Committee 347, "Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI.347-85), American Concrete Institute, Detroit, 1985. Also ACI Manual of Concrete Practice, Part 2.

22- ACI-303R Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice ACI 303R-74 (Revised 1982-Part3).

23- ACI-301 Specification for Structural Concrete Chapter 4 Formwork ACI Manual of Concrete Practice 1985.

24- Vorobier, V., Matéiaux de Construction, Editions de Moscow, 1976.

25- UNESCO, Code et manuel d'application pour le Calcul et léxécution du béton armé Dunod, France, 1968.

26- Manuel de Technologic "Coffrage" Project Avril 1977 établi par un Groupe Inter-Associations CEB-CEB-FIP.

27- ASTM Standards, Cement; Gypsum, Section 4, Construction, Vol.04.01 American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1985.

28- ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Section 4, Construction, Vol.04.02, Amerecan Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1985.

29- AASHTO Standard T-26, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1974.

30- ASSSHTO T-260 (84), "Method of Sampling and Testing for Total Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials, "AASHTO, 444 North Capitol st., N.W., Suite 225, Washington, D.C.20001.

31- PCA, Design and Control of Concrete of Concrete Mixtures, Portland Cement Association, Shokie, 1979.

32- Kong, F.K., Evans, R.H, Cohen, E., And Roll, F., Handbook of Structural Concrete, Pitman, Landon, 1983, Chapter 26 : Concrete Construction in Hot Climates With Particular Reference to the Middle East.

33- Waddell, J.J., Concrete Construction Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill New York, 1974.

34- Water and Power Resources Service, Concrete Manual, 8th ed., Revised Reprint, U.S.Department of Interior, Washingtion, D.C., 1981.

35- Mcmillan, F.R., and Tuthill, L.H. Concrete primer, ACI Publication SP-1, American Concrete Institute, Detroit, 1985.

36- Komar, A., Building Materials and Components, Mir Publishers, Moscow, 1974.

37- Clear, K.C., and Harrigan, E.T., Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete, FHWA-RD-77-85, Federal Highway Administration, Washington, D.C., Aug. 1977.

38- Tomlinson, M.J., Foundation Design and Construction, 5th ed., Longman Scientific and Technical, Essex, England.

39- Biczok, I., Concrete Corrosion, Concrete Protection, Akademiai kiade, Budapest, Hungary, 1972.

40- Mindess, S., and Young, J.F., Concrete Prentice- Hall, Englewood Cliccs, N.J., 1981.

41- Neville, A.M., Properties of Concrete, 4th ed., Longman, London, 1995.

42- RELIM Technical Committee, TC 84-AAC, Application of Admixtures in Concrete, Report No 10.

۴۳-آیین‌نامه برای طرح و محاسبه و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، (بخش اول) علائم و اختصارات، (۱-۱۹۰۰)، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۷.

۴۴-آیین‌نامه برای طرح و محاسب و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، (بخش دوم) شرایط ارائه طرح و محاسبات و بازرسی عملیات اجرایی، (۲-۱۹۰۰)، مؤسسه استاندارد صنعتی ایران، ۱۳۶۸.

۴۵-آیین‌نامه برای طرح و محاسبه و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، (بخش سوم) ویژگی‌های مصالح و آزمایش‌های لازم، (۳-۱۹۰۰)، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۷.

۴۶-آیین‌نامه برای طرح و محاسبه و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، (بخش چهارم) شرایط اجرایی، (۴-۱۹۰۰)، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۷.

۴۷-آیین‌نامه برای طرح و محاسبه و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، (بخش پنجم) شرایط لازم برای طرح و محاسبه ساختمان‌های بتن آرمه، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۷.

۴۸-استانداردها و آیین کاربردهای ملی ایران در رشته راه و ساختمان، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

۴۹-جداول طراحی ساختمان‌های بتن فولادی به روش حالت حدی، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۶۵.

۵۰-بتن در مناطق گرمسیر، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۸ (نشریه شماره ۱۸۴)

۵۱-ضمایم فنی دستورالعمل طرح و محاسبه و اجرای رویه‌های بتنی در فرودگاه‌ها، نشریه شماره ۶، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۵۰.

۵۲-توصیه بین‌المللی متحدالشکل برای محاسبه و اجرای سازه‌های متشکل از پانل‌های بزرگ به هم پیوسته، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۶۶.

۵۳-واژه‌نامه بتن، بخشی از آیین‌نامه بتن ایران، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۱.

۵۴-آسیب‌دیدگی‌های بتن، علل و عوامل آن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۶.

۵۵-اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، م – قالیبافیان و ک. سلطانی عربشاهی، ۱۳۶۸.

۵۶-خواص بتن، نوشته ا-م-نویل، ترجمه ه. فامیلی، ۱۳۷۸.

۵۷-طرح کنترل مخلوط‌های بتن، ترجمه م.الف طسوجی، ۱۳۶۶.

نمایه

آب انداختن بتن ۶۱، ۷۱، ۱۱۵
آب دریا ۴۱، ۴۲، ۱۱۹
اختلاط بتن ۱۴۵، ۱۴۶
ارزش ماسه‌ای ۹۴
آرماتور جلدی ۲۰۰
استاندارد مشخصات اسلامپ ۸۷
۴۸، ۶۵، ۱۲۴، ۱۳۳، ۱۴۶، ۱۴۹، ۲۰۶
افزودنی حباب‌ساز ۲۰، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۶۵، ۹۶، ۱۶۴
افزودنی شبه سیمانی ۶۸
افزودنی شیمیایی ۴۶، ۵۵، ۶۶، ۷۰
افزودنی معدنی ۴۳، ۵۵، ۵۶، ۵۷
افزودنی کاهنده آب ۲۰، ۴۸، ۱۵۷
انبار و نگهداری ۸۵
انتقال بتن ۱۴۷، ۱۴۸
انحراف استاندارد ۱۳۱، ۱۳۳
اندازه اسمی سنگدانه ۱۱۵، ۱۲۴
بتن آماده ۹۷
بتن پاشی ۵۲، ۵۳، ۱۶۲، ۱۶۳
بتن پاشیده ۱۶۳، ۱۶۵
بتن پیش آکنده ۱۶۶
بتن پیش‌تنیده ۷۴، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۳، ۱۲۸، ۲۰۲
بتن تازه ۹۸
بتن سخت شده ۷۲، ۱۶۲، ۱۶۹
بتن سیال ۷۰
بتن مکیده ۱۶۷
بتن‌ریزی با پمپ ۵۳
بتن‌ریزی حجیم ۱۹
بتن‌ریزی زیرآب ۱۶۵
بتن‌ریزی هوای سرد ۱۹، ۵۱، ۷۵، ۱۵۸
بتن‌ریزی هوای گرم ۱۹، ۵۲، ۱۵۳
بیرون پریدگی ۲۸
پانل پیش ساخته ۲۷
پایایی ۱۳، ۲۱، ۲۲، ۲۹، ۳۴، ۶۳، ۱۰۵، ۱۱۱، ۱۲۱
پایه اطمینان ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۲
پذیرش بتن ۱۳۴، ۱۳۸
پروراندن بتن ۱۵۱، ۱۵۲
پمپ شدن بتن ۲۶، ۳۵، ۶۱
پوزولان ۲۵، ۴۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۹، ۱۲۳، ۱۶۰
پوشش بتن ۱۷۶، ۱۹۷
پیمانه اندازه‌گیری ۴۵
تامین ایمنی ۱۴
ترمی ۱۴۷
تسریع کننده ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۶

جمع‌شدگی ۵۰، ۵۲، ۵۵، ۹۹، ۱۰۶
جوش قوس الکتریکی ۱۸۱
جوش‌پذیری میلگرد ۸۴
چاه نفت ۴۹، ۷۴
حالات حدی ۱۴
حمله سولفات‌ها
۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۴۶، ۶۷، ۱۱۴، ۱۲۴
خاموت ۱۹۱، ۱۹۹
خاکستر بادی
۵۴، ۵۷، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۹۶، ۱۲۳
خزه ۳۹
خمیری کننده ۵۳
درز اجرایی ۲۰۳، ۲۱۶
دوده سیلیسی
۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۹۶، ۱۰۷، ۱۲۳
روان کننده ۵۳، ۵۴
زنگ میلگرد ۸۶
سدهای وزنی ۲۰
سنگدانه ۲۷، ۹۱، ۹۲، ۱۰۵، ۱۱۵
سنگ‌نگاری ۳۵
سواحل خلیج‌فارس و دریای‌عمان ۲۰، ۱۵۶
سیمان بنایی ۲۷، ۹۰
سیمان پوزولانی ۲۵، ۲۶، ۸۸، ۱۲۲، ۱۵۰
سیستم واحدها ۱۴
سیلو ۱۹
سیمان آمیخته
۲۱، ۲۳، ۲۴، ۸۸، ۹۰، ۱۰۷، ۱۲۲
سیمان آهکی ۲۶، ۹۰
سیمان پرتلند
۱۸، ۱۹،۲۰، ۲۱، ۴۳، ۵۶، ۶۳، ۷۴، ۸۸، ۱۰۷، ۱۱۴
سیمان درباره ۱۷، ۲۴، ۷۳، ۸۸،۱۵۰
سیمان ضد سولفات ۲۰
سیمان منبسط شونده ۲۷، ۹۰
شاکتریت ۵۲
شمع‌بندی ۲۰۵، ۲۱۲، ۲۱۳
شکل‌پذیری ۱۴
ضریب انبساط حرارتی ۲۹
طبقه‌بندی میلگرد ۸۰
عمل آوردن بتن
۴۵، ۱۱۳، ۱۱۶، ۱۳۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۶۱
قالب برداری ۲۱۱، ۲۱۶
قالب فلزی ۵۲
قالب لغزان ۱۹
قالب‌بندی ۲۰۳، ۲۰۲
قطر مرجح ۸۰
قطر میلگرد ۷۹
قفس آرماتور ۱۷۶
قلاب ۱۷۹
قیف و لوله ۵۳
گلوی موثر جوش ۱۹۶
مهار خمدار ۱۷۷

مواد افزودنی ۴۳
مواد شبه سیمانی ۵۷
میلگرد سرد اصلاح شده ۸۲، ۱۹۶
میلگرد گرم نورد شده ۸۰، ۸۴
نفوذپذیری بتن ۴۸
نمک فریدل ۲۲
نمک‌های یخزدا ۴۰، ۱۱۳، ۱۲۱
واکنش شیمیایی سنگدانه ۵۲
واکنش قلیایی ۲۹، ۵۳، ۷۳
وزن میلگرد ۷۹
وصله جوشی ۱۹۳
کابل‌های پیش‌تنیدگی ۴۰، ۷۴
کارآیی ۷۰، ۱۰۸، ۱۰۹
کلریدها ۴۰، ۱۱۹، ۱۲۵
کنترل کیفیت ۱۳، ۴۵
کندگیر کننده ۴۸، ۴۹، ۵۰
کیفیت بتن ۱۰۵
یخزدگی ۵۱
یخزدن و آب شدن ۲۹، ۴۴، ۴۹، ۴۷، ۱۶۲

The Islamic Republic of Iran

Commentary of the First Chapter of Concrete Code of Iran (CCI)

General Requirements and Conventional Buildings

(First Revision)

No. 120

State Management and Planning Organization
Office of Technical Affairs Deputy
Technical, Criteria Codification and Earthquake Risk
Reduction Affairs Bureau

2004

این کتاب

تفسیر بخش اول آیین نامه بتن ایران با عنوان « کلیات ، مصالح و مسایل اجرایی » است . تفسیر آیین نامه به منظور تشریح و تبیین مطالب آیین نامه، معرفی مراجع و ارائه مثال‌ها تهیه شده است تا مطالب به نحوی ساده‌تر همراه با توضیحات بیشتر در اختیار کاربران قرار گیرد .

بندها و مواردی که در این کتاب نسبت به ویرایش قبلی تغییر کرده‌اند با خطی در حاشیه سمت راست مشخص شده‌اند.

فصل دوم و برخی بندهای آیین نامه که در این کتاب جای آن ها خالی است ، دارای تفسیر نمی باشد .

تفسیر بخش دوم آیین نامه در دست تهیه بوده و بزودی منتشر خواهد شد.

معاونت امور اداری ، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی ، موزه و نشر
[illegible]