وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت امور مسکن و ساختمان

مقررات ملّی ساختمان ایران

مبحث نهم

طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه

۱۳۸۸
دفتر امور مقررات ملّی ساختمان

بسمه‌تعالی

پیش‌گفتار

مقررات ملّی ساختمان ایران، به عنوان فراگیرترین ضوابط موجود در عرصه ساختمان، بی‌تردید نقش مؤثری در نیل به‌اهداف عالی تأمین ایمنی، بهداشت، سلامت و صرفه اقتصادی فرد و جامعه دارد و رعایت آن ضمن تأمین اهداف مذکور موجب ارتقای کیفیّت و افزایش عمر مفید ساختمان‌ها می‌گردد. براساس این اهمیت، تدوین مقررات ملّی ساختمان که به‌عنوان نقطهٔ عطفی در تاریخ مهندسی ساختمان کشور محسوب می‌شود بیش از دو دهه است که توسط وزارت مسکن و شهرسازی آغاز و با مشارکت جامعهٔ مهندسی کشور و در قالب شورای تدوین مقررات ملّی ساختمان و کمیته‌های تخصصی مباحث، سازماندهی و بی‌وقفه سیر تکامل خود را طی نموده است. در این مسیر ضمن تکمیل و تجدیدنظر مباحث از پیش تعریف شده و مطابقت آنها با مقتضیات شرایط کشور از حیث اقتصادی، فنی، فرهنگی و اجتماعی، تدوین مباحث جدیدی هم در دستور کار قرار گرفته است که پس از تدوین نهایی و طی مراحل تصویب در اختیار جامعهٔ مهندسی قرار خواهد گرفت.

در حال حاضر مدارک فنی متعددی نظیر مقررات ملّی ساختمان، آیین‌نامه‌ها، استانداردها و مشخصات فنی در کشور منتشر می‌شود و استفاده‌کنندگان لازم است به‌تفاوت‌های آنها از نظر هدف از تهیه هر مدرک، لازم‌الاجرا بودن، قلمرو، حدود تفصیل، محتوا و سایر ویژگی‌های خاص هر مدرک توجه داشته باشند که در مورد مقررات ملّی ساختمان می‌توان ویژگی‌های زیر را برشمرد:

- «مقررات ملّی ساختمان» در سراسر کشور لازم‌الاجرا است.
- احکام «مقررات ملّی ساختمان» به‌طور خلاصه و اجمالی تدوین می‌شود.
- با توجه به الزامی بودن «مقررات ملّی ساختمان» این مقررات فاقد موارد توصیه‌ای و راهنمایی است.
- «مقررات ملّی ساختمان» بر هرگونه عملیات ساختمان نظیر تخریب، احداث بنا، تغییر کاربری، توسعهٔ بنا، تعمیر اساسی و نظایر آن حاکم است.

مقررات تدوین شده به‌خودی خود متضمن کیفیت ساختمان‌ها نیستند بلکه در کنار تدوین مقررات مذکور توجه به‌امر ترویج و آموزش آن در میان جامعه مهندسی کشور به‌طور خاص و دانشجویان، دانش‌آموزان و آحاد مردم به‌طور عام از یک‌سو و ایجاد نظامی کارآمد برای اعمال و کنترل این مقررات و تنظیم روابط دخیل در امر ساخت و ساز، مسئولیت‌ها، شرح وظایف و مراحل قانونی اقدامات احداث، توسعه بنا، تغییر کاربری و سایر موارد مربوط به‌ساختمان از طرف دیگر، باید همواره به‌عنوان راهکارها و ضمانت‌های اجرایی این مقررات مد نظر سیاست‌گزاران، مجریان و دست‌اندرکاران ساخت و ساز قرار گیرد.

با تصویب قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و در اجرای مفاد آن به‌ویژه مواد ۳۳ و ۳۴ قانون مذکور، وضع مقررات ملّی ساختمان و الزام به‌رعایت آنها در طراحی، محاسبه، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری ساختمان‌ها به‌منظور اطمینان از ایمنی، بهداشت، بهره‌دهی مناسب، آسایش و صرفهٔ اقتصادی، این اطمینان را در میان مهندسان و صاحبان حرفه‌های ساختمانی به‌وجود می‌آورد که با پشت‌گرمی، به‌ایفای وظیفه‌ای که در توسعه و آبادانی کشور دارند مبادرت ورزند و از این رهگذر، سهم خود را در تحقق آرمان‌های والای انقلاب عینیت بخشند.

فرصت را مغتنم شمرده از اعضای محترم شورای تدوین مقررات ملّی ساختمان و کمیته‌های تخصصی و سایر کسانی که به‌نحوی در تدوین، ترویج و کنترل اعمال مقررات ملّی ساختمان در کشور کوشش می‌نمایند سپاسگزاری نموده و از اساتید، صاحب نظران، مهندسان و کلیه دست‌اندرکاران ساخت و ساز انتظار دارد با نظرات و پیشنهادات خود این دفتر را در غنای هرچه بیشتر مقررات مذکور یاری رسانند.

غلامرضا هوائی
مدیرکل امور مقررات ملّی ساختمان

مقدمه

وزارت مسکن و شهرسازی در اجرای قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، امور مقررات ملّی ساختمانی ایران را برعهده دارد.

این مقررات به‌عنوان بخشی از مدارک فنی ساختمانی محسوب می‌شود و حاوی ضوابط حداقل برای طراحی، اجرا و نگهداری ساختمان است. مقررات ملّی ساختمان، دارای اصول مشترک و متحدالشکل در کشور است و رعایت ضوابط آنها لازم‌الاجرا است. مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان به « طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه» اختصاص دارد. پیش از این مدارک و مستندات دیگری در مورد اصول طراحی و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه در کشور منتشر شده بود که مهمترین آن نشریه شماره ۱۲۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با عنوان «آیین‌نامه بتن ایران» و تفسیر آن می‌باشد.

در تدوین مبحث نهم، مقررات ملّی استفاده شده و ملاحظات مربوط به‌سازه‌های مقاوم در برابر زلزله نیز در همه بخش‌ها منظور شده است. همچنین شرایط ساخت و ساز کشور و نیز محدوده پروژه‌های مشمول مقررات ملّی ساختمان که بیشتر جنبه‌های شهری را دربر می‌گیرد مدنظر بوده است.

علایم اختصاری به‌کار رفته در این مبحث به‌نحوی اختیار شده است که هماهنگ با علایم و اختصارات متحدالشکل مورد تأیید سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) می‌باشد و واژه‌ها و عناوین نیز هماهنگ با سایر آیین‌نامه‌های ملّی در این زمینه می‌باشد.

کمیته تخصصی

مبحث نهم «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه»

هیأت تدوین‌کنندگان مبحث نهم «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه»

الف) شورای تدوین مقررات ملی ساختمان

● دکتر محمدتقی احمدی	عضو
● دکتر محمدحسن بازیار	عضو
● دکتر محسن تهرانی‌زاده	عضو
● مهندس علی‌اصغر جلال‌زاده	عضو
● مهندس منوچهر خواجه‌دلویی	رییس
● دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور	عضو
● دکتر علیرضا رهایی	عضو
● دکتر اصغر ساعدسمیعی	عضو
● مهندس حسین شیخ زین‌الدین	عضو
● مهندس شاپور طاحونی	عضو
● دکتر محسن غفوری‌آشتیانی	عضو
● دکتر محمود گلابچی	عضو
● دکتر شاهرخ مالک	عضو
● دکتر غلامرضا هوائـی	دبیر

ب) کمیته تخصصی و کاری مبحث نهم« طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه »

● دکتر حمیدرضا اشرفی	عضو
● دکتر عباسعلی تسنیمی	عضو
● دکتر فرزاد حاتمی‌برق	عضو
● مهندس حمیدرضا خاشعی	عضو
● دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور	عضو
● دکتر علیرضا رهایی	رییس و تنظیم‌کننده نهایی
● مهندس شاپور طاحونی	عضو
● دکتر امیر طریقت	عضو
● دکتر ابوالقاسم کرامتی	عضو
● دکتر علی‌اکبر مقصودی	عضو
● مهندس پژمان وهاب‌کاشی	عضو

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹ ـ ۱ کلیات	۳
۹ ـ ۱ ـ ۱ هدف، ۳	
۹ ـ ۱ ـ ۲ دامنه کاربرد، ۳	
۹ ـ ۱ ـ ۳ مبانی طراحی، ۴	
۹ ـ ۱ ـ ۴ ضوابط خاص برای تأمین ایمنی در برابر زلزله، ۴	
۹ ـ ۱ ـ ۵ واحدها، ۵	
۹ ـ ۱ ـ ۶ علایم و اختصارات، ۵	
۹ ـ ۲ شرایط کلی ارایه و تصویب طرح و نظارت	۷
۹ ـ ۲ ـ ۱ ارایه طرح و محاسبه، نقشه‌ها و مدارک فنی، ۷	
۹ ـ ۲ ـ ۲ نظارت و بازرسی، ۹	
۹ ـ ۲ ـ ۳ آزمایش بارگذاری، ۱۲	
۹ ـ ۲ ـ ۴ تصویب روش‌های خاص طراحی یا اجرا، ۱۲	
۹ ـ ۳ مصالح بتن	۱۵
۹ ـ ۳ ـ ۱ کلیات، ۱۵	
۹ ـ ۳ ـ ۲ سیمان، ۱۵	
۹ ـ ۳ ـ ۳ سنگدانه، ۲۸	
۹ ـ ۳ ـ ۴ آب، ۳۹	
۹ ـ ۳ ـ ۵ مواد افزودنی، ۴۱	
۹ ـ ۳ ـ ۶ مواد جایگزین سیمان، ۴۵	
۹ ـ ۴ میلگردهای فولادی	۴۹
۹ ـ ۴ ـ ۰ علایم اختصاری، ۴۹	
۹ ـ ۴ ـ ۱ تعاریف، ۵۱	
۹ ـ ۴ ـ ۲ استانداردهای مشخصات و آزمون‌های میلگرد، ۵۱	

۹ ـ ۴ ـ ۳ طبقه‌بندی میلگردها از نظر روش ساخت، ۵۲
۹ ـ ۴ ـ ۴ طبقه‌بندی میلگردها از نظر مکانیکی، ۵۲
۹ ـ ۴ ـ ۵ رده‌بندی مکانیکی میلگردهای فولادی، ۵۳
۹ ـ ۴ ـ ۶ مشخصات هندسی میلگردها، ۵۴
۹ ـ ۴ ـ ۷ مشخصات مکانیکی میلگردها، ۵۵
۹ ـ ۴ ـ ۸ سایر مشخصات، ۵۹
۹ ـ ۴ ـ ۹ تواتر نمونه‌برداری، ۶۰
۹ ـ ۴ ـ ۱۰ جوش‌پذیری، ۶۰
۹ ـ ۴ ـ ۱۱ نشانه‌گذاری و بسته‌بندی میلگردها، ۶۱
۹ ـ ۴ ـ ۱۲ گواهینامه فنی، ۶۲
۹ ـ ۴ ـ ۱۳ ضوابط حمل و نقل، انبار کردن و نگهداری، ۶۲

۹ ـ ۵ استانداردهای مشخصات و آزمایش‌ها ۶۵
۹ ـ ۵ ـ ۱ استانداردهای مربوط به این مبحث، ۶۵

۹ ـ ۶ کیفیت بتن ۷۵
۹ ـ ۶ ـ ۰ علایم اختصاری، ۷۵
۹ ـ ۶ ـ ۱ کلیات، ۷۶
۹ ـ ۶ ـ ۲ مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط بتن، ۷۸
۹ ـ ۶ ـ ۳ پایایی بتن، ۷۹
۹ ـ ۶ ـ ۴ تعیین نسبت‌های اختلاط براساس تجربه کارگاهی و مخلوط‌های آزمایشی، ۹۳
۹ ـ ۶ ـ ۵ ارزیابی و پذیرش بتن، ۹۸
۹ ـ ۶ ـ ۶ بررسی بتن‌های با مقاومت کم یا دوام کم، ۱۰۳
۹ ـ ۶ ـ ۷ کنترل و بازرسی، ۱۰۵

۹ ـ ۷ اختلاط بتن و بتن‌ریزی ۱۰۹
۹ ـ ۷ ـ ۱ نیروی انسانی تجهیزات و آماده‌سازی محل بتن‌ریزی، ۱۰۹
۹ ـ ۷ ـ ۲ اختلاط بتن، ۱۱۰
۹ ـ ۷ ـ ۳ انتقال بتن، ۱۱۳
۹ ـ ۷ ـ ۴ بتن‌ریزی، ۱۱۵
۹ ـ ۷ ـ ۵ ماله‌کشی و پرداخت بتن، ۱۱۸

۹ ـ ۷ ـ ۶ عمل‌آوری، ۱۱۸
۹ ـ ۷ ـ ۷ بتن‌ریزی در شرایط ویژه، ۱۲۰
۹ ـ ۷ ـ ۸ روش‌های ویژه کاربرد بتن، ۱۲۹
۹ ـ ۷ ـ ۹ کنترل و بازرسی، ۱۳۲

۹ ـ ۸ آرماتوربندی ۱۳۵
۹ ـ ۸ ـ ۱ مشخصات و شرایط اجرایی، ۱۳۵
۹ ـ ۸ ـ ۲ جزییات آرماتوربندی، ۱۳۸

۹ ـ ۹ ضوابط قالب‌بندی در بتن، لوله‌ها و مجراهای مدفون و درزهای بتن ۱۴۱
۹ ـ ۹ ـ ۰ علایم اختصاری، ۱۴۱
۹ ـ ۹ ـ ۱ کلیات، ۱۴۲
۹ ـ ۹ ـ ۲ مصالح مصرفی در قالب، ۱۴۶
۹ ـ ۹ ـ ۳ ضوابط طراحی قالب، ۱۴۶
۹ ـ ۹ ـ ۴ اجرای قالب، ۱۴۸
۹ ـ ۹ ـ ۵ قالب برای بتن‌ریزی در زیر آب، ۱۵۳
۹ ـ ۹ ـ ۶ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن، ۱۵۴
۹ ـ ۹ ـ ۷ درزهای بتن، ۱۵۶

۹ ـ ۱۰ اصول تحلیل و طراحی ۱۵۹
۹ ـ ۱۰ ـ ۰ علایم اختصاری، ۱۵۹
۹ ـ ۱۰ ـ ۱ گستره، ۱۶۱
۹ ـ ۱۰ ـ ۲ اهداف طراحی، ۱۶۱
۹ ـ ۱۰ ـ ۳ روش طراحی، ۱۶۲
۹ ـ ۱۰ ـ ۴ ضرایب ایمنی، ۱۶۳
۹ ـ ۱۰ ـ ۵ اعضای سازه، ۱۶۳
۹ ـ ۱۰ ـ ۶ اصول تحلیل، ۱۶۵
۹ ـ ۱۰ ـ ۷ مشخصات مصالح، ۱۶۶
۹ ـ ۱۰ ـ ۸ مشخصات هندسی، ۱۶۸
۹ ـ ۱۰ ـ ۹ بارگذاری، ۱۶۹
۹ ـ ۱۰ ـ ۱۰ طراحی در حالت حدی نهایی مقاومت، ۱۶۹

۹ ـ ۱۰ ـ ۱۱ کنترل در حالت حدی بهره‌برداری، ۱۷۱

۹ ـ ۱۱ خمش و بارهای محوری ۱۷۳
۹ ـ ۱۱ ـ ۰ علایم اختصاری، ۱۷۳
۹ ـ ۱۱ ـ ۱ گستره، ۱۷۵
۹ ـ ۱۱ ـ ۲ حالت حدی نهایی مقاومت در خمش و نیروی محوری، ۱۷۶
۹ ـ ۱۱ ـ ۳ فرضیات طراحی مقطع، ۱۷۷
۹ ـ ۱۱ ـ ۴ ضوابط کلی طراحی، ۱۷۸
۹ ـ ۱۱ ـ ۵ محدودیت‌های آرماتورها در قطعات خمشی، ۱۷۹
۹ ـ ۱۱ ـ ۶ ضوابط تیرهای T شکل و تیرچه‌های بتنی، ۱۸۱
۹ ـ ۱۱ ـ ۷ فاصله تکیه‌گاه‌های جانبی قطعات خمشی، ۱۸۴
۹ ـ ۱۱ ـ ۸ ابعاد طراحی برای قطعات فشاری، ۱۸۴
۹ ـ ۱۱ ـ ۹ محدودیت‌های آرماتورها در قطعات فشاری (ستون‌ها)، ۱۸۵
۹ ـ ۱۱ ـ ۱۰ مقاومت اتکایی، ۱۸۸
۹ ـ ۱۱ ـ ۱۱ محدودیت‌های فولادگذاری جهت اعضای خمشی یا فشاری، ۱۸۸

۹ ـ ۱۲ برش و پیچش ۱۹۳
۹ ـ ۱۲ ـ ۰ علایم اختصاری، ۱۹۳
۹ ـ ۱۲ ـ ۱ گستره، ۱۹۷
۹ ـ ۱۲ ـ ۲ حالت حدی نهایی مقاومت در برش، ۱۹۷
۹ ـ ۱۲ ـ ۳ نیروی برشی مقاوم تأمین‌شده توسط بتن، ۱۹۸
۹ ـ ۱۲ ـ ۴ نیروی برشی تأمین‌شده توسط آرماتورها، ۲۰۰
۹ ـ ۱۲ ـ ۵ ضوابط کلی طراحی برای برش، ۲۰۲
۹ ـ ۱۲ ـ ۶ محدودیت‌های آرماتورهای برشی، ۲۰۳
۹ ـ ۱۲ ـ ۷ حالت حدی نهایی پیچش، ۲۰۵
۹ ـ ۱۲ ـ ۸ لنگر پیچشی مقاوم تأمین‌شده توسط آرماتورهای پیچشی، ۲۰۶
۹ ـ ۱۲ ـ ۹ ترکیب پیچش و خمش – پیچش و برش، ۲۰۷
۹ ـ ۱۲ ـ ۱۰ محدودیت‌های آرماتورهای پیچشی، ۲۰۸
۹ ـ ۱۲ ـ ۱۱ لنگرپیچشی نهایی در اعضای سازه‌های نامعین، ۲۰۹

۹ ـ ۱۲ـ ۱۲ جزییات تکمیلی آرماتورهای عرضی، ۲۱۰
۹ ـ ۱۲ـ ۱۳ برش اصطکاکی، ۲۱۲
۹ ـ ۱۲ـ ۱۴ ضوابط ویژه برای اعضای خمشی با ارتفاع زیاد (تیرهای عمیق)، ۲۱۶
۹ ـ ۱۲ـ ۱۵ ضوابط ویژه برای دستک‌ها و شانه‌ها، ۲۱۸
۹ ـ ۱۲ـ ۱۶ ضوابط ویژه برای برای دیوارها، ۲۲۱
۹ ـ ۱۲ـ ۱۷ ضوابط ویژه برای دال‌ها و پی‌ها، ۲۲۴
۹ ـ ۱۲ـ ۱۸ ضوابط ویژه برای اتصالات قاب‌ها، ۲۳۱

۹ ـ ۱۳ آثار لاغری – کمانش ۲۳۳
۹ ـ ۱۳ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۳۳
۹ ـ ۱۳ـ ۱ گستره، ۲۳۵
۹ ـ ۱۳ـ ۲ کلیات، ۲۳۶
۹ ـ ۱۳ـ ۳ طبقات مهارشده جانبی، ۲۳۷
۹ ـ ۱۳ـ ۴ طول آزاد قطعات فشاری، ۲۳۷
۹ ـ ۱۳ـ ۵ طول مؤثر قطعات فشاری، ۲۳۸
۹ ـ ۱۳ـ ۶ شعاع ژیراسیون، ۲۳۹
۹ ـ ۱۳ـ ۷ ضوابط اثر لاغری، ۲۳۹
۹ ـ ۱۳ـ ۸ روش تشدید لنگرهای خمشی، ۲۴۰
۹ ـ ۱۳ـ ۹ حداقل برون‌محوری بار، ۲۴۴
۹ ـ ۱۳ـ ۱۰ اثر لاغری در قطعات فشاری تحت اثر خمش دو محوره، ۲۴۴
۹ ـ ۱۳ـ ۱۱ تشدید لنگر خمشی در قطعات خمشی متصل به قطعات فشاری، ۲۴۵

۹ ـ ۱۴ تغییرشکل و ترک‌خوردگی ۲۴۷
۹ ـ ۱۴ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۴۷
۹ ـ ۱۴ـ ۱ گستره، ۲۴۹
۹ ـ ۱۴ـ ۲ تغییرشکل، ۲۴۹
۹ ـ ۱۴ـ ۳ ترک‌خوردگی‌ها، ۲۵۵

۹ ـ ۱۵ طراحی دال‌ها ۲۵۹
۹ ـ ۱۵ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۵۹
۹ ـ ۱۵ـ ۱ گستره، ۲۶۰

۹ ـ ۱۵ـ ۲ تعاریف، ۲۶۱
۹ ـ ۱۵ ـ ۳ ضوابط کلی طراحی دال‌ها، ۲۶۲
۹ ـ ۱۵ ـ ۴ آرماتورگذاری در دال‌ها، ۲۶۶

۹ ـ ۱۶ دیوارها ۲۷۱
۹ ـ ۱۶ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۷۱
۹ ـ ۱۶ـ ۱ گستره، ۲۷۱
۹ ـ ۱۶ـ ۲ تعاریف، ۲۷۲
۹ ـ ۱۶ـ ۳ ضوابط کلی طراحی، ۲۷۲
۹ ـ ۱۶ـ ۴ محدودیت آرماتورها، ۲۷۳
۹ ـ ۱۶ـ ۵ دیوارهای باربر، ۲۷۵
۹ ـ ۱۶ـ ۶ دیوارهای برشی، ۲۷۷
۹ ـ ۱۶ـ ۷ دیوارهای حائل، ۲۷۷

۹ ـ ۱۷ پی‌ها ۲۷۹
۹ ـ ۱۷ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۷۹
۹ ـ ۱۷ـ ۱ گستره، ۲۸۰
۹ ـ ۱۷ـ ۲ تعاریف، ۲۸۰
۹ ـ ۱۷ـ ۳ ضوابط کلی طراحی، ۲۸۲
۹ ـ ۱۷ـ ۴ ضوابط تعیین بارهای وارد بر پی‌ها، ۲۸۳
۹ ـ ۱۷ـ ۵ آرماتورهای پی‌ها و شمع‌ها و محدودیت‌های آنها، ۲۸۷
۹ ـ ۱۷ـ ۶ انتقال نیرو از پای ستون، دیوار یا ستون پایه بتنی به پی، ۲۹۰
۹ ـ ۱۷ـ ۷ محدود کردن حرکت نسبی پی‌ها، ۲۹۱
۹ ـ ۱۷ـ ۸ آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی در پی‌ها، ۲۹۲

۹ ـ ۱۸ مهار و وصله آرماتورها ۲۹۵
۹ ـ ۱۸ـ ۰ علایم اختصاری، ۲۹۵
۹ ـ ۱۸ـ ۱ گستره، ۲۹۶
۹ ـ ۱۸ـ ۲ مهار میلگردها، ۲۹۷
۹ ـ ۱۸ـ ۳ ضوابط مهار آرماتورهای خمشی، ۳۰۳
۹ ـ ۱۸ـ ۴ وصله میلگردها، ۳۰۸

۹ ـ ۱۹ ضوابط ویژه طراحی در برابر حریق ۳۱۵
۹ ـ ۱۹ـ ۰ علایم اختصاری، ۳۱۵
۹ ـ ۱۹ـ ۱ گستره، ۳۱۵
۹ ـ ۱۹ـ ۲ مدت زمان مقاومت در برابر حریق، ۳۱۶
۹ ـ ۱۹ـ ۳ اثر تغییرات درجه حرارت بر مقاومت مصالح مصرفی، ۳۱۶
۹ ـ ۱۹ـ ۴ ملاحظات طراحی، ۳۱۸

۹ ـ ۲۰ ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله ۳۲۳
۹ ـ ۲۰ـ ۰ علایم اختصاری، ۳۲۳
۹ ـ ۲۰ـ ۱ گستره، ۳۲۵
۹ ـ ۲۰ـ ۲ ضوابط کلی طراحی، ۳۲۶
۹ ـ ۲۰ـ ۳ ضوابط سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط، ۳۳۳
۹ ـ ۲۰ـ ۴ ضوابط سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد، ۳۳۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۹ ـ ۱۵ ـ ۱ ۲۷۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱ ۱۷
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۲ ۱۸
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۳ ۱۹
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۴ ۲۳

جدول ۹ ـ ۳ ـ ۵	۲۴
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۶	۲۴
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۷	۲۶
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۸	۲۶
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۹	۲۷
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۰	۲۹
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۱	۳۰
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۲	۳۱
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۳	۳۲
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۴	۳۳
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۵	۳۴
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۶	۳۵
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۷	۳۶
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۸	۴۲
جدول ۹ ـ ۳ ـ ۱۹	۴۶
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۱	۵۱
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۲	۵۳
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۳	۵۶
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۴	۵۷
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۵	۵۸
جدول ۹ ـ ۴ ـ ۶	۶۰
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۰ ـ ۱	۷۷
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۰ ـ ۲	۷۷
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۰ ـ ۳	۷۷
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۱	۸۴
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۲	۸۵
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۳ ـ الف	۸۷ و ۸۸
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۳ ـ ب	۸۹ و ۹۰
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۴	۹۱
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۵	۹۲
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۶	۹۵

جدول ۹ ـ ۶ ـ ۷ ۹۶
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۸ ۱۰۲
جدول ۹ ـ ۶ ـ ۹ ۱۰۶ و ۱۰۷
جدول ۹ ـ ۷ ـ ۱ ۱۲۱
جدول ۹ ـ ۷ ـ ۲ ۱۲۸
جدول ۹ ـ ۷ ـ ۳ ۱۳۳
جدول ۹ ـ ۹ ـ ۱ ۱۴۴ و ۱۴۵
جدول ۹ ـ ۹ ـ ۲ ۱۵۱
جدول ۹ ـ ۱۰ ـ ۱ ۱۷۱
جدول ۹ ـ ۱۴ ـ ۱ ۲۵۳
جدول ۹ ـ ۱۴ ـ ۲ ۲۵۴
جدول ۹ ـ ۱۴ ـ ۳ ۲۵۴
جدول ۹ ـ ۱۸ ـ ۱ ۲۹۹
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۱ ۳۱۷
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۲ ۳۱۷
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۳ ۳۱۹
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۴ ۳۲۰
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۵ ۳۲۱
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۶ ۳۲۲
جدول ۹ ـ ۱۹ ـ ۷ ۳۲۲

مبحث نهم

طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه

۹ – ۱	کلیات	۳
۹ – ۲	شرایط کلی ارایه و تصویب طرح و نظارت	۷
۹ – ۳	مصالح بتن	۱۵
۹ – ۴	میلگردهای فولادی	۴۹
۹ – ۵	استانداردهای مشخصات و آزمایش‌ها	۶۵
۹ – ۶	کیفیت بتن	۷۵
۹ – ۷	اختلاط بتن و بتن‌ریزی	۱۰۹
۹ – ۸	آرماتوربندی	۱۳۵
۹ – ۹	ضوابط قالب‌بندی در بتن، لوله‌ها و مجراهای مدفون و درزهای بتن	۱۴۱
۹ – ۱۰	اصول تحلیل و طراحی	۱۵۹
۹ – ۱۱	خمش و بارهای محوری	۱۷۳
۹ – ۱۲	برش و پیچش	۱۹۳
۹ – ۱۳	آثار لاغری – کمانش	۲۳۳
۹ – ۱۴	تغییرشکل و ترک‌خوردگی	۲۴۷
۹ – ۱۵	طراحی دال‌ها	۲۵۹
۹ – ۱۶	دیوارها	۲۷۱
۹ – ۱۷	پی‌ها	۲۷۹
۹ – ۱۸	مهار و آرماتورها	۲۹۵
۹ – ۱۹	ضوابط ویژه طراحی در برابر حریق	۳۱۵
۹ – ۲۰	ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله	۳۲۳
فهرست مراجع		۳۶۵

۹ ـ ۱ کلیات

۹ ـ ۱ ـ ۱ هدف

هدف این مبحث ارائه حداقل ضوابط و مقرراتی است که با رعایت آنها شرایط ایمنی، قابلیت بهره‌برداری و پایایی سازه‌های موضوع این مبحث فراهم شود.

۹ ـ ۱ ـ ۲ دامنه‌کاربرد

ضوابط و مقررات این مبحث باید در طرح ، محاسبه ، اجرا و کنترل مشخصات مواد تشکیل‌دهنده و کیفیت اجرای ساختمان‌های بتنی که رعایت ضوابط مقررات ملی ساختمان، مطابق آنچه که در مبحث دوم این مقررات یادآور شده در آنها الزامی است، رعایت شوند و حاوی ضوابط و مقررات مربوط به سازه‌های بتن آرمه‌ای است که با سنگدانه‌های معمولی و سیمان پرتلند یا سیمان آمیخته ساخته می‌شوند و مقاومت مشخصه آنها حداقل برابر ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد.

۹ – ۱ – ۳ مبانی طراحی

۹ – ۱ – ۳ – ۱ در این مبحث مبنای طراحی سازه‌ها برای حصول ایمنی و قابلیت بهره‌برداری، بررسی و کنترل آنها در حالت‌های حدی است. روش کلی طراحی مبتنی بر جنبه‌های احتمالاتی است که با اعمال ضرایب جزیی ایمنی به مقادیر مشخصه بارها و آثار مؤثر بر سازه طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و مقادیر مشخصه مقاومت‌های بتن و فولاد، در محاسبه منظور می‌شوند.

۹– ۱ – ۳ – ۲ پایایی سازه‌ها با توجه به شرایط رویارویی آنها با محیط، از طریق انتخاب شکل قطعات متناسب با این شرایط، مراعات مشخصات فنی اجرایی از قبیل کیفیت و حداقل مقدار سیمان، کیفیت آب، نسبتِ آب به سیمان، نوع و کیفیت سنگدانه‌ها، حداکثر مقدار مواد زیان‌آور در مواد تشکیل‌دهنده بتن، نسبت‌های اختلاط، شرایط ریختن و جا دادن بتن، عمل آوردن و مراقبت بتن، ضخامت پوشش بتن و درزهای ساختمانی، تأمین می‌شود.

۹ – ۱ – ۴ ضوابط خاص برای تأمین ایمنی در برابر زلزله

در این مبحث برای رفتار سازه‌های بتن آرمه در برابر آثار ناشی از زلزله، سه حد شکل‌پذیری کم، شکل‌پذیری متوسط و شکل‌پذیری زیاد در نظر گرفته شده است. ضوابط مندرج در متن این مبحث تأمین‌کننده حد شکل‌پذیری کم بوده و ضوابط ویژه تأمین حدود شکل‌پذیری متوسط و زیاد در فصل بیستم گنجانده شده است .

۹ – ۱ – ۵ واحدها

سیستم واحدهای مورد استفاده برای کمیت‌های مختلف در این مبحث، سیستم دهدهی بین‌المللی(SI) است.

واحدهایی‌که در این مبحث مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

الف) برای طول متر (m) و سانتی‌متر (cm) و میلی‌متر (mm)

ب) برای سطح، مترمربع (m^2) و میلی‌متر مربع (mm^2)

پ) برای بارهای متمرکز و وزن، کیلونیوتن (kN) و دکانیوتن (dkN) و برای بارهای گسترده خطی ، کیلونیوتن بر متر (kN/m) و برای بارهای گسترده در سطح، کیلونیوتن بر مترمربع (kN/m^2) ، برابر با یک کیلوپاسکال (kPa)

ت) برای جرم مخصوص (جرم واحد حجم)، کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)

ث) برای وزن مخصوص (وزن واحد حجم)، کیلونیوتن بر متر مکعب (kN/m^3)

ج) برای تنش‌ها و مقاومت‌ها، مگاپاسکال (MPa)، معادل یک نیوتن بر میلی متر مربع، یا مگانیوتن بر مترمربع (MN/m^2)

چ) برای لنگرها، کیلونیوتن – متر (kN.m)

ح) برای دما، درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) ($^\circ C$)

۹ – ۱ – ۶ علایم و اختصارات

علایم و اختصارات مورد استفاده در این مبحث به‌طور کلی به‌نحوی اختیار شده است که هماهنگ با علائم و اختصارات متحدالشکل مورد تأیید سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) باشد.

۹ – ۲ شرایط کلی ارائه و تصویب طرح و نظارت

۹ – ۲ – ۱ ارائه طرح و محاسبه، نقشه‌ها و مدارک فنی

۹ – ۲ – ۱ – ۱ نقشه‌های سازه‌های بتن آرمه باید بر مبنای نقشه‌های معماری، که در آن تمامی اندازه‌ها، ارتفاع‌ها و سایر ویژگی‌های اصلی ساختمان به وضوح تعیین شده است، تهیه شوند. یک نسخه از نقشه‌های معماری مذکور که مبنای محاسبات سازه بتن آرمه قرار گرفته و به امضای مهندس محاسب رسیده باشد باید به نقشه‌های سازه بتن آرمه ضمیمه و به مقامات رسیدگی‌کننده تحویل شود.

۹ – ۲ – ۱ – ۲ همراه با نقشه‌های سازه بتن آرمه، که برای تصویب ارائه می‌شوند، باید دفترچه محاسبات فنی شامل نکات زیر ارائه شود.

الف) ویژگی‌های اصلی به‌طور اختصار و معرفی ساختمان از نظر نوع بهره‌برداری، محل اجرا، تعداد طبقات و ارتفاع.

ب) فرضیات و مطالعات انجام شده در مورد مقاومت خاک، سطح سفره آب زیرزمینی و سایر اطلاعات ژئوتکنیکی لازم.
پ) آیین‌نامه‌ها و سایر مباحث مورد استفاده.
ت) ویژگی‌های مصالح مورد استفاده در ساختمان از قبیل فولاد و سیمان مصرفی در بتن و مقاومت‌های مشخصه بتن در سنین استاندارد یا مراحل تعیین شده برای اجرا، که طراحی براساس آنها انجام پذیرفته است.
ث) فرض‌های محاسباتی از نظر مشخصات بارهای دایمی، سربارهای بهره‌برداری، بارهای جوی (باد و برف) و بارهای اتفاقی (زلزله و ...)
ج) پلان‌ها و نقشه قاب‌های بارگذاری شده.
چ) روش‌های مورد استفاده برای تحلیل و طراحی، نرم‌افزارهای مورد استفاده برای این امر و تنش‌ها و ضرایب ویژه‌ای که مبنای محاسبه قرار گرفته‌اند.
ح) جزییات عملیات محاسباتی با افزودن کروکی‌ها و توضیحات لازم و مشخص کردن نتایج اصلی محاسباتی به صورت واضح و روشن، به‌طوری‌که رسیدگی به محاسبات تا حد امکان آسان باشد. در صورت به کار بردن روش‌های رایانه‌ای باید مشخصات و مبنای برنامه‌های مورد استفاده، فرض‌ها، داده‌های اولیه و نتایج به‌دست آمده ضمیمه دفترچه محاسبه شوند.

۹ – ۲ – ۱ – ۳ بسته به مورد، دو نوع نقشه برای اجرای ساختمان‌ها تهیه می‌شوند:

۹ – ۲ – ۱ – ۳ – ۱ نقشه‌های اجرایی، که علاوه بر اطلاعات نقشه‌های محاسباتی، شامل جزییات اجرایی سازه از قبیل قطر، تعداد و طول میلگردها، محل قطع و وصله کردن آنها ، نوع وصله‌ها و نظایر آن هستند، به‌طوری‌که اجرای سازه به کمک این نقشه‌ها بدون ابهام میسر باشد. نقشه‌های اجرایی سازه‌های بتن آرمه با رعایت شرایط زیر باید توسط مهندس محاسب صلاحیتدار تهیه و به مقامات رسیدگی‌کننده تسلیم شود:

الف) نقشه‌ها باید با اطلاعات کافی و به‌طور واضح و با مقیاس قابل قبول تهیه شوند.
ب) مقاومت خاک مبنای محاسبه و نیز ویژگی‌های مکانیکی بتن و فولاد باید ذکر شود.

پ) ابعاد و موقعیت تمام قطعات سازه‌ای، موقعیت و ابعاد تمامی بازشوها و سوراخ‌ها باید در نقشه‌ها داده شوند.

ت) جزییات و مقاطع لازم برای تهیه نقشه‌های کارگاهی، قطر میلگردها، محل خم، قطع و وصله کردن آنها و اندازه‌های مربوط، باید داده شوند. قسمتی از این اطلاعات را می‌توان در جدول میلگردها قید کرد.

ث) ضخامت پوشش بتن روی میلگردها، قطر بزرگترین سنگدانه قابل مصرف در بتن و حداکثر نسبت آب به سیمان و مقاومت مشخصه بتن و فولاد باید در نقشه‌ها داده شوند.

ج) موقعیت درزهای انقطاع، انبساط، اجرایی و جزییات آنها در نقشه‌ها داده شوند.

چ) تهیه جدول میلگرد و تعیین وزن فولاد مصرفی به تفکیک هر نوع میلگرد، جزو وظایف طراح ساختمان در قبال کارفرما است، ولی تسلیم آن برای اخذ پروانه ساختمان ضرورت ندارد مگر موقعی که قسمتی از اطلاعات مربوط به میلگردها و نقشه‌های اجرایی قید نشده و تنها در این جدول‌ها به آنها اشاره شده باشد.

۹ – ۲ – ۱ –۳ – ۲ نقشه‌های کارگاهی، که متناسب با شرایط هر سازه و سازندگان آن، با استفاده از جزییات داده شده در نقشه‌های اجرایی و با مقیاس بزرگ، برای قسمت‌های خاص و حساس سازه تهیه می‌شوند. این نقشه‌ها باید براساس نیازهای کارگاه و برمبنای نقشه‌های اجرایی، همزمان با عملیات اجرایی تهیه شوند و به تأیید دستگاه نظارت برسند.

۹ – ۲ – ۲ نظارت و بازرسی

۹ – ۲ – ۲ – ۱ اجرای سازه‌های بتن آرمه باید تحت نظر مهندسان صاحب صلاحیت انجام گیرد. توصیه می‌شود که تا حد امکان نظارت عالیه توسط مهندس محاسب یا افراد صلاحیتداری که نمایندگی او را دارند انجام پذیرد.

۹ – ۲ – ۲ – ۲ دفتری بنام دفتر کارگاه باید همواره، در کارگاه موجود باشد و در آن موارد زیر برای تمامی بتن‌ها درج شوند:

الف) رده، کیفیت و نسبت‌های اختلاط مصالح بتن.
ب) تاریخ قالب‌بندی، آرماتورگذاری، بتن‌ریزی و قالب‌برداری.
پ) ساعت ساخت و ریختن بتن.
ت) شرایط جوی، از قبیل دما و بارندگی.
ث) نتایج آزمایش‌هایی که روی نمونه‌های مختلف انجام می‌شوند.
ج) هرگونه بار قابل توجه اعمال شده بر کف‌های تمام شده، دیوارها و سایر اعضا درحین ساخت.
چ) نام، سمت و امضای عوامل اجرایی فنی حاضر در محل کار.
ح) پیشرفت کلی کار

پرونده گزارش‌های روزانه حاوی اطلاعات یادشده می‌تواند جایگزین دفتر کارگاه شود.

۹ – ۲ – ۲ – ۳ در مواقعی که دما کمتر از ۵ و یا بیشتر از ۳۲ درجه سلسیوس باشد درج ارقام کامل مربوط به دما در دفتر کارگاه ضرورت قطعی دارد. در این‌گونه موارد باید تمامی تدابیری که برای حفظ بتن از سرما و گرما به کار برده شده است در دفتر کارگاه منعکس شود.

۹ – ۲ – ۲ – ۴ دفتر کارگاه (یا پرونده گزارش‌های روزانه) شامل اطلاعات مذکور باید به امضای مهندس مسؤول و ناظر کارگاه برسد و در تمام مدت اجرای عملیات ساختمانی در محل کارگاه باشد، به‌طوری‌که هنگام مراجعه بازرسان ساختمان بتواند دراختیار آنان قرار گیرد.

یک نسخه از این دفتر باید بعد از اتمام عملیات ساختمانی همراه با نقشه‌های اجرایی نهایی، نزد صاحب کار (نظیر اسناد مالکیت) و نسخه دیگر نزد مهندس ناظر

حفظ و نگهداری شود. ضبط و نگهداری این اطلاعات به‌صورت رایانه‌ای برای ساختمان‌های مهم الزامی است.

۹ – ۲ – ۲ – ۵ چنانچه ضمن اجرای کارهای ساختمانی و در نتیجه بازرسی ساختمان (یادآوری ۱) ملاحظه شود که کارها طبق نقشه‌های اجرایی انجام نیافته یا در اجرای بعضی از قسمت‌های کار اصول فنی مراعات نشده است بازرسان ساختمان باید مراتب را به مسؤول کارگاه تذکر دهند و در صورتی که معایب موجود احتمال بروز خطری برای ساختمان داشته باشند، از کمیسیون فنی بدوی (یادآوری ۲) تقاضای رسیدگی فوری کنند.

کمیسیون فنی بدوی بلافاصله در کارگاه تشکیل می‌شود و در صورت لزوم دستور توقف تمام و یا قسمتی از کار را صادر و موضوع را برای رسیدگی قطعی به کمیسیون فنی نهایی ارجاع می‌کند. کمیسیون فنی نهایی به موارد مربوط رسیدگی می‌کند و در صورت لزوم به بررسی محل، برداشت جزییات و ابعاد اعضای ساخته شده، و انجام آزمایش‌های لازم برای ارزیابی کیفیت مصالح مصرفی و ایمنی اقدام و تصمیم مقتضی اتخاذ می‌کند.

یادآوری (۱) بازرسان ساختمان، مأموران و مقامات صلاحیتداری هستند که به‌موجب قوانین و آیین‌نامه‌های کشور و شهرداری محل اختیار بازرسی طرح و اجرای کار را دارند و به‌طورکلی افرادی هستند که مسؤولیت نظارت عالی فنی و کنترل اعمال ضوابط این مبحث را برعهده دارند.

یادآوری (۲) اعضای کمیسیون‌های فنی بدوی و نهایی به موجب قوانین و مجموعه مقررات ملی ساختمان و شهرداری محل تعیین خواهند شد.

۹ – ۲ – ۳ آزمایش بارگذاری

۹ – ۲ – ۳ – ۱ هرگاه شرایط و وضع ساختمان طوری باشد که بازرسان ساختمان نسبت به‌ایمنی آن تردید داشته باشند، و ارزیابی ایمنی از طریق انجام محاسبات فنی به رفع ابهام و تردید منجر نشود، بازرسان می‌توانند از طریق کمیسیون فنی بدوی و تصویب کمیسیون فنی نهایی دستور آزمایش بارگذاری تمام ساختمان و قسمتی از آن را که مشکوک است صادر کنند. در این دستور باید جزییات و مشخصات فنی و نقشه‌های لازم برای آزمایش بارگذاری اعلام شود.

۹ – ۲ – ۳ – ۲ آزمایش بارگذاری باید تحت نظر کمیسیون فنی بدوی پس از گذشت حداقل ۸ هفته از زمان اجرای قسمت یا موضع مورد نظر به عمل آید؛ مگر آنکه طراح و صاحب کار با آزمایش قطعات در سن کمتر موافقت کنند. در صورتی که اجرای ساختمان توسط پیمانکار یا پیمانکاران انجام پذیرد تقاضای تقلیل سن آزمایش باید با موافقت آنان همراه باشد.

آزمایش بارگذاری باید به‌نحوی انجام گیرد که در صورت بروز خرابی، امنیت جانی افراد آزمایش‌کننده و سالم ماندن تجهیزات تأمین شده باشد.

۹ – ۲ – ۴ تصویب روش‌های خاص طراحی یا اجرا

اگر برای تحلیل و طراحی، ارزیابی ایمنی، یا اجرای سازه‌های موضوع این مبحث، روش‌های جدید ابداع و پیشنهاد شوند که کاربرد آنها در این مبحث پیش‌بینی نشده باشد یا کاملاً منطبق بر ضوابط این مبحث به شمار نیاید، ولی اعتبار آنها از طریق توجیه علمی ثابت شده باشد، ابداع‌کنندگان این روش‌ها می‌توانند از مراجع ذیصلاح درخواست کنند که رسیدگی به مسأله به یک هیأت فنی متشکل از حداقل سه نفر از خبرگان مربوط منتخب کمیته تخصصی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ارجاع شود.

هیأت فنی پس از بررسی پرونده و در صورت لزوم انجام آزمایش‌ها و تدوین توجیهات نظری، نسبت به قبول یا رد روش پیشنهادی اظهارنظر خواهد کرد و در صورت قبول، محدوده کاربرد و شرایط و ضوابط مربوط را تعیین و ارائه خواهد داد. ضوابط و مقررات اعلام شده به‌وسیله این هیأت، اعتباری در حد ضوابط این مبحث خواهند داشت. ارزیابی ایمنی قطعات خاص از طریق آزمایش و بدون انجام محاسبه نیز، مشروط به تصویب روش و شرایط آزمایش به‌وسیله هیأت فنی، می‌تواند قابل قبول باشد.

۹ ـ ۳ مصالح بتن

۹ ـ ۳ ـ ۱ کلیات

مصالح مصرفی اصلی بتن عبارتند از سیمان، مصالح سنگی درشت دانه (شن)، مصالح سنگی ریزدانه (ماسه)، و آب. علاوه بر این مصالح، مواد اصلاح‌کننده خواص بتن، یعنی مواد افزودنی، پوزولان‌ها و مواد شبه سیمانی، نیز می‌توانند در بتن استفاده شوند.

بتن و مصالح آن، باید ضوابط و مشخصات مندرج در مقررات ملی ساختمان را برآورده سازند. به عبارت دیگر، بتنی قابل قبول است که خود و مصالح تشکیل‌دهنده آن، ضوابط الزامی مربوط را برآورده سازند.

۹ ـ ۳ ـ ۲ سیمان

سیمان‌های مصرفی در بتن عبارتند از سیمان‌های پرتلند پنج‌گانه و سیمان‌های ویژه.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ سیمان‌های پرتلند

سیمان پرتلند، سیمانی آبی است که از آسیاب کردن کلینکر، به همراه مقدار مناسب سنگ‌گچ یا سولفات کلسیم متبلور خام به دست می‌آید.

به‌طورکلی، ویژگی‌های انواع سیمان‌های پرتلند باید با استاندارد ملی ایران به‌شماره ۳۸۹ مطابقت داشته باشد.

انواع سیمان‌های پرتلند عبارتند از:

۱) سیمان پرتلند نوع یک (I)، یا سیمان پرتلند معمولی، که با « پ– ۱» نشان داده می‌شود. سیمان پرتلند نوع یک، خود به سه نوع «۳۲۵–۱»، «۴۲۵–۱» و «۵۲۵–۱» تقسیم می‌شود.

۲) سیمان پرتلند نوع دو (II)، یا سیمان پرتلند اصلاح شده، که با « پ– ۲» نشان داده می‌شود.

۳) سیمان پرتلند نوع سه (III)، یا سیمان زود سخت‌شونده، که با « پ– ۳» نشان داده می‌شود.

۴) سیمان پرتلند نوع چهار (IV)، یا سیمان با حرارت‌زایی کم، که با « پ– ۴» نشان داده می‌شود.

۵) سیمان پرتلند نوع پنج (V)، یا سیمان مقاوم در برابر سولفات، که با « پ– ۵» نشان داده می‌شود.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۱ مشخصات شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند

مشخصات شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند مطابق جدول ۹ – ۳ – ۱ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۱ مشخصات شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند

ردیف	ویژگی شیمیایی		نوع سیمان پرتلند					شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط
			۱	۲	۳	۴	۵	
۱	C_3S (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	–	–	–	۳۵	–	۱۶۹۲
۲	C_2S (درصد وزنی سیمان)	حداقل مقدار مجاز	–	–	–	۴۰	–	۱۶۹۲
۳	C_3A (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	–	۸	۱۵	۷	۵	۱۶۹۲
۴	$(2C_3A + C_4AF)$ یا $(C_4AF + C_2F)$ (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	–	–	–	–	۲۵	۱۶۹۲
۵	کاهش وزن ناشی ازسرخ شدن (درصد وزنی)	حداکثر مقدار مجاز	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰	۱۶۹۲
۶	میزان باقیمانده نامحلول (درصد وزنی)	حداکثر مقدار مجاز	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۱۶۹۲
۷	SiO_2 (درصد وزنی سیمان)	حداقل مقدار مجاز	–	۲۰	–	–	–	۱۶۹۲
۸	Al_2O_3 (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	–	۶	–	–	–	۱۶۹۲
۹	Fe_2O_3 (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	–	۶/۰	–	۶/۵	–	۱۶۹۲
۱۰	MgO (درصد وزنی سیمان)	حداکثر مقدار مجاز	۵	۵	۵	۵	۵	۱۶۹۲
۱۱	SO_3 (درصد وزنی سیمان)	اگر ٪۸ $C_3A \leq$	۳/۰	۳/۰	۳/۵	۲/۳	۲/۳	۱۶۹۲
		اگر ٪۸ $C_3A >$	۳/۵	–	۴/۵	–	–	

توضیح: در صورت رعایت ضابطه ردیف ۷ جدول ۹ – ۳ – ۲، رعایت ضوابط ردیف‌های۳ و ۴ فوق در سیمان نوع پنج الزامی نخواهد بود.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۲ مشخصات فیزیکی الزامی سیمان‌های پرتلند

مشخصات فیزیکی الزامی سیمان‌های پرتلند مطابق جدول ۹ – ۳ – ۲ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۲ مشخصات فیزیکی الزامی سیمان‌های پرتلند

ردیف	ویژگی فیزیکی		نوع سیمان پرتلند					شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
			۱	۲	۳	۴	۵	
۱	سطح مخصوص، به‌دست‌آمده از آزمایش بلین (mm^2/gr)	حداقل مقدارمجاز	۲۸۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۳۹۰
۲	انبساط، در آزمایش اتوکلاو (درصد)	حداکثر مقدارمجاز	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۳۹۱
۳	زمان گیرش اولیه، به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (دقیقه)	حداقل مقدار مجاز	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۳۹۲
۴	زمان‌گیرش‌نهایی، به‌دست‌آمده از آزمایش با سوزن ویکا (ساعت)	حداکثر مقدارمجاز	۶	۶	۶	۶	۶	۳۹۲
۵	گرمای آبگیری ۷ روزه (cal/gr)	حداکثر مقدارمجاز	–	۷۰	–	۶۰	–	۳۹۴
۶	حرارت هیدراتاسیون ۲۸ روزه (cal/gr)	حداکثر مقدارمجاز	–	–	–	۷۰	–	۳۹۴
۷	انبساط سولفات، ۱۴ روزه (درصد)	حداکثر مقدارمجاز	–	–	–	–	٪۴	۳۹۱

توضیح: در صورت رعایت ضوابط ردیف‌های۳ و ۴ جدول ۹ – ۳ – ۱، در سیمان نوع ۵، رعایت ضابطه ردیف ۷ فوق الزامی نخواهد بود.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۳ مشخصات مکانیکی الزامی سیمان‌های پرتلند

مشخصات مکانیکی الزامی سیمان‌های پرتلند مطابق جدول ۹ – ۳ – ۳ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۳ مشخصات مکانیکی الزامی سیمان‌های پرتلند

ردیف	ویژگی مکانیکی		نوع سیمان پرتلند						شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
			۱			۲	۳	۴	۵	
			۱-۳۲۵	۱-۴۲۵	۱-۵۲۵					
۱	مقاومت فشاری نمونه یک‌روزه (N/mm^2)	حداقل مجاز	–	–	–	–	۱۲/۵	–	–	۳۹۳
۲	مقاومت فشاری نمونه دو روزه (N/mm^2)	حداقل مجاز	–	۱۰/۰	۲۰/۰	–	–	–	–	۳۹۳
۳	مقاومت فشاری نمونه سه‌روزه (N/mm^2)	حداقل مجاز	۱۲/۰	–	–	۱۰/۰	۲۴/۰	–	۸/۵	۳۹۳
۴	مقاومت فشاری نمونه هفت روزه (N/mm^2)	حداقل مجاز	۲۰/۰	–	–	۱۷/۵	–	۷/۰	۱۵/۰	۳۹۳
۵	مقاومت فشاری نمونه بیست و هشت روزه (N/mm^2)	حداقل مجاز	۳۲/۵	۴۲/۵	۵۲/۵	۳۱/۵	–	۱۸/۰	۲۷/۰	۳۹۳
		حداکثر مجاز	۵۲/۵	۶۲/۵	–	–	–	–	–	۳۹۳

توضیح: منظور از مقاومت فشاری، میانگین حداقل ۴ آزمونه می باشد.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۴ تواتر نمونه‌برداری از سیمان‌های پرتلند

نمونه‌برداری از سیمان پرتلند، باید به‌یکی از روش‌های زیر صورت گیرد:

۱) از هر محمولهٔ وارده به‌کارگاه، ۵ کیلوگرم نمونه
۲) از محل تسمه نقاله یا لولهٔ انتقال سیمان به سیلو، از هر ۴۰ تن سیمان در حال انتقال، یا کمتر، ۵ کیلوگرم نمونه، به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته
۳) از محل تخلیهٔ سیمان از سیلو، به‌ازای هر یکصد تن، ۵ کیلوگرم نمونه
۴) از انبار کیسه‌های سیمان، به‌ازای هر ۵ تن سیمان کیسه‌ای، یا کمتر، یک کیسه به‌عنوان نمونه
۵) آزمایش‌های فوق حدّاقل ماهی یک‌بار، باید انجام شوند.

سایر ضوابط نمونه‌برداری، مطابق با استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۳۸۹، می‌باشد.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۵ ضوابط پذیرش سیمان‌های پرتلند

سیمان‌های پرتلند زمانی قابل قبول تلقی می‌شوند که ضوابط زیر برآورده شوند:

۱) نتایج حاصل از یک آزمونه یا میانگین نتایج حاصل از دو آزمونه متوالی، ضوابط مندرج در جدول‌های ۹ – ۳ – ۱ و ۹ – ۳ – ۲ را برآورده سازند.
۲) میانگین نتایج حاصل از دو آزمونه متوالی یا میانگین نتایج حاصل از سه آزمونه متوالی، ضوابط مندرج در جدول ۹ – ۳ – ۳ را برآورده سازند.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۶ ضوابط الزامی بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارکردن و مصرف سیمان‌های کیسه‌ای

۱) سیمان پرتلند باید در کیسه‌های مناسب، مقاوم و قابل انعطاف بسته‌بندی شود، به‌گونه‌ای که رطوبت و مواد خارجی نتوانند به داخل آن نفوذ کنند و کیسه سیمان در هنگام حمل و نقل پاره نشود.

۲) مشخصات پاکت کاغذی سیمان‌های کیسه‌ای باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۵۴۳ باشد.
۳) روی کیسه‌های سیمان باید نوع سیمان پرتلند (یک تا پنج) و تاریخ تولید سیمان درج شود. در سیمان‌های نوع یک، باید مقاومت سیمان نیز قید گردد.
۴) وزن اسمی هر کیسه سیمان پرتلند ۵۰ کیلوگرم می‌باشد.
۵) برای هر محموله وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.
۶) سیمان‌های کیسه‌ای باید براساس نوع به‌طور جداگانه نگهداری شوند، به‌گونه‌ای که امکان اشتباه آنها با هم وجود نداشته باشد.
۷) سیمان‌های کیسه‌ای باید روی کف خشک، که دست‌کم به‌اندازه ۱۰۰ میلی‌متر از سطح اطراف خود بالاتر باشد، قرار گیرند.
۸) ترتیب قرار دادن کیسه‌های سیمان در انبار باید به‌گونه‌ای باشد که کیسه‌ها، به‌ترتیب ورود به انبار مصرف شوند.
۹) در مناطق خشک، حداکثر تعداد کیسه سیمان که می‌توان بر روی هم انبار کرد ۱۲ پاکت است، مشروط بر اینکه ارتفاع کل آنها از ۱/۸ متر تجاوز نکند. اعداد فوق در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، به ترتیب ۸ پاکت و ۱/۲ متر می‌باشد.
۱۰) در مناطق خشک، کیسه‌های سیمان باید نزدیک به‌یکدیگر، با فاصله ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر از یکدیگر قرار داده شوند تا عبور جریان هوا از بین کیسه‌ها موجب خشک شدن سیمان بشود. در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، کیسه‌های سیمان باید به‌یکدیگر چسبانیده شوند.
۱۱) کیسه‌های سیمان، در همه مناطق، باید حداقل ۳۰۰ میلی‌متر از دیوارها و ۶۰۰ میلی‌متر از سقف فاصله داشته باشند.
۱۲) در مناطق و در فصل‌هایی که احتمال بارندگی وجود داشته باشد، کیسه‌های سیمان یا باید در انبارهای سرپوشیده نگهداری شود و یا اینکه روی آنها با ورقه‌های

پلاستیکی پوشانیده شده و این ورقه‌ها به‌نحو کـاملاً مطمئنـی در اطـراف پایـدار و محکم شود. در این مناطق و در این فصل‌ها، درها، پنجره‌ها و سیستم‌هـای تهویـه باید بسته نگهداشته شوند تا از جریان هوای مرطوب در انبار جلوگیری شود.

۱۳) سیمان‌های کیسه‌ای باید در مناطق با رطوبت نسبی حداکثر ۹۰٪، ۴۵ روز پـس از تولید، و در سایر مناطق ۹۰ روز پس از تولید مـصرف شـوند، و اگـر بنـا بـه دلایـل غیرقابل اجتناب این امر میسر نشد، این سیمان‌ها باید قبل از مصرف مورد آزمـایش قرار گیرند.

۱۴) سیمانی‌که به‌مدت زیاد انبار شود ممکن است به صورت کلوخه‌های فـشرده درآیـد. اینگونه سیمان‌ها را باید با غلتانیدن پاکت‌ها بر روی کف اصلاح کرد تـا بـه صـورت پودر درآیند. درصورتی‌که با یک بار غلتانیدن، کلوخه بـه پـودر تبـدیل شـود آن را می‌توان مصرف‌کرد وگرنه قبل از مصرف باید تحـت آزمـایش‌هـای منـدرج در بنـد ۳ – ۲ – ۱ – ۳ قرار گیرد و ضوابط این بند کنترل شود.

۱۵) سایر ضوابط نگهداری و مصرف سیمان، مطابق با استاندارد ملی ایـران، بـه شـماره ۲۷۶۱ می‌باشد.

۹ – ۳ – ۲ – ۱ – ۷ ضوابط الزامی انبار کردن و مصرف سیمان‌های فله

۱) سیمان‌های فله، باید در سیلوهای استاندارد نگهداری شوند.

۲) سیلوهای سیمان و شالوده‌های آنها باید از نظر سازه‌ای محاسبه و طراحی شده باشند.

۳) سیلوهای سیمان باید مجهز به ترازنما، برای تعیین موقعیت تـراز سـیمان در داخـل سیلو، و نیز دریچه‌ای در پایین برای میل زدن، در صورت طاق زدن سیمان باشند.

۴) برای هر محموله وارد شده به‌کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.

۵) از آنجا که انتقال سیمان از مخزن کامیون به داخل سـیلو بـه کمـک هـوای فـشرده صورت می‌گیرد و در نتیجه سیمان به‌تدریج متورم می‌شود، نباید بیش از ۸۰ درصد ظرفیت اسمی سیلوها را پرکرد.

۶) سیمان‌های فله را باید براساس نوع آنها به‌طور جداگانه نگهداری کرد، به‌گونه‌ای که امکان اشتباه آنها با هم وجود نداشته باشد. نوع سیمان موجود در هر سیلو باید به‌نحو مناسبی مشخص شود.

۷) سیمان نگهداری‌شده در سیلو، باید حداکثر ۹۰ روز پس از تولید مصرف شود، و اگر بنا به‌دلایل غیرقابل اجتناب این امر امکان‌پذیر نشد، باید قبل از مصرف تحت آزمایش قرار گیرد.

۸) سایر مشخصات سیلوها و ضوابط نگهداری سیمان در آنها، مطابق با استاندارد ملی ایران، به شماره ۲۷۶۱ می‌باشد.

۹ – ۳ – ۲ – ۲ سیمان‌های ویژه

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۱ سیمان پرتلند سفید

این سیمان، از آسیاب کردن کلینکر سیمان سفید با مقدار مناسبی سنگ‌گچ به دست می‌آید. به‌طورکلی این سیمان باید ضوابط استاندارد ملی ایران، به‌شماره، ۲۹۳۱ را برآورده سازد.

مشخصات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی الزامی سیمان پرتلند سفید به ترتیب در جدول‌های ۹ – ۳ – ۴، ۹ – ۳ – ۵ و ۹ – ۳ – ۶ درج شده‌اند.

جدول ۹ – ۳ – ۴ مشخصات شیمیایی الزامی سیمان پرتلند سفید

ردیف	ویژگی شیمیایی		حداکثر مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط
۱	MgO (درصد وزنی سیمان)		۵	۱۶۹۲
۲	SO_3 (درصد وزنی سیمان)	اگر $C_3A \leq$ ٪۸	۳/۵	۱۶۹۲
۳		اگر $C_3A >$ ٪۸	۳/۰	۱۶۹۲
۴	کاهش وزن، در دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس (درصد وزنی)		۳	۱۶۹۲
۵	میزان باقیمانده نامحلول (درصد وزنی)		۰/۷۵	۱۶۹۲

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۲ سیمان پرتلند رنگی

سیمان پرتلند رنگی، از افزودن مواد رنگی معدنی بی‌اثر شیمیایی به سیمان پرتلند معمولی یا سفید به دست می‌آید. از سیمان پرتلند معمولی برای ساخت سیمان‌های پرتلند رنگی قرمز، قهوه‌ای و سیاه و برای ساخت سیمان‌های به رنگ‌های دیگر، از سیمان سفید استفاده می‌شود.

جدول ۹ – ۳ – ۵ مشخصات فیزیکی الزامی سیمان پرتلند سفید

ردیف	ویژگی فیزیکی		ضابطه	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	درجه سفیدی	حداقل مقدار مجاز	۷۵	۲۹۳۱
۲	سطح مخصوص، به دست آمده از آزمایش بلین (mm^2/gr)	حداقل مقدار مجاز	۳۰۰۰۰۰	۳۹۰
۳	انبساط، در آزمایش اتوکلاو (درصد)	حداکثر مقدار مجاز	۰/۸	۳۹۱
۴	زمان گیرش اولیه، به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (دقیقه)	حداقل مقدار مجاز	۴۵	۳۹۲
۵	زمان گیرش نهایی، به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (ساعت)	حداکثر مقدار مجاز	۸	۳۹۲

جدول ۹ – ۳ – ۶ مشخصات مکانیکی الزامی سیمان پرتلند سفید

ردیف	ویژگی مکانیکی	حداقل مقدار مجاز (N/mm^2)	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	مقاومت فشاری نمونه مکعبی به بعد ۵۰ mm، پس از ۲ روز قرارگیری در آب	۱۱	۳۹۳
۲	مقاومت فشاری نمونه مکعبی به بعد ۵۰ mm، پس از ۶ روز قرارگیری در آب	۱۷/۵	۳۹۳
۳	مقاومت فشاری نمونه مکعبی به بعد ۵۰ mm، پس از۲۷ روز قرارگیری در آب	۳۱/۵	۳۹۳

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ سیمان پرتلند آمیخته

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ – ۱ سیمان پرتلند پوزولانی

سیمان پرتلند پوزولانی، چسباننده‌ای آبی است که مخلوط کامل، یکنواخت و همگنی از سیمان پرتلند و پوزولان و سنگ‌گچ آسیاب شده می‌باشد.

سیمان‌های پرتلندِ آمیخته با پوزولان‌های طبیعی، به دو گروه سیمان پرتلند پوزولانی معمولی و سیمان پرتلند پوزولانی ویژه تقسیم‌بندی می‌شوند.

سیمان پرتلند پوزولانی معمولی، دارای پوزولان به‌میزان حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ درصد وزنی می‌باشد. این نوع سیمان با نماد «پ. پ» نشان داده می‌شود و برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن به کار می‌رود.

سیمان پرتلند پوزولانی ویژه، دارای پوزولان به میزان بیش از ۱۵ درصد تا ۴۰ درصد وزنی است. این نوع سیمان با نماد «پ. پ. و» نشان داده می‌شود و معمولاً برای ساخت بتن‌های حجیم و نیز در مواردی که بتن تحت تهاجم شیمیایی قرار می‌گیرد به‌کار می‌رود. این نوع سیمان، گرمای آبگیری کمی دارد، در برابر املاح شیمیایی مقاوم و مقاومت فشاری آن در روزهای اولیه (تا سه روز) کم است.

پوزولان مورد استفاده در سیمان‌های پوزولانی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۳ و سیمان پوزولانی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ مطابقت داشته باشد.

ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی الزامی انواع سیمان‌های پرتلند پوزولانی، به ترتیب در جدول‌های ۹ – ۳ – ۷، ۹ – ۳ – ۸ و ۹ – ۳ – ۹ درج شده‌اند.

جدول ۹ – ۳ – ۷ ویژگی‌های شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند پوزولانی

ردیف	ویژگی شیمیایی	حداکثر مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	MgO (درصد وزنی سیمان)	۶	۱۶۹۲
۲	SO_3 (درصد وزنی سیمان)	۴	۱۶۹۲
۳	یون کلراید (درصد وزنی سیمان)	۰/۱	*

* تا زمان تدوین استاندارد مربوط به روش آزمون ردیف ۳ جدول فوق، باید از یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی استفاده شود.

جدول ۹ – ۳ – ۸ ویژگی‌های فیزیکی الزامی سیمان‌های پرتلند پوزولانی

ردیف	ویژگی فیزیکی		سیمان پ.پ	سیمان پ.پ.و	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط
۱	سطح مخصوص ، به دست آمده از آزمایش بلین (mm^2/gr)	حداقل مقدار مجاز	۳۰۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰	۳۹۰
۲	انبساط ، در آزمایش اتوکلاو (درصد)	حداکثر مقدار مجاز	۰/۸	۰/۸	۳۹۱
۳	انقباض در آزمایش اتوکلاو (درصد)	حداکثر مقدار مجاز	۰/۲	۰/۲	۳۹۱
۴	زمان گیرش اولیه به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (دقیقه)	حداقل مقدار مجاز	۶۰	۶۰	۳۹۲
۵	زمان گیرش نهایی به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (ساعت)	حداکثر مقدار مجاز	۷	۷	۳۹۲

جدول ۹ – ۳ – ۹ ویژگی‌های مکانیکی الزامی سیمان‌های پرتلند پوزولانی

ردیف	ویژگی فیزیکی	حداقل مقدار مجاز (N/mm^2)		شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط
		سیمان پ. پ	سیمان پ. پ. و	
۱	مقاومت فشاری ۳ روزه	۱۰	-	۳۹۳
۲	مقاومت فشاری ۷ روزه	۱۷/۵	۱۵	۳۹۳
۳	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۳۰	۲۷/۵	۳۹۳

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ – ۲ سیمان پرتلند روباره‌ای یا سرباره‌ای

این سیمان، از آسیاب کردن ۱۵ تا ۹۵ درصد سرباره کوره آهن‌گدازی فعال و غیرکریستالی (آمورف)، با کلینکر سیمان پرتلند و مقدار مناسبی سنگ‌گچ به‌دست می‌آید. این نوع سیمان پایداری بیشتری در برابر سولفات‌ها دارد و بتن ساخته شده با آن، نفوذپذیری کمتر و دوام بیشتری دارد. این نوع سیمان، در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی، دیرگیرتر و گرمای آبگیری آن‌کمتر است .

مشخصات این سیمان باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۷ مطابقت داشته باشد.

۹ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ – ۳ سیمان بنایی

مشخصات سیمان بنایی باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۶ مطابقت داشته باشد. استفاده از این نوع سیمان در بتن و بتن آرمه مجاز نمی‌باشد، و فقط در ملات و مانند آن به‌کار می‌رود.

۹ – ۳ – ۳ سنگدانه

سنگدانه‌های بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر ($\frac{۳}{۱۶}$اینچ، یعنی بعد چشمه‌های الک نمره۴) را سنگدانه درشت یا شن، و سنگدانه‌های ریزتر از ۴/۷۵ میلی‌متر را سنگدانه ریز یا ماسه می‌نامند.

طبق تعریف، « بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه» عبارت است از اندازه کوچکترین الکی‌که حداکثر ۱۰ درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند.

به‌طورکلی، ویژگی‌های سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ مطابقت داشته باشد.

۹ – ۳ – ۳ – ۱ محدودیت بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت

بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت نباید از هیچ‌یک از مقادیر زیر بیشتر باشد:

۱) یک‌پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب بتن

۲) یک‌سوم ضخامت دال

۳) سه‌چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها

۴) سه‌چهارم ضخامت پوشش روی میلگردها

۵) ۳۸ میلی‌متر (۱/۵ اینچ) در بتن آرمه

۶) ۶۳ میلی‌متر (۲/۵ اینچ) در بتن غیرمسلّح

۹ – ۳ – ۳ – ۲ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه ریز (ماسه) مصرفی دربتن

این ضوابط، مطابق جدول ۹ – ۳ – ۱۰ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۱۰ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز مصرفی در بتن

ردیف	اندازه الک (mm)	اندازه الک بر حسب اینچ یا نمره الک	درصد وزنی رد شده از الک
۱	۹/۵۰	$\frac{۳}{۸}$in	۱۰۰
۲	۴/۷۵	# ۴	۸۹-۱۰۰
۳	۲/۳۶	# ۸	۶۰-۱۰۰
۴	۱/۱۸	#۱۶	۳۰-۹۰
۵	۰/۶	# ۳۰	۱۵-۵۴
۶	۰/۳	# ۵۰	۵-۴۰
۷	۰/۱۵	# ۱۰۰	۰-۱۵

روش آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز با الک، باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۷۷ صورت‌گیرد.

۹ – ۳ – ۳ – ۳ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه درشت (شن) مصرفی در بتن

این ضوابط، مطابق جدول ۹ – ۳ – ۱۱ می‌باشد.

روش آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت با الک، باید مطابق بـا اسـتاندارد ملـی ایران به‌شماره ۴۹۷۷ صورت گیرد.

جدول ۹ – ۳ – ۱۱ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن

ردیف	اندازه اسمی الک‌ها (یا بعد چشمه مربع) mm	اعداد داخل جدول درصد وزنی مصالح سنگی رد شده از الک‌ها را نشان می دهند.								
		۶۳ mm	۵۰ mm	۳۷/۵ mm	۲۵ mm	۱۹ mm	۱۲/۵ mm	۹/۵ mm	۴/۷۵ mm	۲/۳۶ mm
۱	۵۰تا۲۵	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۳۵–۷۰	۰–۱۵	–	۰–۵	–	–	–
۲	۵۰تا ۴/۷۵	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	–	۳۵–۷۰	–	۱۰–۳۰	–	۰–۵	–
۳	۳۷/۵تا ۱۹	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۲۰–۵۵	۰–۱۵	–	۰–۵	–	–
۴	۴/۷۵ تا ۳۷/۵	–	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	–	۳۵–۷۰	–	۱۰–۳۰	۰–۵	–
۵	۱۲/۵ تا ۲۵	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۲۰–۵۵	۰–۱۰	۰–۵	–	–
۶	۹/۵ تا ۲۵	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۸۵	۱۰–۴۰	۰–۱۵	۰–۵	–
۷	۴/۷۵ تا ۲۵	–	–	۱۰۰	۹۵–۱۰۰	–	۲۵–۶۰	–	۰–۱۰	۰–۵
۸	۹/۵ تا ۱۹	–	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۲۰–۵۵	۰–۱۵	۰–۵	–
۹	۴/۷۵ تا ۱۹	–	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	–	۲۰–۵۵	۰–۱۰	۰–۵
۱۰	۴/۷۵ تا ۱۲/۵	–	–	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۷۰	۰–۱۵	۰–۵

۹ – ۳ – ۴ حداکثر میزان مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز (ماسه) مصرفی در بتن

این مقادیر، مطابق با جدول ۹ – ۳ – ۱۲ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۱۲ حداکثر میزان مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز

ردیف	ماده زیان‌آور		حداکثر وزنی ماده زیان آور، نسبت به کل نمونه	شماره استاندارد ایران برای روش آزمون مربوط
۱	کلوخه‌های رسی و ذرات سست		۳	–
۲	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰)، حاوی رس یا شیل	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار می‌گیرند.	۳	۴۴۶
		در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار نمی‌گیرند.	۵	۴۴۶
۳	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰)، فاقد رس یا شیل	در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار می‌گیرند	۵	۴۴۶
		در بتن‌هایی که در معرض سایش قرار نمی‌گیرند.	۷	۴۴۶
۴	زغال سنگ و لیگنیت	نمای ظاهری بتن اهمیت دارد.	۰/۵	–
		نمای ظاهری بتن اهمیت ندارد.	۱	–
۵	میکا		۱	–
۶	سولفات های محلول در آب، برحسب SO_3		۰/۴	–
۷	کلریدهای محلول در آب، برحسب Cl^- (در بتن آرمه)		۰/۰۴	–

توضیحات:

۱) در مواردی که استاندارد ملی ایران برای آزمون مربوط وجود ندارد، این آزمون‌ها باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی انجام شود.

۲) لیگنیت، یک نوع زغال‌سنگ است که به رنگ‌های قهوه‌ای و سیاه وجود دارد.

۳) اگر مقدار سولفات محلول در آب موجود در سنگدانه ریز، بیش از مقدار مندرج در ردیف ۵ باشد، مصرف آن به‌شرطی مجاز است که مقدار سولفات محلول در آب موجود در کل سنگدانه ریز و درشت از حداکثر مجاز کمتر باشد.

۴) اگر مقدار کلرید محلول در آب موجود در سنگدانه ریز، بیش از مقدار مندرج در ردیف ۶ باشد مصرف آن به شرطی مجاز است که مقدار کلرید محلول در آب موجود در کل سنگدانه ریز و درشت از حداکثر مجاز کمتر باشد.

۹ – ۳ – ۳ – ۵ حداکثر میزان مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت (شن) مصرفی در بتن

این مقادیر، مطابق با جدول ۹ – ۳ – ۱۳ می‌باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۱۳ حداکثر میزان مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت

ردیف	ماده زیان آور		حداکثر درصد وزنی ماده زیان‌آور، نسبت به‌کل نمونه	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط
۱	کلوخه های رسی و ذرات سست		۵	-
۲	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (ردشده ازالک نمره ۲۰۰)، حاوی رس یا شیل		۱	۴۴۶
۳	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (ردشده ازالک نمره ۲۰۰)، فاقد رس یا شیل		۱/۵	۴۴۶
۴	زغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مواد سبک	نمای ظاهری بتن اهمیت دارد.	۰/۵	-
		نمای ظاهری بتن اهمیت ندارد.	۱	
۵	سولفات‌های محلول در آب، بر حسب SO_3		۰/۴	-
۶	کلرایدهای محلول در آب، بر حسب Cl^-		۰/۰۴	-

توضیحات:

۱) در مواردی که استاندارد ملی ایران برای آزمون مربوط وجود ندارد، این آزمون‌ها باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی انجام شود.

۲) لیگنیت، یک نوع زغال‌سنگ است که به رنگ‌های قهوه‌ای و سیاه وجود دارد.

۳) اگر مقدار سولفات محلول در آب موجود در سنگدانه درشت، بیش از مقدار مندرج در ردیف ۵ باشد، مصرف آن به‌شرطی مجاز است که مقدار سولفات محلول در آب موجود در کل سنگدانه ریز و درشت از حداکثر مجاز کمتر باشد.

۴) اگر مقدار کلرید محلول در آب موجود در سنگدانه درشت، بیش از مقدار مندرج در ردیف ۶ باشد، مصرف آن به شرطی مجاز است که مقدار کلرید محلول در آب موجود در کل سنگدانه ریز و درشت از حداکثر مجاز کمتر باشد.

۹ – ۳ – ۳ – ۶ حداکثر میزان مجاز دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت (شن) مصرفی در بتن

دانه‌های پولکی دانه‌هایی هستند که اندازه کوچکترین بعد آنها کمتر از ۰/۶ برابر میانگین اندازه الک‌ها است. دانه‌های سوزنی دانه‌هایی هستند که بزرگترین بعد آنها بیشتر از ۱/۸ برابر میانگین اندازه الک‌ها است. حداکثر مقدار مجاز دانه‌های پولکی و سوزنی موجود در شن، در جدول ۹ – ۳ – ۱۴ درج شده است.

جدول ۹ – ۳ – ۱۴ حداکثر میزان مجاز دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن

ردیف	شرح	حداکثر درصد وزنی سنگدانه سوزنی یا پولکی نسبت به کل نمونه	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	دانه‌های پولکی موجود در سنگدانه‌های مانده بر روی الک ۶/۳ میلی‌متر ($\frac{۱}{۴}$ اینچ)	۳۰	–
۲	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر (از $\frac{۱}{۳}$ اینچ)	۴۵	–
۳	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ)	۴۵	–
۴	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه۱۹میلی‌متر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ)	۴۰	–
۵	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه۲۵ میلی‌متر (۱ اینچ)	۴۰	–
۶	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه۳۸ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ ۱ اینچ)	۴۰	–
۷	دانه‌های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ)	۳۵	–
۸	دانه های سوزنی موجود در سنگدانه‌های با حداکثر اندازه۶۳ میلی‌متر ($\frac{۱}{۲}$ ۲ اینچ)	۳۵	–

توضیح: تا زمان تدوین استاندارد ملی ایران در این زمینه، آزمون مربوطه باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی انجام شود.

۹ – ۳ – ۳ – ۷ سایر مشخصات الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

جدول ۹ – ۳ – ۱۵ برخی از مشخصات الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

ردیف	شرح	نوع سنگدانه	حداکثر مقدار مجاز	حداقل مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	میزان کاهش وزن، در آزمایش لس‌آنجلس (درصد)	شن	۵۰	–	۴۴۸
۲	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	شن	۱۲	–	۴۴۹
۳	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	ماسه	۱۰	–	۴۴۹
۴	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	شن	۱۸	–	۴۴۹
۵	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	ماسه	۱۲	–	۴۴۹

۹ – ۳ – ۳ – ۸ سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن

به‌طورکلی سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن، به دو صورت تهیه می‌شوند:

۱) سنگدانه‌های حاصل از شیشه‌ای شدن، انبساط، گلوله شدن مواد، و یا موادی نظیر سرباره کوره آهن‌گدازی، خاک رس، دیاتومه، خاکستر بادی، شیل یا سنگ لوح.

۲) سنگدانه‌های حاصل از فرآوری مواد طبیعی نظیر پومیس، اسکوریا و توف سنگدانه‌های سبک می‌توانند هم در بتن سازه‌ای و هم در بتن غیرسازه‌ای به‌کار روند.

ویژگی‌های سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن سازه‌ای باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۵ باشد. در بتن سازه‌ای، برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز می‌توان بخشی از سنگدانه سبک را با ماسه طبیعی جایگزین نمود.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الزامی نمونه‌های بتن سازه‌ای با سنگدانه‌های سبک، مطابق با جدول ۹ – ۳ – ۱۶ است.

جدول ۹ – ۳ – ۱۶ ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الزامی نمونه‌های بتن سازه‌ای با سنگدانه‌های سبک

ردیف	نوع بتن حداکثر مقدار میانگین وزن مخصوص سه آزمونه بتنی ۲۸ روزه خشک شده در هوا (N/m^3)	حداقل مقدار میانگین مقاومت فشاری سه آزمونه بتنی ۲۸ روزه (MPa)	حداقل مقدار میانگین مقاومت کششی، در آزمایش دو نیم شدن، در هشت آزمونه بتنی ۲۸ روزه
۱	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند. ۱۷۶۰۰	۲۸	۲/۲
۲	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند ۱۶۸۰۰	۲۱	۲/۱
۳	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند ۱۶۰۰۰	۱۷	۲/۰
۴	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند. ۱۸۴۰۰	۲۸	۲/۳
۵	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند ۱۷۶۰۰	۲۱	۲/۱
۶	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند ۱۶۸۰۰	۱۷	۲/۱

روش‌های آزمون مشخصات مکانیکی مذکور در جدول ۹ – ۳ – ۱۶، می‌باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۵ صورت‌گیرد.

ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن سازه‌ای، مطابق با جدول ۹ – ۳ – ۱۷ است.

جدول ۹ – ۳ – ۱۷ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن سازه‌ای

اندازه‌ها	درصد وزنی رد شده از الک‌های با سوراخ مربعی								
	۲۵ mm	۱۹ mm	۱۲/۵ mm	۹/۵ mm	۴/۷۵ mm	۲/۳۶ mm	۱/۱۸ mm	۰/۳ mm	۰/۱۵ mm
سنگدانه ریز: شماره ۰ تا ۴	–	–	–	۱۰۰	۸۵–۱۰۰	–	۴۰–۸۰	۱۰–۳۵	۵–۲۵
سنگدانه درشت:									
۳۵ میلی‌متر(شماره ۴)	۹۰–۱۰۰	–	۲۵ – ۶۰	–	۵–۱۰	–	–	–	–
۱۹ میلی‌متر (شماره ۴)	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	–	۱۰–۵۰	۰–۱۵	–	–	–	–
۱۲/۵ میلی‌متر (شماره ۴)	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۸۰	۰–۲۰	۰–۱۰	–	–	–
۹/۵ میلی‌متر (شماره ۸)	–	–	۱۰۰	۸۰–۱۰۰	۴۰–۵۰	۰–۲۰	۰–۱۰	–	–
مخلوط‌سنگدانه‌های‌ریزودرشت:									
۰ تا ۱۲/۵ میلی‌متر	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	–	۵۰–۸۰	–	–	۵–۲۰	۲–۱۵
۰ تا ۹/۵ میلی‌متر	–	–	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۶۵–۹۰	۳۵–۶۰	–	۱۰–۲۵	۵–۱۵

۹ – ۳ – ۳ – ۹ تواتر نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها

۱) به‌ازای هر محموله وارده به کارگاه، باید تمامی آزمایش‌های مذکور در بندهای ۹ –۳–۳ –۱ تا ۹ – ۳ – ۳ – ۸ بر روی سنگدانه‌ها انجام و ضوابط مذکور در این بندها کنترل شوند.

۲) دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید هر هفته تعیین و با ضوابط مذکور در بندهای ۹ – ۳ – ۳ – ۱ ، ۹ – ۳ – ۳ – ۲، ۹ – ۳ – ۳ – ۳ و ۹ – ۳ – ۳ – ۶ کنترل شوند.

۳) آزمایش تعیین درصد رطوبت جذب‌شده سنگدانه‌ها، باید هنگام عملیات ساخت بتن، هر روزه در محل تولید بتن انجام شود.

۹ – ۳ – ۳ – ۱۰ ضوابط پذیرش سنگدانه‌های مصرفی در بتن

سنگدانه‌های مصرفی در بتن زمانی قابل قبول تلقی می‌شوند که نتایج حاصل از یک آزمونه یا میانگین نتایج حاصل از دو آزمونه متوالی، ضوابط مربوط به این بخش را برآورده سازند.

۹ – ۳ – ۳ – ۱۱ ضوابط حمل و نقل، تحویل و نگهداری سنگدانه‌های مصرفی در بتن

ضوابط بارگیری، حمل و نقل، تخلیه، و انبارکردن سنگدانه‌های مصرفی در بتن به‌قرار زیر است:

۱) شرایط باید به‌گونه‌ای باشد که مواد خارجی و زیان‌آور در سنگدانه‌ها نفوذ نکنند.
۲) شرایط باید به‌گونه‌ای باشد که دانه‌های ریز و درشت در یک دپو از یکدیگر جدا نشوند.
۳) شرایط باید به‌گونه‌ای باشد که سنگدانه‌ها شکسته نشوند.
۴) محل نگهداری سنگدانه‌ها باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده‌کننده باشد.
۵) شن‌های با حداکثر اندازه بیش از ۳۸ میلی‌متر، باید در دو گروه کمتر و بیشتر از ۲۵ میلی‌متر نگهداری شوند. شن‌های با حداکثر اندازه ۳۸ میلی‌متر یا کمتر باید در دو گروه کمتر و بیشتر از ۱۹ میلی‌متر نگهداری شوند. این کار امکان جدا شدن دانه‌ها از یکدیگر را کاهش می‌دهد.

۶) دیواره‌های تقسیم دپوی مصالح سنگی باید به‌گونه‌ای مقاوم و پایدار باشد که در صورت خالی بودن یک قسمت و پربودن قسمت مجاور، دیواره بر اثر رانش سنگدانه‌ها تخریب یا جابه‌جا نشود.

۷) در هنگام بارش و یخبندان، باید سنگدانه‌های واقع در فضای آزاد با برزنت یا ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شود.

۸) در هنگام گرمای شدید، باید بر روی سنگدانه‌های واقع در فضای آزاد، سایبان درست شود.

۹) شیب مخروط‌های دپوی شن و ماسه نباید زیاد باشد زیرا شیب زیاد دپوها موجب جدا شدن دانه‌های ریز و درشت از هم می‌شود.

۱۰) سنگدانه‌ها تا حد امکان باید به صورت لایه‌هایی با ضخامت یکسان بر روی یکدیگر ریخته شده و انبار شوند. سنگدانه‌ها باید با لودر یا وسایل مناسب دیگر به‌گونه‌ای برداشته شوند که هر بار قسمت‌هایی از همه لایه‌های افقی برداشته شوند.

۱۱) در صورت تخلیه سنگدانه‌ها هنگام باد، باید تدابیری اتخاذ گردد که از جدا شدن ذرات ریز جلوگیری شود.

۱۲) محل دپوی شن و ماسه باید به‌گونه‌ای باشد که همواره امکان تخلیه آب مازاد وجود داشته باشد.

۱۳) سنگدانه‌های انبار شده در دپو باید حداقل ۱۲ ساعت در محل باقی مانده و سپس مصرف شود. این امر موجب می‌شود که رطوبت سنگدانه‌ها به‌حد یکنواخت و پایدار برسد.

۱۴) سیلوی ذخیره سنگدانه‌ها حتی‌المقدور باید با مقطع مربع یا دایره و شیب مخروط یا هرم تحتانی آن کمتر از ۵۰ درجه باشد. مصالح سنگی باید به‌صورت قائم در داخل سیلو ریخته شود تا از برخورد مواد سنگی با کناره‌های سیلو جلوگیری شده و دانه‌ها از هم جدا نشوند.

درصورتی‌که سیلوی ذخیره سنگدانه‌ها پر باشد امکان شکسته شدن سنگدانه‌ها و به‌هم خوردن دانه بندی آن کاهش می‌یابد. برای خالی کردن سنگدانه‌ها به‌داخل سیلو، باید از نردبان ویژه مصالح سنگی استفاده شود.

۱۵) درصورتی‌که شرایط به‌گونه‌ای باشد که امکان شکسته شدن سنگدانه‌ها در حین جابه‌جا کردن یا انبار کردن وجود داشته باشد، باید قبل از ساخت بتن با این سنگدانه‌ها، بار دیگر آنها را دانه‌بندی کرد.

۱۶) ضوابط مربوط به جلوگیری از جداشدن سنگدانه‌ها باید در مورد سنگدانه‌های گرد گوشه، که بیشتر مستعد این امر هستند، جدی‌تر رعایت‌شود.

۱۷) در هنگام بارش برف و یخبندان، سنگدانه‌ها باید به‌گونه‌ای انبار شوند که امکان یخزدگی و نیز جمع شدن برف و یخ بین دانه‌ها وجود نداشته باشد.

۱۸) هنگام تحویل هر محموله از سنگدانه‌های وارده به کارگاه، باید مشخصات مذکور در اسناد تحویل سنگدانه‌ها با مشخصات سفارش داده شده و نیز سنگدانه‌های وارده مقایسه و انطباق آن کنترل شود.

۱۹) در هنگام تحویل هر محموله از سنگدانه‌های وارده به‌کارگاه، باید وضعیت ظاهری آنها از نظر اندازه، شکل دانه‌ها و ناخالصی‌های آن با چشم کنترل شود.

۹ – ۳ – ۴ آب

آب به سه صورت در بتن به‌کار می‌رود: آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، آب به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بتن که در هنگام ساخت آن به‌کار می‌رود، و آب مصرفی برای عمل‌آوری بتن.

۹ – ۳ – ۴ – ۱ آب آشامیدنی

آبی را که قابل آشامیدن است، مزه یا بوی مشخصی ندارد، و تمیز و صاف است می‌توان در بتن به‌کار برد. تنها استثنا آن است که سوابق قبلی، نشان‌دهنده نامناسب بودن این آب برای بتن باشد، که در این صورت، این آب نباید در بتن به کار برده شود.

۹ – ۳ – ۴ – ۲ آب غیرآشامیدنی

آبی را که مشخصات آن مطابق با بند ۹ – ۳ – ۴ – ۱ نیست به‌شرطی می‌توان در بتن به کار برد که ضوابط زیر را برآورده سازند:

۱) pH آب مصرفی در بتن نباید کمتر از ۵ یا بیشتر از ۸/۵ باشد.
۲) مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آزمونه‌های ملات ساخته‌شده با آب غیرآشامیدنی حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت نظیر آزمونه‌های مشابه ساخته شده با آب مقطر باشد.
۳) زمان گیرش اولیه خمیر سیمان ساخته شده با آب غیرآشامیدنی بیش از (یک ساعت $\pm$) با زمان گیرش نظیر خمیر سیمان ساخته شده با آب مقطر تفاوت نداشته باشد.
۴) نتیجه انبساط حجم به‌دست آمده از آزمایش سلامت سیمان ، در آزمونه ساخته شده با آب غیر آشامیدنی از نتیجه به‌دست آمده از آزمونه نظیر ساخته شده با آب آشامیدنی بیشتر نباشد.
روش انجام آزمایش مطابق با استاندارد ۳۹۱ ملی ایران می‌باشد.
۵) هیچ‌یک از مواد زیان‌آور موجود در آب مصرفی در بتن از مقادیر جدول ۹ – ۳ – ۱۸ بیشتر نباشند.
۶) میزان چربی معدنی آب مصرفی در یک حجم معین از بتن از ۲/۵ درصد وزن سیمان مصرفی در همان حجم از بتن بیشتر نباشد.

آزمایش ضوابط بندهای ۱ و ۲ و ۵ و ۶ فوق ، تا قبل از تدوین استاندارد ملی ایران باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی صورت گیرد.

۹ – ۳ – ۴ – ۳ تواتر نمونه‌برداری

در صورت لزوم انجام آزمایش‌های لازم، مذکور در بند ۹ – ۳ – ۴ – ۲، باید این آزمایش‌ها در دوره‌های زمانی زیر انجام و ضوابط مربوط کنترل شود:

۱) در ابتدای کار
۲) پس از هر بار تغییر منبع تأمین آب

۹ – ۳ – ۴ – ۴ ضوابط پذیرش آب‌های غیرآشامیدنی

آب‌های غیرآشامیدنی هنگامی قابل قبول تلقی می‌شوند که نتایج حاصل از یک آزمونه یا میانگین نتایج حاصل از دو آزمونه متوالی، ضوابط مذکور در بند ۹ – ۳ – ۴ – ۲ را برآورده سازند.

۹ – ۳ – ۴ – ۵ ضوابط حمل و نقل، نگهداری و ذخیره کردن آب مصرفی در بتن

آب مصرفی بتن در کارگاه‌ها باید به‌گونه‌ای حمل و نقل و نگهداری شود که احتمال ورود مواد مضر به‌داخل آن و نیز رشد خزه‌ها و مواد آلی‌در آنها وجود نداشته باشد.

۹ – ۳ – ۵ مواد افزودنی

مواد افزودنی یا چاشنی‌های بتن موادی هستند که غیر از مواد اصلی (سیمان، آب و مصالح سنگی)، کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به بتن یا ملات افزوده می‌شوند. مقدار افزودنی‌ها کم است و در تعیین نسبت‌های اختلاط به حساب نمی‌آیند.

مواد افزودنی معمولاً به‌صورت گرد یا مایع هستند و یک یا چند ویژگی بتن تازه یا سخت‌شده را تغییر می‌دهند و هدف از کاربرد آنها اصلاح برخی از این ویژگی‌ها است، اگرچه در عین حال ممکن است موجب اختلال و بروز عیب در پاره‌ای از ویژگی‌های مطلوب بتن شوند، که این امر نباید خارج از محدوده مجاز استاندارد باشد.

جدول ۹ – ۳ – ۱۸ حداکثر مقدار مواد زیان‌آور در آب مصرفی در بتن

ردیف	نوع ماده زیان آور	شرح مصرف	شماره استاندارد ایران برای روش آزمون مربوط	حداکثر مقدار مجاز (وزنی) (ppm)
۱	ذرات معلق جامد	بتن پیش‌تنیده در هر شرایط‌محیطی	-	۱۰۰۰
۲		بتن غیرمسلح و بدون آرماتور	-	۲۰۰۰
۳		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم ومتوسط	-	۲۰۰۰
۴		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	-	۱۰۰۰
۵	کل مواد محلول در آب	بتن پیش‌تنیده در هر شرایط‌محیطی	-	۱۰۰۰
۶		بتن غیرمسلح و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۳۵۰۰۰
۷		بتن آرمه در شرایط‌محیطی ملایم و متوسط	-	۲۰۰۰
۸		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	-	۱۰۰۰
۹	کل یون کلرید (Cl^-)	بتن پیش‌تنیده در هر شرایط محیطی	-	۵۰۰
۱۰		بتن غیرمسلح و بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۱۰۰۰۰
۱۱		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق‌العاده شدید	-	۵۰۰
۱۲		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	-	۱۰۰۰
۱۳		بتن غیرمسلح و بدون آرماتور، ولی دارای مواد آلومینیمی یا فلزات غیرمشابه، یا دارای قالب‌های گالوانیزه	-	۱۰۰۰
۱۴	کل یون سولفات ($SO_4^{=}$)	بتن پیش‌تنیده در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۱۵		بتن آرمه در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۱۶		بتن غیرمسلح بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۳۰۰۰
۱۷	قلیایی معادل	در تمامی انواع بتن‌ها	-	۶۰۰

توضیحات جدول:

توضیح۱– منظور از قلیایی‌معادل ، میزان‌وزنی $(Na_2O + 0/658K_2O)$ است.

توضیح۲– در ردیف های ۹ تا ۱۲، علاوه بر برآورده شدن ضوابط این جدول، میزان یون کلرید آب نیز باید به‌میزانی باشد که وزن کل‌کلراید قابل‌حل در آب در حجم معینی از بتن (که منبع آن می‌تواند از هر یک از اجزای بتن یا از محیط باشد)، بر حسب درصدی از وزن سیمان همان حجم بتن، از مقادیر مندرج در جدول ۹ – ۶ – ۴ تجاوز نکند.

توضیح۳– در ردیف‌های ۱۴ تا ۱۶، علاوه بر برآورده شدن ضوابط این جدول، میزان یون سولفات آب نیز باید به‌میزانی باشد که وزن کل سولفات قابل‌حل در آب در حجم معینی از بتن (که منبع آن می‌تواند از هر یک از اجزای بتن، از جمله سیمان، یا از محیط باشد)، برحسب درصدی از وزن سیمان همان حجم بتن از ۴ درصد، و وزن کل سولفات موجود در حجم معینی از بتن، بر حسب درصدی از وزن سیمان همان حجم از بتن از ۵ درصد بیشتر نباشد.

توضیح۴– منظور از ppm، غلظت برحسب قسمت در میلیون (وزنی) است که‌اگر اعداد مربوطه در جدول، برحسب ppm را در 10^{-4} ضرب کنیم غلظت برحسب درصد وزنی به‌دست می‌آید.

توضیح ۵ – آزمایش ضوابط مندرج در این جدول، تا قبل از تدوین استاندارد ملی ایران باید مطابق با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی صورت گیرد.

توضیح ۶– رعایت مفاد ردیف ۱۷ جدول فوق در مواردی که سنگدانه فعال باشد الزامی است.

مواد افزودنی اگر فقط بر روی یکی از خواص بتن (تازه یا سخت‌شده) تأثیر بگذارند مواد افزودنی تک‌منظوره، و در غیر این صورت مواد افزودنی‌چند منظوره نامیده می‌شوند.

مواد افزودنی چندمنظوره دارای یک عملکرد اصلی و یک یا چند عملکرد جنبی هستند که بسته به‌مورد مصرف ممکن است عملکرد اصلی‌آنها تغییر کند.

مواد افزودنی مورد نظر در این بند، مواد افزودنی شیمیایی هستند که به‌صورت صنعتی و شیمیایی تولید می‌شوند.

۹ – ۳ – ۵ – ۱ استانداردها

مواد افزودنی باید با استانداردهای ملی ایران، از جمله استاندارد ۲۹۳۰، مطابقت داشته باشند. در صورت عدم تدوین تمام یا بخشی از استانداردهای مورد نیاز، باید از یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی استفاده کرد.

۹ – ۳ – ۵ – ۲ میزان مصرف

حدّاکثر میزان مصرف مواد افزودنی ۵ درصد وزنی سیمان است. استفاده از کلرید کلسیم فقط در بتن بدون فولاد مجاز است و حدّاکثر مقدار مصرف آن ۲ درصد وزنی سیمان است. در هر حال مواد افزودنی‌نباید بیشتر از مقداری که تولیدکننده مشخص کرده است مصرف شوند.

۹ – ۳ – ۵ – ۳ انواع مواد افزودنی تک‌منظوره

۱) ماده افزودنی کندگیرکننده
۲) ماده افزودنی تندگیرکننده
۳) ماده افزودنی زود سخت‌کننده یا تسریع‌کننده زمان سخت‌شدگی
۴) ماده افزودنی حباب هواساز
۵) ماده افزودنی نگهدارنده آب
۶) ماده افزودنی کاهنده جذب آب

۹ – ۳ – ۵ – ۴ انواع مواد افزودنی چند منظوره

۱) ماده افزودنی کاهنده آب/ روان کننده
۲) ماده افزودنی کاهنده آب قوی/ روان کننده قوی، یا فوق کاهنده آب/ فوق روان‌کننده
۳) ماده کندگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده
۴) ماده افزودنی تندگیرکننده/ کاهنده آب/ روان‌کننده
۵) ماده افزودنی کندگیر کننده / کاهنده آب قوی / روان کننده قوی، یا کندگیرکننده/ فوق کاهنده آب/ فوق روان‌کننده

۹ – ۳ – ۵ – ۵ آزمون‌های الزامی

آزمون‌های الزامی مواد افزودنی، به منظور بررسی مشخّصات و عملکرد مواد افزودنی در جدول ۹ – ۳ – ۱۹ درج شده است. جزییات برخی از این آزمون‌ها و الزامات مربوط در استاندارد ۲۹۳۰ ملی ایران آمده است. برای سایر آزمون‌ها از یکی از استانداردهای مذکور در بند ۹ – ۳ – ۵ – ۱ استفاده شود.

۹ – ۳ – ۵ – ۶ ضوابط بسته‌بندی، عرضه و انبار کردن

بسته‌بندی، عرضه و انبار کردن مواد افزودنی باید مطابق با استاندارد ۲۹۳۰ ملی ایران صورت گیرد.

۹ – ۳ – ۶ مواد جایگزین سیمان

مواد جایگزین سیمان شامل پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی مطابق استانداردهای ملی ایران به‌شماره‌های ۳۴۳۳ و ۶۱۷۱ می‌شوند. این مواد به‌منظور تأمین یک یا چند خاصیت زیر، بسته به‌مورد، به کار می‌روند:

- کاهش مصرف سیمان
- کاهش سرعت و میزان گرمای آبگیری
- افزایش مقاومت بتن
- افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذپذیری آن

جدول ۹ – ۳ – ۱۹ آزمون‌های الزامی مواد افزودنی بتن

ردیف	نوع	موارد الزامی که باید کنترل شوند
۱	همه مواد افزودنی	یکنواختی، رنگ، ترکیبات مؤثر، pH ، چگالی نسبی (فقط برای افزودنی‌های مایع)، مقدار مواد خشک، تأثیر بر روی گیرش، کل کلرین(کلر)، کلرید محلول در آب، قلیائیت معادل، رفتار از نظر خوردگی فولاد
۲	کندگیرکننده	زمان گیرش، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه
۳	تندگیرکننده	زمان گیرش اولیه، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه
۴	زودسخت‌کننده	مقاومت فشاری، مقداری هوای بتن تازه
۵	حباب هواساز	مقدار هوای بتن تازه، مشخصات حباب های هوا در بتن سخت‌شده، مقاومت فشاری
۶	نگهدارنده آب	آب‌انداختگی، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه
۷	کاهنده جذب آب	جذب مویینه، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه
۸	کاهنده آب / روان‌کننده(با هدف کاهندگی آب)	میزان کاهش آب، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن
۹	فوق کاهنده آب / فوق روان‌کننده (با هدف کاهندگی آب)	میزان کاهش آب، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن
۱۰	فوق کاهنده آب / فوق روان‌کننده (با هدف افزایش روانی)	افزایش روانی، حفظ و تداوم روانی، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه
۱۱	کندگیرکننده/ کاهنده آب / روان‌کننده	مقاومت فشاری، زمان گیرش، میزان کاهش آب، مقدار هوای بتن تازه
۱۲	تندگیرکننده/ کاهنده آب / روان‌کننده	مقاومت فشاری، زمان گیرش اولیه، میزان کاهش آب، مقدار هوای بتن تازه
۱۳	کندگیرکننده / فوق کاهنده آب / فوق روان‌کننده (با هدف کاهش آب، و کندگیری)	مقاومت فشاری، زمان گیرش، میزان کاهش آب، مقدار هوای بتن تازه
۱۴	کندگیرکننده / فوق کاهنده آب / فوق روان‌کننده (با هدف افزایش آب، و کندگیری)	حفظ و تداوم روانی، مقاومت فشاری، مقدار هوای بتن تازه

۹ – ۳ – ۶ – ۱ پوزولان‌ها

پوزولان‌ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیسی و آلومینی که خود به‌تنهایی فاقد ارزش چسبانندگی هستند یا ارزش چسبانندگی آنها کم است، اما به‌صورت ذرات بسیار ریز، در دمای متعارف و در مجاورت رطوبت با هیدروکسید کلسیم واکنش می‌دهند و ترکیباتی را تولید می‌کنند که ساختار آنها تا حدودی مشابه ترکیباتی است که بر اثر آبگیری سیمان پرتلند تولید می‌شود. پوزولان‌ها بر دو نوعند: پوزولان‌های طبیعی، و پوزولان‌های مصنوعی یا صنعتی.

پوزولان‌های طبیعی در انواع خام یا تکلیس شده وجود دارند و به‌طور عمده شامل خاکسترهای آتشفشانی غیربلورین باشند..

پوزولان‌های مصنوعی یا صنعتی به طور عمده شامل دوده سیلیسی، خاکستر بادی، و خاکستر پوسته برنج می‌باشند.

دوده سیلیسی یا میکروسیلیس محصول فرعی کوره‌های قوس الکتریکی صنایع فرو آلیاژ و فرو سیلیس بوده و ماده‌ای است با فعالیت پوزولانی بسیار شدید که بیش از ۸۵ درصد سیلیس بلو ری نشده دارد.

خاکستر بادی محصول فرعی سوخت زغال سنگ است که شامل سیلیس، آلومین و اکسیدهای آهن و کلسیم است.

خاکستر بادی در انواع F و C وجود دارد. نوع C خاکستر بادی به دلیل دارا بودن بیش از ۱۰ درصد اکسید کلسیم خاصیت سیمانی شدن نیز دارد.

خاکستر پوسته برنج از سوختن پوسته برنج به‌دست می‌آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیرکریستالی است.

مشخصات پوزولان‌ها باید با استانداردهای ملی ایران، و در صورت نبود آنها باید با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی مطابقت داشته باشد.

۹ – ۳ – ۶ – ۲ مواد شبه‌سیمانی

مواد شبه‌سیمانی دارای خاصیت پنهان هیدرولیکی هستند و در صورتی که به‌گونه‌ای مناسب فعال شوند خواص سیمانی پیدا می‌کنند. این مواد فقط در محیط قلیایی با آب واکنشی مشابه سیمان پرتلند نشان‌می‌دهند. متداول‌ترین ماده شبه‌سیمانی روباره یا سرباره کوره آهنگدازی است.

مشخصات مواد شبه‌سیمانی باید با استانداردهای ملی ایران، از جمله استاندارد ملی ۳۵۱۷، و در صورت نبود آنها باید با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی مطابقت داشته باشد.

۹ ـ ۴ میلگردهای فولادی

۹ ـ ۴ ـ ۰ علایم اختصاری

E_s = مدول ارتجاعی میلگردهای فولادی، برحسب مگاپاسکال

f_{su} = تنشی که تنش نهایی حداکثر ۵٪ از نمونه‌های میلگرد فولادی کمتر از آن باشد؛ برحسب مگاپاسکال

$f_{su,obs}$ = مقاومت کششی میلگردهای فولادی، یعنی مقاومت حد نهایی، که در آزمایش کششی بر روی میلگردهای مصرفی مورد نظر به‌دست می‌آید، برحسب مگاپاسکال

f_y = تنش تسلیم میلگردهای فولادی، برحسب مگاپاسکال؛ این تنش در میلگردهای S۲۴۰ از روی تنش تسلیم مشهود آن به‌دست می‌آید. در سایر میلگردها تنش تسلیم قراردادی (تنش نظیر تغییرشکل نسبی ماندگار ۰/۲ درصد، و یا تنش نظیر تغییرشکل نسبی ۰/۳۵ درصد) تعریف می‌شود.

f_{yk} = مقاومت مشخصه میلگردهای فولادی؛ کمترین تنشی که تنش تسلیم حداکثر ۵٪ از نمونه‌های میلگرد فولادی کمتر از آن باشد؛ برحسب مگاپاسکال

$f_{y,obs}$ = تنش تسلیمی که در آزمایش کششی بر روی میلگردهای مصرفی مورد نظر عملاً به‌دست می‌آید؛ برحسب مگاپاسکال

$f_{y,obs,m}$ = متوسط مقادیر $f_{y,obs}$ برای آزمونه‌های میلگرد

M = جرم یک قطعه میلگرد؛ برحسب گرم

S = سطح مقطع موثر یا اسمی میلگرد؛ برحسب میلی‌متر مربع

s = انحراف معیار برای آزمونه‌های میلگرد

L = طول یک قطعه میلگرد؛ برحسب میلی‌متر

d_b = قطر اسمی میلگردهای ساده یا آجدار؛ برحسب میلی‌متر

ϕ = قطر اسمی میلگردهای ساده، که معمولاً در نقشه‌ها و سایر مدارک فنی به‌کار می‌رود.

Φ = قطر اسمی میلگردهای آجدار، که معمولاً در نقشه‌ها و سایر مدارک فنی به‌کار می‌رود.

$d_۱$ = قطر زمینه میلگردهای آجدار؛ برحسب میلی‌متر

$d_۲$ = قطر خارجی میلگردهای آجدار؛ برحسب میلی‌متر

۹ ـ ۴ ـ ۱ تعاریف

۹ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱ رده میلگردهای فولادی: عبارت است از عدد مقاومت مشخصه میلگرد برحسب $N/mm^۲$ ، که پس از حرف S می‌آید. رده‌های میلگردها عبارتند از S۲۴۰ ، S۳۴۰ ، S۴۰۰ و S۵۰۰ .

رده میلگردها باید در تمامی اسناد فنی (دفترچه‌های محاسبات، نقشه‌ها و ...) قید شود.

۹ – ۴ – ۱ – ۲ کربن معادل فولاد: از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{۶} + \frac{Cr + V + Mo}{۵} + \frac{Cu + Ni}{۱۵} \qquad (۱ - ۴ - ۹)$$

در این رابطه C ، Mn ، Cr ، V ، Mo ، Cu و Ni به‌ترتیب درصد هر یک از عناصر کربن، منگنز، کرُم، وانادیم، مولیبدن، مس و نیکل در فولاد می‌باشد.

۹ – ۴ – ۱ – ۳ بسته: عبارت است از دو یا چند کلاف میلگرد به‌هم بسته شده، و یا تعدادی میلگرد شاخه مستقیم هم‌قطر و هم‌شکل و با یک مشخصه.

۹ – ۴ – ۱ – ۴ شماره ذوب: عدد نشان‌دهنده شماره فرآیند تولید هنگام ساخت فولاد است.

۹ – ۴ – ۱ – ۵ بهر: عبارت است از تعدادی بسته یا مقدار معینی میلگرد هم‌قطر و هم‌شکل و با یک مشخصه که تحت شرایطی‌که یکنواخت فرض می‌شود تولید می‌گردد.

۹ – ۴ – ۱ – ۶ محموله: عبارت است از تعدادی بسته میلگرد. مشخصه‌های همه بسته‌ها باید یکسان، ولی قطر آنها از یک بسته به‌بسته دیگر می‌تواند متفاوت باشد.

۹ – ۴ – ۲ استانداردهای مشخصات و آزمون‌های میلگردها

جدول ۹ – ۴ – ۱ استانداردهای ملی میلگردهای فولادی

شماره استاندارد ملی ایران	عنوان استاندارد
۳۱۳۲	ویژگی‌ها و روش های آزمون میلگردهای گرم نوردیدهٔ مصرفی در بتن
۱۷۹۷	اندازه‌های میلگردهای فولادی گرم نوردیده
۱۰۱۶	آزمون خمش سرد
۱۰۱۴	آزمون کشش فلزات

۹ – ۴ – ۳ طبقه‌بندی میلگردها از نظر روش ساخت

۱) فولاد گرم نوردشده

۲) فولاد سرد اصلاح‌شده، که بر اثر انجام عملیات مکانیکی نظیر پیچانیدن، کشیدن، نوردکردن یا گذرانیدن از حدیده، بر روی میلگردهای گرم نوردشده در حالت سرد به‌دست می‌آید.

۳) فولاد گرم اصلاح‌شده یا فولاد ویژه، که بر اثر انجام عملیات مکانیکی نظیر گرمایش و آب دادن، بر روی میلگردهای گرم نوردشده در حالت گرم به‌دست می‌آید.

۹ – ۴ – ۴ طبقه‌بندی میلگردها از نظر مکانیکی

میلگردهای فولادی براساس مقاومت مشخصه آنها تقسیم‌بندی می‌شوند. انواع رده‌های میلگرد فولادی از نظر مکانیکی در جدول ۹ – ۴ – ۲ درج شده است.

فولادهای فوق از نظر شکل‌پذیری به سه رده طبقه‌بندی می‌شوند:

۱) فولاد نرم (S۲۴۰) ، که منحنی تنش – تغییرشکل نسبی آن دارای پله تسلیم مشهود است.

۲) فولاد نیم‌سخت (S۳۴۰ و S۴۰۰) ، که منحنی تنش– تغییرشکل نسبی آن دارای پله تسلیم بسیار محدود است.

۳) فولاد سخت (S۵۰۰) ، که منحنی تنش – تغییرشکل نسبی آن فاقد پله تسلیم است.

جدول ۹ – ۴ – ۲ رده‌بندی مکانیکی میلگردهای فولادی

رده	علامت مشخصه در استاندارد ملی ۳۱۳۲ ایران	f_{su} حداقل مقدار مجاز مقاومت کششی حداکثر فولاد (N/mm^2)	f_{yk} (N/mm^2)	طبقه بندی از نظر شکل رویه	رده از نظر سختی
S ۲۴۰	س ۲۴۰	۳۶۰	۲۴۰	ساده	نرم
S ۳۴۰	آج ۳۴۰	۵۰۰	۳۴۰	آجدار مارپیچ	نیم سخت
S ۴۰۰	آج ۴۰۰	۶۰۰	۴۰۰	آجدار جناقی	نیم سخت
S ۵۰۰	آج ۵۰۰	۶۵۰	۵۰۰	آجدار مرکب	سخت

۹ – ۴ – ۵ انواع شکل رویه

میلگردهای مصرفی از نظر شکل رویه به‌سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

۱) میلگردهای با رویه صاف، یا میلگردهای ساده. این نوع رویه فقط در میلگرد S۲۴۰ به‌کار برده می‌شود. این میلگردها فقط می‌توانند به‌عنوان میلگرد دورپیچ در سازه‌های بتن آرمه به‌کار روند و استفاده از آنها به‌عنوان میلگرد سازه‌ای غیر از مورد فوق، در سازه‌های بتن آرمه مجاز نیست.

۲) میلگردهای با رویه آجدار، که سایر میلگردها را شامل می‌شود. آج عبارت است از برجستگی‌هایی که به‌صورت طولی یا در امتدادی غیر از طول میلگرد در هنگام نورد بر روی آن ایجاد می‌شود.

آج‌ها از نظر شکل به‌صورت دوکی‌شکل (آج با مقطع متغیر) یا به‌صورت یکنواخت (آج با مقطع ثابت)، و از نظر امتداد به‌صورت مارپیچ یا جناقی می‌باشند. ضوابط، مشخصات، شکل و ابعاد آج‌ها باید مطابق با استاندارد ۳۱۳۲ ایران باشد.

۳) میلگردهای با رویه آجدار پیچیده، که از پیچانیدن میلگردهای آجدار به‌دست می‌آید. در این میلگردها، علاوه بر آج اولیه میلگرد، یک خط مارپیچ بر روی میلگرد نیز

به‌چشم می‌خورد که هر چه میزان تابانیدن میلگرد بیشتر باشد گام این خط کمتر خواهد بود.

۹ – ۴ – ۶ مشخصات هندسی میلگردها

۹ – ۴ – ۶ – ۱ سطح مقطع اسمی میلگردهای ساده، و سطح مقطع اسمی یا مؤثر میلگردهای آجدار از رابطه (۹ – ۴ – ۲) به‌دست می‌آید:

$$S = \frac{M}{۰/۰۰۷۸۵\,L} \qquad (۹ – ۴ – ۲)$$

۹ – ۴ – ۶ – ۲ قطر اسمی میلگردهای ساده یا آجدار، از رابطه (۹ – ۴ – ۳) به‌دست می‌آید:

$$d_b = \sqrt[۲]{\frac{M}{۰/۰۰۷۸۵\pi L}} \qquad (۹ – ۴ – ۳)$$

۹ – ۴ – ۶ – ۳ ضوابط و الزامات قطر اسمی انواع میلگردهای ساده و آجدار، قطر زمینه میلگردهای آجدار ($d_۱$)، یعنی قطر میلگرد آجدار بدون در نظر گرفتن آج آن، و نیز قطر خارجی میلگردهای آجدار($d_۲$)، یعنی قطر میلگرد با احتساب کامل آج آن، مطابق جدول ۹ – ۴ – ۳ می‌باشد. سایر ویژگی‌های میلگردها باید مطابق با استاندارد ۳۱۳۲ ایران باشد.

۹ – ۴ – ۶ – ۴ تفکیک میلگردها از یکدیگر، به لحاظ هندسی، براساس قطر اسمی آنها صورت می‌گیرد.

۹ – ۴ – ۶ – ۵ طول استاندارد میلگردهای شاخه‌ای به‌طور معمول ۱۲ متر است.

۹ – ۴ – ۶ – ۶ رواداری طول‌ها و قطرهای میلگردها و آج‌های میلگردهای آجدار باید مطابق با استاندارد ملی ایران به‌شماره ۳۱۳۲ باشد.

۹ – ۴ – ۷ مشخصات مکانیکی میلگردها

میلگردها زمانی از نظر مکانیکی قابل‌قبول شناخته می‌شوند که یکی‌از شرایط بندهای شماره ۹ – ۴ – ۷ – ۱ یا ۹ – ۴ – ۷ – ۲ ، و به‌طور همزمان همه شرایط بندهای ۹ – ۴ – ۷ – ۳ و ۹ – ۴ – ۷ – ۴ و ۹ – ۴ – ۷ – ۵ که در ذیل می‌آیند، برآورده نمایند:

۹ – ۴ – ۷ – ۱ در تمامی ۵ آزمونه میلگرد انتخابی، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$(f_{y,obs})_i \geq f_{yk} \qquad i = ۱,....,۵$$

۹ – ۴ – ۷ – ۲ درصورتی که تمام یا بخشی از شرایط بند ۹ – ۴ – ۷ – ۱ برآورده نشود، ۵ آزمونه دیگر انتخاب می‌شود. نتایج ۱۰ آزمونه مذکور در بندهای ۹–۴– ۷– ۱ و ۹ – ۴ – ۷ – ۲ باید در رابطه (۹ – ۴ – ۴) صدق کند:

$$f_{y,obs,m} \geq f_{yk} + ۰/۶s \qquad (۹ – ۴ – ۴)$$

$$f_{y,obs,m} = \frac{\sum_{i=۱}^{۱۰} (f_{y,obs})_i}{۱۰} \qquad (۹ – ۴ – ۵ – ۱)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=۱}^{۱۰} \left[(f_{y,obs,m}) - (f_{y,obs})_i \right]^۲}{۹}} \qquad (۹ – ۴ – ۵ – ۲)$$

جدول ۹-۴-۳ ضوابط و الزامات قطرهای: اسمی، زمینه و خارجی انواع میلگردها

قطر اسمی میلگردهای ۲۴۰ (d_b) (mm)	میلگردهای S۳۴۰و S۴۰۰ (با آج دوکی)			میلگردهای S۳۴۰ و S۴۰۰ (با آج یکنواخت)			میلگردهای S۵۰۰ (آج دوکی)		
	قطر اسمی (d_b) (mm)	قطر زمینه (d_1) (mm)	حداکثر ارتفاع برجستگی طولی (mm)	قطر اسمی (d_b) (mm)	قطر زمینه (d_1) (mm)	قطر خارجی (d_2) (mm)	قطر اسمی (d_b) (mm)	قطر زمینه (d_1) (mm)	قطر خارجی در بلندترین نقطهٔ آج عرضی و یا آج طولی (d_2) (mm)
۶	۶	۵/۷۰	۰۶	۶	۵/۷۵	۶/۷۵	–	–	–
۸	۸	۷/۶۰	۰۸	۸	۷/۵۰	۹/۰۰	–	–	–
۱۰	۱۰	۹/۵۰	۱/۰	۱۰	۹/۳۰	۱۱/۳۰	–	–	–
۱۲	۱۲	۱۱/۴۰	۱/۲	۱۲	۱۱/۰۰	۱۳/۵۰	–	–	–
۱۴	۱۴	۱۳/۴۰	۱/۴	۱۴	۱۳/۰۰	۱۵/۵۰	۱۴	۱۳/۲۰	۱۵/۷۰
۱۶	۱۶	۱۵/۳۰	۱۶	۱۶	۱۵/۰۰	۱۸/۰۰	۱۶	۱۵/۲۰	۱۸/۲۰
۱۸	۱۸	۱۷/۳۰	۱۸	۱۸	۱۷/۰۰	۲۰/۰۰	۱۸	۱۷/۲۰	۲۰/۲۰
۲۰	۲۰	۱۹/۲۰	۲/۰	۲۰	۱۹/۰۰	۲۲/۰۰	۲۰	۱۹/۲۰	۲۲/۲۰
۲۲	۲۲	۲۱/۲۰	۲/۲	۲۲	۲۱/۰۰	۲۴/۰۰	۲۲	۲۱/۲۰	۲۴/۲۰
۲۵	۲۵	۲۴/۰۳	۲۵	۲۵	۲۴/۰۰	۲۷/۰۰	۲۵	۲۴/۲۰	۲۷/۲۰
۲۸	۲۸	۲۶/۹۰	۲/۸	۲۸	۲۶/۵۰	۳۰/۵۰	۲۸	۲۶/۸۰	۳۰/۸۰
۳۲	۳۲	۳۰/۷۸	۳/۲	۳۲	۳۰/۵۰	۳۴/۵۰	–	–	–
۳۶	۳۶	۳۴/۸۰	۳۶	۳۶	۳۴/۵۰	۳۹/۵۰	–	–	–
۴۰	۴۰	۳۸/۵۰	۴/۰	۴۰	۳۸/۵۰	۴۳/۵۰	–	–	–

۹ – ۴ – ۷ – ۳ در هریک از آزمونه‌های مذکور در بندهای ۹– ۴–۷–۱ و ۹– ۴– ۷–۲ باید تمامی روابط زیر برقرار باشد:

$$f_{su} \geq ۱/۱۸ \, (f_{y,obs})_i \qquad (۶ – ۴ – ۹)$$

$$(f_{su,obs})_i \geq ۱/۲۵ f_{yk} \qquad (۷ – ۴ – ۹)$$

$$\left| (f_{y,obs})_i - f_{yk} \right| \leq ۱۲۵ \text{ MPa} \qquad (۸ – ۴ – ۹)$$

$$(f_{su,obs})_i \geq ۱/۲۵ \, (f_{y,obs})_i \qquad (۹ – ۴ – ۹)$$

۹ – ۴ – ۷ – ۴ به‌عنوان ضابطه شکل‌پذیری، ازدیاد طول نسبی دو طول معیار، یکی به‌طول ۱۰ برابر و دیگری به‌طول ۵ برابر قطر میلگرد (یعنی $\varepsilon_{۱۰}$ و $\varepsilon_{۵}$)، باید حداقل برابر با مقادیر مندرج در جدول ۹ – ۴ – ۴ باشد.

جدول ۹ – ۴ – ۴ حداقل مجاز ازدیاد طول نسبی میلگردهای فولادی در آزمایش کشش(برحسب درصد)

رده فولاد / ازدیاد طول نسبی	S ۲۴۰	S ۳۴۰	S ۴۰۰	S ۵۰۰
حداقل مقدار مجاز $\varepsilon_{۱۰}$	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۸
حداقل مقدار مجاز $\varepsilon_{۵}$	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۰

۹ – ۴ – ۷ – ۵ به‌عنوان ضابطه شکل‌پذیری، میلگردها باید با مشخصات و اندازه‌های مندرج درجدول ۹ – ۴ – ۵ تحت آزمون خمش قرار گیرند.

جدول ۹ – ۴ – ۵ زاویه خمش و نسبت قطر خمش به قطر اسمی میلگردها در آزمایش خمش میلگردهای فولادی

رده	زاویهٔ خمش (درجه)		نسبت قطر فک خمش به قطر اسمی میلگرد
	خمش سرد	خمش مجدد	
S ۲۴۰	۱۸۰	۹۰	۲
S ۳۴۰	۱۸۰	۹۰	۳
S ۴۰۰	۱۸۰	۹۰	۵
S ۵۰۰	۹۰	۹۰	۵

آزمون خمش به‌دو صورت خمش سرد و خمش مجدد صورت می‌گیرد.

آزمون خمش سرد بر روی نمونه‌هایی با طول حداقل ۲۵۰ میلی‌متر که مستقیماً از خط تولید به‌دست آمده و هیچ‌گونه عملیات مکانیکی (ازجمله تراشکاری) بر روی آن اعمال نشده است انجام می‌شود. روش آزمون خمش سرد مطابق استاندارد ملی ایران به‌شماره ۱۰۱۶ صورت می‌گیرد.

در آزمون خمش مجدد، نمونه‌های آزمون که مشابه نمونه‌های خمش سرد است، به‌میزان ۹۰ درجه در دمای محیط خم و سپس نمونه به‌مدت حداقل نیم‌ساعت تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود. پس از آنکه نمونه سرد شده و به‌دمای محیط رسید آن را با نیروی پیوسته و یکنواخت، به‌میزان ۲۰ درجه برمی‌گردانند.

میلگرد زمانی از نظر هر یک از آزمون‌های خمش قابل قبول تلقی می‌گردد که پس از خمش، هیچ‌گونه ترک، شکستگی یا سایر عیوب (مطابق استانداردهای ملی مربوطه) در آن ایجاد نگردد و مشاهده نشود.

۹ – ۴ – ۸ سایر مشخصات

۹ – ۴ – ۸ – ۱ درصورتی‌که قرار است در میلگردها از وصله جوشی استفاده شود، باید این میلگردها تحت آزمایش جوش‌پذیری قرار گیرند. در این آزمایش نمونه‌های جوش‌شده باید تحت آزمایش کشش و خمش قرار گیرند.

در آزمایش کشش، زمانی میلگرد از نظر جوش‌پذیری قابل قبول تلقی می‌گردد که مقطع گسیخته‌شده، در محل جوش یا در مجاورت آن نباشد. در آزمایش خمش، زمانی میلگرد از نظر جوش‌پذیری قابل قبول تلقی می‌گردد که پس از خم کردن، ترکی در منطقه جوش شده و خود جوش به‌وجود نیاید.

۹ – ۴ – ۸ – ۲ در مورد میلگردهایی که تا حد پوسته شدن زنگ زده باشند، به‌ویژه میلگردهایی که به‌طور موضعی و عمیق دچار خوردگی شده باشند باید پس از ماسه‌پاشی آزمایش‌های (الف) و (ب) بر روی نمونه‌های آنها انجام شود:

الف) آزمایش و کنترل مجدد موارد مذکور در بند ۹ ـ ۴ ـ ۷

ب) اندازه‌گیری مجدد قطر اسمی میلگردها و مطابقت آن با رواداری‌های مذکور در استاندارد ۳۱۳۲ ملی ایران

در صورتی که میلگردهای پوسته‌شده ضوابط (الف) و (ب) را برآورده نسازند، غیرقابل قبول تلقی می‌شوند.

۹ – ۴ – ۸ – ۳ میلگردهایی که دچار خم و اعوجاج شدید شده‌اند فقط هنگامی قابل مصرف می‌باشند که مجدداً تحت آزمایش خمش قرار گرفته و ضوابط مزبور را برآورده سازند.

۹ – ۴ – ۹ تواتر نمونه‌برداری

تعداد و تواتر نمونه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر روی آنها معرف کیفیت کل آرماتور مصرفی و حداقل به‌میزان ذکر شده در (الف) تا (پ) این بند باشند:

الف) به‌ازای هر پانصد کیلونیوتن وزن میلگرد و کسر آن یک سری نمونه

ب) از هر قطر یک سری نمونه

پ) از هر نوع فولاد یک سری نمونه

بر روی هر سری نمونه، باید آزمایش‌های مذکور در بندهای ۹ – ۴ – ۷ و ۹ –۴ – ۸ انجام شود.

۹ – ۴ – ۱۰ جوش‌پذیری

۱) قابلیت جوش‌پذیری میلگردها براساس مقدار کربن معادل آنها تعیین می‌شود. درصورتی‌که مقدار کربن معادل از ۰/۵۱ درصد کمتر باشد میلگرد قابل جوشکاری است و هرچه این مقدار کمتر باشد قابلیت جوش‌پذیری فولاد بیشتر است. حداکثر کربن معادل مجاز انواع فولادها در جدول ۹ – ۴ – ۶ آورده شده است. الکترود مناسب برای جوشکاری براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تعیین می گردد.

جدول ۹ – ۴ – ۶ حداکثر کربن معادل مجاز انواع فولادها

نوع فولاد	S ۲۴۰	S ۳۴۰	S ۴۰۰	S ۵۰۰
حداکثر کربن معادل (٪)	–	۰/۵۰	*	*

* میلگردهای رده S ۴۰۰ و S ۵۰۰ ، بسته به‌میزان قطر و کربن معادل آنها، ممکن است به‌پیشگرم کردن در هنگام جوشکاری نیاز داشته یا نداشته باشند. حداقل دمای پیشگرم میلگردها نیز به‌قطر و کربن معادل آنها بستگی دارد.

عملیات جوشکاری میلگردهای مصرفی در بتن در دمای زیر $-18^{\circ}C$ ممنوع است.

پس از پایان جوشکاری باید میلگرد به‌طور طبیعی سرد شده و به‌دمای محیط برسد. شتاب دادن به‌فرآیند سردشدن میلگردهای جوش‌شده ممنوع است.

۹ – ۴ – ۱۱ نشانه‌گذاری و بسته‌بندی میلگردها

میلگردهای S ۲۴۰ ، S ۳۴۰ و S ۴۰۰ با قطر ($d_b \leq ۱۲mm$) به‌صورت کلاف و یا به‌صورت شاخه مستقیم با طول‌های مساوی بسته‌بندی می‌شوند. قطر کلاف میلگردهای کلاف باید حداقل ۲۰۰ برابر قطر میلگرد باشد.

میلگردهای S۲۴۰ ، S۳۴۰ و S۴۰۰ با قطر ($d_b \geq ۱۴mm$) ، و نیز تمامی میلگردهای S۵۰۰ فقط به‌صورت شاخه مستقیم با طول‌های مساوی بسته‌بندی می‌شوند.

بر روی شاخه‌های میلگردهای آجدار تولیدی، به‌صورت یک در میان باید علامت مشخصه‌ای حک شود تا از روی آن نام کارخانه سازنده و نوع میلگرد معلوم شود.

هر یک از بسته‌های میلگرد باید دارای حداقل دو پلاک فلزی باشد که بر روی هریک از پلاک‌های مزبور مشخصات (الف) تا (ح) به‌صورتی خوانا حک و یا به‌صورتی که نتواند مخدوش شود نوشته شده باشد:

الف) شماره بسته
ب) نوع میلگرد (س ۲۴۰ ، آج ۳۴۰ ، ...)
پ) نمره میلگرد (قطر اسمی برحسب میلی‌متر)
ت) وزن بسته (برحسب کیلونیوتن)
ث) شماره ذوب یا بهر
ج) نشانه تأییدیه کنترل کیفیت از سوی کارخانه سازنده
چ) نام یا نشانه تجارتی کارخانه سازنده
ح) علامت استاندارد ملی ایران

۹ – ۴ – ۱۲ گواهینامه فنی

هر یک از محموله‌های بیش ۲۵۰ کیلونیوتن باید دارای گواهینامه فنی صادره از طرف تولیدکننده باشند و این گواهینامه همراه محموله به‌مصرف‌کننده تحویل شود. قید موارد (الف) تا (ر) این بند در گواهینامه فنی الزامی است:

الف) نام و نشانی کارخانه سازنده
ب) شماره گواهینامه
پ) تاریخ صدور گواهینامه
ت) علامت مشخصه نوع میلگرد
ث) شماره ذوب یا بهر
ج) نمره (قطر اسم) میلگرد
چ) طول اسمی شاخه‌ها
ح) تعداد بسته‌ها
خ) مشخصات فنی شیمیایی شامل ترکیبات شیمیایی و کربن معادل
د) مشخصات مکانیکی
ذ) رنگ انتخابی برای مقطع میلگرد
ر) نوع علامت حک شده و به‌کار رفته بر روی پلاک‌های الصاقی

۹ – ۴ – ۱۳ ضوابط حمل و نقل، انبارکردن و نگهداری

۹ – ۴ – ۱۳ – ۱ میلگردهای فولادی را باید در محل‌های تمیز و عاری از رطوبت و گل و خاک و سایر آلودگی‌ها نگهداری کرد تا از زنگ‌زدگی و کثیف شدن سطح آنها جلوگیری شود.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۲ از هر نوع صدمه مکانیکی یا تغییرشکل پلاستیک، نظیر بریدگی و ضربه و... ، جلوگیری شود.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۳ میلگردهای پوسته‌شده باید ماسه‌پاشی و پس از برآوردن ضوابط مذکور در بندهای ۹ – ۴ – ۷ و ۹ – ۴ – ۸ ، مصرف شوند. رفع پوسته‌ها با استفاده از برس سیمی و سایر روش‌های مشابه مجاز نیست.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۴ میلگردها باید به‌روشی حمل و انبار شوند که دچار خمیدگی بیش از حد نشوند.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۵ میلگردها نباید به‌طور مستقیم بر روی زمین انبار شوند.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۶ میلگردها باید بسته به‌قطر و رده آنها، به‌صورت مجزا انبار شوند.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۷ میلگردهایی‌که هنوز بریده یا خم نشده‌اند باید به‌گونه‌ای انبار و نگهداری شوند که برچسب و علامت کارخانه سازنده فولاد بر روی آنها قابل رؤیت باشد.

۹ – ۴ – ۱۳ – ۸ میلگردها باید به‌نحوی تخلیه شوند که هم به‌کارگران صدمه نزنند و هم خود صدمه نبینند.

۹ ـ ۵ استانداردهای مشخصات و آزمایش‌ها

۹ – ۵ – ۱ استانداردهای مربوط به‌این مبحث

در ایـن فـصل، فهرسـت مشخـصات و آزمـایش‌هـای اسـتاندارد ارائـه شـده اسـت. ایـن استانداردها تا حد امکان براساس مشخصات و آزمایش‌های مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه شده‌اند.

شماره‌ها و عناوین استانداردهای : سیمان و ملات			
ردیف	مشخصات / آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	مشخصات	سیمان پرتلند	۳۸۹
۲	مشخصات	سیمان پرتلند روباره‌ای	۳۵۱۷
۳	مشخصات	سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی	۳۴۳۲
۴	مشخصات	سیمان منبسط شونده	*
۵	آزمایش	مقدار بهینه SO_3 در سیمان پرتلند	۱۶۹۴
۶	آزمایش	نمونه‌گیری از سیمان	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: سیمان و ملات			
ردیف	مشخصات / آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۷	آزمایش	تجزیه شیمیایی سیمان	۱۶۹۲ ۱۶۹۳ ۱۶۹۴ ۱۶۹۵
۸	آزمایش	جرم مخصوص سیمان به‌وسیله نفوذ هوا	*
۹	آزمایش	نرمی سیمان (نفوذ هوا) (بلین)	۳۹۰
۱۰	آزمایش	نرمی سیمان (کدری‌سنج واگنر)	*
۱۱	آزمایش	اختلاط مکانیکی‌خمیرهای سیمان و ملات	*
۱۲	آزمایش	میز جاری شدن	*
۱۳	آزمایش	زمان گیرش سیمان به‌وسیله سوزن ویکا	۳۹۲
۱۴	آزمایش	زمان گیرش سیمان به‌وسیله سوزن گیلمور	*
۱۵	آزمایش	مقدار هوای ملات	*
۱۶	آزمایش	روانی و زمان گیرش سیمان	*
۱۷	آزمایش	مقاومت‌کششی ملات	*
۱۸	آزمایش	مقاومت خمشی ملات	۳۹۳
۱۹	آزمایش	مقاومت فشاری ملات (آزمایش‌نمونه مکعبی)	*
۲۰	آزمایش	مقاومت فشاری ملات (آزمایش نمونه منشوری)	۳۹۳
۲۱	آزمایش	آب انداختن خمیرهای سیمان و ملات	*
۲۲	آزمایش	گرمای آبگیری سیمان	۳۹۴
۲۳	آزمایش	انبساط سیمان در اتوکلاو (آزمایش سلامت)	۳۹۱
۲۴	آزمایش	تغییر طول ملات و بتن سخت‌شده	*
۲۵	آزمایش	قابلیت انبساط سولفاتی ملات‌ها	*
۲۶	آزمایش	انبساط مقید سیمان منبسط‌شونده	*
۲۷	آزمایش	جمع‌شدگی خشک شدن ملات	*
۲۸	مشخصات	سیمان سوپر سولفات	*
۲۹	مشخصات	سیمان آمیخته آهکی	۴۲۲۰
۳۰	مشخصات	سیمان بنایی	۳۵۱۶
۳۱	مشخصات	مشخصات ملات بنایی	*
۳۲	آزمایش	سختی اولیه سیمان پرتلند (روش ملات)	*

۹ – ۵ استانداردهای مشخصات و آزمایش‌ها

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: سنگدانه‌ها			
ردیف	مشخصات / آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	مشخصات	سنگدانه‌های بتن	۳۰۲
۲	مشخصات	سنگدانه‌ها برای بتن حفاظت‌کننده در برابر تشعشع	*
۳	مشخصات	سبکدانه‌ها برای بتن سازه‌ای	*
۴	آزمایش	نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها	*
۵	آزمایش	آزمایش سنگ‌شناسی	*
۶	آزمایش	دانه‌بندی با الک	۴۴۷
۷	آزمایش	مقدار کل رطوبت	*
۸	آزمایش	رطوبت سطحی سنگدانه‌های ریز	*
۹	آزمایش	وزن مخصوص	*
۱۰	آزمایش	چگالی و جذب آب سنگدانه‌های درشت	۶۱۱ ۵۷۸
۱۱	آزمایش	چگالی و جذب آب سنگدانه‌ای ریز	۱۶۸۶
۱۲	آزمایش	سلامت سنگدانه‌ها	۴۴۹
۱۳	آزمایش	ارزیابی مقاومت سنگدانه‌های درشت در برابر یخبندان در بتن با حباب هوا	۵۷۸
۱۴	آزمایش	ضربه و خرد شدن	۶۶۹
۱۵	آزمایش	مقاومت در برابر سایش (ماشین لوس‌آنجلس)	۴۴۸
۱۶	آزمایش	ناخالصی‌های آلی در ماسه	*
۱۷	آزمایش	اثر ناخالصی‌های‌آلی روی مقاومت	*
۱۸	آزمایش	مصالح ریزتر از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرومتر)	۴۴۶
۱۹	آزمایش	تکه‌های سبک	*
۲۰	آزمایش	دانه‌های پولکی و سوزنی	*
۲۱	آزمایش	کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	*
۲۲	آزمایش	سنگدانه برای ملات بنایی	۲۹۹
۲۳	آزمایش	دانه‌های نرم	*
۲۴	آزمایش	قابلیت واکنش قلیایی مخلوط‌های سیمان و سنگدانه (روش منشور ملات)	*
۲۵	آزمایش	واکنش قلیایی سنگدانه (منشورهای بتنی)	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: سنگدانه‌ها			
ردیف	مشخصات / آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۲۶	آزمایش	قابلیت واکنش‌زایی سنگدانه(روش شیمیایی)	*
۲۷	آزمایش	واکنش قلیایی بالقوه سنگ‌های کربناتی	*
۲۸	آزمایش	قابلیت تغییرات حجمی مخلوط‌های سیمان و سنگدانه‌ها	*
۲۹	آزمایش	کنترل واکنش قلیایی سنگدانه با استفاده از مواد افزودنی معدنی	*
۳۰	آزمایش	مقدار کل یون سولفات قابل حل در آب	*
۳۱	آزمایش	مقدار کلرید سنگدانه	*
۳۲	آزمایش	ارزش ماسه‌ای خاک و سنگدانه‌های ریز	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: آب			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	مشخصات	تعاریف واژه‌هایی که به‌آب ارتباط دارند	*
۲	آزمایش	کلسیم و منیزیم در آب	*
۳	آزمایش	pH آب و فاضلاب	*
۴	آزمایش	اسیدی یا قلیایی‌بودن آب	*
۵	آزمایش	ذرات معلق و مواد محلول در آب	*
۶	آزمایش	یون کلرید در آب و فاضلاب	*
۷	آزمایش	یون سولفات در آب‌های زیرزمینی	*
۸	آزمایش	کیفیت آب مصرفی در بتن	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: مواد افزودنی و مواد جایگزین سیمان			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	مشخصات	مواد افزودنی شیمیایی	*
۲	مشخصات	مواد افزودنی حباب‌ساز	*
۳	مشخصات	خاکستر بادی و پوزولان‌های طبیعی‌خام یا تکلیس‌شده	۳۴۳۳
۴	مشخصات	ضوابط کلرید کلسیم	*
۵	آزمایش	نمونه‌گیری و آزمایش‌کلرید کلسیم	*
۶	آزمایش	مواد افزودنی حباب‌ساز	*
۷	آزمایش	نمونه‌برداری و آزمایش‌خاکستربادی یا پوزولان‌های‌طبیعی	*
۸	مشخصات	مواد افزودنی شیمیایی برای تولید بتن سیال	*
۹	مشخصات	دوده سیلیسی مصرفی در بتن و ملات	*
۱۰	مشخصات	روباره‌دانه‌ای کوره آهن‌گدازی برای مصرف در بتن و ملات	*
۱۱	مشخصات	افزودنی رنگدانه‌ای برای تولید بتن رنگی	*
۱۲	مشخصات	افزودنی‌های مصرفی برای بتن‌پاشی	*
۱۳	آزمایش	زمان گیرش خمیر سیمان حاوی افزودنی تسریع‌کننده فوری گیرش مصرفی در شات‌کریت با سوزن گیلمور	*
۱۴	آزمایش	فعالیت هیدرولیکی روباره از طریق واکنش با قلیایی‌ها	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: بتن تازه			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	مشخصات	بتن آماده	۶۰۴۴
۲	آزمایش	نمونه‌برداری بتن تازه	۴۸۹
۳	آزمایش	ساختن و عمل‌آوردن نمونه‌های آزمایشی بتنی در آزمایشگاه	۵۸۱
۴	آزمایش	ساختن و عمل‌آوردن نمونه‌های آزمایشی بتن در کارگاه	*
۵	آزمایش	آزمایش اسلامپ	۴۹۲
۶	آزمایش	آزمایش روان‌سنجی وی- بی	*
۷	آزمایش	نفوذ گلوله در بتن تازه (گلوله‌کلی)	۵۱۱
۸	آزمایش	آزمایش ضریب تراکم	*
۹	آزمایش	وزن مخصوص، بازدهی و مقدار هوا (اندازه‌گیری وزنی)	*
۱۰	آزمایش	مقدار هوای بتن تازه(اندازه‌گیری حجمی)	*
۱۱	آزمایش	مقدار هوای بتن تازه (روش فشاری)	*
۱۲	آزمایش	تجزیه بتن تازه	*
۱۳	آزمایش	آب انداختن	*
۱۴	آزمایش	زمان گیرش به‌وسیله مقاومت در برابر نفوذ	*
۱۵	آزمایش	تغییرات حجمی اولیه	*
۱۶	آزمایش	نگهداری آب به‌وسیله مواد عمل‌آورنده بتن	*
۱۷	آزمایش	بتن ساخته‌شده به‌وسیله پیمانه‌کردن‌حجمی و اختلاط پیوسته	*
۱۸	مشخصات	مواد مایع عمل‌آورنده بتن	*
۱۹	مشخصات	مواد غشایی عمل‌آورنده بتن	*
۲۰	مشخصات	دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی در بتن پاشیده	*
۲۱	آزمایش	ارزیابی اثر مواد عمل‌آورنده بتن	*
۲۲	آزمایش	نمونه‌گیری از بتن پاشیده	*
۲۳	آزمایش	زمان گیرش بتن پاشیده به‌وسیله مقاومت در برابر نفوذ	*
۲۴	آزمایش	تهیه و آزمایش نمونه از ورقه‌های بتن پاشیده	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: بتن سخت‌شده			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	آزمایش	کلاهک‌گذاری نمونه‌های استوانه‌ای	*
۲	آزمایش	مقاومت فشاری	*
۳	آزمایش	مقاومت فشاری بتن (نمونه منشوری)	*
۴	آزمایش	آزمایش‌های فشاری بتن بدون اسلامپ	*
۵	آزمایش	عمل‌آوردن تسریع‌شده و آزمایش بتن	*
۶	آزمایش	مقاوت کششی دونیم‌کردن	*
۷	آزمایش	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در نقاط یک‌سوم دهانه	۴۹۰
۸	آزمایش	مقاومت خمشی بتن با استفاده از تیر ساده با بارگذاری متمرکز در وسط دهانه	*
۹	آزمایش	تعیین خشک‌شدگی، جمع‌شدگی، و حرکت رطوبت	*
۱۰	آزمایش	مدول الاستیسیته استاتیکی و نسبت پواسون	۵۲۵
۱۱	آزمایش	فرکانس‌های اصلی، عرضی، طولی و پیچشی	*
۱۲	آزمایش	ویژگی‌های مکانیکی تحت اثر بارهای سه محوری	*
۱۳	آزمایش	وارفتگی بتن در فشار	*
۱۴	آزمایش	تغییر طول نمونه‌های مته یا اره‌شده	*
۱۵	آزمایش	چگالی، جذب آب و فضاهای خالی	*
۱۶	آزمایش	تعیین میکروسکوپی سیستم حباب‌های هوا	*
۱۷	آزمایش	عیار سیمان بتن سخت‌شده	*
۱۸	آزمایش	مقاومت در برابر یخزدن و آب شدن سریع	*
۱۹	آزمایش	اتساع بحرانی بتن در اثر یخبندان	*
۲۰	آزمایش	مقاومت در برابر سایش به‌وسیله ماسه‌پاشی	*
۲۱	آزمایش	مقاومت سایشی سطوح افقی	*
۲۲	آزمایش	مقاومت پوسته شدن بتن در معرض مواد شیمیایی یخزدا	*
۲۳	آزمایش	پیوستگی ایجادشده با میلگردهای فولادی	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: بتن سخت‌شده			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۲۴	آزمایش	امتحان و نمونه‌برداری از بتن در عملیات اجرایی	*
۲۵	آزمایش	آزمایش مغزه‌های مته‌شده و تیرهای اره‌شده	*
۲۶	آزمایش	عدد بر جهندگی	*
۲۷	آزمایش	مقاومت در برابر نفوذ	*
۲۸	آزمایش	آزمایش بتن به‌روش فراصوتی	*
۲۹	آزمایش	مقاومت در برابر بیرون کشیدن	*
۳۰	آزمایش	تجزیه بتن سخت‌شده	*
۳۱	آزمایش	دستگاه‌های الکترومغناطیسی اندازه‌گیری پوشش	*
۳۲	آزمایش	رادیوگرافی با اشعه گاما	*
۳۳	آزمایش	کلر قابل حل در آب موجود در بتن و ملات	*
۳۴	آزمایش	کلر قابل حل در اسید موجود در بتن و ملات	*
۳۵	آزمایش	مقاومت در مقابل نفوذ یون کلر با روش الکتریکی	*
۳۶	آزمایش	فعالیت خوردگی میلگرد بدون پوشش در بتن	*
۳۷	آزمایش	آزمایش جذب آب بتن	*
۳۸	آزمایش	آزمایش نفوذ آب	*

شماره‌ها و عناوین استانداردهای: فولاد			
ردیف	مشخصات/ آزمایش	عنوان	استاندارد ملی ایران
۱	آزمایش	آزمایش کششی میلگرد	*
۲	آزمایش	آزمایش کششی بعد از خم کردن و باز کردن خم (برای میلگرد و سیم به‌قطر کمتر از ۹ میلی‌متر)	*
۳	آزمایش	آزمایش خم کردن و باز کردن خم	*
۴	آزمایش	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش تیر)	*
۵	آزمایش	آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (آزمایش بیرون کشیدن میلگرد)	*
۶	آزمایش	آزمایش وصله‌های جوش‌شده میلگرد	*
۷	آزمایش	آزمایش خستگی میلگرد	*

*: تا زمانی‌که استاندارد مربوطه تدوین نگردیده است، از استانداردهای معتبر بین‌المللی (BS,ASTM و EN) استفاده گردد.

۹ـ۶ کیـفیت بتن

۹ ـ ۶ ـ ۰ علایم اختصاری

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، براساس آزمونه‌های استوانه‌ای، مگاپاسکال

f_{cm} = مقاومت فشاری متوسط لازم (مقاومت متوسط هدف) بتن، مگاپاسکال

x_i = مقاومت فشاری نمونه i ام

s = انحراف استاندارد مقاومت فشاری نمونه‌ها

x_m = میانگین مقاومت فشاری سه نمونه

x_{min} = کمترین مقاومت فشاری نمونه‌ها

$r_۱$ = ضریب تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای استاندارد به‌مقاومت نظیر نمونه استوانه‌ای غیراستاندارد

$r_۲$ = ضریب تبدیل مقاومت نمونه مکعبی به‌ابعاد ۲۰۰ میلی‌متر، به‌مقاومت نظیر نمونه مکعبی به‌ابعاد غیر از ۲۰۰ میلی‌متر

r_3 = ضریب تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای استاندارد، به‌مقاومت نظیر نمونه مکعبی به‌ابعاد ۲۰۰ میلی‌متر

a = قطر نمونه استوانه‌ای

b = بعد نمونه مکعبی

۹ – ۶ – ۱ کلیات

۹ – ۶ – ۱ – ۱ کیفیت بتن از نظر مقاومت، پایایی و سایر نیازهای ویژه محیطی باید با ضوابط مندرج در این فصل مطابقت داشته باشد. تطابق ویژگی‌های مواد تشکیل‌دهنده بتن با ضوابط مندرج در فصل سوم این مبحث و نیز مفاد مبحث پنجم مقررات ملی ساختمانی ایران تحت عنوان «مصالح و فرآورده‌های ساختمانی» الزامی است.

۹ – ۶ – ۱ – ۲ تعیین نسبت‌های اختلاط بتن در آزمایشگاه باید طوری باشد که مقاومت فشاری متوسط مورد نظر مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ به‌دست آید. بتن باید طوری ساخته شود که تعداد آزمونه‌هایی که مقاومتی کمتر از مقاومت متوسط فشاری لازم، مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ نشان می‌دهند، حداقل باشد.

۹ – ۶ – ۱ – ۳ نمونه استوانه‌ای استاندارد به‌ابعاد ۳۰۰ ×۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. در صورت استفاده از آزمونه‌های غیر، باید مقاومت آنها به‌مقاومت نظیر آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد تبدیل شود. برای تبدیل مقاومت نمونه‌های غیراستاندارد به‌استاندارد از ضرایب تبدیل r_1 , r_2 , r_3 مطابق جدول‌های ۹ – ۶ – ۰ – ۱ تا ۹ – ۶ – ۰ – ۳ استفاده می‌گردد.

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۱ مقادیر r_1

a×۲a	۱۰۰ ×۲۰۰	۱۵۰ ×۳۰۰	۲۰۰ ×۴۰۰	۲۵۰ ×۵۰۰	۳۰۰ ×۶۰۰
r_1	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۲ مقادیر r_2

b مکعبی	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
r_2	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۳ مقادیر r_3

مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤ ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
r_3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

۹ – ۶ – ۱ – ۴ تهیه و آزمایش آزمونه‌های استوانه‌ای بتن باید مطابق استانداردهای مندرج در بند ۹ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ الی ۹ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ باشد:

۹ – ۶ – ۱ – ۴ – ۱ «روش نمونه‌برداری از بتن تازه»، استاندارد ملی ایران به‌شماره ۴۸۹، برای نمونه‌برداری

۹ – ۶ – ۱ – ۴ – ۲ «روش ساختن و عمل‌آوردن آزمونه بـتن در کارگـاه»، مطـابق استانداردهای معتبر بین‌المللی برای ساختن آزمونه‌ها

۹ – ۶ – ۱ – ۴ – ۳ «روش آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های اسـتوانه‌ای بـتن» مطابق استانداردهای معتبر بین‌المللی

۹ – ۶ – ۱ – ۵ مقاومت فشاری مشخصه بتن مقاومتی است که حداکثر ۵ درصد تمامی مقاومت‌های اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد براساس آزمایش‌های ۲۸ روزه کمتر از آن باشد.

۹ – ۶ – ۱ – ۶ آزمایش‌های مقاومت کششی بتن نباید مبنای پذیرش بتن در کارگاه باشد.

۹ – ۶ – ۱ – ۷ دستگاه نظارت باید تا خاتمه دوره تضمین و حداقل یک‌سال پس از پایان کار هر پروژه، سابقه کامل نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی بتن مصرفی را نگهداری و سپس به کارفرما تحویل دهد. ضبط و نگهداری این اطلاعات به‌صورت رایانه‌ای برای ساختمان‌های مهم الزامی است.

۹ – ۶ – ۲ مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط بتن

۹ – ۶ – ۲ – ۱ تعیین نسبت‌های اختلاط بتن باید به‌گونه‌ای باشد که شرایط بند ۹ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ الی ۹ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ را برآورده سازد:

۹ – ۶ – ۲ – ۱ – ۱ کارایی و روانی بتن به‌اندازه کافی باشد تا بتن بتواند به‌سهولت در قالب‌ها ریخته شود و به‌خوبی میلگردها را در برگیرد بدون اینکه جدایی دانه‌ها یا آب انداختن زیاد روی دهد.

۹ – ۶ – ۲ – ۱ – ۲ ملزومات پایایی بتن برای شرایط محیطی مختلف باید مطابق بند ۹ – ۶ – ۳ باشد.

۹ – ۶ – ۲ – ۱ – ۳ مقاومت متوسط هدف و مقاومت مشخصه بتن تأمین شود.

۹ – ۶ – ۲ – ۲ نسبت‌هـای اخـتلاط مـواد تـشکیل‌دهنـده بـتن براسـاس تجـارب کارگاهی و استفاده از مخلوط‌های آزمایشی در آزمایشگاه مبتنی بر روش‌های متداول بـا مصالح مصرفی کارگاه تعیین می‌شوند.

۹ – ۶ – ۳ پایایی بتن

۹ – ۶ – ۳ – ۱ کلیات

پایایی یا دوام بتن ساخته‌شده از سیمان پرتلند به‌توانایی بتن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هرگونه فرآیند منجر به‌اضمحلال و تخریب اطلاق می‌شود. بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر، شـکل، حـداقل کیفیـت اولیـه و قابلیـت بهره‌برداری مورد نظر از سازه‌های بتنی را حفظ می‌کند.

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ انواع آسیب‌دیدگی‌های بتن

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ – ۱ آسیب‌دیدگی بر اثر دوره‌های یخ‌زدن و آب شدن

آسیب‌دیدگی بر اثر دوره‌های یخ‌زدن و آب شـدن در بـتن بـه‌صـورت تـرک‌خـوردگی و فروپاشی آن مشخص می‌شود. علت این آسیب دیدگی انبساط پیش‌رونده خمیر سـیمان سخت‌شده بر اثر دوره‌های یخ‌زدگی و آب شدن مکرر است.

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ – ۲ حمله سولفاتی

به‌علت نفوذ یون سولفات موجود در آب یا خاک مجاور بتن، مـوادی منبـسط‌شـونده در بتن ایجاد می‌شوند که با گذشت زمان باعث فروپاشی سطح بتن شده و خرابی بـه‌مـرور

به‌صورت پیش‌رونده به‌داخل بتن گسترش می‌یابد. به‌همین دلیل میزان یون سولفات موجود در آب و یا خاک باید بررسی‌شود.

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ – ۳ واکنش قلیایی سنگدانه‌ها

در برخی از حالات سنگدانه‌هایی از نوع خاص با اکسیدهای قلیایی سیمان واکنش داده که واکنش‌ها با انبساط بتن همراه است. در اثر این انبساط و در حضور رطوبت، بتن تحت تنش‌های داخلی قرار گرفته و ترک می‌خورد. این نوع آسیب‌دیدگی در تمامی جسم بتن ایجاد شده و به‌عکس آسیب‌دیدگی‌های دیگر که از سطح خارجی شروع می‌شوند، از درون باعث تخریب بتن می‌شود. به‌همین دلیل سنگدانه‌های مشکوک به‌توانایی واکنش‌زایی مانند اوپال، کلسدونی، بعضی از اشکال کوارتز، کریستوبالیت، تری‌دیمیت و شیشه‌های سیلیسی باید مورد بررسی قرار گرفته و در صورت فعال بودن آنها از سیمانی با قلیایی معادل کمتر از ۰/۶ درصد برای واکنش قلیایی – سیلیسی و ۰/۴ درصد برای واکنش قلیایی کربناتی استفاده شود.

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ – ۴ خوردگی فولاد مدفون در بتن

اگر بنا به‌دلایلی‌که در ادامه ارایه می‌شوند لایه‌های محافظ خوردگی بتن در روی میلگردهای مدفون در آن از بین روند با حضور اکسیژن و آب، خوردگی در فولاد به‌صورت پیش‌رونده ادامه یافته و با افزایش حجم محصولات زنگ آهن در اطراف میلگردها، تنش‌های داخلی در بتن موجب ترک خوردن و ورآمدن آن می‌شود. علل آغاز خوردگی نفوذ یون کلرید و یا گاز دی‌اکسیدکربن به‌داخل بتن می‌باشد.

۹ – ۶ – ۳ – ۱ – ۱ – ۵ سایش و فرسایش

در اثر عبور وسایط نقلیه و یا حرکت آب از روی سطح بتن، آسیب‌دیدگی به‌صورت جـدا شدن ذراتی از سطح بتن آغاز و در نهایت به‌از بین رفتن قسمتی از بتن منجر می‌شـود. با افزایش مقاومت فشاری بتن می‌توان مقاومت سایشی و فرسایشی آن را افزایش داد.

۹ – ۶ – ۳ – ۲ مکانیزم‌های کاهنده پایایی

۹ – ۶ – ۳ – ۲ – ۱ دوره‌های یخزدن و آب شدن

یخزدن و آب شدن مکرر بتن در مناطق سردسیر باعث تخریب بتن مـی‌شـود. ایـن نـوع خرابی در اثر مواد شیمیایی یخزدا شدت می‌یابد.

۹ – ۶ – ۳ – ۲ – ۲ عوامل شیمیایی خورنده

برخی از مواد شیمیایی باعث ایجاد واکنش با مواد تشکیل‌دهنده بـتن مـی‌شـوند. مـواد اسیدی اثرات تخریبی بیشتری دارند. به‌همین دلیل مقابله با اثر خورنده اسیدهای قـوی مستلزم اتخاذ تدابیر ویژه حفاظتی است.

۹ – ۶ – ۳ – ۲ – ۳ سایش و فرسایش

در بعضی موارد سطح بتن دچار تخریب می‌شود و این امر به‌ویژه در کـف محوطـه‌هـای صنعتی مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. در سازه‌های آبی دانه‌های شن و ماسـه موجـود در آب جاری ممکن است موجب سایش سطوح شوند.

۹ – ۶ – ۳ – ۲ – ۴ سنگدانه‌های واکنش‌زا

برخی سنگدانه‌ها در اثر واکنش شیمیایی با مواد قلیایی موجود در سیمان پرتلند موجب انبساط و فروپاشی بتن می‌شوند. دقت در انتخاب منابع سنگدانه‌ها، استفاده از سیمان کم‌قلیا و بهره‌گیری از مواد پوزولانی می‌توانند مانع بروز این مشکلات شوند.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ ضوابط ویژه برای افزایش پایایی در شرایط محیطی مختلف

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۱ عوامل مؤثر بر کاهش نفوذپذیری بتن

برای افزایش پایایی بتن باید نفوذپذیری آن را با رعایت موارد (الف) الی (چ) تقلیل داد:

الف) استفاده از سیمان مناسب

ب) بهینه‌سازی عیار سیمان

پ) انتخاب صحیح و مناسب نسبت‌های اختلاط بتن

ت) استفاده از افزودنی‌های شیمیایی مانند روان‌کننده‌ها، مواد حباب هواساز و ...

ث) کاهش و محدود نمودن نسبت آب به‌مواد سیمانی (سیمان و پوزولان و مواد شبه‌سیمانی)

ج) تأمین حداکثر تراکم با وسایل و روش‌های مناسب

چ) عمل‌آوری دقیق و کافی با روش‌های مناسب

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۲ انواع شرایط محیطی

الف) شرایط محیطی ملایم: به‌شرایطی اطلاق می‌شود که در آن هیچ نوع عامل مهاجم از قبیل رطوبت، تعریق، تَر و خشک شدن متناوب، یخ‌زدن و ذوب شدن، سرد و گرم شدن متناوب، تماس با خاک مهاجم یا غیرمهاجم، مواد خورنده، فرسایش شدید،

عبور وسایل نقلیه یا ضربه موجود نباشد، یا قطعه در مقابل این‌گونه عوامـل مهـاجم به‌نحوی مطلوب محافظت شده باشد.

ب) شرایط محیطی متوسط: به‌شرایطی اطـلاق مـی‌شـود کـه در آن قطعـات بتنـی، در معرض رطوبت و گاهی تعریق قرار می‌گیرند.
قطعاتی که به‌طور دایم با خاک‌های غیرمهاجم یا آب تماس دارند یا زیـر آب بـا pH بزرگتر از ۵ قرار می‌گیرند، دارای شرایط محیطی متوسط تلقی می‌شوند.

پ) شرایط محیطی شدید: به‌شرایطی اطلاق می‌شود که در آن قطعات بتنی در معـرض رطوبت یا تعریق شدید یا تر و خشک شدن متناوب یا یخ زدن و آب شدن و سـرد و گرم شدن متناوب نه‌چندان شدید قرار می‌گیرند.
قطعاتی که در معرض پاشش آب دریا باشند یـا در آب غوطـه‌ور شـوند، طـوری‌کـه یک‌وجه آنها در تماس با هوا قرار گیرد، قطعات واقع در هوای دارای یون کلر و نیـز قطعاتی که سطح آنها در معرض خوردگی ناشی از مصرف مواد یخ‌زدا قرار می‌گیـرد دارای شرایط محیطی شدید محسوب می‌شوند.

ت) شرایط محیطی بسیار شدید: به‌شرایطی اطلاق می‌شود که در آن قطعـات بتنـی در معرض گازها، آب و فاضلاب ساکن با pH حداکثر ۵ ، مواد خورنده، یا رطوبت همراه با یخ زدن و آب شدن شدید قرار می‌گیرند، از قبیل نمونـه‌هـای ذکرشـده در مـورد شرایط محیطی شدید، در صورتی‌که عوامل مذکور حادتر باشند.

ث) شرایط محیطی فوق‌العاده شدید: به‌شرایطی اطلاق می‌شود که در آن قطعـات بتنـی در معرض فرسایش شدید، عبور وسایل نقلیه، یا آب و فاضلاب جاری با pH حداکثر ۵ قرار می‌گیرند. رویه بتن محافظت‌نشده پارکینگ‌ها و قطعات موجـود در آبـی کـه اجسام صلبی را با خود جابه‌جا می‌کند، دارای شرایط محیطی فوق‌العاده شدید تلقی می‌شوند. شرایط محیط جزایر و حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان به‌طور عمده جزو این شرایط محیطی قرار می‌گیرند.

۹ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳ ـ ۳ استفاده از مواد حباب‌ساز

بتنی که احتمال دارد در معرض یخزدن و آب شدن یا تحت اثر مـواد شـیمیایی یـخزدا قرار گیرد باید با مواد افزودنی حباب‌ساز ساخته شود. مقدار درصـد حبـاب هـوا در بـتن تازه باید طبق استاندارد ملی ۳۸۲۱ ایران اندازه‌گیری شده و مطابق جدول ۹-۶-۱ باشد. در صورتی‌که مقاومت فشاری بـتن، از ۳۵ مگاپاسـکال بیـشتر باشـد، مـی‌تـوان مقـادیر درج‌شده در جدول را به‌میزان یک درصد کاهش داد.

جدول ۹ ـ ۶ ـ ۱ مقدار کل حباب‌های هوا برای بتن مقاوم در برابر یخزدن و آب شدن

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلی‌متر)	مقدار درصد هوا* درشرایط محیطی	
	۱+	۲++
۹/۵	۷/۵	۶
۱۲/۵	۷	۵/۵
۱۹	۶	۵
۲۵	۶	۴/۵
۳۸	۵/۵	۴/۵
۵۰	۵	۴
۶۳	۴/۵	۳/۵

* رواداری مقدار هوا در محل‌مصرف ۱/۵ ± درصد است.

+ مقصود از شرایط محیطی ۱ آن است که بتن، قبل از یخ زدن در تماس تقریباً مداوم با رطوبت قرار گیرد یا تحت اثـر مواد شیمیایی یخزدا باشد. این حالت برای رویه‌های بتنی، عرشه‌های پل، پیاده‌روها و مخازن آب محتمل است.

++ مقصود از شرایط محیطی ۲ آن است که بتن، قبل از یخ زدن در هوای سرد فقط گاهی در تمـاس بـا رطوبـت قـرار گیرد یا تحت اثر مواد شیمیایی یخزدا نباشد. این حالت برای بعضی تیرها و دیوارهای خارجی و نیز دال‌هـایی کـه در تماس مستقیم با خاک نباشند محتمل است.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۴ محدودیت نسبت آب به‌سیمان، حداقل مقاومت و حداقل مقدار سیمان

بتن‌هایی که در معرض شرایط محیطی ویژه مندرج در جدول ۹ – ۶ – ۲ قرار می‌گیرند، باید ضوابط مربوط به‌حداکثر نسبت آب به‌سـیمان و حـداقل مقاومـت مشخـصه جـدول یادشده را تأمین نمایند.

جدول۹ – ۶ – ۲ الزامات بتن مسلح درشرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی یا موقعیت سازه	حداکثر نسبت آب به‌مواد سیمانی	حدافل مقاومت مشخصه بتن (مگاپاسکال)	حداقل مقدار سیمان در واحد حجم بتن (دکانیوتن برمتر مکعب)
متوسط	۰/۵	۳۰	۳۰۰
شدید	۰/۴۵	۳۰	۳۲۵
بسیار شدید	۰/۴	۳۵	۳۵۰
فوق‌العاده شدید	۰/۴	۴۰	۳۵۰

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۵ تدابیر احتیاطی در محیط‌های سولفاتی

بتنی که احتمال دارد در محیط سولفاتی، و نه محیط توأم سولفاتی و کلریدی قرار گیرد باید با ضوابط جدول‌های ۹ – ۶ – ۳ – الف و ۹ – ۶ – ۳ – ب، مطابقت داشته باشد. در این جدول‌ها رده‌بندی سولفات‌ها در خـاک در شـرایط گونـاگون محیطـی و نیـز تـدابیر احتیاطی قابل توصیه برای انواع مختلف قطعات بتنی ارایه شده است.

این بتن‌ها باید دارای مقاومت مناسب و نفوذپذیری کم و تا حد امکـان فاقـد مـواد آسیب‌پذیر باشند. برای تأمین این منظورها باید ملاحظات (الف) تا (ت) مد نظر باشد :

الف) برای ساختن بتن، از سیمان‌های پرتلند یا سیمان‌های پرتلند آمیخته مناسب نظیـر سیمان‌های پرتلند روباره‌ای، سیمان‌های پرتلند آمیخته با پوزولان‌های طبیعـی یـا مصنوعی استفاده شود.

ب) نسبت آب به‌سیمان، با استفاده از مواد افزودنی مناسب، نظیر روان‌کننده‌ها و فوق‌روان‌کننده‌ها کاهش داده شود.

پ) با کاربرد مواد سیلیسی ریزدانه فعال، نظیر دوده سیلیسی(برای برخی از سولفات‌ها) و خاکستر بادی، تا آنجا که ممکن است هیدروکسید حاصل از آبگیری سیمان به‌سیلیکات کلسیم تبدیل شود.

ت) در مناطقی‌که علاوه بر سولفات، آلوده به‌کلرید می‌باشند، باید در انتخاب نوع سیمان برای اعضا و قطعات بتن آرمه دقت بیشتری به‌عمل آید. به‌ویژه از کاربرد سیمان پرتلند نوع پنج به‌تنهایی، که حفاظت ناچیزی در مقابل نفوذ یون کلر به‌بتن و ممانعت از خوردگی میلگردها دارد، خودداری گردد.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۶ شرایط محیطی خورنده

درحالتی‌که احتمال دارد بتن آرمه در معرض آب دریا، آب‌های شور، یا نمک‌های یخ‌زدا قرار گیرد علاوه بر ضوابط ذکرشده در جدول ۹-۶-۲ ضوابط بند ۹-۶-۳-۳-۹ نیز در مورد حداقل پوشش باید رعایت شوند.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۷ مقدار مجاز سولفات‌ها در بتن

مقدار کل سولفات قابل حل در آب در مخلوط بتن، برحسب SO_3 نباید از ۴ درصد وزن سیمان بیشتر باشد و مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان در مخلوط تجاوز کند. مقدار سولفات موجود در بتن باید براساس مجموع مقادیر سولفات‌های موجود در مواد تشکیل‌دهنده بتن محاسبه شود.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۸ مقدار مجاز کلرید در بتن

به‌منظور حفاظت میلگردها در برابر خوردگی، حداکثر کلرید قابل حل در آب در بتن سخت‌شده ۲۸ روزه، ناشی از مواد تشکیل‌دهنده بتن یعنی آب، سنگدانه‌ها، مواد

شیمیایی و مواد افزودنی نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده‌شده در جدول ۹-۶-۴ تجـاوز کند.

جدول ۹ – ۶ – ۳ – الف رده‌بندی سولفات‌ها در خاک و تدابیر احتیاطی توصیه‌شده برای مقاطع بتنی نازک

رده‌بندی سولفات‌ها در شرایط گوناگون محیطی			تدابیر احتیاطی توصیه شده*	
	SO_3 در	SO_3 در خاک		
شرایط‌محیطی از نظرسولفات	آب‌های زیرزمینی (ppm)	مقدار کل (٪)	درعصاره ۲ به۱** (g/l)	مقاطع بتنی نازک در زیرزمین‌ها، آبروها، حفره‌های آدم‌رو	حداکثرنسبت آب به مواد سیمانی
ملایم	کمتر از ۳۰۰	کمتراز ۰/۲	*	الف) اگر کـل سـازه بـالاتر از سـفره آب قـرار گیرد از سیمان نوع ۱ استفاده شود.	۰/۵۵
				ب) اگر سازه تحت اثر فشار آب از بیرون قـرار گیرد، از سیمان نوع ۱ استفاده یـا بـه‌طریفـی دیگر، از سـفالت یـا قیرگـونی یـا سـایر مـواد غشاساز استفاده شود.	۰/۵۵
متوسط	۳۰۰ تا ۱۲۰۰	۰/۲ تا۰/۵	*	الف) اگر کـل سـازه بـالاتر از سـفره آب قـرار گیرد، از سیمان نوع ۱ استفاده شود	۰/۵
				ب) اگر سازه تحت اثر فشار آب از بیرون قـرار گیرد، از سیمان نوع ۱ استفاده شود.	۰/۵
				یا از سیمان نـوع ۵ یـا بـه طریقـی دیگـر ، از آسفالت یـا قیرگـونی یـا سـایر مـواد غـشاساز استفاده شود.	۰/۵
شدید***	۱۲۰۰ تا ۲۵۰۰	۰/۵ تا ۱	۱/۹ تا۳/۱	الف) اگر کـل سـازه بـالاتر از سـفره آب قـرار گیرد، از سیمان نوع ۱ اسـتفاده یـا از سـیمان نوع ۵ استفاده شود.	۰/۵
				ب ـ ۱) اگر سازه تحت اثر فشار آب از بیـرون قرار گیرد، از سیمان نوع ۵ استفاده شود	۰/۵
				ب ـ ۲) به طریقی‌دیگر، از آسفالت یا قیرگونی یا سایر مواد غشاساز می توان استفاده کرد.	*
بسیار شدید	۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰	۱ تا ۲	۳/۱ تا ۵/۶	الف) اگر کـل سـازه بـالاتر از سـفره آب قـرار گیرد و خاک همـواره خـشک بـاقی بمانـد، از سیمان نوع ۲ یـا از سـیمان نـوع ۵ اسـتفاده شود.	۰/۴۵
				ب) اگر سازه در تماس با سفره آب متغیر قرار گیرد، تعیین کاتیون‌ها ضروری است. تا به‌ایـن وسیله تصمیم لازم از نظر اسـتفاده از سـیمان نوع ۵^{+} ، سیمان آمیخته مناسب، آسـفالت ، قیرگونی یا سایر مواد غشاساز نفوذناپذیر اتخاذ شود.	*

جدول ۹ – ۶ – ۳ – الف رده‌بندی سولفات‌ها در خاک و تدابیر احتیاطی توصیه‌شده برای مقاطع بتنی نازک

(ادامه)

رده‌بندی سولفات‌ها در شرایط گوناگون محیطی				تدابیر احتیاطی توصیه شده*	
	SO_3 در	SO_3 در خاک			
شرایط‌محیطی از نظرسولفات	آب‌های زیرزمینی (ppm)	مقدار کل (٪)	در عصاره ۲ به ۱ ** (g/l)	مقاطع بتنی نازک در زیرزمین‌ها، آبروها، حفره‌های آدم‌رو	حداکثرنسبت آب به مواد سیمانی
فوق‌العاده شدید	بیشتر از ۵۰۰۰	بیشتر از ۲	بیشتر از ۵/۶	الف) اگر کل سازه بالاتر از سفره آب قرار گیرد و خاک همواره خشک باقی بماند، از سیمان نوع ۱ یا از سیمان نوع ۵ استفاده شود	۰/۴۵
				ب ـ ۱) اگر سازه در تماس با سفره آب متغیر قرار گیرد، ازسیمان آمیخته مناسب استفاده شود.	۰/۴
				ب ـ ۲) با استفاده از پوشش‌های آسفالتی یا روکش‌های پلاستیکی چسبنده محافظت‌های لازم به‌عمل آید.	ـ

* عیارهای سیمان توصیه‌شده در این جدول برای مخلوط‌هایی مناسبند که کارایی آنها متوسط باشد (اسلامپ بین ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر).

** منظور از عصاره ۲ به ۱، نسبت وزنی خاک به‌آب مساوی با ۲ است.

*** سیمان‌های پرتلند روباره‌ای یا سیمان‌های پرتلند پوزولانی با کمتر از ۲۵ درصد پوزولان را می‌توان جایگزین سیمان نوع ۵ دانست مشروط برآنکه مقدار SO_3 از ۱۲۰۰ قسمت در میلیون در آب (یا ۰/۵ درصد در خاک) تجاوز نکند. سیمان‌های پرتلند پوزولانی با بیش از ۲۵ درصد پوزولان را تنها در صورتی می‌توان جایگزین سیمان نوع ۵ درنظر گرفت که مقدار SO_3 از ۲۵۰۰ قسمت در میلیون در آب (یا ۱ درصد در خاک) تجاوز نکند.

+ اگر سازه در معرض آب‌های نفوذی باشد، مشابه سازه‌های در تماس با سفره آب متغیر در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۹ – ۶ – ۳ – ب رده‌بندی سولفات‌ها در خاک و تدابیر احتیاطی‌توصیه شده برای شمع‌های بتنی در جا

رده‌بندی سولفات‌ها در شرایط گوناگون محیطی			تدابیر احتیاطی توصیه شده *	
شرایط محیطی از نظر سولفات	SO_3 در آب‌های زیرزمینی (PPM)	SO_3 در خاک	مقاطع بتنی نازک در زیرزمین‌ها، آبروها، حفره‌های آدم‌رو	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی
		مقدار کل (٪) / در عصاره ۲ به ۱ ** (g/l)		
ملایم	کمتر از ۳۰۰	کمتر از ۰/۲ / –	الف) اگر شمع‌ها به تمامی بـالاتر از سـفره آب فرار گیرند از سیمان نوع ۱ استفاده شود	۰/۵۵
			ب) اگر شمع‌ها در تماس بـا سـفره آب متغیـر قرار گیرند از سیمان نوع ۱ استفاده شود.	۰/۵۵
متوسط	۳۰۰ تا ۱۲۰۰	۰/۲ تا ۰/۵ / –	الف) اگر شمع‌ها به تمامی بـالاتر از سـفره آب فرار گیرند از سیمان نوع ۱ استفاده شود	۰/۵۰
			ب) اگر شمع‌ها در تماس بـا سـفره آب متغیـر قرار گیرند از سیمان نوع ۱ یا از سیمان نوع ۵ استفاده شود	۰/۵۰
شدید ***	۱۲۰۰ تا ۲۵۰۰	۰/۵ تا ۱ / ۱/۹ تا ۳/۱	الف) اگر شمع‌ها به تمامی بـالاتر از سـفره آب فرار گیرند از سیمان نوع ۱ یا از سـیمان نـوع ۵ استفاده شود	۰/۵۰
			ب) اگر شمع‌ها در تماس بـا سـفره آب متغیـر قرار گیرند از سیمان نوع ۵ استفاده شود. فقط در مـورد شمع‌های باربـر انتهایی قابل اعـمال است.+	۰/۵۰
بسیار شدید	۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰	۱ تا ۲ / ۳/۱ تا ۵/۶	الف) اگر شمع‌ها به تمامی بـالاتر از سـفره آب قرار گیرند و خـاک همـواره از تـراوش آب در امان باشد، از سیمان نوع ۱ یا از سیمان نوع ۵ استفاده شود.	–
			ب) سولفات به مقـدار بـیش از ۳۰۰۰ قـسمت در میلیون در آب‌های زیر زمینی بسیار مهاجم تلقی می شود. تدابیر احتیـاطی ویـژه ای لازم است . برای مثال، استفاده از سـیمان آمیختـه مناسب، یا محافظـت جـدار شـمع هـای بـاربر انتهایی با پوشش‌های غشاساز را می‌توان نـام برد. نوع سیمان مصرفی بستگی به کـاتیون‌هـا دارد.	–

جدول ۹ – ۶ – ۳ – ب رده‌بندی سولفات‌ها در خاک و تدابیر احتیاطی‌توصیه شده برای شمع‌های بتنی درجا

(ادامه)

رده‌بندی سولفات‌ها در شرایط گوناگون محیطی			تدابیر احتیاطی توصیه شده *	
شرایط محیطی از نظر سولفات	SO_3 در آب‌های زیرزمینی (PPM)	SO_3 در خاک		حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی
		مقدار کل (٪)	در عصاره ۲به۱ ** (g/l)	مقاطع بتنی نازک در زیر زمین‌ها، آبروها، حفره‌های آدم‌رو	
فوق‌العاده شدید	بیشتر از ۵۰۰۰	بیشتر از ۲	بیشتر از ۵/۶	الف) اگر شمع‌ها به تمامی بالاتر از سفره آب قرار گیرند و خاک همواره از تراوش آب در امان باشد، از سیمان نوع ۱ یا از سیمان نوع ۵ استفاده شود.	۰/۴۵
				ب) سولفات‌های به مقدار بیش از ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در آب‌های زیرزمینی بسیار مهاجم تلقی می شود. تدابیر احتیاطی ویژه ای لازم است. برای مثال استفاده از سیمان آمیخته مناسب با محافظت جدار شمع های باربر انتهایی با پوشش های غشاساز را می توان نام برد. نوع سیمان مصرفی بستگی به کاتیون‌ها دارد.	-

* عیارهای سیمان توصیه‌شده در این جدول در مواردی مناسبند که کارایی بتن نسبتاً زیاد باشد (اسلامپ حدود ۱۰۰ میلی‌متر)

** ، *** ، به زیرنویس جدول ۹ – ۶ – ۳ الف رجوع شود.

+ حمله سولفات ممکن است موجب پدیدآمدن پوسته‌ای نازک روی سطح شمع و در نتیجه کاهش اصطکاک در جداره آن شود. بنابراین تدابیر احتیاطی مذکور در این‌مورد فقط برای شمع‌های باربر انتهایی معتبر است.

(۱) برای تعریف شرایط محیطی به بند ۹ – ۶ – ۳ – ۲ رجوع شود.

جدول۹ – ۶ – ۴ حداکثر مجاز یون‌کلرید از نظر خوردگی

نوع قطعه بتنی	حداکثر نسبت کلرید قابل حل در آب در بتن، به‌وزن سیمان برحسب درصد
بتن پیش‌تنیده	۰/۰۶
بتن آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت و کلریدها قرار گیرد	۰/۱۵
بتن آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در حالت خشک باشد یا از رطوبت محافظت شود.	۱/۰۰
سایر سازه های بتن آرمه	۰/۳۰

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ پوشش بتنی روی میلگردها

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۱ پوشش بتنی روی میلگردها برابر است بـا حـداقل فاصـله بین رویه میلگردها، اعم از طولی یا عرضی، تا نزدیک‌ترین سطح آزاد بتن.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۲ مراعـات ضـخامت پوشـش بتنـی مطـابق بنـد ۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۳ ، در مورد انتهای میلگردهای مستقیم در کف‌ها و سقف‌هایی که در معرض شرایط جوی یا تعریق نباشند الزامی نیست.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۳ ضـخامت پوشـش بتنـی میلگردهـا متناسـب بـا شـرایط محیطی و نوع قطعه مورد نظر نباید از مقادیر داده‌شده در جـدول ۹ – ۶ – ۵ و مـوارد (الف) و (ب) کمتر باشد:

الف) قطر میلگردها (در مورد قطر مؤثر گروه‌های میلگردها به‌بنـد ۹ – ۱۸ – ۲ – ۶ – ۲ رجوع شود.)

ب) چهارسوم بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۴ درصورتی‌که بتن در جوار دیواره خاکی مقاوم ریخته شود و به‌طور دایم با آن در تماس باشد، ضخامت پوشش نباید کمتر از ۷۵ میلی‌متر اختیار گردد.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۵ درصورتی‌که بتن دارای سطح فرورفته و برجسته (نقش‌دار یا دارای شکستگی) باشد، ضخامت پوشش باید در عمق فرورفتگی‌ها اندازه‌گیری شود.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۶ میلگردها و تمامی قطعات و صفحه‌های فولادی پیش‌بینی‌شده برای توسعه آتی ساختمان باید به‌نحوی مناسب در مقابل خوردگی محافظت شوند.

۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ – ۷ درصورتی‌که لازم باشد عضوی دارای درجه آتشبادی معینی باشد، حداقل ضخامت پوشش بتن محافظ میلگردها در برابر حریق باید ضوابط مندرج در فصل نوزدهم را تأمین نماید.

جدول ۹ – ۶ – ۵ مقادیر حداقل ضخامت پوشش بتن روی میلگردها (میلی‌متر)*

نوع قطعه	نوع شرایط محیطی				
	ملایم	متوسط	شدید	بسیار شدید	فوق‌العاده شدید
تیرها و ستون‌ها	۳۵	۴۵	۵۰	۶۵	۷۵
دال‌ها، دیوارها و تیرچه‌ها	۲۰	۳۰	۳۵	۵۰	۶۰
پوسته‌ها و صفحات پلیسه‌ای	۲۰	۲۵	۳۰	۴۵	۵۵
شالوده‌ها	۴۰	۵۰	۶۰	۷۵	۹۰

* مقادیر داده‌شده در جدول را می‌توان به‌استثنای شرایط محیطی بسیار شدید و فوق‌العاده شدید به‌اندازه ۵ میلی‌متر برای بتن‌های رده C۳۵ و C۴۰ یا ۱۰ میلی‌متر برای بتن‌های رده بالاتر کاهش داد، مشروط بر آن که ضخامت پوشش به‌هر حال از ۲۰ میلی‌متر کمتر نشود.

این مقادیر را باید برای میلگردهای با قطر بیشتر از ۳۶ میلی‌متر به‌اندازه ۱۰ میلی‌متر افزایش‌داد.

۹ – ۶ – ۴ تعیین نسبت‌های اختلاط براساس تجربه کارگاهی و مخلوط‌های آزمایشی

۹ – ۶ – ۴ – ۱ رده‌بندی بتن

رده‌بندی بتن براساس مقاومت فشاری مشخصه آن به‌ترتیب زیر است:

C۶ C۸ C۱۰ C۱۲ C۱۶ C۲۰ C۲۵ C۳۰ C۳۵
C۴۰ C۴۵ C۵۰

اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن برحسب مگاپاسکال می‌باشـند. در عمل، در شرایط اجرایی کارگاهی، در صورتی بتن منطبق بر مشخصات و قابل قبـول تلقی می‌شود که با شرایط بند ۹ – ۶ – ۵ مطابقت داشته باشد.

۹ – ۶ – ۴ – ۲ روش‌های تعیین نسبت‌های اختلاط

۹ – ۶ – ۴ – ۲ – ۱ برای بتن‌های پایین‌تر از رده C۲۰ می‌توان نسبت‌های اخـتلاط را براساس تجارب قبلی و بدون مطالعه آزمایشگاهی تعیین کرد و یا به‌شرط آنکه مصالح مصرفی استاندارد باشند، « نسبت‌های اختلاط استاندارد» مطابق دفترچه مشخصات فنی عمومی را ملاک قرار داد.

۹ – ۶ – ۴ – ۲ – ۲ برای بتن‌هـای رده C۲۰ و بـالاتر، تعیـین نـسبت‌هـای بهینـه اختلاط باید از طریق مطالعات آزمایشگاهی و با در نظر گرفتن ضوابط طراحـی براسـاس دوام صورت‌گیرد.

این مطالعات ممکن است قبل از شروع عملیات اجرایی توسط طراح انجام پذیرد و نتیجه به‌دست آمده به‌عنوان «نسبت‌های اختلاط مقرر» در دفترچه مشخصات فنی خصوصی درج شود، یا توسط مجری به‌انجام رسد و نتیجه به‌دست آمده به‌عنوان «نسبت‌های اختلاط تعیین‌شده» به‌کار رود.

۹ – ۶ – ۴ – ۳ انحراف استاندارد

۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۱ در مواردی‌که در کارگاه پرونده آزمایش‌های مقاومت بتن موجود باشد باید انحراف استاندارد نتایج محاسبه شود.
پرونده مذکور باید دارای شرایط (الف) تا (پ) باشد:

الف) نوع مصالح، روش کنترل کیفیت و شرایط مشابه آنچه در اجرای طرح مورد نظر است، در آن مشخص شود. تغییرات در مصالح و نسبت‌های اختلاط در پرونده مذکور نباید محدودیتی بیشتر از حدود تعیین‌شده در طرح مورد نظر داشته باشد.
ب) باید روش ساخت بتنی‌که مقاومت میانگین لازم مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ را دارد، مشخص‌کند.
پ) باید شامل نتایج آزمایش حداقل ۳۰ نمونه متوالی یا دو گروه نمونه‌های متوالی با مجموع حداقل ۳۰ آزمایش باشد، مگر آنکه شرایط بند ۹–۶–۴–۳–۲ تأمین شود. نمونه‌های متوالی به‌نمونه‌هایی گفته می‌شود که فاصله زمانی هر نمونه‌برداری با نمونه‌برداری بعد از آن بیشتر از ۳ شبانه‌روز نباشد.

۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۲ در مواردی که در کارگاه پرونده آزمایش‌های مقاومت مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۱ موجود نباشد، ولی نتایج ۱۵ تا ۲۹ آزمایش نمونه‌های متوالی در دست باشد می‌توان با ضرب کردن انحراف استاندارد این نتایج در ضریب اصلاح مطابق جدول ۹ – ۶ – ۶ ، انحراف استاندارد تقریبی قابل قبولی به‌دست آورد.

پرونده آزمایش‌ها در صورتی قابل قبول اسـت کـه شـرایط «الـف» و «ب» از بنـد ۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۱ را برآورده کند، و تنها یک گزارش از آزمایش نمونه‌های متوالی در مدت حداقل ۴۵ روز ارایه دهد.

جدول ۹ – ۶ – ۶ ضریب اصلاح انحراف استاندارد

تعداد آزمایش‌ها*	ضریب اصلاح برای انحراف استاندارد
۱۵	۱/۱۶
۲۰	۱/۰۸
۲۵	۱/۰۳
۳۰ یا بیشتر	۱/۰۰

* برای تعداد آزمایش‌های بین مقادیر داده‌شده، ضریب اصلاح با استفاده از درون‌یابی خطی محاسبه می‌شود.

۹ – ۶ – ۴ – ۴ مقاومت فشاری متوسط لازم

۹ – ۶ – ۴ – ۴ – ۱ مقاومت فشاری متوسط لازمی‌که به‌عنوان مبنای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن به‌کار می‌رود باید با توجه به‌انحراف استاندارد حاصل از بند ۹ – ۶ – ۴ – ۳ معادل مقدار بزرگتر از بین دو مقدار به‌دست آمده از روابط زیر باشد:

$$f_{cm} = f_c + ۱/۳۴\,s + ۱/۵\,MPa \qquad (۱ – ۶ – ۹)$$

$$f_{cm} = f_c + ۲/۳۳\,s - ۴\,MPa \qquad (۲ – ۶ – ۹)$$

۹ – ۶ – ۴ – ۴ – ۲ در مواردی که در کارگاه پرونده آزمایش‌های مقاومت برای تعیین انحراف استاندارد مطابق بندهای ۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۱ یا ۹ – ۶ – ۴ – ۳ – ۲

موجود نباشد، برای تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم باید از جدول ۹ – ۶ – ۷ استفاده شود. در این صورت تدوین مدارک مربوط به‌مقاومت متوسط باید مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۵ باشد.

جدول۹ – ۶ – ۷ مقاومت فشاری متوسط لازم درحالتی‌که نتایج برای تعیین انحراف استاندارد در دسترس نباشند

رده بتن	مقاومت فشاری متوسط لازم، مگاپاسکال
C۱۲ و پایین‌تر	$f_{cm} = f_c + ۶$
C۱۶	$f_{cm} = f_c + ۷/۵$
C۲۰	$f_{cm} = f_c + ۸/۵$
C۲۵	$f_{cm} = f_c + ۹/۵$
C۳۰ و C۳۵	$f_{cm} = f_c + ۱۰/۵$
C۴۰ و بالاتر	$f_{cm} = f_c + ۱۱$

۹ – ۶ – ۴ – ۵ تدوین مدارک مربوط به‌مقاومت فشاری متوسط

مجموعه مدارکی که نشان می‌دهند نسبت‌های پیشنهادی اختلاط، مقاومت فشاری متوسطی، حداقل معادل مقاومت فشاری متوسط لازم را تأمین می‌کند می‌تواند مشتمل بر پرونده‌ای از آزمایش‌های مقاومت در شرایط‌کارگاهی یا چند پرونده از آزمایش‌های مقاومت یا مخلوط‌های آزمایشی آزمایشگاهی باشد.

۹ – ۶ – ۴ – ۵ – ۱ پرونده آزمایش‌های مقاومت باید معرف مصالح و شرایط مورد انتظار در عمل باشد. تغییرات در مصالح و نسبت‌های اختلاط نباید محدودیتی بیشتر از

حدود تعیین‌شده در طرح مورد نظر داشته باشد. به‌منظور تدوین مدارکی که نشان دهد مخلوط بتن مقاومت متوسط لازم را خواهد داشت، می‌توان پرونده‌ای مشتمل بر حداقل ۱۰ آزمایش متوالی یا ۳۰ آزمایش متفرق را به‌کـار بـرد مـشروط بـر آنکـه ایـن پرونـده آزمایش‌های انجام‌شده در مدت حداقل ۴۵ روز را در برگیرد.

نسبت‌های لازم برای اخـتلاط بـتن را مـی‌تـوان براسـاس درون‌یـابی خطـی بـین مقاومت‌ها و نسبت‌های اختلاط ذکرشـده در حـداقل ۲ پرونـده آزمـایش، مطـابق سـایر ضوابط این بند به‌دست آورد.

۹ – ۶ – ۴ – ۵ – ۲ درصـورتی‌کـه در کارگـاه پرونـده‌هـای قابـل قبـول از نتـایج آزمایش‌ها موجود نباشد می‌تـوان نـسبت‌هـای اخـتلاط بـتن را براسـاس مخلـوط‌هـای آزمایشی آزمایشگاهی و با مراعات شرایط زیر تعیین کرد:

الف) اختلاط مصالح باید همان باشد که در طرح مورد نظر به‌کار خواهد رفت.

ب) مخلوط‌های آزمایشی آزمایشگاهی با نسبت‌های اختلاطـی و روانـی لازم بـرای کـار مورد نظر باید حداقل با سه نسبت مختلف آب به‌سیمان یا سه مقدار سیمان ساخته شوند، به‌طوری که محدوده‌ای از مقاومت‌های فشاری متوسط لازم را در برگیرند.

پ) مخلوط‌های آزمایشی آزمایشگاهی باید طوری طراحی شوند که اختلاف اسلامپ آنها با مقدار حداکثر مجاز اسلامپ در محدوده $\pm$ ۲ میلی‌متر باشد و برای بتن حباب‌دار، اختلاف مقدار هوا با هوای حداکثر مجاز در محدوده $\pm$ ۰/۵ درصد باشد.

ت) برای هر نسبت آب به‌سیمان یا هر مقدار سیمان باید حـداقل سـه آزمونـه مطـابق «روش ساختن و عمل آوردن آزمونه های بتن در آزمایشگاه» (دت ۵۰۳)، سـاخته و عمل‌آورده شوند. آزمونه‌ها باید در سن ۲۸ روزه یا هر سن دیگری که در طرح بـرای تعیین مقاومت مشخصه بتن مقررشده آزمایش شوند.

ث) بعد از حصول نتایج آزمایش‌های فشاری آزمونه‌ها باید نموداری رسم کرد که رابطه بین نسبت آب به‌سیمان با مقاومت فشاری در زمان آزمایش را نشان دهد.

ج) حداکثر نسبت آب به‌سیمان یا حداقل مقدار سیمان برای بتن مورد استفاده در طرح، باید نظیر قسمتی از نمودار باشد که براساس آن مقاومت فشاری متوسط لازم مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ تامین شود، مگر آنکه با توجه به‌بند ۹ – ۶ – ۳ مقداری کمتر برای نسبت آب به‌سیمان یا مقداری بیشتر برای عیار سیمان مورد نظر باشد.

۹ – ۶ – ۴ – ۶ تقلیل یا افزایش مقاومت فشاری متوسط

۹ – ۶ – ۴ – ۶ – ۱ بعد از به‌دست آمدن اطلاعات کافی از نتایج آزمایش‌های مقاومت ضمن اجرای سازه، می‌توان مقاومت فشاری متوسط لازم را تقلیل داد، مشروط بر آنکه:

الف) نتایج حداقل ۳۰ آزمایش مقاومت موجود باشد و متوسط آنها از مقدار لازم مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ بیشتر باشد.

ب) ضوابط مربوط به‌شرایط ویژه محیطی مطابق بند ۹ – ۶ – ۳ تأمین شود.

۹ – ۶ – ۴ – ۶ – ۲ درصورتی‌که متوسط نتایج حداقل ۳۰ آزمایش مقاومت از مقدار لازم مطابق بند ۹ – ۶ – ۴ – ۴ کمتر باشد باید اقداماتی برای افزایش مقدار متوسط نتایج آزمایش‌های بعدی مقاومت صورت گیرد.

۹ – ۶ – ۵ ارزیابی و پذیرش بتن

۹ – ۶ – ۵ – ۱ تواتر نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت

پذیرش بتن در کارگاه براساس نتایج آزمایش فشاری نمونه‌های اخذشده از بتن و تأیید دستگاه نظارت مبنی بر نحوه مناسب اجرا در مراحل کار مانند، جا انداختن، ایجاد تراکم

لازم و نگهداری مناسب در زمان تعیین‌شده می باشد. دفعات تصادفی نمونه‌برداری از بـتن باید به‌نحوی یکنواخت در طول مدت تهیه و مصرف بتن توزیع شوند و حداقل تعـداد آنهـا به‌گونه‌ای باشد که ضـوابط بنـدهای (۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۲ الـی ۹ –۶ – ۵ – ۱ – ۶) را تأمین نماید. نمونه‌ها باید قبل از ریختن در محل نهایی مصرف برداشته شوند.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۱ مقصود از هر نمونه‌برداری از بتن، تهیه حداقل دو آزمونـه از آن است که آزمایش فشاری آنهـا در سـن ۲۸ روزه یـا هـر سـن مقررشـده دیگـری انجـام می‌پذیرد و متوسط مقاومت‌های فشاری به‌دست آمده به‌عنـوان نتیجـه نهـایی آزمـایش منظور می‌شود. برای ارزیابی‌کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می‌توان حداقل یـک آزمونـه دیگر نیز به‌منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه‌کرد.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۲ درصورتی‌که حجم هر اختلاط بـتن بیـشتر از یـک مترمکعـب باشد، تواتر نمونه‌برداری به‌ترتیب زیر خواهد بود:

الف) برای دال‌ها و دیوارها و پی‌ها، یک نمونه‌برداری از هـر ۳۰ مترمکعـب بـتن یـا ۱۵۰ مترمربع سطح.

ب) برای تیرها و کلاف‌ها، در صورتی‌که جدا از قطعات دیگر بتن‌ریزی مـی‌شـوند، یـک نمونه‌برداری از هر ۱۰۰ متر طول.

پ) برای ستون‌ها، یک نمونه‌برداری از هر ۵۰ متر طول.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۳ درصورتی‌که حجم هر اخـتلاط بـتن کمتـر از یـک مترمکعـب باشد، باید مقادیر مذکور در بند ۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۲ را به‌همان نسبت تقلیل داد.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۴ حداقل یک نمونه‌برداری از هر رده و از هر نوع بتن در هـر روز الزامی است.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۵ حداقل ۶ نمونه‌برداری از هر رده بتن و از هر نوع بتن در کل سازه الزامی است.

۹ – ۶ – ۵ – ۱ – ۶ در صورتی‌که کل حجم بتن مصرفی یک پروژه ساختمانی از ۳۰ مترمکعب کمتر باشد می‌توان از نمونه‌برداری و آزمایش مقاومت صرف‌نظر کرد مشروط بر آنکه به‌تشخیص دستگاه نظارت دلیلی برای رضایت‌بخش بودن کیفیت بتن موجود باشد.

۹ – ۶ – ۵ – ۲ ضوابط پذیرش بتن – آزمونه‌های عمل‌آمده در آزمایشگاه

۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۱ مشخصات بتن در صورتی منطبق بر رده مورد نظر و از لحاظ مقاومتی قابل قبول تلقی می‌شود که حداقل یکی از شرایط (الف) و (ب) برقرار باشد:

الف) در آزمایش سه نمونه‌برداری متوالی، مقاومت هیچ‌کدام کمتر از مقاومت فشاری مشخصه نباشد:

$$x_i \geq f_c \quad ; \quad i= ۱ , ۲ , ۳ \qquad (۹ – ۶ – ۳)$$

ب) متوسط مقاومت‌های سه نمونه‌برداری متوالی حداقل ۱/۵ مگاپاسکال بیشتر از مقاومت فشاری مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت فشاری مشخصه بیش از ۴ مگاپاسکال کمتر نباشد:

$$x_m \geq f_c + ۱/۵ \qquad (۹ – ۶ – ۴)$$

$$x_{min} \geq f_c - ۴ \qquad (۹ – ۶ – ۵)$$

۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۲ مشخصات بتن در صورتی غیرقابـل قبـول اسـت کـه متوسـط مقاومت‌های نمونه‌ها از مقاومت فشاری مشخصه کمتـر باشـد یـا کـوچکترین مقاومـت فشاری نمونه‌ها از مقاومت فشاری مشخصه بیش از ۴ مگاپاسکال کمتر باشد:

$$x_{min} < f_c - ۴ \qquad \text{یا} \qquad x_m < f_c \qquad (۹ – ۶ – ۶)$$

۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۳ مشخصات بتنی را که با توجه به‌شـرایط بنـد ۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۲ غیرقابل قبول نباشد ولی مطابق شرایط بند ۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۱ قابل قبول نیز به‌شمار نیاید می‌توان به‌تشخیص طراح بدون انجام بررسی بیـشتر، از نظـر سـازه‌ای قابـل قبـول تلقی کرد. درصورتی‌که مشخصات بتن مطابق بند ۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۲ و یا نظر طـراح در شرایط فوق‌الذکر به‌هرحال غیرقابل قبـول باشـد، اقـداماتی مطـابق بنـد ۹ – ۶ – ۶ الزامی است.

۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۴ در کنترل شرایط انطباق بتن بر رده مورد نظر، نباید از نتیجـه آزمایش هیچ‌کدام از نمونه‌ها صرف‌نظر شود مگر آنکه با دلایل کافی ثابـت شـود خطـای عمده‌ای در نمونه‌برداری، نگهداری، حمل، عمل‌آوری، یا آزمایش روی داده است.

اگر با وجود رعایت ضوابط بند (۹ – ۶ – ۵ – ۱)، سه نمونه متوالی اخـذ نگردیـد، برای پذیرش بتن هر قسمت از سازه از لحاظ مقاومت می بایـست مقاومـت نمونـه اخـذ شده در آن قسمت و یا نمونه‌ای که معـرف بـتن آن قـسمت اسـت بزرگتـر از مقاومـت فشاری مشخصه بتن در طرح باشد.

۹ – ۶ – ۵ – ۲ – ۵ آزمایش بتن در سنین کم و اثر انواع سیمان بـر روی مقاومـت بتن تجربیات و شواهد به‌دست آمده نشان‌دهنده این است کـه تـأمین حـداقل مقاومـت به‌میزان ۷۵ درصد مقاومت بتن در سنین‌کم (یـک تـا سـه‌روز) معمـولاً تـضمین‌کننـده مقاومت مورد نظر در ۲۸ روز خواهد بود. البته این نتیجه منوط به‌عمـل‌آوری صـحیح و کافی است.

در صورت استفاده از نواع سیمان‌های پرتلند استاندارد، می‌توان با اجـازه مهنـدس ناظر مقاومت‌های فـشاری مشخـصه مـورد انتظـار را بـا اسـتفاده از جـدول ۹ – ۶ – ۸ به‌دست آورد.

جدول۹ – ۶ – ۸ تأثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به‌صورت نسبی)			
	یک روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان‌نوعI	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان‌نوعII	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان‌نوعIII	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان‌نوعIV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان‌نوعV	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰

توضیح: در صورت مصرف انواع سیمان‌های پرتلند دیرسخت‌شونده و یا استفاده از سیمان‌های پرتلند پوزولانی اسـتاندارد در بتن، با توجه به‌دیرتر سخت‌شدن این نوع سیمان‌ها، می‌بایست با انجام آزمایشات لازم بر روی سـیمان مـورد استفاده و کسب اطلاع از روند افزایش مقاومت آن، نسبت به‌سـیمان تیـپ I ، زمـان انجـام قالـب‌بـرداری ، بـاز کردن پایه‌های اطمینان ، عمل‌آوری و هرآنچه که به‌مقاومـت لازم در سـنین مـشخص مربـوط اسـت، بـه‌روش مناسب تصحیح گردد .

۹ – ۶ – ۵ – ۳ ضوابط کنترل روش عمل‌آوردن و مراقبت بتن

۹ – ۶ – ۵ – ۳ – ۱ دستگاه نظارت می‌توانـد بـرای کنتـرل کیفیـت عمـل‌آوردن و مراقبـت بـتن در سـازه، انجـام آزمـایش‌هـای مقاومـت روی آزمونـه‌هـای عمـل‌آمـده و مراقبت‌شده در شرایط کارگاهی را درخواست کند.

۹ – ۶ – ۵ – ۳ – ۲ عمل‌آوردن آزمونه‌ها در کارگاه باید مطابق استانداردهای معتبر بین‌المللی با عنوان «روش ساختن و عمل‌آوردن آزمونه‌های بتنی در کارگاه» باشد.

۹ – ۶ – ۵ – ۳ – ۳ در صورتی روش عمل‌آوردن و مراقبت بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود که مقاومت فشاری آزمونه‌های کارگاهی در سـن مـشخص‌شـده بـرای مقاومـت فشاری مشخصه، حداقل معادل ۰/۸۵ مقاومت نظیر آزمونه‌های عمل‌آمده در آزمایـشگاه یا به‌اندازه ۴ مگاپاسکال بیشتر از مقاومت فشاری مشخصه باشد. در غیر این صورت بایـد اقداماتی برای بهبود روش‌های مذکور صورت گیرد.

۹ – ۶ – ۵ – ۴ آزمونه‌های آگاهی

در صورتی‌که آگاهی از کیفیت بتن در موعدهای خاصی مانند زمان باز کردن قالـب‌هـا و غیره ضرورت داشته باشد، علاوه بر آزمونه‌های متعارف ارزیابی مقاومت و روش عمل‌آوردن و مراقبت بتن (بندهای ۹ – ۶ – ۵ – ۱ و ۹ – ۶ – ۵ – ۳) آزمونه‌هایی از بـتن‌گرفتـه می‌شوند و در موعدهای مورد نظر تحـت آزمـایش قـرار مـی‌گیرنـد. ایـن آزمونـه‌هـا بـه آزمونه‌های آگاهی موسومند.

۹ – ۶ – ۶ بررسی بتن‌های با مقاومت کم یا دوام کم

در صورتی‌که براساس آزمایش‌های مقاومت آزمونه‌های عمل‌آمده در آزمایشگاه، مطـابق بند ۹ – ۶ – ۵ معلوم شود که بتن بر رده مورد نظـر منطبـق نیـست و غیرقابـل قبـول است، باید تدابیری به‌شرح زیر برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه اتخاذ شود:

۹ – ۶ – ۶ – ۱ در صورتی‌که با استفاده از تحلیل سـازه موجـود و بـازبینی طراحـی، بتـوان ثابـت کـرد کـه ظرفیـت بـاربری سـازه بـه‌ازای مقاومـت بـتن، کمتـر از مقـدار پیش‌بینی‌شده هم قابل قبول است، نوع بتن از نظر تأمین مقاومت سازه قابل قبول تلقـی می‌شود.

۹ – ۶ – ۶ – ۲ درصورتی‌که شرط بند ۹ – ۶ – ۶ – ۱ برآورده نشود ولی با انجام تحلیل و طراحی مجدد بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری تمامی قسمت‌های سازه با فرض وجود بتن با مقاومت کمتر در قسمت‌های احتمالی قابل قبول خواهد بود، نوع بتن از نظر تأمین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می‌شود.

۹ – ۶ – ۶ – ۳ در صورتی‌که شرایط بندهای ۹ – ۶ – ۶ – ۱ و ۹ – ۶ – ۶ – ۲ برآورده نشوند لازم است روی مغزه‌های گرفته‌شده از بتن در قسمت‌هایی‌که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر داده می‌شود، آزمایش به‌عمل آید. این آزمایش‌ها باید با روش «آزمایش مغزه‌های مته‌شده و تیرهای اره‌شده» مطابقت داشته باشند. برای قسمت‌هایی از سازه که نتایج آزمایش‌های آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه مربوط به آنها شرایط پذیرش بتن مذکور در بند ۹ – ۶ – ۵ – ۲ را برآورده نکند باید سه مغزه تهیه و آزمایش شود.

۹ – ۶ – ۶ – ۴ اگر بتن در شرایط بهره‌برداری از ساختمان، خشک باشد باید مغزه‌ها به‌مدت ۷ روز در هوا با دمای ۱۶ تا ۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی کمتر از ۶۰ درصد خشک شوند و سپس مورد آزمایش قرار گیرند. اگر بتن در شرایط بهره‌برداری از ساختمان، مرطوب یا غرقاب باشد، باید مغزه‌ها به‌مدت حداقل ۴۰ ساعت در آب غوطه‌ور شوند و سپس به‌صورت مرطوب مورد آزمایش قرار گیرند.

۹ – ۶ – ۶ – ۵ در قسمت‌هایی از سازه که مقاومت بتن از طریق آزمایش مغزه‌ها ارزیابی می‌شود، در صورتی بتن از نظر تأمین مقاومت قابل قبول تلقی می‌شود که متوسط مقاومت‌های فشاری سه مغزه حداقل برابر ۰/۸۵ مقاومت فشاری مشخصه باشد و به‌علاوه مقاومت هیچ‌یک از مغزه‌ها از ۰/۷۵ مقاومت فشاری مشخصه کمتر نباشد. برای کنترل دقت نتایج می‌توان مغزه‌گیری را تکرارکرد.

۹ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۶ در صورتی‌که شرایط بند ۹ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۵ بـرآورده نـشوند و ظرفیـت باربری سازه مورد تردید باقی بماند، باید آزمایش بارگذاری مطابق استانداردهای مربوطه بر روی قسمت‌های مشکوک به‌عمل آید یا اقدامات مقتضی دیگری از جمله تقویت قطعه بتنی صورت گیرند.

۹ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۷ در صورتی‌که هیچ‌کدام از موارد فوق برای پذیرش و یا اقداماتی‌کـه منجر به‌پذیرش بتن می‌شود عملی نگردد، تخریب بتن فوق الزامی است.

۹ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۸ در صورتی‌که ضوابط لازم برای دستیابی به‌دوام پیش‌بینی‌شده بتن تأمین نشود لازم است با استفاده از سیستم‌های حفاظتی بـتن، نفوذپـذیری آن کـاهش یابد تا حداقل ضوابط دوام لازم برآورده شود.

۹ ـ ۶ ـ ۷ کنترل و بازرسی

به‌منظور اطمینان از انطباق خواص و کیفیت بتن با استانداردها و ضوابط مقـررات ملّـی، حداقل تواتر کنترل و بازرسی باید مطابق جدول شماره ۹ ـ ۶ ـ ۹ باشد.

جدول ۹-۶-۹ کنترل و بازرسی مشخصه‌های بتن

ردیف	نوع آزمایش	نوع بازرسی – آزمایش	هدف	زمان تکرار
۱	تعیین نسبت‌ها برای طرح اختلاط	آزمایش در ابتدای کار	تامین دلیل آنکه ویژگی‌های مورد نظر در حاشیه ایمنی مناسب حاصل می شود	قبل از استفاده از هر مخلوط جدید به شرط آنکه داده‌هایی براساس تجربیات بلندمدت دراختیار نباشد.
۲	میزان کلرید در مخلوط	محاسبه بر اساس کلرید موجود در مواد تشکیل‌دهنده بتن	حصول اطمینان ازاینکه میزان کلرید از حد مجاز فراتر نمی رود	در ابتدای کار و در مواردی که میزان کلرید مواد تغییر کند.
۳	میزان رطوبت در سنگدانه درشت	آزمایش خشک کردن یا معادل آن	اصلاح مقدار آب مورد نیاز	در صورت غیرمداوم بودن به طور روزانه، بسته به شرایط جوی منطقه ممکن است آزمایش های مورد نیاز کم یا زیاد شوند
۴	میزان رطوبت سنگدانه‌های ریز	اندازه گیری به‌طور مداوم، آزمایش خشک کردن یا معادل آن	اصلاح مقدار مورد نیاز	مانند ردیف بالای همین ستون
۵	روانی بتن	بازرسی عینی	برای مقایسه با وضعیت ظاهری مورد نیاز بتن	هر مرتبه ساخت
۶		آزمایش روانی	ارزیابی انطباق میزان روانی یا روانی مورد نیاز و کنترل تغییرات احتمالی مقدار آب	۱- هنگام تهیه آزمونه برای آزمایش بتن سخت شده ۲- هنگام آزمایش تعیین میزان هوای بتن ۳- در موارد تردید بر اساس مشاهدات عینی
۷	وزن مخصوص بتن تازه	آزمایش وزن مخصوص	بازرسی پیمانه و مخلوط کردن و کنترل وزن مخصوص بتن سبک یا سنگین	به تعداد دفعات آزمایش مقاومت فشاری
۸	آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های قالب‌گیری شده	آزمایش مطابق استاندارد	ارزیابی مشخصه‌های مقاومت مخلوط	مطابق بند ۹-۶-۵
۹	وزن مخصوص ظاهری بتن سخت‌شده سبک یا سنگین	آزمایش مطابق استاندارد	ارزیابی وزن مخصوص	به تعداد دفعات آزمایش مقاومت فشاری
۱۰	مقدار آب اضافه شده به مخلوط	ثبت مقدار آب اضافه شده	تعیین نسبت آب به سیمان واقعی	هر بار پیمانه و مخلوط کردن

ردیف	نوع آزمایش	نوع بازرسی – آزمایش	هدف	زمان تکرار
۱۱	مقدار سیمان بتن تازه	ثبت مقدار سیمان مصرف شده	کنترل مقدار سیمان و تعیین نسبت آب به سیمان واقعی	هر بار پیمانه و مخلوط کردن
۱۲	مقدار افزونه بتن تازه	ثبت مقدار افزونه مصرف شده	کنترل مقدار افزونه	هر بار پیمانه و مخلوط کردن
۱۳	نسبت آب به سیمان بتن تازه	با تقسیم نمودن جمع ردیف‌های ۳ و ۴ و ۹ بر ردیف ۱۰ یاهر روش آزمایش استاندارد توافق شده	ارزیابی نسبت آب به سیمان	روزانه یا بیشتر بر حسب نیاز
۱۴	مقدار هوای موجود در مخلوط بتن تازه برای بتن‌های با حباب هوا	آزمایش مطابق استاندارد	ارزیابی انطباق مقدار هوا با مقدار هوای مقرر شده	برای مخلوط های با حباب هوا ۱- اولین پیمانه و حداقل یکبار در روز ۲- به دفعات بیشتر متناسب با شرایط تولید و تاثیر عوامل محیطی
۱۵	یکنواختی	آزمایش از طریق مقایسه مشخصه‌های نمونه‌های برداشته شده از بخش‌های مختلف یک مخلوط	ارزیابی یکنواختی مخلوط	در موارد تردید
۱۶	نفوذپذیری	آزمایش مطابق استاندارد	ارزیابی مقاومت در مقابل نفوذ آب	در ابتدای کار، دوره های بعدی براساس توافق
۱۷	سایر مشخصه ها	مطابق با آیین‌نامه های مربوطه یا براساس توافق به عمل آمده	ارزیابی انطباق با مشخص مورد نیاز	براساس توافق به عمل آمده

۹ – ۷ اختلاط بتن و بتن‌ریزی

۹ – ۷ – ۱ نیروی انسانی، تجهیزات و آماده‌سازی محل بتن‌ریزی

۹ – ۷ – ۱ – ۱ نیروی انسانی

تهیه، کاربرد، اجرا و کنترل کارهای بتنی باید به‌افراد صاحب صلاحیتی واگذار شود که از تجربه و دانش‌کافی برخوردار بوده و دارای پروانه مهارت فنی و یا گواهی لازم از مراجع ذیصلاح باشند.

۹ – ۷ – ۱ – ۲ تجهیزات و وسایل

الف) تمامی وسایلی‌که برای مخلوط کردن و انتقال بتن به‌کار می‌روند باید تمیز باشند.

ب) پیمانه کردن مصالح تشکیل‌دهنده بتن باید تا حد امکان به‌طریق وزنی انجام گیرد.

پ) رواداری توزین هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده بتن ۳ ± درصد است.

ت) دقت و حساسیت ترازوها و سایر قسمت‌های توزین باید ۰/۴ ± درصد کل ظرفیت دستگاه باشد.

ث) استفاده از روش‌های دیگر برای پیمانه کردن مصالح در صورتی مجاز خواهد بود که دقت مقدار مصالح به‌دست آمده از این روش قابل مقایسه با روش وزنی باشد.

۹ – ۷ – ۱ – ۳ آماده‌سازی محل بتن‌ریزی

الف) تمامی مواد زاید از جمله یخ باید از محل‌های مورد بتن‌ریزی زدوده شوند.

ب) قالب‌ها باید به‌نحوی مناسب تمیز و اندود شوند.

پ) مصالح بنایی‌که در تماس با بتن خواهند بود باید به‌خوبی خیس شوند.

ت) تمامی میلگردها قبل از بتن‌ریزی باید کاملاً تمیز شده و عاری از پوشش‌های آلاینده باشند.

ث) قبل از ریختن بتن، باید آب اضافه از محل بتن‌ریزی خارج شود، مگر آنکه استفاده از قیف و لوله مخصوص بتن‌ریزی در آب (تِرمی) مورد نظر باشد .

ج) قبل از ریختن بتن جدید روی بتن سخت‌شده قبلی باید لایه ضعیف احتمالی سطح بتن و هر نوع ماده زاید دیگر زدوده شود.

۹ – ۷ – ۲ اختلاط بتن

۹ – ۷ – ۲ – ۱ بتن باید طوری مخلوط شود که تمامی مواد تشکیل‌دهنده آن به‌صورت همگن در مخلوط‌کن پخش شوند. قبل از پرکردن مجدد، باید مخلوط‌کن را به‌طور کامل تخلیه کرد. برای توزیع یکنواخت افزودنی های شیمیایی در حجم بتن باید ضمن استفاده از تجهیزات مناسب دقت‌های لازم به‌کار گرفته‌شده و دستورالعمل

کارخانه سازنده رعایت شود. رطوبت مصالح سنگی به‌ویژه ماسه قبل از ورود به‌دستگاه بتن‌ساز با توجه به‌کارایی و نسبت آب به‌سیمان باید کنترل شده و نتایج آن در محاسبه میزان آب اختلاط منظور گردد.

۹ – ۷ – ۲ – ۲ بتن آماده باید مطابق استانداردهای «مشخصات بتن آماده» یا « مشخصات بتن تهیه‌شده از طریق پیمانه کردن حجمی و اختلاط پیوسته» مخلوط و تحویل شود.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ بتن مخلوط شده در کارگاه باید مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۱ الی ۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۷ تهیه شود.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۱ اختلاط بتن باید با مخلوط‌کن مورد تأیید دستگاه نظارت انجام گیرد.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۲ مخلوط‌کن باید با سرعت توصیه‌شده از طرف کارخانه سازنده چرخانده شود.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۳ ترتیب ورود مواد متشکله بتن به‌مخلوط کن باید متناسب با نوع مخلوط‌کن و نوع بتن باشد.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۴ عمل اختلاط باید حداقل تا ۱/۵ دقیقه، پس از ریختن تمامی مواد تشکیل‌دهنده به‌داخل مخلوط‌کن ادامه یابد، مگر آنکه با آزمایش‌های انجام‌شده براساس «مشخصات بتن‌آماده» ثابت شود زمانی‌کوتاه‌تر هم می‌تواند قابل قبول باشد.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۵ اختلاط با کامیون‌های مخلوط‌کن باید براساس ضوابط مندرج در استاندارد ملی شماره ۶۰۴۴ صورت گیرد.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۶ نقل و انتقال، پیمانه کردن و اختلاط مصالح بتن باید با ضوابط استاندارد «مشخصات بتن آماده» یا «مشخصات بتن تهیه‌شده از طریق پیمانه کردن حجمی و اختلاط پیوسته» مطابقت داشته باشد.

۹ – ۷ – ۲ – ۳ – ۷ سابقه کار روزانه باید برای تمامی مخلوط‌های تهیه‌شده به‌طور تفصیلی و مشتمل بر مشخصات بتن ازجمله موارد زیر، نگهداری شود:

الف) نسبت‌های به‌کار رفته برای اختلاط مصالح.
ب) نتایج آزمایش‌های بتن تازه.
پ) دمای بتن و دمای محیط در هنگام بتن‌ریزی.
ت) محل نهایی و حجم تقریبی بتن‌های ریخته شده در سازه.
ث) زمان و تاریخ اختلاط و بتن‌ریزی.

۹ – ۷ – ۲ – ۴ اختلاط بتن با دست به‌هیچ‌وجه مجاز نیست به‌جز موارد استثنایی و کم‌اهمیت، با دستور دستگاه نظارت و برای بتن از رده پایین‌تر از C۱۶ رعایت نکات زیر توسط مجری برای ساخت بتن با دست الزامی است:

الف) حداکثر حجم بتن برای هر بار ساخت با دست ۳۰۰ لیتر است.
ب) برای تهیه بتن ابتدا روی یک سطح صاف، تمیز و غیرقابل نفوذ شن به‌صورت یکنواخت ریخته، سپس روی آن ماسه یکنواخت پخش می‌شود، در هر حالت ضخامت مجموع دو قشر نباید از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.
پ) سیمان خشک به‌صورت یکنواخت روی مصالح سنگی پخش و سپس با وسایل مناسب به‌طور کامل مخلوط می‌شود.
ت) پس از اختلاط کامل مصالح، آب به‌تدریج به‌مخلوط اضافه و به‌طور یکنواخت مخلوط گردد تا بتن همگن به‌دست آید.

ث) چنانچه از پیمانه‌های حجمی استفاده شود باید وزن مصالح سنگی خشک قبلاً به‌دقت اندازه‌گیری و پیمانه‌های حجمی بر این اساس ساخته شده باشد.
ج) بتن ساخته‌شده با دست باید حداکثر ۳۰ دقیقه پس از ساخت مصرف شود.

۹ – ۷ – ۲ – ۵ باز آمیختن بتن با آب پس از اتمام اختلاط، ضمن نقل و انتقال یا در محل بتن‌ریزی مجاز نمی‌باشد، مگر در موارد استثنایی و با کسب مجوز از دستگاه نظارت و رعایت حداکثر نسبت آب به‌سیمان مجاز در طرح.

۹ – ۷ – ۳ انتقال بتن

۹ – ۷ – ۳ – ۱ انتقال بتن از مخلوط‌کن تا محل نهایی بتن‌ریزی باید چنان صورت گیرد که از جدا شدن یا از بین رفتن مصالح جلوگیری شود.

۹ – ۷ – ۳ – ۲ وسایل انتقال بتن باید امکان رساندن بتن به‌پای کار را طوری تأمین کنند که مواد تشکیل‌دهنده جدا نشوند و حالت خمیری بتن بین بتن‌ریزی‌های متوالی از دست نرود.

۹ – ۷ – ۳ – ۲ – ۱ چرخ‌های دستی و دامپر

حمل بتن با انواع چرخ‌های دستی و دامپر فقط تحت شرایط الف تا ت مجاز است:

الف) حجم ساخت بتن از ۳۰۰ لیتر در هر نوبت تجاوز نکند
ب) رده بتن از C۱۶ کمتر باشد
پ) فاصله حمل در چرخ‌های دستی حداکثر ۶۰ متر و در دامپر حداکثر ۱۲۰ متر باشد.
ت) وسایل مزبور دارای چرخ‌های لاستیکی باشد و مسیر حمل کاملاً صاف و افقی باشد.

۹ – ۷ – ۳ – ۲ – ۲ ناوه شیب‌دار

ناوه شیب‌دار باید فلزی یا دارای روکش فلزی بوده، کاملاً آب‌بند باشد و شیب آن ثابت و به‌گونه‌ای اختیار شود که هنگام حمل عمل جدایی در اجزای بتن حادث نشود. در انتهای ناوه باید قیف قائم برای تخلیه بتن به‌قالب پیش‌بینی شود. با توجه به‌شرایط آب و هوایی محل کار، کنترل اسلامپ و سایر مشخصه‌های اصلی بتن توسط دستگاه نظارت صورت می‌گیرد.

۹ – ۷ – ۳ – ۲ – ۳ تلمبه (پمپ) بتن

در انتقال بتن به‌وسیله پمپ، حداکثر نسبت اندازه سنگدانه‌ها به‌کوچکترین قطر داخلی لوله انتقال بتن نباید از مقادیر (الف) و (ب) این بند تجاوز کند:

الف) ۰/۳۳ برای سنگدانه‌های تیزگوشه
ب) ۰/۴۰ برای سنگدانه‌های کاملاً گردگوشه

۹ – ۷ – ۳ – ۲ – ۴ باکت یا جام

دریچه تخلیه باکت باید در کف آن تعبیه شده باشد و باکت باید دارای تعداد بازشو کافی باشد. اندازه دهانه بازشو نباید از $\frac{۱}{۳}$ طول باکت و ۵ برابر قطر بزرگترین دانه مصالح سنگی کمتر باشد. شیب جدار باکت در محل تخلیه آن نباید از ۶۰ درجه کمتر باشد. تخلیه بتن به‌داخل باکت باید به‌طور قائم و در مرکز آن باشد. چنانچه بتن داخل باکت، مستقیماً و یا از طریق ناوه شیب‌دار به‌داخل قالب تخلیه می شود، باید در انتهای نقطه تخلیه و توسط محفظه هدایت که ارتفاع آن حداقل ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد، به‌محل نهایی ریخته شود.

۹ – ۷ – ۳ – ۲ – ۵ کامیون مخلوط‌کن

انتقال بتن با کامیون‌های مخلوط‌کن باید براساس استاندارد ملی ایران صورت گیرد.

۹ – ۷ – ۴ بتن‌ریزی

۹ – ۷ – ۴ – ۱ بتن باید تا حد امکان نزدیک به‌محل نهایی خود ریخته شود تا از جدایی دانه‌ها در اثر جابه‌جایی مجدد جلوگیری شود.

۹ – ۷ – ۴ – ۲ روند بتن‌ریزی باید طوری باشد که بتن هنگام ریختن و جا دادن به‌حالت خمیری باقی بماند و بتواند به‌راحتی به‌فضاهای بین میلگردها راه یابد.

۹ – ۷ – ۴ – ۳ درصورتی‌که اسلامپ بتن در موقع تحویل برای مصرف کمتر از میزان مقرر باشد باید از مصرف آن خودداری شود، با این وجود افزودن اسلامپ بتن تا هنگامی که هنوز از مخلوط‌کن تخلیه نشده، فقط با اجازه دستگاه نظارت و با افزودن دوغاب سیمان با یا بدون مواد افزودنی روان‌کننده میسر می‌باشد مشروط بر اینکه نسبت آب به‌سیمان از حداکثر مقدار مجاز طرح فراتر نرود.

۹ – ۷ – ۴ – ۴ بتنی که به‌حالت نیمه‌سخت در آمده یا به‌مواد زیان‌آور بیرونی آلوده شده نباید در بتن‌ریزی قطعات سازه‌ای به‌کار رود.

۹ – ۷ – ۴ – ۵ بتن‌ریزی باید از آغاز تا پایان به‌صورت عملیاتی سریع و پیوسته در محدوده مرزها یا درزهای از پیش تعیین‌شده قطعات ادامه یابد. درزهای اجرایی مورد نیاز باید با ضوابط مندرج در این مقررات مطابقت داشته باشد.

۹ – ۷ – ۴ – ۶ سطح بتن ریخته‌شده به‌صورت لایه‌های افقی، باید تراز باشد.

۹ – ۷ – ۴ – ۷ استفاده از مواد حباب‌زا و ساخت بتن با حباب هوا برای بتن‌هایی که در معرض رطوبت و یخ زدن و آب‌شدنی‌های متوالی قرار می گیرند، الزامی است.

۹ – ۷ – ۴ – ۸ بتن‌ریزی پی

پس از رسیدن به‌تراز زیرپی و بستر مناسب مجری باید با توجه به‌بارهای وارده به‌پی از طریق روش‌های مورد تأیید دستگاه نظارت نسبت به‌اجرای پی اقدام نماید. در صورت سست بودن محل پی باید عملیات پی‌کنی تا تراز زمین سخت (با مقاومت مورد نظر) ادامه یافته و حفاری اضافی با مصالح مورد تأیید دستگاه نظارت تا تراز زیر پی پر شده و تحکیم یابد. بستر پی باید با حداقل ۱۰۰ میلی‌متر بتن رده C۱۰ آماده و رگلاژ شود.

پس از نصب قالب باید نسبت به بستن آرماتورها، صفحات زیر ستون، میل مهار و قطعات مدفون در بتن اقدام شود. درصورتی که به‌علت شرایط زمین پی، با تأیید دستگاه نظارت، بستن قالب ضرورت نداشته باشد پیمانکار باید با تعبیه پوشش‌های پلاستیکی و دیگر روش‌های مشابه از جذب آب بتن تازه توسط زمین اطراف پی جلوگیری نماید.

۹ – ۷ – ۴ – ۹ بتن‌ریزی دال‌ها و سقف‌ها

بتن‌ریزی در دال‌ها باید در یک جهت و به‌طور متوالی انجام شود. محموله‌های بتن نباید در نقاط مختلف سطح و به‌صورت پراکنده ریخته و سپس پخش و تسطیح شوند. همچنین بتن نباید در یک محل و در حجم زیاد تخلیه و سپس به‌طور افقی در طول قالب حرکت داده شود. با توجه به‌حجم بتن و روش‌های حمل و تخلیه، عملیات باید به‌صورتی انجام شود که تا حد امکان از به‌وجود آمدن اتصال سرد در دال‌ها پرهیز گردد. در عملیات بزرگ باید محل ختم بتن ریزی از قبل تعیین و در نقشه های اجرایی مشخص شود و عملیات تا محل درزهای ساختمانی ادامه یابد چنانچه در اثر بروز اشکالات قطع بتن ریزی حادث شود باید محل قطع بتن ریزی برای ادامه عملیات بتن‌ریزی آماده شود.

۹ – ۷ – ۴ – ۱۰ بتن‌ریزی دیوار، ستون و تیرهای اصلی

بتن‌ریزی در دیوارها باید در لایه‌های افقی با ضخامت یکنواخت صورت‌گیرد و هر لایه قبل از ریختن لایه بعدی به‌طور کامل متراکم شود. میزان و سرعت بتن‌ریزی باید چنان باشد که هنگام ریختن لایه جدید، لایه قبلی در حالت خمیری باشد. عدم رعایت این نکته باعث ایجاد اتصال سرد و نهایتاً عدم یکپارچگی بتن خواهد شد. پیمانه‌های اولیه بتن باید از دو انتهای عضو ریخته شوند و سپس بتن‌ریزی به‌سوی قسمت مرکزی سازه ادامه یابد. در تمام حالات باید از جمع شدن آب در انتها و گوشه‌ها جلوگیری شود. در بتن‌ریزی ستون‌ها و دیوارها تا حد امکان باید ارتفاع سقوط آزاد بتن را محدود نمود. این ارتفاع برای جلوگیری از جدا شدن دانه‌ها به ۱/۲ متر محدود می‌شود. مگر آنکه وضعیت بتن و نحوه اجرا به‌گونه‌ای باشد که حفظ پیوستگی دانه‌بندی بتن تضمین گردد.

۹ – ۷ – ۴ – ۱۱ بتن باید در طول عملیات بتن‌ریزی با استفاده از وسایل مناسب متراکم شود، به‌طوری که میلگردها و اقلام مدفون را به‌طور کامل در برگیرد و قسمت‌های داخلی و به‌خصوص گوشه‌های قالب‌ها را به‌خوبی پر کند. در بتن‌های خود تراکم نیازی به‌استفاده از وسایل متراکم‌کننده نمی باشد .

۹ – ۷ – ۴ – ۱۲ ویبراتور در داخل بتن باید به‌طور منظم و فواصل مشخص به‌نحوی فرو برده شود که دو قسمت لرزانیده شده، با هم هم‌پوشانی داشته باشند. قسمتی از ویبراتور باید در لایه زیرین که هنوز حالت خمیری دارد، فرو رود.

۹ – ۷ – ۴ – ۱۳ ویبراتور باید تا حد امکان به‌صورت قائم وارد بتن گردد و به‌آرامی بیرون کشیده شود تا حباب هوا داخل بتن باقی نماند.

۹ – ۷ – ۴ – ۱۴ در کارهـای کوچـک و محـدود و مخلـوط‌هـای خمیـری و روان، می‌توان با اجازه دستگاه نظارت از میله فولادی (تخماق) یا وسایل مشابه برای تراکم بتن استفاده نمود. میله باید به‌اندازه کافی وارد بتن شود تا بتواند به‌راحتی به‌انتهای قالب یـا انتهای لایه مربوط به‌همان مرحله بتن‌ریزی برسد، ضخامت میله باید چنان انتخاب شود که به‌راحتی از بین میلگردها عبور نماید.

۹ – ۷ – ۵ ماله‌کشی و پرداخت بتن

ماله کشی و پرداخت بتن عبارت است از زدودن بتن اضافی روی سطح بتن، از بین بردن نقاط پست و بلند سطحی و یا به‌شکل خاص درآوردن سـطح بـتن، از جملـه روش‌هـای مختلف ماله‌کشی و پرداخت بتن عبارتند از: شمشه‌کشی، استفاده از تخته ماله، استفاده از ماله فلزی، استفاده از ماله دسته‌بلند، استفاده از شمشه دسته‌دار، جاروکشی.

انجام هرگونه عملیات پرداخت بر روی سطوح دال های بتنی، مادام که آب ناشی از آب‌انداختگی وجود داشته باشد، ممنوع است. لیسه‌ای کردن سطحی که ماله‌کشی نشده است مجاز نیست. پاشیدن سیمان خشک بر روی سطوح خیس برای جـذب آب اضـافی می تواند موجب ترک خوردگی سطحی شود و مجاز نیست. جاروکشی و هرگونه روشـی که موجب رفع لغزندگی سطوح می شود باید زمانی صورت گیرد که بـتن کـاملاً سـخت نشده است ولی به‌اندازه کافی سخت شده باشد که بافت ایجادشده را حفظ کند.

۹ – ۷ – ۶ عمل‌آوری

۹ – ۷ – ۶ – ۱ کلیات

عمل‌آوردن فرآیندی است که طی آن از افت رطوبـت بـتن جلـوگیری و دمـای بـتن در حدی رضایت‌بخش حفظ می‌شود. عمل‌آوردن بتن بر ویژگی‌های بتن سخت‌شده از قبیل میزان نفوذپذیری و مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن اثری به‌سـزا دارد. عمـل‌آوردن

باید بلافاصله پس از تراکم بتن آغاز شود تا بتن در برابر عوامل زیان‌بار مورد محافظت قرار گیرد. عمل‌آوردن بتن از مراقبت و محافظت و گاهی پروراندن تشکیل می‌شود.

۹ – ۷ – ۶ – ۱ – ۱ مراقبت به‌مجموعه تدابیری گفته می‌شود که باعث شود سیمان موجود در بتن به‌مدت کافی مرطوب بماند به‌طوری که حداکثر میزان آبگیری آن، چه در لایه‌های سطحی دانه‌ها و چه در حجم آنها میسر باشد.

۹ – ۷ – ۶ – ۱ – ۲ محافظت به‌مجموعه تدابیری اطلاق می‌شود که به‌موجب آنها از اثر نامطلوب عوامل بیرونی مانند شسته شدن به‌وسیله باران یا آب جاری، اثر بادهای گرم و خشک، سرد شدن سریع یا یخبندان، لرزش و ضربه خوردن بتن جوان جلوگیری شود.

۹ – ۷ – ۶ – ۱ – ۳ منظور از پروراندن بتن سرعت بخشیدن به گرفتن و سخت شدن آن به‌کمک حرارت است.

۹ – ۷ – ۶ – ۲ روش‌های عمل‌آوردن

برای حفظ رطوبت بتن و نیز در صورت لزوم نگهداری آن در دمایی مساعد می‌توان از یکی از روش‌های مندرج در بند ۹ ـ ۷ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ الی ۹ ـ ۷ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۳ استفاده کرد:

۹ – ۷ – ۶ – ۲ – ۱ هر روشی که به‌تداوم حضور آب اختلاط در بتن در دوره سخت‌شدن اولیه منجر شود، مانند استفاده از آب‌پاشی یا پوشش‌های خیس اشباع‌شده.

۹ – ۷ – ۶ – ۲ – ۲ هر روشی که به‌وسیله آن از کاهش آب اختلاط از طریق پوشاندن یا اندود کردن سطح آن جلوگیری کند، مانند استفاده از نایلون، کاغذهای ضدآب یا کاربرد ترکیبات عمل‌آورنده غشایی.

۹ – ۷ – ۶ – ۲ – ۳ هر روشی که به‌کمک آن کسب مقاومت بتن از طریق دادن گرما یا رطوبت تسریع شود، مانند استفاده از بخار یا قالب‌های گرم، مشروط بر آنکه بر ویژگی‌ها و پایایی بتن اثر نامطلوب نداشته باشد.

۹ – ۷ – ۶ – ۳ مدت عمل‌آوردن

مدت عمل‌آوردن بتن به‌طور معمول نباید از مقادیر مندرج در جدول ۹ – ۷ – ۱ کمتر باشد. این مدت زمان به‌نوع سیمان، شرایط محیطی و دمای بتن بستگی دارد و طی آن، دمای هیچ قسمت از سطح بتن نباید از ۵ درجه سلسیوس کمتر شود.

۹ – ۷ – ۷ بتن‌ریزی در شرایط ویژه

۹ – ۷ – ۷ – ۱ بتن‌ریزی در هوای گرم

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۱ هوای گرم هنگام بتن‌ریزی باعث پایین آمدن کیفیت بتن تازه و سخت‌شده می‌گردد. هوای گرم به‌دمای زیاد هوا همراه با باد یا بدون باد و رطوبت کم اطلاق می‌شود. این عوامل باعث تبخیر سریع آب، افزایش سرعت آبگیری سیمان، کاهش کارایی بتن تازه و تسریع گیرش آن می‌شوند که می‌توانند موجب کاهش مقاومت نهایی بتن گردند. هوای گرم همچنین باعث ایجاد مشکلاتی در بتن‌ریزی و متراکم کردن آن و تشدید جمع‌شدگی خمیری می‌شود و موجب ترک در بتن جوان می‌گردد.

۹ – ۷ – ۱ – ۲ حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی در بتن، برای مناطق شدید و فوق‌العاده شدید برای سنگدانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

۹ – ۷ – ۱ – ۳ دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی نباید بیش از ۳۲ درجه سلسیوس برای بتن معمولی و ۱۵ درجه سلسیوس برای بتن حجیم باشد. بتن‌ریزی در هوای گرم باید با فراهم کردن شرایط مناسب، اتخاذ تدابیر لازم و تأیید دستگاه نظارت صورت گیرد.

جدول ۹ – ۷ – ۱ حداقل زمان عمل‌آوردن بتن

نوع سیمان	شرایط محیطی پس از ریختن بتن در قالب *	دمای متوسط سطح بتن **		
		۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس	۱۱ تا ۲۰ درجه سلسیوس	۲۱ درجه سلسیوس و بیشتر
نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵	متوسط	۴ روز	۳ روز	۲ روز
	ضعیف	۶ روز	۴ روز	۳ روز
همه سیمان‌ها به جز نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و همه سیمان‌های حاوی مواد پوزولانی یا روباره‌ای	متوسط			
	ضعیف	۱۰ روز	۷ روز	۵ روز
همه سیمان‌ها	خوب	اقدامی خاص ضرورت ندارد		

* شرایط محیطی مندرج در این ستون به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:
خوب: محیط مرطوب و محافظت‌شده (رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد و محافظت شده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).
ضعیف: محیط خشک و محافظت‌نشده (رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد و محافظت‌نشده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد.)
متوسط: شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.
** درصورتی‌که دمای سطح بتن اندازه‌گیری یا محاسبه نشود، می‌توان آن را معادل دمای هوای مجاور سطح بتن فرض‌کرد.

۹ – ۷ – ۱ – ۴ اختلاف دما در نقاط مختلف بتن، ناشی از گرمای هوا و گرمای آبگیری، تنش‌های در بتن ایجاد می‌کند که باید در محاسبه منظور شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۵ برای کاهش دمای بتن برحسب مورد کاربرد روش‌های (الف) تا (د) الزامی است:

الف) برنامه‌ریزی مناسب و دقیق برای زمان‌های شروع مراحل ساخت بتن و بتن‌ریزی.

ب) تنظیم زمان بتن‌ریزی در هنگام خنک بودن هوا.

پ) به‌کار بردن سیمان‌های مناسب با حرارت‌زایی کم یا جایگزین کردن مقداری از سیمان با مواد پوزولانی یا استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی یا روباره‌ای و استفاده از طرح اختلاط مناسب به‌منظور احتراز از مصرف سیمان زیاد.

ت) عدم استفاده از سیمان با دمای بیش از ۷۵ درجه سلسیوس.

ث) پایین نگهداشتن دمای سیمان با نگهداری سیمان در سیلوهای عایق‌بندی‌شده و یا رنگ‌آمیزی‌شده به‌رنگ سفید.

ج) کاهش دمای سنگدانه‌ها با انبار کردن آنها در سایه یا آب‌پاشی یا دمیدن هوای سرد به‌آنها.

چ) خنک‌کردن آب مصرفی و یا جایگزینی بخشی از آن با یخ خردشده یا یخ پولکی.

ح) عایق کردن منابع و لوله‌های تأمین آب و یا رنگ‌آمیزی به‌رنگ سفید برای قسمت‌هایی که در برابر تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گیرند.

خ) نگهداری ابزار و ماشین آلات تهیه و حمل مخلوط بتن در سایه و یا آب پاشی آنها.

د) عایق کردن مخلوط‌کن‌ها یا پاشیدن آب سرد یا دمیدن هوای سرد به‌آنها یا رنگ‌آمیزی آنها به‌رنگ سفید.

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۶ میلگردها، اجزای توکار و قالب‌های با دمای بیش از ۵۰ درجه سلیسیوس باید بلافاصله قبل از بتن‌ریزی آب‌پاشی شوند و آب اضافی کاملاً جمع‌آوری گردد.

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۷ به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک، باید تدابیر (الف) تا (پ) برای جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش دمای بتن پس از بتن‌ریزی اتخاذ شود:

الف) حفظ بتن از جریان باد و تابش آفتاب توسط بادشکن و سایبان.
ب) جلوگیری از تبخیر آب بتن با آب‌پاشی بتن و هوای مجاور آن.
پ) در سازه‌هایی که ترک خوردن بتن به‌طورکلی غیرقابل قبول باشد، لازم است تدابیر احتیاطی ویژه‌ای اتخاذ گردد.

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۸ عمل‌آوردن بتن طبق بند ۹ – ۷ – ۵ الزامی است، ضمن آنکه روش آب‌پاشی برای عمل‌آوری بتن ترجیح داده می‌شود. در سطوح افقی می‌توان از ترکیبات غشایی عمل‌آورنده مورد تأیید دستگاه نظارت استفاده نمود.

۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۹ علاوه بر تأمین شرایط زمانی جدول ۹ – ۷ – ۱ مدت عمل‌آوردن بتن از ۷ روز کمتر نباشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ بتن‌ریزی در مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان

در مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان ضمن رعایت ضوابط بتن‌ریزی در هوای‌گرم (موضوع بند ۹ – ۷ – ۷ – ۱) موارد زیر نیز باید مراعات شوند. در صورت وجود رطوبت کافی، فقط ضوابط زیر الزامی است.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱ مصالح مناسب به‌شرح فوق انتخاب و نسبت‌های اختلاط چنان تعیین گردند که از مصرف سیمان زیاد احتراز شده و نسبت آب به‌سیمان و نفوذپذیری کاهش یابند.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۲ از سیمان مناسب با گرمازایی‌کم، سیمان پرتلند نوع ۲ و یا نوع ۱ با پوزولان و یا سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی یا روباره‌ای و یا سایر سیمان‌های پوزولانی استفاده شود. مقدار پوزولان بستگی به‌نوع آن و موقعیت محیطی سازه دارد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۳ حداقل مقدار سیمان یا مواد سیمانی ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب بتن و حداکثر آن ۴۲۵ کیلوگرم در مترمکعب بتن می‌باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۴ مقدار کلریدهای آب مصرفی باید کمتر از ۵۰۰ قسمت در میلیون باشد. سایر خصوصیات آب مصرفی باید با جدول ۹ – ۳ – ۱۸ مطابقت داشته باشد. میزان کل کلرید قابل حل در آب در بتن سخت‌شده ۲۸ روزه، ناشی از تمامی مواد تشکیل‌دهنده بتن نباید از مقادیر جدول ۹ – ۶ – ۴ تجاوز نماید.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۵ استفاده از آب نمک‌دار به‌ویژه آب دریا برای شستشوی سنگدانه‌ها، تهیه و عمل‌آوردن بتن مجاز نمی‌باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۶ حداکثر نسبت آب به‌مواد سیمانی(سیمان به‌علاوه مواد پوزولانی و یا روباره‌ای) ۰/۴ باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۷ سنگدانه‌های مصرفی به ویژه سنگدانه‌های ریز باید به‌نحوی مناسب شسته و تمیز شوند تا با مقادیر مندرج در جدول‌های ۹ – ۳ – ۱۰ الی ۹ – ۳ – ۱۵ مطابقت داشته باشند.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۸ حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی در بتن، برای سنگدانه‌های درشت به ۲/۵ درصد و برای سنگدانه‌های ریز به ۳ درصد محدود می‌شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۹ برای کاهش نفوذپذیری بتن، مخلوط بتن تازه باید از تراکم کافی برخوردار باشد و برای تأمین این منظور از افزودنی های کاهنده قوی آب استفاده شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۰ در صورت استفاده از مواد افزودنی شیمیایی، پوزولان‌ها و مواد افزودنی شبه‌سیمانی این مواد باید با مشخصات بندهای ۹ – ۳ – ۵ و ۹–۳ –۶ مطابقت داشته باشند. استفاده از مواد افزودنی باید با تأیید دستگاه نظارت باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۱ نحوه نگهداری و انبار کردن میلگردها باید به‌صورتی باشد تا از آلوده‌شدن آنها به‌مواد زیان‌آور جلوگیری شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۲ میلگردهای آلوده به خاک، املاح و مواد زیان آور که از راه تماس با زمین و یا به علل دیگر دچار آلودگی شده اند، باید قبل از مصرف کاملا تمیز شده و زنگ آن زدوده شود. این میلگردها تنها در صورتی قابل استفاده هستند که خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن تغییر نکرده و طبق ویژگی‌های استاندارد باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۳ سیم‌هایی که برای بستن یا نگهداری آرماتورها در محل، به‌کار می‌روند باید به‌طرف داخل قالب خم شوند تا از میزان پوشش بتن روی آرماتور کاسته نشود.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۴ پوشش بتنی میلگردها باید مطابق جدول ۹ – ۶ – ۵ ، شرایط محیطی فوق‌العاده شدید باشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۲ – ۱۵ الزامات عمل آوردن بتن تازه به شرح بندهای ۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۷ تا ۹ – ۷ – ۷ – ۱ – ۹ رعایت شوند.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ بتن‌ریزی در هوای سرد

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۱ هوای سرد به‌وضعیتی اطلاق می‌گردد که برای سه روز متوالی شرایط (الف) و (ب) برقرار باشد:

الف) دمای متوسط هوا در شبانه‌روز کمتر از ۵ درجه سلسیوس باشد دمای متوسط روزانه میانگین حداکثر و حداقل دمای هوا در فاصله زمانی نیمه‌شب تا نیمه‌روز است.

ب) دمای هوا برای بیشتر از نصف روز از ۱۰ درجه سلسیوس زیادتر نباشد.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۲ تدابیر احتیاطی

الف) در بتن‌ریزی در هوای سرد باید دقت لازم در انتخاب مصالح مصرفی، طرح اختلاط بتن، شرایط اختلاط، حمل، ریختن و عمل‌آوردن بتن صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که بتن تازه ریخته‌شده دچار یخزدگی نگردد و بتن سخت‌شده نیز دارای کیفیت لازم باشد.

ب) دمای بتن در طول مدت بتن‌ریزی و عمل‌آوردن باید ثبت گردد تا اطمینان حاصل شود که محدوده توصیه‌شده در این مقررات حفظ شده باشد.

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

ت) گوشه‌ها و لبه‌های بتن در مقابل یخ زدن آسیب‌پذیرند، بنابراین دمای این نقاط باید با دقت بیشتری کنترل شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۳ مصالح مصرفی

الف) می‌توان از سیمان زودگیر (پرتلند نوع سه) به‌جای سیمان معمولی برای اطمینان از سرعت بیشتر کسب مقاومت بتن استفاده نمود.

ب) استفاده از سیمان روباره‌ای و سیمان‌های آمیخته در بتن‌ریزی در هوای سرد توصیه نمی‌گردد.

پ) می‌توان از آب گرم برای رساندن بتن به‌دمای مطلوب استفاده نمود، در این حالت باید از تماس مستقیم آب گرم بیش از $۴۰^{\circ C}$ و سیمان جلوگیری شود و این موضوع در نحوه ریختن مصالح در مخلوط‌کن مراعات گردد.

ت) سنگدانه‌ها نباید آغشته به‌یخ و برف باشند. معمولاً ماسه از شن مرطوب‌تر و احتمال وجود یخ در آن بیشتر است بنابراین اغلب گرم کردن ماسه ضرورت پیدا می‌کند.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۴ الزامات طرح اختلاط بتن

الف) نسبت آب به‌سیمان باید با توجه به‌روند کسب مقاومت بتن در دمای محیط انتخاب گردد. نسبت آب به‌سیمان نباید از ۰/۵ بیشتر باشد، بنابراین لازم است قبل از شروع بتن‌ریزی تدابیر لازم برای کسب مقاومت بتن صورت گیرد.

ب) برای کاهش میزان آب قابل یخ‌زدن در بتن و همچنین کاهش میزان آب انداختن بتن تازه باید مقدار آب اختلاط حداقل ممکن باشد بنابراین برای تأمین کارایی لازم می‌توان از مواد افزودنی خمیری‌کننده و روان‌کننده استفاده نمود.

پ) درصورتی‌که از مواد افزودنی روان‌کننده استفاده نمی‌شود اسلامپ بتن نباید بیشتر از ۵۰ میلی‌متر انتخاب‌گردد.

ت) درصد حباب هوای مورد نیاز در طرح اختلاط باید مطابق جدول ۹ – ۶ – ۱ انتخاب شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۵ حداقل دمای بتن

الف) حداقل دمای مجاز بتن هنگام اختلاط، ریختن و نگهداری و نیز حداکثر مجاز افت تدریجی دما در ۲۴ ساعت اولیه پس از خاتمه دوره عمل‌آوری بتن مطابق جدول ۹ – ۷ – ۲ است.

ب) دمای بتن هنگام اختلاط نباید بیش از ۸ درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) زیادتر از مقادیر جدول ۹ – ۷ – ۲ باشد زیرا موجب اتلاف انرژی بیشتر، افت شدید اسلامپ و در نهایت کاهش کیفیت بتن می‌گردد.

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

جدول ۹-۷-۲ دمای بتن برحسب درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) در مراحل مختلف کار با توجه به‌دمای محیط و حداقل اندازه اعضا و قطعات

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

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

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۶ نکات مربوط به‌حمل و ریختن بتن

- حمل و ریختن بتن باید به‌نحوی باشد که بتن تازه، دمای خود را از دست ندهد. بتن باید تا حد امکان در وسایل سربسته و عایق‌بندی‌شده حمل‌گردد.
- قبل از بتن‌ریزی باید میلگردها، قالب، سطح بتن سخت‌شده قبلی و زمین از هر نوع یخ‌زدگی زدوده شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۷ عمل‌آوردن بتن تازه

الف) عمل‌آوردن بتن تازه باید حداقل ۲۴ ساعت و تا رسیدن بتن به‌مقاومت ۵ مگاپاسکال ادامه یابد.

ب) برای عمل‌آوردن بتن تازه و محافظت آن از یخ زدن می‌توان از روش‌های (۱) الی (۳) استفاده نمود:

۱) با استفاده از پوشش‌های عایق

۲) با استفاده از گرم کردن بتن و محیط اطراف

۳) سایر روش‌ها به‌تأیید دستگاه نظارت

پ) بتن تازه باید در مقابل وزش باد، به‌ویژه پس از برداشتن پوشش‌ها محافظت‌گردد. باید توجه داشت که از تبخیر زیاد آب و کربناتی‌شدن سطوح بتن در اثر احتراق مواد سوختی برای‌گرم کردن آن جلوگیری شود.

۹ – ۷ – ۷ – ۳ – ۸ محافظت بتن سخت‌شده

لازم است که از یخزدگی بتن اشباع‌شده‌ای که مقاومت آن به ۱۴ مگاپاسکال نرسیده باشد، جلوگیری به‌عمل آید. باید از روش‌های استاندارد و با تهیه نمونه‌های کارگاهی برای تشخیص رسیدن بتن به‌مقاومت کافی استفاده نمود. می‌توان با روش‌های غیرمخرب استانداردشده نیز مقاومت فشاری بتن را برای این منظور تخمین زد.

۹ – ۷ – ۸ روش‌های ویژه کاربرد بتن

۹ – ۷ – ۸ – ۱ بتن پاشیده

بتن پاشیده فرآیندی است که در آن بتن یا ملات بر روی یک سطح پاشیده می‌شود تا لایه‌ای متراکم، خود نگهدار و باربر ایجاد گردد. در مواردی که شکل کار پیچیده یا قالب‌بندی مشکل و پرهزینه باشد، به ویژه در بهسازی ساختمان‌ها و پل‌ها، از این نوع بتن استفاده می‌شود. استفاده از این نوع بتن به‌تجربه، تأمین تدابیر مناسب و کارگران فنی متخصص به‌ویژه در امر بتن‌پاشی نیاز دارد. امتیاز عمده این نوع بتن در مقایسه با

بتن معمولی آن است که در این حالت فقط به‌قالب داخلی و یا یک سطح موجود نیاز می‌باشد، به‌همین دلیل این روش اجرای بتن برای سطوح مدور و قوسی مانند تونل‌ها و دودکش‌ها کاربرد روزافزون یافته است. بتن پاشیده بر مبنای زمان افزودن آب اختلاط به مخلوط سنگدانه‌ها و سیمان به «بتن پاشیده خشک» و «بتن پاشیده‌تر» تقسیم می‌شود.

۹ – ۷ – ۸ – ۱ – ۱ مشخصات کلی

برای حصول اطمینان از چسبندگی مناسب، تراکم کافی و خواص فیزیکی مطلوب، تهیه طرح اختلاط بتن پاشیده نیاز به‌دقت ویژه دارد. نسبت آب به‌سیمان برای این نوع بتن معمولاً در محدوده ۰/۳۵ الی ۰/۵ قرار می‌گیرد. حداکثر اندازه سنگدانه مخلوط مصرفی ۲۰ میلی متر است. وزن مخصوص بتن پاشیده مشابه بتن معمولی متراکم شده است. افزودن مواد ریزدانه نظیر پودر سنگ، پوزولان‌ها شبیه دوده سیلیسی و سرباره به‌این نوع بتن غالباً موجب کاهشی قابل ملاحظه در کمانه کردن و برگشت سنگدانه‌های مخلوط می‌گردد. در تعیین نسبت‌های مخلوط بتن پاشیده باید توجه داشت که قسمتی از مخلوط در اثر کمانه کردن سنگدانه‌ها به‌هنگام پاشیدن از دست می‌رود، بنابراین ترکیب بتن پاشیده شده با ترکیب اولیه آن متفاوت است، لذا باید بین ترکیب مخلوط اولیه، مخلوط در حال خروج از نازل (سرشیلنگی) و مخلوط پاشیده‌شده بر روی سطح، تفاوت قایل شد. به دلیل همین تفاوت، کنترل دقیق و انجام آزمایش در مراحل مختلف بتن پاشی ضروری است. به دلیل سرعت بیش از اندازه ذرات در موقع پاشیدن بتن، توجه به‌مسائل ایمنی برای عوامل اجرایی از اهمیتی ویژه برخوردار است.

جزییات امر در مورد بتن پاشیده باید در مشخصات فنی خصوصی درج گردد.

۹ – ۷ – ۸ – ۲ بتن‌ریزی در زیر آب

۹ – ۷ – ۸ – ۲ – ۱ مشخصات کلی

در مواردی‌که بتن‌ریزی در زیر سطح آب مورد نظر باشد می‌توان از قیف و لوله (تِرمی) یا پمپ برای بتن‌ریزی استفاده کرد.

الف) بتن‌ریزی با قیف و لوله (تِرمی)

در این روش باید دقت شود تا در اثر جریان آب مواد سیمانی شسته نشوند. لازم است برای بتن با کارآیی زیاد بتن ریخته‌شده در آب حداقل ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب، مواد سیمانی داشته باشد. نسبت آب به‌سیمان در طرح اختلاط نباید از ۰/۴۵ تجاوز کند.

سیستم قیف و لوله باید کاملاً آب‌بند بوده و بتن به‌راحتی در آن حرکت نماید. در طول مدت بتن‌ریزی باید این سیستم از بتن پر باشد.

قطر لوله تِرمی باید حداقل برابر قطر بزرگ‌ترین اندازه سنگدانه مصرفی باشد. اسلامپ بتن باید بین ۱۷۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر انتخاب شود. سر لوله ترمی همواره باید میزان ۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر در داخل بتن ریخته‌شده قرار گیرد.

ب) بتن‌ریزی با پمپ

برای بتن‌ریزی با پمپ، باید طرح اختلاط بتن چنان انتخاب شود که نسبت آب به‌سیمان کمترین مقدار ممکن را داشته و مقدار آن از ۰/۶ تجاوز ننماید. مقدار سیمان باید نسبتاً زیاد باشد (در محدوده ۳۵۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب) تا چسبندگی کافی بتن تأمین شود و خطر شسته شدن سیمان از بین برود. به‌منظور افزایش‌کارایی بتن می‌توان از سنگدانه‌های گردگوشه استفاده نمود. استفاده از دانه‌بندی پیوسته با حداکثر اندازه ۳۸ میلی‌متر و همچنین مقدار کافی ریزدانه ضروری است. چنانچه سنگدانه‌ها حاوی مقدار کافی ریزدانه نباشد می‌توان با افزودن مواد ریز، چسبندگی کافی را در بتن ایجاد نمود.

بتنی که پمپ می‌شود باید تا حدی روان‌تر باشد تا از مسدود شدن لوله‌ها جلوگیری شود. به‌منظور آنکه نسبت آب به‌سیمان از حد مجاز بالاتر نرود باید برای تأمین روانی از مواد افزودنی مناسب نظیر فوق روان‌کننده‌ها یا مواد افزودنی آب‌نگهدار استفاده شود.

جز درمواردی‌که افزونه‌های ویژه مصرف می‌شود باید از سقوط آزاد بتن به‌داخل آب جلوگیری کرد تا پدیده جداشدگی ذرات رخ ندهد.

بتن‌ریزی در زیر آب میتواند با روش پیش‌آکنده نیز با رعایت ضوابط مربوطه انجام شود.

۹ – ۷ – ۸ – ۲ – ۲ روش اجرا

الف) هنگام بتن‌ریزی باید اختلاف فشار هیدرولیکی داخل و خارج قالب از بین رفته و سطح آب در داخل و خارج قالب در یک تراز باشد.

ب) در موقع بتن‌ریزی با قیف و لوله باید همیشه انتهای تحتانی لوله حداقل به‌طول ۱ تا ۱/۵ متر داخل بتن باشد به‌طوری که آب نتواند از پایین وارد لوله شود. برای این‌منظور باید به‌تدریج با پرشدن لوله آن را بالا کشید.

پ) باید از ایجاد سطوح افقی که لایه‌های مختلف بتن را از یکدیگر جدا می‌کنند اجتناب شود.

ت) وقتی سطح بتن به‌حد فوقانی مورد نظر رسید، باید آن قسمت از بتن‌که با مواد بیرونی درآمیخته و دانه‌های شن و ماسه و شیره بتن از هم جدا شده، جمع‌آوری و بیرون ریخته شود. این کار باید تا رسیدن به‌بتن خمیری سالم ادامه یابد.

ث) استفاده از سایر روش‌های بتن‌ریزی در زیر آب‌بنا بر توصیه و تأیید دستگاه نظارت بلامانع است.

جزییات بتن‌ریزی زیر آب باید در مشخصات فنی خصوصی درج گردد.

۹ – ۷ – ۹ کنترل و بازرسی

به‌منظور اطمینان از انطباق تجهیزات ساخت و روش تولید با استانداردها و ضوابط این مبحث، حداقل تواتر کنترل و بازرسی باید مطابق جدول ۹ – ۷ – ۳ باشد.

جدول ۹ ـ ۷ ـ ۳

ردیف	شرح تجهیزات	نوع بازرسی آزمایش	هدف‌جدول	زمان تکرار
۱	دپوی مصالح، سیلو و غیره	بازرسی عینی	حصول‌اطمینان‌از انطباق‌باموارد موردنیاز	یکبار در هفته
۲	تجهیزات مربوط به‌اندازه‌گیری	بازرسی عینی از نحوه کارکرد	اطمینان از اینکه تجهیزات مربوط به اندازه‌گیری وزن به‌طورصحیح عمل می‌نماید.	روزانه
۳		آزمایش دقت اندازه‌گیری وزن	حصول اطمینان از دقت موردنظر	۱- در مرحله نصب ۲- به‌طور متناوب بنا به‌تشخیص دستگاه نظارت
۴	دستگاه اندازه گیری و توزین ماده افزودنی	بازدید عینی از نحوه کارکرد	حصول اطمینان از اینکه دستگاه اندازه‌گیری و توزین تمیزاست‌و با دقت عمل می‌نماید	برای اولین پیمانه هر ماده افزودنی در هر روز
۵		آزمایش دقت	اجتناب‌از توزیع‌غیرکنواخت	۱- در مرحله‌نصب ۲- به‌طور ماهانه پس از نصب ۳- در موارد تردید و بنا به تشخیص دستگاه نظارت
۶	آب‌سنج	مقایسه مقدار واقعی یا مقدار قرائت‌شده روی درجه دستگاه اندازه‌گیری	حصول اطمینان از دقت مورد نظر	به‌شرح موارد ۱و ۲ بالا در همین ستون
۷	تجهیزات اندازه‌گیری مداوم میزان رطوبت سنگدانه‌های ریز	مقایسه مقدار واقعی با مقدار قرائت‌شده‌روی درجه دستگاه اندازه‌گیری	حصول اطمینان از دقت مورد نظر	به‌شرح موارد ۱ و ۲ بالا در همین ستون
۸	سیستم پیمانه و مخلوط کردن	بازدید عینی	حصول اطمینان از دقت پیمانه کردن	به‌شرح موارد ۱ و ۲ بالا در همین ستون
۹		مقایسه جرم واقعی مواد تشکیل‌دهنده مخلوط با جرم مورد نظر بر اساس یک روش مناسب	روزانه	
۱۰	وسایل آزمایش	آزمایش‌های لازم مطابق با استانداردها یا سایر مقررات	کنترل انطباق	بر حسب نوع وسایل آزمایش به‌طور مرتب، اما حداقل سالی یک‌بار
۱۱	مخلوط‌کن (از جمله کامیون‌های مخلوط‌کن و حمل بتن)	بازدید عینی	کنترل فرسودگی تجهیزات مخلوط‌کن	ماهانه

۹ ـ ۸ آرماتوربندی

۹ ـ ۸ ـ ۱ مشخصات و شرایط اجرایی

۹ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱ مشخصات مکانیکی میلگردها

مشخصات مکانیکی میلگردها، باید با بند ۹ ـ ۴ ـ ۷ مطابقت داشته باشد.

۹ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ بریدن میلگردها

میلگردها باید با وسایل مکانیکی بریده شوند، استفاده از روش‌های دیگر نیاز به‌تأیید دستگاه نظارت دارد. درصورتی‌که استفاده از تمام طول میلگردهای تابیده سرد اصلاح‌شده ضروری باشد، یا وصله آنها به‌روش جوش دادن نوک به‌نوک لازم شود، سرهای نتابیده آنها باید قطع گردد.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ خم کردن میلگردها

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۱ تمامی میلگردها باید به‌صورت سرد خم شوند، مگر آنکه دستگاه نظارت روشی دیگر را مجاز بداند.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۲ خم کردن میلگردها تا حد امکان باید به‌طور مکانیکی به‌وسیله ماشین مجهز به‌فلکه خم‌کن و با یک عبور در سرعت ثابت انجام پذیرد، به‌طوری‌که قسمت خم‌شده دارای شعاع انحنای ثابتی باشد.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۳ برای خم کردن میلگردها باید از فلکه‌هایی استفاده شود که قطر آنها برای نوع فولاد مورد نظر مناسب باشد.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۴ سرعت خم کردن میلگردها باید متناسب با نوع فولاد و دمای محیط اختیار شود. سرعت خم کردن میلگردهای سرد اصلاح‌شده به‌طور تجربی تعیین می‌شود.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۵ در شرایطی‌که دمای میلگردها از ۵- درجه سلسیوس کمتر باشد، باید از خم کردن آنها خودداری شود.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۶ به‌طور کلی باز و بسته کردن خم‌ها به‌منظور شکل دادن مجدد به‌میلگردها مجاز نیست، مگر در موارد استثنایی که دستگاه نظارت اجازه دهد. در این صورت تمامی میلگردها باید از نظر ترک‌خوردگی بازرسی و کنترل شوند.

۹ – ۸ – ۱ – ۳ – ۷ خم کردن میلگردهایی که یک‌سر آنها در بتن قرار دارد مجاز نیست مگر آنکه در طرح مشخص شده باشد یا دستگاه نظارت اجازه دهد.

۹ – ۸ – ۱ – ۴ جاگذاری و بستن آرماتورها

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۱ آرماتورها باید قبل از بتن‌ریزی مطابق نقشه‌های اجرایی در جای خود قرار گیرند و طوری بسته و نگهداشته شوند که از جابه‌جایی آنها خارج از محدوده رواداری‌های داده‌شده در بند ۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۲ جلوگیری شود.

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۲ در مواردی که دستگاه نظارت محدوده رواداری‌ها را مقرر نکرده باشد، میلگردها را باید با مراعات رواداری‌های زیر جاگذاری کرد:

الف) حداکثر انحراف ضخامت پوشش بتن محافظ میلگردها ۸– میلی‌متر

ب) انحراف موقعیت میلگردها با توجه به‌اندازه ارتفاع مقطع اعضای میله‌ای خمشی، ضخامت دیوارها، و یا کوچکترین بعد ستون‌ها:

- تا ۲۰۰ میلی‌متر یا کمتر ۸ ± میلی‌متر
- بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر ۱۲ ± میلی‌متر
- ۶۰۰ میلی‌متر یا بیشتر ۲۰ ± میلی‌متر

پ) انحراف فاصله جانبی بین میلگردها ۳۰ ± میلی‌متر

ت) انحراف موقعیت طولی خم‌ها و انتهای میلگردها:

- در انتهای ناپیوسته قطعات ۲۰ ± میلی‌متر
- در سایر موارد ۵۰ ± میلی‌متر

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۳ مقدار حداکثر رواداری مذکور در بند ۹– ۸ –۱–۴–۲– الف برای ضخامت پوشش بتن محافظ میلگردها تا جایی معتبر است که ضخامت مذکور

از $\frac{۲}{۳}$ مقدار تعیین‌شده کمتر نشود. در نقشه‌های اجرایی باید ضخامت پوشش بتن برای تمامی میلگردها از جمله خاموت‌ها مشخص شود.

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۴ جنس، ابعاد، تعداد و فاصله لقمه‌ها و خرک‌ها و سایر قطعات مورد استفاده برای تثبیت موقعیت میلگردها در جای صحیح باید طوری باشند که علاوه بر برقراری شرایط بند ۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۲ مانعی در برابر ریختن بتن و نقطه ضعفی در مقاومت و پایایی آن ایجاد نشود.

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۵ برای به‌هم بستن میلگردها و عناصر غیرسازه‌ای به‌آنها باید از مفتول‌ها یا اتصال‌دهنده‌ها و گیره‌های فولادی استفاده کرد. باید توجه داشت که انتهای برجسته سیم‌ها، اتصال‌دهنده‌ها و گیره‌ها در قشر بتن محافظ (پوشش) واقع‌نشود.

۹ – ۸ – ۱ – ۴ – ۶ استفاده از جوشکاری با قوس الکتریکی برای به‌هم بستن میلگردهای متقاطع فقط برای فولادهای جوش‌پذیر و با تأیید دستگاه نظارت مجاز می‌باشد. در این صورت جوش نباید باعث کاهش سطح مقطع میلگرد و ایجاد زدگی در آن شود.

۹ – ۸ – ۲ جزییات آرماتوربندی

۹ – ۸ – ۲ – ۱ انواع میلگردهای مصرفی

انواع میلگردهای مصرفی باید با ضوابط فصل چهارم مطابقت داشته باشند.

۹ – ۸ – ۲ – ۲ قطرهای اسمی

قطرهای اسمی باید مطابق ضوابط بند ۹ – ۴ – ۶ باشند.

۹ – ۸ – ۲ – ۳ کاربرد توأم انواع مختلف فولاد

کاربرد توأم انواع مختلف فولاد در یک قطعه مجاز نیست مگر آنکه:

الف) مشخصات مکانیکی متفاوت آنها در طراحی در نظر گرفته شود.

ب) امکان اشتباه در مرحله اجرا وجود نداشته باشد.

استفاده از یک نوع فولاد برای میلگرد های طولی و نوع دیگر فولاد برای میلگردهای عرضی با رعایت مورد «الف» بلامانع است.

۹ – ۸ – ۲ – ۴ محدودیت‌های فاصله بین میلگردها

فاصله میلگردها می‌باید به‌گونه ای باشند که ضوابط ارایه‌شده در فصول یازدهم الی بیستم را برآورده سازند.

۹ – ۸ – ۲ – ۵ پوشش بتنی روی میلگردها

پوشش بتن روی میلگردها باید به‌گونه ای باشند که ضوابط بند ۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ و ضوابط فصل نوزدهم را برآورده سازند.

۹ ـ ۹ ضوابط قالب‌بندی در بتن، لوله‌ها و مجراهای مدفون و درزهای بتن

۹ ـ ۹ ـ ۰ علایم اختصاری

P_m = فشار حدی بتن بر روی قالب (kN/m^2)

V_1 = سرعت بتن‌ریزی (متر برسرعت)

T_c = درجه حرارت بتن تازه

H = ارتفاع کل بتن‌ریزی

α = ضریب انبساط حرارتی بتن

L = فاصله بین دو درز انبساط متوالی

ΔT = تفاوت بین حداقل و حداکثر دمای سالیانه منطقه (درجه سلسیوس)

۹ ـ ۹ ـ ۱ کلیات

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ تعاریف

واژه‌ها و ترکیب‌های مورد استفاده در این فصل به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ قالب

سازه‌ای موقت است برای در برگرفتن بتن قبل از سخت شدن و کسب مقاومت کافی برای تحمل بار خود.

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۲ مجموعه قالب‌بندی

مجموعه‌ای است‌که برای نگهداری بتن در شکل مورد نظر به‌کار می‌رود، مشتمل بر رویه قالب، بدنه قالب، پشت‌بندها، کلاف‌ها، چپ و راست‌ها، حایل‌ها، پایه‌های قائم، کمرکش‌های افقی، فاصله‌نگهدارها و نظایر آن.

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۳ داربست

سازه‌ای موقت است که برای نگهداری قالب در موقعیت مورد نظر، سکوهای‌کار و تحمل بارهای حین اجرا برپا می‌شود مشتمل بر شمع‌بندی، پایه‌های قائم، صفحات‌افقی ، بادبندها، زیرسری‌ها و نظایر آن.

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۲ عملکردهای قالب

۹ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ قالب باید بتن را در شکل مورد نظر در محدوده رواداری‌ها نگاه دارد، به‌سطح آن نمای دلخواه بدهد، و وزن بتن را تا زمان سخت‌شدن و کسب مقاومت کافی تحمل کند.

۹ – ۹ – ۱ – ۲ – ۲ قالب باید در برابر نیروهای ناشی از وزن و فشار بتن، به‌خوبی محاسبه شده و ایمنی لازم را داشته باشد، و بتن را در برابر صدمات مکانیکی حفظ کند، از کم‌شدن رطوبت بتن و نشت شیره آن جلوگیری نماید، عایقی مناسب در برابر سرما و گرمای محیط باشد، میلگردها و سایر اجزا و قطعاتی را که داخل بتن قرار می‌گیرند در محل مورد نظر نگاه دارد، در برابر نیروهای ناشی از لرزاندن و مرتعش ساختن بتن مقاومت کند و بدون آسیب رساندن به بتن از آن جدا شود.

۹ – ۹ – ۱ – ۳ نقشه‌ها و مشخصات

نقشه‌های قالب و داربست باید برای سازه‌های خاص و پیچیده یا هر مورد ضروری دیگر، با مراعات تمامی جوانب از قبیل ضوابط طراحی قالب مطابق بند ۹ – ۹ – ۳ و رواداری‌های مطابق بندهای ۹ – ۹ – ۱ – ۴ و ۹ – ۹ – ۴ – ۲ تهیه شوند.

۹ – ۹ – ۱ – ۴ رواداری‌ها

رواداری‌ها را باید تا حد امکان و تا جایی‌که اهداف پیش‌بینی شده برای کل سازه یا هر قسمت از آن در حدی غیرقابل قبول مخدوش نشود، بزرگ اختیار کرد.

مبنای سنجش خطاهای احتمالی، نقاط و خطوطی است که در شروع کار ایجاد و تا پایان کار به‌نحوی مقتضی حفظ می‌شوند. چنانچه رواداری‌ها توسط طراح تعیین نشده باشد، انحراف ابعاد و موقعیت قالب‌ها نباید از حدودی معین تجاوز کند. حدود رواداری‌های قالب‌ها برای ساختمان‌ها و قطعات متداول بتن آرمه در جدول (۹ ـ ۹ ـ ۱) درج شده‌اند.

جدول ۹ – ۹ – ۱ رواداری‌های سازه‌های بتنی متعارف

ردیف	شرح			رواداری
۱	انحراف از امتداد قائم	الف	در لبه و سطح ستون‌ها، پایه‌ها، دیوارها، نبش‌ها و کنج‌ها	۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول
				حداکثر ۲۵ میلی‌متر در کل طول
		ب	برای گوشه نمایان ستون‌ها، درزهای کنترل، شیارها و دیگر خطوط برجسته نمایان و مهم	۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول
				حداکثر ۱۲ میلی‌متر در کل طول
۲	انحراف سطوح با ترازهای مشخص‌شده در نقشه‌ها	الف	در سطح زیرین دال‌ها، سقف‌ها، سطح زیرین تیرها، نبش‌ها و کنج‌ها قبل از برچیدن حایل‌ها	۶ میلی‌متر در هر ۳ متر طول
				۹ میلی‌متر در هر چشمه یا هر ۶ متر طول
				حداکثر ۱۹ میلی‌متر در کل طول
		ب	درنعل درگاه‌ها، زیرسری‌ها، جان‌پناه‌های نمایان شیارهای افقی و دیگر خطوط برجسته نمایان و مهم	۶ میلی‌متر در هر ۶ متر طول
				حداکثر ۱۲ میلی‌متر در کل طول
۳	انحراف ستون‌ها، دیوارها و تیغه‌های جداکننده از موقعیت مشخص‌شده در پلان ساختمان		در هر چشمه	۱۲ میلی‌متر
			در هر شش متر طول	۱۲ میلی‌متر
			حداکثر در کل طول	۲۵ میلی‌متر
۴	انحراف از اندازه و موقعیت بازشوهای واقع در کف و دیوار و غلاف‌ها			۶ ± میلی‌متر
۵	اختلاف در ابعاد ستون‌ها، مقطع عرضی ستون‌ها و تیرها و ضخامت دال‌ها و دیوارها	الف	در جهت نقصانی	۶ میلی‌متر
		ب	در جهت اضافی	۱۲ میلی‌متر

۶	پی‌ها	الف	اختلاف اندازه‌های در پلان	نقصانی	۱۲ میلی‌متر
				اضافی	۵۰ میلی‌متر
		ب	جابه‌جایی یا خروج از مرکز	دو درصد عرض شالوده در امتداد طول مورد نظر مشروط بر آنکه بیش از ۵۰ میلی‌متر نباشد	
		پ	ضخامت	کاهش ضخامت نسبت به‌آنچه تعیین شده	۵ درصد
				افزایش ضخامت نسبت به‌آنچه تعیین شده	محدودیتی ندارد
۷	پله‌ها	الف	در تعداد معدودی پله	ارتفاع پله	± ۳ میلی‌متر
				کف پله	± ۶ میلی‌متر
		ب	در پله‌های متوالی	ارتفاع پله	± ۱/۵ میلی‌متر
				کف پله	± ۳ میلی‌متر

۹ – ۹ – ۲ مصالح مصرفی در قالب

مصالح مناسب برای قالب را باید با توجه به‌ملاحظات اقتصادی، ایمنی و سطح تمام‌شده مورد نظر انتخاب کرد. مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی مصالح باید در ساخت قسمت‌های مختلف مانند بدنه، رویه، ملحقات، اجزای نگهدارنده قالب و نظایر آن مورد توجه قرار گیرند.

چوب مصرفی برای قالب باید صاف، بدون پیچ و تاب، سالم و بدون گره باشد. از مصرف چوب تازه برای قالب‌بندی باید خودداری شود. در قالب‌های آلمینیومی باید از تماس مستقیم بتن با آلومینیوم اجتناب شود.

۹ – ۹ – ۳ ضوابط طراحی قالب

۹ – ۹ – ۳ – ۱ کلیات

قالب باید طوری طراحی شود که بتواند بارهای وارده را قبل از این که سازه بتنی مقاومت کافی به‌دست آورد، با ایمنی مناسبی تحمل کند.

۹ – ۹ – ۳ – ۲ بارهای وارد بر قالب

۹ – ۹ – ۳ – ۲ – ۱ بارهای قائم

مهمترین بارهای قائم زنده و مرده وارد بر قالب عبارتند از:

الف) وزن قالب‌ها و پشت‌بندها

ب) وزن بتن تازه

پ) وزن آرماتورها و سایر اقلام کار گذاشته‌شده در بتن

ت) وزن افراد، وسایل‌کار، گذرگاه‌ها و سکوهای کار معادل حداقل ۲/۵ کیلونیوتن بر مترمربع سطح افقی قالب

ث) بارهای موقت حاصل از انبار کردن مصالح
ج) فشار رو به‌بالای باد

تبصره: مجموع بارهای مرده و زنده طراحی نباید کمتر از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع سطح افقی قالب اختیار شود.

۹ – ۹ – ۳ – ۲ – ۲ بارهای‌جانبی

مهم‌ترین بارهای جانبی وارد بر قالب عبارتند از:
الف) رانش بتن تازه
ب) فشار و مکش باد
پ) بارهای ناشی از تغییرات دما

۹ – ۹ – ۳ – ۲ – ۳ فشار رانشی بتن تازه طبق روابط زیر محاسبه می‌گردد:
فشار جانبی بتن برای بتن‌های ساخته‌شده از سیمان نوع یک با وزن مخصوص ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب که حاوی مواد پوزولانی یا مواد افزودنی نباشد و اسلامپ آنها مساوی یا کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد، مساوی فشار هیدرواستاتیک مایعی با وزن مخصوص ۲۴ کیلونیوتن بر مترمکعب می‌باشد. لازم نیست فشار حاصل از فرض فوق از مقادیر حدی (الف) و (ب) بیشتر در نظر گرفته شود.

الف) دیوارها:

$$V_1 < ۲(m/h) \qquad P_m = ۷/۲ + \frac{۸۰۰V_1}{T_c + ۱۸}(kN/m^۲)$$

$$۲(m/h) \le V_1 \le ۳(m/h) \qquad P_m = ۷/۲ + \frac{۱۲۰۰}{T_c + ۱۸} + \frac{۲۵۰V_1}{T_c + ۱۸}(kN/m^۲)$$

$$V_1 > ۳(m/h) \qquad P_m = ۲۴H$$

$$۳۰ \le P_m \le ۱۰۰(kN/m^۲)$$

ب) ستون‌ها :

$$P_m = ۷/۲ + \frac{۸۰۰V_۱}{T_c + ۱۸} (kN/m^۲)$$

$$۳۰ \le P_m \le ۱۵۰ \quad (kN/m^۲)$$

۹ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۴ بارهای ویژه

مهم‌ترین بارهای ویژه عبارتند از:

الف) بار ناشی از بتن‌ریزی نامتقارن
ب) ضربه حاصل از ماشین‌آلات و پمپ بتن
پ) نیروهای رو به‌بالا در قالب‌ها و اقلام کار گذاشته در بتن
ت) اثرهای دینامیکی نظیر اثر تخلیه بتن از جام حمل بتن
ث) بارهای حاصل از نشست نامتقارن تکیه‌گاه‌های قالب
ج) بارهای ناشی از لرزاندن و متراکم کردن بتن

۹ ـ ۹ ـ ۴ اجرای قالب

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۱ کلیات

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱ توصیه می‌شود سطوح فوقانی با شیب بیشتر از ۳:۲ (۲ قائم، ۳ افقی) قالب‌بندی شوند، به‌هرحال تعبیه قالب برای سطح فوقانی با شیب بیشتر از ۱:۱ الزامی است.

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ قبل از جاگذاری آرماتورها باید تا حد امکان رویه قالب‌ها را نصب‌کرد و مواد رهاساز را روی قالب‌ها مالید.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۳ قطعات رویه قالب‌ها باید در کنار هم طوری قرار گیرند (جذب و جفت شوند) که هدر رفتن شیره بتن ممکن نباشد.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۴ قالب‌ها باید از هر نوع‌آلودگی، ملات‌ها، مواد خارجی و نظایر اینها عاری باشند و قبل از هر بار مصرف با مواد رهاساز پوشانده شوند. این مواد را باید چنان به‌کار برد که بدون آلوده شدن آرماتورها، روی سطوح قالب لایه‌ای یکنواخت و نازک به‌وجود آید.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۵ در مواردی که دسترسی به‌کف قالب‌ها دشوار یا غیرممکن باشد، باید با تعبیه دریچه‌های بازدید و کفشوی‌های قالب امکان تمیز کردن قالب قبل از بتن‌ریزی فراهم گردد.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۶ در صورتی که کیفیت سطح تمام‌شده، اهمیتی خاص داشته باشد، نباید از قطعات قالب‌های صدمه‌دیده در مراحل قبلی استفاده کرد.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۷ هنگام برداشتن قالب سطوح زیرین قطعات بتن آرمه باید با رعایت بند ۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۸ پایه‌هایی به‌عنوان پایه‌های اطمینان در زیر سطح باقی گذاشت، تا از بروز تغییرشکل‌های تابع زمان جلوگیری شود.

۹ – ۹ – ۴ – ۱ – ۸ پیش‌بینی پایه‌های اطمینان برای تیرهای با دهانه بزرگتر از پنج متر، تیرهای کنسول به‌طول بیشتر از دو و نیم متر، دال‌های با دهانه بزرگتر از سه متر، و دال‌های کنسول به‌طول بیشتر از یک و نیم متر اجباری است. تعداد پایه‌های اطمینان باید طوری باشد که فاصله آنها به‌هر حال از سه متر تجاوز نکند.

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۲ تنظیم مجموعه قالب‌بندی

مجموعه قالب‌بندی باید در تمامی مراحل قبل از بتن‌ریزی، ضمن و بعد از آن به‌دقت زیر نظر باشد و به‌منظور حفظ مجموعه در محدوده رواداری‌های تعیین‌شده تنظیم شود.
تعبیه خیز اولیه برای تیرها و دال‌های دهانه بزرگ به‌طوری که بتواند تغییرشکل دراز مدت ناشی از بار مرده را جبران نماید، الزامی است.

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۳ قالب‌برداری

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۳ ـ ۱ نحوه قالب‌برداری

الف) قالب باید زمانی برداشته شود که بتن بتواند تنش‌های موثر را تحمل کند و تغییرشکل آن از تغییرشکل‌های پیش‌بینی‌شده تجاوز نکند.
ب) پایه‌ها و قالب‌های باربر نباید قبل از آنکه اعضا و قطعات بتنی مقاومت کافی را برای تحمل وزن خود و بارهای وارد کسب کنند، برچیده شوند.
پ) عملیات قالب‌برداری و برچیدن پایه‌ها باید گام به‌گام، بدون اعمال نیرو و ضربه، طوری صورت گیرد که اعضا و قطعات بتنی تحت اثر بارهای ناگهانی قرار نگیرند، بتن صدمه نبیند و ایمنی و قابلیت بهره‌برداری قطعات مخدوش نشود.
ت) درصورتی‌که قالب‌برداری قبل از پایان دوره مراقبت انجام پذیرد، باید تدابیری برای مراقبت بتن پس از قالب‌برداری اتخاذ کرد.

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۳ ـ ۲ زمان قالب‌برداری

الف) درصورتی‌که زمان قالب‌برداری در طرح تعیین و تصریح نشده باشد باید زمان‌های داده‌شده در جدول ۹ ـ ۹ ـ ۲ را به‌عنوان حداقل زمان لازم برای برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها ملاک قرار داد.

جدول ۹ – ۹ – ۲ حداقل زمان لازم برای قالب‌برداری

شرح / نوع قالب‌بندی		دمای مجاور سطح بتن (درجه سلسیوس)			
		۲۴ و بیشتر	۱۶	۸	۰
قالب‌های قائم ، ساعت		۹	۱۲	۱۸	۳۰
دال‌ها	قالب زیرین ، شبانه‌روز	۳	۴	۶	۱۰
	پایه‌های اطمینان ، شبانه‌روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
تیرها	قالب زیرین ، شبانه‌روز	۷	۱۰	۱۵	۲۵
	پایه‌های اطمینان ، شبانه‌روز	۱۰	۱۴	۲۱	۳۶

زمان‌های داده‌شده با رعایت نکات مشروح زیر معتبرند:

- بتن با سیمان پرتلند معمولی نوع یک یا دو یا سایر سیمان‌هایی‌که روند کسب مقاومت مشابه دارند، ساخته شده باشد.
- درصورتی‌که ضمن سخت‌شدن بتن دمای محیط به‌کمتر از صفر درجه سلسیوس تنزل کند زمان‌های داده‌شده را باید با توجه به‌شرایط بند ۹ – ۷ – ۷ – ۳ اصلاح کرد.
- درصورت استفاده از سیمان پرتلند نوع سه یا مواد تسریع‌کننده یا عمل‌آوری با بخار می‌توان زمان‌های داده‌شده را کاهش داد.
- درصورت استفاده از مواد کندگیرکننده، سیمان پرتلند نوع پنج یا سیمان‌هایی که روند کسب مقاومت مشابه دارند، باید زمان‌های داده‌شده را افزایش داد.
- درصورتی‌که ملاحظاتی خاص برای جلوگیری از ترک‌ها (به‌خصوص در اعضا و قطعات با ضخامت‌هایی متفاوت یا رویارو با دماهای مختلف)، یا تقلیل تغییرشکل‌های ناشی از وارفتگی مورد نظر باشد، باید زمان‌های داده‌شده را افزایش داد.
- درصورتی‌که عمل‌آوردن تسریع‌شده یا قالب‌بندی خاصی مورد نظر باشد تقلیل زمان‌های داده‌شده امکان‌پذیر است.

ب) برچیدن قالب‌ها و پایه‌ها در مدتی کمتر از زمان‌های داده‌شده در جدول ۹ – ۹ – ۲ فقط به‌شرط آزمایش قبلی میسر است.

درصورتی‌که آزمایش آزمونه‌های آگاهی (نگهداری‌شده درکارگاه) حاکی از رسیدن مقاومت بتن به‌حداقل هفتاد درصد مقاومت مشخصه باشد، می‌توان قالب‌های سطوح

زیرین را برداشت ولی برچیدن پایه‌های اطمینان فقط در صورتی مجاز است که علاوه بر مراعات تمامی محدودیت‌ها، بتن به‌مقاومت بیست و هشت روزه مورد نظر رسیده باشد.

۹ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۳ ـ ۳ برداشتن پایه‌های اطمینان

الف) برای تیرهای با دهانه تا هفت متر برداشتن کل قالب و داربست و زدن پایه‌های اطمینان مجاز است ولی برای دهانه‌های بزرگتر از هفت متر، تنظیم قالب و داربست باید طوری باشد که برداشتن قالب بدون جابه‌جایی پایه‌های اطمینان میسر باشد و یا برداشتن قالب و زدن پایه موقت، به‌صورت مرحله‌ای باشد.

ب) برای سازه‌های متشکل از دیوارها و دال‌های بتن آرمه، نظیر سازه‌هایی که با قالب‌های تونلی یا قالب‌واره‌های به‌ابعاد بزرگتر ساخته شوند، می‌توان برچیدن پایه‌های اطمینان و برپایی مجدد آنها را در دهانه‌های تا ده متر مجاز دانست مشروط بر آنکه زدن پایه‌های اطمینان بلافاصله پس از برداشتن قالب باشد و در عمل اطمینان حاصل شود که هیچ نوع ترک یا تغییرشکل نامطلوب بروز نخواهد کرد. در این‌حالت نیز اجرای مرحله‌ای پایه اطمینان قالب توصیه می‌گردد.

پ) به‌طورکلی درصورتی‌که قطعه مورد نظر جزئی از سیستمی پیوسته باشد، موقعی می‌توان پایه‌های اطمینان را برداشت که تمامی قطعات مجاور آن هم بتن‌ریزی شده باشند و بتن مقاومت کافی را کسب کرده باشد.

درصورتی‌که تیر یا دال یکسره طراحی شده باشد، نمی‌توان پایه‌های اطمینان دهانه‌ای را برچید مگر آنکه دهانه‌های طرفین آن بتن‌ریزی شده باشند و بتن آن نیز مقاومت لازم را به‌دست آورده باشد.

ت) درصورت تکیه کردن مجموعه قالب‌بندی طبقه فوقانی روی طبقه تحتانی فقط وقتی می‌توان پایه‌های اطمینان طبقه زیرین را برچید که بتن طبقه بالا مقاومت لازم را به‌دست آورده باشد.

توصیه می‌شود پایه‌های اطمینان همیشه در دو طبقه متوالی وجود داشته باشند و تا حد امکان هر دو پایه اطمینان نظیر در دو طبقه، روی هم و در امتدادی واحد قرار گیرند.

ث) برداشتن پایه‌های اطمینان باید بدون اعمال فشار و ضربه و طوری باشد که بار به‌تدریج از روی آنها حذف شود، (در دهانه‌های بزرگ از وسط دهانه به‌سمت تکیه‌گاه‌ها و در کنسول‌ها از لبه به‌طرف تکیه‌گاه). برداشتن بار از روی پایه‌های اطمینان در دهانه‌های بزرگ و قطعاتی که نقش سازه‌ای حساسی دارند، باید با وسایل قابل کنترل انجام‌پذیرد به‌طوری‌که در صورت لزوم در هر لحظه بتوان باربرداری از روی پایه‌ها را متوقف کرد.

۹ – ۹ – ۵ قالب برای بتن‌ریزی در زیر آب

قالب برای بتن‌ریزی در زیر آب، با توجه به‌ملاحظاتی که در مورد دیگر انواع قالب آمده است، طرح و محاسبه می‌شود با این تفاوت که جرم بتن در زیر آب در اثر نیروی ارشمیدس به‌اندازه جرم آب جابه‌جاشده کاهش می‌یابد.

در ناحیه جزر و مد، قالب‌ها باید برای پایین‌ترین تراز آب طرح و محاسبه شوند. تغییرات در برنامه‌های اجرایی ممکن است بتن‌ریزی را که برای حالت غوطه‌وری برنامه‌ریزی شده با تغییر شرایط مواجه سازد و به‌این ترتیب فشار آب را از دایره عمل خارج نماید.

قالب‌های زیرآبی را باید تا حد امکان در قطعات بزرگ و در بالای سطح آب ساخت و سپس در محل خود در زیر آب مستقر کرد.

باید از به‌کار بردن کش‌های درونی در قالب که می‌تواند در کار بتن‌ریزی اختلال ایجاد کند، تا حد امکان پرهیز شود.

قالب‌ها باید به‌دقت به‌یکدیگر متصل شده و به‌ترتیبی در کنار مصالح و یا قسمت‌های ساخته‌شده قبلی قرار گیرند که دوغاب و ملات تحت تأثیر فشار از درزها خارج نشود.

چنانچه قالب در معرض عبور جریان آب قرار می‌گیرد باید از وجود منافذ کوچک در قالب که امکان شسته شدن ذرات بتن تازه را فراهم می‌سازد، پرهیز گردد.

۹ ـ ۹ ـ ۶ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن

۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۱ مدفون کردن لوله‌ها و مجراهای آب، فاضلاب، بخار و گاز در بتن تیرها و ستون‌ها و در امتداد محور آنها، یا در بتن قطعات صفحه‌ای و به‌موازات میان صفحه آنها جز در موارد مندرج در بند ۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۲ ممنوع است.

از عبور دادن لوله‌ها و مجراهای مذکور عمود بر امتدادهای ذکرشده هم باید تا حد امکان احتراز کرد. در صورت ضرورت باید اطراف لوله‌ها و مجراها به‌نحوی مناسب تقویت شود.

۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۲ در مناطقی‌که بارندگی مستمر ندارند، می‌توان برای ساختمان‌های تا سه طبقه، ناودان را در داخل بتن ستون دفن کرد مشروط بر اینکه در انجام محاسبات سازه فضای اشغال‌شده توسط ناودان، خالی در نظر گرفته شود.

۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۳ عبور دادن لوله‌ها و مجراها از داخل فضای خالی تیرها و ستون‌های با مقطع مجوف مشروط بر اینکه قابل بازدید و قابل تعویض باشند بلامانع است.

۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۴ دفن کردن لوله‌ها و مجراهای تأسیساتی و برقی جز در موارد مندرج در بند ۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۱ مجاز است، مشروط بر اینکه سایر ضوابط بند ۹ ـ ۹ـ ۶ رعایت شوند.

۹ – ۹ – ۶ – ۵ لوله‌ها و مجراهای آلومینیومی نباید در قطعات بتنی دفن شوند مگر آنکه به‌طرزی مؤثر روکش شده باشند به‌طوری‌که ترکیب شیمیایی میان بتن و آلومینیوم و نیز فعل و انفعال الکتروشیمیایی بین‌آلومینیوم و فولاد امکان‌پذیر نباشد.

۹ – ۹ – ۶ – ۶ در قالب‌بندی پوشش‌های طبقات و نیز دیوارهای باربر باید عبور لوله‌ها و مجراهای مورد نیاز تأسیسات مکانیکی و برقی مطابق نقشه‌های مربوط پیش‌بینی شود، تا تخریب بتن پس از اتمام بتن‌ریزی لازم نشود. در موارد اضطراری که تعبیه سوراخ‌ها در زمان قالب‌بندی و بتن‌ریزی پیش‌بینی نشده باشد، سوراخ کردن دال یا دیوار فقط با استفاده از وسایل مناسب و مصوب مجاز است.

۹ – ۹ – ۶ – ۷ قراردادن لوله‌های پلاستیکی داخل ستون‌ها و دیوارها برای عبور میل مهارهای قالب به‌شرط پرکردن آنها با ملات ماسه سیمان پس از قالب‌برداری، مجاز است. درصورتی‌که تعداد و قطر این لوله‌ها در حدی باشد که هیچ‌یک از مقاطع بتن بیشتر از ۳ درصد تقلیل نیابد، می‌توان از پرکردن داخل آنها صرف‌نظر کرد.

۹ – ۹ – ۶ – ۸ سطح اشغال‌شده توسط لوله‌ها و مجراهایی‌که همراه بست‌های خود در بتن ستون دفن می‌شوند نباید از ۳ درصد سطح مقطعی که محاسبه مقاومت قطعه بر آن اساس بوده یا برای مقابله با اثر آتش سوزی مورد نیاز است بیشتر باشد. به علاوه این‌گونه لوله‌ها و مجراها باید در حوالی محور طولی ستون قرار گیرند.

به‌هرحال نباید عملکرد قطعه با خدشه قابل ملاحظه‌ای مواجه شود. در صورت برآورده نشدن شروط فوق باید اثر مجراها در مقاومت ستون‌ها منظور شود.

۹ – ۹ – ۶ – ۹ لوله‌ها و مجراهای مدفون در بتن دال‌ها، تیرها و دیوارها جز در مواردی که نقشه‌های آنها به‌تصویب مهندس طراح رسیده باشند، باید با ضوابط ۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۹ ـ ۱ و ۹ ـ ۹ ـ ۶ ـ ۹ ـ ۲ مطابقت داشته باشند.

۹ – ۹ – ۶ – ۹ – ۱ ابعاد بیرونی آنها نباید از $\frac{۱}{۳}$ ضخامت کل قطعه مورد نظر بیشتر باشد.

۹ – ۹ – ۶ – ۹ – ۲ فاصله مرکز تا مرکز هر دو لوله یا مجرای مجاور هم نباید از ۳ برابر قطر یا عرض آنها کمتر باشد.

۹ – ۹ – ۷ درزهای بتن

۹ – ۹ – ۷ – ۱ درزهای اجرایی

تعداد درزهای اجرایی باید در کمترین حد لازم برای انجام کار انتخاب شود.

در تعیین موقعیت درزهای اجرایی باید دقت کافی به‌عمل آید. شکل درزهای اجرایی و موقعیت آنها بسته به‌اهمیت کار باید در نقشه‌ها منعکس یا در کارگاه به‌وسیله دستگاه نظارت تعیین شود. درهرحال تعیین موقعیت درزهای اجرایی را نباید به‌محل یا زمانی دلخواه از قبیل پایان روز کار موکول کرد.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۱ در درزهای اجرایی باید سطح بتن را تمیز کرد و دوغاب خشک‌شده را از روی آن زدود.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۲ درزهای اجرایی را باید در مقاطعی پیش‌بینی‌کرد که در آنها نیروهای داخلی و به‌ویژه نیروهای برشی‌کمترین مقدار را دارند. در صورت لزوم برای انتقال نیروهای برشی و سایر نیروهای داخلی، در محل درزهای اجرایی باید پیش‌بینی‌های لازم به‌عمل آید.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۳ برای تأمین پیوستگی بتن در محل درزهای اجرایی باید سطح بتن قبلی را خشن ساخت و سپس لایه بعد را ریخت.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۴ باید تمامی سطوح درزهای اجرایی را قبل از بتن‌ریزی جدید به‌صورت اشباع با سطح خشک درآورد.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۵ درزهای اجرایی نباید بدون شکل باشند بلکه باید امتدادی عمود بر امتداد تنش‌های عمود بر سطح داشته باشند. از ایجاد درزهای بزرگ اجرایی باید خودداری کرد و درزهای لازم را به‌صورت پلکانی یا سطوح شکسته در نظر گرفت.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۶ ایجاد درزهای اجرایی قائم باید با قالب‌های مناسب انجام شود.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۷ ایجاد درزهای اجرایی کف‌ها باید در ثلث میانی دهانه دال‌ها و تیرهای اصلی و فرعی قرار گیرند. در تیرهای اصلی فاصله هر درز اجرایی تا تیر فرعی متقاطع با آنها نباید از دو برابر عرض تیر فرعی کمتر باشد. در صورت تعارض مفاد بند ۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۲ اولویت دارد.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۸ تیرها یا دال‌های متکی بر ستون‌ها یا دیوارها را تا زمانی‌که این اعضای قائم حالت خمیری دارند، نباید بتن‌ریزی کرد.

۹ – ۹ – ۷ – ۱ – ۹ بتن تیرها و سر ستون‌ها را باید به‌صورت یکپارچه با بتن دال ریخت، مگر آنکه خلاف آن در نقشه‌ها یا دفترچه مشخصات تصریح شده باشد.

۹ ـ ۹ ـ ۷ ـ ۲ درزهای انبساط

در صورت عدم در نظر گرفتن تأثیر تغییرات حرارتی و عوامل ناشی از آن و درصورتی‌که طول یا عرض ساختمان از ۲۵ متر در مناطق خشک، یا ۳۵ متر در مناطق معتدل، یا ۵۰ متر در مناطق مرطوب تجاوز کند اجرای درز انبساط در آن الزامی است. این درز باید در محل یا محل‌هایی در نظر گرفته شود که فاصله بین هر دو درز متوالی از مقادیر فوق تجاوز نکند. در صورت عدم اجرای درز در پی اثرات ناشی از رفتار ناهمسان دو قسمت سازه، در پی اعمال گردد.

حداقل عرض درز انبساط برابر با $\alpha L(\Delta T)$ می‌باشد. در این رابطه، α برابر با $۱۰\times۱۰^{-۶}\,۱/^{\circ}C$ در نظر گرفته می‌شود. درصورتی‌که آمار قابل قبول مورد نیاز برای ΔT وجود نداشته باشد مقدار آن برابر با ۶۰ درجه سلسیوس برحسب حداقل $-۳۰^{\circ}C$ و حداکثر $+۳۰^{\circ}C$ ، در نظر گرفته می‌شود. مقدار عرض درز لازم است ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان را برای درز انقطاع نیز تأمین نماید.

۹ ـ ۹ ـ ۷ ـ ۳ درزهای انقطاع

در ساختمان‌هایی که نسبت طول به‌عرض ساختمان از ۳ بیشتر است باید با ایجاد درز انقطاع آن را به‌مستطیل‌هایی تبدیل‌کرد که نسبت طول به‌عرض آنها از ۳ بیشتر نباشد. سایر ضوابط درز انقطاع و میزان آن مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می‌باشد.

۹ ـ ۱۰ اصول تحلیل و طراحی

۹ ـ ۱۰ ـ ۰ علایم اختصاری

D = بار دایمی

E = بار زلزله

E_c = ضریب ارتجاعی بتن، مگاپاسکال

E_s = ضریب ارتجاعی فولاد، مگاپاسکال

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

F = فشار و وزن مایعات

H = فشار رانشی و وزن خاک

K = ضریب طول مؤثر برای اعضای فشاری

ℓ_e = طول دهانه مؤثر، میلی‌متر

ℓ_n = طول دهانه آزاد، میلی‌متر

ℓ_u = طول مهارنشده (بدون اتکا) در عضو فشاری، میلی‌متر

L = بار زنده

R = درصد باز پخش لنگرهای خمشی منفی

r = شعاع ژیراسیون مقطع عضو فشاری، میلی‌متر

S_r = نیروی مقاوم مقطع

S_u = نیروی ایجاد شده در مقطع

T = آثار تجمعی‌حرارت، وارفتگی و جمع‌شدگی بتن و نشست نامتجانس تکیه‌گاه‌ها

W_u = بار نهایی در واحد طول یا واحد سطح

W = بار باد

γ_c = جرم مخصوص بتن

γ_f = ضریب جزیی ایمنی عامل‌ها

γ_n = ضریب اصلاحی بار

ρ = نسبت سطح مقطع آرماتور کششی به سطح مقطع مؤثر $(\rho = \frac{A_s}{A_e})$

ρ' = نسبت سطح مقطع آرماتور فشاری به سطح مقطع مؤثر $(\rho' = \frac{A'_s}{A_e})$

ρ_b = مقدار ρ در مقطع متعادل

ϕ_c = ضریب جزیی ایمنی مقاومت بتن

ϕ_m = ضریب جزیی ایمنی مقاومت مصالح

ϕ_n = ضریب اصلاح مقاومت

ϕ_s = ضریب جزیی ایمنی مقاومت فولاد

۹ – ۱۰ – ۱ گستره

۹ – ۱۰– ۱– ۱ ضوابط این فصل شامل اصول کلی هستند که در تحلیل و طراحی سازه ساختمان‌های بتنی باید رعایت شوند. این اصول شامل: روش طراحی، بارگذاری و ترکیبات آنها، ضرایب ایمنی و ضوابط کلی مورد استفاده در طراحی اجزا می‌باشد.

۹ – ۱۰ – ۲ اهداف طراحی

هدف از طراحی سازه، تعیین سیستم سازه، ابعاد و مشخصات اعضای آن به‌نحوی است که شرایط زیر تأمین گردد.

۹ – ۱۰ – ۲ – ۱ ایمنی

منظور از ایمنی آن است که طراحی سیستم، اجزاء و اتصالات آن طوری باشد که سازه، پایداری و انسجام خود را حفظ نماید و ضمن‌حفظ شرایط اقتصادی، تحت اثر بارها و سربارهای متعارف آسیب ندیده و تحت‌بارها و سربارهای استثنایی گسیخته نشود.

۹ – ۱۰ – ۲ – ۲ بهره‌برداری مناسب

منظور از تأمین شرایط بهره‌برداری مناسب این است که:
- تغییرشکل و ترک خوردگی بیش از حد ایجاد نشود.
- اجزای غیر سازه‌ای آسیب نبینند.
- ساکنان ساختمان در اثر لرزش سازه احساس ناامنی نکنند.
- تحت شرایط مختلف محیطی، کیفیت مصالح مصرفی و قابلیت بهره‌برداری در اثر فرسودگی و خوردگی در طول عمر پیش‌بینی شده تأمین شود.

۹ – ۱۰ – ۳ روش‌طراحی

در این مبحث روش طراحی براساس‌حالت‌های حدی است. حالت‌های حدی به‌شرایطی اطلاق می‌شوند که اگر تمام یا بخشی از اعضای سازه به هر یک از آن حالات برسند قادر به انجام وظایف خود نباشد و از حیز انتفاع خارج می‌شوند. لذا با انتخاب ضرایب ایمنی مناسب، سازه باید طوری طرح شود که تحت شرایط بارگذاری محتمل به‌هیچ یک از حالت‌های حدی نرسد. حالت‌های حدی به دو بخش اصلی به‌شرح بندهای زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

۹ – ۱۰ – ۳ – ۱ حالت‌های حدی نهایی

این حالت‌ها در ارتباط با ظرفیت باربری حداکثر سازه تعریف شده که گذر از آن‌ها باعث ناپایداری بخش یا تمام اجزای سازه می‌شود. این‌حالت‌ها ممکن است در یکی‌از شرایط محتمل زیر مطرح شوند:

– از بین رفتن تعادل استاتیکی تمام یا قسمتی از سازه
– حصول شرایط گسیختگی یا تغییرشکل‌های بیش از حد (حد مقاومت مصالح) و یا تبدیل تمام یا بخشی از سازه به مکانیزم
– از دست رفتن پایداری تمام یا بخشی از سازه

۹– ۱۰ – ۳ – ۲ حالت‌های حدی بهره‌برداری

این حالت‌ها به‌شرایط بهره‌برداری یا پایایی سازه مرتبط شده وگذر از آنها قابلیت بهره‌برداری مناسب از بنا را از بین می‌برد و غالباً به یکی از اشکال زیر اتفاق می‌افتد:

– تغییرشکل بیش از حد اجزای سقف به‌نحوی که بر عملکرد مطلوب سازه اثر نامناسب گذاشته و یا باعث آسیب به‌تیغه‌ها و اجزای متکی بر سقف شود.

– ترک‌خوردگی بیش‌از حد و خصوصاً باز شدن ترک‌ها به‌طوری که ضمن ایجاد شرایط ظاهری نامناسب، خطرخوردگی میلگردهای فلزی را افزایش دهد.
– لرزش بیش از حد سازه تحت اثر بارهای بهره برداری، ماشین‌آلات و یا وسایل متحرک در این حالت لازم است میزان تغییرشکل و ترک خوردگی اعضای سازه تحت اثر بارهای بهره‌برداری همواره کمتر از مقادیر حدی مشخص شده در این مبحث باشد.

۹ – ۱۰ – ۴ ضرایب ایمنی

در این مبحث دو مجموعه ضرایب ایمنی جزیی به شرح (الف) و (ب) این بند تعریف می‌شوند:

الف) اولین مجموعه ضرایب ایمنی برای تشدید بارها است‌که با γ_f نشان داده شده و مقدار آنها بستگی به میزان عدم اطمینان در برآورد مقدار بارها دارد.
ب) دومین مجموعه ضرایب ایمنی برای تقلیل‌مقاومت مصالح است‌که با ϕ_m نشان داده شده و مقدار آنها بستگی به‌عدم اطمینان موجود در کیفیت مصالح، نحوه اجرا و دقت مشخصات هندسی اجزای باربر دارد.

همچنین بر حسب اهمیت اجزاء و نوع گسیختگی، یک مجموعه ضرایب اصلاحی که با ϕ_n یا γ_n نشان داده می‌شود در مقاومت‌ها و یا بارها ضرب می‌شوند.

۹ – ۱۰ – ۵ اعضای سازه‌ای

برای تحلیل سازه‌ها لازم است اعضای سازه‌ای برحسب مشخصات هندسی به شرح بندهای ۹ – ۱۰ – ۵ – ۱ الی ۹ – ۱۰ – ۵ – ۴ طبقه بندی شوند.

۹ – ۱۰ – ۵ – ۱ اعضای میله‌ای

در این اعضاء، یکی از ابعاد که طول عضو می باشد به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دو بعد دیگر بزرگتر است و دو بعد اخیر که ابعاد مقطع هستند اختلاف کمی دارند. در اعضای میله‌ای ساده نسبت طول به بعد بزرگ مقطع بیش از ۴ و در اعضای میله‌ای پیوسته بیش از ۲/۵ است.

۹ – ۱۰ – ۵ – ۲ اعضای‌صفحه‌ای

در اعضای سه بعدی یکی از ابعاد (ضخامت) به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دو بعد دیگر کوچکتر است. درصفحات نازک نسبت ضخامت به عرض صفحه کمتر یا مساوی $\frac{۱}{۱۰}$ منظورمی شود. دال‌ها و دیوارها نمونه‌هایی از صفحات نازک و پی‌ها، نمونه‌هایی از صفحات ضخیم هستند.

۹ – ۱۰ – ۵ – ۳ اعضای پوسته‌ای

در اعضای پوسته‌ای مانند اعضای صفحه‌ای یکی از ابعاد (ضخامت) کمتر از دو بعد دیگر است، اما میان صفحه آنها که تحت بارهای عمود بر خود قرار می‌گیرد، تخت نمی‌باشد.

۹ – ۱۰ – ۵ – ۴ اعضای سه بعدی

در این اعضا هیچ‌یک از ابعاد اختلاف قابل ملاحظه‌ای با دو بعد دیگر ندارند و هیچ‌یک از ضوابط بندهای ۹ – ۱۰ – ۵ – ۱ الی ۹ – ۱۰ – ۵ – ۳ در مورد آنها صادق نمی‌باشد.

۹ – ۱۰ – ۶ اصول تحلیل

۹ – ۱۰ – ۶ – ۱ تحلیل سازه

هدف از تحلیل سازه، تعیین نیروهای داخلی در مقاطع مختلف و تغییرمکان نقاط مختلف تحت اثر بارهای وارده، با در نظر گرفتن مشخصات هندسی و مکانیکی آنها است.

۹ – ۱۰ – ۶ – ۲ تحلیل‌خطی

در این روش محاسبه نیروها در مقاطع مختلف سازه با فرض‌خطی بودن رفتار مصالح، کوچک بودن تغییرشکل و براساس تئوری الاستیسیته انجام می‌شود. این روش در محاسبات حالت‌های حدی نهایی و بهره‌برداری قابل استفاده است. در سازه‌های قابی مهار نشده جانبی، استفاده از این روش به شرطی مجاز است که ضریب لاغری ستون‌ها $\frac{Kl_u}{r}$ کمتر از صد باشد.

۹ – ۱۰ – ۶ – ۳ تحلیل خطی با باز پخش محدود

در این روش محاسبه نیروهای داخلی با فرضیات مشابه روش تحلیل خطی انجام می‌شود. با توجه به مشخصات مکانیکی می‌توان نیروهای موجود را به میزان محدودی‌کاهش یا افزایش داد.

در قاب‌های مهار نشده استفاده از این روش به‌شرطی مجاز است که ضریب لاغری ستون‌ها از۲۵ کمتر بوده و مقادیر ρ یا $(\rho - \rho')$نیز از $۰/۷\rho_b$ کمتر باقی‌بماند.

الف) مقادیر لنگرهای خمشی منفی محاسبه شده در تکیه‌گاه‌های سیستم قاب خمشی را می‌توان حداکثر به‌اندازه $\%\left(۲۰\left(۱ - ۰/۷\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}\right)\right)$ کاهش یا افزایش داد

مشروط بر آنکه مقادیر لنگر در سایر مقاطع نیز با توجه به‌شرایط متقارن بارها تغییر داده شوند.

ب) در قاب‌های مهارنشده حداکثر بازپخش به‌میزان $R = ۱۰\left(۱ - ۰/۷\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}\right)\%$ محدود می‌شود.

۹ – ۱۰ – ۶ – ۴ تحلیل غیرخطی

دراین روش‌مقادیر نیروهای داخلی در اعضای سازه با توجه به « رفتار غیرخطی مصالح» و یا «رفتار غیرخطی هندسی» تعیین می‌شوند.

این روش درحالت‌های حدی نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در سازه‌های قابی در شرایطی که لاغری ستون‌ها بیش از صد باشد بکارگیری آن الزامی است.

۹ – ۱۰ – ۶ – ۵ تحلیل پلاستیک

در این روش تحلیل، مقادیر نیروهای داخلی با فرض رفتار پلاستیک اعضاء و استفاده از تئوری پلاستیسیته و تنها در حالت حد نهایی محاسبه می‌شود.

۹ – ۱۰ – ۷ مشخصات مصالح

۹ – ۱۰ – ۷ – ۱ در تحلیل خطی مقدار E_c در بتن معمولی با وزن مخصوص۲۳ تا ۲۵ کیلونیوتن بر مترمکعب و مقاومت فشاری مشخصه ۲۰MPa تا ۴۰MPa می‌توان از رابطه (۹ – ۱۰ – ۱) استفاده نمود.

$$E_c = ۵۰۰۰\sqrt{f_c} \qquad (۹ - ۱۰ - ۱)$$

در تحلیل غیرخطی لازم است E_c برای بارهای کوتاه‌مدت و درازمدت با توجه به اثر تغییرشکل‌های درازمدت بتن محاسبه و منظور گردد.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۲ درتحلیل خطی مقدار E_s برابر با ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال منظور می‌شود.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۳ ضریب انبساط حرارتی بتن معادل $۱/^\circ C$ $۱۰^{-۵}$ در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۴ ضریب پواسون بتن و فولاد را می توان به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۳ در نظر گرفت.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۵ فقط بتن‌های رده C۲۰ و بالاتر را می توان به‌عنوان مبنای طراحی در نظر گرفت.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۶ برای بتن با رده بالاتر از C۵۰ باید علاوه بر مقررات این مبحث ضوابط ویژه دیگری نیز منظور شود.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۷ رده میلگردهای به کار برده در قاب‌ها و اجزای لبه‌ای دیوارهای مقاوم در برابر زلزله و همچنین فولادهای دورپیچ ستون‌ها و فولادهای عرضی پیچشی و برشی و برش اصطکاکی نباید بالاتر از رده S۴۰۰ باشند.

۹ – ۱۰ – ۷ – ۸ استفاده از میلگردهای ساده به‌عنوان میلگرد سازه‌ای فقط در دور پیچ‌ها مجاز می باشد.

۹ – ۱۰ – ۸ مشخصات هندسی

۹ – ۱۰ – ۸ – ۱ طول دهانه موثر برای اعضای غیریکپارچه با تکیه‌گاه معادل‌کمترین مقدار بین «فاصله محوربه محور تکیه‌گاه» و «طول‌آزاد به‌علاوه ارتفاع عضو» در نظر گرفته می‌شود.

برای اعضای یکپارچه با تکیه‌گاه، طول دهانه معادل فاصله محور به‌محور تکیه‌گاه خواهد بود. برای اعضای طره‌ای، این طول معادل طول آزاد آنها منظور می‌گردد.

۹ – ۱۰ – ۸ – ۲ طول دهانه آزاد برتا بر تکیه‌گاه‌ها در امتدادی که لنگرها برای آن محاسبه می‌شوند منظور می‌گردد.

۹ – ۱۰ – ۸ – ۳ ابعاد درنظر گرفته شده هر عضو در تحلیل سازه نبایستی با ابعاد ارائه شده در نقشه‌های اجرایی بیش از ۵٪ اختلاف داشته باشد.

۹ – ۱۰ – ۸ – ۴ اثر ترک‌خوردگی

در تحلیل سازه باید سختی‌خمشی و پیچشی اعضای ترک‌خورده به‌نحو مناسب محاسبه و منظور گردد. اثر ترک خوردگی با توجه به‌تغییر شکل‌های محوری و خمشی و آثار دراز مدت باید محاسبه شود. در غیاب محاسبات دقیق برای منظور کردن اثر ترک‌خوردگی می‌توان:

– در قاب‌های مهارنشده سختی تیرها و ستون‌ها را به‌ترتیب معادل ۰/۳۵ و ۰/۷ برابر سختی مقطع ترک نخورده آنها منظور نمود.

– در قاب‌های مهارشده سختی تیرها و ستون‌ها را به‌ترتیب معادل۰/۵ و ۱ برابر سختی مقطع ترک‌نخورده آنها منظور نمود.

سختی دیوارها را در صورتی‌که ترک خورده باشند ۰/۳۵ و در غیر این صورت ۰/۷ سختی مقطع کل منظور نمود.

۹ – ۱۰ – ۹ بارگذاری

۹ – ۱۰ – ۹ – ۱ بارهای مؤثر در طراحی سازه‌ها شامل موارد زیر می‌باشند:

الف) بارهای دائمی، شامل وزن اجزاء سازه یا عوامل متکی بر آنها
ب) سربارهای بهره‌برداری (زنده) و همچنین سربارهای حین ساخت، ناشی از وزن قالب و داربست بستن یک طبقه روی طبقه یا طبقات زیر
پ) بارهای جوی، مانند باد و برف
ت) بارهای استثنائی، مانند زلزله، حریق و برخورد وسایل نقلیه به‌ستون‌ها و پایه‌ها
ث) بارهای حرارتی، جمع‌شدگی و وارفتگی بتن و نشست تکیه‌گاهی

۹ – ۱۰ – ۹ – ۲ مشخصات و میزان بارهای وارد بر سازه براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می شوند.

۹ – ۱۰ – ۹ – ۳ بارهای وارده با توجه به احتمال همزمان بودن با یکدیگر ترکیب شده و در طراحی هر عضو نامساعدترین وضعیت‌های احتمالی بارگذاری به‌کار گرفته می‌شوند.

۹ – ۱۰ – ۱۰ طراحی در حالت حدی نهایی مقاومت

کلیه اجزای سازه‌ای باید در حالت حدی نهایی مقاومت محاسبه شود و در هر مقطع باید رابطه عمومی زیر همواره برقرار باشد.

$$S_r \geq S_u$$

در این رابطه S_u نیروی داخلی ایجاد شده در مقطع و S_r نیـروی مقـاوم عـضو در مقطع مورد نظر است.

۹ – ۱۰ – ۱۰ – ۱ نیروی مقاوم S_r

۹ – ۱۰ – ۱۰ – ۱ – ۱ نیروی مقاوم مقطـع بایـد متناسـب بـا مشخـصات هندسـی و مکانیکی مقطع عضو در برابر آن نیرو و با توجه به شرایط تعادل نیروها و سازگاری تغییر شکل‌ها محاسبه شود.

در تعیین این نیرو ضوابط ذکرشده در فصول مختلف این مبحث برای قطعات تحت اثر خمش، برش، خمش و فشار یا کشش، پیچش و آثار مربوط به لاغری و پیوسـتگی و مهاری باید در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۰ – ۱۰ – ۱ – ۲ برای محاسبه نیروی مقاوم S_r ، مقادیر مقاومت‌هـای مشخـصه بتن و فولاد در ضرایب ایمنی جزیی به شرح (الف) تا (ج) این بند، ضرب می‌شوند:

الف) ضریب ایمنی جزیی مقاومت بتن در قطعات درجا $\phi_c = ۰/۶۵$

ب) ضریب ایمنی‌جزیی مقاومت بتن در قطعات پیش ساخته $\phi_c = ۰/۷$

ج) ضریب ایمنی جزیی مقاومت فولاد $\phi_s = ۰/۸۵$

در موارد استثنائی مقادیر ϕ برای‌هر حالت‌ارائه‌شده‌اند.

تبصره: در شرایطی که در یک عضو حاشیه ایمنی بیشتری مورد نیاز باشد یک ضـریب ایمنی مکمل ϕ_n نیز بر مقاومت نهایی مقطع اعمال می‌گردد.

۹ – ۱۰ – ۱۰ – ۲ نیروهای ایجاد شده در مقطع در حالت حدی نهایی (S_u)

نیروهای ایجاد شده در مقطع در حالت حـدی نهـایی (S_u) شـامل نیروهـای محـوری، لنگرهای خمشی و پیچشی و نیروهای برشی باید با توجه به تحلیل سازه تحت ترکیبات

مختلف بارهای نهایی محاسبه شوند. برای تعیین بارهـای نهـایی، مقـادیر بارهـا مطـابق جدول ۹ – ۱۰ – ۱ در ضرایب بار ضرب شده و با هم ترکیب می‌شوند.

جدول۹ – ۱۰ – ۱ ترکیبات بارگذاری در حالت حدی نهایی

شرایط	ترکیب بار
ترکیب نهایی مبنا (تبصره۱)	۱/۲۵D+۱/۵ L
ترکیب بارهای دائمی، بهره‌برداری و اثر زلزله (تبصره ۲)	D + ۱/۲ L+ ۱/۲ E ۰/۸۵ D +۱/۲ E
ترکیب بارهـای دائمـی، بهـره‌بـرداری و فـشار خـاک یـا آب (تبصره ۳)	۱/۲۵ D +۱/۵ L + ۱/۵ H ۰/۸۵D + ۱/۵ L
ترکیـب بارهـای دائمـی، بهـره‌بـرداری و آثـار حرارتـی، جمع‌شدگی و وارفتگی بتن و نشست تکیه‌گاه‌ها	D + ۱/۲L + T ۱/۲۵D + ۱/۵T

تبـصره ۱: در شـرایطی‌کـه اثـر بـار زنـده در هـر یـک از ترکیبـات بارگـذاری‌کـاهش‌دهنـده اسـت، ایـن آثـار معادل صفر منظور می‌گردد.

تبـصره ۲: در مـورد ترکیـب بارهـای دائمـی، سـربارهای بهـره‌بـرداری و اثـر بـاد (W) از همـین روابـط اسـتفاده شده ولی مقدار E با W جایگزین می‌گردد.

تبـصره ۳: در مـورد فـشار مایعـات در صـورتی کـه وزن مخـصوص مـایع مـشخص و حـداکثر ارتفـاع آن نیـز قابـل کنترل باشد مقدار H با F جایگزین شده و ضریب ۱/۵ نیز با ۱/۲۵ جایگزین می‌گردد.

۹ – ۱۰ – ۱۱ کنترل در حالت حدی بهره‌برداری

کنترل اعضای مختلف سازه‌ای در دو حالـت حـدی تغییرشـکل و تـرک‌خـوردگی، براسـاس مطالب مندرج در فصل چهاردهم تحت اثـر ترکیبـات بارحالـت حـدی بهـره‌بـرداری انجـام می‌شود.

در محاسبات حالت حدی بهره‌برداری، ضرایب ایمنی جزیی بارهـا γ_f و مقامـت ϕ_m برابر واحد در نظر گرفته می‌شود.

۹ ـ ۱۱ خمش و بارهای محوری

۹ ـ ۱۱ ـ ۰ علایم اختصاری

A_c = مساحت هسته عضو فشاری با آماتور دورپیچ که بر اساس قطر بیرونی دورپیچ محاسبه می‌شود، میلی‌متر مربع

A_e = مساحت مقطع مؤثر (در مقطع مستطیل شکل $A_e = bd$)، میلی‌متر مربع

A_g = مساحت کل مقطع، میلی‌متر مربع

A_s = سطح مقطع آرماتور کششی، میلی‌متر مربع

A_{st} = سطح مقطع کل آرماتور طولی، میلی‌متر مربع

$A_۱$ = سطحی از عضو که در تماس با تکیه‌گاه به‌صورت اتکایی انتقال بار می‌نماید، میلی‌متر مربع

$A_۲$ = مساحت تکیه‌گاه، میلی‌متر مربع

b = پهنای بال فشاری، میلی‌متر

b_w = پهنای جان تیر T شکل، میلی‌متر

d = فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح آرماتور کششی طولی، میلی‌متر

E_s = ضریب ارتجاعی فولاد، مگاپاسکال

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای تسهیل‌کار در این فصل حرف k در زیرنویس حذف شده است.

M_r = لنگر خمشی مقاوم، نیوتن – میلی‌متر

M_u = لنگر خمشی نهایی، نیوتن – میلی‌متر

N_{rb} = نیروی محوری مقاوم نظیر مقطع متعادل، نیوتن

$N_{r,max}$ = حداکثر نیروی محوری مقاوم، نیوتن

N_r = نیروی محوری مقاوم، نیوتن

N_u = نیروی محوری نهایی، نیوتن

x = فاصله تار خنثی از دورترین تار فشاری مقطع، میلی‌متر

α_1 = ضریب تنش معادل یکنواخت در بلوک فشاری مقطع

β_1 = ضریب تقلیل مقدار x برای استفاده از تنش معادل یکنواخت

ε_s = تغییر شکل نسبی فولاد

ρ = نسبت سطح مقطع آرماتور کششی به سطح مقطع موثر ($\rho = \frac{A_s}{A_e}$)

ρ_s = نسبت حجم آرماتور دورپیچ به حجم‌کل هسته (براساس قطر بیرونی دورپیچ) در عضو فشاری با آرماتور دورپیچ

ϕ_c = ضریب جزیی ایمنی بتن

ϕ_s = ضریب جزیی ایمنی فولاد

۹ – ۱۱ – ۱ گستره

۹ – ۱۱ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید برای طراحی قطعات میله‌ای تحت اثر خمش یا نیروی محوری و یا اثر توأم آنها، در حالت حدی نهایی مقاومت و برای طراحی قطعات دیگری مانند دیوارها و دال‌ها و پی‌ها در صورتی‌که در فصول دیگر به این فصل ارجاع شده باشد، رعایت شوند.

۹ – ۱۱ – ۱ – ۲ در طراحی قطعات میله‌ای تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری فشاری و یا نیروی محوری فشاری خالص، آثار ناشی از لاغری باید در نظر گرفته شوند. آثار ناشی از لاغری قطعات و نحوه تأثیر آنها در طراحی، در فصل سیزدهم توضیح داده شده‌اند.

۹ – ۱۱ – ۱ – ۳ در طراحی قطعات میله‌ای تحت اثر خمش یا نیروی محوری و یا اثر توأم آنها در حالت حدی نهایی مقاومت، رعایت ضوابط مربوط به‌پیوستگی و اطمینان از انتقال کامل نیروها بین بتن و آرماتورها الزامی است. برای این منظور ضوابط فصل هجدهم باید رعایت شوند.

۹ – ۱۱ – ۱ – ۴ در این مبحث برای طراحی قطعات میله‌ای تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری در حالت حدی بهره‌برداری رعایت ضابطه خاصی الزامی نیست، ولی برای قطعات میله‌ای تحت اثر خمش در حالت حدی بهره‌برداری، رعایت ضوابط خاص کنترل تغییر شکل‌ها و ترک‌خوردگی‌ها الزامی است. این ضوابط در فصل چهاردهم توضیح داده شده‌اند.

۹ – ۱۱ – ۲ حالت حدی نهایی مقاومت در خمش و نیروی محوری

۹ – ۱۱ – ۲ – ۱ در مقاطع تحت اثر خمش خالص یا نیروی محوری خالص، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت براساس روابط زیر صورت می‌گیرد:

$M_u \le M_r$ تحت اثر خمش‌خالص (۹ – ۱۱ – ۱)

$N_u \le N_r$ تحت اثر نیروی‌محوری‌خالص (۹ – ۱۱ – ۲)

درکنترل روابط (۹ – ۱۱ – ۱) و (۹ – ۱۱ – ۲) قدر مطلق نیروها و لنگرها لحاظ می‌گردد.

۹ – ۱۱ – ۲ – ۲ در مقاطع تحت اثر توأم نیروی محوری و لنگر خمشی، کنترل حالت حد نهایی مقاومت، به‌گونه‌ای است‌که‌نقطه متناظر با M_u و N_u که از هر یک از ترکیب‌های بارگذاری مختلف طبق جدول ۹ – ۱۰ – ۱ به‌دست می‌آید، خارج از سطح محصور بین منحنی اندرکنش (M_r و N_r) و محورهای نظیر آنها قرار نگیرد.

۹ – ۱۱ – ۲ – ۳ مقادیر M_r و N_r نظیر هم، براساس فرضیات داده شده در بند ۹ – ۱۱ – ۳ و با رعایت شرایط تعادل نیروها و سازگاری هندسی تغییر شکل‌های نسبی در مقطع به‌دست می‌آیند.

۹ – ۱۱ – ۲ – ۴ منحنی اندرکنش، مکان هندسی نقاطی است‌که مختصات آنها مقادیر M_r و N_r نظیر در یک مقطع از عضو می‌باشد.

۹ – ۱۱ – ۳ فرضیات طراحی مقطع

۹ – ۱۱ – ۳ – ۱ در هر مقطع توزیع تغییرشکل‌های نسبی فولاد و بتن در ارتفاع مقطع، خطی در نظر گرفته می‌شود. این فرض در مقاطع خمشی با ارتفاع زیاد، تیرهای عمیق، که شامل تیرهای با نسبت ارتفاع مقطع به دهانه آزاد بزرگتر از $\frac{۱}{۴}$ می‌باشد، مورد قبول نیست.

در این گونه مقاطع توزیع تغییرشکل‌های نسبی مذکور غیرخطی منظور می‌گردد.

۹ – ۱۱ – ۳ – ۲ حداکثر تغییرشکل نسبی بتن در دورترین تار فشاری مقدار ۰/۰۰۳۵ در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۱ – ۳ – ۳ تنش فولاد برای تغییرشکل های نسبی کوچکتر از مقدار نظیر جاری‌شدن ، $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ ، باید برابر با $\phi_s E_s \varepsilon_y$ و برای تغییرشکل‌های نسبی بزرگتر از مقدار نظیر جاری شدن باید مستقل از تغییرشکل نسبی و برابر با $\phi_s f_y$ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۱ – ۳ – ۴ در طراحی مقاطع اعضای تحت خمش و یا نیروی محوری کششی، از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود.

۹ – ۱۱ – ۳ – ۵ نمودار تنش فشاری بتن برحسب تغییرشکل نسبی نظیر آن را می‌توان به هر شکل که پیش‌بینی مقاومت براساس آن با نتایج آزمایش‌های جامع تطابق قابل قبولی داشته باشد، در نظر گرفت.

۹ – ۱۱ – ۳ – ۶ ضوابط بند ۹ – ۱۱ – ۳ – ۵ را می‌توان به‌وسیله یک توزیع تنش یکنواخت عمود بر مقطع با مقدار $\alpha_1 \phi_c f_c$ که سطح تأثیر آن، سطح محدود شده در ناحیه فشاری مقطع بین کناره‌های مقطع و خطی به‌موازات محور خنثی به‌فاصله $\beta_1 x$ از دورترین تار فشاری می‌باشد، معادل نمود. ضرایب α_1 و β_1 وابسته به‌مقدار f_c مطابق‌رابطه (۹ – ۱۱ – ۳) به‌دست می‌آیند:

$$\alpha_1 = ۰/۸۵ - ۰/۰۰۱۵ f_c \qquad (۹ - ۱۱ - ۳)$$

$$\beta_1 = ۰/۹۷ - ۰/۰۰۲۵ f_c$$

۹ – ۱۱ – ۴ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۱۱ – ۴ – ۱ مقطع متعادل مقطعی است که در حالت حدی نهایی مقاومت، تغییر شکل نسبی آرماتور کششی در آستانه رسیدن به تغییر شکل نسبی جاری شدن قرار گرفته و همزمان ، تغییر شکل نسبی بتن فشاری به مقدار نهایی مفروض در بند۹ – ۱۱ – ۳ – ۲ برسد.

۹ – ۱۱ – ۴ – ۲ در قطعات تحت خمش برای تأمین مقاومت می‌توان از آرماتور فشاری همراه با آرماتور کششی استفاده نمود، مشروط بر آنکه رابطه (۹ – ۱۱ – ۵) و (۹ – ۱۱ – ۶) برقرار باشد.

۹ – ۱۱ – ۴ – ۳ در قطعات میله‌ای تحت اثر فشار محوری، حداکثر نیروی محوری مقاوم، در صورت استفاده از تنگ‌های موازی به ۸۰ درصد و در صورت استفاده از دورپیچ، به ۸۵ درصد مقداری که براساس فرضیات بند ۹ – ۱۱ – ۳ به‌دست می‌آید، محدود می‌گردد. در صورت استفاده از فرضیات بند ۹ – ۱۱ – ۳ – ۶ این نیرو برابر یکی از دو مقدار رابطه (۹ ـ ۱۱ ـ ۴) خواهد بود.

در صورت استفاده از تنگ های موازی $N_{rmax} = ۰/۸ [\alpha_۱ \phi_c f_c (A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}]$

(۹ – ۱۱ – ۴)

درصورت استفاده از دورپیچ $N_{rmax} = ۰/۸۵ [\alpha_۱ \phi_c f_c (A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}]$

۹ – ۱۱ – ۴ – ۴ در قطعات میله‌ای تحت اثر توأم فشار محوری و خمش، نیروی محوری مقاوم هر مقطع، در هر حالت نباید بیشتر از مقدار به‌دست آمده از بند ۹ – ۱۱ – ۴ – ۳ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۱ – ۵ محدودیت‌های آرماتورها در قطعات خمشی

۹ – ۱۱ – ۵ – ۱ حداکثر مقدار آرماتور کششی

در قطعات میله‌ای تحت خمش و یا تحت خمش و نیروی محوری فشاری‌توأم‌که‌در آنها نیروی محوری کمتر از هر دو مقدار $۰/۱۵ \phi_c f_c A_g$ و N_{rb} است. مقدار A_s باید به گونه‌ای باشد که روابط (۹ – ۱۱ – ۵) و (۹ – ۱۱ – ۶) برقرار گردد:

$$\frac{x}{d} \le \frac{۷۰۰}{۷۰۰ + f_y} \qquad (۹ – ۱۱ – ۵)$$

$$\rho \le ۰/۰۲۵ \qquad (۹ – ۱۱ – ۶)$$

۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ حدّاقل مقدار آرماتور کششی

۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۱ در هر مقطع از قطعات میله‌ای تحت خمش (به‌جز موارد مندرج در بند (۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۳) مقدار آرماتور به‌کار رفته در مقطع، A_s ، باید به‌گونه‌ای باشد که رابطه (۹ ـ ۱۱ ـ ۷) برقرار باشد:

$$\rho \geq \max\left(\frac{۱/۴}{f_y}, \frac{۰/۲۵\sqrt{f_c}}{f_y}\right) \qquad (۹ - ۱۱ - ۷)$$

۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۲ در تیرهای با مقطع T شکل و تیرچه‌هایی که در آنها جان مقطع در کشش قرار دارد ρ، به دست آمده از بند ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۱ متناظر با سطح مقطع مؤثر $A_e = b_w d$ می‌باشد. در اعضای معین استاتیکی با مقطع T شکل که بال مقطع در کشش می‌باشد مقدار بدست آمده از بند ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۱ متناظر با سطح مقطع مؤثر، A_e ، که براساس جایگزینی b_w با کمترین دو مقدار $۲b_w$ و عرض بال، محاسبه شده باشد، خواهد بود.

۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۳ در صورتی‌که سطح مقطع فولاد کششی محاسبه شده با فرضیات بند ۹ – ۱۱ – ۳ کمتر از مقادیر حاصل از بند ۹ – ۱۱ – ۵ –۲ – ۱ و ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ –۲ باشد، در همه حالات شکل‌پذیری، قرار دادن ۱/۳۳ برابر مقدار حاصل از محاسبه به‌عنوان فولاد کششی مقطع کافی می‌باشد.

۹ – ۱۱ – ۵ – ۳ توزیع آرماتور خمشی

۹ – ۱۱ – ۵ – ۳ – ۱ در تیرها توزیع آرماتور خمشی باید براساس ضوابط مربوط به ترک خوردگی مطابق فصل چهاردهم و بند ۹ – ۱۱ – ۱۱ صورت گیرد.

۹ – ۱۱ – ۶ ضوابط تیرهای T شکل و تیرچه‌های بتنی

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ تیرهای T شکل

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ – ۱ در ساخت‌تیرهای T شکل، جان و بال باید به‌صورت یکپارچه ساخته شوند، در غیراینصورت پیوستگی بین جان و بال باید به‌نحوی مناسب تأمین شود.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ – ۲ عرضی از دال که به‌طور مؤثر به‌عنوان بال تیر عمل می‌کند نباید بیشتر از یک چهارم طول دهانه آزاد تیر، برای تیرهای یکسره، و بیشتر از دو پنجم طول دهانه آزاد تیر، برای تیرهای ساده، اختیار شود. عرض مؤثر بال تیر میانی در هر طرف جان تیر نیز نباید بیشتر از دو مقدار (الف) و (ب) این بند، اختیارگردد:

الف) هشت برابر ضخامت دال
ب) نصف فاصله آزاد تا جان تیرهای مجاور

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ – ۳ عرض مؤثر بال تیر کناری از برجان، در تیرهایی که دال فقط در یک طرف جان آنها قرار دارد، نباید بیشتر از سه مقدار (الف) تا (پ) این بند، اختیار شود:

الف) یک دوازدهم طول دهانه آزاد تیر
ب) شش‌برابر ضخامت دال
پ) نصف فاصله آزاد تا جان‌تیر مجاور

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ – ۴ در تیرهای T شکل مجزا که از بال آنها برای تأمین سطح فشاری اضافی استفاده می‌شود، ضخامت بال نباید کمتر از نصف عرض جان تیر باشد. در این تیرها عرض مؤثر بال نباید بیشتر از چهار برابر عرض جان تیر اختیار شود.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۱ – ۵ در مواردی که میلگردهای اصلی خمشی در دالی که به‌عنوان بال تیرT در نظر گرفته شده است موازی تیر باشند، میلگردهایی عمود بر تیر باید مطابق ضوابط (الف) و (ب) این بند، در دال قرار داده شود. سیستم تیرچه‌های بتنی‌که مشمول مقررات بند ۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ هستند از این ضابطه مستثنی می‌باشند.

الف) میلگردهای عرضی‌عمود بر تیر باید برای تحمل بارهای نهایی وارد بر بال و با فرض عملکرد طره‌ای دال طراحی شوند. در تیرهای T شکل مجزا تمام عرض بال طره‌ای و در سایر تیرها عرض مؤثر بال در این طراحی منظور می‌شوند.

ب) فاصله میلگردهای عرضی عمود بر تیر نباید از پنج برابر ضخامت دال و نه از ۳۵۰ میلی‌متر بیشتر اختیار شود.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ ضوابط مربوط به سیستم تیرچه‌های بتنی

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۱ سیستم تیرچه‌های بتنی، مرکب از تیرچه‌های با فواصل تقریباً مساوی‌در یک امتداد و یا دو امتداد عمود بر هم و یک دال فوقانی، که در آنها محدودیت‌های زیر رعایت شده باشند، می‌توانند به‌صورت مجموعه طبق ضوابط دال‌ها طراحی شوند:

الف) عرض تیرچه نباید کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع کل آنها نباید بیشتر از سه و نیم برابر حداقل عرض آنها باشد.

ب) فاصله آزاد بین تیرچه‌ها نباید بیشتر از ۷۵۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۲ سیستم تیرچه‌های بتنی که مشمول ضوابط بند ۹–۱۱– ۶ –۲– ۱ نمی‌شوند باید به‌صورت سیستم تیر و دال طراحی شود.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۳ در سیستم‌هایی که از اجزای پرکننده دائمی، مانند بلوک‌های سفالی و یا بلوک‌های بتنی، در فواصل بین تیرچه‌ها استفاده می‌شود و مقاومت فشاری مصالح این اجزا حداقل برابر با مقاومت مشخصه بتن تیرچه‌ها است، می‌توان از مقاومت جدارهایی از این اجزا که در تماس با تیرچه‌ها هستند در محاسبه مقاومت برشی و مقاومت خمشی منفی تیرچه‌ها استفاده‌کرد. از مقاومت سایر قسمت‌های اجزای پرکننده در مقاومت سیستم صرف‌نظر می‌شود. در این سیستم‌ها محدودیت‌های (الف) و (ب) این بند باید رعایت شوند:

الف) ضخامت دال روی اجزای پرکننده نباید از یک دوازدهم فاصله آزاد بین تیرچه‌ها و نه از ۴۰ میلیمتر کمتر اختیار شود.

ب) در سیستم تیرچه‌های یک‌طرفه باید در دال فوقانی میلگردهایی عمود بر امتداد تیرچه‌ها و مطابق‌بند ۹ – ۱۵ – ۴ قرار داد. در سیستم تیرچه‌های دو طرفه باید در دال فوقانی میلگردهایی‌در دو امتداد عمود بر هم و مطابق بند ۹ – ۱۵ – ۴ پیش‌بینی‌کرد.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۴ در سیستم هایی‌که از قالب موقت استفاده می‌شود و یا اجزای پرکننده مشمول ضابطه بند ۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۳ نمی‌شوند، محدودیت‌های زیر باید رعایت شوند:

الف) ضخامت دال فوقانی نباید از یک دوازدهم فاصله آزاد بین تیرچه‌ها و نه از ۵۰ میلی‌متر کمتر اختیار شود.

ب) در دال فوقانی باید میلگردهایی عمود بر تیرچه‌ها که براساس ضوابط مربوط به خمش و با در نظر گرفتن بارهای متمرکز، در صورت موجود بودن، طراحی شده‌اند، پیش‌بینی‌کرد. مقدار این آرماتورها نباید کمتر از مقدار مندرج در بند ۹ – ۱۵ – ۴ اختیار شود.

۹ – ۱۱ – ۶ – ۲ – ۵ مقاومت برشی تأمین شده توسط بتن در تیرچه‌ها را می‌توان به اندازه ده‌درصد بیشتر از مقدار گفته شده در فصل دوازدهم در نظر گرفت. مقاومت برشی تیرچه‌ها را می‌توان با استفاده از آرماتور برشی و یا زیاد کردن عرض تیرچه‌ها افزایش‌داد.

۹ – ۱۱ – ۷ فاصله تکیه‌گاه‌های جانبی قطعات خمشی

۹ – ۱۱ – ۷ – ۱ به‌جز در مواردی که محاسبات پایداری سازه شامل آثار پیچشی انجام می‌شود، فاصله تکیه گاه‌های جانبی تیرها باید براساس بند ۹ – ۱۱ – ۷ – ۲ به‌گونه‌ای در نظر گرفته شوند که از کمانش جانبی آنها جلوگیری نمایند.

۹ – ۱۱ – ۷ – ۲ برای تیرها، فاصله تکیه‌گاه‌های جانبی نباید از ۵۰ برابر عرض وجه فشاری تیر و $۲۰۰ \frac{b^۲}{d}$ بیشتر باشد. این فاصله در مورد تیرهای طره باید به‌نصف تقلیل یابد.

۹ – ۱۱ – ۸ ابعاد طراحی برای قطعات فشاری

۹ – ۱۱ – ۸ – ۱ پس از تحلیل سازه و تعیین مقادیر نیروهای مؤثر در طراحی که به ازای سختی نظیر مقطع ترک‌خورده قطعات انجام می‌پذیرد، برای طراحی قطعات میله‌ای و تعیین مقدار آرماتور فشاری می‌توان محدودیت‌های بندهای ۹ – ۱۱ – ۸ – ۲ و ۹ – ۱۱ – ۸ – ۳ را مورد استفاده قرار داد.

۹ – ۱۱ – ۸ – ۲ در صورتی‌که قطعه میله‌ای فشاری با دورپیچ یا تنگ، با یک دیوار یا پایه به‌صورت یکپارچه ساخته شود، حداکثر ۴۰ میلی‌متر خارج از دورپیچ یا تنگ‌ها را می‌توان جزء محدوده مقطع مؤثر قطعه فشاری فرض‌کرد.

۹ – ۱۱ – ۸ – ۳ در تعیین مقاومت مقطع و حداقل آرماتور مورد نیاز در یک عضو فشاری که‌دارای سطح مقطعی بزرگتر از مقدار لازم برای تحمل‌بارهای‌موردنظر است، می‌توان سطح مقطع مؤثر کاهش یافته‌ای که برابر با سطح مقطع لازم برای تحمل بارهای مورد نظر می‌باشد در نظر گرفت. این سطح مقطع نباید از نصف سطح مقطع کل کوچکتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۹ محدودیت‌های آرماتورها در قطعات فشاری (ستون‌ها)

۹ – ۱۱ – ۹ – ۱ در قطعات فشاری سطح مقطع آرماتور طولی نباید کمتر از ۰/۰۱ و بیشتر از ۰/۰۶ سطح مقطع کل باشد. محدودیت مقدار حداکثر باید در محل وصله‌های پوششی میلگردها نیز رعایت شود. در صورت استفاده از فولاد S۴۰۰ در آرماتورهای طولی مقدار حداکثر در خارج از محل وصله‌ها به ۰/۰۴۵ سطح مقطع کل محدود می‌گردد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۲ حداقل تعداد میلگردهای طولی در قطعات فشاری به‌شرح زیر است:

الف) میلگردهای داخل تنگ‌های مدور یا مستطیلی، چهار عدد
ب) میلگردهای داخل تنگ‌های مثلثی، سه‌عدد
پ) میلگردهای داخل دورپیچ، شش عدد، مطابق بند ۹ – ۱۱ – ۹ – ۳.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ دورپیچ‌ها

در طراحی دورپیچ‌های اعضای فشاری علاوه بر مراعات ضوابط فصل هجدهم باید ضوابط زیر را هم در نظر گرفت:

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۱ دورپیچ باید از میلگرد پیوسته ساخته شود و روش ساخت آنها طوری باشد که جابه‌جایی و نصب آنها بدون اعوجاج و تغییر ابعاد میسر باشد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۲ قطر میلگردهای مصرفی‌در دورپیچ نباید از ۶ میلیمتر کمتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۳ در هر گام دورپیچ فاصله آزاد بین میلگردها نباید از ۷۵ میلی‌متر بیشتر و از ۲۵ میلی‌متر کمتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۴ گام دورپیچ نباید از $\frac{۱}{۶}$ قطر هسته بتنی داخل دورپیچ تجاوز کند.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۵ در هر طبقه، دورپیچ باید از روی پی یا دال تا تراز پایین‌ترین میلگردهای طبقه فوقانی ادامه یابد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۶ در صورتی‌که تیرها یا دستک‌هایی از همه طرف به‌ستون اتصال نداشته باشد، باید از محل توقف دورپیچ تا کف دال یا کتیبه سر ستون تعدادی خاموت قرار داد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۷ در ستون‌های قارچی با سر ستون، دورپیچ باید تا ارتفاعی ادامه یابد که در آن قطر یا پهنای سر ستون دو برابر قطر یا پهنای ستون باشد.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۸ دورپیچ باید با فاصله نگهدارهای مناسب در جای خود تنظیم و تثبیت شود.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۹ در صورتی‌که قطر میلگرد دورپیچ کمتر از ۱۶ میلی‌متر باشد، تعداد فاصله‌نگهدارها نباید کمتر از مقادیر (الف) تا (پ) این بند، اختیار شود:

الف) دو عدد برای دورپیچ با قطر کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر
ب) سه عدد برای دورپیچ با قطر ۵۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر
پ) چهار عدد برای دورپیچ با قطر بیشتر از ۷۵۰ میلی‌متر

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۱۰ در صورتی که قطر میلگرد دورپیچ کمتر از ۱۶ میلی‌متر نباشد، تعداد فاصله‌نگهدارها نباید کمتر از مقادیر (الف) و (ب) این بند، اختیار شود:

الف) سه عدد برای دورپیچ با قطر مساوی یا کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر
ب) چهار عدد برای دورپیچ با قطر بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۱۱ مهار کردن دورپیچ با ۱/۵ دور پیچیدن اضافی میلگرد در انتهای قطعه تأمین می‌شود.

۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ – ۱۲ نسبت حجمی آرماتور دورپیچ به‌حجم کل هسته ، ρ_s ، نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$\rho_s = ۰/۴۵(\frac{A_g}{A_c} - ۱)\frac{f_c}{f_y} \qquad (۹ - ۱۱ - ۶)$$

۹ – ۱۱ – ۱۰ مقاومت اتکایی

۹ – ۱۱ – ۱۰ – ۱ مقاومت اتکایی نهایی روی بتن، به‌استثنای موارد مذکور در بندهای ۹ – ۱۱ – ۱ – ۲ و ۹ – ۱ – ۱ – ۳ نباید بزرگتر از $۰/۸۵\ \phi_c f_c A_۱$ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۱ – ۱۰ – ۲ در صورتی‌که ابعاد تکیه‌گاه در هر امتداد در صفحه تماس بزرگتر از ابعاد سطحی از عضو باشد که به‌صورت اتکایی انتقال بار می‌نماید، مقاومت اتکایی روی این سطح را که بر طبق بند ۹ – ۱۱ – ۱۰ – ۱ محاسبه شده است، می‌توان در ضریب $\sqrt{\frac{A_۲}{A_۱}}$ ضرب‌کرد. این ضریب در هرحال نباید بزرگتر از ۲ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۱ – ۱۰ – ۳ درصورتی‌که تکیه‌گاه شیبدار یا پله‌ای باشد، مقدار $A_۲$ برابر مساحت قاعده تحتانی مخروط یا هرم با جداره صاف یا پله‌ای که به‌طور کامل در داخل تکیه‌گاه قرار دارد، می‌باشد. قاعده فوقانی برابر $A_۱$ و شیب سطح جانبی ۱:۲ (۱ قائم به ۲ افقی) در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۱ – ۱۱ محدودیت‌های فولادگذاری جهت اعضای خمشی یا فشاری

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ محدودیت‌های فاصله میلگردها

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۱ فاصله آزاد بین هر دو میلگرد موازی واقع در یک سفره نباید از هیچ‌یک از مقادیر (الف) تا (پ) این بند کمتر باشد:

الف) قطر میلگرد بزرگتر

ب) ۲۵ میلی‌متر

پ) ۱/۳۳ برابر قطر اسمی بزرگترین سنگدانه بتن

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۲ در اعضای تحت فشار و خمش فاصله محور تا محور میلگردهای طولی از یکدیگر، نباید بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۳ در صورتی که میلگردهای موازی در چند سفره قرار گیرند، میلگردهای سفره فوقانی باید طوری بالای میلگردهای سفره تحتانی واقع شوند که معبر بتن تنگ نشود، فاصله آزاد بین هر دو سفره نباید از ۲۵ میلی‌متر و نه از قطر بزرگترین میلگرد کمتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۴ در اعضای فشاری با خاموت‌های بسته یا دورپیچ، فاصله آزاد بین هر دو میلگرد طولی نباید از ۱/۵ برابر قطر بزرگترین میلگرد و نه از ۴۰ میلی‌متر، کمتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۵ فاصله مجاز بین میلگردها در محل وصله‌های پوششی در بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۵ ارائه شده است.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۱ – ۶ محدودیت‌های فاصله آزاد بین میلگردها باید در مورد فاصله آزاد وصله‌های پوششی با وصله‌ها یا میلگردهای مجاور نیز رعایت شوند.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۲ گروه میلگردهای در تماس

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۲ – ۱ در استفاده از گروه میلگردهای موازی که در آنها میلگردها در تماس با هم بسته می‌شوند تا به‌صورت واحد عمل‌کنند، ضوابط (الف) تا (ج) این بند، باید رعایت شوند:

الف) تعداد میلگردهای هر گروه برای گروه‌های قائم تحت فشار نباید از ۴ عدد، و در سایر موارد از ۳ عدد تجاوز کند.

ب) در تمامی موارد تعداد میلگردهای هر گروه در محل وصله‌ها نباید بیشتر از ۴ باشد.

پ) در گروه میلگردها با بیش از دو میلگرد، نباید محورهای تمامی میلگردها در یک صفحه واقع شوند. همینطور تعداد میلگردهایی که محورهای آنها در یک صفحه واقع می‌شوند جز در محل وصله‌ها نباید بیشتر از دو باشد.

ت) در تیرها نباید میلگردها با قطر بزرگتر از ۳۶ میلی‌متر را به‌صورت گروهی به‌کار برد.

ث) گروه‌های میلگردهای در تماس باید در خاموت‌های بسته یا دورپیچ محصور شوند.

ج) در مواردی نظیر تعیین محدودیت‌های فاصله و حداقل ضخامت پوشش بتن محافظ، که قطر میلگردها مبنای محاسبه قرار می‌گیرد، قطر گروه میلگردهای در تماس معادل قطر میلگردی فرض می‌شود که سطح مقطع آن با سطح مقطع کل گروه مساوی باشد. ملاک اندازه‌گیری فاصله آزاد و حداقل ضخامت پوشش‌در این‌گونه موارد خارجی‌ترین سطح گروه میلگرد در امتداد موردنظر خواهد بود.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۳ میلگردهای انتظار خم شده

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۳ – ۱ شیب قسمت مایل میلگردهای خم شده نسبت به‌محور ستون نباید از ۱ به ۶ تجاوز کند. قسمت‌های فوقانی و تحتانی قسمت مایل باید موازی با محور ستون باشند.

میلگردهای انتظار باید در محل خم با خاموت‌ها، دورپیچ‌ها و یا قسمت‌هایی از سیستم سازه‌ای کف مهار شوند. مهار مذکور باید برای تحمل نیرویی معادل ۱/۵ برابر مولفه نیروی محاسباتی قسمت مایل در امتداد مهار، طرح شود. در صورت استفاده از خاموت‌ها یا دورپیچ فاصله آنها تا نقاط خم شده نباید از ۵۰ میلی‌متر بیشتر باشد.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۳ – ۲ خم‌کردن میلگردهای انتظار باید قبل از جاگذاری میلگردها انجام پذیرد.

۹ – ۱۱ – ۱۱ – ۳ – ۳ در مواردی که وجه ستون یا دیوار بیشتر از ۷۵ میلی‌متر عقب‌نشستگی یا پیش‌آمدگی داشته باشد میلگردهای طولی ممتد نباید به‌صورت خم شده به‌کار برده‌شوند، و در محل عقب‌نشستگی باید میلگردهای انتظار مجزا برای اتصال به میلگردهای وجوه عقب نشسته پیش‌بینی شوند. در هر حالت باید ضوابط مربوط به‌مهارها و وصله‌ها در منطقه تغییر مقطع رعایت شوند.

۹ – ۱۲ برش و پیچش

۹ – ۱۲ – ۰ علایم اختصاری

a = فاصله مرکز اثر نیرو تا بر تکیه‌گاه – دهانه برشی، میلی‌متر

A_c = سطح محصور توسط محیط خارجی مقطع بتن شامل سطح سوراخ‌ها (در صورت وجود)، میلی‌متر مربع

A_{cv} = سطح مقطعی از بتن که در مقابل انتقال برش مقاومت می‌کند، میلی‌متر مربع

A_e = مساحت مقطع مؤثر (در مقطع مستطیل شکل $A_e = bd$)، میلی‌متر مربع

A_f = سطح مقطع آرماتور خمشی در دستک‌ها و شانه‌ها، میلی‌متر مربع

A_g = مساحت کل مقطع، میلی‌متر مربع

A_h = سطح مقطع آرماتور برشی موازی با آرماتور کششی نظیر خمش، میلی‌متر مربع

A_l = سطح مقطع کل آرماتور طولی برای مقاومت در مقابل پیچش، میلی‌متر مربع

A_n = سطح مقطع آرماتوری‌که در دستک و شانه‌ها در مقابل نیروی کششی مقاومت می‌کند، میلی‌متر مربع

A_o = مساحت سطح محصور شده به‌وسیله جریان برش ناشی از پیچش در مقطع، میلی‌متر مربع

A_{oh} = مساحت سطح محصور شده به‌وسیله محورهای اضلاع خاموت بسته پیچشی بیرونی در مقطع، شامل سطح سوراخ‌ها (در صورت وجود)، میلی‌متر مربع

A_s = سطح مقطع آرماتور کششی، میلی‌متر مربع

A_t = سطح مقطع یک شاخه از خاموت بسته‌که در محدوده‌ای به‌طول s در برابر پیچش مقاومت می‌کند، میلی‌متر مربع

A_{sv} = سطح مقطع آرماتور برشی در محدوده‌ای به‌طول s

A_v = سطح مقطع آرماتور برشی در محدوده‌ای به‌طول s یا سطح مقطع آرماتور برشی عمود بر آرماتورکششی نظیر خمش در محدوده‌ای به‌طول s برای اعضای خمشی با ارتفاع زیاد، میلی‌متر مربع

A_{vf} = سطح مقطع آرماتور برش اصطکاکی، میلی‌متر مربع

A_{vh} = سطح مقطع آرماتور برشی موازی با آرماتور کششی نظیر خمش در فاصله S_h ، میلی‌متر مربع

b_1 = بعد مربوط به‌محیط بحرانی برش سوراخ شدگی که به‌فاصله $\frac{d}{2}$ از لبه تکیه‌گاه قرار دارد و در امتداد محور طولی نوار پوششی می‌باشد، میلی‌متر

b_2 = بعد مربوط به‌محیط بحرانی برش سوراخ‌شدگی که به‌فاصله $\frac{d}{2}$ از لبه تکیه‌گاه قرار دارد و در امتداد محور عرضی نوار پوششی می باشد، میلی‌متر

b_t = پهنای آن قسمتی از سطح مقطع که خاموت‌های بسته مقاوم در مقابل پیچش را در بر می‌گیرد، میلی‌متر

b_w = پهنای جان یا قطر مقطع مدور، میلی‌متر

b_o = محیط مقطع بحرانی برای دال‌ها و پی‌ها، میلی‌متر

b_{om} = محیط مقطع بحرانی خاص برای دال‌ها با کلاهک برشی، میلی‌متر

$c_۱$ = بعد ستون مستطیلی یا ستون مستطیلی معادل، سرستون یا کتیبه سرستون در امتداد دهانه‌ای‌که لنگرها برای آن محاسبه می‌شوند، میلی‌متر

$c_۲$ = بعد ستون مستطیلی یا ستون مستطیلی معادل، سرستون یا کتیبه سرستون در امتداد عمود بر دهانه‌ای‌که لنگرها برای آن محاسبه می‌شوند، میلی‌متر

d = فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح آرماتور کششی طولی، میلی‌متر

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه استاندارد بتن، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای تسهیل کار در این فصل حرف k در زیرنویس حذف شده است.

f_{yv} = مقاومت مشخصه فولادهای عرضی

f_{yl} = مقاومت مشخصه فولادهای طولی

h = ضخامت کل عضو، میلی‌متر

h_b = فاصله بین وجه تحتانی تیر فرعی و وجه تحتانی تیر اصلی در امتداد بار (درصورتی‌که h_b کمتر از ۷۵ میلی‌متر باشد، مقدار آن را می‌توان برابر با ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفت)، میلی‌متر

h_v = ارتفاع کل سرستون، میلی‌متر

h_w = ارتفاع دیوار از پایین تا بالا، میلی‌متر

l_n = طول دهانه آزاد – فاصله بر تا بر تکیه‌گاه‌ها، میلی‌متر

l_r = حداقل طول بازوی کلاهک

l_v = حداقل طول هر بازوی کلاهک برشی از مرکز، میلی‌متر

l_w = طول افقی دیوار، میلی‌متر

M_m = لنگر اصلاح‌شده، نیوتن – میلی‌متر

M_p = لنگر پلاستیکی مقطع کلاهک برشی، نیوتن – میلی‌متر

M_r = لنگر خمشی مقاوم نهایی مقطع، نیوتن – میلی‌متر

M_u = لنگر خمشی نهایی، نیوتن – میلی‌متر

M_{uf} = کسری از لنگر متعادل نشده‌که به‌وسیله خمش منتقل می‌شود.

M_{uv} = کسری از لنگر متعادل نشده که به‌وسیله برش منتقل می‌شود.

M_v = اضافه مقاومت خمشی هر نوار ستون در دال ناشی از وجود کلاهک برشی، نیوتن – میلی‌متر

N_r = نیروی‌کششی مقاوم نهایی مقطع، نیوتن

N_u = نیروی محوری نهایی که همزمان با V_u در مقطع اثر می‌کند، علامت این نیرو در فشار مثبت و در کشش منفی است. این نیرو آثار ناشی از جمع‌شدگی و وارفتگی را شامل می‌شود، نیوتن

P_c= محیط بیرونی مقطع بتن، میلی‌متر

P_h = محیط سطح محصور شده به‌وسیله محورهای اضلاع خاموت بسته پیچشی بیرونی در مقطع، میلی‌متر

S = فاصله بین سفره‌های آرماتور برشی یا پیچشی در امتداد موازی با آرماتور طولی، میلی‌متر

S_h = فاصله بین سفره‌های آرماتور برشی یا پیچشی در امتداد عمود بر آرماتور طولی– یا فاصله بین میلگردهای افقی دیوار، میلی‌متر

T_{cr} = لنگر پیچشی ترک‌خوردگی، نیوتن – میلی‌متر

T_r = لنگر پیچشی مقاوم، نیوتن – میلی‌متر

T_s = لنگر پیچشی مقاوم تأمین شده توسط خاموت پیچشی، نیوتن – میلی‌متر

T_u = لنگر پیچشی نهایی، نیوتن – میلی‌متر

ν_c = مقاومت برشی بتن، مگاپاسکال

V_c = حداکثر نیروی برشی مقاوم تأمین شده توسط بتن، نیوتن

V_r = نیروی برشی مقاوم مقطع، نیوتن

V_s = نیروی برشی مقاوم تأمین شده توسط فولاد برشی، نیوتن

V_u = نیروی برشی نهائی موجود، نیوتن

α = زاویه بین میلگردهای طولی خم شده یا خاموت‌های مایل و محور طولی عضو

α_f = زاویه بین آرماتورهای برش اصطکاکی و صفحه برش

α_s = ضریب ثابت به‌کار برده شده برای محاسبه V_c در دال‌ها یا پی‌ها

α_v = نسبت سختی خمشی بازوی کلاهک برشی به سختی خمشی مقطع ترک‌خورده دال مرکب اطراف آن

β_c = نسبت طول به‌عرض سطح اثر بار متمرکز با سطح تکیه‌گاه محدود

η = تعداد بازوهای کلاهک برشی

μ = ضریب اصطکاک

ρ = نسبت سطح مقطع آرماتور کشی به‌سطح مقطع مؤثر، $(\rho = \frac{A_s}{A_e})$

ρ_h = نسبت سطح مقطع آرماتور برشی افقی به‌مساحت کل مقطع قائم بتن

ρ_n = نسبت سطح مقطع آرماتور برشی قائم به‌مساحت کل مقطع افقی بتن

$\rho_w = \frac{A_s}{b_W d}$

ϕ_c = ضریب جزیی ایمنی بتن

ϕ_s = ضریب جزیی ایمنی فولاد

۹ – ۱۲ – ۱ گستره

۹ – ۱۲ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید برای طراحی قطعات تحت اثر برش یا پیچش و یا اثر توأم آنها، در حالت‌های حدی نهایی مقاومت رعایت شوند.

۹ – ۱۲ – ۲ حالت حدی نهایی مقاومت در برش

۹ – ۱۲ – ۲ – ۱ درمقاطع تحت اثر برش، کنترل حالت حدی مقاومت باید براساس رابطه (۹ – ۱۲ – ۱) صورت گیرد:

$$V_u \le V_r \qquad (۹ - ۱۲ - ۱)$$

در این رابطه V_u نیروی برشی مقاوم مقطع است که از تحلیل سازه تحت اثر بار نهایی به‌دست می‌آید و V_r مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۲ – ۲ محاسبه می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۲ – ۲ مقدار V_r از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲) محاسبه می‌شود:

$$V_r = V_c + V_s \qquad (۹ - ۱۲ - ۲)$$

مقادیر V_c و V_s براساس ضوابط قسمت‌های ۹ – ۱۲ – ۳ و ۹ – ۱۲ – ۴ محاسبه می‌شوند.

۹ – ۱۲ – ۲ – ۳ مقدار V_r نباید بیشتر از $۰/۲۵\phi_c f_c b_w d$ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۳ نیروی برشی مقاوم تأمین شده توسط بتن

۹ – ۱۲ – ۳ – ۱ V_c را می‌توان براساس ضوابط بندهای ۹ ـ ۱۲ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱ تا ۹ – ۱۲ – ۳ – ۱ – ۳ و یا با جزییات دقیق‌تر مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ محاسبه نمود.

۹ – ۱۲ – ۳ – ۱ – ۱ برای اعضایی که تحت اثر برش و خمش قرار دارند:

$$V_c = v_c b_w d \qquad (۹ - ۱۲ - ۳)$$

در این رابطه v_C با استفاده از رابطه (۹ - ۱۲ - ۴) محاسبه می‌شود:

$$v_c = ۰/۲\phi_c\sqrt{f_c} \qquad (۹ - ۱۲ - ۴)$$

۹ – ۱۲ – ۳ – ۱ – ۲ برای اعضایی که تحت اثر برش و خمش و فشار محوری قرار دارند:

$$V_c = v_c(۱ + \frac{N_u}{۱۲A_g})b_w d \qquad (۹ - ۱۲ - ۵)$$

۹ – ۱۲ – ۳ – ۱ – ۳ برای اعضایی کـه تحـت اثـر همزمـان بـرش، خمـش و کـشش محوری قرار دارند:

$$V_c = v_c(۱ + \frac{N_u}{۳A_g})b_w d \geq ۰ \qquad (۹ – ۱۲ – ۶)$$

در این رابطه، N_u منفی است.

۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ مقـدار V_c را مـی‌تـوان بـا جزئیـات دقیـق‌تـر مطـابق بنـدهای ۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ – ۱ و ۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ – ۲ محاسبه نمود.

۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ – ۱ برای اعضایی‌که تحت اثر همزمان برش و خمش قرار دارند:

$$V_c = (۰/۹۵v_c + ۱۲\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d \qquad (۹ – ۱۲ – ۷)$$

مقدار V_c در هر حال نباید بزرگتر از $۱/۷۵v_c b_w d$ در نظر گرفته شود.

در محاسبه V_c از رابطه (۹ – ۱۲ – ۷) کمیت $\frac{V_u d}{M_u}$ نباید بزرگتر از واحد اختیار شود. لنگر خمشی نهایی M_u لنگری است‌که همزمان بـا نیـروی برشـی نهـایی V_u بـر مقطع مورد نظر اثر می‌کند.

۹ – ۱۲ – ۳ – ۲ – ۲ برای اعضایی که تحت اثـر همزمـان بـرش و خمـش و فـشار محوری قرار دارند:

در این حالت برای محاسبه V_c می‌توان رابطه (۹ – ۱۲ – ۷) را به‌کار برد با ایـن تفاوت که در آن به‌جای M_u مقدار M_m از رابطه (۹ – ۱۲ – ۸) را جـایگزین نمـوده و کمیت $\frac{V_u d}{M_u}$ را نیز به مقدار واحد محدود نکرد.

$$M_m = M_u - N_u(\frac{۴h - d}{۸}) \qquad (۹ – ۱۲ – ۸)$$

مقدار V_c در هر حال نباید بزرگتر از مقدار به‌دست آمده از عبارت (۹ – ۱۲ – ۹) در نظر گرفته شود:

$$۱/۷۵ v_c \sqrt{۱+\frac{N_u}{۳A_g}} b_w d \qquad (۹ – ۱۲ – ۹)$$

در صورتی که مقدار M_m در رابطه (۹ – ۱۲ – ۸) منفی‌گردد، V_c معادل مقدار حاصل از عبارت (۹ – ۱۲ – ۹) منظور می‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۴ نیروی برشی تأمین‌شده توسط آرماتورها

۹ – ۱۲ – ۴ – ۱ انواع آرماتورهای برشی

آرماتورهای برشی‌می‌توانند شامل انواع زیر باشد:

الف) خاموت‌های عمود بر محور عضو

ب) خاموت‌هایی با زاویه ۴۵ درجه یا بیشتر نسبت به میلگردهای کششی طولی به‌نحوی که ترک‌های قطری احتمالی را قطع‌کنند. در صورت احتمال تغییر زاویه ترک در اثر تغییر نوع بارگذاری، استفاده از این نوع خاموت مجاز نمی باشد .

پ) میلگردهای طولی خم شده به‌قطر حداکثر ۳۶ میلی‌متر، تحت زاویه ۳۰ درجه یا بیشتر نسبت به میلگردهای کششی طولی به‌نحوی که ترک‌های قطری احتمالی را قطع کنند.

ت) ترکیبی از خاموت‌ها و میلگردهای طولی‌خم شده با شرایط مذکور در بندهای الف، ب و پ.

ث) آرماتورهای طولی توزیع شده در ارتفاع تیرهای عمیق یا تیر تیغه‌های تعریف شده در بند ۹ – ۱۱ – ۳ – ۱.

ج) دور پیچ‌ها

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ نیروهای برشی مقاوم انواع آرماتورها

مقدار V_s در حالات مختلف بر اساس بندهای ۹ - ۱۲ - ۴ - ۲ - ۱ تا ۹ - ۱۲ - ۴ - ۲ - ۶ محاسبه می‌شوند.

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۱ وقتی‌که از آرماتور برشی عمود بر محور عضو استفاده می‌شود:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} \frac{d}{S} \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۰)$$

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۲ وقتی که از خاموت‌های مایل به‌عنوان آرماتورهای برشی استفاده می‌شود:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} (\sin\alpha + \cos\alpha) \frac{d}{S} \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۱)$$

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۳ وقتی که آرماتور برشی شامل یک میلگرد منفرد یا یک ردیف میلگردهای متوازی باشد که همگی در فاصله‌ای یکسان از تکیه‌گاه خم شده باشند:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} \sin\alpha \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۲)$$

مقدار V_s در این حالت نباید بیشتر از $۱/۵ v_c b_w d$ در نظر گرفته‌شود.

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۴ وقتی‌آرماتور برشی شامل یک سری میلگردهای خم شده متوازی در فواصل مختلف از تکیه‌گاه باشد، مقدار V_s برابر ۰/۷۵ مقدار به‌دست آمده از رابطه ۹ – ۱۲ – ۱۱ در نظر گرفته می‌شود. در این حالت مقدار V_s نباید بیشتر از مقدار $۲/۵ v_c b_w d$ اختیار شود.

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۵ آرماتورهای طولی خم شده را تنها در سه چهارم طول ناحیه مورب، متقارن به مرکز آنها، می‌توان به‌عنوان آرماتور برشی مؤثر تلقی نمود. فواصل این

آرماتورها باید طوری انتخاب شود که ضابطه بند ۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۲ در طولی معادل سه چهارم طول ناحیه مورب (متقارن نسبت به مرکز) میلگردها عملی‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۴ – ۲ – ۶ در صورتی که بیش از یک نوع آرماتور برشی در یک ناحیه از عضوی مورد استفاده قرار گیرد، مقدار V_s برابر مجمو ع مقادیر نظیر محاسبه شده برای انواع مختلف آرماتورها می‌باشد.

۹ – ۱۲ – ۵ ضوابط کلی طراحی برای برش

۹ – ۱۲ – ۵ – ۱ در محاسبه مقدار V_r ، اثر هرگونه قسمت خالی در مقطع اعضاء باید در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۵ – ۲ در محاسبه مقدار V_c در صورت لزوم باید اثر کشش محوری ناشی از وارفتگی، جمع‌شدگی در اعضای مقید (غیرآزاد) و نیز اثر کشش و فشار مورب ناشی از خمش در اعضای با ارتفاع متغیر در نظر گرفته شوند، در صورتی‌که اثر کشش و فشار مورب در جهت مساعد باشد، می‌توان از آن‌صرف‌نظر کرد.

۹ – ۱۲ – ۵ – ۳ مقدار V_u در تکیه‌گاه‌ها را می‌توان طبق بند ۹ – ۱۲ – ۵ – ۴ کاهش داد، مشروط بر آنکه:

الف) عکس‌العمل تکیه‌گاه در امتداد برش اعمال شده درنواحی انتهایی عضو ایجاد فشار کند.
ب) هیچ بار متمرکزی در فاصله بین بر داخلی تکیه‌گاه تا محل مقطع بحرانی، مطابق بند۹ – ۱۲ – ۵ – ۴ وارد نشود.

۹ – ۱۲ – ۵ – ۴ تمامی مقاطعی را که در فاصله‌ای کمتر از d از بر داخلی تکیه‌گاه قرار دارند می‌توان برای همان برش V_u که در مقطع به‌فاصله d (مقطع بحرانی) وجود دارد، طراحی کرد.

۹ – ۱۲ – ۶ محدودیت‌های آرماتورهای برشی

۹ – ۱۲ – ۶ – ۱ رده میلگردهای مصرفی

در میلگردهای برشی استفاده شده باید ضوابط بند ۹ – ۱۰ – ۷ – ۷ رعایت گردد.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۲ مهار آرماتورهای عرضی در مقطع

خاموت‌ها و میلگردهای طولی‌خم شده و شبکه‌های فولادی‌که به‌عنوان آرماتور برشی به‌کار می‌روند باید تا فاصله‌ای برابر با d از دورترین تار فشاری مقطع عضو ادامه یا بند و در هر دو انتها مطابق بند ۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ برای حصول مقاومت نظیر حد تسلیم مفروض، مهار شوند.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ حداقل آرماتور برشی

۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۱ درتمامی اعضای خمشی بتن آرمه‌ای، به‌غیراز موارد مندرج در بند ۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۲، که در آنها مقدار V_u از نصف مقدار V_c تجاوز کند، باید آرماتور برشی به‌کار برده شود.

مقدار آرماتور برشی حداقل از رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۳) به‌دست می‌آید :

$$A_{sv\min} = ۰/۳۵ \frac{b_w S}{f_{yv}} \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۳)$$

۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۲ درموارد زیر ضوابط مربوط به بخش‌های مربوطه مـلاک عمـل خواهد بود.

الف) دال‌ها و پی‌ها
ب) سقف‌های ساخته شده با سیستم تیرچه‌های بتنی مطابق تعریف بند ۹ – ۱۱ – ۶ – ۲
پ) تیرهایی‌که ارتفاع آنها کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است .
ت) تیرهایی‌که به صورت یکپارچه با دال ریخته شده و ارتفاع کل آنها کمتر از دو و نـیم برابر ضخامت دال، نصف پهنای جان و ۶۰۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۳ چنانچه بتوان به کمک آزمایش‌های قابل قبول نشان داد کـه در صورت حذف آرماتور برشی، مقاطع مورد نظر مقاومت‌هـای خمـشی و برشـی لازم را خواهند داشت، می‌تـوان ضـابطه بنـد ۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۱ را رعایـت نکـرد. در ایـن آزمایش‌ها باید اثر نشست‌های نامساوی، وارفتگی، جمع شدگی و تغییـر درجـه حـرارت محیط را براساس ارزیابی واقعی در شرایط بهره برداری در نظر گرفت.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۳ – ۴ چنانچه براساس بند ۹ – ۱۲ – ۷ – ۱ طراحی بـرای پـیچش لازم باشد، حـداقل سـطح مقطـع خـاموت برشـی و پیچـشی بـسته در مجمـوع از رابطـه (۹ – ۱۲ – ۱۴) به‌دست می‌آید.

$$(A_{sv} + ۲A_t)_{min} = ۰/۳۵\frac{b_w S}{f_{yv}} \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۴)$$

این آرماتورها باید از نوع خاموت بسته باشد، ضمناً تعبیه حداقل فولاد پیچشی طـولی نیز الزامی است.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ حداکثر فواصل خاموت برشی

۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۱ فاصله بین خاموت‌های برشی عمود بر محور عضو نباید از $\frac{d}{۲}$ بیشتر باشد.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۲ فاصله بین‌خاموت‌های مایل و یا میلگردهای طولی‌خم شده باید چنان باشد که هر خط ۴۵ درجه‌ای که به‌طرف عکس‌العمل از وسط مقطع، $\frac{d}{۲}$، تا میلگردهای کششی طولی رسم شود، حداقل به‌وسیله یک ردیف از آرماتورهای برشی قطع گردد.

۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۳ درصورتی‌که مقدار V_u بیشتر از $۰/۱۲۵\phi_c f_c b_w d$ باشد، حداکثر فواصل داده شده در بندهای ۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۱ و ۹ – ۱۲ – ۶ – ۴ – ۲ باید به‌نصف تقلیل داده شوند.

۹ – ۱۲ – ۷ حالت حدی نهایی پیچش

۹ – ۱۲ – ۷ – ۱ در صورتی‌که مقدار T_u از مقدار $۰/۲۵T_{cr}$ کمتر باشد، طراحی برای پیچش ضرورتی ندارد. مقدار T_{cr} از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$T_{cr} = ۲\left(\frac{A_c^{۲}}{P_c}\right) v_c \qquad (۹ – ۱۲ – ۱۵)$$

مقدار v_c از رابطه (۹ – ۱۲ – ۴) به‌دست می‌آید.

۹ – ۱۲ – ۷ – ۲ در مقاطع تحت اثر پیچش، در مواردی که طراحی برای پیچش لازم باشد، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت باید براساس رابطه ۹ – ۱۲ – ۱۶ صورت گیرد:

$$T_u \le T_r \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۶)$$

در این رابطه T_r از رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۷) محاسبه می‌شود:

$$T_r = T_s \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۷)$$

بدین‌منظور، علاوه بر خاموت‌های بسته پیچشی باید فولادهای طولی پیچشی مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۸ – ۳ نیز جداگانه طراحی گردد. در این مبحث از کمک بتن برای تأمین مقاومت پیچشی، به‌علت ترک‌خوردگی، صرف‌نظر شده است. مقدار T_s طبق ضوابط بندهای ۹ – ۱۲ – ۸ تا ۹ – ۱۲ – ۱۰ محاسبه می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۸ لنگر پیچشی مقاوم تأمین شده توسط آرماتورهای پیچشی

۹ – ۱۲ – ۸ – ۱ آرماتورهای پیچشی مورد نیاز برای تأمین لنگر پیچشی در یک قطعه شامل خاموت‌های قائم بسته یا دورپیچ‌ها و آرماتور طولی که به‌طور یکنواخت در اطراف مقطع پخش می‌شود، می‌باشند.

۹ – ۱۲ – ۸ – ۲ مقدار T_s با استفاده از رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۸) محاسبه می شود.

$$T_s = ۲\phi_s A_o A_t \frac{f_{yv}}{s}\cot\theta \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۸)$$

در حالی‌که مقدار θ بین ۳۰ تا ۶۰ درجه می باشد.

در صورت عـدم استفاده از محاسبات دقیق‌تـر مقدار A_o را می تـوان $۰/۸۵A_{oh}$ و مقدار θ را ۴۵ درجه منظور نمود.

۹ – ۱۲ – ۸ – ۳ مقدار A_l مورد نیاز برای تأمین مقاومت T_s از رابطه (۹–۱۲–۱۹) به‌دست می‌آید:

$$A_\ell = (\frac{A_t}{S}) P_h (\frac{f_{yv}}{f_{yl}}) \cot^2 \theta \qquad (۹ - ۱۲ - ۱۹)$$

مقدار θ در دو رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۸) و (۹ – ۱۲ – ۱۹) یکسان در نظر گرفته می‌شود همچنین نسبت $\frac{A_t}{S}$ باید برابر مقدار به‌دست آمده از رابطـه (۹ – ۱۲ – ۱۸) باشد.

فاصله این آرماتورها نباید بیش از ۳۰۰ میلی‌متر از یکدیگر بـوده و بایـد دورتـادور مقطع در داخل محیط خاموت بسته پیچشی به‌طور یکنواخت به‌نحوی توزیع شـوند کـه حداقل یک میلگرد طولی به‌قطر معادل $\frac{S}{۱۶}$ یا بیشتر در هر گوشه خاموت‌هـای پیچـشی قرار گیرد.

۹ – ۱۲ – ۸ – ۴ در مقاطع توخالی تحت اثر پیچش، فاصله محورهای اضلاع خاموت بسته پیچشی تا وجه درونی مقطع نباید کمتر از $۰/۵\frac{A_{oh}}{P_h}$ باشد.

۹ – ۱۲ – ۹ ترکیب پیچش و خمش – پیچش و برش

۹ – ۱۲ – ۹ – ۱ آرماتورهای پیچشی را می‌توان با توجه به‌اندرکنش برش – پیچش و خمش – پیچش با آرماتورهای لازم برای سایر مقاومت‌ها ترکیـب کـرد بـه‌شـرطی‌کـه مقدار آرماتور به‌کار برده شده برابر با مجموع مقادیر لازم برای هـر یـک از عوامـل مـورد

نظر باشد. در این‌حالت باید محدودکننده‌ترین ضوابط رعایت شوند. این آرماتورها در صورت لزوم به آرماتورهای مورد نیاز برای سایر موارد افزوده می شوند.

۹ – ۱۲ – ۹ – ۲ در منطقه فشاری عضو خمشی، سطح مقطع آرماتور طولی پیچشی لازم را می‌توان به‌اندازه $\frac{M_u}{۰/۹d\phi_s f_{yl}}$ کاهش داد. M_u لنگر خمشی نهایی مؤثر در مقطع همزمان با T_u است.

۹ – ۱۲ – ۹ – ۳ تمامی مقاطع راکه در فاصله‌ای کمتر از d از بر داخلی تکیه‌گاه قرار دارند، می‌توان برای همان لنگر پیچشی T_u که در مقطع به فاصله d وجود دارد طراحی‌کرد، مشروط بر آنکه در این فاصله هیچ لنگر پیچشی متمرکزی موجود نباشد.

۹ – ۱۲ – ۱۰ محدودیت‌های آرماتورهای پیچشی

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۱ در میلگردهای پیچشی عرضی استفاده شده باید ضوابط بند ۹ – ۱۰ – ۷ – ۷ رعایت گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۲ خاموت‌های بسته و دورپیچ‌های پیچشی باید تا فاصله d از دورترین تار فشاری در مقطع ادامه یافته و آرماتورهای پیچشی مطابق ضوابط فصل هجدهم مهار گردند.

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۳ حداقل خاموت بسته پیچشی در اعضای تحت پیچش که طبق بند ۹ – ۱۲ – ۷ – ۱ باید برای پیچش طراحی شوند از رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۴) تعیین می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۴ باید تمام میلگردهای پیچشی (فولادهای طولی به‌علاوه خاموت‌های بسته و یا دورپیچ‌ها) حداقل در طولی برابر با بزرگترین بعد عضو از نقطه‌ای که دیگر نیاز به‌مقاومت پیچشی نیست ادامه یافته و مهار آنها مطابق ضوابط فصل هجدهم صورت گیرد.

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۵ حداکثر فاصله بین خاموت‌های بسته پیچشی از رابطه (۹–۱۲–۲۰) تعیین می‌گردد:

$$S_{max} = \min(\frac{P_h}{۸}, ۳۰۰) \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۰)$$

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۶ ابعاد مقطع تحت اثر برش و پیچش باید به‌نحوی انتخاب شوند که روابط (۹ – ۱۲ – ۲۱) و (۹ – ۱۲ – ۲۲) برقرار باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۰ – ۷ حداکثر تنش در مقاطع قوطی‌شکل از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۱) و در مقاطع توپر از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۲) به‌دست می‌آید.

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u P_h}{۱/۷ A_{oh}^{۲}} \le ۰/۲۵ \phi_c f_c \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۱)$$

$$\sqrt{(\frac{V_u}{b_w d})^{۲} + (\frac{T_u P_h}{۱/۷ A_{oh}^{۲}})^{۲}} \le ۰/۲۵ \phi_c f_c \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۲)$$

۹ – ۱۲ – ۱۱ لنگر پیچشی نهایی در اعضای سازه‌های نامعین

۹ – ۱۲ – ۱۱ – ۱ در مواردی که مقاومت در برابر لنگر T_u برای برقراری تعادل عضوی لازم باشد، عضو مورد نظر باید برای تحمل تمام لنگر پیچشی معادل T_{cr} ، مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۷ طراحی شود.

۹ – ۱۲ – ۱۱ – ۲ در مواردی که امکان کاهش لنگر پیچشی در اثر باز پخش لنگرهای داخلی در عضوی از یک سازه نامعین موجود باشد، می‌توان مقدار T_u را به $۰/۶۷T_{cr}$ کاهش داد به‌شرطی‌که اثر لنگرها و برش‌های تعدیل شده عضو در سایر اعضای مجاور با استفاده از روابط تعادل، محاسبه و در طراحی به‌کار گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۱ – ۳ در صورت استفاده از بند ۹ – ۱۲ – ۱۱ – ۲ و در صورت عدم استفاده از تحلیل دقیق‌تر، می‌توان لنگر پیچشی نهایی ناشی از اثر دال‌ها روی تیرهای باربر را با یک توزیع خطی یکنواخت جایگزین کرد.

۹ – ۱۲ – ۱۲ جزییات تکمیلی آرماتورهای عرضی

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۱ تمامی میلگردهای اعضای فشاری باید با خاموت‌هایی در برگرفته شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۲ قطر خاموت‌ها نباید کمتر از مقادیر زیر اختیار شود:

الف) $\frac{۱}{۳}$ قطر بزرگترین میلگرد طولی با قطر حداکثر ۳۰ میلی‌متر

ب) ۱۰ میلی‌متر برای میلگردهای طولی با قطر بیش از ۳۰ میلی‌متر و نیز برای گروه میلگردهای در تماس

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۳ قطر خاموت‌ها به هر حال نباید از ۶ میلی‌متر کمتر باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۴ فاصله هر دو خاموت متوالی از هم نباید از هیچیک از مقادیر (الف) تا (پ) بیشتر باشد:

الف) ۱۲ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی اعم از اینکه منفرد باشد یا عضوی از گروه میلگردهای در تماس به‌شمار آید.

ب) ۳۶ برابر قطر میلگرد خاموت

پ) کوچکترین بعد عضو فشاری

ت) ۲۵۰ میلی‌متر

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۵ در هر مقطع تعداد خاموت‌ها باید طوری باشد که هر یک از میلگردهای زیر در گوشه یک خاموت با زاویه داخلی حداکثر ۱۳۵ درجه قرار گیرد و به‌طور جانبی نگه‌داشته شود:

الف) هر میلگردی که در گوشه‌های عضو واقع شود

ب) هر میلگرد غیر گوشه‌ای به صورت حداکثر یک در میان

پ) هر میلگردی که فاصله آزاد آن تا میلگرد نگهداری شده مجاور بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

در مواردی که میلگردهای طولی روی محیط دایره قرار گیرند، می‌توان از خاموت‌های مدور استفاده کرد مشروط بر آنکه انتهای آنها به قلاب استاندارد ۱۳۵ درجه ختم شود یا به‌نحوی مناسب در بتن قسمت داخلی دایره مهار شود.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۶ خاموت‌ها باید با فواصل تعیین شده در تمام طول عضو قرار داده شوند. فاصله اولین خاموت از سطح فوقانی شالوده یا دال طبقه تحتانی و آخرین خاموت از زیر پایین‌ترین میلگردهای دال یا کتیبه سرستون طبقه فوقانی نباید از نصف فواصل تعیین شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۴ بیشتر باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۷ در صورتی که تیرها یا دستک‌هایی به‌کلیه وجوه ستون متصل شده باشند می‌توان خاموت‌ها را در مقطعی به‌فاصله حداکثر ۷۵ میلی‌متر از زیر پایین‌ترین میلگرد در کم ارتفاع‌ترین تیر یا دستک متوقف کرد.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۸ ضوابط مهار و وصله خاموت‌ها در فصل هیجدهم ارائه شده‌اند.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۹ تمامی ضوابط مربوط به‌اندازه‌های خاموت‌ها و محدودیت‌های فاصله آنها برای اعضای فشاری باید در مورد میلگردهای فشاری در اعضای خمشی هم رعایت شوند. می‌توان از شبکه‌های جوشی با سطح مقطع معادل استفاده کرد. این خاموت‌ها یا شبکه‌ها باید در تمام طولی که میلگردهای فشاری مورد نیاز می باشند به‌کار برده شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۲ – ۱۰ در اعضای خمشی قاب‌ها که در معرض پیچش یا تغییر جهت تنش در تکیه‌گاه‌ها قرار می‌گیرند باید از خاموت‌های بسته یا مارپیچی که دور همه میلگردهای اصلی می‌پیچد استفاده شود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ برش اصطکاکی

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۱ گستره

ضوابط این قسمت در مواردی که انتقال نیروی برشی بین دو سطح با مشخصات (الف) الی (ت) مورد نظر باشد، به‌کارگرفته می‌شود:

الف) وجود ترک یا استعداد ترک‌خوردن بین دو سطح
ب) دو سطح ساخته شده با مصالح غیرمتشابه

ت) دو سطح بتن‌ریزی شده در زمان‌های متفاوت

انتقال برش در موارد فوق توسط عملکرد برشی – اصطکاکی صورت می‌گیرد.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ حالت حدی نهایی مقاومت

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۱ در مقاطعی‌که انتقال برش در آنها به‌صورت برش اصطکاکی است، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت باید براساس رابطه (۹ – ۱۲ – ۱) صورت‌گیرد. مقدار V_r در این رابطه طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۲ تعیین می‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۲ مقدار V_r ، با فرض وجود ترک در سراسر مقطع مورد نظر بر طبق بندهای ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۳ تا ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۶ و یا طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۷ محاسبه می‌شود. در هریک از حالات، ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ نیز باید رعایت شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۳ در مواردی که آرماتور برش اصطکاکی نسبت به‌صفحه برش مایل باشد، به‌طوری که نیروی برشی در آن ایجاد کشش کند:

$$V_r = \phi_s A_{vf} f_y (\mu \sin\alpha_f + \cos\alpha_f) \qquad (۹ – ۱۲ – ۲۳ – ۱)$$

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۴ در مواردی‌که آرماتور برش اصطکاکی عمود بر صفحه برش باشد:

$$V_r = \mu \phi_s A_{vf} f_y \qquad (۹ – ۱۲ – ۲۳ – ۲)$$

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۵ ضریب اصطکاک μ در روابط (۹ – ۱۲ – ۲۳ – ۱) و (۹–۱۲–۲۳ – ۲) برابر با یکی از مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) برای بتنی که به‌صورت یکپارچه ریخته شده باشد: ۱/۲۵

ب) برای بتنی که در مجاورت بتن سخت شده‌ای با زبری سطحی قید شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۵ ریخته شده باشد: ۰/۹۰

پ) برای بتنی که در مجاورت بتن سخت شده‌ای با زبری سطحی کمتر از میزان قید شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۵ ریخته شده باشد: ۰/۵۰

ت) برای بتنی‌که به‌وسیله گل میخ‌ها یا به‌وسیله میلگردهایی به پروفیل فولاد ساختمانی مهار شده باشد: ۰/۶۰

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۶ مقدار V_r در هیچ حالت نباید بزرگتر از مقادیر $۰/۲۵\phi_c f_c A_{cv}$ و $۶/۵\phi_c A_{cv}$ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۲ – ۷ مقدار V_r را می‌توان با استفاده از هر روش طراحی دیگری که صحت آن به‌وسیله آزمایش‌های جامع تأیید شده باشد، تعیین نمود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ ضوابط طراحی برش اصطکاکی

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۱ درمیلگردهای برش اصطکاکی استفاده شده باید ضوابط بند ۹ – ۱۰ – ۷ – ۷ رعایت گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۲ در مواردی که در سطح برش علاوه بر نیروی برشی، نیروی کششی نیز اثر کند، باید آرماتور اضافی برای تحمل‌کشش در امتداد نیروی کششی اعمال شده، پیش‌بینی شود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۳ در مواردی که در سطح برش علاوه بر نیروی برشی نیروی فشاری دائمی نیز اثر کند، مقدار این نیرورا می‌توان به‌نیروی $\phi_s A_{vf} f_y$ ، متعلق به‌آرماتور برش اصطکاکی در رابطه ۹ – ۱۲ – ۲۳ – ۲ اضافه نمود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۴ آرماتورهای برش اصطکاکی باید به‌نحوی مناسب در سطوح‌صفحه برش توزیع‌شوند و برای آنکه بتوانند به تنش نظیر جاری شدن برسند باید به‌طور کامل‌در دو سمت صفحه برش در بتن مهار گردند. برای مهار کردن آرماتورها می‌توان از ادوات مکانیکی استفاده نمود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۵ در مواردی‌که بتن در مجاورت بتن سخت شده قبلی ریخته می‌شود، سطح تماس برای انتقال برش باید تمیز و عاری از دوغاب خشک شده باشد. برای آنکه بتوان ضریب اصطکاک μ را برابر با ۰/۹ فرض نمود سطح تماس باید با ایجاد خراش‌های به‌عمق تقریبی پنج میلی‌متر به‌حالت زبر درآورده شود.

۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۶ در مواردی که برش بین پروفیل‌های فولاد ساختمانی و بتن با استفاده از گل میخ‌ها یا میلگردهای جوش شده به پروفیل انتقال داده می‌شود، فولادها باید تمیز و عاری از زنگ‌زدگی باشند.

۹ – ۱۲ – ۱۴ ضوابط ویژه برای اعضای خمشی با ارتفاع زیاد (تیرهای عمیق)

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۱ گستره

ضوابط این قسمت باید در مورد اعضای خمشی که دارای شرایط (الف) و (ب) باشند رعایت شوند:

الف) نسبت طول دهانه آزاد به‌ارتفاع مقطع $\frac{l_n}{h}$ در آنها کمتر از چهار باشد.

ب) بار روی تیر در وجه فشاری، مقابل وجهی که روی تکیه‌گاه‌ها می‌نشیند، وارد آید به‌طوری که امکان به‌وجود آمدن دستک‌های فشاری از سمت‌بار به‌سمت تکیه‌گاه‌ها موجود باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ حالت حدی مقاوم نهایی در برش در تیرهای عمیق

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۱ در تیرهای عمیق کنترل‌حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید براساس روابط (۹ – ۱۲ – ۱) و (۹ – ۱۲ – ۲) صورت‌گیرد. در این روابط نیروی برشی مقاوم نهایی بتن، V_c ، ونیروی برشی مقاوم نهایی‌آرماتورها، V_s ، طبق بندهای ۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۴ و ۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۵ تعیین می‌گردند.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۲ در تیرهای عمیق کنترل حالت حدی مقاوم نهایی تنها در مقطع بحرانی عضو، مطابق تعریف بند ۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۳ صورت می‌گیرد و آرماتور برشی مورد نیاز در این مقطع در سراسر طول دهانه تیر عمیق ادامه داده می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۳ مقطع بحرانی تیرهای عمیق مقطعی است که فاصله آن از بر داخلی تکیه‌گاه در تیرهای زیر اثر بار یکنواخت برابر با $۰/۱۵l_n$ و درتیرهای زیر بار متمرکز برابر با $۰/۵a$ باشد. این فاصله در هیچ حال نباید بیشتر از d در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۴ مقدار V_c را می‌توان از رابطه (۹ – ۱۲ – ۳) و یا با جزییات بیشتر از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۴) محاسبه نمود .

$$V_c = (۳/۵ - ۲/۵\frac{M_u}{V_u d})(۰/۹۵v_c + ۱۲\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۴)$$

در رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۴) مقدار عبارت $(۳/۵ - ۲/۵\frac{M_u}{V_u d})$ نباید بیشتر از ۲/۵ و مقدار V_c نباید بیشتر از $۳v_c b_w d$ در نظر گرفته شود. M_u لنگر خمشی نهایی است که به طور همزمان با نیروی برشی نهایی V_u در مقطع بحرانی‌طبق تعریف بند ۹ –۲–۱۴–۲–۳ اثر می‌کند.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۵ مقدار V_s ، با استفاده از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۵) محاسبه می‌شود:

$$V_S = \left[\frac{A_V}{۱۲S}(۱ + \frac{l_n}{d}) + \frac{A_{Vh}}{۱۲S_h}(۱۱ - \frac{l_n}{d})\right]\phi_s f_y d \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۵)$$

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۲ – ۶ مقدار V_r ، نباید بیشتر از مقادیر (الف) و (ب) احتساب شود.

الف) در صورتی‌که $\frac{l_n}{h}$ کمتر از ۲ باشد:

$$V_r < ۴v_c b_w d \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۶)$$

ب) در صورتی‌که $\frac{l_n}{h}$ بین ۲ و ۴ باشد:

$$V_r \le \frac{۱}{۳}v_c(۱۰ + \frac{l_n}{d})b_w d \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۷)$$

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۳ محدودیت‌های آرماتورهای برشی تیرهای عمیق

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۳ – ۱ سطح مقطع آرماتور برشی A_v نباید کمتر از $۰/۰۰۲۵\, b_w S$ اختیار شود. فاصله این آرماتورها نیز نباید از مقادیر $\frac{d}{۳}$ و ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۹ – ۱۲ – ۱۴ – ۳ – ۲ سطح مقطع آرماتور برشی A_{vh} نباید کمتر از $۰/۰۰۱۵\, b_w S_h$ اختیار شود. فاصله میلگردهای این آرماتورها نیز نباید از مقادیر $\frac{d}{۵}$ و ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۹ – ۱۲ – ۱۵ ضوابط ویژه برای دستک‌ها و شانه‌ها

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۱ گستره

ضوابط این قسمت باید در مورد دستک‌ها و شانه‌هایی که دارای شرایط (الف) و (ب) باشند رعایت شوند:

الف) نسبت دهانه به ارتفاع موثر مقطع در بر تکیه‌گاه، $\frac{a}{d}$ ، بیشتر از یک نباشد.

ب) مقدار N_u ، بزرگتر از نیروی برشی نهایی مؤثر بر آنها، V_u نباشد.

پ) ارتفاع مؤثر مقطع در لبه خارجی سطح اتکا، کمتر از $۰/۵d$ نباشد.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ حالت حدی مقاوم نهایی در برش، خمش و کشش

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۱ در دستک‌ها و شانه‌ها کنترل حالات حدی مقاوم نهایی در برش، خمش و نیروی محوری کششی، باید براساس روابط (۹ – ۱۲ – ۱) و (۹ – ۱۱ – ۱) و (۹ – ۱۱ – ۲) صورت گیرد.

مقادیر N_u, M_u, V_u باید براساس ضوابط بندهای ۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۴ تا ۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۶ محاسبه شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۲ نیروهای V_u و N_u از تحلیل سازه تحت اثر بارهای نهایی به‌دست می‌آیند. مقدار N_u که در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد نباید کمتر از مقدار $0.2\,V_u$ اختیار شود مگر آنکه برای جلوگیری از ایجاد نیروی کششی تدابیر خاصی در نظر گرفته شده باشد. نیروی‌کششی، N_u همواره باید جزء بارهای زنده، به‌حساب آورده شود.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۳ مقدار M_u با استفاده از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۸) محاسبه می‌شود:

$$M_u = V_u a + N_u (h - d) \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۸)$$

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۴ مقدار V_r ، با فرض عملکرد مقطع به‌صورت برش اصطکاکی مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ محاسبه می‌شود. مقدار V_r نباید از دو مقدار $0/25\ \phi_c f_c b_w d$ و $6/5\ \phi_c b_w d$ بزرگتر اختیار شود.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۵ مقدار M_r، مطابق ضوابط فصل یازدهم محاسبه می‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۲ – ۶ مقدار N_r ، با استفاده از رابطه (۹ – ۱۲ – ۲۹) محاسبه می‌شود:

$$N_r = \phi_s A_n f_y \qquad (۹ - ۱۲ - ۲۹)$$

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ – ۱ مقدار A_s، نباید کمتر از دو مقدار $(A_f + A_n)$ و $(\frac{۲}{۳}A_{vf} + A_n)$ اختیار شود.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ – ۲ خاموت‌های بسته موازی با A_s به‌سطح مقطع کل A_h مساوی $۰/۵(A_s - A_n)$ یا بزرگتر از آن باید در داخل محدوده دو سوم ارتفاع مؤثر مقطع در مجاور A_s توزیع شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ – ۳ مقدار ρ نباید کمتر از $۰/۰۴\frac{f_c}{f_y}$ باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ – ۴ آرماتور کششی اصلی باید در وجه جلوی دستک یا شانه به یکی از طرق (الف) و (ب) مهار شود:

الف) به‌وسیله جوش دادن به‌یک میلگرد عرضی با قطری حداقل مساوی با قطر میلگردهای کششی اصلی، مقاومت جوش باید به‌حدی باشد که بتواند نیروی کششی حداکثر قابل تحمل برای آرماتورها را منتقل نماید.

ب) به‌وسیله خم کردن میلگرد کششی اصلی A_s به‌عقب به‌طوری که یک حلقه افقی تشکیل شود.

۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۳ – ۵ سطح اتکای بار روی دستک یا شانه نباید از قسمت مستقیم میلگردهای کششی اصلی، A_s فراتر رود. این سطح همچنین نباید از وجه داخلی میلگردهای مهاری عرضی، در صورت استفاده از آنها، جلوتر رود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ ضوابط ویژه برای دیوارها

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۱ گستره

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۱ – ۱ ضوابط این قسمت باید در طراحی دیوارهایی که تحت اثر نیروی برشی افقی در امتداد صفحه دیوار قرار دارند، رعایت شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۱ – ۲ دیوارهایی‌که‌تحت اثر نیروی برشی افقی‌در امتداد عمود بر صفحه دیوار قرار دارند، باید براساس ضوابط مربوط به دال‌ها در قسمت ۹ – ۱۲ – ۱۷ طراحی شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ حالت حدی مقاوم نهایی در برش

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۱ درمقاطع افقی دیوارها کنترل حالت حدی مقاوم نهایی در برش باید برمبنای روابط (۹ – ۱۲ – ۱) و (۹ – ۱۲ – ۲) صورت گیرد. در این روابط مقادیر V_c و V_s ، بر اساس بند های ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۲ تا ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۵ محاسبه می‌شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۲ مقدار V_c را در حالتی‌که دیوار تحت اثر برش یا تحت اثر توأم برش و فشار قرار دارد می‌توان از رابطه (۹ – ۱۲ – ۳) و در حالتی که دیوار تحت اثر برش و کشش قرار دارد می‌توان از رابطه (۹ – ۱۲ – ۶) محاسبه نمود. این نیروی

مقاوم را نیز می‌توان با جزییات بیشتر مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۳ محاسبه‌کرد. مقدار d ، در تمامی این روابط طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۳ – ۲ تعیین می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۳ در مواردی‌که محاسبه مقدار V_c ، با جزییات بیشتر مورد نظر باشد، آن را می‌توان با کمترین مقدار به‌دست آمده از دو رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۰) و (۹ – ۱۲ – ۳۱) در نظر گرفت:

$$V_c = ۱/۶۵ v_c hd + \frac{N_u d}{۵ l_w} \qquad (۹ – ۱۲ – ۳۰)$$

$$V_c = \left[۰/۳ v_c + \frac{l_w (۰/۶ v_c - ۰/۱۵ \frac{N_u}{l_w h})}{(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{۲})} \right] hd \qquad (۹ – ۱۲ – ۳۱)$$

در این روابط مقدار N_u برای فشار مثبت و برای کشش منفی است. در صورتی که مقدار $(\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{۲})$ منفی باشد رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۱) به‌کار برده نمی‌شود و رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۰) ملاک خواهد بود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۴ مقدار V_c برای همه مقاطعی‌که در فاصله‌ای‌کمتر از کوچکترین دو مقدار $\frac{l_w}{۲}$ و $\frac{h_w}{۲}$ از پایه دیوار قرار دارند برابر با مقاومت برشی مقطع در کوچکترین این دو مقدار در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۵ مقدار V_s از رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۲) محاسبه می‌شود:

$$V_s = \phi_s A_v f_y \frac{d}{S_h} \qquad (۹ – ۱۲ – ۳۲)$$

پارامتر d مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۳ تعیین می‌شود. برای تأمین برش مقاوم V_s علاوه بر آرماتورهای برشی افقی A_v ، آرماتورهای برشی قائم نیز باید در دیوار پیش‌بینی شود. مقدار این آرماتورها طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ – ۲ تعیین می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ – ۶ مقدار V_r ، در هیچ حالت نمی‌تواند بیشتر از $5v_chd$ اختیار شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۳ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۳ – ۱ در دیوارها چنانچه مقدار V_u بیشتر از $0/5V_c$ باشد طراحی برای برش‌لازم است. مقادیر آرماتور برشی مورد نیاز بر اساس ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۲ محاسبه می‌گردند. در مورد این آرماتور محدودیت‌های بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ باید رعایت شوند. چنانچه V_u کمتر از $0/5V_c$ باشد، آرماتور گذاری دردیوار مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ یا ضوابط طراحی دیوارهای بار بر در فصل شانزدهم انجام می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۳ – ۲ درطراحی‌دیوارها برای برش، مقدار، d باید برابر با $0/8l_w$ در نظر گرفته شود. برای d می‌توان مقدار بزرگتری برابر با فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح نیروهای کششی میلگردهای تحت کشش در نظر گرفت مشروط بر آنکه نیروهای کششی مورد نظر با توجه به‌سازگاری تغییر شکل‌های نسبی در مقطع به‌دست آمده باشند.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۳ – ۳ در محل درزهای اجرایی مقدار V_r باید براساس عملکرد برش اصطکاکی طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ تعیین گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ محدودیت‌های آرماتورها

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ – ۱ مقدار ρ_h ، نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ منظور شود. مقدار S_h نباید بیشتر از ۳h ، $\frac{l_w}{5}$ و یا ۳۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ – ۲ مقدار ρ_n نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ و یا کمتر از مقدار رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۳) منظور شود:

$$\rho_n = ۰/۰۰۲۵ + ۰/۵(۲/۵ - \frac{h_w}{l_w})(\rho_h - ۰/۰۰۲۵) \qquad (۹ - ۱۲ - ۳۳)$$

لازم نیست مقدار ρ_n بیشتر از ρ_h در نظر گرفته شود. مقدار S_h نباید بیشتر از ۳h ، $\frac{l_w}{3}$ و یا ۳۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ ضوابط ویژه برای دال‌ها و پی‌ها

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۱ گستره

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۱ – ۱ ضوابط این قسمت باید برای کنترل برش در دال‌ها و پی‌هایی مانند دال تخت روی ستون و پی زیر اثر بار ستون‌که تحت اثر بار متمرکز قرار می‌گیرند و یا بارهای خود را به تکیه‌گاه‌هایی با سطح محدود منتقل می‌کنند، رعایت شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۱ – ۲ دال‌هایی که زیر اثر بار گسترده قرار دارند و بارهای خود را به تیرها و یا دیوارها منتقل می‌کنند رفتاری مشابه تیرها دارند و مشمول ضوابط مربوط به اعضای تحت اثر برش و خمش می‌شوند. کنترل برش در این دال‌ها بر طبق ضوابط بندهای ۹ – ۱۲ – ۲ تا ۹ – ۱۲ – ۶ به‌عمل می‌آید.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۱ – ۳ در دال‌هایی‌که تحت اثر بارهای قائم یا بارهای جانبی ناشی از باد یا زلزله مستقیماً لنگرهای خمشی را به‌ستون‌ها منتقل می‌کنند، قسمتی از این لنگر توسط برش ایجاد شده در مقاطع دال در اطراف ستون‌ها منتقل می‌شود. نیروی برشی ایجاد شده به‌این صورت، باید در محاسبات برش منظور گردد. ضوابط مربوط به‌محاسبه این برش در بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ داده شده است.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ حالت حدی مقاوم نهایی در برش

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۱ برش‌دال‌ها و پی‌ها در حوالی بارهای متمرکز و تکیه‌گاه‌های با سطح محدود باید برای‌دو نوع عملکرد یکطرفه و دو طرفه کنترل شود :

الف) عملکرد یک‌طرفه به‌صورت تیر: در این‌حالت دال یا پی باید نیروی برشی را مانند یک تیر در تمام عرض خود تحمل‌کند. مقطع بحرانی که مقاومت دال یا پی باید در آن کنترل شود به‌صورت صفحه‌ای عمود بر دال با فاصله d از لبه سطح اثر بار متمرکز یا از وجه کتیبه یا هر تعبیر دیگر در ضخامت دال با تکیه‌گاه، در تمام عرض دال در نظر گرفته می‌شود.

ب) عملکرد دوطرفه: در این حالت دال یا پی باید نیروی برشی را در دو جهت ولی در ناحیه‌ای محدود در اطراف بار متمرکز یا تکیه‌گاه تحمل کند. مقطع بحرانی در این حالت سطح جانبی منشوری است که وجوه آن عمود بر سطح دال بوده و از لبه‌ها و گوشه‌های سطح اثر بار متمرکز یا تکیه‌گاه و یا مقاطعی از دال که ضخامت دال در آنجا تغییر می‌کند دارای فاصله‌ای برابر با $\frac{d}{2}$ باشند. مقطع بحرانی باید چنان در نظر گرفته شود که محیط چند ضلعی قاعده منشور در آن حداقل باشد. برای ستون‌ها، بارهای متمرکز و سطوح تکیه گاهی دارای مقطع مربع یا مستطیل مقاطع بحرانی می‌توانند دارای چهار ضلع مستقیم باشند.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۲ در دال‌ها و پی‌ها کنترل برش در حالت حدی مقاوم برای عملکرد یک‌طرفه مشابه تیرها است و براساس ضوابط بندهای ۹ – ۱۲ – ۲ تا ۹ – ۱۲ – ۶ انجام می‌گیرد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۳ در دال‌ها و پی‌ها کنترل برش در حالت حدی مقاوم برای عملکرد دو طرفه باید براساس روابط (۹ – ۱۲ – ۱) و (۹ – ۱۲ – ۲) صورت گیرد. برای تعیین مقادیر V_c یا V_s و V_r در این روابط برای حالات مختلف طبق ضوابط بندهای۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۴ تا ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۶ رعایت شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۴ در دال‌ها و پی‌هایی که در آنها از آرماتور برشی یا کلاهک برشی استفاده نمی‌شود مقدار V_c، برابر با کمترین مقادیر به‌دست آمده از سه رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۴) الی (۹ – ۱۲ – ۳۶) در نظر گرفته می‌شود:

$$V_c = (۱ + \frac{۲}{\beta_c}) v_c b_o d \left(\frac{\pi}{۲} - \theta \right) \qquad (۹ - ۱۲ - ۳۴)$$

$$V_c = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + ۱) v_c b_o d \qquad (۹ - ۱۲ - ۳۵)$$

$$V_c = ۲ v_c b_o d \qquad (۹ - ۱۲ - ۳۶)$$

α_s عددی است که برای ستون‌های میانی برابر با ۲۰، برای ستون‌های کناری ۱۵ و برای ستون‌های گوشه ۱۰ در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۵ در دال‌ها و پی‌هایی که در آن‌ها از آرماتور برشی برای تأمین مقاومت برشی استفاده می‌شود مقدار V_c و V_s براساس ضوابط (الف) الی (پ) تعیین می‌شوند:

الف) مقدار V_c از رابطه (۹ – ۱۲ – ۳۷) محاسبه می‌شود:

$$V_c = v_c b_o d \qquad (۳۷ - ۱۲ - ۹)$$

ب) مقدار V_s ، با استفاده از ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۴ محاسبه می‌شود.

پ) در این‌حالت مقدار V_r نباید بیشتر از $۳v_c b_o d$ در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۶ در دال هایی که در آنها از کلاهک برشی به‌صورت پروفیل‌های فولادی به‌شکل L یا ناودانی و یا مشابه آنها برای تأمین مقاومت برشی استفاده می‌شود، مقدار V_r ، با شرط‌رعایت محدودیت‌های بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ طبق ضوابط (الف) و (ب) تعیین می‌شود:

الف) در حالتی‌که دال تنها برش ناشی از بارهای قائم را به ستون منتقل می‌کند، V_s مساوی کمترین دو مقدار زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$V_r = ۳/۵ v_c b_o d \qquad (۳۸ - ۱۲ - ۹)$$

$$V_r = ۲ v_c b_{om} d \qquad (۳۹ - ۱۲ - ۹)$$

در این روابط b_o محیط‌چند ضلعی مقطع بحرانی طبق تعریف بند ۹–۱۲–۱۷–۲–۱– ب b_{om} محیط چند ضلعی مقطع بحرانی خاص طبق تعریف بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۷ است.

ب) در حالتی‌که دال علاوه بر برش ناشی از بارهای قائم باید لنگر خمشی به‌ستون منتقل نماید، V_r باید چنان باشد که ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۳ – ب تأمین شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۷ مقطع بحرانی‌خاص‌که در دال‌های با کلاهک برشی برای‌کنترل نیروی برشی مقاوم مقطع باید مورد استفاده قرار گیرد، سطح جانبی منشوری است‌که وجوه آن عمود بر دال و در فاصله $۰/۷۵(l_v - ۰/۵c_۱)$ از بر ستون قرار دارند. مقطع بحرانی خاص باید چنان در نظر گرفته شود که محیط چند ضلعی قاعده منشور در آن حداقل باشد لزومی ندارد فاصله وجوه منشور از بر ستون کمتر از $\frac{d}{۲}$ در نظر گرفته شود. مقدار محیط این چند ضلعی b_{om} نامیده می‌شود.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ ضوابط و محدودیت‌های کلاهک‌های برشی

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۱ هر کلاهک برشی باید از قطعات فولادی به‌شکل L یا ناودانی و یا شکل مشابه که باجوش نفوذی کامل به‌هم متصل‌شده باشند تشکیل شود. بازوهای کلاهک باید یکسان و نسبت به‌هم متعامد باشند. بازوها نباید در مقطع ستون قطع شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۲ لنگر خمشی مقاوم هر بازوی کلاهک برشی درحد پلاستیک نباید کمتر از مقدار رابطه (۹ – ۱۲ – ۴۰) باشد:

$$M_p = \frac{V_u}{۲\eta}[h_v + \alpha_v(l_v - ۰/۵c_۱)] \qquad (۹ - ۱۲ - ۴۰)$$

در این رابط η و ℓ_v بر اساس ملاحظات بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۶ مورد نیاز می‌باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۳ انتهای هر بازوی‌کلاهک را می‌توان با زاویه‌ای بیشتر از ۳۰ درجه نسبت به‌افق برید به‌شرطی‌که لنگر خمشی پلاستیک مقطع باریک شده باقیمانده، برای تحمل نیروی برشی تخصیص داده شده برای آن بازو کافی باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۴ مقطع‌کلاهک برشی باید با توجه به ضوابط زیر انتخاب شود:

الف) ارتفاع مقطع کلاهک نباید بیشتر از ۷۰ برابر ضخامت جان آن باشد.

ب) کلیه بال‌های فشاری مقطع‌کلاهک باید در داخل محدوده‌ای به‌فاصله $۰/۳d$ در دورترین تار فشاری دال یا پی قرار داده شود.

پ) نسبت سختی خمشی هر بازوی کلاهک به‌سختی خمشی مقطع ترک خورده دال مرکب با پهنای $(c_۲ + d)$، α_v ، نباید کمتر از ۰/۱۵ باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۵ مقاومت خمشی بازوهای کلاهک را می‌توان در کمک به لنگر خمشی مقاوم دال در نوار ستونی دخالت داد. مقدار کمک هر بازو از رابطه (۹ – ۱۲ – ۴۱) تعیین می‌شود:

$$M_v = \frac{\alpha_v V_u}{۲\eta}(\ell_v - ۰/۵c_۱) \qquad (۴۱ – ۱۲ – ۹)$$

در این رابطه ℓ_v طول واقعی بازو است که به‌کار گرفته شده است، مقدار M_v نباید بیشتر از مقادیر (الف) الی (پ) در نظر گرفته شود:

الف) ۳۰ درصد کل لنگر خمشی نهایی موجود در نوار ستونی دال

ب) مقدار تغییر لنگر خمشی موجود در نوار ستونی دال در طول ℓ_v

پ) مقدار M_p

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۳ – ۶ در مواردی‌که دال یا پی باید لنگر خمشی به‌ستون منتقل نماید، کلاهک باید به‌قدر کافی مهار شده باشد که بتواند لنگر خمشی M_p را منتقل نماید.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ بازشوها در دال‌ها

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۱ در مواردی که در یک دال بازشویی در فاصله کمتر از ده برابر ضخامت دال از سطح اثر بار متمرکز یا سطح تکیه‌گاه محدود و یا در مواردی که باز شویی در نوار ستونی دال تختی واقع شود، مقاطع بحرانی‌که برای کنترل برش در بندهای۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ب و ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۷ تعریف شده‌اند، مطابق بندهای ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۲ و ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۳ اصلاح می‌شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۲ برای دال‌های بدون کلاهک برشی، قسمتی از محیط مقطع بحرانی‌که به‌وسیله خطوط مماس بر محدوده بازشو رسم شده از مرکز سطح اثر بار متمرکز یا مرکز تکیه‌گاه قطع می‌شود، بی‌اثر فرض می‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۳ برای دال‌های با کلاهک برشی، قسمتی از محیط مقطع بحرانی که طبق بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ – ۲ بی‌اثر فرض می‌شود، نصف می‌گردد.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ انتقال لنگر خمشی در اتصالات دال به‌ستون

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۱ در مواردی که لنگر خمشی متعادل نشده‌ای، M_u ، ناشی از بارهای قائم، باد یا زلزله باید بین دال و ستون منتقل شود، قسمتی از آن، M_{uf} ، با عملکرد خمشی براساس ضوابط بند ۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ و بقیه آن، M_{uv}، از رابطه (۹ – ۱۲ – ۴۲) محاسبه می‌شود:

$$M_{uv} = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}}\right) M_u \qquad (۹ - ۱۲ - ۴۲)$$

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۲ برای تعیین تنش برشی ناشی از لنگر خمشی M_{uv} فرض می‌شود حداکثر این تنش در مقطع بحرانی طبق تعریف بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ب، ایجاد می‌شود و مقدار تنش در هر تار از این مقطع متناسب با فاصله آن تار از مرکز سطح مقطع است.

۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۳ در مواردی که دال علاوه بر نیروی برشی V_u تحت اثر برش ناشی از انتقال لنگر خمشی قرار می‌گیرد، مقاومت برشی دال باید برای مقابله با این دو اثر کافی باشد. برای کنترل مقاومت برشی دال درحالت حدی نهایی باید ضوابط (الف) و (ب) رعایت شوند:

الف) در دال‌های بدون‌کلاهک برشی، مجموع تنش برشی ناشی‌از بارهای قائم در مقطع بحرانی طبق تعریف بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ب و حداکثر تنش برشی محاسبه شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۲ باید کمتر از مقدار $\frac{v_r}{b_o d}$ باشد.

ب) دردال‌های باکلاهک برشی، مجموع تنش برشی ناشی از بارهای قائم در مقطع بحرانی خاص، طبق تعریف بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۲ – ۷ وحداکثر تنش برشی محاسبه شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ – ۲ باید کمتر از $2v_c$ باشد.

۹ – ۱۲ – ۱۸ ضوابط ویژه برای اتصالات قاب‌ها

۹ – ۱۲ – ۱۸ – ۱ در مواردی که بارهای قائم، باد، زلزله و یا سایر بارهای جانبی موجب انتقال لنگرخمشی در اتصالات اعضای قاب به‌ستون‌ها می‌شوند، ستون‌ها و اتصالات آنها به اعضای قاب باید برای برش حاصل از این لنگر خمشی طراحی شوند.

۹ – ۱۲ – ۱۸ – ۲ در محل اتصالات صلب اعضای قاب به‌ستون‌ها باید آرماتور برشی معادل حداقل آنچه در رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۳) داده شده است با فرض b_w برابر بزرگترین بعد ستون، در ستون قرار داده شود. این آرماتورها باید در ناحیه‌ای به‌طول حداقل برابر با ارتفاع بلندترین عضوی که به‌اتصال می‌رسد ادامه داشته باشند.

۹ – ۱۲ – ۱۸ – ۳ در اتصالات قاب‌هایی که جزء عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی زلزله با فرض شکل‌پذیری متوسط و زیاد می‌باشند، ضوابط خاص باید رعایت شوند. این ضوابط در فصل بیستم داده شده‌اند.

۹ ـ ۱۳ آثار لاغری ـ کمانش

۹ ـ ۱۳ ـ ۰ علایم اختصاری

A_g = مساحت کل مقطع، میلی‌مترمربع

C_m = ضریبی‌که مقادیر واقعی لنگر را به مقادیر معادل با لنگر یکنواخت تبدیل می‌کند.

e = برون‌محوری بار میلی‌متر

e_{min} = حداقل برون‌محوری بار میلی‌متر

E_c = ضریب ارتجاعی بتن، مگاپاسکال

E_e = سختی خمشی مؤثر عضو (معادل EI_e)

E_s = ضریب ارتجاعی فولاد، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای تسهیل‌کار در این فصل‌حرف k در زیرنویس حذف شده است.

h = ارتفاع مقطع، میلی‌متر

h_s = ارتفاع طبقه، میلی‌متر

H_u = بار کل‌جانبی نهایی وارد بر طبقه، نیوتن

I_e = ممان اینرسی مؤثر مقطع، میلی‌متر به توان چهار

I_g = ممان اینرسی‌کل مقطع، میلی‌متر به توان چهار

k = ضریب طول مؤثر

l_u = طول آزاد یا مهارنشده عضو فشاری، میلی‌متر

M_c = لنگر خمشی نهایی تشدید شده، نیوتن – میلی‌متر

M_1 = کوچکترین لنگر خمشی نهایی دو انتهای عضو فشاری (مقدار M_1 مثبت است اگرانحنای ستون در یک جهت باشد و منفی است اگر انحنای ستون در دو جهت باشد)، نیوتن – میلی‌متر

M_{1b} = لنگرخمشی نهایی انتهای‌عضو فشاری، در انتهایی‌که M_1 بر آن اثر می‌کند، تحت اثر بارهایی‌که تغییر مکان جانبی قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کنند، نیوتن – میلی‌متر

M_{1s} = لنگر خمشی نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی‌که M_1 بر آن اثر می‌کند، تحت اثر بارهایی‌که تغییر مکان جانبی قابل‌ملا حظه‌ای ایجاد می‌کنند، نیوتن – میلی‌متر

M_2 = بزرگترین لنگر خمشی نهایی دو انتهای عضو فشاری (مقدار M_2 همواره مثبت فرض می‌شود)، نیوتن – میلی‌متر

M_{2b} = لنگر خمشی نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی‌که M_2 برآن اثر می‌کند، تحت اثر بارهایی‌که تغییر مکان جانبی قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کنند، نیوتن- میلی‌متر

M_{2s} = لنگر خمشی نهایی انتهای عضو فشاری، در انتهایی‌که M_2 بر آن اثر می‌کند، تحت اثر بارهایی‌که تغییرمکان جانبی‌قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌کنند، نیوتن - میلی‌متر

$M_{۲min}$ = حداقل لنگر خمشی $M_۲$

N_c = بار بحرانی، نیوتن

N_u = بار محوری فشاری نهایی، نیوتن

Q = ضریب پایداری طبقه

r = شعاع ژیراسیون، میلی‌متر

β_d = الف) برای قاب‌های مهار شده β_d نسبت بار محوری دائمی نهایی به بار محوری نهایی کل می‌باشد.

ب) برای قاب‌های مهار نشده، β_d نسبت برش نهایی دائمی یک طبقه به برش نهایی‌کل آن طبقه می‌باشد.

δ_b = ضریب تشدید متعلق به اثر انحنای قطعه

δ_s = ضریب تشدید متعلق به اثر تغییر مکان جانبی

δ_u = تغییر مکان جانبی طبقه نسبت به طبقه زیرین به‌ازای هر ترکیب بار مشخص

ϕ_n = ضریب اصلاحی

ψ = نسبت مجموع سختی ستون‌ها به مجموع سختی تیرهای منتهی به یک‌گره در یک صفحه

Ψ_m = متوسط مقدار Ψ در دو انتهای عضو فشاری

Ψ_{min} = کوچکترین مقدار Ψ در دو انتهای عضو فشاری

۹ – ۱۳ – ۱ گستره

۹ – ۱۳ – ۱ – ۱ در این فصل آثار ناشی از بار محوری در قطعات میله‌ای لاغر تحت فشار بدون خمش یا همراه با خمش و نحوه منظور کردن آنها در طراحی قطعات مورد بررسی قرار می‌گیرد. این آثار در مجموع آثار لاغری نامیده خواهند شد.

۹ – ۱۳ – ۱ – ۲ آثار لاغری شامل آثار ناشی از وجود انحنا در قطعه و آثار ناشی از تغییر مکان جانبی نسبی‌دو انتهای قطعه به‌شرح زیر است:

الف) آثار ناشی از وجود انحنا در قطعه، لنگرهای خمشی‌ای هستند که به‌علت عدم انطباق مرکز سطح مقطع بر خطی که دو انتهای بخشی از طول عضو را به‌هم وصل می‌کند، به‌وجود می‌آیند.

ب) آثار ناشی از تغییر مکان جانبی، لنگرهای خمشی و نیروهای داخلی دیگری هستند که در مقاطع قطعه به‌علت برون‌محوری ناشی از تغییرمکان جانبی یک انتهای قطعه نسبت به‌انتهای دیگر آن به‌وجود می‌آیند. تغییر مکان جانبی نسبی دو انتهای قطعه ممکن است به‌علت بارهای قائم یا بارهای جانبی یا ترکیبی از آنها باشد.

۹ – ۱۳ – ۲ کلیات

۹ – ۱۳ – ۲ – ۱ طراحی قطعات فشاری، تیرهای مقیدکننده آنها و اعضای دیگر تحمل‌کننده بار این قطعات باید برای نیروها و لنگرهایی که از تحلیل مرتبه دوم سازه به‌دست آمده‌اند، انجام گیرد. در این تحلیل علاوه بر نیروهای وارد بر سازه که در تحلیل مرتبه اول سازه‌ها مورد نظر قرار می‌گیرند، باید آثار لاغری مطابق آنچه در بند (۹–۱۳–۱) گفته شد، آثار تغییرات ممان اینرسی ناشی از ترک خوردگی، رفتار غیرخطی مصالح، جمع‌شدگی و نیز آثار تابع زمان بارهای درازمدت در نظر گرفته شوند.

۹ – ۱۳ – ۲ – ۲ در صورتی که آثار گفته شده در بند ۹ – ۱۳ – ۲ – ۱ در تحلیل سازه منظور نشده باشند، می‌توان آنها را به‌طور تقریب با استفاده از روش« تشدید لنگرهای خمشی» طبق بند (۹ – ۱۳ – ۸) با رعایت محدودیت بند ۹ – ۱۳ – ۷ – ۳ محاسبه کرد.

۹ – ۱۳ – ۳ طبقات مهارشده جانبی

۹ – ۱۳ – ۳ – ۱ طبقه مهارشده به‌طبقه‌ای‌گفته می‌شود که تغییر مکان جانبی نسبی آن ناچیز باشد. چنانچه ضریب پایداری طبقه، که از رابطه (۹ – ۱۳ – ۱) به‌دست می‌آید کوچکتر از ۰/۰۵ باشد، طبقه مهارشده جانبی تلقی می‌شود. در این حالت تمامی قطعات فشاری واقع در این طبقه اصطلاحاً «مهار شده» نامیده می‌شود.

$$Q = \frac{\sum N_u \delta_u}{H_u h_s} \qquad (۹ - ۱۳ - ۱)$$

محاسبه δ_u با توجه به‌ضوابط بند ۹ – ۱۳ – ۸ – ۱ انجام می‌گیرد.

۹ – ۱۳ – ۳ – ۲ در ساختمان‌های‌کوتاه متعارف تا ۴ طبقه در صورتی‌که مجموع سختی جانبی اعضای مهارکننده طبقه، مانند دیوارهای برشی و باد بندها، مساوی یا بزرگتر از شش برابر مجموع سختی جانبی ستون‌های طبقه باشد، آن طبقه را می‌توان مهار شده تلقی کرد.

۹ – ۱۳ – ۴ طول آزاد قطعات فشاری

۹ – ۱۳ – ۴ – ۱ طول آزاد قطعه فشاری، l_u برابر است با فاصله آزاد بین دال‌های طبقات، تیرها یا سایر قطعاتی‌که قادر به ایجاد تکیه‌گاه جانبی برای آن قطعه باشند.

۹ – ۱۳ – ۴ – ۲ در صورتی‌که ستون دارای کتیبه یا سر ستون باشد، طول آزاد آن تا سطح تحتانی کتیبه یا سر ستون محاسبه می‌شود.

۹ – ۱۳ – ۵ طول مؤثر قطعات فشاری

۹ – ۱۳ – ۵ – ۱ طول مؤثر قطعه فشاری، kl_u را می‌توان طبق بندهای ۹ – ۱۳ – ۵ – ۲ تا ۹ – ۱۳ – ۵ – ۴ محاسبه کرد مگر آن که با انجام تحلیل دقیقی‌که در آن آثار ناشی از ترک خوردگی قطعات بر روی سختی جانبی آنها منظور شده باشد، بتوان طول مؤثر دیگری به‌دست آورد.

۹ – ۱۳ – ۵ – ۲ مقدار k در قطعات فشاری مهار شده را می‌توان برابر با یک و یا کوچکترین دو مقدار به‌دست آمده از روابط (۹ – ۱۳ – ۲) و (۹ – ۱۳ – ۳) منظور نمود.

$$k = ۰/۷ + ۰/۱\psi_m \le ۱ \qquad (۹ – ۱۳ – ۲)$$

$$k = ۰/۸۵ + ۰/۰۵\psi_{min} \le ۱ \qquad (۹ – ۱۳ – ۳)$$

۹ – ۱۳ – ۵ – ۳ مقدار k در قطعات فشاری مهار نشده‌ای که در دو انتها مقید باشند با استفاده از رابطه (۹ – ۱۳ – ۴) یا رابطه (۹ – ۱۳ – ۵) به‌دست می‌آید:

در مواردی‌که $\psi_m < ۲$ باشد:

$$k = (۱ - ۰/۰۵\psi_m)\sqrt{۱ + \psi_m} \ge ۱ \qquad (۹ – ۱۳ – ۴)$$

و در مواردی‌که $\psi_m \ge ۲$ باشد:

$$k = ۰/۹\sqrt{۱ + \psi_m} \qquad (۹ – ۱۳ – ۵)$$

۹ – ۱۳ – ۵ – ۴ مقدار k در قطعه فشاری مهار نشده‌ای که یک انتهای آن مفصلی باشد، با استفاده از رابطه ۹ – ۱۳ – ۶ به‌دست می‌آید:

$$k = ۲ + ۰/۳\psi \qquad (۹ – ۱۳ – ۶)$$

که در آن ψ مربوط به انتهای غیرمفصلی است.

۹ – ۱۳ – ۵ – ۵ در محاسبه ممان‌های اینرسی برای تعیین ψ ، در روابط (۹ – ۱۳ – ۲) تا (۹ – ۱۳ – ۶) باید از ضوابط بند ۹ – ۱۳ – ۸ – ۱ استفاده نمود.

۹ – ۱۳ – ۵ – ۶ در محل اتصال ستون به شالوده در صورت انتخاب اتصال مفصل می توان مقدار ψ را برابر با ده و در صورت انتخاب اتصال گیردار می توان مقدار ψ را برابر یک در نظر گرفت.

۹ – ۱۳ – ۶ شعاع ژیراسیون

۹ – ۱۳ – ۶ – ۱ شعاع ژیراسیون، r ، را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

الف) در مقاطع مستطیلی: ۰/۳ برابر بعد کلی مقطع در امتدادی که اثر لاغری مورد بررسی است.

ب) در مقاطع گرد ۰/۲۵ برابر قطر.

پ) در سایر مقاطع شعاع ژیراسیون در امتداد مورد نظر با استفاده از رابطه (۹ –۱۳–۷) محاسبه می‌شود:

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \qquad (۹ - ۱۳ - ۷)$$

۹ – ۱۳ – ۷ ضوابط اثر لاغری

۹ – ۱۳ – ۷ – ۱ در قطعات فشاری مهار شده در صورتی‌که $k\frac{l_u}{r} \le (۳۴ - ۱۲\frac{M_۱}{M_۲})$ باشد، می‌توان از اثر لاغری صرفنظر کرد. مقدار $(۳۴–۱۲\frac{M_۱}{M_۲})$ را نبایستی بیش از ۴۰ در

نظرگرفت. نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ مثبت است اگر این دو لنگر موجب انحنای ستون در یک جهت شوند و منفی است اگر این دو لنگر موجب انحنای ستون در دو جهت شوند.

۹ – ۱۳ – ۷ – ۲ در قطعات فشاری مهار نشده در صورتی‌که $k\frac{l_u}{r} \leq ۲۲$ باشد، می‌توان از اثر لاغری صرفنظر کرد.

۹ – ۱۳ – ۷ – ۳ در قطعات فشاری با $k\frac{l_u}{r} > ۱۰۰$ اثر لاغری باید براساس تحلیل دقیق، مطابق بند ۹ – ۱۳ – ۲ – ۱ بررسی شود.

۹ – ۱۳ – ۷ – ۴ استفاده از قطعات فشاری با $k\frac{l_u}{r} > ۲۰۰$ مجاز نیست.

۹ – ۱۳ – ۸ روش تشدید لنگرهای خمشی

۹ – ۱۳ – ۸ – ۱ کلیات

در این‌روش لنگرهای خمشی نهایی به‌دست آمده از تحلیل الاستیکی مرتبه اول با توجه به ضوابط بند ۹ – ۱۳ – ۸ – ۲ برای قاب‌های مهار شده و بند ۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ برای قاب‌های مهارنشده تشدید می‌شوند و همراه با بار محوری نهایی به‌دست آمده از تحلیل مزبور مبنای طراحی قطعه فشاری قرار می‌گیرند. در تحلیل الاستیکی خطی باید آثار ترک خوردگی اجزای سازه‌ای و آثار بارهای درازمدت بنحوی مناسب منظور گردد. به این منظور استفاده از مقادیر توصیه شده در بند ۹ – ۱۰ – ۸ – ۳ قابل قبول است. در صورت حضور بارهای جانبی درازمدت، مقادیر E_c باید به مقدار $(۱+\beta_d)$ تقسیم شوند.

۹ ـ ۱۳ ـ ۸ ـ ۲ تشدید لنگر در طبقات مهار شده

در قطعات فشاری طبقات مهارشده مقدار M_c از رابطه ۹ - ۱۳ - ۸ محاسبه می‌شود:

$$M_c = \delta_b M_{2b} \qquad (۹ - ۱۳ - ۸)$$

ضریب δ_b از رابطه (۹ - ۱۳ - ۹) محاسبه می‌شود:

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{\phi_n N_c}} \geq 1 \qquad (۹ - ۱۳ - ۹)$$

که در آن $\phi_n = 0/75$ است.

در این رابطه ضریب C_m و بار بحرانی N_c به‌شرح زیر محاسبه می‌شوند:

ضریب C_m ، در مواردی که در فاصله بین دو انتهای قطعه فشاری بار جانبی وارد نشود از رابطه (۹ - ۱۳ - ۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$C_m = 0/6 + 0/4\left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}}\right) \geq 0/4 \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۰)$$

در سایر موارد $C_m = 1$ است.

در رابطه (۹ - ۱۳ - ۱۰) نسبت $\frac{M_{1b}}{M_{2b}}$ با توجه به بند ۹ - ۱۳ - ۷ - ۱ در نظر گرفته شود.

بار بحرانی N_c از رابطهٔ (۹ ـ ۱۳ ـ ۱۱) محاسبه می‌شود:

$$N_c = \frac{\pi^2 E I_e}{(k l_u)^2} \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۱)$$

که در آن:

$$E_e = \frac{0/2 E_c I_g + E_S I_{se}}{1 + \beta_d} \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۲)$$

یا به‌طور تقریبی

$$E_e = ۰/۲۵E_cI_g \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۳)$$

ضریب k در رابطه (۹ – ۱۳ – ۱۱)، برای محاسبه δ_b ، از بند ۹ – ۱۳ – ۵ – ۲ به‌دست می‌آید.

۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ تشدید لنگر در طبقات مهار نشده

در طبقات مهار نشده تشدید لنگرها با توجه به موارد مندرج در بندهای ۹–۱۳– ۸ –۳–۱، ۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۵ صورت می‌گیرد.

۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۱ در قطعات فشاری طبقات مهارنشده، لنگرهای $M_۱$ و $M_۲$ از روابط (۹ – ۱۳ – ۱۴) و (۹ – ۱۳ – ۱۵) محاسبه می‌گردند.

$$M_۱ = M_{۱b} + \delta_s M_{۱s} \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۴)$$

$$M_۲ = M_{۲b} + \delta_s M_{۲s} \qquad (۹ - ۱۳ - ۱۵)$$

مقادیر $\delta_s M_{۲s}$ و $\delta_s M_{۱s}$ را می‌توان با استفاده از یکی از روش‌های بندهای ۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۲ الی ۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۴ محاسبه نمود. طراحی ستون بر مبنای بار محوری نهایی وارده و لنگر خمشی محاسبه شده $M_۲$ از رابطه (۹–۱۳– ۱۵) انجام می‌گیرد.

۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۲ لنگرهای تشدید یافته $\delta_s M_{2s}$ و $\delta_s M_{1s}$ لنگرهای انتهایی ستون هستند که با استفاده از تحلیل مرتبه دوم، با منظور نمودن مشخصات مصالح و ویژگی‌های هندسی مقطع مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۳ – ۸ – ۱، محاسبه می‌گردند.

۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۳ روش دیگر محاسبه لنگرهای تشدیدیافته $\delta_s M_{2s}$ و $\delta_s M_{1s}$ استفاده از رابطه (۹ – ۱۳ – ۱۶) جهت محاسبه δ_s می باشد. استفاده از این روش فقط در حالتی مجاز است که ضریب پایداری طبقه، Q، از $\frac{1}{3}$ تجاوز ننماید.

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1 \qquad (۹ – ۱۳ – ۱۶)$$

۹ – ۱۳ – ۸ – ۳ – ۴ روش دیگر محاسبه لنگرهای تشدیدیافته $\delta_s M_{2s}$ و $\delta_s M_{1s}$ استفاده از رابطه (۹ – ۱۳ – ۱۷) جهت محاسبه δ_s است.

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\phi_n \sum N_c}} \geq 1 \qquad (۹ – ۱۳ – ۱۷)$$

در این رابطه ضریب اصلاحی $\phi_n = ۰/۷۵$ است، ΣN_u مجموع بارهای قائم نهایی طبقه و ΣN_c مجموع بارهای بحرانی‌ستون‌هایی از طبقه است‌که در برابر تغییرمکان جانبی مقاومت می‌کنند. مقدار N_c برای هر عضو فشاری با استفاده از روابط (۹–۱۳–۱۱) تا (۹ – ۱۳ – ۱۳) محاسبه می‌گردد. ضریب k در رابطه (۹ – ۱۳ – ۱۱) با استفاده از بندهای ۹ – ۱۳ – ۵ – ۳ یا ۹ – ۱۳ – ۵ – ۴ به‌دست می‌آید.

۹ – ۱۳ – ۹ حداقل برون‌محوری بار

۹ – ۱۳ – ۹ – ۱ در قطعات فشاری مهارشده چنانچه بار محوری و لنگر خمشی‌حاصل از تحلیل الاستیکی مرتبه اول چنان باشد که برون‌محوری بار در آنها کمتر از مقدار به‌دست آمده از رابطه (۹ – ۱۳ – ۱۸) باشد:

$$e_{min} = ۱۵ + ۰/۰۳h \qquad (۱۸ – ۱۳ – ۹)$$

باید e_{min} را به‌عنوان برون‌محوری بار در محاسبات لنگر خمشی عضو و اثر لاغری منظور کرد. این برون محوری باید برای خمش حول هر دو محور اصلی مقطع، به‌طور جداگانه، به‌کار گرفته شود. در این صورت لنگر خمشی $M_{۲min}$ از رابطه (۹ –۱۳– ۱۹) به‌دست می‌آید.

$$M_{۲min} = N_u (۱۵ + ۰/۰۳h) \qquad (۱۹ – ۱۳ – ۹)$$

در این حالت می‌توان C_m را برابر با یک در نظر گرفته و یا بر اساس لنگر خمشی $M_۱$ و $M_۲$ در دو انتهای عضو محاسبه نمود.

۹ – ۱۳ – ۱۰ اثر لاغری در قطعات فشاری تحت اثر خمش دومحوره

اثر لاغری در قطعات فشاری تحت اثر خمش دو محوره برای هر یک از دو محور اصلی، با توجه به شرایط تکیه‌گاهی دو انتهای قطعه حول همان محور، به طور جداگانه محاسبه می‌شوند.

۹ – ۱۳ – ۱۱ تشدید لنگر خمشی‌در قطعات خمشی متصل به‌قطعات فشاری

۹ – ۱۳ – ۱۱ – ۱ در قاب‌های مهارنشده، قطعات خمشی متصل به‌قطعات فشاری باید برای مجموع لنگرهای خمشی تشدید شده قطعات فشاری در آن اتصال طراحی شوند.

۹ – ۱۳ – ۱۱ – ۲ در قاب‌های مهارشده برای قطعات خمشی متصل به‌قطعات فشاری در نظر گرفتن اثری از لنگرهای خمشی تشدید شده قطعات فشاری، لازم نمی باشد.

۹ – ۱۴ تغییرشکل و ترک‌خوردگی

۹ – ۱۴ – ۰ علایم اختصاری

A = مساحت مؤثر کششی بتن تقسیم بر تعداد میلگردها، سطح مؤثرکششی بتن سطحی است محدود به لبه خارجی کششی که مرکز آن برمرکز سطح آرماتورهای کششی منطبق است. در صورتی که قطرهای میلگردها متفاوت باشد، تعداد میلگردها برابر سطح مقطع کل آنها تقسیم بر سطح مقطع بزرگترین آنها در نظر گرفته می‌شود، میلی‌متر مربع

A_{sk} = سطح مقطع آرماتور جلدی، میلی‌متر مربع

d = ارتفاع مؤثر مقطع، میلی‌متر

d_c = ضخامت قشر محافظ بتنی‌که برابر با فاصله دورترین تار کششی تا مرکز نزدیکترین میلگرد به آن در نظر گرفته می‌شود، میلی‌متر

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

f_r = مدول گسیختگی بتن، مگاپاسکال

f_s = تنش در آرماتور کششی زیر اثر بارهای بهره‌برداری، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای سهولت در این فصل حرف k در زیرنویس حذف شده است.

h = ارتفاع کل مقطع، میلی‌متر

I_{cr} = ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده با در نظرگرفتن اثر آرماتورها، میلی‌متر به‌توان چهار

I_e = ممان اینرسی مؤثر مقطع، میلی‌متر به‌توان چهار

I_{eL} = ممان اینرسی مؤثر مقطع در تکیه‌گاه سمت چپ

I_{eR} = ممان اینرسی مؤثر مقطع در تکیه‌گاه سمت راست

I_{em} = ممان اینرسی مؤثر مقطع در وسط دهانه

I_g = ممان اینرسی مقطع ترک‌نخورده بدون در نظرگرفتن اثر آرماتورها، میلی‌متر به‌توان چهار

l = طول دهانه مؤثر، میلی‌متر

l_n = طول دهانه آزاد در امتداد دهانه بزرگتر دال‌های دوطرفه، که برابر با فاصله بر تا بر تکیه‌گاه‌ها یا تیرهای تکیه‌گاهی می‌باشد، میلی‌متر

M_a = حداکثر لنگر خمشی در حالت بهره‌برداری، نیوتن – میلی‌متر

M_{cr} = لنگر خمشی ترک‌خوردگی، نیوتن – میلی‌متر

y_t = فاصله محور خنثی در مقطع ترک‌نخورده، بدون در نظر گرفتن اثر آرماتورها از دورترین تار کششی، میلی‌متر

w = عرض ترک، میلی‌متر

α = نسبت سختی خمشی مقطع تیر به‌سختی خمشی نواری از دال که از طرفین به محورهای مرکزی چشمه‌های مجاور در صورت وجود، محدود شده باشد.

α_m = متوسط مقدار α برای تمام تیرهای روی لبه یک چشمه دال

β = نسبت طول دهانه آزاد بزرگتر به‌طول دهانه آزاد کوچکتر در دال‌های دوطرفه

ζ = ضریب تابع زمان برای بارهای دائمی

λ = ضریبی برای محاسبه اضافه افتادگی درازمدت

ρ' = نسبت سطح مقطع آرماتور فشاری به‌سطح مؤثر $\left(\rho' = \frac{A'_s}{A_e}\right)$

۹ – ۱۴ – ۱ گستره

۹ – ۱۴ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید برای اعضای خمشی تحت شرایط حالت‌های حدی بهره‌برداری کنترل شوند. این ضوابط شامل محاسبه تغییر شکل و ترک‌خوردگی و محدودیت‌های مربوط به آنها است.

۹ – ۱۴ – ۱ – ۲ محاسبه تغییر شکل و ترک‌خوردگی برمبنای ترکیبات بارگذاری مربوط به‌حالت حدی بهره‌برداری مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۰ – ۱۱ و تغییرات خطی و ارتجاعی تنش – کرنش بتن و فولاد انجام می‌شود.

۹ – ۱۴ – ۲ تغییرشکل

۹ – ۱۴ – ۲ – ۱ در قطعات تحت خمش، سختی قطعات باید به‌اندازه‌ای باشد که تغییرشکل ایجاد شده شرایط مطلوب بهره‌برداری را حفظ کند.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۲ در محاسبه سختی قطعات باید اثر ترک‌خوردگی بتن و اثر میلگردها در نظرگرفته شود.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۳ در محاسبه تغییرشکل علاوه بر تغییر شکل‌های کوتاه مدت و آنی باید تغییر شکل مربوط به بارهای دائمی و درازمدت نیز منظور گردد.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ محاسبه تغییرشکل در تیرها و دال‌های یک‌طرفه

۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ – ۱ تغییرشکل آنی اجزای بتن‌آرمه را می‌توان با استفاده از روش‌های معمول تحلیل سازه‌ها و روابطی‌که براساس رفتار خطی مصالح تنظیم شده‌اند، محاسبه

کرد. در این روش‌ها و روابط مقدار E_c باید بر طبق رابطه (۹ – ۱۰ – ۱) و ممان اینرسی مؤثر قطعه باید طبق ضوابط بند ۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ – ۲ در نظر گرفته شوند.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ – ۲ ممان اینرسی مؤثر اعضا براساس مشخصات مقطع و میزان ترک خوردگی آنها به شرح الف و ب این بند محاسبه می‌شود:

الف) در وسط دهانه اعضای تکیه گاههای ساده و در تکیه‌گاه اعضای طره‌ای از رابطه (۹ – ۱۴ – ۱) محاسبه می‌شود:

$$I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr})(\frac{M_{cr}}{M_a})^3 \qquad (۹ - ۱۴ - ۱)$$

در این رابطه مقدار M_{cr} از رابطه (۹ – ۱۴ – ۲) محاسبه می‌شود:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \qquad (۹ - ۱۴ - ۲)$$

مقدار f_r نیز با استفاده‌از رابطه (۹ – ۱۴ – ۳) محاسبه می‌شود:

$$f_r = ۰/۶\sqrt{f_c} \qquad (۹ - ۱۴ - ۳)$$

مقدار I_e در هیچ حالت نباید بیشتر از I_g در نظر گرفته شود.

ب) در قطعات یکسره، ممان اینرسی مؤثر برابر با مقدار متوسط ممان اینرسی مؤثر قطعه که بر اساس مشخصات مقاطع بحرانی در وسط دهانه و بر روی تکیه‌گاه‌ها و با استفاده از رابطه (۹ – ۱۴ – ۴) محاسبه شده باشد، در نظر گرفته می‌شود. در اعضای یکسره ممان اینرسی مؤثر را می‌توان برابر با مقدار این ممان اینرسی در مقطع بحرانی، در وسط دهانه منظور کرد.

$$I_e = \frac{۱}{۴}(I_{eL} + ۲I_{em} + I_{eR}) \qquad (۹ - ۱۴ - ۴)$$

۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ – ۳ تغییرشکل اضافی ایجادشده در اعضا در طول زمان را که معمولاً «اضافه افتادگی درازمدت» نامیده می‌شود، در صورت عدم استفاده از روش‌های تحلیلی دقیق‌تر، می‌توان از حاصل‌ضرب تغییرشکل آنی ناشی از بار دائمی در ضریب λ

که از رابطه (۹ – ۱۴ – ۵) مشخص شده است، به‌دست آورد:

$$\lambda = \frac{\xi}{۱ + ۵۰\rho'} \qquad (۵ - ۱۴ - ۹)$$

در این رابطه ρ' مربوط به مقطع وسط دهانه در اعضای با تکیه‌گاه‌های ساده یا پیوسته و مقطع تکیه‌گاه، در اعضای طره‌ای است. مقدار ضریب وابسته به‌زمان، ξ ، را برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۹ – ۱۴ – ۰ مقدار ضریب ξ وابسته به‌زمان

زمان ۵ سال یا بیشتر	۲/۰
زمان ۱۲ ماه	۱/۴
زمان ۶ ماه	۱/۲
زمان ۳ ماه	۱/۰

۹ – ۱۴ – ۲ – ۵ محدودیت تغییرشکل در تیرها و دال‌ها

۹ – ۱۴ – ۲ – ۵ – ۱ تغییرشکل ایجاد شده در تیرها و دال‌ها نباید از مقادیر مشخص شده جدول ۹ – ۱۴ – ۱ تجاوز کند.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۵ – ۲ در ساختمان‌های متعارف مسکونی، اداری و تجاری رعایت محدودیت‌های شماره‌های ۲ و ۴ از جدول شماره ۹ – ۱۴ – ۱ کافی تلقی می‌شود.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۵ – ۳ در ساختمان‌های متعارف و تحت بارگذاری‌های معمول در تیرها و دال‌های یکطرفه‌ای که ارتفاع یا ضخامت آنها از مقادیر مندرج در جدول شماره ۹ – ۱۴ – ۲ بیشتر است، محاسبه تغییرشکل الزامی نیست. مشروط بر آنکه این تیرها و

دال‌ها بر قطعاتی غیرسازه‌ای مانند دیوارهای تقسیم که تغییرشکل زیاد در آنها خساراتی ایجاد کند، متصل نباشند و یا آنها را نگهداری نکنند.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۵ – ۴ در مورد تیرهایی‌که محدودیت‌های نسبت دهانه به‌ارتفاع جدول شماره ۹ – ۱۴ – ۲ را جوابگو نیستند، و یا ستون‌های با بیش از سه درصد فولاد (در محلی غیر از محل وصله‌ها) مقدار تنش فشاری بتن تحت بارهای بلندمدت بدون ضریب به $۰/۴۵f_c$ و تحت بارهای بهره‌برداری به $۰/۶f_c$ محدود می‌شود.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ محاسبه تغییرشکل در دال‌های دوطرفه

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۱ در دال‌های دوطرفه تغییرشکل آنی را می‌توان با استفاده از روش‌های معمول تحلیل صفحات و روابطی‌که براساس رفتار خطی آنها تنظیم شده‌اند، محاسبه‌کرد. در این روش‌ها و روابط، مقدار E_c باید طبق رابطه (۹ – ۱۰ – ۱) و ممان اینرسی مؤثر دال‌ها طبق رابطه (۹ – ۱۴ – ۱) در نظر گرفته شوند. مقادیر دیگری در محاسبه تغییر شکل آنی نیز می‌توان به‌کار برد مشروط بر آنکه نتایج حاصل با انجام آزمایش‌های کافی تأیید شده باشند.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۲ در دال‌های دوطرفه اضافه تغییرشکل درازمدت را باید براساس ضوابط بند ۹ – ۱۴ – ۲ – ۴ – ۳ محاسبه نمود.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۳ در سیستم دال‌های دوطرفه که براساس ضوابط فصل پانزدهم طراحی شده‌اند در صورتی که ضخامت دال بیشتر از مقادیر مشخص شده در بندهای ۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۴ و ۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۵ باشد، کنترل تغییرشکل الزامی نیست.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۴ حداقل ضخامت دال‌های تخت که در آنها تیرهای میانی بین تکیه‌گاه‌ها وجود ندارد، جهت عدم کنترل تغییر شکل، براساس مقادیر مندرج در جدول شماره ۹ – ۱۴ – ۳ در نظر گرفته شود. این ضخامت در هر حال نباید کمتر از مقادیر بندهای (الف) و (ب) اختیار شود:

جدول‌شماره ۹ – ۱۴ – ۱ محدودیت تغییرشکل در تیرها و دال‌ها

انواع قطعه	تغییر شکل مورد نظر	محدودیت تغییر شکل	ملاحظات
۱- بام‌های تخت که به‌قطعاتی غیرسازه‌ای متصل نیستند یا آنها را نگهداری نمی‌کنند، لذا تغییرشکل زیاد آسیبی در این قطعات ایجاد نمی‌کند.	تغییر شکل آنی ناشی از بارهای زنده	$\frac{l}{۱۸۰}$	-
۲- مانند بالا در مورد کف‌ها		$\frac{l}{۳۶۰}$	-
۳- بام‌ها یا کف‌هایی که به‌قطعات غیرسازه‌ای متصل هستند یا آنها را نگهداری می‌کنند و تغییرشکل زیاد ممکن نیست آسیبی در این قطعات ایجاد کند.	آن قسمت از تغییرشکل که بعد از اتصال قطعات غیرسازه‌ای ایجاد می‌شود. منظور مجموع اضافه افتادگی درازمدت ناشی از بارهای دائمی و تغییر شکل آنی ناشی از بارهای زنده است.	$\frac{l}{۴۸۰}$	تبصره ۱
۴- بام‌ها یا کف‌هایی که به‌قطعات غیرسازه‌ای متصل هستند یا آنها را نگهداری می‌کنند ولی تغییرشکل زیاد آسیبی در این قطعات ایجاد نمی‌کند.		$\frac{l}{۲۴۰}$	تبصره ۲ و تبصره ۳

تبصره ۱– در صورتی‌که بتوان با اتخاذ تدابیری ویژه از ایجاد آسیب به‌قطعات غیرسازه‌ای جلوگیری کرد، حد مربوط به محدودیت را می‌توان افزایش داد.

تبصره ۲– تغییرشکل نباید از حد رواداری قطعات غیرسازه‌ای تجاوز کند. در صورتی‌که در قطعه خیز ایجاد شده باشد، حد محدودیت مشخص شده در مورد تفاضل تغییرشکل و خیز اعمال می‌گردد.

تبصره ۳– اضافه تغییرشکل درازمدت براساس ضابطه ۹ - ۱۴ - ۲ - ۴ - ۳ محاسبه می‌شود ولی می‌توان اضافه تغییرشکل درازمدت را که قبل از اتصال قطعات غیر سازه‌ای در عضو ایجاد شده محاسبه نمود و از کل مقدار اضافه‌تغییرشکل دراز مدت کاست. در محاسبات تغییر شکل مورد نظر مقدار باقیمانده دخالت داده می‌شود.

جدول ۹ – ۱۴ – ۲ حداقل ارتفاع یا ضخامت تیر یا دال یک‌طرفه

عضو	با تکیه گاه های ساده	با تکیه‌گاه‌های پیوسته از یک طرف	با تکیه‌گاه‌های پیوسته از دو طرف	کنسول
تیرها یا دال‌های یک‌طرفه پشت بنددار	$\frac{l}{۱۶}$	$\frac{l}{۱۸/۵}$	$\frac{l}{۲۱}$	$\frac{l}{۸}$
دال‌های توپر یا سقف‌های تیرچه و بلوک	$\frac{l}{۲۰}$	$\frac{l}{۲۴}$	$\frac{l}{۲۸}$	$\frac{l}{۱۰}$

تبصره: جدول فوق برای فولاد طولی نوع S۴۰۰ تنظیم شده است. برای سایر انواع فولادها مقادیر جدول باید در ضریب $(۰/۴+\frac{f_y}{۷۰۰})$ ضرب شوند.

جدول۹ – ۱۴ – ۳ حداقل ضخامت دال‌های بدون تیر میانی

	بدون کتیبه			با کتیبه		
نوع فولاد	چشمه های بیرونی		چشمه های درونی	چشمه های بیرونی		چشمه های درونی
	بدون تیر لبه	با تیر لبه		بدون تیر لبه	با تیر لبه	
S۳۴۰	$\frac{l_n}{۳۳}$	$\frac{l_n}{۳۶}$	$\frac{l_n}{۳۶}$	$\frac{l_n}{۳۶}$	$\frac{l_n}{۴۰}$	$\frac{l_n}{۴۰}$
S۴۰۰	$\frac{l_n}{۳۶}$	$\frac{l_n}{۳۳}$	$\frac{l_n}{۳۳}$	$\frac{l_n}{۳۳}$	$\frac{l_n}{۳۶}$	$\frac{l_n}{۳۶}$

تبصره ۱- کتیبه‌ها یا سرستون‌های عنوان شده در این جدول باید مطابق تعریف بند ۱۵ – ۳ – ۴ باشند.

تبصره ۲- تیرهای لبه باید دارای نسبت سختی، α برابر با حداقل ۰/۸ باشند.

الف) در دال‌های بدون‌کتیبه مطابق تعریف بندهای ۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۲ و ۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۳، مقدار ۱۲۵ میلی‌متر.

ب) در دال‌های با کتیبه‌یا سرستون مطابق تعریف بندهای۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۲ و ۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۳ ، مقدار ۱۰۰ میلی‌متر.

۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۵ حداقل ضخامت دال‌هایی‌که در تمام اضلاع روی تیرها تکیه دارند و نسبت طول دهانه بزرگتر به طول دهانه کوچکتر در آنها کمتر از ۲ است، جهت عدم کنترل تغییر شکل، باید به شرح (الف) و (ب) تعیین شود:

الف) دردال هایی که نسبت α_m در آنها مساوی یا کوچکتر از ۰/۲ است، طبق ضابطه بند ۹ – ۱۴ – ۲ – ۶ – ۴ تعیین می‌شود.

ب) در دال‌هایی‌که نسبت α_m در آنها بزرگتر از ۰/۲ و کوچکتر از ۲ است، طبق رابطه (۹ – ۱۴ – ۶ – ۱) به‌دست می‌آید:

$$h = \frac{l_n(۸۰۰ + ۰/۶f_y)}{۳۶۰۰۰ + ۵۰۰۰\beta(\alpha_m - ۰/۲)} \qquad (۹ - ۱۴ - ۶ - ۱)$$

ضخامت دال در این حالت نباید کمتر از ۱۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود:

پ) در دال‌هایی که نسبت α_m در آنها مساوی یا بزرگتر از ۲ است طبق رابطه (۹ – ۱۴ – ۶ – ۲):

$$h = \frac{l_n(۸۰۰ + ۰/۶f_y)}{۳۶۰۰۰ + ۹۰۰۰\beta} \qquad (۹ - ۱۴ - ۶ - ۲)$$

ضخامت دال در این حالت نباید کمتر از ۹۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۴ – ۳ ترک‌خوردگی‌ها

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ کلیات

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ – ۱ در قطعات تحت اثر خمش مقدار آرماتور کششی و نحوه پخش آن در مقطع باید چنان باشد که ترک‌های ایجاد شده در اثر کشش ناشی از خمش در آنها، اثر نامطلوب بر عملکرد و قابلیت بهره‌برداری نداشته باشد.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ – ۲ در تیرها و دال‌های یک‌طرفه مقدار تقریبی عرض ترک را می‌توان طبق بند ۹ – ۱۴ – ۳ – ۲ محاسبه نمود. در این قطعات رعایت محدودیت‌های مندرج در بند ۹ – ۱۴ – ۳ – ۳ الزامی است.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ – ۳ در دال‌های دوطرفه یا دال‌های تخت و قارچی محاسبه عرض ترک الزامی نیست و تنها رعایت ضوابط مربوط به آرماتور حرارت و جمع‌شدگی و فواصل ارائه شده در بند ۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۳ کافی است.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ – ۴ در مواردی که بال‌های تیر با مقطع T شکل در کشش‌اند، قسمتی از آرماتور کششی باید در بال‌ها توزیع شود. این میلگردها باید در ناحیه‌ای به‌طول عرض مؤثر تیر T یا یک‌دهم طول دهانه تیر، هر کدام کوچکترند، قرار داده شوند. در مواردی‌که‌عرض مؤثر تیر T از یک‌دهم طول دهانه تیر بزرگتر است، باید آرماتور کششی اضافی در نواحی خارج از ناحیه توزیع شده میلگردها در بال قرار داده شوند.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۱ – ۵ در مواردی که ارتفاع جان تیر از ۶۰۰ میلی‌متر تجاوز می‌کند در شرایط محیطی ملایم و متوسط، آرماتور گونه، A_{sk} ، صرف‌نظر از جنبه ابعادی آن، به‌مقدار $(d-۷۵۰) \geq ۱۵۰$ میلی‌متر مربع در هر متر ارتفاع، در هر یک از گونه‌های طرفین تیر، باید در ناحیه‌ای به‌ارتفاع $\frac{d}{۲}$ بالاتر از آرماتور کششی پیش‌بینی شود. لزومی ندارد مقدار کل این آرماتور در تیر بیشتر از نصف آرماتور کششی تیر در نظر گرفته شود. در شرایط محیطی شدید مقدار سطح مقطع آرماتور گونه به‌ازای هر متر طول جدار از ۳۰۰ میلی‌مترمربع و در شرایط محیطی‌خیلی شدید و فوق‌العاده شدید مقدار این سطح مقطع از ۵۰۰ میلی‌مترمربع نباید کمتر منظور گردد. فاصله میلگردهای گونه از یکدیگر نباید

بیشتر از $\frac{d}{۶}$ یا ۳۰۰ میلی‌متر اختیار شود. کمک این میلگردها را به‌مقاومت خمشی تیر نیز می‌توان در محاسبات منظور کرد.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۲ محاسبه عرض ترک

۹ – ۱۴ – ۳ – ۲ – ۱ در تیرها و دال‌های یک‌طرفه مقدار عرض را، در صورت عدم انجام محاسبات دقیق‌تر، می‌توان از رابطه زیر محاسبه‌کرد:

$$w = ۱۳\times ۱۰^{-۶} f_s \sqrt[۳]{d_c.A} \qquad (۹ – ۱۴ – ۷)$$

در شرایط محیطی ملایم، متوسط و شدید مقدار تنش f_s به $\frac{۲}{۳}f_y$ و در شرایط محیطی خیلی شدید و فوق‌العاده شدید مقدار این تنش به $\frac{۱}{۲}f_y$ محدود می‌شود.

۹ – ۱۴ – ۳ – ۳ محدودیت عرض ترک

مقدار عرض ترک در تیرها و دال‌های یک‌طرفه متناسب با شرایط محیطی ذکرشده در بند ۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۲ و شرایط لازم برای آب‌بندی سازه به‌مقادیر زیر محدود می‌شود:

– شرایط محیطی ملایم یا متوسط ۰/۳۵ میلی‌متر

– شرایط محیطی شدید ۰/۲ میلی‌متر

– شرایط محیطی خیلی شدید و فوق‌العاده شدید و یا آب‌بندی سازه ۰/۱ میلی‌متر

۹ ـ ۱۵ طراحی دال‌ها

۹ ـ ۱۵ ـ ۰ علایم اختصاری

b_1 = بعد مربوط به‌محیط بحرانی برش سوراخ‌شدگی که به‌فاصله $\frac{d}{2}$ از لبه تکیه‌گاه قرار دارند و در امتداد محور طولی نوار پوششی می‌باشد، میلی‌متر

b_2 = بعد مربوط به‌محیط بحرانی برش سوراخ‌شدگی که به‌فاصله $\frac{d}{2}$ از لبه تکیه‌گاه قرار دارند و در امتداد محور عرضی نوار پوششی می‌باشد، میلی‌متر

c_1 = بعد ستون مستطیلی یا ستون مربع معادل، سرستون یا کتیبه سرستون در امتداد دهانه‌ای که لنگرها برای آن محاسبه می‌شوند، میلی‌متر

c_2 = بعد ستون مستطیلی یا ستون مربع معادل، سرستون یا کتیبه سرستون در امتداد عمود بر دهانه‌ای که لنگرها برای آن محاسبه می‌شوند، میلی‌متر

l_1 = طول دهانه، مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌ها، در امتدادی‌که لنگرها بـرای آن محاسـبه می‌شوند، میلی‌متر

l_2 = طول دهانه، مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌ها، در امتداد عمود بر امتداد l_1 ، میلی‌متر

l_d = طول‌گیرایی، میلی‌متر

l_n = طول آزاد دهانه، فاصله بر تا بر تکیه‌گاه‌ها، میلی‌متر

M_u = لنگر خمشی نهایی، نیوتن – میلی‌متر

M_{uf} = کسری از لنگر متعادل نشده که به‌وسیله خمش منتقل می‌شود، نیوتن – میلی‌متر

M_{uv} = کسری از لنگر متعادل نشده که به‌وسیله برش منتقل می‌شود نیوتن – میلی‌متر

α = نسبت سختی خمشی مقطع تیر به سختی خمش نـواری از دال‌کـه از طـرفین به‌محورهای مرکزی چشمه‌های مجاور در صورت وجود، محدود شده باشد.

۹ – ۱۵ – ۱ گستره

۹ – ۱۵ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل مربوط به‌طراحی سیستم‌هایی از دال‌ها است کـه مشخصات هندسی آنها در بند (۹ – ۱۰ – ۵) تعریف شده است. سیستم دال مـی‌توانـد دارای تیرهای زیرسری باشد و یا مستقیماً روی ستون یا دیوار تکیه کنند.

۹ – ۱۵ – ۱ – ۲ سیستم‌هایی که در آنها دال مستقیماً روی ستون‌هایی بدون سـر ستون، دال تخت، یا با سرستون، دال قارچی، تکیه دارند به‌شرطی مشمول ضـوابط ایـن فصل می‌شوند که آن قسمت از سرستون که خارج از بزرگترین مخروط یـا هـرم نـاقص محاط در داخل ستون و سرستون با زاویه تمایل یال‌ها یا وجوه کمتر از ۴۵ درجه نسبت به‌محور ستون، قرار می‌گیرد از نظر سازه‌ای نادیده انگاشته می‌شود. در این حالت ابعاد c_1 و c_2 ابعاد سطح تقاطع همین مخروط یا هرم با دال، یا کتیبه سرستون، درصورت وجود، محسوب می‌شود و دهانه آزاد دال، l_n ، با توجه به‌همین ابعاد تعیین می‌شود.

۹ – ۱۵ – ۱ – ۳ سیستم‌های دال‌های مشبک با یا بدون قطعات پرکننده بین تیرچه‌ها، با شرط آنکه تیرچه‌ها در دو امتداد وجود داشته باشند، مشمول ضوابط این فصل می‌شوند.

۹ – ۱۵ – ۲ تعاریف

۹ – ۱۵ – ۲ – ۱ سیستم دال

به‌مجموعه‌ای از قطعات صفحه‌ای با یا بدون تیر گفته می‌شود که تحت اثر بارهای عمود بر صفحه خود قرار می‌گیرند. سیستم‌های معمول دال‌ها عبارتند از تیر – دال، دال تخت، دال قارچی و دال مشبک.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۲ نوار پوششی

به‌قسمتی از سیستم دال‌گفته می‌شود که در دو سمت محور ستون‌های واقع در یک ردیف در پلان قرار می‌گیرد و به محورهای طولی گذرنده از وسط چشمه‌های مجاور محدود شود.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۳ نوار ستونی

به‌قسمتی‌از نوار پوششی‌گفته می‌شود که در دو سمت محور ستون‌ها واقع شود و عرض آن در هرسمت محور برابر با $0,25\ l_1$ و یا $0,25\ l_2$ هر کدام کوچکتر است، باشد. این نوار شامل تیر بین ستون‌ها در صورت وجود، نیز می‌شود.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۴ نوار میانی

نواری از سیستم دال است که در حد فاصل دو نوار ستونی قرار می‌گیرد.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۵ نوار کناری

در سیستم (تیر، دال) نواری از دال است که در هر سمت تیر در نوار ستونی قرار می‌گیرد.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۶ تیر در سیستم (تیر، دال)

تیر در دال‌ها شامل‌جان تیر و قسمتی از دال است که در هر سمت تیر دارای عرضی برابر با تصویر مایل ۴۵ درجه آن قسمت از جان تیر باشد که در زیر یا در روی دال، هر کدام ارتفاع بیشتری دارد، قرار می‌گیرد مشروط بر آنکه این عرض در هر سمت جان بزرگتر از چهار برابر ضخامت دال نباشد.

۹ – ۱۵ – ۲ – ۷ چشمه دال

قسمتی‌از سیستم دال است که به‌محورهای ستون‌ها، تیرها، یا دیوارهای تکیه‌گاهی محدود می‌شود.

۹ – ۱۵ – ۳ ضوابط کلی طراحی دال‌ها

۹ – ۱۵ – ۳ – ۱ ضخامت دال

در تعیین ضخامت دال‌های مشمول این فصل باید ضوابط مربوط به حالات حدی بهره‌برداری مطابق فصل چهاردهم رعایت شوند.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۲ طراحی برای خمش و برش

۹ – ۱۵ – ۳ – ۲ – ۱ دال‌ها و تیرهای زیر سری آنها باید برای لنگرهای خمشی و نیروهای برشی موجود در هر مقطع و براساس ضوابط فصل‌های یازدهم و دوازدهم طراحی شوند. در دال‌ها حداقل آرماتور کششی مطابق بند ۹ – ۱۵ – ۴ تعبیه می‌شود.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۲ – ۲ طراحی برای انتقال بار از دال به‌ستون و یا دیوار زیر سری به صورت برشی یا پیچشی باید براساس ضوابط فصل دوازدهم صورت گیرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ انتقال لنگر خمشی در اتصالات دال به ستون

۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ – ۱ در مواردی‌که لنگر خمشی متعادل نشده‌ای، M_u ، ناشی از بارهای قائم، باد یا زلزله باید بین دال بدون تیر به‌ستون منتقل شود، قسمتی از آن، M_{uf} ، با عملکرد خمشی و بقیه آن، M_{uv} ، با اثر نیروی برشی خارج از مرکزی که دراطراف ستون در دال ایجاد می‌شود، منتقل‌می‌گردد. مقدار M_{uf} از رابطه (۹ – ۱۵ – ۱) محاسبه می‌شود:

$$M_{uf} = \frac{M_u}{۱ + \frac{۲}{۳}\sqrt{\frac{b_۱}{b_۲}}} \qquad (۹ - ۱۵ - ۱)$$

۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ – ۲ لنگر خمشی M_{uf} توسط‌عرضی از دال که به دو مقطع به فواصل ۱/۵ برابر ضخامت دال یا ضخامت کتیبه دال از بر خارجی ستون در دو سمت آن محدود است، تحمل می‌شود. آرماتورهای مورد نیاز برای تحمل این لنگر خمشی باید در همین عرض جای داده شوند.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ – ۳ طراحی برای آن قسمت از لنگر خمشی‌که با اثر نیروی برشی‌خارج از محوری که در اطراف ستون در دال یا کتیبه دال منتقل می‌شود، M_{uv} ، باید بر اساس‌ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۵ صورت گیرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ کتیبه دال‌ها

۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۱ در مواردی که برای کاهش مقدار آرماتور منفی، روی ستون‌های دال‌های تخت یا قارچی، اقدام به ایجاد کتیبه درروی ستون می‌شود، ضوابط بندهای ۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۲ تا ۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۴ باید رعایت شوند.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۲ بعد کتیبه در هر سمت محور ستون نباید کمتر از یک ششم طول دهانه (مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌ها) در امتداد آن دهانه در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۳ ضخامت کتیبه نباید کمتر از یک چهارم ضخامت دال باشد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۴ – ۴ در محاسبه مقدار آرماتورهای منفی در ناحیه کتیبه نباید ضخامت کتیبه را بیشتر از یک چهارم فاصله بعد کتیبه از بر ستون منظور کرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ باز شوها در سیستم دال‌ها

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۱ در سیستم‌های دال‌ها می‌توان بازشوهایی با هر اندازه و در هر محل پیش‌بینی‌کرد، مشروط بر آنکه با انجام تحلیل ویژه بتوان نشان داد سیستم از مقاومت کافی بر خوردار است و ضوابط مربوط به‌حالات حدی بهره‌برداری به‌ویژه ضوابط مربوط به‌تغییر شکل‌ها را ارضا می‌کند.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۲ در صورتی که تحلیل ویژه‌ای انجام نشود، باید ضوابط بندهای ۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۳ تا ۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۵ را در تعیین محل و ابعاد بازشوها رعایت کرد. در تمامی موارد باید در طرفین بازشوها در هر امتداد، آرماتورهای اضافی به‌اندازه آرماتورهای قطع شده قرار داد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۳ در نواحی مشترک بین دو نوار میانی متقاطع دال می‌توان هر باز شویی با هر اندازه‌ای پیش‌بینی کرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۴ در نواحی مشترک بین دو نوار ستونی متقاطع دال فقط باز شوهایی با ابعاد کمتر از یک‌هشتم عرض نوار در هر جهت می‌توان پیش‌بینی‌کرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۵ در نواحی مشترک بین یک نوار ستونی و یک نوار میانی متقاطع دال فقط بازشوهایی با ابعاد کمتر از یک‌چهارم عرض نوار در هر جهت می‌توان پیش‌بینی‌کرد.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۶ در صورت ایجاد بازشو در سیستم دال، باید ضوابط طراحی برای برش مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۱۷ – ۴ رعایت شوند.

۹ – ۱۵ – ۳ – ۵ – ۷ در سیستم‌های (تیر، دال)، بازشوها نباید از محل تیرها عبور کند، مگر آنکه تحلیل قابل‌قبولی ارائه شود.

۹ – ۱۵ – ۴ آرماتورگذاری در دال‌ها

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ ضوابط کلی آرماتورگذاری

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۱ مقادیر آرماتورهای لازم در مقاطع مختلف دال در هر امتداد بر مبنای لنگرهای خمشی وارد بر آن مقاطع محاسبه می‌شوند. مقادیر آرماتورهای به‌کار رفته در ناحیه کششی دال‌ها در هر صورت نباید کمتر از مقادیر نظیر حرارت و جمع‌شدگی مطابق بند ۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۲ در نظر گرفته شوند. در دال‌های یکطرفه که آرماتورهای خمشی صرفا در یک جهت قرار می‌گیرند باید حداقل میلگردهای حرارت و جمع‌شدگی مطابق بند ۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۲ در جهت دیگر قرار داده شوند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۲ نسبت سطح مقطع میلگرد های حرارت و جمع‌شدگی به‌کل سطح مقطع بتن برای دال هایی‌به ضخامت کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ میلی‌متر نباید از مقادیر زیر کمتر اختیار شود:

- برای میلگردهای S۲۴۰ ، S۳۴۰ ۰/۰۰۲
- برای میلگردهای S۴۰۰ ۰/۰۰۱۸
- برای میلگردهای S۵۰۰ ۰/۰۰۱۵

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۳ فاصله میلگردهای خمشی‌در دال‌ها، جز در دال‌های مشبک، نباید از دو برابر ضخامت دال و نه از ۳۵۰ میلی‌متر تجاوز کند. در دال‌های مشبک، حداقل آرماتورگذاری در ناحیه‌ای از دال که روی حفره‌ها قرار دارد بر طبق بند ۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۲ تعیین می‌شوند. در مورد دال‌های در معرض شرایط محیطی شدید فاصله میلگردها به دو برابر ضخامت و ۲۵۰ میلی‌متر و برای شرایط محیطی‌خیلی شدید و فوق‌العاده شدید به ۱/۵ برابر ضخامت و ۲۰۰ میلی‌متر محدود می‌شود.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۴ میلگردهای خمشی مثبت عمود بر بعد ناپیوسته دال باید تا لبه دال ادامه یابند و به‌علاوه، به‌طولی‌حداقل معادل ۱۵۰ میلی‌متر به‌طور مستقیم، با قلاب یا بدون آن، در تیر پیشانی یا دیوار یا ستون داخل شوند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۵ میلگردهای خمشی منفی عمود بر لبه ناپیوسته دال باید با خم یا قلاب یا وسیله مهاری دیگری در داخل تیر پیشانی یا دیوار ستون به‌طور کامل مهار شوند. برای این میلگردها باید گیرایی‌کامل در مقطع بر داخلی تکیه‌گاه، بر اساس ضوابط فصل هیجدهم، تأمین شود.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۱ – ۶ در مواردی که دال در لبه ناپیوسته به تیر پیشانی یا دیوار منتهی نشود یا فراتر از تکیه‌گاه کنسول شود، مهار کردن میلگردهای عمود بر این لبه می‌تواند داخل دال صورت گیرد.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ جزییات ویژه برای آرماتورگذاری دال‌های با تیر

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۱ برای سیستم‌های (تیر ـ دال) که در آنها α بزرگتر از یک باشد، در گوشه‌های خارجی دال‌ها باید آرماتورهای ویژه‌ای به‌شرح بندهای ۹– ۱۵–۴–۲–۲ تا ۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۵ در پایین و بالای دال اضافه کرد.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۲ هر یک از آرماتورهای ویژه در پایین و بالای دال در واحد عرض، باید قادر باشد حداکثر لنگر خمشی مثبت دال را تحمل کند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۳ آرماتورهای ویژه باید در بالای دال به زاویه ۴۵ درجه و تقریباً در امتداد قطر گذرنده از گوشه دال و در پایین دال عمود بر این قطر قرار گیرند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۴ آرماتورهای ویژه باید در هر امتداد تا طولی برابر با حداقل یک پنجم دهانه بزرگتر، قرار داده شوند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۵ آرماتورهای ویژه را می‌توان در دو سفره در امتدادهای مندرج در بند ۹ – ۱۵ – ۴ – ۲ – ۳ یا در دو شبکه به‌موازات دو ضلع دال قرار داد.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ جزییات ویژه برای آرماتورگذاری دال‌های بدون تیر

۹ – ۱۵ – ۳ – ۳ – ۱ در آرماتورگذاری دال‌های تخت و قارچی علاوه بر ضوابط بند ۹ – ۱۵ – ۴ ضوابط بندهای ۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۶ نیز باید رعایت شوند.

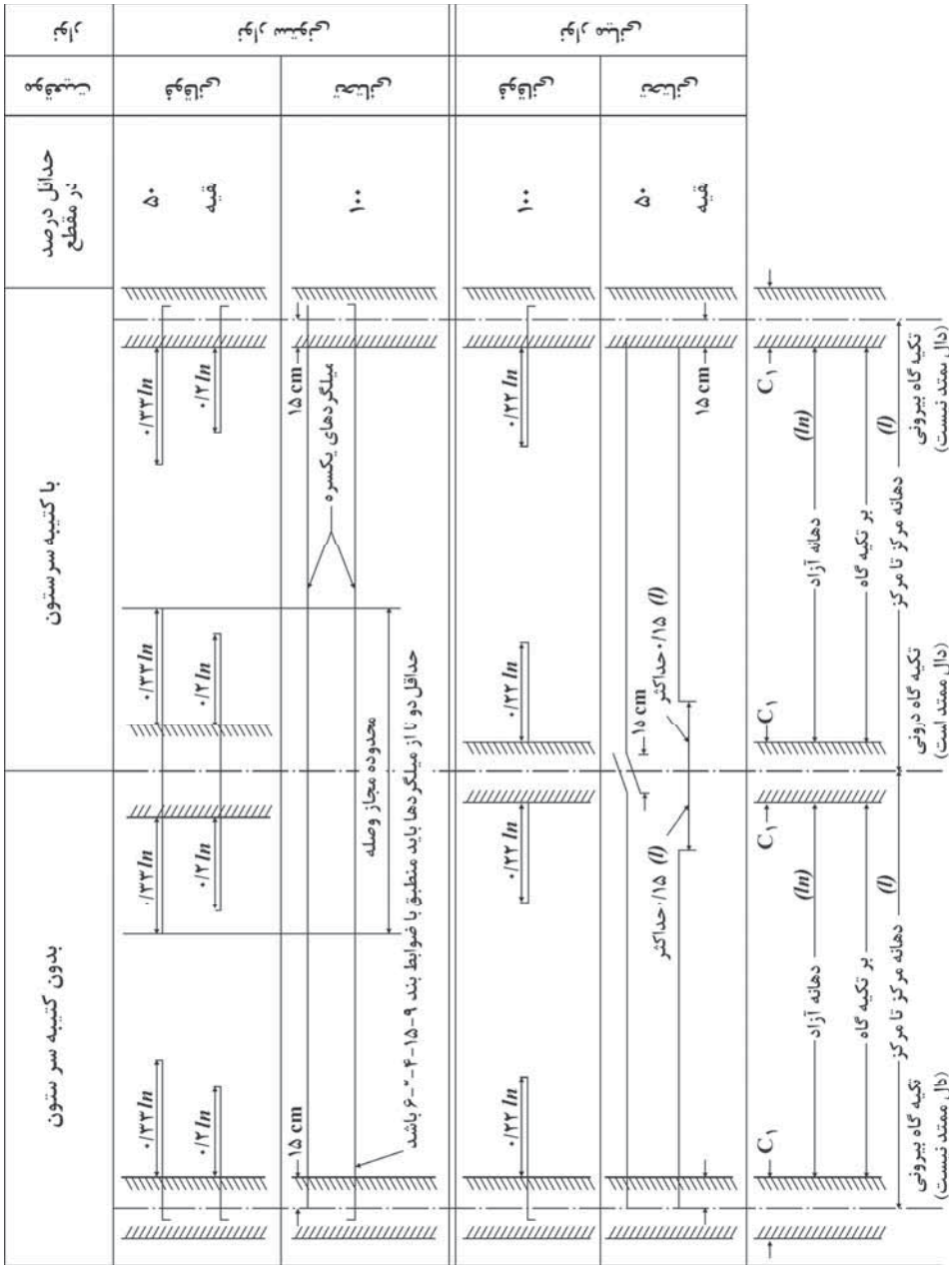
۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۲ برای تعیین محل خم یا قطع کردن میلگردها باید طول‌های حداقل مندرج در شکل ۹ – ۱۵ – ۱ رعایت شوند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۳ در مواردی که دهانه‌های مجاور هم متساوی نباشند، ادامه آرماتورهای منفی فراتر از بر تکیه‌گاه مطابق آنچه در شکل ۹ – ۱۵ – ۱ نشان داده شده است باید بر مبنای طول دهانه بزرگتر محاسبه شود.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۴ خم کردن میلگردهای مثبت برای ادامه آنها به‌عنوان آرماتور منفی به‌شرطی مجاز است که در تأمین طول‌های حداقل توصیه شده در شکل ۹ – ۱۵ – ۱ زاویه خم بزرگتر از ۴۵ درجه در نظر گرفته نشود.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۵ در دال‌های واقع در قاب‌های مهار نشده، محل قطع یا خم میلگردها باید با محاسبه تعیین شوند ولی در هر صورت طول میلگردها نباید کوچکتر از مقادیر توصیه شده در شکل ۹ – ۱۵ – ۱ در نظر گرفته شوند.

۹ – ۱۵ – ۴ – ۳ – ۶ در هر نوار ستونی در زیر دال باید حداقل دو میلگرد به‌طور سراسری از داخل هسته ستون‌ها عبور داده شوند. این میلگردها را می‌توان در محل ستون‌ها به‌طور کامل مهار یا با میلگردهای دیگری وصله کرد. مشروط بر آنکه طول وصله مطابق بند ۹ – ۱۸ – ۴ باشد. چنانچه محل وصله این آرماتورها خارج از هسته ستون‌ها باشد، طول وصله باید حداقل $2\,l_d$ باشد.


با کتیبه سر ستون
بدون کتیبه سر ستون
حداقل درصد آرماتور مقطع
۵۰
۱۰۰
۱۵ cm
میلگردهای یکسره
محدوده مجاز وصله
حداقل دو تا از میلگردها باید منطبق با ضوابط بند ۹-۱۵-۴-۲-۶ باشد
۰/۳۳ ln
۰/۲ ln
۰/۲۲ ln
۱۵ cm
۰/۱۵ l حداکثر
C1
(ln)
(l)
دهانه آزاد
بر تکیه گاه
دهانه مرکز تا مرکز
تکیه گاه بیرونی
تکیه گاه درونی
(دال ممتد نیست)
(دال ممتد است)

شکل ۹ – ۱۵ – ۱

۹ ـ ۱۶ دیوارها

۹ ـ ۱۶ ـ ۰ علایم اختصاری

A_g = مساحت کل مقطع، میلی‌مترمربع

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

h = ضخامت کل عضو، میلی‌متر

k = ضریب طول مؤثر

l_c = فاصله قائم آزاد بین تکیه‌گاه‌ها، میلی‌متر

N_r = بار محوری محاسباتی نهایی دیوار، نیوتن

ϕ_c = ضریب جزیی ایمنی بتن

۹ ـ ۱۶ ـ ۱ گستره

ضوابط این فصل باید برای طراحی دیوارهای بتن آرمه رعایت شوند.

۹ – ۱۶ – ۲ تعاریف

۹ – ۱۶ – ۲ – ۱ دیوار باربر

دیوار باربر، دیواری است که به‌طور عمده زیر اثر بارهای قائمی که در امتداد میان صفحه آن، به‌تنهایی و یا توأم با لنگر خمشی بر آن وارد می‌شود، قرار دارد.

۹ – ۱۶ – ۲ – ۲ دیوار برشی

دیوار برشی، دیواری است که به‌طور عمده زیر اثر بارهای جانبی واقع در میان صفحه خود قرار می‌گیرد و نقش عمده آن مشارکت در تحمل و انتقال این نیروها می‌باشد.

۹ – ۱۶ – ۲ – ۳ دیوار حایل

دیوار حایل، دیواری است‌که به‌طور عمده زیر اثر بارهای عمود بر میان صفحه خود قرار می‌گیرد.

۹ – ۱۶ – ۳ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۱۶ – ۳ – ۱ دیوارها باید برای تمامی بارهایی که به آنها وارد می‌شوند، ازجمله بارهای با برون‌محوری و بارهای جانبی طراحی شوند.

۹ – ۱۶ – ۳ – ۲ اعضای فشاری که به‌طور یکپارچه با دیوارها ساخته می‌شوند، باید براساس بند ۹ – ۱۱ – ۸ – ۲ طراحی شوند.

۹ – ۱۶ – ۳ – ۳ برای تأمین پایداری دیوارها باید آنها را به‌قطعات متقاطع مجاور مانند کف‌ها، بام‌ها، ستون‌ها، پشت بندهای دیواری، ستون‌های دیواری، دیوارهای متقاطع یا پی‌ها مهارکرد.

۹ – ۱۶ – ۳ – ۴ انتقال نیرو از پای دیوار به‌پی باید بر اساس بند ۹ – ۱۷–۶ صورت گیرد.

۹ – ۱۶ – ۴ محدودیت آرماتورها

۹ – ۱۶ – ۴ – ۱ در دیوارها آرماتورهای قائم و افقی نباید به‌ترتیب کمتر از مقادیر مندرج در بندهای ۹ – ۱۶ – ۴ – ۲ و ۹ – ۱۶ – ۴ – ۳ اختیار شوند. در دیوارهایی‌که زیر اثر نیروی برشی قرار می‌گیرند، رعایت حداقل آرماتور مطابق بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ – ۴ نیز الزامی است.

۹ – ۱۶ – ۴ – ۲ حداقل نسبت مساحت مقطع آرماتور قائم به‌مساحت کل مقطع برای میلگردهای مختلف بشرح (الف) و (ب) این بند است:

الف) برای میلگردهای رده S۴۰۰ و بالاتر، با قطر ۱۶ میلی‌متر و یا کمتر ۰/۰۰۱۲

ب) برای سایر میلگردهای آجدار ۰/۰۰۱۵

۹ – ۱۶ – ۴ – ۳ حداقل نسبت مساحت مقطع آرماتور افقی به‌مساحت کل مقطع برای آرماتورهای مختلف به‌شرح (الف) و (ب) این بند است:

الف) برای‌میلگردهای رده S۴۰۰ و بالاتربا قطر ۱۶ میلی‌متر یا کمتر ۰/۰۰۲۰

ب) برای سایر میلگردهای آجدار ۰/۰۰۲۵

۹ – ۱۶ – ۴ – ۴ نسبت مساحت آرماتور قائم وآرماتور افقی به‌مساحت کل مقطع نباید بیشتر از ۰/۰۴ اختیار شود. محدودیت مقدار حداکثر باید درمحل وصله‌های میلگردها نیز رعایت شود.

۹ – ۱۶ – ۴ – ۵ در دیوارهای با ضخامت بیشتر از ۲۵۰ میلی‌متر، به جز دیوارهای زیرزمین و دیوارهای حایل، هر یک از آرماتورهای قائم و افقی باید در دو سفره به‌موازات سطوح دیوار، مطابق (الف) و (ب) این بند پیش‌بینی شوند.

الف) در دیوارهایی که یک رویه آنها در تماس با خاک یا هوای بیرون قرار دارد، یک شبکه آرماتور شامل حداقل نصف و حداکثر دوسوم کل آرماتور لازم برای هر امتداد باید در فاصله‌ای بیشتر از ۵۰ میلی‌متر وکمتر از یک‌سوم ضخامت دیوار از رویه در تماس با خاک یا محیط خارجی قرار داده شود و یک شبکه آرماتور شامل باقیمانده آرماتور لازم برای هر امتداد باید در فاصله‌ای بیشتر از ۲۰ میلی‌متر و کمتر از یک سوم ضخامت دیوار از رویه دیگر قرار داده شود. پوشش بتنی روی میلگردها باید ضوابط بند۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ را نیز برآورده کند.

ب) در سایر دیوارها هر شبکه آرماتور شامل نصف آرماتور لازم در هر امتداد باید در فاصله‌ای بیشتر از ۲۰ میلی‌متر و کمتر از یک‌سوم ضخامت دیوار از هر رویه قرار داده شود. پوشش بتنی روی میلگردها باید ضوابط بند ۹ – ۶ – ۳ – ۳ – ۹ را نیز برآورده کند.

۹ – ۱۶ – ۴ – ۶ فاصله میلگردهای قائم و میلگردهای افقی مجاور در هر شبکه نباید بیشتر از سه برابر ضخامت دیوار و ۳۵۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۱۶ – ۴ – ۷ در مواردی که مساحت مقطع کل آرماتور قائم از یک درصد مساحت کل مقطع کمتر است و یا در مواردی که بر اساس طراحی سازه، آرماتور قائم به‌عنوان آرماتور فشاری مورد نیاز نیست، محصور کردن میلگردهای قائم با خاموت الزامی نیست. برای مقادیر بیشتر میلگردهای قائم، آرماتوربندی دیوارها باید مشابه ستون‌ها باشد.

۹ – ۱۶ – ۴ – ۸ دورتا دور بازشوها باید حداقل دو میلگرد با قطر ۱۶ میلی‌متر یا معادل آن قرار داده شود. این میلگردها باید از گوشه بازشو به‌داخل دیوار ادامه یافته و به‌نحوی مناسب مهار شوند.

۹ – ۱۶ – ۵ دیوارهای باربر

۹ – ۱۶ – ۵ – ۱ در دیوارهای باربر کنترل مقاطع افقی‌در حالت حدی نهایی مقامت باید مانند مقاطع تحت فشار و خمش انجام‌گیرد و ضوابط بندهای ۹ – ۱۱ – ۲ تا ۹ – ۱۱ – ۴ همراه با ضوابط فصل ۱۳، مربوط به‌آثار لاغری، در مورد آنها رعایت شود.

۹ – ۱۶ – ۵ – ۲ در دیوارهای با مقطع مستطیل توپر که در آنها برون‌محوری بار در حالت حدی نهایی مقاومت کمتر از یک ششم ضخامت دیوار است، کنترل مقاطع دیوار را در حالت حدی نهایی مقاومت می‌توان بر اساس رابطه (۹ – ۱۱ – ۲) انجام داد و مقاومت محاسباتی مقطع در برابر بار محوری ، N_r، را با رابطه (۹ ـ ۱۶ ـ ۱) محاسبه کرد:

$$N_r = ۰/۵۵\phi_c f_c A_g [۱ - (\frac{kl_c}{۳۲h})^۲] \qquad (۹ - ۱۶ - ۱)$$

در این رابطه مقدار k از قسمت‌های (الف) تا (پ) این بند به‌دست می‌آید.

الف) در دیوارهای مهار شده در مقابل‌حرکت جانبی در بالا و پایین‌که در آنها از چرخش در یک یا در هر دو انتها (بالا و پایین دیوار) جلوگیری به‌عمل آمده باشد: k=۰/۸

ب) در دیوارهای مهار شده در مقابل‌حرکت جانبی در بالا و پایین که در آنها از چرخش در دو انتها (بالا و پایین دیوار) جلوگیری به‌عمل نیامده باشد: k = ۱

پ) در دیوارهای مهار نشده در مقابل حرکت جانبی: k = ۲

در حالت کلی هنگامی‌که از رابطه (۹ – ۱۶ – ۱) استفاده نشود، روش طراحی دیوارهای باربر مانند ستون‌ها می‌باشد.

۹ – ۱۶ – ۵ – ۳ ضخامت دیوارهایی‌که بر اساس ضابطه بند ۹ – ۱۶ – ۵ – ۲ طراحی می‌شوند، نباید کمتر از مقادیر (الف) و (ب) این بند باشد:

الف) $\frac{۱}{۲۵}$ طول آزاد یا ارتفاع آزاد دیوار، هرکدام کوچکتر باشد، و ۱۰۰ میلی‌متر

ب) در دیوارهای بیرونی زیرزمین‌ها و سایر دیوارهایی‌که به‌طور مستقیم در تماس با خاک قرار دارند : ۲۰۰ میلی‌متر

۹ – ۱۶ – ۵ – ۴ طول افقی دیوار که به‌عنوان ناحیه مؤثر برای هر یک از بارهای متمرکز قائم در نظرگرفته می‌شود، نباید از پهنای سطح اثر بار به‌اضافه دو برابر ضخامت دیوار در هر طرف سطح اثر و یا از فاصله مرکز بارهای متمرکز تجاوزکند. در صورت انجام تحلیل دقیق‌تر، این طول را می‌توان تغییر داد.

۹ – ۱۶ – ۶ دیوارهای برشی

۹ – ۱۶ – ۶ – ۱ طراحی دیوارهای برشی برای مقاومت در برابر برش باید بر اساس ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۶ انجام گیرد.

۹ – ۱۶ – ۶ – ۲ طراحی دیوارهای برشی برای مقاومت در برابر لنگر خمشی و نیروی محوری باید براساس ضوابط فصل یازدهم انجام‌گیرد.

۹ – ۱۶ – ۷ دیوارهای حائل

۹ – ۱۶ – ۷ – ۱ دیوارهای حائل باید به‌صورت اعضای خمشی بر طبق ضوابط فصل یازدهم و پانزدهم طراحی شوند.

۹ ـ ۱۷ پی‌ها

۹ ـ ۱۷ ـ ۰ علایم اختصاری

A_b = سطح مقطع یک میلگرد آرماتور جلدی برای بتن حجیم، میلی‌متر مربع

$A_{s\,min}$ = حداقل آرماتور در ناحیه کششی یا آرماتور ناشی از حرارت و جمع‌شدگی در پی، میلی‌متر مربع

d = ارتفاع موثر مقطع، میلی‌متر

d_c = فاصله مرکز میلگرد آرماتور جلدی تا نزدیکترین سطح جدار در پی حجیم، میلی‌متر

d_p = قطر شمع در محل اتصال به‌سر شمع بتنی، میلی‌متر

β = نسبت طول به‌عرض پی

h = ارتفاع پی، میلی‌متر

S = فاصله مرکز به مرکز میلگردها در بتن حجیم، میلی‌متر

α = ضریب تعدیل آرماتور حرارت و جمع‌شدگی

۹ – ۱۷ – ۱ گستره

۹ – ۱۷ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید برای طراحی پی‌های متکی بر زمین یا بر روی شمع و نیز برای شمع‌های بتنی رعایت شوند.

۹ – ۱۷ – ۱ – ۲ طراحی پی‌ها و شمع‌ها برای خمش و بارهای محوری و برش مشمول ضوابط فصول یازدهم و دوازدهم و پیوستگی بتن و آرماتور در فصل هیجدهم با در نظر گرفتن آثار کمانش می‌شود. ضوابط این فصل مربوط به‌الزامات اضافی یا جایگزینی است که باید در مورد پی‌ها و شمع‌ها رعایت‌شوند.

۹ – ۱۷ – ۲ تعاریف

در این مبحث پی به‌قسمتی از سازه ساختمان اطلاق می‌شود که روی سطح فوقانی آن ستون یا دیوار قرار گرفته و سطح تحتانی آن مستقیماً روی زمین یا روی شمع تکیه دارد و بار سازه را به‌زمین منتقل می‌کند.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۱ انواع پی‌ها

۹ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ۱ پی منفرد به پی‌ای اطلاق می‌شود که بار یک یا دو ستون نزدیک به‌هم (به‌اندازهٔ فاصلهٔ درز انقطاع) را به‌زمین منتقل می‌نماید. پی منفرد می‌تواند به‌شکل مربع مستطیل، چند ضلعی منظم، دایره و یا هر شکل غیرمنظم دیگری باشد و مقطع آن نیز می‌تواند به‌شکل مربع مستطیل، ذوزنقه و یا پلکانی باشد. پی‌های منفردی که نزدیک به‌هم باشند، می‌توانند به‌یکدیگر پیوسته و به‌صورت پی مرکب کار کنند.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ۲ پی نواری به‌پی یکسره‌ای اطلاق می‌شود که بار دیوار و یا چند ستون را، که در یک ردیف قرار دارند به‌زمین منتقل می‌نماید. مقطع پی می‌تواند به‌شکل مستطیل، ذوزنقه و یا پاشنه‌دار (T وارونه) باشد. در حالتی که پی نواری صرفاً بار دیوار را به‌زمین منتقل‌کند پی دیواری نامیده می‌شود.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ۳ پی گسترده به پی‌ای اطلاق می‌شود که بار چند ستون یا دیوار را که در ردیف‌ها و امتدادهای مختلف قرار دارند به‌زمین منتقل می‌نماید. پی گسترده ممکن است به‌شکل دال، مجموعه تیر – دال و یا صندوقه‌ای ساخته شود.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۱ – ۴ پی باسکولی به‌مجموعه‌ای از دو پی منفرد اطلاق می‌شود که منتجه بارهای وارد بر یکی دارای برون‌محوری زیاد نسبت به‌مرکز پی بوده و پی‌ها با تیری صلب به‌یکدیگر مرتبط شده‌اند. این تیر صلب، که بخشی از بار یکی از پی‌ها را به‌دیگری منتقل می‌نماید، نباید متکی بر خاک باشد. چنانچه این تیر رابط تحت اثر فشار خاک زیرین قرار گیرد باید طبق ضوابط مربوط به‌پی نواری طراحی گردد.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۲ انواع شمع‌ها

شمع‌ها از اجزای پی عمیق می‌باشند که بارهای سازه را به‌زمین منتقل می‌نماید. شمع‌ها ممکن است منفرد یا به‌صورت گروه شمع باشند.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۲ – ۱ شمع منفرد به‌شمعی اطلاق می‌شود که مستقیماً بار یک ستون را دریافت نموده و به‌زمین منتقل نماید.

۹ – ۱۷ – ۲ – ۲ – ۲ گروه شمع‌ها به‌تعدادی شمع اطلاق می‌شود که بار خود را از یک یا چند ستون از طریق صفحه سرشمعی دریافت نمایند.

۹ – ۱۷ – ۳ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۱۷ – ۳ – ۱ مساحت کف پی یا تعداد و ترتیب‌قرار گرفتن شمع‌ها باید براساس نیروهای نظیر بحرانی‌ترین ترکیب عامل‌های بدون ضریب که از پی به‌خاک یا شمع‌ها منتقل می‌شوند و با توجه به‌تنش مجاز خاک یا شمع‌ها که براساس مطالعات مکانیک خاک به‌دست می‌آیند، تعیین شوند.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۲ ترکیبات بارگذاری عامل‌ها که در بند ۹ – ۱۷ – ۳ – ۱ مورد نظر می‌باشند تمامی ترکیبات عنوان‌شده در بند ۹ – ۱۰ – ۱۰ – ۲ هستند که در آنها ضرایب جزیی ایمنی بارها باید برابر با یک منظور شوند.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۳ در مواردی‌که باد یا زلزله یکی از عامل‌های ترکیب بار باشند تنش مجاز خاک یا بار مجاز شمع را می‌توان حداکثر تا ۳۳ درصد افزایش‌داد.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۴ طراحی پی‌های سطحی و سرشمعی برای خمش، خمش و بارهای محوری، برش و طول مهاری میلگرد ریشه، همگی باید در حالت حدی نهایی و براساس ضوابط فصول یازدهم، دوازدهم، سیزدهم و هجدهم صورت گیرد.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۵ طراحی پی‌های عمیق برای بارهای محوری، خمش و بارهای محوری، برش و طول مهاری میلگرد ریشه، همگی باید در حالت حدی نهایی و براساس ضوابط فصول یازدهم، دوازدهم، سیزدهم و هجدهم صورت گیرد.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۶ در شمع‌هایی که تمام طول آنها در لایه‌های خاک متراکم قرار دارد، بررسی کمانش ضروری نیست. اما در شمع‌هایی که تمام یا بخشی از طول آنها

در خاک سست قرار گرفته و یا خارج از خاک باشد، بررسی کمانش با توجه به‌شرایط خاص تکیه‌گاهی ضروری است.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۷ پیوستگی بتن و آرماتور در مقاطع مختلف پی و سرشمعی و نحوه مهار میلگردها در آنها باید بررسی شوند، علاوه بر مقاطعی که در بند ۹ – ۷ – ۴ – ۳ – ۲ برای خمش تعیین شده‌اند، مقاطعی که در آنها ابعاد مقطع یا مقدار آرماتور تغییر می‌کند، نیز باید بررسی شوند.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۸ در گروه شمع‌ها میلگردهای طولی شمع‌ها باید، با توجه به‌نوع اتصال انتخابی (صلب یا مفصلی)، به‌نحوی مناسب در سرشمع امتداد یافته و مهار شوند.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۹ ضخامت پی‌ها نباید کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر و ضخامت صفحه سرشمع مربوط به‌گروه شمع نباید کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر اختیار شود.

۹ – ۱۷ – ۳ – ۱۰ طراحی شمع‌های قائم که تحت اثر نیروی جانبی قرار می‌گیرند مطابق ضوابط شمع‌های خمشی صورت می‌گیرد.

۹ – ۱۷ – ۴ ضوابط تعیین بارهای وارد بر پی‌ها

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ کلیات

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ – ۱ لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی که در طراحی مقاطع مختلف پی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید زیر اثر بارهای نهایی و واکنش‌های متناظر با آنها و براساس اصول شناخته‌شده تحلیل سازه‌ها تعیین شوند.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ – ۲ در پی‌ها به‌جای استفاده از ضوابط بند ۹ – ۱۷– ۴ – ۱ – ۱، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی در مقاطع مختلف را می‌توان به‌صورت تقریبی از حاصل‌ضرب مقادیر این عامل‌ها زیر اثر بارهای بدون ضریب در یک ضریب کلی ایمنی بارها به‌دست آورد. این ضریب کلی ایمنی را باید به‌نحوی مناسب از تقسیم بارهای نهایی به‌بارهای بهره‌برداری تعیین نمود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ – ۳ در پی‌های روی شمع، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی در مقاطع مختلف سرشمعی را می‌توان با این فرض که عکس‌العمل هر شمع به‌صورت متمرکز در مرکز آن شمع اثر می‌کند، تعیین نمود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ – ۴ در پی‌هایی که زیر ستون یا ستون پایه‌های بتنی با مقاطع دایره یا چند ضلعی منظم قرار دارند، برای تعیین موقعیت مقاطع بحرانی در خمش و برش، می‌توان مقطع ستون یا ستون پایه را با یک مقطع فرضی مربع‌شکل با مساحتی برابر مساحت ستون یا ستون پایه جایگزین نمود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۱ – ۵ پی‌های منفرد که به‌صورت شیب‌دار یا پلکانی می باشند باید چنان طراحی و اجرا شوند که عملکرد پی به‌صورت یکپارچه تأمین‌گردد.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ توزیع فشار خاک

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ – ۱ توزیع فشار خاک در زیر پی‌ها و فشار جانبی روی شمع باید با توجه به‌مشخصات خاک و نحوه تأثیر بارها روی پی و براساس اصول شناخته‌شده مکانیک خاک تعیین شود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ – ۲ در پی‌های منفرد، در صورت عدم انجام تحلیل با جزییات دقیق‌تر، توزیع فشار خاک را می‌توان با فرض صلب بودن پی تعیین نمود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ – ۳ در پی‌های منفرد و گسترده، توزیع فشار خاک می‌تواند به‌نحوی باشد که در قسمتی از آن فشار روی خاک به‌صفر برسد، مشروط بر آنکه طول این قسمت در هیچ امتداد از یک‌چهارم بعد پی در آن امتداد تجاوز نکند.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ – ۴ در مواردی‌که نیروهای وارده بر پی کششی باشند باید با پیش‌بینی تدابیر مناسب از جمله استفاده از شمع یا میل مهار مانع از بلند شدن پی از روی زمین شد. این تدابیر باید به‌نحوی باشند که ضریب ایمنی در مقابل نیروهای بلندکننده حداقل برابر با ۱/۵ باشد.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۲ – ۵ در پی‌های باسکولی، تیر رابط بین پی‌ها باید به‌اندازه کافی صلب باشد تا بتواند مانع چرخش پی‌ای که زیر اثر بار برون‌محور قرار دارد، بشود. در صورت عدم انجام تحلیل دقیق‌تر ممان اینرسی مقطع این تیر باید حداقل برابر ممان اینرسی مقطع پی زیر اثر بار برون‌محور در نظر گرفته شود. این تیر باید برای خمش و برش طراحی شود. در این حالت توزیع فشار خاک زیر پی‌ها را می‌توان یکنواخت در نظر گرفت.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۳ لنگر خمشی در پی‌ها

۹ – ۱۷ – ۴ – ۳ – ۱ لنگر خمشی مؤثر در هر مقطع پی باید با گذراندن یک صفحه قائم از سراسر پی و محاسبه لنگرهای خمشی حاصل از نیروها و فشارهای مؤثر بر تمام سطوح پی واقع در یک سمت این صفحه تعیین گردد.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۳ – ۲ مقطع بحرانی برای تعیین حداکثر لنگر خمشی در پی‌ها، در مجاورت ستون‌ها و ستون پایه‌ها و دیوارها باید به‌شرح (الف) الی (پ) این بند در نظر گرفته شود:

الف) برای پی‌هایی که زیر ستون، ستون پایه یا دیوار بتنی قرار دارند، در بر عناصر مزبور، متکی به‌پی می باشد .

ب) برای پی‌هایی که زیر دیوار با مصالح بنایی قرار دارند، در وسط لبه دیوار تا محور دیوار می باشد.

پ) برای پی‌هایی که زیر صفحه فلزی‌کف ستون قرار دارند، در وسط فاصله بر ستون تا لبه صفحه فولادی کف ستون می باشد.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۳ – ۳ در پی‌های منفرد و زیر دیوار، باید امکان ایجاد لنگر خمشی منفی و لزوم آرماتورگذاری در بالای مقطع پی بررسی شود.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۴ نیروی برشی پی‌ها و سرشمع‌ها

۹ – ۱۷ – ۴ – ۴ – ۱ مقطع بحرانی برای محاسبات برش یکطرفه به‌فاصله d و برای برش دو طرفه به‌فاصله $\frac{d}{۲}$ از محل‌های تعیین‌شده به‌شرح (الف) و (ب) این بند در نظر گرفته می‌شود:

الف) برای پی‌هایی که زیر ستون، ستون پایه یا دیوار قرار دارند، بر عناصر مزبور، متکی بر پی‌ها می باشند.

ب) برای پی‌هایی که زیر صفحه فلزی کف ستون قرار دارند، وسط فاصله بر ستون تا لبه صفحه فولادی کف ستون‌ها می باشد.

۹ – ۱۷ – ۴ – ۴ – ۲ نیروی برشی در هر مقطع از سرشمع باید براساس ضوابط (الف) الی (پ) محاسبه شود:

الف) عکس‌العمل هر شمع که مرکز آن به‌فاصله $\frac{d_p}{۲}$ یا بیشتر از مقطع مورد نظر و در خارج مقطع مزبور قرار دارند، در مقطع ایجاد برش می‌کند.

ب) عکس‌العمل هر شمع که مرکز آن به‌فاصله $\frac{d_p}{۲}$ یا بیشتر از مقطع مورد نظر و در داخل مقطع مزبور قرار دارد، در مقطع ایجاد برش نمی‌کند.

پ) در حالات بینابینی، آن قسمت از عکس‌العمل شمع که در مقطع مورد نظر ایجاد برش می‌کند، باید با درون‌یابی خطی بین مقدار کامل عکس العمل برای حالتی که مرکز شمع به فاصله $\frac{d_p}{۲}$ و در خارج مقطع و مقدار صفر برای حالتی که مرکز شمع به‌فاصله $\frac{d_p}{۲}$ و در داخل مقطع قرار دارد، محاسبه شود.

۹ – ۱۷ – ۵ آرماتورهای پی‌ها و شمع‌ها و محدودیت‌های آنها

آرماتورهای لازم برای مقاطع پی‌ها و شمع‌ها براساس نیروهای وارد بر آن مقاطع در حالت حد نهایی با رعایت محدودیت‌های بند ۹ – ۱۷ – ۵ – ۱ الی ۹ – ۱۷ – ۵ – ۹ محاسبه می‌شوند.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۱ در پی‌های منفرد، گسترده و باسکولی (به‌جز تیر رابط) نسبت آرماتور به‌کار رفته در ناحیه کششی نباید کمتر از مقادیر ذکرشده در بندهای ۹ – ۱۷ – ۸ – ۱ الی ۹ – ۱۷ – ۸ – ۴ باشد. در مورد تیرهای رابط پی‌های باسکولی حداقل آرماتور باید براساس بند ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۱ اختیار شود.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۲ در پی‌های نواری مقدار نسبت آرماتور در ناحیه کششی نباید کمتر از ۰/۲۵ درصد اختیار شود، مگر آنکه آرماتور به‌کار رفته به‌اندازه یک‌سوم بیشتر از مقدار آرماتور تعیین‌شده در محاسبات باشد. در حالت اخیر این نسبت نمی‌تواند کمتر از ۰/۱۵ درصد اختیار گردد.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۳ در پی‌ها قطر میلگردها نباید کمتر از ۱۰ میلی‌متر و فاصله محور تا محور آنها از یکدیگر، نباید کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۴ در پی‌های حجیمی که در آنها ابعاد و حجم بتن مستقل از نیازهای محاسباتی در نظر گرفته می‌شوند، رعایت حداقل آرماتور خمشی مطابق بند ۹ – ۱۷ – ۵ – ۱ ضرورتی ندارد. در این پی‌ها در صورتی‌که کنترل ترک‌های سطحی مورد نظر باشد باید در آن سطوح یک شبکه میلگرد جلدی مطابق بند ۹ – ۱۷– ۸ – ۶ به‌کار برد. حداکثر فاصله میلگردهای جلدی ۳۵۰ میلی‌متر است.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۵ در پی‌های منفرد در صورتی‌که عملکرد پی یک‌طرفه باشد و یا عملکرد آن دوطرفه بوده و شکل آن مربع باشد، توزیع میلگردها در سراسر عرض پی باید به‌طور یکنواخت صورت‌گیرد. در غیر این‌صورت توزیع میلگردها باید مطابق ضوابط (الف) و (ب) این بند باشد.

الف) میلگردهای طولی پی به‌طور یکنواخت در سراسر عرض پی توزیع می‌شوند.

ب) قسمتی از میلگردهای عرضی پی، که مقدار آن از رابطه (۹ – ۱۷ – ۱) تعیین می‌شود، در نوار میانی که عرض آن برابر با بعد کوچکتر سطح پی است و به‌طور متقارن نسبت به‌ستون پایه قرار دارد، به‌طور یکنواخت توزیع می‌شوند و بقیه

میلگردهای عرضی با رعایت بند ۹ – ۱۷ – ۵ – ۳ در دو سمت نوار میانی به‌طور یکنواخت قرار داده می‌شوند.

$$\frac{\text{میلگردهای نوار میانی در امتداد عرضی}}{\text{کل میلگردهای عرضی شالوده}} = \frac{۲}{۱+\beta} \qquad (۹ - ۱۷ - ۱)$$

۹ – ۱۷ – ۵ – ۶ حداقل و حداکثر نسبت آرماتور طولی شمع‌های پیش‌ساخته و شمع‌های درجا با قطر کمتر یا برابر ۸۰۰ میلی‌متر، مشابه ستون‌ها و با توجه به‌ضوابط فصل یازدهم تعیین می‌شود.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۷ حداقل و حداکثر نسبت آرماتور طولی شمع‌های درجا با قطر بیش از ۸۰۰ میلی‌متر به‌ترتیب به‌میزان نیم درصد و سه درصد سطح مقطع شمع منظور می‌گردد.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۸ حداقل نسبت فولاد طولی شمع‌ها برای شمع‌های پیش‌ساخته معادل یک درصد و برای شمع‌های درجا ریخته‌شده معادل نیم‌درصد سطح مقطع شمع تعیین می‌گردد.

۹ – ۱۷ – ۵ – ۹ آرماتور عرضی شمع‌ها به‌صورت تنگ یا مارپیچ در نظر گرفته می‌شود.

۹ – ۱۷ – ۶ انتقال نیرو از پای ستون، دیوار یا ستون پایه بتنی به‌پی

۹ – ۱۷ – ۶ – ۱ نیروها و لنگرهای پای ستون، دیوار، یا ستون پایه باید با عملکرد اتکایی بتن و کشش یا فشار میلگردهای ادامه یافته طولی ستون، میلگردهای انتظار و یا اتصال‌دهنده‌های مکانیکی به‌پی یا ستون پایه منتقل شوند.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۲ تنش اتکایی بتن در سطح تماس عضو تکیه‌گاهی، پی، و عضو متکی بر آن نباید از مقاومت اتکایی نهایی بتن در هر یک از سطوح تماس، طبق ضوابط بند۹ – ۱۱ – ۱۰ تجاوز کند.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۳ میلگردهای طولی ستون، میلگردهای انتظار، یا اتصال‌دهنده‌های مکانیکی بین عضو تکیه‌گاهی و عضو متکی بر آن باید برای انتقال نیروهای به‌شرح (الف) و (ب) این بند کافی باشند و علاوه بر آن محدودیت‌های بندهای ۹ – ۱۷ – ۶ – ۶ و ۹ – ۱۷ – ۶ – ۷ را تأمین کنند:

الف) آن قسمت از نیروی فشاری‌که از مقاومت اتکایی بتن بین دو عضو تجاوز کند.
ب) هرگونه نیروی کششی محاسبه‌شده در سطح تماس.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۴ برای انتقال لنگرهای خمشی به‌ستون پایه یا پی، میلگردهای انتظار یا اتصال‌دهنده‌های مکانیکی باید ضوابط پیوستگی بتن و فولاد را، مطابق فصل هجدهم تأمین نمایند.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۵ نیروهای برشی باید با عملکرد برش اصطکاکی، مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۲ – ۱۴ ، و یا به‌روش مناسب دیگری به‌ستون پایه یا پی انتقال داده شوند.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۶ در ستون‌ها و ستون پایه‌ها سطح مقطع میلگردهای قطع‌کننده سطح تماس بین عضو تکیه‌گاهی و عضو متکی بر آن، نباید کمتر از ۰/۰۰۵ سطح مقطع عضو متکی باشد.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۷ در دیوارها سطح مقطع میلگردهای قطع‌کننده سطح تماس دیوار با پی، نباید کمتر از مقدار حداقل میلگردهای قائم داده‌شده در بند ۹ – ۱۶ – ۴ – ۲ باشد.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۸ در صورت استفاده از وسایل مکانیکی برای ایجاد مفصل یا غلتک گهواره‌ای بین ستون و پی، در اتصال این وسایل به‌ستون و پی باید علاوه بر ضوابط بندهای ۹ – ۱۷ – ۶ – ۱ تا ۹ – ۱۷ – ۶ – ۵ ضابطه بند ۹ – ۱۷ – ۶ – ۹ نیز رعایت شود.

۹ – ۱۷ – ۶ – ۹ مهره‌های مهاری و اتصال‌دهنده‌های مکانیکی باید چنان طراحی شوند که قبل از گسیختگی پیچ مهاری یا گسیختگی بتن اطراف آن، به‌مقاومت تسلیم خود برسند.

۹ – ۱۷ – ۷ محدود کردن حرکت نسبی پی‌ها

۹ – ۱۷ – ۷ – ۱ پی‌های جدا از هم در یک سازه باید در دو امتداد ترجیحاً عمود بر هم، به‌وسیله کلاف‌های رابط به‌هم متصل شوند، به‌طوری‌که کلاف‌ها مانع حرکت دو پی نسبت به‌هم گردند. در سازه‌های یک طبقه که دارای دهانه بزرگ هستند مانند ساختمان‌های صنعتی، آشیانه‌ها و غیره که در آنها پی‌ها دارای عمق استقرار و پایداری کافی در برابر نیروهای جانبی هستند، از پیش‌بینی کلاف در امتداد دهانه قاب می‌توان صرف‌نظر کرد. در این پی‌ها خاکریز اطراف پی باید بعداً به‌خوبی کوبیده و متراکم شود.

در موارد دیگر نیز که به‌هر دلیل امکان اجرای کلاف‌ها وجـود نـدارد، مـشروط بـر آنکـه مطالعات ویژه، نشانگر آن باشد که استفاده از روش‌های دیگر ماننـد بـه‌کـارگیری شـمع برای زیر پی‌ها و یا اجرای ستون پایه‌ها و ایجاد فشار خاک بر روی آنها در عمق مناسب، می تواند حرکت نسبی پی‌ها را محدود سازد، بهـره‌گیـری از روش مربوطـه امکـان‌پـذیر است.

۹ – ۱۷ – ۷ – ۲ کلاف‌های رابط بین پی‌ها باید بتوانند حداقل نیروی کـششـی مـعادل ده درصد بزرگترین نیروی محوری نهایی وارد به‌ستون‌های طرفین خود را تحمل نمایند.

۹ – ۱۷ – ۷ – ۳ ابعاد مقطع کلاف رابط باید متناسب با ابعاد پـی و حـداقل ۳۰۰ میلی‌متر اختیار شود، به‌گونه‌ای که سطح فوقانی آن با پی یکسان باشد.

۹ – ۱۷ – ۷ – ۴ تعداد میلگردهای طولی کلاف‌ها باید حداقل چهار عدد آرماتور بـا قطر ۱۴ میلی‌متر باشد. این میلگردها باید توسط میلگردهای عرضی بـه‌قطـر حـداقل ۸ میلی‌متر و با فواصل حداکثر ۲۵۰ میلی‌متر از یکدیگر گرفته شوند.

۹ – ۱۷ – ۷ – ۵ میلگردهای طولی کلاف‌ها باید در پی‌های میانی ممتد باشند و در پی‌های کناری از محاذات بر ستون مهار شوند.

۹ – ۱۷ – ۸ آرماتورهای حرارت و جمع‌شدگی در پی‌ها

۹ – ۱۷ – ۸ – ۱ نسبت سطح مقطع آرماتور حرارت و جمع‌شدگی لازم به‌کل سطح مـقطـع بتن برای پی‌های به‌ضخامت کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ میلی‌متـر نبایـد از مقـادیر (الف) تا (پ) این بند کمتر اختیار شود:

الف) برای میلگردهای رده S۲۴۰ و S۳۴۰ : ۰/۰۰۲۰

ب) برای میلگردهای رده S۴۰۰ : ۰/۰۰۱۸

پ) برای میلگردهای رده S۵۰۰ و بالاتر : ۰/۰۰۱۵

۹ – ۱۷ – ۸ – ۲ نسبت سطح مقطع آرماتور از حرارت و جمع‌شدگی لازم به‌کل سطح مقطع بتن برای پی‌های به‌ضخامت بیشتر از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر نباید از α برابر نسبت‌های مندرج در بند ۹ – ۱۷ – ۸ – ۱ کمتر اختیار شود. مقدار α از رابطه (۹ – ۱۷ – ۲) تعیین می‌شود:

$$\alpha = ۱/۳ - ۰/۰۰۰۳\,h \qquad (۹ - ۱۷ - ۲)$$

۹ – ۱۷ – ۸ – ۳ مقدار حداقل آرماتور حرارت و جمع‌شدگی $A_{s\,min}$، برای پی‌های به‌ضخامت بیشتر از ۲۰۰۰ میلی‌متر برابر مقدار آرماتور برای پی به‌ضخامت ۲۰۰۰ میلی‌متر و به‌شرح (الف) تا (پ) این بند است:

الف) برای میلگردهای رده S۲۴۰ و S۳۴۰ : $A_{s\,min} = ۲۸۰۰\ (mm^۲/m)$

ب) برای میلگردهای رده S۴۰۰ : $A_{s\,min} = ۲۵۰۰\ (mm^۲/m)$

پ) برای میلگردهای رده S۵۰۰ و بالاتر: $A_{s\,min} = ۲۱۰۰\ (mm^۲/m)$

۹ – ۱۷ – ۸ – ۴ در پی‌های با ضخامت متغیر، می‌توان برای محاسبه حداقل مقدار آرماتور کششی حرارت و جمع‌شدگی ضخامت پی را برابر با ضخامت پی فرضی هم حجم آن اختیار کرد.

۹ – ۱۷ – ۸ – ۵ در پی‌های با ضخامت بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر از آنجایی که حداقل $\frac{۱}{۳}$ مقدار آرماتور حرارت و جمع‌شدگی به‌دست آمده از بند ۹ – ۱۷ – ۸ – ۲ یا ۹ – ۱۷ – ۸ – ۳ در هر وجه پی (فوقانی و تحتانی) لازم می باشد، در صورت کمتر بودن فولاد محاسباتی در هر وجه از مقدار مزبور، فولاد حداقل ذکر شده در این بند، در آن وجه تعبیه گردد.

۹ – ۱۷ – ۸ – ۶ آرماتور جلدی

در پی‌های حجیم مقدار آرماتور جلدی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$A_b = \frac{۱/۶ d_c s}{۱۰۰} \qquad (۹ - ۱۷ - ۳)$$

این مقدار نباید در هیچ‌حال از یک میلگرد به‌قطر ۱۰ میلی‌متر در هر ۲۰۰ میلی‌متر کمتر باشد.

۹ـ۱۸ مهار و وصله آرماتورها

۹ – ۱۸ – ۰ علایم اختصاری

A_b = سطح مقطع یک میلگرد، میلی‌متر مربع

A_{tr} = سطح مقطع کل آرماتور عرضی قرارگرفته با فاصله S از یکدیگر در امتداد عمود بر سفره میلگردهایی که مهار یا وصله می‌شوند، میلی‌متر مربع

b_w = پهنای جان یا قطر مقطع مدور، میلی‌متر

c = پوشش بتن روی میلگرد و یا فاصله مرکز تا مرکز میلگردها از یکدیگر، میلی‌متر

d = فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح آرماتور کششی، میلی‌متر

d_b = قطر اسمی میلگرد، میلی‌متر

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای تسهیل کار در این فصل حرف k در زیرنویس حذف شده است.

h = ارتفاع کل عضو، میلی‌متر

k_1 = ضریب پوشش بتن برای محاسبه طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار

k_2 = ضریب میلگردهای عرضی برای محاسبه طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار

k_{tr} = ضریب میلگردهای عرضی در محاسبه طول گیرایی میلگرد کششی

l_a = طول گیرداری اضافه در تکیه‌گاه یا در نقطه عطف، میلی‌متر

l_d = طول گیرایی میلگرد کششی، میلی‌متر

l_{dc} = طول گیرایی میلگرد فشاری، میلی‌متر

l_{dh} = طول گیرایی میلگرد قلابدار در کشش، میلی‌متر

M_r = لنگر خمشی مقاوم مقطع، نیوتن – میلی‌متر

n = تعداد میلگردهایی که در یک محل مهار و یا وصله می‌شوند.

S = فاصله بین خاموت‌ها، میلی‌متر

V_r = نیروی برشی مقاوم مقطع، نیوتن

V_u = نیروی برشی نهایی در مقطع، نیوتن

β_b = نسبت سطح مقطع آرماتور قطع‌شده به‌سطح مقطع کل آرماتور کششی در مقطع

ϕ_c = ضریب جزیی ایمنی بتن

ϕ_s = ضریب جزیی ایمنی فولاد

۹ – ۱۸ – ۱ گستره

۹ – ۱۸ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید برای تأمین مهار میلگردهای آجدار در بتن و چگونگی وصله آنها به‌یکدیگر در تمامی قطعات بتن آرمه رعایت شوند.

۹ – ۱۸ – ۱ – ۲ ضوابط این فصل تمامی میلگردها را که به‌طور عمده تحت اثر بارهای استاتیک قرار داشته و یا سازه‌های با شکل‌پذیری کم که تحت اثر بارهای جانبی

زلزله قرار می‌گیرند را شامل می‌شود. سازه‌هایی که به‌طور عمده تحت اثر بارهای دینامیک قرار می‌گیرند، مشمول مقررات این فصل نمی‌شوند. برای سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط و زیاد که تحت اثر بارهای جانبی زلزله قرار می‌گیرند باید علاوه بر ضوابط این فصل، ضوابط اضافی فصل بیستم نیز رعایت شوند.

۹ – ۱۸ – ۱ – ۳ در این فصل تمامی محاسبات مربوط به‌پیوستگی بتن و آرماتور در حالت حدی نهایی مقاومت صورت می‌گیرد و در آنها ضرایب جزئی ایمنی مقاومت‌ها، ϕ_c، ϕ_s ، برابر با یک منظور می‌شوند. در مواردی که به‌دیگر فصل‌های این مبحث رجوع شده است، ضوابط همان فصل باید رعایت شوند.

۹ – ۱۸ – ۲ مهار میلگردها

۹ – ۱۸ – ۲ – ۱ کلیات

۹ – ۱۸ – ۲ – ۱ – ۱ در تمامی قطعات بتن آرمه نیروهای کششی یا فشاری موجود در میلگردها در هر مقطع باید به‌وسیله مهار میلگردها در دو سمت آن مقطع به‌بتن منتقل گردد. مهار میلگردها در بتن به‌یکی از سه طریق (الف) تا (پ) این بند و یا با ترکیبی از آنها امکان‌پذیر است:

الف) پیوستگی موجود بین بتن و آرماتور در سطح جانبی آرماتور
ب) ایجاد قلاب استاندارد در انتهای میلگرد
پ) به‌کارگیری وسایل مکانیکی در طول میلگرد

۹ – ۱۸ – ۲ – ۱ – ۲ برای مهار میلگردهای کششی به‌وسیله قلاب، انتهای میلگردها خم شده و به‌صورت قلاب درآورده می‌شود. برای انتقال نیروی $A_b f_y$ از میلگرد به‌بتن ایجاد قلاب به‌تنهایی کافی نیست و باید علاوه بر آن طول اضافی مستقیم

میلگرد از انتهای آزاد میلگرد تا شروع قلاب در بتن وجود داشته باشد. حداقل این طول اضافی به‌علاوه شعاع قلاب انتهایی آن به‌علاوه قطر میلگرد،که برای انتقال نیروی $A_b f_y$ لازم است، «طول گیرایی میلگرد قلاب‌دار» نامیده می‌شوند. ضوابط مربوط به تأمین طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار در کشش در بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۷ داده شده‌اند.

قلاب‌ها برای مهار آرماتور فشاری موثر نیستند.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۱ – ۳ استفاده از هرگونه وسیله مکانیکی که بتواند بدون ایجاد خسارت به‌بتن نیروی مقاومت میلگردها را به‌بتن منتقل نماید، مجاز است. اطمینان از توانایی مناسب وسیله مکانیکی در انتقال نیرو باید از طریق آزمایش و یا روش محاسباتی شناخته‌شده حاصل شود.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۲ قلاب‌های استاندارد

در این مبحث هر یک از خم‌های مشروح زیر قلاب استاندارد تلقی می‌شود:

الف) میلگردهای اصلی

- خم نیم‌دایره (قلاب انتهایی ۱۸۰ درجه) به‌اضافه حداقل $۴d_b$ طول مستقیم ولی نه کمتر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میلگرد
- خم ۹۰ درجه (گونیا) به‌اضافه طول مستقیم برابر حداقل $۱۲d_b$ در انتهای آزاد میلگرد

ب) برای میلگردهای تقسیم و خاموت‌ها

- خم ۹۰ درجه (گونیا) به‌اضافه حداقل $۶d_b$ طول مستقیم ولی نه کمتر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میلگرد، برای میلگردهای به قطر۱۶ میلی‌متر و کمتر

- خم ۹۰ درجه (گونیا) به‌اضافه حداقل $۱۲d_b$ طول مستقیم در انتهای آزاد میلگرد، برای میلگردهای به‌قطر بیشتر از ۱۶ میلی‌متر و کمتر از ۲۵ میلی‌متر
- خم ۱۳۵ درجه (چنگک) به‌اضافه حداقل $۶d_b$ طول مستقیم ولی نه کمتر از ۶۰ میلی‌متر در انتهای آزاد میلگرد

۹ – ۱۸ – ۲ – ۳ حداقل قطر خم‌ها

الف) قطر داخلی خم‌ها به‌جز برای خاموت‌های با قطر کمتر از ۱۶ میلی‌متر نباید از مقادیر مندرج در جدول ۹ – ۱۸ – ۱ کمتر اختیار شود:

جدول ۹ – ۱۸ – ۱ حداقل قطر خم‌ها

قطر میلگرد	حداقل قطر خم
کمتر از ۲۸ میلی‌متر	$۶d_b$
۲۸ تا ۳۴ میلی‌متر	$۸d_b$
۳۶ تا ۵۵ میلی‌متر*	$۱۰d_b$

* برای خم کردن میلگردهای به‌قطر ۳۶ میلی‌متر و بیشتر و با زاویه بیشتر از ۹۰ درجه به‌روش‌های خاصی نیاز است.

ب) قطر داخلی خم‌ها برای خاموت‌های به‌قطر کمتر از ۱۶ میلی‌متر نباید کمتر از $۴d_b$ اختیار شود.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۴ طول گیرایی میلگردهای کششی

۹ – ۱۸ – ۲ – ۴ – ۱ طول گیرایی یک میلگرد در کشش، l_d، باید حداقل برابر با مقدار حاصل از رابطه (۹ – ۱۸ – ۱) در نظر گرفته شود، در هرحال کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر اختیار نشود.

$$l_d = \left[\frac{f_y}{۱/۱\sqrt{f_c}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{(\frac{c+k_{tr}}{d_b})} \right] d_b \qquad (۱ - ۱۸ - ۹)$$

مقدار $\frac{c+k_{tr}}{d_b}$ نبایستی بیش از ۲/۵ درنظر گرفته شود

الف) ضریب α، یا ضریب موقعیت میلگردها، برای میلگردهای افقی که حداقل ۳۰۰ میلی‌متر بتن تازه در زیر آنها، در ناحیه طول گیرایی، ریخته می‌شوند برابر با ۱/۳ و برای سایر میلگردها برابر با یک است.

ب) ضریب β، یا ضریب اندود میلگرد، برای میلگردهایی که با ماده اپوکسی اندود شده‌اند و در آنها ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد کمتر از $۳d_b$ و فاصله آزاد میلگردها کمتر از $۶d_b$ است، برابر با ۱/۵ و برای سایر میلگردهایی که با ماده اپوکسی اندود شده‌اند برابر۱/۲ و برای میلگردهایی که اندود اپوکسی نشده‌اند برابر با یک است.

لازم نیست حاصل‌ضرب α و β بیشتر از۱/۷ در نظر گرفته شود.

پ) ضریب γ یا ضریب قطر میلگرد برای میلگردهای با قطر کمتر و یا مساوی ۲۰ میلی‌متر برابر با ۰/۸ و برای میلگردهای با قطر بیش از ۲۰ میلی‌متر برابر با یک است.

ت) ضریب λ یا ضریب نوع بتن، برای بتن‌های سبک برابر ۱/۳ و برای بتن‌های معمولی برابر با یک می‌باشد.

ث) ضریب c یا ضریب فاصله میلگردها از یکدیگر و از رویه قطعه برابر با کوچکترین دو مقدار فاصله مرکز میلگرد از نزدیکترین رویه بتن و نصف فاصله مرکز تا مرکز میلگردهایی است که در یک محل قطع و یا وصله می‌شوند.

ج) ضریب k_{tr}، ضریبی است که با توجه به‌مقدار آرماتور عرضی موجود در طول گیرایی از رابطه (۹ – ۱۸ – ۲) به‌دست می‌آید:

$$k_{tr} = \frac{A_{tr}.f_y}{۱۰sn} \qquad (۹ – ۱۸ – ۲)$$

در این رابطه n تعداد میلگردهایی است که در یک صفحهٔ ترک‌خورده مهار و یا وصله می‌شوند.

برای سهولت در محاسبات، چنانچه فاصله آزاد میلگردها و پوشش روی آنها کمتر از d_b نباشد و حداقل آماتور برشی مطابق رابطه (۹ – ۱۲ – ۱۳) در ناحیه طول گیرایی به‌کار برده شده باشد و یا اینکه فاصله آزاد میلگردها کمتر از $۲d_b$ و پوشش روی آنها کمتر از d_b نباشد $\frac{c+k_{tr}}{d_b}$ را می‌توان برابر با ۱/۵ و در غیر این صورت برابر با یک در نظر گرفت.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۵ طول گیرایی میلگردهای فشاری

۹ – ۱۸ – ۲ – ۵ – ۱ طول گیرایی یک میلگرد در فشار، باید حداقل برابر بزرگترین مقدار دو رابطه (۹ – ۱۸ – ۳) و (۹ – ۱۸ – ۴) در نظر گرفته شود. در هر حال کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر اختیار نشود.

$$l_{dc} = [۰/۲۵\frac{f_y}{\sqrt{f_c}}]d_b \qquad (۹ – ۱۸ – ۳)$$

$$l_{dc} = [۰/۰۴f_y]d_b \qquad (۹ – ۱۸ – ۴)$$

۹ – ۱۸ – ۲ – ۶ طول گیرایی در گروه میلگردها

۹ – ۱۸ – ۲ – ۶ – ۱ طول گیرایی گروه میلگردهای سه‌تایی و چهارتایی در کشش یا فشار باید به‌ترتیب ۱/۲ و ۱/۳۳ برابر طول گیرایی یک میلگرد تنها در نظر گرفته شود. برای گروه میلگردهای دوتایی افزایش طول گیرایی الزامی نیست.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۶ – ۲ برای تعیین طول گیرایی یک میلگرد در گروه میلگردها ضرایب به‌کار برده شده رابطه ۹ – ۱۸ – ۱ باید براساس قطر میلگرد فرضی با مقطع معادل گروه میلگردها اختیار شوند.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۷ طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار در کشش

۹ – ۱۸ – ۲ – ۷ – ۱ طول گیرایی یک میلگرد قلاب‌دار در کشش، l_{dh} ، باید حداقل برابر مقدار رابطه (۹ – ۱۸ – ۵) در نظر گرفته شود. مقدار l_{dh} در هیچ حالت نباید کمتر از $^{۸}d_b$ و یا ۱۵۰ میلی‌متر اختیار گردد.

$$\ell_{dh} = \left[۰/۲۵ k_۱ k_۲ \beta\lambda \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \right] d_b \qquad (۵ - ۱۸ - ۹)$$

برای تعیین ضرایب β و λ به‌بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۴ – ۱ مراجعه شود.

ضریب $k_۱$ در تمامی موارد برابر با یک منظور می‌شود مگر در مواردی که در قلاب‌های با خم ۱۸۰ درجه پوشش بتنی روی قلاب، در امتداد عمود بر صفحه قلاب، مساوی یا بیشتر از ۶۵ میلی‌متر و در قلاب‌های با خم ۹۰ درجه پوشش بتن روی قلاب در امتداد عمود بر صفحه قلاب و پوشش در صفحه قلاب به‌ترتیب مساوی یا بیشتر از ۶۵ و ۵۰ میلی‌متر باشد. در این موارد ضریب $k_۱$ را می‌توان برابر با ۰/۷ منظور کرد.

ضریب $k_۲$ در تمامی موارد برابر یک منظور می شود مگر در مواردی که میلگردها در طول گیرایی با خاموت‌های با فاصله‌ای مساوی یا کمتر از $^{۳}d_b$ محصور شده باشند در این موارد ضریب $k_۲$ را می‌توان ۰/۸ منظور کرد.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۷ – ۲ در انتهای غیرممتد یک عضو که در آن برای مهارکردن میلگرد از قلاب استفاده شده است درصورتی‌که پوشش بتنی روی میلگرد در هر دو جهت، بالا و پایین و عمود بر صفحه قلاب، کمتر از ۶۵ میلی‌متر باشد باید میلگرد در طول گیرایی با خاموت‌هایی به‌فاصله کمتر از $^{۳}d_b$ از یکدیگر محصور شود.

۹ – ۱۸ – ۲ – ۸ اضافه آرماتور

۹ – ۱۸ – ۲ – ۸ – ۱ در مواردی‌که آرماتور به‌کار رفته در مقطع بیشتر از آرماتور لازم براساس تحلیل سازه می‌باشد می‌توان روابط ۹ – ۱۸ – ۱ ، ۹ – ۱۸ – ۳ ، ۹ – ۱۸ – ۴ و ۹ – ۱۸ – ۵ را در نسبت مقدار آرماتور لازم به‌مقدار آرماتور مصرفی ضرب نمود. این ضریب در مورد سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد (فصل‌بیستم) باید برابر یک منظور گردد.

۹ – ۱۸ – ۳ ضوابط مهار آرماتورهای خمشی

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ ضوابط کلی

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۱ آرماتور کششی در قطعات خمشی را می‌توان با رعایت محدودیت‌های بند ۹ – ۱۸– ۳ – ۱ – ۵ در ناحیه بتن کششی مهار نمود و یا در جان تیر خم کرده و در سمت مقابل قطعه مهار کرد. این آرماتور را می‌توان در سمت مقابل قطعه به‌عنوان آرماتور کششی یا فشاری مورد استفاده قرار داد.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۲ در قطعات خمشی مقاطع بحرانی که در دو سمت آنها کافی بودن مهار آرماتور باید بررسی شود به‌شرح (الف) و (ب) این بند می باشد.

الف) مقاطع دارای بیشترین تنش

ب) مقاطعی که در آنها، در طول دهانه قطعه، آرماتور قطع یا خم می‌شود.

در این قطعات در مقاطع مجاور تکیه‌گاه های ساده و مقاطع نقاط عطف منحنی تغییر شکل ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ – ۳ نیز باید رعایت شوند.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۳ میلگردها باید از محل مقطعی که وجودشان دیگر برای تحمل خمش لازم نیست به‌طول حداقل برابر با d یا $۱۲d_b$، هرکدام بزرگترند، ادامه داده شوند. رعایت این ضابطه در انتهای عضو با تکیه‌گاه ساده و یا انتهای آزاد عضو طره‌ای الزامی نیست.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۴ در مواردی که تعدادی از میلگردها قطع یا خم می‌شوند، آن دسته از میلگردها که ادامه پیدا می‌کنند باید از مقطعی که میلگردهای قطع یا خم‌شده وجودشان دیگر برای تحمل خمش ضروری نیست، به‌طول حداقل برابر با طول گیرایی، l_d ، ادامه داده شوند.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۵ آرماتور خمشی را نمی‌توان در ناحیه بتن کششی قطع کرد مگر آنکه یکی از شرایط (الف) تا (پ) این بند تأمین باشد:

الف) مقدار V_r، در محل قطع آرماتور به‌اندازه حداقل پنجاه درصد بیشتر از مقدار V_u باشد.

ب) در انتهای میلگردهای قطع‌شده در ناحیه‌ای به‌طول حداقل ۰/۷۵d آرماتور عرضی اضافه بر آنچه برای تحمل برش یا پیچش لازم است، تأمین گردد. سطح مقطع آرماتور عرضی اضافی لازم باید حداقل برابر با $(۰/۴۲b_w \frac{s}{f_y})$ باشد و فاصله میلگردهای عرضی از یکدیگر در این ناحیه بیشتر از $\frac{d}{۸\beta_b}$ نباشد.

پ) مقدار آرماتوری که ادامه پیدا می‌کند حداقل دو برابر مقدار مورد نیاز در مقطع باشد و مقدار V_r، در محل قطع آرماتور به‌اندازه حداقل سی و سه درصد بیشتر از مقدار V_u ، باشد.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۱ – ۶ در قطعات خمشی که در آنها تنش در آرماتور کششی مستقیماً متناسب با لنگر خمشی نیست، مانند پی‌های با مقطع متغیر، پلکانی و یا باریک‌شونده و همچنین نشیمن‌گاه‌ها، اعضای خمشی با ارتفاع زیاد، تیرهای عمیق، و یا اعضایی که در آنها آرماتور کششی موازی سطح بتن فشاری نیست، باید مهار میلگردهای کششی در مقاطع مختلف کنترل شود.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ ضوابط خاص مهار آرماتور خمشی مثبت

۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ – ۱ حداقل یک‌سوم آرماتور خمشی مثبت، در قطعات با تکیه‌گاه ساده، و یک‌چهارم آرماتور خمشی مثبت، در قطعات یکسره، باید در طول وجهی از قطعه که در آن قرار گرفته‌اند تا روی تکیه‌گاه ادامه داده شوند. در تیرها این میلگردها باید به‌اندازه حداقل ۱۵۰ میلی‌متر در داخل تکیه‌گاه ادامه یابند.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ – ۲ در قطعات خمشی که به‌عنوان عضوی از یک سیستم اصلی در مقابل بارهای جانبی به‌کار برده شده‌اند، آن گروه از آرماتور خمشی مثبت که برطبق بند ۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ – ۱ تا روی تکیه‌گاه ادامه می‌یابد باید به‌طور کامل در تکیه‌گاه مهار شود به‌طوری‌که آرماتور بتواند در مقطع بر تکیه‌گاه به‌تنش جاری‌شدن، f_y، برسد.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۲ – ۳ در قطعات خمشی در مقاطع مجاور تکیه‌گاه‌های ساده و یا مقاطع نقاط عطف منحنی تغییرشکل، قطر میلگردهای خمشی مثبت باید چنان باشد که طول گیرایی آنها در رابطه (۹ – ۱۸ – ۹) صدق کند:

$$l_d \le \frac{M_r}{V_u} + l_a \qquad (۹ – ۱۸ – ۹)$$

l_a ، در مواردی که رابطه در محل نقطه عطف بررسی می‌شود، باید برابر با d یا $۱۲d_b$ هر کدام بزرگترند، در نظر گرفته شود.

در مواردی کـه آرماتـور خمشی مـثبـت در تکیه‌گاه سـاده به‌قـلاب اسـتاندارد یـا وسایل مکانیکی معادل قلاب استاندارد، که فراتر از محور تکـیه‌گـاه شـروع شـده باشـد، ختم می‌شود، بررسی رابطه فوق الزامی نیست.

در تکیه‌گاه‌هایی که آرماتور خمشی مثبت در داخل بتن فشاری ناشی از عکس‌العمـل فشاری تکیه‌گـاه محصور شده بـاشد، مقـدار $\frac{M_r}{V_u}$ در رابطـه فـوق را مـی‌تـوان بـه‌انـدازه یک‌سوم افزایش داد.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۳ ضوابط خاص مهار آرماتور خمشی منفی

۹ – ۱۸ – ۳ – ۳ – ۱ آرماتور خمشی منفی در قطعات خمشی یکسره، گیردار، طـره و یا تمامی قطعـات قـاب‌هـای پیوسـته بایـد بـا یکـی از روش‌هـای گفتـه‌شـده در بنـد ۹ – ۱۸ – ۲ – ۱ – ۱ در تکیه‌گاه‌ها مهار شوند.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۳ – ۲ حداقل یـک‌سوم آرماتور خمشی منفـی موجـود در تکیـه‌گـاه یک عضو خمشی باید تا مـحـل نقـطـه عـطـف منحنی تغییرشکل عضو ادامه داده شده و از این محل به‌اندازه حداقل d ، $12d_b$ و یـک‌شـانزدهم طـول دهانـه خـالص، هرکـدام بزرگتر است، فراتر برده شود.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ ضوابط خاص مهار آرماتور عرضی در جان قطعات خمشی

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ – ۱ آرماتور عرضی در جـان قطعـات خمـشی بایـد تـا حـدی کـه پوشش بتنی آرماتور و یا نزدیکی سایر آرماتورها اجـازه مـــی‌دهـــد، نزدیـک بـه‌دو وجـه فشاری و کششی عضو در مقطع قرار داده شود.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ – ۲ دو انتهای آرماتور عرضی تک‌شاخه‌ای و آرماتور به‌شکل U تکی و یا مکرر باید به‌یکی از طرق (الف) و (ب) این بند مهار شوند:

الف) برای میلگردهای به‌قطر کوچکتر از ۱۶ میلی‌متر و برای میلگردهای با قطر ۱۶ تا ۲۵ میلی‌متر از رده S۳۴۰ ، باید از قلاب استاندارد استفاده شود. قلاب باید حداقل یک میلگرد طولی را در برگیرد.

ب) برای میلگردهای با قطر ۱۶ تا ۲۵ میلی‌متر از رده S۴۰۰ و بالاتر، باید علاوه بر استفاده از قلاب استاندارد که حداقل یک میلگرد طولی را در برگرفته باشد، طول گیرایی به‌اندازه دو سوم طول گیرایی میلگرد قلاب‌دار (ضوابط بند۹– ۱۸– ۲– ۷) نیز تأمین شود. طول گیرایی میلگرد قلاب‌دار از محل وسط ارتفاع موثر مقطع اندازه‌گیری می‌شود.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ – ۳ در بین دو انتهای مهارشده خاموت‌های به‌شکل U تکی و یا مکرر، در هر خم واقع در ناحیه پیوسته خاموت باید حداقل یک آرماتور طولی محصور شده باشد.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ – ۴ میلگردهای طولی خم‌شده که به‌عنوان آرماتور برشی مورد استفاده قرار می‌گیرند اگر به‌ناحیه بتن کششی برده شوند باید به‌صورت آرماتور کششی مورد استفاده قرار گیرند و اگر به‌ناحیه فشاری برده شوند باید بر طبق ضوابط مهار میلگردها در این ناحیه مهار شوند. در این میلگردها طول گیرایی از محل وسط ارتفاع مؤثر مقطع، $\frac{d}{۲}$ اندازه‌گیری می‌شود.

۹ – ۱۸ – ۳ – ۴ – ۵ در زوج خاموت‌های U شکل که با وصله پوششی، یک خاموت بسته می‌سازند، باید طول پوشش برابر با حداقل $۱/۳\ l_d$ رعایت شود. در این خاموت‌ها، چنانچه مقدار $A_b f_y$ هر شاخه کمتر از ۴۰ کیلونیوتن و ارتفاع مقطع عضو

بیشتر از ۴۵۰ میلی‌متر باشد، می‌توان طـول پوشـش را کمتـر از l_d ۱/۳ در نظـر گرفـت مشروط بر آنکه هر شاخه از U تا وجه مقابل ادامه داده شود.

۹ – ۱۸ – ۴ وصله میلگردها

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ ضوابط کلی

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۱ وصله میلگردها به‌یکدیگر به‌یکی از چهار طریق (الـف) تـا (ت) این بند و یا ترکیبی از آنها مجاز است:

الف) وصله پوششی: کـه بـا مجـاور هـم قـرار دادن دو میلگـرد در قـسمتی از طولـشان عملی می‌شود. طـولـی که دو میلگرد باید در مجاور هم قـرار داده شونـد، «طـول پوشش» نامیده می‌شود.

ب) وصله جوشی: که با جوش دادن دو میلگرد به‌یکدیگر انجام می‌شود.

پ) وصله مکانیکی: که با به‌کارگیری وسایل مکانیکی خاص حاصل می‌شود.

ت) وصله اتکایی: که با بر روی هـم قـرار دادن دو انتهـای میلگردهـای فـشاری عملـی می‌گردد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۲ وصله پوششی، تنها در مورد میلگردهای بـا قطـر کمتـر از ۳۶ میلی‌متر مجاز می‌باشد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۳ وصلـه پوششی برای گروه میلگـردها، به‌عنـوان یـک مجموعـه میلگرد، مجاز نیست. اما هریک از میلگردها را می‌توان جداگانه با وصله پوشـشی بـه‌هـم متصل نمود. در این حالت نواحی وصله میلگردهای مختلف نباید با هـم تـداخل داشـته باشند.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۴ طول پوشش لازم برای وصله پوششی هر دو میلگرد در گروه میلگردها باید براساس طول پوشش لازم برای هر یک از میلگردها تعیین شود و در آن ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۶ نیز رعایت شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۵ در اعضای خمشی فاصله محور تا محور دو میلگرد که با وصله پوششی به‌هم متصل می‌شوند نباید بیشتر از یک‌پنجم طول پوشش لازم و یا بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

در سایر اعضا این فاصله نباید بزرگتر از ۵ برابر قطر میلگرد کوچکتر باشد.

محل وصله غیرتماسی باید با میلگردهای عرضی عمود بر میلگردهای وصله‌شونده محصور گردد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۶ وصله جوشی میلگردها باید به‌صورت یکی از روش‌های اتصال جوشی نوک به‌نوک خمیری (جوش الکتریکی تماسی) یا اتصال جوشی ذوبی با الکترود (جوش با قوس الکتریکی) انجام شود. مقاومت این وصله‌ها در کشش باید حداقل برابر با $۱/۲۵A_bf_y$ باشد، مگر آنکه الزامات بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ – ۲ تأمین شده باشد.

اتصال جوشی نوک به‌نوک خمیری فقط در شرایط کارخانه‌ای و در صورتی مجاز است که قطر میلگردها از ۱۰ میلی‌متر برای فولادهای گرم نوردشده یا ۱۴ میلی‌متر برای فولادهای سرد اصلاح‌شده کمتر نباشد، و نسبت سطح مقطع دو میلگرد وصله شونده از ۱/۵ تجاوز نکند.

اتصال جوشی ذوبی با الکترود در صورتی مجاز است که برای هر نوع فولاد، مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، از الکترود و روش جوشکاری مناسب آن استفاده شود.

اتصال جوشی ذوبی با الکترود به‌طور معمول به‌یکی از روش‌های (الف) تا (پ) این بند انجام می‌پذیرد:

الف) اتصال جوشی پهلو به‌پهلو با جوش از یک‌رو یا دورو، که فقط برای میلگردهای گرم نوردشده با قطر ۶ تا ۳۶ میلی‌متر مجاز است. در این روش طول نوار جوش از یک‌رو نباید از ۱۰ برابر قطر میلگرد کوچکتر، کمتر باشد و طول نوار جوش دورو نباید از ۵ برابر قطر میلگرد کوچکتر، کمتر اختیار شود.

ب) اتصال جوشی با وصله یا وصله‌های جانبی اضافه با جوش از یک‌رو یا دورو، فقط برای میلگردهای گرم نوردشده مجاز است. حداقل طول نوار جوش برای اتصال هر میلگرد به‌وصله یا وصله‌ها مشابه اتصال جوشی پهلو به‌پهلو است.

پ) اتصال جوشی نوک به‌نوک با پشت‌بند با آمادگی یا بدون آمادگی سر میلگردها، که طول پشت‌بند نباید کمتر از ۳ برابر قطر میلگردها برای فولادهای گرم نوردشده یا ۸ برابر قطر میلگردها برای فولادهای سرد اصلاح‌شده اختیار شود. فاصله دو سر میلگردهای وصله‌شونده از هم در حالت با آمادگی ۳ میلی‌متر و در حالت بدون آمادگی باید معادل نصف قطر میلگردها باشد. در مورد فولادهای سرد اصلاح‌شده آماده کردن سر هر دو میلگرد الزامی است. درصورتی‌که میلگردهای وصله‌شونده در وضعیت قائم یا نزدیک به‌قائم قرار گیرند، آماده کردن انتهای میلگرد فوقانی الزامی است و انتهای میلگرد تحتانی باید عمود بر محور آن بریده شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۷ وصله مکانیکی میلگردها باید در کشش و فشار دارای مقاومت حداقل برابر با $۱/۲۵A_bf_y$ باشد مگر آنکه ضابطه بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ – ۲ تأمین شده باشد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۸ وصله‌های اتکایی فقط برای میلگردهای تحت فشار با قطر ۲۵ میلی‌متر و بیشتر مجاز است و رعایت ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ – ۳ در آنها الزامی است.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ وصله میلگردهای کششی

۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ – ۱ در وصله‌های پوششی طول پوشش باید حداقل برابر با l_d ۱/۳ باشد. تنها درمواردی‌که دو شرط (الف) و (ب) این بند به‌طور توأم تأمین باشد طول پوشش را می‌توان به مقدار l_d کاهش داد:

الف) مقدار آرماتور موجود در ناحیه طول پوشش حداقل به‌اندازه دو برابر مقدار مورد نیاز باشد.

ب) حداکثر نصف آرماتور موجود در مقطع در ناحیه طول پوشش وصله شوند. l_d طول‌گیرایی میلگرد در کشش است که باید براساس ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۴ محاسبه شود. در محاسبه l_d ضریب اضافه آرماتور موضوع بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۸ باید برابر با یک منظور شود.

طول پوشش در هیچ حالت نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر اختیار شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ – ۲ در وصله‌های جوشی یا مکانیکی در مواردی که مقدار آرماتور موجود در مقطع کمتر از دو برابر مورد نیاز باشد، مقاومت وصله باید برابر با $۱/۲۵A_bf_y$ باشد ولی در سایر موارد مقاومت وصله را می‌توان کمتر از این مقدار و مطابق ضابطه (الف) و (ب) این بند در نظر گرفت:

الف) مقاومت وصله در هر میلگرد باید چنان باشد که کل میلگردهای موجود در این مقطع بتوانند نیرویی حداقل معادل دو برابر نیروی لازم در آن مقطع را تحمل نمایند. این نیرو نباید کمتر از $۱۴۰A_b$ برای کل میلگردها در نظر گرفته شود. فاصله وصله‌ها از یکدیگر درمقاطع مختلف متوالی نباید کمتراز ۶۰۰ میلی‌متر باشد.

ب) نیروی کششی مقاوم مورد نظر در بند الف را باید برای میلگردهای وصله داده شده برابر با نیروی مقاوم وصله و برای میلگردهای وصله‌نشده برابر A_bf_y آنها که به‌نسبت طول واقعی مهارشده به‌طول گیرایی لازم آنها کاهش داده شده است، محاسبه نمود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۲ – ۳ در قطعات کششی وصله میلگردها باید تنها به‌وسیله وصله‌های جوشی یا مکانیکی انجام شود و در آنها ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۶ یا ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۷ رعایت گردد. فاصله وصله‌ها در میلگردهای مجاور هم باید بیشتر از ۷۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ وصله میلگردهای فشاری

۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ – ۱ در وصله‌های پوششی، طول پوشش برای فولادهای از رده S۴۰۰ یا پایین‌تر باید حداقل برابر با $۰/۰۷f_y d_b$ و برای فولادهای رده بالاتر برابر با $(۰/۱۳f_y - ۲۴)d_b$ باشد. این طول در هر حال نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر اختیار شود. در مواردی که مقاومت بتن کمتر از ۲۰ مگاپاسکال است، طول پوشش باید به‌اندازه سی و سه درصد افزایش داده شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ – ۲ در مواردی که میلگردهای با قطرهای مختلف با وصله پوشش به‌هم متصل می‌شوند طول پوشش باید برابر بزرگترین دو مقدار، طول گیرایی میلگرد با قطر بزرگتر یا طول پوشش لازم برای میلگرد با قطر کوچکتر، در نظر گرفته شود. میلگردهای با قطر بزرگتر از ۳۶ میلی‌متر را می‌توان به‌میلگردهای با قطر کوچکتر از ۳۶ میلی‌متر اتصال داد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ – ۳ در وصله‌های اتکایی که در آنها برای انتقال فشار از یک میلگرد به‌دیگری، انتهای آن دو به‌هم تکیه داده می‌شوند باید سطوح انتهای میلگردها کاملاً گونیا بریده شوند و تماس آن دو تا حد امکان کامل باشد. زاویه سطح انتهایی هر میلگرد نباید نسبت به‌سطح عمود بر محور میلگرد بیش از ۱/۵ درجه انحراف داشته باشد و سطح تماس دو میلگرد بعد از سوار شدن نیز نباید بیش از ۳ درجه نسبت

به‌اتکای کامل انحراف داشته باشد. این نـوع وصـله تنهـا در قطعـاتی کـه دارای خـاموت عرضی بسته یا مارپیچ هستند، مجاز می‌باشد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۴ ضوابط خاص وصله آرماتورها در ستون‌ها

۹ – ۱۸ – ۴ – ۴ – ۱ در ستون‌ها وصله آرماتورها می‌تـواند از نوع پوششی، جوشـی، مکانیکی و یا اتکایی باشد. وصله آرماتورهـا باید برای تمامـی ترکیبات بارگذاری مناسب باشد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۴ – ۲ وصله پوششی میلگردهایی که در فـشار قـرار دارنـد مـشمول ضوابط این نوع وصله‌ها در فشار و میلگردهایی که در کشش قرار دارند مـشمول ضـوابط این نوع میلگردها در کشش می‌شوند. در میلگردهای کششی چنانچـه تـنش موجـود در آنها کمتر از $۰/۵ f_y$ و تعداد میلگردهایی که در طول ناحیه پوشش وصله می‌شوند، کمتر از نصف میلگردهای کششی باشد طول پوشش باید حداقل برابر با l_d و در غیر این‌صورت باید حـداقل برابـر بـا $۱/۳ l_d$ در نظـر گرفتـه شـود. در حالـت اول فاصـله وصـله‌هـا در میلگردهای مختلف از یکدیگر نباید کمتر از l_d اختیار شود.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۴ – ۳ در قطعات تحت فشار چنانچه در ناحیه وصله پوششی آرماتور عرضی به‌صورت خاموت با سطح مقطع بیـشتر از hs ۰/۰۰۱۵ وجـود داشـته باشـد طـول پوشش را می‌توان به‌اندازه ۲۰ درصد و چنانچه آرماتور عرضی بـه‌صـورت مـارپیچ وجـود داشته باشد، طول پوشش را می‌توان به‌اندازه ۲۵ درصد کاهش داد. طول پوشش در هـر حال نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر اختیار شود. در محاسـبه سـطح مقطـع خـاموت تنهـا سطح مقطع شاخه‌های عمود در امتداد h منظور می‌گردد.

۹ – ۱۸ – ۴ – ۴ – ۴ در ستون‌ها وصله‌های اتکایی میلگردها را مطابق ضابطه بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۳ – ۳ می‌توان به‌کار برد مشروط بر آنکه یا این نوع وصله برای هر تعداد از میلگردها در مقاطع مختلف انجام شود و یا در محل وصله، میلگرد اضافی به‌کار برده شود، به‌طوری که مقاومت میلگردهایی که در محل وصله ادامه دارند حداقل معادل با یک‌چهارم مقدار $A_b f_y$ برای تمامی میلگردهای موجود در آن وجه ستون باشد.

۹ ـ ۱۹ ضوابط ویژه طراحی در برابر حریق

۹ ـ ۱۹ ـ ۰ علایم اختصاری

T = دمای بتن یا فولاد، درجه سلسیوس

f_{ct} = مقاومت فشاری بتن در دمای T

f_{yt} = تنش حد تسلیم فولاد در دمای T

۹ ـ ۱۹ ـ ۱ گستره

هدف از مطالب این فصل، ارایه حداقل ضوابط، ابعاد و مشخصات اجزای سازه‌ای به‌منظور مقاومت در برابر حریق در مواردی می باشد که تمهیداتی همچون استفاده از مواد ضدحریق و اندودها و . . . به‌منظور ایجاد این مقاومت در سازه پیش‌بینی نشده باشد.

علاوه بر مطالب این فصل ضروری است ضوابط منـدرج در مبحـث سـوم مقـررات ملـی ساختمان نیز رعایت شود.

۹ ـ ۱۹ ـ ۲ مدت زمان مقاومت در برابر حریق

حداقل زمان لازم برای تخلیه افراد و اشیاء مهم (مدت زمان مقاومت) بسته به‌عوامل زیر بین ۳۰ دقیقه تا۲۴۰ دقیقه انتخاب می‌شود.

- نوع کاربری ساختمان
- مشخصات هندسی ساختمان (تعداد طبقات و وسعت هر طبقه)
- میزان جمعیت ساکن در بنا
- نوع مصالح اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای
- فاصله ساختمان از بناهای مجاور
- مشخصات تأسیسات مکانیکی و برقی و سیستم‌های اعلام و اطفای حریق

مدت زمان مقاومت در برابر حریق نباید از مقادیر زیرکمتر در نظرگرفته شود:

- در ساختمان‌های خصوصی ۲ تا ۵ طبقه : ۶۰ دقیقه
- در ساختمان‌های خصوصی ۶ تا ۱۰ طبقه : ۹۰ دقیقه
- در ساختمان‌های خصوصی ۱۱ تا ۲۰ طبقه و با جمعیت کمتر از ۳۰۰ نفر: ۱۲۰دقیقه
- در ساختمان‌های عمومی یا ساختمان‌های خصوصی بـا جمعیـت بـیش از ۳۰۰ نفـر: ۱۵۰دقیقه

۹ ـ ۱۹ ـ ۳ اثر تغییرات درجه حرارت بر مقاومت مصالح مصرفی

در بررسی عملکرد اجزای سازه‌ای لازم است اثر تغییرات مقاومت بتن و فـولاد برحـسب افزایش درجه حرارت به‌شرح زیر منظور شود:

در جدول‌های ۹ – ۱۹ – ۱ و ۹ – ۱۹ – ۲ تغییرات متوسط مقاومت بتن و فولاد برحسب تغییرات دما ارایه شده است.

۹ – ۱۹ – ۳ – ۱ بتن

مقدار مقاومت فشاری بتن در دمای T درجه سلسیوس نسبت به‌مقاومت فشاری مبنا (دمای ۲۰ درجه سلسیوس) از جدول ۹ – ۱۹ – ۱ تعیین می‌شود:

جدول ۹ – ۱۹ – ۱

T	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰
f_{ct} / f_c	۰/۹۲	۰/۷۷	۰/۶	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۲۳	۰

۹ – ۱۹ – ۳ – ۲ فولاد

مقدار تنش حد تسلیم فولاد در دمای T درجه سلسیوس نسبت به‌تنش حد تسلیم مبنا (دمای ۲۰ درجه سلسیوس) از جدول ۹ – ۱۹ – ۲ تعیین می‌شود:

جدول ۹ – ۱۹ – ۲

T	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۷۵۰
f_{yt} / f_y	۰/۹۳	۰/۸۱	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۱۲	۰

۹ – ۱۹ – ۴ ملاحظات طراحی

طراحی اجزای بتن آرمه در مقابل حریق در حالت حدی نهایی مقاومت انجام مـی‌گیـرد. اثر افزایش درجه حرارت ناشی از حریق به‌دو طریق (الف)و (ب) این بنـد در محاسـبات مطرح می‌شود:

الف) افزایش درجه حرارت یکنواخت در یک عضو یا جمعی از اعـضای سـازه‌ای و اثـرات انبساط حاصله در توزیع نیروهای داخلی سیستم‌های نامعین

ب) اثر گرادیان حرارتی (اختلاف درجـه حـرارت) در اجـزای بتنـی و تغییرشـکل‌هـای حاصله که باعث ایجاد نیروهای داخلی در اعضا می‌شود.

۹ – ۱۹ – ۴ – ۱ ستون‌ها

در ستون‌های ساختمان‌های با مدت زمان مقاومت در برابر حریق ۹۰ دقیقـه یـا بیـشتر، ملاحظات زیر باید رعایت شود:

- لاغری ستون‌ها به‌عدد ۵۰ محدود می‌گردد.
- درصد فولاد ستون‌ها (غیر از محل وصله‌ها) به‌دو درصد محدود می‌شود.
- میلگردهای طولی باید در امتداد وجوه ستون توزیع‌شده و میلگردهای عرضی نیـز در محیط و سطح میانی مقطع توزیع شوند.
- برای محصورکردن بتن و آرماتورهای طولی نبایـد فقـط بـه‌خـاموت‌هـای محیطـی اکتفـا شود بلکه باید سنجاق‌ها و خاموت‌های میانی نیز به‌طور همزمان در آنها به‌کار برده شود. ضوابط هندسی الزامی ستون‌ها در جدول ۹ – ۱۹ – ۳ ارایه شده است.

جدول ۹ – ۱۹ – ۳ ضوابط هندسی الزامی ستون‌ها، از نظر مقاومت در برابرحریق

ردیف	مدت زمان مقاومت در برابر حریق (دقیقه)	حداقل کوچکترین بعد مقطع ستون (**b**) (میلی‌متر)	حداقل فاصله مرکز میلگردهای سفره خارجی تا وجه ستون (**a**) (میلی‌متر)
۱	۳۰	۱۵۰	۲۵
۲	۶۰	۲۰۰	۳۵
۳	۹۰	۲۴۰	۵۰
۴	۱۲۰	۳۰۰	۵۰
۵	۱۸۰	۴۰۰	۵۰
۶	۲۴۰	۴۵۰	۵۵

۹ – ۱۹ – ۴ – ۲ تیرها

- ضوابط هندسی الزامی تیرها در جدول‌های ۹ – ۱۹ – ۴ و ۹ – ۱۹ – ۵ ارایه شده است.
- میلگردهای طولی باید در عرض تیر توزیع‌شده و میلگردهای عرضی نیز علاوه بر خاموت خارجی در بخش میانی مقطع تعبیه گردند.

جدول ۹ – ۱۹ – ۴ ضوابط هندسی الزامی‌تیرهای ساده، از نظر مقاومت در برابر حریق

ردیف	مدت زمان مقاومت در برابر حریق (دقیقه)	عرض تیر (**b**) (میلی‌متر)	حداقل فاصله مرکز هر یک از مبلگردها تا وجه خارجی تیر (**a**) (میلی‌متر)	حداقل ضخامت جان (b_w) (میلی‌متر)
۱	۳۰	۸۰	۲۵	۸۰
۲		۱۲۰	۱۵	
۳		۱۶۰	۱۰	
۴		۲۰۰	۱۰	
۵	۶۰	۱۲۰	۴۰	۱۰۰
۶		۱۶۰	۳۵	
۷		۲۰۰	۳۰	
۸		۳۰۰	۲۵	
۹	۹۰	۱۵۰	۵۵	۱۲۰
۱۰		۲۰۰	۴۵	
۱۱		۲۵۰	۴۰	
۱۲		۴۰۰	۳۵	
۱۳	۱۲۰	۲۰۰	۶۵	۱۴۰
۱۴		۲۴۰	۵۵	
۱۵		۳۰۰	۵۰	
۱۶		۵۰۰	۴۵	
۱۷	۱۸۰	۲۴۰	۸۰	۱۶۰
۱۸		۳۰۰	۷۰	
۱۹		۴۰۰	۶۵	
۲۰		۶۰۰	۶۰	
۲۱	۲۴۰	۲۸۰	۹۰	۱۸۰
۲۲		۳۵۰	۸۰	
۲۳		۵۰۰	۷۵	
۲۴		۷۰۰	۷۰	

جدول ۹ – ۱۹ – ۵ ضوابط هندسی الزامی تیرهای یکسره، از نظر مقاومت در برابر حریق

ردیف	مدت زمان مقاومت در برابر حریق (دقیقه)	عرض تیر (**b**) (میلی‌متر)	حداقل فاصله مرکز هر یک از مبلگردها تا وجه خارجی تیر (**a**) (میلی‌متر)	حاقل ضخامت جان (b_w) (میلی‌متر)
۱	۳۰	۸۰	۱۲	۸۰
۲		۱۲۰	۱۲	
۳	۶۰	۱۲۰	۲۵	۱۰۰
۴		۲۰۰	۱۲	
۵		۳۰۰	۱۲	
۶	۹۰	۱۵۰	۳۵	۱۲۰
۷		۲۵۰	۲۵	
۸		۴۰۰	۲۵	
۹	۱۲۰	۲۰۰	۴۵	۱۴۰
۱۰		۳۰۰	۳۵	
۱۱		۵۰۰	۳۵	
۱۲	۱۸۰	۲۴۰	۵۰	۱۶۰
۱۳		۶۰۰	۵۰	
۱۴	۲۴۰	۲۸۰	۶۰	۱۸۰
۱۵		۷۰۰	۶۰	

۹ – ۱۹ – ۴ – ۳ دال‌ها

ضوابط هندسی الزامی دال‌ها در جدول‌های ۹ – ۱۹ – ۶ و ۹ – ۱۹ – ۷ ارایه شده است.

جدول ۹ – ۱۹ – ۶ ضوابط هندسی الزامی دال‌های با تکیه‌گاه ساده، از نظر مقاومت در برابر حریق

ردیف	مدت زمان مقاومت در برابر حریق (دقیقه)	حداقل ضخامت دال (h_s) (میلی‌متر)	حداقل فاصله مرکز هر یک از میلگردها تا وجه خارجی (**a**) (میلی‌متر)		
			در دال‌های یک‌طرفه	در دال‌های یک‌طرفه	
				$l_x / l_y \geq ۲/۰$	$l_x / l_y \leq ۲/۰$
۱	۳۰	۶۰	۱۰	۱۰	۱۰
۲	۶۰	۸۰	۲۵	۱۰	۲۵
۳	۹۰	۱۰۰	۳۵	۱۵	۳۵
۴	۱۲۰	۱۲۰	۴۵	۲۰	۴۵
۵	۱۸۰	۱۵۰	۶۰	۳۰	۶۰
۶	۲۴۰	۱۷۵	۷۰	۴۰	۷۰

جدول ۹ – ۱۹ – ۷ ضوابط الزامی هندسی دال‌های یکسره، از نظر مقاومت در برابر حریق

ردیف	مدت زمان مقاومت در برابر حریق (دقیقه)	حداقل ضخامت دال (h_s) (میلی‌متر)	حداقل فاصله مرکز هر یک از مبلگردها تا وجه خارجی(**a**) (میلی‌متر)
۱	۳۰	۶۰	۱۰
۲	۶۰	۸۰	۱۰
۳	۹۰	۱۰۰	۱۵
۴	۱۲۰	۱۲۰	۲۰
۵	۱۸۰	۱۵۰	۳۰
۶	۲۴۰	۱۷۵	۴۰

۹ ـ ۲۰ ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله

۹ ـ ۲۰ ـ ۰ علایم اختصاری

A_g = سطح مقطع کل قطعه، میلی‌متر مربع

A_c = مساحت قسمتی از مقطع که داخل میلگرد دورپیچ واقع شده است. این مساحت براساس اندازه پشت تا پشت میلگرد دورپیچ محاسبه می‌شود، میلی‌متر مربع

A_{ch} = مساحت قسمتی از مقطع که داخل میلگرد عرضی واقع شده است. این مساحت براساس انداز پشت تا پشت میلگرد عرضی محاسبه می‌شود، میلی‌متر مربع

A_{cp} = مساحت مقطع بتن یک پایه یا یک قطعه دیوار افقی، که در مقابل برش مقاومت می‌کند، میلی‌متر مربع

A_{cv} = مساحت خالص مقطع بتن محدود به‌ضخامت جان و طول مقطع در امتدادی‌که نیروی برشی در نظر گرفته می‌شود، میلی‌متر مربع

A_j = حداقل مساحت مقطع داخلی اتصال در صفحه‌ای به‌موازات محور آرماتوری که در اتصال ایجاد برش می‌کند، میلی‌متر مربع

عمق این مقطع برابر با عمق کلی مقطع ستون است. در مواردی‌که تیر اصلی به‌تکیه‌گاهی به‌پهنای بیشتر اتصال می‌یابد عرض مؤثر اتصال کوچکترین دو مقدار (الف) و (ب) اختیار شود:

الف) عرض تیر به‌اضافه عمق کل مقطع اتصال

ب) دو برابر کوچکترین فاصله محور تیر از بر ستون در جهت عمود بر محور تیر

A_{sh} = سطح مقطع‌کل آرماتور عرضی، با احتساب رکابی‌های تک شاخه‌ای، در فاصله s در امتداد عمود بر بعد h_c ، میلی‌متر مربع

A_v = سطح مقطع کل آرماتور برشی در فاصله s در امتداد عمود بر محور طولی عضو، میلی‌متر مربع

A_{vd} = سطح مقطع میلگردهای قطری، میلی‌متر مربع

b = پهنای بال مؤثر فشاری، میلی‌متر

d = ارتفاع مؤثر مقطع، میلی‌متر

f_{bd} = مقاومت پیوستگی مبنای بتن، مگاپاسکال

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگاپاسکال

f_y = مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk})، مگاپاسکال، که برای تسهیل‌کار در این فصل حرف k در زیرنویس حذف شده است.

f_{yh} = مقاومت مشخصه آرماتور عرضی، مگاپاسکال

h_c = بعد مقطع ستون (محور تا محور میلگردهای محصورکننده)، میلی‌متر

h_w = ارتفاع کل دیوار یا دیافراگم، ارتفاع قطعه‌ای از دیوار یا دیافراگم، میلی‌متر

l_d = طول گیرایی میلگرد مستقیم، میلی‌متر

l_{dh} = طول گیرایی میلگرد قلاب‌دار، میلی‌متر

l_n = طول ناحیه بحرانی که در آن باید آرماتور عرضی ویژه به‌کار برده شود، میلی‌متر

l_w = طول دیوار، میلی‌متر

M_c = به‌بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۱ رجوع شود، نیوتن– میلی‌متر

M_g = به‌بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۱ رجوع شود، نیوتن– میلی‌متر

M_n = لنگر خمشی مقاوم اسمی، به‌بند ۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ رجوع شود، نیوتن– میلی‌متر

M_{pr} = لنگر خمشی مقاوم محتمل، نیوتن– میلی‌متر

M_r = لنگر خمشی مقاوم مقطع، نیوتن– میلی‌متر

N_u = نیروی محوری نهایی در مقطع، نیوتن

s = فاصله بین سفره‌های میلگردهای عرضی در امتداد محور طولی عضو، میلی‌متر

V_r = نیروی برشی مقاوم مقطع، نیوتن

V_u = نیروی برشی نهایی در مقطع، نیوتن

v_c = مقاومت برشی بتن، رابطه ۹ – ۱۲ – ۴ ، مگاپاسکال

a_c = به‌بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۲ مراجعه شود.

ϕ_c = ضریب جزئی ایمنی بتن

ϕ_s = ضریب جزئی ایمنی فولاد

ϕ_n = ضریب اصلاحی مقاومت

ρ_s = نسبت حجم میلگرد دورپیچ به‌حجم بتن محصورشده که از پشت تا پشت میلگرد دورپیچ اندازه‌گیری می‌شود.

ρ_v = نسبت میلگرد قائم بر صفحه برشی A_{cv} به‌سطح A_v

ρ_n = نسبت میلگرد برشی افقی بر صفحه‌ای عمود بر صفحه برشی A_{cv}

۹ – ۲۰ – ۱ گستره

۹ – ۲۰ – ۱ – ۱ ضوابط این فصل باید در طرح و ساخت اعضای سازه‌هایی که در آنها نیروهای طراحی ناشی از زلزله براساس استهلاک انرژی در ناحیه غیرخطی پاسخ سازه‌ها محاسبه شده‌اند، رعایت‌شوند.

۹ – ۲۰ – ۱ – ۲ در طراحی سازه‌های مشمول این فصل رعایت ضوابط سایر فصول مبحث نهم به‌جز مواردی که در این فصل به‌نحو دیگری مقرر شده‌اند، الزامی است.

۹ – ۲۰ – ۱ – ۳ در طراحی سازه‌های مشمول این فصل می‌توان ضوابط این فصل را رعایت ننمود، مشروط بر آنکه با شواهد آزمایشگاهی و تحلیلی نشان داده شود که مقاومت سازه در مقابل بارهای رفت و برگشتی از مقداری که در سازه طراحی‌شده براساس ضوابط این فصل کمتر نیست.

۹ – ۲۰ – ۲ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ تعاریف

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱ آرماتورگذاری عرضی ویژه

آرماتورگذاری عرضی در اعضای تحت فشار و خمش که مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ انجام شده باشد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۲ اعضای تحت فشار و خمش و اعضای تحت خمش

اعضای تحت فشار و خمش به‌اعضایی اطلاق می‌شود که در آنها علاوه بر وجود لنگر خمشی نیروی محوری فشاری نهایی‌بیشتر از $۰/۱۵\ \phi_c\ f_c\ A_g$ باشد. درصورتی‌که نیروی محوری فشاری نهایی کمتر از این مقدار باشد، عضو خمشی محسوب می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۳ اجزای جمع‌کننده

اجزایی که بخشی از نیروهای اینرسی ناشی از زلزله داخل دیافراگم را به‌سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی منتقل می‌کنند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۴ اجزای مرزی

اجزایی در امتداد لبه دیوارها یا دیافراگم‌ها که با آرماتورهای طولی و عرضی تقویت شده باشند. این اجزا می‌توانند هم ضخامت دیوارها یا دیافراگم‌ها و یا ضخیم‌تر از آنها باشند. در صورت لزوم می‌توان در لبه‌های بازشوها در دیوارها و دیافراگم‌ها نیز از اجزای مرزی استفاده کرد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۵ شکل‌پذیری

عبارت است از قابلیت استهلاک انرژی توسط رفتار غیرالاستیکی کل سازه یا اعضای آن تحت اثر تغییرشکل‌های رفت و برگشتی با دامنه بزرگ بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت آنها.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۶ قلاب دوخت

میلگردی که در یک انتها دارای قلابی با زاویه خم حداقل ۱۳۵درجه و قسمت مستقیم انتهایی به‌طول حداقل ۶ برابر قطر میلگرد یا ۷۵ میلی‌متر و در انتهای دیگر دارای قلابی با زاویه خم حداقل ۹۰ درجه و قسمت مستقیم انتهایی به‌طول حداقل ۸ برابر قطر میلگرد باشد. این قلاب‌ها باید میلگردهای طولی واقع در محیط مقطع عضو را دربرگیرند. محل خم ۹۰ درجه قلاب‌ها باید به‌صورت یک در میان، در مقاطع متوالی در طول عضو، عوض شود.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۷ کلاف‌ها

قطعاتی که معمولاً به‌صورت عضو کشـشی نیروهـای اینرسـی ناشـی از زلزلـه را منتقـل می‌کنند و مانع جدا شدن اجزای دیگر سازه مانند پی‌ها و دیوارها از یکدیگر می‌شوند.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۸ لنگر خمشی مقاوم محتمل

لنگر خمشی مقاوم محتمل مساوی است با لنگر خمـشی مقـاوم بـا فـرض $f_s = ۱/۲۵f_y$ $\phi_c = \phi_s = ۱$ (f_s، مقاومت میلگردهای فولادی می‌باشد).

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۹ ناحیه بحرانی

ناحیه‌ای است که در آن مفصل پلاستیکی تحت اثر بارهای زلزله طراحی ایجاد می‌شود.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ هسته محصور

قسمتی از سطح مقطع عضو، که در داخل میلگردهای عرضی و یا طـولی محـصور شـده باشد.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۱ بتن پوسته

بتن قسمتی از مقطع عضو که در خارج از قسمت محـصورشده بـا میلگردهـای عرضـی، هسته، واقع شده باشد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱۲ تراز پایه

ترازی که فرض می‌شود تکان‌های زلزله تا آن تراز از زمین به‌ساختمان منتقل می‌شود و از آن تراز به‌بالا ساختمان حرکت جداگانه خود را نسبت به‌زمین دارا است. این تراز لزوماً در محاذات سطح زمین نیست.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱۳ تنگ ویژه

خاموتی است بسته متشکل از یک یا چند میلگرد که هر یک از آنها در دو انتها به‌قلاب ویژه ختم شده باشند. تنگ ویژه می‌تواند به‌صورت دورپیچ باشد و در دو انتها به‌قلاب ویژه ختم شود.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱۴ دیافراگم‌های سازه‌ای

قطعات سازه‌ای مانند دال‌های کف و سقف که نیروهای اینرسی ناشی از زلزله را به‌سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی منتقل می‌کنند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱۵ دیوارهای سازه‌ای

دیوارهایی که برای مقاومت در برابر ترکیبی از نیروهای محوری، لنگرهای خمشی و نیروی برشی ناشی از بارهای زلزله و همچنین بارهای ثقلی آنها طراحی می‌شوند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۱ – ۱۶ دیوار برشی

دیوار برشی نوعی دیوار سازه‌ای است.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۷ دیوار همبسته

دیوار همبسته از دو یا چند دیوار برشی که با تیرهایی با شکل‌پذیری زیاد به‌هم متصل شده‌اند تشکیل یافته است.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۸ قلاب ویژه

قلابی است با خم حداقل ۱۳۵ درجه با انتهای مستقیمی به‌طول حداقل ۶ برابر قطر میلگرد و یا ۷۵ میلی‌متر. این قلاب باید میلگردهای طولی را دربرگیرد و انتهای آن به‌سمت داخل خاموت متمایل باشد.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۹ سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی

قسمتی از سازه که برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی‌زلزله محاسبه شده باشد.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲۰ مفصل پلاستیکی

مقطعی از عضو که در آن میلگرد کششی به‌حد جاری‌شدن رسیده باشد و هنوزکرنش بتن به‌حد نهایی خود نرسیده باشد.

۹ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲۱ ناحیه پلاستیکی

قسمتی از عضو که در آن ضمن تشکیل شدن مفصل پلاستیک، دوران پلاستیک صورت گیرد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۲ تحلیل سازه

۹ – ۲۰ – ۲ – ۲ – ۱ در تحلیل سازه برای بارهای جانبی باید عملکرد توأم تمامی اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای که براساس خواص مکانیکی مصالح، بر بازتاب خطی و غیرخطی آن تأثیر دارند، منظور شود.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۲ – ۲ استفاده از اجزای صلب در سازه، به‌صورتی‌که جزء سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی نباشند، مجاز است مشروط بر آنکه اثر این اجزا در بازتاب سیستم در برابر بارهای جانبی بررسی‌شده و در محاسبات منظور شود. پیامدهای ناشی از خرابی احتمالی اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای که جزء سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی نیستند نیز باید بررسی شوند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۲ – ۳ اعضای سازه‌ای که در زیر تراز پایه آن قرار دارند، درصورتی‌که برای انتقال بارهای زلزله به‌پی مورد نیاز باشند باید براساس ضوابط این فصل طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۲ – ۴ در سازه‌هایی که برای حد شکل‌پذیری زیاد طراحی می‌شوند، تمامی اعضای سازه که جزء سیستم مقاوم در برابر بار جانبی زلزله نیستند باید براساس ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۳ مشخصات مصالح

۹ – ۲۰ – ۲ – ۳ – ۱ بتن مورد استفاده در اجزای مقاوم در برابر زلزله برای سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد باید از رده C۲۵ و یا بالاتر و برای سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط از رده C۲۰ و یا بالاتر باشد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۳ – ۲ در قاب‌ها و یا اجزای مرزی دیوارها که برای مقابله با نیروهای جانبی زلزله به‌کار گرفته می‌شوند، باید ضوابط بند ۹ – ۱۰ – ۷ – ۷ رعایت گردد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۳ – ۳ استفاده از اتصالات جوشی در میلگرد طولی تنها با شرط رعایت ضوابط ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۷ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۴ مجاز است. به‌علاوه باید از جوش دادن خاموت‌ها و سایر میلگردها به‌میلگردهای طولی‌خودداری شود.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۴ کنترل سازه در شرایط بهره‌برداری

به‌منظور عدم محدودیت جریان بهره‌برداری در شرایط زلزله، لازم است تغییرمکان‌های جانبی سازه مطابق الزامات مبحث ششم مقررات ملی ساختمان محدود شود.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ حدود شکل‌پذیری سازه

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۱ اجزای مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله باید برای یکی از سه حد شکل‌پذیری که در بندهای ۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۴ تعریف شده‌اند، طراحی شوند. ضوابط این مقررات شرایط شکل‌پذیری کم را تأمین می کنند. ضوابط طراحی برای شکل‌پذیری‌های متوسط و زیاد در قسمت‌های ۹ – ۲۰ – ۳ تا ۹ – ۲۰ – ۴ تعیین شده‌اند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۲ حد شکل‌پذیری کم: این حد برای سازه‌هایی مناسب است که در آنها انتظار به‌وجود آمدن تغییرشکل زیاد نمی‌رود. این شرط در مناطق با خطر زلزله نسبی‌کم و متوسط قابل کاربرد است.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۳ حد شکل‌پذیری متوسط: این حد برای سازه‌هایی الزامی است که در آنها بازتاب سازه در برابر نیروهای زلزله وارد ناحیه غیرخطی می‌شود و مقاطع سازه باید آنچنان طراحی شوند که از ایمنی کافی در مقابل گسیختگی ترد برخوردار باشند.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۴ حد شکل‌پذیری زیاد: این حد برای سازه‌هایی الزامی است که اعضای آنها در مقاطع خاصی باید از ظرفیت جذب و استهلاک انرژی زیاد برخوردار باشند به‌طوری‌که در صورت ایجاد مکانیزم در آنها پایداری و انسجام کلی سازه محفوظ مانده و از این نظر اطمینان کافی موجود باشد.

۹ – ۲۰ – ۲ – ۵ – ۵ سازه‌هایی را که در آنها حدود شکل‌پذیری بیشتر تأمین‌می‌شود، با توجه به‌قابلیت جذب انرژی و رفتار غیرخطی بیشتر، می‌توان برای بارهای جانبی زلزله کمتری طراحی نمود. ضوابط مربوط به‌چگونگی کاهش این بارها در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (مبحث ششم) تعیین شده‌اند.

۹ – ۲۰ – ۳ ضوابط سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ اعضای تحت خمش‌در قاب‌ها ($N_u \le ۰/۱۵\phi_c f_c A_g$)

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۱ محدودیت‌های هندسی

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۱ – ۱ در اعضای خمشی قاب‌ها محدودیت‌های هندسی (الف) تا (پ) این بند باید رعایت‌شوند:

الف) ارتفاع مؤثر مقطع نباید بیشتر از یک‌چهارم طول دهانه آزاد باشد.

ب) عرض مقطع نباید کمتر از یک‌چهارم ارتفاع آن و ۲۵۰ میلی‌متر باشد.

پ) عرض مقطع نباید:

- بیشتر از عرض عضو تکیه‌گاهی، در صفحه عمود بر محور طولی عضو خمشی، به‌اضافه سه‌چهارم ارتفاع عضو خمشی، در هر طرف عضو تکیه‌گاهی
- بیشتر از عرض عضو تکیه‌گاهی به‌اضافه یک‌چهارم بعد دیگر مقطع عضو تکیه‌گاهی، در هر طرف عضو تکیه‌گاهی اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ برون‌محوری هر عضو خمشی نسبت به‌ستونی که با آن قاب تشکیل می‌دهد، یعنی فاصله محورهای هندسی دو عضو از یکدیگر، نباید بیشتر از یک‌چهارم عرض مقطع ستون باشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ آرماتورهای طولی و عرضی

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۱ در تمامی مقاطع عضو خمشی نسبت آرماتورها، هم در پایین و هم در بالا، نباید کمتر از مقادیر $\frac{۱/۴}{f_y}$ و $\frac{۰/۲۵\sqrt{f_c}}{f_y}$ و نسبت آرماتور کششی نباید بیشتر از ۰/۰۲۵ اختیار شود. حداقل دو میلگرد با قطر مساوی یا بزرگتر از ۱۲ میلی‌متر باید هم در پایین و هم در بالای مقطع در سراسر طول ادامه یابند. ضابطه بند ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۳ در این حالت نیز معتبر است.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۲ در تکیه‌گاه‌های عضو خمشی و در هر مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته باشد، مقاومت خمشی مثبت نباید از نصف مقاومت خمشی منفی کمتر باشد. همچنین، مقاومت خمشی مثبت یا منفی در هر مقطعی در طول عضو، نباید از یک‌چهارم حداکثر مقاومت خمشی هر یک از دو انتهای عضو کمتر باشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۳ در هر عضو خمشی حداقل یک‌پنجم آرماتور موجود در مقاطع بر تکیه‌گاه‌ها، هر انتها که آماتور بیشتری دارد، باید در سراسر طول تیر در بالا و پایین ادامه داده شوند.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۴ در اعضای خمشی در طول قسمت‌های بحرانی که در زیر مشخص می‌شوند باید خاموت مطابق ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۵ به‌کار برده شود، مگر آنکه طراحی برای برش نیاز به‌آرماتور بیشتری را ایجاب‌کند:

الف) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه به‌سمت وسط دهانه
ب) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع در هر دو سمت مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیکی در اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیکی قاب وجود داشته باشد.
پ) در طولی که در آن برای تأمین ظرفیت خمشی مقطع به‌آرماتور فشاری نیاز باشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۵ خاموت‌ها و فواصل آنها از یکدیگر باید دارای شرایط (الف) و (ب) این بند باشند:

الف) قطر خاموت‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر نباشد.
ب) فاصله خاموت‌ها از یکدیگر بیشتر از مقادیر: یک‌چهارم ارتفاع مؤثر مقطع، ۸ برابر قطر کوچکترین‌آرماتور طولی، ۲۴ برابر قطر خاموت‌ها و ۳۰۰ میلی‌متر اختیار نشود.
پ) فاصله اولین خاموت از بر تکیه‌گاه بیشتر از ۵۰ میلی‌متر نباشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۶ در قسمت‌هایی از طول عضو خمشی که مطابق ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۱ – ۲ – ۴ خاموت‌گذاری نمی‌شود، فاصله خاموت‌ها از یکدیگر نباید بیشتر از نصف ارتفاع مؤثر مقطع اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ اعضای تحت فشار و خمش در قاب‌ها $(N_u > ۰/۱۵\phi_c f_c A_g)$

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۱ محدودیت‌های هندسی

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۱ – ۱ در ستون‌ها محدودیت‌های هندسی (الف) و (ب) این بند باید رعایت شوند:

الف) عرض مقطع نباید کمتر از سه‌دهم بعد دیگر آن و نباید کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد.

ب) نسبت عرض مقطع به‌طول آزاد ستون نباید از $\frac{۱}{۲۵}$ کمتر باشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ آرماتورهای طولی و عرضی

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۱ در ستون‌ها نسبت آرماتور طولی نباید کمتر از یک درصد و بیشتر از شش درصد در نظر گرفته شود. محدودیت حداکثر مقدار آرماتور باید در محل وصله‌ها نیز رعایت شود. در مواردی که آرماتور طولی از نوع فولاد S۴۰۰ است نسبت آرماتور در خارج از محل وصله‌ها به‌حداکثر چهار و نیم درصد محدود می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ فاصله محور تا محور میلگردهای طولی از یکدیگر نباید بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۳ در دو انتهای ستون‌ها به‌طول l_o باید آرماتور عرضی مطابق ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ به‌کار برده شود، مگر آنکه طراحی برای برش نیاز به‌آرماتور بیشتری را ایجاب کند. طول l_o ، ناحیه بحرانی، که از بر اتصال به‌اعضای جانبی اندازه‌گیری می‌شود نباید کمتر از مقادیر (الف) تا (پ) این بند در نظر گرفته شود:

الف) یک‌ششم ارتفاع آزاد ستون
ب) ضلع بزرگتر مقطع مستطیلی شکل ستون یا قطر مقطع دایره‌ای شکل ستون
پ) ۴۵۰ میلی‌متر

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ آماتور عرضی مورد نیاز در طول l_o باید دارای قطر حداقل ۸ میلی‌متر بوده و فواصل آنها از یکدیگر در مواردی که به‌صورت دورپیچ به‌کار گرفته می شوند از ضابطه بند ۹ – ۱۱ – ۹ – ۳ تعیین گردد. فواصل آماتورهای عرضی در مواردی که به‌صورت خاموت به‌کار می‌روند باید کمتر از مقادیر (الف) تا (ت) این بند در نظر گرفته شود:

الف) ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی ستون
ب) ۲۴ برابر قطر خاموت‌ها
پ) نصف کوچکترین ضلع مقطع ستون
ت) ۲۵۰ میلی‌متر

فاصله اولین خاموت از بر اتصال ستون به‌تیر نباید بیشتر از نصف فاصله خاموت‌ها در ناحیه بحرانی در نظر گرفته شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۵ در قسمت‌هایی از طول ستون که شامل طول l_o نمی‌شود، ضوابط میلگردگذاری عرضی مشابه ضوابط بند ۹ ـ ۱۲ ـ ۱۲ است.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۶ در ستون‌هایی که بار اعضای با سختی زیاد را تحمل می‌کنند، مانند ستون‌هایی که در زیر دیوار بتن آرمه قرار دارند، در تمام طول ستون باید آرماتور عرضی مطابق ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ به‌کار برده شود. به‌علاوه این آرماتورگذاری باید در قسمتی از آرماتور طولی ستون که به‌اندازه طول گیرایی است و در داخل دیوار قرار دارد، ادامه داده شود. ضابطه ادامه آرماتور عرضی در دیوار در مورد ستون‌هایی که روی دیوار قرار دارند نیز باید رعایت شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۷ در محل اتصال ستون به‌شالوده، آرماتور طولی ستون که به‌داخل پی برده شده است باید در طول حداقل برابر با ۳۰۰ میلی‌متر با آرماتور عرضی مطابق ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ تقویت گردد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۳ دیوارهای سازه ای، دیافراگم‌ها و خرپاها

۹ – ۲۰ – ۳ – ۳ – ۱ در دیوارهای سازه‌ای، دیافراگم‌ها و خرپاها باید ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ ، مربوط به‌سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد، و با در نظر گرفتن استثناهای بندهای ۹ – ۲۰ – ۳ – ۳ – ۲ و ۹ –۲۰ – ۳ – ۳ – ۳ رعایت شوند.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۳ – ۲ به‌جای آرماتورگذاری عرضی ویژه در هر مورد که در بندهای ۹ – ۲۰ – ۴–۳–۱ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ ضرورت پیدا کند می‌توان آرماتورگذاری عرضی مطابق ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ به‌کار برد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۳ – ۳ برای مهار و وصله میلگردها رعایت ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۶ الزامی نیست. مهار و وصله میلگردها مطابق ضوابط فصل هجدهم صورت می‌گیرد.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۴ اتصالات تیر به‌ستون‌ها در قاب‌ها

۹ – ۲۰ – ۳ – ۴ – ۱ در اتصالات تیرها به‌ستون‌ها، در طول ارتفاع تیر یا دالی که بیشترین ارتفاع را دارد و به‌محل اتصال منتهی می شود، باید در امتداد عمود بر میلگرد طولی ستون، میلگرد عرضی به‌مقدار حداقل برابر با مقادیر (الف) و (ب) این بند پیش‌بینی نمود:

الف) سطح مقطع میلگرد عرضی نباید کمتر از مقدار محاسبه‌شده از رابطه (۹–۱۲–۱۳) باشد.

ب) مقدار آرماتور عرضی نباید کمتر از دوسوم مقدار آرماتور عرضی در ناحیه l_o ستون، مطابق بند ۹ – ۲۰ – ۳ – ۲ – ۲ – ۴ باشد. فاصله سفره‌های این آرماتور از یکدیگر نباید بیشتر از یک و نیم برابر فاصله سفره‌های نظیر در ناحیه l_o اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۳ – ۵ ضوابط طراحی برای برش در اعضای قاب‌ها

۹ – ۲۰ – ۳ – ۵ – ۱ در اعضای تحت خمش و تحت نیروی محوری و خمش در قاب‌ها، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید براساس رابطه (۹ – ۱۲ – ۱) صورت گیرد. مقدار V_u در این رابطه نباید از یکی از دو مقدار (الف) و (ب) این بند کمتر در نظر گرفته شود:

الف) مجموع نیروی برشی ایجادشده در عضو در اثر بارهای قائم و نیروی برشی همساز با لنگرهای خمشی اسمی موجود در مقاطع انتهایی، با فرض تشکیل مفصل‌های پلاستیکی

ب) نیروی برشی به‌دست‌آمده از تحلیل سازه زیر اثر بارهای نهایی ناشی از بارهای قائم و نیروی جانبی زلزله با فرض آنکه نیروی زلزله مؤثر به‌سازه دو برابر مقدار تعیین‌شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان منظور شود.

۹ – ۲۰ – ۴ ضوابط سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ اعضای تحت خمش‌در قاب‌ها ($N_u \le ۰/۱۵ \phi_c f_c A_g$)

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۱ محدودیت‌های هندسی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۱ – ۱ در اعضای خمشی قاب‌ها محدودیت‌های هندسی (الف) تا (پ) این بند باید رعایت شوند:

الف) ارتفاع مؤثر مقطع نباید بیشتر از یک‌چهارم طول دهانه آزاد باشد.
ب) عرض مقطع نباید کمتر از سه‌دهم ارتفاع آن و ۲۵۰ میلی‌متر باشد.
پ) عرض مقطع نباید:

- بیشتر از عرض عضو تکیه‌گاهی، در صفحه عمود بر محور طولی عضو خمشی، به‌اضافه سه‌چهارم ارتفاع عضو خمشی در هر طرف عضو تکیه‌گاهی،
- بیشتر از عرض عضو تکیه‌گاهی، به‌اضافه یک‌چهارم بعد دیگر مقطع عضو تکیه‌گاهی در هر طرف آن.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ برون‌محوری هر عضو خمشی نسبت به‌ستونی که با آن قاب تشکیل می‌دهد، یعنی فاصله محورهای هندسی دو عضو از یکدیگر، نباید بیشتر از یک‌چهارم عرض مقطع ستون باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ آرماتور طولی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۱ در تمامی مقاطع عضو خمشی نسبت آرماتور، هم در پایین و هم در بالا، نباید کمتر از مقادیر $\frac{۱/۴}{f_y}$ و $\frac{۰/۲۵\sqrt{f_c}}{f_y}$ و نسبت آرماتور کششی نباید بیشتر از ۰/۰۲۵ اختیار شود. حداقل دو میلگرد با قطر ۱۲ میلی‌متر یا بیشتر باید هم در پایین و هم در بالای مقطع در سراسر طول تعبیه شود. ضابطه بند ۹ – ۱۱ – ۵ – ۲ – ۳ در این حالت نیز معتبر است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۲ در تکیه‌گاه‌های عضو خمشی و در هر مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته باشد، باید آرماتور فشاری به‌مقدار نصف آرماتور کششی موجود در آن مقطع تأمین گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۳ در هر عضو خمشی حداقل یک‌چهارم آرماتور موجود در مقاطع تکیه‌گاه‌ها، هر انتها که آرماتور بیشتری دارد، باید در سراسر طول تیر در بالا و در پایین ادامه داده شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۴ در اعضای خمشی T یا L شکل که با دال‌ها به‌صورت یکپارچه اجرا می‌شوند، مقدار آرماتوری که در بر ستون‌ها می‌توان برای خمش مؤثر در نظر گرفت، علاوه بر میلگرد واقع در جان تیر، به‌شرح (الف) تا (ث) این بند است:

الف) در ستون‌های داخلی وقتی که ابعاد تیر عرضی در محل اتصال به‌ستون در حدود ابعاد عضو خمشی طولی است: تمامی میلگردهایی که در عرضی از دال مساوی با چهار برابر ضخامت آن در هر طرف ستون واقع شده‌اند.

ب) در ستون‌های داخلی وقتی که ابعاد تیر عرضی وجود ندارد: تمامی میلگردهایی که در عرضی از دال مساوی دو و نیم برابر ضخامت آن در هر طرف ستون واقع شده‌اند.

پ) در ستون‌های خارجی وقتی که تیر عرضی در محل اتصال به‌ستون در حدود ابعاد عضو خمشی طولی است و لازم است میلگردهای عضو خمشی طولی مهار شوند: تمامی میلگردهایی‌که در عرضی‌از دال‌مساوی با دو برابر ضخامت‌آن‌در هر طرف ستون واقع‌شده‌اند.

ت) در ستون‌های خارجی وقتی که تیر عرضی وجود ندارد: تمامی میلگردهایی که در عرض ستون واقع شده‌اند.

ث) در تمام حالات حداقل ۷۵ درصد آرماتور فوقانی و نیز آرماتور تحتانی که ظرفیت خمشی مورد لزوم را تأمین می‌کنند باید از ناحیه هسته ستون عبور کنند و یا در آن مهار شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۵ استفاده از وصله پوششی در میلگردهای طولی خمشی فقط در شرایطی مجاز است که در تمام طول وصله آرماتور عرضی از نوع تنگ یا دورپیچ

موجود باشد. فواصل سفره‌های آرماتور عرضی دربرگیرنده وصله از یکدیگر نباید بیشتر از یک‌چهارم ارتفاع مؤثر مقطع و ۱۰۰ میلی‌متر اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۶ استفاده از وصله پوششی در محل‌های (الف) تا (پ) این بند مجاز نیست:

الف) در اتصالات تیرها به‌ستون‌ها
ب) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه
پ) در محل‌هایی که امکان تشکیل مفصل پلاستیک در آنها بر اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیک قاب موجود باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۷ وصله‌های جوشی یا مکانیکی مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۶ و ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۷ به‌شرطی مجاز است که وصله میلگرد در هر سفره میلگرد به‌صورت یک در میان انجام شود و فاصله وصله‌ها در میلگردهای مجاور یکدیگر در امتداد طول عضو، کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر نباشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ آرماتور عرضی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۱ در اعضای خمشی در طول قسمت‌های بحرانی که در زیر مشخص می‌شوند، آرماتور عرضی باید از نوع تنگ ویژه بوده و شرایط آن مطابق بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۲ در نظر گرفته شود، مگر آنکه طراحی برای برش نیاز به‌آرماتور بیشتری را ایجاب کند:

الف) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع از بر تکیه‌گاه به‌سمت وسط دهانه
ب) در طولی معادل دو برابر ارتفاع مقطع در دو سمت مقطعی که در آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک در اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیک قاب وجود داشته باشد.

پ) در طولی که در آن برای تأمین ظرفیت خمشی مقطع به‌میلگرد فشاری نیاز باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۲ تنگ‌های ویژه و فواصل آنها از یکدیگر باید دارای شرایط (الف) تا (پ) این بند باشند:

الف) قطر تنگ‌ها کمتر از ۸ میلی‌متر نباشد.

ب) فاصله تنگ‌ها از یکدیگر بیشتر از مقادیر: یک‌چهارم ارتفاع مؤثر مقطع، ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی، ۲۴ برابر قطر خاموت‌ها و ۳۰۰ میلی‌متر اختیار نشود.

پ) فاصله اولین تنگ از بر تکیه‌گاه بیشتر از ۵۰ میلی‌متر نباشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۳ در قسمت‌هایی از طول عضو خمشی که مطابق ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۱ تنگ ویژه به‌کار برده می‌شود، میلگردهای طولی در محیط مقطع باید دارای تکیه‌گاه عرضی باشند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۴ در قسمت‌هایی از طول عضو خمشی که به‌تنگ ویژه نیاز نیست، خاموت‌ها باید در دو انتها دارای قلاب ویژه بوده و فاصله آنها از یکدیگر کمتر یا مساوی نصف ارتفاع مؤثر باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ – ۵ تنگ‌های ویژه در اعضای خمشی را می‌توان با دو قطعه میلگرد ساخت. یک میلگرد به‌شکل U که در دو انتها دارای قلاب ویژه باشند و میلگرد دیگر به‌شکل قلاب دوخت که با میلگرد اول یک تنگ بسته تشکیل دهد. خم ۹۰ درجه قلاب‌های دوخت متوالی که یک میلگرد طولی را در برمی‌گیرند، باید به‌طور یک در میان در دو سمت عضو خمشی قرار داده شوند. چنانچه میلگردهای طولی که توسط قلاب‌های دوخت نگهداری شده‌اند در داخل یک دال که تنها در یک سمت عضو خمشی قرار دارد محصور باشند، خم ۹۰ درجه قلاب‌های دوخت را می‌توان در آن سمت، در دال، قرار داد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ اعضای تحت اثر توأم فشار و خمش در قاب‌ها

$(N_u \leq ۰/۱۵ \phi_c f_c A_g)$

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۱ محدودیت‌های هندسی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۱ – ۱ در این اعضا محدودیت‌های هندسی (الف) و (ب) این بند باید رعایت شوند:

الف) عرض مقطع نباید کمتر از چهاردهم بعد دیگر آن و نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد.

ب) نسبت عرض مقطع به‌طول آزاد عضو آن در اعضایی که زیر اثر لنگرهای خمشی موجود در دو انتها در دو جهت خم می‌شوند نباید کمتر از $\frac{۱}{۱۶}$ و در اعضای طره‌ای نباید کمتر از $\frac{۱}{۱۰}$ باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ آرماتور طولی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۱ در این اعضا نسبت آرماتور طولی نباید کمتر از یک درصد و بیشتر از شش درصد در نظر گرفته شود. محدودیت حداکثر مقدار آرماتور باید در محل وصله‌ها نیز رعایت شود. در مواردی که آرماتور طولی از نوع فولاد S۴۰۰ است، نسبت آرماتور در خارج از محل وصله‌ها به‌حداکثر چهار و نیم درصد محدود می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۲ فاصله محور تا محور میلگردهای طولی از یکدیگر نباید بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۳ استفاده از وصله پوششی در میلگردهای طولی فقط در نیمه میانی طول ستون مجاز است. طول پوشش این وصله‌ها باید برای وصله‌های کششی در نظر گرفته شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۴ در صورتی‌که در هر مقطع از ستون، میلگردهای طولی به‌صورت حداکثر یک در میان وصله شوند، محل وصله‌ها می‌تواند در هر قسمت از طول ستون به‌جز در طول مفصل پلاستیک و در مجاورت اتصال‌های تیر به‌ستون باشد. در این حالت لازم نیست طول پوشش این وصله‌ها از طول وصله‌های کششی بیشتر در نظر گرفته شود. استفاده از میلگردگذاری عرضی ویژه مطابق ضوابط بند ۹-۲۰-۴-۲-۳-۲ در وصله‌هایی که خارج از نیمه میانی ستون واقع شده‌اند الزامی است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۲ – ۶ وصله‌های جوشی یا مکانیکی، مطابق ضوابط بند ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۶ و ۹ – ۱۸ – ۴ – ۱ – ۷ در میلگردهای طولی به‌شرطی مجاز است که وصله میلگردها در هر مقطع به‌صورت یک در میان انجام شود و فاصله وصله‌ها در میلگردهای مجاور یکدیگر، در امتداد طول ستون، کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر نباشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ آرماتور عرضی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۱ در ستون‌ها قسمت‌هایی از دو انتهای آنها به‌طول l_o «ناحیه بحرانی» تلقی شده و در آنها باید آرماتورگذاری عرضی ویژه مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ انجام شود، مگر آنکه طراحی برای برش نیاز به‌میلگرد بیشتری را ایجاب‌کند. طول l_o که از بر اتصال به‌اعضای جانبی اندازه‌گیری می‌شود. نباید کمتر از مقادیر (الف) تا (پ) این بند در نظر گرفته شود:

الف) یک‌ششم ارتفاع یا دهانه آزاد عضو
ب) ضلع بزرگتر مقطع مستطیلی شکل یا قطر مقطع دایره‌ای شکل
پ) ۴۵۰ میلی‌متر

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۲ مقدار آرماتور عرضی لازم در ناحیه بحرانی براساس ضوابط زیر تعیین می‌شود:

الف) در ستون‌های با مقطع دایره نسبت حجمی آرماتور دورپیچ یا تنگ‌های حلقوی، ρ_s نباید کمتر از دو مقدار زیر باشد:

$$\rho_s = ۰/۱۲ \frac{f_c}{f_{yh}} \qquad (۹ - ۲۰ - ۱)$$

$$\rho_s = ۰/۴۵ (\frac{A_g}{A_c} - ۱) \frac{f_c}{f_{yh}} \qquad (۹ - ۲۰ - ۲)$$

ب) در ستون‌های با مقطع مربع مستطیل سطح مقطع کل تنگ‌های ویژه در هر امتداد، A_{sh}، نباید کمتر از دو مقدار زیر باشد:

$$A_{sh} = ۰/۳ (s.h_c \frac{f_c}{f_{yh}})(\frac{A_g}{A_{ch}} - ۱) \qquad (۹ - ۲۰ - ۳)$$

$$A_{sh} = ۰/۰۹ \, s.h_c \frac{f_c}{f_{yh}} \qquad (۹ - ۲۰ - ۴)$$

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۳ در ستون‌هایی که مقاومت هسته ستون به‌تنهایی جوابگوی بارهای وارده از جمله بارهای ناشی از زلزله می‌باشد، نیازی به‌کنترل روابط ۹ – ۲۰ – ۲ و ۹ – ۲۰ – ۳ نیست.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۴ قطر میلگردهای عرضی در ناحیه بحرانی نباید کمتر از ۸ میلی‌متر باشد. فاصله سفره میلگردها از یکدیگر نباید بیشتر از مقادیر (الف) تا (پ) این بند باشد:

الف) یک‌چهارم ضلع کوچکتر مقطع ستون
ب) شش برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی
پ) ۱۲۵ میلی‌متر

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۵ آرماتور عرضی در ناحیه بحرانی را می‌توان با تنگ‌های ویژه یکپارچه و یا تنگ‌های ویژه چند قطعه‌ای که با یکدیگر پوشش دارند ساخت. همچنین می‌توان از میلگردهای رکابی با قطر و فاصله مشابه تنگ‌ها که دارای خم ۹۰ درجه در یک انتهای آن است استفاده کرد. هر دو انتهای میلگردهای رکابی باید در برگیرنده یک میلگرد طولی باشد و محل خم ۹۰ درجه آن باید در امتداد میلگرد طولی یک در میان عوض شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ در هر مقطع‌عضو فاصله‌میلگرد رکابی‌یا ساق‌های‌تنگ‌ها از یکدیگر در جهت‌عمود بر محور طولی‌عضو، نباید بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۷ در عضوهایی‌که بر اثر تغییرمکان جانبی غیرالاستیک قاب در مقطعی غیر از مقاطع انتهایی آن امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود داشته باشد، در هر سمت آن‌مقطع طولی به‌اندازه l_o ناحیه بحرانی تلقی شده و در آن باید میلگردگذاری عرضی ویژه اجرا شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۸ در عضوهایی که بار اعضای با سختی زیاد را تحمل می‌کنند، مانند عضوهای واقع در زیر دیوار بتن آرمه، در تمام طول عضو باید آرماتورگذاری عرضی ویژه اجرا شود. به‌علاوه این آرماتورگذاری باید در قسمتی از آرماتور طولی عضو که به‌اندازه طول گیرایی است و در داخل دیوار قرار دارد، ادامه داده شود. ضابطه ادامه آرماتورگذاری عرضی ویژه در دیوار، در مورد عضوهایی‌که روی دیوار قرار دارند نیز باید رعایت شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۹ در عضوهایی که قسمتی از ارتفاع آنها با یک دیوار بتنی گرفته شده است، در تمام قسمت آزاد عضو باید آرماتورگذاری ویژه اجرا شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۱۰ در محل اتصال عضو به‌شالوده، آرماتور طولی عضو که به‌داخل شالوده برده شده است باید در طولی حداقل برابر با ۳۰۰ میلی‌متر با آرماتورگذاری عرضی ویژه تقویت گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۱۱ در قسمت‌هایی از طول عضو که آرماتورگذاری عرضی ویژه اجرا نمی‌شود باید آرماتور عرضی به‌صورت دورپیچ یا تنگ ویژه به‌قطر ۸ میلی‌متر به‌کار برده شود. فاصله سفره‌های این میلگردها از یکدیگر باید براساس نیاز طراحی برای برش تعیین شوند ولی‌در هر حال این فاصله نباید بیشتر از نصف ضلع کوچکتر مقطع مستطیلی شکل عضو، نصف قطر مقطع دایره‌ای شکل عضو، شش برابر قطر میلگرد طولی و یا ۲۰۰ میلی‌متر اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ حداقل مقاومت خمشی ستون‌ها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۱ در تمامی اتصالات تیرها به ستون‌ها، به‌جز موارد گفته شده در بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۲ و ۹ – ۲۰ – ۴– ۲ – ۴ – ۳، لنگرهای خمشی مقاوم ستون‌ها باید در رابطه زیر صدق‌کنند:

$$\sum M_c \geq ۱/۲ \sum M_g \qquad (۹ – ۲۰ – ۵)$$

در این‌رابطه:

ΣM_c = مجموع لنگرهای مقاوم خمشی ستون‌ها در بالا و پایین اتصال است که در مرکز اتصال محاسبه شده باشند. لنگرهای مقاوم خمشی ستون‌ها باید برای نامساعدترین حالت بار محوری، در جهت بارگذاری جانبی مورد نظر، که کمترین مقدار لنگرها را به‌دست دهد، محاسبه شوند.

ΣM_g = مجموع لنگرهای مقاوم خمشی تیرها در دو سمت اتصال است که در مرکز اتصال محاسبه شده باشند.

جمع لنگرها در رابطه (۹ – ۲۰ – ۵) باید چنان صورت گیرد که لنگرهای ستون‌ها در جهت مخالف لنگرهای تیرها قرار گیرند. رابطه (۹ – ۲۰ – ۵) باید در حالاتی که لنگرهای خمشی تیرها در دو جهت در صفحه قائم قاب، عمل نمایند برقرار باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۲ چنانچه تعداد ستون‌های موجود در یک طبقه در یک قاب بیشتر از ۴ عدد باشند، از هر چهارستون یک ستون می‌تواند رابطه (۹ – ۲۰ – ۵) را ارضا نکند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۳ ستون‌های قاب‌های یک و دو طبقه و نیز ستون‌های طبقه آخر در قاب‌های چند طبقه می‌توانند رابطه (۹ – ۲۰ – ۵) را ارضا نکنند. در این صورت این ستون‌ها باید ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۴ را ارضا کنند. این‌ستون‌ها مشمول ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۵ نمی‌شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۴ چنانچه ستونی رابطه (۹ – ۲۰ – ۵) را ارضا نکند، باید در تمام طول دارای میلگردگذاری عرضی ویژه مطابق ضوابط بندهای ۹–۲۰–۴–۲–۳–۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۵ چنانچه ستونی ضابطه بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۴ – ۱ را تأمین نکند باید از کمک آن به‌سختی جانبی و مقاومت سازه در مقابل بار جانبی زلزله صرف‌نظر شود. این ستون در هر حال باید ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ را تأمین نماید.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ دیوارهای سازه‌ای، دیافراگم‌ها و خرپاها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ محدودیت‌های هندسی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۱ در دیوارهای سازه‌ای محدودیت‌های هندسی (الف) و (ب) این بند باید مورد توجه قرار گیرند:

الف) ضخامت دیوار نباید کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر اختیار شود.
ب) در دیوارهایی که در آنها اجزای مرزی مطابق بند ۹-۲۰-۴-۳-۳ به‌کار گرفته می‌شود، عرض عضو مرزی نباید کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۲ در دیوارهای سازه‌ای باید تا حد امکان از ایجاد بازشوهای با ابعاد بزرگ خودداری‌کرد. در مواردی‌که ایجاد این بازشوها اجتناب‌ناپذیر باشد باید موقعیت هندسی آنها را طوری در نظر گرفت که دیوار بتواند به‌صورت دیوارهای همبسته عمل نماید. در غیر این‌صورت باید با کمک تحلیل دقیق یا آزمایش‌های مناسب اثر وجود بازشو در عملکرد دیوار بررسی شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۳ در دیافراگم‌هایی که بازشوهای با ابعاد بزرگ در آنها وجود دارد، شکل و موقعیت بازشو نباید روی سختی جانبی دیافراگم اثر تعیین‌کننده داشته باشد. رفتار دیافراگم‌ها در هر حالت باید با فرض‌های تحلیل در ارتباط با درجه صلبیت آنها مطابقت داشته باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۴ در طراحی دیوارهای با مقطع U و T عرض مؤثر بال، اندازه‌گیری‌شده از برجان در هر سمت، که در محاسبات به‌کار برده می‌شود نباید بیشتر از مقادیر (الف) و (ب) این بند در نظر گرفته شود، مگر آنکه با تحلیل دقیق‌تر بتوان مقدار آن را تعیین کرد:

الف) نصف فاصله بین جان دیوار تا جان دیوار مجاور
ب) ده درصد ارتفاع کل دیوار

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۵ ضخامت دیافراگم‌های بتن آرمه در جا یا دال‌های بتنی رویه تیرهای فولادی یا قطعات پیش‌ساخته بتن آرمه که به‌صورت مرکب عمل نموده و از آنها به‌عنوان دیافراگم برای انتقال و توزیع نیروی زلزله استفاده می‌شود نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۱ – ۶ دال‌های بتن آرمه که روی کف‌های مرکب از قطعات پیش‌ساخته ریخته می‌شوند را می‌توان به‌عنوان دیافراگم منظور نمود، مشروط بر آنکه اتصالات این دال‌ها به‌دستک‌ها، کلاف‌ها، جمع‌کننده‌ها و سیستم‌های مقاوم چنان طراحی گردند که قادر به‌انتقال نیروهای وارده باشند. سطوح بتن‌های پیش‌ساخته در محل اتصال با دال بتن آرمه درجا باید زبر، تمیز و عاری از مواد اضافی باشند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ آرماتورهای قائم و افقی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۱ در دیوارهای سازه‌ای نسبت آرماتور در هیچ یک از دو امتداد قائم و افقی نباید کمتر از ۰/۲۵ درصد باشد، مگر آنکه نیروی برشی نهایی موجود در مقطع دیوار از $۰/۵A_{cv}V_c$ کمتر باشد. در این حالت برای حداقل میلگرد مورد نیاز در دیوار باید ضوابط بند ۹ – ۱۶ – ۴ در فصل شانزدهم رعایت شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۲ نسبت میلگرد قائم در هیچ ناحیه از طول دیوار نباید از چهار درصد بیشتر باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۳ فاصله محور تا محور میلگردها از یکدیگر در هر دو امتداد قائم و افقی نباید بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر اختیار شود.

در اجزای مرزی فاصله میلگردهای قائم نباید بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۴ در دیوارهایی‌که نیروی برشی نهایی در مقطع آنها از $A_{cv}V_c$ بیشتر است به‌کارگیری دو شبکه میلگرد الزامی است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۵ در اعضای خرپاها، دستک‌ها، کلاف‌ها، و اجزای جمع‌کننده نیروها که در آنها تنش فشاری بتن بیشتر از $۰/۲f_c$ باشد باید در سراسر طول قطعه، میلگردگذاری عرضی ویژه مطابق بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ انجام شود. این میلگردگذاری را در قسمت‌هایی از طول قطعه که در آنها تنش فشاری بتن از $۰/۲۵\phi_c f_c$ کمتر باشد می‌توان قطع کرد. تنش فشاری موجود در قطعه زیر اثر بارهای نهایی و با فرض توزیع خطی تنش در مقطع و براساس مشخصات مقطع ترک‌نخورده محاسبه می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۲ – ۶ تمامی میلگردهای ممتد در دیوارهای سازه‌ای، دیافراگم‌ها، خرپاها، دستک‌ها، کلاف‌ها و اعضای جمع‌کننده نیروها باید به‌عنوان میلگردهای کششی مطابق ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ مهار یا وصله شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ اجزای مرزی در دیوارهای سازه‌ای و در دیافراگم‌ها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۱ در کناره‌ها و اطراف بازشوها در دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها که در آنها تنش فشاری بتن در دورترین تار فشاری مقطع تحت اثر بارهای‌نهایی، به‌انضمام اثر زلزله، از $۰/۲f_c$ بیشتر باشد باید اجزای لبه مطابق ضوابط

بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۴ پیش‌بینی شود. مگر آنکه در تمام طول دیوار یا دیافراگم میلگردگذاری عرضی ویژه پیش‌بینی شده باشد. اجزای مرزی را می‌توان در قسمت‌هایی که تنش فشاری بتن در آنها از $۰/۱۵f_c$ کمتر باشد قطع کرد. تنش فشاری بتن با فرض توزیع خطی تنش در مقطع دیوار و براساس مشخصات مقطع ترک‌نخورده محاسبه می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۲ اجزای مرزی در دیوارها باید در حالت حدی نهایی مقاومت برای مجموع بارهای قائم وارد به‌دیوار شامل بارهای اجزای مرتبط با دیوار و وزن دیوار و نیروی محوری ناشی از لنگر واژگونی حاصل از نیروهای جانبی زلزله طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۳ اجزای مرزی در دیافراگم‌ها باید در حالت حدی نهایی مقاومت برای مجموع نیروهای محوری که در صفحه دیافراگم عمل می‌کنند و نیروی محوری ناشی از تقسیم لنگر خمشی موثر در مقطع دیافراگم به‌فاصله بین دو جزء لبه‌های دیافراگم در آن مقطع طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۴ اجزای مرزی باید در سراسر طول خود مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ آرماتورگذاری عرضی ویژه شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۵ در دیوارهایی که دارای اجزای لبه‌ای هستند، میلگردهای افقی دیوار باید در ناحیه محصور شدهٔ اجزای لبه مهار شوند، به طوری‌که امکان به‌وجود آمدن تنش کششی در حد مقاومت تسلیم در آنها میسر گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۳ – ۶ در دیوارهایی که دارای اجزای مرزی نیستند آرماتورهای افقی دیوار باید به‌قلاب استاندارد ختم شوند و میلگردهای قائم لبه‌های دیوار را در

برگیرند. در غیر این‌صورت صورت میلگردهای قائم لبه دیوار باید به‌وسیله رکابی‌هایی که دارای قطر و فاصله مشابه میلگرد افقی هستند و به آنها وصله می‌شوند، نگهداری شوند. درمواردی‌که نیروی برشی نهایی در مقطع دیوار $۰/۵ A_{cv} V_c$ کمتر است، رعایت ضوابط این بند الزامی نیست.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ تیرهای همبند در دیوارهای همبسته

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ – ۱ تیرهای همبند در دیوارهای همبسته که در آنها نیروی برشی نهایی از $۲A_{cv}V_c$ بیشتر و نسبت طول دهانه آزاد به‌ارتفاع مقطع آنها از ۳ کمتر باشد، باید مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰– ۴–۳– ۴ – ۲ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ – ۳ آرماتورگذاری شوند، در غیر این‌صورت آرماتورگذاری در این تیرها مطابق ضوابط قطعات خمشی انجام می‌شود. عرض این تیرها در هیچ حالت نباید کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر اختیار شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ – ۲ مقاومت برشی در تیرهای همبند باید کلاً به‌وسیله آرماتورهای قطری که به‌صورت ضربدری و متقارن در سراسر طول تیر ادامه داشته و در دیوارهای طرفین تیر در طولی به‌اندازه یک و نیم برابر طول گیرایی میلگردها مهار می‌شوند، تأمین‌گردد. سطح مقطع آرماتور قطری در هر یک از شاخه‌های ضربدری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{vd} = \frac{V_u}{۲\phi_s f_y \sin\alpha} \qquad (۹ – ۲۰ – ۷)$$

در این رابطه α زاویه بین میلگرد قطری و محور طولی‌تیر است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ – ۳ آرماتورهای قطری باید به‌وسیله میلگردهای عرضی به‌صورت دورپیچ یا تنگ با قطر حداقل ۸ میلی‌متر محصور شوند، حداکثر فاصله میلگردهای عرضی از یکدیگر برابر با کوچکترین سه مقدار (الف) تا (پ) این بند است:

الف) ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد قطری
ب) ۲۴ برابر قطر تنگ‌ها یا دورپیچ‌ها
پ) ۱۲۵ میلی‌متر

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۴ – ۴ مقاومت خمشی تأمین‌شده توسط میلگردهای قطری را می‌توان در محاسبه ظرفیت خمشی تیر همبند منظور کرد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۵ درزهای اجرایی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۳ – ۵ – ۱ تمامی درزهای اجرایی در دیوارها و دیافراگم‌ها باید ضوابط قسمت ۹ – ۹ – ۷ را تأمین‌کند. سطح این درزها باید زبری گفته‌شده در بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۵ را دارا باشند. ضوابط طراحی درزهای اجرایی برای برش در بند ۹ – ۱۲ – ۱۳ – ۳ – ۲ آمده است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ اتصالات تیر به‌ستون در قاب‌ها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۱ ضوابط کلی طراحی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۱ – ۱ طراحی اتصالات تیرها به‌ستون‌ها در قاب‌ها برای برش باید براساس رابطه (۹ – ۱۲ – ۱) صورت گیرد. مقادیر V_u و V_r در این رابطه باید طبق ضوابط بندهای ۹–۲۰–۴ – ۴ – ۱ – ۲ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۱ – ۳ تعیین شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۱ – ۲ نیروی برشی نهایی موثر به‌اتصال، V_u ، باید براساس بیشترین نیروی کششی که ممکن است در میلگردهای کششی تیرهای دو سمت اتصال و نیز برش موجود در ستون‌های بالا و پایین اتصال پدید آید، محاسبه‌گردد. برای تعیین این مقادیر فرض می‌شود در تیرهای دو سمت اتصال مفصل‌های پلاستیک با ظرفیت‌های خمشی مثبت یا منفی برابر با لنگرهای خمشی مقاوم محتمل، M_{pr}، در مقاطع بر اتصال تشکیل شده باشند. جهت‌های این لنگرها باید به‌صورتی در نظر گرفته شوند که بیشترین برش در اتصال ایجاد شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۱ – ۳ نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال، V_r ، را می‌توان با شرط رعایت ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ حداکثر برابر با مقادیر (الف) تا (پ) این بند در نظر گرفت:

الف) برای اتصالات محصورشده در چهار سمت $۱۲A_jv_c$

ب) برای اتصالات محصورشده در سه سمت و یا در دو سمت مقابل هم $۹A_jv_c$

پ) برای سایر اتصالات $۷/۵A_jv_c$

یک اتصال زمانی توسط نیرویی که به‌یک وجه آن می‌رسد محصورشده تلقی می‌گردد که تیر حداقل سه‌چهارم سطح آن اتصال را پوشانده باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ آرماتورگذاری

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ – ۱ در تمامی اتصالات به‌جز آنهایی که در بند ۹–۲۰–۴–۴–۲– ۲ گفته شده‌اند، باید آرماتورگذاری عرضی ویژه مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳–۲ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۶ به‌کار برده شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ – ۲ در اتصالاتی که در چهار سمت توسط تیرها محصور شده‌اند و عرض تیرها کمتر از سه‌چهارم بعد ستونی‌که به آن متصل می‌شوند، نیستند، باید در طولی به‌اندازه کوتاه‌ترین ارتفاع تیر در اتصال آرماتورگذاری عرضی ویژه، مساوی با نصف آنچه در بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ – ۱ گفته شد، به‌کار برده شود. فاصله آرماتورهای عرضی در این اتصالات را می‌توان تا ۱۵۰ میلی‌متر افزایش داد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ – ۳ آرماتورهای طولی تیرها که به‌ستون ختم می‌شوند باید تا انتهای دیگر هسته محصورشده ستون ادامه یابند و در صورت کشش‌پذیربودن مطابق ضوابط بند۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ و در صورت فشاری بودن مطابق ضوابط فصل هجدهم مهار شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ – ۴ در تیرهایی که آرماتور طولی آنها از داخل هسته محصورشده ستون عبور نمی‌کنند، درصورتی‌که این آرماتورها توسط تیر دیگری که به‌اتصال می‌رسد محصورنشده باشند، باید در سراسر طول آرماتور طولی که در خارج از هسته ستون قرار دارند آرماتورگذاری عرضی ویژه اجرا شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ طول گیرایی میلگردهای کششی

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ – ۱ طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار، l_{dh}، که خم آنها ۹۰ درجه است باید با استفاده از رابطه (۹ – ۱۸ – ۵) در نظر گرفته شود. طول گیرایی قلاب همچنین نباید کمتر از مقادیر: ۸ برابر قطر میلگرد و ۱۵۰ میلی‌متر اختیار گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ – ۲ قلاب‌ها باید در هسته محصورشده ستون‌ها و یا در اجزای لبه دیوارها مهار شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ – ۳ طول گیرایی میلگردهای مستقیم، l_d ، در میلگردهای تحتانی، مطابق تعریف بند ۹ – ۱۸ – ۲ – ۴ – ۱ ، نباید کمتر از ۲/۵ برابر طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار و در میلگردهای فوقانی نباید کمتر از ۳/۵ برابر طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار منظور گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۳ – ۴ میلگردهای مستقیمی‌که به‌یک اتصال ختم می‌شوند باید از داخل هسته محصورشده ستون و یا جزء لبه دیوار عبور داده شوند. طول گیرایی برای آن قسمت از میلگردهایی که در خارج از هسته محصورشده قرار دارند باید به‌اندازه ۱/۶ برابر افزایش داده شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ ضوابط طراحی برای برش

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ اعضای تحت خمش و تحت فشار و خمش در قاب‌ها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۱ در اعضای تحت خمش و تحت فشار و خمش در قاب‌ها، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید براساس رابطه ۹ – ۱۲ – ۱ صورت گیرد. مقادیر V_u و V_r در این رابطه باید بر طبق ضوابط بندهای ۹–۲۰–۴– ۵ –۱– ۲ تا ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۴ محاسبه شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۲ نیروی برشی نهایی، V_u ، در اعضای خمشی باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای قائم و لنگرهای خمشی موجود در مقاطع انتهایی عضو با فرض آنکه در این مقاطع مفصل‌های پلاستیک تشکیل شده‌اند، تعیین شود. ظرفیت خمشی مفصل‌های پلاستیک، مثبت یا منفی باید برابر با لنگر خمشی مقاوم محتمل مقطع، M_{pr}، در نظر گرفته شود. جهت‌های این لنگرهای خمشی باید چنان در نظر گرفته شوند که نیروی برشی ایجادشده در عضو بیشترین باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۳ نیروی برشی نهایی، V_u ، در اعضای تحت فشار و خمش باید برابر با کمترین دو مقدار (الف) و (ب) این بند نظر گرفته شود ولی این نیرو در هیچ حالت نباید کمتر از مقدار نیروی برشی باشد که از تحلیل سازه زیر اثر بارهای نهایی ناشی از بارهای قائم و نیروی جانبی زلزله به‌دست آمده است.

الف) نیروی برشی ایجادشده در عضو زیر اثر نیروهای استاتیک وارد به‌آن شامل بارهای قائم – در صورت وجود – و لنگرهای خمشی موجود در مقاطع انتهایی آن با فرض آنکه در این مقاطع مفصل‌های پلاستیک تشکیل شده باشد، می‌گردد. ظرفیت خمشی مفصل‌های پلاستیک، مثبت یا منفی، باید برابر لنگر خمشی مقاوم محتمل مقطع، M_{pr}، در نظر گرفته شود و در تعیین آن باید نامساعدترین نیروی محوری نهایی موجود که در عضو منتج به‌بیشترین لنگر خمشی می‌شود، منظور گردد. جهت‌های این لنگرهای خمشی باید چنان در نظر گرفته شود که نیروی برش ایجادشده در عضو بیشترین باشد.

ب) نیروی برشی ایجادشده در عضو با فرض آنکه در تیرهای متصل به دو انتهای عضو، در مقاطع مجاور به اتصال‌ها، مفصل‌های پلاستیکی با مشخصات‌گفته‌شده در بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۲ تشکیل شده باشند. جهت‌های این لنگرهای خمشی باید چنان در نظر گرفته شوند که نیروی برش ایجادشده در عضو مورد نظر بیشترین باشد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۴ مقاومت برشی نهایی مقاطع میله‌ای، V_r ، باید براساس رابطه ۹ – ۱۲ – ۲ محاسبه شود. در اعضایی از قاب که در آنها نیروی فشار محوری کمتر از $۰/۰۷۵\phi_c f_c A_g$ باشد و نیروی برشی ناشی از زلزله در نواحی بحرانی تیرها، مطابق بند ۹ – ۲۰ –۴– ۵ –۱ – ۳ ، و در نواحی l_o ، ستون‌ها، مطابق بند ۹–۲۰– ۴– ۵ –۱–۳، بزرگتر از نصف نیروی برشی طرح، V_u ، باشد نیروی برشی مقاوم بتن، V_c ، در این نواحی مساوی با صفر منظور می‌گردد. منظور از نیروی برشی ناشی از زلزله، نیروی برشی ایجادشده در عضو به‌علت اختلاف لنگرهای خمشی موجود در مفصل‌های پلاستیکی ایجادشده در دو انتهای عضو برطبق ضوابط بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۲ است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۱ – ۵ خاموت‌هایی که برای مقاومت در برابر برش به‌کار برده می‌شوند، در قسمت‌های خاصی از عضو که در بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۳ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۴ – ۲ مشخص شده‌اند، باید از نوع تنگ ویژه باشند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۱ در دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید براساس رابطه زیر صورت‌گیرد:

$$V_u = \leq \phi_n / V_r \qquad (۹ – ۲۰ – ۸)$$

در این رابطه V_u نیروی برشی نهایی است که از تحلیل سازه زیر اثر بارهای نهایی ناشی از بارهای قائم و بارهای جانبی زلزله به‌دست آمده است و V_r مقاومت برشی نهایی مقطع است که مطابق بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۲ محاسبه می‌شود. ϕ_n ضریب اصلاحی مقاومت است که در این قطعات مساوی با ۰/۷ منظور می‌گردد.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۲ مقاومت برشی نهایی مقطع، V_r ، با استفاده از رابطه (۹ – ۲۰ – ۹) محاسبه می‌شود:

$$V_r = A_{cv}(\alpha_c v_c + \phi_s \rho_n f_y) \qquad (۹ – ۲۰ – ۹)$$

در این روابط α_c ضریبی است که به‌شرح (الف) تا (پ) این بند در نظر گرفته می‌شود:

الف) در دیوارها و دیافراگم‌هایی‌که در آنها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ بزرگتر یا مساوی ۲ است،

$$\alpha_c = ۱$$

ب) در دیوارها و دیافراگم‌هایی که در آنها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ کوچکتر یا مساوی ۱/۵ است،

$$\alpha_c = ۱/۵$$

پ) در دیوارها و دیافراگم‌هایی‌که در آنها نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ بین ۱/۵ و ۲ است، ضریب α_c با درون‌یابی خطی بین اعداد فوق تعیین می‌شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۳ در تعیین مقاومت برشی نهایی مقطع در قطعات یک دیوار یا یک دیافراگم مقدار ضریب α_c باید برای بیشترین مقدار $\frac{h_w}{l_w}$ در کل دیوار یا دیافراگم و در قطعه مورد نظر محاسبه شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۴ میلگردهای برشی در دیوار یا دیافراگم باید در صفحه دیوار یا دیافراگم در دو جهت عمود بر هم توزیع شوند به‌طوری‌که در این دو جهت مقاومت برشی ایجاد نمایند. در مواردی‌که نسبت $\frac{h_w}{l_w}$ کمتر از ۲ است نسبت میلگرد قائم، ρ_v ، نباید کمتر از نسبت میلگرد افقی برشی، ρ_n ، در نظر گرفته شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۵ مقاومت برشی نهایی مقطع، V_r ، در دیوارهایی که متشکل از تعدادی پایه‌های دیوارگونه‌اند و به‌طور مشترک نیروی جانبی واحدی را تحمل می‌کنند نباید بیشتر از $^{۴}A_{cv}V_c$ در نظر گرفته شود. در این دیوارها مقاومت برش نهایی مقطع هر پایه دیوارگونه نیز نباید بیشتر از $^{۵}A_{cp}v_c$ منظور گردد. A_{cp} سطح مقطع هر پایه دیوارگونه و A_{cv} مجموع سطح مقطع‌های این پایه‌هاست.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ – ۲ – ۶ مقاومت برش نهایی مقطع در قطعات افقی در دیوارها، نظیر تیرهای رابط در دیوارهای همبسته نباید بیشتر از $^{۵}A_{cp}v_c$ در نظر گرفته شود. A_{cp} سطح مقطع قطعه افقی دیوار است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ اعضایی از قاب‌ها که برای تحمل نیروهای زلزله طراحی نمی‌شوند

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۱ اعضایی از قاب‌ها که برای تحمل نیروهای زلزله به‌کار گرفته نمی‌شوند باید با توجه به‌لنگرهای خمشی ایجادشده در آنها زیر اثر تغییرمکان جانبی مساوی دو برابر آنچه در زیر اثر بار نهایی در سازه ایجاد می‌شود، براساس ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۱ – ۱ و ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۱ – ۲ طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۱ – ۱ چنانچه لنگر خمشی ایجادشده در عضو بیشتر از لنگر خمشی مقاوم عضو، M_r ، باشد در اعضای خمشی باید ضابطه آرماتورگذاری طولی بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۱ و در اعضای تحت فشار و خمش باید ضوابط آرماتورگذاری عرضی بند ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ رعایت شود. به‌علاوه تمامی این اعضا باید براساس ضوابط قسمت ۹ – ۲۰ – ۴ – ۵ برای برش طراحی شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ چنانچه لنگر خمشی ایجادشده در عضو کمتر از لنگر خمشی مقاوم عضو، M_r ، باشد در اعضای خمشی باید ضابطه آرماتورگذاری طولی بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۱ – ۲ – ۱رعایت شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۱ تمامی اعضای تحت فشار و خمش که در آنها ضوابط آرماتورگذاری عرضی مطابق بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ رعایت نشده باشد، باید مطابق ضوابط بندهای ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۱ تا ۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۳ آرماتورگذاری شوند.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۲ خاموت‌ها باید دارای قلاب‌های با زاویه حداقل ۱۳۵درجه و طول مستقیم به‌اندازه حداقل ۶ برابر قطر خاموت‌ها یا ۶۰ میلی‌متر باشد. استفاده از قلاب‌های دوخت مطابق تعریف این فصل نیز بلامانع است.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۳ در دو انتهای عضو در طولی برابر با $l_{\circ}$ ، مطابق تعریف بند ۹ – ۲۰ – ۴ – ۲ – ۳ – ۱، فاصله سفره‌های آرماتور عرضی از یکدیگر نباید بیشتر از مقادیر (الف) تا (پ) این بند در نظر گرفته شود:

الف) ۸ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی
ب) ۲۴ برابر قطر خاموت‌ها
پ) نصف کوچکترین ضلع مقطع عضو

فاصله اولین خاموت از بر اتصال عضو به‌تیر نباید بیشتر از نصف مقادیر فوق در نظر گرفته شود.

۹ – ۲۰ – ۴ – ۶ – ۲ – ۳ در قسمتی از طول عضو که شامل طول $l_{\circ}$ نمی‌شود، ضوابط آرماتورگذاری عرضی مشابه ضوابط ستون‌های عادی است.

فهرست مراجع

۱. ACI Committee ۲۰۱, "Guide to Durable Concrete" (ACI ۲۰۱,۲R-۹۲), ACI Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part ۲, ۱۹۹۸.
۲. ACI Committee ۲۱۲, Chemical Admixtures for Concrete, (ACI ۲۱۲. R-۹۱), Manual of Concrete Practice, Part ۱.
۳. ACI Committee ۲۱۶, Standard Method for Determining the Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, (ACI ۲۱۶,۱-۹۷)
۴. ACI Committee ۲۱۶, Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements-ACI ۲۱۶R-۸۱ (Revised ۱۹۸۷).
۵. ACI Committee ۲۱۶, Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements (Re approved ۲۰۰۱)
۶. ACI Committee ۳۰۴, "Guide for Measuring, Mixing Transporting, and Placing
۷. ACI Committee ۳۰۵, "Hot Weather Concreting, ACI ۳۰۵ R-۹۱ Also ACI Manual of Concrete Practice, Part ۲.
۸. ACI Committee ۳۱۸, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI, ۹۵), American Concrete Institute, Detroit, ۱۹۸۸, MCP, pqrt ۳.
۹. ACI Committee ۳۴۷, "Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI.۳۴۷-۸۵), American Concrete Institute, Detroit, ۱۹۸۵. Also ACI Manual of Concrete Practice, Part ۲.
۱۰. ACI Manual of Concrete Practice, Part I, ۱۹۹۸.
۱۱. ACI-۳۰۱ Specification for Structural Concrete Chapter ۴ Formwork ACI
۱۲. American Concrete Institute, Building Code Requirements for structural Concrete (ACI ۳۱۸-۰۸)
۱۳. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, ۱۹۸۵.
۱۴. ASSSHTO T-۲۶۰ (۸۴), "Method of Sampling and Testing for Total Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials, "AASHTO, ۴۴۴ North Capitol st., N.W., Suite ۲۲۵, Washington, D.C.۲۰۰۱.
۱۵. ASTM Standards, Cement; Gypsum, Section ۴, Construction, Vo۱,۰۴,۰۱
۱۶. ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Section ۴, Construction, V ۰۱,۰۴,۰۲, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, ۱۹۸۵.
۱۷. British standards Institution, BS.۸۱۱۵: ۱۹۹۸ & BS.۵۹۵۰ - ۸: ۲۰۰۳

۱۸. BS ۸۱۱۰, Structural Use of Concrete British Standards Institution ۱۹۸۵.
۱۹. CAN-۴۲ ۳,۳-M۸۴, National Standard of Canada Design of Concrete Structures for Buildings, ۱۹۸۵.
۲۰. Canadian Standards Association, Design of concrete Structures, CSA Standard A۲۳,۳-۰۴
۲۱. CEB Application Manual on Concrete Reinforcement Technology, No. ۱۴۰, Georgia Publishing Co., Saint-Saphorir, Switzerland, ۱۹۸۳.
۲۲. CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, ۱۹۹۰.
۲۳. CEB-FIP Model Code for Fire Design of Concrete Structures, No.۱۷۴, First Draft ۱۹۸۶.
۲۴. CSA Standards, CAN۳-A۲۳, I-M۷۷, Concrete Materials and Methods of Concrete Construction, Canadian Standards Association, Rexdale (Toronto), Ontario, Canada.
۲۵. Design of Concrete Structures, Euro code ۲, ENV ۱۹۹۲ – ۱-۱
۲۶. EURO DESIGN HANDBOOK, Concrete Structures, ۱۹۹۴-۹۶.
۲۷. Fire Design of Concrete Structures in accordance with CEB-FIP Model Code ۹۰; No. ۲۰۸ (Final Draft; ۱۹۹۱; ISBN ۲-۸۸۳۹۴-۰۱۳-۴; ۲۰۴ pages).
۲۸. IS: ۴۵۶-۱۹۷۸, Indian Standard Code of Practice for Plain and Reinforced concrete.
۲۹. Manual of Concrete Practice ۱۹۸۵.
۳۰. PC A, Design and Control of Concrete of Concrete Mixtures, Portland cement Association, Shokie, ۱۹۷۹.
۳۱. RELIM Technical Committee, TC ۸۴-AAC, Application of Admixtures in Concrete, Report No ۱۰.
۳۲. Scientific and Technical, Essex, England.
۳۳. Tomlinson, M.J, Foundation Design and Construction, ۵th ed., Longman

۳۴ – معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، آیین‌نامه بتن ایران (آبا).
۳۵ – معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، تفسیر بخش‌های اول و دوم آیین‌نامه بتن ایران (آبا).
۳۶ – مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استانداردهای مختلف.