www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت امور مسکن و ساختمان

مقررات ملّی ساختمان ایران

مبحث دهم

طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی

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

هیأت تهیه‌کنندگان مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

الف) اعضای شورای تدوین

● دکتر محمدتقی احمدی	عضو
● دکتر محمدحسن بازیار	عضو
● دکتر محسن تهرانی‌زاده	عضو
● دکتر عباسعلی تسنیمی	عضو
● مهندس علی‌اصغر جلال‌زاده	عضو
● مهندس منوچهر خواجه دلویی	رییس
● دکتر علی‌اکبر رمضانیانپور	عضو
● دکتر علیرضا رهایی	عضو
● دکتر اصغر ساعد سمیعی	عضو
● دکتر سید محمود فاطمی عقدا	عضو
● دکتر محمود گلابچی	عضو
● دکتر شاهرخ مالک	عضو
● مهندس شاپور طاحونی	عضو
● مهندس نادر نجیمی	دبیر

ب) اعضای کمیته تخصصی مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی

● دکتر علی‌اکبر آقاکوچک	عضو
● دکتر اباذر اصغری	عضو
● مهندس شاپور طاحونی	رییس
● دکتر مجید صادق آذر	عضو
● دکتر شاهرخ مالک	عضو
● مهندس علیرضا هاشمی	عضو

پ) تنظیم‌کننده متن نهایی و تدوین: مهندس شاپور طاحونی

تدوین‌کنندهٔ متن مقدماتی به‌روش حالت حدی: دکتر اباذر اصغری

بدیـن‌وسیله از زحمات آقـای مهندس مگردیچیان به‌عنوان بنیان‌گـذار این مبحـث و از هـمکاری آقـایان دکـتر رسـول مـیرقادری، دکـتر مـرتضی زاهـدی، دکـتر مـحسن تـهرانـی‌زاده و مهندس علی‌اصغر طاهری، اعضای محترم هیأت اجرایی آیین‌نامه طراحی سازه‌ها در مقابل زلزله (آیین‌نامه ۲۸۰۰)، در تهیه فصل ۱۰ ـ ۳ تشکر می‌گردد.

فهرست کلی مبحث دهم

عنوان		صفحه
فصل ۱۰ ـ ۰	مبانی	۱
فصل ۱۰ ـ ۱	طراحی ساختمان‌های فولادی به‌روش تنش مجاز	۱۱
فصل ۱۰ ـ ۲	طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حدی	۱۴۱
فصل ۱۰ ـ ۳	ضوابط طرح لرزه‌ای	۳۴۷
فصل ۱۰ ـ ۴	ساخت، نصب و کنترل	۴۱۳
پیوست الف	تیرهای لانه‌زنبوری	۴۴۹
پیوست ب	مشخصات مکانیکی فولادها	۴۵۹
پیوست پ	تنش‌های مجاز طراحی ستون‌ها	۴۶۵
واژه‌نامه		۴۶۹

فهرست مطالب

فصل ۱۰ ـ ۰ مبانی

۱۰ ـ ۰ ـ ۱ حدود کاربرد ۳
۱۰ ـ ۰ ـ ۲ انواع سازه‌های ساختمانی ۴
۱۰ ـ ۰ ـ ۳ مصالح فولادی ۵
۱۰ ـ ۰ ـ ۴ بارهای محاسباتی ۶
۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۱، ۶
۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۲، ۶
۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۳ بارهای محیطی، ۷
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ مدارک فنی ۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۱ نقشه‌های طراحی، ۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۲ مدارک طراحی، ۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۳ اطلاعات تکمیلی، ۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۴ مشخصات فنی عمومی و خصوصی، ۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۵ حروف و علایم و یادداشت‌های فنی، ۹
۱۰ ـ ۰ ـ ۶ طرح لرزه‌ای ۹

فصل ۱۰ ـ ۱ طراحی ساختمان‌های فولادی به‌روش تنش‌های مجاز

۱۰ ـ ۱ ـ ۱ کلیات ۱۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ حدود کاربرد، ۱۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۲ هدف طراحی، ۱۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۳ تحلیل سازه‌ها، ۱۴
۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۴ ترکیب بارها در طراحی به‌روش تنش مجاز، ۱۵
۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۵ تنش‌های مجاز، ۱۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ کمانش موضعی ۱۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ کلیات، ۱۹

۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۲ پایداری، ۱۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۳ نگهداری در مقابل دوران و غلت در تکیه‌گاه، ۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۴ دهانه تیرهای ساده، ۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۵ گیرداری در انتها، ۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶ کمانش موضعی، ۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ اعضای کششی ۲۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت لاغری، ۲۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ مقاطع محاسباتی در اعضای کششی، ۲۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳ تنش‌های مجاز، ۳۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۴ اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق، ۳۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ اعضای کششی با اتصالات لولایی، ۳۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ اعضای فشاری (ستون) ۳۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ طول مؤثر کمانشی و ضریب لاغری، ۳۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲ تنش‌های مجاز، ۳۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ کمانش خمشی ـ پیچشی، ۴۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب (ساخته شده)، ۴۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵ اعضای فشاری ساخته شده از ورق، ۴۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۶ اعضای فشاری با اتصال لولایی، ۵۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۷ برش در جان ستون‌ها، ۵۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ اعضای خمشی ۵۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱ تنش‌های خمشی مجاز در نیمرخ I و ناودانی، ۵۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲ تنش‌های مجاز در خمش نسبت به‌محور ضعیف... ، ۵۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۳ خمش در اعضای با مقطع قوطی، لوله یا مقطع... ، ۶۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تنش‌های برشی مجاز، ۶۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ سخت‌کننده‌های عرضی، ۶۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۶ مقطع اعضای خمشی، ۶۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ تیرورق‌ها و تیرهای جعبه‌ای ۶۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۱ محدودیت‌های لاغری جان تیر، ۶۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۲ کاهش تنش‌های خمشی مجاز بال، ۶۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۳ تنش برشی مجاز با توجه به‌عمل میدان کششی، ۶۹

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴ قطعات سخت‌کننده عرضی، ۷۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۵ سخت‌کننده‌های فشاری، ۷۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۶ اثر مشترک برش و کشش، ۷۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۷ اعضا تحت اثر تنش‌های مرکب ۷۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱ فشار محوری و خمش، ۷۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲ کشش محوری و خمش، ۷۶
۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۳ ترکیب تنش‌های صفحه‌ای، ۷۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۸ طراحی اعضا برای پیچش ۷۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۱ اثر لنگر پیچشی، ۷۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ خستگی، ۸۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ تیرهای مختلط ۸۵
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ تعاریف، ۸۵
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ روش طراحی، ۸۶
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۳ برش انتهایی، ۸۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ برشگیرها، ۸۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۵ مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های ذوزنقه‌ای، ۹۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۶ اعضای محوری مختلط، ۹۵
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ اتصالات و وسایل اتصال ۹۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ کلیات، ۹۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش، ۱۰۴
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچ و مهره، قطعات دندانه شده و پرچ، ۱۱۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ تنش مجاز در گسیختگی قالبی، ۱۱۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵ عناصر اتصال‌دهنده، ۱۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ ورق‌های پرکننده، ۱۲۰
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش‌های مجاز اتکایی، ۱۲۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۸ کف ستون‌ها و قطعات فولادی با فشار مستقیم بر بتن... ، ۱۲۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۹ میل‌مهارها، ۱۲۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ مسائل ویژه در طرح و محاسبه ۱۲۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ جان و بال‌های اعضا تحت اثر بارهای متمرکز، ۱۲۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ چشمه اتصال، ۱۳۲
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳ مقررات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان ... ، ۱۳۶

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ توجه به‌شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه ۱۳۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۱ پیش‌خیز در تیرها، ۱۳۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۲ انبساط و انقباض حرارتی، ۱۳۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۳ افتادگی، ارتعاش و انتقال جانبی، ۱۳۸
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۴ حداقل ضخامت قطعات فولادی، ۱۳۹

فهرست شکل‌های فصل ۱۰ ـ ۱

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۱ تسمه‌های لولا شده ۳۳
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ اتصال لولایی با تسمه‌های سرپهن ۳۴
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ نمودار تغییرات تنش فشاری مجاز برحسب لاغری حداکثر ۴۰
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲ ستون مرکب با ورق سرتاسری ۴۲
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ اعضای فشاری مرکب با لقمه ۴۳
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ستون مرکب با بست‌های مورب ۴۴
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵ ستون با بست‌های موازی ۴۷
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۶ مقاطع اعضای فشاری ساخته شده از ورق ۴۹
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۱ توزیع تنش در مقاطع I شکل تحت اثر لنگر پیچشی ۸۲
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ روش تشبیه پیچش به‌خمش ۸۳
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ محدودیت‌های ورق ذوزنقه‌ای در تیرهای مختلط ۹۳
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ جان و بال‌های اعضای تحت اثر بارهای متمرکز ۱۲۵
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ناحیه چشمه اتصال ۱۳۲
شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳ نمایش سخت‌کننده‌های قطری و ورق مضاعف در چشمه اتصال ۱۳۴

فهرست جدول‌های فصل ۱۰ ـ ۱

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ ترکیب‌های بارگذاری متعارف در ساختمان‌ها در طراحی..... ۱۵
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۲ ترکیب‌های بارگذاری تکمیلی برای ساختمان‌های صنعتی..... ۱۶
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در اجزای فشاری ۲۴ و ۲۵ و ۲۶
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ نیروی برشی افقی مجاز ۹۱
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ضرایب مورد استفاده برای بتن سبک با جرم مخصوص ۹۲
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذی نسبی ۱۰۵

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ حداقل بعد جوش گوشه ۱۰۶
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ حداقل دمای پیش‌گرمایش ۱۱۰
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ تنش‌های مجاز جوش ۱۱۱
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵ ابعاد اسمی سوراخ پیچ ۱۱۲
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ تنش‌های مجاز در انوع وسایل اتصال ۱۱۴
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش کششی مجاز (F_t) در پیچ‌ها و پرچ‌ها تحت اثر برش ۱۱۶
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۸ مقادیر C_1 ۱۱۸
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۹ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه درا متداد نیرو ۱۱۸
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۰ مقادیر افزایش فاصله تا لبه (C_2) ۱۱۹
جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۱ حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی ۱۱۹

فصل ۱۰ ـ ۲ طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حدی

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ کلیات ۱۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ حدود کاربرد، ۱۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ مبانی طراحی، ۱۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ روش طراحی، ۱۴۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۴ تحلیل سازه، ۱۴۹
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ کمانش موضعی ۱۵۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ طبقه‌بندی مقاطع فولادی، ۱۵۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۲ پهنای آزاد اجزای با یک لبهٔ متکی، ۱۵۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۳ پهنای ازاد اجزای با دولبهٔ متکی، ۱۵۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۴ مقطع برای تحلیل حدی (خمیری)، ۱۵۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۵ مقاطع با اجزای لاغر فشاری، ۱۵۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ اعضای کششی ۱۵۹
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌های لاغری، ۱۶۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ مقاطع محاسباتی در اعضای کششی، ۱۶۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ مقاومت کششی طرح، ۱۶۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق، ۱۶۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ اعضای کششی با اتصالات لولایی، ۱۶۷

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ اعضای فشاری (ستون‌ها) ۱۷۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ پایداری، ۱۷۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ مقاومت فشاری طرح، ۱۷۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقاطع نبشی تک، ۱۸۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب (ساخته شده)، ۱۸۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵ اعضای فشاری با اتصال لولایی، ۱۹۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶ برش در جان ستون، ۱۹۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ طراحی اعضا برای خمش ۱۹۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ ضریب یکنواختی لنگر، ۱۹۹
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت خمشی مقاطع I شکل..... ، ۲۰۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ مقاومت خمشی مقاطع I شکل ..... ، ۲۰۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴ مقاومت خمشی سایر مقاطع I شکل ..... ، ۲۰۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵ مقاومت خمشی مقاطع I شکل ..... ، ۲۱۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶ مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف، ۲۱۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷ مقاومت خمشی مقاطع قوطی‌شکل، ۲۱۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸ مقاومت خمشی مقاطع لوله‌ای شکل، ۲۱۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹ مقاومت خمشی مقاطع سپری و جفت نبشی ..... ، ۲۱۸
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰ مقاومت خمشی مقاطع نبشی تک، ۲۲۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱ مقاومت خمشی مقاطع توپر دایره‌ای و چهارگوش، ۲۲۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ مقررات عمومی، ۲۲۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ طراحی اعضا برای برش ۲۳۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱ مقررات عمومی، ۲۳۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ مقاومت برشی اعضا بدون توجه به‌عمل میدان کششی، ۲۳۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ مقاومت برشی اعضا با توجه به‌عمل میدان کششی، ۲۳۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۴ مقاومت برشی نبشی‌های تک، ۲۴۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۵ مقاومت برشی مقاطع قوطی‌شکل، ۲۴۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۶ مقاومت برشی مقاطع لوله‌ای، ۲۴۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۷ مقاومت برشی مقاطع با یک یا دو محور تقارن ..... ، ۲۴۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۷ طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی ۲۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ آثار مرتبه دوم ـ لنگر ثانوی، ۲۴۳

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ اعضا با مقطع دارای یک و یا دو محور تقارن تحت ..... ، ۲۵۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ اعضا با مقطع دارای یک و یا دو محور تقارن تحت ..... ، ۲۵۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن تحت ..... ، ۲۵۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۵ اعضا با مقطع بدون محور تقارن تحت ..... ، ۲۵۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۸ طراحی اعضا برای پیچش و نیروهای ترکیبی همراه با پیچش ۲۵۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل، ۲۵۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۲ مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل تحت ..... ، ۲۶۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۳ سایر مقاطع (غیرتوخالی) تحت ..... ، ۲۶۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۴ لنگر پیچشی تابیدگی، ۲۶۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ طراحی اعضای مختلط ۲۶۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ کلیات، ۲۶۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ اعضای محوری مختلط، ۲۶۸
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ اعضای خمشی مختلط، ۲۷۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ مقاومت خمشی مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های ..... ، ۲۷۹
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ برشگیرها، ۲۸۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۶ مقاومت خمشی تیرهای مختلط محاط در بتن ..... ، ۲۸۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷ ترکیب فشار و خمش در اعضای مختلط، ۲۸۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۸ حالات خاص، ۲۸۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ اتصالات و وسایل اتصال ۲۸۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ کلیات، ۲۸۸
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش، ۲۹۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده، ۳۰۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ نواحی مجاور اتصال و اجزای اتصال، ۳۱۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)، ۳۲۰
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ مقاومت اتکایی، ۳۲۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ کف ستون‌ها و قطعات فولادی با فشار مستقیم ..... ، ۳۲۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ میله‌مهارها و اقلام مدفون، ۳۲۴
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ جان و بال‌های اعضا تحت اثر بارهای متمرکز، ۳۲۶
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ شرایط بهره‌برداری ۳۴۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۱ توجه به‌شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه، ۳۴۱

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۲ پیش‌خیز در تیرها، ۳۴۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۳ انبساط و انقباض حرارتی، ۳۴۲
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۴ افتادگی، ارتعاش و انتقال جانبی، ۳۴۲

فهرست شکل‌های فصل ۱۰ ـ ۲

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ سوراخ‌های موجود در یک عضو کششی ۱۶۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ سوراخ‌های واقع در روی دو بال متعامد مقطع نبشی ۱۶۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ هندسهٔ قیدهای موازی ۱۶۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ محدودیت‌های ابعادی تسمه‌های لولاشده ۱۶۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ محدودیت‌های ابعادی تسمه‌های سرپهن ۱۷۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ رابطهٔ F_{cr} با نسبت لاغری λ برای اعضای فشاری..... ۱۷۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ ۱۷۸
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ ستون مرکب با ورق سرتاسری ۱۸۴
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب با لقمه ۱۸۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵ ستون مرکب با بست‌های مورب ۱۸۶
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶ ستون با بست‌های موازی ۱۹۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۷ مقاطع اعضای فشاری ساخته‌شده از ورق ۱۹۲
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ مقاومت خمشی اسمی، M_n ، به‌عنوان تابعی از نسبت پهنا ۱۹۸
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت خمشی اسمی به‌عنوان تابعی از طول مهارنشده (L_b)..... ۱۹۸
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ نبشی دو ساق نامساوی و مساوی در خمش ۲۲۳
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱ مقطع سخت‌کننده‌های عرضی ۲۳۶
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ آثار مرتبه اول و آثار مرتبه دوم ۲۴۴
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ اثرات $P-\Delta$ و $P-\delta$ در تیرستون‌ها ۲۴۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ انحنای ساده و مضاعف ۲۴۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ تحلیل قاب بدون و با انتقال جانبی ۲۵۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ مقطع قوطی‌شکل ۲۵۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۲ توزیع تنش در مقاطع I شکل تحت اثر لنگر پیچشی ۲۶۳
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۳ روش تشبیه پیچش به‌خمش ۲۶۴
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ اعضای محوری مختلط ۲۶۸
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ توزیع تنش پلاستیک در مقطع مختلط ۲۷۷

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ توزیع تنش الاستیک در مقطع مختلط ۲۷۸
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ محدودیت‌های ورق ذوزنقه‌ای ۲۷۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های ۲۸۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۶ ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها موازی محور ۲۸۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷ برشگیرهای از نوع ناودانی ۲۸۴
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ضخامت مؤثر جوش‌های شیاری لب‌گرد ۲۹۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ضخامت گلوگاه مؤثر جوش‌های گوشه ۲۹۶
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ وجود قید در جوش گوشه اتصالات پوششی (رویهم) ۲۹۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ جوش گوشه در انتهای تسمه‌های کششی ۲۹۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ جوش گوشه در انتهای اعضا ۳۰۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ جوش گوشه در انتهای اعضای محوری ۳۰۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ مسیر پیشنهادی برای جلوگیری از زخم در لبه ۳۰۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ طول گیرهٔ وسایل اتصال ۳۰۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ اثر متقابل کشش و برش در اتصالات اتکایی ۳۱۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۰ انواع سوراخ‌ها ۳۱۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱ سطوح گسیختگی در برش قالبی ۳۱۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۲ توزیع تنش کششی در برش قالبی ۳۲۰
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۳ نیاز به‌ورق پرکننده در وصلهٔ ستون‌ها ۳۲۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۴ جزییات وصله با کاهش ابعاد ستون ۳۲۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۵ کفشک‌های تکیه‌گاهی ۳۲۳
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۶ سطح اتکا در تماس با شالودهٔ بتنی ۳۲۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۷ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی ۳۲۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۸ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری ۳۲۹
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۹ لهیدگی در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۳۳۱
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۳۳۴
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۱ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری ۳۳۵
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۲ نیروهای وارد بر چشمهٔ اتصال ۳۳۷
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۳ نمایش سخت‌کننده‌های قطری و ورق مضاعف در چشمهٔ اتصال ۳۳۸

فهرست جدول‌های فصل ۱۰ ـ ۲

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ حالات حدی ۱۴۵
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ ترکیب‌های بارگذاری در ساختمان‌های متعارف در حالت حدی نهایی ۱۴۸
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ ترکیبات بارهای اضافی برای ساختمان‌های صنعتی در ۱۴۸
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در اجزای فشاری ۱۵۵
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اجزای کششی ۱۶۳
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ انتخاب بند مربوط به‌تعیین مقاومت خمشی ۱۹۷
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقادیر نمونه C_b با فرض $R_m = ۱$ ۲۰۰
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ مقادیر R_g و R_p ۲۸۳
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی ۲۹۵
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ حداقل بعد جوش گوشه ۲۹۷
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ مقاومت اسمی جوش‌ها و ضریب تقلیل مقاومت ۳۰۳
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ حداقل دمای پیش‌گرمایش ۳۰۴
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ مشخصات پرچ‌ها پیچ‌های موجود یا تولید در ایران ۳۰۶
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی ۳۰۷
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش اسمی (پیچ و پرچ) ۳۰۹
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ برحسب میلی‌متر ۳۱۴
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا ۳۱۶
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۰ مقادیر افزایش حداقل فاصله سوراخ تا لبه (C) ۳۱۶

فصل ۱۰ ـ ۳ ضوابط طرح لرزه‌ای

۱۰ ـ ۳ ـ ۱ کلیات ۳۴۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱، ۳۴۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۲، ۳۴۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۳، ۳۴۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۲ عبارات و اصطلاحات ۳۵۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۳ علایم و اختصارات ۳۵۴
۱۰ ـ ۳ ـ ۴ تعاریف ۳۵۵
۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۱ شکل‌پذیری، ۳۵۵

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ مقطع فشرده لرزه‌ای، ۳۵۶
۱۰ ـ ۳ـ ۴ ـ ۳ ناحیه بحرانی، ۳۵۸
۱۰ ـ ۳ـ ۴ ـ ۴ ترکیب بار زلزله‌ای تشدیدیافته، ۳۵۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مشخصات مصالح ۳۵۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۱ فولاد مصرفی، ۳۵۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۲ اتصالات جوشی، ۳۵۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۳ اتصالات پیچی، ۳۶۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۶ الزامات عمومی طراحی ستون‌ها و کف ستون‌ها ۳۶۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۱ مقاومت ستون‌ها،۳۶۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۲ وصلهٔ ستون‌ها، ۳۶۲
۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۳ کف ستون‌ها، ۳۶۴
۱۰ ـ ۳ ـ ۷ سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای ۳۶۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ قاب‌های خمشی ۳۶۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ قاب خمشی فولادی ویژه، ۳۶۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ قاب خمشی فولادی متوسط، ۳۷۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۳ قاب خمشی فولادی معمولی، ۳۸۱
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۴ اتصالات پیشنهادی، ۳۸۱
۱۰ ـ ۳ ـ ۹ قاب‌های مهاربندی‌شده همگرا ۳۸۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ملاحظات کلی، ۳۸۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه، ۳۹۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای معمولی، ۳۹۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ قاب‌های مهاربندشده واگرا ۳۹۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۱ ملاحظات کلی، ۳۹۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ قاب‌های مهاربندی‌شده واگرای ویژه، ۳۹۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۳ مهاربند واگرای معمولی در داخل قاب ساده، ۴۱۲

فهرست شکل‌های فصل ۱۰ ـ ۳

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ انواع مهاربند همگر ۳۵۲
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ انواع مهاربند واگرا ۳۵۳
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۳ جزییات وصله ستون با تغییرات مقطع ۳۶۴
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ناحیه بحرانی در دو انتهای تیر ۳۶۹
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ برش طراحی تیرها در قاب‌های خمشی ویژه در طراحی به‌روش تنش مجاز ۳۷۰
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ برش طراحی تیرها درقاب‌های خمشی ویژه، در طراحی به‌روش حالات حدی ۳۷۱
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (الف) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری کم و متوسط در ستون‌های مرکب ساخته‌شده از دو نیمرخ ۳۸۲
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ب) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد با استفاده از ورق روسری و زیرسری در ستون‌های با مقطع H شکل ۳۸۳
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (پ) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد با استفاده از ورق روسری و زیرسری در ستون‌های با مقطع قوطی‌شکل ۳۸۴
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ت) اتصال صلب مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته در قاب‌های شکل‌پذیری متوسط و زیاد ۳۸۵
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ث) اتصال صلب تیر با مقطع تقویت‌شده در محل اتصال به‌ستون در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط و زیاد ۳۸۶
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ج) اتصال فلنجی در قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد ۳۸۷
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ اتصال مهاربندی با ایجاد خط آزاد خمش ۳۹۳
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ (الف) نیروی غیرمتعادل مهاربندهای کششی و فشاری در طراحی به‌روش تنش مجاز ۳۹۵
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ (ب) نیروی غیرمتعادل مهاربندهای کششی و فشاری، در طراحی به‌روش حالات حدی ۳۹۵
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ اجزای مهاربندهای واگرا ۳۹۹
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۱ جزییات تیر پیوند کناری و میانی ۴۰۰
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۲ ۴۰۵
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۳ مدل تحلیلی، تعیین نیروهای طراحی اعضای خارج از تیر پیوند، مهاربندی و نیروی محوری ستون‌های مهاربند ۴۱۰
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۴ زاویه بین عضو مهاربند و تیر ۴۱۱

فهرست جدول‌های فصل ۱۰ ـ ۳

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در مقطع فشرده لرزه‌ای ۳۵۷
جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ ضریب اضافه مقاومت ۳۵۹

فصل ۱۰ ـ۴ ساخت، نصب و کنترل

۱۰ ـ ۴ ـ ۱ مقدمه ۴۱۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۲ دامنهٔ کاربرد ۴۱۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مشخصات فولاد مصرفی ۴۱۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ساخت قطعات فولادی ۴۱۷
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۱ کلیات، ۴۱۷
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۲ بریدن و سوراخ کردن، ۴۱۷
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۳ ساخت و آماده کردن قطعات قبل از مونتاژ، ۴۱۸
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۴ اتصال با جوش، ۴۱۹
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۵ پیش‌نصب، ۴۲۰
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۶ اتصال با پیچ، ۴۲۱
۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۷ انبار کردن، حمل و رفع معایب، ۴۲۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فولادی ۴۲۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۱ موارد مورد استفاده، ۴۲۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۲ آماده‌سازی سطوح، ۴۲۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۳ درجات مختلف کیفیت آماده‌سازی سطوح، ۴۲۷
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۴ رنگ‌آمیزی، ۴۲۸
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۵ انبارداری رنگ، ۴۳۰
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۶ ضخامت رنگ، ۴۳۱
۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۷ گالوانیزه کردن، ۴۳۲

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ رواداری‌ها ۴۳۲
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۱ رواداری‌های جوش، ۴۳۲
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ کنترل اعوجاج و جمع‌شدگی، ۴۳۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ رواداری‌های ابعادی، ۴۳۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۴ سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی در محل بارهای متمرکز، ۴۴۱
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۵ رواداری سخت‌کننده‌ها، ۴۴۱
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۶ مقطع جوش، ۴۴۳
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۷ ناشاقولی ستون‌ها، ۴۴۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۸ رواداری سوارخ پیچ‌ها، ۴۴۶

فهرست شکل‌های فصل ۱۰ ـ ۴

شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ رواداری‌های مونتاژ در درزهای با جوش شیاری ۴۳۳
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ اصلاح ناهمبادی و ناهم‌محوری ۴۳۴
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ رواداری محال اتصال جان به‌بال ۴۳۸
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ روش اندازه‌گیری پیش‌خیز تیرها ۴۳۹
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ رواداری‌های انحراف بال ۴۴۰
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۶ رواداری در محل تماس تیر با تکیه‌گاه ـ تیر با سخت‌کننده ۴۴۲
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۷ رواداری در محل تماس تیر با تکیه‌گاه ـ تیر بدون سخت‌کننده ۴۴۲
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ مقاطع قابل پذیرش و غیرقابل پذیرش جوش ۴۴۴
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ پوش بدشاقولی ستون ۴۴۵
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ ناریسمانی ستون‌های محور خارجی ۴۴۶
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۱ ناریسمانی ستون‌های داخلی ۴۴۶
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۲ رواداری سوراخ‌های پیچ ۴۴۷
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۳ ۴۴۷
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۴ ۴۴۸

فهرست جدول‌های فصل ۱۰ ـ ۴

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش هنگام تولید و نصب ۴۲۱
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ چرخش اضافی لازم برای پیش‌تنیده کردن پیچ‌ها ۴۲۳

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها ۴۲۴
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ نیروی پیش‌تنیدگی و لنگر پیچشی پیش‌تنیدگی متناظر ۴۲۴
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ حداقل ضخامت رنگ‌آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی..... ۴۳۱
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ۴۳۷
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۷ رواداری‌های انحنای پیش‌خیز تیرها برای تیرهای غیرمختلط ۴۳۷
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ رواداری مجاز ارتفاع تیرورق ۴۴۱
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ انحنای سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی ۴۴۲
جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ انحنای سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی ۴۴۳

۱۰ـ۰ـ مبانی

۱۰ ـ ۰ ـ ۱ حدود کاربرد	۳
۱۰ ـ ۰ ـ ۲ انواع سازه‌های ساختمانی	۴
۱۰ ـ ۰ ـ ۳ مصالح فولادی	۵
۱۰ ـ ۰ ـ ۴ بارهای محاسباتی	۶
۱۰ ـ ۰ ـ ۵ مدارک فنی	۸
۱۰ ـ ۰ ـ ۶ طرح لرزه‌ای	۹

۱۰ ـ ۰ ـ ۱ حدود کاربرد

«مقررات طرح، محاسبه و اجرای ساختمان‌های فولادی» حداقل ضوابط و مقررات لازم را برای طرح، تحلیل و اجرای ساختمان‌های فولادی تعیین می‌کند و شامل طراحی به‌روش تنش‌های مجاز (فصل ۱۰ ـ ۱)، و طراحی به‌روش حالت‌های حدی (فصل ۱۰ ـ ۲)، طراحی لرزه‌ای (فصل ۱۰ ـ ۳) و ساخت و نصب و کنترل (فصل ۱۰ ـ ۴) می‌باشد.

در حال حاضر طراحی به‌هر دو روش تنش مجاز (فصل ۱۰ ـ ۱)، و روش حالات حدی (فصل ۱۰ ـ ۲) مجاز است، لیکن ترکیب این دو روش و فصل‌های مربوطه به‌هیچ‌وجه مجاز نمی‌باشد. پس از طی دوره گذر، طراحی به‌روش حالات حدی، روش اصلی مقررات خواهد شد.

کاربرد این مبحث در محدودهٔ ساختمان‌ها با کاربری‌های مندرج در قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و آیین‌نامه اجرایی آن می‌باشد و شامل سازه‌های خاص از قبیل پل‌های جاده و راه‌آهن نیست.

مقررات مندرج در این مبحث باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به‌کار رود.

۱۰ ـ ۰ ـ ۲ انواع سازه‌های ساختمانی

در این مبحث سه گروه اصلی اسکلت ساختمانی و مفروضات محاسباتی مربوط به‌آنها ملاک طرح و محاسبهٔ سازه‌ها قرار گرفته است.

هریک از این گروه‌ها با مشخصاتی مختص به‌خود، تعیین‌کننده ابعاد اعضای سازه و نوع و مقاومت اتصالات مربوط، می‌باشد.

گروه (۱) « قاب‌های خمشی » (قاب‌های پیوسته) که در آنها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون به‌اندازهٔ کافی صلب است به‌طوری که در تغییرشکل قاب، زاویه اولیه بین تیر و ستون بدون تغییر باقی می‌ماند.

گروه (۲) « قاب‌های ساده » که در آنها فرض می‌شود اتصالات تیر به ستون بدون صلبیت است و اتصال تیرها و شاهتیرها به‌ستون فقط برای انتقال برش ناشی از بار قائم طراحی شده و می‌تواند تحت اثر آن، آزادانه دوران کند.

گروه (۳) « قاب‌های نیمه‌صلب » (تیرها دارای صلبیت نسبی در دو انتها) که در آنها فرض می‌شود اتصال تیرها و شاهتیرها به‌ستون دارای ظرفیت خمشی به‌مقداری مشخص مابین صلبیت گروه (۱) و انعطاف‌پذیری گروه (۲)، می‌باشد.

نوع گروه سازه‌ای باید در روی نقشه‌های محاسباتی قید شود و طراحی و تحلیل کلیه اتصالات در هر کدام از گروه‌های فوق، در جوابگویی به‌مفروضات مربوط به‌آن گروه انجام شود.

استفاده از قاب‌های گروه (۱) در ساختمان‌ها در همه حالت‌ها مجاز است. اعضای این گروه قاب‌های طبق مقررات فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۳ در مقابل بارهای قائم و یا جانبی طراحی و تحلیل می‌شوند. استفاده از قاب‌های گروه (۲) در ساختمان‌ها در صورتی مجاز است که طراحی سازه مطابق این مقررات انجام شده و جوابگوی شرایط زیر باشد:

الف) دستگاه مقاوم در مقابل بارهای جانبی حاصل از باد یا زلزلهٔ* (دهانه‌های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی و یا قاب‌های خمشی) برای ساختمان تعبیه شود و تحلیل نشان دهد که پایداری ساختمان و اعضای تشکیل‌دهندهٔ آن در مقابل تمام بارهای وارده در حدی قابل قبول می‌باشد.

* رعایت ضوابط مربوط به‌محدودیت ارتفاع ساختمان و ویژگی‌های دیگر طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران الزامی است.

ب) ظرفیت تیرها و شاهتیرها برای تحمل بار قائم با فرض تیر با تکیه‌گاه ساده، کافی باشد.

پ) اتصالات تیر به‌ستون ظرفیت کافی در دوران غیرارتجاعی داشته باشند تا تنش‌های تولید شده در وسایل اتصال از قبیل پیچ، پرچ و جوش، تحت اثر حالت‌های مختلف بارگذاری، در حد مجاز باقی بماند.

تبصره: اسکلت‌های فولادی با اتصالات خورجینی در این گروه قرار می‌گیرند و در آنها تیرها را می‌توان به‌صورت سراسری تحلیل و طراحی نمود. در این حالت با توجه به‌نوع طراحی اتصال، لنگر انتقالی به‌ستون باید مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از قاب‌های گروه (۳) در حالتی مجاز است که محاسبه‌ای مستدل نشان دهد که اتصالات نیمه‌صلب مفروض (به‌تنهایی و یا در ترکیب با دستگاه‌های مهاربند و یا دیوارهای برشی) قادر است اثر مشترک بارهای قائم و جانبی (حاصل از باد یا زلزله) را در حد تنش‌های مجاز تحمل کند.

۱۰ـ۰ـ۳ مصالح فولادی

مصالح به‌کار رفته شامل نیمرخ‌ها، ورق‌ها، تسمه‌ها، میلگردها، پرچ‌ها، پیچ‌ها، واشرها، مهره‌ها، میل‌مهارها، الکترودها و ... باید با استانداردهای ملی ایران مطابق باشد. در صورتی‌که برای بعضی از مصالح، استاندارد ایران تهیه نشده باشد، باید یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی (ترجیحاً استاندارد ISO) را مورد استفاده قرار داد. از نظر این مقررات، مشخصات مکانیکی فولادهای مصرفی در ساختمان مطابق بندهای زیر است:

الف) مدول الاستیسیته (ضریب ارتجاعی) مصالح فولادی (E) مساوی $۲/۱\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع [$۲/۰۵\times۱۰^{۵}\ N/mm^{۲}$] در نظر گرفته می‌شود.

ب) ضریب پواسون مصالح فولادی $\nu = ۰/۳$ در نظر گرفته می‌شود.

پ) برای ورق‌ها و اجزای با ضخامت بیش از ۴۰ میلی‌متر، تنش تسلیم F_y باید مطابق جدول‌های پیوست کاهش داده شود. (توصیه می‌شود حتی‌المقدور از ورق‌ها با ضخامت بیش از ۴۰ میلی‌متر استفاده نشود.)

۱۰ ـ ۰ ـ ۴ بارهای محاسباتی

بارهای محاسباتی باید منطبق بر مفاد آخرین ویرایش مبحث ششم از مجموعهٔ مقررات ملی ساختمان تحت عنوان بارهای وارد بر ساختمان باشند.

۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۱ بار مرده به‌کار رفته در طرح و محاسبه باید شامل وزن کلیه اجزای ساختمان با احتساب اجزای فولادی و وسایل ثابت باشد.

۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۲ بار زنده (سربار) باید شامل کلیه بارهای مؤثر اضافی که در نتیجه استفاد و بهره‌برداری از ساختمان بر آن تحمیل می‌شود، باشد. بارهای زنده به‌دو گروه تقسیم می‌شوند:

الف) سربارهای ساکن ولی قابل حرکت مانند اثاثیهٔ منزل، وسایل اداری و ... یا بارهای زنده ولی با سرعت کم، مانند وزن اشخاص، حیوانات و ... که بارهای ایستا (استاتیک) نامیده می‌شوند.

ب) سربارهای متحرک با اثر دینامیکی قابل توجه (بارهای ضربه‌ای) مانند ماشین‌ها، آسانسورها، جراثقال‌ها و موارد مشابه. در تحلیل و طراحی سازه‌هایی که بارهای زندهٔ دارای اثر ضربه را تحمل می‌کنند، بارهای یادشده را باید با ضریب ضربهٔ مناسبی افزایش داد.

برای ضرایب ضربه، در درجه اول اعداد ضربه مربوط به‌دستگاه بارگذارنده (در صورتی‌که به‌طور کتبی از طرف سازنده دستگاه موجود باشد) ملاک خواهد بود. در صورتی‌که چنین اعدادی موجود نباشد، باید حداقل افزایش بار زنده، مطابق با مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمان را به‌عنوان ضریب ضربه در نظر گرفت. در موارد ذیل باید ضریب ضربه و اثر دینامیکی بار زنده منظور شود:

۱. برای تکیه‌گاه آسانسور
۲. برای تیرها و اتصالات حامل جراثقال‌های متحرک بزرگ (ارابه با راننده) و بلندکننده‌های کوچک (با کابل فرمان دستی).

۳. برای تکیه‌گاه ماشین‌های دورانی، اعم از اینکه با موتور سرخود و یا محور محرک اتصالی کار کند.
۴. برای تکیه‌گاه ماشین‌های پیستونی با حرکت متناوب.
۵. برای آویزهای کششی که کف‌ها و یا بالکن‌هایی را تحمل می‌کنند.
۶. برای بارهای دینامیکی دیگر در صورت وجود.

۱۰ ـ ۰ ـ ۴ ـ ۳ بارهای محیطی

بارهای محیطی از عوامل طبیعی ناشی می‌شوند، مانند بار باد، بار برف و بار زلزله.

الف) بار باد

پیش‌بینی‌های لازم برای تنش‌هایی که از بار باد بر سازه تأثیر می‌کند، باید طبق مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمان باشد. اثر باد باید هم در دوره ساخت و نصب سازه و هم بعد از آن در نظر گرفته شود.

ب) بار زلزله

اثر زلزله، مطابق ضوابط مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته می‌شود. طراحی و محاسبه عناصر باربر و اتصالات آنها باید با توجه به‌شکل‌پذیری لازم در زلزله انجام شود.

پ) بار برف

شدت بار هموار گسترده معادل بار برف، با توجه به‌منطقه‌ای که سازه در آنجا واقع می‌شود. از مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمان انتخاب می‌شود.

ت) بارهای حرارتی

بارهای حرارتی باید مطابق مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمان انتخاب شود.

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ مدارک فنی

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۱ نقشه‌های طراحی

نقشه‌های سازه باید اطلاعات کامل مقاطع، محل قرار گرفتن اعضای سازه نسبت به‌یکدیگر، تراز کف‌های ساختمانی، محورهای مار بر مرکز ستون‌ها، پیش‌آمدگی‌ها و پس‌نشستگی‌ها با اندازه‌های مربوط و اطلاعات مربوط به‌اتصالات و وصله‌ها را شامل باشد، به‌طوری که با مراجعه به‌آنها پیمانکار بتواند نقشه‌های اجرایی کارگاهی را تهیه نماید.

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۲ مدارک طراحی

در مدارک طراحی و تحلیل باید گروه یا گروه‌های سازه‌ای مفروض (طبق بند ۱۰ ـ ۰ ـ ۲) نوشته شود. همچنین این مدارک باید حاوی اطلاعاتی در مورد مقادیر بارها، نیروهای برشی، لنگرهای خمشی و نیروهای محوری که توسط قطعات و اتصالات آنها تحمل می‌گردد باشد. به‌طوری که با مراجعه به‌آنها بتوا ن نقشه‌های طراحی را تهیه کرد.

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۳ اطلاعات تکمیلی

اگر استفاده از پیچ‌های پرمقاومت، برای اتصالات مورد نظر باشد، مدارک طرح و محاسبه و نقشه‌ها باید نوع اتصال را از نظر عملکرد (اتصال اصطکاکی، اتصال اتکایی و یا اتصال کششی) معین کند.

میزان پیش‌خیز در ساخت (در صورت لزوم) برای تیرها، شاهتیرها، خرپاها و نظایر آنها، باید روی مدارک محاسباتی و نقشه‌ها قید گردد.

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۴ مشخصات فنی عمومی و خصوصی

مشخصات فنی عمومی و خصوصی جزء لاینفک مدارک طراحی می‌باشند که باید توسط طراح تهیه و ارایه گردد.

۱۰ ـ ۰ ـ ۵ ـ ۵ حروف و علایم و یادداشت‌های فنی

در مدارک محاسباتی و نقشه‌ها باید از حروف و علایمی که به‌طور استاندارد از طرف مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود، استفاده شود. در صورت ناکافی بودن آنها، استفاده از علایم دیگر به‌همراه توضیحات کافی به‌منظور جلوگیری از هرگونه اشتباه و سوء تعبیر احتمالی مجاز می‌باشد. یادداشت‌های فنی برای تفهیم روش کار و یا نتایج مورد نظر باید روشن و منجز باشد. در اتصالاتی که برای کم کردن تنش‌های پسماند جوشکاری و جلوگیری از تابیدگی قطعات، باید از فن‌آوری و ترتیب خاصی و یا از تعداد عبور جوشکاری معینی پیروی شود، لازم است آن روش دقیقاً در مدارک و نقشه‌ها توضیح داده شود.

۱۰ ـ ۰ ـ ۶ طرح لرزه‌ای

برای تأمین ضوابط طراحی لرزه‌ای، علاوه بر ضوابط موجود در فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ باید ضوابط فصل ۱۰ ـ ۳ از این مقررات رعایت گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ طراحی ساختمان‌های فولادی به‌روش تنش‌های مجاز

۱۰ ـ ۱ ـ ۱ کلیات	۱۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۲ کمانش موضعی	۱۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۳ اعضای کششی	۲۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ اعضای فشاری (ستون)	۳۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۵ اعضای خمشی	۵۱
۱۰ ـ ۱ ـ ۶ تیرورق‌ها و تیرهای جعبه‌ای	۶۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۷ اعضا تحت اثر تنش‌های مرکب	۷۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۸ طراحی اعضا برای پیچش	۷۹
۱۰ ـ ۱ ـ ۹ تیرهای مختلط	۸۵
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ اتصالات و وسایل اتصال	۹۷
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ مسائل ویژه در طرح و محاسبه	۱۲۳
۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ توجه به‌شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه	۱۳۷

۱۰ـ۱ـ۱ کلیات

۱۰ـ۱ـ۱ـ۱ حدود کاربرد

طراحی سازه‌های فولادی براساس روش تنش‌های مجاز، به‌عنوان روش سنتی طراحی شناخته می‌شود.

کاربرد این فصل در محدودهٔ ساختمان‌های با کاربری‌های مندرج در قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و آیین‌نامهٔ اجرایی آن می‌باشد و شامل سازه‌های خاص از قبیل پل‌های جاده و راه‌آهن نیست.

مقررات مندرج در این مبحث باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به‌کار رود.

۱۰ـ۱ـ۱ـ۲ هدف طراحی

منظور از طرح سازه، تعیین پیکربندی، ابعاد و مشخصات قطعات آن به‌نحوی است که سه هدف تعیین شده در زیر تأمین شود:

الف) ایمنی

منظور از ایمنی این است که مجموعهٔ سازه، شامل قطعات و اتصالات آن، طوری سازمان داده شوند که سازه از انسجام، پایداری و شکل‌پذیری برخوردار باشد و :

۱) تحت اثر بارهای متعارف آسیب نبیند.

۲) تحت اثر بارهای فوق‌العاده گسیخته نشود و فرو نریزد.

ب) عملکرد مطلوب

منظور از عملکرد مطلوب این است که سازه در سطح بهره‌برداری پیش‌بینی شدهٔ ساختمان دچار مشکل نشود و:

۱) تحت اثر بارها و سربارهای متعارف در آن شکست و تغییرشکل بیش از حدی به‌وجود نیاید به‌طوری که اجزای غیرسازه‌ای، نظیر نازک‌کاری و تیغه‌ها، دچار آسیب شوند.

۲) در اثر لرزش، در استفاده‌کنندگان احساس ناامنی به‌وجود نیاید.

پ) دوام

منظور از دوام این است که مصالح سازه کیفیت خود را در تمام طول عمر پیش‌بینی‌شده با عملیات نگهداری متعارف حفظ کنند، به‌طوری که در اثر پیری و فرسودگی، ایمنی و قابلیت بهره‌برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۳ تحلیل سازه‌ها

واکنش‌های تکیه‌گاهی و نیروهای داخلی اعضا، اتصالات و وسایل اتصال در سازه، برای بارهای مندرج در بخش ۱۰ ـ ۰ ـ ۴ باید براساس یکی از روش‌های شناخته شده ارتجاعی تعیین شود. برای بارهای لرزه‌ای استفاده از روش‌های مندرج در مبحث ششم مجاز است.

بازتوزیع لنگر تیرها

تیرهایی که شرایط مقطع فشرده با اتکای جانبی را دارند و در تکیه‌گاه به‌صورت سرتاسری

ادامه می‌یابند، یا با اتصال صلب به‌ستون متصل هستند و به‌صورت عضوی از قاب صلب کار می‌کنند، در حالتی که لنگر حداکثر در محل تکیه‌گاه به‌وجود آید، می‌توان آنها را برای تحمل ۰/۹ لنگر منفی مربوط به‌بارهای قائم طراحی کرد مشروط بر اینکه در چنین عضوی لنگر مثبت میان دهانه را به‌مقدار ۱۰ درصد میانگین لنگرهای منفی دو انتها، افزایش داد.

این مطلب برای تیرهای طره‌ای صادق نیست.

اگر لنگر منفی به‌ستونی منتقل شود که با اتصال صلب به‌تیر متصل است، کاهش آن در محاسبه ستون برای اثر مشترک بار محوری و لنگر خمشی مجاز است، مشروط بر آنکه تنش فشاری (f_a) در عضو، مربوط به‌بار محوری نظیر، از F_a ۰/۱۵ تجاوز نکند. (F_a تنش محوری مجاز در حالت مربوط می‌باشد).

۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۴ ترکیب بارها در طراحی به‌روش تنش مجاز

الف) در طراحی سازه‌ها، احتمال همزمانی تأثیر بارها باید به‌شرحی که در زیر گفته شده است، در نظر گرفته شوند. مقدار تنش‌های محاسباتی مربوط به‌هر ترکیب،باید براساس بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۵ در نظر گرفته شود. اجزای سازه باید برای ترکیبی از بارها که بیشترین اثر را در آن جزء ایجاد می‌کند، طراحی شوند.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ ترکیب‌های بارگذاری متعارف در ساختمان‌ها در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	ترکیب بار مبنا[1] (مرده + بهره‌برداری)	$D+L$
۲	ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و زلزله یا باد *	۰/۷۵ $[D+L\pm(E$ یا $W)]$ ۰/۷۵ $[D\pm(E$ یا $W)]$
۳	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و فشار خاک یا آب	$(D+F)+(L+H)$ $D+F+H$
۴	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، جمع‌شدگی، و نشست تکیه‌گاه‌ها *	۰/۷۵$(D+L\pm T)$ ۰/۷۵$(D\pm T)$

۱. در شرایطی‌که اثر بار زنده در هریک از ترکیبات بارگذاری کاهش‌دهنده است، ضریب آن معادل صفر منظور می‌گردد.

* در ویرایش‌های قدیم برای ترکیباتی از بار که در آنها آثار باد، زلزله و یا دما وجود داشت، تنش مجاز به‌میزان ۳۳ درصد افزایش داده می‌شد. بنا به‌ملاحظات ضوابط طرح لرزه‌ای در فصل ۱۰ ـ ۳، در این چاپ افزایش تنش مجاز حذف و به‌جای آن ضریب کاهش ۰/۷۵ در ترکیب بار لحاظ گردیده است.

در ترکیبات فوق:

D= بار مرده

L= بار بهره‌برداری شامل بار زندهٔ طبقات و سربار حاکم بر بام (بار زندهٔ بام، بار برف یا بار باران)

W= بار باد

E= بار زلزله

F= وزن و فشار ناشی از مایعات

H= بار ناشی از وزن و فشار خاک و یا فشار توأم خاک و آب

T= اثرات خودکرنشی ناشی از تغییرات دما، نشست پایه‌ها، وارفتگی و غیره

در ساختمان‌های صنعتی که سازه برای بار جراثقال سقفی طراحی می‌شود، ترکیبات زیر علاوه بر آنچه در بالا گفته شده، باید بررسی گردد.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۲ ترکیب‌های بارگذاری تکمیلی برای ساختمان‌های صنعتی در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	مرده + جراثقال	$D+A$
۲	مرده + جراثقال + برف	$D+S+A$
۳	مرده + زلزله	$۰/۷۵[D+(W \text{ یا } E)+\overline{A}]$

علایم A و $\overline{A}$ در این ترکیبات عبارتند از:

A= کلیه بارهای ناشی از جراثقال شامل وزن پل‌ها، ارابه، باری که بلند می‌شود همراه با اثر ضربه در آنها.

$\overline{A}$ = بار ناشی از وزن جراثقال به‌تنهایی شامل وزن پل‌ها و ارابه به‌اضافه درصدی از بار زنده با توجه به‌میزان بهره‌برداری جراثقال.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۵ تنش‌های مجاز

تمام عناصر سازه شامل اعضای اصلی و فرعی، اتصالات و وسایل اتصال، باید طوری طراحی و محاسبه شوند که تحت اثر ترکیب‌های بارگذاری جدول‌های ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ و ۲، تنش‌های محاسباتی در آنها از مقادیر مجاز مندرج در این فصل تجاوز نکند.

۱۰ـ۱ـ۲ کمانش موضعی

۱۰ـ۱ـ۲ـ۱ کلیات

علاوه بر تأمین ضوابط مربوط به‌مقاومت و صلبیت، اعضای سازه باید طوری طراحی و محاسبه شوند که دارای ظرفیت شکل‌پذیری لازم در برابر بارهای وارده باشند و در عین حال پایداری کلی آنها به‌طور مطمئن تأمین شده باشد.

۱۰ـ۱ـ۲ـ۲ پایداری

پایداری کلی دستگاه سازه و هریک از اعضای فشاری تشکیل‌دهندهٔ آن باید به‌طور مطمئن تأمین شود. همچنین باید به‌اثر اضافی بارها در سازه تغییرشکل یافته و یا به‌هر کدام از عناصر آن توجه خاص شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۳ نگهداری در مقابل دوران و غلت در تکیه‌گاه

تیرها، شاهتیرها و خرپاها باید در محل تکیه‌گاه خود در مقابل دوران و غلتیدن (حول محور طولی) به‌طور مطمئن نگهداری شوند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۴ دهانهٔ تیرهای ساده

در تیرها و شاهتیرهایی که برمبنای دهانهٔ ساده طراحی و محاسبه می‌شوند، دهانهٔ مؤثر برابر فاصله بین مراکز ثقل قطعاتی که عکس‌العمل تکیه‌گاه را به‌وجود می‌آورند، در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۵ گیرداری در انتها

در تحلیل و طراحی با فرض گیرداری کامل و یا جزیی در انتهای عضو، باید تیرها، شاهتیرها و خرپاها و همچنین اعضایی که این قطعات به‌آنها متصل می‌شوند را طوری تحلیل کرد که نیروهای برشی و لنگرهای خمشی و دیگر تلاش‌های به‌وجود آمده نظیر، تنش‌های مجاز معین‌شده را جوابگو باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶ کمانش موضعی

الف) طبقه‌بندی مقاطع فولادی

مقاطع فولادی به‌سه گروه زیر تقسیم می‌شود:

- مقاطع فشرده
- مقاطع غیرفشرده
- مقاطع با اجزای لاغر

برای اینکه عضوی به عنوان مقطع فشرده به‌حساب آید، باید بال‌های آن به‌صورت

سرتاسری به‌جان (یا جان‌ها) متصل باشد و نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در اجزای فشاری آن برحسب مورد از مقادیر مربوطه در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ تجاوز نکند.

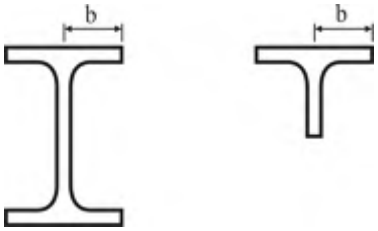
نسبت پهنای آزاد به ضخامت در اجزای فشاری مقاطع غیرفشرده نیز نباید از مقادیر مربوطه در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ تجاوز کند.

اگر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در هریک از اجزای فشاری از مقادیر داده شده برای مقاطع غیرفشرده در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ تجاوز کند، مقطع به‌عنوان مقطعی با اجزای لاغر به‌حساب می‌آید*.

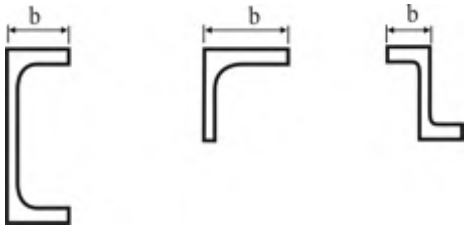
ب) *پهنای آزاد اجزای با یک لبه متکی*

پهنای آزاد b و یا d در اجزایی که فقط در یک لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند، به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. برای بال‌های نیمرخ‌های I و نیمرخ سپری (T) ، b برابر نصف عرض بال.

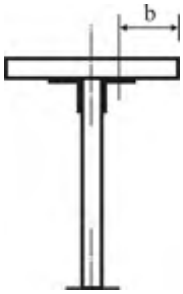


۲. برای بال‌های نیمرخ نبشی (L) ، نیمرخ ناودانی (U) و نیمرخ دونبشی (Z) ، b برابر تمام عرض موجود.

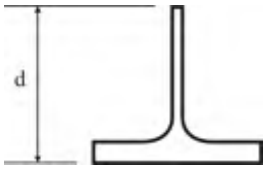


* استفاده از اجزای لاغر نیاز به‌محاسبات خاصی دارد که لازم است به‌یکی از آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی مراجعه شود.

۳. برای تیرورق‌ها، عرض b عبارت است از فاصله لبهٔ آزاد تا اولین ردیف وسایل اتصال یا خط جوش.



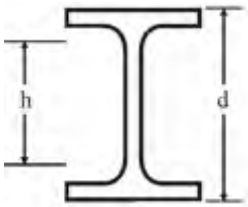
۴. برای تیغه (جان) نیمرخ سپری (T) ، پهنای d برابر ارتفاع کلی مقطع.

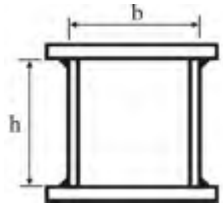


پ) پهنای آزاد اجزای با دو لبهٔ متکی

پهنای آزاد b یا d یا h در اجزایی که در دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند، به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

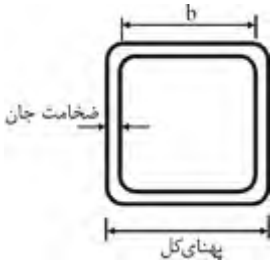
۱. برای جان نیمرخ‌های نوردشده، d برابر ارتفاع کلی مقطع و h فاصلهٔ بین نقاط شروع و گردی اتصال بال به‌جان.





۲. برای جان نیمرخ‌های مرکب (ساخته‌شده)، h برابر فاصلهٔ خالص بین بال‌های نیمرخ.

۳. برای ورق‌های بال در مقاطع ساخته‌شده پهنای b عبارت است از فاصلهٔ بین دو ردیف وسیله اتصال مجاور یا دو خط جوش مجاور.



۴. برای بال‌های نیمرخ‌های چهارگوش توخالی (قوطی) پهنای b عبارت است از فاصلهٔ خالص دو جان منهای شعاع انحنای بین جان و بال در هر طرف. اگر این شعاع انحنا مشخص نباشد، می‌توان پهنای کل منهای سه برابر ضخامت جان را در نظر گرفت.

توضیح: برای بال‌های نیمرخ نوردشده‌ای که ضخامت در آنها یکسان نباشد، (مانند نیمرخ INP) ، ضخامت معادل، برابر ضخامت بال در نقطهٔ میانی لبهٔ بال و سطح جان در نظر گرفته می‌شود.

ت) مقاطع با اجزای لاغر فشاری

از به‌کار بردن مقاطع با اجزای لاغر (طبق تعریف بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶ الف) در اعضایی که تحت اثر تنش‌های فشاری قرار می‌گیرند باید خودداری شود، مگر برای جان تیرورق‌ها که در این صورت مقررات بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ تعیین‌کننده خواهد بود.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در اجزای فشاری

	حالت	پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
			مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
اجزا با یک لبه متکی	**۱.** بال‌های تیر نوردشده I و ناودانی در خمش	$\frac{b}{t}$	$\frac{۵۴۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۱۷۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$	$\frac{۷۹۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۲۵۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۲. بال‌های تیرورق I (با اتصال جوشی) در خمش	$\frac{b}{t}$	$\frac{۵۴۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۱۷۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$	$\frac{۷۹۵}{\sqrt{F_y/K_c^{**}}}$ یا $\left[\frac{۲۵۰}{\sqrt{F_y/K_c}}\right]^*$
	۳. عضو فشاری تک‌نبشی یا جفت‌نبشی با اتصال و لقمه‌هایی بین دو نیمرخ	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$\frac{۶۳۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۲۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۴. بال‌های برجسته در عضو فشاری جفت‌نبشی در تماس سرتاسری با یکدیگر، تسمه‌ها یا نبشی‌ها که به‌طور برجسته بر تیر یا ستون قرار گیرند، قطعات سخت‌کننده در تیرورق‌ها	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$\frac{۷۹۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۲۵۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۵. تیغه (جان نیمرخ سپری)	$\frac{d}{t}$	کاربرد ندارد	$\frac{۱۰۶۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۳۴۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$

* روابط در سیستم SI می‌باشند.

** مقدار K_c از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{h}{t} > ۵۰ \rightarrow K_c = \frac{۷}{\sqrt{h/t}} \geq ۰/۴$$

$$\frac{h}{t} \leq ۵۰ \rightarrow K_c = ۱$$

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در اجزای فشاری (ادامه)

	حالت	پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
			مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
اجزا با دو لبه متکی	۶. پهنای آزاد در ورق‌های تقویتی سوراخدار	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$\frac{۲۶۵۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۸۵۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۷. ورق‌های تقویتی روی بال تیر با دو خط اتصال در دو لبه موازی، بال‌های مقطع قوطی‌شکل (مربع یا مستطیل) با ضخامت ثابت در فشار خمشی یا فشار	$\frac{b}{t}$	$\frac{۱۵۹۰}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۵۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$	$\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۶۴۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۸. تمام عناصر دیگری که در دو لبه تحت اثر فشار یکنواخت نگهداری شده باشند	$\frac{h}{t}$ یا $\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_b}}$ یا $\left[\frac{۶۴۰}{\sqrt{F_b}}\right]^*$
	۹. جان قطعات تحت اثر فشار حاصل از خمش	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{۵۳۶۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۱۷۱۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$	
		$\frac{h}{t_w}$		$\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۲۰۳۵}{\sqrt{F_y}}\right]^*$
	۱۰. جان قطعات تحت اثر مشترک فشار حاصل از خمش و فشار محوری	$\frac{h}{t_w}$	برای حالت: $\frac{f_a}{F_y} \le ۰/۱۶$ $\frac{۵۳۶۵}{\sqrt{F_y}}(۱-۳/۷۴\frac{f_a}{F_y})$ $\left[\frac{۱۷۱۰}{\sqrt{F_y}}(۱-۳/۷۴\frac{f_a}{F_y})\right]^*$ برای حالت: $\frac{f_a}{F_y} > ۰/۱۶$ $\frac{۲۱۵۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۶۹۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$	$\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_b}}(۱-۱/۵\frac{f_a}{F_y})$ یا $\left[\frac{۲۰۳۵}{\sqrt{F_b}}(۱-۱/۵\frac{f_a}{F_y})\right]^*$

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت در اجزای فشاری (ادامه)

	حالت		پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
				مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
لوله‌ها	**۱۱.** مقطع دایره‌ای توخالی (لوله‌شکل)	تحت فشار محوری	$\frac{D}{t}$	$\frac{۲۳۰\times۱۰^{۳}}{F_y}$ یا $\left[\frac{۲۳۰\times۱۰^{۲}}{F_y}\right]^{*}$	
		تحت خمش	$\frac{D}{t}$	$\frac{۲۳۰\times۱۰^{۳}}{F_y}$ یا $\left[\frac{۲۳۰\times۱۰^{۲}}{F_y}\right]^{*}$	

در این جدول:

f_a = تنش فشاری موجود $(kg/cm^{۲})$ ، (در روابط ستاره‌دار برحسب $(N/mm^{۲})$)

F_y = حد تسلیم فولاد مصرفی $(kg/cm^{۲})$ ، (در روابط ستاره‌دار برحسب $(N/mm^{۲})$)

F_b = تنش مجاز در خمش $(kg/cm^{۲})$ ، (در روابط ستاره‌دار برحسب $(N/mm^{۲})$)

D = قطر خارجی لوله می‌باشد

* روابط در سیستم SI می‌باشند که در آنها تنش برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع بیان شده است.

۱۰ـ۱ـ۳ اعضای کششی

این بخش به‌اعضای تحت اثر نیروی محوری کششی که در امتداد محور مرکزی عضو بارگذاری شده‌اند، می‌پردازد.

محاسبهٔ اعضایی که تحت اثر پدیدهٔ خستگی و یا تمرکز تنش به‌علت تغییر ناگهانی مقطع باشند، باید با توجه به‌این پدیده انجام شود.

برای اعضایی که تحت اثر مشترک کشش و خمش قرار گیرند، به‌بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲ و برای میله‌های دندانه‌شده به‌بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ مراجعه شود.

۱۰ـ۱ـ۳ـ۱ محدودیت لاغری

در اعضایی که ملاک طراحی آنها نیروی کششی است، ضریب لاغری حداکثر $\frac{L}{r_{min}}$ نباید از ۳۰۰ تجاوز کند. در میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به‌مقدار کافی باشند رعایت محدودیت لاغری لازم نیست، لیکن نسبت طول به‌قطر این اعضا نباید از ۳۰۰ تجاوز کند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ مقاطع محاسباتی در اعضای کششی

الف) سطح مقطع کلی عضو کششی

سطح مقطع کلی عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع‌های اجزای آن و سطح مقطع هر جزء ، برابر با حاصل‌ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می‌باشد. برای نیمرخ نبشی پهنای کلی عبارت است از مجموع پهناهای دو بال منهای ضخامت بال.

ب) سطح مقطع خالص عضو کششی

سطح مقطع خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصل‌ضرب‌های پهنای خالص اجزا در ضخامت مربوط می‌باشد. پهنای خالص عبارت است از پهنای کلی منهای قطر سوراخ‌های عضو که به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

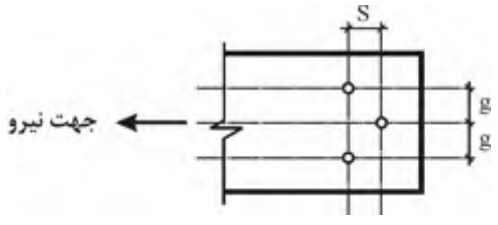
۱. در صورت استفاده از دستگاه پانچ، قطر سوراخ پیچ و پرچ به‌مقدار ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر سوراخ به‌حساب می‌آید.

۲. اگر سوراخ‌های متعدد به‌شکل پس و پیش (به‌صورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند، برای محاسبهٔ پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی، مجموع قطر سوراخ‌های مسیر زنجیره را کم و به‌آن برای هر ردیف گام مورب در مسیر گسیختگی یک مرتبه جمله $\frac{S^2}{4g}$ را اضافه کرد.

که در آن:

S= عبارت است از فاصلهٔ مرکز به‌مرکز سوراخ‌ها در امتداد طولی (گام طولی)

g= عبارت است از فاصلهٔ مرکز به‌مرکز ردیف‌های طولی (گام عرضی)



در نیمرخ نبشی گام عرضی برای سوراخ‌های واقع در روی دو بال متعامد، عبارت خواهد بود از جمع فواصل سوراخ‌ها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن.

مقطع خالص بحرانی، مقطعی است که سوراخ‌های مسیر مربوط، حداکثر تنش کششی را به‌دست می‌دهد.

پ) سطح مقطع مؤثر عضو کششی

۱. در صورتی که بار به‌صورت مستقیم، توسط وسایل اتصال، به‌هر یک از اجزای تشکیل‌دهندهٔ مقطع منتقل شود، سطح مقطع مؤثر (A_e) برابر سطح مقطع خالص (A_n) در اتصال پیچی و (A_g) در اتصال جوشی در نظر گرفته می‌شود.

۲. اگر بار توسط پیچ به‌قسمتی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع مؤثر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$A_e = U.A_n \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱)$$

که در آن:

A_n = سطح مقطع خالص عضو

U = ضریب سطح مؤثر

۳. اگر بار توسط اتصال جوشی به‌قسمتی از اجزای تشکیل‌دهنده مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع مؤثر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$A_e = U.A_g \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۲)$$

که در آن:

A_g = سطح مقطع کلی عضو می‌باشد.

ضریب سطح مؤثر (U) در اعضای کششی

ضریب U باید به‌شرح زیر در نظر گرفته شود مگر اینکه نتایج آزمایش و سوابق تجربی

دیگری، استفاده از ضریب بزرگتری را موجه کند.

الف) برای نیمرخ‌های I نوردشده و سپری (T) بریده‌شده از آنها و مقاطع مرکب ساخته شده، در اتصال‌های جوشی، پیچی و یا پرچی، در صورتی‌که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و برای نبشی‌ها در صورتی‌که توسط یک بال متصل شده باشند و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد : $U = ۰/۸۵$.

ب) در تمام اعضای با اتصال پیچی و یا پرچی که فقط دو وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد: $U = ۰/۷۵$.

پ) در اتصالات تسمه و ورق که با جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل هستند، طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آنها (پهنای تسمه) کمتر باشد و سطح مقطع مؤثر (A_e) باید طبق رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۳) با ضریب U به‌شرح زیر به‌دست آید:

اگر	$۱/۵W > L > W$	آنگاه	$U = ۰/۷۵$
اگر	$۲W > L > ۱/۵W$	آنگاه	$U = ۰/۸۷$
اگر	$L > ۲W$	آنگاه	$U = ۱$

که در آن:

L = طول جوش و

W = پهنای ورق (فاصله بین خطوط جوش) است.

ت) ورق‌های اتصال کششی

ورق‌های اتصال اعضای خرپاها، مهاربندها و یا اتصالات شکل دیگر، که تحت اثر نیروی کششی قرار می‌گیرند، باید مطابق با بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ طرح و محاسبه شوند و در آنها سطح مقطع مؤثر ملاک محاسبه می‌باشد، مشروط بر آنکه از نظر محاسباتی این سطح (سطح مقطع مؤثر) بزرگتر از ۸۵ درصد سطح مقطع کل به‌حساب نیاید.

$$A_e = A_n \leq ۰/۸۵ A_g \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳)$$

۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳ تنش‌های مجاز

تنش کششی مجاز (F_t) نباید از $۰/۶F_y$ بر روی سطح مقطع کل (معیار تسلیم) و یا از $۰/۵F_u$ بر روی سطح مقطع مؤثر خالص (معیار گسیختگی) تجاوز کند که F_y تنش تسلیم و F_u تنش نهایی مصالح می‌باشند. علاوه بر این، قطعات کششی که با اتصال مفصلی و پین متصل می‌شوند، باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ را در محل سوراخ پین تأمین کنند. مقاومت برشی و پارگی در اتصال انتهای اعضای کششی باید مطابق با بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ بررسی شود. قطعات کششی از تسمه‌های سرپهن، باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ ـ الف را برآورده کنند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۴ اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق

در عناصری که به‌طور سرتاسری در تماس با یکدیگر متصل می‌شوند، فاصلهٔ وسایل اتصال بین یک نیمرخ و ورق یا بین دو ورق نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

الف) در قطعات رنگ‌شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلی‌متر.

ب) در قطعات رنگ‌نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۲۰۰ میلی‌متر.

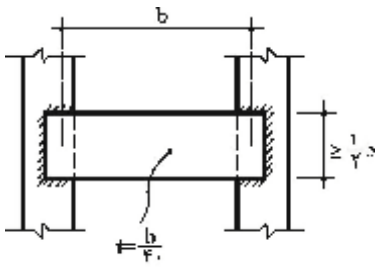
در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) مقطع در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند. فاصلهٔ محور به‌محور پیچ‌ها و پرچ‌ها و یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع که آنها را به‌یکدیگر متصل می‌کند، نباید از ۶۰۰ میلی‌متر بیشتر شود.

در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) نیمرخ و یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آنها به‌فواصلی قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط به‌یکدیگر متصل می‌شوند، فاصلهٔ لقمه‌ها و اتصالات باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هریک از عناصر تشکیل‌دهنده در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ تجاوز نکند.

در اعضای کششی مرکب، به‌کار بردن بست‌های موازی در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز

است. پهنای بست‌های موازی در امتداد طول عضو باید حداقل یک‌دوم فاصله بین مراکز هندسی دو نیمرخ باشد. ضخامت این بست‌ها نباید از $\frac{۱}{۴۰}$ فواصل یاد شده کمتر شود. فاصلهٔ محور به‌محور پیچ‌ها یا پرچ‌ها و فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی، در اتصال بست‌ها نباید از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند. فاصلهٔ بست‌های موازی از یکدیگر باید به‌اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری هریک از اجزای کششی متصل شده بین این بست‌ها، از ۳۰۰ بیشتر نشود.

در اعضای کششی مرکب با بست‌های موازی و یا مورب، دو انتهای عضو باید به‌کمک ورق‌هایی که طول آنها در امتداد عضو کمتر از فاصلهٔ مرکز به‌مرکز عناصر و یا طول اتصال نیست، به‌یکدیگر اتصال یابند.



۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ اعضای کششی با اتصالات لولایی

الف) تنش‌های مجاز

تنش مجاز در مقطع باقیمانده، در محل سوراخ لولا در قطعهٔ کششی نباید از $۰/۴۵F_y$ تجاوز کند.

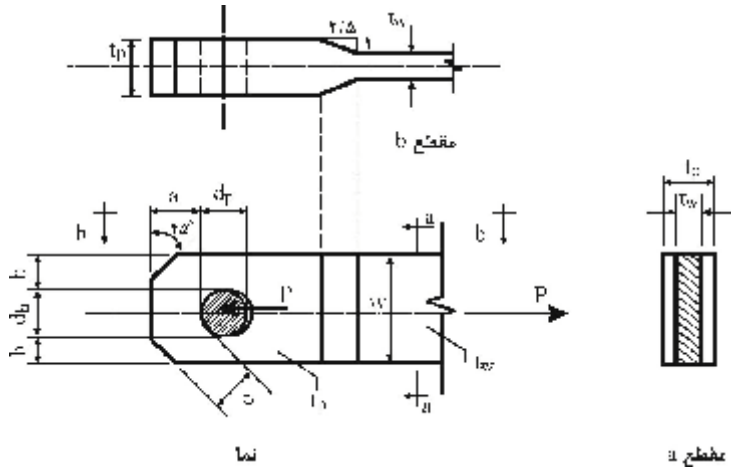
تنش فشاری تماسی در روی سطح تصویر شده پین (حاصل‌ضرب قطر در طول تماس) نباید از مقادیر داده شده در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ بزرگتر شود.

در تسمه‌های لولا شده و سرپهن که شرایط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ ـ ب و پ تأمین شده باشد، تنش مجاز برابر $۰/۶F_y$ بر سطح مقطع تسمه در نظر گرفته می‌شود.

ب) *تسمه‌های لولا شده* (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۱)

حداقل سطح مقطع خالص بعد از سوراخ (که موازی محور عضو کششی در نظر گرفته می‌شود) نباید از $\frac{۲}{۳}$ سطح مقطع عرضی باقیمانده در محل سوراخ، کمتر شود.

در قطعات با اتصال پین که انتظار می‌رود اتصال مفصلی تحت بارهای حداکثر، حرکت نسبی بین قطعات متصل‌شده را تسهیل کند، قطر سوراخ پین نباید بیش از ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر پین باشد. می‌توان گوشه‌های بعد از محور سوراخ را تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به‌محور طولی عضو، پخ زد مشروط بر آنکه مقطع باقیمانده بعد از سوراخ مفصل در امتداد عمود بر خط بریده شده، کمتر از سطح مقطع عمود بر امتداد نیروی وارده نباشد.



(۱) $wt_w \geq \frac{P}{۰/۶F_y}$

(۲) $۲bt_P \geq \frac{P}{۰/۴۵F_y}$

(۳) $b \leq ۴t_P$

(۴) $a \geq \frac{۴}{۳}b$

(۵) $e \geq a$

(۶) $d_h \geq ۱/۲۵\min(a,b)$

(۷) $d_p t_p \geq \frac{P}{۰/۹F_y}$

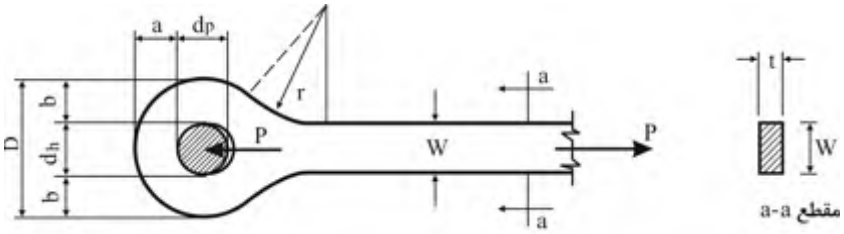
(۸) $d_h - d_P \leq ۲mm$

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۱ تسمه‌های لولاشده.

پ) *تسمه‌های سرپهن* (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲)

ضخامت تسمه‌های سرپهن باید ثابت باشد و در ناحیه سوراخ نباید افزایش یابد و کاملاً صفحه‌ای باشد. همچنین سرپهن این تسمه‌ها باید دایره‌ای و هـ ممرکزبا سوراخ پین باشد. شعاع قسمت ماهیچه‌ای شکل که در لبهٔ اتصال قسمت پهن به‌تسمه وجود دارد، نباید از قطر سر دایره‌ای‌شکل کمتر باشد.

برای محاسبهٔ عرض تسمه نباید بیشتر از ۸ برابر ضخامت آن در نظر گرفته شود. ضخامت تسمه را نباید کمتر از ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفت، مگر حالتی که پین اتصال دارای مهره باشد که با سفت کردن آنها قطعات جمع و فشرده شوند. فاصلهٔ بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ



(۱) ضخامت در طول تسمه یکنواخت باشد
و تسمه در ناحیه سوراخ تقویت نشود

(۲) $wt \geq \frac{P}{۰/۶F_y}$

(۳) $۲bt \geq \frac{P}{۰/۴۵F_y}$

(۴) $t \geq ۱۲mm$

(۵) $w \leq ۸t$

(۶) $۱/۳۳w \leq ۲b \leq ۱/۵w$

(۷) $d_p \geq \frac{۷}{۸}w$

(۸) $a = b$

(۹) $r \geq D$

(۱۰) $d_h - d_p \leq ۲mm$

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ اتصال لولایی با تسمه‌های سرپهن.

تسمه در امتداد عمود بر نیروی وارده، نباید کمتر از $\frac{۲}{۳}$ و بیشتر از $\frac{۳}{۴}$ عرض تسمه در نظر گرفته شود.

قطر پین نباید از $\frac{۷}{۸}$ برابر عرض تسمه کمتر باشد.

قطر سوراخ نباید بیش از ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر پین باشد.

برای فولادهای پرمقاومت (با تنش تسلیم بیش از ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا [۴۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع]*) ، قطر سوراخ نباید از ۵ برابر ضخامت تسمه تجاوز کند و عرض تسمه باید به‌تناسب کاهش داده شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ اعضای فشاری (ستون)

این بخش به‌قطعات منشوری با مقطع فشرده و غیرفشرده تحت اثر فشار محوری در امتداد محور مرکزی عضو می‌پردازد. برای اعضایی که تحت اثر مشترک فشار محوری و لنگر خمشی قرار می‌گیرند، به‌بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ مراجعه شود. اعضای فشاری می‌توانند از نیمرخ تک، نیمرخ‌های مرکب و نیمرخ‌های ساخته‌شده از ورق باشند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ طول مؤثر کمانشی و ضریب لاغری

در رابطهٔ تعیین ضریب لاغری ($\lambda = KL / r$) اعضای تحت اثر فشار محوری، L طول ظاهری، r شعاع ژیراسیون و K ضریب طول مؤثر می‌باشد که به‌شرح زیر تعیین می‌گردد:

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱ قاب‌های مهارشده

در قاب‌هایی که در آنها حرکت جانبی با تکیه کردن بر مهاربندی‌ها و یا دیوارهای برشی مقید می‌شود، ضریب طول مؤثر (K) برای اعضای فشاری باید برابر یک به‌حساب آید.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ قاب‌های مهارنشده

قاب‌هایی که پایداری جانبی آنها از طریق سختی خمشی اعضای قاب (تیرها و ستون‌هایی که با اتصالات صلب به‌یکدیگر متصل هستند) تأمین می‌شود، طول مؤثر (KL) اعضای فشاری باید با تجزیه و تحلیل وضع موجود تعیین شود و هیچ‌گاه نباید کمتر از طول واقعی عضو در نظر گرفته شود. ضریب طول مؤثر K را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین نمود:

$$K = \sqrt{\frac{۱/۶ G_A G_B + ۴(G_A + G_B) + ۷/۵}{G_A + G_B + ۷/۵}} \geq ۱ \qquad (۱ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

G_A و G_B = نماد نشان‌دهندهٔ شرایط مرزی دو انتهای عضو فشاری و برابر است با نسبت مجموع EI/L ستون‌ها به‌مجموع EI/L تیرهای منتهی به‌دو انتهای عضو فشاری در یک صفحه. پارامترهای به‌کار رفته به‌قرار ذیل می‌باشند:

E= ضریب ارتجاعی

I= ممان اینرسی حول محور خمش

L= طولی از عضو که مهار جانبی ندارد (محور به‌محور)

G = ۱ برای انتهای گیردار ستون

G =۱۰ برای انتهای مفصلی ستون

تبصره ۱ : برای تیرهای طره‌ای متصل به‌عضو فشاری $\frac{EI}{L}$ مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود.

تبصره ۲ : هرگاه انتهای نزدیک تیر به‌عضو فشاری مفصلی باشد، $\frac{EI}{L}$ آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود.

تبصره ۳ : هرگاه انتهای دور تیر به‌عضو فشاری مفصلی باشد، $\frac{EI}{L}$ آن تیر باید در ضریب ۰/۵ ضرب شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳ محدودیت لاغری

در اعضایی که ملاک طراحی و محاسبهٔ آنها نیروی فشاری است، لاغری حداکثر λ نباید از

۲۰۰ تجاوز کند. در طراحی لرزه‌ای برای کنترل لاغری اعضای فشاری، رعایت مفاد فصل ۱۰ ـ ۳ الزامی است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲ تنش‌های مجاز

الف) در اعضای تحت اثر فشار محوری، که اجزای مقطع آن محدودیت‌های جدول ۱۰ـ۱ـ۲ـ۱ را برآورده می‌نمایند، اگر لاغری حداکثر $\left(\lambda=\frac{KL}{r}\right)_{max}$ آن کمتر از مقدار C_c باشد، تنش مجاز از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲) تعیین می‌شود:

$$F_a=\frac{۱}{F.S.}\left[۱-\frac{۱}{۲}\left(\frac{\lambda}{C_c}\right)^۲\right]F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲)$$

$$F.S.=۱/۶۷+۰/۳۷۵\left(\frac{\lambda}{C_c}\right)-۰/۱۲۵\left(\frac{\lambda}{C_c}\right)^۳$$

که در آن:

$$C_c=\sqrt{\frac{۲\pi^۲E}{F_y}}=\frac{۶۴۴۰}{\sqrt{F_y}} \qquad \text{یا} \qquad SI:\left[C_c=\frac{۲۰۵۵}{\sqrt{F_y}}\right]^*$$

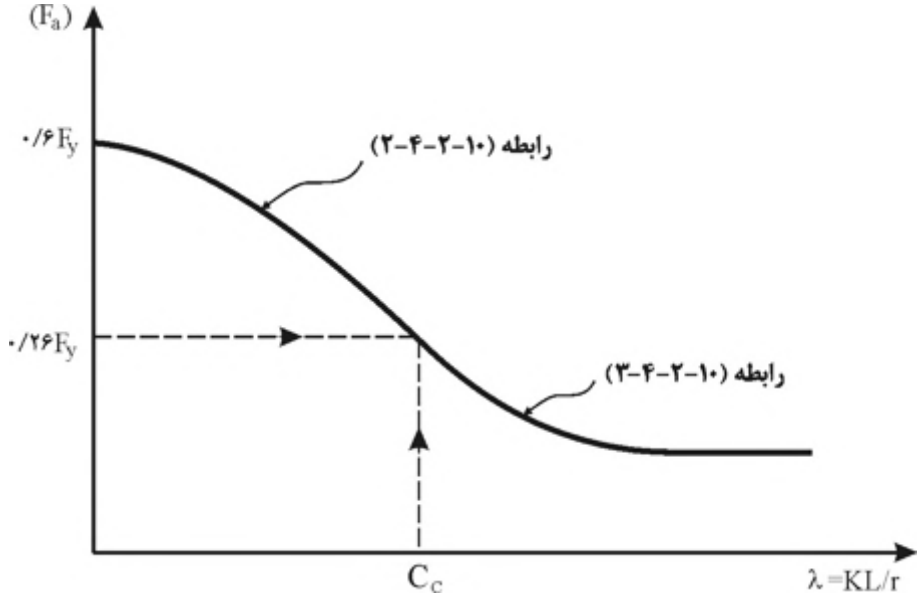
ب) اگر لاغری حداکثر $\left[\lambda=\frac{KL}{r}\right]_{max}$ بزرگتر از C_c باشد، تنش فشاری مجاز برای مقطع کلی عضو تحت اثر فشار محوری از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳) تعیین می‌شود:

$$F_a=\frac{۱۲\pi^۲E}{۲۳(\lambda)^۲}=\frac{۱۰۵\times۱۰^۵}{\lambda^۲} \qquad \text{یا} \qquad SI:\left[F_a=\frac{۱۰۵\times۱۰^۴}{\lambda^۲}\right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳)$$

λ = لاغری حداکثر عضو فشاری

C_c = لاغری مرزی بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی

F.S. = ضریب اطمینان



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۱ نمودار تغییرات تنش فشاری مجاز برحسب لاغری حداکثر.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ کمانش خمشی ـ پیچشی

در ستون‌هایی که یک محور تقارن در مقطع دارند مانند نبشی (L) یا سپری (T) و همچنین ستون‌های دارای دومحور تقارن در مقطع مانند مقطع صلیبی یا مقاطع ساخته‌شده‌ای که جدار آنها خیلی نازک باشد و نیز مقاطع غیرمتقارن، بررسی کمانش خمشی پیچشی یا کمانش پیچشی لازم است. در این خصوص به‌مراجع معتبر مراجعه گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب (ساخته شده)

اعضای فشاری مرکب باید شرایط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۱ تا ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۴ را ارضاء کنند.

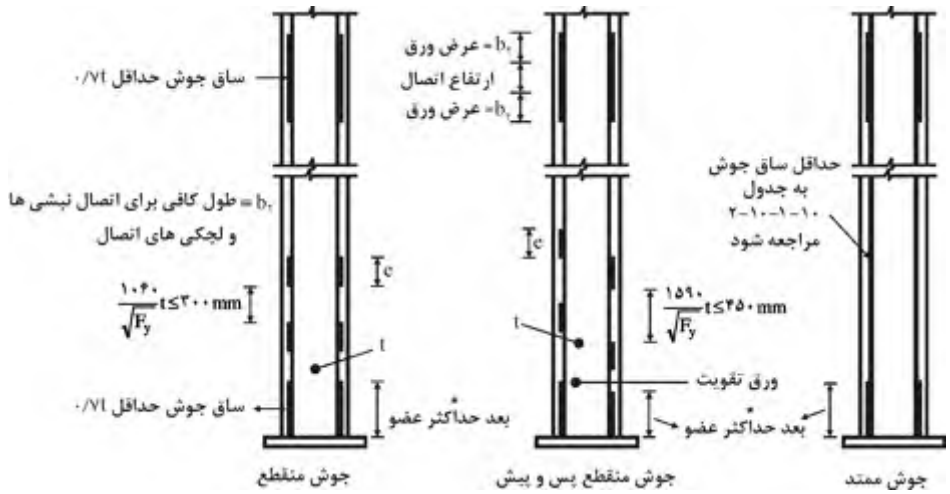
محدودیت‌های فاصله بین وسایل اتصال و فاصله تا لبه عضو در اعضایی که تحت اثر عوامل جوی قرار می‌گیرند به‌بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۱ اعضای فشاری مرکب از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری (جان پر)

در انتهای اعضای فشاری مرکب، در محل فشار مستقیم بر کف ستون‌ها و یا در محل سطوح صاف و تنظیم شده در درز وصله‌ها، تمام اجزایی که در تماس فشاری با یکدیگر قرار می‌گیرند باید در فاصلهٔ ۱/۵ برابر بعد حداکثر مقطع مرکب با پیچ‌هایی که فاصله محور به‌محور آنها از یکدیگر حداکثر ۴ برابر قطرشان باشد به‌یکدیگر متصل شوند. اگر وسیله اتصال جوش باشد، در محل‌های یاد شده باید اجزای تشکیل‌دهنده در طولی برابر بعد حداکثر مقطع مرکب، با جوش پیوسته به‌یکدیگر متصل شوند. اتصال انتهایی باید بتواند نیروی مساوی حاصل‌ضرب سطح ورق در $۰/۶F_y$ را تحمل نماید. در اعضای مرکب تعداد پیچ‌ها یا طول نوارهای جوش منقطع باید برای انتقال تنش‌های محاسباتی کافی باشد. حداکثر فاصله طولی بین پیچ‌ها و یا فواصل خالص بین جوش‌های منقطع، که دو نیمرخ نوردشده در تماس با یکدیگر را به‌هم متصل می‌کند نباید از ۴۵۰ میلی‌متر بیشتر باشد. علاوه بر این در اعضای رنگ شده یا اعضای رنگ‌نشده‌ای که احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی نداشته باشند و سطوح خارجی آنها از ورق باشد، چنانچه از جوش طولی ممتد استفاده نشود، حداکثر فاصله طولی مذکور نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

۱. $\frac{۱۰۶۰}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۳۴۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور پس و پیش نباشند. (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲)

۲. $\frac{۱۵۹۰}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{۵۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور پس و پیش قرار گیرند. (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲)



e= حداقل طول جوش مساوی ۱۰t که t ضخامت ورق است و حداقل ساق جوش طبق جدول ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۲ می‌باشد.

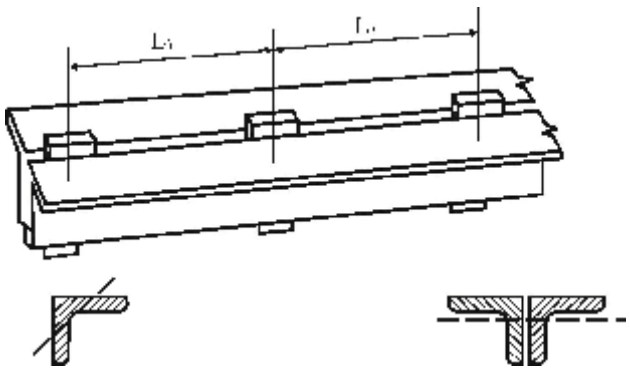
* این جوش باید بتواند نیروی مساوی حاصل‌ضرب سطح مقطع ورق در $۰/۶F_y$ را تحمل نماید.

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲ ستون مرکب با ورق سرتاسری.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۲ اعضای فشاری مرکب با لقمه

در اعضای فشاری که از دو یا چند نیمرخ نوردشده ساخته شوند و با گذاردن قطعات لقمه در بین آنها به‌یکدیگر متصل گردند، فواصل لقمه‌ها (یا نقاط اتصال) باید طوری باشد که ضریب لاغری حداکثر $\left(\frac{L_۱}{r_۱}\right)$ هر نیمرخ در قسمتی که بین دو لقمه قرار دارد از $\frac{۳}{۴}$ ضریب لاغری تعیین‌کننده کل عضو مرکب تجاوز نکند. $L_۱$ فاصلهٔ مرکز به‌مرکز لقمه‌ها و $r_۱$ شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ است. لقمه‌ها باید در دوسر عضو و حداقل در نقاط $\frac{۱}{۳}$ طول بین دوسر آن موجود باشند.

کلیه اتصالات (شامل آنهایی که در دو انتهای عضو هستند) باید جوشی یا در آنها از پیچ‌های اصطکاکی استفاده شده باشد.



محور شعاع ژیراسیون حداقل مقطع مرکب (استفاده از مقطع نبشی فقط برای نمایش است و سایر نیمرخ‌ها نیز قابل استفاده هستند)

محور شعاع ژیراسیون حداقل تک‌عضو

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۳ اعضای فشاری مرکب با لقمه.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۳ اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب

این بند مربوط است به‌ستون‌ها و اعضای فشاری مرکب که از نیمرخ‌ها و بست‌های مورب ساخته می‌شوند. و از آنها در مواقعی استفاده می‌شود که عضو تحت فشار خالص و یا فشار به‌علاوهٔ خمش حول محور با مصالح (محور x ، شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴) قرار داشته باشد.

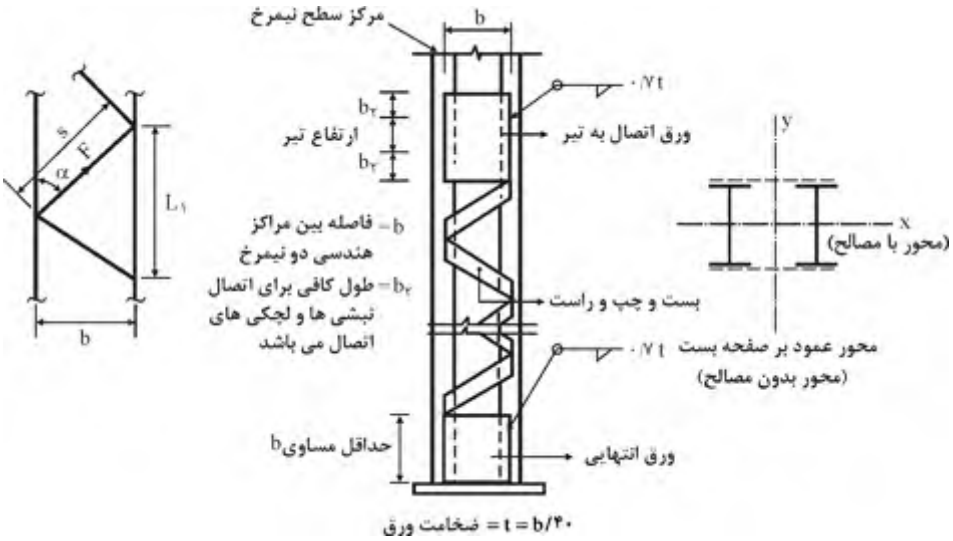
(الف) ورق انتهایی و ورق اتصال به‌تیر

بست‌های مورب در انتهای عضو، باید به‌ورق انتهایی ختم شوند. (شکل ۱۰ـ۱ـ ۴ ـ۴). همچنین در قسمت‌های میانی عضو که نظم بست‌های مورب به‌علت تقاطع با عضو دیگری به‌هم خورده باشد، باید ورق‌های اتصال به‌تیر تعبیه گردد. ورق‌های انتهایی باید تا حد امکان به‌دو انتهای عضو نزدیک باشد. حداقل طول ورق‌های انتهایی (در امتداد طول عضو) باید برابر با فاصلهٔ بین مراکز سطح نیمرخ‌های تشکیل‌دهندهٔ عضو اصلی یعنی b باشد و طول ورق‌های اتصال به‌تیر باید فضای کافی برای برقراری اتصال را داشته باشد.

ضخامت ورق‌های انتهایی و اتصال به‌تیر نباید از $\frac{۱}{۴۰}$ b کمتر شود، که b فاصلهٔ بین مراکز هندسی دو نیمرخ عضو اصلی است.

اگر وسیلهٔ اتصال ورق‌های انتهایی و اتصال به‌تیر، پیچ باشد، فاصله این وسایل اتصال از یکدیگر در امتداد تنش نباید از ۶ برابر قطر آنها تجاوز کند و در هر طرف خود حداقل سه عدد پیچ داشته باشند.

اگر وسیلهٔ اتصال ورق‌های انتهایی و اتصال به‌تیر جوش باشد، باید دورتادور جوش شود.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ستون مرکب با بست‌های مورب.

(ب) بست‌های مورب

بست‌های مورب را می‌توان از تسمه، نبشی، ناودانی یا مقطع مناسب دیگر انتخاب کرد. بست‌های مورب را باید طوری قرار داد که ضریب لاغری حداکثر نیمرخ محصور بین نقاط اتصال آنها از $\frac{۳}{۴}$ ضریب لاغری تعیین‌کننده کلی عضو بیشتر نشود.

بست‌های مورب را باید برای تحمل اثر نیروی برشی ستون به‌علت نیروهای خارجی به‌علاوه ۲ درصد بار محوری عضو فشاری طراحی کرد.

نسبت $\frac{L}{r}$ برای بست‌های مورب تکی نباید از ۱۴۰ تجاوز کند.

برای بست‌های مورب زوج (ضربدری) این نسبت نباید از ۲۰۰ بیشتر شود.

بست‌های مورب زوج که به‌صورت ضربدری اجرا می‌شود، باید در محل تقاطع خود به‌یکدیگر متصل شوند.

طول آزاد برای محاسبهٔ ضریب لاغری بست‌های اتصالی که در فشار قرار دارند، در بست‌های تکی برابر فاصله بین مرکز هندسی اتصالات (پیچ، پرچ یا جوش) دوسر آنها به‌عضو فشاری و در بست‌های زوج ضربدری ۷۰ درصد این فاصله به‌حساب می‌آید.

زاویهٔ تمایل امتداد بست‌ها نسبت به‌محور طولی عضو، نباید کمتر از ۴۵ درجه برای بست‌های ضربدری و ۶۰ درجه برای بست‌های تکی باشد.

اگر فاصلهٔ بین مرکز هندسی اتصالات (پیچ یا جوش) دوسر بست بیش از ۴۰۰ میلی‌متر باشد، ارجح است که بست‌ها به‌صورت زوج در نظر گرفته شوند و یا از نیمرخ نبشی طراحی گردند.

(پ) لاغری معادل اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب

لاغری معادل نسبت به‌محور عمود بر صفحهٔ بست‌های مورب از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\lambda_e = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2}$$

λ = لاغری کلی عضو فشاری نسبت به‌محور عمود بر صفحه بست‌های مورب

λ_1 = لاغری موضعی که برای بست‌های مورب برابر است با:

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2A_d} \cdot \frac{S^3}{L_1 b^2}}$$

A = سطح مقطع کلی عضو فشاری

A_d = سطح مقطع بست مورب

S = طول بین مراکز هندسی اتصال دو انتهای بست مورب (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴)

L_1 = طول مرکز به‌مرکز مهارنشدهٔ تک نیمرخ

b = فاصلهٔ مراکز سطح مقطع نیمرخ‌ها

(ت) طراحی بست مورب

نیروی محوری بست مورب از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$F = \frac{V}{mn \sin \alpha}$$

n = تعداد صفحات بست در طرفین ستون

m = مساوی یک برای بست مورب تکی و مساوی دو برای بست مورب ضربدری

V = مجموع نیروی برشی ناشی از بارگذاری جانبی* و برش ناشی از کمانش که مقدار اخیر ۲ درصد نیروی فشاری طرح عضو فشاری مرکب در نظر گرفته می‌شود.

α = زاویهٔ بین محور بست با محور عضو فشاری (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴).

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۴ ستون‌ها و اعضای فشاری مرکب با بست موازی (شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵)

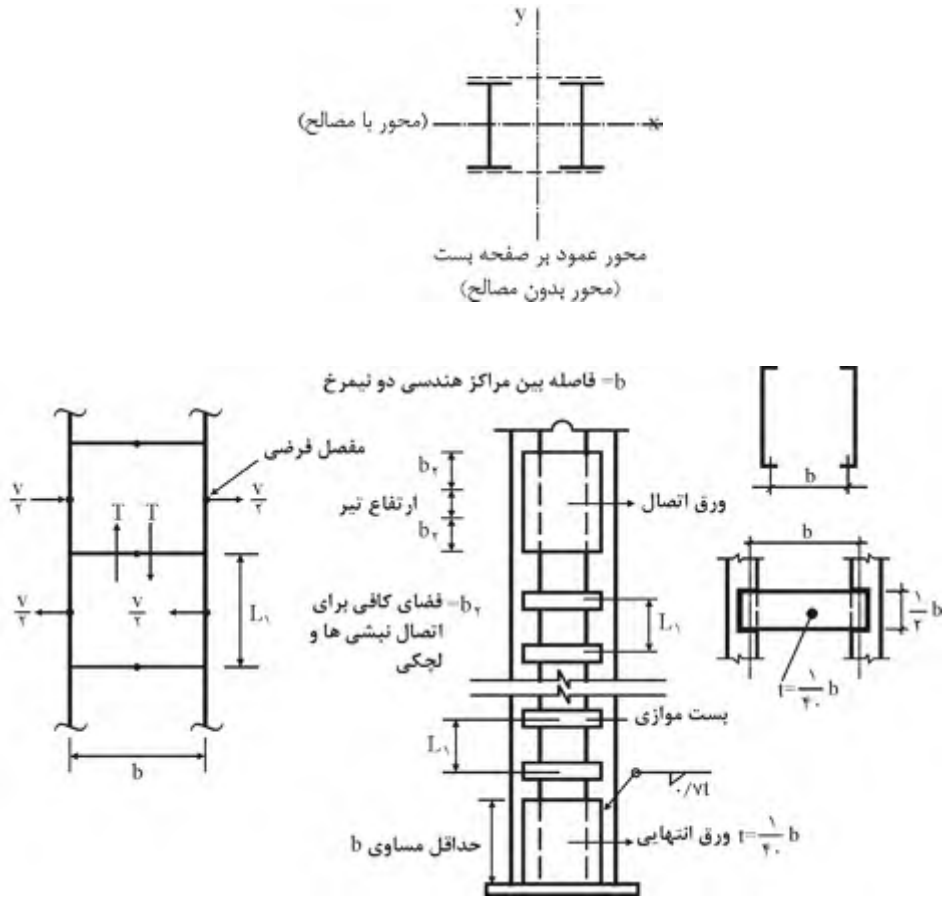
این بند مربوط است به‌ستون‌ها و اعضای فشاری مرکبی که از نیمرخ‌ها و بست‌های موازی و عمود بر محور طولی عضو ساخته می‌شوند. از آنها وقتی استفاده می‌شود که عضو تحت فشار خالص و یا فشار به‌علاوهٔ خمش حول محور با مصالح (محور x) قرار داشته باشد.

۱. بست‌های میانی باید به‌تعدادی باشد که طول عضو فشاری (بین ورق‌های انتهایی) را حداقل به‌سه قسمت تقسیم کند.

۲. فاصلهٔ بست‌ها از یکدیگر باید به‌اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری تک نیمرخ عضو فشاری $\left(\frac{L_1}{r_1}\right)$ در قسمتی که بین دو بست متوالی قرار دارد، از ۴۰ و همچنین از $\frac{3}{4}$ ضریب لاغری (λ_y) بیشتر نشود. λ_y ضریب لاغری عضو فشاری نسبت به‌محور $y-y$ (محور

* در حالتی که مثل تیرستون عمل می‌نماید.

عمود بر امتداد بست) و L_1 فاصلهٔ مـرکز به‌مرکز قیـدها در امتداد طول عضـو و r_1 شعاع ژیراسیون حداقل تک‌نیمرخ می‌باشد.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵ ستون با بست‌های موازی

۳. بسـت‌های مـوازی و اتـصالات آنـها بـاید بـرای تـحمل لنـگر خـمشی و نـیروی بـرشی وارده محاسبه شوند. فرض می‌شود لنگر و برش مؤثر بر بست‌ها حاصل از نیروی برشی جانبی (V) مـی‌باشد کـه در امـتداد عـمود بـر محـور طـولی عضو فـشاری بـه‌موازات صفحهٔ بسـت‌ها عـمل مـی‌کند و مـقدار آن ۲ درصـد بـار مـحوری عـضو فـشاری بـه‌علاوه بـرش نـاشی از

نیروهای خارجی* است و اثر آن بین یک جفت بست در روی دو سطح موازی عضو به‌تساوی تقسیم می‌شود.

۴. بست‌ها را می‌توان از تسمه، ورق، ناودانی و یا نیمرخ I انتخاب کرد. اتصال بست‌ها به‌نیمرخ‌های اصلی عضو فشاری باید توسط پیچ، پرچ و یا جوش دورادور صورت گیرد به‌طوری که هر اتصال و نیز مقطع هر بست در مقابل نیروی برشی طولی (عمود بر امتداد بست) $T_1=\frac{V.L_1}{2b}$ و لنگر خمشی $M_1=\frac{V.L_1}{4}$ مقاوم باشد.

در روابط فوق:

V = نیروی برشی جانبی ستون (طبق تعریف مندرج در زیر بند ۳ فوق)

L_1 = فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بست‌ها در امتداد طول عضو، مطابق شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵

b = فاصلهٔ بین مراکز هندسی دو نیمرخ

۵. ورق‌های انتهایی که در دوسر عضو فشاری قرار می‌گیرند، باید حداقل طولی (در امتداد محور طولی عضو) برابر با فاصلهٔ بین مراکز سطح نیمرخ‌های تشکیل‌دهنده عضو فشاری را داشته باشند. این ورق‌ها باید با جوش دورادور با بعدی مساوی $0/7t$ و یا بعد جوش حداقل، هر کدام که بزرگترند، به‌نیمرخ‌ها متصل شوند. t ضخامت ورق انتهایی است. ضخامت این ورق‌ها نباید از $\frac{1}{40}b$ کمتر باشد.

۶. پهنای بست در امتداد طولی عضو نباید از $0/5b$ کوچکتر و ضخامت آن نباید از $\frac{1}{40}b$ کوچکتر باشد. رعایت محدودیت اخیر برای بست‌هایی که از نیمرخ ناودانی و یا I با بال‌های عمود بر سطح عضو فشاری تشکیل شده باشند، لازم نیست.

اگر در طرح عضو فشاری مرکب با بست‌های موازی تنها، محدودیت‌های زیر بندهای ۱ تا ۶ فوق رعایت شده باشد، ضریب لاغری مؤثر (λ_{ye}) نسبت به‌محور $y-y$ (محور عمود بر صفحه بست‌ها) را می‌توان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴) تعیین کرد:

$$\lambda_{ye}=\sqrt{\lambda_y^2+\lambda_1^2} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴)$$

* در حالتی که ستون به‌صورت تیر ستون عمل می‌کند.

در این رابطه $\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y}$ ضریب لاغری اسمی نسبت به‌محور $y-y$ و λ_1 ضریبی است که از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵) به‌دست می‌آید:

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_1} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵)$$

که در آن:

L_1 = فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بست در امتداد طولی عضو

r_1 = شعاع ژیراسیون حداقل هریک از نیمرخ‌های فشاری تک می‌باشد.

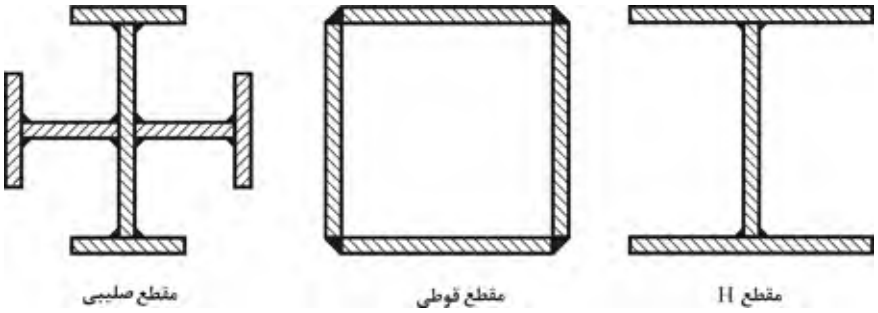
۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۵ اعضای فشاری ساخته شده از ورق

اعضای فشاری ساخته شده از ورق غالباً در مقاطع زیر ساخته می‌شوند:

۱ ـ مقطع H

۲ ـ مقطع قوطی

۳ ـ مقطع صلیبی



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۶ مقاطع اعضای فشاری ساخته شده از ورق.

جوش اتصال‌دهنده بال به‌جان

جوشی که بال ستون را به‌جان متصل می‌کند، شرایط زیر را برآورده سازد:

الف ـ باید بتواند برش ناشی از تغییرات لنگر خمشی در طول ستون را انتقال دهد.

ب ـ در محل اتصال تیر به‌ستون به‌علت تغییرات ناگهانی لنگر خمشی، مقدار نیروی برشی به‌صورت موضعی تشدید خواهد یافت، لذا تقویت جوش در این ناحیه الزامی است.

پ ـ نیروی کششی ناشی از بال تیر، ایجاد تنش متمرکز بزرگی در این جوش می‌نماید، مگر اینکه نیروی مذکور با استفاده از ورق‌های پیوستگی مستقیماً به‌بال مقابل انتقال یابد. در این مورد باید مطابق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۶ عمل نمود.

ت ـ ارجح است که این جوش پیوسته باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۶ اعضای فشاری با اتصال لولایی

اتصال مفصلی در اعضای فشاری باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ را برآورده کند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۷ برش در جان ستون‌ها

اتصالات ستون‌ها در مقابل نیروهای متمرکز باید طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ بررسی شود.

۱۰ـ۱ـ۵ اعضای خمشی

این بخش مربوط است به‌تیرهایی از نیمرخ‌های نوردشده و ساخته‌شده از ورق (تیرورق) که یک یا دو محور تقارن داشته باشند و در صفحهٔ تقارن بارگذاری شوند و همچنین نیمرخ‌های ناودانی که در صفحه مار بر مرکز برش و موازی جان ناودانی بارگذاری شوند و یا در مقابل پیچش در محل نقطه اثر بار و تکیه‌گاه‌ها نگهداری شده باشند.

وجه تمایز اعضای خمشی، لاغری جان (نسبت $\frac{h}{t_w}$) آنهاست. اگـر نسبـت ارتفاع آزاد جان (بین دو بال) به‌ضخامت آن $\frac{h}{t_w}$ کوچکتر یا مساوی $\left[\frac{۱۰۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ یا $\frac{۳۱۸۵}{\sqrt{F_y}}$ باشد، عضو خمشی، تیر نامیده شده و رعایت کمانش برشی جان برای آن لازم نیست.

اگر $\left(\frac{h}{t_w}\right)$ بزرگتر از $\left[\frac{۱۰۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ یا $\frac{۳۱۸۵}{\sqrt{F_y}}$ باشد، عضو خمشی با جان لاغر نامیده شده و در جان آن باید اثر کمانش برشی مورد بررسی قرار گیرد.

* در سیستم SI

اگـر $\left(\frac{h}{t_w}\right)$ بزرگتر از $\left[\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_b}}\right]^*$ یا $\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_b}}$ باشـد، علاوه‌بـر منظور کـردن اثر کمانـش برشی جان، باید مطابق بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۲ کاهش در تنش مجاز فشاری بال به‌علت کمانش خمشی جان منظور شود. F_y تنش تسلیم برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و یا $[N/mm^۲]$ و F_b تنش خمشی مجاز برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا $[N/mm^۲]^*$ است.

تنش‌های برشـی مجاز و محدودیت‌های مربـوط به‌سخت‌کننده‌های جـان نیز در همین فصل تعیین می‌شود، مگر حالتی که در نظر باشد از عمل میدان کششی استفاده شود که در این صورت تنش‌های برشی مجاز باید مطابق با بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ تعیین شود.

برای اعضای تحت اثر خمش و نیروی محوری به‌فصل ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱ تنش‌های خمشی مجاز در نیمرخ I و ناودانی

الف) اعضای خمشی با مقطع فشرده و با اتکای جانبی

اعضای خمشی با اتکای جانبی تلقی می‌شوند که در آنها طول آزاد بال فشاری (L_b یا فاصله بین دو تکیه‌گاه جانبی بال فشاری) از کوچکترین مقدار L_c (حاصل از روابط زیر) تجاوز نکند:

$$L_c = \frac{۶۳۵ b_f}{\sqrt{F_y}} \quad \text{یا} \quad \left[L_c = \frac{۲۰۰ b_f}{\sqrt{F_y}}\right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۰ ـ \text{الف})$$

$$L_c = \frac{۱۴\times ۱۰^۵}{(\frac{d}{A_f})F_y} \quad \text{یا} \quad \left[L_c = \frac{۱۴\times ۱۰^۴}{(\frac{d}{A_f})F_y}\right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۰ ـ \text{ب})$$

* در سیستم SI

در این روابط :

L_c = طول مهارنشده (cm) یا [mm]*

b_f و A_f = به‌ترتیب پهنای کلی (cm) یا [mm]* و سطح مقطع بال فشاری (cm^2) یا [mm^2]*

d = ارتفاع کلی نیمرخ برحسب (cm) و یا [mm]* می‌باشد.

اعضای با مقطع فشرده (بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲) که نسبت به‌محور ضعیف خود متقارن باشند و در صفحه‌ای مار بر این محور بارگذاری شوند و شرایط تیر با اتکای جانبی را نیز داشته باشند، تنش مجاز خمشی آنها از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱) تعیین می‌شود:

$$F_b = ۰/۶۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱)$$

که در آن F_y تنش تسلیم فولاد است.

ب) اعضای با مقطع غیرفشرده

اعضایی که واجد شرایط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱ ـ الف باشند ولی شرط مقطع فشرده را نداشته باشند، تنش مجازشان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲) تعیین می‌شود:

$$F_b = ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲)$$

پ) مقاطع فشرده و غیرفشرده فاقد شرط تکیه‌گاه جانبی

برای اعضای خمشی با مقطع فشرده و یا غیرفشرده (بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲) که طول آزاد (نگهداری‌نشده) آنها در منطقهٔ فشاری بیش از مقدار L_c (که در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱ـ الف مشخص‌شده) باشد، تنش کششی مجاز در خمش طبق رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲) تعیین می‌شود.

در این اعضا که یک محور تقارن منطبق بر جان داشته باشند و در امتداد جان بارگذاری شوند، تنش فشاری مجاز در خمش بزرگترین مقدار حاصل از روابط (۱۰ـ۱ـ۵ ـ۳)

یا (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵) برحسب مورد، می‌باشد که در هر حال نباید از $۰/۶F_y$ تجاوز کند.

رابطه ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ فقط در حالتی صادق است که بال فشاری به‌صورت پر و سرتاسری و شکل مقطع آن تقریباً مستطیل باشد و مساحت آن کمتر از بال کششی نباشد.

برای مقاطع ناودانی که نسبت به‌محور قوی خود تحت خمش قرار گیرند، تنش مجاز از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵) تعیین می‌شود.

اگر:

$$\sqrt{\frac{۷۲\times۱۰^{۵}\,C_b}{F_y}}\le\frac{L}{r_T}<\sqrt{\frac{۳۶۰\times۱۰^{۵}\,C_b}{F_y}}$$

$$\text{SI:}\left[\sqrt{\frac{۷۲\times۱۰^{۴}\,C_b}{F_y}}\le\frac{L}{r_T}<\sqrt{\frac{۳۶۰\times۱۰^{۴}\,C_b}{F_y}}\right]^*$$

در این صورت:

$$F_b=\left[\frac{۲}{۳}-\frac{F_y\left(\frac{L}{r_T}\right)^{۲}}{۱۰۷۵\times۱۰^{۵}\,C_b}\right]F_y\le۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۵ ـ ۱ ـ ۳)$$

$$\text{SI:}\left[F_b=\left[\frac{۲}{۳}-\frac{F_y\left(\frac{L}{r_T}\right)^{۲}}{۱۰۷۵\times۱۰^{۴}\,C_b}\right]F_y\le۰/۶F_y\right]^*$$

اگر:

$$\frac{L}{r_T} \geq \sqrt{\frac{۳۶۰\times۱۰^{۵} C_b}{F_y}}$$

$$SI: \left[\frac{L}{r_T} \geq \sqrt{\frac{۳۶۰\times۱۰^{۴} C_b}{F_y}}\right]^*$$

در این صورت:

$$F_b = \frac{۱۲۰\times۱۰^{۵} C_b}{\left(\frac{L}{r_T}\right)^{۲}} \leq ۰/۶ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴)$$

$$SI: \left[F_b = \frac{۱۲۰\times۱۰^{۴} C_b}{\left(\frac{L}{r_T}\right)^{۲}} \leq ۰/۶ F_y\right]^*$$

و به‌طور کلی برای تمام مقادیر $\frac{L}{r_T}$:

$$F_b = \frac{۸۴\times۱۰^{۴} C_b}{\frac{Ld}{A_f}} \leq ۰/۶ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵)$$

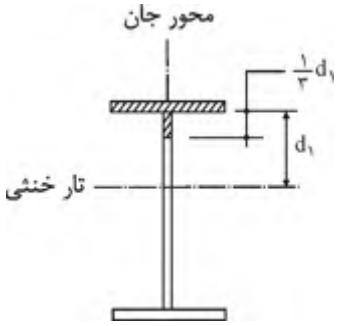
$$SI: \left[F_b = \frac{۸۴\times۱۰^{۳} C_b}{\frac{Ld}{A_f}} \leq ۰/۶ F_y\right]^*$$

که در آن:

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]$.

L = فاصله تکیه‌گاه‌هایی که از تغییرمکان جانبی و یا پیچیدن بال فشاری جلوگیری می‌کنند. (cm) یا $[mm]^*$.

برای تیر طره‌ای که فقط در محاذات تکیه‌گاه به‌طور جانبی نگهداری شده باشد، می‌توان L را برابر طول طره در نظر گرفت.



r_T = شعاع ژیراسیون مقطعی است که شامل مجموع بال فشاری و یک‌سوم منطقهٔ فشاری جان می‌باشد که نسبت به‌محور مار بر جان تیر محاسبه می‌شود (cm) یا $[mm]^*$.

d = ارتفاع کل مقطع تیر (cm) یا $[mm]^*$.

A_f = سطح مقطع بال فشاری (cm^2) یا $[mm^2]^*$.

---

* رابطهٔ تک‌قسمتی:

به‌جای استفاده از روابط ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۳ تا ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ رابطهٔ تک‌قسمتی زیر نیز قابل استفاده است:

$$F_b = \frac{3/5\times10^6\, C_b}{S_{xc}}\left(\frac{I_{yc}}{L}\right)\sqrt{0/722\frac{J}{I_{yc}}+9/87\left(\frac{d}{L}\right)^2} \le 0/6F_y$$

$$SI:\left[F_b = \frac{3/5\times10^5\, C_b}{S_{xc}}\left(\frac{I_{yc}}{L}\right)\sqrt{0/722\frac{J}{I_{yc}}+9/87\left(\frac{d}{L}\right)^2} \le 0/6F_y\right]^*$$

در رابطهٔ فوق:

S_{xc} = اساس مقطع تیر حول محور قوی نسبت به‌بال فشاری (cm^3) یا $[mm^3]^*$.

I_{yc} = ممان اینرسی بال فشاری نسبت به‌محور قائم مار بر صفحهٔ جان (cm^4) $[mm^4]^*$.

d = ارتفاع کلی مقطع (cm) یا $[mm]^*$.

J = ثابت سن‌ونان مقطع تیر طبق رابطهٔ زیر (cm^4) یا $[mm^4]^*$.

$$J = \frac{1}{3}\left[\sum bt^3\right]$$

b و t= به‌ترتیب عرض و ضخامت اجزای بال و جان تیر (cm) یا $[mm]^*$.

L= فاصله دو نقطه مهارشده (cm) یا $[mm]^*$.

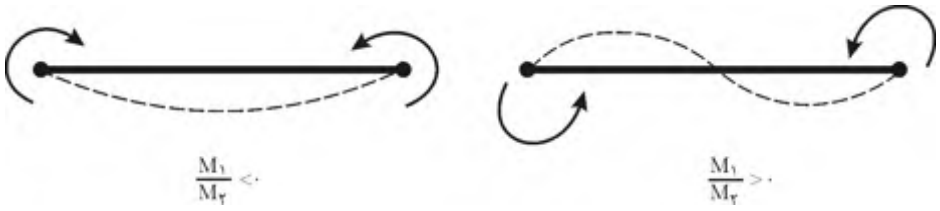
C_b = ضریب یکنواختی نمودار لنگر که نشان‌دهندهٔ اثر نمودار تغییرات لنگر خمشی در مقدار تنش مجاز می‌باشد و از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۶) تعیین می‌شود:

$$C_b = ۱/۷۵ + ۱/۰۵\frac{M_۱}{M_۲} + ۰/۳\left(\frac{M_۱}{M_۲}\right)^۲ \leq ۲/۳ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۶)$$

در هر حال بیشینه مقدار C_b برابر ۲/۳ می‌باشد.

در رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۶) $M_۱$ لنگر کوچکتر و $M_۲$ لنگر بـزرگتر (از نظر قدر مطلـق) در دو انـتهای طول آزاد (بدون تکیه‌گاه جانبی) است که نسبت به‌محور قوی مقطع در نظر گرفته می‌شود. در حالتی که $M_۱$ و $M_۲$ هم‌علامت هستند[۱] (انحنای دوگانه)، نسبـت $\frac{M_۱}{M_۲}$ مثبت و در حالتی که $M_۱$ و $M_۲$ علامت‌های مخالف دارند (انحنای ساده)، این نسبت منفی به‌حساب می‌آید.

اگر لنگر خمشی در بیـن دو انتهای طـول آزاد، مقدار بزرگتـری از لنگرهای دو انتها را به‌خود بگیرد، ضریب C_b برابر یک محسوب می‌شود.



انحنای ساده **انحنای مضاعف**

وقتـی که مقدار F_{bx} و F_{by} بـرای به‌کار بـردن در رابـطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱) محاسبـه می‌شوند، C_b برای قاب‌هایی‌که انتقال جانبی در آنها امکان‌پذیر است، از رابطهٔ (۱۰ـ۱ـ۵ـ۶) محاسبه شده و برای قاب‌هایی که از انتقال جانبی آنها جلوگیری شده است، C_b برابر یک منظور می‌شود.

در تیرهای طره‌ای C_b برابر یک منظور می‌شود.

۱. منظور علامت‌های موافق و مخالف عقربه‌های ساعت است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲ تنش‌های مجاز در خمش نسبت به‌محور ضعیف برای اعضای با مقطع I ، تسمه‌ها و ورق‌های مستطیلی و مقاطع توپر

برای اعضایی که در اثر بارگذاری در صفحه ماربر مرکز برش و نسبت به‌محور ضعیف تحت خمش قرار می‌گیرند یا اعضایی که نسبت به‌محورهای اصلی خود دارای مقاومت یکسان می‌باشند، مهار جانبی فقط در تکیه‌گاه لازم است.

تنش خمشی مجاز این اعضا طبق بندهای زیر در نظر گرفته شود.

الف) اعضای با مقطع فشرده

اعضایی که دو محور تقارن در مقطع دارند (مثل I و H) و بال‌های آنها شرایط مقطع فشرده (طبق بخش ۱۰ـ۱ـ۲) را داشته و به‌طور سرتاسری به‌جان متصل باشد و تحت‌اثر خمش نسبت به‌محور ضعیف خود قرار گیرد، همچنین مقاطع توپر دایره، مربع (چهارگوش) و مربع‌مستطیل تحت اثر خمش نسبت به‌محور ضعیف مقطع، تنش مجازشان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۷) تعیین می‌شود:

$$F_b = ۰/۷۵F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۷)$$

ب) اعضای با مقاطع غیرفشرده

اعضایی که محدودیت‌های مقطع فشرده را (بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲) برآورده نکنند، اگر تحت اثر خمش نسبت به‌محور ضعیف خود قرار گیرند، تنش مجازشان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۸) تعیین می‌شود :

$$F_b = ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۸)$$

در مقاطع با تقارن در دو جهت مانند I و H که نسبت به‌محور ضعیف خود تحت خمش قرار گیرند، در صورتی‌که بال آنها شرایط مقطع فشرده (بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲) را احراز نکند و اتصال جان و بال به‌صورت سرتاسری باشد، می‌توان محاسبه را براساس تنش مجاز

حاصل از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۹) انجام داد:

$$F_b = F_y\left[۱/۰۷۵-۰/۰۰۰۶\left(\frac{b_f}{۲t_f}\right)\sqrt{F_y}\right] \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۹)$$

$$\text{SI:}\left\{F_b = F_y\left[۱/۰۷۵-۰/۰۰۲\left(\frac{b_f}{۲t_f}\right)\sqrt{F_y}\right]\right\}^*$$

(به‌شرط اینکه $\left[\frac{b_f}{۲t_f}\le\frac{۲۵۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ یا $\frac{b_f}{۲t_f}\le\frac{۷۹۵}{\sqrt{F_y}}$ باشد).

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۳ خمش در اعضای با مقطع قوطی، لوله با مقطع مستطیلی و دایره‌ای

الف) اعضای با مقطع فشرده

برای اعضایی که شرایط مقطع فشرده را طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ دارا باشند و نسبت به‌محور قوی یا ضعیف خود تحت خمش قرار گیرند، تنش مجاز طبق رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۰) تعیین می‌شود:

$$F_b = ۰/۶۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۰)$$

برای اینکه اعضای با مقطع قوطی به‌عنوان عضو با مقطع فشرده در نظر گرفته شوند باید علاوه بر داشتن شرایط بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ محدودیت‌های زیر را نیز تأمین کنند:

۱. ارتفاع کلی نیمرخ از ۶ برابر پهنای مقطع بزرگتر نباشند.

۲. ضخامت بال از ۲ برابر ضخامت جان بیشتر نباشد.

۳. طول آزاد (مهارنشده) L_b در آن کمتر یا برابر مقدار L_c برحسب سانتی‌متر یا [میلی‌متر] * از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۱) باشد:

$$L_c = ۱۰^۳\left(۱۳۷+۸۴\frac{M_۱}{M_۲}\right)\frac{b}{F_y}\ge ۸۴\times ۱۰^۳\frac{b}{F_y} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۱)$$

$$\text{SI:}\left[L_c = ۱۰^۲\left(۱۳۷+۸۴\frac{M_۱}{M_۲}\right)\frac{b}{F_y}\ge ۸۴\times ۱۰^۲\frac{b}{F_y}\right]^*$$

در این رابطه b عرض بال برحسب سانتی‌متر یا [میلی‌متر]* و F_y تنش تسلیم برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا $[N/mm^2]^*$ است. M_1 و M_2 به‌ترتیب لنگرهای کوچک و بزرگ (برحسب قدرمطلق) در دو سرطول مهارنشده است که نسبت به‌محور قوی مقطع در نظر گرفته می‌شود. نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ وقتی مثبت است که M_1 و M_2 هم‌علامت (انحنای مضاعف) و منفی است وقتی که دو لنگر علامت‌های مخالف دارند (انحنای ساده).

ب) اعضای با مقطع غیرفشرده

برای اعضای خمشی با مقطع قوطی و لوله که شرایط مقطع غیرفشرده را داشته باشند، تنش مجاز از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۲) به‌دست می‌آید:

$$F_b = ۰/۶ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۲)$$

مقاطع قوطی که در آنها ارتفاع مقطع کمتر از ۶ برابر پهنا باشد، به‌مهار جانبی احتیاجی ندارند.

برای مقاطع قوطی با نسبت ارتفاع به‌پهنای بزرگتر، لزوم استفاده از مهار باید با تجزیه و تحلیل خاص مربوط به‌آن حالت تعیین شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تنش‌های برشی مجاز

اگر $\frac{h}{t_w} \le \frac{۳۱۸۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{h}{t_w} \le \frac{۱۰۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ باشد، برای سطح مقطعی که از حاصل‌ضرب ارتفاع کلی نیمرخ در ضخامت جان به‌دست می‌آید، تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_b = ۰/۴ F_y \qquad (۱۰ ـ ۵ ـ ۱ ـ ۱۳)$$

در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} > \frac{۳۱۸۵}{\sqrt{F_y}}$ یا $\left[\frac{h}{t_w} \le \frac{۱۰۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^*$ باشد، برای سطح مقطعی که از حاصل‌ضرب ارتفاع جان (فاصلهٔ خالص بین بال‌ها) در ضخامت جان به‌دست می‌آید، تنش برشی مجاز عبارت است از:

در صورت عدم استفاده از سخت‌کنندهٔ عرضی:

$$F_v = \frac{۵۵\times ۱۰^{۵}}{(\frac{h}{t_w})^{۲}} \le ۰/۴F_y \quad \text{یا} \quad SI: \left[F_v = \frac{۵۵\times ۱۰^{۴}}{(\frac{h}{t_w})^{۲}} \le ۰/۴F_y \right]^{*} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴ ـ \text{الف})$$

در صورت استفاده از سخت‌کننده عرضی طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ :

$$F_v = \frac{F_y}{۲/۸۹}(C_v) \le ۰/۴F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴ ـ \text{ب})$$

که در آن C_v نسبت تنش کمانش برشی جان می‌باشد و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

(برای $C_v \le ۰/۸$)

$$C_v = \frac{۳۱۵\times ۱۰^{۴}\, K_v}{F_y\,(\frac{h}{t_w})^{۲}} \qquad \text{یا} \qquad SI: \left[C_v = \frac{۳۱۵\times ۱۰^{۳}\, K_v}{F_y\,(\frac{h}{t_w})^{۲}} \right]^{*}$$

(برای $C_v > ۰/۸$)

$$C_v = \frac{۱۶۰۰}{(\frac{h}{t_w})\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}} \qquad \text{یا} \qquad SI: \left[C_v = \frac{۵۰۵}{(\frac{h}{t_w})\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}} \right]^{*}$$

F_y تنش تسلیم فولاد برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا [نیوتن بر میلی‌متر مربع] * می‌باشد.

K_v عبارت است از عدد کمانش برشی چشمه جان که به‌کمک رابطهٔ زیر برحسب مقدار $\frac{a}{h}$ به‌دست می‌آید:

$$K_v = ۵ + \frac{۵}{(a/h)^{۲}}$$

در روابط قبل:

t_w = ضخامت جان (cm) یا [mm]*

a = فاصلهٔ خالص بین سخت‌کننده‌های عرضی جان (در امتداد طول تیر) (cm) یا [mm]*

h = ارتفاع آزاد جان (فاصلهٔ خالص بین بال‌های تیر) (cm) یا [mm]*

روش دیگر محاسبه برای تیرورق‌ها که در آن از عمل میدان کشش استفاده می‌شود در بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۳ ارایه شده است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ سخت‌کننده‌های عرضی

سخت‌کننده‌های عرضی، ورق‌هایی هستند که به‌صورت تیغه قائم و در فواصل a روی ورق جان در حد فاصل دو بال قرار داده می‌شوند و به‌جان و بال فشاری جوش می‌شوند. اگر نسبت $\frac{h}{t_w}$ از ۲۶۰ تجاوز کند و یا تنش برشی جان (f_v) از مقدار تعیین‌شده با رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴ ـ الف) بزرگتر باشد، باید از سخت‌کنندهٔ عرضی جان استفاده نمود.

فواصل این سخت‌کننده‌ها باید طوری انتخاب شود که تنش برشی در جان از مقدار F_v که از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴ ـ ب) یا (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) به‌دست می‌آید، تجاوز نکند و شرط رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۵) هم برآورده شود:

$$\frac{a}{h} \leq \left[\frac{۲۶۰}{(\frac{h}{t_w})} \right]^۲ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۵)$$

و همچنین $\frac{a}{h} < ۳$ باشد.

در مورد طراحی سخت‌کننده‌های عرضی به‌بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۶ مقطع اعضای خمشی

الف) کلیات

ابعاد لازم برای نیمرخ‌های نوردشده و یا ساخته شده از ورق (تیرورق) با اتصال جوشی و همچنین نیمرخ‌های تقویت‌شده با ورق در روی بال‌ها، به‌طور کلی با محاسبه ممان اینرسی مقطع کل تعیین می‌شود.

ب) اثر سوراخ در بال‌های کششی تیرها

فرض می‌شود که وجود سوراخ‌های پیچ و پرچ در بال‌ها، از ممان اینرسی نمی‌کاهد مگر در حالت‌هایی که نسبت سطح مقطع خالص به‌سطح مقطع کل بال کششی $\left(\frac{A_{fn}}{A_{fg}}\right)$ از مقدار رابطهٔ زیر کمتر گردد.

$$\frac{F_y}{۱۵۰۰۰}+۰/۶۹ \qquad \text{یا} \qquad SI:\left[\frac{F_y}{۱۵۰۰}+۰/۶۹\right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۶)$$

F_y = تنش تسلیم (kg/cm^2) یا $[N/mm^2]^*$

در این صورت باید مشخصات خمشی عضو با در نظر داشتن سطح مقطع خالص بال کششی تیر محاسبه شود. در این حالت می‌توان از حرکت تار خنثی به‌علت سوراخ صرف‌نظر نمود.

پ) تقویت بال‌ها

بال‌های تیرها و شاهتیرها ممکن است با ضخامت و یا با پهنای متغیر ساخته شوند. این کار ممکن است با اتصال تعدادی ورق با ضخامت و یا پهنای مختلف دنبال هم و یا ورق‌های تقویتی روی هم، صورت گرفته باشد.

مجموع سطح مقطع‌های ورق‌های تقویتی در تیرهای تقویت‌شده با ورق، نباید از ۷۰ درصد سطح مقطع کل بال (شامل ورق تقویت) تجاوز کند.

ت) اتصال بال به‌جان

پیچ‌های پرمقاومت، پرچ و یا جوش که بال و جان تیر را به‌یکدیگر و یا ورق‌های تقویتی را به‌بال اتصال می‌دهد، باید در مقابل برش افقی کل ناشی از نیروهای خمشی وارده به‌تیر، محاسبه شود. طرز توزیع این پیچ‌ها و یا تکه‌های جوش در طول تیر باید با شدت برش در طول آن متناسب باشد. فواصل این اتصالات در طول، باید با مقادیر مجازی که در بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۴ و ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۴ برای عضو فشاری یا عضو کششی معین شده و همچنین محدودیت‌های مربوط به‌جوش گوشه، با بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ب مطابق باشند.

پیچ‌ها، پرچ‌ها و یا جوش‌هایی‌که بال و جان را به‌هم اتصال می‌دهد باید طوری محاسبه شوند که قادر باشند بارهای مستقیم بر روی بال را نیز به‌جان تیر انتقال دهند، مگر اینکه پیش‌بینی شده باشد که چنین بارهایی مستقیماً به‌وسیلهٔ قطعات فشاری سخت‌کننده منتقل شوند.

ث) قطع ورق‌های تقویتی بال‌ها

ورق‌های تقویتی که در تمام طول تیر ادامه ندارند، باید بعد از نقطهٔ تئوریک قطع، به‌اندازهٔ طول گیرایی a ادامه یابند به‌طوری‌که در این طول اضافی اتصال کامل بین ورق و بال برقرار باشد. اتصال در این قسمت باید قادر باشد که در حد تنش مجاز نظیر (که در بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ت، ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ت آمده است)، با نیروی حاصل از خمش سهم ورق تقویتی در نقطهٔ تئوریک قطع ورق، مقابله کند. حداقل طول گیرایی a که از نقطهٔ قطع تئوریک ورق تقویتی اندازه‌گیری می‌شود باید برابر باشد با:

۱. پهنای ورق تقویتی، درحالتی‌که جوش اتصال ورق تقویتی به‌تیر در طول a ، پیوسته و بعد ساق آن حداقل سه‌چهارم ضخامت ورق تقویتی باشد و در دو لبه طرفین ورق تقویتی و در انتهای ورق اجرا شود.

۲. یک و نیم برابر پهنای ورق تقویتی، در حالتی که بعد جوش پیوسته به‌طول a در دو لبهٔ طرفین ورق و در انتهای آن کمتر از سه‌چهارم ضخامت ورق تقویتی باشد.

۳. دو برابر پهنای ورق تقویتی، در حالتی که جوش پیوسته به‌طول a فقط در دو لبهٔ طرفین ورق (به طول a) وجود دارد و در لبهٔ انتهای جوش اجرا نمی‌شود.

ج) مقاطع ساخته شده از چند نیمرخ

اگر از دو یا چند نیمرخ نوردشده برای ساختن یک تیر خمشی استفاده شود، باید آنها را در فواصلی به‌یکدیگر متصل کرد که حداکثر این فواصل نباید از ۱/۵ متر تجاوز کند.

به‌کار بردن پیچ و مهره یا میان بولت با قطعات جداکننده بین دو نیمرخ (مانند قطعات لوله)، مجاز است مشروط بر آنکه برای تیرهایی که ارتفاع مقطع آنها ۳۰۰ میلی‌متر و یا بیشتر است، در هر مقطع اتصال کمتر از دو پیچ به‌کار نرود.

برای انتقال بارهای متمرکز از یک نیمرخ به‌نیمرخ دیگر و یا تقسیم بارهای متمرکز بین تیرها باید دیافراگم‌هایی با سختی و صلبیت کافی را طوری تعبیه کرد که توزیع بار عملی باشد. در اتصال دیافراگم‌ها به‌تیرها می‌توان از پیچ، پرچ و یا جوش استفاده کرد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ تیرورق‌ها و تیرهای جعبه‌ای

تیرهای ساخته شده از ورق، با ارتفاع نیمرخ بزرگ، که جان آنها در گروه مقاطع با عناصر لاغر (طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶) قرار می‌گیرد، برحسب لاغری جان (نسبت $\frac{h}{t_w}$) از تیرها متمایز می‌شوند.

اگر نسبت $\frac{h}{t_w}$ از $\left[\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_b}}\right]$ یا $\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_b}}$ بزرگتر باشد، مشخصات این بخش برای تعیین تنش‌های خمشی مجاز ملاک عمل و در غیر این‌صورت مشخصات بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ معتبر می‌باشد. برای تنش‌های برشی مجاز و طراحی قطعات سخت‌کننده عرضی می‌توان به‌بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ مراجعه کرد. در صورت به‌کار گرفتن عمل میدان کششی می‌توان از مشخصاتی که در همین بخش آمده است استفاده نمود.

به‌هر حال بندهای بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ در مورد تیرورق‌ها صادق است، مگراینکه به‌نحوی در این بخش مورد اصلاح قرار گرفته باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۱ محدودیت‌های لاغری جان تیر

اگر از قطعات سخت‌کنندهٔ جان استفاده نشده باشد یا فواصل آنها از یکدیگر بیش از $1/5\,h$ باشد، لاغری حداکثر جان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۱) به‌دست می‌آید:

$$\left[\frac{h}{t_w}\le\frac{۹۸۵\times۱۰^{۲}}{\sqrt{F_y\,(F_y+۱۱۶)}}\right]^{*} \quad \text{یا} \quad \frac{h}{t_w}\le\frac{۹۸۵\times۱۰^{۳}}{\sqrt{F_y\,(F_y+۱۱۶۰)}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۱)$$

اگر قطعات سخت‌کننده با فاصله‌ای کمتر از $1/5\,h$ باشد، لاغری حداکثر جان از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$\left[\frac{h}{t_w}\le\frac{۵۳۰۰}{\sqrt{F_y}}\right]^{*} \quad \text{یا} \quad \frac{h}{t_w}\le\frac{۱۶۷۷۰}{\sqrt{F_y}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۲)$$

در این روابط :

h = ارتفاع آزاد جان تیرورق (cm) یا $[mm]^{*}$ و

t_w = ضخامت آن برحسب (cm) یا $[mm]^{*}$ است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۲ کاهش تنش‌های خمشی مجاز بال

اگر نسبت ارتفاع به‌ضخامت جان $\left(\frac{h}{t_w}\right)$ از $\left[\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_b}}\right]^{*}$ یا $\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_b}}$ تجاوز کند، تنش خمشی مجاز بال باید به‌علت کمانش خمشی جان کاهش یابد. در این صورت حداکثر تنش خمشی در بال فشاری نباید از مقدار رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۳) بزرگتر شود.

$$\left[F'_b\le F_b\left[۱-۰/۰۰۰۵\frac{A_w}{A_f}\left(\frac{h}{t_w}-\frac{۲۰۰۰}{\sqrt{F_b}}\right)\right]\right]^{*} \quad \text{یا} \quad F'_b\le F_b\left[۱-۰/۰۰۰۵\frac{A_w}{A_f}\left(\frac{h}{t_w}-\frac{۶۳۷۰}{\sqrt{F_b}}\right)\right] \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۳)$$

که در آن:

F_b = تنش مجاز طبق مشخصات بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ $(kg/cm^{۲})$ یا $[N/mm^{۲}]$.

A_w = سطح مقطع جان تیر در مقطع مورد بررسی (cm^2) یا $[mm^2]^*$ و
A_f = سطح مقطع بال فشاری (cm^2) یا $[mm^2]^*$

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۳ تنش برشی مجاز با توجه به‌عمل میدان کششی

در صورت عدم استفاده از عمل میدان کششی، حداکثر تنش برشی (f_v) ، نباید از مقداری که با روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴) تعیین می‌شود تجاوز کند.

در حالتی که قطعات سخت‌کننده عرضی (طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) تعبیه شود و اگر $C_v \leq ۱$ باشد با توجه به‌عمل میدان کشش در جان، می‌توان تنش برشی مجاز را از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) به‌دست آورد:

$$F_v = \frac{F_y}{۲/۸۹}\left[C_v + \frac{۱ - C_v}{۱/۵\sqrt{۱+\left(\frac{a}{h}\right)^۲}}\right] \leq ۰/۴ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴)$$

C_v ، a و h طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تعریف شده‌اند.

در طرح و محاسبه تیرورق‌ها براساس عمل میدان کششی، فواصل سخت‌کننده‌های عرضی جان در چشمه‌های[۱] به‌شرح زیر باید طوری اختیار شود که در آنها تنش برشی موجود (f_v) از مقداری که با روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴) تعیین می‌شود تجاوز نکند. به‌عبارت دیگر در چشمه‌های به‌شرح زیر استفاده از عمل میدان کششی مجاز نیست:

الف) در چشمه‌های دو انتهای تیر،

ب) در چشمه‌هایی که دارای بازشو هستند.

پ) در چشمه‌های مجاور چشمه‌ای که بازشو دارد.

۱. چشمه یا پانل، چهارخانه جان محدود بین بال‌ها و سخت‌کننده‌های عرضی می‌باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴ قطعات سخت‌کننده عرضی

قطعات سخت‌کننده عرضی باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۵ را تأمین کند.

پیچ‌ها و پرچ‌هایی که سخت‌کننده را به‌جان تیر متصل می‌کنند، باید طوری قرار گیرند که فواصل آنها (مرکز به‌مرکز) از ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر نشود.

اگر از جوش‌های منقطع برای اتصال استفاده می‌شود، فاصله خالص (آزاد) بین قطعه‌های جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت جان و به‌طور کلی از ۲۵۰ میلی‌متر بیشتر شود.

ممان اینرسی (I_{st}) در قطعات سخت‌کننده میانی، مربوط به‌جفت قطعه (در دو طرف جان) و یا مربوط به‌تک‌قطعه تقویتی (در یک طرف جان) نسبت به‌محوری که از جان می‌گذرد، باید در رابطه زیر صدق کند:

$$I_{st} \geq (h/50)^4 \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۵)$$

در صورت استفاده از رابطهٔ برش مجاز (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴)، سطح مقطع قطعات سخت‌کننده میانی نباید از مقداری که با رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۶) مشخص می‌شود کمتر باشد:

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2}\left[\frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right].Y.D.h.t_w \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۶)$$

در این رابطه:

C_v ، a ، h و t_w طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ تعریف شده‌اند.

Y = نسبت تنش تسلیم فولاد جان تیر به‌فولاد قطعه سخت‌کننده.

D = برای قطعات سخت‌کننده جفت برابر ۱، برای قطعات سخت‌کننده تک از نیمرخ نبشی برابر ۱/۸ و برای قطعات سخت‌کننده تک از تسمه، برابر ۲/۴ می‌باشد.

اگر بزرگترین تنش برشی موجود (f_v) در چشمه مورد نظر، از مقدار مجاز رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) کمتر باشد، می‌توان سطح مقطع کل قطعه سخت‌کننده (به‌شرح بالا) را متناسب با تنش‌ها کاهش داد.

قطعات سخت‌کننده که برمبنای رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) مورد نیاز است، باید به‌جان تیر، اتصال کافی داشته باشد. اتصال قطعات تکی یا جفتی، برای نیروی برشی حداقل برابر مقدار رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۷)، کیلوگرم بر سانتی‌متر (یا نیوتن بر میلی‌متر) طول قطعه سخت‌کننده محاسبه می‌شود.

$$f_{vs} = h\sqrt{\left(\frac{F_y}{۱۴۰۰}\right)^۳} \quad \text{یا} \quad \left[f_{vs} = h\sqrt{\left(\frac{F_y}{۱۴۰}\right)^۳}\right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۷)$$

که در آن F_y تنش تسلیم فولاد جان تیر برحسب $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$ می‌باشد.

در صورتی‌که تنش برشی حداکثر (f_v) در دوچشمه دوطرف قطعه سخت‌کننده کمتر از مقدار مجاز رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) باشد، می‌توان انتقال برش به‌شرح رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۷) را متناسباً کاهش داد. باید توجه داشت که اگر قطعه سخت‌کننده بار متمرکز خارجی یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی را تحمل می‌کند، باید پیچ‌ها، پرچ‌ها و یا جوش‌های متصل‌کننده آن حداقل برای بار خارجی یا عکس‌العمل نامبرده محاسبه شوند.

درصورتی‌که به‌عمل تماس مستقیم بین قطعهٔ سخت‌کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا عکس‌العمل موجود، احتیاج نباشد می‌توان قطعه سخت‌کننده را نرسیده به‌بال کششی قطع کرد. جوش‌هایی که قطعه سخت‌کننده را به‌جان تیر وصل می‌کنند باید در فاصله‌ای نه کمتر از ۴ برابر و نه دورتر از ۶ برابر ضخامت جان از بر جوش اتصال جان و بال کششی ختم شوند.

سخت‌کننده‌ها (به‌صورت تک یا جفت) باید به‌بال فشاری متصل (جوش) گردند.

در صورت اتصال مهار جانبی به‌قطعه سخت‌کننده، متقابلاً باید قطعهٔ سخت‌کننده نیز به‌بال فشاری طولی متصل شود که ظرفیت انتقال حداقل ۱ درصد نیروی کلی در بال را داشته باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۵ سخت‌کننده‌های فشاری

در دو انتهای تیر و در محل بارهای متمرکز باید سخت‌کننده‌های فشاری طبق مشخصات بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۸ قرار داده شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۶ اثر مشترک برش و کشش

جان تیرورق‌هایی که طبق مشخصات رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴) به‌عمل میدان کششی متکی باشند، باید با توجه به‌تنش‌های کششی حاصل از لنگر خمشی در جان محاسبه شود. یعنی تنش‌های کششی در صفحه جان حاصل از لنگر خمشی در نقطه مورد نظر، نباید از مقدار $۰/۶F_y$ و نیز از مقداری که با رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۸) تعیین می‌گردد، بیشتر شود:

$$\left(۰/۸۲۵-۰/۳۷۵\frac{f_v}{F_v}\right)F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۸)$$

که در آن:

f_v = تنش برشی متوسط محاسبه‌شده موجود در جان (نیروی برشی تقسیم بر سطح مقطع جان).

F_v = تنش مجاز برشی در جان مطابق با رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۶ ـ ۴).

در تیرهایی که جان و بال آنها از فولاد پرمقاومت (با تنش تسلیم بیش از ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا [۴۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع]*) تشکیل می‌شود، اگر تنش خمشی در بال از $۰/۷۵F_b$ بیشتر شود، استفاده از میدان کششی مجاز نیست و تنش برشی مجاز نباید از مقدار رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱۴) تجاوز کند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۷ اعضا تحت اثر تنش‌های مرکب

مقاومت اعضایی که تحت اثر تنش‌های مرکب قرار می‌گیرند باید طبق مشخصات این بخش تعیین شود. اعضایی که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرند باید یک یا دو محور تقارن در مقطع داشته باشند. برای تعیین F_a به‌بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ و برای تعیین F_{bx} و F_{by} به‌بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱ فشار محوری و خمش

اعضایی که تحت اثر فشار محوری توأم با تنش خمشی قرار می‌گیرند باید طوری محاسبه شوند که محدودیت‌های زیر را برآورده کنند:

الف) در صورتی‌که $\frac{f_a}{F_a} > ۰/۱۵$ باشد:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(۱ - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(۱ - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱)$$

$$\frac{f_a}{۰/۶F_y}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le ۱ \qquad (۲-۷-۱-۱۰)$$

در رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱) وقتی بارگذاری جانبی بین تکیه‌گاه‌ها موجود است، f_{bx} و f_{by} را باید براساس لنگر بین تکیه‌گاهی محاسبه کرد، لیکن در رابطهٔ (۱۰ـ۱ـ۷ـ۲) آنها را باید براساس لنگر تکیه‌گاهی محاسبه نمود. در صورتی‌که بارگذاری جانبی اعمال نگردد، تنش‌های ذکرشده براساس بیشینه لنگر محاسبه می‌شوند.

ب) در صورتی‌که $\frac{f_a}{F_a}\le ۰/۱۵$ باشد:

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le ۱ \qquad (۳-۷-۱-۱۰)$$

در روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۳) شاخص‌های x و y در ترکیب با زیرحرف‌های b ، e و m ، محورهای خمشی مربوط به‌تنش‌ها و یا خواصی دیگر را نشان می‌دهد، و :

F_a = تنش فشاری مجاز اگر فقط نیروی محوری عمل کند (بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۴).

F_b = تنش فشاری مجاز خمشی اگر فقط لنگر خمشی عمل کند، (بخش ۱۰ـ۱ـ۵).

F'_e = تنش اولر که بر ضریب اطمینان تقسیم شده و مقدار آن عبارت است از:

$$F'_e=\frac{۱۲}{۲۳}\times\frac{\pi^۲E}{\lambda_b^۲}=\frac{۱۰۵\times۱۰^۵}{\lambda_b^۲} \qquad \text{یا} \qquad SI:\left[F'_e=\frac{۱۰۵\times۱۰^۴}{\lambda_b^۲}\right]^*$$

$\lambda_b=\frac{KL_b}{r_b}$ که در آن L_b طول آزاد قطعه در صفحهٔ خمش، r_b شعاع ژیراسیون نظیر و K ضریب طول مؤثر در صفحهٔ خمش می‌باشد.

f_a = تنش فشاری ناشی از بار محوری که برای نقطه مورد نظر محاسبه شده

f_{bx} = تنش ناشی از خمش حول محور x

f_{by} = تنش ناشی از خمش حول محور y

C_m = ضریب میزان هم‌مکانی لنگر حداکثر با لنگر ناشی از اثرات $P-\Delta$ که مقدار آن به‌شرح زیر اختیار می‌شود:

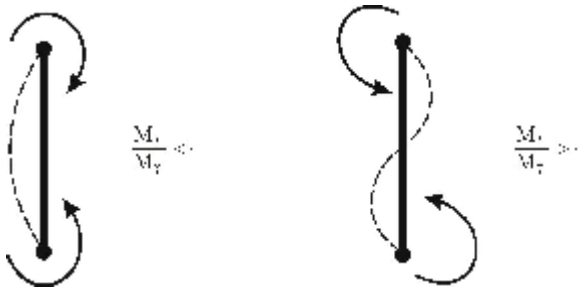
الف) برای اعضای فشاری (ستون‌ها) در قاب‌های خمشی مهارنشده:

$$C_m = ۰/۸۵$$

ب) برای اعضای فشاری (ستون‌های) قاب‌های خمشی مهارشده، مشروط بر آنکه بار مستقیم خارجی در بین دو انتهای عضو، در صفحهٔ خمش بر آن وارد نشود:

$$C_m = ۰/۶ - ۰/۴\left(\frac{M_۱}{M_۲}\right) \geq ۰/۴$$

در این رابطه $\frac{M_۱}{M_۲}$ (نسبت لنگر کوچکتر به‌لنگربزرگتر در دو انتهای طول مهارنشدهٔ عضو) مثبت است اگر عضو، انحنای مضاعف داشته باشد و منفی است اگر انحنای عضو ساده باشد.



پ) برای اعضای فشاری در قاب‌های مهارشده و تحت اثر بارهای خارجی در بین دو انتها، مقدار C_m باید به‌وسیلهٔ تحلیل مستدل تعیین شود. به‌جای تحلیل مزبور می‌توان از اعداد زیر استفاده کرد:

برای اعضایی که اتصال دو انتهای آنها گیردار باشد:

$$C_m = ۰/۸۵$$

برای اعضایی که اتصال دو انتهای آنها ساده باشد:

$$C_m = ۱$$

تحلیل $P-\Delta$

چنانچه نیروها و لنگرهای طراحی ستون براساس تحلیل مرتبه دوم که دربرگیرندهٔ اثرات $P-\Delta$ است، به‌دست آمده باشد، ضریب تشدید لنگر $\frac{C_m}{(1-f_a/F'_e)}$ در رابطهٔ ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۱ مساوی ۱ منظور می‌شود.

تبصره: در اعضای تحت اثر لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری، چنانچه تنش‌های کششی ناشی از خمش، بیش از تنش‌های فشاری ناشی از ترکیب خمش و فشار باشد، کنترل تنش‌های ترکیبی کششی عضو نیز طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲ الزامی است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲ کشش محوری و خمش

اعضایی که تحت اثر کشش محوری توأم با تنش خمشی قرار می‌گیرند، باید طوری محاسبه شوند که در تمام نقاط طول عضو رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۴) را برآورده نمایند:

$$\frac{f_t}{F_t}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\le ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۴)$$

که در آن:

f_b = تنش کششی محاسباتی حاصل از لنگر خمشی

f_t = تنش محاسباتی حاصل از کشش محوری

F_b = تنش خمشی مجاز، و

F_t = تنش کششی مجاز (مندرج در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳) می‌باشد.

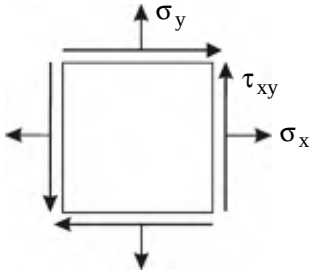
در صورتی‌که تنش فشاری ناشی از خمش، بیش از تنش‌های کششی ناشی از کشش مستقیم باشد، کنترل تنش فشاری در بال فشاری طبق بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ضروری است.

از طرف دیگر، تنش‌های فشاری ناشی از خمش که از بارگذاری مستقل دیگری حاصل شده باشد، نباید از مقادیر مجاز مندرج در بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ تجاوز کند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۳ ترکیب تنش‌های صفحه‌ای

در صورت وجود حالت تنش صفحه‌ای در یک نقطه از قطعهٔ مورد مطالعه، به‌منظور جلوگیری از تسلیم موضعی، علاوه بر کنترل تنش‌ها به‌صورت مجزا، تنش مقایسه‌ای ترکیبی از رابطهٔ فون‌میسز قابل محاسبه می‌باشد.

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۵)$$



در رابطهٔ فوق:

σ_h = تنش مقایسه‌ای ترکیبی

σ_x = تنش عمودی در امتداد x

σ_y = تنش عمودی در امتداد y

τ_{xy} = تنش برشی

علامت σ_x و σ_y در صورتی‌که کششی باشند، مثبت و در صورتی‌که فشاری باشند، منفی در نظر گرفته می‌شود.

تنش مقایسه‌ای ترکیبی σ_h باید کوچکتر از $0/75F_y$ باشد.

در مورد جوش‌ها، ترکیب تنش‌های برشی و عمودی به‌صورت برداری طبق رابطهٔ زیر امکان‌پذیر می‌باشد.

$$\sigma_{wh} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۶)$$

تنش مقایسه‌ای σ_{wh} باید کوچکتر از تنش‌های مجاز جوش طبق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ باشد.

۱۰ـ۱ـ۸ طراحی اعضا برای پیچش

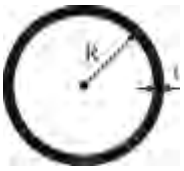
۱۰ـ۱ـ۸ـ۱ اثر لنگر پیچشی

اگرچه اثرات لنگر پیچشی در اجزای سازه‌های فولادی ساختمان‌های متعارف، نقش درجه اول را بازی نمی‌کند لیکن به‌منظور آشنایی با اثرات لنگر پیچشی و ترکیب آنها با اثرات سایر تلاش‌های داخلی لازم است موارد زیر مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

الف) لنگر پیچشی خالص

هرگاه مقطع یک عضو تحت اثر لنگر پیچشی تاب نخورد و یا اگر تاب می‌خورد ولی در هیچ مقطعی از عضو تحت هر شرایطی از تابیدگی جلوگیری به‌عمل نیاید اصطلاحاً می‌گوییم که فقط پیچش خالص داریم و تحت اثر لنگر پیچشی در مقطع فقط تنش‌های برشی به‌وجود می‌آید.

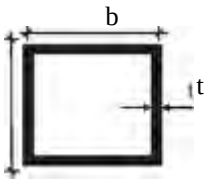
ـ برای مقاطع لوله‌ای جدارنازک تحت اثر لنگر پیچشی M_t :



$$\tau_{max} = \frac{M_t . R}{J_t} \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱)$$

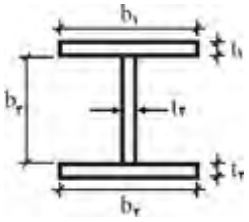
$$J_t = ۲\pi t R^{۳}$$

ـ برای مقاطع قوطی‌شکل جدارنازک تحت اثر لنگر پیچشی M_t :



$$\tau_{max} = \frac{M_t}{۲bht} \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲)$$

ـ برای مقاطع جدارنازک باز تحت اثر لنگر پیچشی M_t :



$$(\tau_{max})_i = \frac{M_t . t_i}{J_t} \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳)$$

$$J_t = \sum \frac{۱}{۳} bt^{۳}$$

تنش بـرشی حاصلهٔ ناشـی از لنگر پیچشی M_t باید به‌تنش‌های برشی نظیر ناشـی از انواع بارگذاری دیگر اضافه شود و حداکثر منتجه آنها نباید از مقادیر مجاز تجاوز کند.

ب) لنگر پیچشی تابیدگی مقاطع I شکل

هرگاه مقطع یک عضو تحت اثر لنگر پیچشی (M_t) تابیده گردد، در صورتی‌که در یک یا چند مقطع از تیر تحت هر شرایطی از تابیدگی جلوگیری به‌عمل آید باعث می‌شود که لنگر پیچشی کل (M_t) به‌دو بخش لنگر پیچشی خالص (M_s) و لنگر پیچشی تابیدگی (M_w) تقسیم شود.

M_t = لنگر پیچشی کل*

M_s = لنگر پیچشی که صرف پیچش خالص می‌شود (لنگر پیچشی خالص یا سن‌ونان)*

M_w = لنگر پیچشی که صرف پیچش تاب‌خوردگی می‌شود (لنگر پیچشی تابیدگی)*

با داشتن لنگرهای M_s و M_t ، تنش‌های برشی و قائم در مقطع بـا استفاده از روابـط زیر قابل محاسبه هستند.

$$\tau_s = \frac{M_s \cdot t_i}{J_t} \qquad (۴ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

$$\tau_w = \frac{E}{۱۶} b^۲ h \frac{d^۳\phi}{dx^۳} \qquad (۵ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

$$\sigma_w = \frac{E}{۴} bh \frac{d^۲\phi}{dx^۲} \qquad (۶ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

* برای تعیین سهم لنگر پیچشی خالص (M_s) و سهم لنگر پیچشی تابیدگی (M_w) از لنگر پیچشی کل (M_t) باید معادلهٔ دیفرانسیل زیر حل گردد.

$$\frac{d^۳\phi}{dx^۳} - \alpha^۲ \frac{d\phi}{dx} = -\alpha^۲ \frac{M_t(x)}{GJ_t}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{G.J_t}{E.C_w}}$$

$$M_s = GJ_t \frac{d\phi}{dx}$$

$$M_w = -EJ_w \frac{d^۳\phi}{dx^۳}$$

$$M_t = M_s + M_w$$

ϕ = معادله زاویهٔ پیچش مقطع در طول عضو

J_t = ثابت پیچشی

C_w = ثابت پیچشی تابیدگی

G = مدول الاستیسیته برشی

E = مدول الاستیسیته

از حل معادله دیفرانسیل فوق با توجه به‌شرایط مرزی مقادیر M_s و M_w محاسبـه می‌شوند. لازم به‌ذکر اسـت برای پرداختن به‌جزییات حل معادلهٔ دیفرانسیل فوق می‌توان به‌مراجع مربوطه مراجعه نمود.

b = عرض بال مقطع I شکل

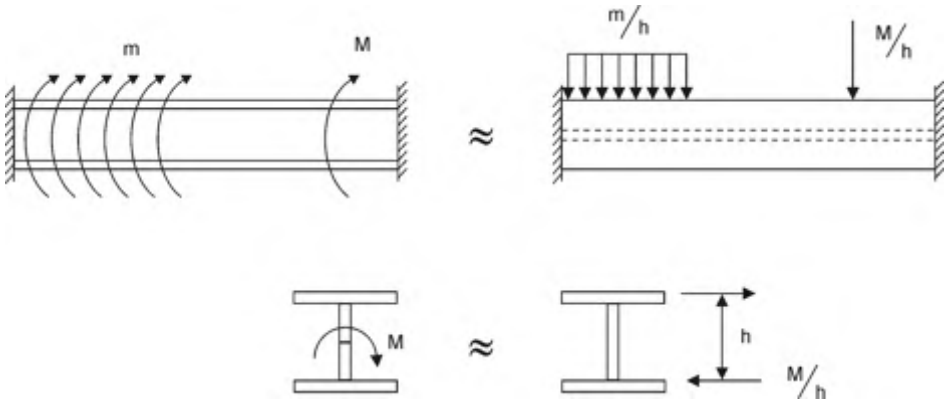
h = مرکز تا مرکز بال مقطع I شکل

شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۱ توزیع تنش در مقاطع I شکل تحت اثر لنگر پیچشی.

تنش‌های برشی و قائم ناشی از لنگرهای M_s و M_w باید به‌تنش‌های برشی و قائم نظیر ناشی از انواع بارگذاری دیگر اضافه شود و حداکثر منتجه آنها نباید از مقادیر مجاز تجاوز نماید.

پ) روش تقریبی برای محاسبه تنش‌های قائم (σ_w) و برشی (τ_w) ناشی از پیچش تابیدگی

به‌عوض حل معادلات دیفرانسیل، از روش تقریبی بسیار ساده‌ای می‌توان برای محاسبهٔ تنش‌های ناشی از پیچش تابیدگی استفاده نمود. در این روش برای محاسبه τ_w و σ_w ناشی از لنگر پیچشی تابیدگی، می‌توان لنگر پیچشی کل (M_t) را به‌یک زوج نیرو در امتداد بال‌های فوقانی و تحتانی تیرهای I شکل تبدیل نمود و از روابط خمش عرضی تنش‌های τ_w و σ_w را با استفاده از مشخصات هندسی بال‌ها محاسبه نمود.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ روش تشبیه پیچش به‌خمش.

ت) لنگر پیچشی تابیدگی در مقاطع جدارنازک بسته

حل معادلات دقیق نشان می‌دهد که در این‌گونه مقاطع اثر پیچش تابیدگی ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ خستگی

به‌ندرت لازم می‌شود که اعضا و اتصالات ساختمان‌های معمولی برای خستگی محاسبه شوند، زیرا تعداد نوسان بارها و تغییرات مقدار تنش‌های مربوط معمولاً کوچک است. اثر باد و زلزله هم در این گروه وارد نمی‌شود زیرا تعداد تکرار آنها کم است.

با این وجود اعضایی که بارهای جراثقال و یا ماشین‌ها و وسایل متحرک را تحمل می‌کنند و دیگر اعضایی که احتمال ضعف در اثر خستگی برای آنها وجود دارد باید در مقابل خستگی محاسبه شوند.

۱۰ـ۱ـ۹ تیرهای مختلط

این بخش به‌طراحی تیرهای فولادی مربوط می‌شود که دال بتن مسلح متکی به‌آنها، طوری به‌تیر یکپارچه شده است که تیر فولادی و دال در مقابل خمش با هم عمل می‌نمایند. تیرهای مختلط با دهانه‌های ساده و یکسره با برشگیرها و یا تیرهای محاط در بتن که با و یا بدون استفاده از پایه‌های موقت اجرا می‌شوند، مشمول مقررات این بخش هستند.

۱۰ـ۱ـ۹ـ۱ تعاریف

دو نوع اعضای مختلط به‌رسمیت شناخته می‌شوند:

الف) اعضای کاملاً محاط در بتن که عملکرد یکپارچه آنها بستگی به‌چسبندگی طبیعی بین بتن و فولاد دارد.

ب) اعضایی که عملکرد یکپارچه آنها، توسط برشگیرها تأمین می‌شود و عضو فولادی لزوماً در داخل بتنِ محاط نمی‌باشد.

یک تیر کاملاً محاط در بتنی که با دال به‌طور یکپارچه ریخته شده است، وقتی می‌تواند با چسبندگی طبیعی به‌بتن، بدون هرگونه برشگیر، فرض شود که:

۱. ضخامت بتن موجود در گونه‌ها و زیر تیر حداقل ۵۰ میلی‌متر باشد.
۲. سطح بالای تیر حداقل ۴۰ میلی‌متر زیر سطح فوقانی دال بتنی و ۵۰ میلی‌متر بالای سطح تحتانی دال بتنی باشد.
۳. بتن محیط دارای شبکه میلگرد کافی یا سایر فولادهای مسلح‌کننده در گونه‌ها و زیر تیر به‌منظور جلوگیری از پوسته شده بتن باشد.

در تیرهایی که به‌صورت فوق کاملاً در بتن محاط نمی‌باشند، برای تأمین عملکرد مختلط باید از برشگیر استفاده شود.

عرض مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی

عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به‌صورت مختلط عمل می‌نماید، نباید از کوچکترین مقادیر زیر بزرگتر در نظر گرفته شود:

الف) یک‌هشتم دهانهٔ محور به‌محور تیر.
ب) نصف فاصلهٔ مرکز به‌مرکز تیرهای مجاور.
پ) فاصلهٔ محور تیر تا لبهٔ بتن.

حداقل ضخامت دال بتنی، ۸۰ میلی‌متر مقرر می‌گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ روش طراحی

۱) تیرهای فولادی محاط در بتن باید طوری طراحی شوند که به‌تنهایی، تمام بارهای مرده قبل از سخت شدن بتن (به‌استثنای حالتی که این دسته از بارها به‌کمک پایه‌های موقت تحمل می‌شوند) و به‌صورت مختلط تمام بارهای مرده و زنده‌ای را که بعد از گرفتن بتن وارد می‌شوند، بدون اینکه تنش‌های محاسبه شده از $۰/۶۶F_y$ تجاوز کند، تحمل نمایند (F_y تنش تسلیم تیر فولادی است). تنش خمشی حاصل از بارهای بعد از گرفتن بتن، باید براساس مشخصات هندسی مقطع مرکب محاسبه شوند. از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود.

۲) وقتی که از برشگیر طبق مفاد بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ استفاده می‌شود، مقطع مختلط باید طوری طراحی شود که تمام بارها را بدون اینکه تنش‌های آن از مقادیر مجاز بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۱ تجاوز نماید، تحمل نماید (حتی اگر در هنگام ساخت در زیر تیر فولادی از پایه‌های موقت استفاده نشود). در ناحیه لنگر مثبت، مقطع تیر فولادی از مقررات بال فشرده بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶ ـ الف معاف است و هیچ‌گونه محدودیتی در طول غیرمتکی بال فشاری وجود ندارد. تنش فشاری مجاز بتن $۰/۴۵f_c$ می‌باشد که f_c مقاومت مشخصهٔ نمونه استوانه‌ای است.

در صورتی‌که در تیرهای مختلط برشگیردار، در هنگام بتن‌ریزی دال از پایه‌های موقت در زیر تیر فولادی استفاده نشود، باید در تیر فولادی تنها کنترل تنش انجام گیرد تا این تیر دارای کفایت کافی برای حمل بارها باشد. این کنترل تنش به‌صورت زیر انجام می‌شود:

گام ۱: ابتدا بار ناشی از وزن تیر، دال بتنی و قالب بر تیر فولادی تنها اثر داده شده و تنش در بال کششی محاسبه می‌گردد.

گام ۲: سپس بار مرده اضافی (تمام بارهای مرده‌ای که بعد از گرفتن دال وارد می‌شوند مثل وزن کف‌سازی، تیغه‌ها و موارد مشابه) و بار زنده بر مقطع مختلط اثر داده می‌شوند و تنش در بال کششی محاسبه می‌شود.

مجموع تنش‌های محاسبه‌شده در گام‌های ۱ و ۲ باید کوچکتر از $۰/۹ F_y$ باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ مقطع تبدیل‌یافته

مشخصات هندسی مقطع مختلط باید طبق تئوری ارتجاعی محاسبه و از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر گردد. در محاسبات تنش، در هنگام تعیین مشخصات هندسی مقطع، ناحیهٔ فشاری بتن (با وزن مخصوص معمولی و یا بتن سبک سازه‌ای) باید با سطح فولادی معادل جایگزین گردد که عرض آن از تقسیم عرض مؤثر بر n به‌دست می‌آید که $n = E_s / E_c$ (E_s و E_c به‌ترتیب ضریب الاستیسیتهٔ فولاد و بتن) می‌باشد. در محاسبات تغییرشکل، در

تعیین n باید اثرات خزش نیز منظور گردد. در غیاب محاسبات دقیق‌تر، برای ملحوظ کردن اثر تغییرشکل‌های درازمدت، می‌توان از ضریب تبدیل $3n$ استفاده نمود.

میلگردهای موازی تیر فولادی در محدوده عرض مؤثر دال، وقتی که طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده‌اند، می‌توانند در محاسبه مشخصات هندسی مقطع مختلط منظور گردند، مشروط بر اینکه برشگیرها طبق مفاد بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ تعبیه گردند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲ عملکرد مختلط ناقص

در مواردی که برشگیرها کفایت لازم برای تأمین عملکرد مختلط کامل را دارا نمی‌باشد، اساس مقطع معادل باید از رابطهٔزیر محاسبه گردد:

$$S_{eff} = S_s + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}}\,(S_{tr} - S_s) \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱)$$

که در آن:

V_h و V'_h در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ تعریف شده‌اند.

S_s = اساس مقطع تیر فولادی نسبت به‌تار تحتانی (cm^3) یا $[mm^3]^*$.

S_{tr} = اساس مقطع نیمرخ مختلط تبدیل‌یافته نسبت به‌تار تحتانی (cm^3) یا $[mm^3]^*$

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ تنش خمشی فشاری در بتن

در محاسبات تنش فشاری خمشی بتن، باید اساس مقطع واقعی نیمرخ مختلط تبدیل‌یافته مورد استفاده قرار گیرد و برای اجرا بدون استفاده از پایه‌های موقت، این تنش باید برمبنای بارهای وارده بعد از اینکه بتن به ۷۵ درصد مقاومت خود $(0/75f_c)$ رسید، محاسبه شوند. تنش فشاری بتن نباید از $0/45f_c$ تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۳ برش انتهایی

جان و اتصال انتهایی تیر فولادی باید برای تحمل تمام عکس‌العمل تکیه‌گاهی طراحی گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ برشگیرها

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۱ محاسبات برشگیر

به‌استثنای تیرهای مختلط مدفون طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ ـ الف، برش افقی در محل تماس تیر فولادی و دال بتنی باید توسط برشگیرها که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و داخل بتن فرو رفته‌اند، حمل گردد. برای عملکرد مختلط کامل با بتنی که تحت فشار خمشی می‌باشد، برش افقی کل که باید بین نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر صفر حمل گردد، مساوی با کوچکترین مقدار به‌دست آمده از دو رابطهٔ زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$V_h = \frac{۰/۸۵ f_c A_c}{۲} + \frac{F_{yr} A'_s}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۲)$$

و

$$V_h = \frac{F_y A_s}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۳)$$

که در آن:

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونهٔ استوانه‌ای بتن $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$.

A_c = مساحت واقعی سطح مؤثر بتنی طبق تعریف بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ $(cm^۲)$ یا $[mm^۲]^*$.

A_s = سطح مقطع تیر فولادی $(cm^۲)$ یا $[mm^۲]^*$.

F_y = تنش تسلیم نیمرخ فولادی $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$.

A'_s = سطح مقطع آرماتور موجود در ناحیه عرض مؤثر که در محاسبات مشخصات هندسی مقطع منظور شده $(cm^۲)$ یا $[mm^۲]^*$.

F_{yr} = تنش تسلیم حداقل مقرر آرماتور A'_s $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$.

در تیرهای مختلط پیوسته که در آن میلگردهای طولی در نواحی لنگر منفی به‌صورت مختلط با تیر فولادی عمل می‌نمایند، کل نیروی برشی افقی که باید توسط برشگیرها درحد فاصل تکیه‌گاه داخلی و نقطه عطف مجاور حمل گردد، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$V_h = \frac{F_{yr} A_{sr}}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۴)$$

که در آن:

A_{sr} = سطح مقطع کل میلگردهای طولی واقع در عرض مؤثر در روی تکیه‌گاه داخلی طبق تعریف بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ $(cm^۲)$ یا $[mm^۲]^*$.

F_{yr} = تنش تسلیم حداقل مقرر آرماتور طولی (kg/cm^2) یا $[N/mm^2]^*$.

برای عملکرد مختلط کامل، تعداد برشگیرها در هر طرف نقطه حداکثر لنگر خمشی که برای مقاومت در مقابل برش افقی طراحی می شوند، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$n = \frac{V_h}{q} \qquad (۵ - ۹ - ۱ - ۱۰)$$

که در آن:

V_h = نیروی برشی افقی طبق روابط ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ تا ۴، برحسب مورد (kg) یا $[N]^*$

q = نیروی برشی مقاوم مجاز یک برشگیر طبق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ برای بتن با جرم مخصوص معمولی، برای بتن سبک با جرم مخصوص نه کمتر از ۱۴۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقدار q در ضرایب ارایه شده در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ضرب می‌شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۲ تیرهای مختلط ناقص

برای مقاطع با عملکرد مختلط ناقص با بتنی که تحت فشار خمشی است، نیروی برشی افقی V'_h که در محاسبه S_{eff} به‌کار گرفته می‌شود، مساوی حاصل‌ضرب q در تعداد برشگیرهای تعبیه شده درحد فاصل لنگر خمشی حداکثر و نزدیکترین نقطه لنگر صفر در نظر گرفته می‌شود.

مقدار V'_h نباید از یک‌چهارم کوچکترین مقدار به‌دست‌آمده از دو رابطهٔ (۱۰ـ۱ـ۹ـ۲) (که برمبنای حداکثر عرض مؤثر بال بتنی محاسبه می‌شود) و رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۳) کمتر شود.

در مقاطع مختلط ناقص برای محاسبات تغییرشکل، ممان اینرسی مؤثر از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{eff} = I_s + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}}\,(I_{tr} - I_s) \qquad (۶ - ۹ - ۱ - ۱۰)$$

که در آن:

I_s = ممان اینرسی تیر فولادی (cm^4) یا $[mm^4]^*$.

I_{tr} = ممان اینرسی تبدیل‌یافته مقطع مختلط (cm^4) یا $[mm^4]^*$.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ نیروی برشی افقی مجاز (q) برای یک برشگیر برحسب تن یا [کیلونیوتن]*

مقاومت فشاری بتن f_c برحسب $[N/mm^2]^*$ یا (kg/cm^2) / نوع برشگیر**	۳۰* (SI)	۳۰۰	۲۵* (SI)	۲۵۰	۲۰* (SI)	۲۰۰
گلمیخ سرپهن یا قلاب‌شده به‌قطر ۱۳ و طول ۵۰ میلی‌متر	۲۷	۲/۷	۲۵	۲/۵	۲۲	۲/۲
گلمیخ سرپهن یا قلاب‌شده به‌قطر ۱۶ و طول ۶۵ میلی‌متر	۴۲	۴/۲	۳۹	۳/۹	۳۵	۳/۵
گلمیخ سرپهن یا قلاب‌شده به‌قطر ۲۰ و طول ۷۵ میلی‌متر	۶۰	۶	۵۶	۵/۶	۵۰	۵
گلمیخ سرپهن یا قلاب‌شده به‌قطر ۲۲ و طول ۹۰ میلی‌متر	۸۲	۸/۲	۷۶	۷/۶	۶۸	۶/۸
ناودانی ۶۰ ***	۰/۸۳W		۰/۷۹W		۰/۶۸W	
ناودانی ۸۰ ***	۰/۸۹W		۰/۸۴W		۰/۷۳W	
ناودانی ۱۰۰ ***	۰/۹۵W		۰/۸۹W		۰/۷۸W	
ناودانی ۱۴۰ ***	۱/۰W		۰/۹۵W		۰/۸۳W	

* مقادیر جدول فقط برای بتن با جرم مخصوص معمولی قابل استفاده می‌باشند.
** برای گلمیخ‌های بلندتر از مقادیر ذکرشده، می‌توان از مقادیر نیروی برشی افقی ارایه شده استفاده نمود.
*** W طول ناودانی به‌سانتی‌متر (یا میلی‌متر در سیستم SI) می‌باشد. حداکثر W مساوی عرض بال منهای دوبرابر بعد جوش اتصالی می‌باشد.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲ ضرایب مورد استفاده برای بتن سبک با جرم مخصوص حداقل ۱۴۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب

مقاومت فشار بتن f_c $[N/mm^2]^*$ یا (kg/m^2)	جرم مخصوص بتن خشک‌شده در هوا (kg/m^3)						
	۱۴۴۰	۱۵۲۰	۱۶۰۰	۱۶۸۰	۱۷۶۰	۱۸۴۰	۱۹۲۰
$\leq$ ۳۰۰ یا *[۳۰]	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۸
$\geq$ ۳۵۰ یا *[۳۵]	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۹

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۴ ـ ۳ فاصله‌بندی برشگیرها

برشگیرهای لازم در هر طرف نقطهٔ لنگر خمشی حداکثر در ناحیه لنگر مثبت را می‌توان به‌طور یکنواخت بین این نقطه و نقطهٔ لنگر صفر توزیع کرد، با این استثنا که تعداد برشگیرهای لازم، N_2 ، درحد فاصل هر بار متمرکز و نزدیکترین نقطه لنگر صفر، نباید کمتر

از مقدار به‌دست آمده از رابطهٔ زیر گردد:

$$N_۲ = \frac{N_۱[M\beta / M_{max} - ۱]}{\beta - ۱} \qquad (۷ - ۹ - ۱ - ۱۰)$$

که در آن:

M = لنگر در محل بار متمرکز (که کمتر از مقدار حداکثر است).

$N_۱$ = تعداد برشگیرهای لازم بین نقطه لنگر حداکثر و نقطه لنگر صفر که برحسب مورد از یکی از روابط $V_{h/q}$ و یا $V'_{h/q}$ محاسبه می‌شود.

β مساوی $\frac{S_{tr}}{S_s}$ یا $\frac{S_{eff}}{S_s}$ برحسب مورد.

برای تیر یکسره، برشگیرهای لازم در ناحیه لنگر منفی را می‌توان به‌طور یکنواخت بین نقطهٔ لنگر حداکثر و هریک از نقاط لنگر صفر توزیع نمود.

به‌استثنای برشگیرهای نصب‌شده در داخل کنگره‌های ورق‌های ذوزنقه‌ای، برشگیرها باید حداقل دارای ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی بتن باشند. همچنین به‌استثنای مواردی که برشگیر مستقیماً روی جان قرار دارد، قطر گلمیخ نباید بزرگتر از ۲/۵ برابر ضخامت بالی باشد که به‌آن جوش می‌شود. حداقل فاصله مرکز به‌مرکز گلمیخ‌های برشگیر در امتداد محور تیر مساوی ۶ برابر قطر و در امتداد عرضی، مساوی ۴ برابر قطر می‌باشد. برای برشگیر ناودانی، حداقل فاصله ۲ برابر و حداکثر آن ۸ برابر ارتفاع ناودانی است. حداکثر فاصله مرکز به‌مرکز برشگیر نباید از ۸ برابر ضخامت دال بتنی تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۵ مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های ذوزنقه‌ای

مقاطع مختلط دال بتنی بر روی ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که به‌تیرهای فولادی متصل می‌شوند، باید طبق قسمت‌های قابل استفاده در بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ تا ۴ با در نظر گرفتن تعدیلات زیر محاسبه شوند.

الف) کلیات

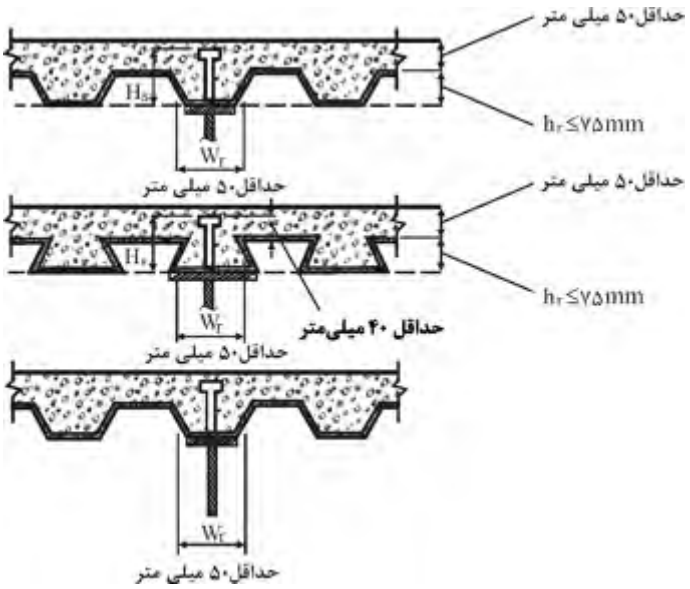
۱. بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۵ قابل اعمال بر ورق‌های ذوزنقه‌ای می‌باشد که ارتفاع ذوزنقه‌های آنها بزرگتر از ۷۵ میلی‌متر نیست.

۲. عرض متوسط کنگره‌های پرشده با بتن، نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد، لیکن در محاسبات نباید بزرگتر از حداقل عرض آزاد در نزدیکی سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شود. به‌بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۵ ـ پ مراجعه شود.

۳. دال بتنی باید به‌تیر فولادی با استفاده از گلمیخ‌های برشگیر با قطر ۲۰ میلی‌متر یا کمتر متصل شود. گلمیخ‌ها را می‌توان از روی ورق فولادی ذوزنقه‌ای و یا مستقیماً به‌عضو فولادی جوش نمود. در هر حال گلمیخ باید روی بال ذوب شود.

۴. حداقل ارتفاع گلمیخ بعد از نصب که از بالای ورق ذوزنقه‌ای اندازه‌گیری می‌شود، نباید کمتر از ۴۰ میلی‌متر باشد.

۵. ضخامت دال بتنی در بالای کنگره ورق ذوزنقه‌ای نباید از ۵۰ میلی‌متر کمتر باشد.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ محدودیت‌های ورق ذوزنقه‌ای در تیرهای مختلط.

ب) ورق‌های ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها عمود بر تیر یا شاهتیر می‌باشد

۱. در هنگام محاسبه مشخصات هندسی مقطع یا A_c موجود در رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲) از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای باید صرف‌نظر شود.

۲. فواصل گلمیخ‌های برشگیر در امتداد تیر تکیه‌گاهی نباید از ۹۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

۳. نیروی برشی افقی مجاز برای گلمیخ برشگیر، مقدار به‌دست آمده از جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ می‌باشد که در ضریب کاهش زیر ضرب شده است:

$$\left(\frac{۰/۸۵}{\sqrt{N_r}}\right)\left(\frac{W_r}{h_r}\right)\left(\frac{H_s}{h_r}-۱\right)\le ۱ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۸)$$

که در آن:

h_r = ارتفاع اسمی کنگره‌ها

H_s = طول گلمیخ بعد از جوش که در محاسبات نباید از $h_r + ۷۵$ میلی‌متر تجاوز کند، حتی اگر طول واقعی بزرگتر باشد.

N_r = تعداد گلمیخ‌های برشگیر در روی یک تیر واقع در یک کنگره که در محاسبات نباید بزرگتر از ۳ منظور شود، حتی اگر بیشتر از ۳ گلمیخ وجود داشته باشد.

W_r = عرض متوسط کنگره که توسط بتن پر شده است (mm) .

۴. برای مقابله با نیروی برکنش، ورق ذوزنقه‌ای فولادی باید به‌تمام تیرها یا شاهتیرهای فولادی که به‌صورت مقطع مختلط طراحی می‌شوند، در فواصلی نه بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر مهار شوند. این مهارها می‌توانند گلمیخ‌های برشگیر، ترکیبی از گلمیخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای و یا هر وسیله طرح‌شده توسط طراح باشد.

پ) ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها موازی تیر یا شاهتیر می‌باشد.

۱. در هنگام محاسبه مشخصات هندسی مقطع یا A_c موجود در رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۲) از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای می‌توان استفاده نمود.

۲. کنگره‌های ورق‌های ذوزنقه‌ای را در روی تیر تکیه‌گاهی می‌توان به‌صورت طولی از هم جدا کرد تا تشکیل یک ماهیچه بتنی در روی بال تیر بدهند.

۳. وقتی‌که ارتفاع اسمی کنگره‌ها ۴۰ میلی‌متر و یا بزرگتر باشد، عرض متوسط W_r ماهیچه موجود در روی تیر تکیه‌گاهی و یا کنگره‌های پرشده توسط بتن، نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر برای حالت یک گلمیخ در عرض باشد. این عرض حداقل برای هر گلمیخ اضافی، به‌اندازهٔ ۴ برابر قطر گلمیخ باید افزایش یابد.

۴. برش افقی مجاز q برای هر گلمیخ، مطابق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ می‌باشد، با این استثنا که وقتی نسبت W_r / h_r کمتر از ۱/۵ باشد، مقدار برش مجاز باید در ضریب زیر ضرب گردد.

$$۰/۶\left(\frac{W_r}{h_r}\right)\left(\frac{H_s}{h_r}-۱\right)\leq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۹)$$

که در آن:

h_r و H_s = مطابق تعریف زیر رابطه ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۸ و

W_r = عرض متوسط ماهیچه بتنی یا کنگره پرشده با بتن می‌باشد (میلی‌متر).

ت) حالات خاص

وقتی که عضو مختلط منطبق بر مقررات بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۱ تا ۴ نباشد، نیروی برشی مجاز قابل حمل توسط برشگیر، باید طبق یک برنامه آزمایشی مناسب تعیین گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۹ ـ ۶ اعضای محوری مختلط

اعضای محوری مختلط را می‌توان برمبنای ضوابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ با فرض ترکیب بارهای بدون ضریب (بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۴) و محاسبه مقاومت مجاز با استفاده از ضرایب تقلیل ظرفیت و روابط معرفی‌شده طراحی نمود، مشروط بر اینکه کلیه ضرایب تقلیل ظرفیت ϕ معرفی شده در ضریب ۰/۶۷ ضرب گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ اتصالات و وسایل اتصال

این بخش به‌اتصالات، شامل عناصر اتصال‌دهنده (ورق‌ها، قطعات تقویتی، ورق‌های اتصال در گره، نبشی‌ها و لچکی‌های اتصال) و وسایل اتصال (پیچ، پرچ و جوش) مربوط می‌شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ کلیات

الف) مبانی طرح و محاسبه

ابعاد اتصال باید طوری اختیار شود که تنش موجود محاسباتی، براساس هریک از دو حالت زیر که بحرانی‌تر باشد، از تنش مجاز کمتر گردد:

۱. برمبنای تحلیل سازه برای ترکیب بار بحرانی

۲. برمبنای درصدی از مقاومت اعضای متصل‌شونده به‌شرحی که در قسمت مربوطه ارایه می‌گردد.

ب) اتصال ساده

در این حالت فرض می‌شود اتصال تیرها، شاهتیرها و خرپاها انعطاف‌پذیر (بدون قید دورانی) بوده و می‌توان آنها را فقط در مقابل برش (عکس‌العمل‌های تکیه‌گاه) محاسبه کرد.

پ) اتصال انتقال‌دهندهٔ لنگر (اتصال لنگر گیر)

اتصال انتهای تیرها، شاهتیرها و خرپاهایی که داشتن مقداری صلبیت در تکیه‌گاه‌های آنها موردنظر باشد، باید در مقابل اثر مشترک نیروهای ناشی از برش و لنگر حاصل از صلبیت اتصال، محاسبه شود.

در اتصالات صلب تیر به‌ستون قاب‌های خمشی رعایت دو شرط زیر الزامی است:

۱. اتصالات خمشی تیرها به‌ستون‌ها باید برای مقاومت خمشی مجاز تیر طراحی گردد.
۲. جان تیرها و اتصالات برشی تیر به‌ستون باید دارای ظرفیت مجاز نظیر برش ناشی از ترکیب بارهای ثقلی به‌علاوه برشی برابر $\Sigma M_b / L_b$ باشد (ΣM_b مجموع لنگرهای مجاز دوسر تیر و L_b دهانهٔ تیر است).

ت) اتصال ستون به‌کف ستون

اتصال ستون به‌کف ستون باید برای انتقال نیروهای موجود در پای ستون شامل نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی طراحی گردد. برای نیروی محوری فشاری، هنگامی که انتقال نیروی فشاری به‌کف ستون‌ها از طریق فشار مستقیم تماسی انجام می‌شود، باید سطح تماس آنها برای انتقال نیروی فشاری صاف و آماده شده باشد، به‌علاوه باید اتصال کافی بین دو قطعه (ستون و کف ستون) موجود باشد تا قادر به‌انتقال نیروهای حین ساخت و یا هر نوع نیروی احتمالی دیگر باشد.

در صورت وجود نیروی کششی در پای ستون، نیروی برشی پای ستون ارجح است توسط پاشنهٔ برشگیر حمل گردد.

ث) اتصال اعضای کششی و فشاری در خرپاها و مهاربندها

اتصال هر انتهای عضو کششی یا فشاری در خرپاها و مهاربندها باید بتواند نیروهای محاسباتی در اعضا را تحمل کند و در عین حال باید بتواند حداقل ۷۵ درصد ظرفیت مجاز کششی مقطع عضو را تأمین نماید.

ج) وصلهٔ اعضای فشاری

در وصله ستون‌ها، سطح انتهایی دو قطعه باید تا حد امکان صاف و تنظیم شود و بدون توجه به‌تماس مستقیم، مصالح وصله و وسایل اتصال باید طوری تنظیم شود که قطعات متصل‌شونده به‌خوبی در محل خود و محور مورد نظر نگهداری شوند. وصله باید بتواند نیرویی برابر ظرفیت مجاز عضو کوچکتر متصل‌شونده را تحمل کند.

محل وصله ستون باید تا حد امکان از محل اتصال تیر به‌ستون دور باشد و در منطقه‌ای با نیروهای داخلی کوچک قرار گیرد.

چ) وصلهٔ اعضای خمشی

وصلهٔ اعضای خمشی تا حد امکان باید از محل نیروهای حداکثر (مثل وسط دهانه و یا تکیه‌گاه) دور باشد و در منطقه‌ای با نیروهای داخلی کوچک قرار گیرد.

این وصله باید برای بزرگترین نیروهای داخلی زیر محاسبه گردد.

۱. نیروهای داخلی حاصل از تحلیل سازه تحت ترکیب بار بحرانی

۲. متوسط نیروهای داخلی و ظرفیت خمشی مجاز مقطع کوچکتر

۳. ۷۵ درصد ظرفیت خمشی مجاز مقطع کوچکتر عضو و برش نظیر آن

در صورتی‌که برای وصله تیر نوردشده و یا تیرورق از جوش‌های شیاری نفوذی با لبهٔ آماده شده استفاده شود، حداقل باید ظرفیت کامل مقطع کوچکتر وصله‌شونده را تأمین نماید. در این وصله، درز جوش بال و جان لازم است فاصله‌ای به‌اندازهٔ ۲۵۰ میلی‌متر نسبت به‌هم داشته باشند.

● **وصلهٔ بال اعضای خمشی**

وصلهٔ بال تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها باید تا حد امکان از محل تنش خمشی حداکثر دور باشد. اگر از ورق پوششی برای وصله استفاده شود، سطح مقطع آن باید حداقل ۵ درصد از سطح مقطع بال وصله‌شونده بیشتر و مرکز ثقل آن تا حد امکان به‌مرکز ثقل بال نزدیک باشد.

● **وصله در جان اعضای خمشی**

وصله در جان تیرها و تیرورق‌ها باید برای نیروی برشی و سهم لنگر خمشی مربوط به‌جان در محل درز اتصال، محاسبه شود. اگر از ورق‌های وصلهٔ جان استفاده می‌شود. حتی‌المقدور باید این ورق‌ها به‌صورت قرینه و با ضخامت مساوی در دوطرف جان قرار گرفته و ارتفاع این ورق‌ها از سه‌چهارم ارتفاع جان عضو خمشی کمتر نباشد.

ح) وصلهٔ اعضای کششی

وصلهٔ اعضای کششی باید بتواند نیروی کششی داخلی حاصل از تحلیل سازه تحت ترکیب بار بحرانی و یا ۷۵ درصد ظرفیت مؤثر مجاز کششی مقطع عضو را تأمین نماید.

خ) حداقل اتصال

اتصالات اعضایی که در حمل نیرو مشارکت دارند و شامل موارد اشاره شده در بندهای قبل نمی‌باشند، باید حداقل برای تحمل ۵۰ درصد ظرفیت مجاز مربوطه عضو با مقطع کوچکتر محاسبه شوند.

د) وصله در مقاطع سنگین

این بند به‌نیمرخ‌های نوردشده حجیم و سنگین و نیمرخ‌های مرکبی که با ورق‌های ضخیم‌تر از ۴۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، مربوط می‌شود.

در وصله این‌گونه اعضا چنانچه از جوش نفوذی لب به‌لب استفاده شود، باید برای

جلوگیری از اثر انقباض ناشی از سرد شدن و شکست ناشی از تردی در جوش و مصالح مجاور آن، احتیاط های لازم به‌عمل آید. استفاده از پیش‌گرمایش و یا الکترودهای کم‌هیدروژن در این خصوص لازم است.

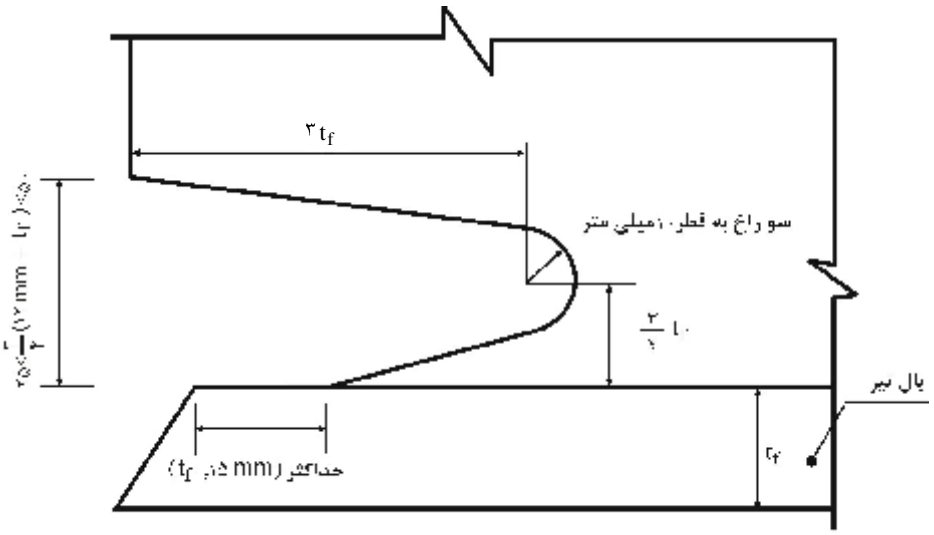
اگر جوش وصله، نقش انتقال تنش‌های کششی ناشی از نیروی کششی و یا لنگر خمشی را داشته باشد، لازم است محدودیت‌های مربوط به‌طاقت مصالح روی نمونه زخم‌دار طبق روش شارپی بررسی گردد.

در صورت به‌کار بردن سوراخ‌های دسترسی جوشکاری، جزییات این سوراخ‌ها باید طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ذ و جوش مناسب طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ج و گرم کردن قبل از جوشکاری طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ چ و محدودیت‌های مربوط به‌برش با شعله و آماده کردن سطوح و نکات مربوط به‌بررسی جوش‌ها طبق فصل ۱۰ ـ ۴ رعایت شود. در اتصالات کششی مقاطع سنگین باید بعد از جوشکاری، تسمه پشت‌بند جوش (در صورت موجود بودن) را از جای خود برداشت و جوش‌ها را با سنگ زدن صاف و یکنواخت کرد و در صورت لزوم از جوش پشت استفاده نمود.

برای وصله مقاطع یادشده می‌توان از جزییاتی استفاده کرد که افت و انقباض جوش در آن بزرگ نباشد. مثلاً می‌توان از ورق‌های وصله جان با جوش گوشه یا پیچ استفاده کرد.

ذ) سوراخ‌های دسترسی برای جوشکاری و برش بال‌های تیر برای اتصال

کلیه سوراخ‌هایی که به‌منظور دسترسی و تسهیل جوشکاری تعبیه می‌شود (مثل سوراخ دسترسی در جان به‌منظور جوش لب به‌لب بال) ، برای قرار دادن مصالح جوش در موضع مورد نظر، باید دید کامل و فراخی کامل را داشته باشد. این سوراخ‌ها و نیز قسمت‌های برش‌دادهٔ بال در انتهای تیرها باید به‌صورتی کاملاً یکنواخت، با انحنای ملایم و بدون گوشه‌های تیز، تعبیه شود. طول سوراخ‌های دسترسی برای جوشکاری که از محل ریشهٔ جوش مربوطه اندازه‌گیری می‌شود، نباید کمتر از ۱/۵ برابر ضخامت ورقی گردد که سوراخ دسترسی در آن ایجاد می‌شود.



مشخصات هندسی سوراخ دسترسی برای جوش شیاری بال تحتانی

در نیمرخ‌های سنگین و مقاطع مرکبی که از مصالح به‌ضخامت بیش از ۴۰ میلی‌متر ساخته می شوند، لبه‌های برش‌دادهٔ تیر یا سوراخ‌های دسترسی که توسط شعله بریده شده باشند را باید با سنگ زدن به‌صورت فلز صاف و براق درآورد. اگر قسمت‌های منحنی بریده‌شده در تیر یا سوراخ (به‌شرح بالا) ، توسط عمل مته کردن و یا برقو زدن شکل گرفته باشد، به‌سنگ زدن و صاف کردن احتیاجی ندارد.

ر) آرایش پیچ و جوش در اتصال اعضای محوری

ترتیب قرارگیری پیچ‌ها یا جوش در انتهای هر عضوی که نیروی محوری را انتقال می‌دهد باید طوری باشد که مرکز هندسی گروه وسایل اتصال و مرکز ثقل عضو در یک راستا قرار گیرند مگر حالتی که به‌برون‌محوری موجود در طرح و اثر آن در محاسبه توجه شده باشد. در اتصال تک‌نبشی و یا تک‌سپری تحت بار استاتیکی، می‌توان از برون‌محوری خارج از صفحه صرف‌نظر کرد، مشروط به‌اینکه از تنش مجاز وسایل اتصال ۲۰ درصد کاهش داد.

ز) ترکیب پیچ و جوش

وقتی که پیچ‌های معمولی و یا پیچ‌های پرمقاومت در حالت اتصال اتکایی (غیراصطکاکی) مشترکاً با جوش استفاده شود، نباید فرض کرد که آنها در تحمل بار با جوش سهیم هستند. در این صورت کل تنش در اتصال را باید جوش به‌تنهایی تحمل کند.

در صورت استفاده از ترکیب جوش و پیچ‌های پرمقاومت در اتصال اصطکاکی، می‌توان جوش و پیچ را در تحمل تنش‌ها سهیم فرض کرد.

اگر در ساختمان‌های موجود با استفاده از جوش، تقویت یا تغییری صورت گیرد، مجاز است اتصال پیچ پرمقاومت موجود (در صورتی که تا حد لازم تنیده شده باشد) را جوابگوی بارهای موجود فرض کرد. در این صورت جوش باید تنش‌های اضافی را تحمل کند.

س) پیچ‌های پرمقاومت (اصطکاکی) در ترکیب با پرچ

در کارهای جدید یا تغییر در کارهای موجود، می‌توان فرض کرد که پیچ‌های پرمقاومت با عمل اصطکاکی، مشترکاً با پرچ بارها را تحمل می‌کنند.

ش) محدودیت‌های اتصالات پیچی و اتصالات جوشی

برای اتصالات زیر باید از اتصال اصطکاکی با پیچ‌های پرمقاومت و یا جوش استفاده شود:

۱. وصلهٔ ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع ۶۰ متر و بیشتر
۲. وصلهٔ ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع ۳۰ تا ۶۰ متر، در صورتی‌که نسبت بعد کوچک پلان به‌ارتفاع در آنها از ۴۰ درصد کمتر باشد.
۳. وصلهٔ ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر، در صورتی‌که نسبت بعد کوچک پلان به‌ارتفاع در آنها از ۲۵ درصد کمتر باشد.
۴. اتصال کلیهٔ تیرها و شاهتیرها به‌ستون‌ها و یا اتصالات هر نوع تیر یا شاهتیری که مهار ستون‌ها به‌آنها مرتبط باشد، در سازه‌های با ارتفاع بیش از ۴۰ متر.
۵. کلیهٔ سازه‌هایی که جراثقال‌های با ظرفیت بیش از ۵ تن را تحمل می‌کنند. وصلهٔ خرپاها یا تیرهای شیب‌دار سقف، اتصال خرپاها به‌ستون‌ها، وصلهٔ ستون‌ها، مهار ستون‌ها، مهارهای زانویی بین خرپا یا تیر سقف و ستون و تکیه‌گاه‌های جراثقال مشمول این امر می‌باشند.

۶. در اتصالات تکیه‌گاه‌های اعضایی که ماشین‌های متحرک یا بارهای زنـده از نوعـی را تحمل می‌کنند که تولید ضربه و یا معکوس شدن تنش‌ها را به‌همراه داشته باشد.
۷. هر اتصال دیگری که در نقشه‌های طرح و محاسبه قید شده باشد.

در کلیهٔ حالت‌های دیگر می‌توان از اتصال اتکایی بـا پیچ‌های پـرمقاومت یا بـا پیچ‌های معمولی، اتصال اصطکاکی با پیچ پرمقاومت و یا اتصال جوشی استفاده کرد.

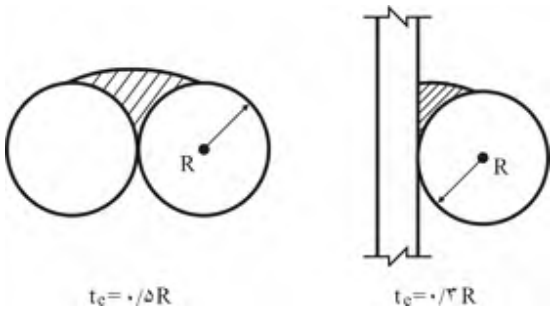
بـرای ارتـفاع ساختمان، می‌تـوان فاصله بین رقـوم متوسط زمیـن مجـاور ساختـمان و بالاترین تیر در ساختمان را به‌حساب آورد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش

الف) جوش شیاری

۱. سطح مقطع مؤثر : سطح مقطع مؤثر در جوش‌های شیاری عبارت است از: حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر جوش، طول مؤثر جوش برابر با طول جوش‌شده و ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ کامل، برابر با ضخامت قطعهٔ نازکتر در اتصال لب به‌لب و ضخامت قعطهٔ جوش‌شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت مؤثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی، برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد مجاز نیست.

ضخامت مؤثر جوش شیاری که بین دو لبهٔ گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبهٔ گرد و لبهٔ تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، طبق شکل‌های زیر می‌باشد:



۲. محدودیت: ضخامت مؤثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ کمتر شود. حداقل ضخامت مؤثر با توجه به‌ضخامت قطعه نازکتر تعیین می‌شود، از طرفی ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده تجاوز کند.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱ حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت مؤثر
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۴ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

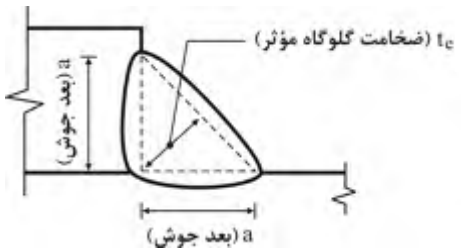
* در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تأمین نمود، باید از پیش‌گرمایش و یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده نمود.

برای ضخامت‌های بزرگتر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعه خاص مورد بررسی قرار گیرد.

ب) جوش‌های گوشه

۱. سطح مقطع مؤثر : سطح مقطع مؤثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت گلوگاه مؤثر در نظر گرفته می‌شود.

طول مؤثر جوش گوشه (به‌جز جوش‌هایی که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت‌خورده می‌باشد.



ضخامت گلوگاه مؤثر (t_e) در جـوش گوشه، برابر کوتاهترین فاصله بیـن ریشهٔ مقطـع جـوش تـا سـطح خـارجی آن و بـه‌عبارت دیـگر بـرابـر ارتـفاع وارد بـر وتـر مـثلث مـقطع جـوش به‌حساب می‌آید.

بعد جـوش گوشه (a) ، اندازهٔ سـاق مقطع جوش می‌باشد که از هندسه مقطع جـوش برحسب t_e قابل محاسبه است.

برای جوش‌های گوشه در سوراخ و شکاف، طول مؤثر برابر بـا طـول محوری (میانتاری) که از مقطع گلوگاه جوش می‌گذرد، در نظر گرفته می‌شود.

۲. محدودیت : حداقل بعد جوش گوشه باید طبق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ تعیین شود. حداقل بعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می‌باشد. از طرفی نباید بعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده تجاوز کند.

حداکثر بعد جوش گوشه در لبهٔ قطعات متصل‌شونده به‌این شرح است:

در قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۷ میلی‌متر، از ضخامت قطعه بیشتر نباشد. در قطعات با ضخامت بیش از ۷ میلی‌متر، حداکثر بعد مساوی ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۷ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۷ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

۱. در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تأمین نمود، باید از پیش‌گرمایش و یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده نمود.

۲. در سازه تحت بار دینامیکی، حداقل اندازه جوش ۵ میلی‌متر می‌باشد.

طول مؤثر جوش گوشه که برای تحمل تنش‌ها محاسبه شده باشد، نباید از ۴ برابر بعـد آن کمتر باشد. در غیر این‌صورت بعد جوش نباید بیشتر از $\frac{۱}{۴}$ طول مؤثر آن منظور شود. در

انتهای تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی امتداد نیرو استفاده می‌شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصله بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله نباید از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز کند.

جوش‌های گوشه منقطع برای انتقال تنش‌های محاسبه‌شده هنگامی مجاز است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش سرتاسری و حداقل بعد جوش تأمین می‌شود، کمتر باشد. استفاده از این نوع جوش در اتصال جان و بال تیرورق‌ها و یا دیگر مقاطع ساخته شده و اتصال ورق‌های تقویتی بال، در صورتی‌که تحت بارهای دینامیکی و خستگی نباشند، و اتصال سخت‌کننده به‌جان تیرورق نیز مجاز می‌باشد.

طول مؤثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلی‌متر کمتر شود. فاصلهٔ آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است، بیشتر شود.

در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول مؤثر جوشی که به‌صورت طولی بارگذاری شده، نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش (a) تجاوز نماید. در صورت نیاز به‌طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد ساق جوش، طول مؤثر جوش باید با ضریب زیر کاهش داده شود.

$$L_e = \beta L$$

$$\beta = ۱/۲ - ۰/۰۰۲\left(\frac{L}{a}\right) \le ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱)$$

که در آن:

L_e = طول مؤثر جوش

L = طول ظاهری جوش

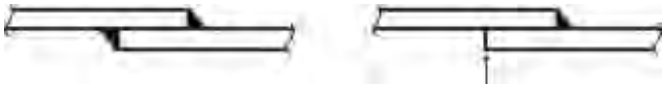
a = بعد جوش

β = ضریب کاهش طول اسمی جوش

برای L/a بزرگتر از ۳۰۰، ضریب β می‌تواند برابر ۰/۶ در نظر گرفته شود.

۳. جوش گوشه در اتصالات پوششی (رویهم) : در اتصال پوششی دو قطعه، طول همپوشانی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازکتر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلی‌متر کمتر نشود.

در اتصالات پوششی که ورق‌ها و تسمه‌هایی تحت اثر تنش‌های محوری را به‌یکدیگر متصل می‌کند، باید ضلع انتهایی هریک از قسمت‌های متصل‌شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند (جوش دوطرفه). در وضعیتی که اتصال به‌اندازهٔ کافی مقید شده باشد یا تغییرشکل خمشی آنقدر محدود باشد که از باز شدن اتصال تحت اثر بار حداکثر جلوگیری شود، می‌توان از جوش یکطرفه استفاده کرد.



جوش یکطرفه (وجود قید)　　جوش دوطرفه

۴. جوش گوشه در سوراخ و شکاف: استفاده از جوش گوشه در لبهٔ سوراخ و شکاف در اتصالات روی هم، به‌منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمت‌های متصل‌شونده مجاز می‌باشد.

۵. جوش گوشه در انتهای اعضا: کلیه جوش‌های گوشه که در لبه کناری و یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در انتهای ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به‌آن قلاب گویند. حداقل طول این برگشت ۲ برابر بعد جوش می‌باشد. این شرط شامل جوش‌های گوشه قائم و جوش‌های گوشه سربالا در تکیه‌گاه‌های لچکی (براکت) و برای نبشی‌های نشیمن تیر و اتصالات نظیر می‌باشد. در نبشی‌های اتصال تیر و ستون یا ورق‌های این نوع اتصال (که انعطاف‌پذیری اتصال به‌مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال برجسته نبشی یا طول قابل تغییرشکل ورق است)، برگشت در انتهای جوش گوشه نباید از ۴ برابر بعد جوش بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزییات اجرایی قید شود.

پ) جوش انگشتانه و کام

۱. سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در برش برای جوش انگشتانه و کام برابر با سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه برش به‌حساب می‌آید.

۲. محدودیت: استفاده از جوش انگشتانه و کام برای انتقال برش در اتصال‌های پوششی و یا جلوگیری از کمانش در عناصر روی‌هم آمده در اعضای مرکب ساخته شده، مجاز می‌باشد.

جوش انگشتانه

قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعه سوارخ شده به‌اضافه ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین قطر یاد شده نباید از مقدار حداقل به‌اضافه ۳ میلی‌متر و یا $۲\frac{۱}{۴}$ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود. حداقل فاصله مرکز به‌مرکز سوراخ‌های جوش‌های انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد.

جوش کام

پهنای شکاف در جوش کام نباید از ضخامت قطعه بریده‌شده به‌اضافه ۸ میلی‌متر کمتر و همچنین $۲\frac{۱}{۴}$ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.

انتهای شکاف باید به‌صورت نیم‌دایره یا خطی مستقیم که در گوشه‌ها تبدیل به‌ربعی از دایره (با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه) می‌شود، باشد.

حداقل فاصله مرکز به‌مرکز شکاف‌ها در امتداد عمود بر طول، ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله مرکز به‌مرکز شکاف‌ها در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می‌باشد که طول شکاف نیز نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر شود.

ضخامت جوش انگشتانه و کام در مصالحی که ضخامت آنها ۱۶ میلی‌متر و یا کمتر است باید برابر با ضخامت مصالح باشد. در مصالحی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلی‌متر است، ضخامت این جوش باید حداقل $\frac{۱}{۲}$ ضخامت مصالح باشد و از ۱۶ میلی‌متر نیز کمتر نشود.

ت) تنش‌های مجاز جوش‌ها

به‌جز حالتی که عامل خستگی طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ تعیین‌کننده باشد، جوش‌ها باید طوری محاسبه شوند که محدودیت‌های تنش مندرج در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ را با اعمال ضرایب بازرسی زیر جوابگو باشند:

۱. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و اولتراسونیک (فراصوتی):

$$\phi = ۱$$

۲. در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب:

$$\phi = ۰/۸۵$$

۳. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب:

$\phi = ۰/۷۵$

ث) ترکیب جوش‌ها

اگر از دو یا چند جوش به‌صورت مجموعه (جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و یا کام) در یک اتصال استفاده شود، باید ظرفیت مؤثر هر یک را جداگانه نسبت به‌محور مجموعه جوش محاسبه و سپس ظرفیت مجاز مجموعه جوش را تعیین کرد.

ج) فلز جوش مختلط

در اتصالات مقاطع سنگین و مواردی که اثر خستگی ملاک طراحی باشد و طاقت نمونه زخم‌دار به‌عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوش‌ها اعم از خال‌جوش، عبور جوش در عمق و ریشه اتصال، یا عبورهای بعدی که جوش تکمیلی را در اتصال ایجاد می‌کند، باید سازگاری لازم را داشته باشد تا طاقت نمونه زخم‌دار برای فلزجوش مختلط محرز شود.

چ) پیش‌گرمایش فولادهای ساختمانی

برای نیمرخ‌های نوردشده سنگین و قطعات مرکب ساخته شده با جوش، باید قبل از انجام جوش، پیش‌گرمایش تا دمای لازم صورت گیرد. حداقل دمای پیش‌گرمایش مطابق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ می‌باشد:

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ حداقل دمای پیش‌گرمایش

ضخامت (mm)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند غیرکم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند کم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)
$t \leq ۲۰$	۲۰*	۱۰*
$۲۰ < t \leq ۴۰$	۶۵	۲۰*
$۴۰ < t \leq ۶۵$	۱۱۰	۶۵
$t > ۶۵$	۱۵۰	۱۱۰

* این دما در حد لمس کردن ورق قابل حس است و در سایر موارد باید از روش‌های دماسنجی سطحی (مثلاً گچ‌های حساس به‌دما) استفاده شود.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ تنش‌های مجاز جوش*

نوع جوش	نوع تنش	تنش مجاز
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی یا فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	برشی، در مقطع مؤثر	۰/۳ × مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش برشی در فلز مادر نباید از ۰/۴ تنش تسلیم بیشتر شود.)
جوش شیاری با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	کششی، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	۰/۳ × مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش کششی در فلز مادر نباید از ۰/۶ تنش تسلیم فلز مادر بیشتر شود.)
	برشی، موازی با محور جوش	۰/۳ × مقاومت نهایی کششی فلزجوش (تنش برشی در فلز مادر نباید از ۰/۴ تنش تسلیم بیشتر شود.)
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	۰/۳ × مقاومت نهایی کششی فلزجوش
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش‌شونده (روی مقطع مؤثر)	۰/۳ × مقاومت نهایی کششی فلزجوش

* این تنش‌ها باید در ضرایب مذکور در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ت ضرب شوند.

** فلزجوش (الکترودمصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکترود مطابق با مقادیر زیر تأمین شود:

مقاومت نهایی کششی فلز الکترود (F_{ue})	تنش تسلیم فلز مادر (F_y)
(E۶۰)۴۲۰۰kg/cm^2 یا [۴۲۰N/mm^2]*	تا ۳۰۰۰kg/cm^2 یا [۳۰۰N/mm^2]*
(E۷۰)۴۹۰۰kg/cm^2 یا [۴۹۰N/mm^2]*	تا ۳۸۰۰kg/cm^2 یا [۳۸۰N/mm^2]*
(E۸۰)۵۶۰۰kg/cm^2 یا [۵۶۰N/mm^2]*	تا ۴۶۰۰kg/cm^2 یا [۴۶۰N/mm^2]*

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچ و مهره، قطعات دندانه‌شده و پرچ

الف) کلیات

اتصالات می‌توانند به‌صورت اتکایی یا اصطکاکی باشند. استفاده از پیچ‌های پرمقاومت منطبق با استانداردهای ملی یا بین‌المللی، برای هر دو نوع اتصال و استفاده از پیچ‌های معمولی یا پرچ فقط در اتصالات اتکایی مجاز است.

ب) اندازه‌ها و سوراخ‌ها

۱. اندازهٔ حداکثر برای سوراخ پیچ‌ها در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵ داده شده است.

۲. سوراخ‌های بزرگ فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز می‌باشد.

۳. سوراخ‌های لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشند.

۴. در اتصالات اتکایی، سوراخ‌های لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط می‌توانند در یکی از ورق‌های اتصال و در هر امتداد اختیاری وجود داشته باشند.

۵. قطر سوراخ برای پرچکاری به‌اندازهٔ ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر اسمی پرچ تعبیه می‌شود.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵ ابعاد اسمی سوراخ پیچ

قطر پیچ (mm)	اندازه حداکثر سوراخ (mm)				
	استاندارد (قطر)	بزرگ (قطر)	لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	لوبیایی بلند (طول × عرض)	میله مهار پای ستون
d	d+۲mm	d+۵mm	(d+۲)×(d+۷)	(d+۲)×(۲/۵d)	d+۶mm

پ) سطح مؤثر در تنش اتکایی

در اتصالات اتکایی، سطح مؤثر تماس در اتکای مستقیم پیچ‌ها، قطعات دندانه‌شده و پرچ‌ها باید به‌صورت حاصل‌ضرب قطر در ضخامت تماس به‌حساب آید، مگر در پیچ‌ها و پرچ‌های کله خزینه که نصف عمق خزینه باید کم شود.

ت) تنش‌های مجاز

تنش‌های مجاز کششی و برشی برای پیچ‌ها، قطعات دندانه‌شده و پرچ‌ها مطابق جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ در نظر گرفته می‌شود. در محاسبه تنش‌ها، مقطع اسمی پرچ (قبل از عمل پرچ‌کاری) و مقطع دندانه‌نشده پیچ (مقطع اسمی تنهٔ پیچ) یا میله‌های دندانه‌شده (غیر از میله‌های با دندانه‌های برجسته) ملاک می‌باشند. در محاسبه تنش در میله‌ها با دندانهٔ برجسته، سطح مقطع برجستهٔ بدون دندانه ملاک محاسبه می‌باشد.

پیچ‌های پرمقاومت که بار وارده را به‌صورت کشش مستقیم تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه شوند که تنش متوسط در مقطع اسمی پیچ، بدون در نظر گرفتن هرگونه نیروی پیش‌تنیدگی، از مقادیر مندرج در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ تجاوز نکند. نیروی مؤثر باید برابر نیروی خارجی به‌اضافه اثر اهرم شدن (ناشی از تغییرشکل در قطعات متصل شده) باشد.

طرح و محاسبه پیچ‌ها، قطعات دندانه‌شده و پرچ‌هایی که تحت اثر خستگی قرار می‌گیرند باید با توجه به‌بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ ۲ انجام شود.

ث) اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی

پیچ‌ها و پرچ‌ها و قطعات دندانه‌شده‌ای که تحت اثر عمل مشترک برش و کشش قرار می‌گیرند، باید طوری محاسبه شوند که تنش کششی f_t ناشی از نیروهای مؤثر بر عضو متصل‌شده در مقطع اسمی (A_b) ، از مقادیر حاصل از روابط مندرج در جدول ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۷ بیشتر نشود. تنش برشی (f_v) که همزمان توسط همین نیروها به‌وجود می‌آید نباید از مقادیر تنش برشی که در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ داده شده است بیشتر شود.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ تنش‌های مجاز در انواع وسایل اتصال

نوع وسیله اتصال	تنش کششی مجاز (F_t)	تنش برشی مجاز (F_v)				
		اتصال اصطکاکی[۴]				اتصال اتکایی[۵]
		سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ‌شده و لوبیایی کوتاه	سوراخ لوبیایی بلند		
				بار در امتداد عرضی	بار در امتداد طولی	
پرچ	$۰/۵F_y$					$۰/۶F_y$
پیچ معمولی	$۰/۳۳F_u$ [۶ و ۱]					$۰/۱۷F_u$ [۲]
قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین‌شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد.	$۰/۳۳F_u$ [۶ و ۱]					$۰/۱۷F_u$ [۲]
قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین‌شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد.	$۰/۳۳F_u$ [۶ و ۱]					$۰/۲۲F_u$
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد.	$۰/۳۸F_u$ [۶ و ۳]	$۰/۱۵F_u$	$۰/۱۲F_u$	$۰/۱F_u$	$۰/۰۹F_u$	$۰/۲F_u$
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد.	$۰/۳۸F_u$ [۶ و ۳]	$۰/۱۵F_u$	$۰/۱۲F_u$	$۰/۱F_u$	$۰/۰۹F_u$	$۰/۲۸F_u$

در این جدول:

(۱) فقط بارگذاری استاتیکی،

(۲) قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است

(۳) برای پیچ‌های A325 ، A490 و یا مشابه تحت اثر خستگی.

(۴) با ضریب اصطکاک ۰/۳۳ برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلس ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای باشد.

(۵) وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلی‌متر تجاوز کند این تنش‌های مجاز را باید ۲۰٪ کاهش داد.

(۶) F_u تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش جاری‌شدن مصالح پرچ‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال F_u برای پیچ‌های معمولی A307 طبق استاندارد ASTM (یا ۴/۵ طبق استاندارد ISO) برابر $۴۰۰۰(kg/cm^۲)$ ، برای پیچ A325 طبق استاندارد ASTM (یا ۸/۸ طبق استاندارد ISO) با قطری مساوی و یا کمتر از ۲۵ میلی‌متر مساوی $۸۰۰۰(kg/cm^۲)$ و قطر بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر مساوی $۷۲۵۰(kg/cm^۲)$ و برای پیچ A490 طبق استاندارد ASTM (یا ۱۰/۹ طبق استاندارد ISO) مساوی $۱۰۰۰۰(kg/cm^۲)$ می‌باشد.

ج) اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اصطکاکی

برای پیچ‌های پرمقاومت که در اتصالات اصطکاکی تحت اثر مشترک کشش و برش مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید تنش برشی مجازی را که در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ تعیین شده است در ضریب کاهش‌دهنده $\left(۱-\frac{f_t A_b}{T_b}\right)$ ضرب کرد. در این ضریب f_t تنش کششی متوسط ناشی از نیروی کششی اعمالی بر تمام پیچ‌ها است و T_b بار پیش‌تنیدگی پیچ که از جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۱ استخراج می‌شود.

چ) تنش مجاز اتکایی در جدار سوراخ‌های پیچ یا پرچ

تنش فشاری اتکایی مجاز بر روی سطح تصویر شده پیچ یا پرچ (حاصل‌ضرب قطر در ضخامت قطعه) در اتصالات اتکایی که در آنها حداقل فاصله مرکز به‌مرکز سوراخ‌ها ۳ d و فاصلهٔ انتهایی از مرکز سوراخ تا لبه (در امتداد نیرو) حداقل ۲ d باشد، به‌شرح زیر تعیین می‌شود:

۱. برای سوراخ‌های استاندارد یا سوراخ‌های لوبیایی کوتاه که دو یا چند پیچ یا پرچ در خط نیرو داشته باشد:

$$F_p = ۱/۲F_y \quad \text{(پرچ)}$$

$$F_p = ۱/۲F_u \quad \text{(پیچ)} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲)$$

که در آن F_p تنش اتکایی مجاز در فشار و F_u تنش نهایی مصالح مادر (مصالح ضعیف‌تر) و F_y تنش تسلیم مصالح پرچ می‌باشد.

۲. برای سوراخ‌های لوبیایی بلند که محور شکاف عمود بر امتداد بارگذاری باشد، با دو یا چند پیچ در خط نیرو:

$$F_p = ۱/۰F_u \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳)$$

۳. برای سوراخ‌های استاندارد و یا سوراخ‌های لوبیایی کوتاه در سطح تصویرشده نزدیکترین پیچ و پرچ به‌لبه، که فاصله مرکز تا لبه در آنها کمتر از ۲ d و یا در تمام اتصال یک عدد پیچ در خط نیرو داشته باشند:

$$F_p = \frac{L_e \cdot F_u}{2d} \le 1/2 F_u \qquad (۴ - ۱۰ - ۱ - ۱۰)$$

که در آن L_e فاصله از لبهٔ آزاد تا مرکز پیچ یا پرچ و d قطر آن است.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش کششی مجاز (F_t) در پیچ‌ها و پرچ‌ها تحت اثر برش و کشش در اتصالات اتکایی

نوع وسیله اتصال	سطح برشی از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد	سطح برش خارج از قسمت دندانه‌شده قرار دارد
پیچ معمولی	$F_t = 0/43 F_u - 1/8 f_v \le 0/33 F_u$	
پیچ پرمقاومت	$F_t = \sqrt{(0/38 F_u)^2 - 4/39 f_v^2}$	$F_t = \sqrt{(0/38 F_u)^2 - 2/15 f_v^2}$
قطعهٔ دندانه شده	$F_t = 0/43 F_u - 1/8 f_v \le 0/33 F_u$	$F_t = 0/43 F_u - 1/4 f_v \le 0/33 F_u$
پرچ	$F_t = 1/05 F_y - 1/3 f_v \le 0/5 F_y$	

در حالت‌هایی که تنش مجاز برای اثر باد یا زلزله طبق ماده ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۲ افزایش داده می‌شود. ضرایب در روابط جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ نیز باید به‌میزان یک‌سوم افزایش یابد ولی ضریب مربوط به f_v را نباید افزایش داد.

* در این جدول:

F_u = تنش نهایی مصالح پیچ (kg/cm^2) و یا $[N/mm^2]^*$

F_y = تنش تسلیم مصالح پرچ (kg/cm^2) و یا $[N/mm^2]^*$

f_v = تنش برشی موجود (kg/cm^2) و یا $[N/mm^2]^*$

ح) در اتصالات اصطکاکی که در آن صرفاً استفاده از پیچ‌های پرمقاومت مجاز است، لازم است پیچ‌ها به‌نحوی سفت شوند که نیروی پیش‌تنیدگی مطابق جدول ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۱۱ ایجاد شود. لنگر پیچشی لازم برای این کار توسط آچار مدرج، پیچاندن اضافی، یا واشرهای DTI قابل اندازه‌گیری است. در اتصالات اتکایی، سفت کردن پیچ‌ها به‌میزان لازم جهت تماس وسایل اتصال و اجزای متصل‌شونده، کافی است. (در این خصوص به‌توضیحات تکمیلی مبحث یازدهم مراجعه گردد).

خ) حداقل فواصل سوراخ‌ها

فاصله مرکز به‌مرکز سوراخ‌های استاندارد یا سوراخ‌های بزرگ‌شده و یا سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیلهٔ اتصال کمتر باشد و همچنین محدودیت‌های ذیل تأمین شود:

در صورتی که مقدار F_p از روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳) تعیین می‌شود، فاصله بین مراکز سوراخ‌ها (S) در امتداد نیروهای انتقالی، نباید از d ۳ کمتر شود. در غیر این‌صورت فاصله بین مراکز سوراخ‌ها نباید از مقادیر زیر کمتر باشد:

الف) در سوراخ‌های استاندارد:

$$S \geq \frac{۲P}{F_u t} + \frac{d}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵)$$

که در آن P نیروی منتقل‌شده توسط وسیلهٔ اتصال به‌عضو مورد نظر، F_u حداقل مقاومت نهایی کششی قطعه، t ضخامت قطعه متصل‌شونده و d قطر اسمی وسیله اتصال است.

ب) برای سوراخ‌های بزرگ و سوراخ‌های لوبیایی، مقدار به‌دست آمده از زیربند الف با مقدار $C_۱$ مربوط از جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۸ جمع می‌شود ولی فاصله خالص بین سوراخ‌ها نباید از قطر پیچ کمتر شود.

د) حداقل فاصله تا لبه

فاصله مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبه قطعه متصل‌شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۹ و همچنین مقدار حاصل از رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶) کمتر باشد.

در طول یک خط انتقال نیرو در صورتی که F_p از روابط ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۲ و ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۳ تعیین شده باشد، فاصله از مرکز سوراخ استاندارد تا لبه قطعه متصل‌شونده (L_e) نباید از ۲d کمتر شود، در غیر این‌صورت باید رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶) صادق باشد.

$$L_e \geq \frac{۲P}{F_u t} + \frac{d}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶)$$

P ، F_u ، t و d در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ خ تعریف شده‌اند.

برای سوراخ بزرگ‌شده و لوبیایی فاصله مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شد به‌اضافه مقدار $C_۲$ مربوط از جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۰ کمتر شود.

ذ) حداکثر فاصله تا لبه و فاصله مرکز به‌مرکز

علاوه بر کنترل‌های لازم از لحاظ کمانش موضعی، حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ و یا پرچ تا نزدیکترین لبهٔ قطعه در قطعات حفاظت‌شده در مقابل خوردگی، ۱۲ برابر ضخامت قطعه متصل‌شونده می‌باشد ولی نباید از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند. برای قطعات مرکب رنگ‌نشده که تحت اثر خوردگی و زنگ‌زدگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله وسایل اتصال که دو ورق یا ورق و نیمرخی را متصل می‌کنند نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازکترین قسمت متصل‌شونده و همچنین از ۲۰۰ میلی‌متر بیشتر شود. فاصله تا لبه این قطعات نباید از ۸ برابر ضخامت نازکترین قطعه و یا از ۱۲۵ میلی‌متر تجاوز کند.

ر) اتصال با طول گیره بلند

در استفاده از پیچ‌های معمولی که تنش محاسبه‌شده‌ای را تحمل می‌کنند و طول گیره در آنها از ۵ برابر قطر بیشتر است، باید به‌ازای هر ۱/۵ میلی‌متر که طول گیره از ۵ برابر قطر بیشتر باشد، یک درصد تعداد پیچ‌ها را اضافه کرد.

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۸ مقادیر C_1

سوراخ بزرگ‌شده (mm)	سوراخ لوبیایی (mm)		
	در امتداد عمود بر خط نیرو	در امتداد موازی با خط نیرو	
		لوبیایی کوتاه	لوبیایی بلند
۵mm	۰	۷mm	۱/۵d – ۲mm

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۹ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در امتداد نیرو

قطر اسمی پیچ یا پرچ	لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نوردشده ورق، نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده‌شده با شعله اتوماتیک یا اره
d	۲/۲۵d	۲d

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۰ مقادیر افزایش فاصله تا لبه (C_2)

سوراخ بزرگ‌شده (mm)	سوراخ لوبیایی (mm)		
	عمود بر امتداد لبه		موازی با لبه
	لوبیایی کوتاه	لوبیایی بلند	
۳mm	۵mm	۰/۷۵d	۰

جدول ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۱ حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی*

سطح مقطع اسمی پیچ	حداقل نیروی پیش‌تنیدگی
A_b	$۰/۵۵F_u A_b$

* استفاده از آچارهای مدرج و یا روش پیچاندن اضافی منطبق بر مشخصات ارایه شده از طرف سازنده، برای اطمینان از حصول نیروی پیش‌تنیدگی مذکور در جدول، مجاز است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۴ تنش مجاز در گسیختگی قالبی

در اتصال انتهای تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر برداشته شده (زبانه شده) است و یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به‌علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به‌علت اثر ترکیبی برش در سطح مار بر وسیله اتصال و کشش در سطح عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_v = ۰/۳F_u \qquad (۷ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

که F_v در مقطع خالص برشی (A_v) در نظر گرفته می‌شود. تنش کششی مجاز نیز عبارت است از:

$$F_t = ۰/۵F_u \qquad (۸ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

که F_t در مقطع خالص کششی (A_t) در نظر گرفته می‌شود.

F_u نیز تنش نهایی مصالح می‌باشد. در اتصالات جوشی باید مسیر حداقل برای پارگی در جوش‌ها کنترل شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۵ عناصر اتصال‌دهنده

این بند مربوط است به‌عناصر اتصال‌دهنده مانند قطعات تقویتی، ورق‌های اتصال، نبشی‌ها، لچکی‌ها و ناحیه چشمه اتصال تیر به‌ستون.

الف) اتصالات برون‌محور

در اتصال اعضای با نیروی محوری باید سعی شود که محورهای مار بر مرکز ثقل اعضا در یک نقطه تلاقی کنند وگرنه باید برای خمش و برش ناشی از برون‌محوری، پیش‌بینی‌های لازم در تحلیل و طراحی صورت گیرد.

ب) برش مجاز در پارگی

در حالتی که ممکن است به‌علت برش در صفحه‌ای که از وسایل اتصال می‌گذرد، گسیختگی اتفاق افتد و یا برای حالتی که گسیختگی حاصل از عمل مشترک برش در امتداد صفحه‌ای که از وسایل اتصال می‌گذرد و کشش در امتداد صفحه عمود بر آن می‌باشد، به‌بند ۱۰ـ۱ـ۱۰ـ۴ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۶ ورق‌های پرکننده

در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن ۶ میلی‌متر و بیشتر باشد باید از لبه ورق وصله به‌اندازهٔ کافی ادامه یابد و به‌قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرد جوش شود. این جوش باید برای انتقال تنش‌های ورق وصله هنگامی که به‌صورت برون‌محور بر سطح ورق پرکننده اثر می‌کند، کافی باشد. جوش‌هایی که ورق وصله را به‌ورق پرکننده متصل می‌کنند باید برای انتقال تنش‌های ورق وصله کافی بوده و طول کافی داشته باشد.

هر ورق پرکننده‌ای که ضخامت آن کمتر از ۶ میلی‌متر باشد باید لبه‌هایش همباد ورق وصله تمام شود و بعد جوش باید به‌اندازه‌ای باشد که ضخامت ورق پرکننده را در بر گیرد و جوابگوی تنش‌های ورق وصله نیز باشد. در این حالت ورق پرکننده نقش سازه‌ای نداشته و لزومی به‌طراحی آن نمی‌باشد.

در اتصالات پیچی و پرچی که تنش‌های محاسبه‌شده‌ای تحمل می‌شود و پیچ یا پرچ از میان ورق پرکننده‌ای با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر می‌گذرد، ورق پرکننده باید از اطراف ورق اتصال ادامه یافته و توسط وسایل اتصال کافی نگهداری شود. در مورد ورق‌هایی از ۶ تا ۲۰ میلی‌متر، در صورتی‌که ضریب کاهش $۱-۰/۰۱۶(t-۶)$ به‌تنش برشی پیچ اعمال گردد، نیازی به‌ادامه یافتن ورق پرکننده به‌اطراف نخواهد بود. در رابطهٔ فوق، t ضخامت ورق پرکننده برحسب میلی‌متر است.

به‌جای استفاده از ورق پرکننده، توصیه می‌شود قبل از محل وصله، ابعاد مقطع بزرگتر با شیب ۱ به ۶ تبدیل به‌مقطع کوچکتر شده و وصله بدون ورق پرکننده انجام شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش‌های مجاز اتکایی

در سطح تماس سطوح صاف و آماده شده و انتهای قطعات تقویتی با انتقال تنش تماسی و روی سطح تصویر پین‌ها در جدار سوراخ‌های تنظیم شده برای پین، تنش مجاز اتکایی عبارت است از:

$$F_p = ۰/۹F_y \qquad (۹ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

اگر دو یا چند عضو در تماس دارای تنش تسلیم (F_y) مختلف باشند، F_y کوچکتر ملاک طراحی خواهد بود.

شدت تنش اتکایی مجاز در روی خط مولد غلتک‌ها و کفشک‌های تکیه‌گاه عبارت است از:

$$F_p = \frac{F_y - ۹۲۰}{۱۴۰۰} \times ۴۶/۳d \text{ یا } SI: \left[F_p = \frac{F_y - ۹۲}{۱۴۰} \times ۴/۶۳d \right]^* \qquad (۱۰ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

که در آن F_p برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر طول یا $[N/mm]^*$، F_y برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا $[N/mm^۲]^*$ و d قطر غلتک یا کفشک برحسب سانتی‌متر یا $[mm]^*$ است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۸ کف ستون‌ها و قطعات فولادی با فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی

پیش‌بینی‌های لازم برای انتقال بارهای ستون‌ها به‌شالوده باید به‌عمل آید.

در صورتی که مقـررات و مشخصات ویژه‌ای برای تنش مجاز اتکایی موجود نباشد، اعداد زیر ملاک محاسبه خواهد بود:

تنش فشاری مجاز بر روی سنگ‌آهکی و ماسه‌سنگ متراکم با ملات ماسه سیمان:

$$F_p = ۲۲ kg/cm^۲ \quad \text{یا} \quad [۲/۲ N/mm^۲]^*$$

تنش فشاری مجاز بر روی آجرکاری با ملات ماسه سیمان:

$$F_p = ۱۴ kg/cm^۲ \quad \text{یا} \quad [۱/۴ N/mm^۲]^*$$

تنش فشاری مجاز بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$F_p = ۰/۳ f_c \sqrt{\frac{A_۲}{A_۱}} \le ۰/۶ f_c \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱۱)$$

که در آن:

f_c = مقامت مشخصه فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد

$A_۱$ = سطح ورق زیرستون در تماس با شالوده

$A_۲$ = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کف ستون

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۹ میل‌مهارها

میل‌مهارها باید طوری طراحی و محاسبه شوند که در تمام حالت‌های بارگذاری وارد بر سازه، از نظر کشش و برش در پای ستون‌ها، جوابگو باشند که شامل کشش ناشی از لنگر خمشی حاصل از گیرداری و یا نیمه‌گیرداری پای ستون نیز می‌باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ مسائل ویژه در طرح و محاسبه

این بخش به‌محاسبه قطعات تحت اثر بارهای متمرکز، لنگر پیچشی و اثرات خستگی مربوط می‌شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ جان و بال‌های اعضا تحت اثر بارهای متمرکز

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۱ مبانی طراحی

اعضایی که تحت اثر بار متمرکز بر بال قرار می‌گیرند، باید جان و بال آنها طوری محاسبه شود که در مقابل خمش موضعی بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال صلب تیر به‌ستون، تسلیم موضعی در جان تیر، لهیدگی در جان، کمانش توأم با انتقال عرضی جان و کمانش فشاری در جان ستون در مقابل نیروی فشاری تیر طبق بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ تا ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ مقاوم باشند.

اگـر یک جفت قطعه سخت‌کنندهٔ مناسب در محل بار متمرکز، در دو طرف جان تعبیه

شـود، نـیازی بـه‌بررسی و کـنترل بـندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ نخواهد بود.

بـرای جان ستون در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال که تحت اثر نیروی برشی بزرگ باشند باید بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ و برای قطعات سخت‌کنندهٔ فشاری، ضوابط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ رعایت شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ خمش موضعی در بال ستون در مقابل بال کششی تیر در اتصال صلب تیر به‌ستون

در ستون‌ها با مقطع H شکل (نوردشده یا ورقی) در صورتی‌که ضخامت بال ستون کمتر از مـقدار رابـطه ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ بـاشد، در مـحاذات بـال کـششی تـیری کـه بـه‌ستون مـتصل می‌شود و یا محاذات ورق اتصال بال کششی تیر باید یک جفت سخت‌کننده قرار داد:

$$t = ۰/۴ \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱)$$

در این رابطه:

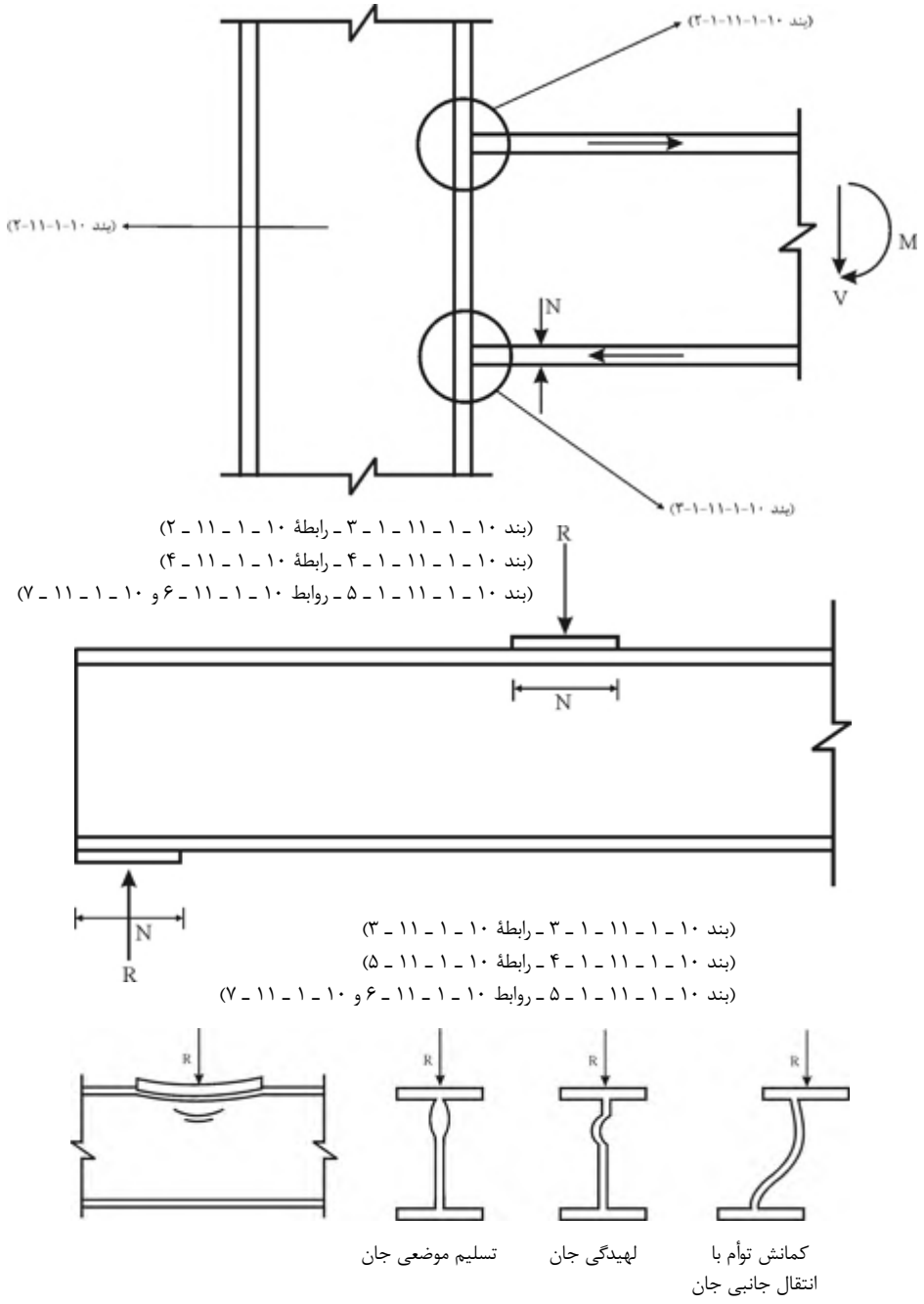
t = ضخامت بال ستون (cm) یا $[mm]^*$

F_{yc} = تنش تسلیم فولاد ستون $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$

P_{bf} = نیرویی که از بال کششی تیر و یا ورق اتصال خمشی، به‌ستون وارد می‌شود (kg) یا $[N]^*$.

وقتی‌کـه این نیرو حاصـل از اثر بار مرده و بار زنـده است، مقدار نیـروی محاسبه‌شـده باید در $\frac{۵}{۳}$ ضرب گردد. هنگامی که این نیرو حاصل از ترکیبات بارگذاری شامل اثر باد یا زلزله است، مقدار آن مساوی حاصل‌ضرب مساحت بال کششی در تنش تسلیم فولاد بال می‌باشد.

اگر عرض بارگذاری شده در روی بال ستون از ۰/۱۵ b (b عرض بال ستون است) کمتر باشد، بررسی رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱) لازم نمی‌باشد.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ جان و بال‌های اعضای تحت اثر بارهای متمرکز.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ تسلیم موضعی جان

در تیرها و تیرورق‌هایی که تحت اثر بار متمرکز عمود بر محور تیر در صفحهٔ جان و همچنین در جان ستون‌هایی که در مقابل بال فشاری تیر در اتصال صلب تیر به‌ستون قرار دارند، باید روابط زیر برقرار شوند:

۱. در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی و بزرگتر از d از انتهای تیر وارد می‌شود:

$$\frac{R}{t_w (N+۵K)} \le ۰/۶۶ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲)$$

۲. در حالتی که بار متمرکز در فاصله‌ای کمتر از d از انتهای تیر وارد می‌شود:

$$\frac{R}{t_w (N+۲/۵K)} \le ۰/۶۶ F_y \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳)$$

که در آن:

d = ارتفاع کلی تیر یا تیرورق

R = بار متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاه

t_w = ضخامت جان

N = طول تماس بار متمرکز (برای عکس‌العمل کمتر از K نباشد)

K = فاصله از سطح خارج بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال یا انتهای بعد جوش یا آخرین ردیف پیچ اتصال بال و جان

اگر روابط فوق برقرار نشوند، تعبیه سخت‌کننده‌های فشاری مطابق بند ۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ـ ۷ ضروری است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۴ لهیدگی در جان

در تیرها و تیرورق‌هایی که تحت اثر بار متمرکز عمود بر محور تیر در صفحهٔ جان قرار دارند، وقتی که نیروی متمرکز از مقادیر زیر تجاوز کند، باید سخت‌کننده‌های فشاری در روی جان اعضایی که تحت اثر بارهای متمرکز هستند قرار داده شود.

۱. اگر بار متمرکز در فاصله بیش از $\frac{d}{۲}$ از انتهای عضو وارد شود:

$$R = ۵۶۶ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{۳}{۲}} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۴)$$

یا

$$SI: \left[R = ۱۸۰ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{۳}{۲}} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \right]^*$$

۲. اگر بار متمرکز در فاصله کمتر از $\frac{d}{۲}$ از انتهای عضو وارد شود:

$$R = ۲۸۵ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{۳}{۲}} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۵)$$

یا

$$SI: \left[R = ۹۰ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{\frac{۳}{۲}} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \right]^*$$

در این روابط:

F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان تیر $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]^*$

d = ارتفاع کلی نیمرخ (cm) یا $[mm]^*$

t_f = ضخامت بال (cm) یا $[mm]^*$

t_w = ضخامت جان (cm) یا $[mm]^*$

اگر سخت‌کننده‌های فشاری که مطابق ضوابط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ تعبیه شده، حداقل تا نصف ارتفاع جان ادامه یابد، بررسی روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۴) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۵) لازم نخواهد بود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۵ کمانش توأم با حرکت جانبی در جان

تعبیه سخت‌کننده‌های فشاری حداقل در جان اعضایی که از حرکت جانبی بال بارگذاری‌شده توسط مهارهایی جلوگیری نشده و تحت اثر بارهای متمرکز فشاری در صفحه جان و عمود بر محور تیر باشند، هنگامی ضروری است که نیروی متمرکز فشاری از حدود زیر بیشتر شود:

۱. اگر بال بارگذاری شده در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده و نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ کمتر از ۲/۳ باشد:

$$R = \frac{۴۸۰ \times ۱۰^{۳}\, t_w^{۳}}{h}\left[۱ + ۰/۴\left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f}\right)^{۳}\right] \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۶)$$

یا

$$SI: \left[R = \frac{۴۸ \times ۱۰^{۳}\, t_w^{۳}}{h}\left[۱ + ۰/۴\left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f}\right)^{۳}\right]\right]^{*}$$

۲. اگر بال بارگذاری‌شده در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد و نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ کمتر از ۱/۷ باشد:

$$R = \frac{۴۸۰ \times ۱۰^{۳}\, t_w^{۳}}{h}\left[۰/۴\left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f}\right)^{۳}\right] \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۷)$$

یا

$$SI: \left[R = \frac{۴۸ \times ۱۰^{۳}\, t_w^{۳}}{h}\left[۰/۴\left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f}\right)^{۳}\right]\right]^{*}$$

در این روابط:

R = بار متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاه (kg) یا $[N]^{*}$

L = بزرگترین طول بدون تکیه‌گاه جانبی در هریک از بال‌ها در محدوده اعمال بار متمرکز (cm) یا $[mm]^*$

b_f = عرض بال (cm) یا $[mm]^*$

$d_c = d - ۲k$ ارتفاع خالص جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان) (cm) یا (mm)

در صورتی‌که نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ از مقدار ۲/۳ و یا ۱/۷ (بسته به‌حالت موردبحث) بزرگتر باشد، احتیاجی به‌بررسی روابط (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۶) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۷) نمی‌باشد.

برای بالی که فقط تحت اثر بار گسترده هموار قرار گیرد نیز احتیاجی به‌این بررسی نمی‌باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ کمانش فشاری در جان ستون در مقابل بال فشاری تیر در اتصال صلب *تیر به‌ستون*

اگر نسبت ارتفاع خالص جان ستون (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان) به‌ضخامت جان، از مقدار زیر بزرگتر باشد، باید یک جفت سخت‌کننده در مقابل بال فشاری تیر در جان ستون تعبیه کرد:

$$\frac{d}{t_{wc}} = \frac{۳۵\times۱۰^{۳}\, t_{wc}^{۲}\sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}} \quad \text{یا} \quad SI: \left[\frac{d}{t_{wc}} = \frac{۱۱\times۱۰^{۳}\, t_{wc}^{۲}\sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}\right]^*$$

(۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۸)

در این رابطه:

t_{wc} = ضخامت جان ستون (cm) یا $[mm]^*$

F_{yc} = تنش تسلیم مصالح جان $(kg/cm^۲)$ یا $[N/mm^۲]$

P_{bf} = نیروی فشاری که از بال تیر به‌جان وارد می‌شود (kg) یا $[N]^*$. توضیحات رابطه (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱) در مورد این نیرو نیز صادق است.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ لزوم تعبیه سخت‌کنندهٔ فشاری زیر بارهای متمرکز

در انتهای تیرهایی که اتصال آنها به‌ستون یا تیر دیگر به‌کمک نبشی جان انجام نمی‌شود، یا در محل بارهای متمرکز در داخل دهانه تیرها، شاهتیرها و ستون‌ها در صورتی که طبق بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ تا ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ قطعات سخت‌کننده لازم باشد، باید آنها را به‌صورت جفت قرار داد.

اگر طبق بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ ـ ۳ و یا رابطهٔ (۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۹) وجود سخت‌کننده لازم باشد و بار بر یکی از بال‌ها وارد شود، لزومی ندارد که آنها را بیش از نصف ارتفاع جان ادامه داد. چنانچه طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۴ و یا ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ سخت‌کننده لازم باشد، این سخت‌کننده‌ها باید به‌صورت ستون فرضی با بار محوری محاسبه شوند. برای این محاسبه شرایط بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ ۲ صادق است و طول مؤثر ستون فرضی برابر $۰/۷۵h$ (h ارتفاع آزاد جان بین دو بال) در نظر گرفته می‌شود. سطح مقطع این ستون عبارت است از سطح مقطع جفت قطعه تقویتی به‌اضافه نواری از جان که پهنای آن در قطعات تقویتی میانی برابر $۲۵t_w$ و در قطعات تقویتی انتهایی برابر $۱۲t_w$ در نظر گرفته می‌شود.

اگر بار عمود بر امتداد بال به‌صورت کششی باشد، قطعه تقویتی باید به‌بالی که تحت اثر این بار است، جوش شود و وقتی که بار عمود بر امتداد بال، به‌صورت فشاری است، قطعه تقویتی یا باید با فشار مستقیم تماسی (با سطحی که کاملاً صاف و با بال جفت شده است) بار را منتقل کند و یا اینکه اتصال جوشی کافی برای این انتقال تعبیه شود.

در حالتی که در اتصال انتهای تیر یا شاهتیر با ستون، برای انتقال لنگر، بال یا ورق اتصال بال تیر به‌بال ستونی با نیمرخ I و یا H جوش می‌شود، باید یک جفت سخت‌کننده در جان ستون قرار داد، به‌طوری که سطح مقطع مجموع آنها از مقداری که از رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۹) به‌دست می‌آید کمتر نشود (این عمل در حالت‌هایی صادق است که مقدار محاسبه شده A_{st} مثبت باشد.).

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc}\, t_{wc}\,(t_b + ۵K)}{F_{yst}} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۹)$$

که در آن:

F_{yc} = تنش تسلیم مصالح ستون

F_{yst} = تنش تسلیم مصالح سخت‌کننده

K = فاصلهٔ بین سطح خارجی بال ستون تا انتهای ماهیچه بین جان و بال در صورتی‌که ستون از نیمرخ نوردشده باشد و یا فاصله معادل در حالت مقطع ساخته شده با جوش

t_b = ضخامت بال یا ورق اتصال (انتقال‌دهنده لنگر) که بار متمرکز را به‌ستون وارد می‌کند.

P_{bf} = نیروی فشاری که از بال تیر به‌جان وارد می‌شود. توضیحات رابطهٔ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ در این مورد نیز صادق است.

سخت‌کننده‌هایی که طبق رابطهٔ (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۹) و بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ در نظر گرفته می‌شود، باید محدودیت‌های زیر را نیز جوابگو باشد:

۱. عرض هر سخت‌کننده به‌اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از یک‌سوم عرض بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند)، کمتر باشد.

۲. ضخامت سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

۳. جوش‌هایی که قطعه تقویتی را به‌جان ستون متصل می‌کند باید در مقابل نیرویی که در قطعه تقویتی از لنگر نامتعادل در دو طرف ستون به‌وجود می‌آید، محاسبه شوند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۸ مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز

۱. در صورتی‌که مطابق بندهای (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱ ـ ۳) نیاز به‌سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز کششی باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز تعبیه نمود. سخت‌کننده‌ها باید دارای تنش مجاز کششی حداقل

برابر با اختلاف تنش مورد نیاز و تنش مجاز موجود در محل بارهای متمرکز مطابق مقررات بخش (۱۰ ـ ۱ ـ ۳) باشد.

- جوش سخت‌کننده‌ها به‌بال‌های کششی و فشاری باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز باشد.
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف تنش مورد نیاز و تنش مجاز موجود در محل بارهای متمرکز باشد.

۲. در صورتی‌که مطابق بندهای (۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ـ۳)، (۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ـ۴) ، (۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ـ ۵) و (۱۰ـ۱ـ۱۱ـ۱ـ۶) نیاز به‌سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز فشاری باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز تعبیه نمود.

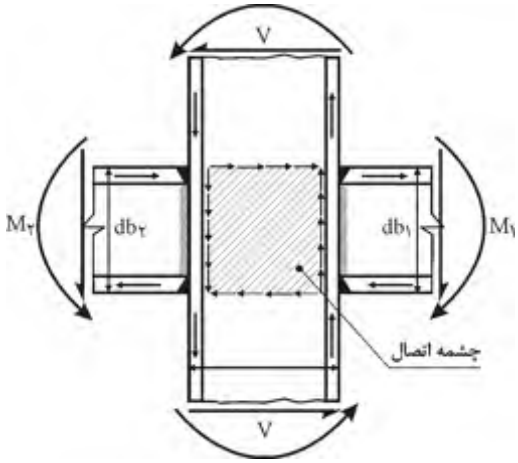
- این سخت‌کننده‌ها باید به‌صورت ستون فرضی با بار محوری (مطابق مقررات بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۴) محاسبه شوند. ارتفاع مؤثر ستون فرضی برای $0/75h$ (h ارتفاع خالص جان در فاصله بین دو بال) در نظر گرفته می‌شود. سطح مقطع ستون فرضی عبارت است از سطح مقطع جفت سخت‌کننده به‌اضافه نواری از جان که پهنای آن در سخت‌کننده‌های میانی برابر $25t_w$ و در سخت‌کننده‌های انتهایی برابر $12t_w$ درنظر گرفته می‌شود. (t_w ضخامت جان است).
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌بال (یا بال‌ها) باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف تنش فشاری مورد نیاز و تنش فشاری مجاز موجود در محل بارهای متمرکز باشد.
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف تنش مجاز اتصال دو انتهای سخت‌کننده باشد.

۳. سخت‌کننده‌های عرضی و قطری باید معیارهای تکمیلی زیر را نیز برآورده نمایند:

- عرض هر سخت‌کننده به‌اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از یک‌سوم عرض بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند)، کمتر باشد.
- ضخامت سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند)، کمتر باشد. همچنین ضخامت سخت‌کننده‌ها نباید از عرض هر سخت‌کننده تقسیم بر ۱۵ کمتر باشد.
- ارتفاع ورق سخت‌کننده باید مساوی ارتفاع جان (فاصلهٔ بین دو بال) باشد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ چشمه اتصال

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۱ چشمه اتصال، ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون است که محصور بین امتداد بال‌های بالایی و پایینی تیرهای متصل به‌دو وجه ستون و بال‌های ستون می‌باشد.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ناحیه چشمه اتصال.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۲ برش مورد نیاز چشمه اتصال

چشمه اتصال باید توانایی تحمل برش نظیر نیروهای کششی و فشاری در بال‌ها، حاصل از لنگرهای حداکثر ناشی از زلزله در تراز سرویس را داشته باشد. این برش از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$V_p = \frac{M_1}{d_{b1}} + \frac{M_2}{d_{b2}} - V$$

M_1 و M_2 = به‌ترتیب لنگر انتهایی تیرهای سمت چپ و راست حاصل از بارگذاری قائم و جانبی

V = برش انتهایی ستون فوقانی

d_{b1} و d_{b2} = به‌ترتیب ارتفاع تیرهای سمت چپ و راست

تنش مجاز برشی چشمه اتصال برابر است با:

اگر $\frac{f_a}{F_y} \le ۰/۵$

$$F_v = ۰/۴ F_y \left(۱ + \frac{۳ b_{cf} t_{cf}^{۲}}{d_b d_c t_{cw}} \right) \qquad (۱۰ - ۱۱ - ۱ - ۱۰)$$

اگر $\frac{f_a}{F_y} > ۰/۵$

$$F_v = ۰/۴ F_y \left(۱ + \frac{۳ b_{cf} t_{cf}^{۲}}{d_b d_c t_{cw}} \right) \left(۱/۹ - ۱/۸ \frac{f_a}{F_y} \right) \qquad (۱۰ - ۱۱ - ۱ - ۱۰)$$

که در آن:

t_{cw} = ضخامت جان (یا جان‌های) ستون، به‌علاوه ضخامت ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال در صورت وجود.

d_b = ارتفاع مقطع تیر (یا فاصلهٔ ورق‌های پوششی اتصال بال‌های تیر به‌ستون)

d_c = ارتفاع مقطع ستون در جهت اثر برش

b_{cf} = عرض بال ستون

t_{cf} = ضخامت بال ستون

f_a = تنش محوری فشاری موجود ستون در اثر بارهای ثقلی

روابط فوق برای ستون‌های با مقطع H شکل است که در آنها نیروی برشی جانبی لرزه‌ای در راستای صفحه جان وارد می‌گردد.

برای ستون‌های با مقطع قوطی‌شکل، تنش موجود و مجاز برشی با قرار دادن مجموع ضخامت جان‌های ستون و ضخامت ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال، در صورت وجود به جای t_{cw} در روابط فوق به‌دست می‌آید. برای ستون‌های با مقطع H شکل که در آنها نیروی برشی جانبی لرزه‌ای عمود بر صفحهٔ جان وارد می‌گردد، تنش موجود با جایگزین کردن t_{cw}

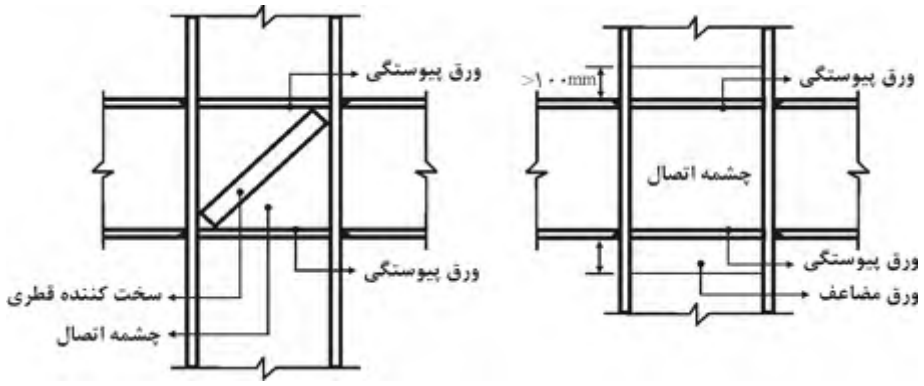
با $۲t_{cf}$ و تنش مجاز برشی، با حذف جمله $\frac{۳b_{cf}\,t_{cf}^{۲}}{d_b\,d_c\,t_{cw}}$ از روابط فوق به‌دست می‌آید.

جـوش اتصـال جان (یا جان‌های) ستون در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال به‌بال ستون باید بـرای نیروی برشی چشمهٔ اتصال طراحی شود. در این مورد طول اتصال جوشی می‌تواند برابر عمق تیر به‌اضافهٔ عمق ستون در بالا و پایین ورق‌های پیوستگی در نظر گرفته شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۳ ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال

در صورتی‌که برش مورد نیاز چشمهٔ اتصال از تنش مجاز برشی چشمهٔ اتصال بیشتر باشد، تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت‌کنندهٔ قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف برش مورد نیاز و تنش مجاز برشی در محدودهٔ چشمهٔ اتصال ضروری است. همچنین ورق‌های مضاعف باید مقررات بند (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۴) را برآورده نمایند.

ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال به‌منظـور کاهش تنش برشی جان (یا جان‌های) ستون و علاوه بر آن در صورتی‌که با جوش انگشتانه کافی، به‌جان (جان‌های) ستون متصل شوند، برای جلوگیری از ناپایداری جان (یا جان‌های) ستون به‌کار گرفته می‌شوند. این ورق‌ها باید چسبیده به‌جان ستون و یا با فاصلهٔ از آن، به‌صورت متقارن نسبت به‌محور تقارن مقطع ستون ـ که موازی جهت اثر نیروی برشی می‌باشد ـ به‌کار روند.



شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳ نمایش سخت‌کننده‌های قطری و ورق مضاعف در چشمهٔ اتصال.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۴ پایداری ورق‌های چشمهٔ اتصال

ضخامت هریک از ورق‌های واقع در چشمهٔ اتصال، شامل جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال، باید رابطهٔ زیر را برآورده نماید:

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{۹۰} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱۲)$$

که در آن:

t_z = ضخامت جان (یا هریک از جان‌های) ستون یا هریک از ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال

d_z = عمق چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ خالص بین ورق‌های پیوستگی می‌باشد.

w_z = عرض چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ خالص بین بال‌های ستون می‌باشد.

در صورتی‌که ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال، با جوش انگشتانه کافی به‌جان ستون متصل شده باشند، مجموع ضخامت جان ستون و ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال به‌عنوان t_z منظور می‌گردد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳ مقررات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) در مقابل نیروهای متمرکز

ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) که طبق بند (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۲) مورد نیاز است، باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

۱. ضخامت ورق مضاعف و ابعاد آن باید جبران کمبود تنش مجاز موجود را بنماید.

۲. ورق‌های مضاعف باید به‌بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی بالایی و پایینی متصل گردند و یا مطابق شکل ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۳ از ورق پیوستگی به‌اندازهٔ ۱۰۰ میلی‌متر عبور کرده و به‌جان ستون جوش شوند. جوش‌های فوق برای سهم ورق مضاعف از برش چشمه اتصال طراحی می‌گردند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ توجه به‌شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه

این بخش به‌عواملی که از نظر شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه مطرح است و در بخش‌های دیگر یاد نشده است، می‌پردازد. شرایط بهره‌برداری عبارت است از شرایطی که در آن سازهٔ ساختمان ضمن انجام نقش اصلی خود (مقاومت در مقابل نیروهای خارجی)، حفظ ظاهر، عوامل سرویس و نگهداری، دوام و پایداری و نیز راحتی استفاده‌کنندگان را تأمین می‌کند.

محدود کردن بازتاب سازه، برای تأمین شرایط بهره‌برداری (مانند محدودیت تغییرشکل حداکثر تیرها و جلوگیری از لرزش کف‌های زیر پا و نظایر آن) با توجه به‌نقشی که سازه به‌عهده دارد، باید به‌میزان مناسبی صورت گیرد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۱ پیش‌خیز در تیرها

اگر برای بعضی از اعضای خمشی، پیش‌خیز بخصوصی لازم است تا در هنگام بارگذاری

به‌شکل مورد نظر و در ارتباط با اعضای دیگر در آید، باید این‌گونه محدودیت‌ها در مدارک طرح و محاسبه به‌روشنی مشخص شود.

در خرپاها بـا دهانه بیش از ۱۲ متر، لازم است به‌اندازهٔ تغییرشکل بـار مرده، پیش‌خیـز داده شود.

در شاهتیرهای مربوط به‌جراثقال با دهانه بزرگتر از ۱۲ متر باید پیش‌خیزی در حدود تغییرشکل ناشی از بار مرده به‌اضافه $\frac{۱}{۲}$ بار زنده، پیش‌بینی شود.

تیـرها و خرپاهایی کـه خیـز معینی بـرای آنها قید نشده باشد، باید در کارخانه طـوری ساخته شوند که به‌هر حال پس از نصب، تغییرشکل رو به‌بالا (خیز) داشته باشند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۲ انبساط و انقباض حرارتی

بررسی پیش‌بینی‌های لازم برای اثرات تغییرات دما، متناسب با شرایط بهره‌برداری باید به‌عمل آید. در محاسبـات، ضریب انبساط و انقباض حرارتی فولاد برابر ۱۲×۱۰^{-۶} به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۳ افتادگی، ارتعاش و انتقال جانبی

الف) افتادگی

تیرها و شاهتیرهایی کـه کـف‌ها و سـقف‌های سـاختمانی را تـحمل مـی‌کنند بـاید بـا تـوجهی خاص به‌تغییرمکان آنها در اثر بارهای محاسباتی، طرح و محاسبه شوند.

تیرهـا و شاهتیرهایـی که سقف‌های نـازک‌کاری شده را تحمـل می‌کنند، بـاید طـوری محاسبه شوند که تغییرمکان حداکثر نظیر بار مرده و زنده از $\frac{۱}{۲۴۰}$ طول دهانه و تغییرمکان حداکثر نظیر بار زنده از $\frac{۱}{۳۶۰}$ طول دهانه بیشتر نشود.

ب) ارتعاش

تیرها و شاهتیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میراکنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجهی خاص به‌لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (راه رفتن اشخاص، حرکت و توقف آسانسورها و نظایر آنها) محاسبه شوند. در تیرهای مربوط به‌این کف‌ها، نسبت ارتفاع به‌دهانه $(\frac{d}{L})$ نباید از $\frac{۱}{۲۰}$ کمتر گردد. d ارتفاع کلی مقطع تیر (شامل ارتفاع بتن در تیرهای مختلط) و L طول مرکز به‌مرکز تکیه‌گاهی تیر است. همچنین لازم است فرکانس نوسانی تیرها محاسبه گردد که این فرکانس باید از ۵ هرتز بیشتر باشد.*

پ) انتقال و نوسان جانبی در سازه‌های فولادی

سازه فولادی باید سختی و صلبیت کافی داشته باشد و تغییرمکان جانبی آن در مقابل اثر باد یا زلزله محدودیت‌های آیین‌نامه‌های مربوطه را برآورده سازد.

۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ ۴ حداقل ضخامت قطعات فولادی

به‌جز قطعاتی که در آنها پیش‌بینی‌های ویژه و مؤثری برای جلوگیری از خوردگی به‌عمل آمده باشد، محدودیت‌های زیر برای ابعاد قطعات فولادی باید رعایت شود:

الف) ضخامت اجزای اعضای سازه‌ای که در فضای خارج و در معرض عوامل جوی یا

---

* در این خصوص به‌مراجع راهنمای معتبر مراجعه شود. برای محاسبه فرکانس تیرهای دهانه ساده رابطهٔ زیر پیشنهاد شده است:

$$f = ۷۰\sqrt{\frac{I}{P_d L^۴}} \geq ۵$$

که در آن:

I = ممان اینرسی تیر $(cm^۴)$

P_d = بار مرده (kg/m)

L = طول دهانه (m)

اثرات خورنده دیگر قرار داشته باشند، از ۶ میلی‌متر کمتر نباشد. در محیط‌های خشک و عاری از هرگونه آثار خورندگی، این مقدار به ۵ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

ب) اعضایی با مقطع لوله‌ای‌شکل و یا قوطی‌شکل که کاملاً آب‌بندی‌شده و بین داخل و خارج آنها هیچ نشتی صورت نگیرد، حداقل ضخامت جدار ۴ میلی‌متر و در اعضای داخلی که نسبتاً از خوردگی محفوظ باشند، ۳ میلی‌متر می‌باشد.

پ) برای نیمرخ‌های سرد تا شده از ورق، باید به‌آیین‌نامه مربوطه مراجعه گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ طراحی ساختمان‌های فولادی به‌روش حالات حدی

۱۰ ـ ۲ ـ ۱	کلیات	۱۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۲	کمانش موضعی	۱۵۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۳	اعضای کششی	۱۵۹
۱۰ ـ ۲ ـ ۴	اعضای فشاری (ستون‌ها)	۱۷۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۵	طراحی اعضا برای خمش	۱۹۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۶	طراحی اعضا برای برش	۲۳۱
۱۰ ـ ۲ ـ ۷	طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی	۲۴۳
۱۰ ـ ۲ ـ ۸	طراحی اعضا برای پیچش و نیروی‌های ترکیبی همراه با پیچش	۲۵۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۹	طراحی اعضای مختلط	۲۶۵
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰	اتصالات و وسایل اتصال	۲۸۷
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱	شرایط بهره‌برداری	۳۴۳

۱۰ـ۲ـ۱ کلیات

۱۰ـ۲ـ۱ـ۱ حدود کاربرد

طراحی سازه‌های فولادی براساس روش حالات حدی، به‌عنوان روش دیگر طراحی، به‌موازات «طراحی به‌روش تنش‌های مجاز» شناخته می‌شود.

کاربرد این فصل در محدودهٔ ساختمان‌های با کاربری‌های مندرج در قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و آیین‌نامهٔ اجرایی آن می‌باشد و شامل سازه‌های خاص از قبیل پل‌های جاده و راه‌آهن نیست.

مقررات مندرج در این مقررات باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به‌کار رود.

۱۰ـ۲ـ۱ـ۲ مبانی طراحی

۱۰ـ۲ـ۱ـ۲ـ۱ هدف طراحی

منظور از طرح سازه، تعیین پیکربندی، ابعاد و مشخصات قطعات آن به‌نحوی است که سه هدف تعیین‌شده در زیر تأمین شود:

الف) ایمنی

منظور از ایمنی این است که مجموعهٔ سازه، شامل قطعات و اتصالات آن، طوری سازمان داده شوند که سازه از انسجام، پایداری و شکل‌پذیری برخوردار باشد و :

۱) تحت اثر بارهای متعارف آسیب نبیند.
۲) تحت اثر بارهای فوق‌العاده گسیخته نشود و فرو نریزد*.

ب) عملکرد مطلوب

منظور از عملکرد مطلوب این است که سازه در سطح بهره‌برداری پیش‌بینی شدهٔ ساختمان دچار مشکل نشود و به‌علاوه:

۱) تحت اثر بارها و سربارهای متعارف در آن شکست و تغییرشکل بیش از حدی به‌وجود نیاید به‌طوری که اجزای غیرسازه‌ای، نظیر نازک‌کاری و تیغه‌ها، دچار آسیب شوند.
۲) در اثر لرزش، در استفاده‌کنندگان احساس ناامنی به‌وجود نیاید.

پ) دوام

منظور از دوام این است که مصالح سازه کیفیت خود را در تمام طول عمر پیش‌بینی‌شده با عملیات نگهداری متعارف حفظ کنند، به‌طوری که در اثر پیری و فرسودگی، ایمنی و قابلیت بهره‌برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ روش طراحی

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ـ ۱ روش طراحی در این فصل، طراحی در حالات حدی است. در این روش سازه طوری طراحی می‌شود که با ایمنی مشخصی، تحت هیچ‌یک از شرایط نامساعد بارگذاری به‌هیچ‌یک از حالات ویژه که اصطلاحاً « حالت‌های حدی» نامیده می‌شوند، نرسد.

* بارهای فوق‌العاده شامل اثرات نیروی باد یا زلزله می‌باشند.

حالت‌های حدی حالاتی هستند که سازه یا قسمت‌هایی از آن تا رسیدن به‌آنها وظایف خود را به‌طور کامل انجام می‌دهند، ولی پس از رسیدن به‌هر یک از آنها قادر به‌انجام وظایف خود در آن حالت خاص نیستند.

حالات حدی به‌دو گروه حالات حدی نهایی (مقاومت) و حالات حدی بهره‌برداری مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ ، تقسیم می‌شوند.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ حالات حدی

حالات حدی نهایی (مقاومت)	حالات حدی بهره‌برداری
۱ ـ حالات حدی مقاومت (مشتمل بر تسلیم، گسیختگی، کمانش، تبدیل سازه به‌یک مکانیزم)	۱ ـ تغییرشکل
۲ ـ ناپایداری در مقابل واژگونی و تغییرمکان جانبی به‌حدی که شکل هندسی و در نتیجه رفتار سازه را به‌کلی تغییر دهد.	۲ ـ ارتعاش
۳ ـ گسیختگی به‌علت خستگی	۳ ـ خسارات قابل تعمیر به‌علت خستگی
۴ ـ تردشکنی	۴ ـ خوردگی و دوام

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ در طراحی سازه‌ها علاوه بر بررسی حالات حدی، ملاحظات زیر نیز باید رعایت شوند:

الف) اجزای مختلف سازه و اتصالات آنها باید چنان سازمان‌دهی شوند که پایداری کلی و انسجام سازه تأمین شود. باید اطمینان حاصل شود که سازه در اثر آسیب موضعی اتفاقی، دچار گسیختگی کلی و یا گسیختگی زنجیره‌ای نخواهد شد.

ب) مقاومت سازه در مقابل آتش‌سوزی با پیش‌بینی تمهیدات خاص، باید تأمین شود. در این مورد رعایت مبحث سوم مقررات ملی ساختمان الزامی است.

پ) دوام سازه در مقابل عوامل خورنده با پیش‌بینی تمهیدات مناسب تأمین شود.

ت) طراحی سازه باید جزیی از جریان طراحی، اجرا و نگهداری تلقی شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳ در این فصل کنترل در حالات حدی، تنها برای « حالات حدی نهایی» و « حالات حدی بهره‌برداری » با منظور نمودن ضرایب جزیی اطمینان صورت می‌گیرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۴ طراحی در حالات حدی نهایی

در این حالت حدی، طراحی اعضای مختلف سازه چنان صورت می‌گیرد که مقاومت نهایی طرح یا حداکثر ظرفیت باربری عضو در هر مقطع، بزرگتر یا مساوی با تلاش‌های موجود در آن مقطع تحت اثر بارهای ضریبدار وارد به‌سازه باشد:

$$\phi R_n \geq R_r \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱)$$

در رابطهٔ فوق، R_n مقاومت نهایی اسمی عضو در مقطع مورد نظر و R_r تلاش‌های موجود در آن مقطع تحت اثر بارهای ضریبدار است که مقاومت مورد نیاز نیز خوانده می‌شود. ϕ را ضریب تقلیل مقاومت و ϕR_n را مقاومت نهایی طرح نامند.

الف) مقاومت نهایی اسمی R_n

مقاومت نهایی اسمی R_n ، برای هر تلاش خاص، باید براساس مشخصات هندسی مقطع، رفتار مکانیکی عضو تحت آن نوع تلاش و با منظور کردن شرایط تعادل نیروها در مقطع و سازگاری تغییرشکل‌ها در تارهای مختلف آن تعیین شود.

در تعیین مقاومت نهایی طرح مقطع، ضرایب تقلیل مقاومت ϕ باید اثر داده شوند. مقدار ضریب تقلیل ϕ و مقاومت نهایی اسمی برای هر تلاش خاص در بخش‌های مربوطه و در قسمت ب، بعضی از مقادیر نمونه ϕ ارایه شده است.

ب) ضرایب تقلیل مقاومت ϕ

در این فصل، ضرایب تقلیل مقاومت ϕ به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

$\phi_c = ۰/۹$	(برای فشار محوری)
$\phi_v = ۰/۹۰$ تا ۱/۰	(برای برش)
$\phi_b = ۰/۹۰$	(برای لنگر خمشی)
$\phi_t = ۰/۹۰$	(برای تسلیم عضو کششی)
$\phi_t = ۰/۷۵$	(برای گسیختگی عضو کششی)
$\phi = ۰/۷۵$	(برای مقاومت اتکایی)
$\phi_T = ۰/۹$	(برای لنگر پیچشی)

پ) تلاش‌های نهایی یا مقاومت مورد نیاز R_r

تلاش‌های نهایی یا مقاومت مورد نیاز R_r در مقاطع مختلف سازه، شامل لنگرهای خمشی، نیروهای محوری، نیروهای برشی و لنگرهای پیچشی باید براساس تحلیل سازه تحت اثر بارهای محاسباتی مبحث ششم و ترکیبات ضریبدار آنها تعیین شود. در این مورد باید نامساعدترین شرایط بارگذاری و ترکیبات آنها در نظر گرفته شود. نامساعدترین وضعیت ممکن است هنگامی رخ دهد که یک یا چند مورد از بارها مؤثر نباشند.

ت) ترکیب بارها

ترکیبات بارگذاری جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ همراه با ضرایب بار مربوطه باید برای تعیین بحرانی‌ترین تلاش‌های نهایی مورد بررسی قرار گیرند.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ ترکیب‌های بارگذاری در ساختمان‌های متعارف در حالت حدی نهایی

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	ترکیب بار مبنا[1] (مرده + بهره‌برداری)	۱/۴D ۱/۲۵D+۱/۵L
۲	ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و زلزله یا باد	D+۱/۲ L+۱/۲(E یاW) ۰/۸۵ D+۱/۲(E یا W)
۳	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و فشار خاک یا آب	۱/۲۵(D+F)+۱/۵ (L+H) ۰/۸۵ D+۱/۲۵F+۱/۵ H
۴	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، جمع‌شدگی، و نشست تکیه‌گاه‌ها	D+۱/۲۰L+T ۱/۲۵ D+۱/۲۵ T

۱. در شرایطی‌که اثر بار زنده در هریک از ترکیبات بارگذاری کاهش‌دهنده است، ضریب آن معادل صفر منظور می‌گردد.

در ترکیبات فوق:

D= بار مرده

L= بار بهره‌برداری شامل بار زندهٔ طبقات و سربار حاکم بر بام (بار زندهٔ بام، بار برف یا بار باران)

W= بار باد

E= بار زلزله

F= وزن و فشار ناشی از مایعات

H= بار ناشی از وزن و فشار خاک و یا فشار توأم خاک و آب

T= اثرات خودکرنشی ناشی از تغییرات دما، نشست پایه‌ها، وارفتگی و غیره

در ساختمان‌های صنعتی که سازه برای بار جراثقال سقفی طراحی می‌شود، ترکیبات زیر علاوه بر آنچه در بالا گفته شده، باید بررسی گردد.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ ترکیب‌های بارگذاری تکمیلی برای ساختمان‌های صنعتی در حالت حدی نهایی

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	مرده + جراثقال	۱/۲۵D+۱/۵A
۲	مرده + جراثقال + برف	۱/۲۵D+۱/۵S+۱/۵A
۳	مرده + زلزله	D+۱/۲(W یا E)+۱/۲ $\overline{A}$

علایم A و $\overline{A}$ در این ترکیبات عبارتند از:

A= کلیه بارهای ناشی از جراثقال شامل وزن پل‌ها، ارابه، باری که بلند می‌شود همراه با اثر ضربه در آنها.

$\overline{A}$ = بار ناشی از وزن جراثقال به‌تنهایی شامل وزن پل‌ها و ارابه به‌اضافه درصدی از بار زنده با توجه به‌میزان بهره‌برداری جراثقال.

ت) کنترل برای حالت حدی بهره‌برداری

هر سازه و هر کدام از اعضا، اتصالات و وسایل اتصالات، باید به‌لحاظ حالت حدی بهره‌برداری مورد کنترل قرار گیرند. ضوابط طراحی مربوط به‌حالت حدی بهره‌برداری در بندهای مربوطه ارایه شده است. در حالت حدی بهره‌برداری ضرایب بار مساوی واحد فرض می‌شوند. (بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱)

۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۴ تحلیل سازه

در این فصل، روش‌های تحلیل زیر مجاز می‌باشد:

الف) تحلیل خطی

در این روش تحلیل، کلیه تلاش‌ها در مقاطع مختلف سازه با فرض خطی بودن رفتار مصالح و کوچک بودن تغییرشکل‌های ایجاد شده و براساس تئوری الاستیسیته تعیین می‌شوند.

ب) تحلیل خطی با بازتوزیع محدود

در این روش، فرض‌های منظورشده عیناً مانند روش تحلیل خطی است. علاوه بر آنها، اجازه داده می‌شود تلاش‌های موجود در مقاطع مختلف با توجه به‌مشخصات مکانیکی آنها به‌مقدار محدودی کاهش یا افزایش داده شود. آثار ناشی از تغییرات این تلاش‌ها باید در سایر مقاطع نیز در نظر گرفته شوند.

در قاب‌های خمشی و تیرهای یکسره ، می‌توان بازپخش لنگر خمشی را طبق دستورالعمل زیر انجام داد:

تیرها با مقطع فشرده و یکسره و یا بـا اتصال صلب به‌ستون، می‌تواننـد برای ۰/۹ لنگـر منفی حداکثر تکیه‌گاهی حاصل از بارهای مرده و زنده طراحی گردند، به‌شرطی که برای چنین اعضایی حداکثر لنگر مثبت به‌میزان ۰/۱۰ نصف مجموع قدر مطلق دو لنگر منفی تکیه‌گاهی افزایش داده شود. ایـن تقلیل نباید در مورد لنگرهای حاصل از بارگذاری روی تیرهای طره، اعمال گردد. در صورتی که لنگرهای منفی مذکور به‌وسیلهٔ ستونی که به‌شکل صلب به‌تیر و یا شاهتیر قاب شده است تحمل گردد، این تقلیل ۰/۱۰ را می‌توان در طراحی ستون مذکور در مقابل اثر ترکیب بار محوری و لنگر خمشی نیز منظور کرد، به‌شرطی‌که نیروی محوری ضریبدار همزمان، از $۰/۱۵P_n$ تجاوز ننماید. P_n ظرفیت محوری اسمی عضو می‌باشد.

پ) تحلیل غیرخطی

در ایـن روش تـحلیل، کـلیه تـلاش‌ها بـا تـوجه بـه‌رفتار غـیرخطی مـصالح، یـا بـا تـوجه بـه‌اثـر تـغییرشکل‌های زیـاد در سـازه کـه بـه « رفـتار غـیرخطی هـندسی» مـعروف است و یـا بـا تـوجه به‌هر دوی این رفتارها تعیین می‌شوند.

ت) تحلیل حدی (تحلیل پلاستیک)

در ایـن روش تـحلیل، کـلیه تـلاش‌ها بـا فـرض رفـتار صـلب ـ خـمیری قـطعات و بـا اسـتفاده از تئوری پلاستیسیته با بررسی مکانیزم خرابی تعیین می‌شوند.

۱۰ـ۲ـ۲ کمانش موضعی

۱۰ـ۲ـ۲ـ۱ طبقه‌بندی مقاطع فولادی

مقاطع فولادی به‌سه نوع زیر تقسیم می‌شوند:

- مقاطع فشرده
- مقاطع غیرفشرده
- مقاطع با اجزای لاغر

برای اینکه یک مقطع فشرده محسوب شود باید بال‌ها در تمام طول خود به‌طور سرتاسری و پیوسته به‌جان یا جان‌ها متصل باشند و نسبت پهنا به‌ضخامت اجزای فشاری مقطع برحسب مورد نباید از نسبت عرض به‌ضخامت λ_p مشخص‌شده در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ـ۱ تجاوز نماید.

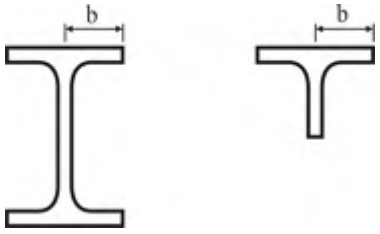
اگر نسبت پهنا به‌ضخامت یک یا چند جزء فشاری نیمرخ از λ_p بزرگتر بوده ولی از λ_r تجاوز ننماید، در این صورت مقطع غیرفشرده محسوب می‌گردد.

چنانچه نسبت پهنا به‌ضخامت از λ_r مشخص شده در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ تجاوز نماید در این صورت مقطع به‌عنوان مقطعی با اجزای لاغر به‌حساب می‌آید.

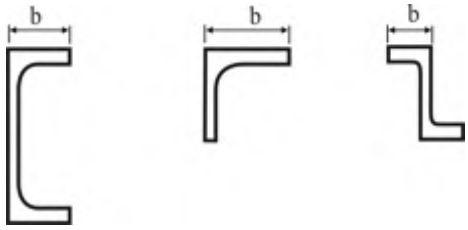
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۲ پهنای آزاد اجزای با یک لبهٔ متکی

پهنای آزاد اجزایی که فقط در یک لبه در امتدادی به‌موازات نیروی فشاری نگهداری شده‌اند به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

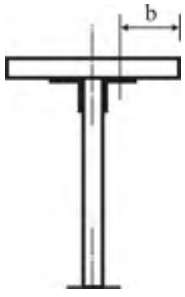
۱. برای بال‌های نیمرخ‌های I و نیمرخ سپری (T) ، b برابر نصف عرض بال.



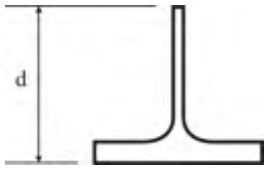
۲. برای بال‌های نیمرخ نبشی (L) ، نیمرخ ناودانی (U) و نیمرخ دونبشی (Z) ، b برابر تمام عرض موجود.



۳. برای تیرورق‌ها، عرض b عبارت است از فاصلهٔ لبهٔ آزاد تا اولین ردیف وسایل اتصال یا خط جوش.



۴. برای تیغه (جان) نیمرخ سپری (T) ، پهنای d برابر ارتفاع کلی مقطع.



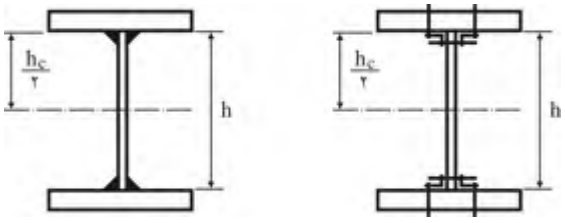
توضیح: در مورد بال مقاطع نوردشده که ضخامت آنها متغیر است، ضخامت در محلی که فاصلهٔ آن از لبهٔ آزاد و جان نیمرخ به‌یک اندازه است در نظر گرفته شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۳ پهنای آزاد اجزای با دو لبهٔ متکی

پهنای آزاد اجزایی که در هر دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند، به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

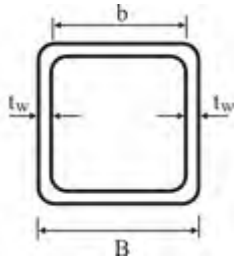
الف) برای جان مقطع نوردشده یا تاشده، h فاصله بین آغاز گردی ریشه اتصال جان به‌بال می‌باشد و h_c دو برابر فاصله محور خنثی تا آغاز گردی ریشه اتصال جان به‌بال فشاری است.

ب) برای جان مقاطع ساخته شده از ورق، h برابر فاصله بین نزدیکترین دو خط ادوات اتصال و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h برابر فاصله خالص بین دو بال است و h_c دو برابر فاصله آزاد بین محور خنثی و بال فشاری است.



پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته‌شده از ورق و ورق‌های تقویتی، پهنای b برابر فاصلهٔ دو خط ادوات اتصال یا دو خط جوش است.

ت) برای بال مقاطع جعبه‌ای مربع یا مستطیل با ضخامت ثابت، پهنای b برابر فاصلهٔ آزاد بین آغاز گردی ریشهٔ اتصال بال به‌جان است. اگر شعاع گردی مشخص نباشد، عرض b را می‌توان فاصلهٔ وجوه خارجی جان‌ها، منهای سه برابر ضخامت جان در نظر گرفت.



$$b = B - ۳\, t_w$$

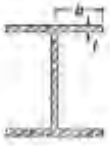
۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۴ مقطع برای تحلیل حدی (خمیری)

تحلیل خمیری در صورتی مجاز است که بال فشاری در محدودهٔ مفصل پلاستیک، جان‌ها در تمام طول تیر، دارای نسبت پهنا به‌ضخامت کوچکتر یا مساوی λ_p مشخص‌شده در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ باشند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۵ مقاطع با اجزای لاغر فشاری

از به‌کار بردن مقاطع با اجزای لاغر (طبق تعریف بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱) در اعضایی که تحت اثر تنش‌های فشاری قرار می‌گیرند، باید خودداری شود، مگر برای جان تیرورق‌ها که در این صورت مقررات فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ تعیین‌کننده خواهد بود.

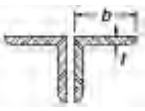
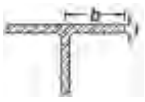
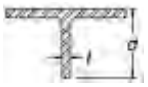
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در اجزای فشاری

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به‌ضخامت		مثال
				مقاطع فشرده λ_p	مقاطع غیرفشرده λ_r	
اجزا با یک لبه متکی	۱	بال‌های تیر نوردشده I و ناودانی تحت اثر خمش	$\frac{b}{t}$	$۰/۳۸\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۰/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۲	بال‌های تیرهای ساخته‌شده از ورق با مقطع I تحت اثر خمش با یک یا دو محور تقارن	$\frac{b}{t}$	$۰/۳۸\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۰/۷۶\sqrt{k_c\frac{E}{F_L}}$ [a],[b]	
	۳	بال‌های تیر نورد شده I، بال‌های ناودانی، بال‌های برجسته جفت نبشی در تماس سرتاسری با یکدیگر و بال‌های نیمرخ سپری تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$۰/۵۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۴	بال‌های تیرهای ساخته شده از ورق به‌شکل I، تسمه ـ های برجسته متصل به‌تیرورق‌ها، بال‌های برجسته نبشی‌های متصل به‌تیرورق تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$۰/۶۴\sqrt{k_c\frac{E}{F_y}}$ [a]	

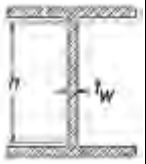
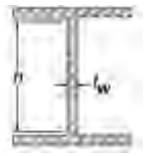
E= ضریب الاستیسیتهٔ فولاد

F_y= تنش تسلیم فولاد

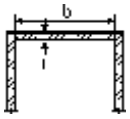
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در اجزای فشاری (ادامه)

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به‌ضخامت		مثال
				مقاطع فشرده λ_p	مقاطع غیرفشرده λ_r	
اجزا با یک لبه متکی	۵	بال‌های تک نبشی، بال‌های جفت نبشی با فاصله ولقمه‌های بین آنها و سایر اجزا با یک لبه متکی تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$۰/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۶	بال‌های تک نبشی تحت اثر خمش	$\frac{b}{t}$	$۰/۵۴\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۰/۹۱\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۷	بال‌های سپری تحت اثر خمش	$\frac{b}{t}$	$۰/۳۸\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۰/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۸	جان نیمرخ سپری تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{d}{t}$	کاربرد ندارد	$۰/۷۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در اجزای فشاری (ادامه)

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به‌ضخامت		مثال
				مقاطع فشرده λ_p	مقاطع غیرفشرده λ_r	
اجزا با دو لبه متکی	۹	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی تحت اثر خمش	$\frac{h}{t_w}$	$۳/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۱۰	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{h}{t_w}$	کاربرد ندارد	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۱۱	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن تحت اثر خمش	$\frac{h_c}{t_w}$	$\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(۰/۵۴\frac{M_p}{M_y}-۰/۰۹\right)^۲} \le \lambda_r$ [c]	$۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۱۲	بال‌های مقطع قوطی‌شکل (مربع یا مستطیل)، ورق‌های تقویتی سوراخدار با ضخامت یکنواخت، ورق‌های تقویتی روی بال تیر و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	$۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۱۳	جان مقاطع قوطی‌شکل تحت اثر خمش	$\frac{h}{t}$	$۲/۴۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در اجزای فشاری (ادامه)

اجزا با دو لبه متکی	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به‌ضخامت		مثال
				مقاطع فشرده λ_p	مقاطع غیرفشرده λ_r	
	۱۴	کلیه اجزا با دو لبه متکی غیر از حالت‌های ۹ تا ۱۳ تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	کاربرد ندارد	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
مقاطع دایره‌ای توخالی (لوله‌ای شکل)	۱۵	تحت اثر فشار یکنواخت	D/t	کاربرد ندارد	$۰/۱۱\frac{E}{F_y}$	
		تحت اثر خمش	D/t	$۰/۰۷\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	

[a] $۰/۳۵ \le k_c = \frac{۴}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \le ۰/۷۶$

[b] برای خمش حول محور ضعیف، خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل با جان لاغر و خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل با جان فشرده و غیرفشرده با $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge ۰/۷$ مقدار F_L برابر است با:

$F_L = ۰/۷ F_y$

برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل با جان فشرده و غیرفشرده با $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < ۰/۷$ مقدار F_L برابر است با:

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y \ge ۰/۵ F_y$$

که در آن:

S_{xt}= اساس مقطع الاستیک اجزا نسبت به‌بال کششی

S_{xc}= اساس مقطع الاستیک اجزا نسبت به‌بال فشاری

[c]

h_c= دو برابر فاصلهٔ تار خنثای الاستیک تا محل اتصال جان به‌بال فشاری

h_p= دو برابر فاصلهٔ تار خنثای پلاستیک تا محل اتصال جان به‌بال فشاری

۱۰ـ۲ـ۳ اعضای کششی

این بخش به‌اعضای تحت اثر نیروی محوری کششی که در امتداد محور مرکزی عضو بارگذاری شده‌اند، می‌پردازد.

محاسبهٔ اعضایی که تحت اثر پدیدهٔ خستگی و یا تمرکز تنش به‌علت تغییر ناگهانی مقطع باشند، باید با توجه به‌این پدیده انجام شود.

برای اعضایی که تحت اثر مشترک کشش و خمش قرار گیرند، به‌فصل ۱۰ـ ۲ ـ ۷ و برای میله‌های دندانه‌شده به‌فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ و برای اتصال اعضای کششی به‌فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ مراجعه نمایید.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد:

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌های لاغری

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ مقاطع محاسباتی در اعضای کششی

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ مقاومت کششی طرح

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ اعضای کششی مرکب

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ اعضای کششی با اتصالات لولایی

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌های لاغری

ضریب لاغری حداکثر اعضای کششی $\left(\frac{L}{r}\right)$ نباید از ۳۰۰ تجاوز کند. در میله‌مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به‌مقدار کافی باشند، رعایت محدودیت‌های لاغری لازم نیست، لیکن نسبت طول به‌قطر این اعضا نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ مقاطع محاسباتی در اعضای کششی

الف) سطح مقطع کلی عضو کششی

سطح مقطع کلی عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع‌های اجزای آن و سطح مقطع هر جزء ، برابر با حاصل‌ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می‌باشد. برای نیمرخ نبشی پهنای کلی عبارت است از مجموع پهناهای دو بال منهای ضخامت بال.

ب) سطح مقطع خالص عضو کششی

سطح مقطع خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصل‌ضرب‌های پهنای خالص اجزا در ضخامت مربوط می‌باشد. پهنای خالص عبارت است از پهنای کلی منهای قطر سوراخ‌های عضو که به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. در صورت استفاده از دستگاه پانچ، قطر سوراخ پیچ و پرچ به‌مقدار ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر سوراخ به‌حساب می‌آید.*

۲. اگر سوراخ‌های متعدد به‌شکل زنجیره (به‌صورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند، برای محاسبهٔ پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی، مجموع قطر سوراخ‌های مسیر زنجیره را کم و به‌آن برای هر ردیف گام مورب در

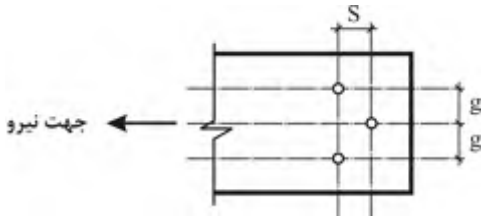
* قطر سوراخ در فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ (اتصالات) تعریف شده است.

زنجیره، یک مرتبه جمله $\frac{S^2}{4g}$ را اضافه کرد، (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱).

که در آن:

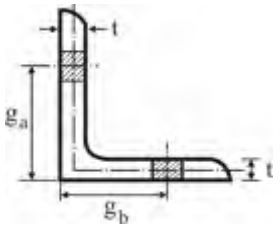
S= فاصلهٔ مرکز به‌مرکز سوراخ‌ها در امتداد طولی (گام طولی)

g= فاصلهٔ مرکز به‌مرکز ردیف‌های طولی (گام عرضی)



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ سوراخ‌های موجود در یک عضو کششی.

در مقطع نبشی گام عرضی برای سوراخ‌های واقع در روی دو بال متعامد، عبارت خواهد بود از جمع فواصل سوراخ‌ها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن.



$$g = g_a + g_b - t$$

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ سوراخ‌های واقع در روی دو بال متعامد مقطع نبشی.

مقطع خالص بحرانی، مقطعی است که سوراخ‌های مسیر زنجیره مربوط، حداکثر تنش کششی را به‌دست می‌دهد.

در مقطعی که یک جوش انگشتانه یا کام را قطع می‌نماید، ضخامت فلز جوش را نباید در محاسبهٔ سطح مقطع خالص منظور نمود.

پ) سطح مقطع مؤثر عضو کششی

سطح مقطع مؤثر برای اعضای کششی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱. در صورتی که بار به‌صورت مستقیم، توسط وسایل اتصال، به‌هر یک از اجزای تشکیل‌دهندهٔ مقطع منتقل شود، سطح مقطع مؤثر (A_e) برابر سطح مقطع خالص (A_n) در اتصال پیچی و (A_g) در اتصال جوشی در نظر گرفته می‌شود.

۲. اگر بار توسط پیچ به‌قسمتی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع مؤثر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$A_e=U.A_n \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱)$$

که در آن:

A_n= سطح مقطع خالص عضو

U= ضریب تأخیر برش مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱

۳. اگر بار توسط اتصال جوشی به‌قسمتی از اجزای تشکیل‌دهنده مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع مؤثر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

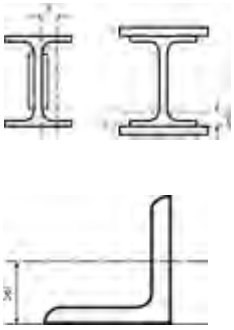
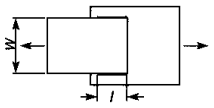
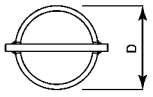
$$A_e=U.A_g \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲)$$

که در آن:

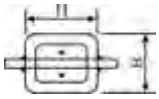
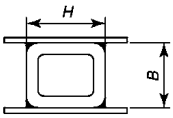
A_g= سطح مقطع کلی عضو

U= ضریب تأخیر برش مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اجزای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال
۱	کلیه اعضای کششی که در آنها بار به‌وسیلهٔ پیچ، پرچ و یا جوش مستقیماً به‌کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به‌غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶)	U=۱/۰	-
۲	کلیه اعضای کششی (به‌غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به‌وسیلهٔ پیچ، پرچ و یا جوش‌توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = ۱ - \frac{\overline{x}}{l}$	 عضو I شکل مانند دوتا سپری عمل می‌کند
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به‌وسیلهٔ جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	U=۱/۰ در این حالت A_n برابر سطح مقطع جزیی از عضو که به‌طور مستقیم اتصال یافته می‌باشد	-
۴	تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آنها (پهنای تسمه) کمتر باشد مگر از جوش انگشتانه و کام در حدفاصل دو لبه استفاده شده باشد)	$w \le l < ۱/۵w$... U=۰/۷۵ $۱/۵\ w \le l < ۲w$...U=۰/۸۷ $l \ge ۲w$... U=۱/۰	 $l \ge w$
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$D \le l < ۱/۳D$... $U = ۱ - \frac{\overline{x}}{l}$ $l \ge ۱/۳D$.....U=۱/۰ $\overline{x} = \frac{D}{\pi}$	

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اجزای کششی (ادامه)

حالت	شرح		ضریب تأخیر برش، U	مثال
۶	در مقاطع قوطی‌شکل	چنانچه اتصال تنها به‌کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد	$l \geq H$ $U=1-\frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x}=\frac{B^2+2BH}{4(B+H)}$	
		چنانچه اتصال به‌کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H$ $U=1-\frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x}=\frac{B^2}{4(B+H)}$	
۷	درنیمرخ‌های I نوردشده و سپری T بریده شده از آنها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال‌پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد	دراتصالات جوشی، پیچی یا پرچی در صورتی‌که اتصال از طریق بال‌ها برقرار شده و حداقل سه وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$b_f \geq \frac{2}{3}d$ $U=0.9$ $b_f < \frac{2}{3}d$ $U=0.85$	–
		در اتصالات جوشی، پیچی یا پرچی در صورتی‌که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	U=۰/۷	–
۸	در نیمرخ‌های تک‌نبشی در صورتی‌که توسط یک بال متصل شده باشند	چنانچه حداقل چهار وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	U=۰/۸	–
		چنانچه دو یا سه وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	U=۰/۶	–

در این جدول:

l= طول اتصال مساوی فاصله اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی

w= پهنای ورق

$\bar{x}$ = برون‌محوری اتصال مطابق شکل‌های ارایه شده

B= پهنای کلی مقاطع قوطی‌شکل (عمود بر صفحهٔ اتصال)

H= ارتفاع کلی مقاطع قوطی‌شکل (در صفحهٔ اتصال)

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ مقاومت کششی طرح

مقاومت طرح اعضای کششی مساوی $\phi_t P_n$ می‌باشد که باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالات حدی تسلیم روی مقطع کل و گسیختگی روی مقطع خالص منظور شود.

الف) برای تسلیم کششی روی مقطع کل

$$\phi_t = ۰/۹$$
$$P_n = F_y \cdot A_g \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳)$$

ب) برای گسیختگی کششی روی مقطع خالص

$$\phi_t = ۰/۷۵$$
$$P_n = F_u \cdot A_e \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴)$$

در روابط فوق:

A_g=سطح مقطع کل

A_e= سطح مقطع خالص مؤثر

F_y= تنش تسلیم فولاد

F_u= تنش نهایی کششی فولاد

P_n= مقاومت کششی اسمی

ـ مقاومت برشی قالبی در اتصال انتهای اعضای کششی باید مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ بررسی شود.

ـ قطعات کششی با اتصالات لولایی باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ را برآورده کنند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق

در اعضایی که اجزای آن به‌طور سرتاسری در تماس با یکدیگر می‌باشند، فاصلهٔ وسایل اتصال بین یک نیمرخ و ورق یا بین دو ورق نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

الف) در قطعات رنگ‌شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلی‌متر.

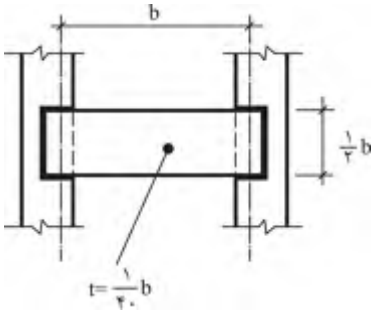
ب) در قطعات رنگ‌نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۲۰۰ میلی‌متر.

در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) نیمرخ و یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آنها به‌فواصلی قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط به‌یکدیگر متصل می‌شوند، فاصلهٔ لقمه‌ها و اتصالات باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هریک از اجزای تشکیل‌دهنده در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ تجاوز نکند.

در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) مقطع در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصله طولی وسایل اتصال اجزا باید ترجیحاً به‌میزانی باشد که ضریب لاغری هر عنصر بین وسایل اتصال از ۳۰۰ تجاوز ننماید. علاوه‌بر آن فاصلهٔ محور به‌محور وسایل اتصال و یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از ۶۰۰ میلی‌متر بیشتر شود.

در اعضای کششی مرکب، به‌کار بردن بست‌های موازی در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. پهنای بست‌های موازی در امتداد طول عضو باید حداقل $\frac{۱}{۲}$ فاصلهٔ بین مراکز هندسی دو نیمرخ باشد. ضخامت این بست‌ها نباید از $\frac{۱}{۴۰}$ فواصل یاد شده کمتر شود. فاصلهٔ محور به‌محور پیچ‌ها یا پرچ‌ها و فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی، در اتصال بست‌ها نباید از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند. فاصلهٔ بست‌های موازی از یکدیگر باید به‌اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری هریک از اجزای کششی متصل شده بین این بست‌ها، از ۳۰۰ بیشتر نشود.

در اعضای کششی مرکب با بست‌های موازی و یا مورب، دو انتهای عضو باید به‌کمک ورق‌هایی که طول آنها در امتداد عضو کمتر از فاصلهٔ مرکز به‌مرکز عناصر و یا طول اتصال نیست، به‌یکدیگر اتصال یابند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ هندسهٔ قیدهای موازی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ اعضای کششی با اتصالات لولایی

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۱ مقاومت کششی

مقاومت کششی طرح، در اعضای با اتصالات لولایی مساوی $\phi_t P_n$ می‌باشد که کوچکترین مقدار حالات حدی زیر در نظر گرفته می‌شود.

الف) گسیختگی کششی در سطح مقطع مؤثر خالص:

$$\phi_t = ۰/۷۵$$
$$P_n = ۲F_u t_p b_{eff} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵)$$

ب) گسیختگی برشی در سطح مقطع مؤثر:

$$\phi_{sf} = ۰/۷۵$$
$$P_n = ۰/۶F_u A_{sf} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۶)$$

پ) مقاومت اتکایی در سطح تصویرشدهٔ قلم لولا (پین): برای کنترل مقاومت اتکایی به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ مراجعه شود.

ت) تسلیم در سطح مقطع کلی:

$$\phi_t = ۰/۹$$
$$P_n = F_y \cdot A_g \qquad (۷ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

در روابط فوق (با توجه به‌شکل‌های ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵):

A_g= سطح مقطع کل

F_y= تنش تسلیم فولاد

F_u= تنش نهایی کششی فولاد

P_n= مقاومت کششی اسمی

a= کوتاه‌ترین فاصله بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ عضو در امتداد تأثیر نیرو

d_p= قطر پین (قلم لولا)

t_p= ضخامت ورق در ناحیهٔ سوراخ

b_{eff}= مطابق رابطهٔ زیر، که نباید بزرگتر از فاصلهٔ واقعی لبهٔ سوراخ تا لبهٔ قطعه در امتداد عمود بر راستای نیرو باشد

$$b_{eff} = ۲t_p + ۱۶mm \le b \qquad (۸ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

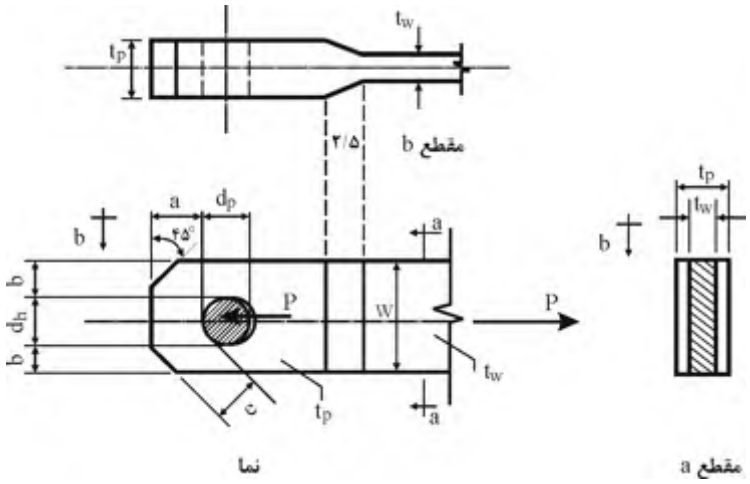
A_{sf} = سطح مقطع مؤثر در مسیر گسیختگی طبق رابطهٔ زیر:

$$A_{sf} = ۲t_p\left(a + \frac{d_p}{۲}\right) \qquad (۹ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

b= فاصلهٔ بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ عضو در امتداد عمود بر نیرو

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۲ محدودیت‌های ابعادی تسمه‌های لولاشده

- در اعضایی که دارای اتصال لولایی هستند، مرکز سوراخ باید در وسط پهنای عضو قرار داشته باشد. قطر سوراخ نباید بیش از دو میلی‌متر از قطر قلم بزرگتر باشد.
- پهنای تسمه در محدودهٔ سوراخ نباید از $(۲b_{eff} + d_p)$ کمتر باشد.
- کوتاه‌ترین فاصله بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ عضو در امتداد تأثیر نیرو در محدودهٔ لهیدگی انتهای پین، a ، نباید کوچکتر از $\frac{۴}{۳}b_{eff}$ باشد.
- گوشه‌های بعد از محور سوراخ را می‌توان تحت زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به‌محور طولی عضو، پخ زد. مشروط بر آنکه مقطع باقیمانده بعد از سوراخ در امتداد عمود بر خط بریده‌شده، کمتر از سطح مقطع عمود بر امتداد نیروی وارده نباشد.
- کلیهٔ محدودیت‌های هندسی در شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ به‌نمایش درآمده است.



(۱) $a \geq \frac{۴}{۳}b_{eff}$

(۲) $w \geq ۲b_{eff} + d_p$

(۳) $e \geq a$

(۴) $b_{eff} = ۲t_p + ۱۶\,mm \leq b$

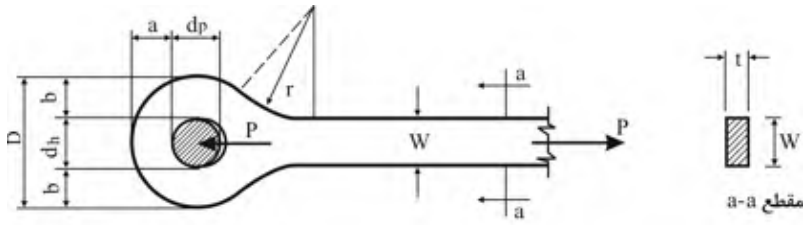
(۵) $d_h = d_p + ۲\,mm$

(۶) $A_g = wt_w$

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ محدودیت‌های ابعادی تسمه‌های لولاشده.

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۳ محدودیت‌های ابعادی تسمهٔ سرپهن

- ضخامت تسمه‌های سرپهن باید ثابت باشد و در ناحیهٔ سوراخ نباید افزایش یابد و کاملاً صفحه‌ای باشد. همچنین سرپهن این تسمه‌ها باید دایره‌ای و هم‌مرکز با سوراخ پین باشد.
- شعاع قسمت ماهیچه‌ای‌شکل که در لبهٔ اتصال قسمت پهن به‌تسمه وجود دارد، نباید از قطر سر دایره‌ای‌شکل کمتر باشد.
- قطر پین نباید از $\frac{۷}{۸}$ پهنای تسمه کمتر باشد.
- قطر سوراخ نباید بیش از ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر پین باشد.
- برای فولادهای پرمقاومت (با تنش تسلیم بیش از ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا [۴۰۰نیوتن بر میلی‌متر مربع])، قطر سوراخ نباید از ۵ برابر ضخامت تسمه تجاوز کند و پهنای تسمه باید متناسباً کاهش داده شود.
- در محاسبات، پهنای تسمه نباید بیشتر از ۸ برابر ضخامت آن در نظر گرفته شود. ضخامت تسمه را نباید کمتر از ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفت، مگر حالتی که قلم اتصال دارای مهره باشد که با سفت کردن آنها قطعات جمع و فشرده شوند. فاصله بین لبهٔ سوراخ تا لبه تسمه در امتداد عمود بر نیروی وارده نباید کمتر از $\frac{۲}{۳}$ و بیشتر از $\frac{۳}{۴}$ پهنای تسمه در نظر گرفته شود. (حد بالای b فقط برای منظور طراحی می‌باشد).
- کلیه محدودیت‌های هندسی در شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ به‌نمایش درآمده است.



(۱) ضخامت در طول تسمه یکنواخت باشد
و تسمه در ناحیه سوراخ تقویت نشود

(۲) $t \geq ۱۲\,mm$

(۳) $w \leq ۸t$

(۴) $d_p \geq \frac{۷}{۸} w$

(۵) $d_h \leq d_p + ۲\,mm$

(۶) $r \geq D$

(۷) $a = b$

(۸) $\frac{۲}{۳} w \leq b \leq \frac{۳}{۴} w$

(۹) $A_g = wt$

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ محدودیت‌های ابعادی تسمه‌های سرپهن.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ اعضای فشاری (ستون‌ها)

این بخش به‌قطعات منشوری با مقطع فشرده و غیرفشرده (طبق تعریف بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱) تحت اثر فشار محوری در امتداد محور مرکزی عضو می‌پردازد. برای اعضایی که تحت اثر مشترک فشار محوری و لنگر خمشی قرار می‌گیرند به‌بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ مراجعه شود. اعضای فشاری می‌توانند از نیمرخ تک، نیمرخ‌های مرکب، و نیمرخ‌های ساخته شده از ورق و یا ترکیبی از ورق و نیمرخ باشند.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد:

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ پایداری

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ مقاومت فشاری طرح

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقطع نبشی تک

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب و ساخته شده از ورق

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ پایداری

پایداری کلی دستگاه سازه و هریک از اعضای فشاری تشکیل‌دهندهٔ آن باید به‌طور مطمئن تأمین شود. همچنین باید به‌اثر اضافی بارها در سازه تغییرشکل‌یافته و یا به‌هرکدام از عناصر آن توجه خاص شود. در این مورد به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ مراجعه گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۱ طول مؤثر کمانش و ضریب لاغری

در طراحی اعضا تحت فشار محوری، KL طول مؤثر کمانش عضو و $\lambda = \frac{KL}{r}$ ضریب لاغری می‌باشد که در آن r شعاع ژیراسیون مقطع و K ضریب طول مؤثر می‌باشد که باید طبق بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳ تعیین شود. محدودیت‌های مربوط به‌ضریب لاغری در بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۴) مندرج است.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ قاب‌های مهارشده

در قاب‌هایی که در آنها حرکت جانبی با تکیه کردن بر مهاربندی‌ها و یا دیوارهای برشی مقید می‌شود، ضریب طول مؤثر (K) برای اعضای فشاری باید برابر یک به حساب آید. در این خصوص لازم است به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱ نیز مراجعه گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳ قاب‌های مهارنشده

در قاب‌هایی که پایداری جانبی آنها از طریق سختی خمشی اعضای قاب (تیرها و ستون‌هایی که با اتصالات صلب به‌یکدیگر متصل هستند) تأمین می‌شود، طول مؤثر (KL) اعضای فشاری (ستون‌ها) باید با تجزیه و تحلیل وضع موجود تعیین شود و هیچ‌گاه نباید کمتر از طول واقعی عضو در نظر گرفته شود. ضریب طول مؤثر K را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین نمود:

$$K = \sqrt{\frac{۱/۶ G_A G_B + ۴(G_A + G_B) + ۷/۵}{G_A + G_B + ۷/۵}} \geq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱)$$

که در آن:

G_A و G_B = پارامتر نشان‌دهندهٔ شرایط مرزی دو انتهای عضو فشاری و برابر است با نسبت مجموع $\frac{EI}{L}$ ستون‌ها به‌مجموع $\frac{EI}{L}$ تیرهای منتهی به‌دو انتهای عضو فشاری در یک صفحه.

پارامترهای به‌کار رفته به قرار ذیل می‌باشند:

E= ضریب ارتجاعی
I= ممان اینرسی حول محور خمش
L= طولی از عضو (محور به‌محور) که مهار جانبی ندارد
G =۱ برای انتهای گیردار ستون
G =۱۰ برای انتهای مفصلی ستون

در این مورد لازم است به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱ نیز مراجعه شود.

تبصره ۱: برای تیرهای طره‌ای متصل به‌عضو فشاری، $\frac{EI}{L}$ مساوی صفر درنظر گرفته می‌شود.

تبصره ۲: هرگاه انتهای نزدیک تیر به‌عضو فشاری مفصلی باشد، $\frac{EI}{L}$ آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود.

تبصره ۳: هرگاه انتهای دور تیر به‌عضو فشاری مفصلی باشد، مقدار $\frac{EI}{L}$ آن تیر باید در ضریب ۰/۵ ضرب شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۴ محدودیت ضریب لاغری

در اعضایی که ملاک طراحی و محاسبهٔ آنها نیروی فشاری است، ضریب لاغری حداکثر λ نباید از ۲۰۰ تجاوز کند. در طراحی لرزه‌ای برای کنترل ضریب لاغری اعضای فشاری مهاربندها رعایت مفاد بخش ۱۰ ـ ۳ لحاظ گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ مقاومت فشاری طرح

مقاومت طرح اعضای فشاری مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن ϕ_c ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹ و P_n مقاومت اسمی فشاری می‌باشد که برای اعضای فشاری با اجزای فشرده و غیرفشرده (غیرلاغر)، باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی ـ پیچشی منظور شود.

تبصره: برای طراحی اعضای فشاری از به‌کار بردن مقاطعی که دارای اجزای فشاری لاغر می‌باشند باید خودداری شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش خمشی

مقاومت اسمی اعضای فشاری، P_n، با مقاطع فشرده و غیرفشردهٔ غیرلاغر، براساس کمانش خمشی با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲)$$

که در آن:

A_g= سطح مقطع کل

F_{cr}= تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی که از روابط زیر به‌دست می‌آید.

(الف) اگر:

$$\lambda \le ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \text{یا} \qquad (F_e \ge ۰/۴۴F_y)$$

در این صورت:

$$F_{cr} = \left[۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳)$$

(ب) اگر:

$$\lambda > ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \text{یا} \qquad (F_e < ۰/۴۴F_y)$$

در این صورت:

$$F_{cr} = ۰/۸۷۷F_e \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴)$$

در روابط فوق:

$\lambda =$ ضریب لاغری حداکثر $= \frac{KL}{r}$

F_y= تنش تسلیم فولاد

E= مدول الاستیسیته

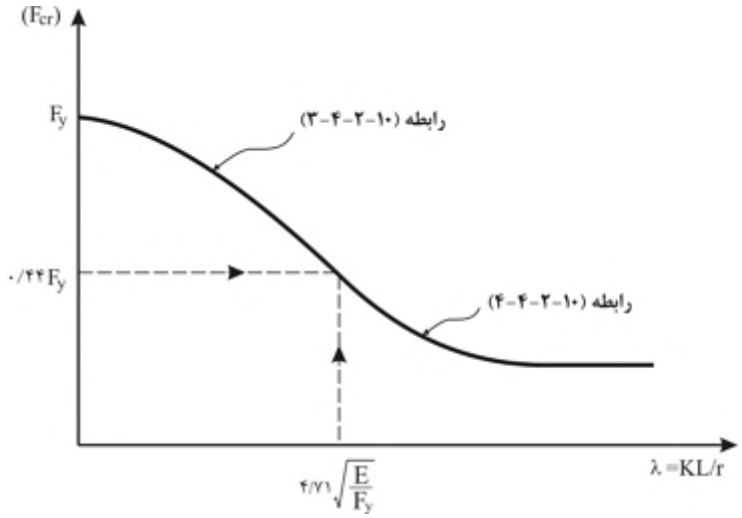
K= ضریب طول مؤثر

L= طول مهارنشدهٔ عضو

r= شعاع ژیراسیون حاکم

F_e= تنش کمانش بحرانی اولر در حالت الاستیک که مقدار آن عبارت است از:

$$F_e = \frac{\pi^۲E}{\lambda^۲} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵)$$



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ رابطهٔ F_{cr} با نسبت لاغری λ برای اعضای فشاری براساس کمانش خمشی.

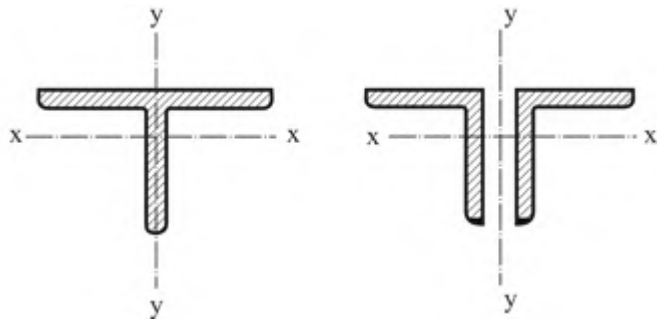
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۲ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی ـ پیچشی

این بخش برای اعضای فشاری با مقاطع دارای یک محور تقارن، نامتقارن و اعضای فشاری با مقاطع خاص دارای دو محور تقارن، نظیر مقاطع صلیبی، و اعضای فشاری مرکب (ساخته‌شده) که اجزای آنها لاغر نباشد، کاربرد دارد. مقررات این بخش مشمول اعضای فشاری تک‌نبشی نمی‌باشد.

مقاومت اسمی اعضای فشاری، P_n، با مقاطع فشرده و غیرفشرده (غیرلاغر) براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی ـ پیچشی با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶)$$

الف) برای اعضای فشاری از نیمرخ سپری و یا نبشی جفت:



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{۲H}\right)\left[۱ - \sqrt{۱ - \frac{۴ F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^۲}}\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۷)$$

در رابطهٔ فوق:

F_{cry} = طبق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱) برای کمانش خمشی حول محور تقارن y با

استفاده از روابط (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳) یا (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴) با نسبت لاغری $\lambda = \frac{KL}{r_y}$ تعیین می‌شود.

F_{crz} با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^{۲}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۸)$$

ب) برای سایر مقاطع، F_{cr} با استفاده از روابط (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳) و یا (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴) محاسبه می‌شود. فقط با این تفاوت که تنش کمانش پیچشی و کمانش خمشی پیچشی، F_e ، با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود:

ب ــ ۱) مقاطع دارای دو محور تقارن:

$$F_e = \left[\frac{\pi^{۲} E C_w}{(K_z L)^{۲}} + GJ\right]\left(\frac{۱}{I_x + I_y}\right) \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۹)$$

ب ــ ۲) مقاطع با یک محور تقارن، با فرض اینکه y محور تقارن باشد:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{۲H}\right)\left[۱ - \sqrt{۱ - \frac{۴F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^{۲}}}\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۰)$$

ب ــ ۳) مقاطع نامتقارن، F_e عبارت است از کوچکترین ریشه معادلهٔ درجه ۳ زیر:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^{۲}(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_o}{\bar{r}_o}\right)^{۲} - F_e^{۲}(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_o}{\bar{r}_o}\right)^{۲} = ۰$$

(۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۱)

در روابط فوق:

A_g = سطح مقطع کل

C_w = ثابت تابیدگی

$\bar{r}_o$ = شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش که به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۲)$$

$$H = ۱ - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۳)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L}{r_x}\right)^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۴ ـ \text{الف})$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۴ ـ \text{ب})$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right]\frac{۱}{A_g \bar{r}_o^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۵)$$

G= مدول الاستیسیتهٔ برشی $\left(G = \frac{۱}{۲/۶} E\right)$ (با فرض $\nu = ۰/۳$)

I_x, I_y= ممان اینرسی حول محورهای اصلی

J = ثابت پیچشی

K_z= ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی

x_o, y_o = مختصات مرکز برش نسبت به‌مرکز سطح

x_o = صفر برای جفت نبشی و نیمرخ سپری (y محور تقارن است)

r_y = شعاع ژیراسیون حول محور y

برای مقاطع I شکل با تقارن دومحوره، C_w را می‌توان مساوی $I_y h_o^2 / ۴$ در نظر گرفت که در آن h_o فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بال‌ها می‌باشد. برای مقاطع سپری و نبشی زوج، جملات حاوی C_w را می‌توانید در محاسبهٔ F_{ez} حذف نمایید و x_o را مساوی صفر در نظر بگیرید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقاطع نبشی تک

مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقطع نبشی تک را می‌توان از روابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱ با اصلاحات لاغری ارایه شده در این بند محاسبه نمود. در صورتی‌که شروط زیر برقرار باشد، می‌توان از برون‌محوری نیروی فشاری در طراحی صرفنظر نمود:

(۱) نیروی اعمال شده به‌نبشی از دو انتها، از طریق یک ساق واحد اعمال گردد.

(۲) اتصال دو انتهای عضو به‌کمک جوش و یا حداقل دو پیچ انجام شود.

(۳) هیچ‌گونه بارگذاری عرضی بر عضو اعمال نگردد.

(الف) برای نبشی‌ها با ساق‌های مساوی یا نبشی‌ها با ساق‌های نامساوی که از طریق ساق بلندتر متصل شده‌اند، و به‌صورت اعضای تک و یا اعضای جان خرپا که با اعضای دیگر به‌یک سمت ورق اتصال یا یال، متصل شده‌اند، لاغری اصلاح شده با استفاده از روابط زیر به‌دست می‌آید:

(۱) در صورتی‌که $0 < \frac{L}{r_x} \le 80$ باشد:

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0/75\frac{L}{r_x} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۶ ـ \text{الف})$$

(۲) در صورتی‌که $\frac{L}{r_x} > 80$ باشد:

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1/25\frac{L}{r_x} \le 200 \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۶ ـ \text{ب})$$

برای نبشی‌ها با ساق نامساوی با نسبت ساق کوچکتر از ۱/۷ که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، $\frac{KL}{r}$ به‌دست آمده از دو رابطهٔ فوق را باید با جملهٔ:

$$4\left[\left(\frac{b_\ell}{b_s}\right)^2 - 1\right]$$

افزایش داد، لیکن KL/r عضو نباید کمتر از $0/95L/r_z$ در نظر گرفته شود.

(ب) برای نبشی‌ها با ساق‌های مساوی و نامساوی که از طریق ساق‌های بلندتر متصل شده‌اند و عضوی از جان خرپای جعبه‌ای و یا فضایی می‌باشند که اعضای مجاورشان به‌یک طرف ورق اتصال یا یال‌ها متصل شده‌اند، لاغری اصلاح شده از روابط زیر به‌دست می‌آید:

(۱) در صورتی‌که $۰ \le \frac{L}{r_x} \le ۷۵$ باشد:

(۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۶ ـ پ) $$\frac{KL}{r} = ۶۰ + ۰/۸ \frac{L}{r_x}$$

(۲) در صورتی‌که $\frac{L}{r_x} > ۷۵$ باشد:

(۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۶ ـ ت) $$\frac{KL}{r} = ۴۵ + \frac{L}{r_x} \le ۲۰۰$$

برای نبشی‌ها با ساق‌های نامساوی با نسبت ساق کوچکتر از ۱/۷ که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، KL/r به‌دست آمده از دو رابطهٔ فوق را باید با جملهٔ:

$$۶\left[\left(\frac{b_\ell}{b_s}\right)^۲ - ۱\right]$$

افزایش داد، KL/r عضو نباید کمتر از $۰/۸۲ \frac{L}{r_z}$ در نظر گرفته شود.

در روابط فوق:

L = طول عضو حدفاصل نقطهٔ تقارب محور اعضا

b_ℓ = عرض ساق بزرگتر نبشی

b_s = عرض ساق کوچکتر نبشی

r_x = شعاع ژیراسیون حول محور مرکزی موازی با ساق متصل شده

r_z = شعاع ژیراسیون حول محور اصلی حداقل نبشی

(پ) نبشی‌های تک با شرایط انتهایی متفاوت با حالات مشخص‌شده در بندهای الف و ب، با نسبت ساق‌های بزرگتر از ۱/۷ یا با بارگذاری عرضی، باید برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی مطابق فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ مورد بررسی قرار گیرند. اتصال انتهایی

به‌ساق‌های مختلف دو انتها، و یا هر دو ساق، استفاده از پیچ تنها یا اتصال اعضای جان اعضای مجاور به‌دو روی مختلف ورق اتصال و یا بال‌ها، شرایطی هستند که منجر به‌استفاده از ضوابط فصل ۱۰ ـ ۲ـ ۷ می‌شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب (ساخته‌شده)

کلیه اجزای اعضای فشاری مرکب و فواصل بین وسایل اتصال در آنها باید شرایط مقاطع فشرده و یا غیرفشرده طبق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ را ارضا کنند. برای محدودیت‌های فاصله بین وسایل اتصال و فاصله تا لبه عضو در اعضایی که تحت اثر عوامل جوی قرار می‌گیرند به بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ۳ ـ ۶ ـ پ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۱ اعضای فشاری مرکب از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری (جان پر)

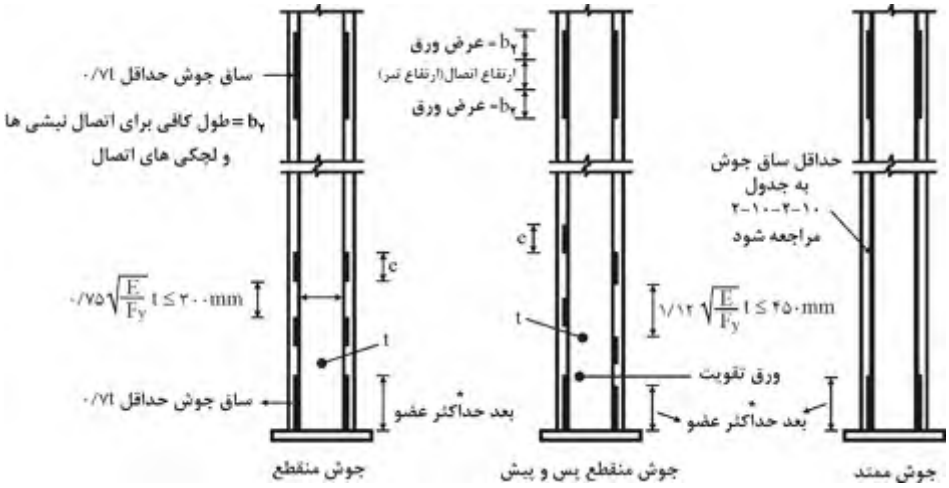
در انتهای اعضای فشاری مرکب، در محل فشار مستقیم بر کف ستون‌ها و یا در محل سطوح صاف و تنظیم‌شده در درز وصله‌ها، تمام اجزایی که در تماس فشاری با یکدیگر قرار می‌گیرند، باید در فاصلهٔ ۱/۵ برابر بعد حداکثر مقطع مرکب با پیچ‌هایی که فاصلهٔ محور به‌محور آنها از یکدیگر حداکثر ۴ برابر قطرشان باشد، به‌یکدیگر متصل شوند. اگر وسیله اتصال جوش باشد، در محل‌های یادشده باید اجزای تشکیل‌دهنده در طولی بزرگتر یا مساوی بعد حداکثر مقطع مرکب، با جوش پیوسته به‌یکدیگر متصل شوند. این اتصال باید نیرویی مساوی حاصل‌ضرب سطح ورق در F_y را تحمل نماید.

در ناحیه میانی اعضای مرکب، فواصل طولی محور به‌محور بین پیچ‌ها یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید به‌نحوی اختیار شود که مقاومت لازم تأمین گردد. حداکثر فاصله طولی بین پیچ‌ها در محل اتصال که دو نیمرخ نوردشده یا یک نیمرخ و یک ورق را به‌هم متصل می‌کنند، برای حالتی که قطعات رنگ‌شده و در مقابل خوردگی حفاظت شده باشند نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین قطعهٔ متصل‌شونده و همچنین از ۳۰۰ میلی‌متر

بیشتر شود. اگر اتصال دو ورق یا ورق و نیمرخ به‌وسیلهٔ جوش صورت گرفته باشد و اعضا در مقابل خوردگی حفاظت شده باشند چنانچه از جوش طولی ممتد استفاده نشود حداکثر فاصلهٔ خالص بین جوش‌های منقطع نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

۱) $۰/۷۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور در حالت پس و پیش نباشد. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳)

۲) $۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور به‌حالت پس و پیش قرار گیرند. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳)



e= حداقل‌طول‌جوش مساوی ۱۰t که t ضخامت ورق است و حداقل ساق‌جوش طبق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ می‌باشد.

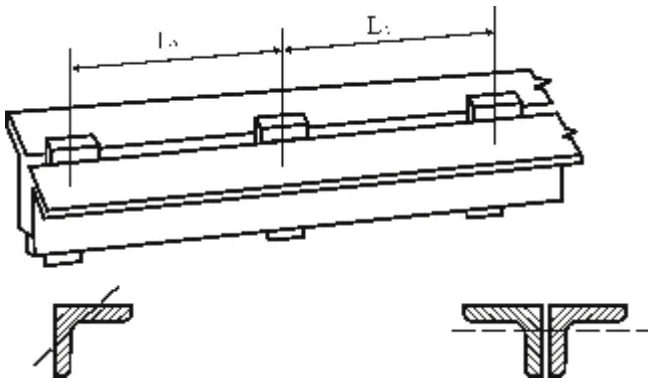
*** این جوش باید بتواند نیرویی مساوی حاصل‌ضرب سطح مقطع ورق در F_y را تحمل نماید.**

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ ستون مرکب با ورق سرتاسری.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۲ اعضای فشاری مرکب با لقمه

در اعضای فشاری که از دو یا چند نیمرخ نوردشده ساخته شوند و با گذاردن قطعات لقمه در بین آنها به‌یکدیگر متصل گردند، فواصل لقمه‌ها (یا نقاط اتصال) باید طوری باشد که ضریب لاغری حداکثر $\left(\frac{L_1}{r_1}\right)$ هر نیمرخ در قسمتی که بین دو لقمه قرار دارد از $\frac{3}{4}$ ضریب لاغری تعیین‌کنندهٔ کل عضو مرکب تجاوز نکند. (L_1 فاصلهٔ مرکز به‌مرکز لقمه‌ها و r_1 شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ می‌باشد). در طول یک عضو مرکب، حداقل دو نقطهٔ اتصال میانی در نقاط $\frac{1}{3}$ طول بین دوسر آن باید موجود باشد.

کلیه اتصالات (شامل آنهایی که در دو انتهای عضو هستند) باید جوشی یا از نوع اتصال پیچی اصطکاکی باشند.



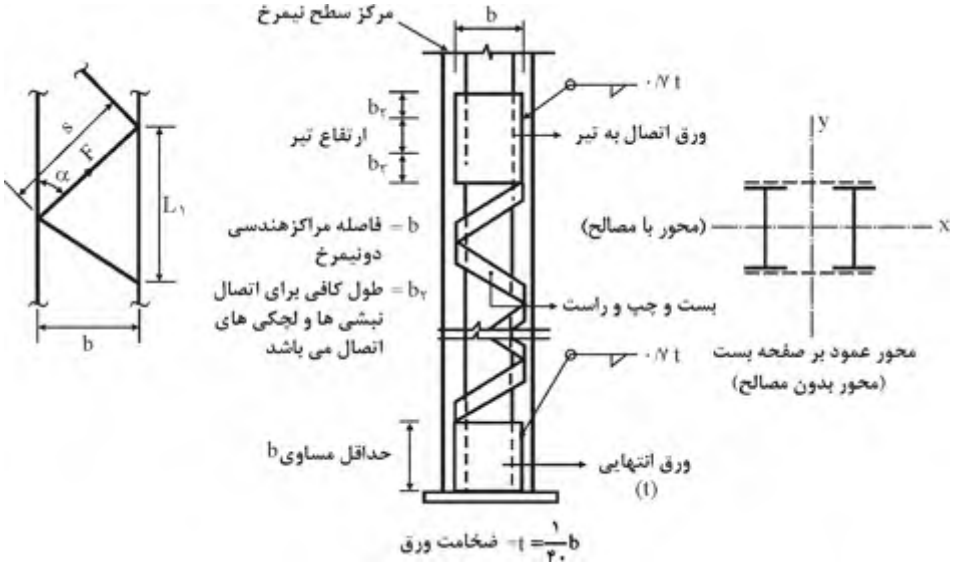
محور شعاع ژیراسیون حداقل مقطع مرکب **محور شعاع ژیراسیون حداقل تک‌عضو**

(استفاده از مقطع نبشی فقط برای نمایش است و سایر نیمرخ‌ها نیز قابل استفاده هستند)

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ اعضای فشاری مرکب با لقمه.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۳ اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب

این بند مربوط است به‌ستون‌ها و اعضای فشاری مرکب که از نیمرخ‌ها و بست‌های مورب ساخته می‌شوند. از آنها وقتی استفاده می‌شود که عضو تحت فشار خالص و یا فشار به‌علاوهٔ خمش حول محور x (محور با مصالح) قرار داشته باشد.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵ ستون مرکب با بست‌های مورب.

الف) ورق انتهایی و ورق اتصال به‌تیر

بست‌های مورب در انتهای عضو، باید به‌ورق انتهایی ختم شوند (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵) . در قسمت‌های میانی عضو در صورتی که نظم بست‌های مورب به‌علت تقاطع با عضو دیگری به‌هم خورده باشد، باید ورق‌های اتصال به‌تیر تعبیه گردد. ورق‌های انتهایی باید تا حد امکان به‌دو انتهای عضو نزدیک باشد. طول ورق‌های انتهایی (در امتداد طول عضو) باید حداقل برابر فاصلهٔ مراکز هندسی نیمرخ‌های تشکیل‌دهندهٔ عضو باشد و طول ورق‌های اتصال به‌تیر باید فضای کافی برای برقراری اتصال را داشته باشد.

ضخامت ورق‌های انتهایی و اتصال به‌تیر نباید از $\frac{۱}{۴۰}$ b کمتر باشد. که b فاصله بین مراکز هندسی دو نیمرخ تشکیل‌دهندهٔ عضو فشاری است.

اگر وسیلهٔ اتصال ورق‌های انتهایی و اتصال به‌تیر، پیچ باشد، فاصلهٔ این وسایل اتصال از یکدیگر در امتداد تنش نباید از ۶ برابر قطر آنها تجاوز کند. در هر ورق انتهایی یا اتصال به‌تیر، باید حداقل سه عدد پیچ وجود داشته باشد.

اگر وسیلهٔ اتصال ورق‌های‌انتهایی و اتصال به‌تیر جوش باشد، باید دورتادور ورق با ساق ۰/۷t جوش شود که t ضخامت ورق می‌باشد. در هر حال ضخامت ورق اتصال به‌تیر، و اتصال آن به‌ستون باید با توجه به‌نیروهای منتقل‌شده از طرف تیر به‌ستون، کنترل شود.

ب) بست‌های مورب

بست‌های مورب را می‌توان از تسمه، نبشی، ناودانی یا مقطع مناسب دیگر انتخاب کرد. بست‌های مورب را باید طوری قرار داد که ضریب لاغری حداکثر نیمرخ، محصور بین نقاط اتصال آنها از $\frac{۳}{۴}$ ضریب لاغری تعیین‌کنندهٔ کلی عضو بیشتر نشود.

بست‌های مورب را باید برای تحمل اثر نیروی برشی ستون به‌علت نیروهای خارجی به‌علاوه ۲ درصد مقاومت فشاری طرح کل عضو فشاری طراحی کرد.

نسبت $\frac{L}{r}$ برای بست‌های مورب تکی نباید از ۱۴۰ تجاوز کند. (که در آن L طول کمانش بست و r شعاع ژیراسیون حداقل بست می‌باشد). برای بست‌های مورب ضربدری این نسبت نباید از ۲۰۰ بیشتر شود. بست‌های مورب که به‌صورت ضربدری اجرا می‌شوند، باید در محل تقاطع خود به‌یکدیگر متصل گردند.

طول کمانش برای محاسبهٔ ضریب لاغری بست‌های اتصالی که در فشار قرار دارند، در بست‌های تکی برابر فاصلهٔ بین مرکز هندسی اتصالات (پیچ، پرچ یا جوش) دوسر آنها به‌عضو فشاری و در بست‌های ضربدری ۷۰ درصد این فاصله به‌حساب می‌آید.

زاویهٔ تمایل امتداد بست‌ها نسبت به‌محور طولی عضو، نباید کمتر از ۴۵ درجه برای بست‌های ضربدری و ۶۰ درجه برای بست‌های تکی باشد.

اگـر فاصـلهٔ بین مرکـز هندسـی اتصـالات (پیـچ یا جوش) دوسـر بست بیـش از ۴۰۰ میلی‌متر باشد، ارجح است که بست‌ها به‌صورت ضربدری در نظر گرفته شوند و یا از نیمرخ مناسب (مانند نبشی) طراحی گردند.

پ) لاغری معادل اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب

لاغری معادل نسبت به‌محور عمود بر صفحه بست‌های مورب (محور بدون مصالح) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۷)$$

که در آن:

λ_y = لاغری کلی عضو فشاری نسبت به‌محور عمود بر صفحه بست‌های مـورب (محور بدون مصالح)

λ_1 = لاغری موضعی که برای بست‌های مورب برابر است با:

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{A}{2A_d}\cdot\frac{S^3}{L_1 b^2}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۸)$$

A= سطح مقطع کلی عضو فشاری

A_d= سطح مقطع بست مورب

S= طـول بـست مـورب بـین مـراکـز هـندسی اتـصال دو انـتهای بـست مـورب (شـکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵)

L_1= طول مرکز به‌مرکز مهارنشدهٔ تک‌نیمرخ

b= فاصلهٔ بین مراکز هندسی دو نیمرخ

ت) طراحی بست مورب

نیروی محوری بست مورب از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$F = \frac{V}{mn\sin\alpha} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱۹)$$

که در آن:

n= تعداد صفحات بست در طرفین ستون

m= مساوی یک برای بست مورب تکی و مساوی دو برای بست مورب ضربدری
V= مجموع نیروی برشی ناشی از بارگذاری جانبی و برش ناشی از کمانش که مقدار اخیر ۲ درصد مقاومت فشاری طرح عضو فشاری مرکب در نظر گرفته می‌شود.
α= زاویهٔ بین محور بست با محور عضو فشاری (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵).

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۴ ستون‌ها و اعضای فشاری مرکب با بست موازی

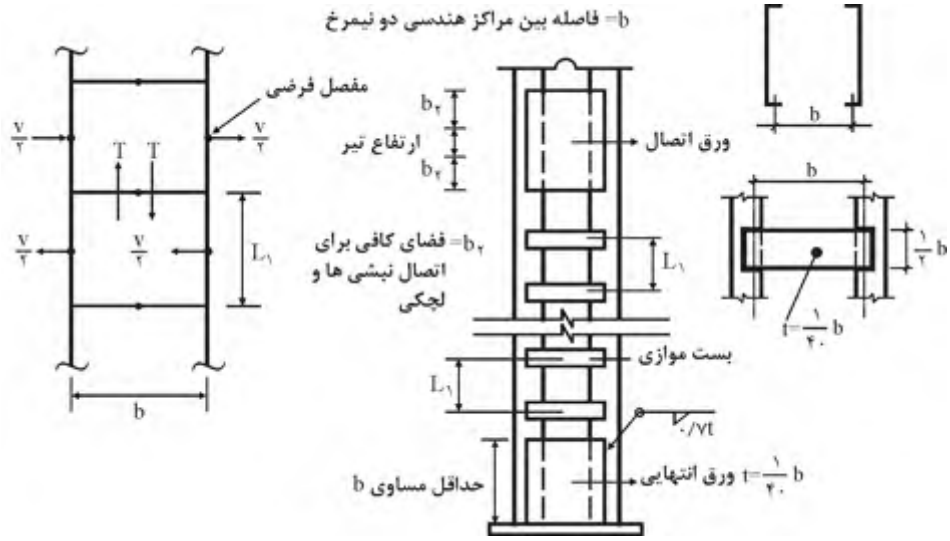
این بند مربوط است به‌ستون‌ها و اعضای فشاری مرکبی که از نیمرخ‌ها و بست‌های موازی و عمود بر محور طولی عضو ساخته می‌شوند. از آنها وقتی استفاده می‌شود که عضو تحت فشار خالص و یا فشار به‌علاوهٔ خمش حول محور x (محور با مصالح) قرار داشته باشد.

الف) بست‌های میانی باید به‌تعدادی باشد که طول عضو فشاری (بین ورق‌های قیدهای انتهایی) را حداقل به‌سه قسمت تقسیم کند.

ب) فاصلهٔ بست‌ها از یکدیگر باید به‌اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری تک‌نیمرخ عضو فشاری $\left(\frac{L_1}{r_1}\right)$ در قسمتی که‌بین دو بست متوالی قرار دارد از، $\frac{3}{4}$ ضریب لاغری λ_y بیشتر نشود، که در آن λ_y ضریب لاغری عضو فشاری نسبت به‌محور y-y (محور عمود بر امتداد بست، محور بدون مصالح) و L_1 فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بست‌ها در امتداد طولی عضو و r_1 شعاع ژیراسیون حداقل تک‌نیمرخ می‌باشد.

پ) بست‌های موازی و اتصالات آنها باید برای تحمل لنگر خمشی و نیروی برشی وارده محاسبه شوند. فرض می‌شود لنگر و برش مؤثر بر بست‌ها حاصل از نیروی برشی جانبی (V) می‌باشد که در امتداد عمود بر محور طولی عضو فشاری به‌موازات صفحه بست‌ها عمل می‌کند و مقدار آن ۲ درصد مقاومت فشاری طرح به‌علاوه برش ناشی از نیروهای خارجی* است و اثر آن بین یک جفت بست در روی دو سطح موازی عضو، به‌تساوی تقسیم می‌شود.

* در صورتی که ستون به‌صورت تیرستون عمل می‌کند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶ ستون با بست‌های موازی.

ت) بست‌ها را می‌توان از تسمه، ورق، ناودانی و یا نیمرخ I انتخاب کرد. اتصال بست‌ها به‌نیمرخ‌های اصلی عضو فشاری باید توسط پیچ، پرچ و یا جوش دورادور صورت گیرد به‌طوری که هر اتصال و نیز مقطع هر بست در مقابل نیروی برشی طولی (عمود بر امتداد بست) $T_۱ = \frac{V \cdot L_۱}{۲b}$ و لنگر خمشی $M_۱ = \frac{V \cdot L_۱}{۴}$ مقاوم باشد.

در روابط فوق:

V= نیروی برشی جانبی ستون (طبق تعریف مندرج در زیر بند پ فوق)

$L_۱$= فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بست‌ها در امتداد طول عضو، مطابق شکل (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶)

b= فاصلهٔ بین مراکز هندسی دو نیمرخ تشکیل‌دهندهٔ عضو اصلی

ث) ورق‌های انتهایی که در دوسر عضو فشاری قرار می‌گیرند، باید حداقل طولی (در امتداد محور طولی عضو) برابر با فاصله بین مراکز هندسی نیمرخ‌های تشکیل‌دهنده عضو فشاری را داشته باشند. این ورق‌ها باید با جوش دورتادور با بعدی مساوی ۰/۷t و یا بعد

جوش حداقل، هر کدام که بزرگترند، به‌نیمرخ‌ها متصل شوند. ضخامت این ورق‌ها نباید از $\frac{۱}{۴۰}$ فاصله بین مراکز هندسی دو نیمرخ کمتر باشد.

ج) بست‌ها باید حداقل ضخامتی برابر با $\frac{۱}{۴۰}$ فاصله بین مراکز هندسی دو نیمرخ داشته باشند. رعایت محدودیت اخیر برای بست‌هایی که از نیمرخ ناودانی و یا I با بال‌های عمود بر سطح عضو فشاری تشکیل شده باشند، لازم نیست. طول بست‌های میانی حداقل باید نصف فاصله بین مراکز هندسی نیمرخ‌ها باشد.

چ) اگر در طرح عضو فشاری مرکب با بست‌های موازی تنها، محدودیت‌های بندهای «الف تا ج» فوق رعایت شده باشد، ضریب لاغری مؤثر (λ_{ye}) نسبت به‌محور y-y (محور عمود بر صفحه بست‌ها ـ محور بدون مصالح) را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^۲ + \lambda_۱^۲} \qquad (۲۰ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

و یا به طور دقیقتر:

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^۲ + ۰/۸۲\frac{\beta^۲}{(۱+\beta^۲)}(\lambda_۱)^۲} \qquad (۲۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

در روابط فوق:

$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{r_y}$ ضریب لاغری اسمی عضو فشاری مرکب نسبت به‌محور y-y

$\lambda_۱ = \frac{L_۱}{r_۱}$ بزرگترین ضریب لاغری هریک از نیمرخ‌ها

$L_۱$ = فاصلهٔ مرکز به‌مرکز بست در امتداد طولی عضو

$r_۱$ = شعاع ژیراسیون حداقل هریک از نیمرخ‌های فشاری تک

λ_{ye} = ضریب لاغری مؤثر عضو فشاری مرکب در امتداد عمود بر صفحهٔ بست‌ها

β = نسبت انفصال دو نیمرخ $\left(\frac{h}{۲r_{۱b}}\right)$

r_{1b} = شعاع ژیراسیون هر نیمرخ تک نسبت به‌محور مرکزی خودش که موازی محور کمانش می‌باشد.

h = فاصلهٔ مراکز ثقل دو نیمرخ در امتداد عمود بر محور کمانش

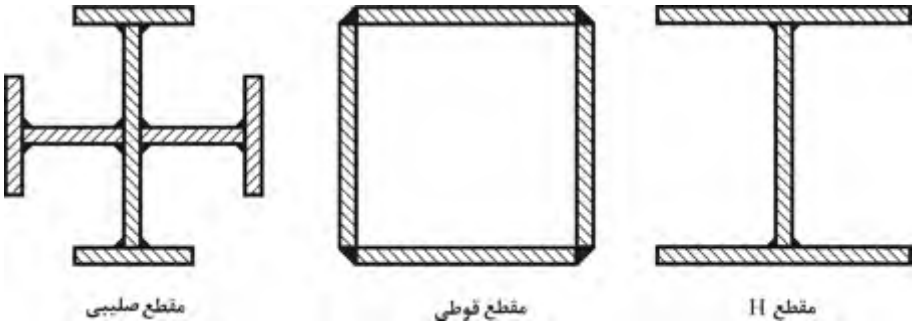
۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۵ اعضای فشاری ساخته‌شده از ورق

اعضای فشاری ساخته شده از ورق غالباً در مقاطع زیر ساخته می‌شوند:

۱ ـ مقطع H

۲ ـ مقطع قوطی

۳ ـ مقطع صلیبی



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۷ مقاطع اعضای فشاری ساخته‌شده از ورق.

جوشی که بال ستون را به‌جان متصل می‌کند، شرایط زیر را باید برآورده سازد:

الف) باید بتواند برش ناشی از تغییرات لنگر خمشی در طول ستون را انتقال دهد.

ب) در محل اتصال تیر به‌ستون به‌علت تغییرات ناگهانی لنگر خمشی، مقدار نیروی برشی* به‌صورت موضعی تشدید خواهد یافت، لذا تقویت جوش در این ناحیه الزامی است و باید براساس نیروهای موجود محاسبه گردد.

* در صورتی که ستون به‌صورت تیر ستون عمل می‌کند.

پ) نیروی کششی ناشی از بال تیر، ایجاد تنش متمرکز بزرگی در این جوش می‌نماید، مگر اینکه نیروی مذکور با استفاده از ورق‌های پیوستگی مستقیماً به‌بال مقابل انتقال یابد. در این مورد باید مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ عمل نمود.

ت) ارجح است که این جوش پیوسته باشد.

در مورد قاب‌های خمشی متوسط و یا ویژه باید ضوابط مربوطه به‌طرح لرزه‌ای طبق فصل ۱۰ ـ ۳ رعایت گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۵ اعضای فشاری با اتصال لولایی

اتصال مفصلی در اعضای فشاری باید محدودیت‌های بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۵ را برآورده نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۶ برش در جان ستون

اتصال ستون‌ها در مقابل نیروهای متمرکز باید طبق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ بررسی شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ طراحی اعضا برای خمش

این بخش مربوط به‌طراحی اعضا با مقطع ثابت است که تحت تأثیر خمش ساده حول یکی از محورهای اصلی قرار دارد. در این حالت کلیه مقاطع یا باید در صفحه‌ای موازی محورهای اصلی و ماربر مرکز برش بارگذاری شوند و یا در مقابل پیچش در محل نقطه اثر بار و تکیه‌گاه‌ها نگهداری شده باشند.

برای اعضای تحت تأثیر خمش و نیروی محوری به‌بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ و برای طراحی تیرهای مختلط به‌بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ مراجعه شود.

مقاومت خمش طرح، $M_c = \phi_b M_n$، می‌باشد که در آن M_n مقاومت خمشی اسمی و ϕ_b ضریب تقلیل مقاومت خمشی است که مقدار آن ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت‌خمشی‌اسمی M_n برحسب مورد از بندهای‌زیر محاسبه می‌شود (جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ۱).

- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱) ضریب یکنواختی لنگر C_b
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲) مقاطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و ناودانی با مقطع فشرده حول محور قوی.
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳) مقاطع I شکل با دو محور تقارن و دارای جان فشرده و بال‌های غیرفشرده حول محور قوی.

- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴) مقاطع I شکل با جان فشرده یا غیرفشرده حول محور قوی
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵) مقاطع I شکل با جان لاغر حول محور قوی
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶) مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷) مقاطع قوطی‌شکل
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸) مقاطع لوله‌ای‌شکل
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹) مقاطع سپری و جفت نبشی
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰) مقاطع نبشی تک
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱) مقاطع توپر نظیر میلگرد و چهارگوش و تسمه
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲) مقررات عمومی

در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱، راهنمای عمومی بندهای فوق ارایه شده است.

تبصره: در خمش از به‌کار بردن مقاطع I شکل، ناودانی‌ها و نیمرخ‌های قوطی یا لوله‌ای که دارای اجزای فشاری لاغر می‌باشند، باید خودداری شود مگر برای جان تیرورق‌ها که در این صورت مقررات این بخش تعیین‌کننده خواهد بود.

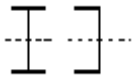
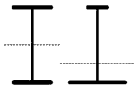
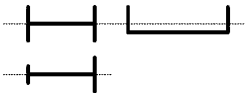
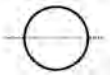
در هریک از بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ تا ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱، مقاومت خمشی اسمی M_n یک عضو کمترین مقداری است که بر پایه یکی از حالات حدی زیر به‌دست می‌آید:

(الف) تسلیم (بال فشاری یا کششی) (Y)
(ب) کمانش پیچشی ـ جانبی (LTB)
(پ) کمانش موضعی بال (FLB)
(ت) کمانش موضعی جان (WLB)

در شکل‌های ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت خمشی به‌صورت تابعی از لاغری $\lambda = b_f / 2t_f$ و طول مهارنشدهٔ L_b نشان داده شده است.

برای تیرها با مقطع فشرده که طول مهار نشده L_b آنها کمتر از L_p می‌باشد، فقط حالت حدی تسلیم حاکم می‌باشد. برای تیرها با مقطع فشرده یا غیرفشرده که طول مهارنشدهٔ بال فشاری آنها بزرگتر از L_p است، باید حالات حدی تسلیم و کمانش پیچشی ـ جانبی کنترل

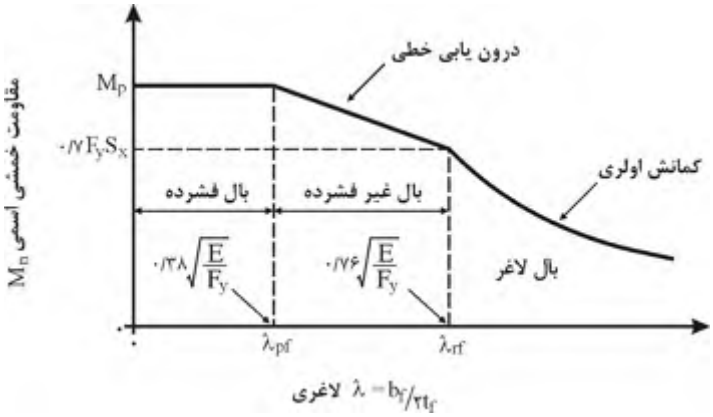
جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ انتخاب بند مربوط به‌تعیین مقاومت خمشی

حالت حدی	لاغری جان	لاغری بال	مقطع	بند مربوطه
Y, LTB	C	C		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲
LTB, FLB	C	NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳
Y, LTB, FLB, TFY	C, NC	C, NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴
Y, LTB, FLB, TFY	S	C, NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵
Y, FLB	N/A	C, NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶
Y, FLB, WLB	C, NC	C, NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷
Y, LB	N/A	N/A		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸
Y, LTB, FLB	N/A	C, NC, S		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹
Y, LTB, LLB	N/A	N/A		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰
Y, LTB	N/A	N/A		۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱

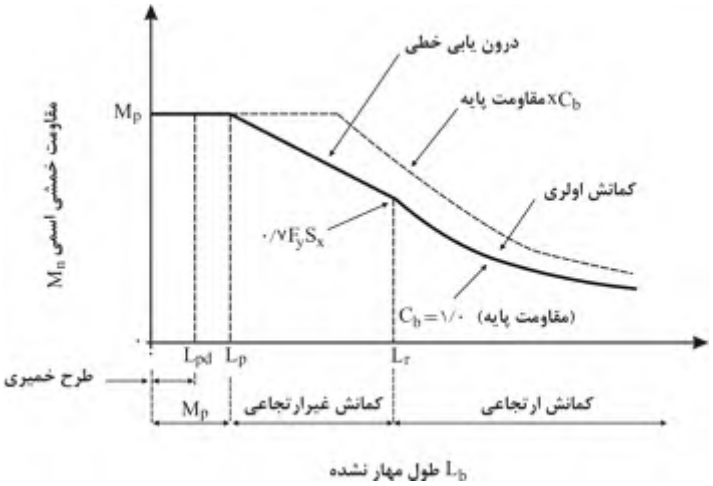
Y= تسلیم
LTB= کمانش جانبی پیچشی
FLB=کمانش موضعی بال
WLB= کمانش موضعی جان
TFY= تسلیم کششی بال
LLB=کمانش موضعی ساق
LB= کمانش موضعی
C= فشرده
NC= غیرفشرده
S=لاغر
N/A= کاربرد ندارد

گردند. برای مقاطعی که نسبت به‌محور ضعیف خود تحت خمش می‌باشند، و یا برای مقاطع قوطی و یا دایره، بررسی حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی لازم نیست.

بـرای اعضا بـا یک محور تقـارن که تحـت خمش با انحنای مضاعـف قرار دارند، حالـت حدی کمانش پیچشی جانبی باید برای هر دو بال کنترل شود. مقاومت خمشی موجود باید بزرگتر یا مساوی لنگر حداکثر که در بال مورد نظر ایجاد فشار می‌نماید، باشد.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ مقاومت خمشی اسمی، M_n ، به‌عنوان تابعی از نسبت پهنا به‌ضخامت بال مقاطع I شکل.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت خمشی اسمی به‌عنوان تابعی از طول مهارنشده (L_b) و ضریب یکنواختی لنگر (C_b) .

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ ضریب یکنواختی لنگر

ضریب یکنواختی نمودار لنگر خمشی در حد فاصل دو مقطع مهار شده با C_b نشان داده شده و با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود.

$$C_b = \frac{۱۲/۵M_{max}}{۲/۵M_{max} + ۳M_A + ۴M_B + ۳M_C} R_m \le ۳/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱)$$

M_{max}= قدرمطلق حداکثر لنگر خمشی در طول مهار نشده (بین دو نقطهٔ مهارشده)

M_A= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ $\frac{۱}{۴}$ طول مهارنشده

M_B= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ $\frac{۱}{۲}$ طول مهارنشده

M_C= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ $\frac{۳}{۴}$ طول مهارنشده

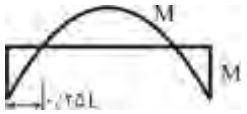
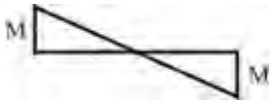
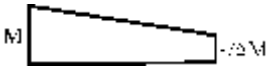
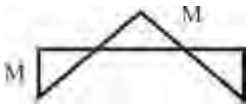
R_m= پارامتر عدم تقارن مقطع، مساوی ۱ برای مقاطع با دو محور تقارن، و مساوی ۱ برای مقاطع با یک محور تقارن با انحنای ساده و مساوی $۰/۵ + ۲\left(\frac{I_{yc}}{I_y}\right)^۲$ برای اعضا با یک محور تقارن با انحنای مضاعف

برای تمام حالات، C_b، را می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه مساوی واحد منظور نمود.
برای تیرهای طره‌ای که انتهای آزاد آنها مهار نشده است، C_b مساوی واحد می‌باشد.

I_y= ممان اینرسی حول محور اصلی y

I_{yc}= ممان اینرسی بال تحت فشار حول محور اصلی y. برای انحنای مضاعف، از بال فشاری کوچکتر استفاده شود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقادیر نمونه C_b با فرض R_m= ۱

ردیف	نمودار M	C_b
۱		۱
۲		۱/۱۵
۳		۱/۹
۴		۲/۲۵
۵		۱/۳
۶		۱/۴
۷		۱/۶۵
۸		۱
۹		۱/۲۵
۱۰		۱/۹

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت خمشی مقاطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و ناودانی با مقطع فشرده حول محور قوی

مقاومت خمشی اسمی، M_n ، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالت حدی تسلیم و کمانش پیچشی ـ جانبی تعیین می‌شود.

الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)$$

در رابطهٔ فوق:

M_p= لنگر پلاستیک

F_y= حداقل تنش تسلیم

Z_x= اساس مقطع پلاستیک حول محور x

x= محور قوی مقطع

ب) حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی

ب ـ ۱) هرگاه $L_b \le L_p$ باشد لزومی به‌در نظر گرفتن کمانش پیچشی ـ جانبی نمی‌باشد.

ب ـ ۲) هرگاه $L_p < L_b \le L_r$

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_P - ۰/۷F_yS_x)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)$$

ب ـ ۳) هرگاه $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr}S_x \le M_p \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴)$$

در روابط فوق:

L_b= فاصلهٔ بین دو مقطع مهارشدهٔ بال فشاری عضو خمشی در مقابل حرکت جانبی و یا دو مقطع از عضو خمشی که از پیچش آنها جلوگیری شده است (فاصلهٔ

تکیه‌گاه‌هایی که از تغییرمکان جانبی بال فشاری و پیچیدن کل مقطع تیر جلوگیری می‌نماید).

F_{cr}= تنش کمانش پیچشی جانبی طبق رابطهٔ زیر:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \qquad (10 - 2 - 5 - 5)$$

E= مدول الاستیسیته فولاد

J= ثابت پیچش سن‌ونان (مساوی $(\frac{1}{3}\Sigma(bt^3)$)

S_x= اساس مقطع الاستیک حول محور x

h_o= فاصله مرکز به‌مرکز بال‌ها

تبصره ۱: در رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵) عبارت زیر رادیکال را می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه مساوی واحد در نظر گرفت.

L_p= حداکثر طول مهارنشدهٔ عضو که در آن حالت حدی تسلیم حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲).

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (10 - 2 - 5 - 6)$$

L_r= حداکثر طول مهارنشدهٔ عضو که در آن حالت حدی کمانش جانبی ـ پیچشی غیرارتجاعی حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \times \frac{S_x h_o}{Jc}\right)^2}}$$

$$(10 - 2 - 5 - 7)$$

r_{ts}= شعاع ژیراسیون منطقهٔ فشاری مقطع حول محور قائم

$$r_{ts}^{۲}=\frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸)$$

c= ضریب طبق روابط زیر:

(برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن) $c=۱$

(برای مقاطع ناودانی) $c=\frac{h_o}{۲}\sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

C_w= ثابت پیچش تابیدگی

تبصره ۲ : رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷) را می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه به‌صورت زیر نیز در نظر گرفت.

$$L_r=\pi r_{ts}\sqrt{\frac{E}{۰/۷F_y}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹)$$

تبصره ۳ : برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن $C_w=\frac{I_y h_o^{۲}}{۴}$ بوده و لذا رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸) برای مقاطع I شکل به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$r_{ts}^{۲}=\frac{I_y h_o}{۲S_x} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰)$$

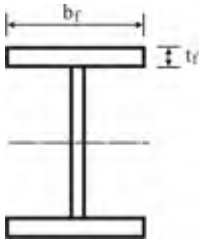
همچنین r_{ts} را می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه شعاع ژیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و یک‌سوم منطقهٔ فشاری جان نسبت به‌محور مار بر جان در نظر گرفت.

$$r_{ts}=\frac{b_f}{\sqrt{۱۲\left(۱+\frac{۱}{۶}\frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}}\cong ۰/۳b_f \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱)$$

b_f , t_f = به‌ترتیب ضخامت و عرض بال تحت فشار

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ مقاومت خمشی مقاطع I شکل با دو محور تقارن و دارای جان فشرده و بال‌های غیرفشرده حول محور قوی

این بند مربوط است به‌خمش حول محور قوی مقاطع I شکل که دارای دو محور تقارن بوده و جان آنها فشرده و بال‌ها غیرفشرده می‌باشند.



(بال‌ها غیرفشرده ولی جان فشرده می‌باشد)

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی و کمانش موضعی بال فشاری تعیین می‌شود.

الف) کمانش پیچشی ـ جانبی

برای کمانش پیچشی ـ جانبی از روابط بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ حالت ب) استفاده می‌شود.

ب) کمانش موضعی بال فشاری غیرفشرده

$$M_n = \left[M_p - (M_p - ۰/۷F_yS_x)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲)$$

در رابطهٔ فوق:

$$\lambda = \frac{b_f}{۲t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ (حد لاغری برای بال فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ (حد لاغری برای بال غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

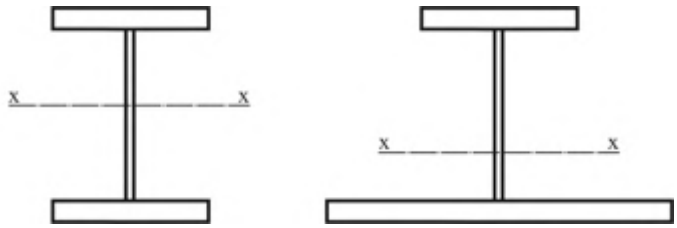
b_f= پهنای بال فشاری t_f= ضخامت بال فشاری

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴ مقاومت خمشی سایر مقاطع I شکل با جان فشرده یا غیرفشرده حول محور قوی

این بند مربوط است به:

ـ خمش حول محور قوی مقاطع I شکل با دو محور تقارن با جان غیرفشرده

ـ خمش حول محور قوی مقاطع I شکل با یک محور تقارن با جان فشرده یا غیرفشرده



(بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان فشرده یا غیرفشرده)

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالت حدی تسلیم بال فشاری، کمانش پیچشی ـ جانبی، کمانش موضعی بال فشاری و تسلیم بال کششی تعیین می‌شود.

تبصره : مقاطع I شکل مشمول این بند را می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه با ضوابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵ طراحی نمود.

الف) تسلیم بال فشاری

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۳)$$

ب) کمانش پیچشی ـ جانبی

ب ـ ۱) هرگاه $L_b \le L_p$ باشد لزومی به‌در نظر گرفتن کمانش پیچشی ـ جانبی نمی‌باشد.

ب ـ ۲) هر گاه $L_p < L_b \le L_r$

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \le R_{pc} M_{yc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۴)$$

ب ـ ۳) هرگاه $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_{xc} \le R_{pc} M_{yc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۵)$$

که در آن:

$$M_{yc} = F_y S_{xc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۶)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \sqrt{۱ + ۰/۰۷۸ \frac{J}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۷)$$

چنانچه $\frac{I_{yc}}{I_y} \le ۰/۲۳$ باشد مقدار J صفر و به‌عبارت دیگر مقدار رادیکال واحد در نظر گرفته می‌شود. I_y ممان اینرسی حول محور ضعیف (محور y) و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف (محور y) می‌باشد.

تنش F_L از روابط زیر تعیین می‌شود.

ـ چنانچه $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge ۰/۷$ باشد،

$$F_L = ۰/۷ F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۸ ـ \text{الف})$$

ـ چنانچه $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < ۰/۷$ باشد،

$$F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge ۰/۵ F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۸ ـ \text{ب})$$

L_p= حداکثر طول مهارنشدهٔ عضو که در آن حالت حدی تسلیم حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)

S_{xt} = اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال کششی

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال فشاری

$$L_p = ۱/۱ r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۹ ـ \text{الف})$$

L_r= حداکثر طول مهارنشده عضو که در آن حالت حدی کمانش جانبی ـ پیچشی غیرارتجاعی حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)

$$L_r = ۱/۹۵ r_t \frac{E}{F_L}\sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o}}\sqrt{۱+\sqrt{۱+۶/۷۶\left(\frac{F_L}{E}\frac{S_{xc} h_o}{J}\right)^۲}}$$

$$(۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۹ ـ \text{ب})$$

ضریب پلاستیک جان نسبت به‌بال فشاری، R_{pc}، از روابط زیر به‌دست می‌آید:

ـ در صورتی‌که $\frac{h_c}{t_w} \le \lambda_{pw}$ باشد:

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۰)$$

ـ در صورتی‌که $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$ باشد:

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - ۱\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)\right] \le \frac{M_p}{M_{yc}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۱)$$

که در آن:

$$M_p = Z_x F_y \le ۱/۶ S_{xc} F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۲)$$

S_{xc} و S_{xt}= به‌ترتیب اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال‌های فشاری و کششی

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$ (حد لاغری برای جان فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

$\lambda_{rw} = \lambda_r$ (حد لاغری برای جان غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

h_c= دو برابر فاصله تار خنثای الاستیک تا محل اتصال جان به‌بال فشاری

شعاع ژیراسیون مؤثر، r_t ، با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود:

۱ـ برای مقاطع I شکل با بال فشاری مستطیل توپر

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{۱۲\left(\frac{h_o}{d} + \frac{۱}{۶} a_w \frac{h^۲}{h_o d}\right)}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۳)$$

با فرض $h_o = d = h$ ، عبارت فوق مساوی شعاع ژیراسیون بال فشاری به‌علاوه $\frac{۱}{۳}$ ناحیه فشاری جان حول محور ضعیف مقطع به‌دست می‌آید:

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{۱۲(۱ + \frac{۱}{۶} a_w)}} \cong ۰/۳\ b_{fc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۴)$$

که در آن:

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۵)$$

h_o= فاصلهٔ مرکز تا مرکز بال‌ها

h= فاصلهٔ بین شروع گردی ریشهٔ جان به‌بال برای نیمرخ‌های نوردشده و فاصلهٔ آزاد بین دو بال برای نیمرخ‌های ساخته شده از ورق

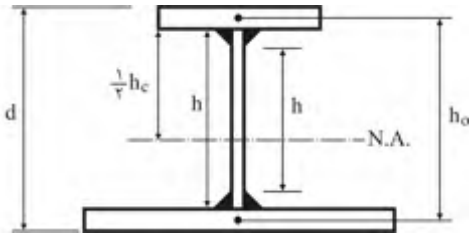
h_c= دو برابر فاصلهٔ تار خنثای الاستیک تا محل اتصال جان به‌بال فشاری

b_{fc}= پهنای بال فشاری

t_{fc}= ضخامت بال فشاری

t_w= ضخامت جان

a_w= نسبت دو برابر مساحت جان تحت فشار به‌مساحت بال فشاری



۲ـ برای مقاطع I شکل با بال فشاری غیرمستطیلی‌شکل نظیر بال‌های تقویت‌شده با ورق

r_t= شعاع ژیراسیون مقطعی شامل مجموع بال فشاری و یک‌سوم منطقهٔ فشاری جان نسبت به‌محور ماربر جان تیر (محور y)

پ) کمانش موضعی بال فشاری

پ ـ ۱) برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به‌در نظر گرفتن کمانش موضعی بال فشاری نمی‌باشد.

پ ـ ۲) برای مقاطع با بال فشاری غیرفشرده:

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۶)$$

که در آن:

F_L= مطابق بند (ب) روابط (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۸ ـ الف و ب)

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{۲t_{fc}}$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p$$

(حد لاغری برای بال فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

$$\lambda_{rf} = \lambda_r$$

(حد لاغری برای بال غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

b_{fc}= پهنای بال فشاری

t_{fc}= ضخامت بال فشاری

ت) تسلیم بال کششی

ت ـ ۱) در صورتی‌که $S_{xt} \geq S_{xc}$ باشد لزومی به‌در نظر گرفتن تسلیم بال کششی نمی‌باشد.

ت ـ ۲) در صورتی‌که $S_{xt} < S_{xc}$ باشد:

$$M_n = R_{pt} M_{yt} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۷)$$

که در آن:

$$M_{yt} = F_y S_{xt} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۸)$$

M_{yt}= لنگر تسلیم نسبت به‌بال کششی

S_{xt}= اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال کششی

S_{xc}= اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال فشاری

R_{pt}= ضریب پلاستیک جان برای بال کششی که از روابط ذیل به‌دست می‌آید.

اگر $\frac{h_c}{t_w} < \lambda_{pw}$ باشد آنگاه:

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۹)$$

و اگر $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$ باشد آنگاه:

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - ۱\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)\right] \le \frac{M_p}{M_{yt}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۰)$$

که در آن:

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$ (حد لاغری برای جان فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

$\lambda_{rw} = \lambda_r$ (حد لاغری برای جان غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

h_c= دو برابر فاصلهٔ تار خنثی در حالت الاستیک تا محل اتصال جان به‌بال فشاری

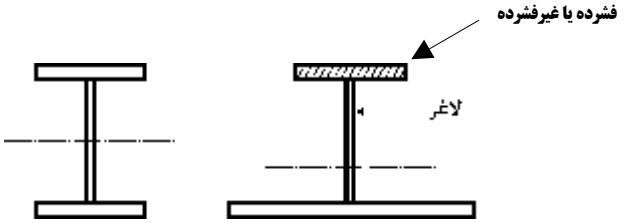
t_w= ضخامت جان

به‌علاوه داریم:

$$M_{yt} = F_y S_{xt}$$

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵ مقاومت خمشی مقاطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با جان لاغر برای خمش حول محور قوی (تیرورق‌ها)

این بند مربوط است به‌خمش حول محور قوی مقاطع I شکل با جان لاغر و بال‌های فشرده و یا غیرفشرده با یک یا دو محور تقارن.



(بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان لاغر)

مقاومت خمشی اسمی، M_n ، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم بال فشاری، کمانش پیچشی ـ جانبی، کمانش موضعی بال فشاری و تسلیم بال کششی تعیین می‌شود.

الف) تسلیم بال فشاری:

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۱)$$

R_{pg}= ضریب کاهش مقاومت خمشی مطابق رابطهٔ زیر:

$$R_{pg} = ۱ - \frac{a_w}{۱۲۰۰ + ۳۰۰\, a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - ۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) \le ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۲)$$

a_w= نسبت دو برابر مساحت جان تحت فشار به‌مساحت بال فشاری (طبق رابطهٔ ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲۵) که نباید بزرگتر از ۱۰ در نظر گرفته شود.

ب) کمانش پیچشی ـ جانبی:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۳)$$

ب ـ ۱) چنانچه $L_b \le L_p$ باشد لزومی به‌در نظر گرفتن کمانش پیچشی ـ جانبی نیست.

ب ـ ۲) چنانچه $L_p < L_b \le L_r$ باشد :

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (۰/۳ F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \le F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۴)$$

ب ـ ۳) چنانچه $L_b > L_r$ باشد :

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^۲ E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^۲} \le F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۵)$$

که در آن:

$$L_p = ۱/۱ r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۶)$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{۰/۷ F_y}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۷)$$

R_{pg}= ضریب کاهش مقاومت خمشی مطابق رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۲)

r_t= شعاع ژیراسیون مؤثر برای کمانش جانبی مطابق تعاریف روابط ۱۰ـ۲ـ ۵ ـ۲۳ و ۲۴

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{۱۲ \left(\frac{h_o}{d} + \frac{۱}{۶} a_w \frac{h^۲}{h_o d} \right)}} \quad \text{یا} \quad r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{۱۲ \left(۱ + \frac{a_w}{۶} \right)}} \cong ۰/۳ \, b_{fc}$$

$$a_w = \frac{h_c \, t_w}{b_{fc} \, t_{fc}} \le ۱۰$$

L_p= حداکثر طول مهارنشدهٔ عضو که در آن حالت حدی تسلیم حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)

L_r= حداکثر طول مهارنشدهٔ عضو که در آن حالت حدی کمانش جانبی ـ پیچشی غیرارتجاعی حاکم است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)

پ) کمانش موضعی بال فشاری

پ ـ ۱) برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به‌در نظر گرفتن کمانش موضعی بال فشاری نمی‌باشد.

پ ـ ۲) برای مقاطع با بال فشاری غیرفشرده :

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

$$F_{cr} = \left[F_y - (۰/۳F_y)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۸)$$

که در آن:

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{۲t_{fc}}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ (حد لاغری بال فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ (حد لاغری بال غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

b_{fc}= پهنای بال فشاری

t_{fc}= ضخامت بال فشاری

ت) تسلیم بال کششی

ت ـ ۱) چنانچه $S_{xt} \geq S_{xc}$ باشد، لزومی به‌درنظر گرفتن تسلیم بال کششی نمی‌باشد.

ت ـ ۲) چنانچه $S_{xt} < S_{xc}$ باشد:

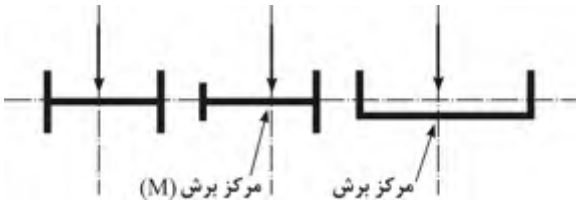
$$M_n = F_y S_{xt} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳۹)$$

S_{xt} = اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال کششی

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال فشاری

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶ مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف

این بند مربوط است به‌خمش حول محور ضعیف مقاطع I شکل و ناودانی



(بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان فشرده یا غیرفشرده و یا لاغر)

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم و کمانش موضعی بال تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq ۱/۶ F_y S_y \qquad (۴۰ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ب) کمانش موضعی بال

ب ـ ۱) برای مقاطع با بال‌های فشرده حالت حدی کمانش موضعی بال تعیین‌کننده نخواهد بود.

ب ـ ۲) برای مقاطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - ۰/۷ F_y S_y)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad (۴۱ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

در روابط فوق:

S_y= اساس مقطع الاستیک حول محور ضعیف

Z_y= اساس مقطع پلاستیک حول محور ضعیف

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ (حد لاغری بال فشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

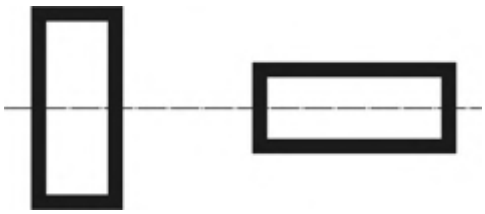
$\lambda_{rf} = \lambda_r$ (حد لاغری بال غیرفشرده ـ مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱)

b= پهنای بال

t= ضخامت بال

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷ مقاومت خمشی مقاطع قوطی‌شکل

این بند مربوط است به‌خمش حول محور قوی یا ضعیف مقاطع قوطی‌شکل با بال و جان فشرده و غیرفشرده.



(بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان‌ها فشرده یا غیرفشرده)

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۲)$$

Z= اساس مقطع پلاستیک حول محور خمش

ب) کمانش موضعی بال

ب ـ ۱) برای مقاطع با بال‌های فشرده حالت حدی کمانش موضعی بال تعیین‌کننده نیست.

ب ـ ۲) برای مقاطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - F_y S)\left(۳/۵۷ \frac{b}{t}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - ۴ \right) \right] \le M_p \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۳)$$

S= اساس مقطع الاستیک حول محور خمش

پ) کمانش موضعی جان

پ ـ ۱) برای مقاطع با جان‌های فشرده حالت حدی کمانش موضعی جان تعیین‌کننده نیست.

پ ـ ۲) برای مقاطع با جان‌های غیرفشرده

$$M_n = \left[M_p - (M_p - F_y S_x)\left(۰/۳۰۵ \frac{h}{t_w}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - ۰/۷۳۸ \right) \right] \le M_p$$

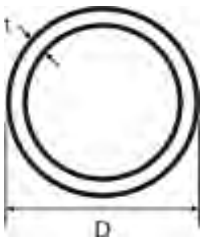
$$(۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۴)$$

h= فاصلهٔ بین شروع گردی ریشه جان به‌بال برای نیمرخ‌های نوردشده و فاصلهٔ آزاد بین دو بال برای نیمرخ‌های ساخته‌شده از ورق

t_w= ضخامت جان

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸ مقاومت خمشی مقاطع لوله‌ای‌شکل

این بند مربوط است به‌خمش مقاطع لوله‌ای‌شکل که در آنها $\frac{D}{t} \le ۰/۴۵ \frac{E}{F_y}$ می‌باشد.



مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالت حدی تسلیم و کمانش موضعی تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۵)$$

Z= اساس مقطع پلاستیک

ب) کمانش موضعی

ب ـ ۱) در صورتی‌که مقطع فشرده باشد حالت حدی کمانش موضعی تعیین‌کننده نخواهد بود. $\left(\frac{D}{t} \le ۰/۰۷ \frac{E}{F_y} \right)$

ب ـ ۲) در صورتی‌که مقطع غیرفشرده باشد.

$$\left(۰/۰۷ \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} \le ۰/۳۱ \frac{E}{F_y} \right)$$

$$M_n = \left(\frac{۰/۰۲۱ E}{\left(\frac{D}{t} \right)} + F_y \right) S \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۶)$$

ب ـ ۳) چنانچه $۰/۳۱\frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < ۰/۴۵\frac{E}{F_y}$ باشد:

$$M_n = F_{cr} \cdot S = \frac{۰/۳۳E}{\left(\frac{D}{t}\right)} S \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۷)$$

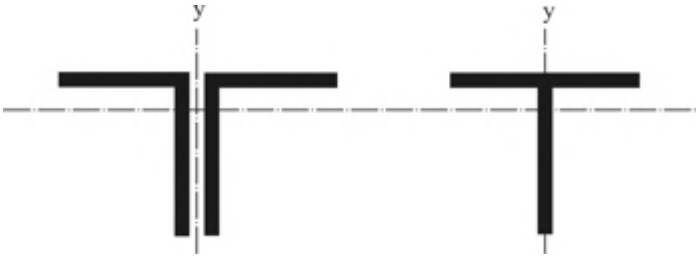
که در آن:

S= اساس مقطع الاستیک

E= مدول الاستیسیته فولاد

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹ مقاومت خمشی مقاطع سپری و جفت‌نبشی با بارگذاری در صفحهٔ تقارن

این بند مربوط است به‌خمش مقاطع سپری و جفت نبشی که در صفحهٔ تقارن بارگذاری شده‌اند. استفاده از این مقاطع با اجزای لاغر مجاز نمی‌باشد.



(بال یا بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان یا جان‌ها فشرده یا غیرفشرده)

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالت حدی تسلیم، کمانش جانبی و کمانش موضعی بال تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

الف ـ ۱) در صورتی‌که جان تحت کشش باشد (بال تحت فشار) :

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq ۱/۶ M_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۸)$$

الف ـ ۲) در صورتی‌که جان تحت فشار باشد (بال تحت کشش) :

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq M_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴۹)$$

که در آن M_y لنگر تسلیم مقطع می‌باشد.

ب) کمانش پیچشی ـ جانبی

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi\sqrt{EI_y GJ}}{L_b}\left[B + \sqrt{۱ + B^۲}\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵۰)$$

که در آن:

$$B = \pm ۲/۳\left(\frac{d}{L_b}\right)\sqrt{\frac{I_y}{J}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵۱)$$

علامت مثبت برای حالتی است که بال یا بال‌ها تحت فشار و علامت منفی برای حالتی است که بال یا بال‌ها تحت کشش هستند. اگر انتهای آزاد جان در نقطه‌ای از طول مهارنشده تحت فشار باشد، علامت منفی خواهد بود.

I_y= ممان اینرسی حول محور تقارن y

J= ثابت پیچشی

d= ارتفاع کلی مقطع

L_b= فاصلهٔ مهارهای جانبی

پ) کمانش موضعی بال سپری‌ها

در حالتی که بال سپری در فشار می‌باشد.

$$M_n = F_{cr} S_{xc} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵۲)$$

که در آن:

S_{xc}= اساس مقطع الاستیک نسبت به‌بال فشاری

F_{cr}= از رابطه زیر تعیین می‌شود.

پ ـ ۱) برای مقاطع سپری با بال فشاری فشرده کمانش موضعی بال تعیین‌کننده نیست.

پ ـ ۲) برای مقاطع سپری با بال فشاری غیرفشرده:

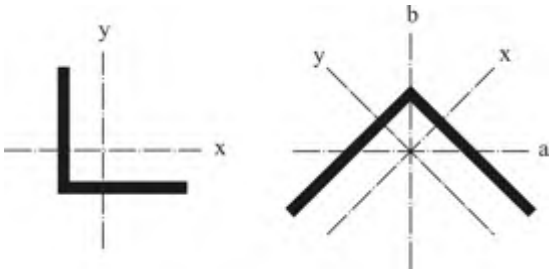
$$F_{cr} = F_y \left[۱/۱۹ - ۰/۵ \left(\frac{b_f}{۲t_f} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵۳)$$

b_f= پهنای بال فشاری

t_f= ضخامت بال فشاری

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰ مقاومت خمشی مقاطع نبشی تک

این بند مربوط است به‌خمش مقاطع نبشی تک که در تمام طول خود با یا بدون تکیه‌گاه جانبی هستند.



در نبشی‌های تک که در تمام طول خود به‌طور پیوسته در مقابل کمانش پیچشی ـ جانبی مهار شده باشند، طراحی براساس مشخصات هندسی محورهای (y , x) مجاز می‌باشد. اما در نبشی‌هایی که در تمام طول خود فاقد مهار کافی در مقابل کمانش پیچشی ـ جانبی هستند، باید براساس مشخصات هندسی محورهای اصلی نبشی محاسبه و طراحی شوند.

مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم، کمانش پیچشی ـ جانبی و کمانش موضعی ساق نبشی تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

$$M_n = ۱/۵M_y \qquad (۵۴ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

M_y= لنگر تسلیم حول محور خمش مساوی SF_y

S = اساس مقطع الاستیک حول محور خمش

ب) کمانش پیچشی ـ جانبی

برای نبشی‌هایی که فاقد مهار کافی در مقابل کمانش پیچشی ـ جانبی در تمام طول خود هستند:

ب ـ ۱) برای حالتی که $M_e \le M_y$ باشد:

$$M_n = \left(۰/۹۲ - \frac{۰/۱۷M_e}{M_y}\right)M_e \qquad (۵۵ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ب ـ ۲) برای حالتی که $M_e > M_y$ باشد:

$$M_n = \left(۱/۹۲ - ۱/۱۷\sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right)M_y \le ۱/۵M_y \qquad (۵۶ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن M_e لنگر کمانش پیچشی ـ جانبی بوده و از روابط زیر به‌دست می‌آید :

(۱) هرگاه خمش حول یکی از محورهای x و y بوده و نبشی با دو ساق مساوی و فاقد مهار کافی در مقابل کمانش پیچشی ـ جانبی در تمام طول خود باشد :

ـ اگر فشار حداکثر در لبهٔ آزاد ساق نبشی باشد :

$$M_e = \frac{۰/۶۶Eb^۴tC_b}{L^۲}\left(\sqrt{۱+۰/۷۸\left(\frac{Lt}{b^۲}\right)^۲}-۱\right) \qquad (۵۷ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ـ و اگر کشش حداکثر در لبهٔ آزاد ساق نبشی باشد :

$$M_e = \frac{۰/۶۶Eb^۴tC_b}{L^۲}\left(\sqrt{۱+۰/۷۸\left(\frac{Lt}{b^۲}\right)^۲}+۱\right) \qquad (۵۸ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

در این حالت، باید برای M_y ضریب کاهش ۰/۸ در نظر گرفته شود.

تبصره : در حالتی‌که محل تلاقی دو ساق نبشی در فشار بوده و نسبت دهانه به‌ارتفاع کلی $\left(\frac{L}{d}\right)$ کوچکتر یا مساوی مقدار حاصل از رابطهٔ زیر باشد :

$$\left(\frac{۱/۶۴E}{F_y}\sqrt{\left(\frac{t}{b}\right)^۲-۱/۴\frac{F_y}{E}}\right) \qquad (۵۹ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

M_n می‌تواند برابر M_y در نظر گرفته شود.

(۲) هرگاه خمش حول یکی از محورهای x و y بوده و نبشی با دو ساق مساوی باشد و در محل لنگر حداکثر دارای مهار جانبی در مقابل کمانش پیچشی ـ جانبی باشد :
در این حالت M_e ، ۱/۲۵ برابر M_e محاسبه‌شده در حالت(۱) در نظر گرفته می‌شود. با این تفاوت که در این حالت ضریب کاهشی برای M_y در نظر گرفته نمی‌شود.

(۳) هرگاه خمش حول محور اصلی قوی بوده و نبشی با دو ساق مساوی باشد :

$$M_e = \frac{۰/۴۶Eb^۲t^۲C_b}{L} \qquad (۶۰ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

(۴) هرگاه خمش حول محور اصلی قوی بوده و نبشی با دو ساق نامساوی باشد :

$$M_e = \frac{۴/۹EI_zC_b}{L^۲}\left(\sqrt{\beta_w^۲ + ۰/۰۵۲\left(\frac{Lt}{r_z}\right)^۲} + \beta_w\right) \qquad (۶۱ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

C_b= مطابق رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱). مقدار حداکثر آن ۱/۵ می‌باشد.

L= طول مهارنشده عضو

I_z= ممان اینرسی حول محور اصلی ضعیف

r_z= شعاع ژیراسیون حول محور اصلی ضعیف

t= ضخامت ساق نبشی

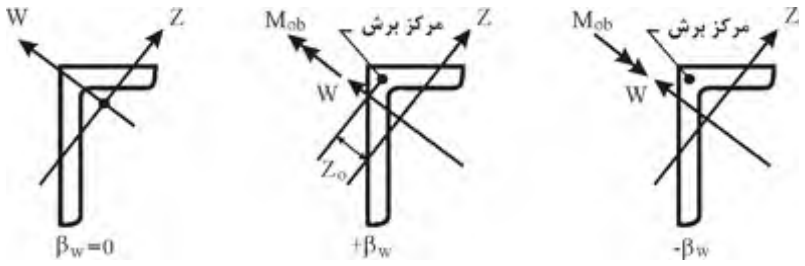
β_w= مشخصه هندسی مقطع نبشی برای در نظر گرفتن اثرات ساق‌های نامساوی. برای حالتی که ساق کوتاه در فشار است، β_w مثبت و برای حالتی که ساق بلند در فشار است β_w منفی می‌باشد.

$$\beta_w = \frac{۱}{I_w}\int Z(w^۲ + Z^۲)dA - ۲Z_o \qquad (۶۲ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

I_w= ممان اینرسی حول محور اصلی قوی

Z_o= فاصله محور اصلی ضعیف تا مرکز برش



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ نبشی دو ساق نامساوی و مساوی در خمش.

پ) کمانش موضعی ساق نبشی

حالت حدی کمانش موضعی ساق در حالتی کاربرد دارد که لبهٔ آزاد ساق نبشی در فشار باشد.

پ ـ ۱) برای مقاطع فشرده کمانش موضعی ساق تعیین‌کننده نمی‌باشد.

پ ـ ۲) برای نبشی‌هایی که ساق آنها غیرفشرده است:

$$M_n = F_y S_c \left[۲/۴۳ - ۱/۷۲ \left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۳)$$

که در آن:

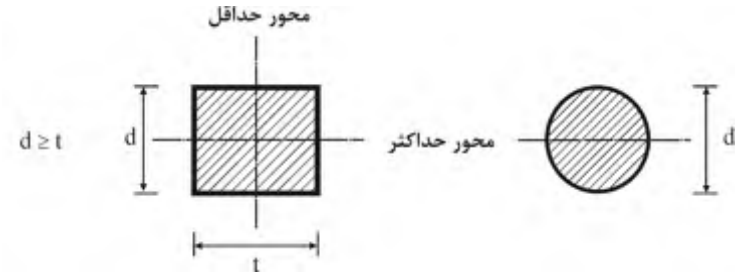
b= پهنای کلی ساق فشاری

S_c= اساس مقطع حول محور خمش نسبت به‌لبهٔ آزاد ساق نبشی که در فشار می‌باشد.

برای نبشی‌های دو ساق مساوی که تحت اثر خمش حول یکی از محورهای x و y قرار دارند و در تمام طول خود فاقد مهار جانبی می‌باشند، S_c برابر ۰/۸ اساس مقطع نسبت به‌محورهای x و y در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱ مقاومت خمشی مقاطع توپر دایره‌ای و چهارگوش

این بند مربوط است به‌خمش مقاطع توپر چهارگوش که حول یکی از محورهای اصلی بارگذاری شده‌اند و همچنین مقاطع توپر دایره‌ای.



مقاومت خمشی اسمی، M_n، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم و کمانش پیچشی ـ جانبی تعیین می‌شود.

الف) تسلیم

برای مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی و با رعایت شرط $\left(\frac{L_b d}{t^2} \le \frac{0/08E}{F_y}\right)$ و مقاطع چهارگوش و خمش حول محور ضعیف و مقاطع دایره‌ای، مقاومت خمشی اسمی M_n، از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$M_n = M_p = F_y Z \le 1/6 M_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۴)$$

که در آن:

L_b= فاصله بین دو نقطهٔ مهارشده ناحیهٔ فشاری و یا دو نقطه که از پیچش مقطع جلوگیری شده است.

d= بعد بزرگ مقطع چهارگوش (عمود بر محور خمش)

t= بعد کوچک مقطع چهارگوش (موازی محور خمش)

Z= اساس مقطع پلاستیک

ب) کمانش پیچشی ـ جانبی

ب ـ ۱) مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی

ـ چنانچه $\frac{0/08E}{F_y} \le \frac{L_b d}{t^2} \le 1/9\frac{E}{F_y}$ باشد:

$$M_n = C_b\left[1/52 - 0/274\left(\frac{L_b d}{t^2}\right)\frac{F_y}{E}\right]M_y \le M_p \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۵)$$

ـ چنانچه $\frac{L_b d}{t^2} > 1/9\frac{E}{F_y}$ باشد:

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \le M_p \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۶)$$

که در آن:

$$F_{cr} = \frac{۱/۹EC_b}{\left(\frac{L_b.d}{t^۲}\right)} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۷)$$

L_b= فاصله بین دو نقطهٔ مهارشده ناحیه فشاری و یا دو نقطه که از پیچش مقطع جلوگیری شده است.

d= بعد بزرگ مقطع چهارگوش (عمود بر محور خمش)

t= بعد کوچک مقطع چهارگوش (موازی محور خمش)

C_b= ضریب یکنواختی نمودار لنگر خمشی مطابق رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱) که مقدار حداکثر آن مساوی ۱/۵ می‌باشد.

ب ـ ۲) مقاطع توپر چهارگوش و خمش حول محور ضعیف و مقاطع توپر دایره‌ای.
کمانش پیچشی ـ جانبی برای این نوع مقاطع تعیین‌کننده نمی‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ مقررات عمومی

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ ـ ۱ نگهداری در مقابل دوران و غلتیدن در تکیه‌گاه

تیرها و شاهتیرها باید در محل تکیه‌گاه‌ها در مقابل دوران و غلتیدن حول محور طولی به‌طور مطمئن نگهداری شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ ـ ۲ دهانه تیرهای ساده

طول دهانهٔ تیرها و شاهتیرها که به‌صورت دهانهٔ ساده طراحی و محاسبه می‌شوند، باید مساوی فاصلهٔ مراکز ثقل اعضای تکیه‌گاهی در نظر گرفته شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ ـ ۳ گیرداری در انتها

در تحلیل و طراحی با فرض صلبیت کامل و یا جزیی در انتهای عضو، باید تیرها و شاهتیرها و همچنین اعضایی که این قطعات به‌آنها متصل می‌شوند را طوری طراحی کرد که

مقاومت‌های مقطع تیر جوابگوی تلاش‌های به‌وجود آمده نظیر نیروهای برشی و لنگرهای خمشی باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲ ـ ۴ مقطع اعضای خمشی

الف) کلیات

ابعاد لازم برای تیرهای نوردشده، تیرورق‌ها و تیرها با ورق تقویتی بال به‌طور کلی برمبنای سطح مقطع کلی تعیین می‌شوند.

ب) اثر سوراخ در بال تیرها

در صورت وجود سوراخ در بال تیرها، در محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی (M_n) در محدودهٔ سوراخ‌ها باید محدودیت‌های گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود.

در صورت برقراری رابطهٔ زیر، هیچ‌گونه محدودیتی در محاسبه مقاومت خمشی اسمی، M_n ، به‌خاطر گسیختگی بال کششی در نظر گرفته نمی‌شود.

$$F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۸)$$

که در آن:

A_{fg}= سطح مقطع کلی بال کششی

A_{fn}= سطح مقطع خالص بال کششی که براساس فصل (۱۰ ـ ۲ ـ ۳) محاسبه می‌شود.

F_u= تنش نهایی کششی فولاد

F_y= تنش تسلیم فولاد

Y_t= ضریب تأثیر سوراخ که برابر یک است، در صورتی‌که $\frac{F_y}{F_u} \leq ۰/۸$ باشد و برابر ۱/۱ است، در صورتی‌که $\frac{F_y}{F_u} > ۰/۸$ باشد.

در صورت عدم برقراری رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶۸)، در محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی، M_n ،

در محدودهٔ سوراخ باید محدودیت زیر به‌خاطر گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود.

$$M_n \le \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x \qquad (۶۹ _ ۵ _ ۲ _ ۱۰)$$

که در آن S_x اساس الاستیک مقطع است.

پ) تقویت بال‌ها

بال تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها را می‌توان به‌کمک ورق‌های تقویتی بال، تقویت نمود.

مجموع مساحت‌های ورق‌های تقویتی در تیرهای تقویت‌شده با ورق، نباید از ۷۰ درصد مساحت مقطع کل بال (شامل ورق‌های تقویت) تجاوز نماید.

ت) اتصال بال به‌جان

پیچ‌های پرمقاومت، پرچ‌ها، و جوش‌های اتصال‌دهندهٔ بال به‌جان و ورق تقویتی به‌بال باید بر مبنای برش افقی ناشی از تغییرات لنگر خمشی تیر طراحی شوند. توزیع طولی پیچ‌ها، پرچ‌ها و جوش‌های منقطع باید متناسب با نیروی برشی باشد. لیکن فاصلهٔ آنها نباید از حداقل مقادیر $24\,t$ ، $300\,mm$ و یا $0/75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ تجاوز نماید. (t ضخامت ورق جان یا بال، هر کدام که کوچکترند، می‌باشد).

این پیچ‌ها، پرچ‌ها و جوش‌ها باید برای انتقال هر نیرویی که مستقیماً از طریق بال به‌جان منتقل می‌شود، طراحی گردند، مگراینکه این نیرو به‌طریقی دیگر به‌جان انتقال یابد.

ث) قطع ورق‌های تقویتی بال‌ها

ورق‌های تقویتی که در تمام طول دهانه ادامه ندارند، باید بعد از نقطهٔ قطع محاسباتی به‌طول مشخصی ادامه یافته و در این طول توسط پیچ‌های پرمقاومت اصطکاکی، پرچ و یا جوش‌گوشه به‌بال متصل شوند. به‌این طول، طول گیرایی می‌گویند.

اتصال ورق در طول گیرایی باید برای انتقال برش افقی ناشی از مقاومت خمشی تیر

در نقطهٔ قطع محاسباتی ورق (مساحت ورق تقویت × تنش تسلیم فولاد) در حد مقاومت نظیر اتصال، کافی باشد.

حداقل طول گیرایی، a ، که از انتهای ورق اندازه‌گیری می‌شود، به‌شرح زیر در نظر گرفته شود:

۱. پهنای ورق تقویتی، در حالتی که جوش اتصال ورق تقویتی به‌تیر در طول a ، پیوسته و بعد ساق آن حداقل سه‌چهارم ضخامت ورق تقویتی باشد و در دو لبه کناری ورق تقویتی و در لبه انتهای ورق اجرا شود.

۲. یک و نیم برابر پهنای ورق تقویتی، در حالتی که بعد جوش پیوسته به‌طول a در دو لبه کناری ورق و در انتهای آن کمتر از سه‌چهارم ضخامت ورق تقویتی باشد.

۳. دو برابر پهنای ورق تقویتی، در حالتی که جوش پیوسته به‌طول a فقط در دو لبه کناری ورق وجود دارد و در لبه انتهایی جوش اجرا نمی‌شود.

ج) محدودیت تیرهای I شکل با یک محور تقارن

تیرهای I شکل که دارای یک محور تقارن هستند، باید محدودیت زیر را ارضاء نمایند.

$$۰/۱ \le \frac{I_{yc}}{I_y} \le ۰/۹ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷۰)$$

I_y= ممان اینرسی مقطع کل حول محور y

I_{yc}= ممان اینرسی بال فشاری حول محور y در حالت انحنای ساده و ممان اینرسی بال کوچکتر حول محور y در حالت انحنای مضاعف.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ طراحی اعضا برای برش

این بخش مربوط است به:

- طراحی جان تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها با مقطع متقارن یک‌محوره و دومحوره که تحت اثر برش در صفحه جان قرار دارند.
- طراحی برای برش نبشی‌های تک و مقاطع توخالی نظیر مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل
- طراحی برای برش تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها با مقطع متقارن یک‌محوره و دومحوره که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف قرار دارند.

تبصره : برای محاسبهٔ مقاومت برشی اجزای اتصال و همچنین برش چشمهٔ اتصال جان ستون به‌بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ مراجعه شود.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد :

- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱) مقررات عمومی
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲) مقاومت برشی اعضا بدون توجه به‌عمل میدان کششی.

- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳) مقاومت برشی اعضا با توجه به‌عمل میدان کششی.
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۴) مقاومت برشی نبشی‌های تک
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۵) مقاومت برشی مقاطع قوطی
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۶) مقاومت برشی مقاطع لوله‌ای
- بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۷) مقاومت برشی مقاطع که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف قرار دارند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱ مقررات عمومی

در این بخش برای طراحی برشی دو روش ارایه گردیده است. در روش اول مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲) برای محاسبهٔ مقاومت برشی اعضا از عمل میدان کششی استفاده نمی‌شود. اما در روش دوم مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳) برای محاسبهٔ مقاومت برشی اعضا از عمل میدان کششی استفاده می‌شود.

مقاومت برشی طرح مساوی $\phi_v V_n$ می‌باشد که در آن V_n مقاومت برشی اسمی و ϕ_v ضریب تقلیل مقاومت برشی می‌باشد.

ضریب ϕ_v در کلیه ضوابط این فصل برابر ۰/۹ بوده به‌جز در مورد بند (۱۰ـ۲ـ۶ ـ ۲ـ۱) حالت (الف) که مقدار آن باید ۱ در نظر گرفته شود.

مقاومت برشی اسمی نیز به‌شرح بندهای زیر تعیین می‌گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ مقاومت برشی اعضا بدون توجه به‌عمل میدان کششی

این بند مربوط است به‌مقاومت برشی اسمی تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها با مقطع متقارن یک‌محوره و دومحوره که تحت اثر برش در صفحهٔ جان قرار دارند. ناودانی‌هایی که تحت اثر برش در صفحهٔ جان قرار دارند نیز براساس مقررات این بند محاسبه می‌شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ مقاومت برشی اسمی

مقاومت برشی اسمی، V_n ، مقاطع با جان سخت‌نشده و سخت‌شده براساس حالت حدی تسلیم برشی و کمانش برشی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود*.

$$V_n = ۰/۶ F_y A_w C_v \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱)$$

که در آن:

F_y= تنش تسلیم فولاد جان

A_w= مساحت اسمی جان که در نیمرخ‌های نوردشده به‌صورت حاصل‌ضرب ارتفاع کلی مقطع، d ، در ضخامت جان، t_w ، تعریف می‌شود. در تیرورق‌ها مساوی مساحت ورق جان می‌باشد.

C_v= نسبت تنش کمانش برشی جان به‌تنش تسلیم برشی فولاد جان می‌باشد و از روابط زیر به‌دست می‌آید.

الف) برای جان مقاطع I شکل نوردشده و با نسبت $\frac{h}{t_w} \le ۲/۲۴\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ، C_v از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\phi_v = ۱$$
$$C_v = ۱ \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲)$$

ب) برای جان سایر مقاطع به‌استثنای مقاطع لوله‌ای، C_v از روابط زیر محاسبه می‌شود:

ب ـ ۱) در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} \le ۱/۱\sqrt{\frac{K_v E}{F_y}}$ باشد :

$$C_v = ۱ \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۳)$$

* مقاومت برشی اسمی V_n مقاطع با جان سخت‌نشده (بدون سخت‌کننده) در تمام حالات از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$V_n = \frac{۳E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^۲} A_w \le ۰/۶ F_y A_w$$

ب ـ ۲) در صورتی‌که $۱/۱\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \le ۱/۳۷\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}}$ باشد :

$$C_v = \frac{۱/۱\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}}}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۴)$$

ب ـ ۳) در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} > ۱/۳۷\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}}$ باشد :

$$C_v = \frac{۱/۵۱EK_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^۲ F_y} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۵)$$

در روابط فوق، K_v ضریب کمانش برشی ورق جان بوده و از روابط زیر به‌دست می‌آید:

۱. برای جان بدون سخت‌کنندهٔ عرضی با $\frac{h}{t_w} < ۲۶۰$ ، $K_v = ۵$ می‌باشد. به‌استثنای جان مقاطع سپری که در آن $K_v = ۱/۲$ است.

۲. برای جان با سخت‌کننده‌های عرضی:

$$K_v = ۵ + \frac{۵}{\left(\frac{a}{h}\right)^۲} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۶)$$

تبصره : اگر $\frac{a}{h}$ از ۳ یا $\left[\frac{۲۶۰}{(\frac{h}{t_w})}\right]^۲$ تجاوز نماید، مقدار K_v برابر ۵ در نظر گرفته می‌شود.

در روابط فوق:

t_w= ضخامت جان

a= فاصلهٔ خالص بین سخت‌کننده‌های عرضی جان

h= برای تیرهای نوردشده مساوی فاصلهٔ خالص بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال بال به‌جان

= برای تیرورق‌های جوشی مساوی فاصلهٔ خالص بین دو بال

= برای تیرورق‌های پیچی یا پرچی فاصله بین خطوط پیچ یا پرچ

= برای مقاطع سپری مساوی ارتفاع کلی مقطع

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲ سخت‌کننده‌های عرضی

سخت‌کننده‌های عرضی، ورق‌هایی هستند که به‌صورت تیغه قائم و در فواصل a عمود بر ورق جان درحد فاصل دو بال قرار داده می‌شوند.

در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} \le ۲/۴۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ بوده و یا تنش برشی متوسط جان در کلیه ترکیبات بارگذاری کوچکتر یا مساوی V_n محاسبه شده طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ ب با فرض K_v = ۵ باشد احتیاجی به‌سخت‌کننده‌های عرضی نخواهیم داشت.

در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} \ge ۲۶۰$ بوده و یا نیاز به‌مقاومت برشی بیشتر بدون افزایش ضخامت جان باشد، باید از سخت‌کننده عرضی جان با رعایت محدودیت‌های زیر استفاده نمود.

الف: ممان اینرسی (I_{st}) در قطعات سخت‌کننده جفت نسبت به‌محور مرکزی جان و یا ممان اینرسی (I_{st}) در قطعات سخت‌کننده تک نسبت به‌محل تماس سخت‌کننده با ورق جان باید در رابطهٔ زیر صدق نماید. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱)

$$I_{st} \ge at_w^۳ J \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۷)$$

که در آن:

$$J = \frac{۲/۵}{\left(\frac{a}{h}\right)^۲} - ۲ \ge ۰/۵ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۸)$$

a و t_w در قبل تعریف شده است.

ب: سخت‌کننده‌ها به‌صورت تک یا جفت باید به‌بال فشاری متصل (جوش) گردند.

پ: در صورتی‌که به‌عمل تماس مستقیم بین قطعهٔ سخت‌کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی، احتیاج نباشد، می‌توان سخت‌کننده را به‌بال کششی جوش نداد. در صورت جوش سخت‌کننده به‌بال کششی و وجود بارهای متغیر دینامیکی، باید اثرات خستگی مورد توجه قرار گیرد.

$$I_{st} = \frac{(2b + t_w)^3 t}{12} \cong \frac{2}{3} b^3 t \qquad I_{st} = \frac{1}{3} b^3 t$$

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱ مقطع سخت‌کننده‌های عرضی.

ت: در صورت عدم جوشکاری سخت‌کننده به‌بال کششی، جوش‌هایی که قطعهٔ سخت‌کننده را به‌جان تیر وصل می‌کنند باید در فاصله‌ای نه کمتر از ۴ برابر و نه دورتر از ۶ برابر ضخامت جان از بر جوش اتصال جان و بال کششی ختم شوند.

ث: هرگاه مهارهای افقی به‌سخت‌کننده‌های تک یا جفت متصل باشند، باید اتصال سخت‌کننده‌ها به‌بال فشاری به‌نحوی باشد که بتواند یک درصد کل نیروی بال فشاری را منتقل نماید، مگر اینکه بال فشاری فقط از نبشی تشکیل شده باشد.

ج: فاصلهٔ مرکز به‌مرکز پیچ‌هایی که سخت‌کننده‌ها را به‌جان تیر وصل می‌کنند، نباید از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. چنانچه برای اتصال سخت‌کننده‌ها به‌جان تیر از جوش‌های گوشه منقطع استفاده شود، باید فواصل بین جوش‌ها از ۱۶ برابر ضخامت جان یا ۲۵۰ میلی‌متر، هر کدام کمتر است، تجاوز ننماید.

چ: نسبت پهنا به‌ضخامت سخت‌کننده (b/t) باید شرایط حالت ۳ از جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ را اقناع نماید.

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} \le ۰/۵۶\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۹)$$

ح: قطعات سخت‌کننده باید به‌جان تیر اتصال کافی داشته باشد. در صورت عدم وجود نیروهای متمرکز، اتصال سخت‌کننده‌های عرضی به‌جان تیر باید برای نیروی برشی حداقل برابر مقدار رابطهٔ زیر محاسبه شود:

$$f_{vs} = ۱/۶\,h\sqrt{\left(\frac{۱۵۰۰F_y}{E}\right)^۳} \qquad (۱۰ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

f_{vs} = نیروی برشی در واحد طول اتصال سخت‌کننده به‌جان

F_y = تنش تسلیم فولاد جان

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ مقاومت برشی اعضا با توجه به‌عمل میدان کششی

در حالتی که قطعات سخت‌کنندهٔ عرضی مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲) تعبیه شود، می‌توان از عمل میدان کششی برای محاسبهٔ مقاومت برشی اعضا استفاده نمود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌های استفاده از عمل میدان کششی

به‌طور کلی استفاده از عمل میدان کششی برای حالت‌های زیر مجاز نمی‌باشد.

(الف) در چشمه‌های دو انتهای تیر،

(ب) درچشمه‌هایی که دارای بازشو هستند،

(پ) در چشمه‌های مجاور چشمه‌ای که بازشو دارد،

(ت) در اعضایی که $\frac{a}{h} > ۳$ و یا $\frac{a}{h} > \left[\frac{۲۶۰}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\right]^۲$ می‌باشد.

(ث) در اعضایی که $\frac{۲A_w}{A_{fc}+A_{ft}} > ۲/۵$ می‌باشد،

(ج) در اعضایی که $\frac{h}{b_{ft}} > ۶$ یا $\frac{h}{b_{fc}} > ۶$ باشد.

که در روابط مذکور داریم:

a= فاصلهٔ خالص بین سخت‌کننده‌های عرضی جان

h= مطابق تعریف بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱)

A_{fc}= سطح مقطع بال فشاری

A_{ft}= سطح مقطع بال کششی

b_{fc}= پهنای بال فشاری

b_{ft}= پهنای بال کششی

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲ مقاومت برشی اسمی با توجه به‌عمل میدان کششی

در صورت استفاده از عمل میدان کششی، مقاومت برشی اسمی، V_n، براساس حالت حدی تسلیم میدان کششی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف) اگر $\frac{h}{t_w} \le ۱/۱\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}}$ باشد در این صورت:

$$V_n = ۰/۶F_yA_w \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۱)$$

ب) اگر $\frac{h}{t_w} > ۱/۱\sqrt{K_v\frac{E}{F_y}}$ باشد، آنگاه:

$$V_n = ۰/۶F_yA_w\left(C_v + \frac{۱-C_v}{۱/۱۵\sqrt{۱+\left(\frac{a}{h}\right)^۲}}\right) \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۲)$$

که در آن مقادیر h ، t_w ، C_v و K_v مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ ب محاسبه می‌شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳ سخت‌کننده‌های عرضی

در صورت استفاده از عمل میدان کششی، سخت‌کننده‌های عرضی علاوه بر تأمین ضوابط بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲) باید محدودیت زیر را نیز برآورده نمایند.

$$A_{st} > \frac{F_y}{F_{yst}}\left[0/15 D_s\, ht_w (1 - C_v)\frac{V_r}{V_c} - 18 t_w^2\right] \geq 0 \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۳)$$

که در آن:

F_{yst}= تنش تسلیم فولاد سخت‌کننده

F_y= تنش تسلیم فولاد جان

C_v= مطابق تعریف بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱)

D_s= ۱ برای سخت‌کننده‌های زوج

= ۱/۸ برای سخت‌کننده‌های تک از نبشی

= ۲/۴ برای سخت‌کننده‌های تک از ورق

V_r= مقاومت برشی مورد نیاز در محل سخت‌کننده تحت اثر بارهای ضریبدار

V_c= مقاومت برشی طرح مساوی $\phi_v V_n$

ϕ_v= ضریب تقلیل مقاومت برشی

V_n= مقاومت برشی اسمی مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲)

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۴ مقاومت برشی نبشی‌های تک

مقاومت برشی اسمی، V_n ، برای نبشی‌های تک مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱) محاسبه می‌شود که در آن باید C_v=۱ ، K_v=۱/۲ و A_w=bt (b پهنای ساق نبشی و t ضخامت ساق نبشی) در نظر گرفته شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۵ مقاومت برشی مقاطع قوطی‌شکل

مقاومت برشی اسمی، V_n، برای این مقاطع مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱) محاسبه می‌شود که در آن، $K_v = ۵$ و $A_w = ۲ht_w$ در نظر گرفته شود که در آنها:

t_w= ضخامت جان*

h= برای مقاطع نوردشده، فاصلهٔ خالص بین دو بال منهای شعاع انحنای بین بال و جان در هر طرف. در صورت مشخص نبودن شعاع انحنا برای محاسبهٔ h می‌توان ابعاد کلی (بیرونی) منهای سه برابر ضخامت بال را در محاسبات منظور نمود.

= برای مقاطع جوشی ساخته شده از ورق، h فاصلهٔ خالص بین دو بال می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۶ مقاومت برشی مقاطع لوله‌ای

مقاومت برشی اسمی، V_n، برای مقاطع لوله‌ای براساس حالت حدی تسلیم برشی و کمانش برشی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_n = \frac{۱}{۲} F_{cr} A_g \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۴)$$

که در آن F_{cr} بزرگترین مقدار به‌دست آمده ازروابط زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$F_{cr} = \frac{۱/۶E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{۵}{۴}}} \le ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۵)$$

و

$$F_{cr} = \frac{۰/۷۸E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{۳}{۲}}} \le ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۶)$$

* منظور از جان مقاطع قوطی‌شکل، اجزایی می‌باشند که موازی نیروی برشی مورد نظر بوده و آن را تحمل می نمایند.

در روابط فوق:

A_g= سطح مقطع کلی لوله

D= قطر خارجی لوله

L_v= فاصلهٔ بین نیروی برشی حداکثر تا نیروی برشی صفر در طول عضو

t= ضخامت مقطع لوله

تبصره: روابط کمانشی ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۵ و ۱۶، برای مقاطع با $\frac{D}{t}>۱۰۰$ ، فولاد پرمقاومت و یا دهانه‌های بزرگ کنترل‌کننده هستند. مقاومت برشی مقاطع لوله‌ای استاندارد براساس حالت حدی تسلیم طبق رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

$$\left[V_n=\frac{۱}{۲}(۰/۶F_y A_g)\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱۷)$$

۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۷ مقاومت برشی مقاطع با یک یا دو محور تقارن که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف قرار دارند

مقاومت برشی اسمی، V_n، در این نوع مقاطع در صورتی‌که تحت اثر پیچش قرار نداشته باشند، با استفاده از رابطهٔ ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۱ و بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ ـ ب با فرض $A_w = b_f\ t_f$ و $K_v = ۱$ تعیین می‌شود که در آن b_f عرض بال و t_f ضخامت بال می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

این بخش به‌طراحی اعضای منشوری تحت اثر همزمان نیروی محوری (فشاری و یا کششی)، و لنگر خمشی حول یک یا دو محور مربوط می‌شود.

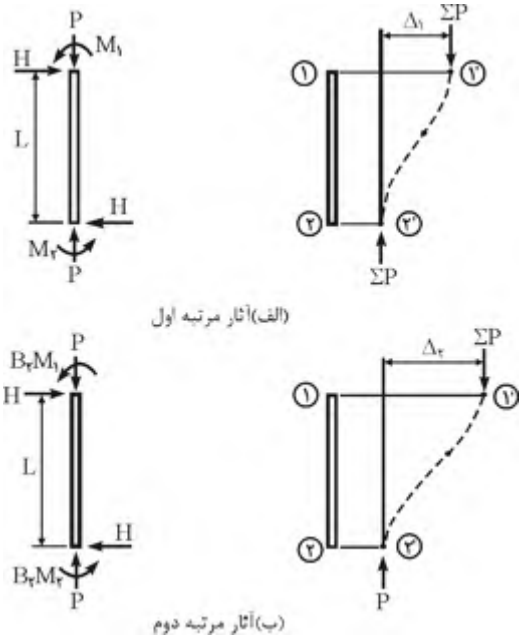
مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد.

- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ آثار مرتبه دوم ـ لنگر ثانوی
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ ـ اعضا با مقطعی با یک و یا دو محور تقارن تحت اثر توأم فشار محوری و لنگر خمشی
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ ـ اعضا با مقطعی با یک و یا دو محور تقارن تحت اثر توأم کشش محوری و لنگر خمشی

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ آثار مرتبه دوم ـ لنگر ثانوی

در طراحی اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی باید اثرات مرتبه دوم ناشی از تغییرشکل‌های جانبی عضو در نظر گرفته شود.

اثر مرتبه دوم، به‌وجود آمدن لنگر خمشی ثانوی ناشی از بارهای محوری به‌علت تغییرشکل‌های جانبی عضو می‌باشد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱).



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ آثار مرتبه اول و آثار مرتبه دوم.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱ طبقهٔ مهارشدهٔ جانبی

طبقهٔ مهارشده به‌طبقه‌ای اطلاق می‌شود که تغییرمکان جانبی نسبی آن ناچیز باشد. چنانچه شاخص پایداری طبقه که نسبت لنگر ثانوی به‌لنگر اولیه می‌باشد و از رابطهٔ ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ تعیین می‌گردد، کوچکتر از ۰/۰۵ باشد، طبقه مهارشدهٔ جانبی تلقی می‌شود. در این حالت تمام قطعات فشاری واقع در این طبقه اصطلاحاً مهارشده نامیده می‌شوند.

$$\theta_i = \frac{(\Sigma P)\Delta_H}{HL} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱)$$

که در آن:

ΣP=مجموع نیروهای محوری نهایی (ضریبدار) ستون‌های یک طبقه بر پایه تحلیل مرتبهٔ اول

H= نیروی برشی نهایی (ضریبدار) طبقه

Δ_H = تغییرمکان جانبی طبقه نسبت به‌طبقهٔ زیرین، متناظر با نیروهای فوق

L= ارتفاع طبقه

در صورتی‌که شاخص پایداری طبقه از θ_{max} بیشتر باشد، سازه در طبقهٔ مورد نظر ناپایدار محسوب شده و باید در طراحی آن تجدید نظر کرد.*

$$\theta_{max} = ۰/۲۵ \qquad (۲ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۲ تعیین اثر لنگر ثانوی

اثرات لنگر ثانوی باید براساس یکی از روش‌های بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۳ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۴ در نظر گرفته شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۳ تحلیل ارتجاعی مرتبه دوم (تحلیل غیرخطی هندسی)

در این روش نیروهای داخلی نهایی اعضا بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی مرتبهٔ دوم (تحلیل غیرخطی هندسی) با در نظر گرفتن اثرات توأم $P-\Delta$ و $P-\delta$ تعیین می‌گردد (شکل ۱۰ـ۲ـ۷ـ۲).

Δ = تغییرمکان جانبی نسبی دو انتهای عضو

δ = حداکثر تغییرمکان نسبت به‌خط واصل دو انتها

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ اثرات $P-\Delta$ و $P-\delta$ در تیرستون‌ها.

* در صورتی‌که نیروی جانبی زلزله باشد، باید θ_{max} براساس آیین‌نامهٔ زلزلهٔ مربوطه ملحوظ گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۴ روش تشدید لنگرهای خمشی

در این روش آثار لنگر ثانوی در سازه با استفاده از ضرایب تشدید نیروها و لنگرهای خمشی برای اعضا و اتصالات بر پایه تحلیل ارتجاعی خطی (مرتبه اول) به‌شرح زیر محاسبه می‌گردد:

الف) طبقات مهارشده

در اعضای فشاری طبقات مهارشده، لنگر خمشی تشدیدیافتهٔ M_r از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$M_r = B_۱ M_۲ \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۳)$$

$M_۲$ = لنگر خمشی حداکثر در انتهای عضو فشاری

ب) طبقات مهارنشده

در اعضای فشاری طبقات مهارنشده، لنگر خمشی تشدیدیافتهٔ M_r و نیروی محوری تشدیدیافتهٔ P_r با استفاده از روابط زیر تعیین می‌گردد.

$$M_r = B_۱ M_{nt} + B_۲ M_{\ell t} \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۴)$$

$$P_r = P_{nt} + B_۲ P_{\ell t} \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۵)$$

که در روابط فوق:

$$B_۱ = \frac{C_m}{\left(۱ - \frac{\alpha P}{P_{e۱}}\right)} \geq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۶)$$

$(P = P_{nt} + P_{\ell t})$

$$B_۲ = \frac{۱}{\left(۱ - \frac{\alpha \Sigma P_{nt}}{\Sigma P_{e۲}}\right)} \geq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۷ ـ ۲ ـ ۷)$$

که در آن:

M_r = لنگر خمشی تشدیدیافته (مقاومت خمشی مورد نیاز)

M_{nt} = لنگر خمشی نهایی با فرض عدم انتقال جانبی در قاب بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی مرتبه اول

$M_{\ell t}$ = لنگر خمشی نهایی به‌علت انتقال جانبی قاب برپایهٔ تحلیل ارتجاعی مرتبه اول

P_r = نیروی محوری نهایی تشدیدیافته (مقاومت محوری مورد نیاز)

P_{nt} = نیروی محوری نهایی همراه با لنگر M_{nt} ، با فرض عدم انتقال جانبی در قاب بر پایه تحلیل ارتجاعی مرتبه اول

$P_{\ell t}$ = نیروی محوری نهایی همراه با لنگر $M_{\ell t}$ ، به‌علت انتقال جانبی در قاب برپایه تحلیل ارتجاعی مرتبه اول

$B_۱$ = ضریب تشدید لنگر برای در نظر گرفتن اثر $P-\delta$

$B_۲$ = ضریب تشدید لنگر برای در نظر گرفتن اثر $P-\Delta$

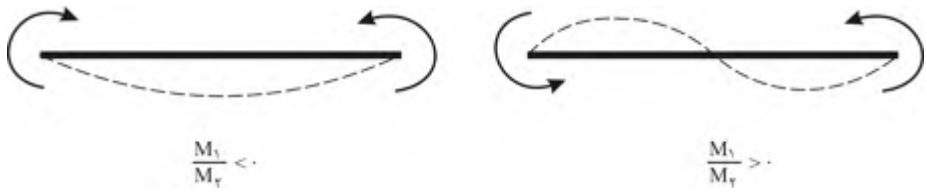
C_m = ضریب هم‌مکانی لنگر حداکثر ناشی از تحلیل مرتبه اول با لنگر ثانوی در اعضای بدون انتقال جانبی دو انتها که به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$\alpha = ۱$

۱. برای اعضای فشاری بدون انتقال جانبی دو انتها و بدون بار جانبی در صفحهٔ خمش

$$C_m = ۰/۶ - ۰/۴\frac{M_۱}{M_۲} \geq ۰/۴ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۸)$$

که در آن $\frac{M_۱}{M_۲}$ نسبت لنگر انتهایی کوچکتر به‌لنگر انتهایی بزرگتر عضو در صفحهٔ خمش مورد نظر است. در صورتی‌که انحنای عضو به‌علت دو لنگر فوق، ساده باشد، این نسبت منفی و در صورتی‌که انحنای عضو مضاعف باشد، این نسبت مثبت است.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ انحنای ساده و مضاعف.

۲. برای اعضای فشاری تحت بار جانبی بین تکیه‌گاه‌ها در صفحهٔ خمش، مقدار C_m را می‌توان بر پایهٔ تحلیل منطقی محاسبه نمود. در غیر این‌صورت به‌طور محافظه‌کارانه مقدار آن مساوی یک در نظر گرفته می‌شود.

$P_{e۱}$ = بار کمانش بحرانی عضو با فرض عدم انتقال جانبی در قاب و مقدار آن از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد :

$$P_{e۱} = \frac{\pi^۲ EI}{(K_۱ L)^۲} \qquad (۹ _ ۷ _ ۲ _ ۱۰)$$

$\Sigma P_{e۲}$ = بار کمانش بحرانی ستون‌های یک طبقه با در نظر گرفتن آثار انتقال جانبی در قاب و مقدار آن به‌صورت زیر قابل محاسبه است :

ـ در حالت کلی، برای کلیه سیستم‌های مقاوم در مقابل بارهای جانبی $\Sigma P_{e۲}$ را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه نمود:

$$\Sigma P_{e۲} = R_M \frac{(\Sigma H) L}{\Delta_H} \qquad (۱۰ _ ۷ _ ۲ _ ۱۰)$$

ـ چنانچه سیستم مقاوم در مقابل بارهای جانبی، قاب خمشی تنها باشد $\Sigma P_{e۲}$ را می‌توان از رابطهٔ زیر محاسبه نمود:

$$\Sigma P_{e۲} = \sum \frac{\pi^۲ EI}{(K_۲ L)^۲} \qquad (۱۱ _ ۷ _ ۲ _ ۱۰)$$

در روابط فوق:

E = مدول ارتجاعی فولاد

I = ممان اینرسی در صفحه خمش

$K_۱$ = ضریب طول مؤثر در صفحه خمش با فرض عدم انتقال جانبی در قاب که مقدار آن را به‌طور محافظه‌کارانه می‌توان برابر یک در نظر گرفت.

$K_۲$= ضریب طول مؤثر در صفحه خمش بدون آنکه ممانعتی در مقابل انتقال جانبی قاب صورت گرفته باشد. ضریب $K_۲$ به‌نوع سیستم سازه‌ای بستگی دارد و براساس بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱ ، ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳ قابل محاسبه است.

L = ارتفاع طبقه

R_M = ضریبی است که به‌نوع سیستم سازه‌ای بستگی دارد و مقدار آن برای قاب‌های مهارشده برابر یک و برای قاب‌های خمشی و سیستم‌های ترکیبی برابر ۰/۸۵ می‌باشد.

Δ_H = تغییرمکان نسبی طبقه بر پایهٔ تحلیل مرتبهٔ اول. در صورتی‌که مقدار Δ_H برای قاب‌های مختلف در پلان طبقه، متفاوت باشد، باید از متوسط وزنی Δ_H براساس بارهای قائم قاب‌ها و یا از حداکثر Δ_H استفاده شود.

ΣH = برش طبقه به‌علت بارهای جانبی که برای محاسبهٔ Δ_H به‌کار رفته است.

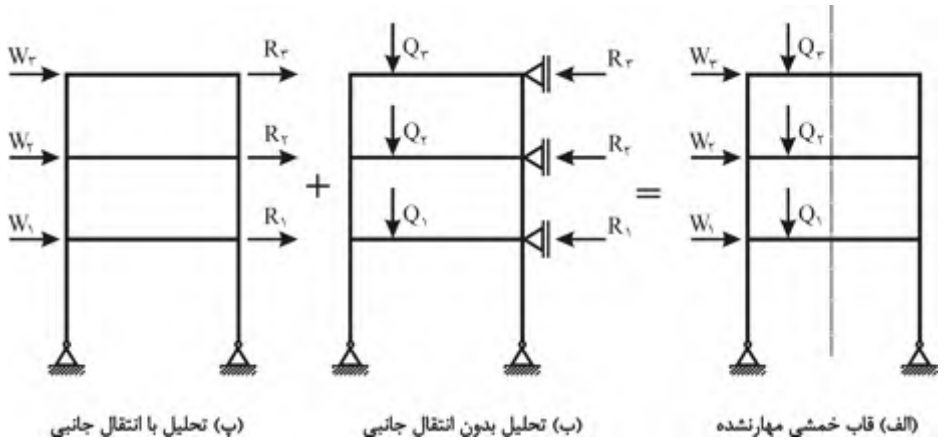
α = ضریبی که در طراحی به‌روش مقاومت نهایی، مقدار آن مساوی واحد است.

تبصره ۱ : برای اعضایی که در آنها $B_1 \leq 1/05$ است، می‌توان به‌طور محافظه‌کارانه لنگر خمشی تشدیدیافتهٔ، M_r ، را فقط براساس ضریب تشدید B_2 محاسبه نمود. به عبارت دیگر $M_r = B_2 (M_{nt} + M_{\ell t})$ خواهد بود.

تبصره ۲ : M_{nt} و P_{nt} لنگر خمشی و نیروی محوری ناشی از بارهای قائم می‌باشند که از تحلیل مرتبه اول قاب با فرض عدم انتقال جانبی در قاب خمشی مهارنشده به‌دست می‌آیند. باید توجه داشت که اگر قاب و بارگذاری قائم هر دو متقارن باشند، در هنگام تحلیل هیچ‌گونه تغییرمکان جانبی نخواهیم داشت و نیازی به‌ممانعت از تغییرمکان جانبی قاب در هنگام تحلیل نداریم. اما اگر بارگذاری و یا قاب متقارن نباشند، در هنگام تحلیل برای بارهای قائم، انتقال جانبی برای قاب وجود دارد. در نتیجه تحلیل قاب باید در دو مرحله صورت گیرد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ ـ الف).

۱ ـ حالت ممانعت‌شده (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ ـ ب).

۲ ـ حالتی که واکنش‌های تکیه‌گاهی افقی به‌همراه بار جانبی بر سازه اثر داده می‌شوند (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ ـ پ).



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ تحلیل قاب بدون و با انتقال جانبی.

در صورتی‌که بارگذاری قائم تغییرمکان جانبی قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد، می‌توان از انجام تحلیل‌های شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴صرف‌نظر نمود و M_{nt} را از تحلیل قاب برای بارهای قائم و $M_{n\ell}$ را از تحلیل قاب برای بارهای جانبی تعیین نمود.

توجه به‌این نکته ضروری است که تحلیل کامپیوتری الاستیک غیرخطی هندسی با ملحوظ کردن اثرات $P-\Delta$ و $P-\delta$ (بند ۱۰ـ۲ـ ۷ ـ ۱ ـ ۳) ، نیازی به‌این ملاحظات ندارد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۵ طراحی اعضا با لحاظ کردن آثار مرتبه دوم

در طراحی اعضا بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی مرتبه دوم باید نکات زیر در نظر گرفته شود:

۱. مقاومت مورد نیاز اعضا باید براساس یکی از بندهای (۱۰ـ۲ـ۷ـ۱ـ۳) و (۱۰ـ۲ـ۷ـ۱ـ۴) محاسبه شود.

۲. در کلیه ترکیبات بارگذاری که فقط شامل بارهای ثقلی هستند، باید یک نیروی جانبی حداقل معادل $۰/۰۰۲Y_i$ در تراز طبقات اعمال شود، که در آن Y_i بار ثقلی ضریبدار اعمال شده در تراز i ام می‌باشد. این بار جانبی باید در دو امتداد اصلی ساختمان و به‌طور مجزا در نظر گرفته شود. اعمال این نیروی جانبی برای ملحوظ کردن خطاهای اجرایی است.

۳. در صورتی‌که نسبت تغییرمکان نسبی طبقه، حاصل از تحلیل ارتجاعی مرتبه دوم به‌تغییرمکان نسبی طبقه، حاصل از تحلیل ارتجاعی مرتبه اول کوچکتر یا مساوی ۱/۱ باشد، طراحی اعضا می‌تواند براساس $K = ۱/۰$ صورت گیرد. در غیر این‌صورت ضریب طول مؤثر K باید براساس بندهای (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ ۳) محاسبه شود. در این خصوص می‌توان از معیار شاخص طبقه (بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۱) نیز استفاده نمود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۶ طراحی اعضا بدون لحاظ کردن آثار مرتبه دوم

در صورتی‌که تمام شرایط زیر برقرار باشد مقاومت‌های مورد نیاز اعضا می‌تواند بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی مرتبه اول (بدون تشدید لنگر) محاسبه شود. علاوه بر آن در طراحی اعضا می‌توان ضریب طول مؤثر K را برای کلیه اعضا مساوی واحد منظور کرد.

۱. تحت بارهای طراحی، مقاومت فشاری مورد نیاز P_r از $۰/۵P_y$ تجاوز ننماید، که در آن P_y مقاومت تسلیم محوری عضو $(P_y = AF_y)$ می‌باشد.

۲. کلیه ترکیبات بارگذاری باید شامل یک بار جانبی اضافی، N_i ، در ترکیب با سایر بارها در هر تراز ساختمان باشد. این بار جانبی باید در دو امتداد اصلی ساختمان و به‌طور مجزا در نظر گرفته شود.

$$N_i = ۲/۱\left(\frac{\Delta}{L}\right)Y_i \geq ۰/۰۰۴۲Y_i \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۲)$$

که در آن:

Y_i = بار ثقلی ضریبدار اعمال‌شده به‌تراز i ام

$\frac{\Delta}{L}$ = حداکثر نسبت Δ به L در طبقات ساختمان

Δ = تغییرمکان نسبی طبقات در ترکیبات بارگذاری مختلف

L = ارتفاع طبقه

۳. لنگر نهایی کل در عضو، در ترکیبات مختلف بارگذاری با ضریب B_1 تشدید شده باشد یعنی:

$$M_r = B_1 (M_{nt} + M_{\ell t}) \qquad (۱۰ - ۲ - ۷ - ۱۳)$$

که در آن کلیه پارامترها مطابق بند (۱۰ ـ۲ ـ ۷ ـ ۱ ـ ۴) تعریف شده‌اند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ اعضا با مقطعی با یک و یا دو محور تقارن تحت اثر توأم فشار محوری و خمش

اثر توأم فشار محوری و خمش حول یک یا هر دومحور x و y در اعضای با مقطع دارای دومحور تقارن و یا یک محور تقارن با محدودیت $۰/۱ \le \frac{I_{yc}}{I_y} \le ۰/۹$ (بند ۱۰ـ۲ـ ۵ ـ۱۲ـ۴ـ ج که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف y می‌باشد)، براساس روابط (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۴) و (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۵) تعیین می‌گردد.

االف) در صورتی‌که $\frac{P_r}{\phi_c P_n} \ge ۰/۲$ باشد :

$$\frac{P_r}{\phi_c P_n} + \frac{۸}{۹}\left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}}\right) \le ۱/۰ \qquad (۱۰ - ۲ - ۷ - ۱۴)$$

ب) در صورتی‌که $\frac{P_r}{\phi_c P_n} < ۰/۲$ باشد :

$$\frac{P_r}{۲\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}}\right) \le ۱/۰ \qquad (۱۰ - ۲ - ۷ - ۱۵)$$

که در آن:

P_r = مقاومت فشاری مورد نیاز

P_n = مقاومت فشاری اسمی مقطع (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۴)

ϕ_c = ضریب مقاومت در فشار، مساوی ۰/۹

M_{rx} = مقاومت خمشی مورد نیاز (تشدیدیافته) در حول محور x (محور قوی)

M_{ry} = مقاومت خمشی مورد نیاز (تشدیدیافته) حول محور y (محور ضعیف)

M_{nx} = مقاومت خمشی اسمی (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵) حول محور x (محور قوی)

M_{ny} = مقاومت خمشی اسمی (مطابق بخش ۱۰ـ۲ ـ ۵) حول محور y (محور ضعیف)

ϕ_b = ضریب مقاومت برای خمش، مساوی ۰/۹

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ اعضا با مقطعی با یک و یا دو محور تقارن تحت اثر توأم کشش محوری و خمش

اثر توأم کشش محوری و خمش حول یک یا هر دو محور x و y در اعضای با مقطع دارای یک و یا دو محور تقارن براساس روابط (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۶) و (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۵) تعیین می‌گردد :

الف) در صورتی‌که $\frac{P_r}{\phi_t P_n} \geq ۰/۲$ باشد :

$$\frac{P_r}{\phi_t P_n} + \frac{۸}{۹}\left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۶)$$

ب) درصورتی‌که $\frac{P_r}{\phi_t P_n} < ۰/۲$ باشد :

$$\frac{P_r}{۲\phi_t P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۷)$$

که در آن:

P_r = مقاومت کششی مورد نیاز

P_n = مقاومت کششی اسمی (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۳)

ϕ_t = ضریب مقاومت در کشش، (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۳)

M_{rx} = مقاومت خمشی مورد نیاز حول محور x (محور قوی)

M_{ry} = مقاومت خمشی مورد نیاز حول محور y (محور ضعیف)

M_{nx} = مقاومت خمشی اسمی (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵) حول محور x (محور قوی)

M_{ny} = مقاومت خمشی اسمی (مطابق بخش ۱۰ـ۲ـ ۵) حول محور y (محور ضعیف)

ϕ_b = ضریب مقاومت برای خمش، مساوی ۰/۹

تبصره : برای اعضا با دو محور تقارن و تحت اثر توأم کشش محوری و خمش، ضریب C_b در بخش (۱۰ ـ ۲ ـ ۵) می‌تواند با ضریب $\sqrt{1+\frac{P_r}{P_{ey}}}$ افزایش یابد که در آن P_{ey} از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است :

$$P_{ey}=\frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۸)$$

که در آن:

E = ضریب ارتجاعی فولاد

I_y = ممان اینرسی حول محور y

L_b = فاصله بین دو نقطهٔ مهارشدهٔ بال فشاری و یا دو نقطه‌ای که از پیچش مقطع جلوگیری شده است.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۴ اعضا با مقطعی با دو محور تقارن تحت اثر توأم فشار محوری و لنگر خمشی حول فقط یک محور

برای اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن تحت اثر توأم فشار محوری و لنگر خمشی حول یک محور، به‌جای روش ارایه شده در بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲، می‌توان دو حالت حدی کمانش در صفحهٔ خمش، و کمانش خارج از صفحه (یا کمانش خمشی ـ پیچشی) را به‌طور جداگانه مورد توجه قرار داد :

(الف) برای حالت حدی کمانش در صفحهٔ خمش، از رابطهٔ ۱۰ ـ۲ ـ ۷ ـ ۱۴ و ۱۵، با فرض محاسبهٔ P_n ، M_r و M_n در صفحهٔ خمش تعیین می‌گردد.

(ب) برای حالت حدی کمانش خارج از صفحه خمش

$$\frac{P_r}{\phi_c P_{no}}+\left(\frac{M_r}{\phi_b M_{nx}}\right)^{۲}\leq ۱ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۱۹)$$

که در آن :

P_{no} = مقاومت فشاری اسمی برای کمانش خارج از صفحه

M_{nx} = مقاومت خمشی ـ پیچشی اسمی برای خمش حول محور قوی که مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ محاسبه می‌شود.

اگر خمش فقط حول محور ضعیف رخ دهد، می‌توان از جملهٔ دوم رابطه ۱۰ـ۲ـ۷ ـ ۱۹ صرف‌نظر نمود.

برای اعضایی با لنگر دو محورهٔ قابل توجه ($M_r / \phi_b M_n \geq ۰/۰۵$ در هر دو امتداد)، باید مقررات بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۵ اعضا با مقطعی با محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

برای اعضا با مقاطعی که شرایط بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۳ را برآورده نمی‌سازند و تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی یک یا دومحوره قرار دارند، باید محدودیت رابطهٔ ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲۰ برآورده گردد :

$$\left|\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_{bw}}{F_{bw}}+\frac{f_{bz}}{F_{bz}}\right|\leq ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۷ ـ ۲۰)$$

که در آن:

f_a = نیروی محوری مورد نیاز (ضریبدار) تقسیم بر سطح مقطع کل

F_a = تنش طرح طبق بخش ۱۰ـ۲ـ ۴ برای اعضای فشاری و بخش ۱۰ـ۲ـ ۳ برای اعضای کششی

f_{bz} , f_{bw} = لنگر خمشی مورد نیاز (ضریبدار) تقسیم براساس مقطع مربوطه

F_{bz} , F_{bw} = مساوی $\phi_b M_n / S$ که M_n از روابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ به‌دست می‌آید.

w = اندیس مربوط به‌خمش حول محور حداکثر

z = اندیس مربوط به‌خمش حول محور حداقل

ϕ_c = مساوی ۰/۹

ϕ_b = مساوی ۰/۹

ϕ_t = مطابق فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۳

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ طراحی اعضا برای پیچش و نیروهای ترکیبی همراه با پیچش

این بخش مربوط به‌طراحی اعضای منشوری تحت اثر توأم لنگر پیچشی به‌همراه سایر نیروها می‌باشد.

مقررات این بخش به‌شرح زیر ارایه می‌گردند:

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۲ مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل تحت اثر توأم پیچش، برش، خمش و نیروی محوری

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۳ سایر مقاطع (غیر توخالی) تحت اثر توأم پیچش، برش، خمش و نیروی محوری

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۴ لنگر پیچشی تابیدگی

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل

مقاومت پیچشی طرح مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل مساوی $\phi_T T_n$ می‌باشد که در آن ϕ_T ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹ و T_n مقاومت پیچشی اسمی می‌باشد که براساس حالات

حدی تسلیم پیچشی و کمانش پیچشی با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$T_n = F_{cr}\, C \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱)$$

در رابطهٔ فوق C اساس پیچشی سن‌ونان و F_{cr} تنش کمانشی بحرانی می‌باشد که بر اساس بندهای زیر تعیین می‌گردند:

الف) مقاطع لوله‌ای

برای مقاطع لوله‌ای F_{cr} برابر بزرگترین مقدار محاسبه‌شده از روابط زیر می‌باشد ولی در هر حال نباید از $۰/۶F_y$ بزرگتر اختیار شود.

$$F_{cr۱} = \frac{۱/۲۳E}{\sqrt{\frac{L}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{۵}{۴}}} \le ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۲)$$

$$F_{cr۲} = \frac{۰/۶E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{۳}{۲}}} \le ۰/۶F_y \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۳)$$

که در آن:

L = طول عضو

D = قطر خارجی مقطع

t = ضخامت جدار لوله

C = اساس پیچشی سن‌ونان که برای مقاطع لوله‌ای به‌طور محافظه‌کارانه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$C = \frac{\pi(D-t)^{۲}\, t}{۲} \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۴)$$

ب) مقاطع قوطی‌شکل با مقطع مربع و یا مستطیل

برای مقاطع قوطی‌شکل F_{cr} برحسب مورد از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

ـ چنانچه $\frac{h}{t} \le ۲/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد :

$$F_{cr} = ۰/۶F_y \qquad (۵ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ـ چنانچه $۲/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \le ۳/۰۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد :

$$F_{cr} = ۰/۶F_y \left(۲/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) \Big/ \left(\frac{h}{t}\right) \qquad (۶ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

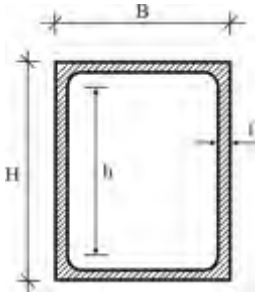
ـ چنانچه $۳/۰۷\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \le ۲۶۰$ باشد :

$$F_{cr} = \frac{۰/۴۵۸\pi^۲ E}{(h/t)^۲} \qquad (۷ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

C = اساس پیچشی سن‌ونان که برای مقاطع قوطی‌شکل به‌طور محافظه‌کارانه از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود :

$$C = ۲(B-t)(H-t)t - ۴/۵(۴-\pi)t^۳ \qquad (۸ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

سایر پارامترها مطابق شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ می‌باشد :



H = ضلع بزرگ

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱ مقطع قوطی‌شکل.

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۲ مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل تحت اثر توأم پیچش، برش، خمش و نیروی محوری

هرگاه مقاومت پیچشی مورد نیاز T_r کمتر از ۲۰ درصد مقاومت پیچشی طرح $\phi_T T_n$ باشد، در این صورت اثرات پیچش در ترکیب با خمش و نیروی محوری قابل صرف‌نظر بوده و اثر توأم خمش و نیروی محوری براساس بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ تعیین می‌گردد. اما چنانچه T_r بیشتر از ۲۰ درصد $\phi_T T_n$ باشد در این صورت اثر توأم پیچش، برش، خمش و نیروی محوری براساس رابطهٔ زیر تعیین می‌شود :

$$\left(\frac{P_r}{\phi_c P_n}+\frac{M_r}{\phi_b M_n}\right)^{۲}+\left(\frac{V_r}{\phi_v V_n}+\frac{T_r}{\phi_T T_n}\right)^{۲} \le ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۹)$$

که در آن :

P_r = مقاومت فشاری مورد نیاز

P_n = مقاومت فشاری اسمی مقطع (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۴) یا مقاومت کششی اسمی مقطع (طبق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۳)

ϕ_c = ضریب مقاومت در فشار، مساوی ۰/۹ و در کشش مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۳

M_r = مقاومت خمشی مورد نیاز

M_n = مقاومت خمشی اسمی (مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵)

ϕ_b = ضریب مقاومت در خمش مساوی ۰/۹

V_r = مقاومت برشی مورد نیاز

V_n = مقاومت برشی اسمی (طبق بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۶)

ϕ_v = ضریب مقاومت در برش (طبق فصل ۱۰ ـ ۲ ـ ۶)

T_r = مقاومت پیچشی مورد نیاز

T_n = مقاومت پیچشی اسمی مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱)

ϕ_T = ضریب مقاومت در پیچش مساوی ۰/۹

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۳ سایر مقاطع (غیرتوخالی) تحت اثر توأم پیچش، برش، خمش و نیروی محوری

مقاومت طرح، $\phi_T F_n$ ، برابر کوچکترین مقدار محاسبه‌شده براساس حالات حدی تسلیم تحت اثر تنش قائم، تسلیم تحت اثر تنش برشی و کمانش تعیین می‌شود.

الف) حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش قائم:

$$F_n = F_y$$
$$\phi_T = ۰/۹ \qquad (۱۰ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ب) حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش برشی:

$$F_n = ۰/۶ F_y$$
$$\phi_T = ۰/۹ \qquad (۱۱ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

پ) حالت حدی کمانش:

$$F_n = F_{cr}$$
$$\phi_T = ۰/۹ \qquad (۱۲ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

F_{cr} = تنش کمانشی که با استفاده از تحلیل کمانشی مناسب تعیین می‌گردد.
ϕ_T = ضریب تقلیل لنگر پیچشی

تبصره ۱ : در مجاورت نقاطی که به‌صورت الاستیک باقی می‌مانند، مقدار محدودی تسلیم موضعی مجاز می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۴ لنگر پیچشی تابیدگی

الف) روش دقیق برای محاسبه تنش‌های قائم و برشی ناشی از پیچش تابیدگی، مقاطع I شکل

هرگاه مقطع یک عضو تحت اثر لنگر پیچشی (M_t) تابیده گردد، در صورتی‌که در یک یا چند مقطع‌از تیر تحت هرشرایطی ازتابیدگی جلوگیری به‌عمل آید، باعث می‌شودکه لنگرپیچشی‌کل (M_t) به‌دو بخش لنگر پیچشی خالص (M_s) و لنگر پیچشی تابیدگی (M_w) تقسیم شود.

$$M_t = M_w + M_s \qquad (۱۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

(M_t) = لنگر پیچشی کل*

---

* برای تعیین سهم لنگر پیچشی خالص (M_s) و سهم لنگر پیچشی تابیدگی (M_w) از لنگر پیچشی کلی (M_t) باید معادلهٔ دیفرانسیل زیر حل گردد:

$$\frac{d^۳\phi}{dx^۳} - a^۲\frac{d\phi}{dx} = -a^۲\frac{M_t(x)}{G J_t}$$

$$a = \sqrt{\frac{G.J_t}{E.C_w}}$$

$$M_s = GJ_t\frac{d\phi}{dx}$$

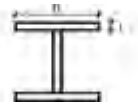
$$M_w = -E C_w\frac{d^۳\phi}{dx^۳}$$

$$M_t = M_s + M_w$$

ϕ = معادلهٔ زاویهٔ پیچش مقطع در طول عضو

J_t = ثابت پیچشی سن‌ونان

$$J_t = ۲\pi t R^۲$$



$$J_t = \Sigma\frac{۱}{۳}bt^۳$$

$$J_t = \frac{۴A^۲}{\int_s \frac{ds}{t}}$$

C_w = ثابت پیچشی تابیدگی

G = مدول الاستیسیتهٔ برشی

E = مدول الاستیسیته

از حل معادلهٔ دیفرانسیل فوق با توجه به‌شرایط مرزی مقادیر M_s و M_w محاسبه می‌شوند. برای جزییات حل معادلهٔ دیفرانسیل فوق می‌توان به‌مراجع مربوطه مراجعه نمود.

M_s = لنگر پیچشی که صرف پیچش خالص می‌شود (لنگر پیچشی خالص یا سن‌ونان)

M_w = لنگر پیچشی که صرف پیچش تاب‌خوردگی می‌شود (لنگر پیچشی تابیدگی)

با داشتن لنگرهای M_s و M_w ، تنش‌های برشی و قائم در مقطع با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه هستند.

$$\tau_s = \frac{M_s . t_i}{J_t} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱۴)$$

$$\tau_w = \frac{E}{۱۶} b^{۲} h \frac{d^{۳}\phi}{dx^{۳}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱۵)$$

$$\sigma_w = \frac{E}{۴} bh \frac{d^{۲}\phi}{dx^{۲}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۱۶)$$

b = عرض بال مقطع I شکل

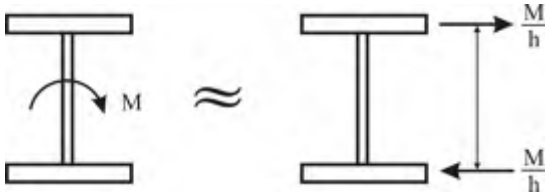
h = مرکز تا مرکز بال مقطع I شکل

تنش‌های برشی و قائم ناشی از لنگرهای M_s و M_w باید به تنش‌های برشی و قائم نظیر ناشی از انواع بارگذاری‌های دیگر اضافه شود و حداکثر منتجه آنها نباید از مقادیر مجاز تجاوز نماید.

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۲ توزیع تنش در مقاطع I شکل تحت اثر لنگر پیچشی.

ب) روش تقریبی برای محاسبهٔ تنش‌های قائم (σ_w) و برشی (τ_w) ناشی از پیچش تابیدگی در مقاطع I شکل

به‌جای حل معادلات دیفرانسیل، از روش تقریبی بسیار ساده‌ای می‌توان برای محاسبهٔ تنش‌های ناشی از پیچش تابیدگی استفاده نمود. در این روش برای محاسبهٔ τ_w و σ_w ناشی از لنگر پیچشی تابیدگی، می‌توان لنگر پیچشی کل (M_t) را به‌یک زوج نیرو در امتداد بال‌های فوقانی و تحتانی تیرهای I شکل تبدیل نمود و از روابط خمش عرضی تنش‌های τ_w و σ_w را با استفاده از مشخصات هندسی بال‌ها محاسبه نمود. ضرایب و جداولی وجود دارد که به‌کمک آنها بتوان بر دقت این روش افزود.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۸ ـ ۳ روش تشبیه پیچش به‌خمش.

پ) لنگر پیچشی تابیدگی در مقاطع جدار نازک بسته

حل معادلات دقیق نشان می‌دهد که در این‌گونه مقاطع اثر پیچش تابیدگی ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر است.

۱۰ـ۲ـ۹ طراحی اعضای مختلط

این بخش مربوط است به‌طراحی ستون‌های مختلط (متشکل از نیمرخ فولادی نوردشده و یا ساخته شده از ورق، محاط یا محیط در بتن) و تیرهای مختلط، متشکل از تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن، که به‌واسطهٔ چسبندگی کافی با یکدیگر، در مقابل بارهای خارجی با هم عمل می‌نمایند. تیرهای مختلط با دهانه‌های ساده و یکسره با برشگیرها و یا تیرهای محاط در بتن که با و یا بدون استفاده از پایه‌های موقت اجرا می‌شوند، نیز مشمول مقررات این بخش هستند.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد :

- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ کلیات
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ اعضای محوری مختلط
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ اعضای خمشی مختلط
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ مقاومت خمشی مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های ذوزنقه‌ای
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ برشگیرها
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۶ مقاومت خمشی تیرهای محاط در بتن و تیرهای پرشده با بتن
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷ ترکیب فشار و خمش در اعضای مختلط
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۸ حالات خاص

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ کلیات

در تعیین نیروهای داخلی اعضا و یا اتصالات سازه‌هایی که شامل اعضای مختلط می‌باشند، لازم است توجه کافی به‌مقطع مؤثر اعضا، در هر مرحله از افزایش بارگذاری، مبذول گردد.

ضوابط مربوط به‌پوشش بتن روی آرماتور ، وصله آرماتور، فواصل خاموت‌ها، و مقاومت برشی مقطع بتن آرمه با توجه به‌مفاد مبحث نهم (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه) تعیین می‌گردد، مگر اینکه در این بخش مقررات خاصی برای آن ارایه شده باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ مقاومت خمشی اسمی مقاطع مختلط

مقاومت اسمی مقاطع مختلط براساس یکی از روش‌های زیر تعیین می‌گردد:

ـ روش توزیع تنش پلاستیک

ـ روش سازگاری کرنش

توجه : در تعیین مقاومت خمشی اسمی مقاطع مختلط از مقاومت کششی بتن صرفنظر می‌شود.

الف) روش توزیع تنش پلاستیک

در این روش، مقاومت اسمی مقطع مختلط براساس مفروضات زیر محاسبه می‌شود:

ـ تنش در بخش فولادی مقطع هم در فشار و هم در کشش مساوی F_y می‌باشد که به‌طور یکنواخت در سرتاسر ناحیه کششی و فشاری مقطع توزیع شده است.

ـ تنش در ناحیه فشاری بتن به‌طور یکنواخت مساوی $۰/۸۵f_c$ می‌باشد.

برای مقاطع توخالی فولادی که به‌وسیلهٔ بتن پر شده باشد به‌خاطر محصور بودن بتن در داخل مقطع فولادی به‌جای تنش $۰/۸۵f_c$ در ناحیه فشاری بتن می‌توان از $۰/۹۵f_c$ استفاده نمود. که در آن :

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

F_y = تنش تسلیم مقطع فولادی

ب) روش سازگاری کرنش

در این روش فرض می‌شود که تغییرات کرنش در ارتفاع مقطع مختلط به‌صورت خطی بوده و حداکثر مقدار کرنش در ناحیه فشاری بتن برابر $۰/۰۰۳(mm/mm)$ می‌باشد. رابطه تنش ـ کرنش فولاد و بتن یا براساس نتایج آزمایش تعیین می‌گردد و یا از نمودارهای توصیه شده در آیین‌نامه‌های معتبر استفاده می‌شود. روش سازگاری کرنش در محاسبهٔ مقاومت اسمی مقاطع نامنظم و نیز در حالاتی که فولاد مقطع نمی‌تواند شکل‌پذیر رفتار کند، کاربرد دارد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۲ محدودیت‌های مصالح

بتن و فولاد مورد استفاده در مقاطع مختلط باید دارای شرایط زیر باشند:

الف) مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن (f_c) برای بتن‌های با جرم مخصوص معمولی نباید از $۲۰N/mm^۲$ $(۲۰۰kg/cm^۲)$ کمتر و از $۷۰N/mm^۲$ $(۷۰۰kg/cm^۲)$ بیشتر باشد.

ب) مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن (f_c) برای بتن‌های سبک با جرم مخصوص حداقل $۱۴۴۰kg/m^۳$ نباید از $۲۰N/mm^۲$ $(۲۰۰kg/cm^۲)$ کمتر و از $۴۰N/mm^۲$ $(۴۰۰kg/cm^۲)$ بیشتر باشد.

پ) تنش تسلیم (F_y) مقاطع فولادی نباید از $۴۰۰N/mm^۲$ $(۴۰۰۰kg/cm^۲)$ تجاوز نماید.

ت) تنش تسلیم (F_{yr}) میلگردهای مورد استفاده در مقطع مختلط نباید از $۵۰۰kg/cm^۲$ $(۵۰۰N/mm)$ تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۳ برشگیرها

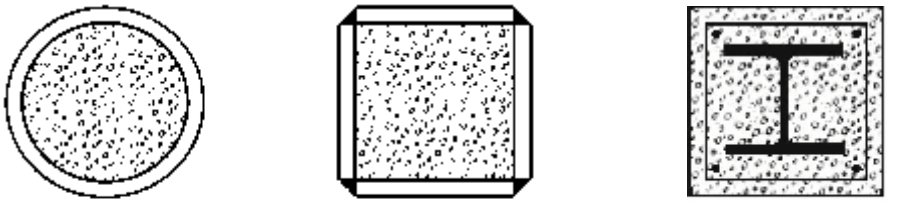
برشگیرها قطعات فولادی می‌باشند که برای انتقال برش بین مصالح فولاد و بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برشگیرهای مورداشاره دراین بخش از نوع گلمیخ‌های کلاهک‌دار که طول‌شان بعد از نصب، حداقل ۴ برابر قطرشان است و یا از نوع ناودانی‌های گرم نوردشده می‌باشند. برشگیرها باید در بتنی مدفون شوند که سنگدانه‌های آنها منطبق بر مفاد مبحث نهم باشد.

استفاده از سایر انواع برشگیر در صورت انجام آزمایش‌های لازم در آزمایشگاه معتبر و یا رجوع به آیین‌نامه‌های معتبر، مجاز می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ اعضای محوری مختلط

عضو محوری مختلط می‌تواند از مقاطع فولادی نوردشده و یا ساخته شده از ورق که در بتن سازه‌ای محاط بوده و یا مقطع قوطی یا لوله نوردشده یا ساخته شده از ورق با جوش پیوسته که با بتن سازه‌ای پر شده، تشکیل شود. شکل (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱)



(الف) عضو محوری مختلط محاط در بتن　(ب) عضو محوری مختلط قوطی شکل پرشده با بتن　(پ) عضو محوری مختلط لوله پرشده با بتن

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ اعضای محوری مختلط.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ اعضای محوری مختلط محاط در بتن

الف) محدودیت‌ها

۱. سطح مقطع نیمرخ فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کلی مقطع مختلط باشد.*

۲. پوشش بتن هسته فولادی باید به‌کمک میلگردهای طولی و تنگ‌های عرضی و یا مارپیچ به‌منظور دورگیری بتن، مسلح شده باشد.

* مساحت کلی، سطح محدود به‌محیط خارجی بتن می‌باشد.

۳. مساحت مقطع تنگ‌های عرضی باید حداقل ۰/۲۵ میلی‌متر مربع برای هر میلی‌متر فاصله بین تنگ‌ها باشد.

۴. نسبت آرماتورهای طولی (ρ_{sr}) باید حداقل ۰/۰۰۴ باشد که در آن:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱)$$

در رابطهٔ مذکور:

A_{sr} = مساحت مقطع آرماتورهای طولی پیوسته

A_g = مساحت کلی مقطع مختلط

ب) مقاومت فشاری

مقاومت فشاری طرح ستون‌های مختلط محاط در بتن با بارگذاری محوری، مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که ϕ_c ضریب تقلیل ظرفیت مساوی ۰/۷۵ و P_n مقاومت فشاری اسمی می‌باشد که باید براساس حالت حدی کمانش خمشی با توجه به‌لاغری ستون مطابق روابط زیر تعیین شود:

۱ ـ در صورتی‌که $P_e \geq ۰/۴۴ P_o$ باشد:

$$P_n = P_o \left[۰/۶۵۸^{\left(\frac{P_o}{P_e}\right)} \right] \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲)$$

۲ ـ در صورتی‌که $P_e < ۰/۴۴ P_o$ باشد:

$$P_n = ۰/۸۷۷ P_e \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳)$$

در روابط مذکور:

$$P_o = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + ۰/۸۵ A_c f_c \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴)$$

$$P_e = \pi^۲ \frac{EI_{eff}}{(KL)^۲} \qquad (۱۰ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۵)$$

که در آن:

A_s = مساحت مقطع نیمرخ فولادی

A_c = مساحت مقطع بتن

A_{sr} = مساحت مقطع آرماتورهای طولی

E_c = مدول الاستیسیته بتن

E_c را می‌توان از رابطهٔ $E_c = ۰/۱۳۵ W^{۱/۵} \sqrt{f_c}$ [$SI: E_c = ۰/۰۴۳ W^{۱/۵} \sqrt{f_c}$] حساب نمود که در آن W جرم مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر متر مکعب و f_c مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع [$N/mm^۲$] بیان می‌شوند. برای بتن با وزن مخصوص معمولی این روابط به‌صورت $E_c = ۱۵۰۰۰\sqrt{f_c}$ [$SI: E_c = ۵۰۰۰\sqrt{f_c}$] درمی‌آیند.

E_s = مدول الاستیسیته فولاد

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

F_y = تنش تسلیم نیمرخ فولادی

F_{yr} = تنش تسلیم آرماتورهای طولی

I_c = ممان اینرسی کلی مقطع بتن

I_s = ممان اینرسی مقطع نیمرخ فولادی

I_{sr} = ممان اینرسی میلگردهای طولی

K = ضریب طول مؤثر

L = طول مهار نشده ستون

P_n = مقاومت فشاری اسمی مقطع

P_o = مقاومت فشاری اسمی مقطع بدون توجه به‌آثار کمانشی

P_e = نیروی محوری کمانشی اولر

EI_{eff} = سختی مؤثر مقطع مختلط که با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$EI_{eff} = E_s I_s + ۰/۵ E_s I_{sr} + C_۱ E_c I_c \qquad (۶ - ۹ - ۲ - ۱۰)$$

$$C_۱ = ۰/۱ + ۲\left(\frac{A_s}{A_c + A_s}\right) \le ۰/۳ \qquad (۷ - ۹ - ۲ - ۱۰)$$

پ) مقاومت کششی

مقاومت کششی طرح ستون‌های مختلط محـاط در بتن با بارگذاری محوری، مساوی $\phi_t P_n$ می‌باشد که ϕ_t ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹ و P_n ظرفیت کششی اسمی می‌باشد که باید براساس حالت حدی تسلیم مطابق رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$P_n = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} \qquad (۸ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن A_s ، F_y، A_{sr} و F_{yr} مطابق تعاریف بند (ب) می‌باشند.

ت) مقاومت برشی

مقاومت برشی ستون‌های مختلط محاط در بتن برابر با بزرگترین مقدار به‌دست آمده از حالات زیر می‌باشد.

۱. مقاومت برشی مقطع فولادی تنها مطابق بخش ۱۰ ـ ۲ـ ۶ به‌علاوهٔ مقاومت برشی تنگ‌ها
۲. مقاومت برشی بخش بتن مسلح به‌تنهایی

تبصره: مقاومت برشی اسمی تنگ‌ها را می‌توان به‌کمک رابطهٔ $V_{sn} = A_{st} f_{yt} \frac{d}{s}$ محاسبه نمود که در آن A_{st} سطح مقطع مجموع ساق‌های تنگ، F_{yt} تنش تسلیم تنگ، d ارتفاع مؤثر مقطع بتنی و s فاصله خاموت‌ها می‌باشد.

ث) انتقال بار

در اعضای محوری مختلط محاط در بتن، برای انتقال بار از طریق اتصال بتن و فولاد باید ضوابط زیر برآورده شود:

۱. چنانچه بارهای خارجی مستقیماً به‌مقطع فولادی اعمال شود، برشگیرها باید بتوانند نیروی برشی مورد نیاز زیر را تحمل نمایند.

$$V' = V\left(۱ - \frac{A_s F_y}{P_o}\right) \qquad (۹ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

V = نیروی برشی اعمال شده به‌ستون

A_s = مساحت کلی مقطع فولادی
F_y = تنش تسلیم فولاد
P_o = مقاومت فشاری اسمی ستون بدون توجه به‌آثار کمانشی

۲. در صورتی‌که بارهای خارجی مستقیماً به‌مقطع بتن اعمال شود، برشگیرها باید بتوانند برش مورد نیاز زیر را تحمل نمایند.

$$V' = V\left(\frac{A_s F_y}{P_o}\right) \qquad (۱۰ - ۹ - ۲ - ۱۰)$$

۳. در صورتی‌که بار مستقیماً به‌مقطع بتنی وارد شود، حداکثر مقاومت اتکایی طرح، $\phi_B P_P$ ، با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\phi_B = ۰/۶۵$$
$$P_P = ۱/۷ f_c A_B \qquad (۱۱ - ۹ - ۲ - ۱۰)$$

که در آن:

A_B= مساحت ناحیه بارگذاری شده
f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

ج) جزییات‌بندی اعضای محوری محاط در بتن

۱. حداقل باید ۴ عدد آرماتور طولی وجود داشته باشد.
۲. فاصله‌بندی تنگ‌ها برابر با کوچکترین مقدار به‌دست آمده از روابط زیر باشد:
۱۲ برابر قطر آرماتور طولی
۴۸ برابر قطر آرماتور تنگ
$\frac{۱}{۲}$ برابر کوچکترین بعد مقطع ستون مختلط
۳. مقاطع فولادی باید حداقل دارای ۴۰ میلی‌متر پوشش بتن باشند. رعایت شرایط محیطی مختلف برای انتخاب پوشش مطابق مبحث نهم الزامی است.

۴. حداکثر فاصله برشگیرها ۲/۵ برابر بعد کوچکتر مقطع ستون مختلط محاط در بتن و یا ۴۰۰ میلی‌متر (هر کدام که کوچکترند) می‌باشد.

۵. برشگیرها باید حداقل در دو وجه قرینه مقطع فولادی تعبیه شده باشد.

۶. در صورتی‌که مقطع فولادی در ستون‌های مختلط محاط در بتن، از دو و یا چند مقطع فولادی تشکیل شده باشد، باید ضوابط مربوط به‌ستون‌های مرکب در آنها اعمال گردد.

چ) مقاومت برشگیرها

مقاومت اسمی گل‌میخ تک از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$Q_n = ۰/۵ A_{sc} \sqrt{f_c E_c} \le A_{sc} F_u \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۲)$$

که در آن:

A_{sc} = مساحت مقطع گل‌میخ

F_u = حداقل تنش نهایی کششی گل‌میخ

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

E_c = مدول الاستیسیته بتن

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲ اعضای محوری مختلط پرشده با بتن

الف) محدودیت‌ها

۱. مساحت مقطع فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کلی مقطع مختلط باشد.

۲. حداکثر نسبت $\frac{b}{t}$ در مقطع توخالی مستطیلی‌شکل پرشده با بتن برابر با $۲/۲۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ می‌باشد.

۳. حداکثر نسبت $\frac{D}{t}$ در مقطع توخالی لوله‌ای‌شکل پرشده با بتن برابر با $۰/۱۵\frac{E}{F_y}$ می‌باشد.

ب) مقاومت فشاری

مقاومت فشاری محوری طرح ستون‌های مختلط پرشده با بتن مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن ϕ_c ضریب تقلیل ظرفیت مساوی ۰/۷۵ و P_n مقاومت فشاری اسمی می‌باشد که باید براساس حالت حدی کمانش خمشی مطابق روابط بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ ـ ب) با اصلاحات زیر تعیین شود.

$$P_o = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + C_2 A_c f_c \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۳)$$

برای مقاطع توخالی مستطیلی‌شکل $C_2 = ۰/۸۵$

برای مقاطع توخالی لوله‌ای‌شکل $C_2 = ۰/۹۵$

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۴)$$

$$C_3 = ۰/۶ + ۲\left(\frac{A_s}{A_c + A_s}\right) \le ۰/۹ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۵)$$

پ) مقاومت کششی

مقاومت کششی محوری طرح ستون‌های مختلط پرشده با بتن مساوی $\phi_t P_n$ می‌باشد که در آن ϕ_t ضریب تقلیل ظرفیت مساوی ۰/۹ و P_n مقاومت کششی اسمی می‌باشد که باید براساس حالت حدی تسلیم مطابق رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$P_n = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۶)$$

ت) مقاومت برشی

مقاومت برشی ستون‌های مختلط پرشده با بتن برابر با بزرگترین مقدار به‌دست آمده از حالات زیر می‌باشد.

۱. مقاومت برشی مقطع فولادی تنها

۲. مقاومت برشی بخش بتن آرمهٔ تنها

ث) انتقال بار

بار وارده به‌ستون‌های مختلط پرشده با بتن باید بین قسمت فولادی و بتنی انتقال یابد. وقتی که بار خارجی به‌مقطع فولادی تنها و یا بخش بتن مسلح تنها اعمال می‌شود، انتقال نیرو از مقطع فولادی به‌هستهٔ بتنی می‌تواند به‌کمک یکی از مکانیزم‌های زیر صورت گیرد:

۱. چسبندگی مستقیم بین بتن و فولاد

۲. اتصال برشگیر

۳. اتکای مستقیم

در صورت وجود چند مکانیزم، مکانیزمی که بزرگترین مقدار مقاومت اسمی را به‌دست می‌دهد، ملاک خواهد بود و جمع کردن آثار مکانیزم‌های مختلف مجاز نمی‌باشد.

وقتی که بار به‌صورت اتکایی به‌قسمت بتنی مقطع مختلط پرشده با بتن وارد می‌شود، مقاومت طرح اتکایی، $\phi_B P_p$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\phi_B = ۰/۶۵$$

$$P_p = ۱/۷ f_c A_B \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۷)$$

A_B = مساحت ناحیه بارگذاری شده

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

ج) جزییات‌بندی اعضای محوری مختلط پرشده با بتن

در صورت نیاز به‌برشگیرها، حداکثر فاصله برشگیرها ۲/۵ برابر بعد کوچکتر مقطع ستون مختلط و یا ۴۰۰ میلی‌متر (هر کدام کوچکترند) می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ اعضای خمشی مختلط

دو نوع اعضای مختلط خمشی به‌رسمیت شناخته می‌شوند :

الف) اعضای کاملاً محاط در بتن که عملکرد یکپارچه آنها بستگی به‌چسبندگی طبیعی بین بتن و فولاد دارد.

ب) اعضایی که عملکرد یکپارچه آنها، توسط برشگیرها تأمین می‌شود و عضو فولادی لزوماً در داخل بتن محاط نمی‌باشد.

یک تیر کاملاً محاط در بتنی که با دال به‌طور یکپارچه ریخته شده است، وقتی می‌تواند با چسبندگی طبیعی به‌بتن، بدون هرگونه برشگیر، فرض شود که:

۱. ضخامت بتن موجود در گونه‌ها و زیر تیر حداقل ۵۰ میلی‌متر باشد.
۲. سطح بالای تیر حداقل ۴۰ میلی‌متر زیر سطح فوقانی دال بتنی و ۵۰ میلی‌متر بالای سطح تحتانی دال بتنی باشد.
۳. بتن محیطی دارای شبکه میلگرد کافی یا سایر فولادهای مسلح‌کننده در گونه‌ها و زیر تیر به‌منظور جلوگیری از پوسته شدن بتن باشد. مساحت مقطع آرماتور شبکه باید حداقل ۰/۲۵ میلی‌متر مربع برای هر میلی‌متر فاصله بین آنها باشد.

در تیرهایی که به‌صورت فوق کاملاً در بتن محاط نمی‌باشند، برای تأمین عملکرد مختلط باید از برشگیر استفاده شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ عرض مؤثر و حداقل ضخامت دال بتن

عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به‌صورت مختلط عمل می‌نماید، نباید از کوچکترین مقادیر زیر بزرگتر در نظر گرفته شود:

۱. یک‌هشتم دهانه محور به‌محور تیر
۲. نصف فاصله مرکز به‌مرکز تیرهای مجاور
۳. فاصله محور تیر تا لبه بتن

حداقل ضخامت دال بتنی، ۸۰ میلی‌متر مقرر می‌گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ مقاومت برشی

مقاومت برشی عضو خمشی مختلط که عملکرد یکپارچه آن، توسط برشگیر تأمین می‌شود و عضو فولادی لزوماً در داخل بتن محاط نمی‌باشد، برمبنای مقاومت برشی مقطع فولادی تنها مطابق ضوابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ تعیین می‌شود.

مقاومت برشی عضو خمشی مختلط محاط در بتن و نیز عضو خمشی مختلط پرشده با بتن یا برمبنای مقاومت برشی مقطع فولادی تنها، مطابق ضوابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ و یا برمبنای مشخصات مقطع بتنی و آرماتورهای موجود طبق مبحث نهم تعیین می‌شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۳ مقاومت خمشی در حین ساخت

در صورتی‌که در اعضای خمشی مختلط، در هنگام بتن‌ریزی دال از پایه‌های موقت در زیر تیر فولادی استفاده نشود، باید در عضو فولادی تنها، کنترل مقاومت انجام گیرد تا قبل از رسیدن بتن به ۷۵ درصد مقاومت مشخصه f_c ، عضو فولادی دارای کفایت کافی برای حمل وزن خود، بتن تازه و بارهای حین ساخت باشد. مقاومت خمشی طرح عضو فولادی تنها، باید طبق مفاد بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ تعیین شود.

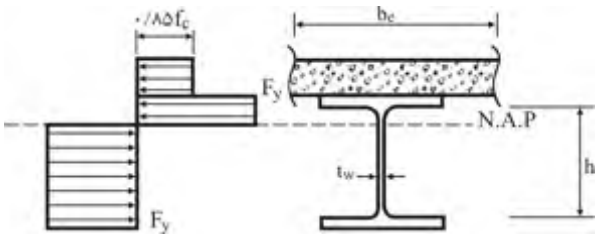
۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۴ مقاومت خمشی تیرهای مختلط دارای برشگیر

الف) مقاومت خمشی مثبت

مقاومت خمشی مثبت طرح مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن ϕ_b ضریب تقلیل مقاومت خمشی مساوی ۰/۹ و M_n مقاومت خمشی مثبت اسمی براساس حالت حدی تسلیم است که طبق ضوابط زیر محاسبه می‌شود:

۱. در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} \le ۳/۷۶ \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد:

M_n باید براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع مختلط تعیین شود. (h ارتفاع خالص جان تیر فولادی و t_w ضخامت آن می‌باشد.)



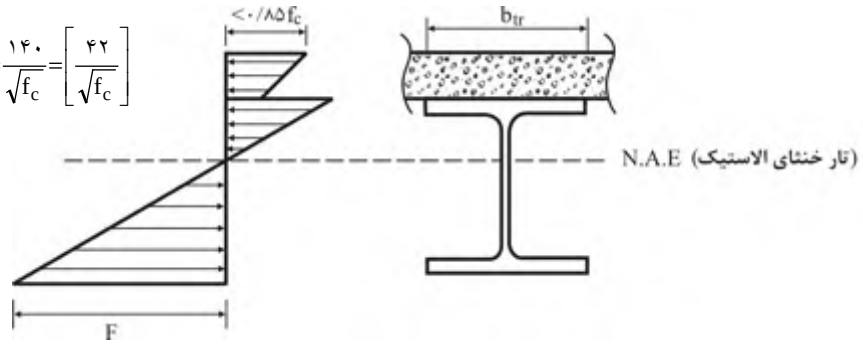
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ توزیع تنش پلاستیک در مقطع مختلط .

۲. در صورتی‌که $\frac{h}{t_w} > ۳/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد:

M_n باید براساس رویهم‌گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل‌یافته و با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت برای حالت حدی تسلیم در تارهای انتهایی (لنگر M_y) تعیین گردد.

$b_{tr} = \frac{b_e}{n}$

$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{۱۴۰}{\sqrt{f_c}} = \left[\frac{۴۲}{\sqrt{f_c}}\right]$



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ توزیع تنش الاستیک در مقطع مختلط .

ب) مقاومت خمشی منفی

مقاومت خمشی منفی طرح، $\phi_b M_n$ ، باید برمبنای تیر فولادی تنها مطابق ضوابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ تعیین شود که در آن ϕ_b ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹ و M_n مقاومت خمشی منفی اسمی می‌باشد.

به‌عنوان روش جایگزین، می‌توان مقاومت خمشی منفی طرح، $\phi_b M_n$ ، را براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع مختلط با منظور کردن اثر آرماتورهای طولی تعیین نمود مشروط بر اینکه:

۱. مقطع تیر فولادی فشرده و دارای اتکای جانبی کافی طبق تعریف بخش ۱۰ـ۲ـ۲ باشد.

۲. در ناحیه لنگر منفی، دال بتنی به‌کمک برشگیرهای کافی به‌تیر فولادی وصل شده باشد.

۳. آرماتورهای دال بتنی موازی با تیر، واقع در محدودهٔ عرض مؤثر، به‌طور کامل ضوابط مربوط به‌چسبندگی و طول مهاری را مطابق مبحث نهم برآورده نمایند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ مقاومت خمشی مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های ذوزنقه‌ای

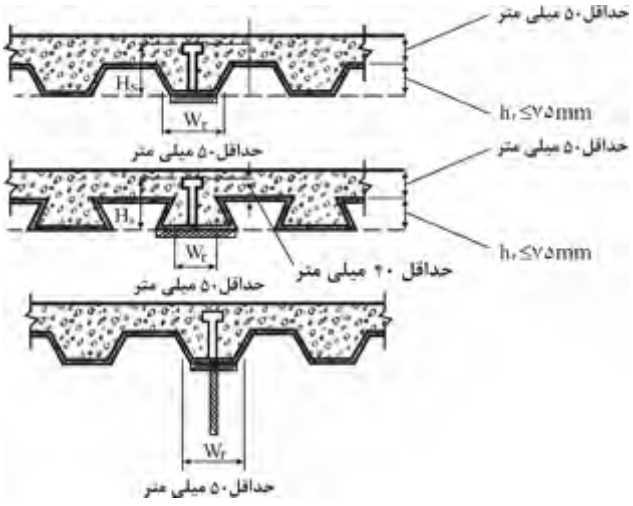
مقاومت خمشی طرح، $\phi_b M_n$ ، مقاطع مختلط متشکل از دال بتنی روی ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای متصل به‌تیرهای فولادی، طبق ضوابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۴ با در نظر گرفتن تعدیلات زیر محاسبه شوند:

الف) محدودیت‌ها

۱. این بخش قابل اعمال بر ورق‌های ذوزنقه‌ای می‌باشد که ارتفاع آنها (h_r) از ۷۵ میلی‌متر بزرگتر نباشد.

۲. عرض متوسط کنگره‌های پرشده با بتن، نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد. لیکن در محاسبات نباید بزرگتر از حداقل عرض آزاد در نزدیکی سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شود. به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ ـ پ مراجعه شود.

۳. دال بتنی باید به‌تیر فولادی با استفاده از گلمیخ‌های برشگیر با قطر ۲۰ میلی‌متر یا کمتر متصل شود. گلمیخ‌ها را می‌توان از روی ورق فولادی ذوزنقه‌ای و یا مستقیماً به‌عضو فولادی جوش نمود. در هر حال گلمیخ باید روی بال ذوب شود.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۴ محدودیت‌های ورق ذوزنقه‌ای.

۴. حداقل ارتفاع گلمیخ بعد از نصب که از بالای ورق ذوزنقه‌ای اندازه‌گیری می‌شود، نباید کمتر از ۴۰ میلی‌متر باشد.
۵. ضخامت دال بتنی در بالای کنگرهٔ ورق ذوزنقه‌ای نباید از ۵۰ میلی‌متر کمتر باشد.
۶. پوشش بتن روی گلمیخ‌ها نباید کمتر از ۱۳ میلی‌متر باشد.

ب) ورق‌های ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها عمود بر تیر می‌باشد

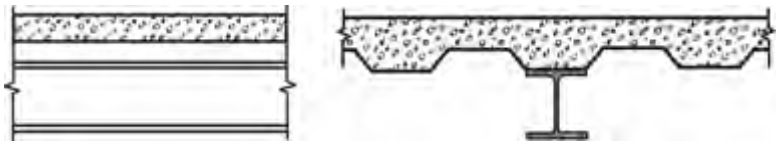
۱. در هنگام محاسبه مشخصات هندسی مقطع مختلط ، از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای باید صرفنظر شود.
۲. فواصل گلمیخ‌های برشگیر در امتداد تیر تکیه‌گاهی نباید از ۸۰۰ میلی‌متر یا ۸ برابر ضخامت دال هر کدام کمتر است، تجاوز نماید.
۳. برای مقابله با بلند شدن دال، ورق ذوزنقه‌ای فولادی باید به‌تمام تیرهای فولادی که به‌صورت مقطع مختلط طراحی می‌شوند، در فواصلی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر مهار شوند. این مهارها می‌توانند گلمیخ‌های برشگیر، ترکیبی از گلمیخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای و یا هر وسیلهٔ طرح شده توسط طراح باشد.

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها عمود بر محور تیر می‌باشد.

پ) ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها موازی تیر فولادی است

۱. در هنگام محاسبه مشخصات هندسی مقطع مختلط ، از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق ذوزنقه‌ای می‌توان استفاده نمود.
۲. کنگره‌های ورق‌های ذوزنقه‌ای را در روی تیر تکیه‌گاهی می‌توان به‌صورت طولی از هم جدا کرد تا تشکیل یک ماهیچه بتنی در روی بال تیر بدهند.

۳. وقتی که ارتفاع اسمی کنگره‌ها ۴۰ میلی‌متر و یا بزرگتر باشد، عرض متوسط W_r ماهیچه موجود در روی تیر تکیه‌گاهی و یا کنگره‌های پرشده توسط بتن، نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر برای حالت یک گلمیخ در عرض باشد. این عرض حداقل برای هر گلمیخ اضافی، به‌اندازهٔ ۴ برابر قطر گلمیخ باید افزایش یابد.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۶ ورق‌های فولادی ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها موازی محور تیر فولادی است.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ برشگیرها

برشگیرها باید یا از نوع گلمیخ‌های کلاهک‌دار که طولشان بعد از نصب، حداقل ۴ برابر قطرشان است و یا از نوع ناودانی‌های گرم نوردشده باشند. برشگیرها باید در دال‌هایی مدفون شوند که سنگدانه‌های آنها برای بتن معمولی منطبق بر ضوابط مبحث نهم باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۱ نیروی برشی افقی

الف) ناحیهٔ لنگر خمشی مثبت

به‌استثنای تیرهای مختلط مدفون طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ ـ الف، برش افقی در محل تماس تیر فولادی و دال بتنی باید توسط برشگیرها که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و داخل بتن فرو رفته‌اند، حمل گردد. برای عملکرد مختلط کامل با بتنی که تحت فشار ناشی از خمش می‌باشد، برش افقی کل که باید بین نقطهٔ حداکثر لنگر خمشی و نقطهٔ لنگر صفر حمل گردد، براساس حالات حدی مقاومت فشاری بتن، مقاومت کششی مقطع فولادی تنها، و مقاومت برشگیرها، مساوی با کوچکترین مقدار به‌دست آمده از سه رابطهٔ زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. مقاومت فشاری بتن

$$V_h = ۰/۸۵ f_c A_c \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۸)$$

۲. مقاومت کششی مقطع فولادی

$$V_h = F_y A_s \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱۹)$$

۳. مقاومت اتصالات برشگیر

$$V_h = \Sigma Q_n \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲۰)$$

که در آن:

f_c = مقاومت فشاری مشخصهٔ نمونه استوانه‌ای بتن

A_c = سطح مقطع دال بتنی در محدوده عرض مؤثر

A_s = سطح مقطع تیر فولادی

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر

ΣQ_n = مجموع مقاومت‌های اسمی اتصالات برشی واقع در حدفاصل نقاط لنگر مثبت حداکثر و لنگر صفر

ب) ناحیه لنگر خمشی منفی

در تیرهای مختلط پیوسته که در آن میلگردهای طولی در نواحی لنگر منفی به‌صورت مختلط با تیر فولادی عمل می‌نمایند، کل نیروی برشی افقی که باید توسط برشگیرها در حد فاصل تکیه‌گاه داخلی و نقطهٔ عطف مجاور حمل گردد، برابر با کوچکترین مقدار به‌دست آمده از دو رابطهٔ زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$V_h = F_{yr} A_{sr} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲۱)$$

$$V_h = \Sigma\, Q_n \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲۲)$$

که در آن:

A_{sr} = سطح مقطع کل میلگردهای طولی واقع در عرض مؤثر در روی تکیه‌گاه داخلی

F_{yr} = تنش تسلیم آرماتورهای طولی

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۲ مقاومت برشگیرهای از نوع گلمیخ

مقاومت اسمی برشگیرهای از نوع گلمیخ که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و داخل بتن فرو رفته‌اند با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_n = ۰/۵\ A_{sc}\sqrt{f_c\ E_c} \quad \le R_g\ R_p\ A_{sc}\ F_u \qquad (۲۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

A_{sc} = سطح مقطع گلمیخ

E_c = مدول الاستیسیته بتن

F_u = تنش نهایی کششی حداقل گلمیخ

R_g , R_p = ضرایب اصلاحی طبق جدول (۱۰ ـ۲ ـ۹ ـ۱)

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱ مقادیر R_g و R_p

حالت			R_g	R_P
۱ ـ مقاطع مختلط بدون استفاده از ورق‌های ذوزنقه‌ای			۱/۰	۱/۰
۲ ـ مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های دوزنقه‌ای	ورق‌های ذوزنقه‌ای که کنگره آنها موازی تیر فولادی است	$\frac{W_r}{h_r} \ge ۱/۵$	۱/۰	۰/۷۵
		$\frac{W_r}{h_r} < ۱/۵$	۰/۸۵	۰/۷۵
	ورق‌های ذوزنقه‌ای که کنگره‌های آنها عمود بر تیر می‌باشد	تعداد گلمیخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۱	۱	۰/۶
		تعداد گلمیخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۲	۰/۸۵	۰/۶
		تعداد گلمیخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی و یا بزرگتر از ۳	۰/۷	۰/۶

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۳ مقاومت برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و داخل بتن فرو رفته‌اند با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_n = ۰/۳ (t_f + ۰/۵ t_w) L_c \sqrt{f_c E_c} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲۴)$$

که در آن:

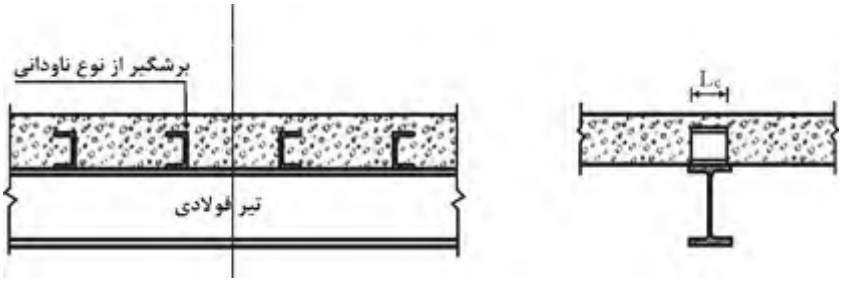
t_f = ضخامت متوسط بال ناودانی

t_w = ضخامت جان ناودانی

L_c = طول برشگیر از نوع ناودانی

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

E_c = مدول الاستیسیته بتن



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷ برشگیرهای از نوع ناودانی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۴ تعداد برشگیرها

برای عملکرد مختلط کامل، تعداد برشگیرها در حدفاصل نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر صفر از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$n = \frac{\text{نیروی برشی افقی طبق ضوابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۱}}{\text{مقاومت اسمی برشگیر}} = \frac{V_h}{Q_n} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲۵)$$

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۵ ـ ۵ فاصله‌بندی و نصب برشگیرها

اتصالات برشگیر مورد نیاز در هر یک از طرفین نقطه لنگر حداکثر مثبت یا منفی را می‌توان بین آن نقطه و نقاط مجاوری که دارای لنگر صفر هستند، به‌طور یکنواخت توزیع کرد. لیکن مقدار اتصالات برشگیر مستقر بین هر بار متمرکز و نزدیکترین نقطه دارای لنگر صفر، باید جهت حصول لنگر حداکثر مورد نیاز در نقطه اعمال بار متمرکز کافی باشد.

به‌جز در مورد اتصالات برشگیر نصب‌شده در کنگره ورق‌های ذوزنقه‌ای، اتصالات برشگیر باید لااقل ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند. قطر گلمیخ نباید از ۲/۵ برابر ضخامت بال تیری که به‌آن جوش داده می‌شود تجاوز نماید، مگر اینکه گلمیخ درست در بالای جان تیر قرار گرفته باشد. حداقل فاصله مرکز تا مرکز بین اتصالات برشگیر از نوع گلمیخ مساوی ۶ برابر قطر آنها در امتداد محور طولی تیر و ۴ برابر قطر آنها در امتداد عمود بر محور طولی تیر مختلط می‌باشد، مگر در داخل کنگره‌های ورق‌های ذوزنقه‌ای که فاصلهٔ مرکز تا مرکز حداقل در هر دو امتداد را می‌توان ۴ برابر قطر گلمیخ انتخاب کرد. حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز بین اتصالات برشگیر نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۶ مقاومت خمشی تیرهای مختلط محاط در بتن و اعضای پرشده با بتن

مقاومت خمشی اسمی تیرهای مختلط محاط در بتن و نیز اعضای پرشده با بتن برمبنای یکی از حالات حدی زیر تعیین می‌شود.

۱. براساس رویهم‌گذاری توزیع تنش خطی با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت و حالت حدی تسلیم در تارهای انتهایی با لنگر تسلیم M_y ($\phi_b = ۰/۹$).
۲. براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع فولادی تنها ($\phi_b = ۰/۹$).
۳. چنانچه در این نوع اعضا برشگیرهای لازم تعبیه شده باشد، مقاومت اسمی آنها می‌تواند براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع مختلط تعیین شود و یا می‌توان از روش سازگاری کرنش‌ها برای محاسبه M_n استفاده نمود ($\phi_b = ۰/۸۵$).

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷ ترکیب فشار و خمش در اعضای مختلط

اثر توأم فشار محوری و خمش در صفحه تقارن مقطع اعضای مختلط باید توسط روابط بخش (۱۰ ـ ۲ ـ ۷) در نظر گرفته شود. مقاومت فشاری طرح $\phi_c P_n$ از روابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۲ با $\phi_c = ۰/۷۵$ و مقاومت خمشی طرح $\phi_b M_n$ از ضوابط بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۳ با $\phi_b = ۰/۹$ محاسبه می‌شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۸ حالات خاص

وقتی که عضو مختلط منطبق بر مقررات بندهای (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۱) تا (۱۰ ـ ۲ ـ ۹ ـ ۷) نباشد، مقاومت برشگیرها و نیز جزییات اجرایی آنها، باید طبق یک برنامهٔ آزمایشی مناسب تعیین گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ اتصالات و وسایل اتصال

این بخش به‌اتصالات، شامل عناصر اتصال‌دهنده (ورق‌ها، قطعات تقویتی، ورق‌های اتصال در گره، برشگیرها، نبشی‌ها و لچکی‌های اتصال) و وسایل اتصال (جوش، پیچ و پرچ) مربوط می‌شود.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارایه می‌گردد :

- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ کلیات
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش‌ها
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ نواحی مجاور اتصال و اجزای اتصال
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ مقاومت اتکایی
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ کف ستون‌ها و قطعات فولادی با فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ میله‌مهارها و اقلام مدفون
- بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ جان و بال‌های اعضا تحت اثر بارهای متمرکز

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ کلیات

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ مبانی

مقاومت طرح، ϕR_n ، اتصالات باید براساس مقررات این بخش تعیین شود. ابعاد اتصال باید طوری اختیار شود که مقاومت طرح آنها از مقاومت مورد نیاز دو حالت زیر کمتر نباشد:

الف ـ بر مبنای تحلیل سازه برای ترکیب بارهای ضریبدار

ب ـ بر مبنای درصدی از مقاومت اعضای متصل‌شونده به‌شرحی که در قسمت مربوطه ارایه می‌گردد.

تبصره: در اتصال اعضای با نیروی محوری باید سعی شود که محورهای ماربر مرکز ثقل اعضا در یک نقطه تلاقی کنند، در غیر این‌صورت باید برای خمش و برش ناشی از برون‌محوری، پیش‌بینی‌های لازم در تحلیل و طراحی صورت گیرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ اتصال ساده

در این حالت فرض می‌شود اتصال تیرها، شاهتیرها و خرپاها، انعطاف‌پذیر (بدون قید دورانی) بوده و می‌توان آنها را فقط در مقابل برش (عکس‌العمل‌های تکیه‌گاه) محاسبه کرد.

اتصال انعطاف‌پذیر باید آزادی دوران زاویه‌ای‌در انتهای‌تیر را تأمین کند. برای تأمین این وضع، تغییرشکل غیرالاستیک در اتصال مجاز می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۳ اتصال انتقال‌دهندهٔ لنگر (اتصال لنگرگیر)

اتصال انتهایی تیرها، شاهتیرها و خرپاهایی که داشتن مقداری صلبیت در تکیه‌گاه‌های آنها مورد نظر باشد، باید در مقابل اثر مشترک نیروهای داخلی ناشی از برش و لنگر حاصل از صلبیت اتصال، محاسبه شود.

در اتصالات صلب تیر به‌ستون قاب‌های خمشی معمولی رعایت دو شرط زیر الزامی است:

۱. اتصالات خمشی تیرها به‌ستون‌ها باید برای مقاومت خمشی اسمی تیر طراحی گردد.

۲. جان تیرها و اتصالات برشی تیر به‌ستون باید دارای مقاومت نظیر برش ناشی از بارهای ثقلی ضریبدار به‌علاوه برشی برابر $\Sigma M_{Pb} / L_b$ باشد (ΣM_{Pb} مجموع لنگرهای خمیری دوسر تیر و L_b دهانهٔ تیر است).

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۴ اتصال ستون به‌کف ستون

اتصال ستون به‌کف ستون باید برای انتقال نیروهای موجود در پای ستون طراحی گردد. برای نیروی محوری فشاری، هنگامی‌که انتقال نیروی فشاری به‌کف ستون‌ها از طریق فشار مستقیم تماسی انجام می‌شود، باید انتهای ستون گونیا شده و سطح تماس آنها برای انتقال نیروی فشاری صاف و آماده شده باشد، به‌علاوه باید اتصال کافی بین دو قطعه (ستون و کف ستون) موجود باشد تا قادر به‌انتقال نیروهای حین ساخت و یا هر نوع نیروی احتمالی دیگر باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۵ اتصال اعضای کششی و فشاری در خرپاها و مهاربندها

اتصال هر انتهای عضو کششی یا فشاری در خرپاها و مهاربندها باید دارای مقاومت کافی برای مقابله با نیروهای ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری باشد و در عین حال باید بتواند حداقل ۷۵ درصد ظرفیت مؤثر کششی مقطع عضو را تأمین نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ وصلهٔ اعضای فشاری

در وصلهٔ ستون‌ها، سطح انتهایی دو قطعه باید تا حد امکان گونیا، صاف و تنظیم شود و بدون توجه به‌تماس مستقیم، مصالح وصله و وسایل اتصال باید طوری تنظیم شود که قطعات متصل‌شونده به‌خوبی در محل خود و محور مورد نظر نگهداری شوند. وصله باید دارای مقاومتی برابر مقاومت عضو کوچکتر باشد.

محل وصلهٔ ستون باید تا حد امکان از محل اتصال تیر به‌ستون دور باشد و در منطقه‌ای با نیروهای داخلی کوچک قرار گیرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ وصلهٔ اعضای خمشی

وصلهٔ اعضای خمشی تا حد امکان باید از محل نیروهای داخلی حداکثر (مثل وسط دهانه و یا تکیه‌گاه) حداقل به‌اندازهٔ دو برابر ارتفاع تیر دور باشد و در منطقه‌ای با نیروهای داخلی کوچک قرار گیرد. این وصله باید برای بزرگترین نیروهای داخلی زیر محاسبه گردد:

۱. نیروهای داخلی حاصل از تحلیل سازه تحت ترکیب بار ضریبدار بحرانی
۲. متوسط نیروهای داخلی و ظرفیت خمشی اسمی مقطع کوچکتر
۳. ۷۵ درصد مقاومت خمشی اسمی مقطع کوچکتر و برش نظیر آن

همچنین در وصلهٔ اعضای خمشی رعایت ضوابط زیر الزامی است:

۱. در صورتی‌که برای وصلهٔ تیر نوردشده و یا تیرورق از جوش‌های شیاری نفوذی با لبهٔ آماده‌شده استفاده شود، حداقل باید ظرفیت کامل مقطع کوچکتر وصله‌شونده را تأمین نماید. در این وصله، درز جوش بال و جان لازم است فاصله‌ای به‌اندازهٔ ۲۵۰ میلی‌متر نسبت به‌هم داشته باشند.

۲. وصلهٔ بال تیرهای نوردشده و تیرورق‌ها باید تا حد امکان از محل تنش خمشی حداکثر دور باشد. اگر از ورق پوششی برای وصله استفاده شود، سطح مقطع آن باید حداقل ۵ درصد از سطح مقطع بال وصله‌شونده بیشتر و مرکز ثقل آن تا حد امکان به‌مرکز ثقل بال نزدیک باشد.

۳. وصله در جان تیرها و تیرورق‌ها باید دارای مقاومت کافی برای مقابله با نیروی برشی و سهم لنگر خمشی مربوط به‌جان در محل وصله باشد. اگر از ورق‌های وصلهٔ جان استفاده می‌شود، حتی‌المقدور باید این ورق‌ها به‌صورت قرینه و با ضخامت مساوی در دو طرف جان قرار گرفته و ارتفاع این ورق‌ها از سه‌چهارم ارتفاع جان عضو خمشی کمتر نباشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۸ وصلهٔ اعضای کششی

وصلهٔ اعضای کششی باید دارای مقاومت کافی برای مقابله با نیروهای ناشی از ترکیب بار ضریبدار بحرانی و یا ۷۵ درصد مقاومت کششی مقطع کوچکتر باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۹ وصله در مقاطع سنگین

این بند به‌نیمرخ‌های نوردشده حجیم و سنگین و نیمرخ‌های مرکبی که با ورق‌های ضخیم‌تر از ۴۰ میلی‌متر ساخته می‌شود، مربوط می‌گردد.

در وصله این‌گونه اعضا چنانچه از جوش نفوذی لب به‌لب استفاده شود، باید برای جلوگیری از اثر انقباض ناشی از سرد شدن و شکست ناشی از تردی در جوش و مصالح مجاور آن، احتیاط‌های لازم به‌عمل آید. استفاده از پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش و یا الکترودهای کم‌هیدروژن در این خصوص لازم است.

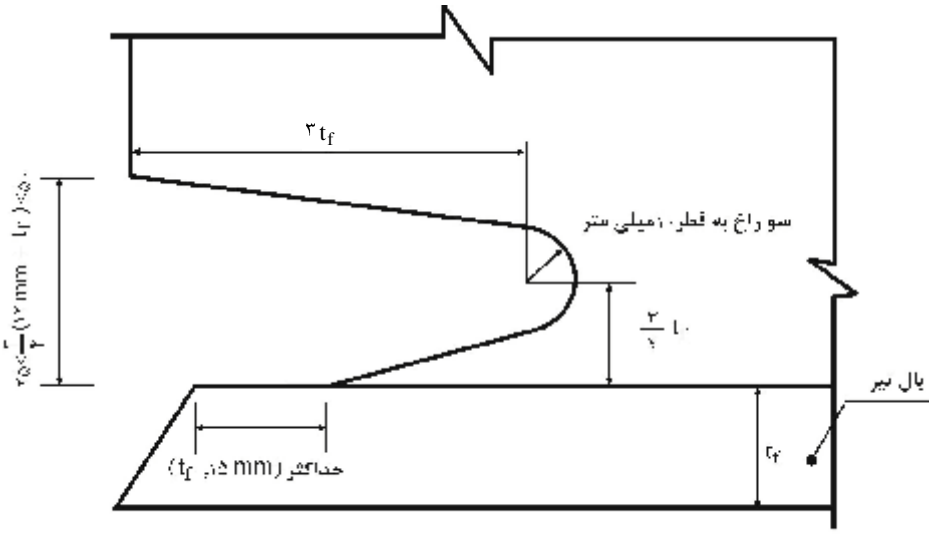
اگر جوش وصله، نقش انتقال تنش‌های کششی ناشی از نیروی کششی و یا لنگر خمشی را داشته باشد، لازم است محدودیت‌های مربوط به‌طاقت مصالح روی نمونه زخم‌دار با انجام آزمایش شارپی بررسی گردد.

در صورت به‌کار بردن سوراخ‌های دسترسی جوشکاری، جزییات این سوراخ‌ها باید طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ و جوش مناسب طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ و گرم کردن قبل از جوشکاری طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ و محدودیت‌های مربوط به‌برش با شعله و آماده کردن سطوح و نکات مربوط به‌بررسی جوش‌ها طبق بخش ۱۰ ـ ۴ رعایت شود. در اتصالات کششی مقاطع سنگین باید بعد از جوشکاری، تسمه پشت‌بند جوش را (در صورت موجود بودن) از جای خود برداشت و جوش‌ها را با سنگ زدن صاف و یکنواخت کرد و در صورت لزوم از جوش پشت استفاده نمود.

برای وصلهٔ مقاطع یاد شده می‌توان از جزییاتی استفاده کرد که انقباض جوش در آن بزرگ نباشد. مثلاً می‌توان از ورق‌های وصلهٔ جان با جوش گوشه یا پیچ استفاده کرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۰ سوراخ‌های دسترسی برای جوشکاری و برش بال‌های تیر برای اتصال

کلیه سوراخ‌هایی که به‌منظور دسترسی و تسهیل جوشکاری تعبیه می‌شود (مثل سوراخ دسترسی در جان به‌منظور جوش لب به‌لب بال)، برای قرار دادن مصالح جوش در موضع مورد نظر، باید دید کامل و فراخی کافی را داشته باشد. این سوراخ‌ها و نیز قسمت‌های برش دادهٔ بال در انتهای تیرها باید به‌صورتی کاملاً یکنواخت، با انحنای ملایم و بدون گوشه‌های تیز، تعبیه شود. طول سوراخ‌های دسترسی برای جوشکاری که از محل ریشهٔ جوش مربوطه اندازه‌گیری می‌شود، نباید کمتر از ۱/۵ برابر ضخامت ورقی گردد که سوراخ دسترسی در آن ایجاد می‌شود.



مشخصات هندسی سوراخ دسترسی برای جوش شیاری بال تحتانی

در نیمرخ‌های سنگین و مقاطع مرکبی که از مصالح به ضخامت بیش از ۴۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، لبه‌های برش‌دادهٔ تیر یا سوراخ‌های دسترسی که توسط شعله بریده شده باشند را باید با سنگ زدن به‌صورت فلز صاف و براق در آورد. اگر قسمت‌های منحنی بریده‌شده در تیر یا سوراخ (به‌شرح بالا)، توسط عمل مته کردن و یا برقو زدن شکل گرفته باشد، به‌سنگ زدن و صاف کردن احتیاجی ندارد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ آرایش پیچ و جوش در اتصال اعضای محوری

ترتیب قرارگیری پیچ‌ها یا جوش در انتهای هر عضوی که نیروی محوری را انتقال می‌دهد باید طوری باشد که مرکز هندسی گروه وسایل اتصال و مرکز ثقل عضو در یک راستا قرار گیرند مگر حالتی که به‌برون‌محوری موجود در طرح و اثر آن در محاسبه توجه شده باشد. در اتصال تک‌نبشی و یا تک‌سپری و یا تک‌ناودانی خوابیده، تحت بار استاتیکی، می‌توان از برون‌محوری خارج از صفحه صرفنظر کرد، مشروط به‌اینکه از مقاومت وسایل اتصال ۲۰ درصد کاهش داد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۲ ترکیب پیچ و جوش

وقتی که پیچ‌های معمولی و یا پیچ‌های پرمقاومت در حالت اتصال اتکایی (غیراصطکاکی) به‌صورت مشترک با جوش استفاده شود، نباید فرض کرد که آنها در تحمل بار با جوش سهیم هستند. در این صورت کل تنش در اتصال را باید جوش به‌تنهایی تحمل کند.

در صورت استفاده از ترکیب جوش و پیچ‌های پرمقاومت در اتصال اصطکاکی، می‌توان جوش و پیچ را در تحمل تنش‌ها سهیم فرض کرد.

اگر در ساختمان‌های موجود، با استفاده از جوش تقویت یا تغییری صورت گیرد، مجاز است اتصال پیچ پرمقاومت موجود (در صورتی که تا حد لازم تنیده شده باشد) را جوابگوی بارهای موجود فرض کرد. در این صورت جوش باید تنش‌های اضافی را تحمل کند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۳ پیچ‌های پرمقاومت (اصطکاکی) در ترکیب با پرچ

در کارهای جدید یا تعمیر در کارهای موجود، می‌توان فرض کرد که پیچ‌های پرمقاومت از نوع اصطکاکی، مشترکاً با پرچ بارها را تحمل می‌کنند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۴ محدودیت‌های اتصالات پیچی و اتصالات جوشی

برای اتصالات زیر باید از اتصال اصطکاکی با پیچ‌های پرمقاومت و یا جوش استفاده شود:

۱. وصله ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع ۶۰ متر و بیشتر.

۲. وصله ستون‌ها درسازه‌های با ارتفاع ۳۰ متر تا ۶۰ متر، در صورتی که نسبت بعد کوچک پلان به‌ارتفاع در آنها از ۴۰ درصد کمتر باشد.
۳. وصله ستون‌ها در سازه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر، در صورتی که نسبت بعد کوچک پلان به‌ارتفاع در آنها از ۲۵ درصد کمتر باشد.
۴. اتصال کلیه تیرها و شاهتیرها به‌ستون‌ها و یا اتصالات هر نوع تیر یا شاهتیری که مهار ستون‌ها به‌آنها مرتبط باشد، در سازه‌های با ارتفاع بیش از ۴۰ متر.
۵. کلیه سازه‌هایی که جراثقال‌های با ظرفیت بیش از ۵ تن را تحمل می‌کنند. وصله خرپاها یا تیرهای شیبدار سقف، اتصال خرپاها به‌ستون‌ها، وصله ستون‌ها، مهار ستون‌ها، مهارهای زانویی بین خرپا یا تیر سقف و ستون و تکیه‌گاه‌های جراثقال مشمول این امر می‌باشند.
۶. در اتصالات تکیه‌گاه‌های اعضایی که ماشین‌های متحرک یا بارهای زنده از نوعی را تحمل می‌کنند که تولید ضربه و یا معکوس شدن تنش‌ها را به‌همراه داشته باشد.
۷. هر اتصال دیگری که در نقشه‌های طرح و محاسبه قید شده باشد.

در کلیه حالت‌های دیگر می‌توان از اتصال اتکایی با پیچ‌های پرمقاومت یا با پیچ‌های معمولی، اتصال اصطکاکی با پیچ پرمقاومت و یا اتصال جوشی استفاده کرد.

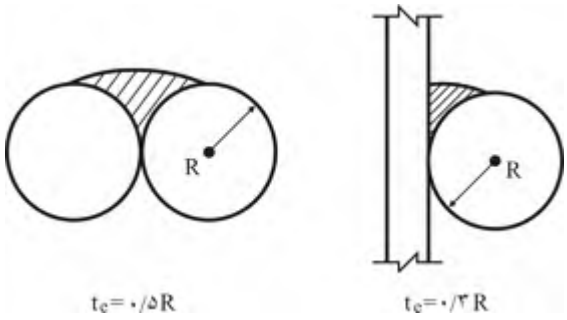
برای ارتفاع ساختمان، می‌توان فاصله بین رقوم متوسط زمین مجاور ساختمان و بالاترین تیر در ساختمان را به‌حساب آورد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ جوش شیاری

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوش‌های شیاری عبارت است از: حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر جوش. طول مؤثر جوش برابر با طول جوش‌شده و ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ کامل، برابر با ضخامت قطعهٔ نازکتر در اتصال لب به‌لب و ضخامت قطعهٔ جوش‌شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت مؤثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی، برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد مجاز نیست.

ضخامت مؤثر جوش شیاری که بین دو لبهٔ گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بیـن یک لبهٔ گرد و لبهٔ تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، طبق شکل‌های زیر می‌باشد:



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ ضخامت مؤثر جوش‌های شیاری لب‌گرد.

ب) محدودیت : ضخامت مؤثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقادیر مندرج در جدول (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱) کمتر شود. حداقل ضخامت مؤثر با توجه به‌ضخامت قطعه نازکتر تعیین می‌شود. ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده تجاوز کند.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱ حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت مؤثر*
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

* در صورتی‌که نتـوان ضخامت‌های حداقل فـوق را با یک عبور تأمین نمود، بـاید از پیش‌گرمایش و یـا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.

برای ضخامت‌های بزرگتر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعه خـاص مورد بررسی قرار گیرد.

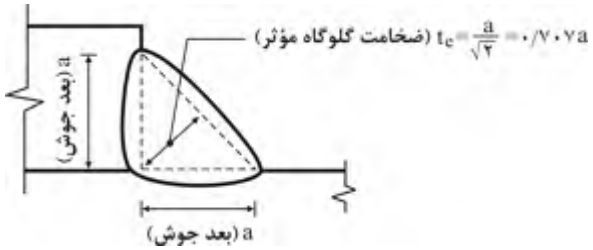
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ جوش‌های گوشه

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت گلوگاه مؤثر در نظر گرفته می‌شود.

طول مؤثر جوش گوشه (به‌جز جوش‌هایی که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت‌خورده می‌باشد.

بعد جوش گوشه (a) اندازه ساق مقطع جوش می‌باشد. (طبق شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲)

ضخامت گلوگاه مؤثر (t_e) در جوش گوشه، برابر کوتاهترین فاصله بین ریشهٔ مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به‌عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به‌حساب می‌آید.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ضخامت گلوگاه مؤثر جوش‌های گوشه.

برای جوش‌های گوشه در سوراخ و شکاف، طول مؤثر برابر با طول محوری (میانتاری) که از مقطع گلوگاه جوش می‌گذرد، در نظر گرفته می‌شود.

ب) محدودیت

۱. حداقل بعد جوش گوشه باید طبق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ تعیین شود. حداقل بعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می‌باشد. از طرفی نباید بعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده تجاوز کند.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۷ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۷ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

۱. در صورتی که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک‌بار عبور تأمین نمود، باید از پیش‌گرمایش و یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.
۲. در سازه تحت بار دینامیکی، حداقل اندازه جوش ۵ میلی‌متر می‌باشد.

۲. حداکثر بعد جوش گوشه در لبهٔ قطعات متصل‌شونده:
در قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۷ میلی‌متر، از ضخامت قطعه بیشتر نباشد. در قطعات با ضخامت بیش از ۷ میلی‌متر، حداکثر بعد مساوی ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر می‌باشد.

۳. طول مؤثر جوش گوشه‌ای که برای تحمل تنش‌ها محاسبه شده باشد، نباید از ۴ برابر بعد جوش آن کمتر باشد، در غیر این‌صورت بعد جوش نباید بیشتر از $\frac{۱}{۴}$ طول مؤثر آن منظور شود.

۴. در انتهای تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی امتداد نیرو استفاده می‌شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصله بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله نباید از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴). برای تأثیر طول جوش در سطح مقطع مؤثر اعضای کششی به‌جدول ۱۰ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ مراجعه شود.

۵. در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول مؤثر جوشی که به‌صورت طولی بارگذاری شده، نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش (a) تجاوز نماید. در صورت نیاز به‌طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد ساق جوش، طول مؤثر جوش باید با ضریب زیر کاهش داده شود.

$$L_e = \beta L$$

$$\beta = ۱/۲ - ۰/۰۰۲\left(\frac{L}{a}\right) \leq ۱/۰ \qquad (۱ _ ۱۰ _ ۲ _ ۱۰)$$

که در آن:

L_e = طول مؤثر جوش

L = طول ظاهری جوش

a = بعد جوش

β = ضریب کاهش طول اسمی جوش

برای L/a بزرگتر از ۳۰۰، ضریب β می‌تواند برابر ۰/۶ در نظر گرفته شود.

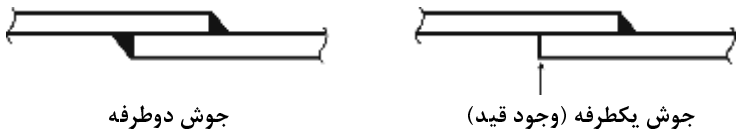
۶. جوش‌های گوشه منقطع برای انتقال تنش‌های محاسبه شده هنگامی مجاز است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش سرتاسری و حداقل بعد جوش تأمین می‌شود، کمتر باشد. استفاده از این نوع جوش در اتصال جان و بال تیرورق‌ها و یا دیگر مقاطع ساخته شده و اتصال ورق‌های تقویتی بال، در صورتی‌که تحت بارهای دینامیکی و خستگی نباشند، و اتصال سخت‌کننده به‌جان تیرورق نیز مجاز می‌باشد.

طول مؤثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلی‌متر کمتر شود. فاصلهٔ آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل‌شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است، بیشتر شود. در این خصوص به‌بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۴ مراجعه شود.

پ) جوش گوشه در اتصالات پوششی (رویهم) : در اتصال پوششی دو قطعه، طول همپوشانی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازکتر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلی‌متر کمتر نشود.

در اتصالات پوششی که ورق‌ها و تسمه‌هایی تحت اثر تنش‌های محوری را به‌یکدیگر متصل می‌کند، باید ضلع انتهایی هریک از قسمت‌های متصل‌شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند (جوش دوطرفه). در وضعیتی که اتصال به‌اندازهٔ کافی مقید شده باشد یا

تغییرشکل خمشی آنقدر محدود باشد که از باز شدن اتصال تحت اثر بار حداکثر جلوگیری شود، می‌توان از جوش یکطرفه استفاده کرد. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳)



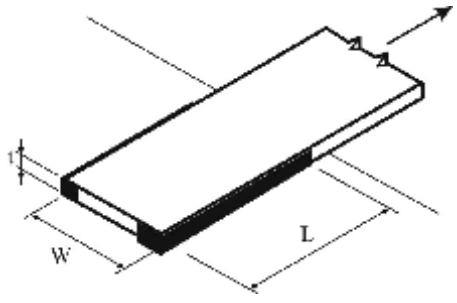
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ وجود قید در جوش گوشه اتصالات پوششی (رویهم).

ت) جوش گوشه در سوراخ و شکاف : استفاده از جوش گوشه در لبهٔ سوراخ و شکاف در اتصالات رویهم، به‌منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمت‌های متصل‌شونده مجاز می‌باشد.

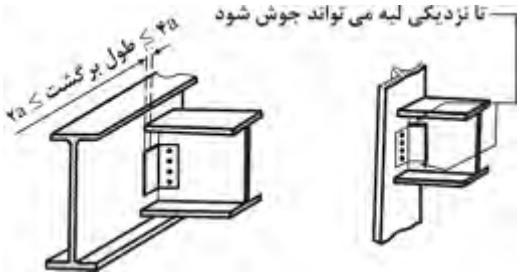
ث) جوش گوشه در انتهای اعضا : کلیه جوش‌های گوشه که در لبهٔ کناری و یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در انتهای ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به‌آن قلاب می‌گویند. حداقل طول قلاب ۲ برابر بعد جوش می‌باشد. این شرط شامل جوش‌های گوشه قائم و جوش‌های گوشه سربالا در تکیه‌گاه‌های لچکی (براکت) و برای نبشی‌های نشیمن تیر و اتصالات نظیر می‌باشد. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶)

در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان، که انعطاف‌پذیری اتصال به‌مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال برجسته نبشی‌ها می‌باشد، برگشت در انتهای جوش گوشه نباید از ۴ برابر بعد جوش و نیز نصف عرض بال نبشی بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزییات اجرایی قید شود. (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵)

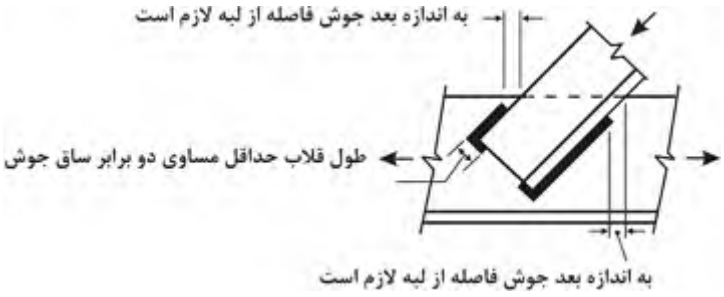
$W \le ۲۰۰ mm$
$L \ge W$



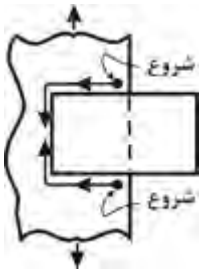
شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ جوش گوشه در انتهای تسمه‌های کششی.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ جوش گوشه در انتهای اعضا.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ جوش گوشه در انتهای اعضای محوری.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ مسیر پیشنهادی برای جلوگیری از زخم در لبه.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ جوش انگشتانه و جوش کام

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در برش برای جوش انگشتانه و کام مساوی سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحهٔ برش در نظر گرفته می‌شود.

ب) محدودیت:

۱. استفاده از جوش انگشتانه و کام برای انتقال برش در اتصال‌های پوششی و یا جلوگیری از کمانش در عناصر رویهم آمده در اعضای مرکب ساخته شده، مجاز می‌باشد.
۲. قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعه سوراخ شده به‌اضافه ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین قطر یاد شده نباید از قطر حداقل به‌اضافه ۳ میلی‌متر و یا $۲\frac{۱}{۴}$ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود.
۳. حداقل فاصله مرکز به‌مرکز سوراخ‌های جوش‌های انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد.
۴. طول شکاف در جوش کام نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.
۵. پهنای شکاف در جوش کام نباید از ضخامت قطعهٔ بریده شده به‌اضافه ۸ میلی‌متر کمتر و همچنین از $۲\frac{۱}{۴}$ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.
۶. انتهای شکاف یا باید نیم‌دایره‌ای باشد و یا خطی مستقیم که گوشه‌های آن تبدیل به‌ربعی از دایره (با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه حاوی شکاف) می‌شود، باشد. مگر اینکه انتهای شکاف به‌لبهٔ قطعه منتهی شده باشد.
۷. حداقل فاصله مرکز به‌مرکز شکاف‌ها در امتداد عمود بر طول، ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله مرکز به‌مرکز شکاف‌ها در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می‌باشد.
۸. ضخامت جوش انگشتانه و کام در قطعاتی که ضخامت آنها ۱۶ میلی‌متر و یا کمتر است باید برابر با ضخامت قطعه باشد. در قطعاتی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلی‌متر است، ضخامت این جوش باید حداقل $\frac{۱}{۲}$ ضخامت قطعه باشد و از ۱۶ میلی‌متر نیز کمتر نشود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ مقاومت جوش‌ها

مقاومت طرح جوش مساوی ϕR_n می‌باشد که براساس کوچکترین مقدار به‌دست آمده از حالت‌های (الف) و (ب) زیر تعیین می‌گردد. ϕ ضریب تقلیل مقاومت طبق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ و R_n مقاومت اسمی جوش است.

الف) مقاومت اسمی جوش، متناسب با مقاومت فلز مادر:

$$R_n = F_{BM} A_{BM} \qquad (۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

ب) مقاومت اسمی جوش، براساس حالات حدی گسیختگی کششی، برشی و یا تسلیم فلز جوش:

$$R_n = \beta F_w A_w \qquad (۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

R_n = مقاومت اسمی جوش

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت که در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ارایه شده است.

F_{BM} = مقاومت اسمی فلز مادر که در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ارایه شده است.

A_{BM} = سطح مقطع عرضی فلز مادر

F_w = مقاومت اسمی فلز الکترود که در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ارایه شده است.

A_w = سطح مقطع مؤثر جوش

β = ضریب بازرسی جوش به‌شرح زیر:

۱. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی) : $\beta = ۱$

۲. در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس جوش: $\beta = ۰/۸۵$

۳. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس جوش: $\beta = ۰/۷۵$

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ مقاومت اسمی جوش‌ها و ضریب تقلیل مقاومت

نوع جوش	نوع تنش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت‌جوش	ضریب تقلیل، مقاومت (ϕ)	مقاومت‌اسمی
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی عمود بر مقطع مؤثر	فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
	فشاری عمود بر مقطع مؤثر، کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
	برشی، در مقطع‌مؤثر	براساس فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۸	$F_w = ۰/۶ F_{ue}$
جوش شیاری با نفوذ نسبی	ـ فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر ـ فشاری، موازی با محور جوش ـ کششی موازی با محور جوش	فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
	ـ کششی در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	براساس فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۸	$F_w = ۰/۶ F_{ue}$
	برشی، موازی با محور جوش	براساس فلز مادر	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_w = ۰/۶ F_{ue}$
جوش گوشه	برشی در مقطع مؤثر	براساس فلز مادر	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_w = ۰/۶ F_{ue}$
	کششی یا فشاری یا موازی با محور جوش	فلز مادر	۰/۹	$F_{BM} = F_y$
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	براساس فلز مادر	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰	مطابق بند ۴ـ۱۰ـ۲ـ۱۰
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_w = ۰/۶ F_{ue}$

F_y = تنش تسلیم فلز مادر F_{ue} = تنش نهایی فلز الکترود

(۱) فلزجوش (الکترود مصرفی) باید سازگار با فلز مادر و مطابق با مقادیر جدول زیر باشد:

تنش تسلیم فلز مادر (F_y)	مقاومت نهایی کششی فلز الکترود (F_{ue})	نوع الکترود سازگار
تا $۳۰۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۳۰۰ N/mm^۲]^*$	$۴۲۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۴۲۰ N/mm^۲]^*$	E ۶۰
تا $۳۸۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۳۸۰ N/mm^۲]^*$	$۴۹۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۴۹۰ N/mm^۲]^*$	E ۷۰
تا $۴۶۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۴۶۰ N/mm^۲]^*$	$۵۶۰۰ kg/cm^۲$ یا $[۵۶۰ N/mm^۲]^*$	E ۸۰

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ترکیب جوش‌ها

اگر از دو یا چند نوع جوش به‌صورت مجموعه (جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و یا کام) در یک اتصال استفاده شود، برای تعیین مقاومت طرح کل مجموعه، باید مقاومت طرح هریک را جداگانه نسبت به‌محور مجموعه جوش محاسبه و سپس مقاومت طرح کل مجموعه را از مجموع مقاومت‌های تک‌تک جوش‌ها تعیین نمود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۶ فلزجوش مختلط

در اتصالات مقاطع سنگین و مواردی که اثر خستگی ملاک طراحی باشد و طاقت نمونهٔ زخم‌دار به‌عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوش‌ها اعم از خال‌جوش، عبور جوش در عمق و ریشهٔ اتصال، یا عبورهای بعدی که جوش تکمیلی را در اتصال ایجاد می‌کند، باید سازگاری لازم را داشته باشد تا طاقت نمونهٔ زخم‌دار برای فلزجوش مختلط محرز شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۷ پیش‌گرمایش فولادهای ساختمانی

برای نیمرخ‌های نوردشده سنگین و قطعات مرکب ساخته شده با جوش، باید قبل از انجام جوش، پیش‌گرمایش تا دمای لازم صورت گیرد. حداقل دمای پیش‌گرمایش مطابق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ می‌باشد:

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ حداقل دمای پیش‌گرمایش

ضخامت (mm)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند غیرکم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند کم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)
$t \leq ۲۰$	*۲۰	*۱۰
$۲۰ < t \leq ۴۰$	۶۵	*۲۰
$۴۰ < t \leq ۶۵$	۱۱۰	۶۵
$t > ۶۵$	۱۵۰	۱۱۰

* این دما در حد لمس کردن ورق قابل حس است و در سایر موارد باید از روش‌های دماسنجی سطحی (مثلاً گچ‌های حساس به‌دما) استفاده شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ کلیات

الف) انواع متداول پیچ‌های مورد استفاده در اسکلت‌های فولادی عبارتند از پیچ‌های معمولی و پیچ‌های پرمقاومت. در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ مشخصات پیچ‌های موجود یا تولید در ایران طبق استانداردهای ASTM و ISO ارایه شده است. برای هر پیچ باید واشر و مهرهٔ سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

ب) پیچ‌ها با دو نوع عملکرد « اتکایی » و « اصطکاکی » مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از پیچ‌های پرمقاومت منطبق با استانداردهای ملی یا بین‌المللی، برای هر دو نوع اتصال و استفاده از پیچ‌های معمولی یا پرچ فقط در اتصالات اتکایی مجاز است. در اتصالات اتکایی ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی لازم نیست ولی در اتصالات اصطکاکی، پیچ‌ها باید پیش‌تنیده گردند. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی مطابق مقادیر جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ می‌باشد. برای حصول پیش‌تنیدگی استفاده از یکی از سه روش « سفت کردن مجدد مهره » ، « واشرهای کشش‌سنج » و یا « آچار مدرج » امکان‌پذیر است.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ مشخصات پرچ‌ها و پیچ‌های موجود یا تولید در ایران

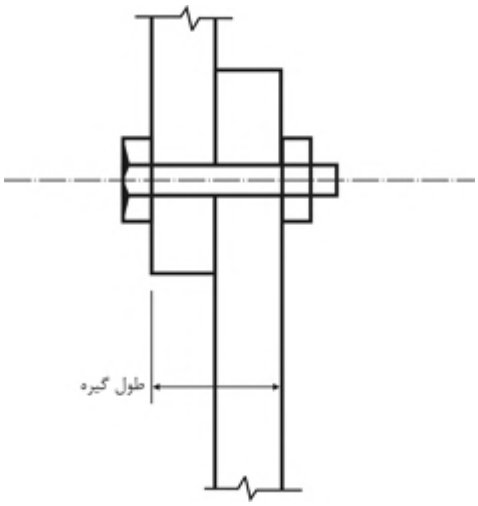
نوع پیچ و پرچ	نام استاندارد		تنش تسلیم مصالح پیچ یا پرچ (F_y)	تنش نهایی مصالح پیچ یا پرچ (F_u)
	ASTM	ISO		
پرچ	AS01	–	۱۹۰۰kg/cm²[۱۹۰N/mm²]	–
	AS02	–	۲۶۰۰kg/cm²[۲۶۰N/mm²]	–
	–	UST 36	۲۰۵۰kg/cm²[۲۰۵N/mm²]	–
	–	UST 38	۲۲۵۰kg/cm²[۲۲۵N/mm²]	–
پیچ‌های معمولی	A307	–	۲۴۰۰kg/cm²[۲۴۰N/mm²]	۴۰۰۰kg/cm²[۴۰۰N/mm²]
	–	۴/۶	۲۴۰۰kg/cm²[۲۴۰N/mm²]	۴۰۰۰kg/cm²[۴۰۰N/mm²]
	–	۴/۸	۳۲۰۰kg/cm²[۳۲۰N/mm²]	۴۲۰۰kg/cm²[۴۲۰N/mm²]
	–	۵/۶	۳۰۰۰kg/cm²[۳۰۰N/mm²]	۵۰۰۰kg/cm²[۵۰۰N/mm²]
	–	۵/۸	۴۰۰۰kg/cm²[۴۰۰N/mm²]	۵۲۰۰kg/cm²[۵۲۰N/mm²]
	–	۶/۸	۴۸۰۰kg/cm²[۴۸۰N/mm²]	۶۰۰۰kg/cm²[۶۰۰N/mm²]
پیچ‌های پرمقاومت	A325 ($d \leq ۲۵mm$)	-	–	۸۰۰۰kg/cm²[۸۰۰N/mm²]
	A325 ($d > ۲۵mm$)	-	–	۷۲۵۰kg/cm²[۷۲۵N/mm²]
	A490	-	–	۱۰۰۰۰kg/cm²[۱۰۰۰N/mm²]
	–	۸/۸	–	۸۰۰۰kg/cm²[۸۰۰N/mm²]
	–	۱۰/۹	–	۱۰۰۰kg/cm²[۱۰۰۰N/mm²]
	–	۱۲/۹	–	۱۲۰۰۰kg/cm²[۱۲۰۰N/mm²]

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی
برحسب تن یا [کیلونیوتن]

سطح مقطع اسمی	حداقل نیروی پیش‌تنیدگی
A_b	$۰/۵۵ A_b F_u$

پ) پیچ‌ها با طول گیره بلند

طول گیره پیچ‌ها در شکل (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸) نشان داده شده است. تنش اسمی وسایل اتصال در پیچ‌های معمولی که طول گیرهٔ آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، باید طبق جدول (۱۰ـ۲ ـ ۱۰ ـ ۷) به‌ازای هر ۲ میلی‌متر طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ طول گیره وسایل اتصال.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ مقاومت برشی و کششی طرح پیچ و پرچ در اتصالات اتکایی*

در اتصالات اتکایی که در آنها لقی و خستگی در اثر ارتعاشات یا نوسانات بارگذاری مسئله‌ساز نیستند، کافی است پیچ‌ها را بدون ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی، تنها تا حالت سفت شدن اولیه محکم نمود. طبق تعریف، سفت شدن اولیه حالتی است که در اثر اعمال چند ضربهٔ آچار ضربه‌ای و یا اینکه در اثر کوشش کامل یک کارگر به‌کمک یک آچار معمولی حاصل شود و باید لایه‌های متصل به‌هم را به‌حالت تماس محکم درآورد.

در محاسبه مقاومت‌ها، مقطع اسمی پرچ (قبل از عمل پرچکاری) و مقطع دندانه نشده پیچ (مقطع اسمی تنهٔ پیچ) یا میله‌های دندانه شده (غیر از میله‌های با دندانه‌های برجسته) ملاک می‌باشند. در محاسبه مقاومت در میله‌ها با دندانه برجسته، سطح میلهٔ بدون دندانه ملاک محاسبه می‌باشد. مقاومت کششی طرح، ϕR_{nt} ، و مقاومت برشی طرح ϕR_{nv} ، برای پیچ‌ها، قطعات دندانه شده و پرچ‌ها با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\text{مقاومت کششی طرح} = \phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_b \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴)$$

$$\text{مقاومت برشی طرح} = \phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_b \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵)$$

در روابط فوق:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می‌باشد.

R_{nt} = مقاومت کششی اسمی

R_{nv} = مقاومت برشی اسمی

F_{nt} = تنش کششی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷

F_{nv} = تنش برشی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷

A_b = سطح مقطع اسمی تنه پیچ (مقطع دندانه نشده)

* برای مقاومت اتکایی به‌بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مراجعه شود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ تنش اسمی (پیچ و پرچ)

نوع وسیله اتصال	تنش کششی اسمی (F_{nt})	برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی
پیچ‌های معمولی	$۰/۷۵F_u$ [۱],[۲]	$۰/۴F_u$ [۵],[۳]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی‌که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد	$۰/۷۸F_u$ [۴]	$۰/۴F_u$ [۵]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی‌که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد	$۰/۷۸F_u$ [۴]	$۰/۵F_u$ [۵]
قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین‌شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد	$۰/۷۵F_u$ [۱],[۶]	$۰/۴F_u$
قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین‌شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد	$۰/۷۵F_u$ [۱],[۶]	$۰/۵F_u$
پرچ‌های گرم انجام شده	F_u [۱]	$۰/۹F_y$

[۱] فقط بارگذاری استاتیکی

[۲] در پیچ‌های معمولی که طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به‌ازای هر ۲ mm طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۳] قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است.

[۴] برای پیچ‌های پرمقاومت مشمول تنش خستگی ناشی از بار کششی رجوع شود.

[۵] وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلی‌متر تجاوز کند این مقادیر را باید ۲۰٪ کاهش داد.

[۶] مقاومت کششی اسمی ناحیه دندانه شده یک قطعه دندانه شده با حدیدهٔ توپی براساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حدیده، A_D، باید از سطح مقطع اسمی تنه(قبل از ناحیه توپی) ضربدر F_y بیشتر باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۳ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی

مقاومت طرح، ϕR_n ، پیچ یا پرچی که تحت اثر مشترک کشش و برش قرار دارد، به‌دلیل همزمانی تأثیر کشش و برش در اتصال، با استفاده از رابطهٔ اندرکنش زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{مقاومت کششی طرح} = \phi R_{nt} = \phi F'_{nt} A_b \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶)$$

$$F'_{nt} = F_{nt}(۱/۳ - \frac{f_v}{\phi F_{nv}}) \le F_{nt} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷)$$

مقاومت برشی طرح $\phi R_{nv} = \phi F'_{nv} A_b$ (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸)

$$F'_{nv} = F_{nv}\,(1/3 - \frac{f_t}{\phi F_{nt}}) \le F_{nv} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹)$$

که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می‌باشد.

F_{nt} = تنش کششی اسمی مطابق جدول (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷) وقتی‌که نیروی کششی به‌تنهایی عمل نماید.

F_{nv} = تنش برشی اسمی مطابق جدول (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷) وقتی‌که نیروی برشی به‌تنهایی عمل نماید.

f_v = تنش برشی ناشی از بارهای ضریبدار

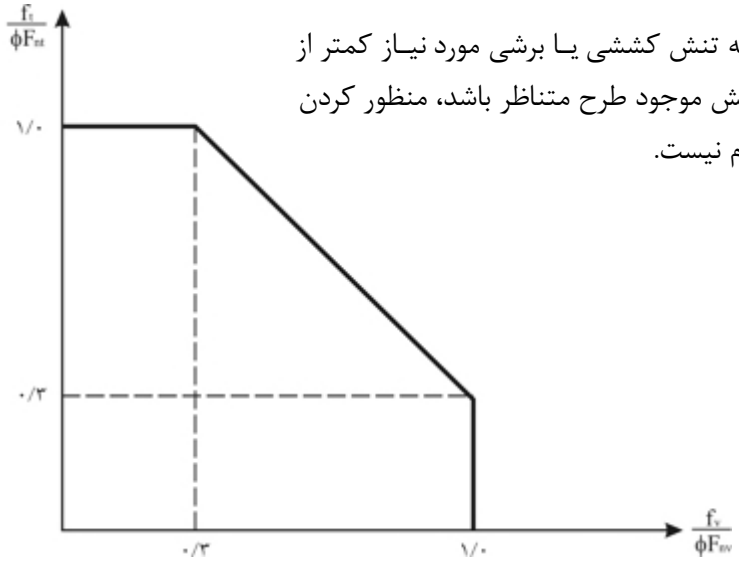
f_t = تنش کششی ناشی از بارهای ضریبدار

A_b = سطح مقطع اسمی تنهٔ پیچ (مقطع دندانه نشده)

F'_{nt} = تنش کششی اسمی اصلاح شده

F'_{nv} = تنش برشی اسمی اصلاح شده

در مواردی که تنش کششی یـا برشی مورد نیـاز کمتر از ۲۰ درصد تنش موجود طرح متناظر باشد، منظور کردن اندرکنش لازم نیست.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ اثر متقابل کشش و برش در اتصالات اتکایی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ مقاومت طرح پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی

مقاومت طرح پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی برابر با کمترین مقدار محاسبه شده از دو حالت زیر می‌باشد:

۱. مقاومت طرح اتصال براساس کنترل لغزش
۲. مقاومت طرح اتصال براساس کنترل برش در حالت حدی نهایی

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ الف) مقاومت طرح اتصالات اصطکاکی براساس کنترل لغزش

کنترل لغزش در اتصالات اصطکاکی می‌تواند یا براساس حالت حدی بهره‌برداری و یا براساس حالت حدی نهایی صورت گیرد. برای سوراخ‌های استاندارد و سوراخ‌های لوبیایی در حالتی که بار در امتداد عرضی باشد، کنترل لغزش باید براساس حالت حدی بهره‌برداری صورت گیرد. برای سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ‌های لوبیایی در حالتی که بار در امتداد طولی باشد، کنترل لغزشی باید براساس حالت حدی نهایی صورت گیرد.

مقاومت طرح، در اتصالات اصطکاکی براساس کنترل لغزش مساوی ϕR_n، می‌باشد که در آن ϕ ضریب تقلیل مقاومت و R_n مقاومت اسمی به‌شرح زیر می‌باشد:

$$R_n = \mu h_{sc} T_b N_s \qquad (۱۰ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰)$$

که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت به‌شرح زیر

$\phi = ۱$ = برای اتصالاتی که کنترل لغزش آنها براساس حالت حدی بهره‌برداری صورت می‌گیرد.

$\phi = ۰/۸۵$ = برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی‌که بار در امتداد طولی باشد.

μ = ضریب اصطکاک به‌شرح زیر:

$\mu = ۰/۳۳$ = برای وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلس‌دار تمیز و رنگ نشده)

$\mu = ۰/۴۵$ = برای وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه‌پاشی و رنگ نشده)

h_{sc} = ضریب سوراخ پیچ، به‌شرح زیر:

h_{sc} = ۰/۹ = برای سوراخ استاندارد

h_{sc} = ۰/۸۰ = برای سوراخ بزرگ شده و سوراخ لوبیایی کوتاه

h_{sc} = ۰/۷۰ = برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که بار در امتداد عرضی باشد.

h_{sc} = ۰/۶۰ = برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که بار در امتداد طولی باشد.

N_s = تعداد صفحات لغزش

T_b = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ طبق رابطهٔ زیر:

$$T_b = ۰/۵۵ F_u A_b \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱)$$

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ب) اثر مشترک کشش و برش در کنترل لغزش در اتصالات اصطکاکی

دراتصالات اصطکاکی، در صورت وجود توأم نیروی کششی و برشی، مقاومت طرح محاسبه‌شده برای کنترل لغزش طبق رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱) باید در ضریب کاهش زیر ضرب گردد.

$$K_s = ۱ - \frac{T_u}{T_b N_b} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۲)$$

K_s = ضریب کاهش مقاومت طرح

T_u = نیروی کششی ضریبدار

T_b = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی طبق رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱)

N_b = تعداد پیچ‌ها

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ پ) مقاومت طرح اتصالات اصطکاکی براساس کنترل برش و کشش

مقاومت طرح اتصالات‌اصطکاکی براساس کنترل برش وکشش مشابه اتصالات اتکایی با استفاده از ضوابط بندهای (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۳) محاسبه می‌گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ و پرچ

مقاومت اتکایی در حالت حدی اتکایی مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۷۵

R_n = مقاومت اتکایی اسمی در جدار سوراخ پیچ که به‌شرح زیر برای حالت‌های مختلف محاسبه می‌گردد.

۱. برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ‌شده، سوراخ لوبیایی کوتاه و سوراخ لوبیایی بلند در حالتی‌که بار در امتداد طولی باشد:

$$R_n = ۱/۲ L_c\, t\, F_u \le ۲/۰ dt\, F_u \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۳)$$

۲. برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی‌که بار در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = ۱/۰ L_c\, t\, F_u \le ۲/۴ dt\, F_u \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۴)$$

در روابط فوق:

d = قطر اسمی پیچ

F_u = تنش نهایی فولاد ورق اتصال

t = ضخامت قطعه متصل‌شونده، مگر در پیچ‌ها و پرچ‌های کله خزینه که نصف عمق خزینه باید کم شود.

L_c = فاصله خالص، در امتداد نیرو، بین لبه سوراخ‌ها یا بین لبه سوراخ تا لبه آزاد قطعهٔ متصل‌شونده

مقاومت اتکایی باید برای هر دو حالت اتکایی و اصطکاکی (بدون لغزش) کنترل گردد. استفاده از سوراخ‌های بزرگ‌شده، لوبیایی کوتاه و بلند موازی امتداد نیرو مطابق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶) فقط به‌اتصالات اصطکاکی محدود می‌گردد.

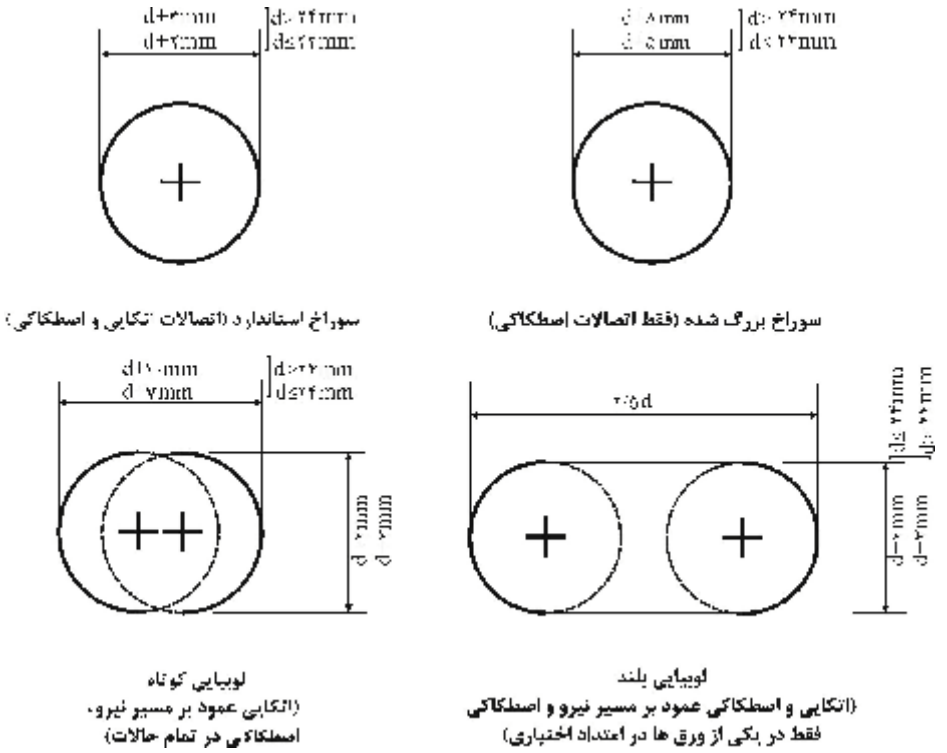
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ محدودیت‌ها

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ الف) اندازه‌ها و سوراخ‌ها

۱. اندازه حداکثر سوراخ پیچ‌ها مطابق جدول (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸) و یا شکل ۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۱۰ می‌باشد.
۲. سوراخ‌های بزرگ‌شده فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز می‌باشند.
۳. سوراخ‌های لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی، امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.
۴. در اتصالات اتکایی، سوراخ‌های لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط می‌توانند در یکی از ورق‌های اتصال و در هر امتداد اختیاری وجود داشته باشند.
۵. قطر سوراخ برای پرچ‌کاری به‌اندازهٔ ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر اسمی پرچ تعبیه می‌شود.
۶. در ورق کف ستون‌ها، ضمن رعایت رواداری‌های مبحث یازدهم، حداکثر قطر سوراخ مساوی ۶ +d میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ برحسب میلی‌متر

قطر پیچ (mm)	ابعاد حداکثر سوراخ (mm)			
	استاندارد (قطر)	بزرگ‌شده (قطر)	لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	لوبیایی بلند (طول×عرض)
$d \le ۲۴mm$	$d+۲$	$d+۵$	$(d+۲)\times(d+۷)$	$(d+۲)\times(۲/۵d)$
$d > ۲۴mm$	$d+۳$	$d+۸$	$(d+۳)\times(d+۱۰)$	$(d+۳)\times(۲/۵d)$



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۰ انواع سوراخ‌ها.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ب) حداقل فواصل سوراخ‌ها

فاصلهٔ مرکز به‌مرکز سوراخ‌های استاندارد یا سوراخ‌های بزرگ شده و یا سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد. توصیه می‌شود این فاصله از ۷۵ میلی‌متر کمتر در نظر گرفته نشود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ پ) حداقل فاصله سوراخ تا لبه

فاصلهٔ مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبه قطعه متصل‌شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹) کمتر باشد.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نوردشده ورق ـ نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
۲/۲۵d	۲d

d = قطر اسمی پیچ یا پرچ (mm)

برای سوراخ‌های بزرگ‌شده و لوبیایی فاصله مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به‌اضافه مقدار C مربوطه از جدول ۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۱۰ کمتر شود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۰ مقادیر افزایش حداقل فاصله سوراخ تا لبه (C)

سوراخ بزرگ‌شده (mm)	سوراخ لوبیایی (mm)		
	عمود بر امتداد لبه		موازی با لبه
	لوبیایی کوتاه	لوبیایی بلند	
۳ mm	۵ mm	۰/۷۵d	۰

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ پ حداکثر فاصله سوراخ تا لبه

علاوه بر کنترل‌های لازم از لحاظ کمانش موضعی، حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ و یا پرچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا به‌صورت زیر است:

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۱۲ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین از ۱۵۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۸ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین ۱۲۵ میلی‌متر تجاوز کند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ت حداکثر فواصل سوراخ‌ها

علاوه بر کنترل‌های لازم از لحاظ کمانش موضعی، حداکثر فاصله بین وسایل اتصال در نیمرخ‌های ساخته شده از ورق و نیمرخ و یا دو ورق به‌شرح زیر است:

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین قسمت متصل‌شونده و همچنین از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.
۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازکترین قسمت متصل‌شونده و همچنین از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ نواحی مجاور اتصال و اجزای اتصال

این بند مربوط می‌شود به‌کنترل نواحی مجاور اتصال نظیر انتهای تیرها که قسمتی از بال فوقانی آن برداشته شده (زبانه شده) است و یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به‌علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به‌علت اثر ترکیبی برش در سطح ماربر وسیله اتصال و کشش در سطح عمود بر آن خرابی اتفاق افتد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ مقاومت کششی اعضا

مقاومت کششی این اعضا با در نظر گرفتن اثرات اتصال مطابق ضوابط بخش (۱۰ ـ۲ ـ ۳) تعیین می‌شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ مقاومت فشاری اعضا

مقاومت فشاری اعضا براساس سطح مقطع کلی (A_g) مطابق ضوابط بخش (۱۰ ـ ۲ ـ ۴) تعیین می‌شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مقاومت برشی اعضا

مقاومت برشی نواحی مجاور اتصال، ϕR_n ، باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالات حدی تسلیم برشی روی مقطع کلی و گسیختگی برشی روی مقطع خالص منظور شود.

الف) براساس تسلیم برشی روی مقطع کل:

$$\phi = ۱ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۵)$$
$$R_n = ۰/۶ F_y A_g$$

ب) براساس گسیختگی برشی روی مقطع خالص:

$$\phi = ۰/۷۵ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۶)$$
$$R_n = ۰/۶ F_u A_{nv}$$

در روابط فوق:

A_g = سطح مقطع کل

A_{nv} = سطح مقطع خالص برشی (مطابق ضوابط بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۳)

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت

F_y = تنش تسلیم فولاد

F_u = مقاومت کششی فولاد

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ مقاومت برش قالبی

در اتصال انتهای تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در اتصال اعضای کششی و یا در ورق‌های اتصال انتهایی خرپاها و مهاربندها و یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به‌علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به‌علت اثر ترکیبی برش در مقطع ماربر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خرابی اتفاق افتد (شکل‌های ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱ و ۱۲)، مقاومت برش قالبی، ϕR_n ، از مجموع مقاومت

برشی در روی سطح ماربر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$\phi = ۰/۷۵$

$$R_n = ۰/۶ F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq ۰/۶ F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۷)$$

که در آن:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت برش

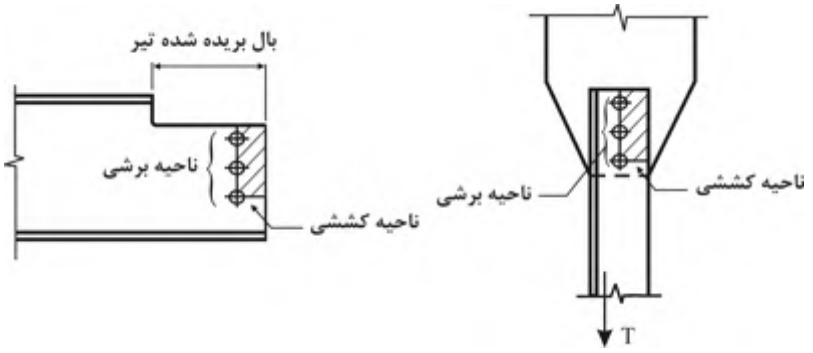
A_{nt} = سطح مقطع خالص تحت کشش

A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت برش

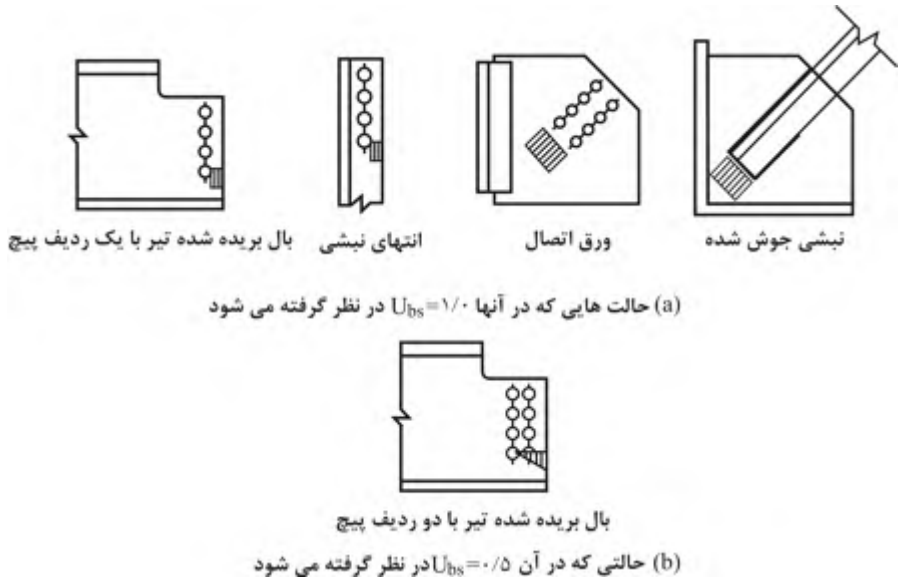
F_u = مقاومت کششی فولاد

F_y = تنش تسلیم فولاد

U_{bs} = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود، (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۲).



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۱ سطوح گسیختگی در برش قالبی.

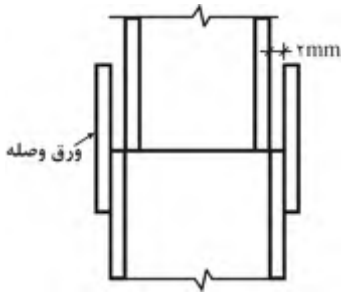


شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۲ توزیع تنش کششی در برش قالبی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)

۱. در اتصالات جوشی، ورق پرکننده‌ای که ضخامت آن ۶ میلی‌متر و بیشتر باشد باید از لبهٔ ورق وصله به‌اندازهٔ کافی ادامه یابد و به‌قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرد، جوش شود. این جوش باید برای انتقال تنش‌های ورق وصله هنگامی‌که به‌صورت برون‌محور بر سطح ورق پرکننده اثر می‌کند، کافی باشد. جوش‌هایی که ورق وصله را به‌ورق پرکننده متصل می‌کنند باید برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی بوده و طول کافی داشته باشد.

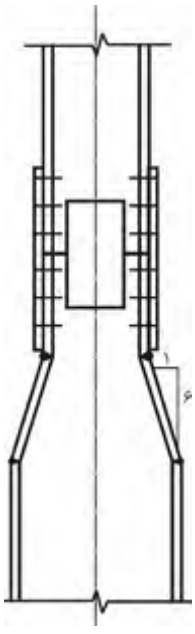
۲. ورق پرکننده‌ای که ضخامت آن کمتر از ۶ میلی‌متر باشد، باید لبه‌هایش همباد ورق وصله تمام شود و اندازهٔ جوش باید به‌اندازه‌ای باشد که ضخامت ورق پرکننده را دربر گیرد و جوابگوی تنش‌های ورق وصله نیز باشد. در این حالت ورق پرکننده نقش سازه‌ای نداشته و لزومی به طراحی آن نمی‌باشد. در این حالت اندازهٔ جوش باید مساوی مجموع اندازه جوش لازم جهت تحمل نیروی وصله به‌اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود. ورق‌های پرکننده در صورتی مورد نیاز است که فاصلهٔ بین وجه داخلی ورق اتصال و وجه خارجی ستون فوقانی از ۲ میلی‌متر بیشتر باشد.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۳ نیاز به‌ورق پرکننده در وصلهٔ ستون‌ها.

۳. هنگامی که از پیچ و پرچ برای اتصال ورق‌های وصله و پرکننده استفاده می‌شود و پیچ و پرچ از میان ورق پرکننده‌ای با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر می‌گذرد، ورق پرکننده باید از اطراف ورق اتصال ادامه یافته و توسط وسایل اتصال کافی نگهداری شود. در مورد ورق‌های از ۶ تا ۲۰ میلی‌متر، در صورتی‌که ضریب کاهش $[۱-۰/۰۱۶(t-۶)]$ به‌تنش برشی پیچ اعمال گردد، نیازی به‌ادامه یافتن ورق پرکننده به‌اطراف نخواهد بود. در رابطهٔ فوق، t ضخامت ورق پرکننده برحسب میلی‌متر است.

توصیه می‌شود ستون‌ها قبل از محل درز، هم‌اندازه شوند، به‌طوری که نیاز به‌ورق پرکننده نداشته باشیم.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۴ جزییات وصله با کاهش ابعاد ستون.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۶ مقاومت اتکایی

مقاومت اتکایی سطوح متکی به‌هم براساس حالت حدی اتکایی (تسلیم فشاری موضعی) مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۷۵

R_n = مقاومت اتکایی اسمی که برای سطوح اتکایی مختلف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

الف) سطوح صاف و آماده شده ، جدار سوراخ‌های تنظیم شده برای پین، و انتهای سخت‌کننده اتکایی کاملاً جفت شده

$$R_n = ۱/۸ F_y A_{pb} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۸)$$

که در آن:

F_y = تنش تسلیم فولاد

A_{pb} = سطح تصویر اتکا

ب) کفشک‌های تکیه‌گاهی

۱. برای $d < ۶۰۰\ mm$:

$$R_n = ۱/۲ \times \frac{(F_y - ۹۰۰)\ell d}{۲۰} \quad \text{یا} \quad SI: \left[R_n = ۱/۲ \times \frac{(F_y - ۹۰)\ell d}{۲۰} \right]^* \qquad (۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۱۹)$$

۲. برای $d > ۶۰۰\ mm$:

$$R_n = ۹/۶ \times \frac{(F_y - ۹۰۰)\ell \sqrt{d}}{۲۰} \quad \text{یا} \quad SI: \left[R_n = ۳۰/۲ \times \frac{(F_y - ۹۰)\ell \sqrt{d}}{۲۰} \right]^*$$

$$(۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰)$$

در روابط فوق:

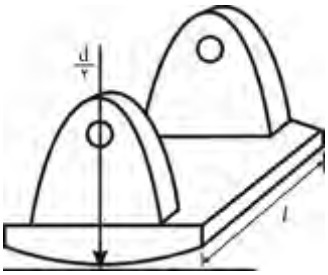
F_y = تنش تسلیم فولاد برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا $[N/mm^۲]^*$

d = قطر کفشک برحسب سانتی‌متر یا $[mm]^*$

* واحدهای داخل کروشه مربوط به‌سیستم SI می‌باشد.

ℓ = طول اتکا برحسب سانتی‌متر یا [mm]*

R_n = مقاومت اتکایی اسمی برحسب کیلوگرم یا [N]*



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۵ کفشک‌های تکیه‌گاهی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۷ کف ستون‌ها و قطعات فولادی با فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی

پیش‌بینی‌های لازم برای انتقال بار ستون‌ها به‌شالوده باید به‌عمل آید.

در صورتی‌که مقررات و مشخصات خاصی برای مقاومت اتکایی موجود نباشد، مقاومت اتکایی طرح، برای مصالح مختلف تکیه‌گاهی مساوی $\phi_c P_p$ می‌باشد که در آن:

ϕ_c = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۶

P_p = مقاومت اتکایی اسمی که برای مصالح مختلف تکیه‌گاهی به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی با سنگ‌آهکی یا ماسه‌سنگ متراکم و ماسه‌سیمان

$$P_p = ۶۰A_p \quad \text{یا} \quad [SI: P_p = ۶A_p]^* \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۱)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه برحسب سانتی‌متر مربع یا [$mm^۲$]*

P_p = برحسب کیلوگرم* [نیوتن]

* واحدهای داخل کروشه مربوط به‌سیستم SI می‌باشد.

ب) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه‌سیمان :

$$P_p = ۴۰ A_p \quad \text{یا} \quad [SI: P_p = ۴\ A_p\ ]^* \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۲)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه برحسب سانتی‌متر مربع یا $[mm^۲]^*$

P_p = برحسب کیلوگرم * [نیوتن]

پ) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$P_p = ۰/۸۵ f_c A_۱ \sqrt{\frac{A_۲}{A_۱}} \le ۱/۷ f_c A_۱ \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۳)$$

که در آن:

f_c = مقاومت مشخصهٔ فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد

$A_۱$ = سطح ورق کف ستون در تماس با شالوده

$A_۲$ = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کف ستون که در پلان و عمق شالوده مطابق شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۶ ـ ب و پ محدود می‌شود.

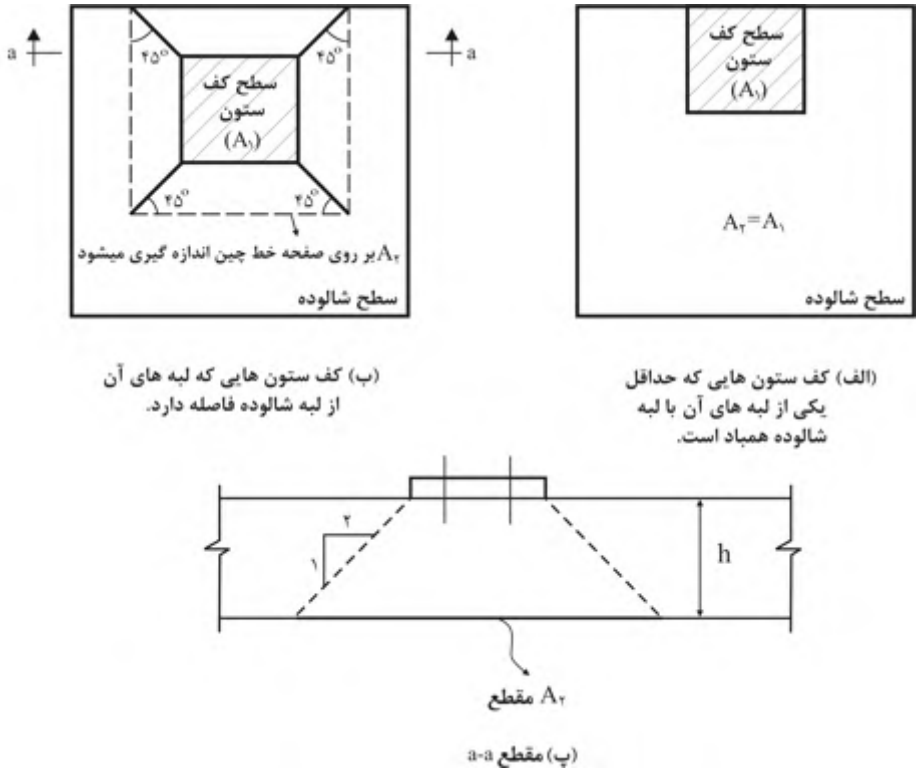
۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ میله‌مهارها و اقلام مدفون

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ ـ ۱ میله‌مهارها

میله‌مهارها باید طوری طراحی و محاسبه شوند که در تمام حالت‌های بارگذاری وارد بر سازه، از نظر کشش و برش در پای‌ستون‌ها، جوابگو باشند که شامل کشش ناشی از لنگر خمشی حاصل از گیرداری و یا نیمه‌گیرداری پای ستون نیز می‌باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ ـ ۲ اقلام مدفون

سازهٔ بتنی باید طوری طراحی شود که به‌طور ایمن نیروهای حاصل از اقلام مدفون را با ضریب اطمینان کافی حمل نماید، به‌نحوی که اطمینان حاصل گردد که مقاومت اقلام مدفون در اثر گسیختگی موضعی و یا عمومی سازهٔ بتنی تقلیل پیدا نکند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۶ سطح اتکا در تماس با شالودهٔ بتنی.

مقاومت و طراحی عناصر فولادی اقلام مدفون باید مطابق ضوابط این آیین‌نامه باشد. پیچ‌ها، گلمیخ‌ها و میله‌مهارهایی که به‌عنوان مهارهای مدفون، نیروی کششی حمل می‌کنند، باید جهت انتقال بارهای طراحی به‌بتن از طریق نیروی پیوستگی، برشی و اتکایی و یا ترکیبی از آنها طراحی گردند.

انتقال بارهای برشی توسط اقلام مدفون به‌بتن، توسط مفهوم *برش ـ اصطکاک* صورت می‌پذیرد که در این خصوص ارجح است به‌مبحث نهم از مقررات ملی ساختمان مراجعه شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۸ ـ ۳ اقلام مدفون پیش‌تنیده

مهار کردن اقلام به‌سازه‌های بتنی توسط اعضای فولادی پرمقاومت پس‌کشیده مجاز است.

ضوابط مربوط به‌مصالح و طراحی اعضای فولادی پرمقاومت و مهار آنها، و نیز روش‌های ساخت و نصب آنها باید مطابق ضوابط یک آیین‌نامهٔ معتبر باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ جان و بال‌های اعضا تحت اثر بارهای متمرکز

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۱ کلیات

بندهای این بخش مربوط است به‌بررسی جان و بال (یا بال‌های) اعضایی که به‌یک یا هر دو بال آنها نیروهای متمرکز در امتداد عمود بر صفحهٔ بال و به‌طور متقارن نسبت به‌جان اثر می‌کند.

نیروهای متمرکز می‌تواند به‌صورت تک و یا زوج نیرو باشد. نیروی متمرکز تکی به‌صورت فشاری و یا کششی، و زوج نیرو یکی کششی و دیگری فشاری بوده و ایجاد لنگر در عضو می‌نماید.

بال و جان اعضایی که تحت اثر بار متمرکز بر بال قرار می‌گیرند، باید دارای مقاومت طرح کافی جهت اقناع معیارهای زیر باشند:

۱. خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی (مطابق بند ۱۰ـ۲ـ۱۰ـ ۹ ـ ۲)

۲. تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری (مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۳)

۳. لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۴)

۴. کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰ـ۲ـ۱۰ـ ۹ ـ ۵)

۵. کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری، که به‌هر دو بال عضو اثر می‌کند. (مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۶)

۶. برش در چشمه اتصال (مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۷)

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۲ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

این بخش برای هر دو حالت نیروی کششی متمرکز تکی و مؤلفهٔ کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۷).

مقاومت طرح، براساس حالت حدی خمش موضعی بال مساوی ϕR_n می‌باشد که درآن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹ و

$$R_n = ۶/۲۵ t_f^۲ F_{yf} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۴)$$

که در آن:

t_f = ضخامت بال تحت نیروی کششی

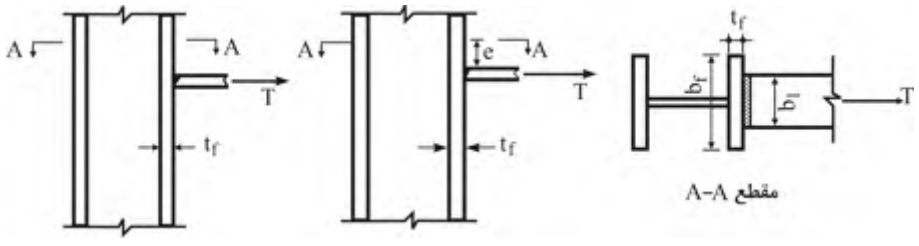
F_{yf} = تنش تسلیم بال

R_n = مقاومت اسمی با اعمال محدودیت‌های زیر:

۱. در صورتی‌که طول بارگذاری شده در امتداد عرض بال ($b_۱$) ، کوچکتر از $۰/۱۵ b_f$ باشد، بررسی رابطه (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۴) لازم نیست.

۲. در صورتی‌که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از $۱۰ t_f$ از انتهای عضو اثر نماید ($e<۱۰ t_f$) ، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۴) باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

تبصره : در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری می‌باشد. همچنین سخت‌کننده‌های لازم باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹) را برآورده نمایند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۷ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۳ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

این بخش برای نیروی کششی متمرکز تکی، نیروی فشاری متمرکز تکی و هر دو مؤلفهٔ فشاری و کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۸).

مقاومت طرح، براساس حالت حدی تسلیم موضعی جان مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۱

R_n = مقاومت اسمی به‌شرح زیر:

۱. در حالتی‌که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی و بزرگتر از d از انتهای عضو وارد می‌شود.

$$R_n = (5k + N) F_{yw} t_w \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۵)$$

۲. در حالتی‌که بار متمرکز، در فاصله‌ای کمتر از d از انتهای عضو وارد می‌شود.

$$R_n = (2/5k + N) F_{yw} t_w \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۶)$$

در روابط فوق:

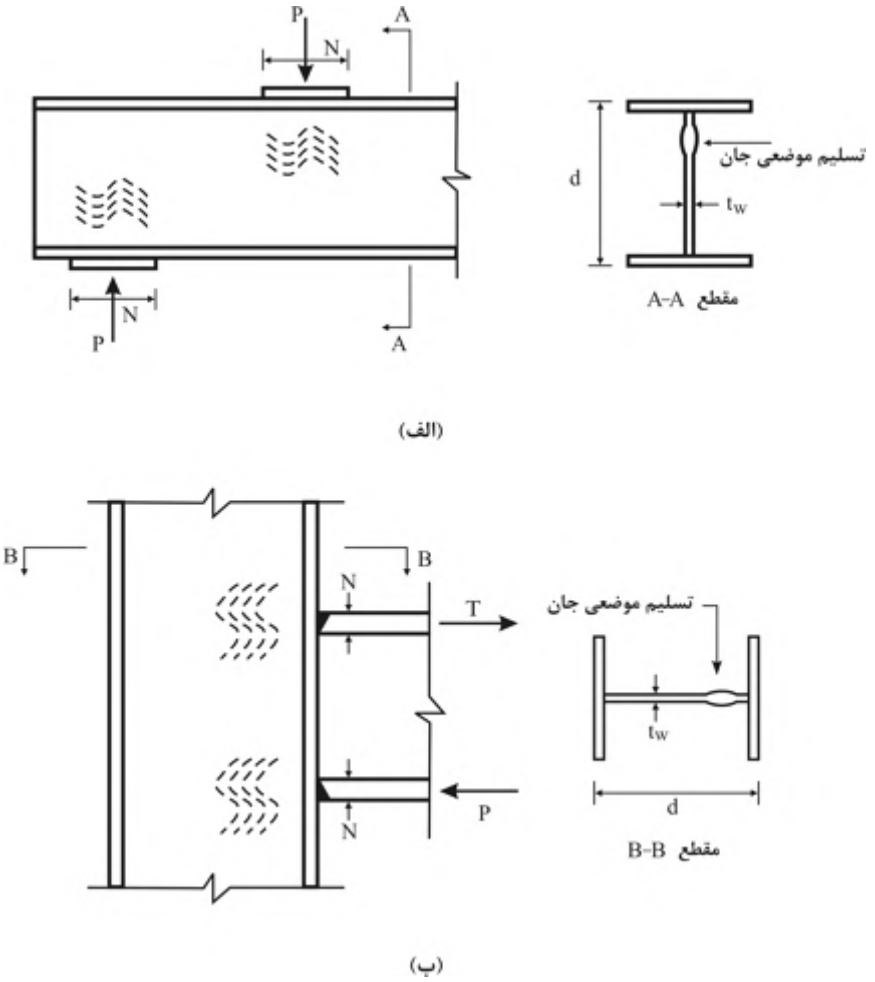
F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان

t_w = ضخامت جان

d = ارتفاع کلی مقطع

k = فاصله از سطح خارج بال تا انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از سطح خارج بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق.

N = طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل تکیه‌گاهی مقدار N نباید کمتر از k اختیار گردد).



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۸ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری.

تبصره : در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری است. همچنین سخت‌کننده‌های لازم باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹) را برآورده نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۴ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

این بخش برای هر دو حالت نیروی فشاری متمرکز تکی و مؤلفهٔ فشاری زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۹).

مقاومت طـرح، براساس حالت حدی لهیدگی موضعی جان مساوی ϕR_n می‌باشد کـه در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۷۵

R_n = مقاومت اسمی به‌شرح زیر:

۱. در حالتی‌که بـار متمرکـز، در فاصله‌ای مساوی و یا بزرگتـر از $\frac{d}{۲}$ از انتهای عضـو وارد می‌شود :

$$R_n = ۰/۸ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{۱/۵} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۷)$$

۲. در حالتی‌که بار متمرکز در فاصله‌ای کمتر از $\frac{d}{۲}$ از انتهای عضو وارد می‌شود:

ـ در صورتی‌که $\frac{N}{d} \le ۰/۲$ باشد:

$$R_n = ۰/۴ t_w^۲ \left[۱ + ۳ \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{۱/۵} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۸)$$

ـ در صورتی‌که $\frac{N}{d} > ۰/۲$ باشد :

$$R_n = ۰/۴ t_w^۲ \left[۱ + \left(\frac{۴N}{d} - ۰/۲ \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{۱/۵} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۹)$$

در روابط فوق:

d = ارتفاع کلی مقطع

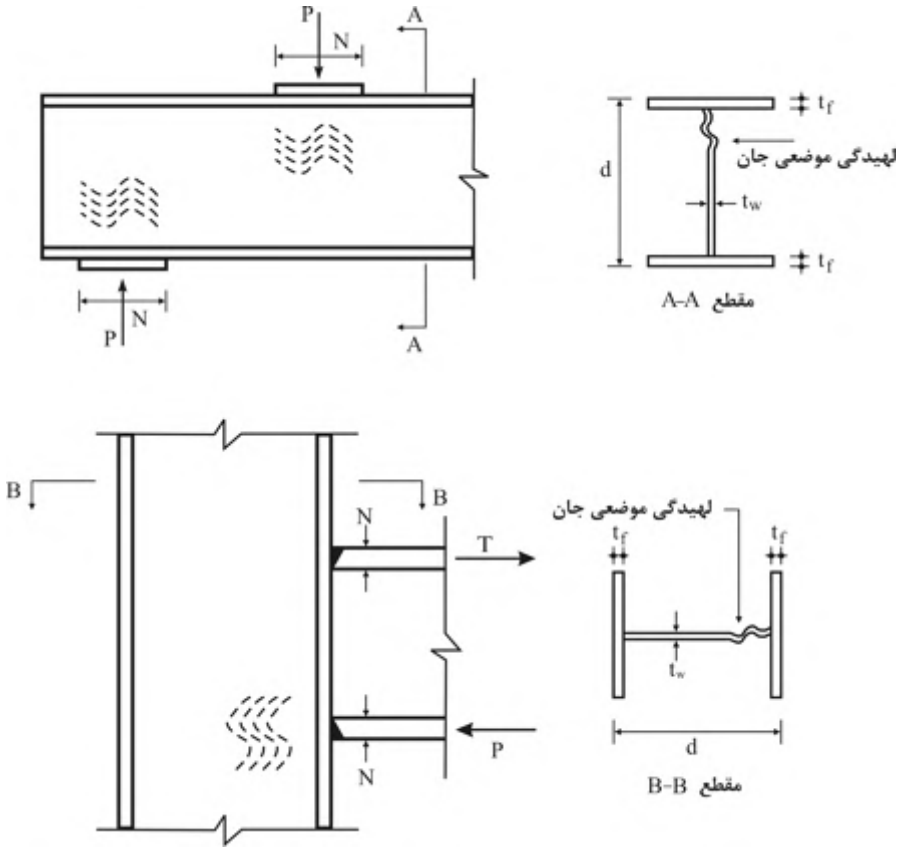
t_w = ضخامت جان

t_f = ضخامت بال تحت بار

N = طول اتکای بار متمرکز. برای عکس‌العمل تکیه‌گاهی مقدار N نباید کمتر از k اختیار گردد.

F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان

E = مدول الاستیسیته فولاد



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۱۹ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری.

تبصره : در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری است. همچنین سخت‌کننده‌های لازم باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹) را برآورده نماید.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۵ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

این بخش مربوط است به‌حالتی که یک نیروی فشاری متمرکز تکی، به‌عضوی اعمال می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل تأثیر نیروی متمرکز توسط مهار جانبی جلوگیری نشده است (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰).

مقاومت طرح، براساس حالت حدی کمانش جانبی جان مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

$\phi =$ ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۸۵

$R_n =$ مقاومت اسمی به‌شرح زیر:

۱. اگر بال فشاری (بال بارگذاری‌شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده باشد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰ ـ الف).

ـ در صورتی‌که $\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)$ کوچکتر یا مساوی ۲/۳ باشد:

$$R_n = \frac{C_r\, t_w^{۳}\, t_f}{h^{۲}}\left[۱+۰/۴\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)^{۳}\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۰)$$

ـ درصورتی‌که $\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)$ بزرگتر از ۲/۳ باشد لزومی به‌کنترل کمانش جانبی جان نیست.

تبصره ۱: در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، باید بال کششی را مهار نمود و یا از یک جفت سخت‌کننده در زیر بار متمرکز، یا از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) استفاده نمود. در صورت استفاده از ورق تقویتی جان رعایت ضوابط بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۷) و در صورت استفاده از سخت‌کننده در زیر بار متمرکز رعایت ضوابط بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹) ضروری است.

۲. اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰ ـ ب).

ـ در صورتی‌که $\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)$ کوچکتر یا مساوی ۱/۷ باشد :

$$R_n = \frac{C_r\, t_w^{۳}\, t_f}{h^{۲}} \left[۰/۴\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)^{۳}\right] \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۱)$$

ـ در صورتی‌که $\left(\frac{h/t_w}{\ell/b_f}\right)$ بزرگتر از ۱/۷ باشد لزومی به‌کنترل کمانش جانبی جان نیست.

تبصره ۲ : در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه مهار جانبی برای هر دو بال فشاری و کششی ضروری است.

در روابط فوق:

b_f = عرض بال

t_f = ضخامت بال

t_w = ضخامت جان

ℓ = بزرگترین طول بدون مهار جانبی هر دو بال در محدودهٔ اعمال بار متمرکز

h = ارتفاع خالص جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصله بین دو بال در مقاطع ساخته‌شده از ورق)

C_r = به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

ـ اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u < M_y$ باشد:

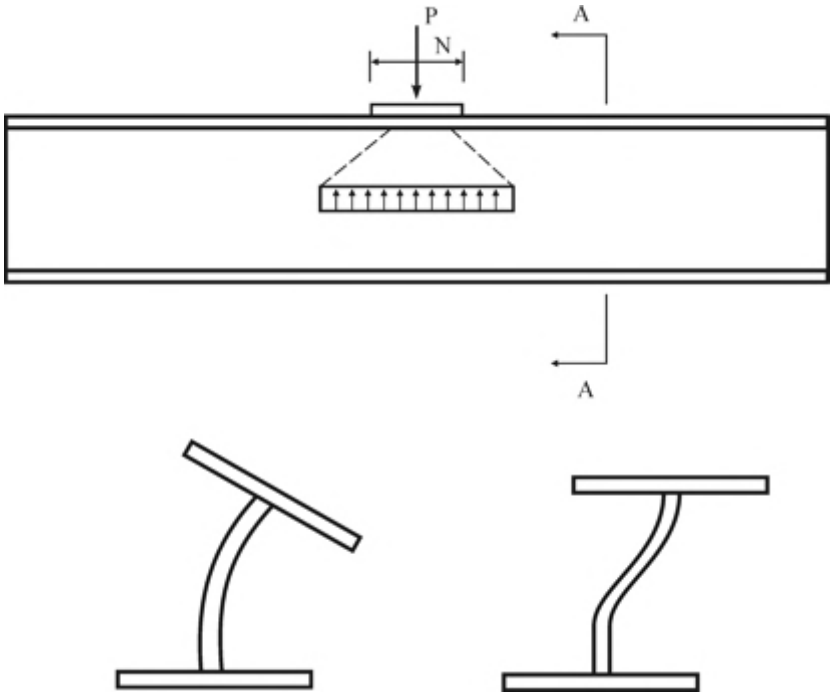
$$C_r = ۶/۶۲\times۱۰^{۷}\ kg/cm^{۲} \quad \text{یا} \quad SI:\left[C_r = ۶/۶۲\times۱۰^{۶}\ N/mm^{۲}\right]^{*}$$

$$(۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۲)$$

ـ اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u \geq M_y$ باشد :

$$C_r = ۳/۳۱\times۱۰^{۷}\ kg/cm^{۲} \quad \text{یا} \quad SI:\left[C_r = ۳/۳۱\times۱۰^{۶}\ N/mm^{۲}\right]^{*}$$

$$(۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۳)$$



(الف) بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است. (مقطع A-A)

(انتقال بدون دوران)

(ب) بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است. (مقطع A-A)

(انتقال با دوران)

شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۰ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۶ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

این بخش مربوط به‌حالتی است که یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مؤلفهٔ فشاری زوج نیرو در یک مقطع در جهت مخالف به‌بال‌های مقابل عضو اعمال می‌شوند (شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۱).

مقاومت طـرح، براساس حالت حـدی کمانش موضعی جان مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

$\phi = ۰/۹$

$$R_n = \frac{۲۴ t_w^۳ \sqrt{E F_{yw}}}{h} \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۴)$$

که در آن:

t_w = ضخامت جان

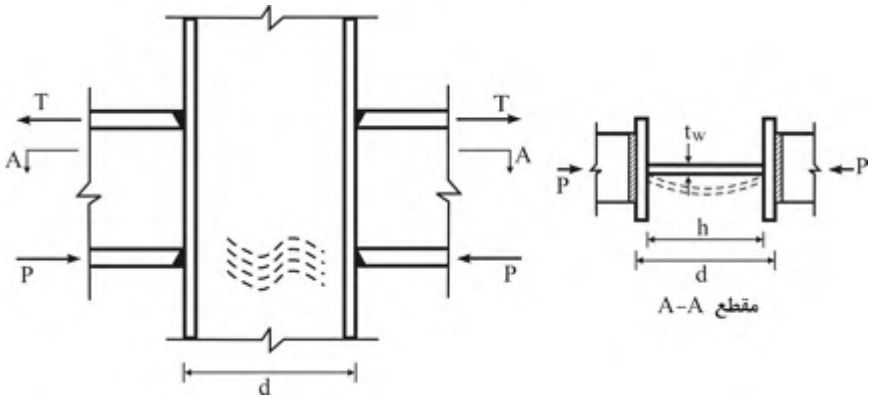
h = ارتفاع خالص جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصلهٔ بین دو بال در مقاطع ساخته‌شده از ورق)

F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان

E = مدول الاستیسیته فولاد

تبصره ۱: در صورتی‌که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از $\frac{d}{۲}$ از انتهای عضو اثر نماید، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۴) باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

تبصره ۲: در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری است. همچنین سخت‌کننده‌های لازم باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹) را برآورده نمایند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۱ کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۷ برش در چشمه اتصال

این بخش مربوط است به‌حالتی که یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو اثر می‌کند (شکل‌های ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۲ و ۲۳).

مقاومت طرح، براساس حالت حدی تسلیم برشی مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۹

R_n = مقاومت اسمی به‌شرح زیر:

۱. در حالتی‌که تأثیر تغییرشکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشود:

ـ اگر $P_r \le ۰/۴ P_c$ باشد :

$$R_n = ۰/۶ F_y d_c t_w \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۵)$$

ـ اگر $P_r > ۰/۴ P_c$ باشد :

$$R_n = ۰/۶ F_y d_c t_w \left(۱/۴ - \frac{P_r}{P_c} \right) \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۶)$$

۲. در حالتی‌که تأثیر تغییرشکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور شود.

ـ اگر $P_r \le ۰/۷۵ P_c$ باشد :

$$R_n = ۰/۶ F_y d_c t_w \left(۱ + \frac{۳ b_{cf} t_{cf}^۲}{d_b d_c t_w} \right) \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۷)$$

ـ اگر $P_r > ۰/۷۵ P_c$ باشد :

$$R_n = ۰/۶ F_y d_c t_w \left(۱ + \frac{۳ b_{cf} t_{cf}^۲}{d_b d_c t_w} \right) \left(۱/۹ - \frac{۱/۲ P_r}{P_c} \right) \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۸)$$

در روابط فوق:

b_{cf} = عرض بال ستون

t_{cf} = ضخامت بال ستون

d_c = ارتفاع مقطع ستون

d_b = ارتفاع مقطع تیر

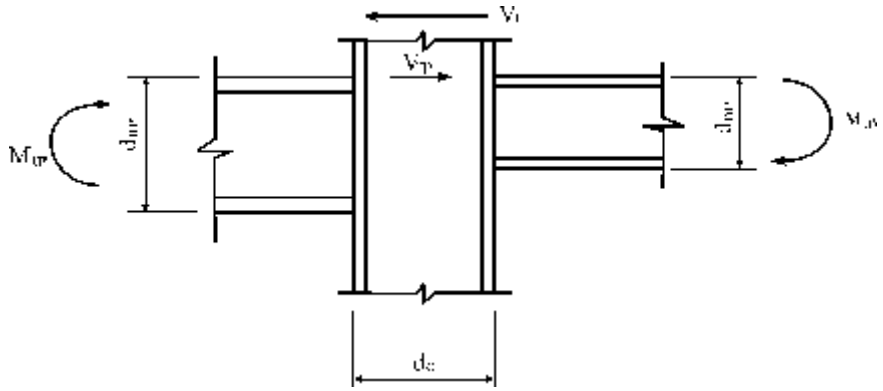
t_w = ضخامت جان ستون

F_y = تنش تسلیم فولاد

$(P_c = P_y = A F_y)$: نیروی محوری تسلیم مقطع ستون (A سطح مقطع ستون است)

P_r = مقاومت محوری مورد نیاز

تبصره ۱: در صورتی‌که مقاومت مورد نیاز از مقاومت موجود بیشتر باشد، تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت‌کننده قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محدودهٔ چشمه اتصال ضروری است. همچنین ورق‌های مضاعف باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۱۰) را برآورده نمایند.



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۲ نیروهای وارد بر چشمهٔ اتصال.

مقاومت برشی مورد نیاز در چشمه اتصال

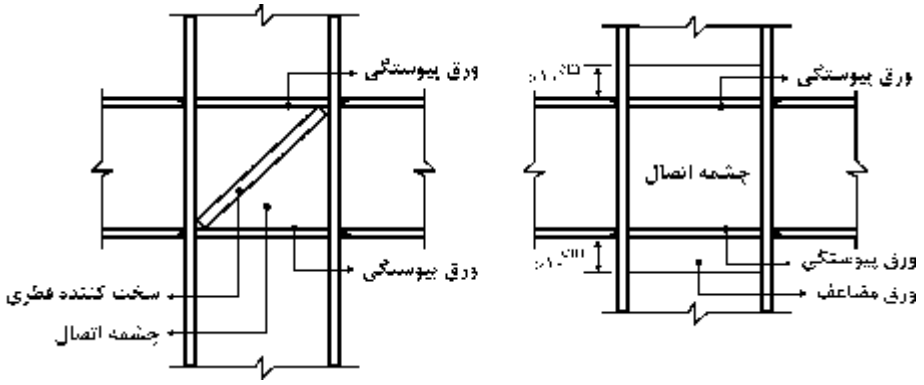
تبصره ۲ : مطابق شکل (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۲) مقاومت برشی مورد نیاز چشمهٔ اتصال، V_{rp} ، از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$V_{rp} = \frac{M_{u۱}}{d_{m۱}} + \frac{M_{u۲}}{d_{m۲}} - V_u \qquad (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۳۹)$$

$M_{u۱}$ و $M_{u۲}$ = به‌ترتیب لنگرهای خمشی ضریبدار انتهایی تیرهای سمت چپ و راست حاصل از بارگذاری جانبی و قائم

V_u = برش انتهایی ستون فوقانی

$d_{m۱}$ و $d_{m۲}$ = به‌ترتیب ارتفاع تیرهای سمت راست و چپ



شکل ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۲۳ نمایش سخت‌کننده‌های قطری و ورق مضاعف در چشمهٔ اتصال.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۸ انتهای آزاد تیرها و شاهتیرها

در انتهای آزاد تیرها و شاهتیرها که در مقابل دوران در حول محور طولی نگهداری نشده است، باید یک جفت سخت‌کنندهٔ عرضی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارد، تعبیه گردد. سخت‌کننده‌ها باید مقررات بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹) را برآورده نمایند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۹ مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز

۱. در صورتی‌که مطابق بندهای (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۲) و (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۳) نیاز به‌سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز کششی باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز تعبیه نمود. سخت‌کننده‌ها باید دارای مقاومت کششی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز مطابق مقررات بخش (۱۰ ـ ۲ ـ۳) باشد.

- جوش سخت‌کننده‌ها به‌بال‌های کششی و فشاری باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز باشد.
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز باشد.

۲. در صورتی‌که مطابق بندهای (۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۹ـ۳)، (۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۹ـ۴) ، (۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۹ـ ۵) و (۱۰ـ۲ـ۱۰ـ۹ـ۶) نیاز به‌سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز فشاری باشد، لازم است یک جفت سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز تعبیه نمود.

- این سخت‌کننده‌ها باید به‌صورت ستون فرضی با بار محوری (مطابق مقررات بخش ۱۰ ـ ۲ ـ ۴) محاسبه شوند. ارتفاع مؤثر ستون فرضی برای $0/75h$ (h ارتفاع خالص جان در فاصله بین دو بال) در نظر گرفته می‌شود. سطح مقطع ستون فرضی عبارت است از سطح مقطع جفت سخت‌کننده به‌اضافه نواری از جان که پهنای آن در سخت‌کننده‌های میانی برابر $25t_w$ و در سخت‌کننده‌های انتهایی برابر $12t_w$ درنظر گرفته می‌شود. (t_w ضخامت جان است).
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌بال (یا بال‌ها) باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز باشد.
- جوش سخت‌کننده‌ها به‌جان باید دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت اتصال دو انتهای سخت‌کننده باشد.

۳. سخت‌کننده‌های عرضی و قطری باید معیارهای تکمیلی زیر را نیز برآورده نمایند:

- عرض هر سخت‌کننده به‌اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از یک‌سوم عرض بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند)، کمتر باشد.
- ضخامت سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند)، کمتر باشد. همچنین ضخامت سخت‌کننده‌ها نباید از عرض هر سخت‌کننده تقسیم بر ۱۵ کمتر باشد.
- ارتفاع ورق سخت‌کننده باید مساوی ارتفاع جان (فاصلهٔ بین دو بال) باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۱۰ مقررات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) در مقابل نیروهای متمرکز

ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) که طبق بند (۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۷) مورد نیاز است، باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

۱. ضخامت ورق مضاعف و ابعاد آن باید جبران کمبود مقاومت موجود را بنماید.

۲. جوش ورق مضاعف به‌جان باید برای انتقال نیروی سهم ورق کافی باشد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۱۱ پایداری ورق‌های چشمهٔ اتصال

ضخامت هریک از ورق‌های واقع در چشمهٔ اتصال، شامل جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال، باید رابطهٔ زیر را برآورده نمایند:

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{۹۰} \qquad (۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۱۲)$$

که در آن:

t_z = ضخامت جان (یا هریک از جان‌های) ستون یا هریک از ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال

d_z = عمق چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ خالص بین ورق‌های پیوستگی می‌باشد.

w_z = عرض چشمهٔ اتصال که فاصلهٔ خالص بین بال‌های ستون می‌باشد.

در صورتی‌که ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال، با جوش انگشتانه کافی به‌جان ستون متصل شده باشند، مجموع ضخامت جان ستون و ورق‌های تقویت چشمهٔ اتصال به‌عنوان t_z منظور می‌گردد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ شرایط بهره‌برداری

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۱ توجه به‌شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه

این بخش به‌عواملی که از نظر شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه مطرح است و در بخش‌های دیگر یاد نشده است، می‌پردازد. شرایط بهره‌برداری عبارت است از شرایطی که در آن سازهٔ ساختمان ضمن انجام نقش اصلی خود (مقاومت در مقابل نیروهای خارجی)، حفظ ظاهر، عوامل سرویس و نگهداری، دوام و پایداری و نیز راحتی استفاده‌کنندگان را تأمین می‌کند.

محدود کردن بازتاب سازه، برای تأمین شرایط بهره‌برداری (مانند محدودیت تغییرشکل حداکثر تیرها و جلوگیری از لرزش کف‌های زیرپا و نظایر آن) با توجه به‌نقشی که سازه به‌عهده دارد، باید به‌میزان مناسبی صورت گیرد.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۲ پیش‌خیز در تیرها

اگر برای بعضی از اعضای خمشی، پیش‌خیز بخصوصی لازم است تا در هنگام بارگذاری به‌شکل مورد نظر و در ارتباط با اعضای دیگر درآید، باید اینگونه محدودیت‌ها در مدارک طرح و محاسبه به‌روشنی مشخص شود.

در خرپاها با دهانه بیش از ۱۲ متر، لازم است به‌اندازهٔ تغییرشکل بار مرده، پیش‌خیز داده شود. در شاهتیرهای مربوط به‌جراثقال با دهانه بزرگتر از ۱۲ متر باید پیش‌خیزی در حدود تغییرشکل ناشی از بار مرده به‌اضافه $\frac{۱}{۲}$ بار زنده، پیش‌بینی شود.

تیرها و خرپاهایی که خیز معینی برای آنها قید نشده باشد، باید در کارخانه طوری ساخته شوند که به‌هر حال پس از نصب، تغییرشکل رو به‌بالا (خیز) داشته باشند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ۳ انبساط و انقباض حرارتی

بررسی پیش‌بینی‌های لازم برای اثرات تغییرات دما، متناسب با شرایط بهره‌برداری باید به‌عمل آید. در محاسبات، ضریب انبساط و انقباض حرارتی فولاد برابر ۱۲×۱۰^{-۶} به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ ـ ۲ ـ ۱۱ ـ ۴ افتادگی، ارتعاش و انتقال جانبی

الف) افتادگی

تیرها و شاهتیرهایی که کف‌ها و سقف‌های ساختمانی را تحمل می‌کنند باید با توجهی خاص به‌تغییرمکان آنها در اثر بارهای محاسباتی، طرح و محاسبه شوند.

تیرها و شاهتیرهایی که سقف‌های نازک‌کاری شده را تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه شوند که تغییرمکان حداکثر نظیر بار مرده و زنده از $\frac{۱}{۲۴۰}$ طول دهانه و تغییرمکان حداکثر نظیر بار زنده از $\frac{۱}{۳۶۰}$ طول دهانه بیشتر نشود.

ب) ارتعاش

تیرها و شاهتیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میراکنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجهی خاص به‌لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (راه رفتن اشخاص، حرکت و توقف آسانسورها و نظایر آنها)

محاسبه شونـد. در تیرهای مربـوط به‌این کف‌ها، نسبت ارتفاع به‌دهانـه $\left(\frac{d}{L}\right)$ نبایـد از $\frac{۱}{۲۰}$ کمتر گردد. d ارتفاع کلی مقطع تیر (شامل ارتفاع بتن در تیرهای مختلط) و L طول مرکز به‌مرکز تکیه‌گاهی تیر است. همچنین لازم است فرکانس نوسانی تیرها محاسبه گردد که این فرکانس باید از حد احساس بشری کمتر باشد.*

پ) انتقال و نوسان جانبی در سازه‌های فولادی

سازهٔ فولادی باید سختی و صلبیت کافی داشته باشد و تغییرمکان جانبی آن در مقابل اثر باد یا زلزله محدودیت‌های آیین‌نامه‌های مربوطه را برآورده سازد.

* در این خصوص به‌مراجع راهنمای معتبر مراجعه شود. برای محاسبه فرکانس تیرهای دهانه ساده رابطهٔ زیر پیشنهاد شده است:

$$f = ۷۰\sqrt{\frac{I}{P_d L^۴}} \geq ۵$$

I= ممان اینرسی تیر $(cm^۴)$ ، P_d = بار مرده (kg/m) ، L= طول دهانه (m)

۱۰ـ۳ـ ضوابط طرح لرزه‌ای

۱۰ ـ ۳ ـ ۱	کلیات	۳۴۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۲	عبارات و اصطلاحات	۳۵۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۳	علایم و اختصارات	۳۵۴
۱۰ ـ ۳ ـ ۴	تعاریف	۳۵۵
۱۰ ـ ۳ ـ ۵	مشخصات مصالح	۳۵۹
۱۰ ـ ۳ ـ ۶	الزامات عمومی طراحی ستون‌ها و کف ستون‌ها	۳۶۰
۱۰ ـ ۳ ـ ۷	سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای	۳۶۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۸	قاب‌های خمشی	۳۶۶
۱۰ ـ ۳ ـ ۹	قاب‌های مهاربندی‌شده همگرا	۳۸۸
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰	قاب‌های مهاربندی‌شده واگرا	۳۹۸

۱۰ ـ ۳ ـ ۱ کلیات

۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱ ضوابط این فصل باید برای طراحی و ساخت آن دسته از اعضا و اتصالات و اجزای آن‌ها، که بخشی از سیستم باربر جانبی لرزه‌ای هستند، به‌کار برده شود. وصله‌های ستون‌های غیرباربر جانبی نیز مشمول این ضوابط می‌شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۲ در طراحی سازه‌های مشمول این فصل، رعایت ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۴ این آیین‌نامه، به‌جز مواردی که در این فصل به‌نحو دیگری مقرر شده باشد، الزامی است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۳ در طراحی سازه‌های مشمول این فصل چنانچه در محاسبهٔ نیروی جانبی زلزله، براساس ضوابط مبحث ششم مقررات ملی، مقدار ضریب رفتار R برابر یا کمتر از ۵ منظور شود، رعایت ضوابط این فصل الزامی نیست.

۱۰ ـ ۳ ـ ۲ عبارات و اصطلاحات

سیستم باربر جانبی لرزه‌ای: مجموعه‌ای از اعضای سازه، که در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله مقاومت می‌کنند.

قاب خمشی معمولی: قاب خمشی است که اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن، دارای آنچنان جزییاتی است که تغییرشکل‌های‌فرا ارتجاعی اندکی را، دربرابر زلزله طرح از خود نشان‌می‌دهد.

قاب خمشی متوسط : قاب خمشی است که اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن، دارای آنچنان جزییاتی است که تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را، در برابر زلزله طرح از خود نشان می‌دهد.

قاب خمشی ویژه: قاب خمشی است که اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن، دارای آنچنان جزییاتی است که تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را، در برابر زلزله طرح از خود نشان می‌دهد.

سیستم مهاربند : یک سیستم خرپایی متشکل از مهاربندهای همگرا و یا واگراست که وظیفهٔ اصلی آن، تحمل نیروهای جانبی وارد به‌سازه می‌باشد.

گره: محل برخورد دو یا چند عضو به‌یکدیگر است.

اتصال : مجموعه اجزایی که دو و یا چند عضو را به‌هم متصل می‌نمایند.

چشمه اتصال: ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون است که بین امتداد بال‌های بالایی و پایینی تیرهای دو وجه ستون و بال‌های ستون محصور می‌باشد.

ورق مضاعف : ورقی‌که برای تقویت جان ستون به‌موازات آن در چشمهٔ اتصال به‌کار می‌رود.

ورق پیوستگی: ورقی است در راستای بال‌های تیر که وظیفهٔ آن تأمین پیوستگی مسیر انتقال بار در ناحیهٔ اتصال تیر به‌ستون می‌باشد.

شکل‌پذیری: عبارت است از قابلیت استهلاک انرژی به‌واسطهٔ رفتار غیرالاستیکی کل سازه یا اعضای آن تحت اثر تغییرشکل‌های رفت و برگشتی با دامنهٔ بزرگ بدون کاهش قابل توجه در مقاومت آنها.

مقاومت تسلیم مورد انتظار: برحسب شرایط تولید، تنش تسلیم واقعی می‌تواند بزرگتر از تنش تسلیم محاسباتی گردد. در این فصل، ضریب این افزایش برای تمام تولیدات ۱/۱۵ فرض شده است.

سخت‌شدگی مجدد: سخت‌شدگی فولاد بعد از پله تسلیم. در این فصل نسبت افزایش مقاومت به‌واسطهٔ سخت‌شدگی مجدد ۱/۱ فرض شده است.

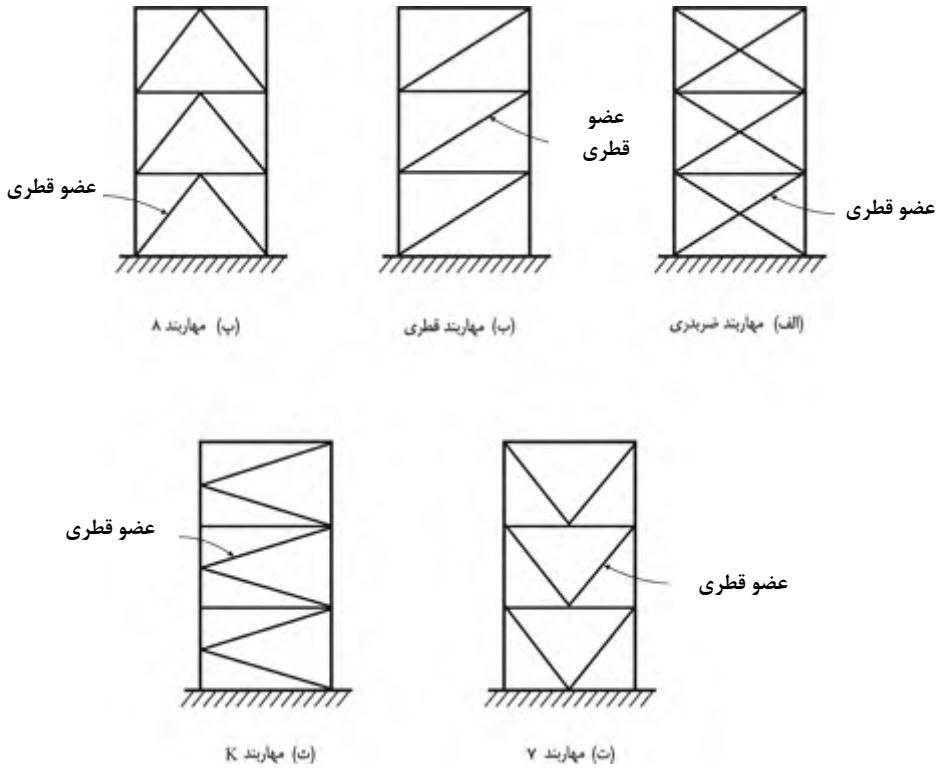
مهاربند همگرا: مهاربندی است که در آن هر دو انتهای محور عضو قطری مهاربند با محور تیر یا ستون در یک نقطه همگرا باشد.

مهاربند همگرای ضربدری: مهاربندی است که در آن دو عضو مهاربند، به‌صورت قطری رئوس متقابل یک دهانه را به‌هم متصل می‌نمایند (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ الف).

مهاربند همگرای قطری: مهاربندی است که در آن فقط یک عضو قطری در داخل دهانه وجود دارد (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ب).

مهاربند همگرای V و یا Λ (شورون) : مهاربندی است که در آن دو عضو مهاربند در روی یک گره در رو و یا در زیر تیر با یکدیگر همگرا می‌باشند (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ پ و ت).

مهاربند همگرای K : مهاربندی است که در آن اعضای قطری در یک طرف ستون قرار می‌گیرند و یکدیگر را در نقطه‌ای در روی ستون قطع می‌نمایند (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ ـ ث).



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ انواع مهاربند همگرا.

مهاربند واگرا: مهاربندی است که در آن حداقل یک انتهای عضو قطری مهاربند، به‌محلی از تیر در خارج از اتصال تیر و ستون متصل می‌شود، به‌طوری‌که بخش‌هایی از تیر را به‌خمش و برش وا می‌دارد. انواع مهاربند واگرا در شکل ۱۰ـ ۳ ـ ۲ نشان داده شده‌اند.

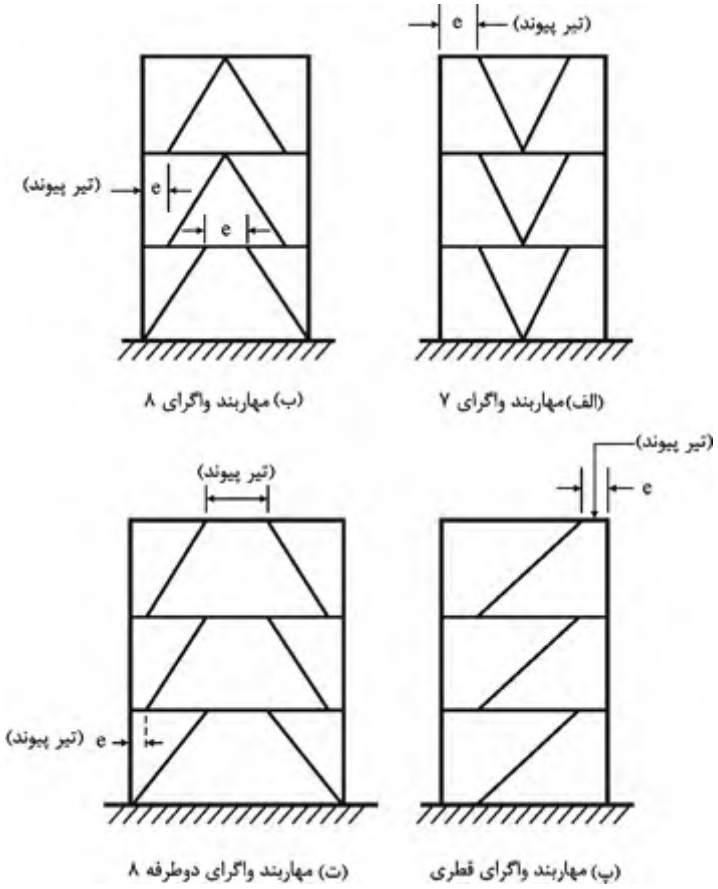
تیر پیوند یا تیر رابط: قسمتی از تیر مهاربند واگراست که در حدفاصل اتصال تیر به‌ستون و محل اتصال عضو قطری به‌تیر و یا در حد فاصل اتصال‌های دو عضو قطری به‌تیر قرار دارد.

وصله: به‌اتصال بین دو قسمت از یک عضو گفته می‌شود که می‌تواند از طریق به‌کارگیری اجزای اضافی مانند ورق‌های پوششی یا ورق انتهایی انجام شود و یا می‌تواند با جوش نفوذی

بین اجزای متناظر مقطع برقرار گردد. در حالت اول وصله غیرمستقیم و در حالت دوم وصله مستقیم نامیده می‌شود.

ترکیب بار متعارف: ترکیب‌های گوناگونی از بارهای مرده، زنده، باد، حرارت، زلزله، بجز زلزله تشدیدیافته، و غیره که در فصول ۱۰ ـ ۱ و ۱۰ ـ ۲ با ضرایب بار مربوطه مقرر شده‌اند.

ترکیب بار با زلزله تشدیدیافته: ترکیب‌های باری که در آنها بار زلزله با ضریب اضافه مقاومت $\Omega_\circ$ تشدید شده است. این ترکیب‌ها در این فصل آورده شده‌اند.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ انواع مهاربند واگرا.

۱۰ ـ ۳ ـ ۳ علایم و اختصارات

M_P= لنگر پلاستیک یا خمیری مقطع مساوی F_yZ

M_{exp}= لنگر پلاستیک مورد انتظار مساوی $F_{ye}\ Z$

M_{RP}= لنگر پلاستیک کاهش‌یافتهٔ مقطع

M_{pc}= لنگر پلاستیک مقطع ستون مساوی Z_cF_y

V_P= مقاومت برشی پلاستیک یا خمیری مقطع مساوی $۰/۶F_y\ A_w$

P_D= نیروی محوری ناشی از بار مرده

P_E= نیروی محوری ناشی از زلزله

P_L= نیروی محوری ناشی از بار زنده

F_a= تنش فشاری مجاز عضو

F_b= تنش خمشی مجاز عضو

F_y= تنش تسلیم حداقل فولاد. این تنش در اعضا، اجزا و اتصالات سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای باید در محدودهٔ ۲۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تا ۳۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد. برای میل‌مهارهای به‌کار رفته در اتصال کف ستون به‌شالوده، استفاده از فولاد با مقاومت مشخصهٔ تسلیم تا ۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر یا ۴۲۰ مگاپاسکال مربع مجاز می‌باشد.

F_u= حداقل مقاومت کششی نهایی فولاد

F_{ye}= مقاومت تسلیم مورد انتظار فولاد مساوی با حداکثر مقاومت تسلیم محتمل آن که برابر $۱/۱۵\ F_y$ در نظر گرفته می‌شود.

R= ضریب رفتار ساختمان براساس ضوابط مبحث ششم مقررات ملی

d= ارتفاع کلی تیر

t_w= ضخامت جان

A= سطح مقطع کلی

A_w= سطح مقطع جان

$\Omega_\circ$ = ضریب اضافه مقاومت

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ تعاریف

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۱ شکل‌پذیری

سازه‌های باربر لرزه‌ای بسته به‌آنکه چه اندازه بتوانند در مقاطع خاصی از خود تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی را پذیرا باشند و این خصوصیت را در بارگذاری‌های رفت و برگشتی حفظ کرده و با کاهش مقاومت و سختی قابل ملاحظه روبرو نشوند، شکل‌پذیر تلقی می‌گردند. سازه‌های با شکل‌پذیری بیشتر می‌توانند با مقاومت نسبی کمتری نیروی جانبی زلزله را تحمل نمایند.

شکل‌پذیری سازه معمولاً با ظرفیت دورانی که در گره‌های خود می‌تواند تجهیز کند سنجیده می‌شود. دوران یک گره با نسبت تغییرمکان نسبی طبقه فوقانی آن گره به‌ارتفاع طبقه تعریف می‌شود. در این مبحث سه حد شکل‌پذیری برای سازه‌های فولادی در نظر گرفته شده و ضوابط خاص طراحی هریک از آنها ارایه شده است. این سه حد شکل‌پذیری همراه با ظرفیت شکل‌پذیری که از آنها انتظار می‌رود، به‌قرار زیرند:

الف ـ حد شکل‌پذیری زیاد یا شکل‌پذیری ویژه

در این حد شکل‌پذیری، ظرفیت دورانی مورد انتظار در گره‌ها زیاد است و بخش قابل ملاحظهٔ از آن فرا ارتجاعی است. در قاب‌های خمشی مشمول این رده میزان دوران به‌حدی است که دوران نظیر تغییرمکان نسبی طبقه در آن به ۰/۰۴ رادیان برسد که حدود ۰/۰۳ رادیان آن فرا ارتجاعی باشد. ضوابط خاص طراحی سازه‌ها در این رده در بندهای ۱۰ـ۳ـ ۸ ـ۱ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ آورده شده است.

ب ـ حد شکل‌پذیری متوسط

در این حد شکل‌پذیری، ظرفیت دورانی مورد انتظار در گره‌ها متوسط است، به‌طوری‌که در قاب‌های خمشی که تنها گروه سازه‌ای در این رده است، میزان دوران تغییرمکان نسبی طبقه حداقل به ۰/۰۲ رادیان محدود می‌شود که دوران فرا ارتجاعی آن حدود ۰/۰۱ رادیان می‌باشد. ضوابط خاص طراحی این قاب‌ها در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ ارایه شده است.

پ ـ حد شکل‌پذیری کم

در این حد شکل‌پذیری، ظرفیت دورانی مورد انتظار در گره‌ها کم است و سازه عملاً تغییرشکل‌های فراارتجاعی ندارد. به‌این علت ضوابط خاص طراحی برای زلزله در این سازه‌ها محدود است. در بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۳ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۳ ضوابط خاص این سازه‌ها عنوان شده است.

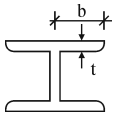
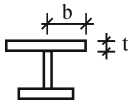
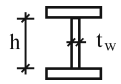
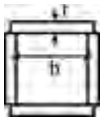
۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ مقطع فشردهٔ لرزه‌ای

در سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد که از آنها انتظار تحمل تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه می‌رود، برای اعضا ضوابط سخت‌گیرانه‌تری در رابطه با کمانش موضعی بال‌ها و جان اعمال می‌شود. در نتیجه برای نسبت عرض یا ارتفاع به‌ضخامت اجزا در اعضای تحت فشار، یا فشار و خمش رعایت اعداد کوچکتری مقرر می‌گردد. در این سازه‌ها تعریف جدیدی از مقطع فشرده، موضوع بندهای ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۶ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ در فصول ۱۰ ـ ۱ و ۱۰ ـ ۲، جانشین تعریف قبلی می‌گردد و با نام «مقطع فشرده لرزه‌ای» معرفی می‌شود.

مقطع فشرده لرزه‌ای همان تعریف مقطع فشرده بندهای فوق را دارد، با این تفاوت که در آن نسبت عرض به‌ضخامت و یا ارتفاع به‌ضخامت اجزا مقطع به‌اعدادی که در جدول شماره ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ عنوان شده محدود می‌گردد.

کاربری مقاطع فشرده در سازه‌های با شکل‌پذیری‌های مختلف در بخش‌های مربوطه آورده شده است.

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت نسبت پهنا به‌ضخامت در مقاطع فشرده لرزه‌ای

	شرح اجزا	نسبت پهنا به‌ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_{ps}	مثال
اجزا با یک لبهٔ متکی	بال‌های تیرهای نوردشده I شکل تحت اثر خمش	$\frac{b}{t}$	$۰/۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	بال‌های تیرهای ساخته شده از ورق به‌شکل I شکل تحت اثر خمش	$\frac{b}{t}$	$۰/۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
اجزا با دو لبه متکی	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن تحت اثر خمش	$\frac{h}{t_w}$	$۲/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	بال مقاطع قوطی‌شکل تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	$۰/۶۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	جان ستون‌ها در فشار یکنواخت	$\frac{h}{t_w}$	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	–
	جان تیرستون‌ها تحت اثر ترکیب فشار محوری و لنگر خمشی	$\frac{h}{t_w}$	$C_a \le ۰/۱۲۵$: $۳/۱۴\sqrt{\frac{E}{F_y}}(۱-۱/۵۴C_a)$ $C_a > ۰/۱۲۵$: $۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}(۲/۳۳-C_a) > ۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	–

در روش حدی $C_a = \frac{P_u}{\phi_b F_y}$

در روش تنش مجاز $C_a = \frac{P_a}{۰/۶ P_y}$

$\phi_b = ۰/۹$

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۳ ناحیه بحرانی

ناحیه بحرانی در یک عضو از سازه، عمدتاً در تیرها، به‌ناحیه‌ای عنوان می‌شود که انتظار می‌رود در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود. نظر به‌اهمیت این ناحیه و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این محل باید عاری از هرگونه عملیاتی که در رفتار آن اثر ناخواسته ایجاد کند، باشد. در این ناحیه ضوابط ویژه زیر باید رعایت شوند:

الف ـ هرگونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت و نصب مانند جوش‌های موضعی، وسایل کمکی برای نصب، ناصافی‌های ناشی از برش‌های حرارتی باید به‌طور مناسبی برطرف شده و تعمیر گردد.

ب ـ برشگیرها که برای مرکب کردن دال بتن آرمه و تیرها به‌کار گرفته می‌شود، نباید در این ناحیه به‌کار برده شود.

پ ـ قطعات الحاقی که برای نگهداری نماها، تیغه‌ها، لوله‌های تأسیساتی و غیره به‌کار گرفته می‌شود، نباید در این ناحیه مورد استفاده قرار گیرد.

ت ـ خال‌جوش کردن ورق‌های ذوزنقه‌ای کف به‌این محل مجاز است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۴ ترکیب‌های بار زلزله تشدیدیافته

ترکیب‌های بار زلزلهٔ تشدیدیافته با جایگزینی نیروهای زلزله E با $\Omega_\circ E$ در ترکیب‌های عادی بارها، مطابق ضوابط‌فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ به‌دست می‌آیند. این ترکیب‌ها عبارتند از:

الف ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز:

$۰/۷۵\ (D + L + \Omega_o E)$

$۰/۷۵(D + \Omega_o E)$

ب ـ در طراحی به‌روش حدی:

$D + ۱/۲L + ۱/۲\Omega_o E$

$۰/۸۵D + ۱/۲\Omega_o E$

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ ضریب اضافه مقاومت

سیستم باربر جانبی	$\Omega_\circ$
قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد	۲/۸
قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط	۲/۸
قاب خمشی با شکل‌پذیری کم	۲/۸
قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲
قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری کم	۲
قاب ساده + مهاربند واگرا و اتصال صلب در دو انتهای تیر رابط	۲
قاب ساده + مهاربند واگرا بدون اتصال صلب در دو انتهای تیر رابط	۲
قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲/۴
قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد + مهاربند واگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲/۴
قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲/۴
قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط + مهاربند واگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲/۴

۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مشخصات مصالح

۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۱ فولاد مصرفی

فولادهای مصرفی در سیستم‌های مقاوم در مقابل نیروی زلزله باید منطبق بر شرایط مذکور در بند ۱۰ ـ ۰ ـ ۳ باشند. این فولادها باید در عین حال دارای مقاومت نهایی کششی حداقل ۱/۲ برابر مقاومت حد تسلیم باشند.

$$F_u \geq ۱/۲ F_y \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱)$$

۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۲ اتصالات جوشی

مشخصات مصالح جوش به‌کار رفته در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، باید مطابق شرایط زیر باشد:

۱. فلز جوش با فلز مادر سازگار باشد.

۲. طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی استاندارد فلز جوش در دمای ۱۸- درجهٔ سلسیوس، حداقل ۲۷ ژول باشد.
۳. در اتصالات و وصله‌های با جوش نفوذی کامل، در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط و تیرهای پیوند قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ واگرا، باید علاوه بر دو شرط بالا طاقت نمونهٔ شیار داده شده شارپی استاندارد فلز جوش در دمای ۲۹- درجه سلسیوس، حداقل ۲۷ ژول باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ ۳ اتصالات پیچی

کلیه پیچ‌های مورد استفاده در اتصالات و وصلهٔ اعضای سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای، باید با رفتار اصطکاکی و از نوع پرمقاومت باشد و با حداقل بار مندرج در فصل اتصالات، پیش‌تنیده شود. سوراخ‌ها نیز باید استاندارد باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۶ الزامات عمومی طراحی ستون‌ها و کف ستون‌ها

۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۱ مقاومت ستون‌ها

ستون‌ها باید علاوه بر تأمین الزامات فصول ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲، در مواردی که بار محوری آنها بدون منظور کردن ترکیب بارگذاری زلزله تشدیدیافته، از حد تعیین شده در زیر تجاوز نماید، ضوابط بندهای (الف) و (ب) را ارضا نمایند.

ـ در طرحی به‌روش تنش مجاز

$$f_a / F_a > ۰/۴$$

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی

$$P_u / \phi_c P_n > ۰/۴$$

به‌علاوه ستون‌ها باید شرایط ویژهٔ عنوان شده برای آنها در هریک از سیستم‌های بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ را رعایت نمایند.

الف ـ ظرفیت بار محوری ستون در فشار یا کشش، بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن، نباید کمتر از بار محوری تعیین‌شده در ترکیب بارگذاری زلزله تشدیدیافته باشد. در این ترکیب رابطه بار محوری به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

۱ ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز

ـ در فشار محوری:

$$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵P_L + ۰/۷۵\Omega_\circ P_E \le F_a \cdot A \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۲)$$

ـ در کشش محوری:

$$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵\Omega_\circ P_E \le ۰/۶ F_y \cdot A \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۳)$$

در این روابط:

P_D= نیروی محوری ناشی از بار مرده

P_L= نیروی محوری ناشی از بار زنده

P_E= نیروی محوری ناشی از بار زلزله

F_a= تنش فشاری مجاز ستون، بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵

A= سطح مقطع کلی ستون

$\Omega_\circ$ = ضریب اضافه مقاومت (جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲)

۲ ـ در طراحی به‌روش حالات حدی

ـ در فشار محوری:

$$P_D + ۱/۲ P_L + ۱/۲\Omega_\circ P_E \le \phi_c . P_{nc} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۴)$$

ـ در کشش محوری:

$$۰/۸۵P_D + ۱/۲\Omega_\circ P_E \le \phi_t . P_{nt} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۵)$$

در این روابط :

P_D =نیروی محوری ناشی از بار مرده

P_L = نیروی محوری ناشی از بار زنده

P_E = نیروی محوری ناشی از بار زلزله

$\Omega_\circ$ = ضریب اضافه مقاومت مطابق جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲

P_{nc} = ظرفیت فشاری اسمی ستون، مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۴

P_{nt} = ظرفیت کششی اسمی ستون، مطابق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۳

ϕ_c = ضریب تقلیل مقاومت در فشار مساوی ۰/۹

ϕ_t = ضریب تقلیل مقاومت در کشش مساوی ۰/۹

ب ـ ظرفیت مجاز یا اسمی محوری ستون در فشار یا کشش لزومی ندارد از مقادیر زیر بیشتر در نظر گرفته شود:

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز از ۱/۲۵ × ۰/۶ برابر، و در طراحی به‌روش حالات حدی از ۱/۲۵ برابر باری که تیرها و یا مهار بندها می‌توانند به‌ستون منتقل‌کننده با شرط آنکه بار این اعضا برابر با مقاومت اسمی آنها در نظر گرفته شود.

ـ حداکثر باری که شالوده ستون می‌تواند در مقابل برکنش ناشی از واژگونی تحمل نماید.

۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۲ وصلهٔ ستون‌ها

۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ وصله ستون‌های باربر جانبی

وصله ستون‌ها باید علاوه بر تأمین ضوابط مندرج در فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲، ضوابط زیر را برآورده نمایند:

الف ـ وصله ستون‌ها باید دارای مقاومتی حداقل برابر با مقاومت ستون با مقطع کوچکتر وصله‌شونده باشند. به‌علاوه این وصله‌ها باید شرایط ویژه عنوان شده برای آنها در هریک از سیستم‌های بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ را رعایت نمایند.

ب ـ در ستون‌هایی که در ترکیبات بارگذاری عادی و یا ترکیب بارگذاری زلزله تشدیدیافته تحت اثر کشش قرار می‌گیرند، باید وصله هر بال آنها قادر به‌تحمل $۰/۵F_{ye}A_f$

در طراحی به‌روش حالات‌حدی، و $۰/۶\times۰/۵F_{ye}A_f$ در طراحی به‌روش تنش مجاز، باشد. A_f سطح مقطع بال ستون کوچکتر است.

پ ـ محل درز وصله نباید از ۱۲۰۰ میلی‌متر، به‌بال تیر نزدیکتر باشد. در مواردی که جوش درز لب به‌لب ورق‌های بال یا جان ستون در کارخانه به‌صورت نفوذی کامل انجام می‌شود، این فاصله را می‌توان تا ۶۰۰ میلی‌متر کاهش داد. در نیم‌طبقه‌ها، چنانچه ارتفاع طبقات از ۲/۴ کمتر باشد، اعداد فوق را می‌توان تا نصف تقلیل داد.

ت ـ اتصال وصله به‌هر یک از دو قطعهٔ ستون وصله‌شونده باید با یک نوع وسیلهٔ اتصال، جوش یا پیچ، انجام شود و همچنین در مقطع عدم تقارن ایجاد نکند.

ث ـ در محل وصلهٔ ستون‌های متشکل از چند نیمرخ لازم است هریک از ستون‌های وصله‌شونده، در ارتفاعی حداقل به‌اندازهٔ بعد بزرگتر مقطع ستون، به‌صورت یکپارچه درآیند، و آنگاه وصله شوند.

ج ـ در وصله لب به‌لب بین ورق‌های با عرض یا ضخامت متفاوت که در بال و یا جان ستون‌ها به‌کار می‌روند، تغییر تدریجی در عرض یا ضخامت، از ورق بزرگتر به‌ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۶ : ۱ صورت گیرد. محل درز حداقل باید ۶۰۰ میلی‌متر از اتصال فاصله داشته باشد.

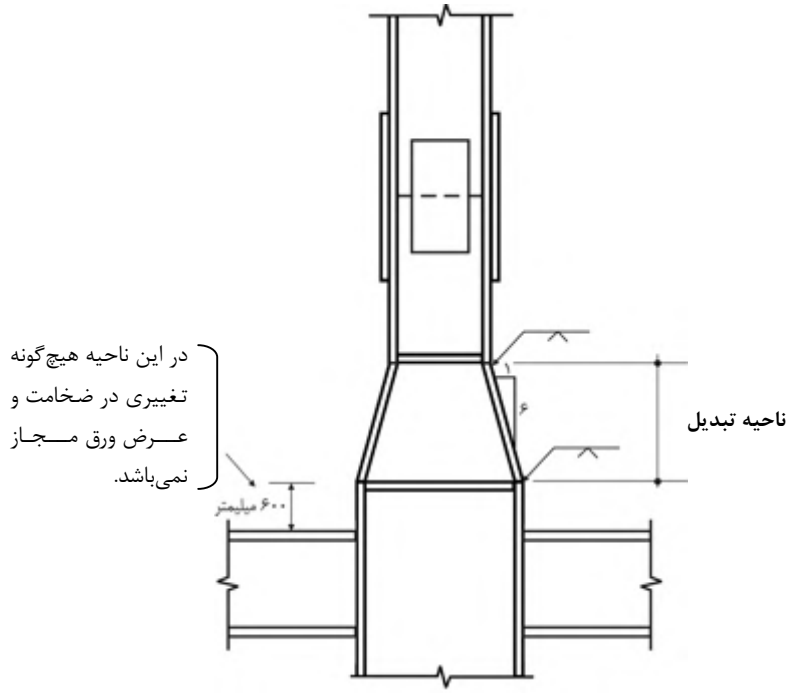
چ ـ در وصلهٔ ستون‌ها با ابعاد مقطع متفاوت، به‌جای استفاده از ورق‌های پرکننده، توصیه می‌شود ابتدا ابعاد مقطع بزرگتر با شیب حداکثر ۶ : ۱ به‌مقطع کوچکتر تبدیل شده و سپس اتصال برقرار گردد. (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۳)

۱۰ـ۳ـ۶ـ۲ـ۲ وصله ستون‌های غیر باربر جانبی

۱۰ـ۳ـ۶ـ۲ـ۲ـ۱ وصله ستون‌ها باید دارای مقاومتی حداقل برابر با مقاومت ستون با مقطع کوچکتر وصله‌شونده باشند.

۱۰ـ۳ـ۶ـ۲ـ۲ـ۲ وصله این ستون‌ها باید دارای مقاومت برشی در هر دو امتداد محورهای ستون حداقل برابر با $۰/۶M_{pc}/h_s$ در روش تنش‌های مجاز و M_{pc}/h_s در روش حالات حدی می‌باشند. M_{pc} لنگر خمشی پلاستیک مقطع ستون کوچکتر وصله‌شونده و h_s ارتفاع طبقه است.

۱۰ـ۳ـ۶ـ۲ـ۲ـ۳ در این ستون‌ها به‌کارگیری الزامات زیربندهای (ب) تا (ج) از بند ۱۰ ـ۳ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ الزامی است.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۳ جزییات وصلهٔ ستون با تغییر مقطع.

۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ـ ۳ کف ستون‌ها

کف ستون‌ها و اتصالات آنها به‌ستون‌ها و شالوده‌ها باید علاوه‌بر تأمین ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ قادر به تحمل کمترین دو حالت زیر باشند:

حالت ۱: بیشترین نیروهای داخلی (شامل نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی به‌طور همزمان) بر روی کف ستون تحت اثر ترکیبات بارگذاری عادی و ترکیب بارگذاری تشدیدیافته.

حالت ۲: اثرات نیروهای زیر به‌طور جداگانه.

الف ـ نیروی محوری

ظرفیت محوری ستون و اعضایی که آن را به‌کف ستون متصل می‌کنند.

ب ـ نیروی برشی

ب ـ ۱ ـ در مهاربندها، برابر با مؤلفهٔ افقی نیروی موجود در عضو قطری، که برای مقاومت اتصال آن به‌کف ستون براساس ضوابط این فصل تعیین شده است.

ب ـ ۲ ـ در ستون‌ها برابر با:

در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز $۰/۶\times ۲F_{ye}Z_x/h_s$ و در طراحی به‌روش حالات حدی $۲F_{ye}Z_x/h_s$. در این روابط Z_x اساس پلاستیک مقطع ستون و h_s ارتفاع طبقه است.

پ ـ لنگر خمشی

مجموع لنگرهای خمشی ایجادشده در اعضایی که به‌کف ستون متصل می‌شوند، به‌شرح زیر:

پ ـ ۱ ـ در مهاربندها، حداقل مقاومت خمشی که برای اتصال آنها به‌کف ستون براساس ضوابط این فصل تعیین شده است.

پ ـ ۲ ـ در ستون‌ها، برابر با:

در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز $۰/۶\times ۱/۱\ F_{ye}Z_x$ و در طراحی حالات $۱/۱F_{ye}Z_x$.
Z_x اساس پلاستیک مقطع ستون می‌باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۷ سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای

سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای که در این فصل به‌آنها پرداخته می‌شود، عبارتند از:

۱. قاب‌های خمشی در سه ردهٔ:
   - قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد یا ویژه
   - قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط
   - قاب خمشی با شکل‌پذیری کم
۲. مهاربندی‌های همگرا در دو ردهٔ:
   - مهاربندی همگرا با شکل‌پذیری زیاد
   - مهاربندی همگرا با شکل‌پذیری کم
۳. مهاربندی‌های واگرا در دو ردهٔ:
   - مهاربندی واگرا با شکل‌پذیری زیاد
   - مهاربندی واگرا با شکل‌پذیری کم
۴. سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی متشکل از قاب‌های خمشی ویژه یا متوسط با مهاربندی‌های همگرا یا واگرا.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ قاب‌های خمشی

قاب‌های خمشی که برای تحمل بار جانبی زلزله به‌کار گرفته می‌شوند باید طوری طراحی شوند که اعضا و اتصالات آنها بتوانند شکل‌پذیری لازم را در سیستم باربر جانبی تأمین نمایند. این قاب‌ها برحسب شکل‌پذیری مورد انتظار از آنها: ویژه، متوسط و کم، باید الزامات بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ تا ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۳ را ارضا نمایند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ قاب خمشی فولادی ویژه

قاب خمشی ویژه، به‌قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای تحمل کند. در طراحی این قاب‌ها سعی بر آن است که در یک یا دو انتهای تیر، خارج از محدودهٔ اتصال تیر به‌ستون، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شده و

ظرفیت دورانی آنها به‌حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه در سازه حداقل به ۰/۰۴ رادیان برسد که حدود ۰/۰۳ رادیان آن در ناحیهٔ فرارتجاعی باشد.

در طراحی اعضا و اتصالات قاب‌های خمشی ویژه باید، علاوه بر ضوابط فصل‌های ۱۰ـ۱ یا ۱۰ـ۲، الزامات عمومی بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ و الزامات خاص این بخش رعایت شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱ ستون‌ها در قاب‌های خمشی ویژه

ستون‌ها در این قاب‌ها باید علاوه بر الزامات عمومی ستون‌ها مطابق بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ ، شرایط بندهای زیر را نیز برآورده نمایند:

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱ محدودیت‌ها

الف ـ مقاطع ستون‌ها باید از نوع فشرده لرزه‌ای، مطابق تعریف بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲، در نظر گرفته شوند.

ب ـ در ستون‌ها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز نیست. اجزای مقطع ستون باید در تمامی طول آن به‌صورت پیوسته به‌یکدیگر متصل شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۲ وصله ستون‌ها

وصله‌های ستون در این قاب‌ها باید علاوه بر الزامات عمومی ستون‌ها، مطابق بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۶، شرایط بندهای زیر را برآورده نمایند:

الف ـ در صورت استفاده از وصلهٔ مستقیم، وصله باید با جوش نفوذی کامل صورت گیرد.

ب ـ در صورت استفاده از وصله پوششی، مقاومت‌های خمشی و برشی وصله باید به‌شرح زیر در نظر گرفته شود:

ـ حداقل مقاومت خمشی وصله، $Z_s F_y$، برابر است با:

۰/۶ $Z_c F_{ye}$ در طراحی به‌روش تنش مجاز و $Z_c F_{ye}$ در طراحی به‌روش حالات‌حدی

در ایـن روابـط Z_c اسـاس پلاستیک مقطع سـتـون کوچکتر و Z_s اسـاس پلاستیـک مقطع وصله پوششی است.

ـ حداقل مقاومت برشی وصله، برابر است با:

$\frac{۰/۶\Sigma M_{pc}}{h_s}$ در طراحی به‌روش تنش مجاز و $\frac{\Sigma M_{pc}}{h_s}$ در طراحی به‌روش حالات حدی

در این روابط ΣM_{pc} مجموع حداکثر لنگرهای پلاستیک ستون‌ها در دو سمت وصلـه با رعایت اثر بار محوری و h_s ارتفاع طبقه است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ تیرها در قاب‌های خمشی ویژه

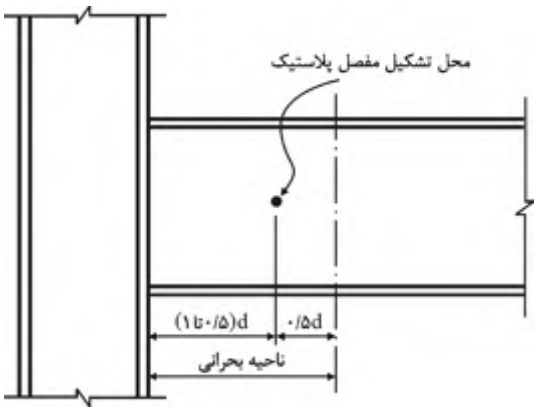
تیرها در این قاب‌ها نقش اصلی تأمین شکل‌پذیری لازم را از طریق ایجاد مفصل پلاستیک در نزدیکی دو انتهای خود ایفا می‌نمایند. برای دستیابی به‌این عملکرد، تیرها باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت‌ها

الف ـ مقاطع تیرها باید از نوع فشرده لرزه‌ای، مطابق تعریف بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲، در نظر گرفته شوند.

ب ـ محل تشکیل مفصل پلاستیک در دو انتهای تیرها باید در فاصله‌ای به‌اندازهٔ $۰/۵d$ تا $۱/۰d$ از بر ستون در نظر گرفته شود.

پ ـ در دو انتهای تیر، فاصله بین بر ستون تا $۰/۵d$ از محل مفصل پلاستیک به‌سمت داخل دهانه، ناحیه بحرانی تلقی شده و ضوابط بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۳ باید در آن رعایت شود، (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۴).



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ناحیهٔ بحرانی در دو انتهای تیر.

ت ـ استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه‌زنبوری) مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیهٔ بحرانی، در نیمه میانی طول دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به‌نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به‌طور کامل فراهم گردد.

ث ـ در ناحیهٔ بحرانی، ایجاد هرگونه تغییر ناگهانی در پهنای بال و یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در عرض یا ضخامت از ورق بزرگتر به‌ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۲/۵ : ۱ صورت گیرد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۲ طراحی برای خمش و برش

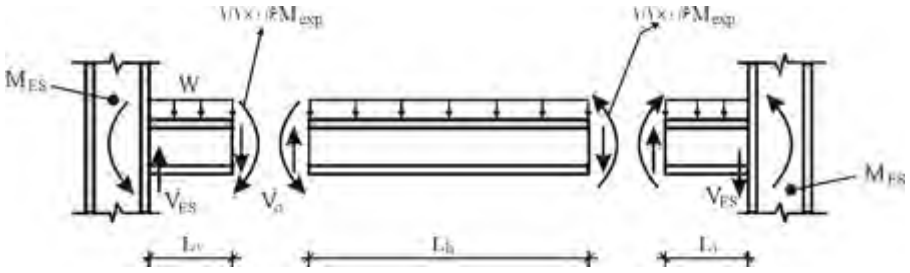
در طراحی تیرها برای خمش ضابطهٔ اضافی خاصی در قاب‌های خمشی ویژه وجود ندارد ولی در طراحی آنها برای برش باید نیروی برشی اضافی ناشی از ایجاد لنگرهای خمشی قابل انتظار در مفصل‌های پلاستیک دو انتهای تیر در نظر گرفته شود. طراحی تیرها برای برش، براساس ضوابط زیر صورت می‌گیرد.

الف ـ طراحی به‌روش تنش مجاز:

ـ در این روش نیروی برشی حاصل از تشکیل مفصل پلاستیک در مقطعی به‌فاصلهٔ L_1 از بر ستون مطابق عبارت زیر می‌باشد، (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۵) :

$$V_{ES} = \frac{۲\times ۰/۶\times ۱/۱\times M_{exp}}{L_h} + V + W = V_o + W \qquad (۶ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

$$M_{exp} = Z_b\, F_{ye} \qquad (۷ ـ ۳ ـ ۱۰)$$



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ برش طراحی تیرها در قاب‌های خمشی ویژه، در طراحی به‌روش تنش مجاز.

ب ـ طراحی به‌روش حالات حدی :

ـ در این روش نیروی برشی حاصل از تشکیل مفصل پلاستیک در مقطعی به‌فاصلهٔ L_1 از بر ستون مطابق عبارت زیر باشد (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۶) :

$$V_{EU} = \frac{۲\times ۱/۱\times M_{exp}}{L_h} + V_u + W_u = V_{ou} + W_u \qquad (۸ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

در این روابط:

W = کل بار قائم بدون ضریب در بازوی L_1

W_u = کل بار قائم ضریب‌دار تیر در بازوی L_1

M_{exp} = لنگر پلاستیک مورد انتظار تیر مساوی $Z_b\, F_{ye}$

V = نیروی برشی موجود در محل مفصل پلاستیک فقط به‌علت بار قائم بدون ضریب در طول L_h

V_u = نیروی برشی موجود در محل مفصل پلاستیک فقط به‌علت بار قائم ضریبدار در طول L_h

V_o = نیروی برشی کل موجود در محل مفصل پلاستیک در طراحی به‌روش تنش مجاز

V_{ou} = نیروی برشی کل موجود در محل مفصل پلاستیک در طراحی به‌روش حدی

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر

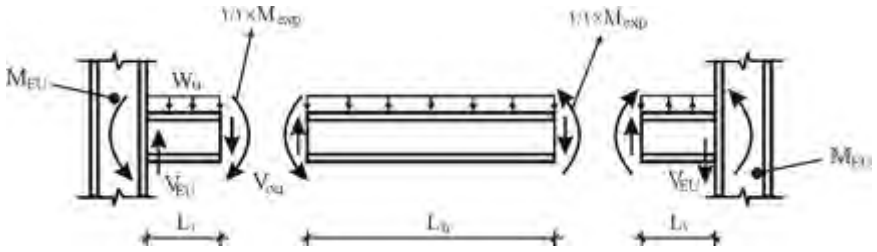
F_{ye} = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد مساوی $۱/۱۵F_y$

$L_۱$ = فاصلهٔ محل تئوریک تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون، مطابق بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱

L_h = فاصلهٔ بین مقاطع تشکیل مفصل پلاستیک در تیر

V_{ES} = نیروی برشی مورد انتظار در بر ستون در طراحی به‌روش تنش مجاز

V_{Eu} = نیروی برشی مورد انتظار در بر ستون در طراحی به‌روش حدی



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ برش طراحی تیرها در قاب‌های خمشی ویژه، در طراحی به‌روش حالات حدی.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۳ وصله تیرها

در وصله تیرها ضوابط زیر باید رعایت شود:

الف ـ وصلهٔ تیرها باید خارج از محدودهٔ بحرانی، بند ۱۰ـ۳ـ۴ـ۳ و ۱۰ـ۳ـ ۸ ـ۱ـ۲ـ۱ـ پ، قرار گیرد.

ب ــ در طراحی وصله‌ها مقادیر لنگر خمشی و تلاش برشی در محل وصله و براساس شکل‌های ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ در نظر گرفته شود.

پ ــ در صورت استفاده از ورق وصله در بال، ظرفیت باربری ورق وصله و اتصال‌دهنده‌های جوشی و یا پیچی آن، باید حداقل ۱/۱برابر ظرفیت باربری مقطع ضعیفتر وصله‌شونده باشد. در صورت استفاده از ورق وصله برای جان، این ورق‌ها باید به‌صورت متقارن و در دو طرف جان به‌کار برده شوند.

پ ــ چنانچه از جوش نفوذی برای وصله اجزای مقطع در بال‌ها و جان استفاده می‌شود، محل وصلهٔ بال‌ها و محل وصلهٔ جان، نباید در یک مقطع واقع گردد.

ت ــ در وصلهٔ مستقیم بین ورق‌های با عرض یا ضخامت متفاوت ــ که در بال یا جان تیرها به‌کار می‌روند ــ تغییر تدریجی در عرض یا ضخامت، از ورق بزرگتر به‌ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۲/۵ : ۱ صورت گیرد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۴ مهاربندی جانبی تیرها

الف ــ تیرها باید در هر دو بال خود دارای مهاربندی جانبی کافی باشند، به‌طوری‌که از هرگونه کمانش جانبی و پیچشی درخلال تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی جلوگیری شود.

فاصلهٔ بین مهارهای جانبی تیرها در حد فاصل محور ستون‌ها نباید از $۰/۰۹\frac{E}{F_y}r_y$،

که در آن r_y شعاع ژیراسیون مقطع تیر حول محور ضعیف است، تجاوز نماید. علاوه بر آن مهاربندی جانبی باید در نزدیک محل اعمال بارهای متمرکز در طول تیر، در محل تغییر مقطع تیر و در محل‌هایی که تحلیل سازه امکان تشکیل مفصل در آنها را پیش‌بینی می‌کند، تعبیه شود.

ب ــ مهارهای جانبی باید در تراز بال‌های تیر پیش‌بینی شده و برای نیروهای زیر طراحی شوند:

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز برای نیرویی حداقل برابر با، $۰/۰۳۶\, F_{ye}\, b_f\, t_f$ در محل تشکیل مفصل پلاستیک، و $۰/۰۱۲\, F_y\, b_f\, t_f$ در سایر مقاطع مورد نیاز در طول تیر.

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی: برای نیرویی حداقل برابر با، $۰/۰۶ F_{ye} b_f t_f$ در محل تشکیل مفصل پلاستیک، و $۰/۰۲F_y b_f t_f$ در سایر مقاطع مورد نیاز در طول تیر.

در این روابط:

t_f = ضخامت بال تیر

b_f = عرض بال تیر

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر

F_{ye} = مقاومت تسلیم مورد انتظار مساوی $۱/۱۵F_y$

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ اتصال تیر به‌ستون در قاب‌های خمشی ویژه

کلیه اتصالات تیر به‌ستون در این قاب‌ها باید شرایط زیر را دارا باشند:

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌ها

الف ـ اتصالات تیر به‌ستون باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در مقطعی به‌فاصلهٔ $L_۱$ از بر ستون در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال فراهم نمایند. این امر یا از طریق تقویت تیر در محل اتصال به‌بر ستون انجام می‌شود، و یا با تضعیف مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک عملی می‌گردد.

ب ـ در اتصالات جوشی تیر به‌ستون، اتصال بال تیر یا ورق پوششی آن، به‌وجه ستون یا به‌ورق پیشانی، (فلنج) که به‌ستون پیچ می‌شود، باید منحصراً از نوع نفوذی کامل باشد. برای اتصال جان تیر یا ورق اتصال جان، به‌وجه ستون یا ورق انتهایی، استفاده از جوش نفوذی نسبی یا جوش گوشه مجاز است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ طراحی برای خمش

اتصال تیر به‌ستون باید برای لنگر خمشی قابل انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد. این لنگر مطابق روابط زیر محاسبه می‌گردد:

الف) در طراحی به روش تنش مجاز

$$M_{ES} = ۰/۶ \times ۱/۱ M_{exp} + V_o L_۱ + M_W \qquad (۹ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

ب) در طراحی به‌روش حالات حدی

$$M_{EU} = ۱/۱ M_{exp} + V_{ou} L_۱ + M_{Wu} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

پارامترهای به‌کار برده شده در این روابط در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۲ تعریف شده‌اند.

M_W = لنگر ناشی از بار قائم بدون‌ضریب موجود در بازوی $L_۱$ (طراحی به‌روش تنش مجاز)

M_{Wu} = لنگر ناشی از بار قائم با ضریب موجود در بازوی $L_۱$ (طراحی به‌روش حدی)

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۳ طراحی برای برش

اتصال تیر به‌ستون باید برای برش مورد انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد. این برش مطابق روابط عنوان شده در زیر بندهای (الف) یا (ب) بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۲ تعیین می‌گردد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۴ چشمهٔ اتصال

چشمهٔ اتصال، ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون است که محصور بین امتداد بال‌های بالایی و پایینی تیرهای دو وجه ستون و بال‌های ستون می‌باشد. ناحیه چشمهٔ اتصال در قاب‌های خمشی ویژه، باید براساس ضوابط زیر طراحی شوند:

الف ـ طراحی برای برش

چشمهٔ اتصال باید برای برش ناشی از نیروهای کششی و فشاری موجود در بال‌های تیرهای سمت چپ و راست ستون، طراحی شود. این برش به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

ـ طراحی به‌روش تنش مجاز

$$V_{pa,s} = \sum \frac{M_{ES}}{d_b} - V_{col.} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۱)$$

ـ طراحی به‌روش حالات حدی

$$V_{pa,u} = \sum \frac{M_{EU}}{d_b} - V_{ucol.} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۲)$$

در این روابط $V_{col.}$ و $V_{ucol.}$ برش موجود در ستون فوقانی زیر اثر بار جانبی زلزله، در حالت‌های بدون ضریب و با ضریب، می‌باشند.

مقاومت برشی چشمهٔ اتصال و سایر ضوابط طراحی چشمهٔ اتصال، در هر یک از روش‌های طراحی براساس ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ۲ یا ۱۰ ـ ۲ بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۱۰ ـ ۹ ـ ۷ به‌دست آورده می‌شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۵ ورق‌های پیوستگی

ورق‌های پیوستگی باید در مقابل بال‌های تیر یا ورق‌های پوششی اتصال بال بالایی و پایینی تیرهای متصل‌شونده به‌ستون و به‌صورت متقارن نسبت به‌محور ستون، قرار داده شوند. این ورق‌ها برای انتقال نیروهای درون‌صفحه‌ای حاصل از لنگر تیر به‌چشمهٔ اتصال در ستون به‌کار برده می‌شوند و باید شرایط زیر را برآورده نمایند.

الف. طول ورق‌ها باید برابر با فاصلهٔ خالص دو بال ستون باشد.

ب. ضخامت ورق‌ها باید از ضخامت بال یا ورق پوششی اتصال بال تیرهای دوطرف کمتر نباشد.

پ. پهنای ورق‌ها باید در ستون‌های با مقطع قوطی‌شکل، باید برابر فاصلهٔ خالص دو جان

ستون بوده، و در ستون‌های با مقطع H شکل از مجموع پهنای عرض تیر یا عرض ورق پوششی اتصال در دوطرف جان کمتر نباشد.

ت. نسبت عرض به‌ضخامت در ورق‌های بال یک لبهٔ متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های H شکل، نباید از $۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$ و ورق‌های با دو لبهٔ متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های با مقطع قوطی‌شکل، نباید از $۱/۴\sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$ کوچکتر باشد. در این روابط F_{ys} مقاومت تسلیم ورق‌های پیوستگی است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۶ مهاربندی جانبی اتصال تیربه‌ستون

به‌منظور جلوگیری از کمانش پیچشی ستون، لازم است اتصال در صفحه افقی در مقابل پیچش ستون مهار گردد.

وقتی که جان تیرها و ستون‌ها هم‌صفحه باشد و نسبت به‌دست آمده از رابطهٔ ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۳بیش از ۲ باشد، وجود مهار در تراز بال فوقانی تیر کافی است. دال بتن آرمه می‌تواند جایگزین عضو مهاری گردد. در صورت نبود شرایط فوق، وجود مهار در تراز هر دو بال تحتانی و فوقانی لازم است.

نیروی لازم برای مهاری مساوی ۲ درصد ظرفیت مجاز یا نهایی بال تیر می‌باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۴ نسبت مقاومت خمشی ستون به‌تیر در قاب‌های خمشی ویژه

ظرفیت خمشی ستون‌ها و تیرها در اتصالات تیر به‌ستون در این قاب‌ها باید چنان باشد که رابطهٔ زیر برآورده گردد:

$$\frac{\Sigma M^{*}_{pc}}{\Sigma M^{*}_{pb}} \geq ۱/۰ \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۳)$$

در این رابطه:

ΣM^*_{pc} = مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گرهٔ اتصال که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها وجود دارند. این لنگرها برابر با ظرفیت خمشی پلاستیک ستون‌ها در نظر گرفته شده و مقدار آنها، با توجه به‌نیروهای محوری موجود در ستون‌ها، از روابط زیر به‌دست آورده می‌شوند:

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی

$$\Sigma M^*_{pc} = \Sigma Z_c (F_{yc} - P_{uc} / A_g) \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ \text{الف})$$

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز

$$\Sigma M^*_{pc} = \Sigma Z_c (۰/۶ F_{yc} - P_{ac} / A_g) \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۴ ـ \text{ب})$$

ΣM^*_{pb} = مجموع لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال، که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها وجود دارند. این لنگرها با توجه به‌لنگرهای مورد انتظار در مفصل‌های پلاستیک و مقادیر نیروی برشی در آنها از روابط زیر به‌دست آورده می‌شوند:

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی

$$\Sigma M^*_{pb} = \Sigma (۱/۱ F_{yeb} Z_b + M_{uv}) \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۵ ـ \text{الف})$$

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز

$$\Sigma M^*_{pb} = \Sigma (۰/۶ \times ۱/۱ F_{yeb} Z_b + M_{av}) \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۵ ـ \text{ب})$$

در روابط فوق:

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر

F_{yeb} = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد در تیر برابر با $۱/۱۵ F_{yb}$

F_{yc} = تنش تسلیم فولاد ستون

d_c = بعد ستون در صفحه خمش

P_{ac} = نیروی محوری فشاری ستون، حاصل از ترکیب بارهای متعارف

P_{uc} = نیروی محوری ضریبدار فشاری ستون، حاصل از ترکیب بارهای متعارف

M_{av} = لنگر اضافی ناشی از نیروی برشی موجود در مفصل پلاستیک نسبت به‌محور ستون، در شرایط تنش‌های مجاز

M_{uv} = لنگر اضافی ناشی از نیروی برشی موجود در مفصل پلاستیک نسبت به‌محور ستون، در شرایط حالات حدی

استثنا: ستون‌هایی که یکی از دو شرط زیر را برآورده نمایند، لازم نیست رابطهٔ ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۳ را ارضا نمایند:

۱ ـ ستون‌هایی که در آنها در کلیه ترکیبات بارگذاری به‌جز ترکیب بار زلزله تشدیدیافته، $P_{rc} \leq ۰/۳ P_c$ بوده و شرایط زیر را دارا باشند:

الف ـ ستون‌های ساختمان‌های یک‌طبقه و ستون‌های طبقهٔ آخر ساختمان‌های چندطبقه

ب ـ تعدادی از ستون‌های هر طبقه که مجموع مقاومت برشی آنها کمتر از ۲۰٪ کل مقاومت برشی ستون‌های آن طبقه و مجموع مقاومت برشی آنهایی‌که بر روی یک محور قرار دارند کمتر از ۳۳٪ کل مقاومت برشی ستون‌های آن محور باشد. در این بند محور ستون به‌محور یا محورهای موازی اطلاق می‌شود که در فاصله کمتر از ۱۰ درصد بعد پلان طبقه، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

در عبارت فوق:

P_c = مساوی $F_{yc} A_g$ در طراحی به‌روش حالات حدی و $۰/۶ F_{yc} A_g$ در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز.

P_{rc} = نیروی محوری فشاری ضریب‌دار در طراحی به‌روش حالات حدی و نیروی محوری فشاری بدون ضریب در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز.

۲ ـ ستون‌های هر طبقه که در آن نسبت مقاومت برشی ستون‌ها به‌برش وارده در آن طبقه ۵۰ درصد بیشتر از این نسبت در طبقهٔ فوقانی آن باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ قاب خمشی فولادی متوسط

قاب خمشی متوسط به‌قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی این قاب‌ها سعی بر آن است که در یک یا دو انتهای تیر، در خارج از محدوده اتصال تیر به‌ستون، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و مفصل‌ها دارای ظرفیت دورانی به‌حدی باشند که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به ۰/۰۲ رادیان برسد که حدود ۰/۰۱ رادیان آن در ناحیه فراارتجاعی باشد.

الزامات مربوط به‌طراحی اعضا و اتصالات آنها در این قاب‌ها عمدتاً همان الزامات مربوط به‌قاب‌های خمشی ویژه است که درآنها موارد سخت‌گیرانه کمتری منظور شده است. به‌این علت در این بخش تنها موارد الزامات استثنایی که در این قاب‌ها نسبت به‌قاب‌های خمشی ویژه دارند، آورده شده است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۱ ستون‌ها در قاب‌های خمشی متوسط

الزامات مربوط به‌ستون‌ها در این قاب‌ها عیناً مشابه قاب‌های خمشی ویژه، بند ۱۰ـ۳ـ۸ـ۱ـ۱، است. موارد استثنایی زیر را می‌توان در این ستون‌ها به‌کار گرفت:

الف ـ مقاطع ستون‌ها را می‌توان از نوع فشرده مطابق تعریف فصول ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ در نظر گرفت.

ب ـ در ستون‌ها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۲ تیرها در قاب‌های خمشی متوسط

الزامات مربوط به‌تیرها در این قاب‌ها عیناً مشابه قاب‌های خمشی ویژه، بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲، است. موارد استثنایی زیر را می‌توان در این تیرها به‌کار گرفت:

الف ـ مقاطع تیرها را می‌توان از نوع فشرده مطابق تعریف فصول ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ در نظر گرفت.

ب ـ در طراحی تیرها برای برش می‌توان یا الزامات قاب‌های خمشی ویژه را بدون منظور نمودن ضریب ۱/۱ مربوط به‌سخت‌شدگی مجدد رعایت کرد و یا برش ایجادشده در تیر تحت اثر ترکیب بار زلزله تشدیدیافته، (بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۴)، هر کدام کوچکترند، را به‌کار برد.

پ ـ در طراحی مهاربندهای جانبی تیرها می‌توان در روابط عنوان‌شده در بند ۱۰ـ۳ـ۸ـ۱ـ۲ـ۴ مقدار F_y را جایگزین F_{ye} نمود و علاوه بر آن فاصله مهاربندها را از یکدیگر به‌دو برابر آنچه عنوان شده افزایش داد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۳ اتصال تیر به‌ستون در قاب‌های خمشی متوسط

الزامات مربوط به‌اتصال تیر به‌ستون در این قاب‌ها عیناً مشابه قاب‌های خمشی ویژه، بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۳، است. موارد استثنایی زیر را می‌توان در این اتصال‌ها به‌کار گرفت:

الف ـ در طراحی اتصال برای خمش و برش می‌توان یا الزامات قاب‌های خمشی ویژه را بدون منظور نمودن ضریب ۱/۱ مربوط به‌سخت‌شدگی مجدد رعایت کرد و یا لنگر خمشی و تلاش برشی ایجاد شده در اتصال را زیر اثر ترکیب بار زلزله تشدیدیافته، بند ۱۰ ـ ۳ـ ۴ ـ ۴، هر کدام کوچکترند، را به کار برد.

ب ـ در طراحی چشمه اتصال رعایت ضابطه ویژه‌ای بجز آنچه در فصول ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ عنوان شده، الزامی نیست.

پ ـ برای مهاربندی جانبی اتصال تیر به‌ستون رعایت ضابطه ویژه‌ای بجز آنچه در فصول ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ عنوان شده، الزامی نیست.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۲ ـ ۴ نسبت مقاومت خمشی ستون به‌تیر در قاب‌های خمشی متوسط

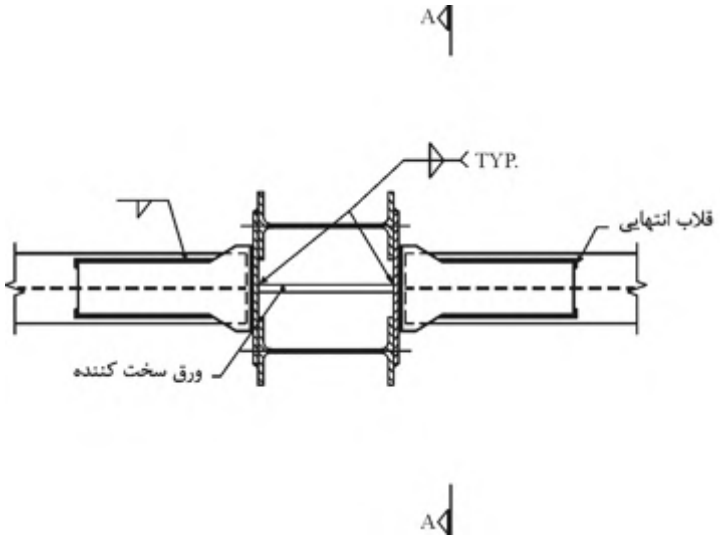
در قاب‌های خمشی متوسط رعایت ضابطه ویژه‌ای برای نسبت مقاومت خمشی ستون به‌تیر الزامی نیست.

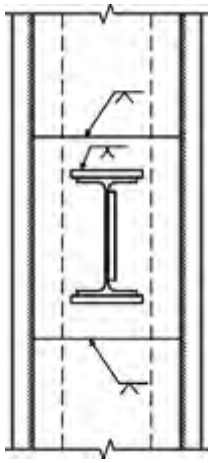
۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۳ قاب خمشی فولادی معمولی

قاب خمشی معمولی، به‌قابی اطلاق می‌شود که از آن انتظار تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی در برابر نیروی جانبی زلزله، نمی‌رود و به‌این علت ضابطه خاصی برای طراحی آن در برابر زلزله به‌جز آنچه در بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ عنوان شده ارایه نمی‌گردد. طراحی اعضا و اتصالات این قاب‌ها باید طبق ضوابط فصل ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ انجام شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۴ اتصالات پیشنهادی

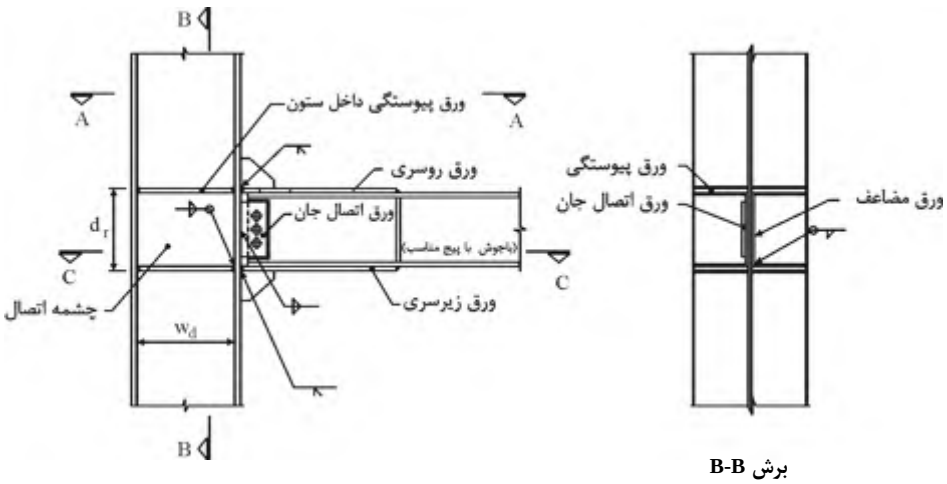
در شکل‌های ۱۰ ـ ۳ ـ ۷، جزییات عمومی پیشنهادی اتصالاتی که از آنها می‌توان در قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری ویژه، متوسط و کم استفاده نمود، نشان داده شده است. اتصالاتی که از آنها بتوان در قاب‌ها با شکل‌پذیری زیاد استفاده نمود، قابل استفاده در درجات پایین شکل‌پذیری نیز هستند.



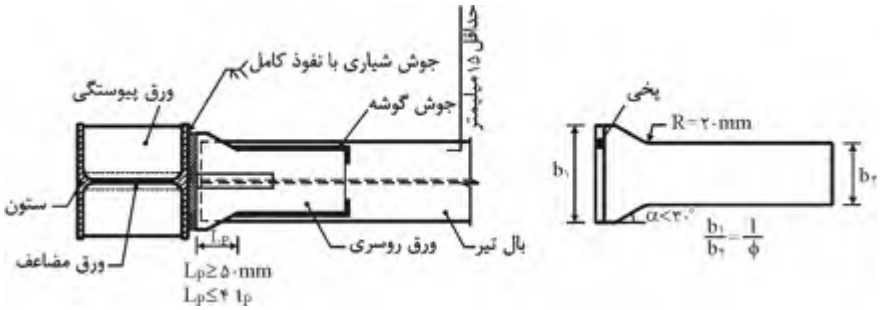


برش A-A

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (الف) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری کم و متوسط در ستون‌های مرکب ساخته‌شده از دو نیمرخ.

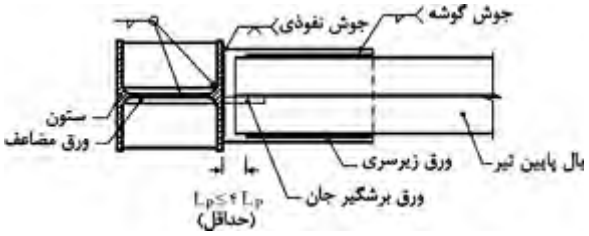


برش B-B



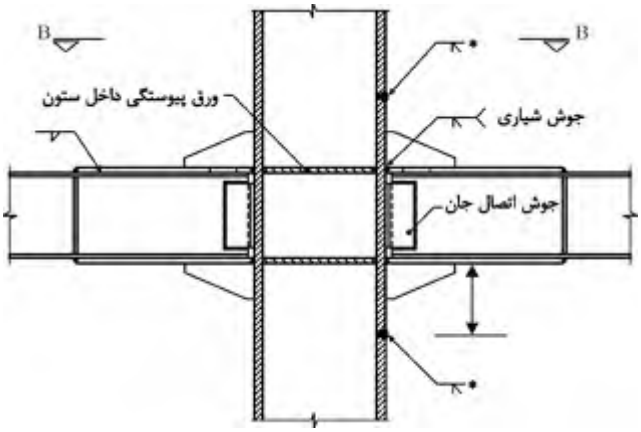
برش A-A

ϕ = ضریب بازرسی جوش



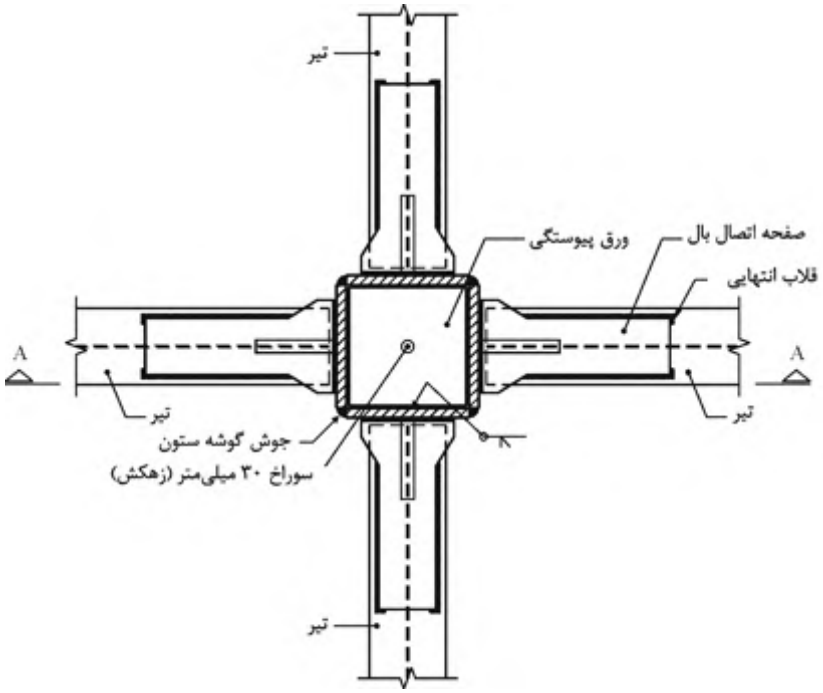
برش C-C

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ب) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد با استفاده از ورق روسری و زیرسری در ستون‌های با مقطع H شکل.



*** علت تکه‌ای شدن ورق وجه چهارم فراهم آوردن امکان جوشکاری ورق پیوستگی به‌این وجه می‌باشد.**

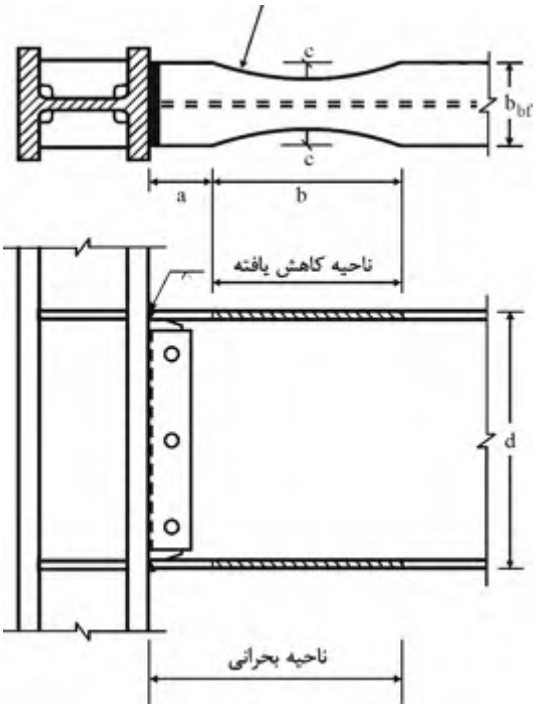
برش A-A



برش B-B

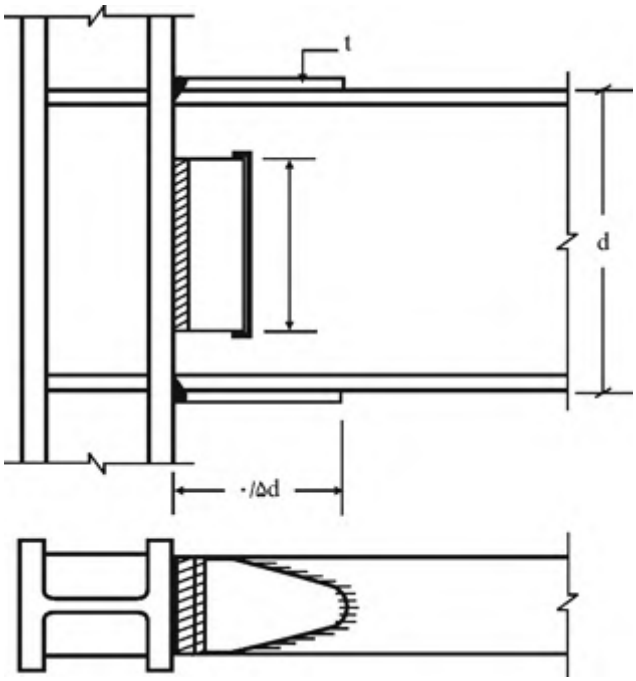
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (پ) اتصال صلب در قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد با استفاده از ورق روسری و زیرسری در ستون‌های با مقطع قوطی‌شکل.

$$R = \text{شعاع برش} = \frac{۴c^۲ + b^۲}{۸c}$$



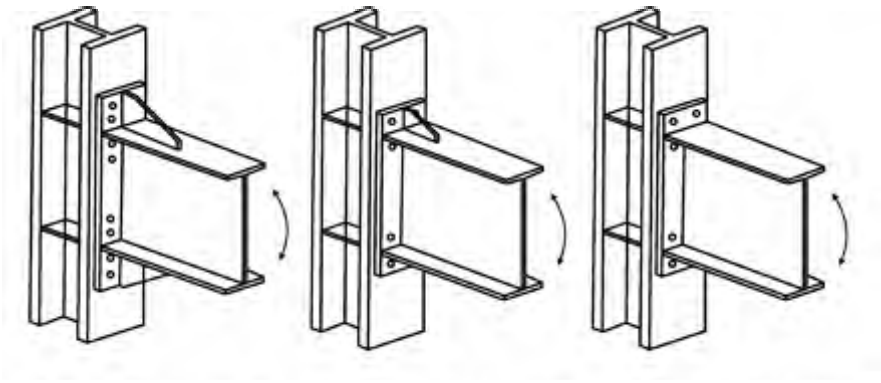
$۰/۵b_{bf} \le a \le ۰/۷۵b_{bf}$
$۰/۶۵d \le b \le ۰/۸۵d$
$۰/۱b_{bf} \le c \le ۰/۲۵b_{bf}$

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ت) اتصال صلب مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته در قاب‌های شکل‌پذیری متوسط و زیاد.

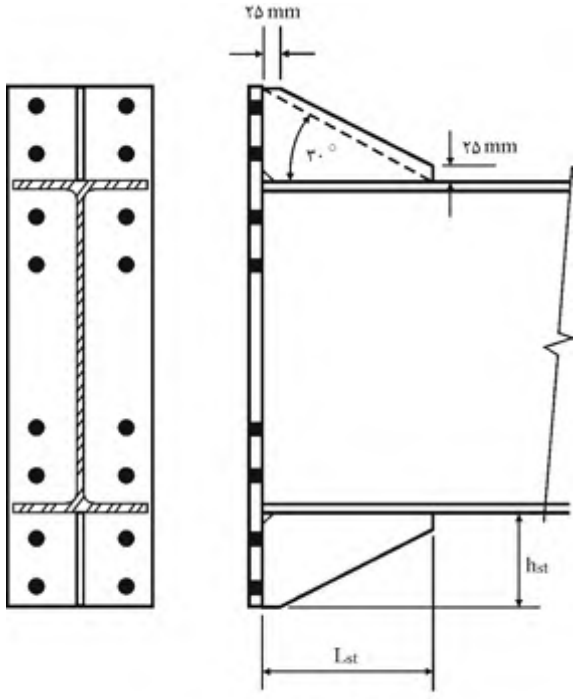


ضخامت t باید طوری باشد که ظرفیت اتصال طبق ضوابط آیین‌نامه به‌مقدار موردنظر بزرگتر از ظرفیت تیر باشد.

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ث) اتصال صلب مستقیم تیر با مقطع تقویت‌شده در محل اتصال به‌ستون در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط و زیاد.



(الف) چهار پیچه بدون ورق لچکی (ب) چهار پیچه با ورق لچکی (پ) هشت پیچه با ورق لچکی



(ت) هندسه لچکی

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۷ (ج) اتصال فلنجی در قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری متوسط و زیاد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ قاب‌های مهاربندی‌شده همگرا

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ملاحظات کلی

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۱ قاب‌های مهاربندی شده همگرا قاب‌هایی هستند که در آنها محور عضو قطری مهاربند در محل تقاطع محورهای تیر و ستون این دو را قطع می‌کند و یا محور دو عضو قطری مهاربند، محور تیر را در یک نقطه قطع می‌نمایند. با این ترتیب نیروهای این سه عضو در محل گره همگرا می‌شوند. در این قاب‌ها مقاومت جانبی سازه با استفاده از رفتار فشاری ـ کششی اعضا تـأمین می‌شود و قاب مانند یک خرپا عمل می‌کند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۲ در ایـن قـاب‌ها کـلیه اعـضای مـهاربندی بـه‌انـضمام اتـصالات آنـها و دیافراگم کف‌های متصل به‌تیرها باید توانایی کافی برای تأمین مسیر انتقال مقاوم و پایدار بار جانبی زلزله را داشته باشند. در مواردی که مهاربندها در داخل صفحه قاب بوده و یا به‌خارج از آن نقل مکان می‌دهند، باید مسیر انتقال بار کاملاً مشخص شده و تدابیر لازم در طراحی پیش‌بینی شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۳ پـیکربندی مـهاربندهای مـجاز در ایـن قـاب‌ها شـامل مـهاربندهای قطری، ضربدری، به‌شکل ۷ یا ۸ می‌باشند. استفاده از مهاربندهای به‌شکل K در این قاب‌ها مجاز نیست مگر در مواردی که در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۴ در قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی مجاز شناخته شده است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۴ در ایـن قـاب‌ها تـیرهای دهـانه مـهاربندی‌شده بـاید قـادر بـه‌جذب نیروهای زلزله ایجاد شده در طبقه به‌اضافه نیروهای منتقل شده از طبقات بالا، و انتقال آنها به‌مهاربندها باشند. در مواردی که اتصال کافی بین تیر و دیافراگم کف وجود دارد انتقال نیروها توسط عملکرد مشترک آن دو صورت می‌گیرد ولی در مواردی که اتصال کافی بین تیر و دیافراگم وجود ندارد، تیر باید به‌تنهایی بتواند از عهدهٔ انتقال این نیروها برآید.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۵ در قاب‌هایی که محل مهاربندهای طبقهٔ بالا و پایین در آنها روی هم نیستند، تیرهای حدفاصل مهاربندهای جابجاشده و اتصالات آنها باید قادر به‌تحمل نیروهای افقی منتقل شده بین آن دو و نیروی افقی طبقه علاوه بر نیروهای ثقلی وارد بر آنها باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۶ تعبیه سوراخ‌های متوالی، در جان تیر دهانهٔ مهاربندی‌شده و تیرهای حد فاصل مهاربندهای جابجا شده طبقات بالا و پایین مجاز نیست. چنانچه لازم باشد سوراخ دسترسی در جان تیر تعبیه شود، اطراف آن باید به‌نحوی تقویت گردد که مقاومت خمشی، برشی و محوری تیر در مقطع سوراخ‌دار، کمتر از مقاومت مقطع کامل تیر نباشد. در این موارد باید سعی شود سوراخ در دورترین فاصله از محل اتصال تیر به‌ستون و یا از محل اتصال تیر به‌مهاربندها واقع شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ ۷ نظر به‌آنکه در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و در آیین‌نامه و استاندارد شماره ۸۴ ـ ۲۸۰۰ زلزله ایران برای تعدادی از سیستم‌های قاب‌های مهاربندی‌شده همگرا ضریب رفتار R ارایه نشده است، در این بخش ضریب رفتار این سیستم‌ها به‌شرح زیر توصیه می‌شود.

الف: قاب فولادی ساده به‌علاوه مهاربند همگرای معمولی R= ۶

ب: قاب خمشی فولادی معمولی به‌علاوه مهاربند همگرای معمولی R= ۶

پ: قاب خمشی فولادی متوسط به‌علاوه مهاربند همگرای معمولی R= ۷

ت: قاب خمشی فولادی متوسط به‌علاوه مهاربندی همگرای ویژه R= ۸

ث: قاب خمشی فولادی ویژه به‌علاوه مهاربند همگرای ویژه R= ۹

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ کلیات

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه به‌قاب‌هایی گفته می‌شود که در آنها از مهاربندها انتظار می‌رود تحت اثر بار جانبی زلزلهٔ طرح تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه تحمل کنند و در آنها کاهش مقاومت چندانی رخ ندهد. رفتار فرا ارتجاعی موردنظر ممکن است به‌مرحله بعد از کمانش مهاربند توسعه یابد. با این ترتیب پیکره‌بندی و طراحی مهاربند و اتصالات آن باید چنان باشد که از عهده این تغییرشکل‌ها برآیند و رفتار تیرها و ستون‌ها در قاب عملاً در مرحله ارتجاعی باقی بماند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ اعضای قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه باید، علاوه بر ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ برای الزامات عمومی بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ و الزامات این بخش طراحی شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲ توزیع نیروی جانبی

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ در قاب‌های مهاربندی شده همگرا نیروی جانبی باید بین کلیه مهاربندهای کششی و فشاری توزیع شود و اعضای مهاربندها باید برای حداکثر نیروی ایجادشده در آنها طراحی شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۲ مهاربندها در امتداد هر محور در هر طبقه باید طوری در نظر گرفته شوند که در هر جهت بارگذاری حداقل ۳۰ درصد و حداکثر ۷۰ درصد نیروی جانبی سهم آن محور در کشش تحمل شود، مگر آنکه اعضای مهاربندهای فشاری دارای مقاومتی بیشتر از آنچه تحلیل سازه برای بار زلزله از جمله ترکیب بارگذاری تشدیدیافته نشان می‌دهد، باشند.

منظور از محور مهاربندی در این ضابطه یک یا چند محور مهاربندی‌شده مستقیم موازی است که به‌فاصله‌ای کمتر از ده درصد بعد ساختمان در پلان، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ اعضای قطری مهاربندی

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ محدودیت‌ها

الف ـ قطری‌ها باید دارای مقطع فشرده لرزه‌ای مطابق ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ باشند.

ب ـ قطری‌های ساخته شده از دو یا چند نیمرخ باید ضوابط مقاطع فشاری مرکب را مطابق ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ برآورده نمایند. وجود دو بست انتهایی بلافاصله بعد از اتمام ورق اتصال الزامی است.

پ ـ مقطع قطری‌ها، چه به‌صورت تکی و چه به‌صورت ساخته شده از نیمرخ‌های نوردشده یا ورقی، باید به‌صورت متقارن نسبت به‌صفحه‌ای که در آن قطری قرار داده شده است، قرار گیرند.

ت ـ از به‌کار بردن وصله در طول عضو قطری باید حتی‌الامکان خودداری شود. در صورت لزوم وصله باید بتواند تمام ظرفیت عضو را به‌صورت اتصال پوششی و یا به‌صورت مستقیم و با جوش نفوذی کامل انتقال دهد. وصلهٔ اجزای قطری نباید در یک مقطع قرار گیرند. همچنین محل وصلهٔ عضو مهاربند نباید در ناحیه یک‌چهارم طول در وسط آن قرار گیرد.

ث ـ ناحیه یک‌چهارم طول قطری در وسط آن، و دو ناحیه انتهایی قطری به‌طول حداقل ارتفاع مقطع آن باید نواحی بحرانی تلقی شده و ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۳ در آنها رعایت شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ لاغری اعضای قطری

الف ـ لاغری عضو قطری فشاری، $\frac{KL}{r}$ ، نباید از $\left(۴/۲۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)$ تجاوز نماید. لاغری قطری‌ها را در قاب‌هایی که ستون‌های آنها قادر به‌تحمل بار منتقل‌شده‌ای معادل، ۱/۱۵ در طراحی حالات حدی و $\frac{۱/۱۵}{۱/۵}$ در طراحی تنش‌های مجاز، برابر مقاومت‌های اسمی مهاربندها باشند، می‌توان برابر عددی بین مقدار عنوان شده و ۲۰۰ در نظر گرفت.

ب ـ ضریب طول مؤثر عضو قطری، در مهاربندهای قطری و مهاربندهای ۷ و ۸ برابر با یک و در مهاربندهای ضربدری، چنانچه در محل تقاطع دو عضو مهاربندی اتصال کافی وجود داشته باشد، در صفحهٔ مهاربندی برابر با ۰/۵ و در جهت عمود بر صفحهٔ مهاربندی، برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۳ مقاومت اعضای با مقطع کاهش‌یافته

در مواردی که سطح مقطع خالص مهاربندی کمتر از سطح مقطع کل آن است، مانند نواحی سوراخ شده، مقاومت مهاربند در مقطع کاهش‌یافته باید حداقل برابر با کمترین دو مقدار زیر باشد:

الف ـ در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز برابر با $۰/۶ F_{ye} A_g$ در طراحی به‌روش حالات حدی برابر با $F_{ye} A_g$

ب ـ حداکثر نیرویی که براساس تحلیل سازه، سیستم باربر جانبی می‌تواند به‌مهاربند منتقل کند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ اتصالات اعضای قطری مهاربندها

الف ـ مقاومت کششی مورد نیاز

مقاومت کششی مورد نیاز اتصال‌های قطری مهاربندی، شامل اتصال تیر به‌ستون اگر بخشی از سیستم مهاربندی باشد، باید حداقل برابر با کمترین دو مقدار زیر باشد:

- در طراحی به‌روش حالات حدی برابر با $F_{ye} A_g$ و در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز $۰/۶ F_{ye} A_g$

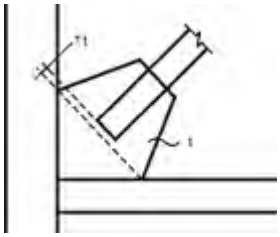
  در این عبارات، A_g سطح مقطع کلی عضو قطری مهاربند و F_{ye} تنش تسلیم مورد انتظار آن است.
- حداکثر اثر نیرویی که براساس تحلیل سازه، سیستم باربر جانبی می‌تواند به‌مهاربند منتقل نماید.

ب ـ مقاومت خمشی مورد نیاز

مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال‌های قطری‌های مهاربندی باید حداقل برابر با $۱/۱M_{pe}$ در طراحی حالات حدی و یا $۰/۶\times۱/۱M_{pe}$ در طراحی تنش‌های مجاز باشد. M_{pe} لنگر خمشی پلاستیک مقاوم تسلیم مورد انتظار مهاربند حول محور کمانش بحرانی مقطع، $F_{ye}z$ ، است.

در اتصال‌های مهاربندی که ظرفیت کششی بند الف را دارا بوده و قابلیت سازگاری با دوران‌های غیرالاستیک حاصل از تغییرشکل‌های پس از کمانش در آنها تأمین شده باشد، رعایت این ضابطه الزامی نیست.

سازگاری با دوران غیرالاستیک حاصل از تغییرشکل‌های پس از کمانش در خارج از صفحهٔ مهاربندی با قطع مهاربند قبل از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال، مطابق شکل ۱۰ـ۳ـ ۸ تأمین می‌شود.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ اتصال مهاربندی با ایجاد خط آزاد خمش.

پ ـ مقاومت فشاری مورد نیاز

مقاومت فشاری مورد نیاز اتصال‌های مهاربندی باید براساس حالت حدی کمانش تعیین شود. این مقاومت را می‌توان حداقل برابر با $۱/۲۵P_n$ در طراحی حالات حدی و یا $۱/۲۵F_a A_g$ در طراحی تنش مجاز در نظر گرفت. P_n ظرفیت فشاری اسمی عضو قطری مهاربند و F_a تنش فشاری مجاز آن است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴ تیرهای قاب‌های مهاربندی شده ۷ و ۸

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ تیرهای دهانه مهاربندی‌شده باید قادر به‌تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقلی بدون حضور مهاربندها باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ تیرها در این قاب باید در حد فاصل دو ستون پیوسته باشند و مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش جانبی ـ پیچشی، در هر دو بال بالا و پایین، داشته باشند. مهارهای جانبی و فواصل آنها باید ضوابط بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۴ را رعایت نمایند، و در هر صورت وجود حداقل یک‌جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندها به‌تیر الزامی است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ تیر دهانه مهاربندی‌شده باید قادر به‌تحمل نیروی ناشی از اثر زلزله در ترکیب با بارهای ثقلی باشد.

برای منظور کردن اثر توزیع نامتعادل نیروهای قطری کششی و فشاری ناشی از زلزله، تیر دهانهٔ مهاربندی‌شده باید برای اثر برشی و لنگر ناشی از نیروهای زیر در قطری‌ها، محاسبه گردد.

الف ـ در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ الف):

ـ نیروی قطری کششی $۰/۶ A_g F_{ye}$

ـ نیروی قطری فشاری $۰/۳ A_g F_a$

ب ـ در طراحی به‌روش حالات حدی (شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب):

ـ نیروی قطری کششی $A_g F_{ye}$

ـ نیروی قطری فشاری $۰/۳ P_{nc}$

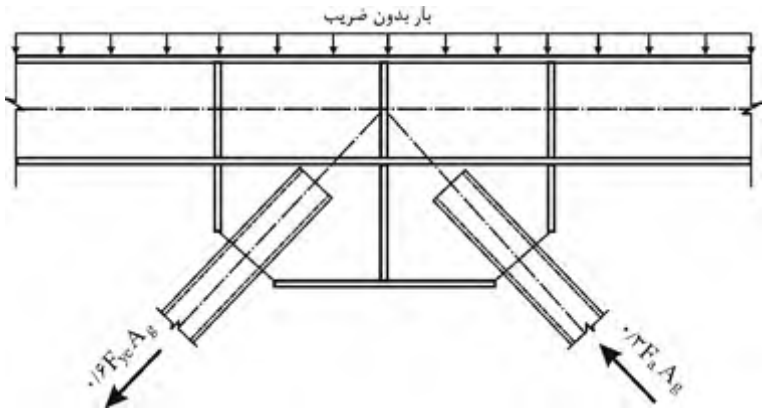
در این روابط:

A_g = سطح مقطع کلی عضو قطری

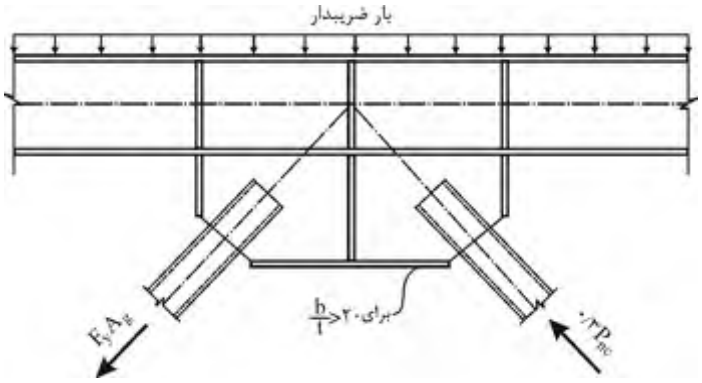
F_a = تنش مجاز فشاری عضو قطری

F_{ye} = مقاومت تسلیم قابل انتظار فولاد مهاربند

P_{nc} = ظرفیت فشاری اسمی عضو قطری



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ الف نیروی غیرمتعادل مهاربندهای کششی و فشاری در طراحی به‌روش تنش مجاز.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب نیروی غیرمتعادل مهاربندهای کششی و فشاری، در طراحی به‌روش حالات حدی.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۵ ستون‌های مهاربند

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ ستون‌ها در این قاب‌ها باید دارای مقطع فشرده لرزه‌ای مطابق ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ وصله ستون‌ها باید علاوه‌بر ضوابط بند ۱۰ـ۳ـ ۸ ـ ۱ـ۱ـ۲ قادر

به‌تحمل لنگر خمشی برابر با نصف مجموع ظرفیت خمشی ستون‌های وصله‌شونده باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ وصلهٔ ستون‌ها باید قادر به‌تحمل نیروی برشی برابر با $\frac{\Sigma M_{pc}}{h_s}$ در طراحی به‌روش حالات حدی و $\frac{۰/۶\Sigma M_{pc}}{h_s}$ در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز باشند.

ΣM_{pc} مجموع ظرفیت خمشی ستون‌های وصله‌شونده است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای معمولی

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ کلیات

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱ قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی به‌قاب‌هایی گفته می‌شود که از آنها انتظار تحمل تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی در اعضا و اتصالات آنها، بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت، زیر اثر زلزله طرح می‌رود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۲ کلیه اعضای این قاب‌ها باید علاوه بر ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ ، برای الزامات عمومی بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ طراحی شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۳ مهاربندهای قطری و ضربدری را می‌توان به‌صورت کششی تنها طراحی نمود. در این مهاربندها می‌توان از مقاطع تک‌نبشی، تسمه و میلگرد یا کابل استفاده نمود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۴ استفاده از مهاربندهای K شکل در ساختمان‌های با اهمیت متوسط و کم، یک یا دو طبقه از تراز پایه بلامانع است. اهمیت ساختمان‌ها براساس مبحث ششم مقررات ملی تعیین می‌شود..

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۵ در قاب‌های ساده یک یا دو طبقه از تراز پایه که اهمیت آنها متوسط یا کم است، می‌توان ضوابط بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ تا ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۴ را نادیده گرفت و مهاربندها را مطابق فصل‌های ۱۰ ـ ۱ و ۱۰ ـ ۲ این مقررات طراحی نمود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ اعضای قطری مهاربندها

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ لاغری عضو قطری مهاربند فشاری، $\frac{KL}{r}$ ، در مهاربندهای ۷ و ۸ و K نباید از $۴/۲۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ تجاوز نماید.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۲ برای ضریب لاغری K می‌توان توصیه‌های بند ۱۰ـ۳ـ۹ـ۲ـ۳ـ۲ را به‌کار برد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۳ اعضای قطری ساخته شده از دو یا چند نیمرخ، باید ضوابط مقاطع فشاری مرکب را مطابق ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ برآورده نمایند. وجود دو بست انتهایی بلافاصله بعد از اتمام ورق اتصال الزامی است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۳ اتصالات قطری‌های مهاربندها

اتصالات مهاربندها باید برای کمترین نیروهای زیر طراحی شوند:

الف ـ ظرفیت کششی مجاز یا مقاومت کششی اعضای مهاربندی:

در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز $۰/۶ A_g F_y$

در طراحی به‌روش حالات حدی $A_g F_y$

ب ـ حداکثر باری که می‌توان از سیستم انتظار داشت.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۴ تیرهای قاب‌های مهاربندی شده ۷ و ۸

تیرهای این قاب‌ها باید کلاً ضوابط بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۴، متعلق به‌قاب‌های مهاربندی‌شده ویژه را رعایت نمایند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ قاب‌های مهاربندی‌شده واگرا

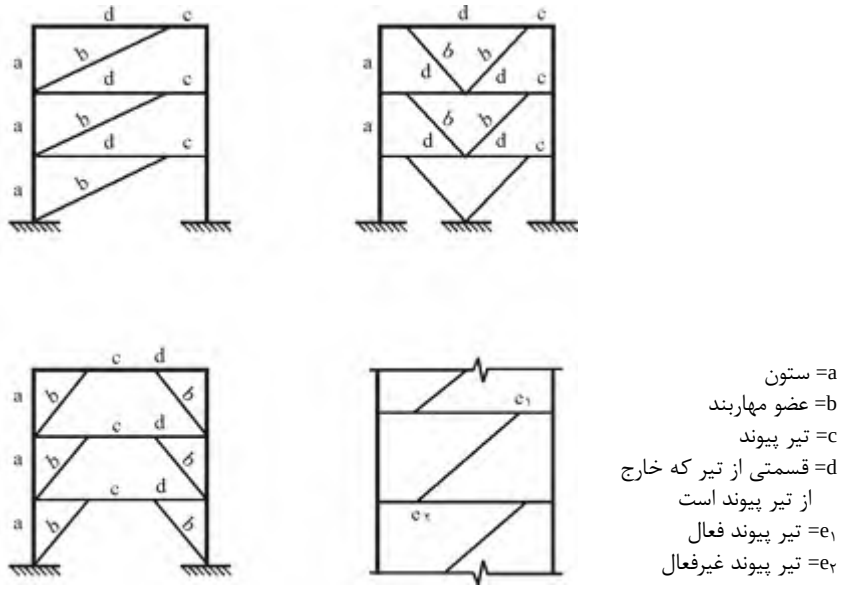
۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۱ ملاحظات کلی

قاب‌های مهاربندی شده واگرا قاب‌هایی هستند که در آنها، مهاربندها در هر دهانه، با فاصلهٔ کمی از یکدیگر روی محور طولی تیر و یا با فاصله کمی از گره اتصال تیر به‌ستون، به‌تیر متصل می‌شوند. در این قاب‌ها رفتار جانبی لرزه‌ای سازه ترکیبی از عملکرد خمشی ـ برشی تیرها و ستون‌های دهانه مهاربندی شده و عملکرد کششی ـ فشاری مهاربندها می‌باشد. در شکل‌های ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ انواع این قاب‌ها نشان داده شده است.

در این‌قاب‌ها تیرهای متعلق به دهانهٔ مهاربندی‌شده به‌دو ناحیهٔ زیر نام‌گذاری می‌شوند:

الف ـ ناحیه تیر پیوند: به‌ناحیه‌ای اطلاق می‌شود که بین نقاط تلاقی محورهای دو عضو قطری مهاربند روی تیر و یا بین نقطه تلاقی محور یک عضو قطری مهاربند روی تیر و بر ستون یا ماهیچه قرار دارد. برای طول تیر پیوند اساساً محدودیت خاصی موجود نیست ولی از آنجا که رفتار سازه‌ای این تیر وابسته به‌طول آن است، توصیه می‌شود این طول بزرگ در نظر گرفته نشود و به‌حدود یک‌پنجم طول تیر محدود گردد.

ب ـ ناحیه خارج از تیر پیوند: به‌قسمت یا قسمت‌هایی از تیر که جزء تیر پیوند نیست، اطلاق می‌شود.



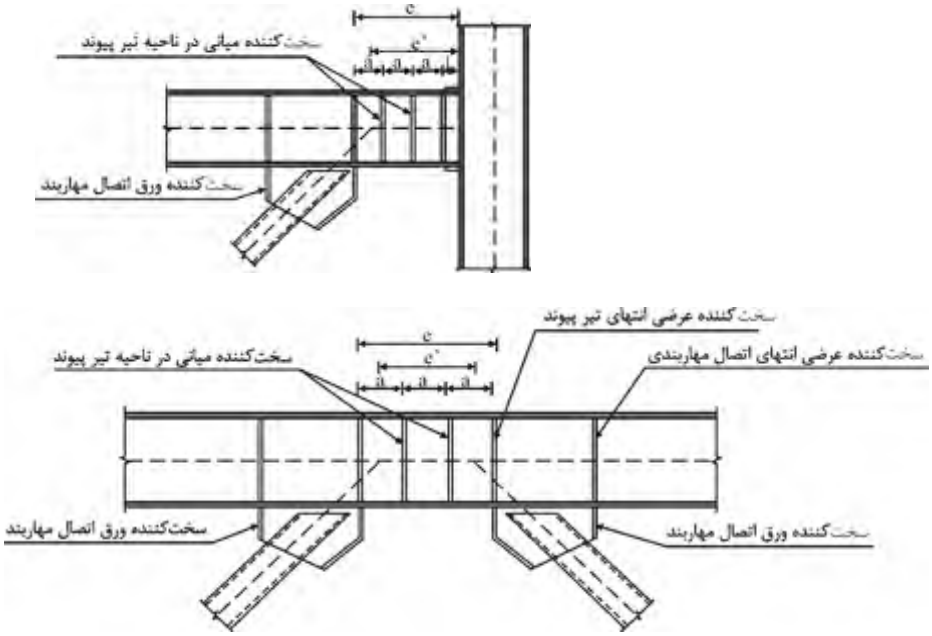
شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ اجزای مهاربندهای واگرا.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ واگرای ویژه

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ کلیات

در قاب‌های مهاربندی‌شده واگرا انتظار آن است که تیر پیوند قادر به‌تحمل تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای تحت اثر بار جانبی زلزله باشد، در حالی‌که اعضای قطری مهاربندها، ستون‌ها و ناحیه خارج از تیر پیوند عمدتاً در محدودهٔ ارتجاعی باقی بمانند. طراحی اعضای این قاب‌ها باید چنان صورت گیرد که این رفتار در آنها تأمین شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱ در ساختمان‌های بلندتر از ۵ طبقه که با سیستم مهاربندی واگرای ویژه ساخته می‌شوند می‌توان در طبقهٔ فوقانی از مهاربندهای همگرای معمولی یا ویژه، استفاده کرد و سیستم را همچنان واگرا در نظر گرفت و ضریب رفتار R آن را در محاسبات به‌کار برد.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۱ جزییات تیر پیوند کناری و میانی.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۲ تیرهای دهانه مهاربندی‌شده در این قاب‌ها، در مواردی که تیر پیوند در ناحیهٔ میانی تیر و دور از ستون‌ها واقع است می‌توانند دارای اتصالات ساده یا گیردار به‌ستون‌ها باشند، ولی در مواردی که تیر پیوند در مجاورت ستون واقع است باید دارای اتصال صلب به‌آن ستون باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۳ اتصال اعضای قطری به‌تیرها در این قاب‌ها می‌تواند به‌صورت ساده و یا صلب باشد. در حالت اخیر مهاربندها خود تحت اثر لنگر خمشی علاوه بر نیروی محوری قرار می‌گیرند و باید این اثر در طراحی آنها و اتصالاتشان منظور شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۴ طراحی قاب‌های مهاربندی‌شده واگرای ویژه باید علاوه بر ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ برای الزامات عمومی بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۶ و الزامات خاص این بخش طراحی شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ تیر پیوند

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۱ محدودیت‌های تیر پیوند

در طراحی تیر پیوند محدودیت‌های زیر باید رعایت شوند:

الف ـ تیر پیوند باید دارای مقطع فشردهٔ لرزه‌ای مطابق ضابطه بند ۱۰ـ۳ـ۴ـ۲ باشد.

ب ـ در تیر پیوند باید از اعمال هرگونه تغییر ناگهانی در بال و جان مقطع خودداری گردد. همچنین انجام هرگونه وصله‌کاری در اجزای تیر پیوند در طول آن مجاز نمی‌باشد.

پ ـ جان تیر پیوند باید از یک ورق تک بدون هرگونه ورق مضاعف در نظر گرفته شود و هیچ‌گونه بازشویی نباید در آن ایجاد شود.

ت ـ تیر پیوند ناحیه بحرانی تلقی شده و ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۳ باید در مورد آن رعایت شود. عملیات جوشکاری در این تیر تنها برای اتصال ورق‌های سخت‌کننده مجاز می‌باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۲ نوع رفتار تیر پیوند

رفتار فرا ارتجاعی تیر پیوند بستگی به‌طول آن و مشخصات مقطع آن به‌لحاظ مقاومت‌های برشی و خمشی دارد. روابط زیر معمولاً در تعیین رفتار حاکم بر تیر پیوند به‌کار گرفته می‌شود:

الف ـ اگر $e \le 1/6 \frac{M_P}{V_P}$ باشد، رفتار برشی در تیر حاکم است و در این‌صورت برش موجود در تیر پیوند برابر V_P می‌باشد.

ب ـ اگر $e \ge 2/6 \frac{M_P}{V_P}$ باشد، رفتار خمشی در تیر حاکم است و در این‌صورت برش موجود در تیر پیوند برابر $\frac{2M_P}{e}$ می‌باشد.

در این روابط:

M_P = لنگر پلاستیک تیر پیوند مساوی با $Z_b F_y$.

V_P = برش پلاستیک تیر پیوند مساوی با $۰/۶ F_y A_w$

e = طول تیر پیوند

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر پیوند

A_w = سطح مقطع خالص جان تیر پیوند مساوی با $(d - ۲t_f).t_w$

نظر به‌آنکه از تیر پیوند در رفتار برشی انتظار شکل‌پذیری بیشتری می‌رود، توصیه می‌شود طول تیر پیوند طوری انتخاب شود که این رفتار حاکم باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۳ مقاومت برشی تیر پیوند

الف ـ طراحی به‌روش تنش مجاز

طراحی تیر پیوند برای برش براساس تأمین نامساوی زیر صورت می‌گیرد:

$$V_a \le V_v$$

در این نامساوی V_a برش وارده بر تیر و V_v مقاومت برشی مجاز آن است.

مقاومت برشی مجاز تیر پیوند V_v، با توجه به‌مقدار نیروی محوری P_a در آن، کوچکترین دو مقدار زیر است:

الف ـ ۱ مواردی که $\frac{P_a}{۰/۶ P_y} \le ۰/۱۵$ باشد:

$$V_v = \min\left\{\frac{۲ \times ۰/۶ M_p}{e} \text{ و } ۰/۶ V_P\right\} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۶)$$

الف ـ ۲ در مواردی که $\frac{P_a}{۰/۶P_y} > ۰/۱۵$ باشد:

$$V_v = \min\left\{\frac{۲\times ۰/۶\times ۱/۱۸ M_p\left(۱-\frac{P_a}{۰/۶P_y}\right)}{e} \quad ,۰/۶V_P\sqrt{۱-\left(\frac{P_a}{۰/۶P_y}\right)^۲}\right\}$$

(۱۰ ـ ۳ ـ ۱۷)

در موارد الف ـ ۲ ، طول تیر پیوند را نباید بیشتر از مقادیر زیر در نظر گرفت:

ـ اگر $\rho'\frac{A_w}{A_g} < ۰/۳$ باشد:

$$e \le ۱/۶\frac{M_p}{V_p}$$

(۱۰ ـ ۳ ـ ۱۸)

ـ اگر $\rho'\frac{A_w}{A_g} > ۰/۳$ باشد:

$$e \le ۱/۶\frac{M_p}{V_p}\times\left[۱/۱۵ - ۰/۵\ \rho'\frac{A_w}{A_g}\right]$$

(۱۰ ـ ۳ ـ ۱۹)

در این روابط:

A_g = سطح مقطع کلی تیر پیوند

A_w = سطح مقطع خالص جان در تیر پیوند مساوی با $(d-۲t_f)t_w$

P_a = نیروی محوری موجود در تیر

V_a = نیروی برشی موجود در تیر پیوند

V_v = نیروی برشی مجاز تیر پیوند

M_p = لنگر پلاستیک تیر پیوند مساوی با $Z_b F_y$

V_p = برش پلاستیک تیر پیوند مساوی با $۰/۶A_wF_y$

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند

e = طول تیر پیوند

F_y = تنش تسلیم فولاد

ρ' = مساوی نسبت $\frac{P_a}{V_a}$

P_y = نیروی محوری تسلیم تیر پیوند مساوی با $F_y A_g$

ب ـ طراحی به‌روش حالات حدی

طراحی تیر پیوند برای برش براساس تأمین نامساوی زیر صورت می‌گیرد:

$$V_u \le \phi_v V_n$$

در این نامساوی V_u برش ضریبدار وارده به‌تیر و V_n مقاومت برشی اسمی تیر است.

مقاومت برشی اسمی تیر پیوند V_n، با توجه به‌مقدار نیروی محور P_u در تیر، کوچکترین دو مقدار زیر است:

ب ـ ۱ در مواردی که $\frac{P_u}{P_y} \le ۰/۱۵$ باشد:

$$V_n = \min\left\{\frac{۲Mp}{e} \ , \ V_P\right\} \qquad (۲۰ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

ب ـ ۲ در مواردی که $\frac{P_u}{P_y} > ۰/۱۵$ باشد، همچنین در این حالت، طول تیر پیوند باید شرایط زیر را برآورده نماید:

$$V_n = \min\left\{\frac{۲\times ۱/۱۸ M_p\left(۱-\frac{P_u}{P_y}\right)}{e} \ , \ V_P\sqrt{۱-\left(\frac{P_u}{P_y}\right)^۲}\right\} \qquad (۲۱ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

در موارد ب ـ ۲ طول تیر پیوند نباید از مقادیر داده شده در روابط ۱۰ـ۳ـ۱۸ و ۱۰ـ۳ـ۱۹ بیشتر در نظر گرفته شود.

در این روابط:

P_u = نیروی محوری ضریبدار موجود در تیر

V_u = نیروی برشی ضریبدار موجود در تیر

V_n = مقاومت برشی اسمی تیر پیوند

M_p = لنگر پلاستیک تیر پیوند مساوی با $Z_b F_y$

V_p = برش پلاستیک تیر پیوند مساوی با $۰/۶ F_y A_w$

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند

e = طول تیر پیوند

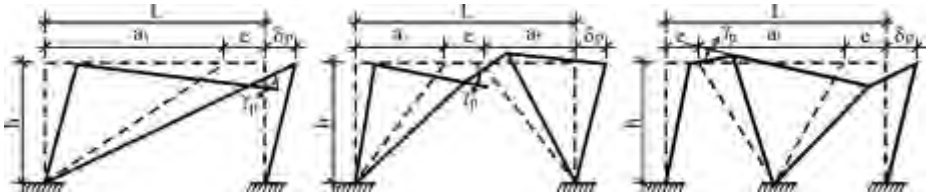
F_y = تنش تسلیم فولاد

P_y = نیروی محوری تسلیم تیر پیوند مساوی با $F_y A_g$

ϕ_v = ضریب تقلیل مقاومت مساوی با ۰/۹

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۴ دوران تیر پیوند

حداکثر دوران تیر پیوند نسبت به‌ناحیه خارج از آن، وقتی که تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طبقه مساوی حداکثر مقدار مجاز آن باشد، نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید. تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طبقه براساس ضوابط مبحث ششم مقررات ملی تعیین می‌شود. γ_p برای حالات مختلف در شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۲ نشان داده شده است.



$$\gamma_p = \frac{a_1 + 2e}{2eh}\delta_p = \frac{L}{2eh}\delta_p \qquad \gamma_p = \frac{a_1 + a_2 + e}{eh}\delta_p = \frac{L}{eh}\delta_p \qquad \gamma_p = \frac{a_1 + e}{eh}\delta_p = \frac{L}{eh}\delta_p$$

δ_p = حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طبقه که از ضرب تغییرمکان جانبی نسبی حلصل از بار زلزله طرح در ۰/۷ R به‌دست می‌آید.

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۲

الف ـ در مواردی که طول تیر پیوند $e \le ۱/۶ \frac{M_P}{V_P}$ باشد:

$\gamma_P = ۰/۰۸$ (رادیان) (۱۰ ـ ۳ ـ ۲۲)

ب ـ در مواردی که طول تیر پیوند $e \ge ۲/۶ \frac{M_P}{V_P}$ باشد:

$\gamma_P = ۰/۰۲$ (رادیان) (۱۰ ـ ۳ ـ ۲۳)

پ ـ برای مقادیر e بین دو مقدار فوق، γ_p را باید با درون‌یابی خطی تعیین نمود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۵ اتصال تیر پیوند به‌ستون

ضوابط زیر باید در اتصال تیر پیوند به‌ستون رعایت شود:

الف ـ اتصال تیر پیوند کناری به‌ستون، باید به‌صورت صلب باشد. این اتصال باید طوری طراحی شود که قادر به تحمل حداکثر دوران تیر پیوند، مطابق ضابطه بند (۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۴) باشد. برای این منظور، طراحی این اتصال باید مطابق ضوابط اتصال تیر به‌ستون در قاب‌های خمشی ویژه صورت گیرد. نیروی برشی و لنگر خمشی طراحی در اتصال در بندهای ب و پ زیر داده شده‌اند.

پیش‌بینی ورق‌های پیوستگی و کنترل چشمه اتصال در ستون باید عیناً مشابه آنچه در قاب‌های خمشی ویژه عنوان شده انجام شود. مقاومت برشی لازم در چشمه اتصال باید با استفاده از لنگر خمشی انتهایی تیر پیوند تعیین گردد.

ب ـ نیروی برشی طراحی اتصال تیر پیوند کناری به‌ستون باید برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته شود:

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز، $۱/۲۵ V_v$

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی، $۱/۲۵ V_n$

مقادیر V_v و V_n مطابق ضوابط بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۳ تعیین می‌شوند.

پ ـ لنگر خمشی طراحی اتصال تیر پیوند کناری به‌ستون باید برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته شود:

ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز

$$M_P = ۰/۶ M_{exp} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۲۴)$$

ـ در طراحی به‌روش حالات حدی

$$M_n = M_{exp} \qquad (۱۰ ـ ۳ ـ ۲۵)$$

در این روابط:

M_{exp} = لنگر پلاستیک مورد انتظار تیر پیوند مساوی با $Z_b F_{ye}$

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند

F_{ye} = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد مساوی با $۱/۱۵ F_y$

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۶ سخت‌کننده‌های تیر پیوند

تیرهای پیوند باید با تعدادی سخت‌کننده در دو انتهای محل اتصال هر مهاربند به‌تیر و نیز تعدادی سخت‌کننده‌های میانی در طول تیر پیوند تقویت شوند. مشخصات این سخت‌کننده‌ها باید براساس ضوابط بندهای زیر در نظر گرفته شوند:

الف ـ سخت‌کننده‌های انتهایی

سخت‌کننده‌های انتهایی، در دو انتهای محل اتصال هر مهاربند به‌تیر پیش‌بینی می‌شوند. این سخت‌کننده‌ها باید به‌صورت یک جفت در دو طرف جان و در تمام ارتفاع آن تعبیه گردند.

پهنای هریک از این سخت‌کننده‌ها نباید از $\frac{b_f}{۲} - t_w$ و ضخامت آنها نباید از $۰/۷۵ t_w$ یا ۸ میلی‌متر، کمتر اختیار شود. b_f عرض بال تیر پیوند و t_w ضخامت جان آن است.

ب ـ سخت‌کننده‌های میانی

سخت‌کننده‌های میانی در حد فاصل دو سخت‌کنندهٔ انتهایی پیش‌بینی می‌شوند. این سخت‌کننده‌ها در تیرهای با ارتفاع ۶۰۰ میلی‌متر و بیشتر باید به‌صورت یک جفت در دو سمت جان تعبیه گردند. در تیرهای با ارتفاع کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر می‌توان این سخت‌کننده‌ها را به‌صورت تکی در یک سمت جان تعبیه کرد. سایر مشخصات این سخت‌کننده‌ها مشابه سخت‌کننده‌های انتهایی است.

فواصل سخت‌کننده‌های میانی و تعداد آنها باید براساس ضوابط زیر در نظر گرفته شود:

ب ـ ۱ در مواردی‌که طول تیر پیوند $e \le ۱/۶ \frac{M_P}{V_P}$ است، فاصله سخت‌کننده‌های میانی نباید بیشتر از مقادیر زیر در نظر گرفته شود:

ـ برای تیرهای پیوند با زاویه دوران ۰/۰۸ رادیان $(۳۰t_w - \frac{d_b}{۵})$.

ـ برای تیرهای پیوند با زاویه دوران ۰/۰۲ رادیان یا کمتر، $(۵۰t_w - \frac{d_b}{۵})$.

ـ برای تیرهای پیوند با زاویه دوران بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ رادیان از درون‌یابی خطی بین دو مقدار فوق تعیین می‌شود.

ب ـ ۲ در مواردی که طول تیر پیوند $(۲/۶ \frac{M_P}{V_P} < e < ۵ \frac{M_P}{V_P})$ است، یک سخت‌کننده میانی باید به‌فاصلهٔ ۱/۵ برابر عرض بال تیر پیوند از هریک از سخت‌کننده‌های انتهایی پیش‌بینی شود.

ب ـ ۳ در مواردی که طول تیر پیوند $(۱/۶ \frac{M_P}{V_P} < e < ۲/۶ \frac{M_P}{V_P})$ است، سخت‌کننده‌های میانی باید هر دو شرط ب ـ ۱ و ب ـ ۲ را برآورده نمایند.

ب ـ ۴ در مواردی که طول تیر پیوند $(e > ۵ \frac{M_P}{V_P})$ است، لزومی به‌تعبیه سخت‌کننده میانی نمی‌باشد.

در روابط فوق:

e = طول تیر پیوند

$M_p = Z_b F_y$ = لنگر پلاستیک تیر پیوند مساوی با

$V_p = ۰/۶ F_y A_w$ = برش پلاستیک تیر پیوند مساوی با

پ ـ اتصال سخت‌کننده‌ها به‌بال و جان تیر پیوند

اتصال سخت‌کننده‌ها به‌جان و بال‌های تیر پیوند باید توسط جوش گوشه برقرار گردد. اتصال سخت‌کننده‌ها به‌جان در طراحی تنش مجاز باید برای نیروی $۰/۶ A_{st} F_y$ و در طراحی

حالات حدی برای نیروی $A_{st} F_y$ محاسبه شود. اتصال سخت‌کننده‌ها به‌هریک از بال‌های تیر پیوند در طراحی تنش مجاز باید برای نیروی $\frac{۱}{۴}\times ۰/۶ A_{st} F_y$ و در طراحی حالات حدی برای نیروی $\frac{۱}{۴} A_{st} F_y$ محاسبه شود. A_{st} سطح مقطع عرضی هریک از سخت‌کننده‌ها است.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ ۷ مهار جانبی تیر پیوند

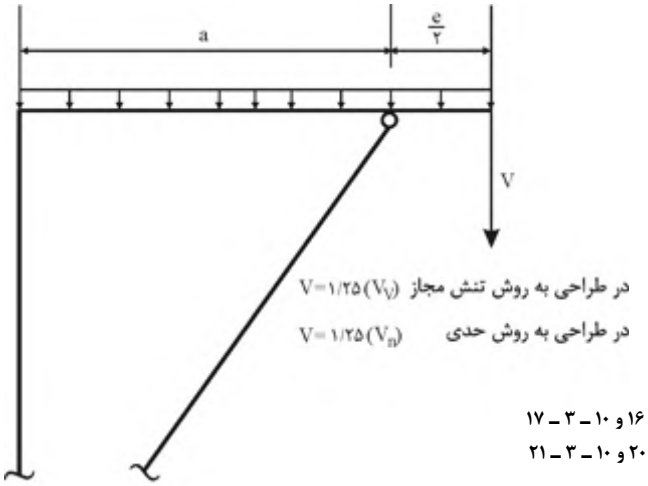
در دو انتهای تیر پیوند در بال‌های فوقانی و تحتانی، باید مهارهای جانبی پیش‌بینی شود. این مهارها باید، در طراحی تنش‌های مجاز برای نیروی $۰/۰۶\times ۰/۶ F_{ye} b_f t_f$ و در طراحی به‌روش حالات حدی برای نیروی $۰/۰۶ F_{ye} b_f t_f$ طراحی گردند. b_f عرض بال و ضخامت بال تیر پیوند و F_{ye} مساوی $۱/۱۵ F_y$ می‌باشد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ تیر خارج از تیر پیوند

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ تیر ناحیه خارج از تیر پیوند باید برای ترکیب بار محوری و لنگر خمشی ناشی از ترکیبات بارگذاری مختلف، مطابق ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲، طراحی شود، با این تفاوت که به‌جای اثر زلزله در این ترکیبات باید شرایطی را منظور کرد که در آن تیر پیوند به‌حداکثر ظرفیت باربری برشی خود زیر اثر بار جانبی زلزله رسیده باشد. برای این منظور می‌توان این تیر را برای تلاش‌های ناشی از بار قائم به‌اضافه تلاش‌های ناشی از برشی برابر با ۱/۲۵ برابر ظرفیت برشی تیر پیوند، مطابق ضوابط بند ۱۰ـ۳ـ۱۰ـ۲ـ۲ـ۳، که در محل نقطه عطف این تیر قرار داده می‌شود، طراحی نمود.

مقاومت موجود تیر در این ناحیه باید ۱/۱۵ برابر آنچه براساس ضوابط فصل‌های ۱۰ـ۱ یا ۱۰ ـ ۲ محاسبه می‌گردد، منظور شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۲ پیکره‌بندی تیر و مهاربند قطری باید طوری در نظر گرفته شود که محل تقاطع محورهای این دو در محلی در داخل تیر پیوند قرار گیرد. با این ترتیب لنگر خمشی موجود در تیر خارج از تیر پیوند قدری کاهش داده می‌شود.



V_v طبق روابط ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۶ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۷
V_n طبق روابط ۱۰ ـ ۳ ـ ۲۰ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۲۱

شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۳ مدل تحلیلی، تعیین نیروهای طراحی اعضای خارج از تیر پیوند، مهاربندی و نیروی محوری ستون‌های مهاربند..

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ طراحی اعضای قطری مهاربند و اتصالات آنها

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۱ محدودیت‌ها

در طراحی اعضای قطری مهاربند باید ضوابط زیر رعایت شود:

الف ـ لاغری اعضای قطری، نباید از $(۴/۲۳\sqrt{\frac{E}{F_y}})$ تجاوز نماید.

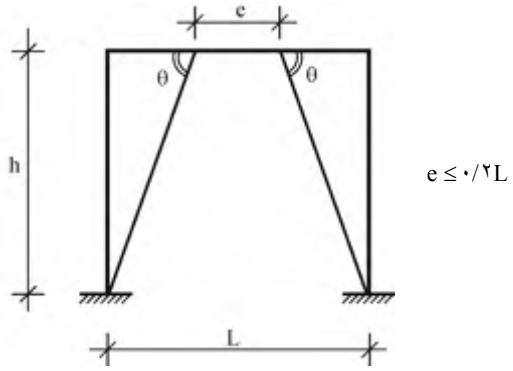
ب ـ ضریب طول مؤثر اعضای قطری، K ، در مهاربندهای واگرا برابر با یک در نظر گرفته می‌شود.

پ ـ قطری‌ها باید دارای مقاطع فشرده، مطابق ضابطه ۱۰ـ۳ـ۴ـ۲ باشند.

ت ـ مهاربندهای ساخته شده از دو یا چند نیمرخ، باید ضوابط مقاطع ساخته‌شده که تحت اثر نیروی فشاری قرار می‌گیرند را برآورده نمایند.

ث ـ از وصله‌کاری در طول عضو مهاربندی باید حتی‌الامکان خودداری شود. در صورت لزوم، وصله باید بتواند تمام مقاومت عضو را به‌صورت اتصال پوششی یا به‌صورت مستقیم و با جوش نفوذی کامل تأمین نماید. وصله اجزای مهاربندی نباید در یک مقطع پیش‌بینی شوند. همچنین وصلهٔ عضو مهاربند نباید در دو انتهای آن صورت گیرد.

ج ـ توصیه می‌شود پیکربندی مهاربندها طوری در نظر گرفته شود که زاویهٔ بین عضو مهاربند و تیر، θ ، بین ۳۰ تا ۶۰ درجه باشد.



شکل ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۴ زاویه بین عضو مهاربند و تیر.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲ نیروهای طراحی مهاربندها

مهاربندها باید برای ترکیب بار محوری و لنگر خمشی، در صورت وجود، براساس شرایطی که برای تیر خارج از تیر پیوند در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ عنوان شد، طراحی شوند. برای این منظور می‌توان مدل محاسباتی پیشنهادشده در آن بند را به‌کار گرفت. مقاومت موجود در مهاربند باید براساس ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲ به‌حساب آورده شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۳ طراحی اتصالات مهاربندها

اتصالات دو انتهای مهاربندها به‌تیرها باید دارای مقاومتی حداقل برابر با مقاومت خود مهاربند، مطابق ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ ۲، باشد. در طراحی این اتصالات الزامات بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۴ نیز باید رعایت شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ طراحی ستون‌ها در قاب‌های مهاربندی شده واگرا

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ ستون‌ها باید دارای مقطع فشرده لرزه‌ای مطابق ضابطه بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ باشند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲ ستون‌ها و وصله‌های آنها باید علاوه بر الزامات بند ۱۰ـ۳ـ۶ مقاومت مورد نیاز برای ترکیبات مختلف بارگذاری، مطابق ضوابط فصل‌های ۱۰ ـ ۱ یا ۱۰ ـ ۲، را با شرایطی که در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ ۱ عنوان گردید، تأمین نمایند. برای این منظور می‌توان مدل محاسباتی عنوان شده در آن بند را در نظر گرفت و برای کلیه تیرهای پیوند واقع در تراز بالاتر از تراز ستون مورد نظر به‌کار برد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ ۳ مهاربند واگرای معمولی در داخل قاب ساده

در این مهاربندها تحلیل و طراحی عضو مهاربند، اتصالات مربوطه، تیر پیوند، تیر خارج از ناحیه پیوند و ستون‌ها باید مطابق ضوابط ارایه شده برای قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی، در بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ، مهاربندهای همگرای معمولی، و با منظور کردن ضوابط ملاحظات زیر انجام شود.

الف. برون‌محوری e باید کوچکتر از یک‌پنجم طول دهانهٔ مهاربند باشد.

ب. تیر مهاربند، شامل تیر پیوند و تیر خارج از ناحیهٔ پیوند، باید به‌صورت پیوسته با مقطع فشرده با جان پر و اتصال پیوسته سراسری جان تیر به‌بال‌ها باشد.

پ. تیر مهاربند باید قادر به‌تحمل بارهای قائم وارد بر آن بدون توجه به‌وجود مهاربندها باشد.

ت. در جان تیر در محل اتصال مهاربند به‌تیر، باید سخت‌کننده‌های زیر به‌عنوان حداقل در نظر گرفته شود.

ـ یک جفت سخت‌کننده در ابتدا و انتهای اتصال عضو قطری مهاربند
ـ یک جفت سخت‌کننده در داخل تیر پیوند، مطابق شکل‌های ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۱ .

۱۰ ـ ۴ ـ ساخت، نصب و کنترل

۱۰ ـ ۴ ـ ۱	مقدمه	۴۱۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۲	دامنه کاربرد	۴۱۵
۱۰ ـ ۴ ـ ۳	مشخصات فولاد مصرفی	۴۱۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۴	ساخت قطعات فولادی	۴۱۷
۱۰ ـ ۴ ـ ۵	رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فولادی	۴۲۶
۱۰ ـ ۴ ـ ۶	رواداری‌ها	۴۳۲

۱۰ ـ ۴ ـ ۱ مقدمه

این فصل اختصاص به‌روش‌های تهیه مصالح، برشکاری، مونتاژ، جوشکاری، حمل، پیش‌نصب، برپاداشتن، نصب، کارهای تکمیلی جوشکاری و محکم کردن پیچ‌ها دارد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۲ دامنهٔ کاربرد

براساس مفاد این فصل و طبق نقشه‌ها و مدارک فنی، سازندهٔ اسکلت موظف به‌انجام موارد زیر می‌باشد:

ـ تهیه مصالح*، تجهیزات و نیروی انسانی لازم.
ـ تهیه نقشه‌های اجرایی در هماهنگی با نقشه‌ها و مدارک فنی، تجهیزات و امکانات اجرایی.
ـ برشکاری، سوراخکاری و مونتاژ قطعات.
ـ جوشکاری قطعات مونتاژ شده.
ـ تمیزکاری و رنگ‌آمیزی قطعات.

* در بعضی موارد این کار برعهدهٔ کارفرما است.

ـ حمل قطعات ساخته شده به‌محل نصب.
ـ ایجاد امکانات لازم برای انبار کردن قطعات فولادی.
ـ پیش‌نصب قسمت‌های کار در محل کارگاه ساخت در صورت نیاز.
ـ برپاداشتن و تکمیل جوشکاری و یا محکم کردن پیچ‌ها، مونتاژ قطعات طبق نقشه‌ها در محل کار و کارهای تکمیلی

۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مشخصات فولاد مصرفی

کلیه فولادهای مصرفی اعم از ورق، تیرآهن، ناودانی، نبشی، تسمه و غیره باید از انواع مذکور در فصل‌های ۱۰ ـ ۰ تا ۱۰ ـ ۳ باشد.

قطعات فولادی باید از معایبی که به‌مقاومت و یا شکل ظاهری آن لطمه می‌زند عاری باشند. به‌کار بردن فولادهای مصرف‌شده باید با اجازهٔ ناظر و بعداز انجام آزمایش‌های لازم باشد.

قطعات فولادی اعم از اجزای قاب، ستون‌ها و شاهتیرها باید حتی‌الامکان یکپارچه بوده و از وصله کردن قطعات کوتاه خودداری گردد، مگر آنکه محل وصله در نقشه‌های اجرایی مشخص شده باشد یا موافقت مهندس طراح برای اتصال مورد نظر جلب گردد.

هرگاه ناظر از مشخصات فولادهای واردشده به‌کارخانه اطمینان نداشته باشد می‌تواند از هر ۱۰ تن نیمرخ فولادی مشابه به‌تعداد ۳ نمونه اتفاقی انتخاب و انجام آزمایش‌های زیر را مطابق استانداردهای ملی و یا ISO در مورد آنها تقاضا نماید:

ـ آزمایش مقاومت کششی با اندازه‌گیری تغییرشکل نسبی
ـ آزمایش شارپی روی نمونهٔ زخم‌دار.
ـ آزمایش خمش سرد
ـ آزمایش متالوگرافی و تعیین ترکیب شیمیایی

کارخانهٔ سازنده باید با عرضه شماره و عنوان مصالح، مشخصات فنی مربوطه طبق مدارک رسمی و همچنین گزارش آزمایش‌های مصالح، ثابت کند که مصالح مناسب پیش‌بینی شده، مورد استفاده قرار گرفته است.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ساخت قطعات فولادی

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۱ کلیات

کارفرما نقشه‌های محاسباتی فولادی را در اختیار پیمانکار قرار می‌دهد. پیمانکار موظف است براساس نقشه‌های مذکور ابتدا نقشه‌های اجرایی را تهیه و به‌تصویب طراح سازه برساند. کنترل مهندس طراح درحد انطباق با نقشه‌های محاسباتی و مشخصات فنی بوده و مسئولیت هندسه برش‌ها و قطعات برعهدهٔ سازندهٔ اسکلت است.

نقشه‌های اجرایی باید کلیه اطلاعات و جزییات لازم برای برش و ساخت قطعات اعم از ابعاد و اندازه‌ها، آماده‌سازی لبه‌ها برای جوشکاری، جزییات جوش و اندازهٔ پیچ‌ها و سوراخ‌های آنها را شامل شود.

نقشه‌های اجرایی، باید جوش‌های کارخانه‌ای را از جوش‌های کارگاهی متمایز کرده و نوع اتصال با پیچ‌ها (اتکایی یا اصطکاکی) و نیز حد سفت کردن آنها را به‌وضوح معین نموده باشد.

قبل از شروع به‌ساختن و نصب قطعات باید اندازه‌های مندرج در نقشه‌ها به‌منظور تطبیق کامل و جلوگیری از بروز هرگونه اشکال در موقع ساخت و نصب توسط پیمانکار به‌دقت کنترل گردد.

هر قطعه پس از آنکه به‌اندازه و شکل مشخص شده در نقشه‌ها ساخته شد، باید شماره و علامت‌گذاری شود.

برش، مونتاژ، جوشکاری و متصل کردن قطعات به‌یکدیگر باید در کارخانهٔ سرپوشیده و مجهز ساخت اسکلت‌های فولادی توسط استادکاران و کارگران ماهر و زیر نظر متخصص فن انجام گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۲ بریدن و سوراخ کردن

ابتدا قطعات باید به‌ابعاد و شکل‌های لازم به‌دقت بریده شده و در محل‌های لازم سوراخ گردند. برش ورق‌هایی که در ساختن قطعات فولادی مصرف می‌گردد باید توسط دستگاه برش شعلهٔ ریلی انجام گیرد. برای ورق‌ها با ضخامت مساوی یا کمتر از ۱۲ میلی‌متر، برش توسط دستگاه گیوتین مجاز می‌باشد.

در این حالت لبه‌ها باید کاملاً یکنواخت و خالی از ناهمواری‌های بیش از ۳ میلی‌متر باشد. ناهمواری‌ها و زخم‌های بیش از ۳ میلی‌متر را باید با سنگ زدن و در صورت لزوم تعمیرکاری توسط جوش، هموار کرد.

در نیمرخ‌های سنگین و قطعات ساخته‌شده با جوش به‌ضخامت بیش از ۴۰ میلی‌متر، باید قبل از برش گرمایی، پیش‌گرمایش تا دمای حداقل ۶۵ درجه سلسیوس انجام شود.

برش نیمرخ‌های فولادی (تیرآهن، ناودانی و نبشی) که برای ساخت مهارها، تیرها، ستون و اتصال آن مصرف می‌شوند، در صورت موافقت مهندس ناظر می‌تواند با اره یا برش دستی انجام گیرد. در هر صورت کلیه ناصافی‌هایی که بر اثر برش به‌وجود می‌آید باید با سنگ زدن برطرف شود.

سوراخ‌های نهایی ورق‌ها باید به‌کمک مته دوار انجام پذیرد. برای سوراخ‌های با قطر زیاد می‌توان ابتدا با قطر کوچکتر سوراخی توسط منگنه ایجاد نمود و بعد با مته سوراخ را به‌قطر دلخواه رساند. قطعاتی که با پیچ به‌هم متصل می‌گردند در صورت امکان باید همه به‌هم خال‌جوش شده و با هم سوراخ‌کاری شوند.

به‌کارگیری روش‌های گرم کردن موضعی و یا تغییرشکل مکانیکی برای ایجاد انحنا یا راست کردن قطعات با تأیید ناظر مجاز می‌باشد، ولی دمای موضع گرم شده نباید از ۶۵۰ درجه سلسیوس برای فولاد معمولی و ۵۶۵ درجهٔ سلسیوس برای فولاد پرمقاومت و آلیاژی بیشتر شود. این دما باید به‌کمک گچ‌های رنگی مخصوص که در دمای حدود ۶۰۰ درجه تغییر رنگ می‌دهند، مورد کنترل قرار گیرد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۳ ساخت و آماده کردن قطعات قبل از مونتاژ

قطعات فولادی باید طوری ساخته شوند که هیچ نوع تغییرشکلی غیر از آنچه در نقشه مشخص شده در آنها به‌وجود نیاید. انحنا و تغییرشکل‌هایی که طبق نقشه و یا دستور مهندس ناظر لازم باشد، هنگام ساختن قطعات ایجاد می‌شود.

پخ‌زنی و آماده کردن لبهٔ قطعات برای جوشکاری باید هنگام برش شعله، با زاویه دادن به‌سر مشعل یا با سنگ‌زنی‌های بعدی انجام پذیرد. استفاده از دستگاه‌های پخ‌زن ضربه‌ای برای قطعات و ورق‌های با ضخامت بیش از ۱۲ میلی‌متر مجاز نمی‌باشد. پخ‌زنی و آماده کردن لبه‌ها باید مطابق جزییات اجرایی درزهای پیش‌پذیرفته بوده و قبلاً به‌تأیید ناظر رسیده باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۴ اتصال با جوش

برای برقراری اتصالات جوشی رعایت مشخصات مندرج در آیین‌نامهٔ جوشکاری ساختمانی* لازم است. علاوه بر مفاد آیین‌نامهٔ مذکور، رعایت موارد زیر لازم می‌باشد.

الف ـ پیمانکار باید برای انواع جوش‌ها قبل از شروع جوشکاری، نوع الکترود مصرفی و قطر آن، شدت جریان و ولتاژ، تعداد پاس‌ها، نحوهٔ آماده‌سازی لبه‌ها و تمام اطلاعات اجرایی دیگر را توسط مهندس یا کاردان ارشد جوشکاری بر روی برگه‌های «دستورالعمل جوشکاری ـ WPS » ثبت نموده و در تمام مدت جوشکاری در اختیار جوشکار، سرپرست کارگاه جوشکاری و ناظرین قرار دهد. برگه‌های «دستورالعمل جوشکاری» باید قبلاً به‌تأیید مهندس ناظر رسیده باشند.

ب ـ جوشکاری باید طبق نقشه‌ها و مدارک فنی، توسط جوشکاران ماهر ارزیابی شده انجام گردد و چنانچه مهندس ناظر لازم بداند باید جوشکاران دارای گواهینامهٔ جوشکاری از وزارت کار یا مراجع ذیصلاح دیگر بوده و یا قبل از انجام کار توسط مهندس ناظر آزمایش لازم از آنها به‌عمل آید.

پ ـ قبل از جوشکاری باید سطوح مورد نظر از مواد زاید (گرد و خاک، زنگ‌زدگی، رنگ و غیره) کاملاً پاک شود.

ت ـ جوشکاری به‌طور کلی در دمای محیط جوشکاری زیر صفر درجه سلسیوس خصوصاً در جریان باد ممنوع است. در صورتی‌که جریان هوا یکنواخت و ثابت بوده و بتوان محیط جوشکاری را به‌شعاع حداقل ۱۰ سانتی‌متر با وسایل مناسب به‌نحوی گرم کرد که با دست کاملاً محسوس باشد و محیط جوشکاری حفاظت گردد، جوشکاری بلامانع است.

ث ـ جوشکاری نباید بیش از آنچه در نقشه ذکرشده انجام شود، مگر با تأیید مهندس ناظر و طراح.

ج ـ شدت جریان و نوع الکترودها باید طوری انتخاب شوند که جوش کامل و دارای نفوذ کافی مطابق نقشه‌ها بوده و قطعات مورد اتصال به‌قدر کافی ذوب شوند. سطح جوش باید عاری از شیار، قسمت‌های برآمده، بریدگی و گودافتادگی باشد.

* نشریه ۲۲۸ دفتر تحقیقات و استانداردهای فنی معاونت راهبردی و برنامه‌ریزی.

چ ـ چنانچه جوشکاری در بیش از یک عبور انجام شود، قبل از انجام عبور بعدی، پوستهٔ عبور قبلی باید به‌کمک چکش گِل‌زن و برس سیمی، پاک گردد.

ح ـ بین قطعاتی که مستقیماً به‌طریق جوش گوشه به‌هم جوش می‌شوند نباید درزی بیش از ۲ میلی‌متر موجود باشد.

خ ـ ترتیب عملیات جوشکاری باید به‌نحوی انجام گیرد که قطعات مربوطه از شکل اصلی خارج نشده و از تاب برداشتن و اعوجاج بیشتر از حد رواداری‌های بند ۱۰ ـ ۴ ـ ۶ بیشتر نگردد.

د ـ بر روی تمام جوش‌ها باید آزمایش‌های کنترل کیفیت چشمی توسط بازرس جوش انجام و نتیجه این آزمایش‌ها به‌مهندس ناظر و کارفرما گزارش شود. در جدول ۱۰ ـ ۴ـ ۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش ارایه شده است. نتیجه تمام این آزمون‌ها باید در پرونده‌های مخصوص ثبت شده در اختیار مهندس ناظر قرار گیرند. تفسیر مهندس ناظر از نتایج آزمایش قطعی محسوب می‌گردد.

مهندس ناظر می‌تواند مستقیماً آزمایش‌های کنترل کیفیت بر روی قطعات انجام داده و یا دستور تکرار و تجدید آزمایش‌های لازم توسط پیمانکار را بنماید.

ذ ـ روش اجرا باید طوری ترتیب داده شود که مقدار جوش‌های کارگاهی لازم به‌حداقل برسد، به‌طوری که ساخت قطعات با جوش در کارخانه انجام شده و اتصال در کارگاه حتی‌المقدور توسط پیچ پرمقاومت برقرار شود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۵ پیش‌نصب

در صورتی‌که دستگاه نظارت لازم بداند، پیمانکار موظف است تیرها و ستون‌های فولادی را در محل کارخانه یا پای کار پیش‌نصب نماید. هدف از پیش‌نصب تیرها و ستون‌ها حصول اطمینان از دقت ساخت و کیفیت جفت و جور شدن قطعات در هنگام نصب می‌باشد. همچنین در هنگام پیش‌نصب، خیز شاهتیر تحت بار خود اندازه‌گیری شده و با خیز مندرج در نقشه‌ها مقایسه خواهد شد. جفت و جور شدن قطعات بادبندها نیز با بستن تعدادی از آنها مورد کنترل قرار خواهد گرفت.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش هنگام تولید و نصب

نوع جوش مورد آزمایش	نوع آزمایش
۱ ـ صد درصد کلیه جوش‌ها	بازرسی چشمی (VI)
۲ ـ صد درصد جوش‌های لب به‌لب عرضی بال‌های کششی، اعضای کششی خرپاها، ۱/۶ عمق جان تیرها در مجاورت بال کششی* و جوش شیاری ورق روسری و زیرسری به‌ستون در اتصال صلب تیر به‌ستون	پرتونگاری یا فراصوت (RT یا UT)
۳ ـ ده درصد جوش‌های لب به‌لب طولی بال‌های کششی و اعضای کششی خرپاها	پرتونگاری یا فراصوت (RT یا UT)
۴ ـ بیست درصد جوش‌های لب به‌لب عرضی و طولی در بال‌های فشاری و اعضای فشاری خرپاها و ستون‌ها	پرتونگاری یا فراصوت (RT یا UT)
۵ ـ بیست درصد جوش‌های لب به‌لب عرضی جان تیرها که شامل بند ۲ فوق نمی‌باشد و جوش‌های لب به‌لب طولی جان تیرها	پرتونگاری یا فراصوت (RT یا UT)
۶ ـ ده درصد جوش گوشه بال به‌جان و سخت‌کننده‌ها	رنگ نافذ (PT)
۷ ـ صد درصد جوش‌های گوشه اتصالات مهاربندها و اتصالات تیر به‌ستون*	رنگ نافذ

* درصورت حصول نتایج مثبت، مهندس ناظر می‌تواند دستور تقلیل آزمایشات را تا حداقل ۳۰ درصد صادر نماید.

به‌هنگام پیش‌نصب باید حداقل ۲۵ درصد از پیچ‌های هر اتصال که کمتر از دو پیچ نباشد، بسته شوند. پیچ‌های پیش‌نصب می‌توانند از نوع پیچ‌های معمولی انتخاب گردد. از این پیچ‌ها بعداً به‌عنوان پیچ‌های اصلی نباید استفاده نمود.

قطعات پیش‌نصب‌شده، بعد از علامت‌گذاری، باز شده و به‌همراه ورق‌های اتصال برای حمل به‌کارگاه، انبار خواهند شد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۶ اتصال با پیچ

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۱ اصلاح سوراخ‌ها

برای مونتاژ نهایی قطعات، بعد از آنکه قطعات علامت‌گذاری‌شده بر روی خرک چیده شدند و ورق‌های اتصال بر روی سوراخ‌ها قرار گرفت، قطعات به‌وسیلهٔ سمبه‌هایی که از سوراخ‌های اتصال می‌گذرند در جای خود ثابت می‌شوند. در کارگاه ساخت، انطباق سوراخ‌ها مورد کنترل

دقیق قرار می‌گیرد. ولی باز هم امکان دارد که حداکثر تا ۱۵ درصد سوراخ‌های یک محل به‌علت عدم دقت‌های ساخت کاملاً منطبق نباشند. در چنین حالتی باید این سوراخ‌ها را با گذراندن یک پیچ امتحانی پیدا کرده، به‌وسیلهٔ برقو زدن آنها را اصلاح نمود. حداکثر قطر برقوی مصرفی۳ میلی‌متر بزرگتر از قطر پیچ می‌باشد و برقوزنی نباید قطر سوراخ را بیش از ۵ میلی‌متر افزایش دهد.

استفاده کردن از برش شعله برای گشاد کردن سوراخ‌ها مجاز نیست.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ بستن و محکم کردن پیچ‌های اصطکاکی

محکم کردن پیچ‌های هر اتصال در دو مرحله انجام می‌گیرد. اول، تعدادی از پیچ‌ها تا حد سفتی کامل محکم می‌شوند، تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به‌هم چسبیده‌اند، سپس تمام پیچ‌ها در سوراخ قرار گرفته کاملاً سفت می‌شوند. در مرحله دوم، با چرخاندن اضافی مهره، پیچ‌ها پیش‌تنیده می‌گردند. در هریک از مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید از قسمتی که اتصال صلب‌تر است و صفحات تغییرشکل کمتری می‌دهند شروع به‌بستن پیچ‌ها کرد. در وصله‌ها، قسمت صلب اتصال، وسط ورق اتصال می‌باشند. بعد از محکم کردن پیچ‌های وسط با حفظ تقارن و ترتیب، پیچ‌های کناری تا لبهٔ آزاد ورق اتصال محکم می‌شوند. سپس می‌توان به‌پیچ‌های وسط پرداخت تا اطمینان حاصل شود سفت کردن پیچ‌های کناری، آنها را از حالت کاملاً سفت خارج نکرده است. در تمام مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید دقت کرد از چرخیدن پیچ و مهره با هم جلوگیری به‌عمل آید.

سفتی کامل را در پیچ به‌حالتی می‌گویند که کارگر ماهر با آچار معمولی بدون‌آنکه با وزن خود به‌دسته آچار نیرو وارد کند، با به‌کارگیری آخرین توان خود نتواند پیچ را از آن محکمتر نماید. برای پیش‌تنیده کردن چنین پیچی باید مهرهٔ آن را به‌اندازهٔ مقداری که در جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ مشخص شده اضافه چرخاند. این چرخش اضافی را می‌توان به‌کمک آچار دسته بلند، یا با آچار معمولی با استفاده از دو کارگر یا به‌وسیلهٔ آچار بادی تأمین نمود.

حصول پیش‌تنیدگی باید توسط آچار مدرج (ترک‌متر) تأیید گردد.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ چرخش اضافی لازم برای پیش‌تنیده کردن پیچ‌ها

طول پیچ (L)	تعداد دور اضافه برای پیش‌تنیده کردن پیچ‌ها
$L \leq ۴D$	$\frac{۱}{۳}$ دور
$۴D < L \leq ۸D$	$\frac{۱}{۲}$ دور
$۸D < L \leq ۱۲D$	$\frac{۲}{۳}$ دور

D قطر پیچ می‌باشد.

اگر در چرخاندن پیچ‌ها از آچارهای بادی استفاده شود، باید فشار باد را طوری تنظیم کرد که در یک مرحله، مهره‌ها را بدون چرخیدن پیچ تا مرحلهٔ سفتی کامل برساند و در مرحلهٔ بعد با ازدیاد فشار باد یا با دست به‌روشی که در بالا گفته شد پیچ‌ها را پیش‌تنیده کرد. تنظیم باد کمپرسور متضمن استفاده از آچار مدرج (تورک متر) یا آزمون و خطاهای متوالی می‌باشد و باید در آن دقت کامل به‌عمل آید. باز کردن پیچ‌هایی که به‌حد پیش‌تنیدگی رسیده‌اند و استفادهٔ مجدد از آنها مجاز نمی‌باشد.

در اتصال پیچ پرمقاومت، سطوحی که در تماس با سرپیچ و یا مهرهٔ آن قرار می‌گیرند نباید شیبی بیش از یک بیستم نسبت به‌صفحهٔ عمود بر محور پیچ داشته باشند. در صورت عدم تأمین این شرط باید با استفاده از واشر شیبدار، موازی نبودن سطوح را جبران کرد.

قطعاتی که با پیچ پرمقاومت به‌یکدیگر متصل می‌شوند، باید کاملاً به‌هم جفت شده باشند و نباید ورق پرکننده یا هر نوع مصالح تغییرشکل‌پذیر دیگری بین آنها گذارده شود، لیکن استفاده از ورق‌های پرکننده با مقاومت نظیر قطعات اتصال و ضخامت یکنواخت مجاز است.

هنگامی که قطعات نصب می‌شوند، باید کلیه سطوح اتصال (شامل سطوح مجاور کله‌پیچ‌ها و مهره‌ها) از قسمت‌های پوسته‌شده و دیگر مواد زاید عاری باشد، مخصوصاً سطوح تماس اتصالات اصطکاکی باید کاملاً تمیز باشد و اثری از پوستهٔ زنگ، رنگ، لاک، انواع روغن و مصالح دیگر در آنها وجود نداشته باشد.

پیچ‌های پرمقاومت را باید مطابق با مشخصات مندرج در استاندارد مربوط مورد استفاده قرار داد.

در جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها و در جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ میزان نیرو و لنگر پیش‌تنیدگی ارایه شده است.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها

تنش نهایی $F_u(kg/cm^2)$	تنش تسلیم $F_y(kg/cm^2)$	نام تجاری پیچ یا پرچ		توضیح
		ASTM	DIN	
۳۳۰۰	۲۰۵۰		UST ۳۶	پرچ
۳۷۰۰	۲۲۵۰		UST ۳۸	
	۱۹۰۰	Gr۱ و A۵۰۲		
	۲۶۰۰	Gr۲ و A۵۰۲		
۴۰۰۰	۲۴۰۰		۴/۶	پیچ معمولی
۵۰۰۰	۳۰۰۰		۵/۶	
۴۲۰۰		A ۳۰۷		
۸۰۰۰	۶۴۰۰*		۸/۸	پیچ پرمقاومت
۱۰۰۰۰	۹۰۰۰*		۱۰/۹	
(d ≤۲۵mm),۸۲۵۰	۵۹۰۰_۶۴۰۰*	A ۳۲۵		
(d ≤۲۵mm),۷۲۵۰	۵۱۰۰_۵۶۰۰*			
۱۰۰۰۰	۸۲۵۰_۹۰۰۰*	A ۴۹۰		

* نظیر کرنش ۰/۵ درصد

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ نیروی پیش‌تنیدگی و لنگر پیچشی پیش‌تنیدگی متناظر برای پیچ‌های ۱۰/۹

پیچ	نیروی پیش‌تنیدگی kN	لنگر پیچشی لازم	
		گریسکاری با MOS_2 kN.m	روغن‌کاری‌شده kN.m
M ۱۲	۶۰	۰/۱	۰/۲۱
M ۱۶	۱۱۰	۰/۲۵	۰/۳۵
M ۲۰	۱۷۰	۰/۴۵	۰/۶
M ۲۲	۲۱۰	۰/۶۵	۰/۹
M ۲۴	۲۵۰	۰/۸	۱/۱
M ۲۷	۳۱۵	۱/۲۵	۱/۶۵
M ۳۰	۳۹۰	۱/۶۵	۲/۲
M ۳۶	۵۶۰	۲/۸	۳/۸

* برای ردهٔ ۸/۸ می‌توان از تناسب استفاده کرد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ کنترل پیش‌تنیدگی پیچ‌ها

پیمانکار موظف است کنترل کیفیت دقیقی بر عملیات بستن پیچ و مهره‌ها در کارگاه نصب اعمال داشته، گزارش‌های مربوط به‌این کنترل‌ها را جهت بررسی و تأیید مهندس ناظر اعلام نماید.

مهندس ناظر می‌تواند رأساً یا از طریق آزمایشگاه با صلاحیت، مستقلاً پیش‌تنیدگی پیچ‌ها را کنترل نماید. در هر صورت تصمیم مهندس ناظر در مورد کفایت پیش‌تنیدگی پیچ‌ها قطعی خواهد بود.

برای پیچ‌های پرمقاومت به‌کار گرفته‌شده در طرح، نیروی پیش‌تنیدگی لازم برای سفت کردن پیچ‌ها برابر ۵۵ درصد مقاومت نهایی پیچ می‌باشد. لازم به‌ذکر است که با پیچاندن اضافی مهره‌ها ممکن است کشش پیچ به‌طور قابل ملاحظه‌ای از مقدار فوق‌الذکر بیشتر شوند ولی این موضوع اشکالی دربر ندارد.

در پیچ‌هایی که وسیلهٔ چرخاندن اضافه مهره طبق جدول ۱۰ـ۴ـ۲ پیش‌تنیده می‌شوند، بعد از آنکه پیچ‌ها کاملاً سفت شدند به‌وسیلهٔ یک گچ رنگی نقطه‌ای از پیچ و مهره را که روبروی هم قرار دارند، علامت‌گذاری کرده سپس کنترل می‌گردد که چرخش اضافی مطابق جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ به‌میزان کافی انجام شده باشد. برای کنترل پیش‌تنیدگی پیچ‌ها باید از تورک‌متر مناسب که قبلاً در یک آزمایشگاه مورد قبول کالیبره شده است، استفاده به‌عمل آورد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۴ ـ ۷ انبار کردن، حمل و رفع معایب

انبار نمودن و حمل قطعات فولادی در کارگاه ساخت و محل نصب باید به‌نحوی صورت گیرد که قطعات تغییرشکل نداده و تنش‌های بیش از حد مجاز در آن ایجاد نشود و هیچ آسیبی به‌آن وارد نیاید. قطعاتی که به‌هر علتی تغییرشکل داده یا آسیب دیده‌اند، باید قبل از به‌کارگیری به‌نحو رضایت‌بخشی با تأیید مهندس ناظر اصلاح و مرمت گردند. در صورتی‌که تعمیر قسمت‌های معیوب بدون کم کردن مقاومت آن میسر نباشد باید آن قسمت‌ها تعویض گردند.

قطعات فولادی باید در محیطی دور از رطوبت انبار گردند. در صورت انبار کردن قطعات در محیط باز، باید زیر قطعات سکوهای مناسبی قرار داد تا قطعه با زمین فاصله

داشته باشد. تعداد و فاصلهٔ سکوها باید به‌نحوی انتخاب گردد که قطعات دچار تنش یا تغییرشکل بیش از حد نگردند.

جابه‌جا کردن قطعات باید با در نظر گرفتن ضوابط ایمنی با وسایل مناسب و به‌نحوی انجام گیرد که تنش‌های اضافی در این قطعات ایجاد نشود. قطعات سنگین با شکل و فرم خاص باید با قلاب نمودن در نقاط مناسب و یا نقاطی که قبلاً تعیین و علامت‌گذاری شده است بلند شوند تا هنگام جا به‌جا کردن و نصب، تنش و تغییرشکل زیاد در هیچ قسمتی ایجاد نشده و به‌اتصالات برشی و سوراخ‌های پیچ‌ها نیز آسیبی وارد نگردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فولادی

قسمت‌های فولادی باید در مقابل خوردگی محافظت شوند که برای این منظور باید سطوح آنها رنگ شود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۱ مواد مورد استفاده

رنگ‌های مورد استفاده برای قسمت‌های فولادی باید از نوع آماده و مناسب با شرایط آب و هوایی منطقه باشند و استفاده از رنگ‌ها پس از مشخص شدن کارخانهٔ تولیدکنندهٔ آنها منوط به‌تصویب مهندس ناظر می‌باشد.

تمام موارد مورد استفاده جهت آماده‌سازی سطح و رنگ‌آمیزی آن باید مطابقت کامل با استانداردهای معتبر داشته و مورد تصویب مهندس ناظر قرار گیرند. در هر صورت حصول به‌کیفیت نهایی مطلوب برعهدهٔ پیمانکار خواهد بود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۲ آماده‌سازی سطوح

تمیزکاری با پاشش مواد ساینده بهترین روش برای از بین بردن رنگ، اکسیدهای حاصل از نورد، و رنگ‌های قدیمی با چسبندگی کم می‌باشد. به‌طور کلی در مورد آماده‌سازی سطح با پاشش مواد ساینده موارد زیر حایز اهمیت می‌باشند:

۱. اطمینان از فشار مؤثر باد. مقدار صحیح فشار باد در آماده‌سازی با مواد ساینده، تقریباً

$۷ kg/cm^۲$ می‌باشد. بعد از آماده‌سازی سطح با مواد ساینده، باید بلافاصله سطح را با آستری مناسب پوشش داد. البته قبل از اعمال آستری باید گرد و خاک بر روی سطح را با هوای فشرده (بدون آب و روغن) و یا جاروی برقی صنعتی کاملاً تمیز کرد.

۲. اگر مقدار زنگ و رنگ‌ها، با چسبندگی کم بر روی سطح زیاد باشد، بهتر است که ابتدا با تراشیدن، حجم مواد زاید را کم کرده و سپس عملیات آماده‌سازی با پاشش مواد ساینده را آغاز نمود.

۳. سطوح آلومینیومی آماده‌سازی‌نشده و یا سایر فلزات سبک و آهن گالوانیزه شده، سطوح مشکلی برای رنگ‌آمیزی می‌باشند، زیرا چسبندگی لایهٔ پرایمر به‌سطوح فوق بسیار کم می‌باشد. در این شرایط ابتدا باید سطح را با یک حلال قوی کاملاً چربی‌زدایی کرد. سپس یک لایه واش پرایمر بر روی سطح اعمال نموده و آنگاه سیستم رنگ ارایه‌شده را بر روی آن اعمال نمود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۳ درجات مختلف کیفیت آماده‌سازی سطوح

تمیزکاری با برس سیمی و یا پاشش مواد ساینده باید با توجه به‌چگونگی انجام کار به‌نتیجه‌ای مطلوب منتهی شود.

درجات آماده‌سازی

سطوح فولادی قبل از اعمال آستری‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود. درجات آماده‌سازی که در زیر آورده می‌شوند، بیانگر تمیزی سطح فولاد می‌باشند که باید از کثافات و چربی‌ها پاک شده و همچنین لایه‌های ضخیم زنگ از روی سطح آن برداشته شده باشند.

Sa 1 : تمیز کردن به‌صورت ماسه‌پاشی خفیف

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی و به‌هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین، باید عاری از روغن، چربی، کثیفی و نیز لایهٔ اکسید حاصل از نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد و زنگ و پوشش‌های رنگی و مواد خارجی باشد.

Sa 2 : تمیز کردن به‌صورت ماسه‌پاشی عمیق

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، به‌هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز بیشترین مقدار لایهٔ اکسید حاصل از نورد، زنگ و پوشش‌های رنگی و مواد خارجی از روی سطح زدوده شده باشد. هرگونه مواد آلاینده باقیمانده باید به‌سختی به‌سطح چسبیده باشند.

Sa 2.5 : تمیز کردن به‌صورت ماسه‌پاشی عمیق‌تر

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، به‌هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز باید لایهٔ اکسید حاصل از نورد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. هرگونه اثر به‌جا مانده از مواد آلاینده، فقط به‌صورت لکه‌های جزیی به‌شکل خال‌ها و نوارها به‌نظر بیاید.

Sa 3 : تمیز کردن به‌صورت ماسه‌پاشی با حصول سطح نقره‌ای

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، به‌هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز باید لایهٔ اکسید حاصل از نورد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. اینچنین سطحی باید دارای نمای فلزی یکنواخت نقره‌ای باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۴ رنگ‌آمیزی

برای حفاظت سازه‌های فولادی در مقابل خوردگی باید کلیه سطوح رنگ‌آمیزی شوند، مگر در مواردی که از سوی دستگاه نظارت تصریح شوند. همچنین به‌جز حالت‌های ویژه‌ای که مشخص شده باشد، کارهای فولادی که در تماس با بتن باید قرار گیرند، لازم نیست رنگ شوند.

۱. قبل از شروع عملیات رنگ‌آمیزی باید تمام سطوح را کاملاً تمیز، خشک و آماده نمود به‌قسمی که برای اعمال رنگ شرایط مناسبی داشته باشند. در هر مورد شروع کار منوط به‌تأیید مهندس ناظر خواهد بود. به‌عبارت دیگر قبل از شروع هر قشر رنگ‌آمیزی، نوع رنگ‌آمیزی، نوع رنگ، سیستم رنگ‌آمیزی و قشر قبلی باید توسط مهندس ناظر بازدید و تأیید گردد.

۲. رنگ مصرفی باید کاملاً سطح مورد نظر را پوشش داده و برای جلوگیری از سوسماری شدن پوشش، باید رنگ‌های آستر و رویه از یک کارخانه تهیه شوند. رنگ‌آمیزی سطوح بزرگ باید با اسپری بی‌هوا صورت گیرد. تنها برای لکه‌گیری‌ها استفاده از قلم‌مو مجاز است.

۳. رنگ‌آمیزی باید در محیط مناسب و سربسته انجام شود.

۴. قطعاتی که تازه رنگ شده‌اند باید از گرد و خاک محافظت شده و سطح رنگ‌آمیزی تا زمان تحویل موقت حفاظت شوند.

۵. رنگ‌آمیزی باید در شرایط آب و هوای منطبق با کاتالوگ معتبر کارخانهٔ سازنده رنگ صورت گیرد.

۶. در شرایط محیطی خشک پیمانکار موظف است عملیات رنگ‌آمیزی را حداکثر تا ۲۴ ساعت پس از تمیز نمودن سطوح انجام دهد، مشروط بر آنکه دمای شرایط نگهداری سطوح با کاتالوگ کارخانهٔ سازنده تطابق داشته و به‌تصویب دستگاه نظارت رسیده باشد.

۷. در سطوح و لبه‌هایی از سازه فولادی که پس از رنگ‌آمیزی جوش خواهند شد، باید رنگ‌آمیزی در فاصله پنج سانتی‌متری از خط جوش متوقف شود.

۸. تمام نقاطی که رنگ قطع شده و سطح فلز بیرون است باید تمیزشده و مجدداً رنگ‌آمیزی شوند به‌طوری که سطح کاملاً پوشیده شده و یکپارچگی رنگ با سطوح مجاور رنگ‌شده تأمین گردد.

۹. در تمام سطوحی که طبله‌کردن، وجود ترک‌ها و پوسته شدن رنگ و سایر علایم حاکی از این است که چسبندگی رنگ به‌سطح تأمین نشده است، باید عملیات ترمیم انجام گیرد. بدین‌ترتیب که رنگ سطوح فوق به‌طور کامل برداشته شود و مجدداً عملیات مربوط به‌آماده نمودن سطوح و رنگ‌آمیزی صورت گیرد.

۱۰. سطوح تمام‌شده رنگ‌آمیزی باید دارای مشخصات زیر باشد:

یکنواختی ظاهری در رنگ، یکنواخت بودن میزان ماتی و شفافیت رنگ، عدم ایجاد موج و سایه، نداشتن چروک و پخش نشدن پوسته رنگ، انطباق لایه اجرا شده با مشخصات، ایجاد پوشش کامل و بدون شره، عدم چسبندگی سطوح رنگ شده با دست و لباس و تمیز بودن سطوح از گرد و غبار.

۱۱. اگر درحین اجرای عملیات نصب، رنگ قطعات صدمه ببیند (بواسطهٔ عملیات جوشکاری، حمل، بستن و یا ...) پیمانکار باید سطوح موردنظر را تمیز نموده، به‌طوری‌که سطوح فولادی ظاهر شوند و سپس براساس مشخصات فنی لایه‌های رنگ متناسب و سازگار با لایهٔ قبلی و مجاور را در فواصل زمانی مناسب جهت پوشش‌دادن کامل استفاده نماید.

۱۲. نقاشی و رنگ‌کاری نباید در هوای سرد یا تاریک و یا زمانی که درصد رطوبت هوا بالا باشد انجام گیرد. در رطوبت بیش از ۸۰ درصد و در حالتی‌که اختلاف دمای محیط و نقطهٔ شبنم کمتر از ۵ درجه باشد، رنگ‌آمیزی ممنوع می‌باشد.

۱۳. سطوح غیرقابل دسترس: به‌جز سطوح تماس بقیه سطوحی که بعد از ساخت، قابل دسترس نخواهد بود باید قبل از جمع کردن کار، تمیز و رنگ‌آمیزی شود. (البته در صورتی که در مدارک طرح و محاسبه این عمل خواسته شده باشد.)

۱۴. سطوح تماس: در اتصالات اتکایی (غیراصطکاکی)، رنگ کردن سطوح تماس به‌طور کلی مجاز است. در اتصالات اصطکاکی شرایط لازم در سطوح تماس باید طبق مقررات مربوط به‌پیچ‌های اصطکاکی رعایت شود.

۱۵. سطوح صاف و آماده شده: سطوحی که با ماشین کردن آماده می‌شوند باید در مقابل خوردگی محافظت شوند. بدین‌منظور از یک لایه مصالح ضدزنگ که بتوان آن را قبل از نصب به‌آسانی برطرف کرد یا مصالح مخصوصی که احتیاج به‌برطرف کردن نداشته باشد، می‌توان استفاده کرد.

۱۶. سطوح مجاور جوش کارگاهی: به‌جز حالت‌هایی که در مدارک طرح و محاسبه به‌عنوان شرط خاص قید شده باشد، کلیه سطوحی که در فاصلهٔ ۵ سانتی‌متری از محل هر جوش کارگاهی قرار می‌گیرند، باید از موادی که به‌جوشکاری صدمه می‌زند و یا درحین جوشکاری گازهای سمی و مضر تولید می‌کند، کاملاً پاک شود. قبل از جوشکاری باید رنگ کارخانه‌ای از روی سطوحی که جوش انجام می‌گیرد، توسط برس سیمی کاملاً برطرف و پاک گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۵ انبارداری رنگ

رنگ‌ها باید در مکانی انبار شوند که دمای محیط حداقل برابر ۱۸ و حداکثر ۳۵ درجه سلسیوس باشد. در این‌خصوص توصیه‌های کارخانهٔ سازندهٔ رنگ می‌تواند ملاک‌عمل واقع گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۶ ضخامت رنگ

هر لایه رنگ‌آمیزی باید با توجه به‌میزان تعیین شده توسط سازنده رنگ انجام گیرد. اما ضخامت رنگ خشک شده نباید از حداقل ضخامت رنگ تعیین شده کمتر شود. چنانچه میزان تعیین شده در یک دست رنگ نتواند ضخامت لازم را تأمین کند، رنگ‌آمیزی باید مجدداً تکرار شود تا حداقل ضخامت مورد لزوم به‌دست آید.

کلیه مصالح قطعات فولاد باید طبق مشخصات جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ رنگ شود.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ حداقل ضخامت رنگ‌آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی	آماده‌سازی سطح فولاد	نوع و ضخامت رنگ		
		قطعه فولاد در داخل دیوار و نازک‌کاری	قطعه فولاد به‌صورت روباز لیکن درون محیط بسته	قطعه فولادی در معرض شرایط جوی
معتدل[۱]	Sa 2	۴۰ میکرون ضدزنگ الکیدی	۴۰ میکرون ضدزنگ الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی	۴۰ میکرون ضدزنگ الکیدی ۴۰ میکرون‌لایه‌میانی الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی
سخت [۲]	Sa 2.5	۴۰ میکرون آستراپوکسی غنی از روی	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون آستر میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی‌یورتان
بسیار سخت و ساحلی[۳]	Sa 3	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی‌یورتان	مثل ناحیه جزر و مدی که نیاز به‌مطالعه خاص دارد حداقل سه لایه اپوکسی با ضخامت کل ۴۰۰ میکرون

۱) شرایط معتدل، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط کمتر از ۵۰٪

۲) شرایط سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ و یا آتمسفر صنعتی

۳) شرایط بسیار سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ همراه با بخار کلر یا نظایر آن

۴) در صورتی‌که دستورالعمل رنگ‌آمیزی توسط کارشناس ذیصلاح تهیه شود، می‌توان از شرایط جدول فوق عدول نمود.

۵) صفحاتی که قرار است در اتصال اصطکاکی روی‌هم قرار گیرند، نباید رنگ شوند، فقط به‌لایه‌ای در حد ۲۰ میکرون به‌عنوان رنگ انبارداری نیاز می‌باشد.

۶) میکرون $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ میلی‌متر است.

۱۰ ـ ۴ ـ ۵ ـ ۷ گالوانیزه کردن

عملیات گالوانیزه کردن باید با شیوه غوطه‌وری داغ به‌وسیلهٔ روی با خلوص ۰/۹۸ در هر مترمربع انجام شود.

قبل از عملیات گالوانیزه کردن سطح فلز باید کاملاً تمیز و عاری از هرگونه آلودگی‌های خارجی گردد.

در مورد قطعات گالوانیزه شده و محل‌هایی که مورد عملیات جوشکاری قرار خواهند گرفت نباید نزدیکتر از ۵ سانتی‌متر به‌محل جوش گالوانیزه شوند، چنین قسمت‌هایی که گالوانیزه نشده‌اند مطابق آنچه در بخش رنگ‌آمیزی آورده شده است، باید مورد عملیات ترمیم قرار گیرند.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ رواداری‌ها

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۱ رواداری‌های جوش

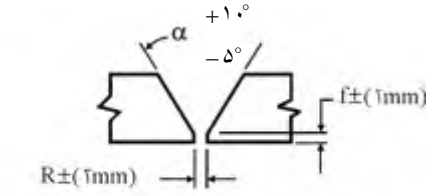
۱. قطعاتی که باید به‌وسیلهٔ جوش گوشه به‌یکدیگر جوش شوند، باید تا حد امکان در تماس نزدیک با یکدیگر قرار گیرند. *فاصلهٔ ریشه* (بازشدگی درز) نباید از ۵ میلی‌متر بزرگتر گردد. اگر فاصلهٔ ریشه از ۲ میلی‌متر بزرگتر شود، اندازهٔ ساق جوش مندرج در نقشه، باید به‌اندازهٔ آن افزایش یابد و یا سازنده به‌طریقی اثبات نماید که ضخامت مؤثر گلوی مورد نظر حاصل شده است.

بازشدگی بین سطوح در تماس جوش‌های انگشتانه و کام و همچنین فاصلهٔ بین تسمهٔ پشت‌بند با ورق در درزهای لب به‌لب نباید از ۲ میلی‌متر بزرگتر گردد. استفاده از مصالح پرکننده مجاز نیست مگر اینکه استفاده از آن در نقشه‌ها تصریح شده باشد و یا به‌تأیید مهندس طراح برسد.

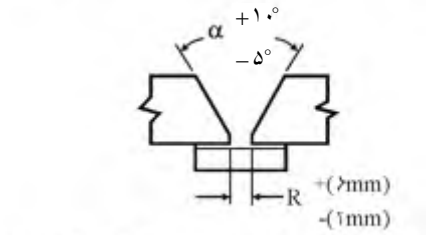
۲. قطعاتی که توسط جوش شیاری با نفوذ نسبی در امتداد طولی به‌یکدیگر متصل می‌شوند، باید تا حد امکان در تماس با یکدیگر قرار گیرند. فاصلهٔ ریشه بین دو قطعه نباید از ۵ میلی‌متر بزرگتر گردد.

۳. قطعاتی که با جوش شیاری به‌صورت لب به‌لب به‌یکدیگر متصل می‌شوند، باید با دقت با یکدیگر *همباد* و تراز شوند. حداکثر ناهمترازی بین دو قطعه، مساوی ۱۰ درصد ضخامت قطعهٔ نازکتر یا حداکثر ۳ میلی‌متر می‌باشد. برای اصلاح ناهمترازی نباید شیبی بزرگتر از ۱۲ میلی‌متر در ۳۰۰ میلی‌متر به‌وجود آورد. اندازه‌گیری ناهمترازی باید برمبنای میانتار قطعات انجام شود، مگر اینکه در نقشه‌ها به‌نحو دیگری مشخص شود (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۲).

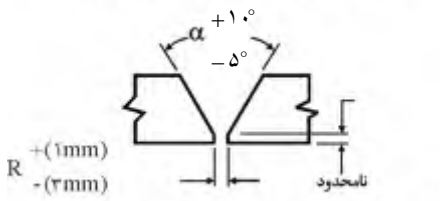
۴. رواداری‌های مربوط به‌زاویهٔ شیار، فاصلهٔریشه و ضخامت‌ریشه درشکل ۱۰ ـ۴ـ۱نشان داده شده است. در صورتی‌که ابعاد و اندازهٔ مقطع جوش اختلافی بیش از مقادیر ارایه‌شده در شکل (یا در ادامه) با اندازهٔ نشان داده‌شده در نقشه‌ها داشته باشد، درز با شرایط زیر قابل



(الف) جوش شیاری بدون پشت بند - بدون جوش پشت



(ب) جوش شیاری با تسمه پشت بند - بدون جوش پشت



(پ) جوش شیاری بدون پشت بند - با جوش پشت

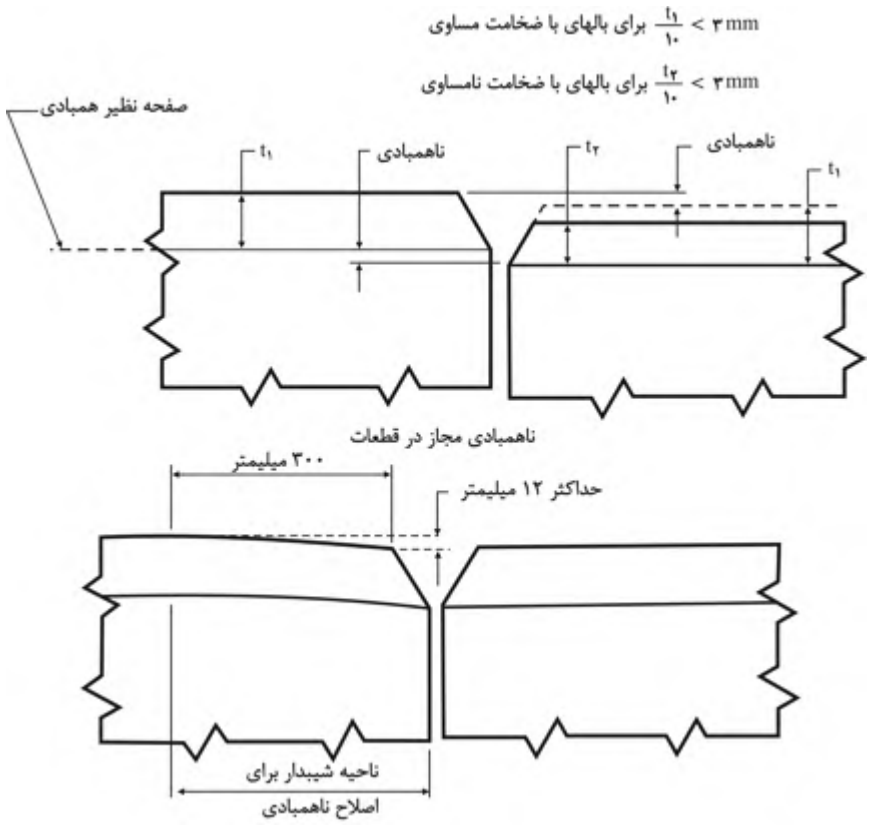
	جوش پشت	بدون جوش پشت
۱ ـ ضخامت ریشه	نامحدود	±۲mm
۲ ـ الف ـ فاصلهٔ ریشه بدون پشت‌بند	+۲mm −۳mm	±۲mm
۲ ـ ب ـ فاصلهٔ ریشه با پشت‌بند	کاربرد ندارد	+۶mm −۲mm
۳ ـ زاویهٔ شیار	+۱۰° −۵°	+۱۰° −۵°

توجه: کلیهٔ اندازه‌ها برحسب میلی‌متر.

شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ رواداری‌های مونتاژ در درزها با جوش شیاری.

پذیرش است. در صورتی‌که اختلاف فاصلهٔ ریشه با مقدار نقشه بزرگتر از رواداری مجاز مذکور در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱ باشد ولی از دو برابر ضخامت ورق نازکتر و یا ۲۰ میلی‌متر (هر کدام که کوچکتر باشند) بزرگتر نباشد، با استفاده از جوشکاری (قبل از جوشکاری درز اتصال) قابل اصلاح است.

۵. قطعاتی که به‌یکدیگر جوش می‌شوند، باید همباد یکدیگر قرار گرفته و به‌وسیلهٔ پیچ، گیره، گوه، قید و یا خال‌جوش در وضعیت خود تا اتمام جوشکاری تثبیت شوند. در صورت امکان استفاده از قید و قالب، توصیه می‌شود. لازم است آزادی‌های مناسب برای جمع‌شدگی و تابیدگی وجود داشته باشد.



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۲ اصلاح ناهمبادی و ناهم‌محوری.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ کنترل اعوجاج و جمع‌شدگی

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱ در مونتاژ و انجام جوش درزهای اعضای ساخته شده از ورق یا نیمرخ و همچنین تقویت نیمرخ‌ها، دستورالعمل و توالی جوشکاری باید طوری انتخاب شود که مقادیر اعوجاج و جمع‌شدگی حداقل گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲ تا حد امکان، توالی جوش‌ها باید طوری انتخاب شود که حرارت جوشکاری در حین پیشرفت جوشکاری، متعادل گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۳ سازنده باید روش مونتاژ، دستورالعمل جوشکاری، و توالی جوشکاری را طوری انتخاب نماید که قطعهٔ به‌دست آمده منطبق بر ضوابط کنترل کیفی قطعه باشد. قبل از شروع جوشکاری، توالی جوشکاری و برنامهٔ کنترل اعوجاج باید جهت اطلاع و اظهار نظر به‌مهندس ناظر تسلیم گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۴ مسیر پیشرفت جوشکاری یک عضو، باید از نقطه با گیرداری بیشتر به‌سمت نقطه با آزادی بیشتر باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۵ در هنگام مونتاژ، درزهایی که در آنها انتظار انقباض بزرگتری می‌رود باید قبل از درزهایی جوش شوند که انتظار انقباض کمتری از آنها داریم. جوشکاری این درزها باید تا حد امکان با گیرداری کمی انجام شود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۶ در ساخت اعضای ورقی و اعضای ساخته شده از ورق و نیمرخ، قطعه‌سازی باید قبل از مونتاژ انجام گردد. یعنی ابتدا باید ورق‌ها طبق طول و عرض نقشه‌ها سرهم گردند و سپس مونتاژ و جوش عضو انجام شود. اعضا با طول بلند را می‌توان به‌چند قطعه تقسیم نمود. در هنگام وصله کردن قطعات فوق در کارگاه یا کارخانه، جوش بال‌ها و جان باید نسبت به‌محورهای حداقل و حداکثر مقطع، متعادل باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۷ در جوشکاری تحت شرایط گیرداری خارجی سخت در مقابل جمع‌شدگی، جوشکاری باید به‌طور پیوسته تا اتمام کل کار یا نقطه‌ای که دارای آزادی در مقابل ترک‌خوردگی است، انجام یابد. در حین جوشکاری نباید اجازه داده شود دمای درز کمتر از دمای مقرر برای پیش‌گرمایش یا دمای بین‌پاسی گردد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ رواداری‌های ابعادی

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱ برای ستون‌ها و اعضای اصلی خرپا که با استفاده از جوش ساخته می‌شوند، بدون توجه به‌سطح مقطع، میزان انحراف مجاز در ریسمانی بودن عضو (انحراف محور عضو از خط راست) برابر است با (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۳):

ـ برای اعضای با طول کمتر از ۹ متر:

$$۳\,mm \times \frac{\text{*طول عضو برحسب متر}}{۳}$$

ـ برای اعضای با طول ۹ تا ۱۴ متر مساوی ۱۰ میلی‌متر

ـ برای اعضای با طول بزرگتر از ۱۴ متر:

$$۱۰\,mm + ۳\,mm \times \frac{\text{۱۴- طول عضو برحسب متر}}{۳}$$

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲ برای تیرها و شاهتیرهای جوش شده، بدون توجه به‌مقطع، که در آنها هیچ انحنای خاص (نظیر پیش‌خیز) وجود ندارد، میزان انحراف مجاز از همراستایی (ریسمانی بودن) برابر است با:

$$۳\,mm \times \frac{\text{*طول عضو برحسب متر}}{۳}$$

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳ برای تیرها و شاهتیرها، (مختلط و غیرمختلط)، بدون توجه به‌سطح مقطع، میزان انحراف مجاز از انحنای پیش‌خیز عضو در پیش‌نصب قطعات عضو در کارخانه، برابر است با (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۴):

* همان رواداری $\frac{S}{۱۰۰۰}$ می‌باشد. (S دهانهٔ تیر)

در وسط دهانه:

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۶

طول دهانه	انحراف مجاز
$<۲۰m$	-۰ تا $+۲۰mm$
$\geq ۲۰m$ و $\leq ۳۰m$	-۰ تا $+۳۰mm$
$\geq ۳۰m$	-۰ تا $+۴۰mm$

در تکیه‌گاه:

$\pm ۰mm$ برای تکیه‌گاه‌های انتهایی

$\pm ۳mm$ برای تکیه‌گاه‌های داخلی

برای نقاط میانی:

$$-۰ \text{ و } +\frac{۴a(۱-a/s)}{s}(b)$$

که در آن:

a = فاصلهٔ نقطهٔ مورد نظر تا نزدیکترین تکیه‌گاه (متر)

s = طول دهانه (متر)

b = ۲۰ میلی‌متر برای دهانه‌های کوچکتر از ۲۰ متر،

۳۰ میلی‌متر برای دهانه‌های مساوی یا بزرگتر از ۲۰ متر و کوچکتر از ۳۰ متر،

۴۰ میلی‌متر برای دهانه‌های مساوی یا بزرگتر از ۳۰ متر

به‌جای استفاده از رابطه، می‌توان از جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۷ استفاده نمود.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۷ رواداری‌های انحنای پیش‌خیز تیرها برای تیرهای غیرمختلط

دهانه	a/s				
	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
$\geq ۳۰ m$	۱۴	۲۵	۳۴	۳۸	۴۰
$۲۰ \leq L < ۳۰$	۱۱	۱۹	۲۵	۲۹	۳۰
$<۲۰m$	۷	۱۳	۷	۱۹	۲۰

یادآوری:

بدون توجه به‌چگونگی نمایش پیش‌خیـز در نقشه‌ها، علامـت (+) نشان‌دهندهٔ بالای منحنی و پیش‌خیز و علامت (-) نشان‌دهندهٔ پایین منحنی می‌باشد.

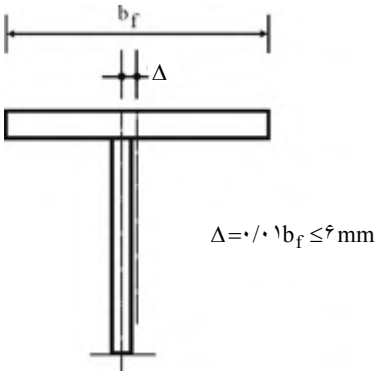
روادارى‌های ارایه شده در فوق برای تیرهایی که به‌صورت یکپارچه ساخته می‌شوند نـیز اعمال می‌گردد. اندازه‌گیری‌های پیش‌خیز باید در حالت بدون بار انجام شود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۴ برای تیرها با انحنای افقی، انحراف مجاز از منحنی در وسط دهانه برابر است با:

$$\pm\ ۳\ \text{mm} \times \frac{\text{طول دهانه برحسب متر}}{۳}$$

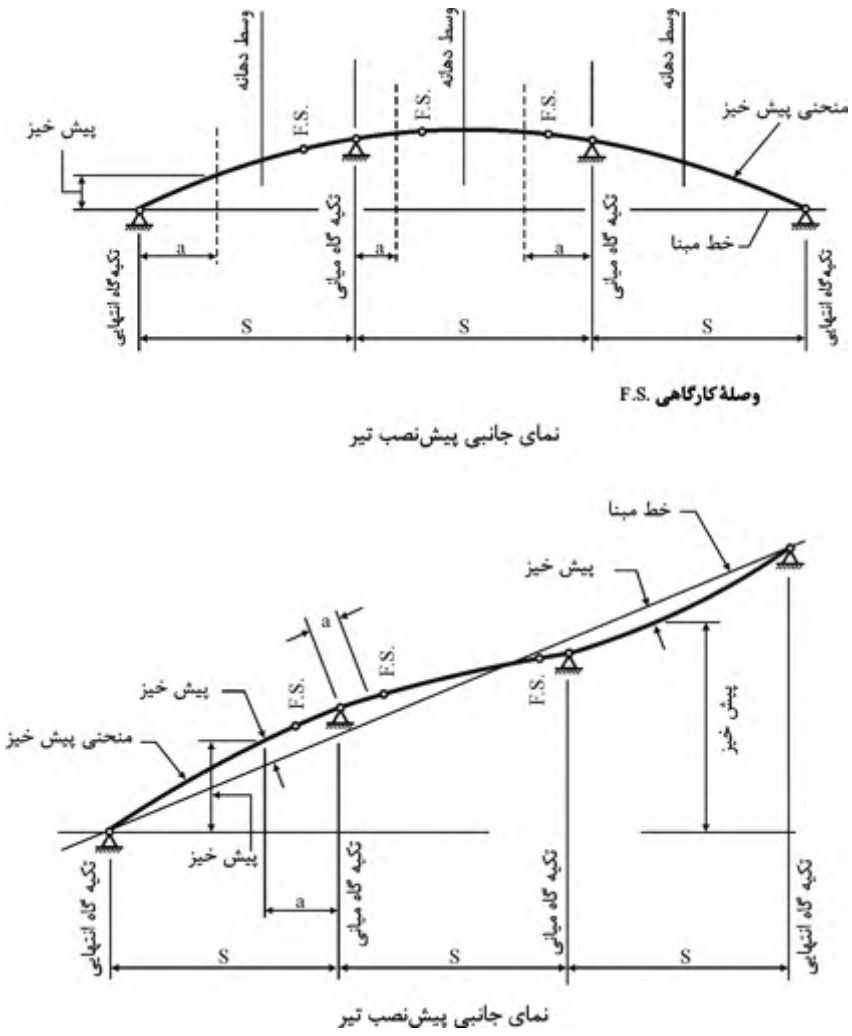
مشروط بر اینکه عضو دارای انعطاف‌پذیری کافی برای اتصال بادبندهای عرضی و قاب‌های عرضی بدون آسیب رساندن به‌اعضای سازه‌ای باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۵ برای اعضای ورقی (مثل مقطع H و I و T)، حداکثر اختلاف بین محور مرکزی جان و محور مرکزی بال در محل‌های تماس، مساوی $۰/۰۱\,b_f$ یا ۶ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۳).



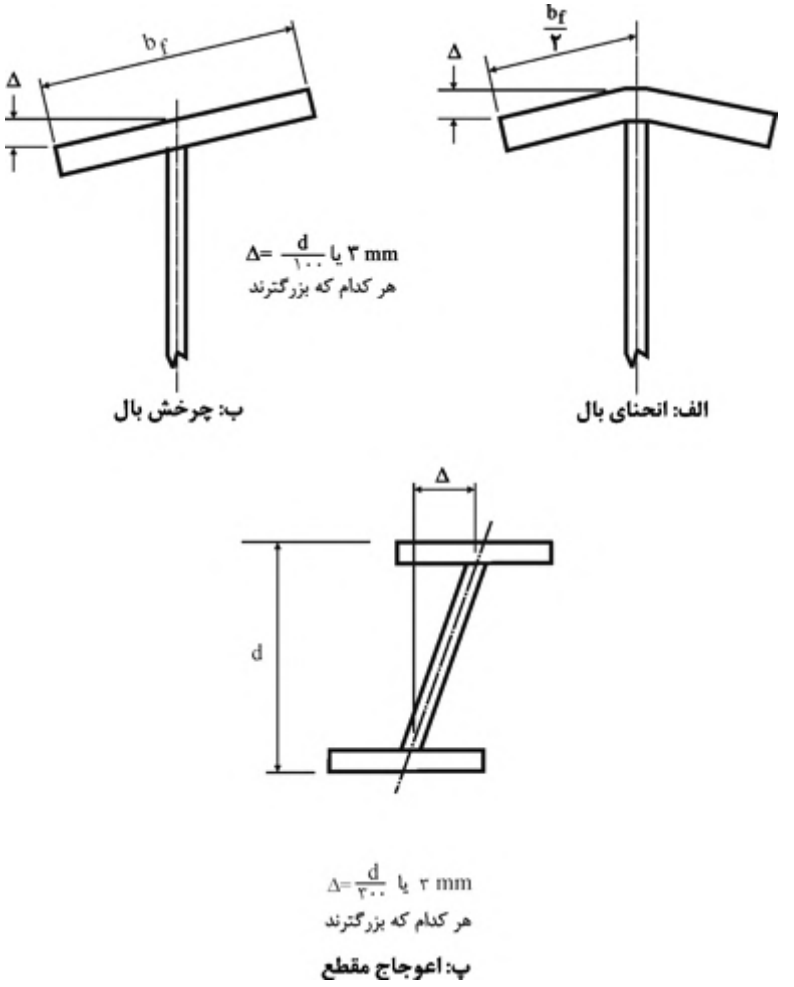
شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۳ روادارى محل اتصال جان به‌بال.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۶ بـرای تیرها، انحراف مجاز از صفحه‌ای بودن جان تیـر مساوی $\frac{d}{۱۵۰}$ می‌باشد که d ارتفاع تیر می‌باشد.



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۴ روش اندازه‌گیری پیش‌خیز تیرها.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۷ میزان رواداری چرخشی و انحنای بال در تیرورق‌های جوشی مطابق شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ می‌باشد:



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۵ رواداری‌های انحراف بال.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۸ برای تیرورق‌های جوشی، رواداری مجاز پهنای بال مساوی ± 3 میلی‌متر برای پهنای کوچکتر یا مساوی ۳۰۰ میلی‌متر و ± 4 میلی‌متر برای پهنای بزرگتر

می‌باشد. رواداری مجاز در ارتفاع کل تیر که در صفحهٔ مرکزی جان اندازه‌گیری می‌شود، مطابق جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ می‌باشد.

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ رواداری مجاز ارتفاع تیرورق

ارتفاع تیر (میلی‌متر)	رواداری مجاز
≤۹۰۰	±۳
۹۰۰<h≤۱۸۰۰	±۵
>۱۸۰۰	+۸ و −۵

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۴ سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی در محل بارهای متمرکز

انتهای سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی باید نسبت به‌جان گونیا و در تماس کامل با بال باشد. حداقل باید ۷۵ درصد مساحت کل سخت‌کننده در تماس با بال باشد. سطح خارجی بال که بر صفحهٔ نشیمن فولادی تکیه می‌کند، در ۷۵ درصد سطح تصویر جان و سخت‌کننده‌ها باید در تماس با صفحهٔ نشیمن با حداکثر ۰/۲۵ میلی‌متر بادخور باشد. در ۲۵ درصد باقیمانده حداکثر بادخور ۱ میلی‌متر است. در صورتی‌که سخت‌کنندهٔ انتهایی موجود نباشد، حداکثر بلادخور در ۷۵ درصد سطح تصویر جان، ۰/۲۵ میلی‌متر و مساوی ۱ میلی‌متر در ۲۵ درصد سطح باقیمانده می‌باشد. در این حالت زاویهٔ بین بال تحتانی و جان ۹۰ درجه است. (شکل‌های ۱۰ ـ ۴ ـ ۶ و ۱۰ ـ ۴ ـ ۷).

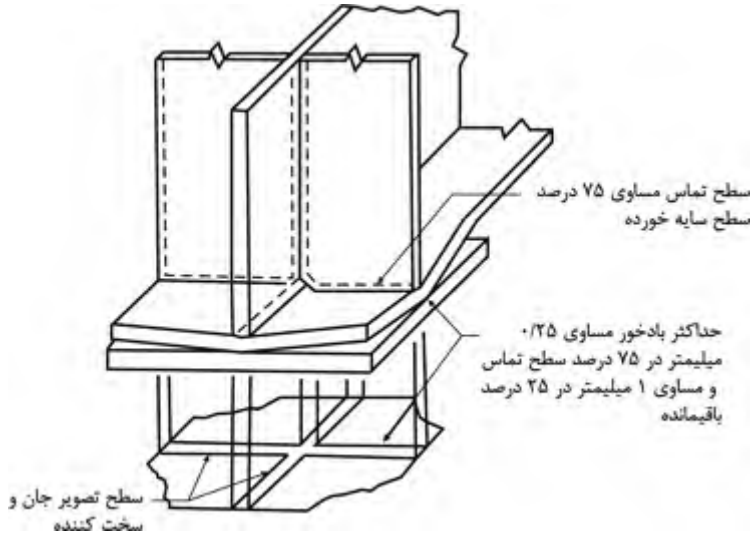
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۵ رواداری سخت‌کننده‌ها

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۵ ـ ۱ ***جفت شدن سخت‌کننده‌ها.*** در جفت شدن کامل سخت‌کنندهٔ میانی در حدفاصل دو بال، بادخوری در حد ۲ میلی‌متر پذیرفتنی است.

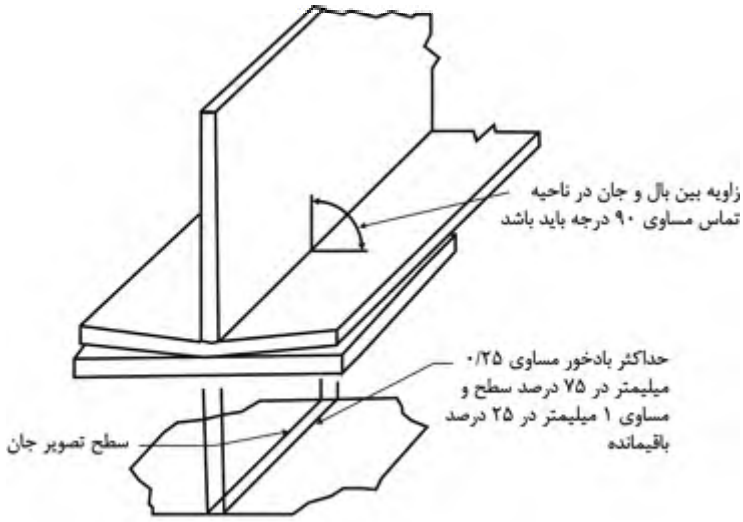
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۵ ـ ۲ ***انحنای داخل و خارج از صفحهٔ لبهٔ سخت‌کننده‌های میانی.***
میزان حداکثر رواداری در ناراستایی سخت‌کنندهٔ میانی به‌شرح جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ است:

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ انحنای سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی

رواداری (میلی‌متر)	ارتفاع تیرورق (میلی‌متر)
۱۳	≤۱۸۰۰
۲۰	>۱۸۰۰



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۶ رواداری در محل تماس تیر با تکیه‌گاه ـ تیر با سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی.



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۷ رواداری در محل تماس تیر با تکیه‌گاه ـ تیر بدون سخت‌کنندهٔ تکیه‌گاهی.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۵ ـ ۳ *انحنای داخل و خارج از صفحهٔ لبهٔ سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی و جانمایی آن.* میزان حداکثر رواداری در ناراستایی سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی به‌شرح جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ است:

جدول ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ انحنای سخت‌کننده‌های تکیه‌گاهی

رواداری (میلی‌متر)	ارتفاع تیرورق (میلی‌متر)
۶	≤۱۸۰۰
۱۳	>۱۸۰۰

حداکثر رواداری محور مرکزی واقعی سخت‌کننده از محور مرکزی تئوریک (نظری) مساوی $\pm t/۲$ می‌باشد که t ضخامت سخت‌کننده است.

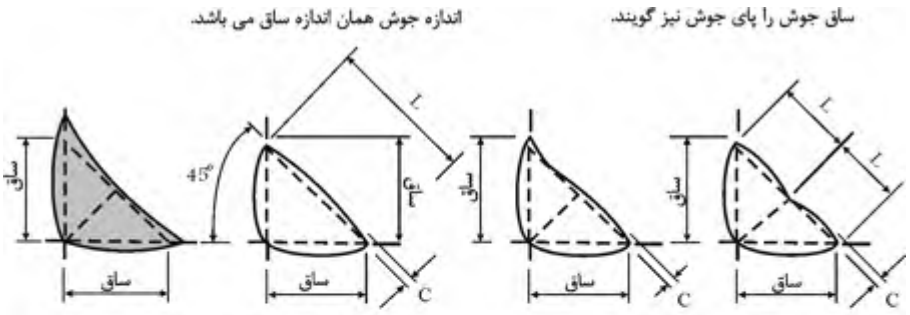
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۶ مقطع جوش

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۱ در شکل‌های ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ الف و ب، مقاطع مطلوب قابل پذیرش و در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ ـ پ، مقاطع غیرقابل پذیرش جوش‌های گوشه نشان داده شده است. همان‌طورکه شکل‌های الف و ب، نشان می‌دهد، سطح جوش گوشه تا مقدار محدودی می‌تواند محدب یا مقعر باشد (بدون فرورفتگی ناگهانی).

۱ ـ به‌استثنای جوش خارجی در اتصال گونیا، مقدار تحدب سطحی جوش گوشه (C) نباید از مقادیر مندرج در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ تجاوز نماید.

۲ ـ به‌استثنای عیوب مربوط به‌بریدگی پای جوش، وجود سایر عیوب در دو انتهای جوش‌های منقطع، خارج از طول مؤثر جوش، مهم نمی‌باشد.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۲ ـ جوش‌های شیاری ترجیحاً باید با حداقل تحدب (R) اجرا شوند. در درزهای لب به‌لب یا اتصالات گونیا، حداکثر تحدب R مساوی ۳ میلی‌متر می‌باشد و باید دارای انتقال تدریجی با سطح فلز پایه باشد (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ ـ ت). کلیه جوش‌های شیاری نشان داده شده در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ ـ ث، به‌علت داشتن ناپیوستگی سطحی غیرقابل پذیرش می‌باشند.

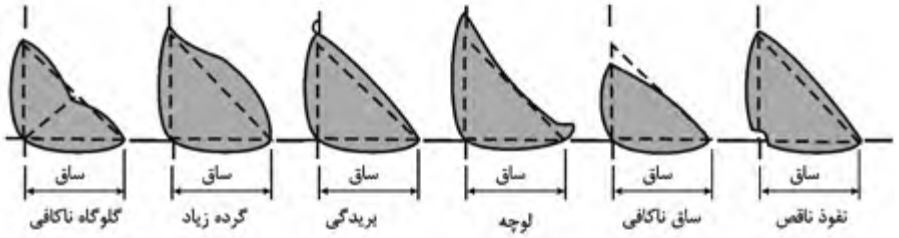


(ب) مقاطع قابل پذیرش جوش گوشه

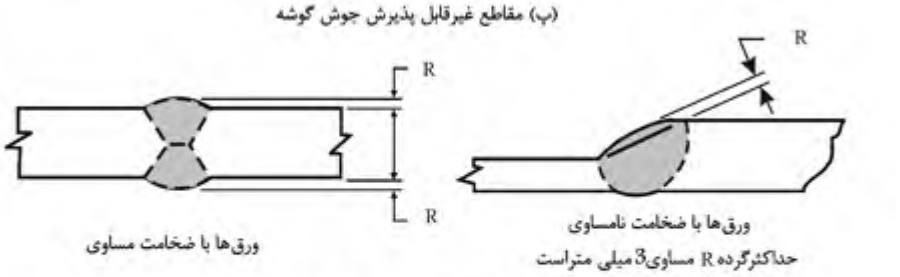
(الف) تعریف مقطع جوش گوشه

توجه: گرده جوش نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید

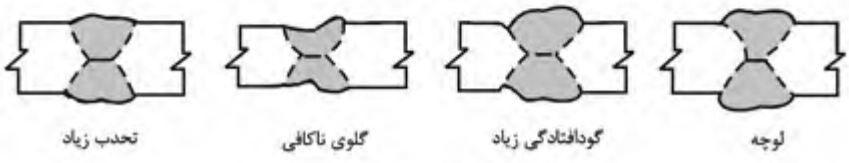
حداکثر گرده (mm)	اندازهٔ ساق یا طول L
۱/۶mm	L≤۸mm
۳mm	۸<L<۲۵
۵mm	L≥۲۵mm



(پ) مقاطع غیرقابل پذیرش جوش گوشه



(ت) مقاطع قابل پذیرش جوش های شیاری



(ث) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش گوشه

شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۸ مقاطع قابل پذیرش و غیرقابل پذیرش جوش.

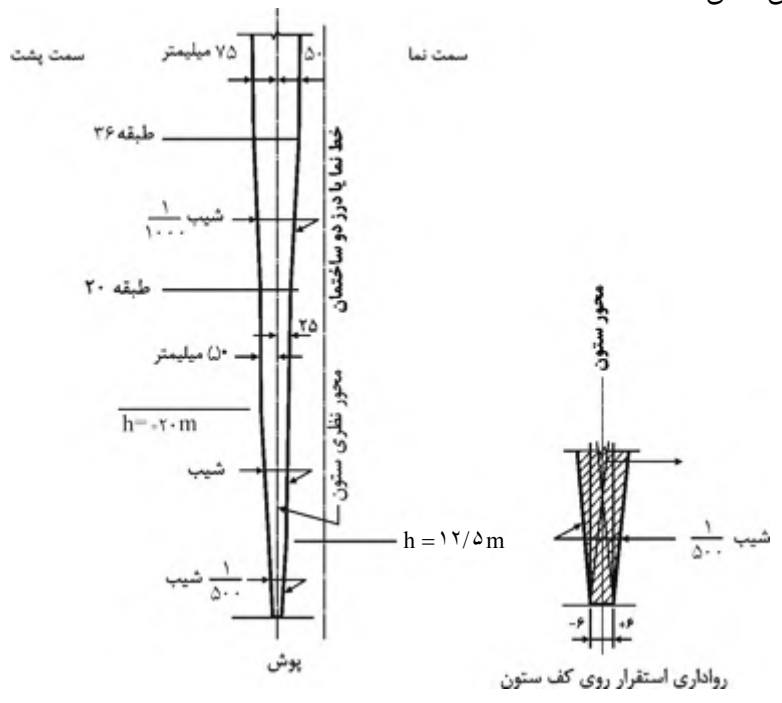
۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۶ ـ ۳ در درزهای لب به‌لب در صورتی‌که سطح تخت برای جوش مورد نظر باشد، ضخامت جوش حاصل نباید بیش از ۱ میلی‌متر یا ۵ درصد ضخامت (هر کدام که کمتر باشد)، از ضخامت ورق نازکتر یا جوش، کمتر گردد. تحدب بیش از ۱ میلی‌متر نیز باید برداشته شود. در صورتی‌که جوش در فصل مشترک (سطح تماس) دو ورق قرار گیرد، تمام تحدب جوش باید برداشته شود. هرگونه تحدب باید دارای انتقال تدریجی به‌سطوح ورق باشد. برای حذف تحدب می‌توان از سنگ‌زنی استفاده نمود.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۷ ناشاقولی ستون‌ها

۱. میزان حداکثر جابه‌جایی محور ستون از محل فرضی مساوی ± ۶ میلی‌متر می‌باشد.

۲. حداکثر ناشاقولی مجاز ستون‌ها، تا طبقهٔ بیستم به‌ازای هر طبقه مساوی $\frac{۱}{۵۰۰}$ ارتفاع و حداکثر ۲۵ میلی‌متر به‌سمت نما و ۵۰ میلی‌متر به‌سمت داخل ساختمان می‌باشد.

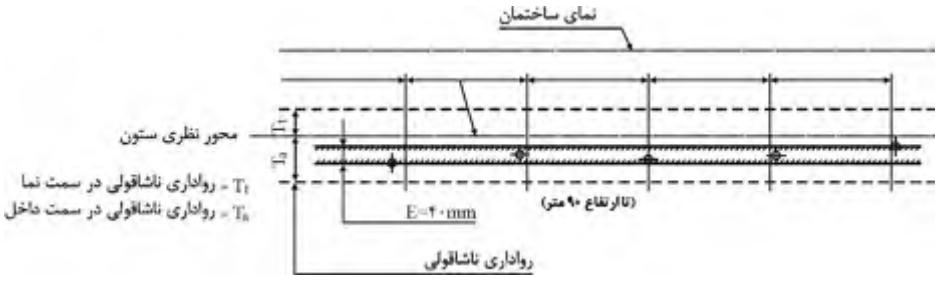
۳. در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ پوش رواداری ناشاقولی ستون در سمت نما و در سمت داخل ستون نشان داده شده است.



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۹ پوش بدشاقولی ستون.

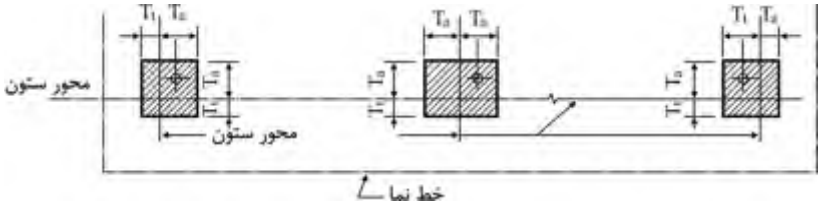
۴. در شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ پوش رواداری ناریسمانی ستون‌های محور نمای ساختمان نشان داده شده است. در مورد ستون‌های داخلی، ناراستایی در محدودهٔ پوش بدشاقولی مجاز می‌باشد (شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۱).

۵. رواداری ابعادی عرض و ارتفاع مقطع ستون ± ۴ میلی‌متر می‌باشد.



برای ارتفاع بالاتر از ۹۰ متر، به‌ازای هر ۳۰ متر، ۱۳ میلی‌متر به‌رواداری اضافه می‌شود تا حداکثر $E = ۷۵$ میلی‌متر.

شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۰ ناریسمانی ستون‌های محور خارجی.

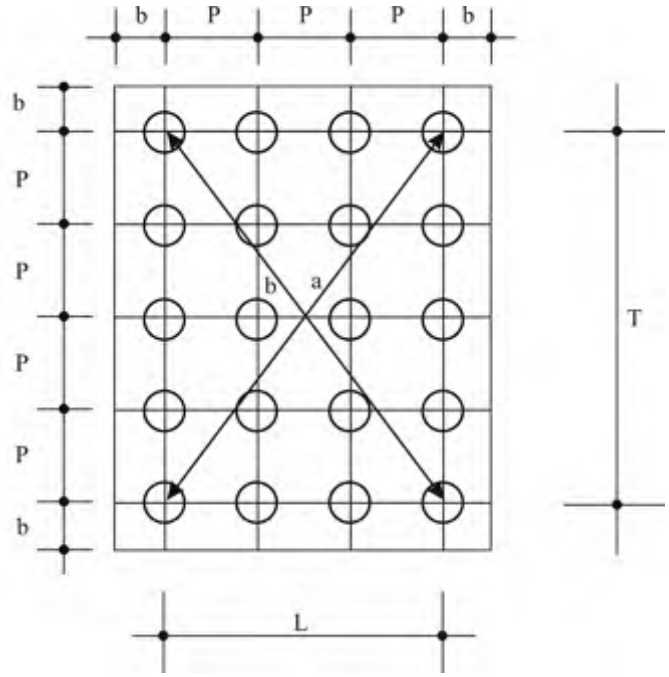


شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۱ ناریسمانی ستون‌های داخلی.

۱۰ ـ ۴ ـ ۶ ـ ۸ رواداری سوراخ پیچ‌ها

۱. رواداری سوراخ پیچ‌ها مطابق شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۲ می‌باشد.

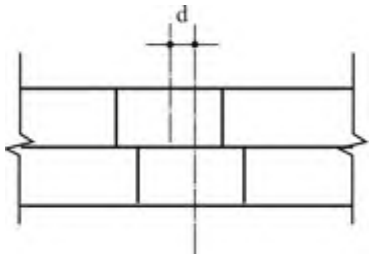
$\Delta p = \pm ۲ mm$
$\Delta b = \pm ۳ mm$
$\Delta L = \pm ۳ mm$
$\Delta T = \pm ۳ mm$
$|a - b| \leq ۳ mm$



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۲ رواداری سوراخ‌های پیچ.

۲. هم‌محور بودن سوراخ پیچ‌ها در دو مقطع اتصالی

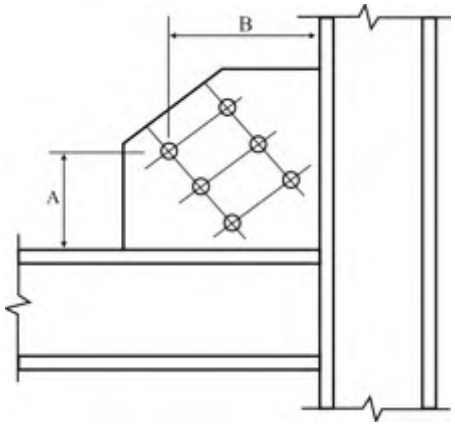
$d \leq ۲ mm$



شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۳

۳. مختصات سوراخ

$\Delta B = \pm ۲ mm$
$\Delta A = \pm ۲ mm$

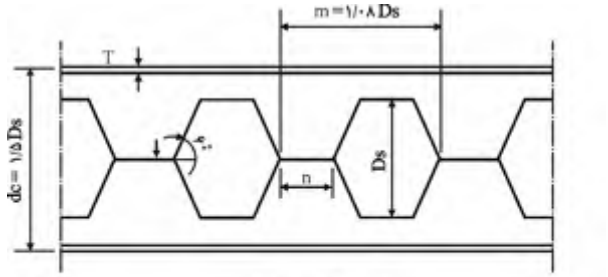


شکل ۱۰ ـ ۴ ـ ۱۴

پیوست الف

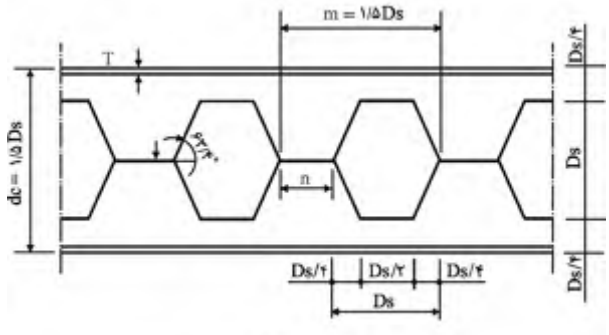
تیرهای لانه‌زنبوری

الف) ۱ ضوابط مندرج در این ضمیمه در مورد تیرهای لانه‌زنبوری ساخته شده از نیمرخ‌های نوردشده I ، با ابعاد و هندسه نشان داده شده در شکل ۱ صدق می‌نمایند و در اعمال آنها به‌تیرهای لانه‌زنبوری با هندسه و مشخصات متفاوت، باید جانب احتیاط رعایت گردد.



استاندارد نوع ۱

D_S =ارتفاع تیر اولیه



استاندارد نوع ۲

* در محل تکیه‌گاه‌ها و اعمال نیروهای متمرکز، لازم است برحسب مورد یک یا دو چشمه تیر یا ورق هم‌ضخامت جان پر شود.

شکل ۱

الف) ۲ روش‌های تحلیل و طراحی

در تحلیل تیرهای لانه‌زنبوری، علاوه بر اثر خمش کلی، لازم است اثرهای ناشی از خمش ثانوی حاصل از رفتار شبه ویرندیل نیز در نظر گرفته شود.

الف) ۲ ـ ۱ تحلیل ارتجاعی و طراحی به‌روش تنش‌های مجاز

الف) ۲ ـ ۱ ـ ۱ به‌منظور طراحی به‌روش تنش‌های مجاز (روش ارتجاعی)، تحلیل تیر لانه‌زنبوری باید با استفاده از اصول مکانیک سازه‌ها و منظور نمودن اثرهای ناشی از تنش‌های برشی و خمشی ثانویه انجام گیرد.

استفاده از روش قیاس با خرپای ویرندیل با فرض تشکیل نقاط عطف در وسط اجزای اطراف سوراخ، مجاز می‌باشد.

الف) ۲ ـ ۱ ـ ۲ در تحلیل ماتریسی سازه‌های متشکل از تیرهای لانه‌زنبوری، می‌توان تیر لانه‌زنبوری را با یک عضو منشوری با سختی معادل جایگزین نمود. در تعیین سختی معادل چنین عضوی، باید اثر تغییرشکل‌های ثانوی ناشی از برش در نظر گرفته شود.

الف) ۲ ـ ۱ ـ ۳ تنش‌های خمشی حاصل از تحلیل ارتجاعی نباید در هیچ نقطه از تیر از تنش‌های مجاز مقرر شده در این آیین‌نامه تجاوز نمایند مگر در گوشه‌های سوراخ‌ها، که در این مواضع، تنش‌های خمشی، بدون احتساب تمرکز تنش نباید از $۰/۷F_y$ تجاوز نمایند.

الف) ۲ ـ ۱ ـ ۴ می‌توان فرض نمود که نیروی برشی کل وارد بر مقطع سوراخدار تیر، به‌طور مساوی بین مقاطع T فوقانی و تحتانی توزیع می‌گردد. تنش برشی حداکثر در هیچ نقطه از جان مقاطع T نباید از $۰/۴۷F_y$ تجاوز نماید. در عین حال تنش برشی متوسط محاسبه شده روی جان، در هیچ یک از مقاطع نباید از $۰/۴F_y$ تجاوز نماید.

الف) ۲ ـ ۱ ـ ۵ نیروی برشی افقی در کوچکترین مقطع جان تیر (در محل جوش جان)

را می‌توان با در نظر گرفتن تعادل یک قطعه از تیر، محصور بین درز جوش و مقاطع قائم گذرنده از وسط سوراخ‌های طرفین جان محاسبه نمود. توزیع تنش برشی را در این مقطع می‌توان یکنواخت فرض کرد. تنش برشی متوسط در این مقطع نباید از $۰/۴F_y$ تجاوز نماید.

الف) ۲ ـ ۲ تحلیل خمیری و طراحی به‌روش حدی

در صورتی‌که نسبت بعد به‌ضخامت اجزای تشکیل‌دهندهٔ تیر لانه‌زنبوری به‌نحوی باشد که تشکیل مفصل خمیری در مقاطع اعضا میسر باشد، کلیهٔ ضوابط تحلیل خمیری و طراحی حدی مندرج در فصل ۱۰ ـ ۲ این مقررات صادق است.

الف) ۲ ـ ۲ ـ ۱ تحلیل خمیری تیر لانه‌زنبوری را می‌توان به‌روش‌های زیر انجام داد:

ـ روش قیاس با خرپای ویرندیل، با در نظر گرفتن مکانیزم‌های منفرد و ترکیبی مربوط به‌خرپای ویرندیل و مکانیزم خمش کلی.

ـ روش اجزای محدود.

الف) ۲ ـ ۲ ـ ۲ در طراحی مقاطع T باید اثر نیروی محوری ناشی از خمش کلی توأم با خمش موضعی ناشی از اثرهای ثانوی در نظر گرفته شود.

الف) ۲ ـ ۳ تحلیل ارتجاعی و طراحی به‌روش حدی

در طرح تیر لانه‌زنبوری به‌روش حدی، می‌توان نتایج حاصل از یک تحلیل ارتجاعی را با احتساب ضرایب بار و مقاومت مناسب، مورد استفاده قرار داد.

الف) ۳ جوش جان

ضوابط مربوط به‌حداقل جوش جان مندرج در این بند، در مورد تیرهایی که تحت اثر نیروهای استاتیکی قرار دارند، صدق می‌کند.

الف) ۳ ـ ۱ در مواردی که نیروی برشی وارد بر درز جوش، کمتر از نیروی برشی مجاز فولاد مادر باشد، فقط کافی است اتصالی ایجاد کرد که قادر به‌انتقال ایمن نیروی برشی

وارده باشد. در این حالت می‌توان از روش متداول استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل عدول نمود و در عوض از جوش شیاری با نفوذ نسبی بدون آمادگی خاصی که براساس تنش متوسط برشی محاسبه می‌گردد، استفاده کرد.

الف) ۳ ـ ۱ ـ ۱ طراحی ارتجاعی

به‌این منظور باید رابطهٔ زیر برقرار باشند:

$$F_{v(avg)} = \frac{V_w}{a_{w(net)}.n} \leq ۰/۴ F_y$$

که در آن:

$F_{v(avg)}$ = تنش برشی متوسط در درز جوش

$a_{w(net)}$ = حداقل ضخامت خالص جوش که برابر است با مجموع حداقل عمق نفوذ جوش و حداقل ضخامت جوش تقویتی دایم در هر دو سمت

V_w = کل نیروی برشی در محل درز جوش

n = طول جوش مطابق شکل ۱

الف) ۳ ـ ۱ ـ ۲ طراحی حدی

در این حالت:

$$\overline{V}_w \leq ۰/۷ F_y\, a_{w(net)}.n$$

که در آن $a_{w(net)}$ و n در بند الف ۳ ـ ۱ ـ ۱ تعریف شده‌اند و $\overline{V}_w$ عبارت است از نیروی برشی ضریبدار، در درز جوش.

الف) ۳ ـ ۲ در صورتی‌که با رعایت شرایط فوق، از جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی استفاده شود، جوشکاری باید از هر دو سمت صورت گیرد. حداقل ضخامت جوش تقویتی دایم و حداقل عمق نفوذ باید به‌وضوح در نقشه‌های اجرایی مشخص گردد. در مواردی که برآمدگی جوش تقویتی باید تراشیده (سنگ زده شده) و برداشته شود (مانند نقاط اتصال جان به‌جان تیرهای متقاطع) باید این امر در احتساب حداقل ضخامت خالص جوش، $a_{w(net)}$ در نظر گرفته شود.

الف) ۴ کمانش جانبی ـ پیچشی

تیرهای لانه‌زنبوری فاقد تکیه‌گاه جانبی کامل باید در مقابل کمانش جانبی ـ پیچشی طراحی شوند. در این خصوص، می‌توان از روش‌های متداول طراحی و کنترل کمانش جانبی ـ پیچشی تیرهای حاوی جان توپر استفاده نمود، مشروط بر آنکه کلیه خواص مقاطع و طول مؤثر معادل براساس خواص مقطع سوراخدار تیر لانه‌زنبوری در محاسبات ملحوظ گردد.

الف) ۵ کمانش موضعی

کلیه اجزای تشکیل‌دهنده تیر لانه‌زنبوری باید از نظر کمانش موضعی مورد کنترل قرار داده شوند. شکل‌های کمانش موضعی تیر لانه‌زنبوری به‌شرح زیر است:

الف) ۵ ـ ۱ کمانش جانبی ـ پیچشی جان در اثر خمش درون صفحه‌ای ناشی از برش.

الف) ۵ ـ ۲ کمانش جان در موضع اعمال بار متمرکز یا روی تکیه‌گاه‌ها، به‌تبع بزرگی بار متمرکز و میزان برش کلی موجود در جان، امکان وقوع وضعیت‌های کمانشی زیر وجود دارد:

- کمانش جان تحت اثر فشار مسلط
- کمانش جان تحت اثر برش مسلط
- کمانش جان تحت اثر عملکرد توأم فشار و برش

الف) ۵ ـ ۳ کمانش موضعی جان در گوشه سوراخ‌ها به‌علت وجود تمرکز تنش

الف) ۵ ـ ۴ کمانش موضعی مقطع T

الف) ۵ ـ ۵ کمانش خمشی ـ پیچشی مقاطع T ، در فاصلهٔ بین مهارهای جانبی تیر لانه‌زنبوری.

در صورت لزوم به‌منظور جلوگیری از کمانش موضعی، می‌توان از تقویت‌های مناسب استفاده کرد.

الف) ۶ لهیدگی جان

لهیدگی جان تیرهای لانه‌زنبوری باید براساس ضوابط مربوط به‌لهیدگی جان تیرهای با جان توپر مندرج در این آیین‌نامه کنترل شود. در محل نیروهای متمرکز و یا واکنش تکیه‌گاهی، سوراخ جان باید پر شود و در صورت نیاز از سخت‌کننده‌های عرضی جان استفاده گردد.

الف) ۷ تغییرمکان

در محاسبهٔ تغییرمکان ارتجاعی تیرهای لانه‌زنبوری، باید اثر تغییرشکل‌های ناشی از برش موجود در مدول‌ها (شامل تغییرشکل‌های برشی و خمشی اجزا در هر مدول) با تغییرشکل ناشی از خمش کلی جمع گردد.

الف) ۸ اثر خستگی

از ایجاد گوشه‌های تیز تحت اثر بارهای متناوب، بخصوص در مورد چشمه‌هایی که در منطقه تغییر لنگر خمشی کلی قرار می‌گیرند، باید احتراز شود. در گوشه سوراخ‌ها باید قوس دایروی ایجاد کرد. در غیاب تحلیل ارتجاعی تفصیلی جهت تعیین ضریب شدت تنش و شدت حوزه تنشی، حداقل شعاع انحنای گوشه، r_{min} ، باید به‌شرح زیر اختیار شود:

$$r_{min} \geq ۰/۰۷ D_s$$

شکاف‌های منتج از ایجاد قوس‌ها در دو انتهای جوش‌های جان باید با جوش پر شوند. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی تحت اثر بارهای متناوب و بارگذاری منجر به‌بروز پدیدهٔ خستگی، در حالت کلی و بدون انجام تحقیقات کافی، مجاز نمی‌باشد.

الف) ۹ اثر نیروهای ناشی از زلزله و بارهای دینامیکی

به‌لحاظ عدم اطلاع کافی در مورد رفتار تیرهای لانه‌زنبوری تحت اثر بارهای دینامیکی و نیروهای ناشی از زلزله، استفاده از تیرهای لانه‌زنبوری، به‌عنوان تیر اصلی برشی (تیر برشی در قاب مقاوم در برابر زلزله) باید با رعایت توصیه‌های اجمالی زیر صورت گیرد. لازم به‌ذکر است که استفاده از چنین تیرهایی فقط در قاب‌ها با شکل‌پذیری کم مجاز می‌باشد.

ـ حداقل شعاع قوس دایروی گوشه‌ها مطابق بند الف) ۸ رعایت شود.
ـ در تیرهای لانه‌زنبوری تحت اثر بار گسترده یکنواخت که به‌عنوان تیر برشی زلزله‌گیر طراحی می‌شوند، پانل‌های انتهایی به‌طور مناسب تقویت شوند (به‌صورت پر کردن کامل سوراخ‌ها، استفاده از سخت‌کننده‌های عمود بر جان و روش‌های تقویتی دیگر متناسب با بارهای اعمالی).
ـ در مواضع اثر بارهای متمرکز نسبتاً سنگین و در محل تکیه‌گاه‌ها، از تقویت‌های مناسب جان استفاده شود.
ـ از جوش شیاری با نفوذ کامل استفاده شود.

الف) ۱۰ کنترل و تضمین کیفیت، بازرسی فنی، نکات اجرایی

در ساخت تیرهای لانه‌زنبوری، خصوصاً در حالت صنعتی شده و به‌قصد تولید انبوه، لازم است روش دقیقی از نظر کنترل و تضمین کیفیت، بازرسی فنی تولید، مدیریت تولید و روش‌های اجرایی، برنامه‌ریزی و اعمال شود. نکات اجرایی زیر باید رعایت شوند:

ـ دقت گردد که در هنگام برش و جوشکاری، اعوجاج به‌حداقل ممکن تقلیل داده شود.
ـ حداکثر رواداری مجاز از نظر عدم هم‌امتداد بودن دو نیمه جوش‌شده تیر که برحسب نسبت اندازه نابجایی اولیه در وسط ارتفاع اعضای قائم جان (δ) به‌ارتفاع کل جان (تقریباً برابر با d_c مطابق شکل ۱) تعریف می‌شود، نباید در هیچ‌یک از اعضای قائم جان از $\frac{۱}{۵۰۰}$ تجاوز کند.
ـ از روش‌های برشکاری که منجر به‌بیرون‌زدگی مواضعی از جان از صفحه خود، به‌ویژه در گوشه سوراخ‌ها می‌گردد باید اجتناب نمود.
ـ سطوح لبه‌های حاصل از برش ماشینی و برش اتوماتیک شعله‌ای با کیفیت خوب، قابل قبول می‌باشند؛ ولی سطوح لبه‌های حاصل از برش شعله‌ای دستی باید به‌میزان مکفی پرداخت شوند.

پیوست ب

جدول ب ۱ مشخصات مکانیکی فولادهای ساختمانی

نوع فولاد	مقاومت کششی برای ضخامت		حداقل تنش تسلیم برای ضخامت قطعه به mm						کرنش گسیختگی ($L_o=5d_o$) برای ضخامت قطعه (میلی‌متر)					آزمایش تاشدگی (۱۸۰°) برای ضخامت قطعه به mm				حداقل طاقت براساس نمونهٔ شیاردار برای ضخامت قطعه به mm					
	≥۳ ≤۱۰۰	>۱۰۰ mm	≤۱۶	>۱۶ ≤۴۰	>۴۰ ≤۶۳	>۶۳ ≤۸۰	>۸۰۰ ≤۱۰۰	>۱۰۰	وضعیت نمونه	≥۲۰ ≤۴۰	>۴۰ ≤۶۳	>۶۳ ≤۱۰۰	>۱۰۰	وضعیت نمونه	≥۳ ≤۶۳	>۶۳ ≤۱۰۰	>۱۰۰	وضعیت مرجعیت	دمای آزمایش	≥۱۰ ≤۱۶	>۱۶ ≤۴۳	>۴۳ ≤۱۰۰	>۱۰۰
	N/mm^2		N/mm^2						% min					قطر خمش				ژول					
ST۳۷-۲ ST۳۷-۲ RST۳۷-۲ ST۳۷-۳	۳۴۰ تا ۴۷۰	بر اساس توافق	۲۳۵ ۲۳۲	۲۲۵ ۲۲۵	۲۱۵ ۲۱۵	۲۰۵ ۲۱۵	۱۹۵ ۲۱۵	بر اساس توافق	طولی عرضی	۲۶ ۲۴	۲۵ ۲۳	۲۴ ۲۴	بر اساس توافق	طولی عرضی طولی عرضی	۱a ۲a ۱a ۱/۵a	۱/۵a ۲/۵a ۱/۵a ۲a	بر اساس توافق	U,N U,N U,N U N	+۲۰ +۲۰ +۲۰ ±۰ −۲۰	۲۷ ۲۷ ۲۷ ۲۷ ۲۷	— — ۲۷ ۲۷ ۲۷	— — — ۲۳ ۲۳	بر اساس توافق
ST۴۴-۲ ST۴۴-۳	۴۱۰ تا ۴۵۰		۲۷۵	۲۶۵	۲۵۵	۲۴۵	۲۳۵		طولی عرضی	۲۲ ۲۰	۲۱ ۱۹	۲۰ ۱۸		طولی عرضی	۲/۵a ۳a	۳a ۳/۵a		U,N U N	+۲۰ ±۰ −۲۰	۲۷ ۲۷ ۲۷	۲۸ ۲۷ ۲۷	— ۲۳ ۲۳	
ST۵۲-۲	۴۹۰ تا ۶۳۰		۳۵۵	۳۴۵	۳۳۵	۳۲۵	۳۱۵		طولی عرضی	۲۲ ۲۰	۲۱ ۱۹	۲۰ ۱۸		طولی عرضی	۲/۵a ۳a	۳a ۳/۵a		U N	±۰ −۲۰	۲۷ ۲۷	۲۷ ۲۷	۲۳ ۲۳	

U= به‌صورت گرم شکل داده شده است

N= نرمالیزه شده است

جدول ب ۲ مشخصات مکانیکی فولادهای ساختمانی

نوع فولاد	نوع تولید	نوع فرآیند مرغوب سازی	مشخصات مکانیکی															
			حداقل تنش تسلیم برای ضخامت					حداقل مقاومت کششی	کرنش گسیختگی	حداقل انرژی شکل‌پذیری						قطر تاشدگی	
			≤۱۲	>۱۲ ≤۱۶	>۱۶ ≤۳۵	>۳۵ ≤۵۰	>۵۰ ≤۶۰	>۵۰ ≤۵۰ ≤۶۰	(Lu = ۵d)	شکل نمونه	محل نمونه	−۶۰°C	−۴۰°C	−۲۰°C	۰°C	+۲۰°C	عرضی	طولی
			N/mm²					N/mm²	حداقل ٪	ژول								
STE۴۶۰	ورق،پروفیل لوله جوش‌شده، لوله بدون درز	N	۴۶۰ ۴۶۰	۴۶۰ ۴۵۰	۴۵۰ ۴۴۰	۴۴۰ ۴۲۰	۷۳۰ —	۷۳۰ تا ۵۳۰	۱۷	۱۵۰−V	طولی عرضی			۳۹	۴۳ ۳۱	۵۱ ۳۱	۳a	۴a
STE۶۹۰	ورق،پروفیل لوله جوش‌شده،	V	۶۹۰	۶۹۰	۶۹۰	۶۹۰	—	۹۴۰ تا ۷۹۰	۱۶	۱۵۰−V	طولی عرضی	۳۰ ۲۷	۴۰ ۳۱	۵۰ ۳۵	۶۰ ۴۰		۳a	۴a

V = مرغوب شده (با آب)

N = نرمالیزه شده است

جدول ب ۳ فولادهای تولیدی ذوب آهن اصفهان

نوع فولاد	مقاومت کششی N/mm^2	تنش تسلیم به N/mm^2 برای ضخامت‌های (به‌میلی‌متر)				ازدیاد طول نسبی به ٪ برای $L_0 = 5d$ برای ضخامت‌های (به‌میلی‌متر)			ترکیب شیمیایی (برحسب درصد)				
		تا ۲۰	۴۰ تا ۲۰	۱۰۰ ـ ۴۰	بیش از ۱۰۰	تا ۲۰	۴۰ ـ ۲۰	بیش از ۴۰	کربن C	منگنز Mn	فسفر P	گوگرد S	سلسیوم SI
فولاد ۳۳	۳۳۰	—	—	—	—	۲۳	۲۲	۲۰	۰/۲۰	—	۰/۰۶	۰/۰۵	—
	۴۵۰ ـ ۳۲۰	—	—	—	—	۳۴	۳۳	۳۱	۰/۱۲ ـ ۰/۰۶	۰/۵۰ ـ ۰/۲۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۰ ـ ۰/۱۲
۳۴ ـ ۲	۴۷۰ ـ ۳۴۰	۲۲۰	۲۱۰	۲۰۰	۱۹۰	۳۳	۳۲	۳۰	۰/۱۵ ـ ۰/۰۹	۰/۵۰ ـ ۰/۲۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۰ ـ ۰/۱۲
۳۷ ـ ۲	۵۲۰ ـ ۳۷۰	۲۵۰	۲۴۰	—	—	۲۵	۲۵	—	۰/۱۶ ـ ۰/۱۴	۰/۶۵ ـ ۰/۱۴	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۵ ـ ۰/۲۰
۳۷ ـ ۲	۵۲۰ ـ ۳۸۰	۲۵۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۱۰	۲۶	۲۶	۲۳	۰/۲۲ ـ ۰/۱۵	۰/۶۵ ـ ۰/۱۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۰ ـ ۰/۱۲
۴۲ ـ ۳	۵۷۰ ـ ۴۲۰	۲۷۰	۲۶۰	۲۵۰	۲۴۰	۲۴	۲۳	۲۱	۰/۲۷ ـ ۰/۱۸	۰/۷ ـ ۰/۴۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۰ ـ ۰/۱۲
۵۰ ـ ۴	۶۷۰ ـ ۵۰۰	۲۹۰	۲۸۰	۲۷۰	۲۶۰	۲۰	۱۹	۱۸	۰/۲۷ ـ ۰/۲۸	۰/۸ ـ ۰/۵۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۵ ـ ۰/۱۵
۶۰ ـ ۲	۶۷۰ ـ ۶۰۰	۳۲۰	۳۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵	۱۴	۱۲	۰/۵ ـ ۰/۳۸	۰/۸ ـ ۰/۵۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵	۰/۳۵ ـ ۰/۱۵

جدول ب ۴ انواع مصالح پیچ‌ها براساس ISO 898 T_1

پیچ		گروه مقاومت								
		۳/۶	۴/۶	۴/۸	۵/۶	۵/۸	۶/۸	۸/۸		۱۰/۹	۱۲/۹
								≤M۱۶	>M۱۶		
مقاومت گسیختگی و $N/mm^2, F_u$	حداقل	۳۰۰		۴۰۰		۵۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰
	حداقل	۳۳۰	۴۰۰	۴۲۰	۵۰۰	۵۲۰	۶۰۰	۸۰۰	۸۳۰	۱۰۴۰	۱۲۲۰
تنش تسلیم، $N/mm^2, F_y$	حداقل	۱۸۰	۲۴۰	۳۲۰	۳۰۰	۴۰۰	۴۸۰	—	—	—	—
تنش تسلیم نظیر کرنش ۰/۲ درصد و $N/mm^2, F_{0/2}$	حداکثر	—	—	—	—	—	—	۶۴۰	۶۶۰	۹۰۰	۱۱۰۰
کرنش گسیختگی، $N/mm^2, e_u$	حداقل	۲۵	۲۲	۱۴	۲۰	۱۰	۸	۱۲	۱۲	۹	۸
سختی ویکرز، HV	حداقل	۹۵	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۹۰	۲۳۰	۲۵۵	۳۱۰	۳۷۲
	حداکثر	۲۲۰					۲۵۰	۳۰۰	۳۳۶	۳۸۲	۴۳۴
سختی ویکرز، HB	حداقل	۹۰	۱۱۴	۱۲۴	۱۴۷	۱۵۲	۱۸۱	۲۱۹	۲۴۲	۲۹۵	۳۵۳
	حداکثر	۲۰۹					۲۳۸	۲۸۵	۳۱۹	۳۶۳	۴۱۲
انرژی ضربه نمونه زخمی	حداقل	—			۲۵	—		۳۰	۳۰	۲۰	۱۵

پیوست پ

ST37

تنش مجاز فشاری ستون‌ها (kg/cm^2) برحسب ضریب لاغری در طراحی به‌روش تنش مجاز

$E = ۲/۱ \times ۱۰^۶ \ kg/cm^2$ | $F_y = ۲۴۰۰ kg/cm^2$ | $C_c = ۱۳۱$

λ	Fa	λ	Fa	λ	Fa	λ	Fa	λ	Fa
۱	۱۴۳۷	۴۱	۱۲۸۲	۸۱	۱۰۴۰	۱۲۱	۷۲۲	۱۶۱	۴۱۷
۲	۱۴۳۴	۴۲	۱۲۷۷	۸۲	۱۰۳۳	۱۲۲	۷۱۳	۱۶۲	۴۱۲
۳	۱۴۳۲	۴۳	۱۲۷۲	۸۳	۱۰۲۶	۱۲۳	۷۰۴	۱۶۳	۴۰۷
۴	۱۴۲۹	۴۴	۱۲۶۷	۸۴	۱۰۱۹	۱۲۴	۶۹۵	۱۶۴	۴۰۲
۵	۱۴۲۶	۴۵	۱۲۶۲	۸۵	۱۰۱۲	۱۲۵	۶۸۶	۱۶۵	۳۹۷
۶	۱۴۲۳	۴۶	۱۲۵۶	۸۶	۱۰۰۴	۱۲۶	۶۷۶	۱۶۶	۳۹۲
۷	۱۴۲۰	۴۷	۱۲۵۱	۸۷	۹۹۷	۱۲۷	۶۶۷	۱۶۷	۳۸۷
۸	۱۴۱۷	۴۸	۱۲۴۶	۸۸	۹۹۰	۱۲۸	۶۵۸	۱۶۸	۳۸۳
۹	۱۴۱۴	۴۹	۱۲۴۰	۸۹	۹۸۲	۱۲۹	۶۴۹	۱۶۹	۳۷۸
۱۰	۱۴۱۱	۵۰	۱۲۳۵	۹۰	۹۷۵	۱۳۰	۶۳۹	۱۷۰	۳۷۴
۱۱	۱۴۰۸	۵۱	۱۲۲۹	۹۱	۹۶۸	۱۳۱	۶۳۰	۱۷۱	۳۶۹
۱۲	۱۴۰۵	۵۲	۱۲۲۴	۹۲	۹۶۰	۱۳۲	۶۲۰	۱۷۲	۳۶۵
۱۳	۱۴۰۱	۵۳	۱۲۱۸	۹۳	۹۵۳	۱۳۳	۶۱۱	۱۷۳	۳۶۱
۱۴	۱۳۹۸	۵۴	۱۲۱۲	۹۴	۹۴۵	۱۳۴	۶۰۲	۱۷۴	۳۵۷
۱۵	۱۳۹۵	۵۵	۱۲۰۶	۹۵	۹۳۷	۱۳۵	۵۹۳	۱۷۵	۳۵۳
۱۶	۱۳۹۱	۵۶	۱۲۰۱	۹۶	۹۳۰	۱۳۶	۵۸۴	۱۷۶	۳۴۹
۱۷	۱۳۸۷	۵۷	۱۱۹۵	۹۷	۹۲۲	۱۳۷	۵۷۶	۱۷۷	۳۵۴
۱۸	۱۳۸۴	۵۸	۱۱۸۹	۹۸	۹۱۴	۱۳۸	۵۶۷	۱۷۸	۳۴۱
۱۹	۱۳۸۰	۵۹	۱۱۸۳	۹۹	۹۰۶	۱۳۹	۵۵۹	۱۷۹	۳۳۷
۲۰	۱۳۷۶	۶۰	۱۱۷۷	۱۰۰	۸۹۸	۱۴۰	۵۵۱	۱۸۰	۳۳۳
۲۱	۱۳۷۲	۶۱	۱۱۷۱	۱۰۱	۸۹۱	۱۴۱	۵۴۳	۱۸۱	۳۳۰
۲۲	۱۳۶۸	۶۲	۱۱۶۵	۱۰۲	۸۸۳	۱۴۲	۵۳۶	۱۸۲	۳۲۶
۲۳	۱۳۶۴	۶۳	۱۱۵۹	۱۰۳	۸۷۵	۱۴۳	۵۲۸	۱۸۳	۳۲۲
۲۴	۱۳۶۰	۶۴	۱۱۵۲	۱۰۴	۸۶۷	۱۴۴	۵۲۱	۱۸۴	۳۱۹
۲۵	۱۳۵۶	۶۵	۱۱۴۶	۱۰۵	۸۵۸	۱۴۵	۵۱۴	۱۸۵	۳۱۶
۲۶	۱۳۵۲	۶۶	۱۱۴۰	۱۰۶	۸۵۰	۱۴۶	۵۰۷	۱۸۶	۳۱۲
۲۷	۱۳۴۸	۶۷	۱۱۳۴	۱۰۷	۸۴۲	۱۴۷	۵۰۰	۱۸۷	۳۰۹
۲۸	۱۳۴۳	۶۸	۱۱۲۷	۱۰۸	۸۳۴	۱۴۸	۴۹۳	۱۸۸	۳۰۶
۲۹	۱۳۳۹	۶۹	۱۱۲۱	۱۰۹	۸۲۸	۱۴۹	۴۸۷	۱۸۹	۳۰۲
۳۰	۱۳۳۵	۷۰	۱۱۱۴	۱۱۰	۸۱۷	۱۵۰	۴۸۰	۱۹۰	۲۹۹
۳۱	۱۳۳۰	۷۱	۱۱۰۸	۱۱۱	۸۰۹	۱۵۱	۴۷۴	۱۹۱	۲۹۶
۳۲	۱۳۲۶	۷۲	۱۱۰۱	۱۱۲	۸۰۰	۱۵۲	۴۶۸	۱۹۲	۲۹۳
۳۳	۱۳۲۱	۷۳	۱۰۹۵	۱۱۳	۷۹۲	۱۵۳	۴۶۱	۱۹۳	۲۹۰
۳۴	۱۳۱۶	۷۴	۱۰۸۸	۱۱۴	۷۸۳	۱۵۴	۴۵۶	۱۹۴	۲۸۷
۳۵	۱۳۱۲	۷۵	۱۰۸۱	۱۱۵	۷۷۵	۱۵۵	۴۵۰	۱۹۵	۲۸۴
۳۶	۱۳۰۷	۷۶	۱۰۷۴	۱۱۶	۷۶۶	۱۵۶	۴۴۴	۱۹۶	۲۸۱
۳۷	۱۳۰۲	۷۷	۱۰۶۸	۱۱۷	۷۵۷	۱۵۷	۴۳۸	۱۹۷	۲۷۸
۳۸	۱۲۹۷	۷۸	۱۰۶۱	۱۱۸	۷۴۸	۱۵۸	۴۳۳	۱۹۸	۲۷۵
۳۹	۱۲۹۲	۷۹	۱۰۵۴	۱۱۹	۷۴۰	۱۵۹	۴۲۷	۱۹۹	۲۷۳
۴۰	۱۲۸۷	۸۰	۱۰۴۷	۱۲۰	۷۳۱	۱۶۰	۴۲۲	۲۰۰	۲۷۰

با تقسیم مقادیر تنش‌ها بر ۱۰، مقادیر تقریبی تنش برحسب N/mm^2 به‌دست می‌آید.

$\lambda = \frac{KL}{r}$ (ضریب لاغری)

ST52

تنش مجاز فشاری ستون‌ها برحسب ضریب لاغری (kg/cm^2) در طراحی به‌روش تنش مجاز

$E = ۲۱۰۰۰۰۰ kg/cm^2$ $F_y = ۳۶۰۰ kg/cm^2$ $C_c = ۱۰۷$

Fa	λ	Fa	λ	Fa	λ	Fa	λ	Fa	λ
۴۱۷	۱۶۱	۷۳۸	۱۲۱	۱۳۵۷	۸۱	۱۸۵۱	۴۱	۲۱۵۵	۱
۴۱۲	۱۶۲	۷۲۶	۱۲۲	۱۳۴۳	۸۲	۱۸۴۰	۴۲	۲۱۵۰	۲
۴۰۷	۱۶۳	۷۱۴	۱۲۳	۱۳۵۲	۸۳	۱۸۳۰	۴۳	۲۱۴۵	۳
۴۰۲	۱۶۴	۷۰۳	۱۲۴	۱۳۱۴	۸۴	۱۸۱۹	۴۴	۲۱۴۰	۴
۳۹۷	۱۶۵	۶۹۲	۱۲۵	۱۲۹۹	۸۵	۱۸۰۹	۴۵	۲۱۳۵	۵
۳۹۲	۱۶۶	۶۸۱	۱۲۶	۱۲۸۴	۸۶	۱۷۹۸	۴۶	۲۱۲۹	۶
۳۸۷	۱۶۷	۶۷۰	۱۲۷	۱۲۶۹	۸۷	۱۷۸۷	۴۷	۲۱۲۴	۷
۳۸۳	۱۶۸	۶۶۰	۱۲۸	۱۲۵۴	۸۸	۱۷۷۷	۴۸	۲۱۱۸	۸
۳۷۸	۱۶۹	۶۴۹	۱۲۹	۱۲۳۸	۸۹	۱۷۶۶	۴۹	۲۱۱۲	۹
۳۷۴	۱۷۰	۶۳۹	۱۳۰	۱۲۲۳	۹۰	۱۷۵۴	۵۰	۲۱۰۶	۱۰
۳۶۹	۱۷۱	۶۳۰	۱۳۱	۱۲۰۸	۹۱	۱۷۴۳	۵۱	۲۱۰۰	۱۱
۳۶۵	۱۷۲	۶۲۰	۱۳۲	۱۱۹۲	۹۲	۱۷۳۲	۵۲	۲۰۹۴	۱۲
۳۶۱	۱۷۳	۶۱۱	۱۳۳	۱۱۷۶	۹۳	۱۷۲۰	۵۳	۲۰۸۷	۱۳
۳۵۷	۱۷۴	۶۰۲	۱۳۴	۱۱۶۰	۹۴	۱۷۰۹	۵۴	۲۰۸۰	۱۴
۳۵۲	۱۷۵	۵۹۳	۱۳۵	۱۱۴۵	۹۵	۱۶۹۷	۵۵	۲۰۷۴	۱۵
۳۴۹	۱۷۶	۵۸۴	۱۳۶	۱۱۲۹	۹۶	۱۶۸۵	۵۶	۲۰۶۷	۱۶
۳۵۴	۱۷۷	۵۷۶	۱۳۷	۱۱۱۲	۹۷	۱۶۷۴	۵۷	۲۰۶۰	۱۷
۳۴۱	۱۷۸	۵۶۷	۱۳۸	۱۰۹۶	۹۸	۱۶۶۲	۵۸	۲۰۵۲	۱۸
۳۳۷	۱۷۹	۵۵۹	۱۳۹	۱۰۸۰	۹۹	۱۶۵۰	۵۹	۲۰۴۵	۱۹
۳۳۳	۱۸۰	۵۵۱	۱۴۰	۱۰۶۳	۱۰۰	۱۶۳۷	۶۰	۲۰۳۸	۲۰
۳۳۰	۱۸۱	۵۴۳	۱۴۱	۱۰۴۷	۱۰۱	۱۶۲۵	۶۱	۲۰۳۰	۲۱
۳۲۶	۱۸۲	۵۳۶	۱۴۲	۱۰۳۰	۱۰۲	۱۶۱۳	۶۲	۲۰۲۲	۲۲
۳۳۲	۱۸۳	۵۲۸	۱۴۳	۱۰۱۳	۱۰۳	۱۶۰۰	۶۳	۲۰۱۴	۲۳
۳۱۹	۱۸۴	۵۲۱	۱۴۴	۹۹۶	۱۰۴	۱۵۸۸	۶۴	۲۰۰۶	۲۴
۳۱۶	۱۸۵	۵۱۴	۱۴۵	۹۷۹	۱۰۵	۱۵۷۵	۶۵	۱۹۹۸	۲۵
۳۱۲	۱۸۶	۵۰۷	۱۴۶	۹۶۱	۱۰۶	۱۵۶۲	۶۶	۱۹۹۰	۲۶
۳۰۹	۱۸۷	۵۰۰	۱۴۷	۹۴۴	۱۰۷	۱۵۴۹	۶۷	۱۹۸۱	۲۷
۳۰۶	۱۸۸	۴۹۳	۱۴۸	۹۲۷	۱۰۸	۱۵۳۶	۶۸	۱۹۷۳	۲۸
۳۰۲	۱۸۹	۴۸۷	۱۴۹	۹۱۰	۱۰۹	۱۵۲۳	۶۹	۱۹۶۴	۲۹
۲۹۹	۱۹۰	۴۸۰	۱۵۰	۸۹۳	۱۱۰	۱۵۱۰	۷۰	۱۹۵۵	۳۰
۲۹۶	۱۹۱	۴۷۴	۱۵۱	۸۷۷	۱۱۱	۱۴۹۶	۷۱	۱۹۴۶	۳۱
۲۹۳	۱۹۲	۴۶۸	۱۵۲	۸۶۲	۱۱۲	۱۴۸۳	۷۲	۱۹۳۷	۳۲
۲۹۰	۱۹۳	۴۶۱	۱۵۳	۸۴۶	۱۱۳	۱۴۶۹	۷۳	۱۹۲۸	۳۳
۲۸۷	۱۹۴	۴۵۶	۱۵۴	۸۳۲	۱۱۴	۱۴۵۶	۷۴	۱۹۱۹	۳۴
۲۸۴	۱۹۵	۴۵۰	۱۵۵	۸۱۷	۱۱۵	۱۴۴۲	۷۵	۱۹۰۹	۳۵
۲۸۱	۱۹۶	۴۴۴	۱۵۶	۸۰۳	۱۱۶	۱۴۲۸	۷۶	۱۹۰۰	۳۶
۲۷۸	۱۹۷	۴۳۸	۱۵۷	۷۹۰	۱۱۷	۱۴۱۴	۷۷	۱۸۹۰	۳۷
۲۷۵	۱۹۸	۴۳۳	۱۵۸	۷۷۶	۱۱۸	۱۴۰۰	۷۸	۱۸۸۱	۳۸
۲۷۳	۱۹۹	۴۲۷	۱۵۹	۷۶۳	۱۱۹	۱۳۸۶	۷۹	۱۸۷۱	۳۹
۲۷۰	۲۰۰	۴۲۲	۱۶۰	۷۵۰	۱۲۰	۱۳۷۲	۸۰	۱۸۶۱	۴۰

با تقسیم مقادیر تنش‌ها بر ۱۰، مقادیر تقریبی تنش برحسب N/mm^2 به‌دست می‌آید.

$\lambda = \frac{KL}{r}$ (ضریب

واژه‌نامه فارسی انگیسی

آزمایش ذرات مغناطیسی	Magnetic particle test
آزمایش رادیوگرافی	Radiography test
آزمایش فراصوت	Ultrasonic test
آزمایش مایعات نفوذی	Penetrant testing
اتصال	Connection
اساس مقطع پلاستیک (z)	Plastic section modulus
انحنای دوگانه	Reverse curvature bending
انحنای ساده	Single curvature bendig
بازرسی چشمی	Visual test
برپایی	Erection
پیش‌خیز	Camber
پین (اتصال مفصلی)	Pin
تسمه‌های سرپهن	Eyebar
تسمه‌های لولا شده	Pin connected member
تغییرمکان نسبی طبقه	Story drift
چشمه اتصال	Panel zone
رواداری ابعادی	Dimensional tolerance
سیستم باربر جانبی	Lateral force resisting system
سیستم دوگانه یا ترکیبی	Dual system
سیستم قاب ساختمانی	Building frame system
شکل‌پذیری	Ductility
طراحی براساس روش تنش مجاز	ASD=Allowable stress design
طراحی براساس روش ضریب بار و مقامت ـ طراحی به‌روش حدی	LRFD=Load and resistance factor design
کنگره	Rib
گره	Joint

قاب خمشی	Moment resisting frame
قاب خمشی متوسط	Intermediate moment resisting frame
قاب خمشی معمولی	Ordinary moment resisting frame
قاب خمشی ویژه	Special moment resisting frame
قاب مهاربندی شده	Braced frame
قاب مهاربندی نشده	Unbraced frame
قاب مهارشده	Inhibited frame
قاب مهارنشده	Uninhibited frame
قاب مهاربندی شده همگرا	Concentric braced frame
قاب مهاربندی شده واگرا	Eccentric braced frame
قطعه رابط	Link beam
لاغری	Slenderness
مشخصات فنی روند جوشکاری	Welding procedure specifications
مقاطع مرکب (ساخته شده)	Built up sections
مقاومت	Strength
مقاومت موجود	Available capacity
مقاومت مورد نیاز	Required capacity
مهاربند همگرای ضربدری	X-bracing
مهاربند همگرای قطری	Diagonal bracing
مهاربند همگرای V و Λ	Chevron bracing (V or inverted Λ)
مهاربند همگرای K	K-bracing
نیروی برکنش	Uplift
واشر سنجش نیروی پیش‌تنیدگی	DTI=Direct Tension Indicator
واشرهای DTI	Direct tension indicator
ورق بال	Flange plate
ورق جان	Web plate
ورق ذوزنقه‌ای	Deck
ورق‌های پیوستگی	Continuity plates
ورق‌های مضاعف	Doubler plates