جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حالات حدی

نشریه شماره ۱۶۹

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۷/۰۰/۴۲

۱۳۷۷

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها
آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی / معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها.- تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۷.
۲۳۱ص.: مصور.- (سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۱۶۹)(انتشارات سازمان برنامه و بودجه؛ ۷۷/۰۰/۴۲)
ISBN 964-425-088-5
مربوط به دستورالعمل شماره ۱۴۵۹/۵۴-۱۶۰۱/۱۰۲ مورخ ۱۳۷۷/۴/۶

۱. ساختمانهای فلزی - استانداردها. ۲. فولاد ساختمانی - استانداردها. ۳. ضریب بار مقاومت. الف. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ب. عنوان. ج. فروست.

ش.۱۶۹ ۲س/TA ۳۶۸

شابک ۵-۰۸۸-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-088-5

آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی
تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها
ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات
چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۷۷
قیمت: ۱۵۰۰۰ ریال
چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه
دفتر رئیس

تاریخ : .....
شماره : .....
پیوست : .....

بسمه تعالی

به: تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور	شماره : ۱۰۲/۱۶۰۱ـ۵۴/۱۴۵۹ تاریخ : ۱۳۷۷/۴/۶

موضوع : آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی

به‌استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین‌نامه استانداردهای اجرائی طرحهای‌عمرانی‌این‌دستورالعمل‌ازنوع‌گروه [دوم] مذکوردرماده هفت‌آئین‌نامه‌در [یک] صفحه صادر می‌گردد.

تاریخ مندرج در ماده ۸ آئین‌نامه در مورد این دستورالعمل [۱۳۷۷/۸/۱] می‌باشد.

به‌پیوست نشریه شماره ۱۶۹ دفترامورفنی وتدوین معیارهای این سازمان باعنوان "آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی" ابلاغ می‌گردد.

دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور می‌توانند مفاد نشریه مذکور و دستورالعمل‌های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

محمدعلی نجفی
معاون رییس‌جمهور و
رییس سازمان برنامه و بودجه

پیشگفتار

طراحی به‌روش حالات حدی که در جهت عقلایی‌تر کردن ضرایب ایمنی در طراحی ابداع گردیده سالیان درازی است که در کشور ما برای سازه‌های بتن فولادی مورد پذیرش قرار گرفته و به‌تدریج بین مهندسین رواج می‌یابد اما درخصوص ساختمانهای فولادی چنین نبوده است.

تقدم به‌کارگیری این روش در مورد ساختمانهای بتنی مختص ایران نیست بلکه در کشورهای دیگر نیز که در ابداعات فنی و علمی پیشروترند وضع به‌همین گونه بوده است.

هدف از ارائهٔ متن حاضر گشودن بابی بوده است که سالهاست بر روی طراحان ساختمانهای فولادی در کشورهای دیگر گشوده شده است. گرچه هنوز بین صاحب‌نظران بر سر برتری این روش (حالات حدی) بر روشهای «الاستیک» در طراحی سازه‌های فولادی بحثهای فراوانی جریان دارد اما ترویج شیوه‌های نو فی‌نفسه هدف ارزشمندی است و این مهم در گام نخست محتاج ترجمه و نشر کتب و مقالاتی است که در زمینه‌های نو تحریر گردیده‌اند.

مبنای آیین‌نامهٔ حاضر، چاپ دوم آیین‌نامهٔ LRFD مؤسسهٔ AISC به‌تاریخ نشر ۱۹۹۴ میلادی می‌باشد. لیکن در تدوین آن سعی گردیده است هماهنگی کاملی با آیین‌نامهٔ جاری فولاد ایران به‌روش تنشهای مجاز (مبحث ۱۰ از مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران) و همچنین آیین‌نامهٔ بتن ایران (آبا) صورت پذیرد.

آیین‌نامهٔ *طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حدی* برای طراحی سازه‌ای ساختمانهای فولادی، اولین آیین‌نامه از سری جدید آیین‌نامه‌هایی است که بر پایهٔ تئوری قابلیت اعتماد قرار دارند. این آیین‌نامه بر پایهٔ تجربیات موفق گذشته، پیشرفتهای علمی، و تغییرات در روش طراحی، قرار دارد. آیین‌نامهٔ روش حدی به‌منظور فراهم نمودن یک روش یکنواخت برای طراحی ساختمانها با اسکلت فولادی تدوین شده است. هدف، فراهم نمودن معیارهایی برای استفاده‌های متعارف است و ممکن است در برگیرندهٔ مسائل خاصی که گهگاه در زمینهٔ طراحی به‌آن برخورد می‌شود، نباشد. اگر قرار بود که آیین‌نامه طوری تنظیم شود که دربرگیرندهٔ تمام حالات خاص و پیچیده نیز باشد، در این صورت استفاده از آن برای حالات متعارف طراحی، بسیار مشکل می‌شد.

آیین‌نامه نتیجهٔ کنکاش کمیته‌ای از مهندسان سازه، با تجربهٔ وسیع و مدارج بالای حرفه‌ای می‌باشد. ترکیب کمیته به‌طور مساوی شامل اعضایی از مهندسان مشاور، مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی، و شرکتهای سازنده است.

عبارت *فولاد سازه‌ای*، هر کجا در این آیین‌نامه به‌کار رود، شامل ردیفهای زیر می‌باشد، مگر اینکه به‌نحو دیگری در قرارداد ذکر گردد:

۱ ـ پیچهای مهاری
۲ ـ کف ستونها و صفحات زیرسری
۳ ـ تیرها، شاهتیرها، لاپه‌های بام و تیرچه‌های دیوار
۴ ـ نشیمنهای فولادی برای شاهتیرها و خرپاها
۵ ـ بادبندها

۶ـ ستونها
۷ـ تمام اقلام اتصال برای اتصال یک فولاد سازه‌ای به‌فولاد سازه‌ای دیگر
۸ـ ریل جرثقیل، وصله‌ها، ترمزها، پیچها و گیره‌ها
۹ـ چهارچوب درها وقتی که جزئی از اسکلت باشند.
۱۰ـ درزهای انبساط وقتی که به‌قاب‌بندی فولادی متصل باشند.
۱۱ـ وسایل اتصال که برای اتصال فولادهای سازه‌ای به‌کار می‌روند، شامل:
پرچهای کارخانه‌ای
پیچهای دائمی کارخانه‌ای
پیچهای کارخانه‌ای برای حمل (پیچهای موقت)
پرچهای کارگاهی برای اتصالات دائمی
پیچهای کارگاهی برای اتصال دائمی
خار مغزی (پین) دائمی
۱۲ـ ورقهای کف (ساده یا آجدار) که به‌قاب فولادی متصل شده‌اند.
۱۳ـ تیرها و شاهتیرهای شبکه
۱۴ـ دستکهایی که جزء اساسی از قاب می‌باشند.
۱۵ـ ورقهای لقمه، گوه و پیچهای تکرارکننده.
۱۶ـ نعل درگاهیها، اگر به‌اسکلت اصلی متصل باشند.
۱۷ـ قابهای سایبانهای ورودی ساختمان.
۱۸ـ فونداسیون ماشین‌آلات از نیمرخهای نوردشده یا تیرورقی که به‌اسکلت سازه وصل شده‌اند.
۱۹ـ اجزای جرثقیل تک‌ریلی از نیمرخهای استاندارد، وقتی که به‌اسکلت اصلی متصل باشند.
۲۰ـ اسکلت بام با استفاده از نیمرخهای استاندارد
۲۱ـ اتصالات برشی
۲۲ـ قطعات فشاری، میله‌های کششی و میله‌مهارها در صورتی‌که قسمتی از قاب باشند.
۲۳ـ خرپاها

برای طراحی اعضای ساخته شده از ورقهای سرد تا شده که نیمرخهای آنها شامل گوشه‌های گرد و اجزای لاغر تخت می‌باشد، باید به‌آیین‌نامهٔ خاص مراجعه شود.

به‌خواننده توجه داده می‌شود که در هنگام استفاده از نتایج به‌دست آمده از روابط و دستورالعملهای این آیین‌نامه، قضاوت حرفه‌ای مهندسی باید به‌کار گرفته شود. طراحی سازه در قلمرو تجربهٔ مهندس سازه با صلاحیت و تجربهٔ کافی در زمینهٔ طراحی است.

دفتر امور فنی و تدوین معیارها بدین‌وسیله از زحمات بیدریغ آقای مهندس شاپور طاحونی، و آقای مهندس مجید ابتسام کارشناس مسئول پروژه در جمع‌آوری و تهیهٔ این آیین‌نامه تشکر و قدردانی می‌نماید.

دفتر امور فنی و تدوین معیارها
بهار ۱۳۷۷

گروه مهندسی سانا پی
www.SanaPey.com

فهرست مطالب

علائم و اختصارات ۹

فصل اول: کلیات

۱ ـ ۱ گستره ۱۹
۱ ـ ۲ مبانی طراحی ۱۹
۱ ـ ۳ روش طراحی ۲۰
۱ ـ ۴ انواع سیستمهای سازه‌ای ۲۳
۱ ـ ۵ مصالح فولادی ۲۴
۱ ـ ۶ بارهای محاسباتی ۲۴
۱ ـ ۷ بارگذاری ۲۶
۱ ـ ۸ تحلیل سازه ۲۶
۱ ـ ۹ مدارک طراحی و محاسبه ۲۷
۱ ـ ۱۰ شکل‌پذیری ۲۸

فصل دوم: مقررات عمومی

۲ ـ ۱ سطح مقطع کلی ۲۹
۲ ـ ۲ سطح مقطع خالص ۲۹
۲ ـ ۳ سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی ۳۰
۲ ـ ۴ پایداری ۳۲
۲ ـ ۵ کمانش موضعی ۳۲
۲ ـ ۶ مهاربندی در تکیه‌گاهها ۳۶
۲ ـ ۷ محدودیتهای ضرایب لاغری ۳۶
۲ ـ ۸ دهانه‌های ساده ۳۶
۲ ـ ۹ گیرداری انتهایی ۳۶
۲ ـ ۱۰ تناسبات هندسی تیرها و شاهتیرها ۳۶

فصل سوم: قابها و سایر سازه‌ها

۳ ـ ۱ آثار درجه دوم (ثانویه) ۳۹

۲ ـ ۳ پایداری قاب ۴۱

فصل چهارم: اعضای کششی

۴ ـ ۱ مقاومت کششی طرح ۴۳
۴ ـ ۲ اعضای ساخته شده از چند نیمرخ ۴۴
۴ ـ ۳ تسمه‌ها با عرض ثابت و اتصالات لولایی با پین و تسمه‌های سرپهن ۴۵

فصل پنجم: ستونها و سایر اعضای فشاری

۵ ـ ۱ طول مؤثر و محدودیتهای لاغری ۴۷
۵ ـ ۲ مقاومت فشاری طرح ۴۹
۵ ـ ۳ مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی ـ پیچشی ۵۰
۵ ـ ۴ اعضای فشاری ساخته شده از چند نیمرخ ۵۱
۵ ـ ۵ اعضای فشاری دارای اتصالات لولایی ۵۴

فصل ششم: تیرها و سایر اعضای خمشی

۶ ـ ۱ طراحی برای خمش ۵۵
۶ ـ ۲ طراحی برای برش ۶۱

فصل هفتم: تیرورقها

۷ ـ ۱ محدودیتهای لاغری جان ۶۳
۷ ـ ۲ مقاومت خمشی طرح ۶۴
۷ ـ ۳ مقاومت برشی طرح بدون توجه به‌عمل میدان کشش ۶۶
۷ ـ ۴ مقاومت برشی طرح با توجه به‌عمل میدان کشش ۶۷
۷ ـ ۵ سخت‌کننده‌های عرضی ۶۸
۷ ـ ۶ اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی ۷۰

فصل هشتم: ترکیب نیروها

۸ ـ ۱ اعضا با نیمرخهای متقارن تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری ۷۱
۸ ـ ۲ اعضا با نیمرخ نامتقارن و اعضایی که تحت اثر پیچشی و یا ترکیب پیچش و خمش، با و یا بدون نیروی محوری قرار دارند ۷۴
۸ ـ ۳ صورت دیگری‌از معادلات اندرکنش برای اعضای تحت‌اثر کنشهای‌مرکب ۷۵

فصل نهم: اعضای مختلط

۹ ـ ۱ فرضیات طراحی ۷۷

۹ ـ ۲ اعضای فشاری ۷۹
۹ ـ ۳ اعضای خمشی ۸۲
۹ ـ ۴ ترکیب فشار و خمش ۸۵
۹ ـ ۵ اتصالات برشگیر ۸۶
۹ ـ ۶ حالات ویژه ۸۹

فصل دهم: اتصالها و وسایل اتصال
۱۰ ـ ۱ مقررات عمومی ۹۱
۱۰ ـ ۲ اتصالات جوشی ۹۵
۱۰ ـ ۳ پیچها، قطعات حدیده شده و پرچها ۱۰۲
۱۰ ـ ۴ مقاومت گسیختگی طرح ۱۱۲
۱۰ ـ ۵ اجزای اتصال ۱۱۳
۱۰ ـ ۶ لقمه‌ها (پرکننده‌ها) ۱۱۴
۱۰ ـ ۷ وصله‌ها ۱۱۵
۱۰ ـ ۸ مقاومت اتکایی ۱۱۵
۱۰ ـ ۹ کف ستونها و اتکا روی بتن ۱۱۶
۱۰ ـ ۱۰ میل‌مهارها و اقلام مدفون ۱۱۶

فصل یازدهم: نیروهای متمرکز، آب‌انباشتگی و خستگی
۱۱ ـ ۱ اثر نیروهای متمرکز بر جان و بال اعضا ۱۱۹
۱۱ ـ ۲ آب‌انباشتگی ۱۲۷
۱۱ ـ ۳ خستگی ۱۲۹

فصل دوازدهم: ملاحظات طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری
۱۲ ـ ۱ خیز ۱۳۱
۱۲ ـ ۲ انبساط و انقباض ۱۳۲
۱۲ ـ ۳ تغییرشکل، ارتعاش و انتقال جانبی ۱۳۲
۱۲ ـ ۴ لغزش در اتصال ۱۳۲
۱۲ ـ ۵ خوردگی ۱۳۲

فصل سیزدهم: ساخت، نصب و کنترل کیفیت
۱۳ ـ ۱ نقشه‌های کارگاهی ۱۳۳
۱۳ ـ ۲ ساخت ۱۳۳

۱۳ ـ ۳ رنگ‌آمیزی در کارگاه ۱۳۶
۱۳ ـ ۴ برپایی و نصب ۱۳۷
۱۳ ـ ۵ کنترل کیفیت ۱۳۸

پیوست فصل دوم: مقررات عمومی
پ ـ ۲ ـ ۵ کمانش موضعی ۱۴۳

پیوست فصل پنجم: ستونها و سایر اعضای فشاری
پ ـ ۵ ـ ۳ مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی و پیچشی ۱۴۹

پیوست فصل ششم: تیرها و سایر اعضای خمشی
پ ـ ۶ ـ ۱ طراحی برای خمش ۱۵۳
پ ـ ۶ ـ ۲ طراحی برای برش ۱۵۸
پ ـ ۶ ـ ۳ اعضا با ارتفاع متغیر ۱۵۹

پیوست فصل هشتم: اعضا تحت نیروهای ترکیبی و پیچش
پ ـ ۸ ـ ۳ روابط اندرکنشی جایگزین برای اعضا تحت تنش ترکیبی ۱۶۵

پیوست فصل دهم: اتصالها و وسایل اتصال
پ ـ ۱۰ ـ ۲ جوش ۱۶۹
پ ـ ۱۰ ـ ۳ پیچها و قطعات حدیده شده ۱۷۰

پیوست فصل یازدهم: ملاحظات تکمیلی در طراحی برای حالت حدی مقاومت
پ ـ ۱۱ ـ ۲ آب‌انباشتگی ۱۷۳
پ ـ ۱۱ ـ ۴ خستگی ۱۷۶
تیرهای لانه‌زنبوری ۱۸۷
جداول طراحی ۱۹۵
مشخصات هندسی نیمرخهای ساختمانی ۲۰۱
مثالهای طراحی ۲۱۷
طرح یک عضو کششی ۲۱۷
طرح یک عضو فشاری ۲۱۸
کمانش پیچشی ـ خمشی ۲۱۹
طراحی تیرها برای لنگر خمشی ۲۲۲
طراحی تیرها برای برشی ۲۲۸
طراحی تیر ـ ستون ۲۲۸

علائم و اختصارات

شماره‌هایی که در داخل پرانتز، بعد از تعریف علامت آمده‌اند، نشان‌دهندهٔ شمارهٔ بخشی می‌باشند که آن علامت برای اولین بار در آن تعریف شده است.

A = سطح مقطع، سانتی‌متر مربع (۶ـ۱ـ۲)

A_B = ناحیهٔ بارگذاری‌شدهٔ بتن، سانتی‌متر مربع (۹ـ۲ـ۴)

A_b = سطح مقطع اسمی یک پیچ یا پرچ، سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۳ـ۴)

A_b = سطح مقطع یک میلهٔ برجسته برمبنای قطر بزرگتر حدیده‌های آن، سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۳ـ۳)

A_c = مساحت بتن، سانتی‌متر مربع (۹ـ۲ـ۲)

A_c = مساحت دال بتنی در محدودهٔ عرض مؤثر، سانتی‌متر مربع (۹ـ۵ـ۲)

A_e = سطح مقطع خالص مؤثر، سانتی‌متر مربع (۲ـ۳)

A_f = سطح بال تیر، سانتی‌متر مربع (پیوست ۶ـ۳)

A_g = سطح مقطع کل، سانتی‌متر مربع (۲ـ۱)

A_n = سطح مقطع خالص، سانتی‌متر مربع (۲ـ۲)

A_{ns} = سطح مقطع خالص تحت برش، سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۴)

A_{pb} = تصویر مساحت اتکایی، سانتی‌متر مربع (۴ـ۳ و ۱۰ـ۸ـ۱)

A_r = سطح مقطع میلگردهای آرماتور، سانتی‌متر مربع (۹ـ۲ـ۲)

A_s = سطح مقطع فولاد، سانتی‌متر مربع (۹ـ۲ـ۲ و ۹ـ۵ـ۲)

A_{sc} = سطح مقطع اتصالات برشی از نوع گلمیخ، سانتی‌متر مربع (۹ـ۵ـ۳)

A_{sf} = سطح مقطع برشی در امتداد مسیر گسیختگی، سانتی‌متر مربع (۴ـ۳)

A_w = سطح مقطع جان تیر، سانتی‌متر مربع (۶ ـ ۲ ـ ۱)

A_1 = مساحت سطح تماس فولاد که به‌طور متمرکز روی بتن اتکا دارد، سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۹)

A_2 = سطح مقطع کل یک تکیه‌گاه بتنی، سانتی‌متر مربع (۱۰ ـ ۹)

B = ضریب مربوط به تنشهای خمشی در اعضا با ارتفاع متغیر، سانتی‌متر، که توسط روابط (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۸) الی (پ ـ ۶ ـ ۴ ـ ۱۱) پیوست ۶ ـ ۴ تعریف شده‌اند.

B_1, B_2 = ضرایب مورد استفاده در تعیین M_u برای خمش توأم با نیروهای فشاری وقتی که تحلیل از درجهٔ اول به‌کار می‌رود (۸ ـ ۱)

C_{PG} = ضریب مربوط به تیرورقها (پیوست ۷ ـ ۲)

C_b = ضریب خمش که به تغییرات لنگر خمشی مربوط می‌گردد (۶ ـ ۱ ـ ۲)

C_m = ضریبی که در رابطهٔ اندرکنش اعضای منشوری به‌جملهٔ لنگر خمشی اعمال می‌گردد و بستگی به‌انحنای ستون به‌علت لنگرهای وارده دارد (۸ ـ ۱)

C'_m = ضریبی که در رابطهٔ اندرکنش اعضا با ارتفاع متغیر به‌جملهٔ لنگر خمشی اعمال می‌گردد و وابسته به‌تنش محوری در انتهای کوچک عضو می‌باشد (پیوست ۶ ـ ۳)

C_p = ضریب انعطاف‌پذیری آب‌انباشتگی برای اعضای اصلی در یک پشت‌بام تخت (۱۱ ـ ۲)

C_s = ضریب انعطاف‌پذیری آب‌انباشتگی برای اعضای ثانوی در یک پشت‌بام تخت (۱۱ـ۲)

C_t = نسبت تنش بحرانی در جان تیر به‌تنش تسلیم مصالح جان براساس تئوری کمانش خطی (پیوست ۷ ـ ۴)

C_w = ثابت تابیدگی، سانتی‌متر به‌توان شش (۶ ـ ۱ ـ ۳)

D = قطر خارجی یک مقطع دایره‌ای توخالی، سانتی‌متر (پیوست ۲ ـ ۵ ـ ۳)

D = بار مرده حاصل از وزن خود سازه به‌علاوهٔ وزن اعضای دائمی ملحق بر آن (۱ ـ ۳ ـ ۴)

D = ضریب استفاده‌شده در رابطهٔ (پ ـ ۷ ـ ۴ ـ ۲) که به‌نوع سخت‌کننده‌های عرضی کار گذاشته در تیرورقها بستگی دارد (پیوست ۷ ـ ۴)

E = مدول الاستیسیتهٔ فولاد مساوی $۲/۱\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۵ ـ ۲)

E = بار زلزله (۱ ـ ۳ ـ ۴)

E_c = مدول الاستیسیتهٔ بتن، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۹ ـ ۲ ـ ۲)

E_m = مدول الاستیسیتهٔ تعدیل‌یافته، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۹ ـ ۲ ـ ۲)

F_{BM} = مقاومت اسمی فلز مبنا که باید جوش داده شود، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۲ـ۴)

F_{EXX} = مقاومت طبقه‌بندی‌شدهٔ فلز جوش، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱ ـ ۳ ـ ۵ و ۱۰ ـ ۲ ـ ۴)

F_a = مقاومت محوری طرح، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱ ـ ۵ ـ ۱)

F_{br} = تنش خمشی برای اعضا با ارتفاع متغیر که به‌وسیلهٔ روابط (پ ـ۶ـ۳ـ۴) و (پ ـ۶ـ۳ـ۵) تعریف می‌شوند (پیوست ۶ ـ ۳)

F_{cr} = تنش بحرانی، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۵ ـ ۲)

F_e = تنش کمانش الاستیک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پیوست ۵ ـ ۳)

F_{ex} = تنش کمانش خمشی الاستیک حول‌محور قوی، کیلوگرم‌برسانتی‌مترمربع (پیوست ۵ ـ۳)

F_{ey} = تنش کمانش خمشی حول محور ضعیف، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پیوست ۵ ـ ۳)

F_{ez} = تنش کمانش پیچشی، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پیوست ۵ ـ ۳)

F_{my} = تنش تسلیم تعدیل‌یافته برای ستونهای مرکب، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۹ ـ ۲ ـ ۲)

F_n = مقاومت اسمی در شکست برشی، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۰ ـ ۴)

F_r = تنش پسماند فشاری در بال تیر، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۶ ـ ۱ ـ ۳)

F_{sy} = تنش برای اعضا با ارتفاع متغیر که توسط رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۶) در پیوست ۶ـ۳ تعریف شده است.

F_u = مقاومت حداقل مقرر کششی بر حسب نوع فولاد مورد استفاده، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۴ ـ ۱)

F_w = مقاومت اسمی مصالح الکترود جوشکاری، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۰ ـ ۲ ـ ۴)

F_{wy} = تنش برای اعضا با ارتفاع متغیر که از طریق رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۷) تعریف می‌شود (پیوست ۶ ـ ۳)

F_y = تنش تسلیم حداقل مقرر، برحسب نوع فولاد مورد استفاده، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، برحسب نوع استفاده در این ضوابط، «تنش تسلیم» هم مبین نقطهٔ تسلیم حداقل مقرر (برای آن فولادهایی که دارای نقطهٔ تسلیم می‌باشند) و هم مبین مقاومت تسلیم مقرر (برای آن دسته از فولادها که فاقد یک نقطهٔ تسلیم می‌باشند) می‌باشد.

F_{yf} = تنش تسلیم حداقل مقرر بال تیر، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۲ ـ ۵ ـ ۱)

F_{ym} = تنش تسلیم که از گزارشهای آزمایش کارخانه‌ای و یا از آزمایشهای فیزیکی به‌دست می‌آید، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

F_{yr} = تنش تسلیم حداقل مقرر برای فولاد آرماتور، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۹ ـ ۲ ـ ۲)

F_{ys} = تنش تسلیم استاتیکی، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۴ ـ ۲)

F_{yst} = تنش تسلیم حداقل مقرر مصالح سخت‌کننده‌ها، کیلوگرم برسانتی‌مترمربع (پیوست ۷ـ۴)

F_{yw} = تنش تسلیم حداقل مقرر جان تیرها، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۶ ـ ۲ ـ ۲)

G = مدول الاستیسیتهٔ برشی فولاد، مساوی $۰/۸\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۶ـ۱ـ۳)

H = نیروی افقی، تن (۸ ـ ۱ ـ ۲)

H_s = طول اتصال برشی از نوع گلمیخی بعد از جوشکاری، سانتی‌متر (۹ ـ ۳ ـ ۵)

I = ممان اینرسی، سانتی‌متر به‌توان چهار

I_d = ممان اینرسی کف فولادی متکی به‌اعضای ثانوی، سانتی‌متر به‌توان چهار (۱۱ ـ ۲)

I_p = ممان اینرسی اعضای اصلی، سانتی‌متر به‌توان چهار (۱۱ ـ ۲)

I_s = ممان اینرسی اعضای ثانوی، سانتی‌متر به‌توان چهار (۱۱ ـ ۲)

I_{st} = ممان اینرسی سخت‌کننده‌های عرضی، سانتی‌متر به‌توان چهار (پیوست ۷ ـ ۴)

J = ثابت پیچشی مقطع، سانتی‌متر به‌توان چهار (۶ ـ ۱ ـ ۳)

k = ضریب طول مؤثر برای اعضای منشوری (۳ ـ ۲)

K_s = ضریب لغزش (۱۰ ـ ۳)

K_z = ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی (پیوست ۵ ـ ۳)

K_γ = ضریب طول مؤثر برای اعضا با ارتفاع متغیر (پیوست ۶ ـ ۴ ـ ۳)

L = طول آزاد یک عضو که از مرکز ثقل تا مرکز ثقل اعضای مهارکننده اندازه‌گیری می‌شود، سانتی‌متر (۵ ـ ۲)

L = ارتفاع یک طبقه، سانتی‌متر (۸ ـ ۱ ـ ۲)

L = فاصله در امتداد نیرو، از مرکز یک سوراخ استاندارد یا بزرگتر از اندازه و یا از مرکز گردی انتهایی یک سوراخ لوبیایی تا لبهٔ قطعهٔ اتصال‌یافته (۱۰ ـ ۳ ـ ۶)

L = بار زنده برحسب وظیفهٔ ساختمان (۱ ـ ۳ ـ ۴)

L_b = طول مهارنشدهٔ جانبی، فاصلهٔ بین نقاطی‌که یا در آنها حرکت جانبی بال فشاری منع‌شده و یا اینکه در آنها از چرخش مقطع جلوگیری گردیده است، سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۲)

L_c = طول اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی‌متر (۹ ـ ۵ ـ ۴)

L_p = حداکثر طول مهارنشدهٔ جانبی جهت حصول ظرفیت کامل لنگر پلاستیک برای حالت لنگر خمشی یکنواخت، $C_b=1$، سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۲)

L_p = فاصلهٔ ستونها در امتداد تیرهای حمال، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۲)

L_{pd} = حداکثر طول مهارنشدهٔ جانبی برای تحلیل خمیری، سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۲)

L_r = حداکثرطول مهارنشدهٔجانبی برای کمانش جانبی ـ پیچشی غیرخطی، سانتی‌متر (۶ـ۱ـ۲)

L_r = بار زندهٔ پشت‌بام (۱ ـ ۴ ـ ۱)

L_s = فاصلهٔ ستونها در امتداد عمود بر تیرهای حمال، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۲)

M_1 = لنگر کوچکتر درانتهای طول مهارنشدهٔ یک‌تیر و یا یک تیر ـ ستون، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۳)

M_2 = لنگر بزرگتر در انتهای طول مهارنشدهٔ یک تیر و یا یک تیر ـ ستون، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۳)

M_{ar} = لنگر کمانشی الاستیک، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۴)

M_{lt} = مقاومت خمشی لازم در یک عضو جهت مقابله با انتقال جانبی قاب، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۸ ـ ۱)

M_n = مقاومت اسمی خمشی، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۲)

M'_{nx} = مقاومت خمشی طبق روابط (پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۷ و ۸) برای استفاده در نوع دیگر معادلات

M_{nv} = اندرکنش برای خمش توأم با نیروی محوری، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (پ ـ ۸ ـ ۳)

M_{nt} = مقاومت خمشی لازم در یک عضو با فرض اینکه قاب فاقد انتقال جانبی است، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۸ ـ ۱)

M_p = لنگر خمشی پلاستیک، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۱)

M'_p = لنگر طبق تعریف روابط (پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۵) و (پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۶) جهت استفاده در نوع دیگر معادلات مربوط به‌اثر توأم خمش با نیروی محوری، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (پ ـ ۸ ـ ۳)

M_r = حد لنگر کمانشی، M_{cr} وقتی‌که $\lambda=\lambda_r$ و $C_b=1$ می‌باشد. کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۶ـ۱ـ۳)

M_u = مقاومت خمشی لازم، کیلوگرم ـ سانتی‌متر (۸ ـ ۱)

N = طول محل اتکا، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۱ ـ ۳)

N_r = تعداد اتصالات برشی از نوع گلمیخ در یک پشت‌بند از کف فولادی در محل تلاقی با تیر (۹ ـ ۳ ـ ۵)

P = نیروی انتقال‌یافته توسط یک وسیلهٔ اتصال (پیچ یا پرچ) به‌قطعهٔ اتصال‌یافتهٔ بحرانی، کیلوگرم (۱۰ ـ ۳ ـ ۹)

P_e = بار کمانشی الاستیک، کیلوگرم (۹ ـ ۴)

P_e = مقاومت کمانشی اویلر، کیلوگرم (۸ ـ ۱)

P_n = مقاومت محوری اسمی (کشش یا فشار) کیلوگرم (۴ ـ ۱)

P_p = بار اتکایی روی بتن، کیلوگرم (۱۰ ـ ۹)

P_u = مقاومت محوری مورد نیاز (کشش یا فشار)، کیلوگرم (۸ ـ ۱)

P_y = مقاومت تسلیم، کیلوگرم (۲ ـ ۵ ـ ۱)

Q = ضریب تقلیل کامل برای عناصر لاغر فشاری (پ ـ ۵ ـ ۳)

Q_a = ضریب تقلیل برای عناصر فشاری سخت‌شدهٔ لاغر (پ ـ ۲ ـ ۵)

Q_n = مقاومت اسمی یک اتصال برشی از نوع گلمیخ، کیلوگرم (۹ ـ ۵)

Q_s = ضریب تقلیل برای عناصر فشاری سخت‌نشده (پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)

R = بار اسمی در اثر آب باران و یا یخ اولیه بدون احتساب سهم آب‌انباشتگی (۱ ـ ۴ ـ ۱)

R_{PG} = ضریب تقلیل مربوط به‌مقاومت خمشی تیرورقها (۷ ـ ۲)

R_e = ضریب تیرورق دوگانه (۷ ـ ۲)

R_n = مقاومت اسمی (۱ ـ ۵ ـ ۳)

R_v = مقاومت برشی در جان، کیلوگرم (۱۱ ـ ۱ ـ ۷)

S = اساس مقطع الاستیک، سانتی‌متر به‌توان سه

S = فاصله‌بندی اعضای ثانوی، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۲)

S = بار برف (۱ ـ ۴ ـ ۱)

S_x = اساس مقطع الاستیک حول محور قوی، سانتی‌متر به‌توان سه (۶ ـ ۱ ـ ۳)

S'_x = اساس مقطع الاستیک انتهای بزرگتر یک عضو با ارتفاع متغیر حول محور قوی، سانتی‌متر به‌توان سه (پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱)

$(S_x)_{eff}$ = اساس مقطع مؤثر حول محور قوی، سانتی‌متر به‌توان سه (پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۷)

S_{xt} = اساس مقطع الاستیک مربوط به‌بال کششی، سانتی‌متر به‌توان سه (پ ـ ۷ ـ ۲)

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک مربوط به‌بال فشاری، سانتی‌متر به‌توان سه (پ ـ ۷ ـ ۲)

T = نیروی کششی ضریبدار اعمال‌شده به‌یک پیچ، کیلوگرم (۱۰ ـ ۳ ـ ۵)

T_b = بار پیش‌کشیدهٔ مشخصه برای پیچهای پرمقاومت، کیلوگرم (۱۰ ـ ۳ ـ ۵)

U = ضریب تقلیل جهت استفاده در محاسبهٔ سطح مقطع مؤثر (۲ ـ ۳)

U_p, U_s = به‌ترتیب شاخص تنش آب‌انباشتگی بر اعضای اصلی و ثانوی (پ ـ ۱۱ ـ ۲)

V = نیروی اصطکاکی جهت تحمل برش، کیلوگرم (۱۰ ـ ۱۰ ـ ۲)

V_n = مقاومت اسمی برشی، کیلوگرم (۶ ـ ۲ ـ ۲)

V_u = مقاومت برشی لازم، کیلوگرم (پ ـ ۷ ـ ۴)

W = نیروی باد (۱ ـ ۴ ـ ۱)

X_1 = ضریب کمانش تیرها طبق رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۸ بخش ۶ ـ ۱ ـ ۳

X_2 = ضریب کمانش تیرها طبق رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۹ بخش ۶ ـ ۱ ـ ۳

Z = اساس مقطع پلاستیک، سانتی‌متر به‌توان سه

a = فاصلهٔ خالص بین سخت‌کننده‌های عرضی، سانتی‌متر (۶ ـ ۲ ـ ۲)

a = فاصلهٔ بین قطعات اتصال در یک عضو ساخته شده از چند نیمرخ، سانتی‌متر (۵ ـ ۴)

a = کوتاهترین فاصله از لبهٔ یک سوراخ متعلق به‌خار مغزی تا لبهٔ عضو در امتدادی موازی با امتداد نیرو، سانتی‌متر (۴ ـ ۳)

a_r = نسبت سطح مقطع جان به‌سطح مقطع بال فشاری (پ ـ ۷ ـ ۲)

b = عرض عنصر فشاری در مقطع (جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱)

b_e = عرض مؤثر کاهش یافته برای عناصر فشاری لاغر، سانتی‌متر (پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)

b_{eff} = فاصلهٔ مؤثر از لبه، سانتی‌متر (۴ ـ ۳)

b_f = عرض بال، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۱ ـ ۵)

c_1,c_2,c_3 = ضرایب عددی (۹ ـ ۲ ـ ۲)

d = قطر اسمی وسایل اتصال (پرچ یا پیچ)، سانتی‌متر (۹ ـ ۲ ـ ۲)

d = عمق (ارتفاع) کل عضو، سانتی‌متر (۶ ـ ۲ ـ ۱)

d = قطر خار مغزی، سانتی‌متر (۴ ـ ۳)

d = قطر غلتک، سانتی‌متر (۱۰ ـ ۸ ـ ۲)

d_L = عمق انتهای بزرگتر از یک قطعهٔ مهارنشده در عضو با ارتفاع متغیر (پ ـ ۶ ـ ۳)

d_c = عمق خالص جان در حد فاصل انتهای گردی اتصال بال به‌جان (۱۱ ـ ۱ ـ ۵)

d_h = قطر یک سوراخ با اندازه استاندارد، سانتی‌متر (۱۰ ـ ۳ ـ ۹)

d_o = عمق انتهای کوچکتر از یک قطعهٔ مهارنشده در عضو با ارتفاع متغیر (پ ـ ۶ ـ ۳)

e = پایهٔ لگاریتم طبیعی

f = تنش فشاری محاسبه شده در عناصر سخت‌شده، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)

f_a = تنش محوری محاسبه شده در مقطع ستونها، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱ ـ ۵ ـ ۱)

F_{b1} = کوچکترین تنش خمشی محاسبه شده در یک انتهای یک قطعه از عضو با ارتفاع متغیر کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پ ـ ۶ ـ ۳)

F_{b2} = بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده در یک انتهای یک قطعه از عضو با ارتفاع متغیر کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پ ـ ۶ ـ ۳)

f'_c = مقاومت فشاری مقرر بتن، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۹ ـ ۲ ـ ۲)

f_o = تنش حاصل از $(1.2D+1.2R)$، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (پ ـ ۱۱ ـ ۲)

f_t = تنش کششی محاسبه‌شده در پیچها یا پرچها، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۰ ـ ۳ ـ ۴)

f_{un} = تنش قائم موردنیاز، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۸ ـ ۲)

f_{uv} = تنش برشی مورد نیاز، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۸ ـ ۲)

f_v = تنش برشی محاسبه‌شده در مقطع پیچها و پرچها، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع (۱۰ـ۳ـ۴)

g = فاصلهٔ عرضی* مرکز تا مرکز پیچها در مسیر گسیختگی (۲ ـ ۲)

g = شتاب ثقل زمین مساوی ۹۸۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه (۱ ـ ۴ ـ ۳)

h = فاصلهٔ خالص بین بالهای تیر، سانتی‌متر، در تیرهای نوردشده از این مقدار، شعاع گردی موجود در محل اتصال بال به‌جان تیر کم می‌شود. در تیرورقهای پیچی یا پرچی، فاصلهٔ بین پیچها یا پرچهای اتصال به‌جان می‌باشد و در تیرورقهای جوشی، فاصلهٔ خالص بین بالهاست (۲ ـ ۵ ـ ۱)

h_c = عمق فرضی جان جهت محاسبات پایداری، سانتی‌متر (۲ ـ ۵ ـ ۱)

h_r = ارتفاع اسمی کنگره (پشت‌بند)، سانتی‌متر (۹ ـ ۳ ـ ۵)

h_s = ضریب استفاده‌شده در رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۴ ـ ۶) برای اعضا با ارتفاع متغیر (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۶)

h_w = ضریب استفاده‌شده در رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۴ ـ ۷) برای اعضا با ارتفاع متغیر (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۷)

j = ضریب تعریف‌شده در رابطهٔ (۶ ـ ۳ ـ ۱) جهت تعیین ممان اینرسی حداقل سخت‌کننده‌های عرضی (۶ ـ ۳)

k = ضریب کمانش ورق جان تیر (۶ ـ ۲ ـ ۲)

k = فاصله از سطح خارجی بال تا انتهای گردی اتصال بال به‌جان، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۱ ـ ۵)

l = بزرگترین طول مهارنشده در راستای یکی از بالها در نقطهٔ بارگذاری، سانتی‌متر (۱۱ ـ ۱ ـ ۵)

l = طول اتکا، سانتی‌متر (۱۰ ـ ۸ ـ ۲)

m = نسبت تنش تسلیم جان به‌تنش تسلیم‌بال و یا تنش بحرانی در تیرهای دوگانه (پ ـ۷ـ۲)

r = شعاع ژیراسیون حاکم، سانتی‌متر (۵ ـ ۲)

r_{To} = مقدار شعاع ژیراسیون r_T برای انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر، سانتی‌متر (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳)

---

* فاصلهٔ عرضی در امتداد عمود بر امتداد تأثیر نیرو اندازه‌گیری می‌شود.

r_T = شعاع ژیراسیون بال فشاری به‌انضمام یک‌سوم از قسمت فشاری جان که حول محوری در صفحهٔ جان محاسبه می‌شود، سانتی‌متر (پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۷)

r_i = شعاع ژیراسیون حداقل یک نیمرخ مستقل در مقطع یک عضو ساخته‌شده از چند نیمرخ، سانتی‌متر (۵ ـ ۲)

r_m = شعاع ژیراسیون نیمرخهای فولادی، لوله و یا قوطی در ستونهای مرکب، برای نیمرخهای فولادی این مقدار نباید از ۰/۳ برابر ضخامت کل مقطع مرکب کمتر باشد، سانتی‌متر (۹ ـ ۲)

$\bar{r}_o$ = شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش، سانتی‌متر (۵ ـ ۳)

r_{ox}, r_{oy} = به‌ترتیب شعاع ژیراسیون حول محور x و y در انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر، سانتی‌متر (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳)

r_x, r_y = به‌ترتیب شعاع ژیراسیون حول محورهای x و y، سانتی‌متر (۶ ـ ۱ ـ ۱ و ۵ ـ ۳)

s = فاصلهٔ طولی از مرکز تا مرکز دو سوراخ متوالی در مسیر گسیختگی، سانتی‌متر (۲ ـ ۲)

t = ضخامت قطعهٔ وصل‌شده، سانتی‌متر (۱۰ ـ ۳ ـ ۶)

t = ضخامت قطعه بحرانی، سانتی‌متر (۱۰ ـ ۳ ـ ۹)

t_f = ضخامت بال، سانتی‌متر (۲ ـ ۵ ـ ۱)

t_f = ضخامت بال اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی‌متر (۹ ـ ۵ ـ ۴)

t_w = ضخامت جان اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی‌متر (۹ ـ ۵ ـ ۴)

t_w = ضخامت جان، سانتی‌متر (۶ ـ ۲ ـ ۱)

w = عرض ورق، فاصلهٔ بین جوشها، سانتی‌متر (۲ ـ ۳)

w = وزن واحد حجم بتن، کیلوگرم بر متر مکعب (۹ ـ ۲)

w_c = پهنای متوسط ماهیچه یا برآمدگی بتن، سانتی‌متر (۹ ـ ۳ ـ ۵)

x = اندیسی که علامت را به‌خمش حول محور قوی ربط می‌دهد.

$x_o y_o$ = مختصات مرکز برش نسبت به‌مرکز سطح، سانتی‌متر (۵ ـ ۳)

y = اندیسی که علامت را به‌خمش حول محور ضعیف ربط می‌دهد.

z = فاصله از انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر که در رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱) برای تغییرات در عمق استفاده می‌شود، سانتی‌متر (پ ـ ۶ ـ ۳)

Δ_{oh} = تغییرشکل انتقالی طبقهٔ ساختمانی مورد بحث، سانتی‌متر (۸ ـ ۱)

γ = نسبت تغییرات عمق (پ ـ ۶ ـ ۳) و نیز اندیس جهت اعضا با ارتفاع متغیر (پ ـ ۶ ـ ۳)

ξ = نمای توانی برای نوع دیگری از معادله اندرکنش تیر ـ ستونها (پ ـ ۸ ـ ۳)

η = نمای توانی برای نوع دیگری از معادله اندرکنش تیر ـ ستونها (پ ـ ۸ ـ ۳)

λ_c = پارامتر لاغری ستونها (۵ ـ ۲)

λ_e = پارامتر لاغری معادل (پ ـ ۵ ـ ۳)

λ_{eff} = نسبت لاغری مؤثر که توسط رابطهٔ (پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲) تعریف می‌گردد (پ ـ ۶ ـ ۳)

λ_p = حد پارامتر لاغری برای عناصر فشرده (۲ ـ ۵ ـ ۱)

λ_r = حد پارامتر لاغری برای عناصر غیرفشرده (۲ ـ ۵ ـ ۱)

μ = ضریب اصطکاک (۱۰ ـ ۱۰ ـ ۲)

ϕ = ضریب مقاومت (۱ ـ ۵ ـ ۳)

ϕ_b = ضریب مقاومت برای خمش (۲ ـ ۱)

ϕ_c = ضریب مقاومت برای فشار (۵ ـ ۲)

ϕ_c = ضریب مقاومت برای ستونهای مرکب با بارگذاری محوری (۹ ـ ۲ ـ ۲)

ϕ_{sf} = ضریب مقاومت برای برش در مسیر گسیختگی (۴ ـ ۲)

ϕ_t = ضریب مقاومت برای کشش (۴ ـ ۱)

ϕ_v = ضریب مقاومت برای برش (۶ ـ ۲ ـ ۲)

فصل ۱

کلیات

۱ـ۱ـ گستره

آیین‌نامهٔ طراحی سازه‌های فولادی به‌روش حالات حدی، به‌عنوان یک روش دیگر طراحی، به موازات «طراحی به‌روش تنشهای مجاز» و «طراحی به‌روش خمیری» شناخته می‌شود.

کاربرد این آیین‌نامه در حدود ساختمانهای معمولی با کاربریهای مندرج در مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران می‌باشد و شامل سازه‌های خاص از قبیل پلهای جاده و راه‌آهن نیست. مقررات مندرج در این آیین‌نامه باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به‌کار رود.

۱ـ۲ـ مبانی طراحی

۱ـ۲ـ۱ـ هدف طراحی

منظور از طرح یک 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 و پایداری کافی برخوردار باشد و :

۱. تحت اثر بارهای متعارف آسیب نبیند.

۲. تحت اثر بارهای استثنایی گسیخته نشود و فرو نریزد.

ب : عملکرد مطلوب

منظور از عملکرد مطلوب این است که سازه برای بهره‌برداری پیش‌بینی شدهٔ ساختمان مزاحمت فراهم نکند و:

۱. تحت اثر بارها و سربارهای متعارف دیگر آن ترک‌خوردگی و تغییرشکل بیش از حد به‌وجود نیاید به‌طوری‌که اجزای غیرسازه‌ای، نظیر نازک‌کاری و تیغه‌ها، دچار آسیب شوند.

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

پ : پایایی

منظور از پایایی این است که مصالح سازه کیفیت خود را در تمام طول عمر پیش‌بینی شده حفظ کنند، به‌طوری‌که در اثر پیری و فرسودگی، ایمنی و قابلیت بهره‌برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

۱ـ۳ـ روش طراحی

۱ـ۳ـ۱ـ روش طراحی در این آیین‌نامه، طراحی در حالات حدی است. در این روش سازه طوری طراحی می‌شود که با ایمنی مشخصی، تحت هیچ یک از شرایط نامساعد بارگذاری به‌هیچ یک از حالات ویژه که اصطلاحاً «حالتهای حدی» نامیده می‌شوند، نرسد.

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 نبوده، از حیز انتفاع ساقط می‌شوند.

حالات حدی به‌دو گروه حالات حدی نهایی (مقاومت) و حالات حدی بهره‌برداری مطابق جدول ۱ ـ ۱، تقسیم می‌شوند.

جدول ۱ ـ ۱ ـ حالات حدی

حالات حدی نهایی (مقاومت)	حالات حدی بهره‌برداری
۱ ـ حالات حدی مقاومت (مشتمل بر تسلیم، گسیختگی، کمانش، تبدیل‌سازه به‌یک مکانیسم)	۵ ـ تغییرشکل
۲ ـ ناپایداری در مقابل واژگونی و تغییرمکان جانبی به‌حدی که شکل هندسی و در نتیجه رفتار سازه را به کلی تغییر دهد	۶ ـ ارتعاش
۳ ـ گسیختگی به‌علت خستگی	۷ ـ خسارات قابل تعمیر به‌علت خستگی
۴ ـ تردشکنی	۸ ـ خوردگی و پایایی

۱ ـ ۳ ـ ۲ ـ در طراحی سازه‌ها علاوه بر بررسی حالات حدی ملاحظات زیر باید رعایت شوند:

الف ـ 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 ـ مقاومت سازه در مقابل آتش‌سوزی با پیش‌بینی تمهیدات خاص، باید تأمین شود. در این مورد رعایت آیین‌نامه‌های خاص این موضوع الزامی است.

پ ـ پایایی سازه در مقابل عوامل خورنده با پیش‌بینی تمهیدات مناسب تأمین شود.

ت ـ طراحی سازه باید جزیی از جریان طراحی، اجرا، و نگهداری تلقی شود.

۱ ـ ۳ ـ ۳ ـ در این آیین‌نامه کنترل در حالات حدی، تنها برای «حالات حدی نهایی» و «حالات حدی بهره‌برداری» با منظور کردن ضرایب جزیی اطمینان صورت می‌گیرد.

۱ ـ ۳ ـ ۴ ـ 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 نهایی وارد به‌سازه باشد:

$$S_u \leq \phi S_n \qquad (۱ - ۱)$$

در رابطهٔ فوق، S_n مقاومت نهایی اسمی عضو در مقطع مورد نظر و S_u تلاشهای موجود در آن مقطع تحت اثر بارهای نهایی است که مقاومت مورد نیاز نیز خوانده می‌شود. ϕ را ضریب تقلیل مقاومت و ϕS_n را مقاومت نهایی طرح نامند.

۱ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۱ ـ مقاومت نهایی اسمی S_n

مقاومت نهایی اسمی S_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 ایمنی مقاومت ϕ باید اثر داده شوند. مقدار ضریب ایمنی ϕ و مقاومت نهایی اسمی برای هر تلاش خاص در فصول مربوطه ارائه شده‌اند.

۱ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۲ ـ ضرایب تقلیل مقاومت ϕ

در این آیین‌نامه، ضرایب تقلیل مقاومت ϕ به‌شرح زیر در نظرگرفته می‌شود:

$\phi_c = 0.85$ (برای فشار محوری)

$\phi_v = 0.90$ (برای برش)

$\phi_b = 0.90$ (برای لنگر خمشی)

$\phi_t = 0.90$ (برای تسلیم عضو کششی)

$\phi_t = 0.75$ (برای شکست عضو کششی)

۱ ـ ۳ ـ ۴ ـ ۳ ـ تلاشهای نهایی S_u

تلاشهای نهایی S_u در مقاطع مختلف سازه، شامل لنگرهای خمشی، نیروهای محوری، نیروهای برشی و لنگرهای پیچشی باید براساس تحلیل سازه تحت اثر بارهای نهایی و ترکیبات مختلف آنها تعیین شود. در این مورد باید نامساعدترین شرایط بارگذاری و ترکیبات آن در نظر گرفته شود. نامساعدترین وضعیت ممکن است هنگامی رخ دهد که یک یا چند مورد از بارها مؤثر نباشند. ترکیبات بارگذاری زیر همراه با ضرایب تشدید مربوطه باید بررسی شوند:

$1.4D$

$1.25D+1.5L$

$D+1.2L\pm(1.4E$ یا $1.2W)$

$0.85D\pm(1.4E$ یا $1.2W)$

$1.25D+1.5L+(1.5H$ یا $1.25F)$

$0.85D+(1.5H$ یا $1.25F)$

$D+1.2L+T$

$1.25D+1.25T$

در ترکیبات فوق:

$D=$ بار مرده

$L=$ بار زنده برحسب نوع استفاده از ساختمانها و کلیهٔ تجهیزات متحرک (شامل بار برف و برکه‌ای شدن آب باران)

$E=$ بار زلزله

$W=$ بار باد

$H=$ فشار جانبی خاک یا آب تحت‌الارضی

F = فشار مایع

T = اثر تجمعی حرارت و نشست تکیه‌گاهی

۱ـ۳ـ۵ـ کنترل برای حالت حدی بهره‌برداری

هر سازه و هر کدام از اعضا، اتصالات، وسایل اتصالات، باید به‌لحاظ حالت حدی بهره‌برداری مورد کنترل قرار گیرند. ضوابط طراحی مربوط به‌حالت حدی بهره‌برداری در فصل ۱۲ ارائه شده است. در حالت حدی بهره‌برداری ضرایب تشدید بار مساوی واحد فرض می‌شوند.

۱ـ۴ـ انواع سیستمهای سازه‌ای

در این آیین‌نامه 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، تعیین‌کنندهٔ ابعاد اعضای سازه، نوع و مقاومت اتصالات مربوطه می‌باشد.

گروه ۱ ـ قابهای خمشی : (قابها با اتصالات صلب) که در آنها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون به‌اندازهٔ کافی صلب است به‌طوری که در تغییرشکل قاب، زاویهٔ اولیهٔ بین تیر و ستون ثابت باقی می‌ماند.

گروه ۲ ـ قابهای ساده : که در آنها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری است. در مورد بار قائم، اتصال انتهای تیرها و شاهتیرها فقط برای انتقال برش تعبیه شده است و می‌تواند تحت اثر بار قائم، آزادانه دوران کند.

گروه ۳ ـ قابهای نیمه‌صلب : که در آنها فرض می‌شود اتصال انتهای تیرها و شاهتیرها دارای ظرفیت خمشی به‌مقداری مشخص و قابل اطمینان، بین صلبیت گروه ۱ و انعطاف‌پذیری گروه ۲ می‌باشد.

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

استفاده از قابهای گروه ۱ در ساختمانها در همهٔ حالتها مجاز است.

استفاده از قابهای گروه ۲ در ساختمانها در صورتی مجاز است که شرایط زیر برآورده گردد:

الف) دستگاه مقاوم در مقابل بار جانبی حاصل از باد یا زلزله (دهانه‌های بادبندی شده یا دیوارهای برشی و یا قابهای خمشی) برای ساختمان تعبیه شود و محاسبه نشان دهد که پایداری ساختمان و اعضای تشکیل‌دهندهٔ آن در مقابل نیروهای جانبی در حدی قابل قبول می‌باشد.

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

پ) اتصالات تیر و ستون 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.

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

۱ـ۵ـ مصالح فولادی

مصالح به‌کار رفته شامل نیمرخها، ورقها، تسمه‌ها، میلگردها، پرچها، پیچها، واشرها، مهره‌ها، میل‌مهارها، الکترودها و سایر موارد باید با استانداردهای ملی ایران مطابق باشد. در صورتی‌که برای بعضی از مصالح، استاندارد ایران تهیه نشده باشد، می‌توان یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی (ترجیحاً استاندارد ISO) را مورد استفاده قرار داد.

۱ـ۶ـ بارهای محاسباتی

بارهای محاسباتی باید با مشخصات استاندارد شمارهٔ ۵۱۹ و ۲۸۰۰ ایران منطبق باشد.

۱ـ۶ـ۱ـ بار مردهٔ به‌کار رفته در طرح و محاسبه باید شامل وزن کلیهٔ اجزای ساختمان با احتساب اجزای فولادی و وسایل ثابت باشد.

۱ـ۶ـ۲ـ بار زنده (سربار) باید شامل کلیهٔ بارهای مؤثر اضافی که در نتیجهٔ استفاده و بهره‌برداری از ساختمان بر آن تحمیل می‌گردد، باشد. بارهای زنده به‌دو دسته بارهای ایستا و بارهای ضربه‌ای تقسیم می‌شوند که اثرات ضربه در بارهای ضربه‌ای باید طبق آیین‌نامهٔ ۵۱۹ به‌نحو مقتضی

اعمال گردد. در موارد ذیل باید ضریب ضربه و اثر دینامیکی بار زنده منظور شود:

۱. برای تکیه‌گاه آسانسور

۲. برای تیرها و اتصالات حامل جرثقالهای سقفی متحرک

۳. برای تکیه‌گاه ماشینهای دورانی و تناوبی

۴. برای اثر دینامیکی وسایل نقلیه در پارکینگها و دیگر سطوح حرکت آنها

۵. برای آویزهای کششی که کفها و یا بالکنهایی را تحمل می‌کنند.

۶. برای هر نوع بار دینامیکی دیگر

۱-۶-۳- بار باد

اثر بار باد که مقدار آن طبق استاندارد شمارهٔ ۵۱۹ محاسبه می‌گردد، باید در دورهٔ ساخت و بهره‌برداری در نظر گرفته شود.

۱-۶-۴- بار زلزله

اثر زلزله طبق استاندارد شمارهٔ ۲۸۰۰ ایران در نظر گرفته می‌شود. طراحی و محاسبهٔ عناصر باربر و اتصالات آنها باید با توجه به‌تراز شکل‌پذیری لازم در زلزله، انجام شود.

۱-۶-۵- بار برف

شدت بار هموار گستردهٔ معادل بار برف، با توجه به‌منطقه‌ای که سازه در آنجا احداث می‌شود، از استاندارد شمارهٔ ۵۱۹ ایران انتخاب می‌شود.

۱-۶-۶- بارهای در حین اجرا

اسکلت سازه باید قادر به‌حمل بارهای وارده در حین ساختمان باشد. بارهای اجرایی طبق آیین‌نامهٔ ۵۱۹ ایران تعیین می‌شوند.

۱-۶-۷- نیروهای پایداری

باید به‌اثر اضافی بارها در سازهٔ تغییرشکل یافته و یا در هر کدام از عناصر آن، توجهی خاص شود. بررسی پایداری دستگاه مقاوم در برابر بارهای جانبی شامل مطالعهٔ اثر آنها در تیرها، شاهتیرها، ستونها، اعضای بادبندی، اتصالات و دیوارهای برشی می‌باشد.

۱ـ۷ـ بارگذاری

برای تعیین حداکثر تلاش در مقاطع مختلف در تیرهای یکسره و قابها، می‌توان محل بارهای مرده و زنده را مطابق بندهای زیر در نظر گرفت:

الف : در تعیین حداکثر تلاشها در تیرها

۱. بار مرده در تمام دهانه‌ها و بار زنده در دو دهانهٔ مجاور

۲. بار مرده در تمام دهانه‌ها و بار زنده در دهانه‌های یک‌درمیان

۳. بار مرده و زنده در تمام دهانه‌ها

ب : در تعیین حداکثر تلاش در ستونها

۱. بار مرده در تمام دهانه‌ها و بار زنده در دهانهٔ بزرگتر مجاور ستون مورد نظر و فقط در طبقهٔ مورد بررسی.

۲. حالتی از بارگذاری بار زنده که در آن، حداکثر خارج قسمت لنگرهای خمشی به‌بارهای محوری در ستون حاصل شود.

۳. بارمرده و زنده در تمام دهانه‌ها

اگر مقدار بار زنده کوچکتر یا مساوی ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع بوده و از سه‌چهارم بار مرده تجاوز ننماید، در هر دو بند الف و ب، فقط بارگذاری حالت ۳ کافی خواهد بود.

۱ـ۸ـ تحلیل سازه

در این آیین‌نامه، روشهای تحلیل زیر مجاز می‌باشد:

۱ـ *تحلیل خطی*

در این روش تحلیل، کلیهٔ تلاشها در مقاطع مختلف سازه با فرض خطی بودن رفتار مصالح و کوچک بودن تغییرشکلهای ایجاد شده و براساس تئوری الاستیسیته تعیین می‌شوند.

۲ـ *تحلیل خطی با بازپخش محدود*

در این روش، فرضهای منظورشده عیناً مانند روش تحلیل خطی است. علاوه‌بر 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 و شاهتیرهای یکسره و یا با اتصال صلب به‌ستون، می‌توانند برای $\frac{۹}{۱۰}$ لنگر منفی حداکثر تکیه‌گاهی حاصل از بارهای ثقلی طراحی گردند، به‌شرطی که برای چنین اعضایی حداکثر لنگر مثبت به‌میزان $\frac{۱}{۱۰}$ نصف مجموع قدر مطلق دو لنگر منفی تکیه‌گاهی افزایش داده شود. این تقلیل نباید در مورد لنگرهای حاصل از بارگذاری روی تیرهای طره، اعمال گردد. در صورتی‌که لنگرهای منفی مذکور به‌وسیلهٔ ستونی که به‌شکل صلب به‌تیر و یا شاهتیر قاب شده است تحمل گردد، این تقلیل $\frac{۱}{۱۰}$ را می‌توان در طراحی ستون مذکور در مقابل اثر ترکیب بار محوری و لنگر خمشی نیز منظور کرد، به‌شرطی که تنش محوری حاصل از اعمال همزمان هر گروه از بارهای محوری بر عضو مورد بحث از $0.15F_a$ تجاوز ننماید. F_a مقاومت محوری طرح عضو می‌باشد.

باز پخش لنگرهای ناشی از نیروهای جانبی باد یا زلزله مجاز نیست.

۳ـ *تحلیل غیرخطی*

در این روش تحلیل، کلیهٔ تلاشها با توجه به‌رفتار غیرخطی مصالح و یا با توجه به‌اثر تغییرشکلهای زیاد در سازه که به «رفتار غیرخطی هندسی» معروف است، تعیین می‌شوند.

۴ـ *تحلیل حدی (تحلیل خمیری)*

در این روش تحلیل، کلیهٔ تلاشها با فرض رفتار صلب ـ خمیری قطعات و با استفاده از تئوری پلاستیسیته با بررسی مکانیسمهای خرابی تعیین می‌شوند.

۱ـ۹ـ مدارک طراحی و محاسبه

۱ـ۹ـ۱ـ نقشه‌ها

نقشه‌های سازه باید طرح کامل مقاطع، محل قرارگرفتن اعضای سازه نسبت به‌یکدیگر، تراز کفهای ساختمانی، محورهای ماربر مرکز ستونها، پیش‌آمدگیها و پس‌نشستگیها با اندازه‌های مربوط را شامل باشد.

در مدارک طراحی و محاسبه باید گروه یا گروههای سازه‌ای مفروض قید 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، به‌طوری‌که با مراجعه به‌آنها بتوان نقشه‌های اجرایی کارگاهی را تهیه کرد.

اگر استفاده از پیچهای با مقاومت زیاد، برای اتصالات موردنظر باشد، مدارک طرح و محاسبه و نقشه‌ها باید نوع اتصال را از نظر طرز 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.

۱ـ۹ـ۲ـ حروف، علائم و یادداشتهای فنی

در مدارک محاسباتی و ترسیم نقشه‌ها باید از حروف و علائمی که به‌طور استاندارد از طرف مراجع ملی تعیین می‌شود، استفاده نمود. در صورت ناکافی بودن آنها، استفاده از علائم دیگر به‌همراه توضیحات کافی، به‌منظور جلوگیری از هرگونه اشتباه و سوءتعبیر احتمالی، مجاز می‌باشد.

یادداشتهای فنی برای تفهیم روش کار و یا نتایج مورد نظر باید روشن و منجز باشد. در اتصالاتی که برای کم‌کردن تنشهای پسماند جوشکاری و جلوگیری از تاب برداشتن قطعات، باید از تکنیک و ترتیب خاصی و یا از تعداد عبور جوشکاری معینی پیروی شود، لازم است آن روش دقیقاً در مدارک و نقشه‌ها توضیح داده شود.

۱ـ۱۰ـ شکل‌پذیری

ضوابط موجود در متن اصلی این آیین‌نامه، احتیاجات شکل‌پذیری متوسط در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ را تأمین می‌نماید. برای تأمین شکل‌پذیری زیاد، باید به‌آیین‌نامه‌های مخصوص مراجعه نمود.

فصل ۲

مقررات عمومی

این فصل حاوی مقرراتی است که برای تمام فصول کلیت دارد.

۲ـ۱ـ سطح مقطع کلی

سطح مقطع کلی A_g هر عضو در هر مقطع، برابر مجموع حاصلضرب ضخامت در عرض کل هر جزء از مقطع می‌باشد که در امتداد عمود بر محور عضو اندازه‌گیری می‌شوند. در مورد نبشیها، عرض کل عبارت است از مجموع عرض دو ساق منهای ضخامت.

۲ـ۲ـ سطح مقطع خالص

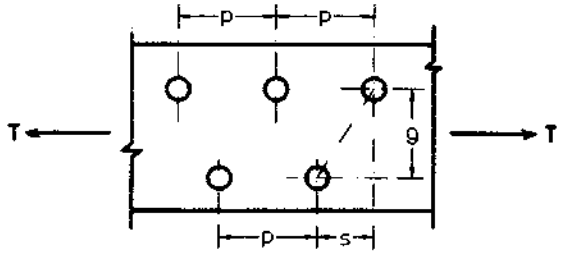
سطح مقطع خالص هر عضو برابر مجموع حاصلضرب ضخامت در عرض خالص هر جزء از مقطع می‌باشد و به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

در محاسبهٔ سطح مقطع خالص در کشش، قطر سوراخ پیچ یا پرچ باید به‌اندازهٔ ۲ میلی‌متر بزرگتر از بعد اسمی سوراخ در امتداد عمود بر راستای تنش وارده در نظر گرفته شود. برای برش همان قطر اسمی سوراخ منظور می‌شود.

برای زنجیره‌ای از سوراخها که در عرض قطعه بر روی یک خط گسیختگی مورب یا زیگزاگ قرار دارند، عرض خالص عضو برابر است با عرض کل، منهای مجموع قطر سوراخها یا عرض شیارهای واقع در روی مسیر گسیختگی، به‌اضافهٔ مقدار $s^2/4g$ به‌ازای هر فاصلهٔ عرضی بین خطوط پیچها. در رابطهٔ فوق:

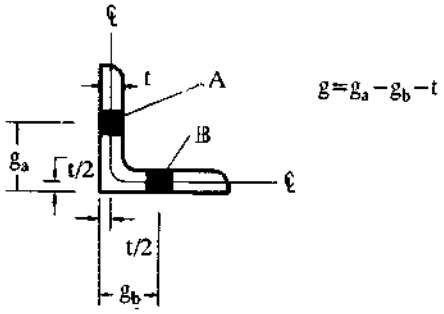
s= فاصلهٔ مرکز تا مرکز دو سوراخ متوالی در امتداد نیرو (cm). به s گام طولی گفته می‌شود.

g= فاصلهٔ مرکز تا مرکز بین دو خط پیچ یا پرچ در امتداد عرضی (cm). به g، گام عرضی گفته می‌شود.



شکل ۲ ـ ۱

در مورد نبشیها، فاصلهٔ عرضی بین دوخط پیچ یا پرچ که در دوبال مجاور نبشی قرار دارند،باید مساوی مجموع فواصل هر خط پیچ یا پرچ تا رأس نبشی، منهای ضخامت نبشی در نظر گرفته شود.



شکل ۲ ـ ۲

سطح مقطع خالص بحرانی یک عضو، A_n عبارت از سطح مقطعی می‌باشد که از خط گسیختگی که کمترین عرض خالص را به‌دست بدهد، ایجاد شود.

در مقطعی که یک جوش انگشتانه یا کام را قطع می‌نماید، ضخامت فلز جوش را نباید در محاسبهٔ سطح مقطع خالص منظور نمود.

۲ ـ ۳ ـ سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی

سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱. چنانچه بار به‌وسیلهٔ پیچ یا پرچ یا جوش مستقیماً به‌کلیهٔ اجزای مقطع منتقل گردد، سطح مقطع خالص موثر A_e برابر سطح مقطع خالص A_n می‌باشد.

۲. چنانچه بار کششی به‌وسیلهٔ پیچ یا پرچ یا جوش توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام

آن) منتقل گردد، سطح مقطع مؤثر A_e به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$A_e = AU \qquad (۲-۳-۱)$$

که در آن:

U= ضریب کاهش طبق رابطهٔ

$$U = 1 - \bar{x}/L \le 0.9 \qquad (۲-۳-۲)$$

$\bar{x}$= برون‌محوری اتصال

L= طول اتصال در امتداد نیرو

در صورت آزمایش و یا اثبات به‌طریق منطقی، می‌توان از U بزرگتری استفاده نمود.

A= طبق تعاریف زیر:

الف: وقتی که بارکششی توسط پیچ یا پرچ منتقل گردد:

$A = A_n$

= سطح مقطع خالص عضو

ب: وقتی که بارکششی فقط توسط جوش طولی به‌عضوی غیر از ورق و یا جوش طولی در ترکیب با جوش عرضی منتقل گردد:

$A = A_g$

= سطح مقطع کلی عضو

پ: وقتی‌که بارکششی فقط توسط جوش عرضی منتقل گردد.

A= سطح مقطع عضوی که به‌طور مستقیم اتصال یافته

$U = 1.0$

ت: چنانچه انتقال بار به‌ورق، به‌وسیلهٔ دو خط جوش طولی در امتداد دو لبه در انتهای ورق انجام شود، برای $l \ge w$ داریم:

A= سطح مقطع ورق

و همچنین:

$l > 2w$ ..... $U = 1.0$

$2w > l > 1.5w$ ..... $U = 0.87$

$1.5w > l > w$ ..... $U = 0.75$

l= طول جوش (cm)

w= عرض ورق (فاصلهٔ بین جوشهای طولی) (cm)

تبصره: در مورد ورقهای اتصال اعضای کششی، به‌بخش ۱۰ ـ ۵ ـ ۲ مراجعه شود.

۲ـ۴ـ پایداری

پایداری عمومی کل سازه و هر کدام از اعضای آن باید تأمین گردد.

همچنین تأثیرات قابل توجه بار در روی هندسهٔ تغییرشکل یافتهٔ سازه و یا اجزای آن باید مدنظر قرار گیرد.

۲ـ۵ـ کمانش موضعی

۲ـ۵ـ۱ـ طبقه‌بندی نیمرخهای فولادی

نیمرخهای فولادی به‌سه نوع فشرده، غیرفشرده و لاغر تقسیم می‌شوند.

برای اینکه یک نیمرخ فشرده محسوب شود باید بالها در تمام طول خود به‌طور پیوسته به‌جان یا جانها متصل باشند و نسبت عرض به‌ضخامت عناصر فشاری آن نباید از نسبت عرض به‌ضخامت λ_p مشخص شده در جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ تجاوز نماید. اگر نسبت عرض به‌ضخامت یک یا چند عنصر فشاری نیمرخ از λ_p بزرگتر بوده ولی از λ_r تجاوز ننماید، در این صورت نیمرخ غیرفشرده محسوب می‌گردد. چنانچه نسبت عرض به‌ضخامت از λ_r مشخص شده در جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ تجاوز نماید، در این صورت جزء فشاری به‌عنوان جزء فشاری لاغر به‌حساب می‌آید.

عرض آزاد عناصر با یک لبهٔ متکی

عرض آزاد عناصری که در آنها فقط یک لبهٔ به‌موازات نیروی فشاری متکی می‌باشد، به‌نحو زیر محاسبه می‌شود:

الف: برای بال نیمرخ I و T، عرض b برابر نصف عرض اسمی بال نیمرخ است.

ب : برای بال نبشیها، ناودانیها و مقاطع Z، عرض b برابر عرض اسمی کامل آنها است.

پ : برای ورقها، عرض b برابر فاصلهٔ لبهٔ آزاد تا اولین خط جوش و یا پیچ و پرچ است.

ت : برای تیغهٔ سپریها، d برابر عمق اسمی کامل نیمرخ است.

عرض آزاد عناصر با دو لبهٔ متکی

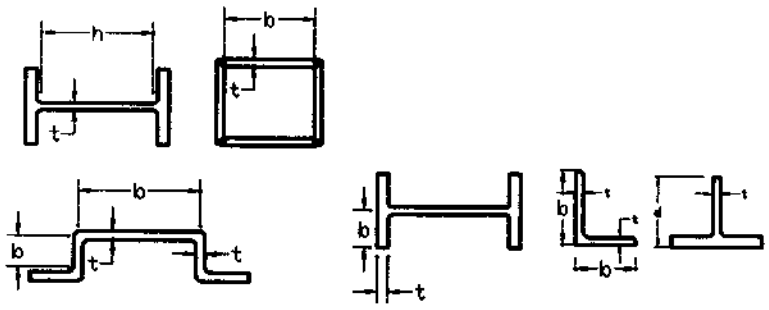
عرض آزاد عناصری که در آنها هر دو لبهٔ به‌موازات نیروی فشاری متکی می‌باشد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف: برای جان نیمرخهای نوردشده یا تاشده، h فاصلهٔ بین آغازگردی ریشهٔ اتصال جان به‌بال

می‌باشد. و h_c دو برابر فاصلهٔ محور خنثی تا آغازگردی ریشهٔ اتصال جان به‌بال فشاری است.

ب : برای جان نیمرخهای ساخته شده از ورق، h برابر فاصلهٔ بین نزدیکترین دو خط پیچ یا پرچ و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h برابر فاصلهٔ آزاد بین دو بال است و h_c دو برابر فاصلهٔ بین محور خنثی و نزدیکترین خط پیچ یا پرچ بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h_c دو برابر فاصلهٔ آزاد بین محور خنثی و بال فشاری است.

پ : در مورد ورق تقویتی مقاطع زوج، عرض b برابر فاصلهٔ دو خط پیچ یا پرچ یا دو خط جوش است.



ت : در مورد بال نیمرخهای جعبه‌ای مربع یا مستطیل، عرض b برابر فاصلهٔ آزاد بین آغازگردی ریشهٔ اتصال بال به‌جان است. اگر شعاع‌گردی مشخص نباشد، عرض b را می‌توان فاصلهٔ پشت به‌پشت جان، منهای سه برابر ضخامت‌جان در نظر گرفت.

در مورد بال نیمرخهای 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.

۲ـ۵ـ۲ـ نیمرخ برای تحلیل خمیری (پلاستیک)

تحلیل پلاستیک در صورتی مجاز است که بالهای فشاری در محدودهٔ مفصل پلاستیک و تمام جانها، دارای نسبت عرض به‌ضخامت کوچکتر یا مساوی λ_p مشخص شده در جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ باشند. در مورد نیمرخهای مدور توخالی به‌تذکر زیر جدول فوق‌الذکر توجه شود.

۲ـ۵ـ۳ـ عناصر فشاری لاغر

برای طراحی خمشی نیمرخهای I شکل، ناودانیها و نیمرخهای جعبه‌ای مربع مستطیل یا گرد که دارای اجزای فشاری لاغر می‌باشند به‌پیوست ۶ ـ ۱ مراجعه شود. در مورد سایر نیمرخهای تحت خمش یا اعضای تحت فشار محوری که دارای عناصر فشاری لاغر هستند، به‌پیوست ۲ ـ ۵ ـ ۳ و در

جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ ـ مقادیر حدی نسبت عرض به‌ضخامت برای عناصر فشاری ($F_y, kg/cm^2$)

	توضیح	نسبت عرض به‌ضخامت	نسبت حدی عرض به‌ضخامت	
			λ_p (فشرده)	λ_r (غیرفشرده)
عناصر فشاری با یک لبهٔ تکیه داده شده	۱ ـ بال نیمرخهای نوردشدهٔ I و ناودانی در خمش	b/t	545 / $\sqrt{F_y}$ (پ)	1180 / $\sqrt{F_y - 700}$
	۲ ـ بال نیمرخهای دوگانه و یا ساخته شده از ورق در خمش	b/t	545 / $\sqrt{F_{yf}}$ (پ)	1355 / $\sqrt{(F_{yf} - 1155)/K_c}$ (ج)
	۳ ـ بال‌نیمرخهای I در فشار خالص	b/t	موردی ندارد	910 / $\sqrt{F_y/K_c}$ (ج)
	۴ ـ بالهای برجستهٔ جفت نبشی که در تماس پیوسته هستند، بالهای ناودانی در فشار خالص، نبشیها و ورقهای برجسته از تیرها یا اعضای فشاری	b/t	موردی ندارد	795 / $\sqrt{F_y}$
	۵ ـ بال اعضای فشاری از نبشی تک و یا زوج با لقمهٔ فاصله‌دهنده و عناصرسخت‌نشده که فقط در یک لبه‌تکیه دارند	b/t	موردی ندارد	640 / $\sqrt{F_y}$
	۶ ـ تیغهٔ نیمرخ T	d/t	موردی ندارد	1065 / $\sqrt{F_y}$

الف: برای تیرهای دوگانه، به‌جای F_y، از تنش تسلیم بال F_{yf} استفاده نمایید.

ب: با فرض مساحت خالص در عریض‌ترین سوراخ

پ: با فرض ظرفیت دورانی غیرالاستیک ۳، برای سازه‌های واقع در مناطق با زلزله‌خیزی شدید، ظرفیت دورانی بزرگتری ممکن است لازم شود.

ت: برای طرح پلاستیک از $91000/F_y$ استفاده کنید.

ث: تنشهای پس‌ماند فشاری در بال مساوی $700\ kg/cm^2$ برای نیمرخ نوردشده و مساوی $1155 kg/cm^2$ برای نیمرخهای جوش‌شده

ج: $0.35 \le K_c \le 0.763$ طبق رابطهٔ $K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$

چ: برای اعضای بال نامساوی به‌پیوست ۲ ـ ۵ ـ ۱ مراجعه شود.

F_y: تنش تسلیم مصالح برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

جدول ۲ـ۵ـ۱ ـ مقادیر حدی نسبت عرض به‌ضخامت برای عناصر فشاری (F_y,kg/cm^2)

	توضیح	نسبت عرض به‌ضخامت	نسبت حدی عرض به‌ضخامت	
			λ_p (فشرده)	λ_r (غیرفشرده)
عناصر فشاری با دو لبهٔ تکیه داده شده	۷ ـ بال نیمرخهای جعبه‌ای مستطیل یا مربع و نیمرخهای قوطی با ضخامت جدار ثابت که تحت خمش یا فشار می‌باشند، ورقهای تقویتی و ورقهای دیافراگم در حدفاصل خطوط جوش یا پیچ و پرچ	b/t	$1595 / \sqrt{F_y}$	$1995 / \sqrt{F_y}$
	۸ ـ عرض تکیه داده نشدهٔ ورقهای تقویتی مشبک (ب)	b/t	موردی ندارد	$2660 / \sqrt{F_y}$
	۹ ـ جان در فشار خمشی (الف)	h/t	$5355 / \sqrt{F_y}$ (پ)	$8115 / \sqrt{F_y}$ (چ)
	۱۰ ـ جان تحت اثر توأم خمش و فشار محوری	h/t	$P_u / \phi_b P_y \le 0.125$ (پ) $\frac{5355}{\sqrt{F_y}}\left(1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y}\right)$ $P_u / \phi_b P_y > 0.125$ (پ) $\frac{1600}{\sqrt{F_y}}\left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y}\right) \ge \frac{2120}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{8115}{\sqrt{F_y}}\left(1 - 0.75\frac{P_u}{\phi_b P_y}\right)$ (چ)
	۱۱ ـ نیمرخ دایره‌ای توخالی			
	در فشار محوری	D/t	$144900 / F_y$ (ت)	$231000 / F_y$
	در خمش	D/t	$144900 / F_y$ (ت)	$627900 / F_y$
	۱۲ ـ سایرعناصرسخت‌شده، منکی در دو لبهٔ موازی نیرو، که دربالا ذکر نشده‌اند و تحت فشار بکنواخت می‌باشند.	b/t h/t	موردی ندارد	$2120 / \sqrt{F_y}$

مورد تیرورقها با جان لاغر به‌فصل ۷ مراجعه شود.

۲ـ۶ـ مهاربندی در تکیه‌گاهها

تیرها، شاهتیرها و خرپاها باید در محل تکیه‌گاهها در مقابل دوران حول محور طولی (چپ‌شدگی) مهار شوند.

۲ـ۷ـ محدودیتهای ضرایب لاغری

در مورد اعضایی که براساس نیروی فشاری طراحی می‌گردند، ضریب لاغری Kl/r نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید.

در مورد اعضایی که براساس نیروی کششی طراحی می‌شوند، ضریب لاغری L/r ترجیحاً نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید. این محدودیت شامل میله‌های کششی نمی‌گردد. در اعضایی که طراحی آنها بر مبنای بارکششی قرار دارد ولی در شرایط دیگری ممکن است تحت مقداری فشار قرار گیرند، لازم نیست محدودیت لاغری اعضای فشاری را برآورده نمایند.

۲ـ۸ـ دهانه‌های ساده

طول دهانهٔ تیرها، شاهتیرها و خرپاهایی که به‌صورت دهانهٔ ساده طراحی می‌شوند، باید مساوی فاصلهٔ مراکز ثقل اعضای تکیه‌گاهی در نظر گرفته شود.

۲ـ۹ـ گیرداری انتهایی

وقتی‌که انتهای اعضا به‌علت یکسرگی یا طره‌ای بودن دهانه، به‌صورت صلب یا نیمه‌صلب طراحی گردد، باید این اعضا و اعضای تکیه‌گاهی برای نیروهای حاصل از این فرضیات طراحی گردند، مگر قسمتهایی از اتصال که مقداری تغییرشکلهای غیرالاستیک، ولی خودمحدود، در آنها اجازه داده شده است.

۲ـ۱۰ـ تناسبات هندسی تیرها و شاهتیرها

تیرهای نوردشده، جوشی، تیرورقها، و تیرها با ورق تقویتی بال، باید برمبنای ممان اینرسی مقطع

کلی طراحی گردند. در صورت برقراری رابطهٔ زیر، لازم نیست بابت سوراخهای پرچ و پیچ موجود در بال، کاهشی در مشخصات هندسی مقطع در نظر گرفته شود:

$$0.75 F_u A_{fn} \geq 0.9 F_y A_{fg} \qquad (۲ - ۱۰ - ۱)$$

که در آن:

A_{fg}= سطح مقطع کلی بال

A_{fn}= سطح مقطع خالص بال که براساس بندهای ۲ ـ ۱ و ۲ ـ ۲ محاسبه شده است.

F_u= حداقل مقاومت کششی مقرر

F_y= تنش تسلیم

در صورت برقراری شرط زیر:

$$0.75 F_u A_{fn} < 0.9 F_y A_{fg} \qquad (۲ - ۱۰ - ۲)$$

مشخصات خمشی عضو باید براساس سطح مقطع مؤثر بال کششی (A_{fe}) محاسبه گردد. داریم:

$$A_{fe} = \frac{5}{6} \frac{F_u}{F_y} A_{fn} \qquad (۲ - ۱۰ - ۳)$$

تیرهای دوگانه را می‌توان براساس سطح مقطع کل طراحی نمود، مشروط بر اینکه نیروی محوری بیشتر از ϕ_b برابر $0.15 A_g F_{yf}$ بر آنها وارد نشود که F_{yf} تنش تسلیم فولاد بال است. قایل شدن محدودیتی بر تنش خمشی جان ضرورت ندارد. در یک تیر دوگانه، سطح مقطع و جنس فولاد بال باید در طول دهانه ثابت باشد.

ضخامت و عرض بال تیرهای نوردشده و تیرورق را می‌توان به‌کمک ورقهای تقویتی بال تقویت نمود.

سطح مقطع کل ورق تقویتی در تیرورقهای پرچی و پیچی نباید از ۷۰ درصد سطح مقطع کل بال تجاوز نماید. در تیرهای نوردشده و جوشی، ارجح است مساحت ورق تقویت بزرگتر از مساحت بال نشود.

پیچهای پرمقاومت، پرچها، و جوشهای اتصال‌دهندهٔ بال به‌جان و ورق تقویتی به‌بال باید برمبنای 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 مقادیر حداکثر ارائه شده در بند ۵ ـ ۴ برای اعضای فشاری و بند ۴ ـ ۲ برای اعضای کششی تجاوز نماید. این پیچها، پرچها و جوشها باید برای انتقال هر نیرویی که مستقیماً از طریق بال به‌جان منتقل می‌شود، طراحی گردند، مگر اینکه این نیرو به‌طریقی دیگر به‌جان انتقال یابد.

ورقهای تقویتی که در تمام طول دهانه ادامه ندارند، باید بعد از نقطهٔ قطع تئوری به‌طول مشخصی ادامه یافته و در این طول توسط پیچهای پرمقاومت اصطکاکی، پرچ، و یا جوش گوشه به‌بال جوش شوند. طول ادامه یافته باید برای انتقال نیروی سهمی ورق تقویتی که طبق بندهای ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ و یا ۱۱ ـ ۳ محاسبه می‌شود، کافی باشد.

برای ورقهای تقویتی جوشی، طول ادامه‌یافتهٔ a' که از انتهای ورق اندازه‌گیری می‌شود، به‌شرح زیر تعریف می‌گردد:

الف: مساوی عرض ورق تقویت وقتی‌که جوش گوشهٔ پیوسته با اندازه‌ای بزرگتر یا مساوی $\frac{۳}{۴}$ ضخامت ورق، در انتها و دو طرف ورق در طول a' اجرا گردد.

ب : مساوی ۱/۵ برابر عرض ورق تقویت وقتی‌که جوش گوشهٔ پیوسته با اندازه‌ای کوچکتر از $\frac{۳}{۴}$ ضخامت ورق، در انتها و دو طرف ورق در طول a' اجرا گردد.

پ : مساوی ۲ برابر عرض ورق تقویت وقتی‌که جوش گوشهٔ پیوسته فقط در دو طرف ورق تقویت به‌طول a' اجرا گردد.

فصل ۳

قابها و سایر سازه‌ها

این فصل حاوی احتیاجات عمومی برای پایداری کلی سازه‌هاست.

۳ ـ ۱ ـ آثار درجه دوم (آثار ثانویه)

در طراحی قابها باید آثار درجه دوم ($P\Delta$) منظور شود.

در سازه‌هایی که بر پایهٔ تحلیل خمیری (پلاستیک) طراحی می‌شوند، مقاومت خمشی لازم (لنگر نهایی) M_u، باید بر پایهٔ یک تحلیل خمیری درجه دوم که احتیاجات بخش ۳ ـ ۲ را تأمین می‌نماید، تعیین گردد. در سازه‌هایی که بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی (الاستیک) طراحی می‌شوند، لنگر نهایی M_u برای تیرستونها، اتصالات، و اعضای متصل‌شده به‌آنها، باید بر پایهٔ یک تحلیل ارتجاعی درجه دوم و یا تحلیل درجه دوم تقریبی زیر تعیین گردد:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \qquad (۳ ـ ۱ ـ ۱)$$

که در آن:

M_{nt} = لنگر نهایی در عضو با فرض عدم انتقال جانبی در قاب حاصل از یک تحلیل ارتجاعی درجه اول

M_{lt} = لنگر نهایی در عضو فقط به‌علت انتقال جانبی در قاب حاصل از یک تحلیل ارتجاعی درجه اول

$$B_1 = \frac{C_m}{(1 - P_u / P_{e1})} \geq 1 \qquad (۳ ـ ۱ ـ ۲)$$

$$P_{e1} = \frac{A_g F_y}{\lambda_c^2}$$

$\lambda_c = \dfrac{Kl}{r\pi}\sqrt{\dfrac{F_y}{E}}$ (پارامتر لاغری)

K= ضریب طول مؤثر کمانش در صفحهٔ خمش که طبق بخش ۳ ـ ۲ ـ ۱ برای قاب مهارشده تعیین می‌گردد.

P_u= نیروی محوری نهایی عضو مورد نظر

C_m= ضریبی بر پایهٔ تحلیل ارتجاعی (الاستیک) درجه اول قاب با فرض عدم انتقال جانبی قاب که مقدار آن به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

الف ـ برای اعضای فشاری بدون بار جانبی بین تکیه‌گاهها در صفحهٔ خمش:

$$C_m=0.6-0.4(M_1/M_2) \qquad (۳ ـ ۱ ـ ۳)$$

که در آن M_1/M_2 نسبت لنگر انتهایی کوچکتر به‌لنگر انتهایی بزرگتر در قطعهٔ واقع بین دو نقطهٔ مهارشده در صفحهٔ خمش موردنظر است. در صورتی‌که انحنای قطعه مضاعف باشد، این نسبت مثبت و در صورتی‌که انحنای قطعه ساده باشد، این نسبت منفی است.

ب ـ برای اعضای فشاری تحت بار جانبی بین تکیه‌گاهها در صفحهٔ خمش، مقدار C_m بر پایهٔ یک تحلیل منطقی یا استفاده از مقادیر زیر تعیین گردد:

برای اعضایی که دارای دو انتهای گیردار در مقابل دوران هستند $C_m=0.85$

برای اعضایی که دارای دو انتهای آزاد در مقابل دوران هستند $C_m=1.00$

$$B_2=\frac{1}{1-\sum P_u\left(\frac{\Delta_{oh}}{\sum HL}\right)} \qquad (۴ ـ ۱ ـ ۳)$$

یا:

$$B_2=\frac{1}{1-\frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}} \qquad (۵ ـ ۱ ـ ۳)$$

که در آن:

ΣP_u= نیروی محوری نهایی تمام ستونهای طبقه

Δ_{oh}= تغییرشکل جانبی

ΣH= برش طبقه

L= ارتفاع طبقه

$$P_{e2}=\frac{A_g F_y}{\lambda_c^2}$$

$$\lambda_c=\frac{Kl}{r\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{(پارامتر لاغری)}$$

K= ضریب طول مؤثر کمانش در صفحهٔ خمش که طبق بخش ۳ ـ ۲ ـ ۲ برای قاب مهار نشده تعیین می‌گردد.

۳ ـ ۲ ـ پایداری قاب

۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ قابهای مهارشده

در خرپاها و قابها که پایداری جانبی توسط بادبند قطری، دیوار برشی یا سیستمهای مشابه آنها تأمین شده است، ضریب طول مؤثر K برای اعضای فشاری باید برابر یک منظور شود مگر اینکه تحلیل سازه نشان دهد که می‌توان مقدار کمتری منظور نمود.

سیستم بادبندی قائم سازهٔ چند طبقهٔ مهاربندی شده، باید برای جلوگیری از کمانش سازه و حفظ پایداری جانبی آن، مشتمل بر اثر واژگونی انتقال جانبی، تحت بارهای نهایی (ضریبدار) ارائه شده در بخش ۱ ـ ۳، براساس نتایج حاصل از تحلیل سازه، کافی باشد.

می‌توان فرض نمود که سیستم بادبندی قائم سازه چند طبقه، همراه با دیوارهای برشی داخلی و خارجی و سقف‌طبقات و بام که به‌نحومناسب به‌سازه متصل‌هستند، توأماً عمل می‌نمایند. ستونها، شاهتیرها، تیرها و عضوهای قطری، چنانچه به‌عنوان سیستم بادبندی قائم منظور شوند، می‌توانند در تحلیل کمانش سازه و پایداری جانبی آن، به‌عنوان خرپای مفصلی طرهٔ قائم در نظر گرفته شوند. تغییرشکل محوری کلیهٔ اعضای سیستم بادبندی قائم باید در تحلیل پایداری جانبی منظور شود.

شاهتیرها و تیرهای منظور شده در سیستم بادبندی قائم در یک سازهٔ چندطبقه، باید برای نیروی محوری و لنگر ناشی از بارهای افقی و قائم ضریبدار طراحی شوند.

۳ ـ ۲ ـ ۲ ـ قابهای مهارنشده

در قابهایی که پایداری جانبی آنها بستگی به‌سختی خمشی تیرها و ستونهایی دارد که با اتصالات صلب به‌یکدیگر متصل هستند، ضریب طول مؤثر اعضای فشاری (K)، باید از طریق تحلیل سازه محاسبه شود. در طراحی ستونهای قابهای خمشی، باید اثر ناپایدارکنندگی ستونهای تحت بار ثقلی که با اتصال ساده به‌قاب متصل هستند و مقاومتی تحت بارهای جانبی ندارند، در محاسبات منظور گردد. کاهش سختی به‌علت رفتار غیرخطی ستونها مجاز می‌باشد.

تحلیل مقاومت لازم قابهای چندطبقهٔ مهارنشده، باید شامل اثر ناپایداری قاب و تغییرشکل محوری ستونها تحت بارهای نهایی (ضریبدار) ارائه شده در بخش ۱ ـ ۳ باشد.

در طراحی سازه براساس تحلیل خمیری، نیروی محوری ستونها به‌علت بارهای ثقلی نهایی (ضریبدار) به‌علاوهٔ بارهای جانبی نهایی (ضریبدار) نباید از $0.75\phi_c A_g F_y$ تجاوز نماید.

فصل ۴

اعضای کششی

این فصل مربوط است به‌طراحی اعضایی که دارای سطح مقطع ثابت بوده (اعضای منشوری) و تحت نیروی کششی محوری ناشی از بارهای استاتیکی که در امتداد محور مرکزی عضو اثر می‌نمایند، قرار دارند. برای اعضایی که تحت اثر توأم نیروی کششی محوری و لنگر خمشی هستند، به‌بخش ۸ ـ ۱ ـ ۱ ، و برای اعضایی که تحت خستگی قرار دارند، به‌بخش ۱۱ ـ ۳، برای میله‌های حدیده شده به‌بخش ۱۰ ـ ۳ ، و برای اتصال اعضای کششی به‌بخش ۱۰ـ۴ـ۳ و ۱۰ـ ۵ ـ۲ مراجعه نمایید.

۴ ـ ۱ ـ مقاومت کششی طرح

مقاومت طرح اعضای کششی $\phi_t P_n$ باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالات حدی تسلیم روی مقطع کل و گسیختگی روی مقطع خالص منظور شود.

الف ـ برای تسلیم روی مقطع کل

$$\phi_t = 0.90$$

$$P_n = F_y A_g \qquad (۴ ـ ۱ ـ ۱)$$

ب ـ برای گسیختگی روی مقطع خالص

$$\phi_t = 0.75$$

$$P_n = F_u A_e \qquad (۴ ـ ۱ ـ ۲)$$

در روابط فوق:

A_e= سطح مقطع خالص مؤثر

A_g= سطح مقطع کل

F_y= حداقل تنش تسلیم مقرر

F_u= حداقل مقاومت کششی مقرر

P_n= مقاومت محوری اسمی

اگر اعضا فاقد سوراخ بوده و کلاً به‌وسیلهٔ جوش متصل شده باشند، در رابطهٔ ۴ ـ ۱ ـ ۲ سطح مقطع خالص مؤثر باید براساس بخش ۲ ـ ۳ محاسبه شود. چنانچه سوراخهایی در عضو جوش شده درحد فاصل اتصالات انتهایی یا در محل اتصال جوشی در حالت جوشهای انگشتانه و کام وجود داشته باشد، باید در رابطهٔ ۴ ـ ۱ ـ ۲ سطح مقطع خالص در محل سوراخها مورد استفاده قرار گیرد.

۴ ـ ۲ ـ اعضای ساخته شده از چند نیمرخ

فاصلهٔ طولی بین وسایل اتصالی که عناصری مانند یک ورق و یک نیمرخ یا دو ورق در تماس به‌یکدیگر را به‌هم متصل می‌نمایند، نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

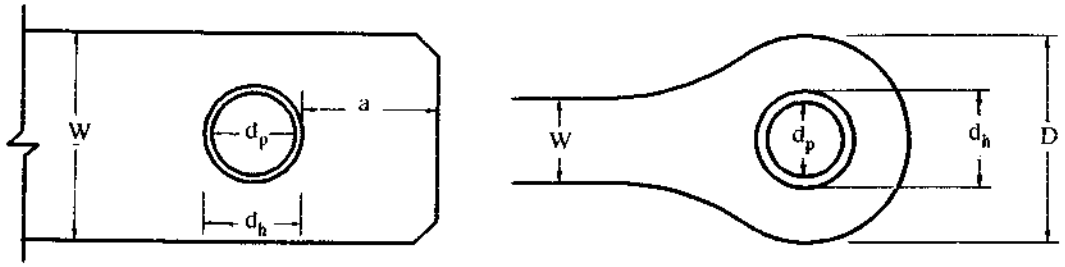
۲۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۳۰ سانتی‌متر برای اعضای رنگ‌شده، یا اعضای رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی قرار ندارند.

۱۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۱۸ سانتی‌متر برای اعضای رنگ‌نشده از فولاد ضدرنگ که تحت شرایط خوردگی قرار دارند. در این‌خصوص به‌بخش ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ نیز مراجعه شود.

فاصلهٔ طولی وسایل اتصال عناصر باید ترجیحاً به‌میزانی باشد که ضریب لاغری هر عنصر بین وسایل اتصال از ۳۰۰ تجاوز ننماید. در اعضای کششی ساخته شده از چند نیمرخ، اتصال عناصر می‌تواند توسط ورقهای تقویتی مشبک یا قید افقی بدون چپ و راست انجام شود. عرض ورق قیدها نباید از $\frac{۲}{۳}$ فاصله بین خطوط جوش یا خطوط پیچ و پرچ که قیدها را به‌عناصر متصل می‌کنند، کمتر باشد. ضخامت این قیدها نباید از $\frac{۱}{۵۰}$ فاصله بین آن خطوط کمتر باشد.

فاصلهٔ طولی بین جوشهای منقطع یا پرچ یا پیچ در قیدها نباید از ۱۵ سانتی‌متر تجاوز نماید. فاصلهٔ قیدهای افقی باید به‌میزانی باشد که ضریب لاغری هر عنصر درحد فاصل دو قید از ۳۰۰ تجاوز ننماید.

۴ـ۳ـ تسمه‌ها با عرض ثابت و اتصالات لولایی با پین[1] و تسمه‌های سرپهن[2]



(الف) تسمهٔ سرپهن (ب) تسمه با عرض ثابت

شکل ۴ـ۳ـ۱

قطر پین نباید از $\frac{7}{8}$ عرض تنهٔ تسمه کمتر و قطر سوراخ نباید بیش از یک میلی‌متر از قطر پین بزرگتر باشد (به‌ترتیب $d_p \geq \frac{7}{8} W$ و $d_h \leq d_p + 0.1$ cm).

برای فولادهای دارای تنش تسلیم بزرگتر از ۴۹۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، قطر پین نباید از پنج برابر ضخامت تسمه تجاوز نماید و عرض تسمه نیز باید مطابق با آن کاهش داده شود.

در اعضایی که دارای اتصال لولایی هستند، سوراخ پین باید در وسط عرض عضو در امتداد عمود بر راستای نیرو قرار داشته باشد. در اتصالات لولایی که حرکت عضوها نسبت به‌یکدیگر مجاز باشد قطر سوراخ نباید بیش از ۰/۸ میلی‌متر از قطر پین بیشتر باشد. عرض ورق بعد از سوراخ پین، نباید از پهنای مؤثر هر طرف سوراخ کمتر باشد.

در تسمه‌ها با عرض ثابت و اتصالات لولایی با پین، به‌استثنای تسمهٔ سرپهن، حداقل مساحت خالص بعد از انتهای انکایی سوراخ پین، به‌موازات محور عضو، نباید کمتر از $\frac{2}{3}$ سطح مقطع خالص در مقطع سوراخ باشد.

مقاومت طرح اعضا با اتصالات لولایی، کوچکترین مقدار حالات حدی زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف ـ کشش در سطح مقطع مؤثر خالص

$\phi = \phi_t = 0.75$

1– pin (خار مغزی) 2– eyebar

$$P_n = 2t\, b_{eff} F_u \qquad (۱-۳-۴)$$

ب - برش در سطح مقطع مؤثر

$$\phi_{sf} = 0.75$$

$$P_n = 0.6 A_{sf} F_u \qquad (۲-۳-۴)$$

پ - برای لهیدگی در سطح تصویرشدهٔ پین، به‌بخش ۱۰ - ۸ - ۱ مراجعه شود.

ت - برای تسلیم در سطح مقطع کلی، به‌رابطهٔ ۴ - ۱ - ۱ مراجعه شود.

در روابط فوق:

a = کوتاهترین فاصله بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ عضو در امتداد تأثیر نیرو (cm)

$A_{sf} = (a + d_p/2)\, 2t$ (cm^2)

$2t + 1.6cm = b_{eff}$ که نباید بزرگتر از فاصلهٔ واقعی لبهٔ سوراخ تا لبهٔ قطعه در امتداد عمود بر راستای نیروی وارده باشد.

d_p = قطر خار (cm)

t = ضخامت ورق (cm)

گوشه‌های تسمه را بعد از سوراخ خار مغزی می‌توان تحت زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به‌محور پخ زد، مشروط بر اینکه سطح مقطع باقیمانده بعد از سوراخ در صفحه عمود بر خط پخ، کمتر از سطح مقطع لازم بعد از سوراخ، به‌موازات محور عضو نباشد.

مقاومت طرح تسمه‌های سرپهن

مقاومت طرح تسمه‌های سرپهن طبق بخش ۴ - ۱ با A_g مساوی سطح مقطع تنه محاسبه می‌گردد.

ضخامت تسمه‌های سرپهن باید در طول آن یکنواخت باشد و در ناحیهٔ سوراخ مغزی تقویت نشود و دارای سر دایره‌شکل هم‌مرکز با سوراخ پین باشد.

شعاع قوس انتقال بین سر دایره‌شکل و تنهٔ تسمه نباید از قطر دایرهٔ سر کمتر باشد ($r \geq D$).

عرض تنهٔ تسمهٔ سرپهن نباید از هشت برابر ضخامت آن تجاوز کند ($W \leq 8t$).

ضخامت تنهٔ تسمه‌های سرپهن می‌تواند از ۱۲ میلی‌متر کمتر باشد مشروط به‌اینکه مهره‌های خارجی به‌نحوی تعبیه شوند که تماس مناسبی بین صفحات در محل اتصال ایجاد شود. فاصله بین لبهٔ سوراخ تا لبهٔ سر دایره‌شکل در امتداد عمود بر راستای نیرو، باید بزرگتر از $\frac{2}{3}$ و به‌منظور محاسبه، کوچکتر از $\frac{3}{4}$ عرض تنهٔ تسمه باشد ($\frac{2}{3} W \leq h \leq \frac{3}{4} W$).

فصل ۵

ستونها و سایر اعضای فشاری

این فصل مربوط می‌شود به‌طراحی اعضای منشوری (با هندسهٔ مقطع ثابت) که تحت نیروی محوری فشاری در امتداد محور مرکزی عضو قرار دارند. برای اعضایی که تحت اثر توأم نیروی محوری و لنگر خمشی می‌باشند، به‌فصل ۸ و برای اعضا با مقطع متغیر، به‌پیوست پ ـ ۶ ـ ۴ مراجعه شود.

۵ ـ ۱ ـ طول مؤثر و محدودیتهای لاغری

۵ ـ ۱ ـ ۱ ـ طول مؤثر

طول مؤثر کمانشی ستون مساوی Kl در نظر گرفته می‌شود که در آن l طول آزاد عضو فشاری و K ضریب طول مؤثر می‌باشد.

ضریب طول مؤثر K را می‌توان طبق بندهای ۵ ـ ۱ ـ ۲ تا ۵ ـ ۱ ـ ۳ محاسبه نمود، مگر آنکه با انجام تحلیل دقیقی بتوان ضریب طول مؤثر دیگری به‌دست آورد.

۵ ـ ۱ ـ ۲ ـ ضریب طول مؤثر K در اعضای فشاری مهار شده از رابطهٔ ۵ ـ ۱ ـ ۱ محاسبه می‌شود:

$$K=\frac{3\psi_i\psi_j+1.4(\psi_i+\psi_j)+0.64}{3\psi_i\psi_j+2(\psi_i+\psi_j)+1.28}\le 1 \qquad (۵-۱-۱)$$

در این حالت K را همواره می‌توان در جهت اطمینان مساوی ۱ فرض نمود.

ψ= پارامتر نشان‌دهندهٔ شرایط تکیه‌گاهی عضو فشاری و برابر است با نسبت مجموع EI/l ستونها به‌مجموع EI/l تیرهای منتهی به‌گره در یک صفحه

ψ_i و ψ_j مقادیر ψ مربوط به‌دو انتها می‌باشند. برای پای مفصلی و پای گیردار داریم:

$\psi=1$ (پای گیردار) $\psi=10$ (پای مفصلی)

۵ـ۱ـ۳ـ ضریب طول مؤثر K در اعضای فشاری مهار نشده‌ای که در دو انتها با اتصال صلب به‌تیر متصل شده باشند، با استفاده از رابطهٔ ۵ ـ ۱ ـ ۲ به‌دست می‌آید:

$$K=\sqrt{\frac{1.6\psi_i\psi_j+4(\psi_i+\psi_j)+7.5}{\psi_i+\psi_j+7.5}} \qquad (۵ـ۱ـ۲)$$

ψ_i و ψ_j مقادیر ψ مربوط به‌دو انتها می‌باشند.

۵ـ۱ـ۴ـ تحلیل خمیری

تحلیل خمیری با در نظر گرفتن محدودیتهایی که در بخش ۱ ـ ۳ آمده، مجاز است. مشروط بر اینکه λ_c طبق رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴، از $1.5K$ تجاوز ننماید.

۵ـ۲ـ مقاومت فشاری طرح

مقاومت طرح اعضای فشاری که نسبت عرض به‌ضخامت عناصر آنها، از λ_r داده شده در بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ کوچکتر است مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن:

$\phi_c=0.85$

$P_n=A_g F_{cr}$ (۵ـ۲ـ۱)

برای $\lambda_c \le 1.5$

$F_{cr}=(0.658^{\lambda_c^2})F_y$ (۵ـ۲ـ۲)

برای $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr}=\left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right]F_y \qquad (۵ـ۲ـ۳)$$

در رابطهٔ فوق:

$$\lambda_c=\frac{Kl}{r\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} \qquad (۵ـ۲ـ۴)$$

A_g= سطح مقطع کل (cm^2)

F_y= تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)

E= مدول الاستیسیته (kg/cm^2)

K= ضریب طول مؤثر

l= طول مهارنشدهٔ عضو (cm)

r= شعاع ژیراسیون حاکم نسبت به‌محور عمود بر صفحهٔ کمانش (cm).

برای اعضایی که عناصر آنها احتیاجات بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده نمی‌کنند، به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ مراجعه شود.

۵ ـ ۳ ـ مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی ـ پیچشی

مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی ـ پیچشی برای اعضای فشاری از نیمرخ سپری و یا نبشی جفت پشت به‌پشت، که نسبت عرض به‌ضخامت عناصر آن کمتر از λ_r بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ می‌باشد، مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن:

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g F_{crft}$$

$$F_{crft} = \left[\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right]\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right] \qquad (۵ ـ ۳ ـ ۱)$$

که در آن:

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A\,\bar{r}_0^2}$$

$\bar{r}_0$ = شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A}$$

$$H = 1 - \left[\frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2}\right]$$

x_0 و y_0= مختصات مرکز برش نسبت به‌مرکز هندسی مقطع.

x_0= صفر برای جفت نبشی و نیمرخ سپری (yمحور تقارن است).

F_{cry} = طبق‌بخش ۵ ـ ۲ برای کمانش خمشی حول محور تقارن y، بااستفاده‌از $\lambda_c = \frac{K l}{r_y \pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}}$ تعیین می‌شود.

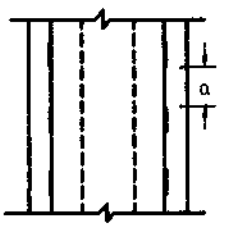
برای نبشی جفت و نیمرخ T که عناصر آن، احتیاجات بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده نمی‌سازند، برای تعیین F_{cry} به‌منظور کاربرد در رابطهٔ ۵ ـ ۳ ـ ۱، به‌پیوست ۲ ـ ۵ ـ ۳ مراجعه شود.

سایر ستونها با مقطع غیرمتقارن و یا متقارن تک‌محوری، مانند ستونهای با نیمرخ نبشی، سپری و همچنین ستونهای متقارن دومحوری، مانند نیمرخهای صلیبی (✝) و یا ستونهای ساخته شده از عناصر خیلی نازک، باید برای کمانش خمشی و پیچشی بررسی گردند. برای تعیین مقاومت نهایی طرح مربوط به‌این حالت حدی نهایی، به‌پیوست ۵ ـ ۳ مراجعه نمایید.

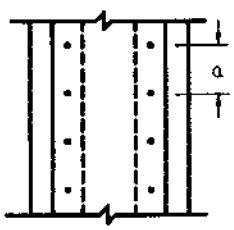
۵ ـ ۴ ـ اعضای فشاری ساخته شده از چند نیمرخ

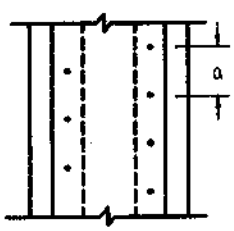
در دو انتهای اعضای فشاری متشکل از چند نیمرخ، که متکی بر کف ستونها یا سطوح صیقلی هستند، تمام اعضای در تماس با یکدیگر، باید توسط جوشی با طولی نه کمتر از حداکثر عرض عضو یا پیچهایی با فواصلی نه بیشتر از چهار برابر قطر، در طولی مساوی ۱/۵ برابر عرض حداکثر عضو، به‌یکدیگر وصل شوند.

درفاصلهٔ بین دو انتهای چنین اعضایی باید از پرچها، پیچها و یا جوشهای منقطع با فواصلی به اندازهٔ کافی‌کوتاه، برای‌انتقال تنشها استفاده نمود. اگر اتصال دونیمرخ یک عضو فشاری مرکب از چند نیمرخ، توسط ورق انجام‌شده باشد، فاصلهٔ‌پرچها، پیچها و یا جوشهای‌منقطعی که ورق‌را به‌نیمرخها متصل می‌نمایند، نباید از ۳۰ سانتی‌متر و یا $1065t/\sqrt{F_y}$ بیشتر شود که در آن t ضخامت نازکترین ورق پوششی به‌کاررفته و F_y تنش تسلیم فولاد مصرفی برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد (شکل ۵ ـ ۱). در صورتی‌که پیچها یا پرچها، در روی خطوطشان به‌محاذات یکدیگر نباشند (شکل ۵ ـ ۲)، حداکثر فاصلهٔ آنها در روی خطوطشان نباید از $1595t/\sqrt{F_y}$ و یا ۴۵ سانتی‌متر بیشتر شود.



شکل ۵ ـ ۱





شکل ۵ ـ ۲

اعضای فشاری که از دو یا چند نیمرخ نورد شده ساخته می‌شوند، باید در فواصل a به‌یکدیگر متصل گردند به‌طوری‌که ضریب لاغری Ka/r_i هر نیمرخ در حدفاصل اتصال، از ۰/۷۵ ضریب لاغری تعیین‌کنندهٔ کل عضو مرکب تجاوز نکند. شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ، ملاک محاسبهٔ ضریب لاغری آن خواهد بود. در طول یک ستون مرکب، حداقل دو نقطهٔ اتصال (به‌شرح بالا) بین دو سر آن باید موجود باشد.

کلیهٔ اتصالات (شامل آنهایی که در دو انتهای عضو هستند) باید جوشی بوده و یا در آنها از پیچهای پرمقاومت اصطکاکی که تا مقدار مقرر تنیده شده‌اند، استفاده شده باشد.

مقاومت طرح اعضای مرکب از دو و یا چند نیمرخ، طبق بخش ۵ ـ ۲ و یا پیوست ۵ ـ ۳ با منظور نمودن اصلاحات زیر محاسبه می‌گردد. اگر مود کمانشی همراه تغییرشکل نسبی باشد که تنشهای برشی در بستهای اتصالی بین نیمرخها ایجاد می‌نمایند، ضریب Kl/r توسط ضریب $(Kl/r)_m$ که به‌نحو زیر محاسبه می‌گردد جایگزین می‌شود:

الف ـ برای اتصالات پیچی که به‌صورت عادی سفت شده‌اند:

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{Kl}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \qquad (۱-۴-۵)$$

ب ـ برای اتصالات جوشی و اتصالات پیچی اصطکاکی با نیروی پیش‌تنیدگی اولیه

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{Kl}{r}\right)_0^2 + 0.82\frac{\alpha^2}{(1+\alpha^2)}\left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2} \qquad (۲-۴-۵)$$

$\left(\frac{Kl}{r}\right)_0$ = ضریب لاغری عضو فشاری به‌عنوان عضو یکپارچه

$\frac{a}{r_i}$ = بزرگترین ضریب لاغری هریک از نیمرخها

$\left(\frac{Kl}{r}\right)_m$ = ضریب لاغری اصلاح‌شدهٔ عضو مرکب از چند نیمرخ

a = فاصله بین بستها و یا لقمه‌های اتصالی

r_i = شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ

$\frac{a}{r_i}$ = لاغری هر نیمرخ تک حول محور مرکزی خودش که موازی محور کمانش می‌باشد.

r_{ib}= شعاع ژیراسیون هر نیمرخ تک، نسبت به‌محور مرکزی خودش که موازی محور کمانش می‌باشد.

α= نسبت انفصال دو نیمرخ (مساوی $(h/2r_{ib})$)

h= فاصلهٔ مراکز ثقل دو نیمرخ در امتداد عمود بر محور کمانش

سطوح جانبی باز اعضای فشاری متشکل از چند نیمرخ را می‌توان توسط ورق پوششی ممتد، که دارای سوراخهای متوالی جهت دسترسی است، پوشاند. طبق مفاهیم بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱، اگر عرض باقیماندهٔ ورق در محل سوراخ، دارای شرایط زیر باشد، می‌تواند در محاسبهٔ مقاومت طرح مورد استفاده قرار گیرد.

الف ـ نسبت عرض به‌ضخامت آن محدودیتهای بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده نماید.

ب ـ نسبت طول سوراخ (در امتداد تنش) به‌عرض آن، از دو تجاوز ننماید.

ج ـ فاصلهٔ خالص بین سوراخها در امتداد تنش، از فاصلهٔ عرضی بین دو خط جوش یا دو خط پیچ و پرچ، کمتر نباشد.

د ـ محیط سوراخها در هیچ جایی، انحنایی با شعاع کمتر از ۴ سانتی‌متر نداشته باشد.

عمل ورقهای پوششی مشبک را می‌توان توسط بستهای چپ و راست نیز انجام داد ـ در این صورت باید در دو انتهای عضو فشاری و همچنین در هر محلی که بستهای چپ و راست قطع می‌شوند، از بست افقی استفاده کرد.

بست افقی انتهایی، باید حتی‌الامکان نزدیک به‌انتهای عضو فشاری باشند. در اعضای اصلی، عرض بست افقی انتهایی، حداقل باید مساوی فاصلهٔ خطوط پیچها یا خطوط جوشهای متصل‌کنندهٔ آنها به‌عناصر عضو فشاری باشند. عرض بستهای افقی میانی باید حداقل برابر نصف این فاصله باشد. ضخامت بستهای افقی نباید از $\frac{1}{50}$ فاصلهٔ مرکز به‌مرکز خطوط اتصالات دو طرف کمتر باشد. در اتصال بستهای افقی توسط جوش، طول خط جوش در هر طرف نباید از $\frac{1}{3}$ طول بست کمتر باشد. در اتصالات پیچ و پرچی، فاصلهٔ پرچها و پیچها در امتداد تنش در بستهای افقی نباید از ۶ برابر قطرشان بیشتر باشد و در اتصال هر طرف بست افقی به‌عناصر عضو فشاری، باید از حداقل سه پیچ استفاده شود.

فاصلهٔ بستهای چپ و راست که می‌توانند از تسمه، نبشی، ناودانی یا نیمرخهای دیگر باشند، باید طوری انتخاب شود که ضریب لاغری L/r بال قطعه بین نقاط اتصال آنها، از ضریب لاغری کل عضو فشاری تجاوز ننماید. بستهای چپ و راست را باید طوری طراحی نمود که بتوانند یک نیروی برشی برابر ۲ درصد مقاومت فشاری طرح را که در امتداد عمود بر محور طولی عضو اثر می‌نماید

تحمل نمایند. ضریب لاغری L/r بستهای چپ و راست ساده نباید از ۱۴۰ تجاوز نماید و در صورتی‌که از بستهای چپ و راست به‌صورت زوج استفاده شود ضریب لاغری بستها نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید. بستهای چپ و راست زوج باید در محل تلاقی با یکدیگر به‌هم متصل شوند.

طول L برای بستهای چپ و راست ساده برابر طول آزاد فاصلهٔ خطوط جوش یا پرچها و پیچهای اتصال دوسر آن و برای بستهای زوج برابر ۷۰ درصد این فاصله باید منظور شود. زاویه بین محور بستهای چپ و راست و محور طولی عضو فشاری باید ترجیحاً در بستهای ساده از ۶۰ درجه و در بستهای زوج از ۴۵ درجه کمتر نباشد. چنانچه فاصله بین خطوط جوش و یا پرچ اتصالات بستهای چپ و راست بر روی بالها از یکدیگر بیشتر از ۳۸۰ میلی‌متر باشد، بهتر است از بستهای زوج یا نیمرخهای نبشی برای آنها استفاده کرد.

۵ ـ ۵ ـ اعضای فشاری دارای اتصالات لولایی

اتصالات لولایی اعضای فشاری لولایی باید با موارد مذکور در بخش ۴ ـ ۳ مطابقت داشته باشند، ولی روابط ۴ ـ ۳ ـ ۱ و ۴ ـ ۳ ـ ۲ شامل آنها نمی‌گردد.

فصل ۶

تیرها و سایر اعضای خمشی

این فصل مربوط است به‌طراحی اعضای منشوری (مقطع ثابت) با مقطع فشرده یا غیرفشرده که تحت تأثیر برش و خمش می‌باشند. برای اعضایی که تحت ترکیب خمش و نیروی محوری می‌باشند به‌فصل ۸، برای اعضا با مقطع متغیر به‌پیوست پ ـ ۶ ـ ۳، برای تیرورقها (تیرها با جان نازک) به‌فصل ۷ و برای اعضا با عناصر فشاری لاغر به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ مراجعه نمایید.

٦ ـ ١ ـ طراحی برای خمش

مقاومت خمشی اسمی M_n یک عضو کمترین مقداری است که بر پایهٔ یکی از حالات حدی زیر به‌دست می‌آید:

(الف) تسلیم

(ب) کمانش پیچشی ـ جانبی

(پ) کمانش موضعی بال

(ت) کمانش موضعی جان

برای تیرها با مقطع فشرده که طول مهارنشدهٔ 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_b است، حالات حدی تسلیم و کمانش پیچشی ـ جانبی باید کنترل 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.

این فصل به‌نیمرخهای همگن و دوگانه که حداقل دارای یک محور تقارن می‌باشند و تحت خمش ساده در حول یک محور اصلی قرار دارند، مربوط می‌شود. برای خمش ساده، تیر باید در صفحه‌ای به‌موازات محور اصلی که از مرکز برش مقطع عبور می‌نماید، بارگذاری شود و یا در محل اعمال بار و تکیه‌گاهها از پیچش آن جلوگیری گردد. در این بخش فقط حالات حدی تسلیم و کمانش پیچشی ـ جانبی مورد توجه قرار می‌گیرد. مقررات کمانش پیچشی ـ جانبی به‌نیمرخهایی با دو محور تقارن، ناودانیها، نبشیهای جفت و سپری محدود می‌شود. برای کمانش پیچشی ـ جانبی سایر نیمرخها با یک محور تقارن و برای حالت حدی کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان نیمرخهای غیرفشرده یا با عناصر لاغر، به‌پیوست ۶ ـ ۱ مراجعه شود. برای نیمرخهای غیرمتقارن و تیرهایی که تحت ترکیب خمش و پیچش قرار دارند، به‌قسمت ۸ ـ ۲ و برای خمش دومحوره به‌قسمت ۸ ـ ۱ مراجعه گردد.

۶ ـ ۱ ـ ۱ ـ حالت حدی تسلیم (نواحی ۱ و ۳ در شکل ۶ ـ ۱)

مقاومت خمشی طرح تیر فولادی در حالت حدی تسلیم مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن:

$$\phi_b = 0.9$$

$$M_n = M_p \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱)$$

$$M_p = F_y Z \le 1.5 M_y$$

$$M_y = F_y S \text{ (نیمرخ همگن)} = F_{yf} S \text{ (نیمرخ دوگانه)}$$

M_p = لنگر پلاستیک (لنگر خمیری)

M_y = لنگر نظیر جاری شدن تارهای خارجی مقطع (لنگر تسلیم)

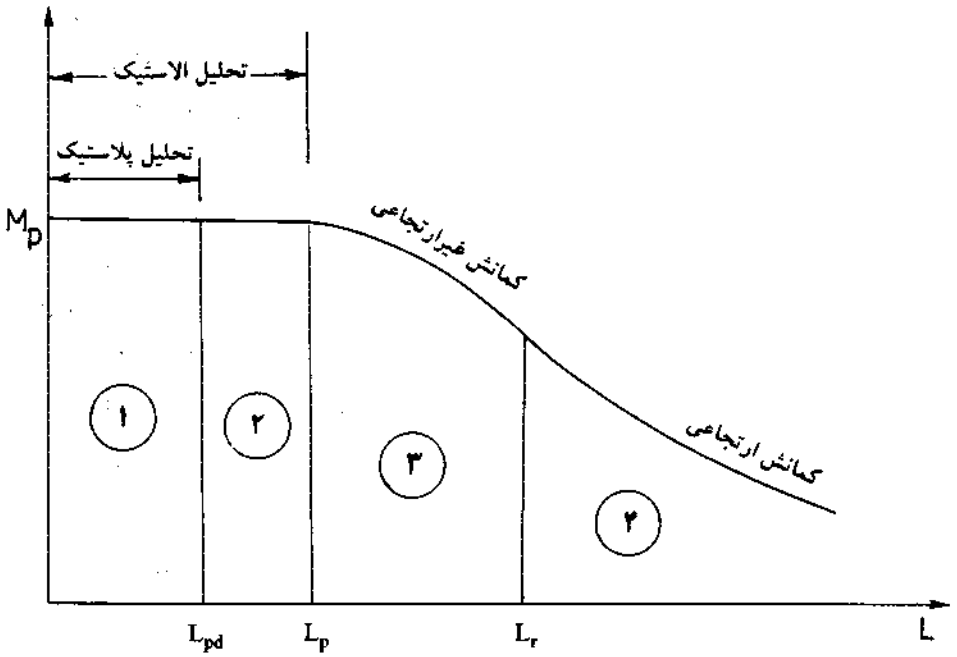
Z = اساس مقطع پلاستیک

S = اساس مقطع الاستیک

F_{yf} = تنش تسلیم بال فشاری

۶ ـ ۱ ـ ۲ ـ حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی

این حالت حدی به‌اعضایی قابل اعمال است که خمش آنها در حول محور اصلی قوی باشد. مقاومت خمشی طرح برای حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن $\phi_b = 0.9$ و M_n مقاومت اسمی می‌باشد که به‌طریق زیر تعیین می‌گردد:



شکل ٦ ـ ١ نواحی کمانش پیچشی ـ جانبی

٦ ـ ١ ـ ٢ ـ الف ـ نیمرخها با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی با $L_b \le L_r$ (ناحیهٔ ٣ در شکل ٦ ـ ١)

مقاومت خمشی اسمی برابر است با:

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - M_r)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۲)$$

که در آن:

L_b= فاصلهٔ بین دو نقطهٔ مهارشدهٔ بال فشاری و یا دو نقطه که از پیچش مقطع جلوگیری شده است.

C_b= ضریب اصلاح برای منظور کردن شکل نمودار لنگر خمشی در حدفاصل دو نقطهٔ مهارشده

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۳)$$

که در آن:

M_{max}= قدرمطلق جداکثر لنگر خمشی در طول مهارنشده (بین دو نقطهٔ مهارشده)

M_A= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ ۰/۲۵ طول مهارنشده

M_B= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ ۰/۵ طول مهارنشده

M_C= قدرمطلق لنگر خمشی در نقطهٔ ۰/۷۵ طول مهارنشده

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.

L_p= حداکثر طول مهار نشده برای حصول لنگر پلاستیک کامل (شکل ۶ ـ ۱).

الف ـ برای نیمرخهای I همگن و دوگانه و نیمرخ ناشی

$$L_p = \frac{2515 r_y}{\sqrt{F_{yf}}} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۴)$$

r_y= شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف y (خمش حول محور x رخ می‌دهد) (cm)

F_{yf}= تنش تسلیم بال فشاری (kg/cm^2)

ب ـ برای نیمرخ قوطی و نیمرخهای مستطیلی توپر

$$L_p = \frac{262500 r_y}{M_p}\sqrt{JA} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۵)$$

A= سطح مقطع تیر (cm^2)

J= ثابت پیچش (cm^4)

$M_p = ZF_{yf}$ = ظرفیت لنگر پلاستیک مقطع (کیلوگرم ـ سانتی‌متر)

L_r= طول مهارنشده در حد فاصل کمانش الاستیک و غیرالاستیک (شکل ۶ ـ ۱).

الف ـ برای نیمرخهای I با دو محور تقارن و ناودانیها

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L}\sqrt{1+\sqrt{\left(1+X_2 F_L^2\right)}} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۶)$$

$$M_r = F_L S_x \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۷)$$

که در آن:

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۸)$$

$$X_2 = 4\frac{C_w}{I_y}\left(\frac{S_x}{GJ}\right)^2 \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۹)$$

که در آن:

S_x= اساس مقطع الاستیک حول محور حداکثر مقطع (cm^3)

E= مدول الاستیسیتهٔ فولاد (مساوی $2.1\times10^6\ kg/cm^2$)

G= مدول الاستیسیتهٔ برشی فولاد (مساوی $0.8\times10^6\ kg/cm^2$)

F_L= کوچکترین دو مقدار ($F_{yf}-F_r$) یا F_{yw} (برحسب kg/cm^2)

F_r= تنش پس‌ماند در بال فشاری (مساوی $700\ kg/cm^2$ برای نیمرخ نوردشده و مساوی $1150\ kg/cm^2$ برای تیرورقهای جوشی)

F_{yf}= تنش تسلیم فولاد بال (kg/cm^2)

F_{yw}= تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)

I_y= ممان اینرسی حول محور ضعیف y (cm^4)

C_w= ثابت تابیدگی (cm^6)

روابط ۶ ـ ۱ ـ ۴ تا ۶ ـ ۱ ـ ۶ به‌طور محافظه‌کارانه با فرض $C_b=1$ به‌دست آمده‌اند.

ب ـ برای نیمرخهای قوطی و نیمرخهای مستطیلی توپر

$$L_r=\frac{4\times10^6 r_y\sqrt{JA}}{M_r} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

$$M_r=F_{yf}S_x \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱۱)$$

۶ ـ ۱ ـ ۲ ـ ب ـ نیمرخها با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی با $L_b > L_r$ (ناحیهٔ ۲ در شکل ۶ ـ ۱)

مقاومت خمشی اسمی برابر است با:

$$M_n=M_{cr}\le M_p \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱۲)$$

که در آن M_{cr} لنگر بحرانی کمانشی الاستیک است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف ـ برای نیمرخهای I با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی (بارگذاری در صفحهٔ جان)

$$M_{cr}=C_b\frac{\pi}{L_b}\sqrt{EI_yGJ+\left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_yC_w} \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱۳)$$

$$=\frac{C_bS_xX_1\sqrt{2}}{L_b/r_y}\sqrt{1+\frac{X_1^2X_2}{2(L_b/r_y)^2}}$$

ب ـ برای نیمرخهای مستطیلی توپر یا نیمرخهای قوطی متقارن

$$M_{cr}=\frac{4\times10^6 C_b\sqrt{JA}}{L_b/r_y} \qquad (۶-۱-۱۴)$$

۶ـ۱ـ۲ـپ ـ نیمرخهای سپری و نبشی جفت

برای نیمرخهای سپری و نبشی جفت که در صفحهٔ تقارن بارگذاری شده‌اند:

$$M_n=M_{cr}=\frac{\pi\sqrt{EI_y GJ}}{L_b}\left[B+\sqrt{1+B^2}\right] \qquad (۶-۱-۱۵)$$

که در آن:

$M_n\le 1.5M_y$ (جان تحت کشش)

$M_n\le 1.0M_y$ (جان تحت فشار)

$$B=\pm 2.3(d/L_b)\sqrt{I_y/J} \qquad (۶-۱-۱۶)$$

علامت (+) برای حالتی است که جان نیمرخ تحت کشش و علامت (−) برای حالتی است که جان نیمرخ تحت فشار باشد. اگر تار انتهایی جان در هر نقطه از طول مهار نشده تحت فشار قرار گیرد، باید از مقدار منفی برای B استفاده شود.

۶ـ۱ـ۲ـت ـ طول مهار نشده برای طراحی به‌وسیلهٔ تحلیل پلاستیک

طراحی با تحلیل پلاستیک برای عضوی با مقطع فشرده که تحت خمش در حول محور قویتر قرار دارد، وقتی مجاز است که طول مهارنشدهٔ بال فشاری آن در حوالی محل مفصل پلاستیک مربوط به‌مکانیسم خرابی، از مقدار L_{pd} تجاوز نکند. L_{pd} به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

الف ـ برای نیمرخهای I با یک یا دو محور تقارن با بال فشاری مساوی یا بزرگتر از بال کششی (شامل نیمرخهای دوگانه) که در صفحهٔ جان بارگذاری شده‌اند:

$$L_{pd}=\frac{\left[252000+154000(M_1/M_2)\right]r_y}{F_y} \qquad (۶-۱-۱۷)$$

که در آن:

F_y= تنش تسلیم بال فشاری (kg/cm^2)

M_1= لنگر کوچکتر در انتهای طول مهارنشده تیر

M_2= لنگر بزرگتر در انتهای طول مهارنشده تیر

r_y= شعاع ژیراسیون حول محور اصلی ضعیف

نسبت M_1 / M_2 وقتی مثبت است که لنگر باعث انحنای مضاعف و وقتی منفی است که لنگر باعث انحنای ساده شود.

$M_1 / M_2 > 0$ $M_1 / M_2 < 0$

ب ـ برای نیمرخهای مستطیلی توپر و نیمرخهای قوطی متقارن

$$L_{pd}= \frac{35\times10^4+21\times10^4(M_1/M_2)}{F_y} r_y \geq 21\times10^4 r_y / F_y \qquad (۱۸-۱-۶)$$

برای نیمرخهای توپر و خالی دایره و مربع و برای نیمرخهایی که در حول محور ضعیف تحت خمش هستند، محدودیتی در مورد L_b وجود ندارد.

در محل‌هایی که آخرین مفصل پلاستیک در آنها به‌وجود می‌آید و در محل‌هایی که در مجاورت یک مفصل پلاستیک نیستند، مقاومت خمشی طرح، طبق بخش ۶ـ۱ـ۲ تعیین می‌گردد.

۶ـ۲ـ طراحی برای برش

این قسمت مربوط است به‌طراحی جانهای سخت‌نشدهٔ تیرها با مقطع متقارن یک محوره یا دومحوره شامل تیرهای دوگانه و ناودانی که تحت تأثیر برش در صفحهٔ جان قرار دارند. برای طراحی مقامت برشی جانهای دارای سخت‌کننده به‌پیوست پ ـ ۶ ـ ۲ و یا فصل ۷ مراجعه نمایید. برای طراحی برش نیمرخهای فوق در امتداد ضعیف، لوله‌ها و مقاطع غیرمتقارن، به‌پیوست ۸ ـ ۲ مراجعه نمایید. برای چشمه‌ها با برش زیاد به‌بخش ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ مراجعه نمایید. برای مقاومت برشی اتصالات به‌بخشهای ۱۰ ـ ۴ و ۱۰ ـ ۵ مراجعه نمایید.

۶ـ۲ـ۱ـ مساحت جان

مساحت جان A_w به‌صورت حاصلضرب ارتفاع کلی مقطع d در ضخامت جان t_w تعریف می‌شود.

۶ـ۲ـ۲ـ مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح برای جان‌سخت‌نشده با $h/t_w<260$ مساوی $\phi_v V_n$ درنظر گرفته‌می‌شود که درآن:

$\phi_v=0.9$

$V_n=$ مقاومت برشی اسمی

$h=$ ارتفاع جان

$t_w=$ ضخامت جان

V_n به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

الف: برای $h/t_w \le \dfrac{3500}{\sqrt{F_{yw}}}$

$$V_n=0.6F_{yw}A_w \qquad (۶-۲-۱)$$

ب: برای $\dfrac{3500}{\sqrt{F_{yw}}} < h/t_w \le \dfrac{4375}{\sqrt{F_{yw}}}$

$$V_n=0.6F_{yw}A_w\frac{(3500/\sqrt{F_{yw}})}{(h/t_w)} \qquad (۶-۲-۲)$$

پ: برای $\dfrac{4375}{\sqrt{F_{yw}}} \le h/t_w \le 260$

$$V_n=\frac{9.25\times10^6}{(h/t_w)^2}A_w \qquad (۶-۲-۳)$$

طراحی عمومی مقاومت برشی جان با و یا بدون سخت‌کننده در بخشهای ۷-۳ و ۷-۴ فصل ۷ (با استفاده از عمل میدان کششی) ارائه شده است.

۶-۲-۳- سخت‌کننده‌های عرضی

به‌بخش ۷-۵ از فصل هفتم مراجعه شود.

۶-۳- اعضا با ارتفاع متغیر

به‌پیوست پ-۶-۳ مراجعه شود.

۶-۴- وجود بازشو در جان تیر

در صورت وجود، اثر بازشو در جان تیر باید در طراحی ملاحظه گردد. در صورتی‌که مقاومت برشی موردنیاز بزرگتر از مقاومت برشی خالص موجود در محل بازشو باشد، باید اطراف سوراخ به‌نحو مقتضی تقویت گردد.

فصل ۷

تیرورقها

تیرورقها، تیرهای با ارتفاع مقطع بزرگ هستند که از ورق ساخته می‌شوند. جان آنها در گروه مقاطع با عناصر لاغر (طبق تعریف جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱) قرار دارد. تیرورقها برحسب لاغری جان (نسبت h/t_w، که h ارتفاع و t_w ضخامت جان است)، از تیرهای معمولی متمایز می‌شوند. اگر نسبت $\frac{h}{t_w}$ از مقدار $\lambda_r=8135/\sqrt{F_{yf}}$ بزرگتر باشد، مشخصات این فصل برای تعیین مقاومت خمشی منظور می‌شود، و در غیر این‌صورت باید به‌فصل ۶ مراجعه نمود.

برای تنشهای برشی مجاز و قطعات سخت‌کننده‌های عرضی مفاد این فصل ملاک عمل خواهد بود. برای تیرورقها با بالهای نامساوی به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ مراجعه گردد.

۷ ـ ۱ ـ محدودیتهای لاغری جان

تیرورقهای همگن و یا دوگانه با ورق جان تنها با یک یا دو محور تقارن که در صفحهٔ جان بارگذاری شده‌اند، درصورتی‌که محدودیتهای زیر را برآورده‌سازند، می‌توانند طبق مفاد این فصل محاسبه شوند:

الف: برای $\frac{a}{h} \le 1.5$:

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{max}=\frac{16735}{\sqrt{F_{yf}}} \qquad (۷ ـ ۱ ـ ۱)$$

ب: برای $\frac{a}{h} > 1.5$:

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{max}=\frac{98\times10^4}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf}+1155)}} \qquad (۷ ـ ۱ ـ ۲)$$

که در آن:

a= فاصلهٔ آزاد بین سخت‌کننده‌های عرضی (cm)

h= در تیرهای نوردشده، فاصلهٔ آزاد بین دو بال منهای شعاع ماهیچهٔ اتصال‌دهندهٔ بال و جان. برای تیرهای ساخته شده از ورق، در صورتی‌که اتصال بال و جان توسط پرچ یا پیچ انجام شود، فاصلهٔ بین دو خط پرچ یا پیچ بالا و پایین جان و در صورتی‌که اتصال بال و جان توسط جوش انجام شود، فاصلهٔ آزاد بین دو بال (cm)

t_w= ضخامت جان (cm)

F_{yf}= تنش حداقل مقرر بال (kg/cm^2)

در تیرورقهای سخت نشده (بدون سخت‌کننده‌های عرضی میانی)، نسبت h/t_w باید کوچکتر از ۲۶۰ باشد.

۷ـ۲ـ مقاومت خمشی طرح

مقاومت خمشی طرح تیرورقها با جانهای لاغر ($h/t_w > 8115/\sqrt{F_{yf}}$)، باید مساوی $\phi_b M_n$ در نظر گرفته شود که در آن $\phi_b=0.9$ و M_n مقدار کوچکتر به‌دست آمده بر مبنای حالت حدی تسلیم بال کششی و حالت حدی کمانش بال فشاری می‌باشد.

در تیرها با بالهای نامساوی برای تعیین N_r مربوط به‌حالت حدی کمانش موضعی جان به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ مراجعه شود.

الف: برای حالت حدی تسلیم بال کششی

$$M_n = S_{xt} R_e F_{yt} \qquad (۷ ـ ۲ ـ ۱)$$

ب: برای حالت حدی کمانش بال فشاری

$$M_n = S_{xc} R_{pG} R_e F_{cr} \qquad (۷ ـ ۲ ـ ۲)$$

که در آن:

$$R_{pG} = 1 - \frac{a_r}{1200+300a_r}\left(\frac{h_c}{t_w} - \frac{8115}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \le 1.0 \qquad (۷ ـ ۲ ـ ۳)$$

R_e= ضریب تیرورق دوگانه

$$R_e = \frac{12+a_r(3m-m^3)}{12+2a_r} \le 1.0$$

R_e=1 (برای تیرورقهای همگن)

a_r= نسبت مساحت جان به‌مساحت بال فشاری (10 ≤)

m= نسبت تنش تسلیم جان به‌تنش تسلیم بال یا F_{cr}

F_{cr}= تنش فشاری بحرانی بال (kg/cm^2)

F_{yf}= تنش تسلیم بال کششی (kg/cm^2)

S_{xc}= اساس مقطع نسبت به‌بال فشاری (cm^3)

S_{xt}= اساس مقطع نسبت به‌بال کششی (cm^3)

h_c= دو برابر فاصلهٔ مرکز هندسی مقطع تا نزدیکترین خط وسایل اتصال بال فشاری یا وجه داخلی بال فشاری وقتی که اتصال بال به‌جان جوشی است.

تنش F_{cr} بستگی به‌پارامترهای لاغری λ، λ_p، λ_r و C_{pG} داشته و از روابط زیر قابل تعیین است:

الف: برای $\lambda \leq \lambda_p$

$$F_{cr}=F_{yf} \qquad (۴-۲-۷)$$

ب: برای $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$F_{cr}=C_b F_{yf}\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda-\lambda_p}{\lambda_r-\lambda_p}\right)\right] \leq F_{yf} \qquad (۵-۲-۷)$$

پ: برای $\lambda > \lambda_r$

$$F_{cr}=\frac{C_{PG}}{\lambda^2} \qquad (۶-۲-۷)$$

در روابط گذشته، پارامتر لاغری باید برای هردو حالت حدی کمانش جانبی - پیچشی و حالت حدی کمانش موضعی بال تعیین شود. آن پارامتر لاغری که مقدار کمتری برای F_{cr} نتیجه دهد، حاکم خواهد بود.

برای حالت حدی کمانش جانبی - پیچشی:

$$\lambda=\frac{L_b}{r_T} \qquad (۷-۲-۷)$$

$$\lambda_P=\frac{2510}{\sqrt{F_{yf}}} \qquad (۸-۲-۷)$$

$$\lambda_r=\frac{6325}{\sqrt{F_{yf}}} \qquad (۹-۲-۷)$$

$$C_{PG}=20\times10^{6}C_b \qquad (۷-۲-۱۰)$$

$C_b=$ به‌رابطهٔ فصل ۶ مراجعه شود.

$r_T=$ شعاع ژیراسیون بال فشاری به‌علاوهٔ $\frac{1}{3}$ ناحیهٔ فشاری جان حول محوری که در صفحهٔ جان قرار دارد (cm). به‌طور تقریبی می‌توان آن را مساوی $1.2r_y$ در نظر گرفت.

برای حالت حدی کمانش موضعی بال

$$\lambda=\frac{b_f}{2t_f} \qquad (۷-۲-۱۱)$$

$$\lambda_p=\frac{545}{\sqrt{F_{yf}}} \qquad (۷-۲-۱۲)$$

$$\lambda_r=\frac{1925}{\sqrt{F_{yf}/K_c}} \qquad (۷-۲-۱۳)$$

$$C_{pG}=1.85\times10^{6}K_c \qquad (۷-۲-۱۴)$$

$C_b=1$

$K_c=4/\sqrt{h/t_w}$ و $0.35\le K_c\le 0.763$

حالت حدی کمانش خمشی موضعی بال قابل کاربرد نیست.

۷ـ۳ـ مقاومت برشی طرح بدون توجه به‌عمل میدان کششی

مقاومت برشی جانهای سخت‌نشده و سخت‌شده (بدون استفاده از سخت‌کننده و با استفاده از سخت‌کننده) مساوی $\phi_v V_n$ می‌باشد که در آن:

$\phi_v=0.90$

$V_n=$ مقاومت برشی اسمی که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

الف: برای $\frac{h}{t_w}\le 1565\sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$

$$V_n=0.6F_{yw}A_w \qquad (۷-۳-۱)$$

ب: برای $1565\sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}<\frac{h}{t_w}\le 1960\sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \frac{1570\sqrt{K/F_{yw}}}{(h/t_w)} \qquad (۲-۳-۷)$$

پ: برای $h/t_w > 1960\sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$

$$V_n = A_w \frac{185\times 10^4 K_v}{(h/t_w)^2} \qquad (۳-۳-۷)$$

که در آن:

$$K_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

$$= 5 \quad \left(\text{برای } \frac{a}{h} > 3 \text{ یا } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{(h/t_w)}\right]^2\right)$$

a= فاصلهٔ بین سخت‌کننده‌های عرضی

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، و برای تیرورقهای پیچی یا پرچی، فاصلهٔ بین خطوط پیچ و پرچ

۷ـ۴ـ مقاومت برشی طرح با توجه به‌عمل میدان کششی

مقاومت برشی طرح مساوی $\phi_v V_n$ می‌باشد که در آن $\phi_v = 0.9$ و V_n به‌طریق زیر محاسبه می‌شود:

الف: برای $h/t_w \le 1565\sqrt{K/F_{yw}}$

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \qquad (۱-۴-۷)$$

ب: برای $h/t_w > 1565\sqrt{K/F_{yw}}$

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw}\left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}}\right) \qquad (۲-۴-۷)$$

که در آن:

C_v= نسبت تنش بحرانی جان، (طبق تئوری کمانش خطی) به‌تنش تسلیم برشی مصالح جان. برای پانلهای انتهایی در تیرورقهای همگن، و تمام پانلهای تیرورقهای دوگانه و تیرورقها با ارتفاع متغیر، وقتی نسبت a/h از ۳ و یا $[260/(h/t_w)]^2$ تجاوز می‌کند، فرض عمل میدان کششی

مجاز نیست و برای آنها مقاومت برشی اسمی V_n به‌طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$V_n=0.6A_w F_{yw} C_v \qquad (۳-۴-۷)$$

ضریب کمانش ورق جان K از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$K=5+\frac{5}{(a/h)^2} \qquad (۴-۴-۷)$$

اگر a/h از ۳ یا $[260/(h/t_w)]^2$ تجاوز نماید، مقدار K مساوی ۵ در نظر گرفته می‌شود.

ضریب برش C_v نیز به‌طریق زیر محاسبه می‌شود:

برای $1565\sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \le \frac{h}{t_w} \le 1960\sqrt{\frac{K}{F_{yw}}}$

$$C_v=\frac{1565\sqrt{K/F_{yw}}}{h/t_w} \qquad (۵-۴-۷)$$

برای $\frac{h}{t_w} > 1960\sqrt{\frac{K}{F_{yw}}}$

$$C_v=\frac{3.08\times10^6 K}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \qquad (۶-۴-۷)$$

استفاده از رابطهٔ ۷ ـ ۴ ـ ۲ در چشمه‌های دو انتهای تیر، در چشمه‌های دارای سوراخ بزرگ و در چشمه‌های مجاور چشمه‌ای که سوراخ و بازشوی بزرگ دارد، مجاز نیست.

۷ ـ ۵ ـ سخت‌کننده‌های عرضی

در تیرورقها وقتی که $h/t_w \le 3500/\sqrt{F_{yw}}$ و یا وقتی برش لازم V_u، که از تحلیل سازه برای بارهای ضریبدار به‌دست می‌آید، کوچکتر یا مساوی $0.6\phi A_w F_{yw} C_v$ باشد، احتیاجی به‌سخت‌کننده‌های عرضی نخواهیم داشت. در کمیت اخیر، C_v با فرض $K=5$ تعیین می‌گردد و $\phi=0.9$ می‌باشد.

استفاده از سخت‌کننده‌ها ممکن است در قسمتهایی از تیرورق برای حصول مقاومت برشی لازم و یا اقتاع محدودیتهای قسمت ۷ ـ ۱، لازم گردد.

ممان اینرسی I_{st} سخت‌کنندهٔ عرضی جفت در حول محور مرکزی جان و یا ممان اینرسی سخت‌کننده عرضی تک نسبت به‌محل تماس سخت‌کننده با ورق جان، نباید کمتر از $at_w^3 j$ گردد که در آن:

$$j=\frac{2.5}{(a/h)^2}-2 \ge 0.5 \qquad (۱-۵-۷)$$

و مساحت سخت‌کننده، A_{st}، در صورتی‌که در محاسبات مقاومت برشی از عمل میدان کششی استفاده شده باشد، نباید کمتر باشد از:

$$\frac{F_{yw}}{F_{yst}}\left[0.15Dht_w(1-C_v)\frac{V_u}{\phi_v V_n}-18t_w^2\right]\geq 0 \qquad (۲-۵-۷)$$

که در آن:

F_{yst}= تنش حداقل مقرر مصالح سخت‌کننده‌ها (kg/cm^2)

D= 1 برای سخت‌کننده‌های جفت

=1.8 برای سخت‌کنندهٔ تک از نبشی

=2.4 برای سخت‌کنندهٔ تک از ورق

C_v و V_n در قسمت ۷ ـ ۴ تعریف شده‌اند و V_u نیروی برشی موجود در مقطع مورد مطالعه به‌علت بارهای ضریبدار می‌باشد.

سخت‌کننده‌های عرضی میانی را می‌توان کمی نرسیده به‌بال کششی قطع کرد، مشروط به‌اینکه تماس آنها به‌منظور انتقال بار متمرکز یا واکنش ضرورت نداشته باشد. جوشی که برای اتصال سخت‌کننده به‌جان به‌کار می‌رود باید در فاصله‌ای بیشتر از چهار برابر ولی کمتر از شش برابر ضخامت جان، قبل از رسیدن به‌محل جوش اتصال جان به‌بال، قطع گردد. هرگاه از سخت‌کننده‌های فرد استفاده شود، باید آنها را به‌بال فشاری متصل نمود تا اگر بال به‌صورت ورق باشد از بلند شدن آن بر اثر پیچش جلوگیری نمایند. هرگاه مهارهای افقی به‌سخت‌کننده‌های فرد یا زوج متصل باشند، باید اتصال سخت‌کننده‌ها به‌بال فشاری به‌نحوی باشد که بتواند یک درصد کل تنش بال فشاری را منتقل نماید مگر اینکه بال فشاری فقط از نبشی تشکیل شده باشد.

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 ۲۵ سانتی‌متر، هر کدام کمتر است، تجاوز ننماید.

اتصال قطعات سخت‌کنندهٔ تک یا زوج برای برش حداقلی برابر با رابطهٔ ۷ ـ ۵ ـ ۳ به‌ازای هر سانتی‌متر طول سخت‌کننده محاسبه می‌شود:

$$f_{vs}=1.6h\sqrt{\left(\frac{F_{yw}}{1400}\right)^3} \qquad (۳-۵-۷)$$

که در آن F_{yw} تنش تسلیم فولاد جان برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

۷ ـ ٦ ـ اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی

در مقاطعی که:

$$0.6\phi V_n \le V_u \le \phi V_n \qquad (\text{با } \phi=0.9)$$

و

$$0.75\phi M_n \le M_u \le \phi M_n \qquad (\text{با } \phi=0.9)$$

بوده و طراحی تیرورق بر پایهٔ عمل میدان کششی انجام گرفته، باید شرط اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی طبق رابطهٔ زیر اقناع گردد:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0.625\,\frac{V_u}{\phi V_n} \le 1.375 \qquad (۱ ـ ۶ ـ ۷)$$

که در آن:

M_n = مقاومت خمشی اسمی تیرورق طبق فصل ۶ یا قسمت ۷ ـ ۲ از فصل ۷

V_n = مقاومت برشی اسمی طبق قسمت ۷ ـ ۴ فصل ۷

ϕ = ۰/۹

فصل ۸

ترکیب نیروها

این بخش مربوط است به‌طراحی اعضای منشوری تحت اثر توأم نیروهای محوری و خمش حول یک و یا هر دو محور تقارن و، با یا بدون پیچش و یا پیچش تنها. برای اعضا با ارتفاع متغیر به‌پیوست پ ـ ۶ ـ ۳ مراجعه فرمایید.

۸ ـ ۱ ـ اعضا با نیمرخهای متقارن تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری

۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ اعضا با مقطع دارای دو و یا یک محور تقارن تحت اثر خمش و کشش

اندرکنش خمش و کشش در نیمرخهای متقارن براساس روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، محدود می‌شود:

برای $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1.0 \qquad (۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ \text{الف})$$

برای $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2$

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) \leq 1.0 \qquad (۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ \text{ب})$$

که در آن:

P_u= مقاومت کششی لازم (kg)

P_n= مقاومت کششی اسمی محاسبه شده طبق مفاد بخش ۴ ـ ۱ (kg)

M_u= مقاومت خمشی مورد نیاز (kg-cm)

M_n= مقاومت خمشی اسمی محاسبه شده طبق مفاد بخش ۶ ـ ۱ (kg-cm)

$\phi_t=\phi$= ضریب مقاومت در کشش، $\phi_t=0.90$ (به‌بخش ۴ ـ ۱ رجوع شود).

ϕ_b= ضریب مقاومت در خمش =0.90

x= زیرنویسی که نماد را به‌خمش حول محور قویتر مربوط می‌نماید.

y= زیرنویسی که نماد را به‌خمش حول محور ضعیفتر مربوط می‌نماید.

به‌جای استفاده از روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، می‌توان از تحلیل دقیقتری برای اندرکنش استفاده نمود.

۸ ـ ۱ ـ ۲ ـ اعضا با تقارن دومحوری و تک‌محوری تحت اثر خمش و فشار

در نیمرخهای متقارن، اندرکنش خمش و فشار توسط روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، محدود می‌شود که در آنها:

P_u= مقاومت فشاری مورد نیاز (kg)

P_n= مقاومت فشاری اسمی که طبق بخش ۵ ـ ۲ تعیین می‌شود (kg)

M_u= مقاومت خمشی مورد نیاز که ذیلاً طبق تبصرهٔ (الف) همین بند تعیین می‌گردد. (kg-cm)

$\phi=\phi_c$= ضریب مقاومت در فشار، $\phi_c=0.85$ (به‌بخش ۵ ـ ۲ رجوع شود).

ϕ_b= ضریب مقاومت برای خمش، $\phi_b=0.90$

الف ـ محاسبهٔ M_u

در سازه‌هایی که براساس تحلیل الاستیک طراحی می‌شوند، می‌توان M_u را از روی یک تحلیل الاستیک مرتبه ۲ و با استفاده از بارهای ضریبدار محاسبه نمود. در سازه‌هایی که براساس تحلیل پلاستیک طراحی می‌شوند، M_u باید از روی یک تحلیل پلاستیک که ضوابط بخشهای ۳ـ۱ و ۳ـ۲ را برآورده می‌کند، تعیین گردد. در سازه‌هایی که براساس یک تحلیل الاستیک از مرتبهٔ ۱ طراحی می‌شوند، به‌جای یک تحلیل مرتبهٔ ۲ می‌توان از روش زیر برای محاسبهٔ M_u استفاده نمود:

$$M_u=B_1 M_{nt}+B_2 M_{lt} \qquad (۸ ـ ۱ ـ ۲)$$

که در آن:

M_{nt}= مقاومت خمشی مورد نیاز در عضو با این فرض که قاب فاقد انتقال جانبی می‌باشد (kg-cm)

M_{lt}= مقاومت خمشی مورد نیاز در عضو، فقط به‌علت انتقال جانبی قاب (kg-cm)

$$B_1 = \frac{C_m}{(1-P_u/P_e)} \geq 1$$

$$P_e = \frac{A_g F_y}{\lambda_c^2}$$

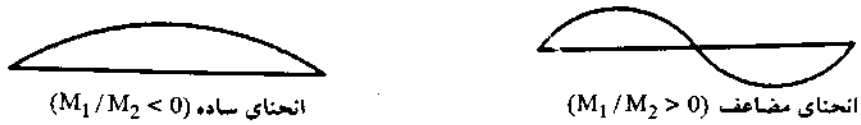
λ_c= با استفاده از رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴ با ضریب طول مؤثر $K \leq 1$ در صفحهٔ خمش تعریف می‌شود.

C_m= ضریبی که مقدار آن به‌طریق زیر تعیین می‌شود.

I– برای اعضای فشاری که جزیی از یک قاب مهارشده در مقابل انتقال جانبی در صفحهٔ خمش می‌باشند و در همین صفحه، در حد فاصل تکیه‌گاههای خود، تحت اثر بارگذاریهای جانبی قرار ندارند.

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4 \qquad (۴ ـ ۱ ـ ۸)$$

که در آنجا M_1/M_2 نسبت لنگر کوچکتر به‌لنگر بزرگتر در دو انتهای قطعهٔ مهاربندی نشده از عضو، برای خمش مورد نظر می‌باشد. وقتی که عضو با انحنای مضاعف خمیده می‌شود، M_1/M_2 مثبت، و وقتی که با انحنای ساده خمیده می‌شود، منفی است.



II– برای اعضای فشاری که جزیی از یک قاب مهار شده در مقابل انتقال جانبی در صفحهٔ بارگذاری می‌باشند و اعضا در حد فاصل تکیه‌گاههای خود تحت اثر نیروهای جانبی قرار دارند، مقدار C_m را می‌توان از طریق تحلیل به‌دست آورد.

در صورت فقدان چنین تحلیلی، می‌توان از مقادیر زیر استفاده کرد:

اعضایی که در مقابل دوران دو انتهای آنها ممانعتی وجود دارد $C_m = 0.85$

اعضایی که دوران دو انتهای آنها آزاد است. $C_m = 1.00$

و

$$B_2 = \frac{1}{1 - \Sigma P_u \left(\frac{\Delta_{oh}}{\Sigma HL}\right)} \qquad (۵ ـ ۱ ـ ۸)$$

و یا

$$B_2=\frac{1}{1-\frac{\Sigma P_u}{\Sigma P_e}} \qquad (۶-۱-۸)$$

$$P_e=\frac{A_g F_y}{\lambda_c^2}$$

که در آن:

ΣP_u= مقاومت باربری محوری مورد نیاز کلیهٔ ستونهای واقع در یک طبقه (kg)

Δ_{oh}= تغییرشکل انتقالی طبقهٔ مورد نظر (cm)

ΣH= مجموع کلیهٔ نیروهای افقی طبقه،که باعث Δ_{oh} می‌گردد (kg)

L= ارتفاع طبقه (cm)

λ_c= ضریب لاغری تعریف شده به‌وسیلهٔ رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴ که در آن ضریب طول مؤثر K در صفحهٔ خمش مطابق مفاد بخش ۳ ـ ۲ ـ ۲ و ۵ ـ ۱ ـ ۳ و ۵ ـ ۱ ـ ۴ تعیین می‌شود، لیکن نباید از واحد کمتر باشد.

ب ـ محاسبهٔ M_u

به‌هنگام استفاده از روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، M_{ux} باید مطابق بخش ۶ ـ ۱ تعیین شود. در صورتی که لنگر حداکثر M_{ux} در انتهای عضو و یا در انتهای قطعه مهار نشده یک عضو قرار داشته باشد، از مقدار واقعی C_b حاصل از بخش ۶ ـ ۱ ـ ۲ می‌توان استفاده کرد. هنگامی که لنگر حداکثر در بین دو انتها قرار دارد، M_{ux} باید با فرض C_b=1.0 محاسبه شود. وقتی که رابطهٔ ۸ ـ ۱ ـ ۲، برای محاسبهٔ M_u به‌کار می‌رود، برای یک عضو مهار شده که تحت خمش حول محوری قوی قرار دارد و فقط در دو انتهایش به‌طور جانبی مهار شده است، چنانچه B_1 مساوی و یا کمتر از 1.0 باشد، حداکثر لنگر در یکی از دو انتها واقع خواهد شد.

۸ ـ ۲ ـ اعضا با نیمرخ نامتقارن و اعضایی که تحت اثر پیچش و یا ترکیب پیچش، خمش، با و یا بدون نیروی محوری قرار دارند

مقاومت طرح ϕF_y اعضا، باید مساوی و یا بزرگتر از مقاومت مورد نیاز بیان شده برحسب تنش قائم f_{un} و یا تنش برشی f_{uv} که از طریق تحلیل الاستیک در مقابل بارهای ضریبدار حاصل می‌شوند، باشد.

الف ـ برای حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش قائم

$$f_{un} \le \phi F_y \qquad (۸ ـ ۲ ـ ۱)$$

$$\phi = 0.90$$

ب ـ برای حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش برشی

$$f_{uv} \le 0.6\,\phi F_y \qquad (۸ ـ ۲ ـ ۲)$$

$$\phi = 0.90$$

پ ـ برای حالت حدی کمانش

$$f_{un} \text{ یا } f_{uv} \le \phi_c F_{cr} \qquad (۸ ـ ۲ ـ ۳) \quad \text{(برحسب مورد)}$$

که در آن:

$$\phi_c = 0.85$$

F_{cr}= مقدار به‌دست آمده از روابط پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۲ و پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۳، برحسب مورد.

در مجاورت نقاطی که به‌صورت الاستیک باقی می‌مانند، مقدار محدودی تسلیم موضعی مجاز می‌باشد.

۸ ـ ۳ ـ صورت دیگری از معادلات اندرکنش برای اعضای تحت اثر کنشهای مرکب

در این مورد به‌پیوست پ ـ ۸ ـ ۳، مراجعه نمایید.

فصل ۹

اعضای مختلط

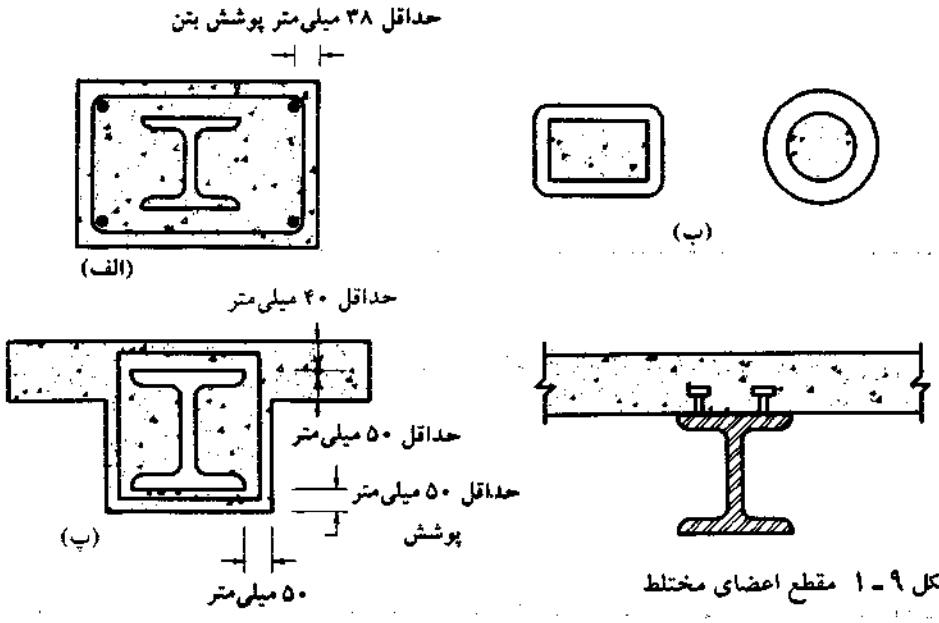
این فصل مربوط است به‌طراحی ستونهای مختلط (متشکل از نیمرخ فولادی نوردشده یا ساخته شده از ورق، محاط یا محیط در بتن) و تیرهای مختلط، متشکل از تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن، که به‌واسطهٔ چسبندگی کافی با یکدیگر، در مقابل بارهای خارجی به‌طور مشترک عمل می‌نمایند.

تیرهای مختلط با دهانهٔ ساده و یا پیوسته، با اتصالات برشگیر و یا محاط در بتن که با و یا بدون پایه‌های موقت اجرا می‌شوند، مشمول مقررات این فصل هستند.

۹-۱- فرضیات طراحی

تعیین نیروها : در تعیین نیروهای داخلی اعضا و یا اتصالات سازه‌هایی که شامل تیرهای مختلط می‌باشند، لازم است توجهات کافی نسبت به‌مقطع مؤثر اعضا، در هر مرحله از افزایش بارگذاری، مبذول گردد.

تحلیل الاستیک : برای تحلیل الاستیک تیرهای پیوستهٔ بدون ماهیچه‌های انتهایی، می‌توان فرض کرد که سختی در سرتاسر طول آنها ثابت می‌باشد و این سختی را می‌توان با استفاده از ممان اینرسی مقطع مرکب تبدیل‌یافته در ناحیهٔ لنگر مثبت، به‌دست آورد.



شکل ۹ ـ ۱ مقطع اعضای مختلط

تحلیل پلاستیک: هنگام استفاده از تحلیل پلاستیک، مقاومت اعضای مرکب خمشی باید براساس توزیع پلاستیک تنشها تعیین گردد.

توزیع تنش پلاستیک برای لنگر مثبت : هرگاه یک دال بتنی در ناحیهٔ لنگر مثبت توسط اتصالات برشگیر به‌تیر فولادی وصل شده باشد، می‌توان تنش فشاری در بتن را مساوی $0.85f'_c$ که در سرتاسر ناحیهٔ فشاری به‌طور یکنواخت پخش شده است فرض نمود (بلوک تنش مستطیلی). از مقاومت کششی بتن باید صرف‌نظر گردد. تنش در نیمرخ فولادی باید مساوی F_y که به‌طور یکنواخت در سرتاسر ناحیهٔ کششی و فشاری مقطع توزیع شده است، فرض گردد. نیروی کششی خالص در نیمرخ فولادی باید با نیروی فشاری در دال بتنی برابر باشد.

توزیع تنش پلاستیک برای لنگر منفی: هرگاه یک دال واقع در ناحیهٔ لنگر منفی، به‌کمک اتصالات برشگیر به‌تیر فولادی وصل شده باشد، می‌توان یک تنش کششی برابر با F_{yr} برای کلیهٔ میلگردهای موازی تیر فولادی که در عرض مؤثر دال بتنی واقعند و احتیاجات مربوط به‌پیوستگی با بتن را برآورده می‌کنند، فرض نمود. از مقاومت کششی بتن باید صرف‌نظر شود. تنش در نیمرخ فولادی باید مساوی F_y که به‌طور یکنواخت در تمام ناحیهٔ کششی و فشاری مقطع توزیع شده است، فرض گردد. نیروی فشاری خالص در نیمرخ فولادی باید با مجموع نیروهای کششی میلگردها برابر باشد.

توزیع تنش الاستیک : هنگامی که تعیین توزیع تنش الاستیک لازم باشد، باید فرض شود که کرنش در هرنقطه از فولاد و بتن متناسب با فاصلهٔ آن‌نقطه از محورخنثی می‌باشد. تنش‌نیز مساوی حاصل ـ ضرب کرنش در E ویا E_c در نظر گرفته می‌شود. از مقاومت کششی بتن باید صرف‌نظر نمود. تنش حداکثر در فولاد نباید از F_y تجاوز کند و حداکثر تنش فشاری در بتن نباید از $0.85f'_c$ بزرگتر باشد.

در تیرهای دوگانهٔ مختلط، تنش حداکثر در بال تیر فولادی نباید از F_{yf} تجاوز کند، لیکن کرنش در جان تیر می‌تواند از کرنش تسلیم تجاوز نماید که تنش در چنان نقاطی را می‌توان برابر با F_{yw} فرض کرد.

تیرمختلط کامل : در این تیرها اتصالات برشی به‌تعداد کافی برای تأمین مقاومت خمشی حداکثر مقطع مختلط تعبیه شده‌اند. برای‌تعیین توزیع تنش الاستیک می‌توان فرض‌کرد که لغزشی به‌وقوع نمی‌پیوندد.

تیر مختلط نسبی : در این حالت، اتصالات برشی تعیین‌کنندهٔ مقاومت خمشی تیرهای مختلط نسبی می‌باشد. در محاسبات الاستیک نظیر محاسبهٔ تغییرشکلها، خستگی و ارتعاشات باید اثر لغزش در سطح تماس تیر فولادی و دال بتنی، منظور گردد.

تیر محاط در بتن : یک تیر کاملاً محاط در بتن، که به‌طور یکپارچه با دال ریخته شده است، می‌تواند فرض گردد که با چسبندگی طبیعی و بدون نیاز به‌قطعات اتصالی اضافی، با بتن یکپارچه شده است. مشروط به‌اینکه: (۱) پوشش بتن در طرفین و زیر بال تحتانی تیر، لااقل ۵ سانتی‌متر باشد. (۲) سطح خارجی بال فوقانی تیر، لااقل ۴ سانتی‌متر پایینتر از سطح فوقانی و ۵ سانتی‌متر، بالاتر از سطح تحتانی دال بتنی باشد و (۳) پوشش بتنی دارای آرماتور کافی (به‌صورت مش و یا هر نوع مناسب دیگر) برای جلوگیری از پکیدن بتن باشد (شکل ۹ ـ ۱ ـ پ).

ستون مختلط : یک ستون فولادی مختلط می‌تواند از نیمرخ فولادی نوردشده و یا ساخته شده که کاملاً در بتن‌سازه‌ای محاط شده و یا نیمرخ‌قوطی یا لوله که کاملاً با بتن‌سازه‌ای پرشده، تشکیل شود (اشکال ۹ ـ ۱ ـ الف و ب).

۹ ـ ۲ ـ اعضای فشاری

۹ ـ ۲ ـ ۱ ـ محدودیتها

یک ستون مختلط باید دارای شرایط زیر باشد:

الف ـ سطح مقطع نیمرخ فولادی، لوله و یا نیمرخ قوطی، باید حداقل ۴ درصد سطح کلی مقطع مختلط باشد.

ب ـ پوشش بتنی هستهٔ فولادی، باید به‌کمک میلگردهای طولی باربر، میلگردهای طولی و تنگهای عرضی به‌منظور دورگیری بتن، مسلح شده باشد. میلگردهای طولی باربر باید در ترازهای اتصال تیر به‌ستونها، پیوسته باشند. میلگردهای طولی دورگیرکننده، می‌توانند در ترازهای اتصال تیر به‌ستون منقطع باشند. فواصل تنگها نباید از $\frac{2}{3}$ کوچکترین بعد مقطع مختلط بزرگتر باشند. مساحت مقطع فولادهای عرضی و طولی باید لااقل برابر با ۰/۰۱۸ سانتی‌متر مربع برای هر سانتی‌متر فاصله بین میلگردها باشد. پوشش بتنی خالص در بیرون میلگردهای عرضی و طولی باید لااقل ۴ سانتی‌متر باشد.

پ ـ بتن مورد استفاده باید دارای مقاومت فشاری مشخصهٔ حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۵۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در مورد بتن با وزن معمولی باشد. برای بتن سبک وزن، این مقاومت باید حداقل ۲۸۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد.

ت ـ تنش تسلیم حداقل مقرر فولاد سازه‌ای و میلگردها، جهت محاسبهٔ مقاومت یک ستون مرکب، نباید از ۳۸۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تجاوز نماید.

ث ـ ضخامت حداقل جدار لوله‌ها و نیمرخهای قوطی پر شده از بتن، مساوی $b\sqrt{F_y/3E}$ برای هر ضلع به‌پهنای b در یک مقطع مستطیلی و $D\sqrt{F_y/8E}$ برای مقطع دایره‌ای با قطر خارجی D، می‌باشد.

۹ـ۲ـ۲ـ مقاومت طرح

مقاومت طرح ستونهای مختلط با بارگذاری محوری برابر است با $\phi_c P_n$ که در آنجا $\phi_c=0.85$ و مقاومت فشاری محوری اسمی P_n به‌کمک روابط ۵ـ۲ـ۱ و ۵ـ۲ـ۴، با منظورکردن تعدیلات زیر، تعیین می‌شود:

(الف) ـ A_s= مساحت مقطع کل نیمرخ فولادی، لوله، و یا قوطی (cm^2) (که جایگزین A_g می‌شود).

r_m= شعاع ژیراسیون نیمرخ فولادی، لوله و قوطی (cm) برای نیمرخهای فولادی، این کمیت نباید از ۰/۳ برابر بعد کل مقطع مختلط در صفحهٔ کمانش کوچکتر باشد (که جایگزین r می‌شود).

(ب) ـ F_y را با تنش تسلیم تعدیل‌یافتهٔ F_{my} طبق رابطهٔ ۹ـ۲ـ۱ و E را با ضریب الاستیسیتهٔ تعدیل‌یافتهٔ E_m طبق رابطهٔ ۹ـ۲ـ۲، جایگزین نمایید.

$$F_{my}=F_y+c_1F_{yr}(A_r/A_s)+c_2f'_c(A_c/A_s) \quad (۹-۲-۱)$$

$$E_m=E+c_3E_c(A_c/A_s) \quad (۹-۲-۲)$$

که در آن:

A_c= مساحت مقطع بتن (cm^2)

A_r= مساحت مقطع میلگردهای طولی (cm^2)

A_s= مساحت مقطع نیمرخ فولادی (cm^2)

E= مدول الاستیسیتهٔ فولاد (kg/cm^2)

E_c= مدول الاستیسیتهٔ بتن (kg/cm^2)*

F_y= تنش تسلیم حداقل مقرر نیمرخ فولادی، لوله و یا قوطی (kg/cm^2)

F_{yr}= تنش تسلیم حداقل مقرر میلگردهای طولی (kg/cm^2)

f'_c= مقاومت فشاری مقرر نمونهٔ استوانه‌ای بتن (kg/cm^2)

c_1، c_2 و c_3= ضرایب عددی. برای لوله‌ها و قوطیهای پرشده توسط بتن $c_1=1$ و $c_2=0.85$ و $c_3=0.4$، و برای نیمرخهای محاط در بتن $c_1=0.7$، $c_2=0.6$ و $c_3=0.2$.

۹ـ۲ـ۳ـ ستونهای مختلط متشکل از چند نیمرخ

اگر در مقطع مختلط، بخش فولادی از دو یا چند نیمرخ تشکیل یافته باشد، این نیمرخها باید با بستهای افقی و یا مایل به‌همدیگر متصل شوند تا قبل از گرفتن بتن، از کمانش جداگانهٔ نیمرخها جلوگیری گردد.

۹ـ۲ـ۴ـ انتقال بار

در ستونهای مختلط با بارگذاری محوری، آن بخش از مقاومت طرح که از مقاومت بتن حاصل می‌گردد، باید از طریق اتکای مستقیم در اتصالات فراهم گردد. هنگامی که در یک یا چند سمت، عرض بتن تکیه‌گاهی، از عرض ناحیهٔ بارگذاری شده، بزرگتر است و در سمتهای باقیمانده، به‌نحو دیگری انبساط جانبی محدود شده است، حداکثر مقاومت طرح بتن مساوی $1.7\phi_c f'_c A_B$ خواهد بود که در آن، $\phi_c=0.60$ ضریب مقاومت اتکایی روی بتن و A_B، مساحت ناحیهٔ بارگذاری شده می‌باشد.

---

* E_c را می‌توان از رابطهٔ $E_c=0.135\,w^{1.5}\sqrt{f'_c}$ حساب کرد که در آن w وزن مخصوص بتن برحسب کیلوگرم به‌متر مکعب و f'_c برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیان می‌شوند.

۹ـ۳ـ اعضای خمشی

۹ـ۳ـ۱ـ عرض مؤثر

عرض مؤثر دال بتنی در هریک از طرفین محور تیر، نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

(الف) یک هشتم طول دهانهٔ تیر از مرکز تا مرکز تکیه‌گاهها

(ب) نصف فاصله تا محور تیر مجاور

(پ) فاصله از محور تیر تا لبهٔ دال

۹ـ۳ـ۲ـ مقاومت تیرهای دارای اتصالات برشگیر

مقاومت طرح در خمش مثبت، $\phi_b M_n$، باید به‌قرار زیر تعیین شود:

(الف) برای حالت $h_c / t_w \leq 5365 / \sqrt{F_{yf}}$:

$\phi_b=0.85$ و M_n باید براساس توزیع پلاستیکی تنش در کل مقطع محاسبه شود.

(ب) برای حالت $h_c / t_w > 5365 / \sqrt{F_{yf}}$:

$\phi_b=0.90$ و M_n باید براساس رویهم‌گذاری تنشهای الاستیک با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت محاسبه شود.

مقاومت طرح در خمش منفی، $\phi_b M_n$، باید برمبنای نیمرخ فولادی تنها طبق مفاد فصل ۶ تعیین شود.

به‌عنوان یک روش دیگر، می‌توان مقاومت طرح در خمش منفی ($\phi_b M_n$) را با $\phi_b=0.85$ و M_n محاسبه شده براساس توزیع پلاستیکی تنش در کل مقطع، تعیین کرد، مشروط بر اینکه:

الف) تیر فولادی یک مقطع فشرده با مهاربندی جانبی کافی طبق تعریف بخش ۲ ـ ۵ باشد.

ب) اتصالات برشی، دال بتنی در ناحیهٔ لنگر منفی را به‌تیر فولادی وصل کنند.

پ) آرماتورهای دال بتنی موازی با تیر، واقع در محدودهٔ عرض مؤثر، به‌طور کامل ضوابط مربوط به‌چسبندگی و طول مهاری را برآورده نمایند.

۹ـ۳ـ۳ـ مقاومت تیرهای محاط در بتن

مقاومت خمشی طرح، $\phi_b M_n$، باید با $\phi_b=0.90$ و M_n محاسبه شده براساس رویهم‌گذاری تنشهای الاستیک، با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت، تعیین شود.

به‌عنوان یک روش دیگر، مقاومت خمشی طرح، $\phi_b M_n$، را می‌توان با $\phi_b=0.90$ و M_n

محاسبه شده براساس توزیع تنش پلاستیک در مقطع فولادی تنها، تعیین نمود.

۹ـ۳ـ۴ـ مقاومت در حین ساخت

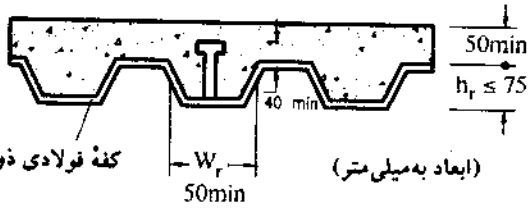
هنگامی که از پایه‌های موقت در حین اجرا استفاده نمی‌گردد، قبل از رسیدن بتن به۷۵ درصد مقاومت مشخصهٔ f'_c، مقطع فولادی باید مقاومت کافی جهت تحمل کلیهٔ بارهای وارده را داشته باشد. مقاومت خمشی طرح مقطع فولادی تنها، باید طبق مفاد بخش ۶ ـ ۱ تعیین شود.

۹ـ۳ـ۵ـ کفهای فولادی کنگره‌دار (ذوزنقه‌ای)

(الف) کلیات

مقاومت خمشی طرح $\phi_b M_n$ سیستمهای مختلط، متشکل از دال بتنی روی کفهای فولادی کنگره‌دار متصل به‌تیرهای فولادی، طبق مفاد بخش ۹ ـ ۳ ـ ۲ با اصلاحات زیر، تعیین می‌شود.

این بخش، قابل اعمال به‌کفهایی می‌باشد که ارتفاع اسمی (h_r) کنگرهٔ آنها از ۷/۵ سانتی‌متر بزرگتر نباشد. عرض میانگین کنگره یا ماهیچهٔ بتنی (w_r)، نباید از ۵ سانتی‌متر کمتر باشد، لیکن در محاسبات، این کمیت نباید بیشتر از حداقل عرض آزاد در نزدیکی رویهٔ فوقانی کفه منظور گردد. (شکل ۹ ـ ۲). برای محدودیتهای اضافی به‌بخش ۹ ـ ۳ ـ ۵ ـ پ، مراجعه شود.



شکل ۹ ـ ۲ کف فولادی کنگره‌دار

دال بتنی باید به‌کمک اتصالات برشی از نوع گلمیخهای جوش شده با قطرهایی برابر و یا کمتر از ۲۰ میلی‌متر، به‌تیرهای فولادی اتصال داده شود. این گلمیخها را می‌توان یا از طریق کف فولادی و یا اینکه مستقیماً به‌تیر فولادی جوش داد. اتصالات برشی از نوع گلمیخ بعد از نصب باید لااقل به‌اندازهٔ ۴ سانتی‌متر بلندتر از سطح فوقانی کف فولادی، قرار بگیرند (شکل ۹ ـ ۲).

ضخامت دال بتنی در بالای کفهٔ فولادی، نباید از ۵ سانتی‌متر کمتر باشد.

(ب) کفهای فولادی با کنگره‌هایی عمود بر امتداد تیر فولادی (شکل ۹ ـ ۳)

در حالتی که کنگره‌ها بر تیرهای‌فولادی عمودهستند، از وجود بتن در زیر سطح‌فوقانی کف فولادی،

در تعیین خواص هندسی مقطع مرکب و محاسبهٔ A_c (سطح مقطع بال بتنی)، باید صرف‌نظر شود.

فاصلهٔ اتصالات برشی از نوع گلمیخ در امتداد طولی تیرهای تکیه‌گاهی دال، نباید از ۸۰ سانتی‌متر تجاوز کند.

مقاومت اسمی اتصال برشی از نوع گلمیخ، برابر است با مقدار قیدشده در بخش ۹ ـ ۵، که در ضریب کاهش زیر، ضرب شده است.

$$\frac{0.85}{\sqrt{N_r}}\,(w_r/h_r)\left[(H_s/h_r)-1.0\right] \le 1.0 \qquad (۹-۳-۱)$$

که در آن:

h_r= بلندی اسمی کنگره (cm)

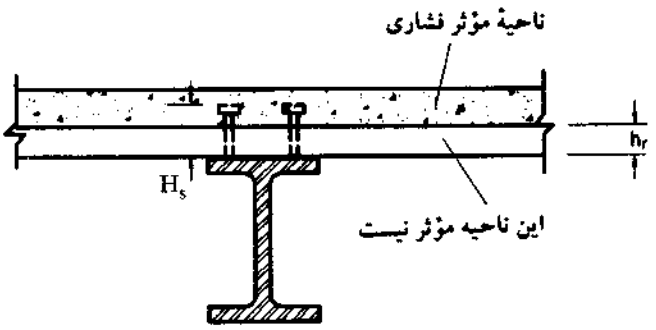
H_s= طول اتصال برشی از نوع گلمیخ بعد از جوشکاری (cm)

این کمیت در محاسبات نباید بیشتر از $(h_r+7.5)$ سانتی‌متر منظور گردد گرچه ممکن است طول واقعی بزرگتر باشد.

N_r= تعداد اتصالات گلمیخی در یک کنگره در محل تقاطع با تیر که در محاسبات نباید بیشتر از ۳ عدد در نظر گرفته‌شود. گرچه ممکن‌است در یک‌ردیف بیش‌از سه گلمیخ نصب گردد.

w_r= عرض میانگین کنگره و یا ماهیچهٔ بتنی (طبق تعریف بخش ۹ ـ ۳ ـ ۵ ـ الف).

به‌منظور مقابله با بلند شدن دال، کف فولادی باید به‌اعضای تکیه‌گاهی در فواصلی که از ۴۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند، مهار گردد. چنین مهاربندی را می‌توان یا به‌کمک گلمیخها و یا به‌کمک ترکیبی از اتصالات گلمیخی و جوشهای قوسی نقطه‌ای و یا اینکه به‌کمک تدابیر دیگری که طراح معین می‌کند، فراهم کرد.



شکل ۹ ـ ۳ کف فولادی کنگره‌دار ـ کنگره‌ها عمود بر امتداد تیر فولادی هستند.

(پ) کفهای فولادی با کنگره‌هایی موازی تیر فولادی

بتن موجود در زیر سطح فوقانی کفهٔ فولادی را می‌توان در تعیین خواص مقطع و در محاسبهٔ A_c برای استفاده در بخش ۹ ـ ۵ منظور کرد.

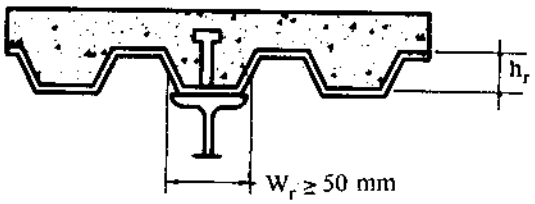
کنگره‌های کف فولادی واقع بر روی تیرهای تکیه‌گاهی دال را می‌توان در موازات تیر بریده و دو لبه را از هم فاصله داد، تا اینکه یک ماهیچهٔ بتنی تشکیل گردد (شکل ۹ ـ ۴).

وقتی که ارتفاع اسمی کفهٔ فولادی ۳/۸ سانتی‌متر و یا بزرگتر باشد، عرض میانگین w_r ماهیچه و یا کنگرهٔ تکیه‌گاهی، نباید کمتر از ۵ سانتی‌متر برای اولین گلمیخ (در یک ردیف عرض) به‌اضافهٔ ۴ برابر قطر گلمیخ برای هر گلمیخ اضافی باشد (شکل ۹ ـ ۴).

مقاومت اسمی اتصال برشی از نوع گلمیخ، باید مساوی مقدار قیدشده در بخش ۹ ـ ۵ باشد، به‌استثنای وقتی که w_r/h_r کمتر از 1.5 است، که در این حالت مقدار حاصل از بخش ۹ ـ ۵ باید در ضریب کاهش زیر ضرب گردد:

$$0.6(w_r/h_r)\left[(H_s/h_r)-1.0\right] \le 1.0 \qquad (۹-۳-۲)$$

که در آن h_r و H_s در بخش ۹ ـ ۳ ـ ۵ ـ ب، تعریف شده‌اند و w_r عرض میانگین کنگره و یا ماهیچهٔ بتنی طبق تعریف بخش ۹ ـ ۳ ـ ۵ ـ الف، می‌باشد.



شکل ۹ ـ ۴ کف فولادی کنگره‌دار ـ کنگره‌های موازی تیر تکیه‌گاهی

۹ ـ ۳ ـ ۶ ـ مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح تیرهای مختلط، برمبنای مقاومت برشی جان تیر فولادی و مطابق بخش ۶ ـ ۲ تعیین می‌شود.

۹ ـ ۴ ـ ترکیب فشار و خمش

اندرکنش فشار محوری و خمش در صفحهٔ تقارن مقطع اعضای مختلط، باید توسط روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱

تا ۸ ـ ۱ ـ ۶، با در نظر گرفتن تعدیلات زیر محدود گردد:

M_n= مقاومت اسمی خمشی، با فرض توزیع پلاستیک تنش در مقطع مختلط، مگر اینکه در زیر به‌نحو دیگری مشروط شده باشد (kg-cm)

$P_e = A_s F_{my}/\lambda_c^2$ بار کمانشی الاستیک (kg)

F_{my}= تنش تسلیم تعدیل‌یافته (kg/cm^2). به‌بخش ۹ ـ ۲ مراجعه نمایید.

ϕ_b= ضریب مقاومت برای خمش (بخش ۹ ـ ۳)

$\phi_c = 0.85$

λ_c= پارامتر لاغری ستون، طبق رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴ و تعدیل اعمال شده در بخش ۹ ـ ۲ ـ ۲. هنگامی که جملهٔ مربوط به‌نیروی محوری در روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف، و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، از ۰/۳ کمتر باشد، مقاومت اسمی خمشی M_n، از یک نمودار خطی که از دو نقطه، یکی با مقاومت خمشی حاصل از فرض توزیع پلاستیک تنش روی مقطع مختلط در $(P_u/\phi_b P_n)=0.3$ و دیگری با مقاومت خمشی در $P_u=0$ عبور داده شده است، باید تعیین شود. مقادیر مقاومت خمشی باید با توجه به‌مفاد بخش ۹ ـ ۳ تعیین گردد.

اگر اتصالات برشی به‌ازای $P_u=0$ مورد نیاز باشند، باید برای $P_u/\phi_b P_n$ کمتر از ۰/۳ نیز آنها را قرار داد.

۹ ـ ۵ ـ اتصالات برشگیر

این بخش شامل طراحی اتصالات برشگیر از نوع گلمیخ و ناودانی می‌شود. در مورد سایر انواع اتصالات برشی به‌بخش ۹ ـ ۶ مراجعه شود.

۹ ـ ۵ ـ ۱ ـ مصالح

اتصالات برشگیر باید یا از نوع گلمیخهای کلاهک‌دار که طولشان بعد از نصب، حداقل ۴ برابر قطرشان است و یا از نوع ناودانیهای گرم نوردشده باشند. اتصالات برشی باید در دالهایی مدفون شوند که سنگدانه‌های آنها برای بتن معمولی منطبق بر مفاد آیین‌نامهٔ بتن ایران باشد.

۹ ـ ۵ ـ ۲ ـ نیروی برشی افقی

به‌استثنای تیرهای محاط در بتن مطابق تعریف بخش ۹ ـ ۱، این‌طور فرض می‌شود که کل نیروی

برشی افقی در فصل مشترک بین تیر فولادی و دال بتنی، به‌وسیلهٔ اتصالات برشگیر انتقال پیدا می‌کند. جهت حصول رفتار مقطع مختلط، در حالی که بتن تحت فشار ناشی از خمش است، نیروی برشی افقی کل، بین نقطهٔ لنگر خمشی حداکثر مثبت و لنگر خمشی صفر، باید برابر کوچکترین مقدار از مقادیر: (۱) $0.85f'_cA_c$، (۲) A_sF_y و (۳) ΣQ_n در نظر گرفته شود که در آنها:

f'_c= مقاومت فشاری مشخصهٔ بتن (kg/cm^2)

A_c= سطح مقطع دال بتنی در محدودهٔ عرض مؤثر (cm^2)

A_s= سطح مقطع هستهٔ فولادی (cm^2)

F_y= تنش تسلیم فولاد تیر (kg/cm^2)

ΣQ_n= مجموع مقاومتهای اسمی اتصالات برشی واقع دربین نقاط لنگر مثبت حداکثر و لنگر صفر (kg)

هرگاه در تیرهای مختلط پیوسته (یکسره)، فرض شود که آرماتورهای طولی در نواحی لنگر منفی به‌طور مختلط با تیرهای فولادی کار می‌کنند، نیروی برشی افقی کل بین نقطه‌ای که در آن لنگر منفی حداکثر و نقطهٔ دیگری که در آن لنگر صفر است، باید برابر با کوچکترین مقدار از بین مقادیر A_rF_{yr} و ΣQ_n در نظر گرفته شود، که در آن:

A_r= سطح‌مقطع آرماتورهای‌طولی واقع درمحدودهٔ عرض‌مؤثر با طول‌گیرایی کافی (cm^2)

F_{yr}= تنش تسلیم آرماتورها (kg/cm^2)

ΣQ_n= مجموع مقاومتهای اسمی برشی اتصالات واقع در بین نقاط لنگر منفی حداکثر و لنگر صفر (kg)

۹ـ۵ـ۳ـ مقاومت اتصالات برشگیر از نوع گلمیخها

مقاومت اسمی یک اتصال برشگیر از نوع گلمیخ مدفون در داخل دال بتنی برابر است با:

$$Q_n=0.5A_{sc}\sqrt{f'_cE_c}\le A_{sc}F_u \qquad (۹ـ۵ـ۱)$$

که در آن:

A_{sc}= سطح مقطع گلمیخ (cm^2)

f'_c= مقاومت فشاری مشخصهٔ بتن (kg/cm^2)

F_u= مقاومت کششی حداقل گلمیخ (kg/cm^2)

E_c= مدول الاستیسیتهٔ بتن* (kg/cm^2)

برای اتصال برشگیر از نوع گلمیخ مدفون در دال متکی بر کف فولادی کنگره‌دار، برای تعیین ضرایب تقلیل طبق روابط ۹ ـ ۳ ـ ۱ و ۹ ـ ۳ ـ ۲، برحسب مورد، به‌بخش ۹ ـ ۳ مراجعه نمایید.

ضرایب تقلیل در رابطهٔ ۹ ـ ۵ ـ ۱، فقط روی جملهٔ $0.5A_{sc}\sqrt{f_c'E_c}$ باید اعمال گردد.

۹ ـ ۵ ـ ۴ ـ مقاومت اتصالات برشی از نوع ناودانی

مقاومت اسمی اتصال برشی از نوع ناودانی مدفون در یک دال بتنی توپر برابر است با:

$$Q_n=0.3(t_f+0.5t_w)L_c\sqrt{f_c'E_c} \qquad (۹-۵-۲)$$

که در آن:

t_f= ضخامت بال اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)

t_w= ضخامت جان اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)

L_c= طول اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)

۹ ـ ۵ ـ ۵ ـ تعداد اتصالات برشی مورد نیاز

تعداد اتصالات برشی لازم بین مقطع لنگر خمشی حداکثر، مثبت یا منفی، و مقطع لنگر صفر مجاور، برابر است با نیروی برشی افقی محاسبه‌شده طبق بخش ۹ ـ ۵ ـ ۲، تقسیم بر مقاومت اسمی یک اتصال برشی که طبق مفاد بخش ۹ ـ ۵ ـ ۳ و یا ۹ ـ ۵ ـ ۴ تعیین می‌گردد.

۹ ـ ۵ ـ ۶ ـ فاصله‌بندی و نصب اتصالات برشی

اتصالات برشی مورد نیاز در هریک از طرفین نقطهٔ 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 برشی مستقر بین هر بار متمرکز و نزدیکترین نقطهٔ دارای لنگر صفر، باید جهت حصول لنگر حداکثر مورد نیاز در نقطهٔ اعمال بار متمرکز کافی باشد.

به‌جز در مورد اتصالات برشی نصب شده در کنگرهٔ کف فولادی کنگره‌دار، اتصالات برشی

---

* E_c از رابطهٔ $E_c=0.135\,w^{1.5}\sqrt{f'_c}$ به‌دست می‌آید که در آن w وزن مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و f'_c برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشند.

لااقل باید ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند. قطر گلمیخ نباید از ۲/۵ برابر ضخامت بال تیری که بدان جوش داده می‌شود تجاوز نماید، مگر اینکه گلمیخ درست در بالای جان تیر قرار گرفته باشد. حداقل فاصلهٔ مرکز تا مرکز بین اتصالات از نوع گلمیخ برابر با 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 کفهای فولادی کنگره‌ای که فاصلهٔ مرکز تا مرکز حداقل در هر دو امتداد را می‌توان ۴ برابر قطر اتصالات انتخاب کرد. حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز بین اتصالات برشی نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال تجاوز نماید.

۹ـ۶ـ حالات ویژه

وقتی که سیستم سازه‌ای مختلط از ضوابط بخشهای (۹ ـ ۱) الی (۹ ـ ۵) تبعیت ننماید، مقاومت اتصالات برشی و جزییات اجرایی آنها باید به‌کمک یک برنامهٔ منظم اجرای آزمایشها ثبیت گردد.

فصل ۱۰

اتصالها و وسایل اتصال

۱۰ـ۱ـ مقررات عمومی

۱۰ـ۱ـ۱ـ مبانی طراحی

اتصالات از اجزای اتصال (نظیر: سخت‌کننده‌ها، ورقهای اتصال، نبشیها و نشیمنها) و وسایل اتصال (جوشها، پرچها و پیچها)، تشکیل می‌شوند. این اجزا باید چنان طراحی شوند که مقاومت طرح آنها برابر و یا بزرگتر باشد از مقاومت مورد نیازی که برمبنای یکی از دو معیار زیر، هر کدام که مناسب باشد، به‌دست می‌آید:

(الف) تحلیل سازه در مقابل بارهای ضریبدار وارده

(ب) نسبت مشخصی از مقاومت اعضای به‌هم وصل شده

۱۰ـ۱ـ۲ـ اتصالات ساده

جز در مواردی که در مدارک طراحی به‌نحو دیگری ذکر گردیده باشد، اتصالات تیرها و شاهتیرها و یا خرپاها باید به‌شکل انعطاف‌پذیر طراحی شوند که این طراحی می‌تواند در حالت عادی فقط جهت حمل برش ناشی از واکنشها صورت پذیرد. اتصالات انعطاف‌پذیر تیرها باید قادر به‌تطبیق با چرخش انتهایی تیرهای بدون گیرداری انتهایی (ساده) باشند. برای تأمین این وضع، تغییرشکل غیرالاستیک در اتصال مجاز می‌باشد.

۱۰ـ۱ـ۳ـ اتصالات صلب (لنگربر)

اتصالهای انتهایی تیرها، شاهتیرها، و خرپاها با گیرداری انتهایی، باید در مقابل اثر مشترک نیروهای

ناشی از لنگر و برش حاصل از صلبیت اتصال محاسبه شود.

۱۰ ـ ۱ ـ ۴ ـ اعضای فشاری با درزهای اتکایی

هنگامی که انتقال نیرو به‌کف ستونها از طریق فشار اتکایی انجام می‌شود و سطح تماس آنها برای انتقال نیرو صاف و آماده شده است، باید وسایل اتصال کافی بین دو قطعه (ستون و کف ستون) موجود باشد تا این قطعات به‌طور مطمئن در محل خود تثبیت شوند.

همچنین در محل وصلهٔ ستونها، اگر سطح انتهایی دو قطعه کاملاً صاف و تنظیم شده باشد و انتقال نیرو از طریق تماس مستقیم انجام شود، باید اجزا و وسایل اتصال طوری تنظیم شوند که قطعات متصل‌شونده در محل و راستای مربوطه نگهداری شوند. در محاسبه، وصله باید بتواند نیرویی برابر حداقل ۵۰ درصد مقاومت عضو متصل‌شونده را تحمل کند.

کلیهٔ وصله‌های فشاری باید برای تحمل هرگونه کشش ناشی‌از ترکیب بار طبق بخش ۱-۳-۴-۳ طراحی شوند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۵ ـ وصلهٔ نیمرخهای سنگین

این بند به‌نیمرخهای نوردشدهٔ حجیم و سنگین و نیمرخهای ورقی که با جوش دادن ورقهای ضخیمتر از ۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، مربوط می‌شود.

در وصلهٔ این گونه اعضا که توسط جوش لب به‌لب نفوذی صورت می‌پذیرد، باید برای جلوگیری از اثر انقباض ناشی از سرد شدن و شکنندگی ناشی از تردی در جوش و مصالح مجاور آن، احتیاطهای لازم به‌عمل آید.

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

در محل وصله، سوراخهای دسترسی باید طبق بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۶، پیش‌گرمایش جوشکاری طبق بند ۱۰ ـ ۲ ـ ۸، و برش با شعله و احتیاجات بازرسی باید طبق بند ۱۳ ـ ۲ ـ ۲ رعایت گردد.

در اتصالات کششی نیمرخهای سنگین، باید بعد از جوشکاری، کلیهٔ اجزای اضافی و پشت‌بند جوش (در صورت موجود بودن) را از جای خود برداشت و سطح جوش را صاف و یکنواخت کرد. در اعضای اصلی فشاری، باید سوراخهای دسترسی جوشکاری برای جوش لب، محدودیتهای بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۶ را برآورده نماید.

در وصلهٔ این‌گونه نیمرخها، اگر تحت اثر نیروی فشاری باشند (شامل اعضایی که تحت اثر باد

یا زلزله، در کشش قرار می‌گیرند)، می‌توان از جزییاتی استفاده نمود که انقباض ناشی از جوش را به‌حداقل برسانند. برای مثال می‌توان بال را با جوش لب به‌لب با نفوذ نسبی و جان را با استفاده از ورق وصله و جوش گوشه متصل نمود و یا از ورقهای وصلهٔ پیچی و یا ترکیبی از ورق وصله با جوش گوشه و پیچ استفاده نمود.

۱۰ ـ ۱ ـ ٦ ـ سوراخهای دسترسی برای جوش در محل وصلهٔ تیرها و در محل اتصال

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. این سوراخها باید دید کامل و فراخی کافی را داشته باشند و به‌صورتی کاملاً یکنواخت، با انحنای ملایم و بدون گوشه‌های تیز و زاید تعبیه شوند.

در نیمرخهای سنگین که از مصالح به‌ضخامت بیش از ۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، لبه‌های برش دادهٔ تیر یا سوراخهای دسترسی که توسط شعله بریده شده باشند، باید با سنگ زدن به‌صورت صاف و براق درآورده شوند. اگر قسمتهای منحنی، توسط مته کردن و یا سوهان زدن شکل گرفته باشند، نیازی به‌سنگ زدن و صاف کردن ندارند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ حداقل مقاومت اتصال

اتصالاتی که تنشهای محاسبه‌شده‌ای را تحمل می‌کنند (غیر از بستهای چپ و راست، میل‌مهار لاپه‌ها و یا تیرهای دیوارهای فلزی) باید حداقل برای تحمل نیروی ضربیدار ۴/۵ تن طراحی شوند.

۱۰ ـ ۱ ـ ۸ ـ آرایش جوشها و پیچها

ترتیب قرارگیری پیچها، پرچها یا جوشها در انتهای هر عضوی که نیروی محوری را انتقال می‌دهد، باید طوری باشد که مرکز ثقل وسایل اتصال و مرکز ثقل عضو در یک راستا قرار گیرد، مگر حالتی که برون‌محوری در طراحی منظور گردد. رعایت این محدودیت برای اتصال انتهای تک و جفت نبشی و نظایر آنها که تحت اثر بارهای استاتیکی باشند، لازم نیست. در این‌گونه اتصالات اگر بار استاتیک وارد شود، می‌توان از برون‌محوری بین مرکز ثقل عضو و گروه پیچها صرف‌نظر کرد. در اعضای تحت اثر خستگی، برون‌محوری یادشده را باید در نظر داشت.

۱۰ـ۱ـ۹ـ ترکیب پیچ و جوش

در کارهای نوساز، ترکیب پیچهای معمولی و پرمقاومت با عملکرد اتکایی با جوش برای حمل نیرو مجاز نیست و باید فرض نمود که تمام نیرو توسط جوش حمل می‌گردد.

ترکیب پیچهای پرمقاومت با عملکرد اصطکاکی با جوش مجاز است و می‌توان آنها را در باربری سهیم نمود.

در کارهای تعمیری و افزایش مقاومت سازهٔ موجود با جوش، مجاز است اتصال پرچ و پیچ پرمقاومت با عملکرد اصطکاکی موجود را جوابگوی بارهای موجود فرض کرد و جوش را برای تنشهای اضافی طراحی کرد.

۱۰ـ۱ـ۱۰ـ ترکیب پیچهای پرمقاومت اصطکاکی و پرچ

در کارهای نوساز و یا تعمیراتی، می‌توان فرض کرد که پیچهای پرمقاومت اصطکاکی، مشترکاً با پرچ بارها را تحمل می‌کنند.

۱۰ـ۱ـ۱۱ـ محدودیتهای اتصالات پیچی و جوشی

برای اتصالات زیر باید از پیچهای پرمقاومت اصطکاکی 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 ۰/۴ کمتر باشد.

۳. وصلهٔ ستونها در سازه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر، در صورتی‌که نسبت بعد کوچک پلان به‌ارتفاع در آنها از ۰/۲۵ کمتر باشد.

۴. اتصال کلیهٔ تیرها و شاهتیرها به‌ستون یا اتصال هر نوع تیر یا شاهتیری که مهار ستونها به‌آنها مرتبط باشد، درسازه‌های با ارتفاع بیش از ۳۸ متر.

۵. کلیهٔ سازه‌هایی که جرثقیلهای با ظرفیت بیش از ۵ تن را تحمل می‌کنند، وصله‌های خرپاهای بام و اتصالات خرپاها به‌ستونها، وصله‌های ستونها، مهاربندی ستونها، مهاربندیهای زانویی و تکیه‌گاه جرثقیلها.

۶. اتصالات برای تکیه‌گاههای ماشین‌آلات متحرک و یا سایر بارهای زنده که موجب ضربه و یا تنشهای معکوس می‌شوند.

۷. هر نوع اتصال دیگری که در نقشه‌های طراحی قید شده باشد.

در کلیهٔ حالتهای دیگر می‌توان اتصال را با پیچهای معمولی و پرمقاومت با عملکرد اتکایی انجام داد.

از لحاظ این بخش، ارتفاع یک‌سازهٔ قابدار چندطبقه، عبارت‌است از فاصلهٔ‌قائم بین تراز جدول کنار خیابان تا مرتفع‌ترین نقطهٔ تیرهای بام در مورد بامهای تخت و یا تا ارتفاع میانگین شیروانی در مورد بامهای شیبدار با شیب بیش از ۲۲ درصد. در جایی که هنوز تراز جدول تثبیت نشده است و یا در جایی که سازه اصلاً مشرف به‌خیابان نیست، میانگین تراز زمینهای مجاور باید به‌جای تراز جدول به‌کار برده شود. خرپشته‌های پشت بام را می‌توان در محاسبات بلندی سازه کنار گذاشت.

۱۰ـ۲ـ اتصالات جوشی

۱۰ـ۲ـ۱ـ جوشهای شیاری

انواع جوشهای شیاری عبارتند از با نفوذ کامل و با نفوذ نسبی.

(الف) سطح مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر جوشهای شیاری، مساوی حاصل‌ضرب طول مؤثر جوش در ضخامت مؤثر گلوی جوش در نظر گرفته می‌شود.

طول مؤثر جوش شیاری، مساوی-عرض قطعه متصل شده و ضخامت مؤثر گلوی جوش شیاری با نفوذ کامل مساوی ضخامت قطعه متصل شده نازکتر است.

ضخامت مؤثر گلوی جوش شیاری با نفوذ نسبی، مساوی با مقادیر نشان داده شده در جدول ۱۰ـ۲ـ۱ است.

ضخامت مؤثر گلوی یک جوش شیاری لب‌گرد در حالت همسطح با قطعه و در دو حالت اتصال لب به‌لب و یا اتصال T، طبق جدول ۱۰ـ۲ـ۲ می‌باشد. باید مقاطعی به‌صورت اتفاقی از تولیدات جوش، برای هر کدام از روشهای جوشکاری، و یا مقاطع آزمایشی که در مدارک طراحی خواسته شده است، مورد آزمایش قرار گیرد تا حصول مستمر ضخامتهای مؤثر گلوی جوش تأیید شود.

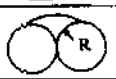
ضخامتهای مؤثر گلوگاهی بزرگتر از مقادیر جدول ۱۰ـ۲ـ۲ به‌شرطی مجاز است که سازنده بتواند با مدارک مناسب نشان دهد که می‌تواند به‌طور مستمر چنین ضخامتهای مؤثر گلو را تولید نماید. برای اثبات شایستگی باید جوش در وسط بین دو انتها، در امتداد عمود بر محور، برش داده

شود. این اعمال برش باید برای ترکیبات مختلف از اندازه‌های مصالح صورت بگیرد. این ترکیبات باید معرف ترکیبات اندازه‌هایی که کم و بیش در کارگاه به‌کار می‌رود و یا طراح مقرر می‌کند، باشند.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۱ ضخامت مؤثر گلوی جوشهای شیاری با نفوذ نسبی

روش جوشکاری	وضعیت جوشکاری	زاویهٔ داخلی در رویهٔ جوش	ضخامت مؤثر گلو
جوش قوسی با: ۱. الکترود پوشش‌دار یا زیرپودری	همهٔ وضعیتها	درز U یا J (لاله‌ای و نیم‌لاله‌ای)	عمق شیار
۲. الکترود با حفاظ گازی		درز V یا ∠ (جناغی و نیم‌جناغی) زاویهٔ پخ ≥ 60	
۳. الکترود با حفاظ مغزی		درز V یا ∠ (جناغی و نیم‌جناغی) $45° < $ زاویهٔ پخ $< 60°$	عمق شیار منهای ۳ میلی‌متر

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ضخامت مؤثر گلوی جوشهای شیاری لب‌گرد

نوع جوش	شعاع گرده‌ی لبه (R)	ضخامت مؤثر گلوگاهی
نیم‌جناغی لب‌گرد	همه	$\frac{5}{16}$ R
جناغی لب‌گرد	 همه	$\frac{1}{2}$ R*

* برای جوشکاری با حفاظ گازی وقتی که R از ۳۵ میلی‌متر بزرگتر است، از مقدار $\frac{3R}{8}$ استفاده شود.

(ب) محدودیتها

حداقل ضخامت مؤثر گلوی یک جوش شیاری با نفوذ نسبی باید طبق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ باشد. اندازهٔ حداقل جوش براساس قطعهٔ ضخیمتر از بین دو عضو به‌هم وصل شده تعیین می‌گردد. لیکن لازم نیست که اندازهٔ حداقل از ضخامت ورق نازکتر، بیشتر باشد. در این حالت، باید با پیش‌گرم نمودن کافی، از سلامت جوش اطمینان حاصل نمود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ضخامت مؤثر حداقل گلوی جوشهای شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت ورق ضخیمتر (میلی‌متر)	ضخامت مؤثر حداقل گلو (میلی‌متر)
۶ و کوچکتر	۳
بیش از ۶ الی ۱۳	۵
بیش از ۱۳ الی ۱۹	۶
بیش از ۱۹ الی ۳۸	۸
بیش از ۳۸ الی ۵۷	۱۰
بیش از ۵۷ الی ۱۵۰	۱۳
بیش از ۱۵۰	۱۶

۱۰ ـ ۲ ـ ۲ ـ جوشهای گوشه

(الف) سطح مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر جوشهای گوشه برابر است با حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر گلو. طول مؤثر جوشهای گوشه، بجز جوشهای گوشه داخل سوراخها و شیارها، برابر است با طول کل جوش با اندازهٔ کامل با احتساب طول برگشت‌ها.

ضخامت مؤثر گلوی یک جوش گوشه برابر است با کوتاهترین فاصلهٔ ریشهٔ درز تا سطح هندسی جوش، با این استثناء که در مورد جوشهای گوشهٔ اجرا شده با روش قوسی زیرپودری، ضخامت مؤثر گلو برابر است با اندازهٔ ساق جوش برای جوشهای گوشهٔ ۱۰ میلی‌متر و کمتر و برابر است با اندازهٔ تئوریک گلوگاه به‌اضافهٔ ۳ میلی‌متر برای جوشهای گوشهٔ بزرگتر از ۱۰ میلی‌متر.

برای جوشهای گوشه داخل سوراخها و شیارها طول مؤثر برابر است با طول خط مرکزی جوش که از مرکز صفحهٔ مار بر گلوی جوش می‌گذرد. در مورد جوشهای گوشهٔ رویهم، مساحت مقطع مؤثر نباید از سطح مقطع اسمی سوراخ و یا شیار در روی سطح فصل مشترک بیشتر باشد.

(ب) محدودیتها

بعد (اندازهٔ ساق) حداقل جوشهای گوشه در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ارائه گردیده است. بعد حداقل جوش براساس ضخامت قطعه ضخیمتر تعیین می‌گردد. با این استثناء که نیازی نیست از ضخامت قطعه نازکتر تجاوز نماید. در این حالت استثناء، باید توجه ویژه‌ای مبذول داشت که جهت حفظ بی‌عیبی جوش، پیش‌گرمایش کافی اعمال گردد.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ بعد حداقل جوشهای گوشه

ضخامت ورق ضخیمتر (میلی‌متر)	بعد حداقل جوش گوشه (میلی‌متر)
۶ و کوچکتر	۳
بیش از ۶ الی ۱۳	۵
بیش از ۱۳ الی ۱۹	۶
بیش از ۱۹	۸

بعد حداکثر جوش گوشه که می‌تواند در امتداد لبه‌های قطعات متصل شده به‌کار برده شود، به‌قرار ذیل است:

ـ در امتداد لبه‌های مصالحی با ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر، مساوی ضخامت مصالح.

ـ در امتداد لبه‌های مصالحی با ضخامت ۶ میلی‌متر و یا بیشتر، مساوی ضخامت مصالح منهای ۱/۵ میلی‌متر، مگر اینکه در روی نقشهٔ طراحی به‌طور اخص مشخص شده باشد که این جوش باید تا حصول ضخامت کامل گلو، اجرا گردد.

ـ برای جوش متصل‌کنندهٔ بال به‌جان، اندازهٔ واقعی لازم نیست بزرگتر از ظرفیت برشی ورق جان باشد و رعایت حداقل ذکر شده در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ لازم نیست.

حداقل طول مؤثر جوشهای گوشه‌ای که برای تحمل نیرو طراحی می‌گردند، نباید از ۴ برابر بُعد اسمی کمتر باشد وگرنه بعد جوش مساوی با $\frac{1}{4}$ طول مؤثر آن منظور خواهد شد. در صورتی که در اتصال انتهای تسمه‌های کششی، جوشهای گوشهٔ طولی به‌تنهایی به‌کار رفته باشند، طول هر کدام از این جوشهای گوشه نباید از فاصلهٔ عمودی بین آنها کمتر باشد. فواصل عرضی بین جوشهای گوشهٔ طولی در اتصال انتهای اعضای کششی نباید از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز نماید، مگر اینکه اعضای مزبور براساس سطح مقطع خالص مؤثر طبق بخش ۲ ـ ۳ طراحی شده باشند.

حداکثر طول مؤثر جوشی که به‌صورت طولی بارگذاری شده، مثل جوش ورق وصله، نباید از ۷۰ برابر بعد جوش تجاوز نماید. در این طول، توزیع تنش طولی یکنواخت فرض می‌شود.

جوشهای گوشه منقطع را می‌توان جهت انتقال تنشهای محاسبه شده در امتداد یک درز یا فصل مشترک سطوح در مواقعی که مقاومت مورد نیاز کمتر از مقداری است که یک جوش گوشهٔ پیوسته با کوچکترین اندازهٔ مجاز به‌دست می‌دهد و یا برای اتصال اجزای یک عضو متشکل از چند نیمرخ، به‌کار برد.

طول مؤثر هرقطعه از یک‌جوش منقطع، نبایداز ۴برابر بُعد جوش و یا ۴۰میلی‌متر کمتر باشد.

در درزهای رویهم، حداقل طول پوشش دو قطعه، باید ۵ برابر ضخامت قطعهٔ نازکتر باشد، لیکن نباید از ۲۵ میلی‌متر کمتر گردد. در درزهای رویهم که ورقها و تسمه‌های تخت با تنش محوری را به‌همدیگر اتصال می‌دهند، باید انتهای هر دو قطعهٔ رویهم جوش گوشه داده شوند، مگر در موقعی که تغییرشکل قطعات رویهم به‌حد کافی محدود شده باشد که از باز شدن درز تحت اثر بارگذاری حداکثر، ممانعت به‌عمل آید.

جوشهای گوشه بغل و کله که به‌ترتیب در کناره و یا در انتهای قطعات و یا اعضا، به‌پایان می‌رسند، در صورت امکان باید حداقل به‌طول ۲ برابر اندازهٔ اسمی جوش، حول گوشه به‌طور پیوسته برگردانده شوند. این دستورالعمل باید برای جوشهای گوشهٔ بغل و بالای اتصال‌دهندهٔ نشیمنهای عرضی و طولی تیرها و اتصالات مشابه به‌صفحه‌ای که نسبت به‌آن لنگر خمشی حساب می‌شود، اعمال گردد. برای اتصالات ساده با نبشیهای جان و اتصالات ساده با ورق سر، که انعطاف‌پذیری اتصال به‌قابلیت انعطاف ساقهای برجستهٔ نبشیها وابسته‌اند، طول برگشتهای انتهایی از ۴ برابر اندازهٔ اسمی جوش، نباید بیشتر شود. جوشهای گوشه‌ای که در دو لبهٔ متقابل یک صفحه مشترک واقعند، باید در گوشه‌ای که بین هر دو جوش مشترک می‌باشد، متوقف گردند. برگشتهای پایانی باید در نقشه‌های طراحی و در نقشه‌های جزییات نشان داده شوند.

جوشهای گوشه در سوراخها و شیارها را می‌توان به‌منظور انتقال برش در درزهای رویهم و یا برای جلوگیری از کمانش و یا جدا شدن قطعات رویهم و یا برای به‌هم پیوستن قطعات متشکلهٔ اعضای ساخته‌شده از چندنیمرخ به‌کار برد. چنین جوشهایی‌را می‌توان با رعایت مفاد بخش ۱۰-۲ در رویهم قرار داد. جوشهای گوشه در سوراخها و شیارها نباید به‌عنوان جوشهای انگشتانه و کام تلقی شوند.

۱۰ ـ ۲ ـ ۳ ـ جوشهای انگشتانه و کام توپر

(الف) مساحت مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر برشی جوشهای انگشتانه و کام برابر با سطح مقطع اسمی حفره و یا شکاف در روی صفحهٔ فصل مشترک دو ورق می‌باشد.

(ب) محدودیتها

جوشهای انگشتانه و کام را می‌توان برای انتقال نیروی برشی در درزهای رویهم و یا برای جلوگیری

از کمانش قطعات رویهم و یا برای به‌هم پیوستن قطعات متشکلهٔ اعضای ساخته شده از چند نیمرخ به‌کار برد.

قطر سوراخ جوشهای انگشتانه که برحسب میلی‌متر گرد شده، نباید از ضخامت ورق حاوی سوراخ به‌اضافهٔ ۸ میلی‌متر کمتر و از $\frac{1}{4}$ ۲ برابر ضخامت فلز جوش بیشتر باشد.

حداقل فاصلهٔ مرکز به‌مرکز جوشهای انگشتانه مساوی ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد.

طول شکاف یک جوش کام نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد. عرض شکاف که برحسب میلی‌متر گرد شده، نباید از ضخامت ورق حاوی شکاف به‌اضافهٔ ۸ میلی‌متر کمتر و از $\frac{1}{4}$ ۲ برابر ضخامت فلز جوش بیشتر باشد. سر و ته شکاف یا باید نیم‌دایره‌ای باشد و یا اینکه گوشه‌های آن با شعاعی برابر با اقلاً ضخامت قطعهٔ حاوی شکاف گرد شده باشند، مگر اینکه انتهای شکاف به‌لبهٔ قطعه منتهی شده باشد.

حداقل فاصلهٔ محور به‌محور جوشهای شکافی در امتداد عمود بر راستای آنها باید مساوی با ۴ برابر عرض شکاف باشد. حداقل فاصله از مرکز تا مرکز در امتداد طولی باید مساوی با ۲ برابر طول شکافها باشد.

ضخامت جوشهای انگشتانه و کام در ورقهایی با ضخامتهای ۱۵ میلی‌متر و یا کمتر، باید مساوی با ضخامت قطعه باشد. و در قطعات ضخیمتر از ۱۵ میلی‌متر، ضخامت جوش باید مساوی $\frac{1}{2}$ ضخامت قطعه ولی نه کمتر از ۱۵ میلی‌متر باشد.

۱۰ـ۲ـ۴ـ مقاومت طرح

مقاومت طرح جوش حداقل دو مقدار $\phi F_{BM} A_{BM}$ و $\phi F_w A_w$ برحسب مورد می‌باشد. مقادیر ϕ، F_{BM}، و F_w در جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ ارائه شده است، در این جدول داریم:

F_{BM}= مقاومت اسمی مصالح پایه (kg/cm^2)

F_w= مقاومت اسمی مصالح الکترود (kg/cm^2)

A_{BM}= سطح مقطع عرضی مصالح پایه (cm^2)

A_w= سطح مقطع مؤثر جوش (cm^2)

ϕ= ضریب مقاومت.

به‌عنوان روش دیگر، جوشهای گوشهٔ بارگذاری‌شده در صفحه را می‌توان طبق پیوست ۱۰ـ۲ـ۴ طراحی نمود.

جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵ مقاومت طرح جوشها

نوع جوش	نوع تنش[1]	مصالح	ضریب مقاومت ϕ	مقاومت اسمی F_{BM} و یا F_w	مقاومت لازم برای فلز جوش[2و3]
جوش شیاری با نفوذ کامل	کشش عمود بر مقطع مؤثر	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار
	فشار عمود بر سطح مقطع مؤثر کشش و یا فشار در موازات محور جوش	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار و یا یک تراز پایین‌تر
	برش در سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکترود جوش	0.90 0.80	$0.6\,F_y$ $0.6\,F_{Ex}$	
جوش شیاری با نفوذ نسبی	فشار عمود بر سطح مقطع مؤثر کشش و یا فشار موازی با محور جوش	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار و یا یک تراز پایین‌تر
	برش در موازات محور جوش	فلز پایه الکترود جوش	– 0.75	– $0.6\,F_{Ex}$	
	کشش عمود بر سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکترود جوش	0.90 0.80	F_y $0.6\,F_{Ex}$	
جوش گوشه	تنش در روی سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکترود جوش	– 0.75	– $0.60\,F_{Ex}$	سازگار و یا یک تراز پایین‌تر
	کشش و یا فشار در موازات محور جوش	فلز پایه	0.90	F_y	
جوش انگشتانه و کام	برش در موازات سطح فصل مشترک (روی سطح مقطع مؤثر)	فلز پایه الکترود جوش	– 0.75	– $0.60\,F_{Ex}$	سازگار و یا یک تراز پایین‌تر

۱ ـ جوشهای گوشه و جوشهای شیاری با نفوذ نسبی که اجزای متشکله اعضای ساخته شده از چند نبمرخ را به‌همدیگر پیوند می‌دهند، نظیر اتصال جان به‌بال، می‌توانند بدون توجه به‌تنشهای فشاری و یا کششی موازی محور جوش در این اعضا طراحی شوند.

۲ ـ فلز جوش (الکترود مصرفی) باید با فلز پایه (مادر) سازگار باشد. الکترودهای سازگار طبق جدول ذیل می‌باشند.

مقاومت نهایی فلز جوش (F_u)	تنش تسلیم فلز پایه (مادر) (F_y)
4200 kg/cm² (E60)	تا 3000 kg/cm²
4900 kg/cm² (E70)	تا 3850 kg/cm²
5600 kg/cm² (E80)	تا 4600 kg/cm²

۳ ـ F_{Ex} مقاومت نهایی فلز الکترود می‌باشد. (kg/cm^2)

۱۰ـ۲ـ۵ـ ترکیب جوشها

اگر دو و یا چند جوش از انواع مختلف (شیاری، گوشه، انگشتانه و کام) در یک اتصال با هم ترکیب شوند، جهت تعیین مقاومت طرح کل ترکیب، باید مقاومت طرح هرکدام از جوشها، به‌تنهایی نسبت به‌محور گروه محاسبه گردد. مقاومت کلی، مساوی مجموع مقاومتهای تک‌تک جوشها می‌باشد.

۱۰ـ۲ـ۶ـ سازگاری فلز جوش با فلز پایه (مادر)

در انتخاب نوع الکترود، سازگاری فلز جوش با فلز پایه (مادر) باید در نظر گرفته شود. در پانویس جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵، نوع فلز جوش سازگار با فلز پایه ارائه شده است. استفاده از فلز جوش با ترازی بالاتر از تراز سازگار، همواره بلامانع است.

۱۰ـ۲ـ۷ـ فلز جوش مختلط

اگر طاقت نمونهٔ زخم‌دار به‌عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوشها، اعم از خال‌جوش، جوش ریشه و عبورهای بعدی باید سازگار باشد تا طاقت نمونهٔ زخم‌دار برای فلز جوش مختلط محرز باشد.

۱۰ـ۲ـ۸ـ پیش‌گرمایش برای نیمرخهای سنگین

برای نیمرخهای نوردشدهٔ سنگین و نیمرخهای ورقی جوشی با ورقهای ضخیمتر از ۵۰ میلی‌متر، باید قبل از انجام جوش لب به‌لب، پیش‌گرم کردن تا دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد یا بیشتر صورت گیرد.

۱۰ـ۳ـ پیچها، قطعات حدیده شده و پرچها

۱۰ـ۳ـ۱ـ معرفی

انواع متداول پیچهای معمول در اسکلتهای فولادی مشتمل‌بر پیچهای معمولی و پیچهای پرمقاومت می‌باشند. در جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ مشخصات پیچهای موجود یا تولید در ایران طبق استانداردهای ASTM و DIN ارائه شده است. برای هر پیچ باید واشر و مهرهٔ سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

پیچها با دو نوع عملکرد «اتکایی» و «اصطکاکی» مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواع پیچها می‌توانند با عملکرد اتکایی مورد استفاده قرار گیرند. ولی برای عملکرد اصطکاکی، فقط پیچهای

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ انواع پیچهای موجود در ایران طبق ASTM و DIN

نوع پیچ و پرچ	نام تجارتی		F_y	F_u	حداقل نیروی پیش‌تنیدگی
	ASTM	DIN	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	
پرچ	A501		1900	3150	
	A502		2600	4200	
		UST36	2050	3300	
		RST38	2250	3700	
پیچ معمولی	A307			4200	
		4.6	2400	4000	–
		5.6	3000	5000	
پیچ پرمقاومت	A325			≤M25 8250	$0.55\ F_u\ A_b$
				>M25 7250	
	A490			10000	
		8.8	6400	8000	
		10.9	9000	10000	

پرمقاومت مجاز هستند. در عملکرد اتکایی ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی لازم نیست ولی در عملکرد اصطکاکی، پیچها باید تا نیروی $0.55F_u A_b$ پیش‌تنیده گردند.

برای حصول پیش‌تنیدگی استفاده از یکی از سه روش «سفت کردن مجدد مهره»، «کشش‌سنج» و یا «آچار مدرج» امکان‌پذیر است.

در اتصالاتی که تحت اثر بارهای کششی نیستند، همچنین جایی‌که لغزش را می‌توان مجاز دانست، و نیز آنجا که لقی و خستگی در اثر ارتعاشات یا در اثر نوسانات بارگذاری از نظر طراحی مسئله‌ساز نیستند، کافی است که پیچها را بدون ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی، تنها تا حالت سفت شدن اولیه سفت 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. برای پیچهایی‌که بدین‌صورت سفت شده‌اند، از مقادیر مقاومتهای اسمی مندرج در جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ مربوط به اتصالات اتکایی باید استفاده شود. پیچهایی‌که باید به‌صورت معمولی بدون ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی سفت گردند، لازم است به‌وضوح در روی نقشه‌های محاسباتی و نقشه‌های نصب مشخص گردند.

در اتصالات اصطکاکی که در آنها امتداد نیرو به‌طرف لبهٔ قطعهٔ مورد اتصال است، باید مقاومت اتکایی کافی طبق بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ وجود داشته باشد.

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲ مقاومت طرح وسایل اتصال (پیچ و پرچ)

شرح	مقاومت کششی		مقاومت برشی در اتصالات اتکایی	
	ضریب مقاومت ϕ	مقاومت اسمی kg/cm^2	ضریب مقاومت ϕ	مقاومت اسمی kg/cm^2
پیچهای معمولی	0.75	[1] $0.75\ F_u$	0.75	[2و5] $0.4\ F_u$
پیچهای پرمقاومت وقتی که حدیده‌ها در صفحهٔ برش قرار دارند	0.75	[4] $0.78\ F_u$	0.75	[5] $0.4\ F_u$
پیچهای پرمقاومت وقتی که حدیده‌ها در صفحهٔ برش قرار ندارند	0.75	$0.78\ F_u$	0.75	[5] $0.5\ F_u$
قطعات حدیده‌شده منطبق بر مفاد بخش (۱ ـ ۳) وقتی که حدیده‌ها در صفحهٔ برش قرار دارند	0.75	[1و3] $0.75\ F_u$	0.75	$0.4\ F_u$
قطعات حدیده‌شده منطبق بر مفاد بخش (۱ ـ ۳) وقتی که حدیده‌ها در صفحهٔ برش قرار ندارند	0.75	[1و3] $0.75\ F_u$	0.75	$0.5\ F_u$
پرچهای گرم پرچ شده	0.75	[1] F_u	0.75	[5] $0.9\ F_y$

۱ ـ فقط بارگذاری استاتیکی

۲ ـ استقرار حدیده‌ها در صفحات برش مجاز است

۳ ـ مقاومت کششی اسمی ناحیهٔ حدیده شده یک پله با حدیدهٔ توپی براساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حدیده، A_b، باید از سطح مقطع اسمی تنه (قبل از ناحیهٔ توپی) ضربدر F_y بیشتر باشد.

۴ ـ برای پیچهای پرمقاومت مشمول تنش خستگی ناشی از بارکششی به‌پیوست ۱۱ ـ ۴ رجوع شود.

۵ ـ در اتصالات اتکایی مورد استفاده جهت وصلهٔ اعضای کششی، اگر طول کل اتصال (فاصلهٔ دو پرچ انتهایی) در امتداد محور نیرو از ۱۲۵ سانتی‌متر تجاوز کند، لازم است که مقادیر مندرج در جدول به‌میزان ۲۰ درصد تقلیل داده شوند.

۱۰ ـ ۳ ـ ۲ ـ انواع سوراخهای پیچ

(الف) اندازه‌های حداکثر سوراخ پیچها و پرچها در جدول (۱۰ ـ ۳ ـ ۳) داده شده است.

به‌خاطر نیاز به‌رواداریهای محل میل‌مهارها در شالوده‌های بتنی، سوراخهای بزرگتری در جزییات ورقهای کف ستونها می‌توان به‌کار برد.

(ب) در اتصالات عضو به‌عضو، باید از سوراخهای استاندارد استفاده شود، مگر اینکه سوراخهای فراخ، لوبیایی کوتاه و یا لوبیایی بلند در اتصالات پیچی از طرف طراح مورد تأیید قرار گیرد. گوه‌های انگشتی تا ضخامت ۶ میلی‌متر را می‌توان در اتصالات اصطکاکی که براساس سوراخهای استاندارد طرح شده‌اند، وارد کرد بدون اینکه لازم باشد مقاومت برشی اسمی پیچها به‌میزان مقرر شده برای سوراخهای لوبیایی تقلیل داده شود.

(پ) از سوراخهای فراخ می‌توان در هریک و یا در کلیهٔ لایه‌های اتصالات اصطکاکی استفاده کرد. لیکن از آنها نمی‌توان در اتصالات از نوع اتکایی استفاده نمود. باید در لایهٔ بیرونی روی سوراخهای فراخ، واشرهایی از فولاد خشکه نصب کرد.

(ت) از سوراخهای لوبیایی کوتاه می‌توان در هریک و یا در کلیهٔ لایه‌های اتصالات اصطکاکی و یا اتکایی استفاده نمود. در اتصالات اصطکاکی بدون توجه به‌راستای بارگذاری می‌توان از سوراخهای لوبیایی استفاده کرد. لیکن در اتصالات اتکایی، طول سوراخ لوبیایی باید عمود بر امتداد بارگذاری باشد. در لایهٔ بیرونی روی سوراخهای لوبیایی کوتاه باید واشر نصب کرد و در صورتی‌که از پیچهای پرمقاومت استفاده شده باشد، این واشرها باید از جنس فولاد خشکه باشند.

(ث) از سوراخهای لوبیایی بلند چه در اتصالات اصطکاکی و چه در اتصالات اتکایی، فقط در یکی از قطعات دوطرف یک سطح تماس می‌توان استفاده کرد. در اتصالات اصطکاکی بدون توجه به‌امتداد بارگذاری می‌توان از سوراخهای لوبیایی بلند استفاده کرد. لیکن در اتصالات اتکایی شیارها باید بر امتداد بارگذاری عمود باشند. هرگاه سوراخ لوبیایی بلند در یک لایهٔ بیرونی به‌کار رفته باشد، واشرهای ورقی و یا تسمه‌های یکسره با سوراخ استاندارد، در ابعادی که بتوانند بعد از نصب تمام شیار را بپوشانند، باید تعبیه گردد. در اتصالات با پیچهای پرمقاومت ضخامت این‌گونه واشرها و یا تسمه‌های پیوسته نباید از ۵ میلی‌متر کمتر باشد و جنس آنها باید از نوع فولاد سازه‌ای باشد اما لزومی ندارد که از جنس فولاد خشکه باشد. اگر به‌خاطر وجود پیچهای پرمقاومت استفاده از واشرهای خشکه ضروری باشد، واشرهای خشکه را باید در روی سطح بیرونی واشر ورقی و یا

تسمهٔ یکسره قرار داد.

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۳ ابعاد اسمی سوراخهای پیچ

قطر پیچ (mm)	اندازهٔ حداکثر سوراخ			
	استاندارد (قطر) (mm)	فراخ (قطر) (mm)	لوبیایی کوتاه (طول ×عرض) (mm)	لوبیایی بلند (طول ×عرض) (mm)
d	d+2	d+5	(d+2)×(d+7)	(d+2)×(2.5d)

در محاسبهٔ سطح خالص مؤثر، برای سوراخهایی که با منگنه ایجاد می‌شوند، باید ۲ میلی‌متر به‌ابعاد فوق افزوده گردد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۳ ـ حداقل فواصل

حداقل فاصلهٔ محور به‌محور سوراخهای استاندارد، فراخ، لوبیایی کوتاه و بلند $3d$ می‌باشد که d قطر پیچ است. فاصلهٔ خالص بین سوراخها نباید کمتر از $2d$ گردد.

برای کنترل لهیدگی به‌بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۴ ـ حداقل فاصله از لبه

حداقل فاصلهٔ مرکز سوراخ استاندارد تا لبهٔ نورد‌شده و یا بریده شده با شعله مساوی $1.25d$ و تا لبهٔ بریده شده با قیچی $1.75d$ (d قطر پیچ) می‌باشد. در سوراخ فراخ ۳ میلی‌متر به‌این فاصله اضافه می‌شود. در سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند، اگر قطر بزرگ سوراخ موازی لبهٔ کار باشد، هیچ افزایشی به‌مقادیر فوق مجاز نیست، لیکن اگر قطر بزرگ سوراخ عمود بر لبه باشد، در مورد سوراخ لوبیایی کوتاه ۵ میلی‌متر و در مورد سوراخ لوبیایی بلند $0.75d$ به‌فواصل نظیر در سوراخ استاندارد اضافه می‌شود.

برای کنترل لهیدگی به‌بند ۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ مراجعه شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۵ ـ حداکثر فواصل و فاصله از لبه

فاصلهٔ مرکز پیچ و یا پرچ تا نزدیکترین لبهٔ قطعات در حال تماس، نباید از ۱۲ برابر ضخامت قطعهٔ مورد بحث و نیز از ۱۵ سانتی‌متر تجاوز کند.

فاصلهٔ طولی بین وسایل اتصال در نیمرخهای ساخته شده از ورق و نیمرخ و یا دو ورق، به‌صورت زیر است:

الف) برای اعضای رنگ شده، و رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی نیست، فاصلهٔ وسایل اتصال نباید بزرگتر از ۲۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۳۰ سانتی‌متر شود.

ب) برای اعضای رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی جوی قرار دارند، فاصلهٔ وسایل اتصال نباید از ۱۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۱۸ سانتی‌متر بیشتر شود.

۱۰ـ۳ـ۶ـ مقاومت کششی و برشی اتکایی (غیر اصطکاکی)

مقاومت برشی یا کششی طرح پیچهای پرمقاومت یا قطعات حدیده شده مساوی $\phi F_n A_b$ است که در آن:

ϕ= ضریب مقاومت طبق جدول ۱۰ـ۳ـ۲

F_n= مقاومت‌کششی اسمی F_t، یا مقاومت برشی اسمی F_v طبق جدول ۱۰ـ۳ـ۲ (kg/cm^2)

A_b= سطح مقطع تنهٔ حدیده نشدهٔ پیچ یا قطعهٔ رزوه شده (برای قطعات رزوه شدهٔ توپی به‌پانویس جدول ۱۰ـ۳ـ۲ مراجعه شود) (cm^2)

نیروی وارده، مساوی مجموع نیروهای ضریبدار و نیروهای کششی ناشی از عمل اهرمی شدن می‌باشد.

۱۰ـ۳ـ۷ـ اثر ترکیبی برش وکشش در اتصالات اتکایی

مقاومت طرح پیچ یا پرچی که تحت اثر ترکیبی کشش و برش قرار دارد، مساوی $\phi F_t A_b$ می‌باشد که در آن ϕ مساوی ۰/۷۵ و F_t به‌صورت تابعی از f_v از روابط جدول ۱۰ـ۳ـ۴ محاسبه می‌شود. f_v تنش برشی ناشی از بارهای ضریبدار است. مقدار f_v باید کوچکتر از ϕF_v موجود در جدول ۱۰ـ۳ـ۲ باشد.

۱۰ـ۳ـ۸ـ پیچهای پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی

طراحی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی برای برش مطابق بندهای ۱۰ـ۳ـ۸ـ الف و ب بوده و کنترل لهیدگی مطابق بندهای ۱۰ـ۳ـ۲ و ۱۰ـ۳ـ۱۰ صورت می‌گیرد.

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۴ مقاومت کششی (F_t) به‌کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای وسایل اتصال تحت اثر کشش و برش در اتصالات اتکایی

شرح	ناحیهٔ رزوه شده واقع در مقطع برش	ناحیهٔ رزوه شده خارج از مقطع برش
پیچهای معمولی	$F_u - 1.9\, f_v \le 0.75\, F_u$	
پیچهای پرمقاومت	$F_u - 1.9\, f_v \le 0.78\, F_u$	$F_u - 1.5 f_v \le 0.78 F_u$
قطعات حدیده شده	$0.98F_u - 1.9f_v \le 0.75F_u$	$0.98F_u - 1.5f_v \le 0.75F_u$
پرچ	$1.3F_u - 1.8f_v \le F_u$	

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ الف ـ طراحی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی تحت بار بهره‌برداری (بدون ضریب)

مقاومت برشی طرح پیچ پرمقاومت اصطکاکی مساوی $\phi F_v A_b$ می‌باشد که در آن:

ϕ= ۱ برای سوراخهای استاندارد، فراخ، لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند وقتی که قطر بزرگ سوراخ عمود بر امتداد نیرو است.

ϕ= ۰/۸۵ برای سوراخ لوبیایی بلند وقتی که قطر بزرگ سوراخ در امتداد نیرو است.

F_v= مقاومت برشی اسمی مطابق جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۵

مقاومت برشی طرح باید مساوی و یا بزرگتر از برش پیچ به‌علت بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) باشد. هنگامی‌که ترکیب بارها علاوه بر بارهای مرده و زنده، اثر بارهای باد و یا زلزله را نیز شامل شود، مجموع آثار بارهای ترکیبی در حالت بهره‌برداری را می‌توان در ۰/۷۵ ضرب کرد.

مقادیر مندرج در جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مربوط به‌سطوح فلس‌دار و تمیز شده توسط ماسه‌پاشی (سندبلاست) با ضریب اصطکاک ۰/۳۳ می‌باشد.

جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۵ مقاومت برشی اسمی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی به‌کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

نوع پیچ	مقاومت برشی اسمی		
	سوراخ استاندارد	سوراخ فراخ، سوراخ لوبیایی کوتاه	سوراخ لوبیایی بلند†
پرمقاومت	$0.15F_u$	$0.12F_u$	$0.1F_u$

† برای بار در امتداد عمود بر عرض شکاف. برای بار در امتداد موازی شکاف این‌عدد به $0.09F_u$ کاهش می‌یابد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ب ـ طراحی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی برای بارهای نهایی (ضریبدار)

در این حالت باید به‌پیوست ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ب مراجعه شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ترکیب کشش و برش در اتصالات اصطکاکی

طراحی اتصالات اصطکاکی تحت نیروی کششی مطابق بندهای ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ الف، ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ الف، یا ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب، و ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ب، صورت می‌گیرد.

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ الف ـ اتصالات اصطکاکی تحت بار بهره‌برداری

مقاومت برشی طرح یک پیچ اصطکاکی تحت نیروی کششی بهره‌برداری T ، برابر است با مقدار حاصل از بخش ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ الف، که در ضریب کاهش زیر ضرب می‌شود:

$$[1-\frac{T}{T_b}]$$

که در آن:

T_b= نیروی پیش‌تنیدگی اولیه پیچ طبق جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۱

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب ـ طراحی اتصالات اصطکاکی برای نیروی کششی تحت بار نهایی

در این مورد به‌پیوست ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب، مراجعه شود.

۱۰ ـ ۳ ـ ۱۰ ـ مقاومت لهیدگی در سوراخ پیچ

مقاومت لهیدگی در سوراخ پیچ مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

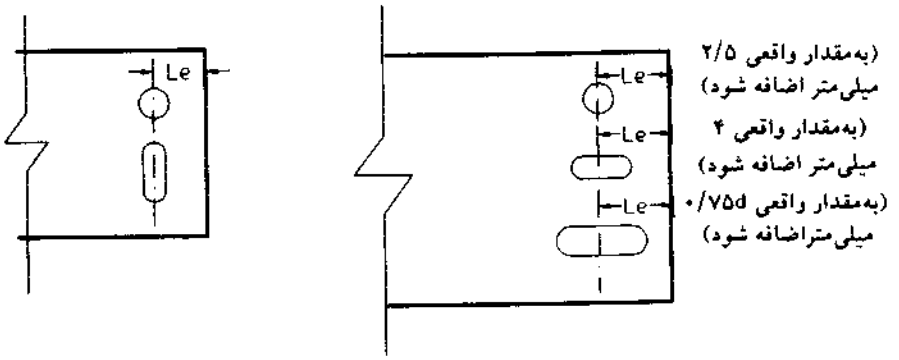
$\phi=0.75$

R_n= مقاومت لهیدگی اسمی (طبق روابط ۱۰ ـ ۳ ـ ۱ و ۱۰ ـ ۳ ـ ۲)

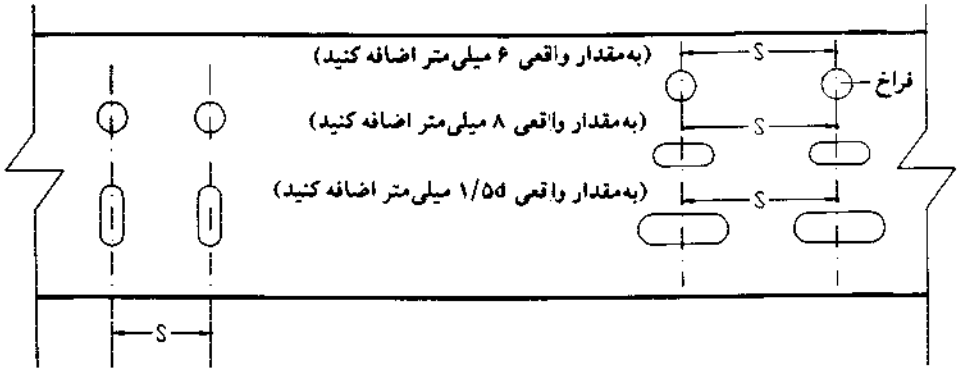
مقاومت لهیدگی باید برای هر نوع پیچ اتکایی و اصطکاکی کنترل شود. استفاده از پیچهای فراخ، لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند در امتداد نیرو محدود به‌پیچهای اصطکاکی می‌شود. در قسمتهای زیر:

L_e= فاصله در امتداد نیرو از لبهٔ ورق تا مرکز سوراخ استاندارد، یا مرکز سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلندکه عمود بر امتداد نیرو قرار دارند. در صورتی‌که سوراخ لوبیایی کوتاه و بلند در امتداد نیرو قرار داشته باشند، مقدار L_e به‌ترتیب به‌اندازهٔ ۴ میلی‌متر و ۰/۷۵ d (d

قطر اسمی پیچ) باید افزایش یابد. برای سوراخهای فراخ، L_e باید به‌اندازهٔ ۲/۵ میلی‌متر افزایش یابد.



s= فاصله در امتداد نیرو از مرکز تا مرکز سوراخهای استاندارد، یا مرکز تا مرکز سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند که عمود بر امتداد نیرو قرار دارند. در صورتی‌که سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند در امتداد نیرو قرار داشته باشند، مقدار s به‌ترتیب به‌اندازهٔ ۸ و $1.5d$ (d قطر اسمی پیچ) باید افزایش یابد. برای سوراخهای فراخ، مقدار s باید به‌اندازهٔ ۵ میلی‌متر افزایش یابد.



d= قطر اسمی پیچ (میلی‌متر)

F_u= مقاومت نهایی قطعهٔ بحرانی ($kg\backslash cm^2$)

t= ضخامت قطعهٔ بحرانی (mm) . برای پیچها و پرچهای خزینه باید به‌اندازهٔ نصف ارتفاع خزینه از t کاسته شود.

(الف) وقتی‌که $L_e \geq 1.5d$ و $s \geq 3d$ بوده و در امتداد نیرو تعداد پیچها ۲ و یا بیشتر باشد

- برای پیچهای استاندارد، لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر نیرو در حالات اتکایی و اصطکاکی، و برای سوراخهای فراخ و لوبیایی کوتاه و بلند در امتداد نیرو فقط در حالت اصطکاکی، مقاومت اسمی لهیدگی برابر است با:

$$R_n = 2.4\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۱-الف)$$

- برای سوراخ لوبیایی بلند در امتداد عمود بر نیرو (اتکایی و اصطکاکی)

$$R_n = 2\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۱-ب)$$

(ب) وقتی‌که $L_e < 1.5d$ یا $s < 3d$ است یا فقط یک پیچ در امتداد نیرو وجود دارد

- برای پیچهای استاندارد، و لوبیایی‌کوتاه در امتداد عمودبر نیرو در حالات‌اتکایی و اصطکاکی، و برای سوراخهای فراخ لوبیایی کوتاه، و بلند در امتداد نیرو فقط در حالت اصطکاکی، مقاومت اسمی لهیدگی برابر است با:

برای سوراخ تنها یا سوراخهای نزدیک لبه وقتی که در امتداد نیرو ۲ یا بیشتر پیچ وجود دارد:

$$R_n = L_e^{*}\, t\, F_u \leq 2.4\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۲-الف)$$

برای سوراخهای میانی

$$R_n = (s^{*} - d/2)\, t\, F_u \leq 2.4\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۲-ب)$$

برای سوراخهای لوبیایی بلند عمود بر امتداد نیرو در اتصالات اتکایی و اصطکاکی

برای سوراخ پیچ تنها یا سوراخهای‌نزدیک لبه وقتی‌که درامتدادنیرو ۲ یا بیشتر پیچ وجود دارد:

$$R_n = L_e^{*}\, t\, F_u \leq 2.0\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۲-پ)$$

برای سوراخهای میانی

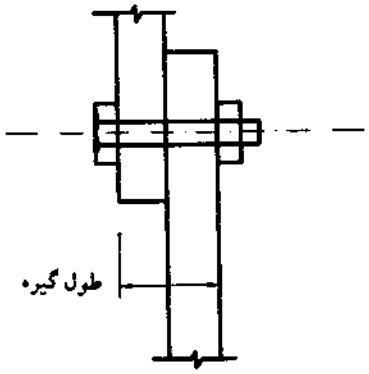
$$R_n = (s^{*} - d/2)\, t\, F_u \leq 2.0\, d\, t\, F_u \qquad (۱۰-۳-۲-ت)$$

۱۰-۳-۱۱- پیچها با طول گیرهٔ بلند

در پیچهای معمولی که مقاومت طراحی را فراهم می‌کند و طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، باید تعداد پیچ به‌ازای هر ۱/۵ میلی‌متر طول اضافی گیره، به‌میزان ۱ درصد اضافه شود.

---

* از مقادیر واقعی استفاده نمایید.



۱۰ـ۴ـ مقاومت گسیختگی طرح

۱۰ـ۴ـ۱ـ مقاومت گسیختگی برشی

مقاومت برشی طرح در حالت حدی گسیختگی در امتداد یک مسیر شکست برای اجزای اعضای متصل به‌هم مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

$\phi = 0.75$

$R_n = 0.6 F_u A_{nv}$

A_{nv}= سطح مقطع خالص مسیر شکست

۱۰ـ۴ـ۲ـ مقاومت گسیختگی کششی

مقاومت کششی طرح در حالت حدی گسیختگی در امتداد یک مسیر شکست برای اجزای اعضای متصل به‌هم مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

$\phi = 0.75$

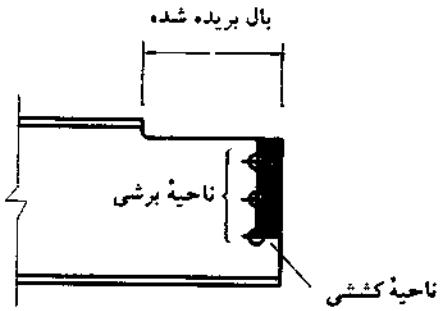
$R_n = F_u A_{nt}$

A_{nt}= سطح مقطع خالص مسیر شکست

۱۰ـ۴ـ۳ـ مقاومت گسیختگی برش قالبی

گسیختگی برشی قالبی حالت حدی از گسیختگی است که در آن مقاومت از مجموع برشی در روی

یک و یا چند مسیر و مقاومت کششی در صفحهٔ عمود بر آن به‌دست می‌آید. این نوع گسیختگی باید در اتصال انتهایی تیرها با بال فوقانی بریده شده و موارد مشابه نظیر اعضای کششی و ورقهای اتصال کنترل گردد. در این حالت، هنگامی‌که جهت تعیین مقاومت روی یک صفحهٔ گسیختگی، از مقاومت



شکل برشی قالبی

نهایی سطح مقطع خالص استفاده می‌شود، برای صفحهٔ عمود بر آن باید از تنش تسلیم در روی سطح مقطع کل استفاده شود. مقاومت برشی گسیختگی برش قالبی، ϕR_n، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(الف) وقتی که $F_u A_{nt} \geq 0.6F_u A_{nv}$ باشد:

$$\phi R_n=\phi[0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt}] \qquad (۱۰ـ۴ـ۳ـالف)$$

(ب) وقتی که $0.6F_u A_{nv} > F_u A_{nt}$ باشد:

$$\phi R_n=\phi[0.6F_u A_{nv} + F_y A_{gt}]$$

که در آن:

$$\phi=0.75$$

A_{gv}= سطح مقطع کلی تحت برش (cm^2)

A_{gt}= سطح مقطع کلی تحت کشش (cm^2)

A_{nv}= سطح مقطع خالص تحت برش (cm^2)

A_{nt}= سطح مقطع خالص تحت کشش (cm^2)

۱۰ـ۵ـ اجزای اتصال

مطالب این فصل مربوط به‌طراحی اجزای اتصال نظیر سخت‌کننده‌ها، ورقهای اتصال، نبشیها و نشیمنها، و ناحیهٔ اتصال در اتصالات تیر به‌ستون است.

۱۰ـ۵ـ۱ـ اتصالات برون‌محور

در صورت امکان، محورهای ثقل اعضای متقاطع تحت نیروهای محوری، باید در یک نقطه متقارب باشند. در غیر این‌صورت باید برای مقابله با تنشهای خمشی و برشی حاصل از برون‌محوری، پیش‌بینی‌های لازم اعمال گردد.

۱۰ـ۵ـ۲ـ مقاومت طرح اجزای اتصال در کشش

مقاومت طرح ϕR_n اجزای اتصال جوشی، پیچی و پرچ تحت نیروی کششی استاتیکی (نظیر ورقهای وصله و اتصال) باید مساوی کمترین مقدار به‌دست آمده از حالات حدی تسلیم، گسیختگی و گسیختگی برشی قالبی منظور شود.

(الف) برای حالت حدی تسلیم اجزای اتصال

$$\phi=0.90$$

$$R_n=A_g F_y \qquad (۱۰ـ۵ـ۱)$$

(ب) برای حالت حدی گسیختگی اجزای اتصال

$$\phi=0.75$$

$$R_n=A_n F_u \qquad (۱۰ـ۵ـ۲)$$

که در آن A_n سطح مقطع خالص بوده و نباید از $0.85A_g$ تجاوز کند.

(پ) برای حالت حدی گسیختگی برشی قالبی

برای این حالت به‌بند ۱۰ـ۴ـ۳ مراجعه نمایید.

۱۰ـ۵ـ۳ـ سایر اجزای اتصال

برای سایر اجزای اتصال، مقاومت طرح ϕR_n باید برای حالت حدی قابل اعمال محاسبه گردد، به‌نحوی که اطمینان حاصل شود از مقاومت لازم بزرگتر است. R_n، مقاومت اسمی، مناسب با هندسه و نوع گسیختگی عضو است. برای حالت حدی تسلیم برشی داریم:

$$\phi=0.90$$

$$R_n=0.6\,F_y A_g \qquad (۳-۵-۱۰)$$

در صورتی‌که اجزای اتصال در فشار باشند، باید با یک تحلیل مناسب، مقاومت طرح را تعیین نمود.

۱۰ـ۶ـ لقمه‌ها (پرکننده‌ها)

در سازه‌های جوشی، پرکننده‌ها با ضخامت ۶ میلی‌متر و یا بیشتر، باید از لبه‌های ورق وصله بیرون بزنند و به‌قطعه‌ای که بدان نصب می‌گردد، به‌حد کافی جوش داده شود، به‌طوری‌که بتواند نیروی ورق وصله را که بر سطح ورق پرکننده وارد می‌شود، منتقل نماید.

جوشهایی‌که ورق وصله را به‌ورق پرکننده وصل می‌کنند، باید برای انتقال نیروی ورق وصله، کافی و در عین حال به‌قدر کافی طویل باشند تا اینکه از اضافه تنش ورق وصله در مقطعی به‌موازات و در نوک پنجهٔ جوش جلوگیری گردد. لبه‌های پرکننده‌هایی که ضخامت آنها از ۶ میلی‌متر کمتر است، باید با لبه‌های ورق وصله هم‌باد باشند. در این حالت اندازهٔ جوش باید مساوی مجموع اندازهٔ جوش لازم جهت حمل نیروی وصله به‌اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

هنگامی‌که پیچ و یا پرچهای حامل بار از ورقهای پرکننده به‌ضخامت بیشتر از ۶ میلی‌متر عبور می‌کنند، به‌استثنای اتصالاتی که به‌صورت اصطکاکی طرح شده‌اند، پرکننده‌ها باید از لبهٔ ورق وصله بیرون بزنند و این زایده‌ها باید به‌کمک تعداد کافی پیچ و یا پرچ محکم گردند تا اینکه تنش کل موجود در عضو به‌صورت یکنواخت روی سطح مقطع مرکب عضو و پرکننده توزیع گردد و یا اینکه باید تعداد معادلی وسایل اتصال (پیچ یا پرچ) به‌اتصال افزوده گردد.

۱۰ـ۷ـ وصله‌ها

وصله‌های ساخته شده با جوش شیاری در تیرورقها و تیرها باید مقاومت کامل نیمرخ وصل شده کوچکتر را فراهم آورند. سایر انواع وصله‌های کارگذاشته شده در مقطع تیرورقها و تیرها کافی است که مقاومت مورد نیاز برای تحمل نیروها در محل وصله را فراهم نمایند.

۱۰ـ۸ـ مقاومت اتکایی

مقاومت اتکایی سطوح متکی به‌هم برابر با ϕR_n می‌باشد که در آن $\phi=0.75$ و R_n برای سطوح اتکا

مختلف در زیر تعریف می‌گردد:

۱۰ـ۸ـ۱ـ سطوح تراشکاری شده و سوراخهای خار مغزی

برای سطوح تراش داده شده، خارهای مغزی در سوراخهای تراشیده و یا مته شده و انتهای ورقهای سخت‌کننده با انتقال تنش اتکایی:

$$R_n=1.8F_y A_{pb} \qquad (۱۰ـ۸ـ۱)$$

که در آن:

F_y= تنش تسلیم حداقل مقرر (kg/cm^2)

A_{pb}= تصویر سطح اتکا (cm^2)

۱۰ـ۸ـ۲ـ غلتکها و کفشکهای تکیه‌گاههای یاتاقانی

برای $d \le 63.5$ cm:

$$R_n=1.2(F_y-910)ld/20 \qquad (۱۰ـ۸ـ۲)$$

برای $d > 63.5$ cm:

$$R_n=3.75(F_y-910)l\sqrt{d}/20 \qquad (۱۰ـ۸ـ۳)$$

که در آن:

d= قطر (cm)

l= طول اتکا (cm)

۱۰ـ۹ـ کف ستونها و اتکا روی بتن

جهت انتقال نیرو و لنگر پای ستونها به‌شکل مطلوب به‌شالوده و فونداسیونها، باید تدابیر مقتضی اتخاذ شود.

در فقدان دستورالعملهای آیین‌نامه‌ای خاص، بار اتکایی طرح روی بتن می‌تواند مساوی $\phi_c P_p$ فرض شود که در آن:

$\phi_c=0.60$

در روی سطح کامل یک تکیه‌گاه بتنی ..... $P_p=0.85f'_cA_1$

در ناحیه‌ای کمتر از سطح کامل یک تکیه‌گاه بتنی ..... $P_p=0.85f'_cA_1\sqrt{A_2/A_1}$

A_1= مساحت ورق فولادی در اتکای محوری روی یک تکیه‌گاه بتنی (cm^2)

A_2= حداکثر مساحت ناحیه‌ای از سطح تکیه‌گاه که از نظر هندسی متشابه و هم‌مرکز با ناحیهٔ بارگذاری شده می‌باشد. (cm^2)

همچنین باید $\sqrt{A_2/A_1} \leq 2$ باشد.

۱۰ـ۱۰ـ میل‌مهارها و اقلام مدفون

۱۰ـ۱۰ـ۱ـ میل‌مهارها

میل‌مهارها باید جهت مقاومت در برابر کلیهٔ شرایط طراحی سازه تکمیل شده از نظر کشش و برش در پای ستون به‌انضمام نیروی خالص کششی هرگونه لنگری که ممکن است در اثر صلبیت اتصال پای ستون بروز نماید، طراحی گردند.

۱۰ـ۱۰ـ۲ـ 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.

مقاومت و طراحی عناصر فولادی اقلام مدفون باید مطابق ضوابط این آیین‌نامه باشد. پیچها و گلمیخها و میله مهارهایی‌که 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 این‌خصوص ارجح است به‌آیین‌نامهٔ بتن ایران مراجعه شود.

۱۰ـ۱۰ـ۳ـ اقلام مدفون پیش‌تنیده

مهارکردن 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.

فصل ۱۱

نیروهای متمرکز، آب‌انباشتگی و خستگی

در این فصل ملاحظات تکمیلی در خصوص مسایلی نظیر اعمال بارهای متمرکز، آب‌انباشتگی و خستگی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱۱ـ۱ـ اثر نیروهای متمرکز بر بال و جان اعضا

۱۱ـ۱ـ۱ـ مبانی طراحی

بندهای ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ تا ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ مربوط به‌اثر بار متمرکز تک و یا زوج، برحسب مورد، بر روی اعضا می‌باشد. بار متمرکز تک می‌تواند به‌صورت فشاری و یاکششی باشد. بار متمرکز زوج، یکی کششی و دیگری فشاری، ایجاد لنگر زوج نیرو در عضو می‌نماید.

مطابق بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ در محل تأثیر نیروی متمرکز کششی برای جلوگیری از خمش موضعی بال، و مطابق بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۸ در انتهای غیرمتصل تیرها و شاهتیرها، سخت‌کنندهٔ عرضی مورد نیاز است. مطابق بندهای ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ تا ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ برای جلوگیری از تسلیم، لهیدگی، کمانش جانبی، و کمانش فشاری جان، نیاز به‌سخت‌کنندهٔ عرضی یا ورق تقویت ضخامت جان است. مطابق بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ برای جلوگیری از گسیختگی برشی چشمهٔ اتصال نیاز به‌سخت‌کنندهٔ قطری یا ورق تقویت ضخامت جان است.

سخت‌کننده‌های عرضی و قطری لازم طبق بندهای ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ تا ۱۱ ـ ۱ ـ ۸، باید مقررات بخش ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ را برآورده نمایند. ورقهای تقویت‌کنندهٔ ضخامت جان طبق بندهای ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ تا ۱۱ ـ ۱ ـ ۶، باید مقررات بخش ۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ را برآورده نمایند.

۱۱ ـ ۱ ـ ۲ ـ خمش موضعی بال

این بخش برای هر دو حالت نیروی کششی تک، یا مؤلفهٔ کششی زوج نیروی متمرکز قابل اعمال است.

در صورتی‌که مقدار نیروی متمرکز ضریبدار از مقاومت ϕR_n بال تجاوز نماید، لازم است یک جفت سخت‌کننده که لااقل در نصف جان ادامه دارد، در مقابل نیروی کششی تعبیه گردند. مقاومت ϕR_n بال به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = 6.25 t_f^2 F_{yf} \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰)$$

که در آن:

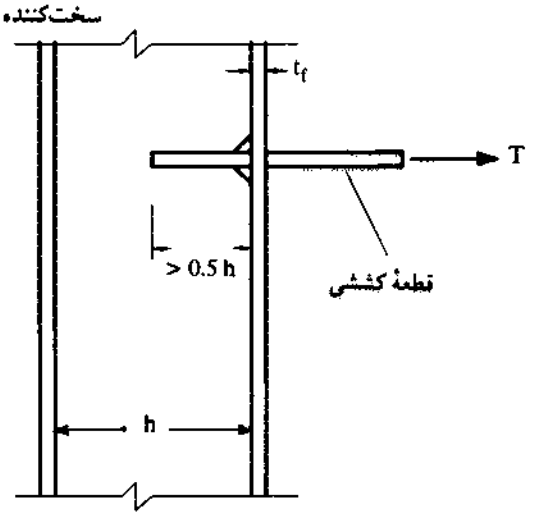
F_{yf} = تنش تسلیم بال (kg/cm^2)

t_f = ضخامت بال تحت بار (cm)

در صورتی‌که طول بارگذاری شده در امتداد عرض، کوچکتر از $0.15\,b$ باشد (b عرض بال است)، اعمال رابطهٔ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ لازم نیست.

در صورتی‌که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از $10\,t_f$ از انتهای عضو اثر نماید، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ باید نصف گردد.

در صورت نیاز به‌سخت‌کنندهٔ عرضی، باید به‌بال کششی جوش شوند. مقدار جوش متناسب با نیروی سخت‌کننده است. جوش سخت‌کننده به‌جان باید قادر به‌انتقال نیروی سخت‌کننده به‌جان باشد.



شکل ۱۱ ـ ۱ خمش موضعی بال

۱۱ ـ ۱ ـ ۳ ـ تسلیم موضعی جان

این بخش مربوط به‌نیروی متمرکز تک یا هر دو مؤلفهٔ زوج نیرو می‌شود.

در صورتی‌که مقدار نیروی متمرکز ضریبدار از مقاومت ϕR_n جان تجاوز نماید، لازم است یک جفت سخت‌کننده یا ورق تقویت جان که لااقل در نصف ارتفاع جان ادامه دارد، در مقابل نیروی فشاری یا کششی متمرکز تعبیه گردد. ϕR_n به‌شرح زیر تعیین می‌گردد:

$$\phi = 1$$

R_n برحسب مورد، توسط یکی از روابط زیر به‌دست می‌آید:

(الف) وقتی نیروی متمرکز در فاصله‌ای بزرگتر از d از انتهای عضو اعمال شود:

$$R_n = (5K+N) F_{yw} t_w \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۲)$$

(ب) وقتی نیروی متمرکز در فاصله‌ای کوچکتر از d از انتهای عضو اعمال شود:

$$R_n = (2.5K+N) F_{yw} t_w \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۳)$$

در روابط ۱۱ ـ ۱ ـ ۲ و ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ داریم:

F_{yw} = تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)

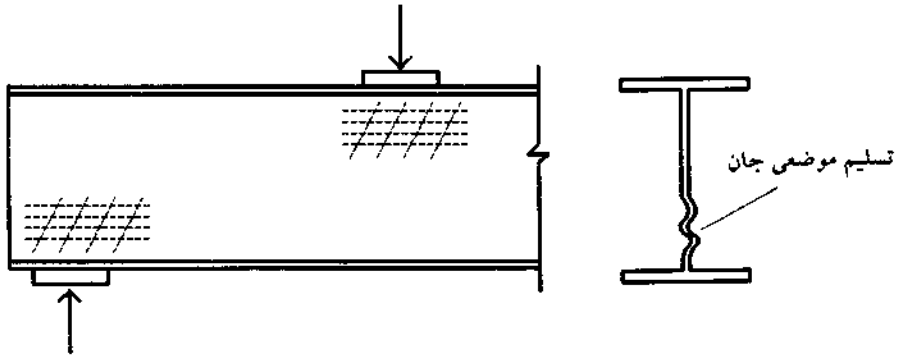
N = طول اتکای نیرو (نه کمتر از K برای واکنش انتهایی) (cm)

K = فاصلهٔ سطح خارجی بال تا آغازگردی محل اتصال جان به‌بال (cm)

t_w = ضخامت جان (cm) $\qquad$ d = ارتفاع کل مقطع (cm)

در صورت کششی بودن نیرو، سخت‌کننده‌ها حتماً باید به‌بال جوش شوند. در صورت فشاری بودن نیرو، سخت‌کننده‌ها می‌توانند به‌صورت تماسی و یا اتصال جوش نیروی بال را انتقال دهند. جوش متصل‌کنندهٔ سخت‌کننده به‌جان، باید قادر به‌انتقال نیروی غیرمتقارن سخت‌کننده به‌جان باشد. به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ مراجعه کنید.



شکل ۱۱ ـ ۲ تسلیم موضعی جان

۱۱ ـ ۱ ـ ۴ ـ لهیدگی جان

این بخش مربوط به‌نیروی متمرکز فشاری تک و یا مؤلفهٔ فشاری زوج می‌شود.

در صورتی‌که مقدار نیروی متمرکز ضریبدار، از مقاومت ϕR_n تجاوز نماید، لازم است یک جفت سخت‌کننده یا ورق تقویت جان که لااقل در نصف ارتفاع جان ادامه دارد، در مقابل نیروی متمرکز فشاری تعبیه گردد. ϕR_n به‌شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\phi = 0.75$$

R_n برحسب مورد توسط یک از روابط زیر تعیین می‌شود:

(الف) وقتی که نیروی متمرکز فشاری در فاصله‌ای بزرگتر از $d/2$ از انتهای عضو اعمال شود:

$$R_n = 1130 t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۴)$$

R_n برحسب کیلوگرم و F_{yw} تنش تسلیم جان برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

(ب) وقتی‌که نیروی متمرکز فشاری در فاصله‌ای کمتر از $d/2$ از انتهای عضو اعمال شود:

$N/d \le 0.2$

$$R_n = 565 t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۵ ـ \text{الف})$$

$N/d > 0.2$

$$R_n = 565 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \qquad (۱۱ ـ ۱ ـ ۵ ـ \text{ب})$$

در روابط ۱۱ ـ ۱ ـ ۵ ـ الف و ب، داریم:

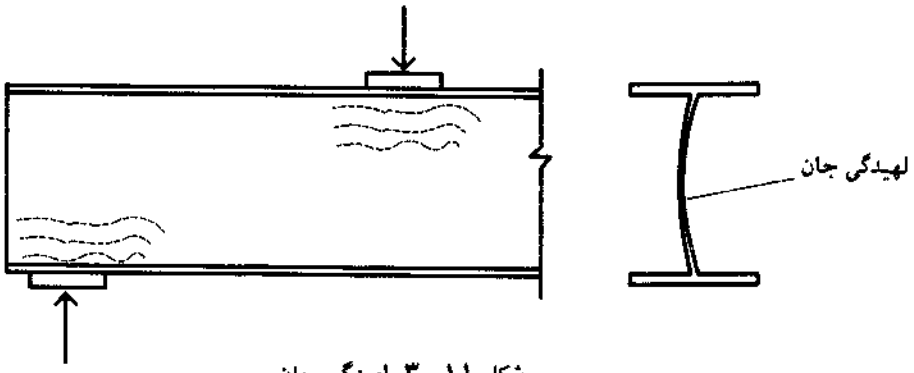
d = ارتفاع کلی عضو (cm)

N = طول اتکای نیرو (cm)

t_f = ضخامت بال (cm)

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به‌صورت اتکایی و یا با اتصال جوشی به‌بال تحت نیرو متصل گردند. جوش اتصال‌دهندهٔ سخت‌کننده به‌جان باید قادر به‌انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به‌جان باشد. به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ مراجعه نمایید.



شکل ۱۱ ـ ۳ لهیدگی جان

۱۱ ـ ۱ ـ ۵ ـ کمانش جانبی جان

این بخش مربوط می‌شود به‌حالتی که یک نیروی متمرکز تک‌فشاری، به‌عضوی اعمال می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل تأثیر نیروی متمرکز جلوگیری نشده است.

مقاومت طرح جان، ϕR_n می‌باشد که در آن:

$$\phi = 0.85$$

R_n به‌روش زیر تعیین می‌شود:

(الف) اگر بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته شده باشد:

$$\frac{h/t_w}{l/b_f} \le 2.3 \quad \text{برای}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2}\left[1+0.4\left(\frac{h/t_w}{l/b_f}\right)^3\right] \qquad (۶ ـ ۱ ـ ۱۱)$$

در صورتی‌که $(h/t_w)/(l/b_f) > 2.3$ باشد، لزومی به‌کنترل کمانش جانبی جان نیست. در صورتی که مقدار نیروی فشاری ضربیدار، از ϕR_n تجاوز نماید، می‌توان از مهار جانبی بال کششی، یک جفت سخت‌کننده، و یا ورق تقویتی جان استفاده نمود. سخت‌کننده و ورق تقویتی درسمت بال فشاری نصب شده و لااقل باید به‌اندازهٔ نصف ارتفاع جان ادامه یابند.

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به‌صورت اتکایی و یا با اتصال جوشی به‌بال تحت نیرو متصل گردند. جوش اتصال‌دهندهٔ سخت‌کننده به‌جان باید قادر به‌انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به‌جان

باشد. به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ مراجعه نمایید.

(ب) اگر بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته نشده باشد:

$$\frac{h/t_w}{l/b_f} \le 1.7 \quad \text{برای}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2}\left[0.4\left(\frac{h/t_w}{l/b_f}\right)^3\right] \qquad (۷ ـ ۱ ـ ۱۱)$$

برای $(h/t_w)/(l/b_f) > 1.7$ ، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

در صورتی‌که مقدار نیروی فشاری ضریبدار از ϕR_n تجاوز نماید، باید مهار جانبی برای هر دو بال تیر در محل تأثیر نیرو تعبیه گردد.

در روابط ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ و ۱۱ ـ ۱ ـ ۷ داریم:

l= بزرگترین طول مهارنشدهٔ هر دو بال در محل تأثیر نیرو (cm)

b_f= عرض بال (cm)

t_w= ضخامت جان (cm)

h= ارتفاع خالص جان بین آغازگردی ماهیچهٔ اتصال جان به‌بال در مقاطع نوردشده و بین دو جوش اتصال‌دهندهٔ بال به‌جان در تیرورقها

$C_r = 672\times10^5$ kg/cm^2 (اگر در محل تأثیر نیرو $M_u < M_y$ باشد)

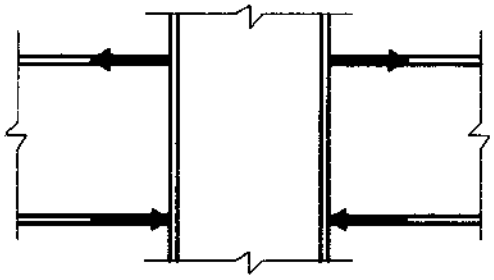
$C_r = 336\times10^5$ kg/cm^2 (اگر در محل تأثیر نیرو $M_u \ge M_y$ باشد)

بال فشاری در مقابل دوران آزاد است — بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته شده

شکل ۱۱ ـ ۴ کمانش جانبی جان

۱۱ ـ ۱ ـ ٦ ـ کمانش فشاری جان

این بخش مربوط است به‌یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مؤلفهٔ فشاری زوج نیرو که در یک مقطع در جهت مخالف به‌بالهای مقابل عضو اعمال می‌شوند.



شکل ۱۱ ـ ۵

در صورتی‌که مقدار نیروی فشاری ضریبدار از مقاومت طرح ϕR_n تجاوز نماید، یک سخت‌کنندهٔ تک، یا جفت و یا ورق تقویت جان باید در مقابل نیروی فشاری در تمام ارتفاع جان تعبیه گردد. ϕR_n به‌شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\phi=0.90$$

$$R_n=\frac{34500t_w^3\sqrt{F_{yw}}}{h} \qquad (۸ ـ ۱ ـ ۱۱)$$

در صورتی‌که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از $d/2$ از انتهای تیر وارد شوند، R_n باید نصف گردد.

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به‌صورت اتکایی و یا جوشی به‌بال تخت نیرو متصل شوند. جوش متصل‌کنندهٔ سخت‌کننده به‌جان باید برای انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به‌جان طرح گردد. به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ مراجعه شود.

۱۱ ـ ۱ ـ ۷ ـ برش در جان چشمهٔ اتصال

در صورتی‌که نیروی برشی ضریبدار جان در چشمهٔ اتصال، بزرگتر از ϕR_v گردد، باید ورق تقویت جان، یا سخت‌کنندهٔ قطری در چشمهٔ اتصال تعبیه گردد. ϕR_v به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\phi=0.90$$

$R_v=$ طبق روابط زیر:

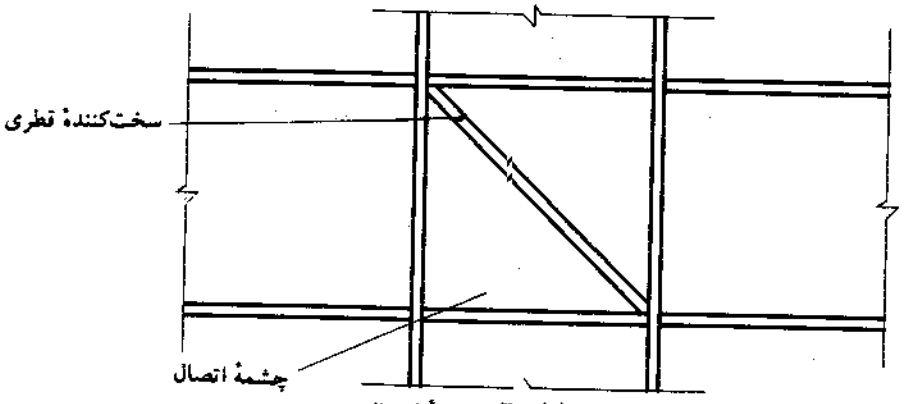
(الف) وقتی که تأثیر تغییرشکل چشمهٔ اتصال در پایداری قاب در تحلیل قاب منظور نمی‌شود.

برای $P_u \le 0.4P_y$

$$R_v=0.60F_y d_c t_w \qquad (۹ ـ ۱ ـ ۱۱)$$

برای $P_u > 0.4P_y$

$$R_v=0.60F_y d_c t_w\left(1.4-\frac{P_u}{P_y}\right) \qquad (۱۰-۱-۱۱)$$



شکل ۱۱ـ۶ چشمهٔ اتصال

(ب) وقتی که پایداری قاب، شامل تغییرشکل پلاستیک چشمهٔ اتصال، در تحلیل منظور می‌شود:

برای $P_u \le 0.75P_y$

$$R_v=0.60F_y d_c t_w\left(1+\frac{3b_{cf}t_{cf}^2}{d_b d_c t_w}\right) \qquad (۱۱-۱-۱۱)$$

برای $P_u > 0.75P_y$

$$R_v=0.60F_y d_c t_w\left(1+\frac{3b_{cf}t_{cf}^2}{d_b d_c t_w}\right)\left(1.9-\frac{1.2P_u}{P_y}\right) \qquad (۱۲-۱-۱۱)$$

در روابط ۱۱ـ۱ـ۹ تا ۱۱ـ۱ـ۱۲ داریم:

t_w= ضخامت جان ستون (cm)

b_{cf}= عرض بال ستون (cm)

t_{cf}= ضخامت بال ستون (cm)

d_b= ارتفاع تیر (cm)

d_c= ارتفاع ستون (cm)

F_y= تنش تسلیم مصالح ستون (kg/cm^2)

$F_yA=P_y$، نیروی محوری تسلیم مقطع ستون (kg)

A= سطح مقطع ستون (cm^2)

در صورت استفاده از ورق تقویتی جان، باید مقررات بند ۶ ـ ۲ را برآورده نمایند و جوش اتصالی آنها به‌جان، باید قادر به‌انتقال نیروی برشی سهمیه باشد.

در صورت استفاده از سخت‌کنندهٔ قطری، چون اتصال سخت‌کننده به‌جان باید قادر به‌انتقال نیروی ناشی از لنگر نامتعادل باشد. به‌بخش ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه شود.

۱۱ ـ ۱ ـ ۸ ـ انتهای آزاد تیرها و شاهتیرها

در انتهای آزاد تیرها و شاهتیرها که در مقابل دوران در حول محور طولی نگه داشته نشده است، باید یک جفت سخت‌کنندهٔ عرضی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارد، تعبیه گردد. به‌بند ۱۱ ـ ۱ ـ ۹ نیز مراجعه شود.

۱۱ ـ ۱ ـ ۹ ـ مقررات اضافی لازم برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز

سخت‌کننده‌های عرضی و قطری باید معیارهای زیر را برآورده نمایند:

۱ ـ عرض هر سخت‌کننده به‌علاوهٔ نصف ضخامت جان، نباید کمتر از $\frac{1}{3}$ عرض بال گردد.

۲ ـ ضخامت سخت‌کننده نباید کمتر از نصف ضخامت بال گردد و همچنین نسبت عرض به‌ضخامت باید در رابطهٔ زیر صدق نماید:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}}$$

سخت‌کننده‌هایی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارند، باید به‌صورت ستون (بند ۵ ـ ۲) طراحی گردند. ارتفاع مؤثر ستون مساوی $0.75h$ منظور شده و سطح مقطع آن شامل یک جفت سخت‌کننده و عرضی از جان معادل $25t_w$ در سخت‌کننده‌های داخلی و $12t_w$ در سخت‌کننده‌های انتهایی، در نظر گرفته می‌شود. (h ارتفاع خالص جان در فاصلهٔ بین دو بال و t_w ضخامت جان می‌باشد).

جوش سخت‌کننده به‌جان باید قادر به‌انتقال نیروی سهمیه باشد. برای سخت‌کننده‌های جفت، به‌بند ۱۰ ـ ۸ ـ ۱ مراجعه شود.

۱۱ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ مقررات اضافی برای ورقهای تقویتی جان در مقابل نیروهای متمرکز

ورقهای تقویتی جان که طبق بندهای ۱۱ ـ ۱ ـ ۳ و ۱۱ ـ ۱ ـ ۶ مورد احتیاج هستند، باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

۱ ـ ضخامت ورق تقویتی و ابعاد آنها باید جبران کمبود مقاومت موجود را بنماید.

۲ ـ جوش ورق سخت‌کننده به‌جان باید برای انتقال نیروی سهمیه کافی باشد.

۱۱ـ۲ـ آب‌انباشتگی

جهت حصول اطمینان نسبت به‌مقاومت و پایداری کافی تحت شرایط آب‌انباشتگی، سیستم سازه‌ای بام باید به‌طریق تحلیل سازه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. مگر اینکه در سطح پشت‌بام شیبهای کافی به‌سوی نقاط زهکشی آزاد فراهم و یا اینکه به‌تعداد کافی زهکشهای منفرد تعبیه شده باشد، به‌قسمی‌که از انباشت آب باران ممانعت به‌عمل آید.

در صورت برقراری شرایط زیر، سیستم سازه‌ای پشت‌بام پایدار تلقی گردیده و بررسی بیشتری مورد نیاز نیست:

$$C_p + 0.9C_s \le 0.25 \qquad (۱۱-۲-۱)$$

$$I_d \ge 4(S^4)10^{-9} \qquad (۱۱-۲-۲)$$

که در آن:

$$C_p = \frac{50.6 L_s L_p^4}{10^{13} I_p}$$

$$C_s = \frac{50.6 S L_s^4}{10^{13} I_s}$$

و نیز:

L_p = فاصلهٔ بین ستونها در امتداد شاهتیرها (طول اعضای اصلی) (cm)

L_s = فاصلهٔ بین ستونها در امتداد عمود بر شاهتیرها (طول اعضای ثانوی) (cm)

S = فاصلهٔ بین اعضای ثانوی (cm)

I_p = ممان اینرسی اعضای اصلی (cm^4)

I_s = ممان اینرسی اعضای ثانوی (cm^4)

I_d = ممان اینرسی کف فولادی متکی بر اعضای ثانوی (cm^4)

در مورد خرپاها و تیرچه‌های فولادی، ممان اینرسی I_s جهت استفاده در روابط فوق، باید به‌میزان ۱۵ درصد کاهش داده شود. در صورتی‌که کف فولادی مستقیماً روی اعضای اصلی تکیه نماید، به‌عنوان عضو ثانوی در نظر گرفته می‌شود.

در پیوست ۱۱ ـ ۲، روش دیگری برای محاسبهٔ سختی تیرریزی بامهای تخت ارائه شده است.

۱۱ـ۳ـ خستگی

تعداد اعضا و یا اتصالاتی که در ساختمانهای متعارف باید در مقابل خستگی طراحی شوند کم

است، زیراکه در این‌گونه سازه‌ها، غالباً تغییرات در بارگذاری به‌دفعات بسیار کمی اتفاق می‌افتد و یا اینکه این تغییرات فقط نوسانات بسیار جزیی در تنشها ایجاد می‌کنند. وقوع بارهای باد و زلزله در حد کامل، نادرتر از آنند که احتساب اثرشان در مقابل خستگی ضرورت پیداکند. لیکن، عبورگاههای جرثقیلهای سقفی و سازه‌های تحمل‌کنندهٔ ماشین‌آلات و تجهیزات غالباً در معرض شرایط بارگذاری خستگی قرار می‌گیرند.

اعضا و اتصالات آنهاکه تحت بارگذاری خستگی قرار دارند، باید طبق ضوابط پیوست ۱۱ ـ ۴ با استفاده از بارهای بدون ضریب (بارهای بهره‌برداری) طراحی شوند.

فصل ۱۲

ملاحظات طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری

هدف این فصل ارائهٔ رهنمودهای طراحی برای آن دسته شرایط بهره‌برداری است که در قسمتهای دیگر این مجموعه مطرح نشده‌اند. بهره‌برداری حالت حدی است که در آن کارپذیری، ظاهر، قابلیت نگهداری، پایایی و بالاخره راحتی ساکنین یک ساختمان تحت شرایط استفاده متعارف، مطرح می‌شود.

ضوابط عمومی طراحی برای شرایط بهره‌برداری در فصل اول مطرح گردیده است. مقادیر حدی رفتار سازه‌ای برای تأمین شرایط بهره‌برداری (مانند حداکثر تغییرمکانها و شتابها و غیره) باید با در نظرگرفتن عملکرد مورد نظر ساختمان انتخاب گردند.

در صورت لزوم، باید با استفاده از بارگذاریهای واقع‌بینانه، متناسب با حالات حدی بهره‌برداری مورد نظر، شرایط بهره‌برداری کنترل شود.

۱۲ـ۱ـ خیز

اگر در مورد بعضی از اعضا، خیز بخصوصی لازم است تا آنها را در حالت بارگذاری به‌شکل مورد نظر در ارتباط با اعضای دیگر درآورد، باید این‌گونه محدودیتها در مدارک طراحی به‌روشنی داده شود.

تیرها و خرپاهایی‌که جزییات آنها بدون خیز مشخص ترسیم شده است، باید طوری ساخته شوند که پس از نصب خیز مورد نظر را به‌دست آورند.

در صورتی‌که برای اعمال خیز، لازم باشد عضو مورد نظر در حین نصب پیش‌بارگذاری شود، این امر باید در مدارک طراحی ذکر گردد.

۱۲ـ۲ـ انبساط و انقباض

پیش‌بینی‌های لازم برای انبساط و انقباض، متناسب با شرایط بهره‌برداری باید به‌عمل آید.

۱۲ـ۳ـ تغییرشکل، ارتعاش و انتقال جانبی

۱۲ـ۳ـ۱ـ تغییرشکلها

تغییرشکلها در اعضا و سیستمهای سازه‌ای در اثر بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) نباید خللی در شرایط بهره‌برداری سازه ایجاد نماید.

۱۲ـ۳ـ۲ـ ارتعاشات

در طراحی تیرها و شاهتیرهای حمال فضاهای وسیعی که فاقد دیوارهای جداکننده و یا سایر منابع مستهلک‌کننده می‌باشند، در صورتی‌که در داخل ساختمان ارتعاشات حاصل از ترافیک عابرین پیاده و غیره مطلوب نباشد، باید اثر ارتعاشات ملحوظ گردد.

۱۲ـ۳ـ۳ـ انتقال جانبی

انتقال جانبی سازه‌ها در برابر بارهای باد و یا زلزله مقرر در آیین‌نامه‌های مربوطه، نباید منجر به‌تصادم با سازه‌های مجاور گردد و نیز مقدار آنها نباید از مقادیر حدی که یا مقرر گردیده و یا مناسب تشخیص داده شده است، تجاوز نماید.

۱۲ـ۴ـ لغزش در اتصال

جهت طراحی اتصالات مقاوم در برابر لغزش به‌فصل دهم مراجعه شود.

۱۲ـ۵ـ خوردگی

در جایی که لازم باشد، خوردگی فولاد در طرح اعضای سازه منظور گردد و به‌آنها طوری ابعاد داده شود که اثر خوردگی را جبران نماید و یا با حفاظت در مقابل خوردگی به‌وسیلهٔ رنگ کردن و یا راه‌حلهای دیگر، شرایط بهره‌برداری سازه حفظ گردد. مقدار اضافه ضخامت قربانی بستگی به‌شرایط محیطی و عمر مفید سازه دارد که برحسب مورد باید تعیین گردد.

فصل ۱۳

ساخت، نصب، و کنترل کیفیت

۱۳ـ۱ـ نقشه‌های کارگاهی

قبل از شروع ساخت، باید نقشه‌های کارگاهی که در آن تمام اطلاعات و جزییات لازم برای ساخت قطعات قید شده باشد، تهیه شود. این اطلاعات و جزییات باید شامل ابعاد عناصر سازه و محل آنها و نوع و اندازهٔ تمام جوشها، پیچها و یا پرچها باشد. در این نقشه‌ها باید به‌روشنی تمام جوشها و پیچهای کارخانه‌ای از جوشها و پیچهای کارگاهی و همچنین اتصالات پیچی اصطکاکی از اتصالات اتکایی متمایز شده باشد.

نقشه‌های کارگاهی باید با در نظر گرفتن مناسبترین نوع اجرا و با توجه به‌سرعت اجرا و شرایط اقتصادی عمل ساخت و نصب، تهیه شود.

۱۳ـ۲ـ ساخت

۱۳ـ۲ـ۱ـ ایجاد خیز، خم کردن و راست کردن

می‌توان از گرمایش موضعی و یا ابزار مکانیکی جهت ایجاد یا اصلاح خیز، خم‌کاری و یا راست کردن استفاده کرد. درجه حرارت نواحی گرم‌شده، که باید برحسب روش قابل‌قبولی اندازه‌گیری شود، نباید از ۵۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد برای فولادهای پرمقاومت و از ۶۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای سایر فولادها تجاوز نماید.

۱۳ـ۲ـ۲ـ برش با حرارت (شعله)

برش حرارتی ترجیحاً باید با ماشین انجام پذیرد. لبه‌های بریده شده با حرارت (شعله) که بعداً در معرض تنشهای قابل ملاحظه‌ای قرار خواهند گرفت و یا اینکه محل قرار گرفتن فلز (مصالح) جوش خواهند بود، باید در حد معقول فارغ از زخم و بریدگی (ناهمواری) باشند. در صورتی‌که عمق این ناهمواریها، کوچکتر از ۵ میلی‌متر باشند، وجود آنها مجاز می‌باشد. ناهمواریهای عمیقتر از ۵ میلی‌متر که در اثر برشکاری به‌وجود می‌آیند، باید به‌وسیلهٔ سنگ زدن حذف و یا به‌وسیلهٔ جوشکاری مرمت گردند. کلیهٔ گوشه‌های مقعر تیز باید جهت تأمین یک انتقال هموار، شکل داده شوند. اگر منحنی خاصی مورد نیاز باشد، باید این امر در مدارک طراحی نشان داده شود.

۱۳ـ۲ـ۳ـ صافکاری لبه‌ها

به‌صافکاری و سنگ زدن لبه‌های قیچی شده و یا با شعله بریده شدهٔ ورقها و یا نیمرخها احتیاجی نیست، مگر اینکه به‌طور خاص از طریق مدارک طراحی درخواست و یا در دستورالعملهای آماده‌سازی لبه‌ها برای جوشکاری تصریح شده باشد.

۱۳ـ۲ـ۴ـ ساختمانهای با اتصال جوشی

تکنیک جوشکاری، مهارت جوشکار، ظاهرکار، خواص جوش و روشهایی که برای تصحیح جوش و جوشکاری معیوب به‌کار می‌رود، باید مطابق با مقررات جوشکاری نشریات دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان برنامه و بودجه باشد.

۱۳ـ۲ـ۵ـ سازه‌ها با اتصالات پیچی

کلیهٔ قسمتهایی که به‌هم پیچ می‌شوند، در هنگام نصب باید به‌وسیلهٔ خارهای مغزی (پین) و یا پیچهای موقت، کاملاً به‌هم تثبیت شوند. استفاده از وسایل نصب موقت، نباید باعث اعوجاج اجزای اتصال و یا گشاد کردن سوراخ گردد. راست هم نبودن سوراخهای دو قطعه، دلیل کافی جهت مردود شناختن کار محسوب خواهد شد.

در صورتی‌که ضخامت قطعه بیش از قطر اسمی پیچ به‌علاوه ۳ میلی‌متر نباشد، می‌توان سوراخها را با منگنه کردن درآورد. اما اگر ضخامت ورق بزرگتر از قطر اسمی پیچ به‌علاوه ۳ میلی‌متر باشد، باید سوراخها را یا به‌کمک مته درآورد و یا اینکه اول آنها را کمی کوچکتر به‌وسیلهٔ منگنه درآورده سپس با تراشکاری آنها را گشاد نمود. منگنه و یا مته‌ای که جهت درآوردن چنین سوراخهایی

به‌کار می‌رود باید به‌اندازهٔ ۱/۵ میلی‌متر کوچکتر از قطر اسمی پیچ باشد. سوراخهای لازم در ورقهای ضخیمتر از ۱۲ میلی‌متر و از جنس فولاد پرمقاومت حتماً باید با مته درآورده شوند.

در اتصالات، می‌توان ورقهای پرکننده‌ای را که ضخامتشان از ۶ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند، بین لایه‌ها جاسازی کرد، بدون اینکه بارهای طراحی (براساس نوع سوراخها) برای طراحی اتصال را تغییر داد. وضع استقرار این ورقهای پرکننده، به‌امتداد اعمال بار بستگی ندارد.

پیچهای پرمقاومت را باید مطابق با مشخصات مندرج در استانداردهای مربوطه مورد استفاده قرار داد.

۱۳ـ۲ـ۶ـ درزهای اتکایی

در آن دسته از اتصالات فشاری که بخشی از ظرفیت انتقال نیرو به‌عمل اتکای سطوح تماس بستگی دارد، باید سطوح اتکای هر کدام از قطعات به‌وسیلهٔ سنگ زدن، اره‌کردن و یا سایر ابزار مناسب آماده شده باشند.

۱۳ـ۲ـ۷ـ رواداریهای ابعاد

رواداری در ابعاد تا حدود مقادیر مندرج در مقررات اجرایی مربوطه مجاز می‌باشد.

۱۳ـ۲ـ۸ـ تنظیم پای ستونها

پای ستونها و صفحات پای ستونها (کف ستونها) باید مطابق ضوابط زیر تنظیم و آماده شوند:

الف) صفحات نوردشدهٔ فولادی در ضخامتهای ۵۰ میلی‌متر و یا کمتر، مجاز است بدون تراشکاری به‌کار برده شوند، مشروط بر اینکه در سطح آنها تماس کافی برقرار شود. صفحات اتکایی نوردشدهٔ فولادی در ضخامت بیش از ۵۰ میلی‌متر و کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر را می‌توان با پرس کردن و در صورت فقدان پرس مناسب، به‌کمک تراشکاری کلیهٔ سطوح اتکایی، جهت حصول تماس رضایت‌بخش بین سطوح اتکایی صافکاری کرد (به‌غیر از موارد ذکر شده در تبصره‌های ب و پ). صفحات اتکایی نوردشده با ضخامت بیش از ۱۰۰ میلی‌متر، در کلیهٔ سطوح اتکایی باید تراشکاری شوند (به‌غیر از موارد ذکر شده در تبصره‌های ب و پ).

ب) سطح زیرین صفحات اتکایی و صفحات پای ستونها در حالتی‌که با ریختن دوغاب ماسه سیمان تماس کامل با شالوده برقرار می‌کنند، احتیاجی به‌تراشکاری ندارند.

پ) تراشکاری سطح فوقانی صفحات اتکایی در صورتی‌که به‌کمک جوشهای نفوذی کامل به‌ستون متصل گردند، ضروری نمی‌باشد.

۱۳ـ۳ـ رنگ‌آمیزی در کارگاه

۱۳ـ۳ـ۱ـ ضوابط عمومی

آماده کردن سطوح و رنگ کردن کارخانه‌ای، باید مطابق با آیین‌نامهٔ مربوطه انجام شود. به‌جز در حالاتی‌که اختصاصاً مشخص شده باشد، کارهای فلزی که توسط مصالح نازک‌کاری در داخل ساختمان پوشیده خواهد شد و یا آنهایی که در تماس با بتن قرار دارند، لزومی به‌رنگ کردن ندارند. تمام کارهای فلزی دیگر، به‌جز حالاتی که مستثنی شده باشد، باید با یک لایه رنگ کارخانه‌ای، رنگ‌آمیزی شوند.

۱۳ـ۳ـ۲ـ سطوح غیر قابل دسترسی

در صورت درخواست به‌وسیلهٔ مدارک طراحی، سطوحی از قطعات فلزی که پس از مونتاژ کارگاهی غیرقابل دسترسی خواهند بود، به‌جز آن سطوحی که با هم در تماس هستند، باید قبل از مونتاژ کاملاً پاکیزه و رنگ‌آمیزی شوند.

۱۳ـ۳ـ۳ـ سطوح در تماس با هم

رنگ‌آمیزی اتصالات از نوع اتکایی بدون قید و شرط مجاز است. در مورد اتصالات اصطکاکی که طراحی آنها طبق فصل ۱۰ بر شرایط ویژه‌ای از نظر سطوح تماس استوار است، سطوح تماس باید قبل از مونتاژ طبق ضوابط آیین‌نامهٔ اجرا تمیز گردند*.

۱۳ـ۳ـ۴ـ سطوح آماده شده

سطوح آماده شده با ماشین باید به‌وسیلهٔ یک لایه ضدزنگ که به‌هنگام نصب قابل رفع باشد، در مقابل خوردگی محافظت گردند.

۱۳ـ۳ـ۵ـ سطوح مجاور به‌جوشهای کارگاهی

به‌جز در مواردی‌که در مدارک طراحی قید گردیده‌اند، سطوح واقع در فاصلهٔ ۵۰ میلی‌متری محل هر کدام از جوشهای کارگاهی باید عاری از موادی باشند که مانع جوشکاری به‌شکل مناسب و یا

---

* رجوع شود به‌نشریهٔ شمارهٔ ۵۵ سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی.

موجب تولید گازهای سمی به‌هنگام جوشکاری می‌گردند.

۱۳ـ۴ـ برپایی و نصب

۱۳ـ۴ـ۱ـ میزان کردن پای ستونها

صفحات پای ستونها باید در رقوم صحیح و به‌طور تراز و با اتکای کامل به‌بتن و یا مصالح بنایی استقرار یابند.

۱۳ـ۴ـ۲ـ مهاربندی

قابهای اسکلت فولادی ساختمانها، باید طبق مفاد آیین‌نامهٔ استاندارد اجرا به‌صورت دقیق و شاقولی وا داشته شوند. در صورت لزوم برای تحمل کلیهٔ بارهای احتمالی وارده، از جمله وزن تجهیزات و بارهای عملیاتی، باید مهاربندیهای موقتی تعبیه گردد. مهاربندیهای مزبور تا زمانی‌که از نظر ایمنی لازم باشد باید در جای خود باقی بمانند.

۱۳ـ۴ـ۳ـ تنظیم

هیچ‌گونه جوشکاری و یا پیچ‌بندی دائمی نباید صورت پذیرد مگر اینکه قطعات مربوطه که با این کار ثابت می‌شوند، به‌دقت تنظیم و میزان شده باشند.

۱۳ـ۴ـ۴ـ جفت و جورکردن درزهای فشاری در ستونها

صرف‌نظر از نوع وصله (جوش شیاری با نفوذ نسبی و یا پیچ شده)، عدم تماس اتکایی به‌میزانی که از یک شکاف ۱/۵ میلی‌متری تجاوز ننماید، قابل قبول خواهد بود. اگر این بادخور از ۱/۵ میلی‌متر بیشتر ولی هنوز از ۶/۰ میلی‌متر کمتر باشد و بررسیهای فنی نشان دهند که مساحت کافی برای تماس وجود ندارد، در آن صورت این بادخور باید با مصالح پرکنندهٔ مناسب، شامل تیغه‌های فولادی با ضخامت ثابت، پر شود. این مصالح صرف‌نظر از نوع فولاد مصرفی در اعضای متصل‌شونده می‌تواند از فولاد نرمه باشد.

۱۳ـ۴ـ۵ـ جوش کارگاهی

هرگونه رنگ کارخانه‌ای روی سطوح مجاور با درزهایی که جوش کارگاهی خواهند شد، باید با

برسهای سیمی، پاک شوند.

جوش کارگاهی قطعات متصل به‌اقلام مدفون در داخل بتن باید طوری انجام شود که از انبساط حرارتی بیش از حد اقلام مدفون، که ممکن است موجب پوسته شدن و یا ترک برداشتن بتن و یا اضافه تنش در مهارهای مدفون گردد، اجتناب به‌عمل آید.

۱۳ـ۴ـ۶ـ رنگ کارگاهی

مسئولیت و روش انجام لکه‌گیری رنگها، پاک کردن سطوح و رنگ‌آمیزی کارگاهی، طبق مفاد آیین‌نامه‌های مربوطه، باید از قبل معین شده و به‌طور صریح در مدارک طراحی قید گردیده باشد.

۱۳ـ۴ـ۷ـ اتصالات کارگاهی

همگام با پیشرفت در نصب واداشتن ساختمان، اتصالات پیچی و جوشی باید به‌نحوی تکمیل شوند، تا جوابگوی تمام بارهای مرده و نیروهای باد و تنشهای ضمن اجرا باشند.

۱۳ـ۵ـ کنترل کیفیت

سازنده باید روشهای کنترل کیفیت، به‌نحوی که به‌طور مطمئن نشان دهد کار مطابق با مشخصات و مقررات این آیین‌نامه انجام می‌گیرد، فراهم نماید. علاوه بر کنترل کیفیت سازنده، مصالح به‌کار رفته و مهارتهای اجرایی می‌تواند توسط بازرسان صاحب صلاحیت به‌نمایندگی از کارفرما، تحت بازرسی و کنترل قرار گیرد.

اگر چنین بازرسیهایی توسط نمایندگان کارفرما ضروری باشد، موضوع باید در مدارک طراحی قید گردد.

۱۳ـ۵ـ۱ـ همکاری

کلیهٔ بازرسیهای نمایندگان کارفرما باید حتی‌الامکان در کارخانهٔ سازنده انجام گیرد. سازنده باید با بازرسان همکاری نماید و اجازهٔ بازرسی قسمتهایی از کارخانه را که کار مورد بحث در آنجا انجام می‌گیرد، بدهد. بازرسان کارفرما باید کار خود را طوری برنامه‌ریزی نمایند تا کمترین وقفه در کار سازنده را ایجاد نماید.

۱۳ ـ ۵ ـ ۲ ـ مردود کردن کار

مصالح و مهارتهای اجرایی که با مقررات و مشخصات تعیین شده در این ضوابط تطبیق ننماید، در هر مرحله‌ای از انجام عملیات اجرایی، قابل مردود کردن است. سازنده باید یک نسخه از کلیهٔ گزارشهایی راکه از طرف بازرسان کار به‌صاحبکار داده می‌شود، دریافت نماید.

۱۳ ـ ۵ ـ ۳ ـ بازرسی جوشها

بازرسی جوشکاریها باید طبق مفاد آیین‌نامهٔ جوشکاری ساختمانی و نشریات دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان برنامه و بودجه انجام پذیرد.

اگر بازرسی چشمی توسط بازرسان مورد تأیید ضروری باشد، موضوع باید در مدارک طراحی قید گردد.

۱۳ ـ ۵ ـ ۴ ـ بازرسی اتصالات اصطکاکی با پیچهای پرمقاومت

بازرسی اتصالات اصطکاکی با پیچهای پرمقاومت باید مطابق استانداردهای مربوطه باشد.

۱۳ ـ ۵ ـ ۵ ـ تعیین نوع فولاد

سازنده قبل از نصب و تنظیم قطعات، باید بتواند با عرضهٔ مدارک کتبی و یا شیوه‌های عملی، روشی برای تعیین نوع و مشخصات مصالح مصرفی، ارائه نماید.

روش شناسایی باید قادر به‌تحقیق دربارهٔ استفادهٔ صحیح از مصالح درخصوص موارد زیر باشد:

۱ ـ مشخصات آیین‌نامه‌ای مصالح

۲ ـ شماره عملیات حرارتی در صورت لزوم

۳ ـ گزارشهای آزمایشگاهی مصالح در مورد احتیاجات مخصوص

پیوستها

پیوست فصل ۲

مقررات عمومی

در بخش پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ از این پیوست، تعریف توسعه‌یافته‌تری از نسبت عرض به‌ضخامت حدی برای جان اعضای تحت خمش و فشار محوری ارائه می‌شود. در بخش پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳، طراحی اعضا با عناصر لاغر مورد توجه قرار می‌گیرد.

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ کمانش موضعی

برای اعضا با بالهای نامساوی و جان تحت فشار محوری و لنگر خمشی، مقدار λ_r برای حالت حدی کمانش موضعی جان برابر است با:

$$\lambda_r = \frac{2120}{\sqrt{F_y}}\left[1 + 2.83\left(\frac{h}{h_c}\right)\left(1 - \frac{P_u}{\phi_b P_y}\right)\right] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱)}$$

$$\frac{3}{4} \le \frac{h}{h_c} \le \frac{3}{2}$$

برای اعضا با بالهای نامساوی و جان تحت خمش تنها، مقدار λ_r برای حالت حدی کمانش موضعی جان برابر است با:

$$\lambda_r = \frac{2120}{\sqrt{F_y}}\left[1 + 2.83\left(\frac{h}{h_c}\right)\right] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲)}$$

$$\frac{3}{4} \le \frac{h}{h_c} \le \frac{3}{2}$$

λ_r، h، و h_c مطابق تعریف بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ می‌باشند.

این جایگزینی‌ها باید در پیوستهای فصول ۶ و ۷ وقتی که به‌اعضا با بالهای نامساوی اعمال می‌شوند، انجام گردد. اگر بال فشاری بزرگتر از بال کششی باشد، λ_r باید با استفاده از روابط پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱، پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۲، یا جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ محاسبه شود.

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ عناصر فشاری لاغر

اعضا با بارگذاری محوری متشکل از عناصر فشاری با نسبت عرض به‌ضخامت بزرگتر از λ_r مقرر شده در بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱، باید مطابق این پیوست طراحی شوند. اعضای خمشی با عناصر فشاری لاغر باید مطابق پیوستهای فصول ۶ و ۷ طراحی شوند. اعضای خمشی نورد شده که تناسبات آنها مشمول پیوست پ ـ ۶ ـ ۱ نیست، باید مطابق این پیوست طراحی شوند.

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ الف ـ عناصر فشاری با یک لبهٔ متکی

مقاومت طرح عناصر فشاری با یک لبهٔ متکی با نسبت عرض به‌ضخامت بزرگتر از λ_r مقرر شده در بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱، باید با ضریب Q_s تقلیل یابد. مقدار Q_s برحسب مورد، با استفاده از روابط پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳، تا پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰، تعیین گردد. اگر چنین عناصری بال فشاری عضو خمشی را تشکیل دهند، حداکثر تنش خمشی لازم نباید از $\phi_b F_y Q_s$ بیشتر شود که $\phi_b=0.90$ است. مقاومت طرح اعضای فشاری با بار محوری باید با ضریب تقلیل Q به‌نحوی که در بند پ، آمده اصلاح شود.

(الف) برای تک‌نبشی:

اگر $635/\sqrt{F_y} < b/t < 1300/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1.340 - 0.00054(b/t)\sqrt{F_y} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)}$$

اگر $b/t \geq 1300/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1085000/[F_y(b/t)^2] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۴)}$$

(ب) برای بالها، نبشیها، و ورقهای برجسته از تیرها و ستونهای نوردشده یا سایر اعضای فشاری

اگر $795/\sqrt{F_y} < b/t < 1475/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1.415 - 0.00052(b/t)\sqrt{F_y} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۵)}$$

اگر $b/t \geq 1475/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 14\times10^5 / [F_y (b/t)^2] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۶)}$$

(پ) برای بالها، نبشیها و ورقهای برجسته از ستونهای ساخته شده، از چند نیمرخ یا سایر اعضای فشاری

اگر $915/\sqrt{F_y/K_c} < b/t < 1680/\sqrt{F_y/K_c}$:

$$Q_s = 1.415 - 0.00045 (b/t)\sqrt{F_y/K_c} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۷)}$$

اگر $b/t > 1680/\sqrt{F_y/K_c}$:

$$Q_s = 18.34\times10^5 K_c / [F_y (b/t)^2] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۸)}$$

ضریب K_c باید به‌شرح زیر محاسبه گردد:

الف: برای نیمرخهای I

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad \text{و} \quad 0.35 < K_c \leq 0.763$$

که در آن:

h= ارتفاع جان (cm)

t_w= ضخامت جان (cm)

ب: برای سایر نیمرخها

$$K_c = 0.763$$

(ت) برای جان سپریها

اگر $1065/\sqrt{F_y} < b/t < 1475/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1.908 - 0.00085\,(b/t)\sqrt{F_y} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۹)}$$

اگر $b/t \geq 1475/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 14\times10^5 / [F_y (b/t)^2] \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۰)}$$

که در آن:

b= عرض عنصر فشاری با یک لبهٔ متکی طبق تعریف بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ (cm)

t= ضخامت عنصر فشاری با یک لبهٔ متکی (cm)

F_y= تنش تسلیم (kg/cm^2)

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ ب ـ عناصر فشاری با دو لبهٔ متکی

اگر نسبت عرض به‌ضخامت عناصر با دو لبهٔ متکی تحت فشار یکنواخت (به‌جز ورقهای پوششی سوراخدار) از حد λ_r تعیین شده در بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ بیشتر شود، در این‌صورت باید از عرض مؤثر کاهش یافته b_e در محاسبهٔ مشخصات هندسی مقطع استفاده کرد.

(الف) برای بال مقاطع مربع یا مربع مستطیل با ضخامت یکنواخت:

$$b_e = \frac{2735t}{\sqrt{f}}\left[1 - \frac{545}{(b/t)\sqrt{f}}\right] \le b \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۱)}$$

(ب) برای سایر عناصر تحت فشار یکنواخت:

$$b_e = \frac{2735t}{\sqrt{f}}\left[1 - \frac{480}{(b/t)\sqrt{f}}\right] \le b \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۲)}$$

که در آن:

b= عرض واقعی عنصر با دو لبهٔ متکی طبق تعریف بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ (cm)

b_e= عرض مؤثر کاهش یافته (cm)

t= ضخامت عنصر مورد نظر (cm)

f= تنش فشاری محاسبه شده با فرضیات محدودهٔ الاستیک در عنصر با دو لبهٔ متکی بر پایهٔ مشخصات هندسی مقرر شده در پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ پ (kg/cm^2). اگر در مقطع مورد بررسی عنصر با یک لبهٔ متکی وجود داشته باشد، f برای عنصر با دو لبهٔ متکی طوری باید باشد که حداکثر تنش فشاری در عنصر با یک لبهٔ متکی از $\phi_c F_{cr}$ تعریف شده در پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ ت، با $Q=Q_s$ و $\phi_c=0.85$ و یا $\phi_b F_y Q_s$ با $\phi_b=0.90$، هر کدام که قابل استفاده باشند، تجاوز نکند.

(پ) نیمرخهای دایره‌شکل تحت فشار محوری

برای نیمرخهای دایره با نسبت قطر به‌ضخامت بزرگتر از $23.1\times10^4/F_y$، و کوچکتر از $91\times10^4/F_y$:

$$Q = \frac{77000}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۳)}$$

که در آن:

D= قطر خارجی (cm)

t= ضخامت جدار (cm)

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ پ ـ مشخصات هندسی مقطع

به‌غیر از موارد زیر، مشخصات هندسی مقطع باید با استفاده از مقطع کلی محاسبه گردد. استثناها به‌شرح زیر می‌باشند:

در محاسبهٔ ممان اینرسی و مدول الاستیک مقطع اعضای خمشی، عرض مؤثر b_e عنصر با دو لبهٔ متکی تحت فشار یکنواخت که مطابق بند پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ ب، محاسبه گردیده است، باید در تعیین مشخصات هندسی مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.

برای عناصر با یک لبهٔ متکی از مقطع، Q_s از بند پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ الف، محاسبه می‌شود و برای عناصر با دو لبهٔ متکی از مقطع:

$$Q_a = \frac{\text{مقطع مؤثر}}{\text{مقطع واقعی}} \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۴)}$$

که در آن مقطع مؤثر مساوی مجموع سطوح مؤثر مقطع می‌باشد.

پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ ـ ت ـ مقاومت طرح

برای اعضا تحت فشار محوری، سطح مقطع کلی و شعاع ژیراسیون r، باید برمبنای سطح مقطع واقعی محاسبه شود. تنش بحرانی F_{cr} باید به‌صورت زیر محاسبه گردد:

الف: برای $\lambda_c \sqrt{Q} \le 1.5$:

$$F_{cr} = Q\left(0.658^{Q\lambda_c^2}\right) F_y \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۵)}$$

ب: برای $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5$:

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right] F_y \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۶)}$$

که در آن:

$$Q = Q_s Q_a \qquad \text{(پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱۷)}$$

اگر در مقطع فقط عناصر با یک لبهٔ متکی وجود داشته باشد، $Q_a = 1$ بوده و داریم:

$$Q = Q_s$$

اگر در مقطع فقط عناصر با دو لبهٔ متکی وجود داشته باشد، $Q_s = 1$ بوده و داریم:

$$Q = Q_a$$

اگر در مقطع هر دو عناصر وجود داشته باشد:

$$Q = Q_s Q_a$$

پیوست فصل ۵

ستونها و سایر اعضای فشاری

این پیوست مربوط است به‌مقاومت ستونها با تقارن دومحوره با عناصر لاغر، و ستونها با مقطع نامتقارن یا متقارن یک‌محوره برای حالت حدی کمانش پیچشی یا خمشی ـ پیچشی.

پ ـ ۵ ـ ۳ ـ مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی ـ پیچشی

مقاومت اعضای فشاری برمبنای حالت حدی کمانش پیچشی، و کمانش خمشی ـ پیچشی مساوی $\phi_c P_n$ می‌باشد که در آن:

$\phi_c = 0.85$

$P_n = A_g F_{cr}$ (پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱)

A_g= سطح مقطع کلی (cm^2)

تنش بحرانی اسمی F_{cr} به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

الف: برای $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5$:

$$F_{cr} = Q\left(0.658^{Q\lambda_e^2}\right) F_y \quad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۲)}$$

ب: برای $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_e^2}\right] F_y \quad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۳)}$$

که در آن:

$$\lambda_e = \sqrt{F_y / F_e} \quad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۴)}$$

F_y= تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)

Q= مساوی ۱ برای نیمرخهایی که عناصر آنها نسبت عرض به‌ضخامت λ_r بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده می‌کنند و مساوی $Q_s Q_a$ برای نیمرخهایی که عناصر آنها نسبت عرض به‌ضخامت λ_r بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده نمی‌کنند. ضرایب اخیر با استفاده از مفاد پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ قابل محاسبه است.

تنش بحرانی کمانش الاستیک پیچشی و یا خمشی ـ پیچشی به‌صورت زیر تعیین می‌گردد:

الف: برای نیمرخها با دو محور تقارن، تنش بحرانی کمانش الاستیک پیچشی برابر است با:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \qquad (\text{پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۵})$$

ب: برای نیمرخها با یک محور تقارن که در آن y محور تقارن می‌باشد، تنش بحرانی کمانش الاستیک خمشی ـ پیچشی برابر است با:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right) \qquad (\text{پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۶})$$

پ: برای نیمرخهای غیرمتقارن، تنش بحرانی کمانش الاستیک خمشی ـ پیچشی کوچکترین ریشهٔ معادلهٔ درجهٔ سوم زیر است:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey})(x_0/\bar{r}_0)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex})(y_0/\bar{r}_0)^2 = 0 \qquad (\text{پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۷})$$

که در آن:

K_z= ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی

E= مدول الاستیسیته (kg/cm^2)

G= مدول الاستیسیته برشی (kg/cm^2)

C_w= ثابت تابیدگی (cm^6)

J= ثابت پیچشی (cm^4)

I_x و I_y= ممان اینرسی حول محورهای اصلی (cm^4)

x_0 و y_0= مختصات مرکز برش نسبت به‌مرکز هندسی (cm)

$$\bar{r}_0^{\,2} = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \qquad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۸)}$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^{\,2}} \right) \qquad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۹)}$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L / r_x)^2} \qquad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۰)}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L / r_y)^2} \qquad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۱)}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{A \bar{r}_0^{\,2}} \qquad \text{(پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۲)}$$

که در آن:

A= سطح مقطع عضو (cm^2)

L= طول مهارنشدهٔ عضو (cm)

K_x و K_y= ضرایب طول مؤثر در امتدادهای x و y

r_x و r_y= شعاع ژیراسیون حول محورهای اصلی (cm)

$\bar{r}_0$ = شعاع ژیراسیون قطبی در حول مرکز برش (cm)

پیوست فصل ۶

تیرها و سایر اعضای خمشی

در این پیوست، بخش پ ـ ۶ـ۱، اختصاص به‌مقاومت خمشی تیرها و شاهتیرها، بخش پ ـ ۶ـ۲، اختصاص به‌مقاومت برشی تیرها و بخش پ ـ ۶ ـ ۳، اختصاص به‌اعضا با ارتفاع متغیر دارد.

پ ـ ٦ ـ ۱ ـ طراحی برای خمش

مقاومت خمشی طرح اعضای خمشی $\phi_b M_n$ است که در آن ϕ_b=0.90 و M_n مقاومت اسمی است.

جدول پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱ خلاصه‌ای از روابط ۶ ـ ۱ ـ ۳ تا ۶ ـ ۱ ـ ۱۵ برای تعیین مقاومت خمشی اسمی تیرها و شاهتیرها را ارائه می‌نماید. برای پارامترهای لاغری مقطع که در جدول پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱ وجود ندارد، به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ مراجعه نمایید. برای اعضای خمشی با بالهای نامساوی برای تعریف λ_r در حالت حدی کمانش موضعی بال به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۱ مراجعه نمایید.

مقاومت خمشی M_n کمترین مقدار به‌دست آمده طبق حالات حدی زیر است:

(الف) کمانش جانبی ـ پیچشی (LTB) ، (ب) کمانش موضعی بال (FLB) و (پ) کمانش موضعی جان (WLB)

مقاومت خمشی اسمی M_n برای هر حالت حدی باید به‌طریق زیر محاسبه گردد:

الف: برای $\lambda \le \lambda_p$:

$$M_n=M_p \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱)}$$

ب: برای $\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$:

برمبنای حالت حدی کمانش جانبی ـ پیچشی

$$M_n=C_b[M_p-(M_p-M_r)(\frac{\lambda-\lambda_p}{\lambda_r-\lambda_p})]\leq M_{lp} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۲)}$$

برمبنای حالت حدی کمانش بال و جان

$$M_n=M_p-(M_p-M_r)(\frac{\lambda-\lambda_p}{\lambda_r-\lambda_p}) \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۳)}$$

پ: برای $\lambda > \lambda_r$:

برای حالت حدی کمانش پیچشی ـ جانبی و برای کمانش موضعی بال:

$$M_n=M_{cr}=SF_{cr}\leq M_p \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۴)}$$

برای $\lambda > \lambda_r$ی بال:

در نیمرخهایی که جدول پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱ شامل آنها نمی‌شود، به‌پیوست پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳ مراجعه نمایید.

برای $\lambda > \lambda_r$ی جان:

به‌پیوست فصل ۷ مراجعه نمایید.

برای تمام پارامترهای لاغری، مقاومت خمشی مقاطع دوگانه به‌مقاومت کمانشی الاستیک مقطع همگن محدود می‌شود.

علایم به‌کار رفته در معادلات فوق، به‌شرح زیر می‌باشند:

M_n= مقاومت خمشی اسمی (kg-cm)

M_p= لنگر پلاستیک (kg-cm)

M_{cr}= لنگر کمانشی (kg-cm)

M_r= لنگر کمانشی حدی (مساوی M_{cr} وقتی‌که $\lambda=\lambda_r$ است) (kg-cm)

λ= پارامتر لاغری حاکم مطابق زیر:

ـ نسبت لاغری حول محور ضعیف L_b/r_y برای کمانش جانبی ـ پیچشی

ـ نسبت‌عرض به‌ضخامت بال b/t، برای کمانش موضعی بال طبق تعریف بخش ۲ـ۵ـ۱

ـ نسبت ارتفاع به‌ضخامت جان h/t_w، برای کمانش موضعی جان طبق تعریف بخش ۲ـ۵ـ۱

λ_p= بزرگترین مقدار λ که برای آن $M_n=M_p$ می‌باشد.

λ_r= بزرگترین مقدار λ که برای آن کمانش غیرالاستیک می‌باشد.

C_b= ضریب خمش که بستگی به‌شیب لنگر خمشی دارد (به‌بخش ۶ ـ ۱ ـ ۲ ـ الف، و رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۳ مراجعه نمایید).

S= اساس مقطع (cm^3)

L_b= طول به‌طور جانبی مهاربندی نشده (cm)

r_y= شعاع ژیراسیون مقطع حول محور ضعیف (cm)

حالات حدی قابل کاربرد و روابط مربوط به M_p ، M_r ، F_{cr} ، λ ، λ_p و λ_r برای نیمرخهای تحت پوشش این پیوست، در جدول پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱ ارائه شده‌اند.

علایم به‌کار رفته در این جدول به‌شرح زیر می‌باشند:

A= سطح مقطع (cm^2)

F_L= کوچکترین دو مقدار $(F_{yf} - F_r)$ یا F_{yw} (kg/cm^2)

F_r= تنش فشاری پس‌ماند در بال به‌شرح زیر:

۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نیمرخهای نوردشده

۱۱۵۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نیمرخهای جوشی

F_y= تنش تسلیم حداقل مقرر (kg/cm^2)

F_{yf}= تنش تسلیم بال (kg/cm^2)

F_{yw}= تنش تسلیم جان (kg/cm^2)

J= ثابت پیچشی (cm^4)

R_e= به‌فصل ۷ مراجعه شود.

$(S_x)_{eff}$= اساس مقطع مؤثر نسبت به‌محور قوی (cm^3)

S_{xc}= اساس مقطع تارهای خارجی بال فشاری (cm^3)

S_{xt}= اساس مقطع تارهای خارجی بال کششی (cm^3)

Z= اساس مقطع پلاستیک (خمیری) (cm^3)

b= عرض بال (cm)

d= ارتفاع کل مقطع (cm)

h_c= دو برابر فاصلهٔ تار خنثی تا آغاز ماهیچهٔ اتصال جان به‌بال (cm)

t_f= ضخامت بال (cm)

t_w= ضخامت جان (cm)

جدول پ ـ ٦ ـ ١ ـ ١ پارامترهای مقاومت اسمی

محدودیتها	پارامترهای لاغری			تنش بحرانی	لنگر حدی کمانشی	حالت حدی کمانش	لنگر پلاستیک	تیرمخ
	λ_r	λ_p	λ	F_{cr}	M_r		M_p	
قابل اعمال به‌نیمرخهای I به‌شرطی که: $h/t_w \le \lambda_r$ در صورتی‌که $h/t_w > \lambda_r$ باشد، به‌فصل ۷ مراجعه شود.	(پ) و (ت)	$\frac{2515}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{C_b X_1 \sqrt{2}}{\lambda}\sqrt{1+\frac{X_1^2 X_2}{2\lambda^2}}$	$F_L S_x$	کمانش جانبی - پیچشی برای اعضا با نیمرخ دارای دو محور تقارن و ناودانیها LTB	$F_y Z_x$ (ب)	تیرها بانیمرخ ناودانی و نیمرخ I با یک یادو محور تقارن (شامل تیرهای دوگانه) که تحت‌خمش‌حول‌محور قوی می‌باشند (الف)
	مقداری از λ که برای آن $M_{cr}(C_b=1)=M_r$	$\frac{2515}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{L_b}{r_y}$	(ث)	$F_L S_{xc} \le F_{yf} S_{xt}$	کمانش جانبی - پیچشی اعضا با نیمرخ دارای یک محور تقارن LTB		
	(چ)	$\frac{545}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{b}{t}$	(چ)	$F_L S_x$	کمانش موضعی بال FLB		
	λ_r طبق تعریف بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱	$\frac{5365}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{h_c}{t_w}$	موردی ندارد	$R_e F_{yf} S_x$	کمانش موضعی جان WLB		
همانند محور قوی					$F_y S_y$	کمانش موضعی بال FLB	$F_y Z_y$	تیرها با نیمرخ ناودانی و نیمرخ I بادو محورتقارن که‌تحت‌خمش‌حول‌محور ضعیف می‌باشند (الف)

توجه: LTB فقط برای خمش حول محور قوی کاربرد دارد.

(الف) به‌استثنای نبشی دوبل و سپری

(ب) برای نیمرخهای دوگانه با فرض توزیع تنش پلاستیک کامل محاسبه می‌شود.

(پ) $X_1 = \frac{\pi}{S_x}\sqrt{\frac{EGJA}{2}}$, $X_2 = 4\frac{C_w}{I_y}\left(\frac{S_x}{GJ}\right)^2$

(ت) $\lambda_r = \frac{X_1}{F_L}\sqrt{1+\sqrt{1+X_2 F_L^2}}$

(ث) $F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_{xc}}$; $M_{cr} = \frac{4\times 10^6 C_b}{L_b}\sqrt{I_y J}\left[B_1 + \sqrt{(1+B_2+B_1^2)}\right] \le M_p$

که در آن:

$B_1 = 2.25[2(I_{yc}/I_y)-1](h/L_b)\sqrt{(I_y/J)}$, $B_2 = 25(1-I_{yc}/I_y)(I_{yc}/J)(h/L_b)^2$

$C_b = 1.0$ (برای $I_{yc}/I_y < 0.1$ یا $I_{yc}/I_y > 0.9$)

(ج) (برای نیمرخهای نورد شده) $F_{cr} = \frac{14\times 10^5}{\lambda^2}$

(برای نیمرخهای جوش شده) $F_{cr} = \frac{18.34\times 10^5 K_c}{\lambda^2}$

که در آن: $K_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, $0.35 \le K_c \le 0.763$

(چ) (برای نیمرخهای نوردشده) $\lambda_r = \frac{1180}{F_L}$

(برای نیمرخهای جوش‌شده) $\lambda_r = \frac{1355}{\sqrt{F_L/K_c}}$

جدول پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۱ پارامترهای مقاومت اسمی

نیمرخ	لنگر پلاستیک M_p	حالت حدی کمانشی M_p	لنگر حدی کمانشی M_r	تنش بحرانی F_{cr}	پارامترهای لاغری λ	λ_p	λ_r	محدودیتها
تیرها با نیمرخ توپر متقارن، به‌استثنای نیمرخ مستطیلی، که تحت خمش حول محور قوی می‌باشند	$F_y Z_x$	موردی ندارد		موردی ندارد				-
تیرها با نیمرخ مستطیلی توپر تحت خمش حول محورقوی	$F_y Z_x$	کمانش جانبی پیچشی LTB	$F_y S_x$	$\frac{4\times10^6 C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{26\times10^4\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{4\times10^6\sqrt{JA}}{M_r}$	-
تیرها با نیمرخ قوطی که در صفحهٔ تقارن بارگذاری شده‌اند	$F_y Z_x$	کمانش جانبی پیچشی LTB	$F_{yf} S_{eff}$	$\frac{4\times10^6 C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{26\times10^4\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{4\times10^6\sqrt{JA}}{M_r}$	درصورتی قابل استفاده‌است که: $h_c/t_w \le 8115/\sqrt{F_{yf}}$
		کمانش موضعی بال FLB	$F_L S_{eff}$	$\frac{S_{eff}}{S_x} F_y$ (خ)	$\frac{b}{t}$	$\frac{13360}{F_y}$	$\frac{1990}{\sqrt{F_y}}$	
		کمانش موضعی جان WLB	همانند نیمرخ I	همانند نیمرخهای I				
تیرها با مقطع قوطی و دایره	$F_y Z$	کمانش جانبی پیچشی LTB	موردی ندارد	موردی ندارد				
		کمانش موضعی بال FLB	$M_n = (\frac{42000}{D/t}+F_y)S$ (ح)	$\frac{68\times10^4}{D/t}$	D/t	$\frac{15\times10^4}{F_y}$	$\frac{63\times10^4}{F_y}$	$D/t < \frac{910000}{F_y}$
		کمانش موضعی جان WLB	موردی ندارد	موردی ندارد				

(خ) S_{eff} اساس مقطع مؤثر برای مقطعی با بال فشاری به‌عرض مؤثر b_e طبق تعریف پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ب، می‌باشد.

(ح) این‌رابطه باید به‌جای رابطهٔ پ ـ ۶ ـ ۱ ـ ۴، به‌کار رود.

پ ـ ٦ ـ ۲ ـ طراحی برای برش

پ ـ ٦ ـ ۲ ـ ۲ ـ مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح جان با و بدون سخت‌کننده مساوی $\phi_v V_n$ می‌باشد که در آن:

$\phi_v=0.90$

V_n= مقاومت برشی اسمی طبق روابط زیر:

(I) $\dfrac{h}{t_w} \le 1565\sqrt{\dfrac{K_v}{F_{yw}}}$

$V_n=0.6F_{yw}A_w$ (پ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۱)

(II) $1565\sqrt{\dfrac{K_v}{F_{yw}}} < \dfrac{h}{t_w} \le 1955\sqrt{\dfrac{K_v}{F_{yw}}}$

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w\frac{1565\sqrt{\dfrac{K_v}{F_{yw}}}}{(h/t_w)}$$ (پ ـ ۶ ـ ۲ ـ ۲)

(III) $\dfrac{h}{t_w} > 1955\sqrt{\dfrac{K_v}{F_{yw}}}$

$$V_n=A_w\frac{1.85\times10^6}{(h/t_w)^2}$$

که در آن:

$$K_v=5+\frac{5}{(a/h)^2}$$

$(a/h>3$ یا $a/h>[260/(h/t)]^2 \longrightarrow K_v=5)$

a= فاصلهٔ بین سخت‌کننده‌های عرضی (cm)

h= ارتفاع خالص جان درحد فاصل دو بال (در تیرهای نوردشده می‌توان به‌اندازهٔ شعاع گردی اتصال بال به‌جان از این مقدار کاست).

پ ـ ٦ ـ ۲ ـ ۳ ـ سخت‌کننده‌های عرضی

در صورتی که $h/t_w \le 3500/\sqrt{F_{yw}}$ بوده و یا V_u (که از تحلیل سازه برای بارهای ضریبدار به‌دست می‌آید)، کوچکتر یا مساوی $0.6\phi_v A_w F_{yw} C_v$ باشد، نیازی به‌استفاده از سخت‌کننده نیست.

$\phi_v=0.90$ بوده و C_v برای $K_v=5$ محاسبه می‌شود.

ممان اینرسی سخت‌کننده (در صورتی‌که در یک طرف جان باشد، نسبت به‌سطح تماس، و در صورتی‌که در هر دو طرف جان باشد، نسبت به‌محور مرکزی جان) نباید کمتر از $at_w^3 J$ باشد که در آن:

$$J = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5 \qquad (پ - ۶ - ۲ - ۴)$$

در صورتی‌که به‌عمل تماس مستقیم بین سخت‌کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا واکنش تکیه‌گاهی، احتیاج نباشد، می‌توان سخت‌کننده را نرسیده به‌بال کششی قطع کرد. جوشهایی که سخت‌کننده را به‌جان تیر وصل می‌کنند، نباید نزدیکتر از ۴ برابر و دورتر از ۶ برابر ضخامت جان از بر جوش اتصال جان و بال ختم شوند.

اگر از سخت‌کنندهٔ تک با مقطع مربع مستطیل استفاده می‌شود، باید آن را به‌بال فشاری تیر متصل کرد تا اثر پیچش خنثی شود.

در صورت اتصال مهار جانبی به‌سخت‌کننده، متقابلاً باید قطعهٔ تقویتی نیز به‌بال فشاری طوری متصل شود که ظرفیت انتقال حداقل ۱ درصد تنش کلی در بال را داشته باشد. بال تیری که فقط از نیمرخ نبشی تشکیل شده باشد، از این قاعده مستثنی می‌باشد.

در صورتی‌که برای اتصال سخت‌کننده به‌جان از پیچ استفاده شده باشد، فواصل آنها نباید از ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر شود و در صورتی‌که از جوش منقطع استفاده شده باشد، فاصلهٔ خالص بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت جان و یا ۲۵۰ میلی‌متر بزرگتر شود.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ اعضا با ارتفاع متغیر

اعضای با ارتفاع متغیر که منطبق بر احتیاجات این بخش می‌باشند، باید طبق روابط فصل ۶ طراحی شوند، مگر اینکه ضوابط مزبور به‌نحوی در این پیوست تعدیل شده باشند.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱ ـ احتیاجات عمومی

برای اینکه یک عضو با ارتفاع متغیر تحت پوشش ضوابط این بخش قرار گیرد، باید احتیاجات زیر را برآورده نماید:

الف: در صورت وجود لنگر، مقطع عضو حداقل باید دارای یک محور تقارن، عمود بر صفحهٔ خمش، باشد.

ب: بالها باید مساوی و دارای سطح مقطع ثابت باشند.

پ: تغییرات ارتفاع مقطع عضو باید خطی باشد:

$$d=d_0\left(1+\gamma\frac{z}{L}\right) \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱)}$$

که در آن:

d_0= ارتفاع مقطع در انتهای کوچکتر عضو (cm)

d_L= ارتفاع مقطع در انتهای بزرگتر عضو (cm)

γ= طبق رابطهٔ زیر:

کوچکترین 6.0 یا $(d_L-d_0)/d_0\leq 0.268(L/d_0)$

z= فاصله از انتهای کوچکتر عضو (cm)

L= طول مهارنشدهٔ عضو در حد فاصل محور به‌محور اعضای مهاربند

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲ ـ مقاومت کششی طرح

مقاومت طرح اعضای کششی با ارتفاع متغیر، باید طبق بخش ۴ ـ ۱ تعیین گردند.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳ ـ مقاومت فشاری طرح

مقاومت طرح اعضای فشاری با ارتفاع متغیر باید طبق بخش ۵ ـ ۲ با استفاده از پارامتر لاغری λ_{eff} که به‌صورت زیر تعریف می‌شود، تعیین گردد:

$$\lambda_{eff}=\frac{S}{\pi}\sqrt{\frac{QF_y}{E}} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۲)}$$

که در آن:

$S=KL/r_{oy}$ برای خمش حول محور ضعیف و مساوی $K_\gamma L/r_{ox}$ برای خمش حول محور قوی

K= ضریب طول مؤثر برای یک عضو منشوری

K_γ= ضریب طول‌مؤثر برای یک‌عضو با ارتفاع متغیر که توسط یک‌روش منطقی تعیین می‌شود.

r_{ox}= شعاع ژیراسیون حول محور قوی در انتهای کوچکتر عضو با ارتفاع متغیر (cm)

r_{oy}= شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف در انتهای کوچکتر عضو با ارتفاع متغیر (cm)

F_y= تنش تسلیم حداقل مقرر (kg/cm^2)

Q= ضریب کاهش مطابق زیر:

– مساوی ۱ اگر نسبت عرض به‌ضخامت عناصر مقطع، کوچکتر از λ_r بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ باشد.

– مساوی $Q_s Q_a$ (طبق پ ـ ۲ ـ ۵ ـ ۳)، اگر نسبت عرض به‌ضخامت عناصر مقطع از نسبت λ_r بخش ۲ ـ ۵ ـ ۱ تجاوز نماید.

E= مدول الاستیسیتهٔ فولاد (kg/cm^2)

در رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۱، به‌جای A_g باید از کوچکترین سطح مقطع عضو با ارتفاع متغیر استفاده شود.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۴ ـ مقاومت خمشی طرح

مقاومت خمشی طرح اعضای خمشی با ارتفاع متغیر برای حالت حدی کمانش جانبی ـ پیچشی مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن ϕ_b=0.90 و مقاومت اسمی برابر است با:

$$M_n=(5/3)S'_x F_{by} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۳)}$$

که در آن:

S'_x= اساس مقطع، مقطع بحرانی طول مهاربندی نشدهٔ مورد نظر

$$F_{by}=\frac{2}{3}\left[1.0-\frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sy}^2+F_{wy}^2}}\right] \quad F_y \le 0.60F_y \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۴)}$$

مگر اینکه $F_{by} \le F_y/3$ باشد که در این‌صورت:

$$F_{by}=B\sqrt{F_{sy}^2+F_{wy}^2} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۵)}$$

در روابط فوق:

$$F_{sy}=\frac{84\times10^4}{h_s L d_o/A_f} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۶)}$$

$$F_{wy}=\frac{11.9\times10^6}{(h_w L/r_{To})^2} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۷)}$$

که در آن:

h_s= ضریبی مساوی $1.0+0.0230y\sqrt{Ld_o/A_f}$

h_w= ضریبی مساوی $1.0+0.00385y\sqrt{L/r_{To}}$

r_{To}= شعاع ژیراسیون مقطعی در انتهای کوچکتر عضو شامل فقط بال فشاری به‌علاوهٔ $\frac{1}{3}$ مساحت جان تحت فشار که در حول محوری در صفحهٔ جان محاسبه می‌شود. (cm)

A_f= مساحت بال فشاری (cm^2)

پارامتر B نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف: وقتی که لنگر حداکثر M_2 در سه قطعهٔ متوالی با طول مهاربندی نشدهٔ تقریباً مساوی، در محدودهٔ قطعهٔ میانی قرار گیرد و M_1 لنگر بزرگتر در یک انتهای ناحیهٔ سه قسمتی فوق باشد:

$$B=1.0+0.37\left(1.0+\frac{M_1}{M_2}\right)+0.50\gamma\left(1.0+\frac{M_1}{M_2}\right)\geq 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۸)}$$

نسبت M_1/M_2 وقتی که ایجاد انحنای ساده نمایند، منفی در نظر گرفته می‌شود. در حالات نادری که M_1/M_2 مثبت است، توصیه می‌شود که مقدار آن مساوی صفر منظور شود.

ب: وقتی که بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده f_{b2} در انتهای بزرگتر دو قطعهٔ متوالی با طول مهاربندی نشدهٔ تقریباً مساوی رخ دهد و f_{b1} تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر ناحیهٔ دو قسمتی فوق باشد:

$$B=1.0+0.58\left(1.0+\frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right)-0.70\gamma\left(1.0+\frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right)\geq 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۹)}$$

وقتی که انحنای ناشی از خمش ساده باشد، نسبت f_{b1}/f_{b2} منفی در نظر گرفته می‌شود، اگر در یکی از دو قطعهٔ مهاربندی نشدهٔ متوالی، یک نقطهٔ عطف وجود داشته باشد، f_{b1}/f_{b2} مثبت در نظر گرفته می‌شود. نسبت f_{b1}/f_{b2} همواره مخالف صفر است.

پ: وقتی که بزرگترین تنش خمشی محاسبهٔ شدهٔ f_{b2} در انتهای کوچکتر دو قطعهٔ متوالی با طول مهاربندی نشدهٔ تقریباً مساوی رخ دهد و f_{b1} تنش خمشی محاسبه شده در انتهای بزرگتر ناحیهٔ دو قسمتی فوق باشد:

$$B=1.0+0.55\left(1.0+\frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right)+2.20\gamma\left(1.0+\frac{f_{b1}}{f_{b2}}\right)\geq 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱۰)}$$

وقتی که انحنای ناشی از خمش ساده باشد، نسبت f_{b1}/f_{b2} منفی در نظر گرفته می‌شود. اگر در یکی از دو قطعهٔ مهاربندی نشدهٔ متوالی، یک نقطهٔ عطف وجود داشته باشد، f_{b1}/f_{b2} مثبت در نظر گرفته می‌شود. نسبت f_{b1}/f_{b2} همواره مخالف صفر است.

همچنین در رابطهٔ پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱۰، نسبت $\gamma=(d_L-d_o)/d_o$ برای آن طول مهاربندی نشده

محاسبه می‌شود که حداکثر تنشهای خمشی محاسبه شده در آن رخ می‌دهد.

ت: وقتی که تنشهای خمشی محاسبه شده در انتهای کوچک یک عضو با ارتفاع متغیر و یا یک قطعه از آن مساوی صفر باشد:

$$B=\frac{1.75}{1.0+0.25\sqrt{\gamma}} \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱۱)}$$

که درآن نسبت $\gamma=(d_L-d_o)/d_o$، برای قطعه‌ای محاسبه‌می‌شود که‌مجاور نقطهٔ‌لنگر خمشی صفر است.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۵ ـ مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح یک عضو خمشی با ارتفاع متغیر باید طبق بخش ۶ ـ ۲ محاسبه شود.

پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۶ ـ ترکیب نیروهای محوری و خمشی

برای اعضا با ارتفاع متغیر که فقط دارای یک ورق جان می‌باشند و تحت فشار و خمش حول محور قویتر می‌باشند، روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ تا ۸ ـ ۱ ـ ۳ با تعدیلات زیر قابل استفاده می‌باشند:

P_n و P_{ex} باید برمبنای مشخصات هندسی انتهای کوچکتر با استفاده از ضریب طول مؤثر مناسب محاسبه شوند. M_u ، M_{ux} و M_{px} باید برای انتهای بزرگتر محاسبه شوند، همچنین $M_{nx}=(5/3)\,S'_x F_{by}$ می‌باشد که در آن S'_x اساس مقطع الاستیک انتهای بزرگتر و F_{by} تنش خمشی طرح عضو با ارتفاع متغیر می‌باشد. و بالاخره، C_{mx} با C'_m که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود، جایگزین می‌گردد:

الف: وقتی که عضو تحت لنگرهای انتهایی باشد که باعث ایجاد خمش ساده شوند و لنگرهای انتهایی محاسبه شده، تقریباً مساوی باشند.

$$C'_m=1.0+0.1\left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}}\right)+0.3\left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}}\right)^2 \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱۲)}$$

ب: وقتی‌که لنگرانتهایی محاسبه‌شده درانتهای کوچکتر طول مهاربندی‌نشده مساوی صفر است:

$$C'_m=1.0-0.9\left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}}\right)+0.6\left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}}\right)^2 \qquad \text{(پ ـ ۶ ـ ۳ ـ ۱۳)}$$

وقتی که پارامتر لاغری مؤثر $\lambda_{eff} \geq 1.0$ باشد و تنشهای ترکیبی در فواصل کوچک در امتداد عضو بررسی شوند، در این‌صورت می‌توان از سطح مقطع واقعی و اساس مقطع واقعی مقطع تحت مطالعه استفاده نمود.

پیوست فصل ۸

اعضا تحت نیروهای ترکیبی و پیچش

این پیوست حاوی روابط اندرکنشی جایگزین برای نیمرخهای I با $b_f/d \le 1$ و نیمرخهای قوطی است.

پ ـ ۸ ـ ۳ ـ روابط اندرکنشی جایگزین برای اعضا تحت تنش ترکیبی

برای اعضا با نیمرخ I با $b_f/d \le 1.0$ و نیمرخهای قوطی تحت خمش دومحوره، فقط در قابهای مهار شده، می‌توان به‌جای روابط ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ الف و ۸ ـ ۱ ـ ۱ ـ ب، از دو رابطهٔ زیر استفاده نمود. هر دو رابطه باید اقناع گردند.

$$\left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M'_{px}}\right]^{\zeta} + \left[\frac{M_{uy}}{\phi_b M'_{py}}\right]^{\zeta} \le 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱)}$$

$$\left[\frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M'_{nx}}\right]^{\eta} + \left[\frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M'_{ny}}\right]^{\eta} \le 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۲)}$$

در روابط فوق داریم:

(الف) برای نیمرخهای I

$b_f/d < 0.5$:
$0.5 \le b_f/d \le 1.0$: $\quad \zeta = 1.0$

$$\zeta = 1.6 - \frac{P_u/P_y}{2[\ln(P_u/P_y)]} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۳)}$$

$$\eta = \begin{cases} b_f/d < 0.30 : & \\ 0.30 \le b_f/d \le 1.0 : & \eta = 1.0 \end{cases}$$

$$\eta = 0.4 + \frac{P_u}{P_y} + \frac{b_f}{d} \ge 1.0 \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۴)}$$

که در آن:

b_f= عرض بال (cm)

d= ارتفاع عضو (cm)

C_m= ضریبی که به‌جملهٔ لنگر خمشی اعمال می‌شود و بستگی به‌انحنای ستون دارد. به‌بخش ۳ ـ ۱ مراجعه شود.

$$M'_{px} = 1.2 M_{px}\left(1 - \frac{P_u}{P_y}\right) \le M_{px} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۵)}$$

$$M'_{py} = 1.2 M_{py}\left(1 - \left(\frac{P_u}{P_y}\right)^2\right) \le M_{py} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۶)}$$

$$M'_{nx} = M_{nx}\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right)\left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}}\right) \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۷)}$$

$$M'_{ny} = M_{ny}\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right)\left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}}\right) \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۸)}$$

(ب) برای نیمرخهای قوطی

$$\zeta = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۹)}$$

$$\eta = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} - a\lambda_x\left(\frac{P_u}{P_y}\right)^b > 1.1 \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱۰)}$$

برای $P_u/P_y \le 0.4$، مقدار $a = 0.06$ و $b = 1.0$ می‌باشد.

برای $P_u/P_y > 0.4$، مقدار $a = 0.15$ و $b = 2.0$ می‌باشد.

$$M'_{px} = 1.2 M_{px}(1 - P_u/P_y) \le M_{px} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱۱ ـ الف)}$$

$$M'_{py} = 1.2 M_{py}(1 - P_u/P_y) \le M_{py} \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱۱ ـ ب)}$$

$$M'_{nx} = M_{nx}\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right)\left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}} \cdot \frac{1.25}{(B/H)^{1/3}}\right) \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱۲)}$$

$$M'_{ny} = M_{ny}\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right)\left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}} \cdot \frac{1.25}{(B/H)^{1/2}}\right) \qquad \text{(پ ـ ۸ ـ ۳ ـ ۱۳)}$$

که در آن:

P_n= مقاومت فشاری اسمی طبق بخش ۵ ـ ۲

P_u= مقاومت محوری لازم

P_y= مقاومت فشاری تسلیم مساوی $A_g F_y$

ϕ_b= ضریب کاهش مقاومت در خمش مساوی ۰/۹

ϕ_c= ضریب کاهش مقاومت در فشار مساوی ۰/۸۵

P_e= مقاومت کمانشی اولر مساوی $A_g F_y/\lambda_c^2$ که در آن λ_c پارامتر لاغری ستون است که طبق رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴ تعریف می‌شود.

M_u= مقاومت خمشی لازم

M_n= مقاومت خمشی اسمی طبق بخش ۶ ـ ۱

M_P= لنگر پلاستیک که باید کوچکتر یا مساوی $1.5F_y S$ گردد.

B= بعد خارجی مقطع قوطی به‌موازات محور اصلی حداکثر x

H= بعد خارجی مقطع قوطی عمود بر محور اصلی حداکثر x

پیوست فصل ۱۰

اتصالها و وسایل اتصال

پیوست پ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴، روش جایگزینی را برای طراحی جوشهای گوشه پیشنهاد می‌کند. پیوستهای پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ و پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ مربوط هستند به‌روش طراحی اتصالات اصطکاکی به‌روش حدی.

پ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ جوش

پ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ ۴ ـ مقاومت طرح

به‌جای استفاده از روش مقاومت ثابت طبق جدول ۱۰ ـ ۲ ـ ۵، استفاده از روش زیر مجاز است:

(الف) مقاومت طرح گروه جوشهای خطی که بار وارده در صفحهٔ جوش قرار داشته و از مرکز ثقل جوشها عبور می‌نماید، مساوی $\phi F_w A_w$ می‌باشد که در آن:

$$F_w = 0.60 F_{EXX}(1.0 + 0.50 \sin^{1.5}\theta)$$

که در آن:

$\phi = 0.75$

F_w = تنش اسمی (kg/cm^2)

F_{EXX} = مقاومت نهایی فلز جوش (kg/cm^2)

θ = زاویهٔ نیرو با محور طولی جوش

A_w = سطح مقطع گلوی مؤثر جوش (cm^2)

(ب) مقاومت طرح جزء جوش در گروه جوش که در صفحهٔ جوش بارگذاری شده و به‌روش مرکز آنی دوران طرح می‌شود، مساوی $\phi F_{wy} A_w$ و $\phi F_{wx} A_w$ می‌باشد که در آن:

$$F_{wx}=\Sigma F_{wix}$$

$$F_{wy}=\Sigma F_{wiy}$$

$$F_{wi}=0.60F_{EXX}(1.0+0.5\sin^{1.5}\theta)f(p)$$

$$f(p)=[p(1.9-0.9p)]^{0.3}$$

$$\phi=0.75$$

F_{wi} = مقاومت اسمی در جزء i ام جوش

F_{wix} = مؤلفهٔ x تنش F_{wi}

F_{wiy} = مؤلفهٔ y تنش F_{wi}

$$p=\Delta_i/\Delta_m$$

$$\Delta_m=0.209(\theta+2)^{-0.32}D$$

Δ_m = تغییرشکل جزء جوش در حداکثر تنش

Δ_i = تغییرشکل جزء جوش در تراز بهره‌برداری

$$\Delta_i=r_i\,\Delta_u/r_{crit}$$

$$\Delta_u=1.087(\theta+6)^{-0.65}D\le 0.17D$$

Δ_u = تغییرشکل جزء جوش در تنش نهایی (شکست) در دورترین فاصله نسبت به‌مرکز آنی دوران

D = اندازهٔ ساق جوش گوشه

r_{crit} = فاصلهٔ مرکز آنی دوران تا جزء جوش با حداقل نسبت Δ_u/r_i

پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ پیچها و قطعات حدیده‌شده

پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ پیچهای پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی

پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۸ ـ ب ـ طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی

اتصالات اصطکاکی را می‌توان برای بارهای نهایی (ضریبدار) طراحی نمود. در این حالت مقاومت طرح اتصال اصطکاکی به‌صورت ϕR_{str} تعریف می‌شود که در آن داریم:

$$R_{str}=1.13\mu\,T_m\,N_b\,N_s \qquad \text{(پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۱)}$$

که در آن:

T_m = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی

N_b= تعداد پیچها

N_s= تعداد صفحات لغزش

μ= ضریب اصطکاک

الف: برای وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلس‌دار تمیز و رنگ نشده) : $\mu=0.33$

ب: برای وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیزشده با ماسه‌پاشی و رنگ‌شده) : $\mu=0.50$

پ: برای وضعیت سطحی کلاس C (سطح گالوانیزه شدهٔ ناصاف) : $\mu=0.40$

ϕ= ضریب مقاومت

الف: برای سوراخ استاندارد $\phi=1.0$

ب: برای سوراخ با لقی و لوبیایی کوتاه $\phi=0.85$

پ: برای سوراخ لوبیایی بلند در امتداد عمود بر نیرو $\phi=0.70$

ت: برای سوراخ لوبیایی بلند در امتداد موازی نیرو $\phi=0.60$

پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ترکیب برش و کشش در اتصالات اصطکاکی

پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ب ـ طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی

در طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی، در صورت وجود نیروی کششی، مقاومت طرح ϕR_{sn} طبق رابطهٔ پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۱، در ضریب کاهش زیر ضرب می‌گردد:

$$[1-T_u/(1.13\,T_m\,N_b)] \qquad \text{(پ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ ۲)}$$

در رابطهٔ فوق:

T_u= نیروی کششی ضریبدار (نهایی)

پیوست فصل ۱۱

ملاحظات تکمیلی در طراحی برای حالت حدی مقاومت

پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ آب‌انباشتگی

اگر برای بررسی صلبیت بامهای تخت احتیاج به‌روش دقیقتری نسبت به‌روش ارائه‌شده در بخش ۱۱ـ۲ یعنی معادلهٔ $C_p + 0.9C_s \leq 0.25$ باشد، مقررات این پیوست می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

برای هر ترکیبی از اعضای اصلی و ثانویه، شاخص تنش به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$U_p = \left(\frac{\phi_b F_y - f_o}{f_o} \right)_p$$ (پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۳) برای اعضای اصلی

$$U_s = \left(\frac{\phi_b F_y - f_o}{f_o} \right)_s$$ (پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۴) برای اعضای ثانوی

که در آن:

f_o= تنش ناشی از ترکیب بار $1.2D+1.2R$

D= بار مردهٔ اسمی

R= بار اسمی به‌علت آب باران یا یخ*

ϕ_b= ضریب مقاومت خمشی =0.90 (بخش ۶)

---

* بسته به‌محل جغرافیایی، این بار می‌تواند شامل اثرات بار برف نیز باشد. اما تجربیات خرابیهای ناشی از آب‌انباشتگی نشان می‌دهد که این خرابیها اغلب به‌علت بارانهای شدید تابستانی رخ می‌دهد که در آنها آهنگ زهکشی کندتر از آهنگ بارش است و شیب هیدرولیکی در سطح وسیعی از بام باعث تجمع اساسی آب در مناطق دور از لبهٔ بام می‌شود.

پس از محاسبهٔ شاخصهای تنش، در تراز شاخص تنش U_p که برای تیر اصلی محاسبه شده، وارد شکل پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۱ شده و به‌طور افقی حرکت می‌نماییم تا منحنی مربوط به C_s محاسبه‌شده برای تیرهای ثانوی را قطع کند. سپس به‌طور قائم پایین می‌آییم تا محور افقی را قطع نماییم. اگر ثابت انعطاف‌پذیری C_p که بدین‌ترتیب از محور افقی به‌دست می‌آید بزرگتر از C_p محاسبه شده برای عضو اصلی باشد، صلبیت سیستم بام برای جلوگیری از خرابی ناشی از آب‌انباشتگی کافی است. در غیر این‌صورت با تغییر سختی تیرهای اصلی و ثانوی باید ترکیب مناسب را به‌دست آورد. در محاسبات فوق داریم:

$$C_p = \frac{50.6 L_s L_p^4}{10^{13} I_p}$$

$$C_s = \frac{50.6 S L_s^4}{10^{13} I_s}$$

که در آنها:

L_p= فاصلهٔ بین ستونها در امتداد شاهتیرها (طول اعضای اصلی) (cm)

L_s= فاصلهٔ بین ستونها در امتداد عمود بر شاهتیرها (طول اعضای ثانوی) (cm)

S= فاصلهٔ بین اعضای ثانوی (cm)

I_p= ممان اینرسی اعضای اصلی (cm^4)

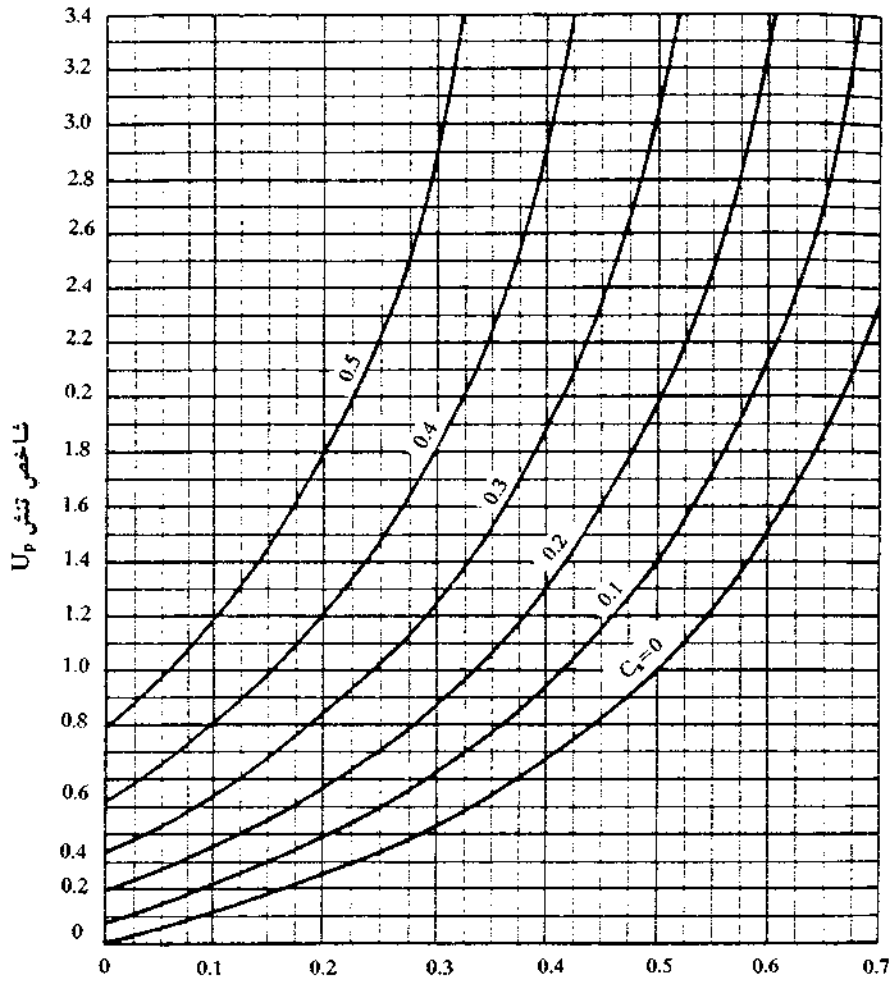
I_s= ممان اینرسی اعضای ثانوی (cm^4)

بامهای تخت متشکل از یک سری تیرهای موازی که در دو انتها به‌روی دیوار متکی می‌باشند، همانند بامی متشکل از اعضای ثانوی که بر روی یک تیر اصلی با سختی بی‌نهایت تکیه دارند، در نظر گرفته می‌شود. برای این حالت باید با توجه به U_s محاسبه شده برای عضو ثانوی وارد شکل پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۲ شده و به‌طور افقی حرکت کنیم تا منحنی C_p=0 را قطع نماییم. سپس به‌طور قائم پایین می‌آییم و در محور افقی ثابت انعطاف‌پذیری لازم برای عضو ثانوی را می‌خوانیم.

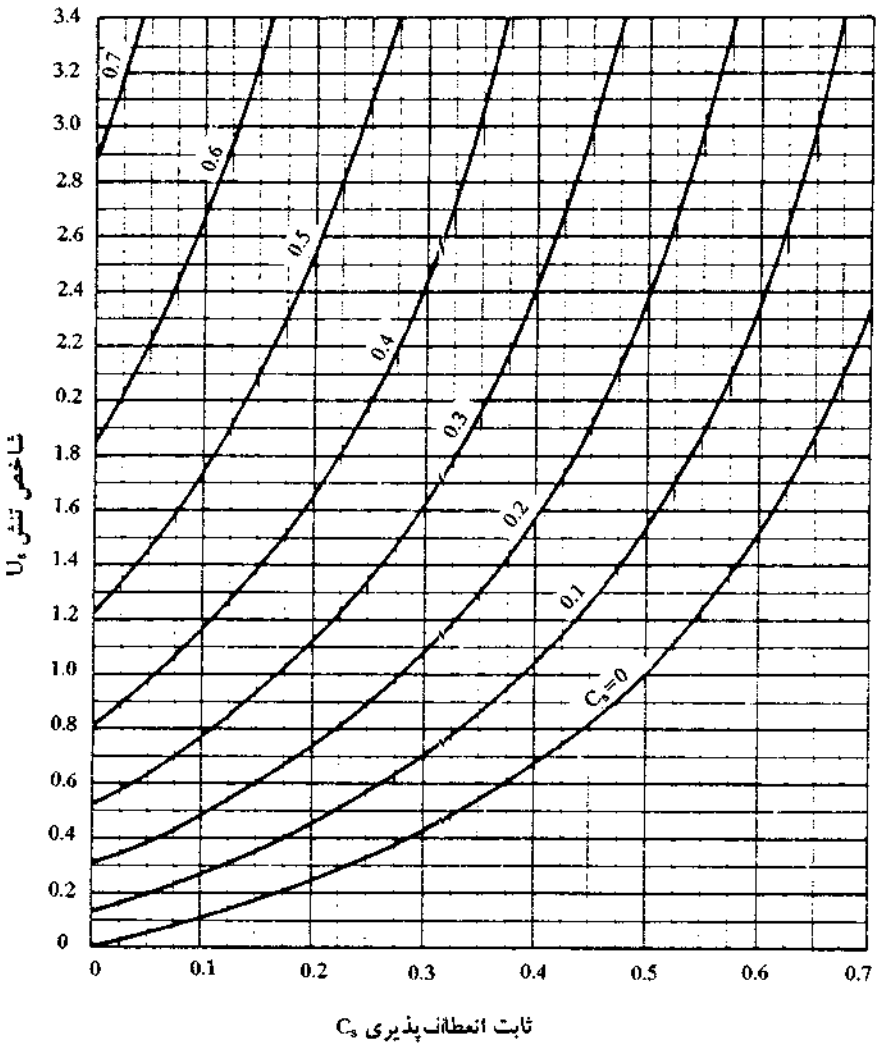
افت پوشش فلزی بام قسمت کوچکی از افت کلی بام را در هنگام آب‌انباشتگی تشکیل می‌دهد. لذا برای کنترل تغییرشکل آن، تنها کافی است که ممان اینرسی آن برای عرض یک‌متر، به‌حداقلی مساوی $4\times10^{-9}S^4$ (برحسب cm^4) محدود شود که در آن S دهانهٔ پوشش فلزی بام برحسب سانتی‌متر می‌باشد. در صورتی‌که لازم شود پایداری یک بام متشکل از پوششهای فلزی با نسبت ارتفاع (عمق) به‌دهانهٔ کوچک که اتکا بر تیرهای متکی بر ستون دارند، کنترل گردد، می‌توان

یک متر عرض پوشش را همانند عضو ثانوی فرض نمود و با محاسبهٔ C_s برای آن، از اشکال پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۱ و یا پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۲، برای کنترل استفاده کرد.

همچنین درصورتی‌که برای تیرریزی بام از تیرچه‌های جان باز و یا خرپا استفاده شده باشد، برای منظورکردن اثر تغییرشکلهای برشی، مقادیر ممان‌اینرسی مقطع آنها در ضریب ۰/۸۵ ضرب می‌شود.



شکل پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۱ ضرایب انعطاف‌پذیری برای سیستمهای مرکب از تیرهای اصلی و ثانوی



شکل پ ـ ۱۱ ـ ۲ ـ ۲ ضرایب انعطاف‌پذیری فقط برای تیرهای ثانوی

پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ خستگی

در صورتی‌که اعضا و یا اتصالات تحت بارهای خستگی قرار داشته باشند، طراحی آنها باید طبق مفاد این پیوست انجام شود.

خستگی، به‌تعبیری که در این آیین‌نامه به‌کار می‌رود، شکست ناشی از نوسانات متعدد تنش می‌باشد. دامنهٔ این نوسان، دامنهٔ تنش نامیده می‌شود.

در صورت وجود تنش معکوس، (یعنی حالتی‌که علاوه‌بر مقدار، علامت تنش نیز عوض شود)، دامنهٔ تنش مساوی مجموع قدرمطلقهای تنشهای فشاری و کششی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی:

$$\text{دامنهٔ تنش} = S_{max} - S_{min}$$

که در آن:

S_{max}= تنش حداکثر

S_{min}= تنش حداقل

تنشهای فوق در صورتی‌که فشاری باشند، منفی در نظر گرفته می‌شوند. برای تنش برشی نیز می‌توان از یک قرارداد علامت مناسب استفاده نمود.

پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱ ـ حالت بارگذاری، و نوع وضعیت مصالح

در طراحی اعضا و اتصالاتی که تحت بارهای زندهٔ تناوبی قرار دارند، باید به‌تعداد تکرار بارگذاری، دامنهٔ تنش، و نوع و وضعیت مصالح توجه لازم معطوف گردد.

حالت بارگذاری با توجه به‌تعداد تکرار، مطابق جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱ طبقه‌بندی می‌شود.

نوع، موقعیت و وضعیت مصالح نیز مطابق جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ طبقه‌بندی می‌شود.

پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ دامنهٔ تنش طرح

حداکثر دامنهٔ تنش تحت بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب)، نباید از دامنهٔ تنش طرح مقرر شده در جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳ تجاوز نماید.

پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳ ـ مقاومت طرح پیچها در کشش

پیچهای پرمقاومت که به‌طور کامل پیش‌تنیده شده‌اند، وقتی‌که تحت بارگذاری خستگی کششی قرار می‌گیرند، باید برای اثر ترکیبی نیروی کششی خارجی و هرگونه نیروی کششی ناشی از عمل اهرمی، با توجه محدودیتهای جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۴ طراحی شوند.

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱ تعداد سیکلهای بارگذاری

حالت بارگذاری	سیکل بارگذاری
۱	۲۰۰۰۰[۱] تا ۱۰۰۰۰۰
۲	۱۰۰۰۰۰[۲] تا ۵۰۰۰۰۰
۳	۵۰۰۰۰۰[۳] تا ۲۰۰۰۰۰۰[۴]
۴	بالای ۲۰۰۰۰۰۰

۱ ـ تقریباً معادل ۲ بار در هر روز برای ۲۵ سال

۲ ـ تقریباً معادل ۱۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

۳ ـ تقریباً معادل ۵۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

۴ ـ تقریباً معادل ۲۰۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش[1]	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
مصالح ساده	فلز مبنا با سطح نوردشده و یا تمیز شده، لبه‌های بریده شده یا مشعل، ضریب نرمی ۱۰۰۰ یا کمتر طبق ANSI	T یا Rev	A	۱ و ۲
مصالح مرکب از چند نیمرخ	فلز مبنا و مصالح جوش در اعضا بدون ملحقات، تیرورقها و یا نیمرخهای مرکب که اجزای آنها توسط جوشهای شیاری نفوذی یا گوشه پیوسته به‌موازات امتداد تنشهای وارده، به‌یکدیگر متصل شده است.	T یا Rev	B	۳، ۴، ۵ و ۶
	فلز مبنا و مصالح جوش در اعضای بدون ملحقات، تیرورقها و یانیمرخهای مرکب که اجزای آنها توسط جوشهای شیاری نفوذی (بدون حذف تسمهٔ پشت) و یا جوشهای شیاری نیمه‌نفوذی به‌موازات امتداد تنش، به‌یکدیگر متصل شده است.	T یا Rev	B	۳، ۴، ۵ و ۶
	فلز مبنا در ریشهٔ جوشهای اتصال‌دهندهٔ بال و جان به‌سخت‌کننده‌های عرضی	T یا Rev	C	۷
	فلز مبنا در دو انتهای ورقهای پوششی جوشی با طول محدود و کم‌عرضتر از بال با انتهای راستگوشه و یا باریک شوند با و یا بدون جوش عرضی انتهایی و یا عریضتر از بال با جوش عرضی انتهایی ضخامت بال کمتر و یا مساوی ۲۰ میلی‌متر ضخامت بال بیشتر از ۲۰ میلی‌متر	T یا Rev	E E′	۵ ۵
	فلز مبنا در انتهای ورقهای پوششی جوشی با طول محدود، با عرضی بزرگتر از عرض بال بدون جوش عرضی انتهایی		E′	۵

(۱) (T): تنش همواره کششی، (Rev): تنش معکوس (به‌طور متناوب کششی و یا فشاری) (S) تنش برشی که در برگیرندهٔ حالت تنش برشی معکوس نیز است.

(۲) این مثالها به‌عنوان راهنما ارائه شده‌اند و شامل مواردی که به‌طور منطقی مشابه اینها هستند نیز می‌شود.

(۳) محدودهٔ تنش خستگی مجاز برای جوش شیاری نیمه‌نفوذی عرضی و جوش گوشهٔ عرضی تابعی از گلوی مؤثر، عمق نفوذ و ضخامت ورق می‌باشد. به‌مأخذ زیر مراجعه شود:

Frank and Fisher, Journal of the Structural Division, Vol. 105, No ST9, Sept. 1979.

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش[1]	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
جوش شیاری	فلز مبنا و فلز جوش در محل وصلهٔ اجزای مقاطع مشابه، با جوش شیاری کاملاً نفوذی که در امتداد تنشهای وارده سنگ‌خورده و سلامت جوش توسط روشهای رادیوگرافی و یا مافوق صوت طبق شرایط 9.25.3 یا 9.25.2 از AWS D1.1.85 تأیید شده‌است.	T یا Rev	B	۱۰ و ۱۱
	فلز مبنا و فلز جوش درمحل وصلهٔ اجزایی با ضخامت و با عرض متفاوت و دارای طول انتقال، با جوش شیاری کاملاً نفوذی که در امتداد تنشهای وارده طوری سنگ خورده که شیب آن از ۱ به۲/۵ تندتر نباشد و سلامت جوش توسط روشهای‌رادیوگرافی و یا مافوق صوت طبق شرایط 9.25.2 یا 9.25.3 از AWS D1.1.85 تأیید شده‌است.			
	فلز پایه مطابق A514	T یا Rev	B′	۱۲ و ۱۳
	سایر مصالح پایه	T یا Rev	B	۱۲ و ۱۳
	فلز مبنا و فلزجوش در محل وصلهٔاجزایی با ضخامت و با عرض‌متفاوت با و یا بدون طول انتقال با شیبی نه بزرگتر از ۱ به ۲/۵ وقتی‌که جوش سنگ‌زده‌نشده ولی‌سلامت جوش توسط روشهای رادیوگرافی و یا مافوق صوت طبق شرایط 9.25.3 یا 9.25.2 از AWS D1.1.85 تأیید شده است.	T یا Rev	C	۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳
جوش شیاری نیمه‌نفوذی	فلز جوش در جوشهای شیاری نیمه‌نفوذی عرضی برمبنای گلوی مؤثر جوش	T یا Rev	F[3]	۱۶

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
اتصالات با جوش گوشه	فلز مبنا در جوشهای گوشهٔ منقطع	T یا Rev	E	
	فلزمبنا درمحل اتصال اعضای تحت‌نیروی محوری‌که اتصال انتهایی‌آنها توسط جوش گوشه انجام شده است. جوشهای انتهایی باید نسبت به‌محور عضو متعادل باشند.			
	b کوچکتر و یا مساوی ۲۵ میلی‌متر	T یا Rev	E	۱۷ و ۱۸
	b بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر	T یا Rev	E'	۱۷ و ۱۸
	فلز مبنا در اعضایی که توسط جوشهای گوشهٔ عرضی متصل شده‌اند.			
	b کوچکتر و یا مساوی ۱۲/۵ میلی‌متر	T یا Rev	C به‌پانویس ۳ مراجعه شود	۲۰ و ۲۱
	b بزرگتر از ۱۲/۵ میلی‌متر			
جوشهای گوشه	فلز جوش در جوشهای گوشهٔ طولی یا عرضی و پیوسته یا منقطع	S	F[3]	۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۱
جوشهای انگشتانه و کام توپر	فلز مبنا در جوشهای انگشتانه و کام	T یا Rev	E	۲۷
	برش در جوشهای انگشتانه و کام	S	F	۲۷
وسایل اتصال پیچ و پرچ	فلز مبنا در مقطع کل اتصالات اصطکاکی با پیچهای پرمقاومت، به‌استثنای اتصالات تحت نیروی محوری که خمش خارج از صفحه در مصالح اتصال به‌وجود می‌آورد	T یا Rev	B	۸
	فلز مبنا در مقطع خالص سایر اتصالات پیچی یا پرچی	T یا Rev	D	۸ و ۹
	فلز مبنا در مقطع خالص اتصالات اتکایی با پیچهای پرمقاومت که تحت کشش کامل قرار گرفته‌اند.	T یا Rev	B	۸ و ۹

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش[1]	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
ملحقات	فلز قطعهٔ اصلی وقتی‌که قطعهٔ الحاقی توسط جوش شیاری کاملاً نفوذی متصل شده و تحت بارگذاری طولی، و یا عرضی و یا به طور توأم می‌باشد و قطعهٔ الحاقی با انحنایی به شعاع R به محل جوش که با سنگ صاف شده است، متصل می‌شود و در مورد بارگذاری عرضی، سلامت جوش توسط روشهای رادیوگرافی و یا مافوق صوت مطابق شرایط 9.25.2 و یا 9.25.3 از AWS D1.1.85 تأیید شده است.			
	بارگذاری طولی:			
	- - - - - - - - - - - - - - - - - R > 60 cm	T یا Rev	B	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 60>R > 15	T یا Rev	C	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 15>R > 5	T یا Rev	D	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 5>R	T یا Rev	E	۱۴
	فلز قطعهٔ الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامتها مساوی و گردهٔ جوش سنگ خورده است.			
	- - - - - - - - - - - - - - - - - R > 60 cm	T یا Rev	B	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 60>R > 15	T یا Rev	C	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 15>R > 5	T یا Rev	D	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 5>R	T یا Rev	E	۱۴ و ۱۵
	فلز قطعهٔ الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامتها مساوی ولی گردهٔ جوش سنگ نخورده است.			
	- - - - - - - - - - - - - - - - - R > 60 cm	T یا Rev	C	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 60>R > 15	T یا Rev	C	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 15>R > 5	T یا Rev	D	۱۴
	- - - - - - - - - - - - - - - 5>R	T یا Rev	E	۱۴ و ۱۵

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش[1]	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
ملحقات (ادامه)	فلز قطعهٔ الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامتها نامساوی، گردهٔ جوش سنگ خورده است.			
	R > 5cm - - - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	D	۱۴
	5>R - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	E	۱۴ و ۱۵
	فلز قطعهٔ الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامتها مساوی و گردهٔ جوش سنگ نخورده است.			
	برای تمام مقادیر R - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	E	۱۴ و ۱۵
	فلز مبنای الحاقی در بارگذاری عرضی			
	R > 15cm - - - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	C	۱۹
	15>R > 5 cm - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	D	۱۹
	5>R - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	E	۱۹
	فلز قطعهٔ اصلی وقتی که قطعهٔ الحاقی با جوش شیاری کاملاً نفوذی متصل شده و قطعهٔ اصلی تحت بارگذاری طولی است.			
	10cm یا 5>a>12b - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	D	۱۵
	b ≤ 2.5cm وقتی‌که 10cm یا a<12b - - - - - -	T یا Rev	E	۱۵
	b > 2.5cm وقتی‌که 10cm یا a<12b - - - - - -	T یا Rev	E′	۱۵
	فلز قطعهٔ اصلی وقتی که قطعهٔ الحاقی با جوش شیاری نیمه‌نفوذی یا جوش گوشه متصل شده و قطعهٔ اصلی تحت بارگذاری طولی است.			
	a<5cm - - - - - - - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	C	۱۵، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶
	10cm یا 5cm<a<12b - - - - - - - - - - - -	T یا Rev	D	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶
	b ≤ 2.5cm وقتی‌که 10cm یا a>12b - - - - - -	T یا Rev	E	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶
	b > 2.5cm وقتی‌که 10cm یا a>12b - - - - - -	T یا Rev	E′	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶

جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۲ ـ نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش[1]	طبقهٔ تنش جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳	مثال نمونه[2] شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱
ملحقات (ادامه)	فلز قطعهٔ اصلی وقتی که قطعهٔ الحاقی با جوش گوشه و یا جوش شیاری نیمه‌نفوذی متصل شده و فلز قطعات اصلی تحت بارگذاری طولی است و انتهای جوش هماهنگ با انحنای گردی، کاملاً سنگ خورده است.			
	R>5cm	T یا Rev	D	۱۹
	R≤5cm	T یا Rev	E	۱۱
	قطعهٔ الحاقی با جوش گوشه متصل شده و انتهای جوش هماهنگ با انحنای گردی کاملاً سنگ خورده است و قطعهٔ اصلی تحت بارگذاری طولی است. فلز قطعهٔ الحاقی برای بارگذاری عرضی			
	R>5cm	T یا Rev	D	۱۹
	R<5cm	T یا Rev	E	۱۹
	فلز قطعهٔ اصلی در محل اتصال گلمیخهای برشی توسط جوش گوشه یا جوش انتهایی اتوماتیک	T یا Rev	C	۲۲
	تنش برشی در مقطع اسمی گلمیخهای برشی	S	F	

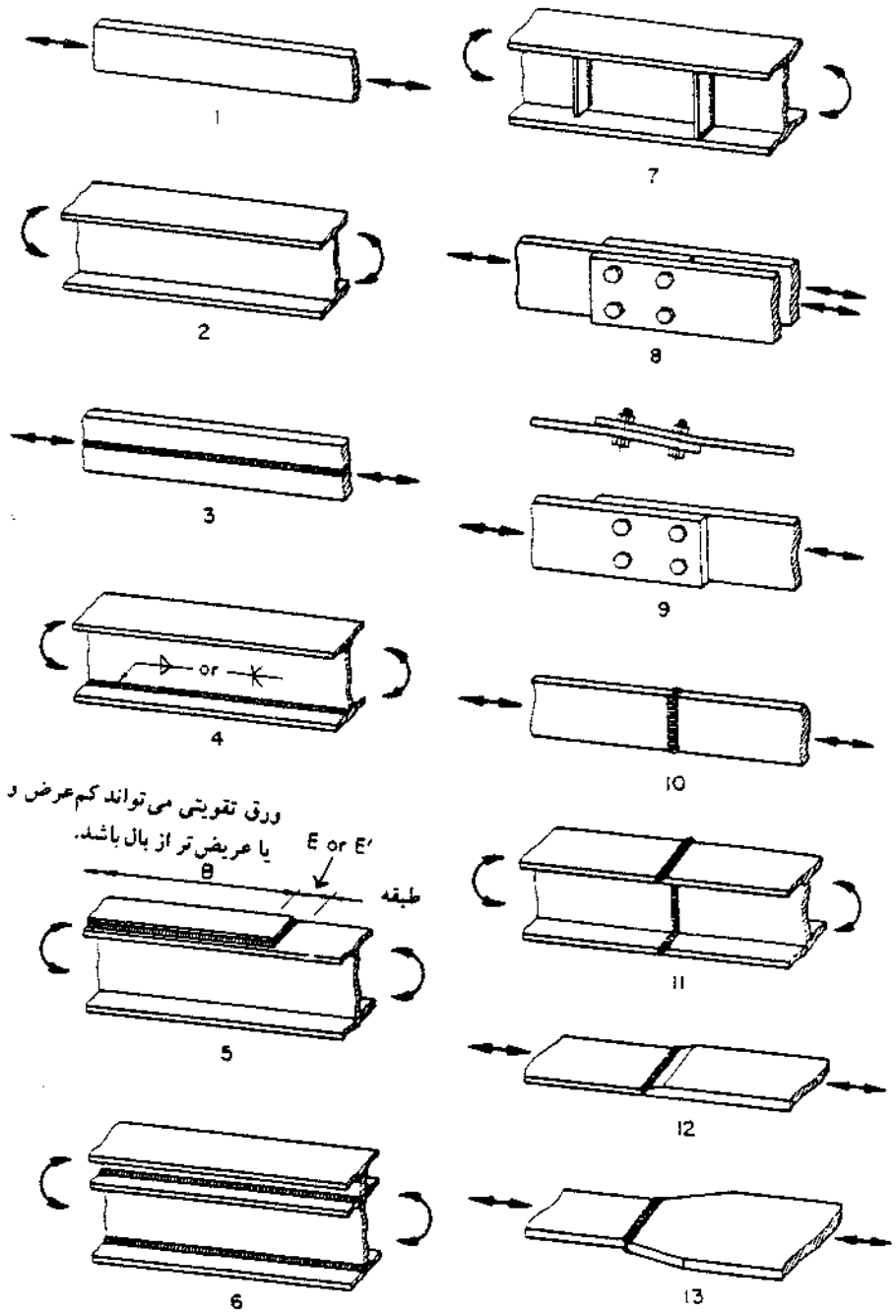
جدول پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۳ ـ دامنهٔ مجاز تنش (kg/cm^2)

طبقهٔ تنش جدول پ ـ۱۱ـ۴ـ۲	حالت بارگذاری ۱	حالت بارگذاری ۲	حالت بارگذاری ۳	حالت بارگذاری ۴
A	4410	2590	1680	1680
B	3430	2030	1260	1120
B′	2730	1610	1050	840
C	2450	1470	910	700
D	1960	1120	700	490
E	1540	910	560	315
E′	1120	644	406	182
F	1050	840	630	560

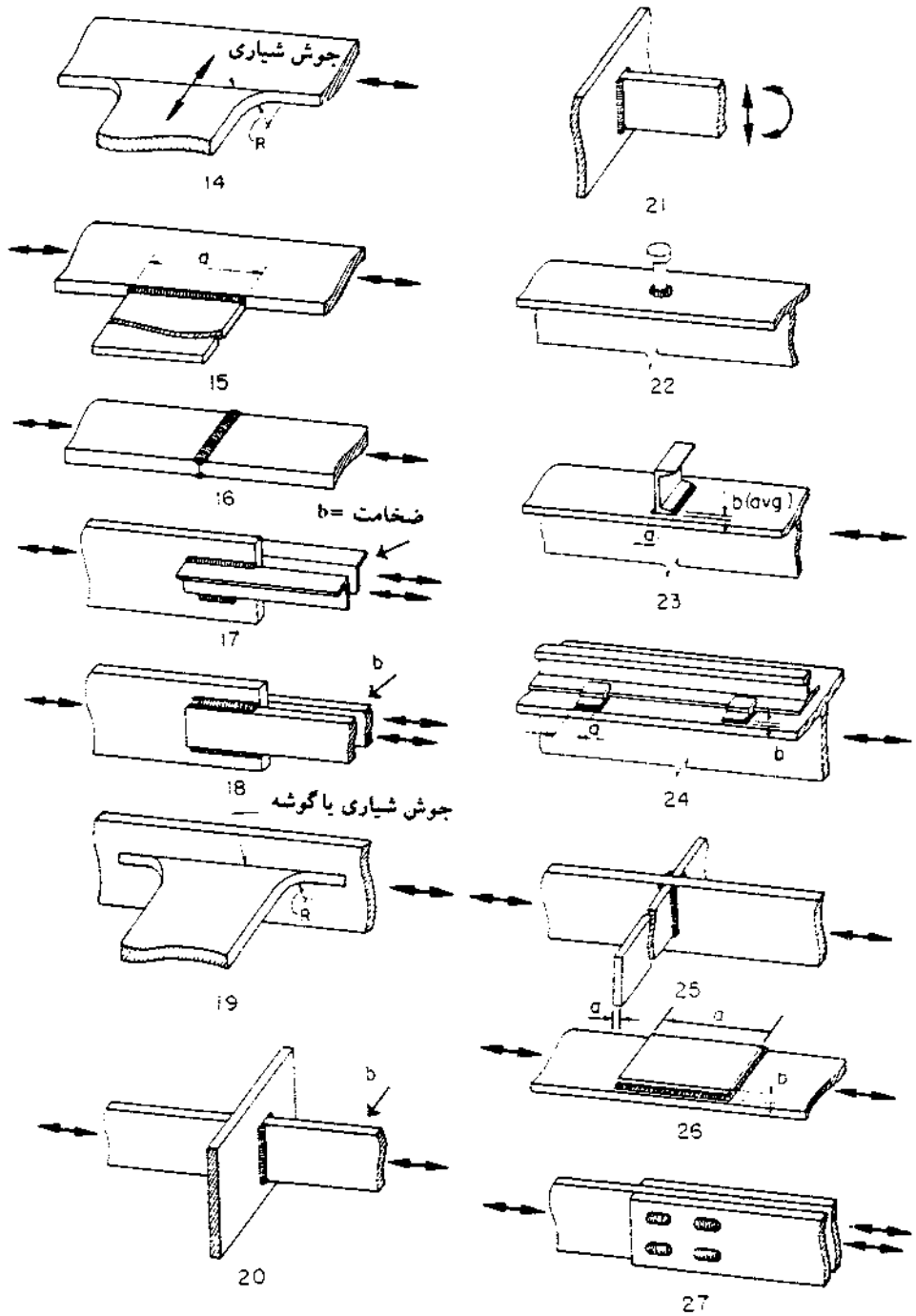
۱ ـ در محل ریشهٔ جوش سخت‌کننده و یا بالها، دامنهٔ تنش خمشی تا $840\ kg/cm^2$ مجاز می‌باشد.

جدول پ ـ۱۱ـ۴ـ۴ـ مقاومت طرح پیچهای پرمقاومت که تحت‌کشش قرار دارند

تعداد سیکل بارگذاری	مقاومت طرح
کوچکتر از ۲۰۰۰۰	همانند مقادیر مقرر شده در بخش ۱۰ ـ ۳
بین ۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰	$0.30\ A_b F_u$[1]
بزرگتر از ۵۰۰۰۰۰	$0.25\ A_b F_u$[1]
۱ ـ تحت بار خدمت (بارهای بدون ضریب)	



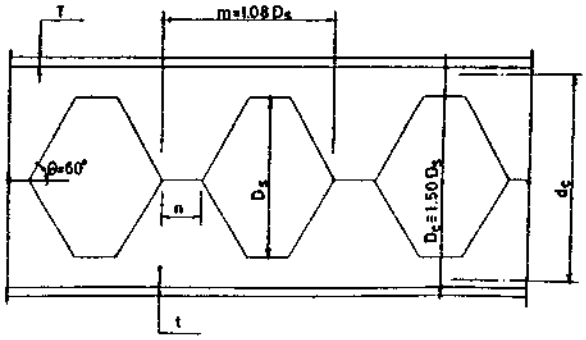
شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱ اشکال نمونه



شکل پ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ ۱ اشکال نمونه (ادامه)

تیرهای لانه‌زنبوری

۱ ـ ضوابط مندرج در این‌ضمیمه در مورد تیرهای لانه‌زنبوری ساخته‌شده از نیمرخهای نوردشده I، با ابعاد و هندسهٔ نشان داده شده در شکل ۱ صدق می‌نمایند و در اعمال آنها به‌تیرهای لانه‌زنبوری با هندسه و مشخصات متفاوت، باید جانب احتیاط رعایت گردد.



۲ ـ روشهای تحلیل

در تحلیل تیرهای لانه‌زنبوری، علاوه بر اثر خمشی کلی، لازم است اثرهای ناشی از خمش ثانوی حاصل از رفتار شبه ورندیلی نیز در نظر گرفته شود.

۲ ـ ۱ ـ تحلیل ارتجاعی

۲ ـ ۱ ـ ۱ ـ به‌منظور تحلیل ارتجاعی، تحلیل تیر لانه‌زنبوری را می‌توان به‌یکی از روشهای زیر انجام داد:

ـ روش قیاس با خرپای ورندیل؛

ـ روش قاب، که در آن تیر لانه‌زنبوری به‌صورت یک قاب با اعضای غیرمنشوری یا منشوری معادل در نظر گرفته می‌شود؛

ـ روش اجزای محدود، که به‌منظور فراهم آوردن امکان عملی، می‌توان از خاصیت تکراری بودن مدول نمونه تیر لانه‌زنبوری بهره گرفت.

۲ ـ ۱ ـ ۲ ـ در تحلیل تقریب به‌روش ماتریسی سازه‌های متشکل از تیرهای لانه‌زنبوری (از قبیل قابهای صفحه‌ای و فضایی، شبکه‌ها و نظایر آن)، 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.

۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ تنشهای خمشی حاصل از تحلیل الاستیک 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 به‌علت بار نهایی، بدون احتساب تمرکز تنش، نباید از F_y تجاوز نمایند.

۲ ـ ۱ ـ ۴ ـ می‌توان فرض نمود که نیروی برشی کل وارد بر مقطع سوراخدار تیر، به‌طور مساوی بین مقاطع T شکل فوقانی و تحتانی توزیع می‌گردد. تنش برشی حداکثر به‌علت بار نهایی در هیچ نقطه از جان مقاطع T نباید از $0.6\,F_y$ تجاوز نماید. در عین حال تنش برشی متوسط جان، در هیچ‌یک از مقاطع نباید از $0.55\,F_y$ تجاوز کند.

۲ ـ ۱ ـ ۵ ـ نیرو برش 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 به‌علت بار نهایی در این مقطع نباید از $0.6\,F_y$ تجاوز نماید.

۲ـ۲ـ تحلیل خمیری

در صورتی که نسبت بعد به‌ضخامت عناصر تشکیل‌دهندهٔ تیر لانه‌زنبوری به‌نحوی باشد که تشکیل مفصل پلاستیک در مقاطع اعضا میسر باشد، کلیهٔ ضوابط تحلیل و طرح پلاستیک (خمیری) این آیین‌نامه صادق است.

۲ـ۲ـ۱ـ تحلیل خمیری تیر لانه‌زنبوری را می‌توان به‌روشهای زیر انجام داد:

ـ روش قیاس با خرپای ورندیل، با در نظر گرفتن مکانیزمهای منفرد و ترکیبی مربوط به‌خرپای ورندیل و مکانیزم خمش کلی؛

ـ روش اجزای محدود.

۲ـ۲ـ۲ـ در طراحی مقطع T باید اثر نیروی محوری ناشی از خمش کلی توأم با خمش موضعی ناشی از اثرهای ثانوی در نظر گرفته شود.

۲ـ۳ـ طرح به‌روش حدی

در طرح تیر لانه‌زنبوری به‌دو روش حدی، می‌توان نتایج حاصل از یک تحلیل الاستیک (ارتجاعی) را با احتساب ضرایب بار و مقاومت مناسب، مورد استفاده قرار داد.

۳ـ جوش جان

ضوابط مربوط به‌حداقل جوش جان مندرج در این بند، در مورد تیرهایی که تحت اثر نیروهای استاتیکی قرار دارند، صدق می‌کند.

۳ـ۱ـ در مواردی که نیروی برش وارده بر درز جوش، کمتر از نیروی برشی مجاز فولاد مادر باشد، فقط کافی است که اتصالی ایجاد کرد که قادر به‌انتقال ایمن نیروی برشی وارد باشد. در این حالت می‌توان از روش متداول استفاده از جوش لب تمام نفوذی با آمادگی، عدول نمود و در عوض از روش نیمه‌نفوذی بدون آمادگی خاصی که براساس ضوابط ذیل طراحی می‌گردد، استفاده کرد. به‌این منظور باید روابط زیر برقرار باشد:

$$F_{v(\text{avg})} = \frac{V_{wu}}{a_{w(\text{net})} n} \leq 0.7 F_y$$

که در آن:

$F_{v(avg)}$= تنش برش متوسط در درز جوش تحت بارهای ضریبدار

$a_{w(net)}$= حداقل ضخامت خالص جوش که برابر است با مجموع حداقل عمق نفوذ جوش و حداقل ضخامت جوش تقویتی، ایم در هر دو سمت.

V_{wu}= کل نیروی برش ضریبدار درمحل درز جوش

n= طول جوش مطابق شکل ۱

یا:

$$V_{wu} = 0.7 F_y a_{w(net)} n$$

۳ـ۲ـ در صورتی که با رعایت شرایط فوق، از جوشهای شیاری نیمه‌نفوذی استفاده شود، جوشکاری باید از هر دو سمت صورت گیرد و اطمینان حاصل گردد که حداقل ضخامت جوش، به‌صورتی که در بند ۳ ـ ۱ قید گردیده است، ایجاد شده باشد. حداقل ضخامت جوش تقویت دائم و حداقل عمق نفوذ باید به‌وضوح در نقشه‌های اجرایی مشخص گردد. در احتساب حداقل ضخامت خالص جوش، $a_{w(net)}$، در مواردکه برآمدگی جوش تقویتی باید تراشیده شود (سنگ زده شده) و برداشته شود (مانند نقاط اتصال جان به‌جان تیرهای متقاطع)، باید دقت کافی مبذول گردد.

۴ـ کمانش جانبی ـ پیچشی

تیرهای لانه‌زنبوری فاقد تکیه‌گاه جانبی کامل باید در مقابل کمانش جانبی ـ پیچشی طراح شوند. در این‌خصوص، می‌توان از روشهای متداول طراحی و کنترل کمانش جانبی ـ پیچشی تیرهای حاوی جان توپر استفاده نمود مشروط بر آنکه کلیهٔ خواص مقاطع و طول مؤثر معادل براساس خواص مقطع سوراخدار تیر لانه‌زنبوری در محاسبات ملحوظ گردد.

۵ـ کمانش موضعی

کلیهٔ اجزا تشکیل‌دهندهٔ تیر لانه‌زنبوری باید از نظر کمانش موضعی مورد کنترل قرار داده شوند. اشکال کمانش موضعی تیر لانه‌زنبوری به‌شرح زیر است:

۵ـ۱ـ کمانش جانبی ـ پیچشی جان در اثر خمش درون صفحه‌ای ناشی از برش.

۵ـ۲ـ کمانش جان در موضع اعمال بار متمرکز یا روی تکیه‌گاهها ـ به‌تبع بزرگی بار متمرکز و میزان برش کلی موجود در جان، امکان وقوع وضعیتهای کمانشی زیر وجود دارد:

ـ کمانش جان تحت اثر فشار

ـ کمانش جان تحت اثر برش

ـ کمانش جان تحت اثر عملکرد توأم فشار و برش.

۵ـ۳ـ کمانش موضعی جان در گوشه سوراخها به‌علت وجود تمرکز تنش.

۵ـ۴ـ کمانش موضعی مقطع T

۵ـ۵ـ 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.

۶ـ لهیدگی جان

لهیدگی جان تیرهای لانه‌زنبوری باید براساس ضوابط مزبور به‌لهیدگی جان تیرهای با جان توپر مندرج در این آیین‌نامه کنترل شود.

توصیه می‌شود در محل نیروهای متمرکز، حداقل دو چشمه توسط ورق پر گردد.

۷ـ تغییرمکان

در محاسبهٔ تغییرمکان الاستیک 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.

۸ ـ اثر خستگی

از ایجاد گوشه‌های تیز تحت اثر بارهای متناوب، بخصوص در مورد پانلهایی که در منطقهٔ تغییر لنگر خمشی کلی قرار می‌گیرند، باید احتراز شود. در گوشهٔ سوراخها باید قوس دایروی ایجاد کرد. در غیاب آنالیز الاستیک تفصیلی جهت تعیین ضریب شدت تنش و شدت حوزهٔ تنشی، حداقل شعاع انحنای گوشه، r_{min}، باید به‌شرح زیر اختیار شود:

$$R_{min} \geq 0.07\ D_s$$

شکافهای منتج از ایجاد قوسها در دو انتهای جوشهای جان باید با جوش پر شوند. تا انجام تحقیقات کافی، استفاده از جوش نیمه‌نفوذی تحت اثر بارهای متناوب و بارگذاری منجر به‌پدیدهٔ خستگی، در حالت کلی مجاز نمی‌باشد.

۹ ـ 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 احتمالی زیر صورت گیرد:

ـ حداقل شعاع قوس دایروی گوشه‌ها مطابق بند الف ـ ۸، رعایت شود.

ـ در تیرهای لانه‌زنبوری تحت اثر بارگسترده، یکنواخت که به‌عنوان تیر برشی زلزله‌گیر طراحی می‌شوند، پانلهای انتهایی به‌طور متناسب تقویت شوند (به‌صورت پر کردن کامل یا نیمه‌کامل سوراخها، استفاده از تقویتهای عمود بر جان و روشهای تقویتی دیگر متناسب با بارهای اعمالی).

ـ در واضع اثر بارهای متمرکز نسبتاً سنگین و در محل تکیه‌گاهها، از تقویتهای مناسب جان استفاده شود.

ـ از جوش لب تمام نفوذی استفاده شود.

۱۰ ـ 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 نیمه‌جوش شده تیر که برحسب نسبت اندازه نابجایی اولیه در وسط ارتفاع اعضای قائم جان، δ_0، به‌ارتفاعات کل جان (تقریباً برابر با d_c مطابق شکل ۱) تعریف می‌شود، نباید در هیچ‌یک از اعضای قائم جان از $\frac{۱}{۴۰۰}$ تجاوز کند.

ـ به‌منظور استفاده تیر لانه‌زنبوری تحت اثر بارهای متناوب که ایجاد خستگی می‌نمایند، 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 پرداخت داده شوند.

اتصالات خورجینی

اتصالات خورجینی متداول در ایران در ردهٔ اتصالات ساده قرار دارند که در آنها لنگر منتقله بین تیر و ستون عملاً کوچک بوده و برای مقاصد مقاومت در مقابل نیروهای جانبی نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لیکن در این حالت می‌توان تیرها را به‌صورت سراسری تحلیل نمود (به‌صورت حدی یا الاستیک با بازتوزیع) و از مزایای آن استفاده کرد.

جداول طراحی

جدول ۱ تنش طرح برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

برای اعضای فشاری با $\phi_c=0.85$ برای فولاد $F_y=2400$

KL/r		KL/r		KL/r		KL/r		KL/r	
1	2010	41	1875	81	1468	121	979	161	576
2	2040	42	1867	82	1456	122	967	162	569
3	2039	43	1859	83	1444	123	955	163	562
4	2038	44	1851	84	1432	124	944	164	555
5	2037	45	1843	85	1420	125	932	165	549
6	2036	46	1835	86	1408	126	920	166	542
7	2035	47	1826	87	1396	127	909	167	536
8	2033	48	1817	88	1384	128	897	168	529
9	2032	49	1809	89	1371	129	886	169	523
10	2030	50	1800	90	1359	130	874	170	517
11	2028	51	1791	91	1347	131	863	171	511
12	2025	52	1781	92	1335	132	852	172	505
13	2023	53	1772	93	1322	133	840	173	499
14	2020	54	1763	94	1310	134	829	174	493
15	2017	55	1753	95	1298	135	818	175	488
16	2011	56	1743	96	1285	136	807	176	482
17	2011	57	1733	97	1273	137	796	177	477
18	2007	58	1723	98	1260	138	784	178	471
19	2003	59	1713	99	1248	139	773	179	466
20	1999	60	1703	100	1236	140	762	180	461
21	1995	61	1693	101	1223	141	751	181	456
22	1991	62	1682	102	1211	142	741	182	451
23	1987	63	1672	103	1198	143	730	183	446
24	1982	64	1661	104	1186	144	720	184	441
25	1977	65	1651	105	1174	145	710	185	436
26	1972	66	1640	106	1161	146	701	186	432
27	1967	67	1629	107	1149	147	691	187	427
28	1961	68	1618	108	1137	148	682	188	423
29	1956	69	1607	109	1124	149	673	189	418
30	1950	70	1596	110	1112	150	661	190	414
31	1941	71	1584	111	1100	151	655	191	409
32	1938	72	1573	112	1988	152	646	192	405
33	1932	73	1562	113	1075	153	638	193	401
34	1925	74	1550	114	1063	154	630	194	397
35	1918	75	1539	115	1051	155	622	195	393
36	1912	76	1527	116	1039	156	614	196	389
37	1905	77	1515	117	1027	157	606	197	385
38	1898	78	1504	118	1015	158	598	198	381
39	1890	79	1492	119	1003	159	591	199	377
40	1883	80	1480	120	991	160	583	200	373

جدول ۲ تنش طرح برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

برای اعضای فشاری با $\phi_c=0.85$ برای فولاد $F_y=3600$

$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$	
1	3060	41	2697	81	1868	121	1020	161	576
2	3059	42	2680	82	1845	122	1003	162	569
3	3058	43	2663	83	1444	123	955	163	562
4	3056	44	2645	84	1432	124	944	164	555
5	3054	45	2628	85	1420	125	932	165	549
6	3052	46	2610	86	1408	126	920	166	542
7	3049	47	2592	87	1396	127	909	167	536
8	3045	48	2573	88	1384	128	897	168	529
9	3041	49	2554	89	1371	129	886	169	523
10	3037	50	2536	90	1359	130	874	170	517
11	3032	51	2516	91	1347	131	863	171	511
12	3027	52	2497	92	1335	132	852	172	505
13	3021	53	2477	93	1322	133	840	173	499
14	3015	54	2457	94	1310	134	829	174	493
15	3009	55	2437	95	1298	135	818	175	488
16	3002	56	2417	96	1285	136	807	176	482
17	2994	57	2397	97	1273	137	796	177	477
18	2986	58	2376	98	1260	138	784	178	471
19	2978	59	2355	99	1248	139	773	179	466
20	2969	60	2334	100	1236	140	762	180	461
21	2960	61	2313	101	1223	141	751	181	456
22	2951	62	2292	102	1211	142	741	182	451
23	2941	63	2270	103	1198	143	730	183	446
24	2930	64	2249	104	1186	144	720	184	441
25	2919	65	2227	105	1174	145	710	185	436
26	2908	66	2205	106	1161	146	701	186	432
27	2897	67	2183	107	1149	147	691	187	427
28	2885	68	2161	108	1137	148	682	188	423
29	2872	69	2139	109	1124	149	673	189	418
30	2860	70	2117	110	1112	150	661	190	414
31	2847	71	2094	111	1100	151	655	191	409
32	2833	72	2072	112	1988	152	646	192	405
33	2819	73	2050	113	1075	153	638	193	401
34	2805	74	2027	114	1063	154	630	194	397
35	2791	75	2004	115	1051	155	622	195	393
36	2776	76	1982	116	1039	156	614	196	389
37	2761	77	1959	117	1027	157	606	197	385
38	2745	78	1936	118	1015	158	598	198	381
39	2729	79	1914	119	1003	159	591	199	377
40	2713	80	1891	120	991	160	583	200	373

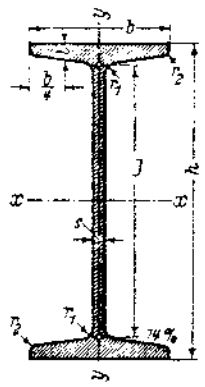
جدول ۳ تنش طرح برای اعضای فشاری برای هر نوع F_y

مقادیر $\phi_c F_{cr}/F_y$ با $\phi_c=0.85$

λ_c	$\phi_c F_{cr}/F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr}/F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr}/F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr}/F_y$
0.02	0.850	0.82	0.641	1.62	0.284	2.42	0.127
0.04	0.849	0.84	0.632	1.64	0.277	2.44	0.125
0.06	0.849	0.86	0.623	1.66	0.271	2.46	0.123
0.08	0.848	0.88	0.614	1.68	0.264	2.48	0.121
0.10	0.846	0.90	0.605	1.70	0.258	2.50	0.119
0.12	0.845	0.92	0.596	1.72	0.252	2.52	0.117
0.14	0.843	0.94	0.587	1.74	0.246	2.54	0.116
0.16	0.841	0.96	0.578	1.76	0.241	2.56	0.114
0.18	0.839	0.98	0.568	1.78	0.235	2.58	0.112
0.2	0.836	1.00	0.559	1.80	0.230	2.60	0.110
0.22	0.833	1.02	0.550	1.82	0.225	2.62	0.109
0.24	0.830	1.04	0.540	1.84	0.220	2.64	0.107
0.26	0.826	1.06	0.531	1.86	0.215	2.66	0.105
0.28	0.823	1.08	0.521	1.88	0.211	2.68	0.104
0.30	0.819	1.10	0.512	1.90	0.206	2.70	0.102
0.32	0.814	1.12	0.503	1.92	0.202	2.72	0.101
0.34	0.810	1.14	0.493	1.94	0.198	2.74	0.099
0.36	0.805	1.16	0.484	1.96	0.194	2.76	0.098
0.38	0.800	1.18	0.474	1.98	0.190	2.78	0.096
0.40	0.795	1.20	0.465	2.00	0.186	2.80	0.095
0.42	0.789	1.22	0.456	2.02	0.183	2.82	0.094
0.44	0.784	1.24	0.446	2.04	0.179	2.84	0.092
0.46	0.778	1.26	0.437	2.06	0.176	2.86	0.091
0.48	0.772	1.28	0.428	2.08	0.172	2.88	0.090
0.50	0.765	1.30	0.419	2.10	0.169	2.90	0.089
0.52	0.759	1.32	0.410	2.12	0.166	2.92	0.087
0.54	0.752	1.34	0.401	2.14	0.163	2.94	0.086
0.56	9.745	1.36	0.392	2.16	0.160	2.96	0.085
0.50	0.738	1.38	0.383	2.18	0.157	2.98	0.084
0.60	0.731	1.40	0.374	2.20	0.154	3.00	0.083
0.62	0.724	1.42	0.365	2.22	0.151	3.02	0.082
0.64	0.716	1.44	0.357	2.24	0.149	3.04	0.081
0.66	0.708	1.46	0.348	2.26	0.146	3.06	0.080
0.68	0.700	1.48	0.339	2.28	0.143	3.08	0.079
0.70	0.692	1.50	0.331	2.30	0.141	3.10	0.078
0.72	0.684	1.52	0.323	2.32	0.138	3.12	0.077
0.74	0.676	1.54	0.314	2.34	0.136	3.14	0.076
0.76	0.667	1.56	0.306	2.36	0.134	3.16	0.075
0.78	0.659	1.58	0.299	2.38	0.132	3.18	0.074
0.80	0.650	1.60	0.291	2.40	0.129	3.20	0.073

مشخصات هندسی نیمرخهای ساختمانی

نیمرخ معمولی INP



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

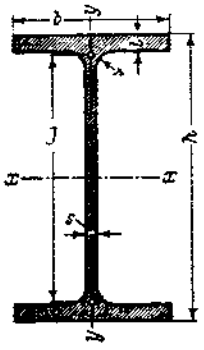
r = شعاع ژیراسیون

Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور x)

J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

	ابعاد به میلی‌متر					A	G	U	x–x			y–y			Q	J
I	h	b	s = r₁	t	r₂	cm²	kg/m	m²/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	cm³	cm
80	80	42	3,9	5,9	2,3	7,57	5,94	0,304	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	11,4	6,84
100	100	50	4,5	6,8	2,7	10,6	8,34	0,370	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	19,9	8,57
120	120	58	5,1	7,7	3,1	14,2	11,1	0,439	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	31,8	10,3
140	140	66	5,7	8,6	3,4	18,2	14,3	0,502	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	47,7	12,0
160	160	74	6,3	9,5	3,8	22,8	17,9	0,575	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	68,0	13,7
180	180	82	6,9	10,4	4,1	27,9	21,9	0,640	1 450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	93,4	15,5
200	200	90	7,5	11,3	4,5	33,4	26,2	0,709	2 140	214	8,00	117	26,0	1,87	125	17,2
220	220	98	8,1	12,2	4,9	39,5	31,1	0,775	3 060	278	8,80	162	33,1	2,02	162	18,9
240	240	106	8,7	13,1	5,2	46,1	36,2	0,844	4 250	354	9,59	221	41,7	2,20	206	20,6
260	260	113	9,4	14,1	5,6	53,3	41,9	0,906	5 740	442	10,4	288	51,0	2,32	257	22,3
280	280	119	10,1	15,2	6,1	61,0	47,9	0,966	7 590	542	11,1	364	61,2	2,45	316	24,0
300	300	125	10,8	16,2	6,5	69,0	54,2	1,03	9 800	653	11,9	451	72,2	2,56	381	25,7
320	320	131	11,5	17,3	6,9	77,7	61,0	1,09	12 510	782	12,7	555	84,7	2,67	457	27,4
340	340	137	12,2	18,3	7,3	86,7	68,0	1,15	15 700	923	13,5	674	98,4	2,80	540	29,1
360	360	143	13,0	19,5	7,8	97,0	76,1	1,21	19 610	1 090	14,2	818	114	2,90	638	30,7
380	380	149	13,7	20,5	8,2	107	84,0	1,27	24 010	1 260	15,0	975	131	3,02	741	32,4
400	400	155	14,4	21,6	8,6	118	92,4	1,33	29 210	1 460	15,7	1 160	149	3,13	857	34,1
425	425	163	15,3	23,0	9,2	132	104	1,41	38 970	1 740	16,7	1 440	176	3,30	1 020	36,2
450	450	170	16,2	24,3	9,7	147	115	1,48	45 850	2 040	17,7	1 730	203	3,43	1 200	38,3
475	475	178	17,1	25,6	10,3	163	128	1,55	56 480	2 380	18,6	2 090	235	3,60	1 400	40,4
500	500	185	18,0	27,0	10,8	179	141	1,63	68 740	2 750	19,6	2 480	268	3,72	1 620	42,4
550	550	200	19,0	30,0	11,9	212	166	1,80	99 180	3 610	21,6	3 490	349	4,02	2 120	46,8
600	600	215	21,6	32,4	13,0	254	199	1,92	139 000	4 630	23,4	4 670	434	4,30	2 730	50,9

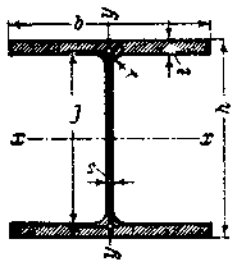
نیمرخ نیم‌پهن IPE



A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور x)
J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPE	ابعاد به‌میلی‌متر					A	G	Ul	x–x			y–y			Q	J
	h	b	s	t	r	cm²	kg/m	m²/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	cm³	cm
80	80	46	3,8	5,2	5	7,64	6,00	0,328	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	11,6	6,90
100	100	55	4,1	5,7	7	10,3	8,10	0,400	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	19,7	8,68
120	120	64	4,4	6,3	7	13,2	10,4	0,475	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	30,4	10,5
140	140	73	4,7	6,9	7	16,4	12,9	0,551	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	44,2	12,3
160	160	82	5,0	7,4	9	20,1	15,8	0,623	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	61,9	14,0
180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	18,8	0,698	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	83,2	15,8
200	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,4	0,768	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	110	17,6
220	220	110	5,9	9,2	12	33,4	26,2	0,848	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	143	19,4
240	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	0,922	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2
270	270	135	6,6	10,2	15	45,9	36,1	1,041	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	242	23,9
300	300	150	7,1	10,7	15	53,8	42,2	1,159	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	314	26,6
330	330	160	7,5	11,5	18	62,6	49,1	1,254	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	402	29,3
360	360	170	8,0	12,7	18	72,7	57,1	1,353	16270	904	15,0	1040	123	3,79	510	31,9
400	400	180	8,6	13,5	21	84,5	66,3	1,467	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	654	35,4
450	450	190	9,4	14,6	21	98,8	77,6	1,605	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	851	39,7
500	500	200	10,2	16,0	21	116	90,7	1,744	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	1100	43,9
550	550	210	11,1	17,2	24	134	106	1,877	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	1390	48,2
600	600	220	12,0	19,0	24	156	122	2,015	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	1760	52,4

نیمرخ بال پهن سبک IPB_l

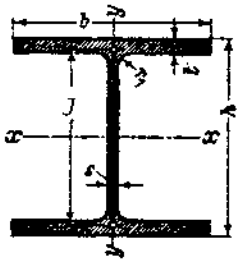


A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور x)
J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPBl	ابعاد به‌میلی‌متر					A	G	U	x–x			y–y			Q	J
	h	b	s	t	r	cm²	kg/m	m²/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	cm³	cm
100	96	100	5	8	12	21,2	16,7	0,561	349	72,8	4,06	134	26,8	2,51	41,5	8,41
120	114	120	5	8	12	25,3	19,9	0,677	606	106	4,89	231	38,5	3,02	59,7	10,1
140	133	140	5,5	8,5	12	31,4	24,7	0,794	1030	155	5,73	389	55,6	3,52	86,7	11,9
160	152	160	6	9	15	38,8	30,4	0,906	1670	220	6,57	616	76,9	3,98	123	13,6
180	171	180	6	9,5	15	45,3	35,5	1,02	2510	294	7,45	925	103	4,52	162	15,5
200	190	200	6,5	10	18	53,8	42,3	1,14	3690	389	8,28	1340	134	4,98	215	17,2
220	210	220	7	11	18	64,3	50,5	1,26	5410	515	9,17	1950	178	5,51	284	19,0
240	230	240	7,5	12	21	76,8	60,3	1,37	7760	675	10,1	2770	231	6,00	372	20,9
260	250	260	7,5	12,5	24	86,8	68,2	1,48	10450	836	11,0	3670	282	6,50	460	22,7
280	270	280	8	13	24	97,3	76,4	1,60	13670	1010	11,9	4760	340	7,00	556	24,6
300	290	300	8,5	14	27	113	88,3	1,72	18260	1260	12,7	6310	421	7,49	692	26,4
320	310	300	9	15,5	27	124	97,6	1,76	22930	1480	13,6	6990	466	7,49	814	28,2
340	330	300	9,5	16,5	27	133	105	1,79	27690	1680	14,4	7440	496	7,46	925	29,9
360	350	300	10	17,5	27	143	112	1,83	33090	1890	15,2	7890	526	7,43	1040	31,7
400	390	300	11	19	27	159	125	1,91	45070	2310	16,8	8560	571	7,34	1280	35,2
450	440	300	11,5	21	27	178	140	2,01	63720	2900	18,9	9470	631	7,29	1610	39,6
500	490	300	12	23	27	198	155	2,11	86970	3550	21,0	10370	691	7,24	1970	44,1
550	540	300	12,5	24	27	212	166	2,21	111900	4150	23,0	10820	721	7,15	2310	48,4
600	590	300	13	25	27	226	178	2,31	141200	4790	25,0	11270	751	7,05	2680	52,8
650	640	300	13,5	26	27	242	190	2,41	175200	5470	26,9	11720	782	6,97	3070	57,1
700	690	300	14,5	27	27	260	204	2,50	215300	6240	28,8	12180	812	6,84	3520	61,2
800	790	300	15	28	30	286	224	2,70	303400	7680	32,6	12640	843	6,65	4350	69,8
900	890	300	16	30	30	321	252	2,90	422100	9480	36,3	13550	903	6,50	5410	78,1
1000	990	300	16,5	31	30	347	272	3,10	553800	11190	40,0	14000	934	6,35	6410	86,4

نیمرخ بال پهن معمولی IPB

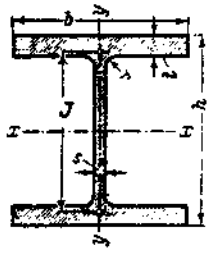
A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور x)
J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری



	ابعاد به‌میلی‌متر						A	G	U	x–x			y–y			Q	J
	h	b	s	t	r_1 bzw. r_2	r_3	cm²	kg/m	m²/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	cm³	cm
IPB																	
100	100	100	6	10	12	—	26,0	20,4	0,567	450	89,9	4,16	167	33,5	2,53	52,1	8,63
120	120	120	6,5	11	12	—	34,0	26,7	0,686	864	144	5,04	318	52,9	3,06	82,6	10,5
140	140	140	7	12	12	—	43,0	33,7	0,805	1510	216	5,93	550	78,6	3,58	123	12,3
160	160	160	8	13	15	—	54,3	42,6	0,918	2490	311	6,78	889	111	4,05	177	14,1
180	180	180	8,5	14	15	—	65,3	51,2	1,04	3830	426	7,66	1360	151	4,57	241	15,9
200	200	200	9	15	18	—	78,1	61,3	1,15	5700	570	8,54	2000	200	5,07	321	17,7
220	220	220	9,5	16	18	—	91,0	71,5	1,27	8090	736	9,43	2840	258	5,59	414	19,6
240	240	240	10	17	21	—	106	83,2	1,38	11260	938	10,3	3920	327	6,08	527	21,4
260	260	260	10	17,5	24	—	118	93,0	1,50	14920	1150	11,2	5130	395	6,58	641	23,3
280	280	280	10,5	18	24	—	131	103	1,62	19270	1380	12,1	6590	471	7,09	767	25,1
300	300	300	11	19	27	—	149	117	1,73	25170	1680	13,0	8560	571	7,58	934	26,9
320	320	300	11,5	20,5	27	—	161	127	1,77	30820	1930	13,8	9240	616	7,57	1070	28,7
340	340	300	12	21,5	27	—	171	134	1,81	36660	2160	14,6	9690	646	7,53	1200	30,4
360	360	300	12,5	22,5	27	—	181	142	1,85	43190	2400	15,5	10140	676	7,49	1340	32,2
400	400	300	13,5	24	27	—	198	155	1,93	57680	2880	17,1	10820	721	7,40	1620	35,7
450	450	300	14	26	27	—	218	171	2,03	79890	3550	19,1	11720	781	7,33	1990	40,1
500	500	300	14,5	28	27	—	239	187	2,12	107200	4290	21,2	12620	842	7,27	2410	44,5
550	550	300	15	29	27	—	254	199	2,22	136700	4970	23,2	13080	872	7,17	2800	48,9
600	600	300	15,5	30	27	—	270	212	2,32	171000	5700	25,2	13530	902	7,08	3210	53,2
650	650	300	16	31	27	—	286	225	2,42	210600	6480	27,1	13980	932	6,99	3660	57,5
700	700	300	17	32	27	—	306	241	2,52	256900	7340	29,0	14440	963	6,87	4160	61,7
800	800	300	17,5	33	30	—	334	262	2,71	359100	8980	32,8	14900	994	6,68	5110	70,2
900	900	300	18,5	35	30	—	371	291	2,91	494100	10980	36,5	15820	1050	6,53	6290	78,5
1000	1000	300	19	36	30	—	400	314	3,11	644700	12890	40,1	16280	1090	6,38	7430	86,8

نیمرخ بال پهن سنگین IPB_v

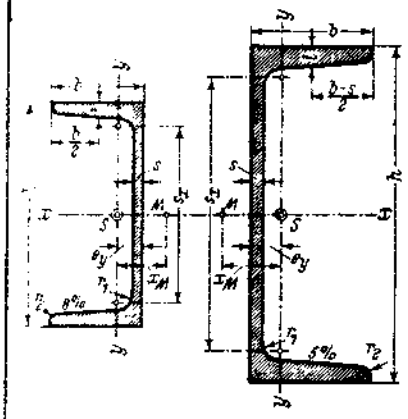
A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور x)
J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری



IPBv	ابعاد به‌میلی‌متر h	b	s	t	r	A cm²	G kg/m	U m²/m	x–x I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	y–y I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	Q cm³	J cm
100	120	106	12	20	12	53,2	41,8	0,619	1140	190	4,63	399	75,3	2,74	118	9,69
120	140	126	12,5	21	12	66,4	52,1	0,738	2020	288	5,51	703	112	3,25	175	11,5
140	160	146	13	22	12	80,6	63,2	0,857	3290	411	6,39	1140	157	3,77	247	13,3
160	180	166	14	23	15	97,1	76,2	0,970	5100	566	7,25	1760	212	4,26	337	15,1
180	200	186	14,5	24	15	113	88,9	1,09	7480	748	8,13	2580	277	4,77	442	16,9
200	220	206	15	25	18	131	103	1,20	10640	967	9,00	3650	354	5,27	568	18,7
220	240	226	15,5	26	18	149	117	1,32	14600	1220	9,89	5010	444	5,79	710	20,6
240	270	248	18	32	21	200	157	1,46	24290	1800	11,0	8150	657	6,39	1060	22,9
260	290	268	18	32,5	24	220	172	1,57	31310	2160	11,9	10450	780	6,90	1260	24,8
280	310	288	18,5	33	24	240	189	1,69	39550	2550	12,8	13160	914	7,40	1480	26,7
300	340	310	21	39	27	303	238	1,83	59200	3480	14,0	19400	1250	8,00	2040	29,0
320/305	320	305	16	29	27	225	177	1,78	40950	2560	13,5	13740	901	7,81	1460	28,0
320	359	309	21	40	27	312	245	1,87	68130	3800	14,8	19710	1280	7,95	2220	30,7
340	377	309	21	40	27	316	248	1,90	76370	4050	15,6	19710	1280	7,90	2360	32,4
360	395	308	21	40	27	319	250	1,93	84870	4300	16,3	19520	1270	7,83	2490	34,0
400	432	307	21	40	27	326	256	2,00	104100	4820	17,9	19340	1260	7,70	2790	37,4
450	478	307	21	40	27	335	263	2,10	131500	5500	19,8	19340	1260	7,59	3170	41,5
500	524	306	21	40	27	344	270	2,18	161900	6180	21,7	19150	1250	7,46	3550	45,7
550	572	306	21	40	27	354	278	2,28	198000	6920	23,6	19160	1250	7,35	3970	49,9
600	620	305	21	40	27	364	285	2,37	237400	7660	25,6	18980	1240	7,22	4390	54,1
650	668	305	21	40	27	374	293	2,47	281700	8430	27,5	18980	1240	7,13	4830	58,3
700	716	304	21	40	27	383	301	2,56	329300	9200	29,3	18800	1240	7,01	5270	62,5
800	814	303	21	40	30	404	317	2,75	442600	10870	33,1	18630	1230	6,79	6240	70,9
900	910	302	21	40	30	424	333	2,93	570400	12540	36,7	18450	1220	6,60	7220	79,0
1000	1008	302	21	40	30	444	349	3,13	722300	14330	40,3	18460	1220	6,45	8280	87,2

نیمرخ ناودانی UNP

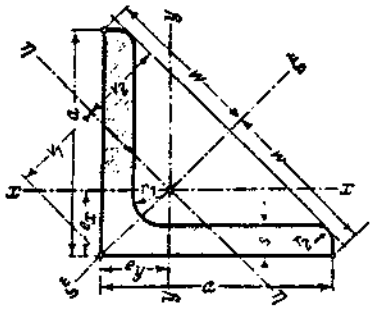
A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی
J = فاصلهٔ بین مراکز نیروهای کششی و فشاری
x_M = محل مرکز برش



$t \le 300$ $\quad t > 300$

	ابعاد به‌میلی‌متر					A	G	U	x–x			y–y			Q	J	e_y	x_M
t	h	b	s	$t=r_1$	r_2	cm²	kg/m	m²/m	I_x cm⁴	S_x cm³	r_x cm	I_y cm⁴	S_y cm³	r_y cm	cm³	cm	cm	cm
10 × 15	30	15	4	4,5	2	2,21	1,74	0,103	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	—	—	0,52	0,74
30	30	33	5	7	3,5	5,44	4,27	0,174	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	—	—	1,31	2,22
40 × 20	40	20	5	5,5*)	2,5	3,66	2,87	0,142	7,58	3,79	1,44	1,14	0,86	0,56	—	—	0,67	1,01
40	40	35	5	7	3,5	6,21	4,87	0,199	14,11	7,05	1,50	6,66	3,08	1,04	—	—	1,23	2,32
50 × 25	50	25	5	6	3	4,92	3,86	0,181	16,9	6,73	1,85	2,49	1,48	0,71	—	—	0,81	1,34
50	50	38	5	7	3,5	7,12	5,59	0,232	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	—	—	1,37	2,47
60	60	30	6	6	3	6,46	5,07	0,215	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	—	—	0,91	1,50
65	65	42	5,5	7,5	4	9,03	7,09	0,273	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	—	—	1,42	2,60
80	80	45	6	8	4	11,0	8,64	0,312	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	6,65	1,46	2,67
100	100	50	6	8,5	4,5	13,5	10,6	0,372	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	8,42	1,55	2,93
120	120	55	7	9	4,5	17,0	13,4	0,434	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	35,3	10,0	1,80	3,03
140	140	60	7	10	5	20,4	16,0	0,489	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	51,4	11,8	1,75	3,37
160	160	65	7,5	10,5	5,5	24,0	18,8	0,546	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	13,5	1,84	3,56
180	180	70	8	11	5,5	28,0	22,0	0,611	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	89,6	16,1	1,92	3,75
200	200	75	8,5	11,5	6	32,2	25,3	0,661	1910	191	7,70	148	27,0	2,14	114	16,8	2,01	3,94
220	220	80	9	12,5	6,5	37,4	29,4	0,718	2690	245	8,48	197	33,6	2,30	146	18,5	2,14	4,20
240	240	85	9,5	13	6,5	42,3	33,2	0,775	3600	300	9,22	248	39,6	2,42	179	20,1	2,23	4,39
260	260	90	10	14	7	48,3	37,9	0,834	4820	371	9,99	317	47,7	2,56	221	21,8	2,36	4,66
280	280	95	10	15	7,5	53,3	41,8	0,890	6280	448	10,9	399	57,2	2,74	266	23,6	2,53	5,02
300	300	100	10	16	8	58,8	46,2	0,950	8030	535	11,7	495	67,8	2,90	316	25,4	2,70	5,41
320	320	100	14	17,5	8,75	75,8	59,5	0,982	10870	679	12,1	597	80,6	2,81	413	26,3	2,60	4,82
350	350	100	14	16	8	77,3	60,6	1,047	12840	734	12,9	570	75,0	2,72	459	28,6	2,40	4,45
380	380	102	13,5	16	8	80,4	63,1	1,110	15760	829	14,0	615	78,7	2,77	507	31,1	2,38	4,58
400	400	110	14	18	9	91,5	71,8	1,182	20350	1020	14,9	846	102	3,04	618	32,9	2,66	5,11

نیمرخ نبشی با بالهای مساوی



A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح
I = ممان اینرسی
S = اساس مقطع
r = شعاع ژیراسیون
محور η-η محور اصلی حداقل نیمرخ است

L	ابعاد به میلیمتر a	s	r_1	r_2	A cm²	G kg/m	U m²/m	$e_x = e_y$ cm	w cm	v_1 cm	v_2 cm	$x-x = y-y$ $I_x = I_y$ cm⁴	$S_x = S_y$ cm³	$r_x = r_y$ cm	$\xi-\xi$ I_ξ cm⁴	r_ξ cm	$\eta-\eta$ I_η cm⁴	S_η cm³	$r_\eta = r_{(min)}$ cm
20 × 3	20	3	3,5	2	1,12	0,88	0,077	0,60	1,41	0,85	0,70	0,39	0,28	0,59	0,62	0,74	0,15	0,18	0,37
4		4			1,45	1,14		0,64		0,90	0,71	0,48	0,35	0,58	0,77	0,73	0,19	0,21	0,36
25 × 3	25	3	3,5	2	1,42	1,12	0,097	0,73	1,77	1,03	0,87	0,79	0,45	0,75	1,27	0,95	0,31	0,30	0,47
4		4			1,85	1,45		0,76		1,08	0,89	1,01	0,58	0,74	1,61	0,93	0,40	0,37	0,47
5		5			2,26	1,77		0,80		1,13	0,91	1,18	0,69	0,72	1,87	0,91	0,50	0,44	0,47
30 × 3	30	3	5	2,5	1,74	1,36	0,116	0,84	2,12	1,18	1,04	1,41	0,65	0,90	2,24	1,14	0,57	0,48	0,57
4		4			2,27	1,78		0,89		1,24	1,05	1,81	0,86	0,89	2,85	1,12	0,76	0,61	0,58
5		5			2,78	2,18		0,92		1,30	1,07	2,16	1,04	0,88	3,41	1,11	0,91	0,70	0,57
35 × 3	35	3	5	2,5	2,04	1,60	0,136	0,96	2,47	1,36	1,23	2,29	0,90	1,06	3,63	1,34	0,95	0,70	0,68
4		4			2,67	2,10		1,00		1,41	1,24	2,96	1,18	1,05	4,68	1,33	1,24	0,88	0,68
5		5			3,28	2,57		1,04		1,47	1,25	3,56	1,45	1,04	5,63	1,31	1,49	1,10	0,67
6		6			3,87	3,04		1,08		1,53	1,27	4,14	1,71	1,04	6,50	1,30	1,77	1,16	0,68
40 × 3	40	3	6	3	2,35	1,84	0,155	1,07	2,83	1,52	1,40	3,45	1,18	1,21	5,45	1,52	1,44	0,95	0,78
4		4			3,08	2,42		1,12		1,58	1,40	4,48	1,56	1,21	7,09	1,52	1,86	1,18	0,78
5		5			3,79	2,97		1,16		1,64	1,42	5,43	1,91	1,20	8,64	1,51	2,22	1,35	0,77
6		6			4,48	3,52		1,20		1,70	1,43	6,33	2,26	1,19	9,96	1,49	2,67	1,57	0,77
45 × 4	45	4	7	3,5	3,49	2,74	0,174	1,23	3,18	1,75	1,57	6,43	1,97	1,36	10,2	1,71	2,66	1,53	0,88
5		5			4,30	3,38		1,28		1,81	1,58	7,83	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,90	0,87
6		6			5,09	4,00		1,32		1,87	1,59	9,16	2,88	1,34	14,5	1,69	3,83	2,05	0,87
7		7			5,86	4,60		1,36		1,92	1,61	10,4	3,31	1,33	16,4	1,67	4,39	2,29	0,87
50 × 4	50	4	7	3,5	3,89	3,06	0,194	1,36	3,54	1,92	1,75	8,97	2,46	1,52	14,2	1,91	3,73	1,94	0,98
5		5			4,80	3,77		1,40		1,98	1,76	11,0	3,05	1,51	17,4	1,90	4,59	2,32	0,98
6		6			5,69	4,47		1,45		2,04	1,77	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,24	2,57	0,96
7		7			6,56	5,15		1,49		2,11	1,78	14,6	4,15	1,49	23,1	1,88	6,02	2,85	0,96
8		8			7,41	5,82		1,52		2,16	1,80	16,3	4,68	1,48	25,7	1,86	6,87	3,19	0,96
9		9			8,24	6,47		1,56		2,21	1,82	17,9	5,20	1,47	28,1	1,85	7,67	3,47	0,97
55 × 5	55	5	8	4	5,32	4,18	0,213	1,52	3,89	2,15	1,93	14,7	3,70	1,66	23,3	2,09	6,11	2,84	1,07
6		6			6,31	4,95		1,56		2,21	1,94	17,3	4,40	1,66	27,4	2,08	7,24	3,28	1,07
8		8			8,23	6,46		1,64		2,32	1,97	22,1	5,72	1,64	34,8	2,06	9,35	4,03	1,07
10		10			10,1	7,90		1,72		2,43	2,00	26,3	6,97	1,62	41,4	2,02	11,3	4,65	1,06
60 × 5	60	5	8	4	5,82	4,57	0,233	1,64	4,24	2,32	2,11	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,03	3,46	1,17
6		6			6,91	5,42		1,69		2,39	2,11	22,8	5,29	1,82	36,1	2,29	9,43	3,95	1,17
8		8			9,03	7,09		1,77		2,50	2,14	29,1	6,88	1,80	46,1	2,26	12,1	4,84	1,16
10		10			11,1	8,69		1,85		2,62	2,17	34,9	8,41	1,78	55,1	2,23	14,6	5,57	1,15
65 × 6	65	6	9	4,5	7,53	5,91	0,252	1,80	4,60	2,55	2,28	29,2	6,21	1,97	46,3	2,48	12,1	4,74	1,27
7		7			8,70	6,83		1,85		2,62	2,29	33,4	7,18	1,96	53,0	2,47	13,8	5,27	1,26
8		8			9,85	7,73		1,89		2,67	2,31	37,5	8,13	1,95	59,4	2,46	15,6	5,84	1,26
9		9			11,0	8,62		1,93		2,73	2,32	41,3	9,04	1,94	65,4	2,44	17,2	6,30	1,25
11		11			13,2	10,3		2,00		2,83	2,36	48,6	10,8	1,91	76,8	2,42	20,7	7,31	1,25

L	a	s	r_1	r_2	F cm²	G kg/m	U m²/m	z_0 cm	w cm	y_1 cm	y_2 cm	x−x=y−y $I_x=I_y$ cm⁴	x−x=y−y $S_x=S_y$ cm³	x−x=y−y $r_x=r_y$ cm	ξ−ξ I_ξ cm⁴	ξ−ξ r_ξ cm	η−η I_η cm⁴	η−η S_η cm³	η−η $r_\eta=r_1$ (min) cm
6		6			8,13	6,38		1,93		2,73	2,46	36,9	7,27	2,13	58,5	2,68	15,3	5,60	1,37
70× 7	70	7	9	4,5	9,40	7,38	0,272	1,97	4,95	2,79	2,47	42,4	8,43	2,12	67,1	2,67	17,6	6,31	1,37
9		9			11,9	9,34		2,05		2,90	2,50	52,6	10,6	2,10	83,1	2,64	22,0	7,59	1,36
11		11			14,3	11,2		2,13		3,01	2,53	61,8	12,7	2,08	97,6	2,61	26,0	8,64	1,35
8		8			8,75	6,87		2,04		2,69	2,63	45,6	8,35	2,28	72,2	2,87	18,9	6,54	1,47
7		7			10,1	7,94		2,09		2,95	2,63	52,4	9,67	2,28	83,6	2,88	21,1	7,15	1,45
75× 8	75	8	10	5	11,5	9,03	0,291	2,13	5,30	3,01	2,65	58,9	11,0	2,26	93,3	2,85	24,4	8,11	1,46
10		10			14,1	11,1		2,21		3,12	2,68	71,4	13,5	2,25	113	2,83	29,8	9,55	1,45
12		12			16,7	13,1		2,29		3,24	2,71	82,4	15,8	2,22	130	2,79	34,7	10,7	1,44
7		7			10,8	8,49		2,21		3,13	2,82	64,2	11,1	2,44	102	3,07	26,5	8,48	1,57
8		8			12,3	9,66		2,26		3,20	2,82	72,3	12,6	2,42	115	3,06	29,6	9,25	1,55
80× 10	80	10	10	5	15,1	11,9	0,311	2,34	5,66	3,31	2,85	87,5	15,5	2,41	139	3,03	35,9	10,9	1,54
12		12			17,9	14,1		2,41		3,41	2,89	102	18,2	2,39	161	3,00	43,0	12,6	1,53
14		14			20,6	16,1		2,48		3,51	2,93	115	20,8	2,36	181	2,96	48,6	13,9	1,54
8		8			13,9	10,9		2,50		3,53	3,17	104	16,1	2,74	166	3,45	43,1	12,2	1,76
9		9			15,5	12,2		2,54		3,59	3,18	116	18,0	2,74	184	3,45	47,8	13,3	1,76
90× 11	90	11	11	5,5	18,7	14,7	0,351	2,62	6,36	3,70	3,21	138	21,6	2,72	218	3,41	57,1	15,4	1,75
13		13			21,8	17,1		2,70		3,81	3,24	158	25,1	2,69	250	3,39	65,9	17,3	1,74
16		16			26,4	20,7		2,81		3,97	3,29	186	30,1	2,66	294	3,34	79,1	19,9	1,73
8		8			15,5	12,2		2,74		3,87	3,52	145	19,9	3,06	230	3,85	59,9	15,5	1,96
10		10			19,2	15,1		2,82		3,99	3,54	177	24,7	3,04	280	3,82	73,3	18,4	1,95
100× 12	100	12	12	6	22,7	17,8	0,390	2,90	7,07	4,10	3,57	207	29,2	3,02	328	3,80	86,2	21,0	1,95
14		14			26,2	20,6		2,98		4,21	3,60	235	33,5	3,00	372	3,77	98,3	23,4	1,94
16		16			29,6	23,2		3,06		4,32	3,63	262	37,7	2,97	413	3,74	111	25,6	1,93
20		20			36,2	28,4		3,20		4,53	3,71	311	45,7	2,93	487	3,67	135	29,8	1,93
10		10			21,2	16,6		3,07		4,34	3,89	239	30,1	3,36	379	4,23	98,6	22,7	2,16
110× 12	110	12	12	6	25,1	19,7	0,430	3,15	7,78	4,45	3,93	280	35,7	3,34	444	4,21	116	26,1	2,15
14		14			29,0	22,8		3,21		4,54	3,98	319	41,0	3,32	505	4,18	133	29,3	2,14
11		11			25,4	19,9		3,36		4,75	4,24	341	39,5	3,66	541	4,62	140	29,5	2,35
12		12			27,5	21,6		3,40		4,80	4,26	368	42,7	3,65	584	4,60	152	31,6	2,35
120× 13	120	13	13	6,5	29,7	23,3	0,469	3,44	8,49	4,86	4,27	394	46,0	3,64	625	4,59	162	33,3	2,34
15		15			33,9	26,6		3,51		4,96	4,31	446	52,5	3,63	705	4,56	186	37,5	2,34
12		12			30,0	23,6		3,64		5,15	4,60	472	50,4	3,97	750	5,00	194	37,7	2,54
130× 14	130	14	14	7	34,7	27,2	0,508	3,72	9,19	5,26	4,63	540	58,2	3,94	857	4,97	223	42,4	2,53
16		16			39,3	30,9		3,80		5,37	4,66	605	65,8	3,92	959	4,94	251	46,7	2,52
140× 13	140	13	15	7,5	35,0	27,5	0,547	3,92	9,90	5,54	4,96	638	63,3	4,27	1010	5,38	262	47,3	2,74
15		15			40,0	31,4		4,00		5,66	4,99	723	72,3	4,25	1150	5,36	298	52,7	2,73
12		12			34,8	27,3		4,12		5,83	5,29	737	67,7	4,60	1170	5,80	303	52,0	2,95
14		14			40,3	31,6		4,21		5,95	5,31	845	78,2	4,58	1340	5,77	347	58,3	2,94
150× 15	150	15	16	8	43,0	33,8	0,586	4,25	10,6	6,01	5,33	898	83,5	4,57	1430	5,76	370	61,6	2,93
16		16			45,7	35,9		4,29		6,07	5,34	949	88,7	4,56	1510	5,74	391	64,4	2,93
18		18			51,0	40,1		4,36		6,17	5,38	1050	99,3	4,54	1670	5,70	438	71,0	2,93
20		20			56,3	44,2		4,44		6,28	5,41	1150	109	4,51	1820	5,68	477	76,0	2,91
15		15			46,1	36,2		4,49		6,35	5,67	1100	95,6	4,88	1750	6,15	453	71,3	3,14
160× 17	160	17	17	8,5	51,8	40,7	0,625	4,57	11,3	6,46	5,70	1230	108	4,86	1950	6,13	506	78,3	3,13
19		19			57,6	45,1		4,65		6,58	5,73	1350	118	4,84	2140	6,10	558	84,8	3,12
16		16			55,4	43,5		5,02		7,11	6,39	1680	130	5,51	2690	6,96	679	95,5	3,50
180× 18	180	18	18	9	61,9	48,6	0,705	5,10	12,7	7,22	6,41	1870	145	5,49	2970	6,93	757	105	3,49
20		20			68,4	53,7		5,18		7,33	6,44	2040	160	5,47	3260	6,90	830	113	3,48
22		22			74,7	58,6		5,26		7,44	6,47	2210	174	5,44	3510	6,86	918	123	3,50
16		16			61,8	48,5		5,52		7,80	7,09	2340	162	6,15	3740	7,78	943	121	3,91
18		18			69,1	54,3		5,60		7,92	7,12	2600	181	6,13	4150	7,75	1050	133	3,90
200× 20	200	20	18	9	76,4	59,9	0,785	5,68	14,1	8,04	7,15	2850	199	6,11	4540	7,72	1160	144	3,89
24		24			90,6	71,1		5,84		8,26	7,21	3330	235	6,06	5280	7,64	1380	167	3,90
28		28			105	82,0		5,99		8,47	7,28	3780	270	6,02	5990	7,57	1580	86	3,89

اساس مقطع خمیری نیمرخها

نیمرخ IPB		نیمرخ IPE		نیمرخ INP	
نمرهٔ نیمرخ	$Z(cm^3)$	نمرهٔ نیمرخ	$Z(cm^3)$	نمرهٔ نیمرخ	$Z(cm^3)$
100	104.2	100	39	100	40
120	165.2	120	60	120	63
140	246	140	88	140	95
160	354	160	123	160	136
180	482	180	166	180	186
200	642	200	220	200	250
220	828	220	286	220	324
240	1054	240	366	240	412
260	1282	270	484	260	514
280	1534	300	628	280	632
300	1868	330	804	300	762
320	2140	360	1020	320	914
340	2400	400	1308	340	1080
360	2680	450	1702	360	1276
400	3240	500	2200	380	1482
450	3980	550	2780	400	1714
500	4820	600	3520	450	2400
550	5600			500	3240
600	6420			550	4240
650	7320			600	5460

میلگرد چهارسو

A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

d mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	d mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	d mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	d mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m
5*	0,196	0,154	157	20,5	3,30	2,59	644	41	13,2	10,4	1290	75	44,2	34,7	2360
5,5	0,238	0,187	173	21	3,46	2,72	660	42	13,9	10,9	1320	78	45,4	35,6	2390
6*	0,283	0,222	188	21,5	3,63	2,85	675	43	14,5	11,4	1350	78	47,8	37,5	2450
6,5	0,332	0,260	204	22*	3,80	2,98	691	44	15,2	11,9	1380	80	50,3	39,5	2510
7*	0,385	0,302	220	22,5	3,98	3,12	707	45*	15,9	12,5	1410	83	54,1	42,5	2610
7,5	0,442	0,347	236	23	4,15	3,26	723	46	16,6	13,0	1450	85	56,7	44,5	2670
8*	0,503	0,395	251	23,5	4,34	3,40	738	47	17,3	13,6	1480	88	60,8	47,7	2760
8,5	0,567	0,445	267	24*	4,52	3,55	754	48	18,1	14,2	1510	90	63,6	49,9	2830
9	0,636	0,499	283	24,5	4,71	3,70	770	49	18,9	14,8	1540	95	70,9	55,6	2980
9,5	0,709	0,556	298	25	4,91	3,85	785	50*	19,6	15,4	1570	100	78,5	61,7	3140
10*	0,785	0,617	314	25,5	5,11	4,01	801	51	20,4	16,0	1600	105	86,6	68,0	3300
10,5	0,866	0,680	330	26*	5,31	4,17	817	52	21,2	16,7	1630	110	95,0	74,6	3460
11	0,950	0,746	346	26,5	5,52	4,33	833	53	22,1	17,3	1670	115	104	81,5	3610
11,5	1,04	0,815	361	27	5,73	4,49	848	54	22,9	18,0	1700	120	113	88,8	3770
12*	1,13	0,888	377	27,5	5,94	4,66	864	55	23,8	18,7	1730	125	123	96,3	3930
12,5	1,23	0,963	393	28*	6,16	4,83	880	56	24,6	19,3	1760	130	133	104	4080
13	1,33	1,04	408	28,5	6,38	5,01	896	57	25,5	20,0	1790	135	143	112	4240
13,5	1,43	1,12	424	29	6,61	5,19	911	58	26,4	20,7	1820	140	154	121	4400
14*	1,54	1,21	440	29,5	6,83	5,37	927	59	27,3	21,5	1850	145	165	130	4560
14,5	1,65	1,30	456	30*	7,07	5,55	943	60	28,3	22,2	1880	150	177	139	4710
15	1,77	1,39	471	31	7,55	5,92	974	62	30,2	23,7	1950	155	189	148	4870
15,5	1,89	1,48	487	31,5	7,79	6,12	990	63	31,2	24,5	1980	160	201	158	5030
16*	2,01	1,58	503	32*	8,04	6,31	1010	64	32,2	25,3	2010	165	214	168	5180
16,5	2,14	1,68	518	33	8,55	6,71	1040	65	33,2	26,0	2040	170	227	178	5340
17	2,27	1,78	534	34*	9,08	7,13	1070	66	34,2	26,8	2070	(175)	241	189	5500
17,5	2,41	1,89	550	35	9,62	7,55	1100	67	35,3	27,7	2100	180	254	200	5650
18*	2,54	2,00	565	36*	10,2	7,99	1130	68	36,3	28,5	2140	(185)	269	211	5810
18,5	2,69	2,11	581	37	10,8	8,44	1160	70	38,5	30,2	2200	190	284	223	5970
19	2,84	2,23	597	38*	11,3	8,90	1190					200	314	247	6280
19,5	2,99	2,34	613	39	11,9	9,38	1230	72	40,7	32,0	2260	210	346	272	6600
20*	3,14	2,47	628	40*	12,6	9,86	1260	73	41,9	32,9	2290	220	380	298	6910

a mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	a mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	a mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m	a mm	A cm²	G kg/m	U cm²/m
6	0,360	0,283	240	21,5	4,62	3,63	860	38	14,4	11,3	1520	70	49,0	38,5	2800
7	0,490	0,385	280	22	4,84	3,80	880	40	16,0	12,6	1600	(73)	53,3	41,8	2920
8	0,640	0,502	320	23	5,29	4,15	920					75	56,3	44,2	3000
9	0,810	0,636	360	24	5,76	4,52	960	42	17,6	13,8	1680	80	64,0	50,2	3200
10	1,00	0,785	400	25	6,25	4,91	1000	43	18,5	14,5	1720	(83)	68,9	54,1	3320
								45	20,3	15,9	1800	85	72,3	56,7	3400
(11)	1,21	0,950	440	26	6,76	5,31	1040					90	81,0	63,6	3600
12	1,44	1,13	480	26,5	7,02	5,51	1060	47	22,1	17,3	1880	(93)	86,5	67,9	3720
13	1,69	1,33	520	28	7,84	6,15	1120	48	23,0	18,1	1920	100	100	78,5	4000
14	1,96	1,54	560	29	8,41	6,60	1160	50	25,0	19,6	2000				
15	2,25	1,77	600	30	9,00	7,07	1200					(103)	106	83,3	4120
16	2,56	2,01	640					52	27,0	21,2	2080	110	121	95,0	4400
17	2,89	2,27	680	32	10,2	8,04	1280	55	30,3	23,7	2200	120	144	113	4800
18	3,24	2,54	720	(33)	10,9	8,55	1330	56	31,4	24,6	2240	130	169	133	5200
19	3,61	2,83	760	34	11,6	9,07	1360	(57)	32,5	25,5	2280	140	196	154	5600
20	4,00	3,14	800	35	12,3	9,62	1400	60	36,0	28,3	2400	150	225	177	6000
				(36)	13,0	10,2	1440	63	39,7	31,2	2520				
21	4,41	3,46	840	37	13,7	10,7	1480	65	42,3	33,2	2600				

S_x = گشتاور استاتیکی از نیم‌سطح مقطع J= ثابت پیچش سن‌ونان

$s_x = \frac{J_x}{S_x}$ = فاصلهٔ مرکز کشش و فشار C_w= ثابت پیچش تابیدگی

	I				IPB				IPBl				IPBv			
	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶
80	11,4	6,84	0,869	87,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	19,9	8,57	1,60	268	52,1	6,63	9,29	3380	41,5	6,41	5,26	2580	118	9,89	68,4	9930
120	31,8	10,3	2,71	685	82,6	10,5	13,9	9410	59,7	10,1	6,02	6470	175	11,5	91,9	24790
140	47,7	12,0	4,32	1540	123	12,3	20,1	22480	86,7	11,9	8,16	15060	247	13,3	120	54320
160	66,0	13,7	6,57	3140	177	14,1	31,3	47940	123	13,6	12,3	31410	337	15,1	163	108100
180	93,4	15,5	9,58	5920	241	15,9	42,3	93750	162	15,5	14,9	60210	442	16,9	204	199300
200	125	17,2	13,5	10520	321	17,7	59,5	171100	215	17,2	21,1	108000	568	18,7	260	346300
220	162	18,9	18,6	17760	414	19,6	76,8	295400	284	19,0	28,6	193300	710	20,6	315	572700
240	206	20,6	25,0	28730	527	21,4	103	486900	372	20,9	41,8	328500	1060	22,9	629	1152000
260	257	22,3	33,5	44070	641	23,3	124	753700	460	22,7	52,7	516400	1260	24,8	721	1728000
280	316	24,0	44,2	64580	767	25,1	144	1130000	556	24,6	62,4	785400	1480	26,7	809	2520000
300	381	25,7	56,8	91850	934	26,9	186	1688000	692	26,4	85,6	1200000	2042	29,0	1410	4388000
320035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1460	28,0	600	2903000
320	457	27,4	72,5	128800	1070	28,7	226	2069000	814	28,2	106	1512000	2220	30,7	1500	5004000
340	540	29,1	90,4	176300	1200	30,4	258	2454000	925	29,9	126	1824000	2360	32,4	1510	5584000
360	638	30,7	115	240100	1340	32,2	293	2883000	1040	31,7	149	2177000	2490	34,0	1510	6137000
380	741	32,4	141	318700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	857	34,1	170	419600	1620	35,7	357	3817000	1260	35,2	190	2942000	2780	37,4	1520	7410000
425	1020	36,2	216	587500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	1200	38,3	267	791100	1990	40,1	442	5256000	1610	39,6	245	4148000	3170	41,5	1530	9251000
475	1400	40,4	329	1067000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	1620	42,4	402	1403000	2410	44,5	540	7018000	1970	44,1	310	5643000	3550	45,7	1540	11190000
550	2120	46,8	544	2389000	2800	48,9	602	8856000	2310	48,4	352	7189000	3970	49,9	1560	13520000
600	2730	50,9	813	3821000	3210	53,2	869	10970000	2880	52,8	399	8978000	4390	54,1	1570	15910000
650	-	-	-	-	3680	57,5	741	13360000	3070	57,1	449	11030000	4830	58,3	1582	18650000
700	-	-	-	-	4160	61,7	833	16060000	3520	61,2	515	13350000	5270	62,5	1590	21400000
800	-	-	-	-	5110	70,2	948	21840000	4350	69,8	599	18290000	6240	70,9	1650	27780000
900	-	-	-	-	6290	78,5	1140	29460000	5410	78,1	739	24980000	7220	79,0	1670	34750000
1000	-	-	-	-	7430	86,8	1260	37640000	6410	86,4	824	32070000	8260	87,2	1700	43010000

	IPE				IPEo ؟ IPEv					IPBS				
	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶		S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶	نیمرخ	s mm	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶
80	11,6	6,90	0,700	118	180 o	94,6	15,9	6,78	8740	360/380	14	1660	32,4	374	5860000
100	19,7	8,68	1,21	351	200 o	125	17,7	9,49	15570		14,8	1780	32,5	448	6406000
120	30,4	10,5	1,74	890	220 o	161	19,5	12,3	26790		17,1	2110	32,9	697	7823000
140	44,2	12,3	2,45	1980	240 o	205	21,3	17,3	43660		19,4	2440	33,3	1020	9305000
160	61,9	14,0	3,62	3960	270 o	287	24,2	25,0	87640		21,7	2770	33,8	1440	10880000
180	83,2	15,8	4,81	7430	300 o	372	26,9	31,2	157700		24	3130	34,2	1970	12650000
200	110	17,6	7,01	12990	330 o	471	29,5	42,3	245700	500/350	12	2230	44,4	349	8808000
220	143	19,4	9,10	22670	360 o	593	32,1	56,0	380300		14,5	2740	44,9	613	11140000
240	183	21,2	12,9	37390	400 o	751	35,6	73,4	587600		21	4040	46,0	1760	17760000
270	242	23,9	18,0	70580	400 v	841	35,8	99,4	670300	600/350	13	3010	53,2	449	14010000
300	314	26,6	20,2	125900	450 o	1020	40,0	109	997600		15,5	3640	53,7	759	17410000
330	402	29,3	26,3	199100	450 v	1150	40,2	150	1156000		21	4970	54,6	1780	25080000
360	510	31,9	37,5	313600	500 o	1310	44,2	144	1548000	700/360	14,5	4210	62,1	618	26710000
400	654	35,4	51,3	490000	500 v	1580	44,6	244	1961000		17	5020	62,6	1010	32650000
450	851	39,7	67,2	791000	550 o	1630	48,5	188	2302000		21	6350	63,4	1930	43130000
500	1100	43,9	89,8	1249000	550 v	2100	48,7	382	3095000	1000/400	16,5	7870	88,1	1020	74890000
550	1390	48,2	124	1884000	600 o	2240	52,9	319	3860000		19	9160	88,6	1570	89210000
600	1760	52,4	166	2846000	600 v	2660	53,2	514	4813000		21	10220	89,0	2130	101500000

J= ثابت پیچش سن‌ونان
C_w= ثابت پیچش تابیدگی
s= ضخامت جدار به‌میلی‌متر

J_t= ثابت پیچش مقاطع بسته
W_t= اساس مقطع پیچشی مقاطع بسته مساوی $2At_s$
A= مساحت محصور توسط میانتار مقطع

نیمرخ	S_x cm³	s_x cm	J cm⁴	C_w cm⁶
30x15	-	-	0,165	0,408
30	-	-	0,912	4,36
40x20	-	-	0,363	2,12
40	-	-	1,00	11,9
50x25	-	-	0,878	8,25
50	-	-	1,12	27,8
60	-	-	0,939	21,9
65	-	-	1,61	77,3
80	15,9	6,65	2,16	168
100	24,5	8,42	2,81	414
120	36,3	10,0	4,15	900
140	51,4	11,8	5,68	1800
160	68,8	13,3	7,39	3260
180	89,6	15,1	9,55	5570
200	114	16,8	11,9	9070
220	146	18,5	16,0	14600
240	179	20,1	19,7	22100
260	221	21,8	25,5	33300
280	266	23,6	31,0	48500
300	316	25,4	37,4	69100
320	413	26,3	66,7	96100
350	459	28,6	61,2	114000
380	507	31,1	59,1	146000
400	618	32,9	81,6	221000

نیمرخ	J cm⁴	C_w cm⁶
30	0,306	9,78
40	0,473	25,9
50	0,714	60,3
60	0,923	114
80	1,78	355
100	2,86	883
120	4,37	1920
140	6,87	3810
160	9,66	6940

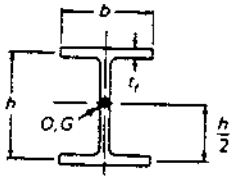
اندازه اسمی	s	J_t cm⁴	W_t cm³
40	2,9	15,0	7,97
	4	19,0	10,3
50	2,9	30,7	12,9
	4	39,5	16,9
60	2,9	54,5	18,9
	4	71,2	25,1
	5	84,5	30,2
70	3,2	96,3	28,5
	4	116	34,8
	5	139	42,2
80	3,6	162	42,0
	4,5	196	51,3
	5,6	234	61,9
90	3,6	234	53,7
	4,5	284	65,8
	5,6	341	79,7
100	4	357	73,7
	5	433	90,2
	6,3	525	111
120	4,5	702	120
	5,6	852	146
	6,3	942	163
140	5,6	1380	202
	7,1	1690	250
	8,8	2030	302
160	6,3	2330	297
	8	2880	368
	10	3470	446
180	6,3	3360	379
	8	4160	471
	10	5040	574
200	6,3	4660	472
	8	5780	588
	10	7020	718
220	6,3	6250	574
	8	7770	717
	10	9470	878
260	7,1	11660	907
	8,8	14200	1110
	11	17350	1360
280	8	16350	1180
	10	20060	1450
	12,5	24460	1780
320	10	30300	1920
	12,5	37080	2360
	16	46030	2940
360	10	43540	2450
	12,5	53430	3010
	16	66580	3770
400	12,5	73980	3750
	16	92470	4700
	20	112400	5750

اندازه اسمی	s	J_t cm⁴	W_t cm³
50x 30	2,9	12,9	7,39
	4	16,2	9,54
60x 40	2,9	28,0	12,3
	4	35,9	16,1
70x 40	2,9	34,9	14,4
	4	44,9	19,0
80x 40	2,9	42,0	16,6
	4	54,2	21,9
	5	63,6	26,2
90x 50	3,2	79,8	26,0
	4	95,9	31,6
	5	114	38,2
100x 50	3,6	102	32,2
	4,5	122	39,1
	5,6	144	46,9
100x 60	3,6	141	39,1
	4,5	169	47,7
	5,6	201	57,4
120x 60	4	199	51,9
	5	239	63,1
	6,3	286	76,6
140x 80	4	408	82,6
	5	496	101
	6,3	601	124
160x 90	4,5	672	119
	5,6	814	145
	7,1	991	179
180x100	5,6	1150	184
	7,1	1410	227
	8,8	1680	272
200x120	6,3	2030	277
	8	2490	342
	10	2990	414
220x120	6,3	2320	305
	8	2850	378
	10	3420	458
260x140	6,3	3800	426
	8	4700	530
	10	5690	646
260x180	6,3	5820	554
	8	7220	692
	10	8790	846
280x180	7,1	7210	669
	8,8	8740	815
	11	10620	995
280x220	8	11180	921
	10	13670	1130
	12,5	16600	1380
320x180	8,8	10550	935
	10	11800	1050
	12,5	14280	1280
320x220	8,8	14810	1150
	10	16610	1300
	12,5	20120	1590
360x220	10	19640	1470
	12,5	23920	1800
	16	29460	2230
400x260	11	32930	2130
	14,2	41300	2680
	17,5	49350	3230

روابطی برای محاسبهٔ مشخصات هندسی پیچشی

ثابت تابیدگی $=C_w$ ثابت پیچشی $=J$ مرکز برش $=O$

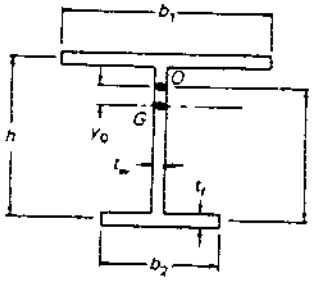
ممان اینرسی قطبی نسبت به مرکز برش $=I_p$ مرکز هندسی $=G$



$$J=\tfrac{1}{3}(2bt_f^3+ht_w^3)$$

$$C_w=\frac{I_yh^2}{2}\approx\frac{t_fb^3h^2}{24}=\frac{h^2I_y}{4}$$

$$I_p=I_x+I_y$$

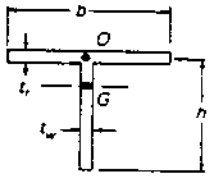


$$J=\tfrac{1}{3}(b_1t_f^3+b_2t_f^3+ht_w^3)$$

$$C_w=\frac{t_fh^2}{12}\left(\frac{b_1^3b_2^3}{b_1^3+b_2^3}\right)$$

$$e=h\frac{b_1^3}{b_1^3+b_2^3}$$

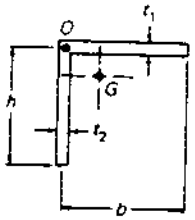
$$I_p=I_y+I_x+Ay_0^2$$



$$J=\tfrac{1}{3}(bt_f^3+ht_w^3)$$

$$C_w=\frac{1}{36}\left(\frac{b^3t_f^3}{4}+h^3t_w^3\right)$$

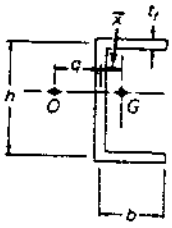
مساوی صفر برای مقادیر کوچک t



$$J=\tfrac{1}{3}(bt_1^3+ht_2^3)$$

$$C_w=\frac{1}{36}(b^3t_1^3+h^3t_2^3)$$

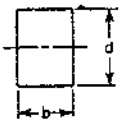
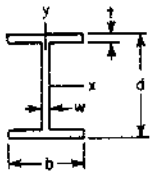
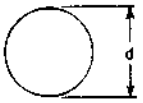
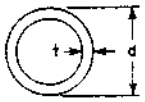
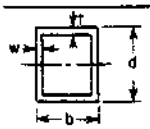
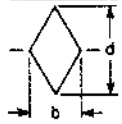
مساوی صفر برای مقادیر کوچک t



$$J=\tfrac{1}{3}(2bt_f^3+ht_w^3)$$

$$C_w=\frac{t_fb^3h^2}{12}\left(\frac{3bt_f+2ht_w}{6bt_f+ht_w}\right)=\frac{h^2}{4}(I_y+A\bar{x}^2-q\bar{x}A)$$

$$q=\frac{th^2b^2}{4I_x}$$

مقطع	اساس مقطع پلاستیک Z	ضریب شکل
	$\frac{bd^2}{4}$	1.5
	x – x axis $bt(d-t)+\frac{w}{4}(d-2t)^2$	1.12 (تقریباً)
	y–y axis $\frac{b^2t}{2}+\frac{1}{4}(d-2t)w^2$	1.55 (تقریباً)
	$\frac{d^3}{6}$	1.70
	$\frac{d^3}{6}\left[1-(1-\frac{2t}{d})^3\right]$ td^2 for $t \ll d$	$\frac{16}{3\pi}\left[\frac{1-(1-\frac{2t}{d})^3}{1-(1-\frac{2t}{d})^4}\right]$ 1.27 for $t \ll d$
	$\frac{bd^2}{4}\left[1-(1-\frac{2w}{b})(1-\frac{2t}{d})^2\right]$	1.12 (approx.) for thin walls
	$\frac{bd^2}{12}$	2

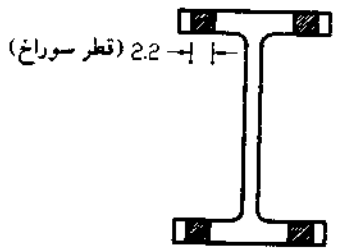
مثالهای طراحی

در این قسمت به‌منظور آشنایی با طرز استفاده از روابط آیین‌نامه، مثالهایی عرضه می‌شود. توجه شود که این مثالها جزیی از آیین‌نامه محسوب نمی‌شوند.

طراحی یک عضو کششی

مثال ۱

مطلوب است طراحی یک عضو کششی از نیمرخ IPE به‌طول ۹ متر که تحت نیروی محوری کششی مردهٔ $P_D=64$ T و زندهٔ $P_L=36$T قرار دارد. هر کدام از بالهای این عضو توسط دو خط پیچ به‌صفحهٔ اتصال، متصل شده و در هر خط پیچ لااقل سه پیچ وجود دارد.



$F_y=2400$ kg/cm^2 و $F_u=3700$ kg/cm^2(فولاد ST37)

ترکیب بارگذاری:

$P_u=1.25P_D+1.5P_L=1.25\times64+1.5\times36=134$ T کنترل می‌کند

محاسبهٔ سطح مقطع کل لازم

برای تسلیم مقطع کل از رابطهٔ ۴ ـ ۱ ـ ۱ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$\phi_t=0.90$

$$A_g=\frac{P_u}{\phi_t F_y}=\frac{134\times10^3}{0.9\times2400}=62.04\ \text{cm}^2$$

برای گسیختگی مقطع خالص از رابطهٔ ۴ ـ ۱ ـ ۲ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$\phi_t=0.75$

$$A_e=\frac{P_u}{\phi_t F_u}=\frac{134\times10^3}{0.75\times3700}=48.29\ \text{cm}^2$$

$$A_g=A_n+\text{سطح مقطع سوراخها}=\frac{A_e}{U}+\text{سطح مقطع سوراخها}$$

با توجه به‌بند ۲ ـ ۳ آیین‌نامه، ضریب کاهش برابر است با:

$U=1-\bar{x}/L=1-0/L=1$

سطح مقطع سوراخها $=4\times2.2\times1=8.8\ \text{cm}^2$ ضخامت بال به‌فرض $=1$ cm

$$A_g=\frac{48.29}{1}+8.8=57.1$$

از یک نیمرخ IPE360 با مشخصات زیر استفاده می‌شود:

$d=36$ cm $\quad b_f=17$ cm $\quad t_f=1.27$ cm $\quad A=72.7\ \text{cm}^2$ $\quad r_{min}=r_y=3.79$ cm

$$b_f<\frac{2}{3}d$$

$A_n=72.7-4\times1.27\times2.2=61.52\ \text{cm}^2$

$A_e=1.0\times61.52=61.52\ \text{cm}^2>48.29$ خوبست

$A_g=72.7\ \text{cm}^2>62.04$ خوبست

$L/r=900/3.79=237<300$ خوبست

طراحی یک عضو فشاری

مثال ۲

مطلوب است طراحی یک عضو فشاری از نیمرخ IPB با طول مؤثر $KL=6$ m که تحت بار

محوری مردهٔ $P_D=80$ T و زندهٔ $P_L=45$ T قرار دارد.

$F_y=2400\ \text{kg/cm}^2 \qquad E=2.1\times10^6\ \text{kg/cm}^2$

$P_u=1.25P_D+1.5P_L=1.25\times80+1.5\times45=167.5\ \text{T}$

برای آزمایش اول IPB280 را آزمایش می‌کنیم.

$A=131\ \text{cm}^2 \qquad r_x=12.1\ \text{cm} \qquad r_y=7.09\ \text{cm}$

$$\frac{KL}{r}=\frac{600}{7.09}=84.63$$

$$\lambda_c=\frac{84.63}{\pi}\sqrt{\frac{2400}{2.1\times10^6}}=0.91 \qquad \text{(رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴)}$$

از رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۲ داریم:

$$F_{cr}=\left(0.658^{\lambda_c^2}\right)F_y=\left(0.658^{0.91^2}\right)2400=1697\ \text{kg/cm}^2$$

مقاومت محوری از رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۱ به‌دست می‌آید:

$$P_u=\phi_c A_g F_{cr}=0.85\times131\times1697\times10^{-3}=189\ \text{T} > 168\ \text{T}$$

کنترل نسبتهای عرض به‌ضخامت بال (جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱):

$b_f=28\ \text{cm} \qquad t_f=1.80\ \text{cm}$

$$\frac{b}{t}=\frac{\frac{1}{2}b_f}{t_f}=\frac{\frac{1}{2}\times28}{1.80}=7.78<\frac{795}{\sqrt{F_y}}=\frac{795}{\sqrt{2400}}=16.23$$

کنترل عرض به‌ضخامت جان

$h_c=28-2\times4.2=19.60\ \text{cm} \qquad t_w=1.05\ \text{cm}$

$$h_c/t_w=19.60/1.05=18.67<\frac{2120}{\sqrt{F_y}}=\frac{2120}{\sqrt{2400}}=43.27$$

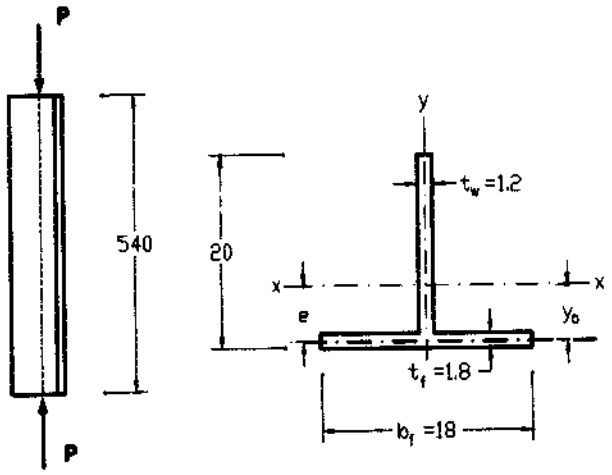
پس امکان کمانش موضعی هم نیست.

کمانش پیچشی ـ خمشی

مثال ۳

مطلوب است تعیین (الف) مقاومت کمانش خمشی و (ب) مقاومت کمانش پیچشی ـ خمشی برای یک عضو فشاری دو انتها مفصل به‌طول 5.4 m که متشکل از یک نیمرخ سپری با مشخصات نشان داده شده در مقطع می‌باشد.

$F_y=2400\ \text{kg/cm}^2 \quad E=2.1\times10^6\ \text{kg/cm}^2 \quad G=0.8\times10^6\ \text{kg/cm}^2$



تعیین مشخصات هندسی مقطع

$$A=18\times1.8+(20-1.8)\times1.2=54.24\ \text{cm}^2$$

$$e=\frac{18\times1.8\times0.9+(20-1.8)\times1.2\times10.9}{54.24}=4.93\ \text{cm}$$

$$I_x=18\times\frac{1.8^3}{12}+18\times1.8\times(4.93-0.9)^2+1.2\times\frac{18.20^3}{12}+1.2\times18.2\times5.97^2$$

$$=1916\ \text{cm}^4$$

$$r_x=\sqrt{1916/54.24}=5.94\,\text{cm}$$

$$I_y=1.8\times\frac{18^3}{12}+18.20\times\frac{1.2^3}{12}=878\ \text{cm}^4$$

$$r_y=\sqrt{878/54.24}=4.02\,\text{cm}$$

اگر x_o و y_o مختصات مرکز برش نسبت به‌مرکز هندسی باشند، می‌توان نوشت:

$$x_o=0$$

$$y_o=4.93-0.9=4.03\ \text{cm}$$

مشخصات پیچشی یک نیمرخ سپری به‌شرح زیر می‌باشد:

$$J=\Sigma\frac{1}{3}bt^3=\frac{1}{3}(18\times1.8^3+19.1\times1.2^3)=45.99\ \text{cm}^4$$

$$C_w=\frac{1}{36}\left(\frac{b_f^3t_f^3}{4}+h^3t_w^3\right)=\frac{1}{36}\left(\frac{18^3\times1.8^3}{4}+19.1^3\times1.2^3\right)=570.65\ \text{cm}^6$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۸ آیین‌نامه:

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} = 0 + 4.03^2 + \frac{1916+878}{54.24} = 67.75 \text{ cm}^2$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۹ آیین‌نامه:

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2}\right) = 1 - \left(\frac{0+4.03^2}{67.75}\right) = 0.76$$

تعیین مقاومت کمانش پیچشی ـ خمشی

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۰ آیین‌نامه:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L / r_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{(1 \times 540/5.94)^2} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۱ آیین‌نامه:

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L / r_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{(1 \times 540/4.02)^2} = 1150 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۱۲ آیین‌نامه:

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right] \frac{1}{A \bar{r}_o^2}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 570.65}{(1 \times 540)^2} + 0.80 \times 10^6 \times 45.99\right] \frac{1}{54.24 \times 67.75}$$

$$F_{ez} = 10023 \text{ kg/cm}^2$$

برای نیمرخها با محور تقارن y، از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۶ می‌توان نوشت:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right)$$

$$F_e = \frac{1150 + 10023}{2 \times 0.76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1150 \times 10023 \times 0.76}{(1150 + 10023)^2}}\right)$$

$$F_e = 1117 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۴ می‌توان نوشت:

$$\lambda_e = \sqrt{F_y / F_e} = \sqrt{2400/1117} = 1.47$$

کنترل لاغری بال:

$$\frac{b}{t}=\frac{9}{1.8}=5<\frac{795}{\sqrt{F_y}}=\frac{795}{\sqrt{2400}}=16.23$$

کنترل لاغری جان:

$$\frac{d}{t}=\frac{20}{1.2}=16.67<\frac{1065}{\sqrt{2400}}=\frac{1065}{\sqrt{2400}}=21.74$$

امکان کمانش موضعی وجود ندارد، بنابراین ضریب کاهش ظرفیت $Q=1$ است.

$$\lambda_e\sqrt{Q}=1.47\sqrt{1}=1.47<1.5$$

از رابطهٔ پ ـ ۵ ـ ۳ ـ ۲ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$$F_{cr}=Q\left(0.658^{Q\lambda_c^2}\right)F_y$$

$$F_{cr}=1(0.658^{1\times 1.47^2})2400=0.405\times 2400=972\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$$P_u=\phi_c P_n=\phi_c A_g F_{cr}=0.85\times 54.24\times 972\times 10^{-3}=44.81\ \mathrm{T}$$

تعیین مقاومت کمانش خمشی

از رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۴ آیین‌نامه:

$$\lambda_c=\frac{KL}{2r}\sqrt{\frac{F_y}{E}}=\frac{1\times 540}{2\times 4.02}\sqrt{\frac{2400}{2.1\times 10^6}}=2.27>1.5$$

از رابطهٔ ۵ ـ ۲ ـ ۳ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

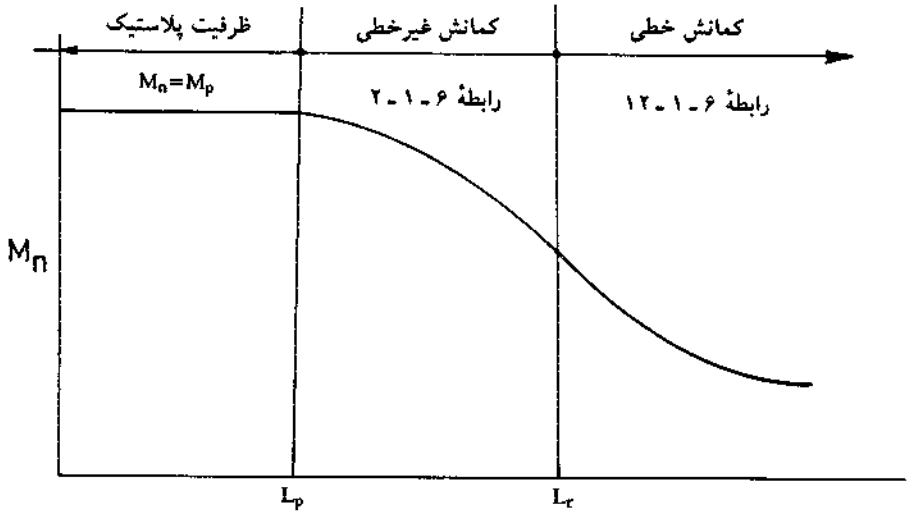
$$F_{cr}=\left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right]F_y=\left[\frac{0.877}{2.27^2}\right]F_y=0.170\times 2400=408\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$$P_u=\phi_c A_g F_{cr}=0.85\times 54.24\times 408\times 10^{-3}=18.81\ \mathrm{T}$$ حاکم است

پس کمانش خمشی حاکم بوده و $P_u=18.81$ T می‌باشد.

طراحی تیرها برای لنگر خمشی

شکل صفحهٔ بعد نشان‌دهندهٔ مقاومت اسمی کمانشی یک تیر برحسب فواصل مهاربندی جانبی بال فشاری می‌باشد.



L_b (طول مهارنشدهٔ بال فشاری)

مطالعهٔ شکل فوق نشان می‌دهد که تیرها برحسب فاصلهٔ مهاربندی جانبی بال فشاری، دارای سه ناحیهٔ متمایز کمانشی می‌باشد. اگر بال فشاری تیر دارای مهاربندی در فواصل کم باشد، تیر می‌تواند تا ظرفیت پلاستیک تحت خمش قرار گیرد. در این حالت طراحی تیر در ناحیهٔ ۱ قرار می‌گیرد و ظرفیت خمشی مقطع از رابطهٔ $M_n=M_p=F_y Z$ به‌دست می‌آید. در صورتی‌که فواصل مهاربندی جانبی در حد فاصل L_p و L_r قرار گیرد، ظرفیت خمشی از رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۲ و در صورتی‌که فواصل مهاربندیهای جانبی بزرگتر از L_r باشد، ظرفیت خمشی از رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۱۲ به‌دست می‌آید.

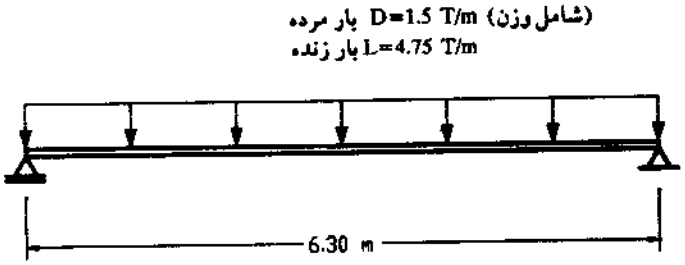
طول حدی L_p برحسب مورد از روابط ۶ ـ ۱ ـ ۴ و یا ۶ ـ ۱ ـ ۵ به‌دست می‌آید.

طول حدی L_r نیز برحسب مورد از روابط ۶ ـ ۱ ـ ۶ و یا ۶ ـ ۱ ـ ۱۰ به‌دست می‌آید.

در تمام موارد، نسبتهای عرض به‌ضخامت عناصر مقطع باید شرایط مقطع فشرده مندرج در جدول ۲ ـ ۵ ـ ۱ را برآورده نمایند.

مثال ۴

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر سادهٔ نشان داده شده در شکل. بال فشاری تیر دارای مهاربندی جانبی پیوسته به‌علت دال بتنی واقع در روی آن می‌باشد. از فولاد نرمه با $F_y=2400\text{kg/cm}^2$ استفاده نمایید.



حل:

$$W_u = 1.25\times1.5 + 1.5\times4.75 = 9 \text{ T/m}$$

$$M_u = \frac{9\times6.3^2}{8} = 44.65 \text{ T.m}$$

$$\text{لازم } Z_x = \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{44.65\times10^5}{0.9\times2400} = 206 \text{ cm}^3$$

از IPE500 با $Z_x = 2200 \text{ cm}^4$ استفاده می‌شود.

کنترل نسبتهای عرض به‌ضخامت

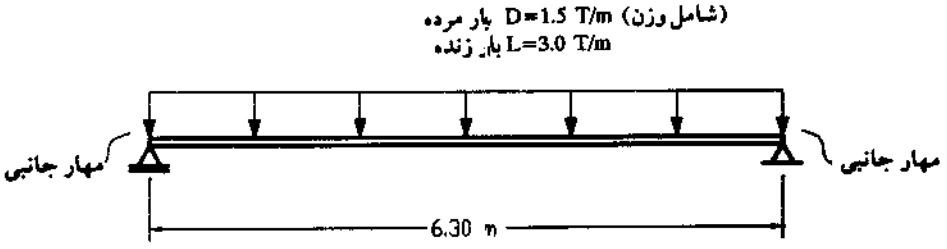
$$\text{بال} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{20}{2\times1.6} = 6.25 < \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{2400}} = 11.12$$

$$h_c = h - 2c = 42.6 \text{ cm} \qquad t_w = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{جان} = \frac{h_c}{t_w} = \frac{42.6}{1.02} = 41.76 < \frac{5355}{\sqrt{F_y}} = \frac{5355}{\sqrt{2400}} = 109$$

مثال ۵

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر سادهٔ نشان داده شده در شکل. بال فشاری تیر فقط در دو انتها دارای تکیه‌گاه جانبی می‌باشد. از فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده نمایید.



حل:

برای انتخاب اول IPE500 را انتخاب نموده و آن را کنترل می‌نماییم. مشخصات هندسی این نیمرخ

به‌شرح زیر می‌باشد:

$d=50$ cm $\quad b=20$ cm

$t_w=1.02$ cm $\quad t_f=1.60$ cm

$r=2.1$ cm (گردی اتصال بال به‌جان)

$A=116$ cm^2 $\quad$ وزن $=90.7$ kg/m

$I_x=48200$ cm^4 $\quad S_x=1930$ cm^3 $\quad r_x=20.4$ cm

$I_y=2140$ cm^4 $\quad S_y=214$ cm^3 $\quad r_y=4.31$ cm

ثابت تابیدگی $=C_w=1249000$ cm^6 $\quad$ ثابت پیچش $J=89.6$ cm^4

$Z_x=2200$ cm^3

تعیین طول L_p (رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۴)

$$L_p=\frac{2515}{\sqrt{F_{yf}}}r_y$$

$r_y=4.31$ cm $\quad F_{yf}=2400$ kg/cm^2

$$L_p=\frac{2515}{\sqrt{2400}}\times 4.31=221 \text{ cm}$$

تعیین طول L_r (رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۶)

$$L_r=\frac{r_y x_1}{(F_{yw}-F_r)}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(F_{yw}-F_r)^2}} \qquad (۶-۱-۶)$$

$$x_1=\frac{\pi}{S_x}\sqrt{\frac{EGJA}{2}} \qquad (۶-۱-۸)$$

$E=2.1\times 10^6$ kg/cm^2 $\quad G=0.8\times 10^6$ kg/cm^2

$$x_1=\frac{\pi}{1930}\sqrt{\frac{2.1\times 10^6\times 0.8\times 10^6\times 89.6\times 116}{2}}=15\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2=4\frac{C_w}{I_y}\left(\frac{S_x}{GJ}\right)^2$$

$$=4\times\frac{1249000}{2140}\left(\frac{1930}{0.8\times 10^6\times 89.6}\right)^2=1.7\times 10^{-6}\ (1/\text{kg/cm}^2)^2$$

$F_r=700$ kg/cm^2 برای نیمرخهای نوردشده

$F_{yw}=2400\ \text{kg/cm}^2$

$$L_r=\frac{4.31\times15\times10^4}{(2400-700)}\sqrt{1+\sqrt{1+1.7\times10^{-6}(2400-700)^2}}$$

$L_r=380.3\times1.86=705\ \text{cm}$

$L_p=221<L_b=630<L_r=705$

بنابراین طراحی تیر در ناحیهٔ کمانش غیرخطی قرار می‌گیرد. ظرفیت خمشی تیر با استفاده از رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۲ به‌دست می‌آید:

$$M_n=C_b\left[M_p-(M_p-M_r)\left(\frac{L_b-L_p}{L_r-L_p}\right)\right]\le M_p$$

$M_r=(F_{yw}-F_r)S_x$

$M_r=(2400-700)\times1930\times10^{-5}=32.81\ \text{T.m}$

$M_p=ZF_y=2200\times2400\times10^{-5}=52.80\ \text{T.m}$

$C_b=1$

(لنگر در حد فاصل دو نقطهٔ مهاربندی شد، بزرگتر از لنگرهای انتهایی است)

$$M_n=1\left[52.80-(52.80-32.81)\left(\frac{630-221}{698-221}\right)\right]$$

$M_n=1[52.80-17.14]=35.66\ \text{T.m}$

$\phi_b M_n=0.9\times35.66=32.09\ \text{T.m}$

حال اقدام به‌محاسبهٔ لنگر خمشی موجود می‌نماییم.

$W_u=1.25\times1.5+1.5\times3=6.4\ \text{T/m}$

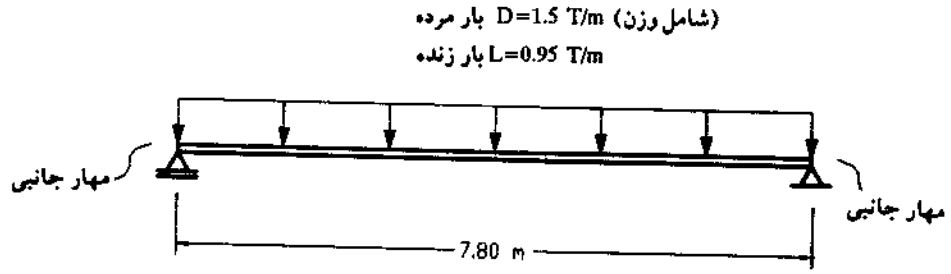
$$M_u=\frac{6.4\times6.30^2}{8}=31.75<\phi_b M_n=32.09\ \text{T.m}$$

پس نیمرخ انتخابی رضایت‌بخش می‌باشد.

با توجه به‌مثال قبل نیمرخ IPE500 شرایط مقطع فشرده را برآورده می‌سازد.

مثال ٦

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر سادهٔ نشان داده شده در شکل. بال فشاری تیر فقط در دو انتها دارای تکیه‌گاه جانبی می‌باشد. از فولاد نرمه با $F_y=2400\ \text{kg/cm}^2$ استفاده نمایید.



حل:

برای انتخاب اول IPE500 را انتخاب نموده و آن راکنترل می‌نماییم. مشخصات هندسی این نیمرخ در مثال ۵ برآورده شده است. همچنین با استفاده از همین مثال می‌توان نوشت:

$L_p=221$ cm

$x_1=15\times10^4$ kg/cm^2

$x_2=1.7\times10^{-6}$ (1/kg/cm^2)^2

$L_r=698$ cm

$L_b=780$ cm $>$ 698 cm

پس طراحی تیر در ناحیهٔ کمانش الاستیک قرار می‌گیرد. ظرفیت خمشی از رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۱۲ به‌دست می‌آید:

$$M_n=M_{cr}\le C_b M_r$$

برای M_{cr} از رابطهٔ ۶ ـ ۱ ـ ۱۳ می‌توان نوشت:

$$M_{cr}=\frac{C_b S_x x_1\sqrt{2}}{L_b/r_y}\sqrt{1+\frac{x_1^2 x_2}{2(L_b/r_y)^2}}$$

$C_b=1$ $\qquad$ $L_b=780$

$L_b/r_y=780/4.31=180.97$

$$M_{cr}=\frac{1\times1930\times15\times10^4\times\sqrt{2}}{180.97}\times10^{-5}\sqrt{1+\frac{(15\times10^4)^2\times1.7\times10^{-6}}{2\times180.97^2}}$$

$M_{cr}\cong 28.2$ T.m

$C_b M_r=C_b(F_{yf}-F_r)S_x=1(2400-700)1930\times10^{-5}=32.81$ T.m >28.2

$M_n=M_{cr}=28.2$ T.m

$\phi M_n = 0.9 \times 28.2 = 25.38$ T.m

$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 0.95 = 3.3$ T/m

$M_u = 3.3 \times 7.80^2/8 = 25 < 25.38$ خوبست

پس نیمرخ انتخابی، رضایت‌بخش می‌باشد.

با توجه به‌مثال ۴، نیمرخ IPE500 شرایط مقطع فشرده را برآورده می‌سازد.

طراحی تیرها برای برش

طراحی تیرها برای برش طبق بخش ۶ ـ ۲ آیین‌نامه صورت می‌گیرد.

مثال ۷

مطلوب است کنترل مثال ۶ برای برش

$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 4.75 = 9$ T/m

$V_u = 9 \times 6.30 \times 0.5 = 28.35$ T

نیمرخ انتخابی IPE500 می‌باشد.

$d = 50$ cm $\quad t_w = 1.02$ cm $\quad h = d - 2t_f - r = 50 - 2 \times 1.6 - 2.1 = 44.70$

$h/t_w = 44.70/1.02 = 43.82$

ظرفیت برشی برحسب مورد از روابط ۶ ـ ۲ ـ ۱ الی ۶ ـ ۲ ـ ۳ به‌دست می‌آید:

$$\frac{h}{t_w} = 43.82 \leq \frac{3500}{\sqrt{2400}} = 71.4$$

پس ظرفیت برشی از رابطهٔ ۶ ـ ۲ ـ ۱ به‌دست می‌آید:

$V_n = 0.6 F_{yw} A_w = 0.6 F_{yw} d t_w$

$V_n = 0.6 \times 2400 \times 50 \times 1.02 \times 10^{-3} = 73.44$ T

$V_u = 28.35 < \phi_v V_n = 0.9 \times 73.44 = 66.10$ T

طراحی تیر ـ ستون

مثال ۸

مطلوب است طراحی یک ستون از یک قاب مهاربندی شده به‌طول ۳/۶ متر که تحت نیروی

محوری و لنگرهای انتهایی ضربدار زیر قرار دارد. این نتایج از یک تحلیل مرتبهٔ اول به‌دست آمده‌اند.

P_u=110 T

M_{ux}=10 T.m

M_{uy}=5 T.m

فرض می‌شود که حول هر دو محور، ستون تحت خمش مضاعف با لنگرهای انتهایی مساوی قرار دارد و هیچ‌گونه بار عرضی بر ستون وارد نمی‌شود.

F_y=2400 , E=2.1×10^6 kg/cm^2

حل:

در انتخاب اول یک IPB$_v$320 با مشخصات زیر در نظر می‌گیریم:

A=149 cm^2

r_x=13 cm

r_y=7.58 cm

$$Z_x=2\left(30\times1.9\times14.05+13.1\times1.1\times\frac{13.1}{2}\right)=1790\ \text{cm}^3$$

(مقدار دقیق از جدول مساوی 1868 cm^3 می‌باشد).

$$Z_y=2\times1.9\times\frac{30^2}{4}+26.2\times\frac{1.1^2}{4}=863\ \text{cm}^3$$