

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

آیین نامه طراحی سازه های فولادی به روش حالات حدی

نشریه شماره ۱۶۹

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۷۷

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۷/۰۰/۴۲



فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها
آیین نامه طراحی سازه های 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 ۱۴۵۹/۵۱-۵۱/۱۶۰۱-۱۰۲ 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. ۲/س ۳۶۸/ TA

ISBN 964-425-088-5

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۰۸۸-۵

آیین نامه طراحی سازه های 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 فنی

تاریخ:
شماره:
پست:

بسمه تعالی

شماره: ۱۰۲/۱۶۰۱۵۴/۱۴۵۹	به: تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور
تاریخ: ۱۳۷۷/۴/۶	
موضوع: آیین نامه طراحی سازه های فولادی به روش حالات حدی	
<p>به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی این دستورالعمل از نوع گروه دوم مذکور در ماده هفت آئین نامه در یک صفحه صادر می گردد.</p> <p>تاریخ مندرج در ماده ۸ آئین نامه در مورد این دستورالعمل ۱۳۷۷/۸/۱ می باشد.</p> <p>به پیوست نشریه شماره ۱۶۹ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان "آیین نامه طراحی سازه های فولادی به روش حالات حدی" ابلاغ می گردد.</p> <p>دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور می توانند مفاد نشریه مذکور و دستورالعمل های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.</p>	
<p>محمدعلی نجفی معاون رئیس سازمان رئیس سازمان برنامه و بودجه</p>	

شماره گش و فاری ۳۲۱۱۰۳، پان ۲۱۹۶۴

فنی ۳۳۱

کد پستی: ۱۹۹۴۴، آدرس تهرانی و تهران چهارم



پیشگفتار

طراحی به روش 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 به تدریج بین مهندسين رواج می‌یابد اما در خصوص 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 ارائه متن حاضر گشودن بایی 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 آیین‌نامه حاضر، چاپ دوم آیین‌نامه LRFD مؤسسه AISC به تاریخ نشر ۱۹۹۲ میلادی می‌باشد. لیکن در تدوین آن سعی گردیده است هماهنگی کاملی با آیین‌نامه جاری فولاد ایران به روش تنشهای مجاز (مبحث ۱۰ از مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران) و همچنین آیین‌نامه بتن ایران (آبا) صورت پذیرد.

آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حدی برای طراحی سازه‌های ساختمانهای فولادی، اولین آیین‌نامه از سری جدید آیین‌نامه‌هایی است که بر پایه تئوری قابلیت اعتماد قرار دارند. این آیین‌نامه بر پایه تجربیات موفق گذشته، پیشرفتهای علمی، و تغییرات در روش طراحی، قرار دارد. آیین‌نامه 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 برگیرنده مسائل خاصی که گهگاه در زمینه طراحی به آن برخورد می‌شود، نباشد. اگر قرار بود که آیین‌نامه طوری تنظیم شود که دربرگیرنده تمام حالات خاص و پیچیده نیز باشد، در این صورت استفاده از آن برای حالات متعارف طراحی، بسیار مشکل می‌شد.

آیین‌نامه نتیجه کنکاش کمیته‌ای از مهندسان سازه، با تجربه وسیع و مدارج بالای حرفه‌ای می‌باشد. ترکیب کمیته به‌طور مساوی شامل اعضای 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- پیچهای مهاری
- ۲- کف ستونها و صفحات زیرسری
- ۳- تیرها، شاهتیرها، لاپه‌های بام و تیرچه‌های دیوار
- ۴- نشیمنهای فولادی برای شاهتیرها و خرپاها
- ۵- بادبندها



۶- ستونها

۷- تمام اقلام اتصال برای اتصال یک فولاد سازه‌ای به فولاد سازه‌ای دیگر

۸- ریل جرثقیل، وصله‌ها، ترمزها، پیچها و گیره‌ها

۹- چهارچوب درها وقتی که جزئی از اسکلت باشند.

۱۰- درزهای انبساط وقتی که به قاب‌بندی فولادی متصل باشند.

۱۱- وسایل اتصال که برای اتصال فولادهای سازه‌ای به کار می‌روند، شامل:

پرچهای کارخانه‌ای

پیچهای دائمی کارخانه‌ای

پرچهای کارخانه‌ای برای حمل (پیچهای موقت)

پرچهای کارگاهی برای اتصالات دائمی

پیچهای کارگاهی برای اتصال دائمی

خار مغزی (پین) دائمی

۱۲- ورقهای کف (ساده یا آجدار) که به قاب فولادی متصل شده‌اند.

۱۳- تیرها و شاهتیرهای شبکه

۱۴- دستکهایی که جزء اساسی از قاب می‌باشند.

۱۵- ورقهای لقمه، گوه و پیچهای تکرارکننده.

۱۶- نعل درگاهها، اگر به اسکلت اصلی متصل باشند.

۱۷- قابهای سایبانهای ورودی ساختمان

۱۸- فونداسیون ماشین‌آلات از نیمرخهای نوردشده یا تیرورقی که به اسکلت سازه وصل شده‌اند.

۱۹- اجزای جرثقیل تک‌ریلی از نیمرخهای استاندارد، وقتی که به اسکلت اصلی متصل باشند.

۲۰- اسکلت بام با استفاده از نیمرخهای استاندارد

۲۱- اتصالات برشی

۲۲- قطعات فشاری، میله‌های کششی و میله‌مهارها در صورتی که قسمتی از قاب باشند.

۲۳- خرپاها

برای طراحی اعضای ساخته شده از ورقهای سرد تا شده که نیمرخهای آنها شامل گوشه‌های گرد و اجزای لاغر تخت می‌باشد، باید به آیین‌نامه 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 تجربه مهندس سازه با صلاحیت و تجربه کافی در زمینه طراحی است.

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

دفتر امور فنی و تدوین معیارها

بهار ۱۳۷۷



فهرست مطالب

۹	علائم و اختصارات
	فصل اول: کلیات
۱۹	۱-۱ گستره
۱۹	۲-۱ مبانی طراحی
۲۰	۳-۱ روش طراحی
۲۳	۴-۱ انواع سیستمهای سازه‌ای
۲۴	۵-۱ مصالح فولادی
۲۴	۶-۱ بارهای محاسباتی
۲۶	۷-۱ بارگذاری
۲۶	۸-۱ تحلیل سازه
۲۷	۹-۱ مدارک طراحی و محاسبه
۲۸	۱۰-۱ شکل‌پذیری
	فصل دوم: مقررات عمومی
۲۹	۱-۲ سطح مقطع کلی
۲۹	۲-۲ سطح مقطع خالص
۳۰	۳-۲ سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی
۳۲	۴-۲ پایداری
۳۲	۵-۲ کمانش موضعی
۳۶	۶-۲ مهاربندی در تکیه‌گاهها
۳۶	۷-۲ محدودیتهای ضرایب لاغری
۳۶	۸-۲ دهانه‌های ساده
۳۶	۹-۲ گیرداری انتهایی
۳۶	۱۰-۲ تناسبات هندسی تیرها و شاهتیرها
	فصل سوم: قابها و سایر سازه‌ها
۳۹	۱-۳ آثار درجه دوم (ثانویه)

پنج



۴۱	۲-۳	پایداری قاب
	فصل چهارم: اعضای کششی	
۴۳	۱-۴	مقاومت کششی طرح
۴۴	۲-۴	اعضای ساخته شده از چند نیمرخ
	۳-۴	تسمه‌ها با عرض ثابت و اتصالات لولایی با پین و
۴۵		تسمه‌های سربین
	فصل پنجم: ستونها و سایر اعضای فشاری	
۴۷	۱-۵	طول مؤثر و محدودیتهای لاغری
۴۹	۲-۵	مقاومت فشاری طرح
۵۰	۳-۵	مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی - پیچشی
۵۱	۴-۵	اعضای فشاری ساخته شده از چند نیمرخ
۵۴	۵-۵	اعضای فشاری دارای اتصالات لولایی
	فصل ششم: تیرها و سایر اعضای خمشی	
۵۵	۱-۶	طراحی برای خمش
۶۱	۲-۶	طراحی برای برش
	فصل هفتم: تیورقها	
۶۳	۱-۷	محدودیتهای لاغری جان
۶۴	۲-۷	مقاومت خمشی طرح
۶۶	۳-۷	مقاومت برشی طرح بدون توجه به عمل میدان کشش
۶۷	۴-۷	مقاومت برشی طرح با توجه به عمل میدان کشش
۶۸	۵-۷	سخت‌کننده‌های عرضی
۷۰	۶-۷	اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی
	فصل هشتم: ترکیب نیروها	
۷۱	۱-۸	اعضا با نیمرخهای متقارن تحت اثر توأم خمش و نیروی محوری
	۲-۸	اعضا با نیمرخ نامتقارن و اعضایی که تحت اثر پیچشی و یا ترکیب
۷۴		پیچش و خمش، یا و یا بدون نیروی محوری قرار دارند
۷۵	۳-۸	صورت دیگری از معادلات اندرکنش برای اعضای تحت اثر کنشهای مرکب
	فصل نهم: اعضای مختلط	
۷۷	۱-۹	فرضیات طراحی



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

فصل دهم: اتصالها و وسایل اتصال

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

فصل یازدهم: نیروهای متمرکز، آب‌انباشتگی و خستگی

۱۱۹	۱-۱۱	اثر نیروهای متمرکز بر جان و بال اعضا
۱۲۷	۲-۱۱	آب‌انباشتگی
۱۲۹	۳-۱۱	خستگی

فصل دوازدهم: ملاحظات طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری

۱۳۱	۱-۱۲	خیز
۱۳۲	۲-۱۲	انبساط و انقباض
۱۳۲	۳-۱۲	تغییر شکل، ارتعاش و انتقال جانبی
۱۳۲	۴-۱۲	لغزش در اتصال
۱۳۲	۵-۱۲	خوردگی

فصل سیزدهم: ساخت، نصب و کنترل کیفیت

۱۳۳	۱-۱۳	نقشه‌های کارگاهی
۱۳۳	۲-۱۳	ساخت

هفت



۱۳۶	۳-۱۳ رنگ آمیزی در کارگاه
۱۳۷	۴-۱۳ برپایی و نصب
۱۳۸	۵-۱۳ کنترل کیفیت
	پیوست فصل دوم: مقررات عمومی
۱۴۳	پ-۲-۵ کمانش موضعی
	پیوست فصل پنجم: ستونها و سایر اعضای فشاری
۱۴۹	پ-۳-۵ مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی و پیچشی
	پیوست فصل ششم: تیرها و سایر اعضای خمشی
۱۵۳	پ-۱-۶ طراحی برای خمش
۱۵۸	پ-۲-۶ طراحی برای برش
۱۵۹	پ-۳-۶ اعضا با ارتفاع متغیر
	پیوست فصل هشتم: اعضا تحت نیروهای ترکیبی و پیچش
۱۶۵	پ-۳-۸ روابط اندرکنشی جایگزین برای اعضا تحت تنش ترکیبی
	پیوست فصل دهم: اتصالات و وسایل اتصال
۱۶۹	پ-۲-۱۰ جوش
۱۷۰	پ-۳-۱۰ پیچها و قطعات حدیده شده
	پیوست فصل یازدهم: ملاحظات تکمیلی در طراحی برای حالت حدی مقاومت
۱۷۳	پ-۲-۱۱ آب تابستگی
۱۷۶	پ-۴-۱۱ خستگی
۱۸۷	تیرهای لانه زنبوری
۱۹۵	جداول طراحی
۲۰۱	مشخصات هندسی نیمرخهای ساختمانی
۲۱۷	مثالهای طراحی
۲۱۷	طرح یک عضو کششی
۲۱۸	طرح یک عضو فشاری
۲۱۹	کمانش پیچشی - خمشی
۲۲۲	طراحی تیرها برای لنگر خمشی
۲۲۸	طراحی تیرها برای برشی
۲۲۸	طراحی تیر - ستون



علائم و اختصارات

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

- $A =$ سطح مقطع، سانتی متر مربع (۶-۱-۲)
- $A_B =$ ناحیه بارگذاری شده بتن، سانتی متر مربع (۹-۲-۴)
- $A_b =$ سطح مقطع اسمی یک پیچ یا پرچ، سانتی متر مربع (۱۰-۳-۴)
- $A_b =$ سطح مقطع یک میله برجسته بر مبنای قطر بزرگتر حدیده‌های آن، سانتی متر مربع (۱۰-۳-۳)
- $A_c =$ مساحت بتن، سانتی متر مربع (۹-۲-۲)
- $A_c =$ مساحت دال بتنی در محدوده عرض مؤثر، سانتی متر مربع (۹-۵-۲)
- $A_c =$ سطح مقطع خالص مؤثر، سانتی متر مربع (۲-۳)
- $A_f =$ سطح بال تیر، سانتی متر مربع (پیوست ۶-۳)
- $A_g =$ سطح مقطع کل، سانتی متر مربع (۲-۱)
- $A_n =$ سطح مقطع خالص، سانتی متر مربع (۲-۲)
- $A_{ns} =$ سطح مقطع خالص تحت برش، سانتی متر مربع (۱۰-۴)
- $A_{pb} =$ تصویر مساحت انکابی، سانتی متر مربع (۴-۳ و ۱۰-۸-۱)
- $A_r =$ سطح مقطع میلگردهای آرماتور، سانتی متر مربع (۹-۲-۲)
- $A_s =$ سطح مقطع فولاد، سانتی متر مربع (۹-۲-۲ و ۹-۲۵)
- $A_{sc} =$ سطح مقطع اتصالات برشی از نوع گلمیخ، سانتی متر مربع (۹-۵-۳)
- $A_{sf} =$ سطح مقطع برشی در امتداد مسیر گسیختگی، سانتی متر مربع (۴-۳)



- A_w = سطح مقطع جان تیر، سانتی متر مربع (۶ - ۲ - ۱)
- A_1 = مساحت سطح تماس فولاد که به طور متمرکز روی بتن انکا دارد، سانتی متر مربع (۱۰ - ۹)
- A_2 = سطح مقطع کل یک تکیه گاه بتنی، سانتی متر مربع (۱۰ - ۹)
- B = ضریب مربوط به تنشهای خمشی در اعضا با ارتفاع متغیر، سانتی متر، که توسط روابط (پ - ۶ - ۳ - ۸) الی (پ - ۶ - ۴ - ۱۱) پیوست ۶ - ۴ تعریف شده‌اند.
- B_1, B_2 = ضرایب مورد استفاده در تعیین $M_{u,0}$ برای خمش توأم با نیروهای فشاری وقتی که تحلیل از درجه اول به کار می‌رود (۸ - ۱)
- C_{PG} = ضریب مربوط به تیرورقها (پیوست ۷ - ۲)
- C_b = ضریب خمش که به تغییرات لنگر خمشی مربوط می‌گردد (۶ - ۱ - ۲)
- C_m = ضریبی که در رابطه اندرکنش اعضای منشوری به جمله لنگر خمشی اعمال می‌گردد و بستگی به انحنای ستون به علت لنگرهای وارده دارد (۸ - ۱)
- C'_m = ضریبی که در رابطه اندرکنش اعضا با ارتفاع متغیر به جمله لنگر خمشی اعمال می‌گردد و وابسته به تنش محوری در انتهای کوچک عضو می‌باشد (پیوست ۶ - ۳)
- C_p = ضریب انعطاف پذیری آب انباشتگی برای اعضای اصلی در یک پشت بام تخت (۱۱ - ۲)
- C_o = ضریب انعطاف پذیری آب انباشتگی برای اعضای ثانوی در یک پشت بام تخت (۱۱ - ۲)
- $C_{v,0}$ = نسبت تنش بحرانی در جان تیر به تنش تسلیم مصالح جان براساس تئوری کمانش خطی (پیوست ۷ - ۴)
- C_w = ثابت تابیدگی، سانتی متر به توان شش (۶ - ۱ - ۳)
- D = قطر خارجی یک مقطع دایره‌ای توخالی، سانتی متر (پیوست ۲ - ۵ - ۳)
- D = بار مرده حاصل از وزن خود سازه به علاوه وزن اعضای دائمی ملحق بر آن (۱ - ۳ - ۴)
- D = ضریب استفاده شده در رابطه (پ - ۷ - ۴ - ۲) که به نوع سخت کننده‌های عرضی کار گذاشته در تیرورقها بستگی دارد (پیوست ۷ - ۴)
- E = مدول الاستیسیته فولاد مساوی «۶/۱×۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۵ - ۲)
- E = بار زلزله (۱ - ۳ - ۴)
- E_c = مدول الاستیسیته بتن، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۹ - ۲ - ۲)
- E_m = مدول الاستیسیته تعدیل یافته، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۹ - ۲ - ۲)
- F_{BM} = مقاومت اسمی فلز مینا که باید جوش داده شود، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱۰ - ۲ - ۴)
- F_{EXX} = مقاومت طبقه بندی شده فلز جوش، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱ - ۳ - ۵ و ۱۰ - ۲ - ۴)

- F_a = مقاومت محوری طرح، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱-۵-۱)
- F_{by} = تنش خمشی برای اعضا با ارتفاع متغیر که به وسیله روابط (پ-۳-۶) و (پ-۳-۶-۵) تعریف می شوند (پیوست ۳-۶)
- F_{cr} = تنش بحرانی، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۵)
- F_c = تنش کماتنش الاستیک کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پیوست ۳-۵)
- F_{cr} = تنش کماتنش خمشی الاستیک حول محور قوی، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پیوست ۳-۵)
- F_{cr} = تنش کماتنش خمشی حول محور ضعیف، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پیوست ۳-۵)
- F_{cr} = تنش کماتنش پیچشی، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پیوست ۳-۵)
- F_{my} = تنش تسلیم تعدیل یافته برای ستونهای مرکب، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۲-۹)
- F_n = مقاومت اسمی در شکست برشی، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۴-۱۰)
- F_r = تنش پسماند فشاری در بال تیر، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۳-۱-۶)
- F_{ry} = تنش برای اعضا با ارتفاع متغیر که توسط رابطه (پ-۳-۶) در پیوست ۳-۶ تعریف شده است.
- F_u = مقاومت حداقل مقرر کششی بر حسب نوع فولاد مورد استفاده، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱-۴)
- F_w = مقاومت اسمی مصالح الکتروود جوشکاری، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۴-۲-۱۰)
- F_{wy} = تنش برای اعضا با ارتفاع متغیر که از طریق رابطه (پ-۳-۶-۷) تعریف می شود (پیوست ۳-۶)
- F_y = تنش تسلیم حداقل مقرر، بر حسب نوع فولاد مورد استفاده، کیلوگرم بر سانتی متر مربع، بر حسب نوع استفاده در این ضوابط، «تنش تسلیم» هم مبین نقطه تسلیم حداقل مقرر (برای آن فولادهایی که دارای نقطه تسلیم می باشند) و هم مبین مقاومت تسلیم مقرر (برای آن دسته از فولادها که فاقد یک نقطه تسلیم می باشند) می باشد.
- F_{yf} = تنش تسلیم حداقل مقرر بال تیر، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱-۵-۲)
- F_{ym} = تنش تسلیم که از گزارشهای آزمایش کارخانه ای و یا از آزمایشهای فیزیکی به دست می آید، کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- F_{yr} = تنش تسلیم حداقل مقرر برای فولاد آرماتور، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۲-۹)
- F_{ys} = تنش تسلیم استاتیکی، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۱۴)
- F_{yst} = تنش تسلیم حداقل مقرر مصالح سخت کننده ها، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پیوست ۴-۷)



- F_{yw} = تنش تسلیم حداقل مقرر جان تیرها، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۲-۶)
- G = مدول الاستیسیته برشی فولاد، مساوی 0.8×10^6 کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۳-۱-۶)
- H = نیروی افقی، تن (۲-۱-۸)
- H_s = طول اتصال برشی از نوع گلمیخی بعد از جوشکاری، سانتی متر (۵-۳-۹)
- I = ممان اینرسی، سانتی متر به توان چهار
- I_d = ممان اینرسی کف فولادی متکی به اعضای ثانوی، سانتی متر به توان چهار (۲-۱۱)
- I_p = ممان اینرسی اعضای اصلی، سانتی متر به توان چهار (۲-۱۱)
- I_s = ممان اینرسی اعضای ثانوی، سانتی متر به توان چهار (۲-۱۱)
- I_{st} = ممان اینرسی سخت‌کننده‌های عرضی، سانتی متر به توان چهار (پیوست ۷-۴)
- J = ثابت پیچشی مقطع، سانتی متر به توان چهار (۳-۱-۶)
- k = ضریب طول مؤثر برای اعضای منشوری (۲-۳)
- K_s = ضریب لغزش (۳-۱۰)
- K_y = ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی (پیوست ۳-۵)
- K_r = ضریب طول مؤثر برای اعضا با ارتفاع متغیر (پیوست ۳-۴-۶)
- L = طول آزاد یک عضو که از مرکز ثقل تا مرکز ثقل اعضای مهارکننده اندازه‌گیری می‌شود، سانتی متر (۲-۵)
- L = ارتفاع یک طبقه، سانتی متر (۲-۱-۸)
- L = فاصله در امتداد نیرو، از مرکز یک سوراخ استاندارد یا بزرگتر از اندازه و یا از مرکز گردی انتهایی یک سوراخ لوبیایی تا لبه قطعه اتصال یافته (۶-۳-۱۰)
- L = بار زنده برحسب وظیفه ساختمان (۴-۳-۱)
- L_b = طول مهارنشده جانبی، فاصله بین نقاطی که یا در آنها حرکت جانبی بال فشاری منع شده و یا اینکه در آنها از چرخش مقطع جلوگیری گردیده است، سانتی متر (۲-۱-۶)
- L_c = طول اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی متر (۴-۵-۹)
- L_p = حداکثر طول مهارنشده جانبی جهت حصول ظرفیت کامل لنگر پلاستیک برای حالت لنگر خمشی یکنواخت، $C_b = 1$ ، سانتی متر (۲-۱-۶)
- L_p = فاصله ستونها در امتداد تیرهای خمال، سانتی متر (۲-۱۱)
- L_{pd} = حداکثر طول مهارنشده جانبی برای تحلیل خمیری، سانتی متر (۲-۱-۶)
- L_r = حداکثر طول مهارنشده جانبی برای کمانش جانبی - پیچشی غیرخطی، سانتی متر (۲-۱-۶)

- $L_r =$ بار زنده پشت بام (۱ - ۴ - ۱)
- $L_s =$ فاصله ستونها در امتداد عمود بر تیرهای حمال، سانتی متر (۱۱ - ۲)
- $M_1 =$ لنگر کوچکتر در انتهای طول مهارنشده یک تیر و یا یک تیر - ستون، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۳)
- $M_2 =$ لنگر بزرگتر در انتهای طول مهارنشده یک تیر و یا یک تیر - ستون، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۳)
- $M_{cr} =$ لنگر کمانشی الاستیک، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۴)
- $M_{II} =$ مقاومت خمشی لازم در یک عضو جهت مقابله با انتقال جانبی قاب، کیلوگرم - سانتی متر (۸ - ۱)
- $M_n =$ مقاومت اسمی خمشی، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۲)
- $M'_{nx} =$ مقاومت خمشی طبق روابط (پ - ۸ - ۳ - ۷ و ۸) برای استفاده در نوع دیگر معادلات اندرکنش برای خمش توأم با نیروی محوری، کیلوگرم - سانتی متر (پ - ۸ - ۳)
- $M_{ni} =$ مقاومت خمشی لازم در یک عضو با فرض اینکه قاب فاقد انتقال جانبی است، کیلوگرم - سانتی متر (۸ - ۱)
- $M_p =$ لنگر خمشی پلاستیک، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۱)
- $M'_p =$ لنگر طبق تعریف روابط (پ - ۸ - ۳ - ۵) و (پ - ۸ - ۳ - ۶) جهت استفاده در نوع دیگر معادلات مربوط به اثر توأم خمش با نیروی محوری، کیلوگرم - سانتی متر (پ - ۸ - ۳)
- $M_r =$ حد لنگر کمانشی، M_{cr} وقتی که $\lambda = \lambda_r$ و $C_b = 1$ می باشد، کیلوگرم - سانتی متر (۶ - ۱ - ۳)
- $M_{II} =$ مقاومت خمشی لازم، کیلوگرم - سانتی متر (۸ - ۱)
- $N =$ طول محل اتکا، سانتی متر (۱۱ - ۱ - ۳)
- $N_r =$ تعداد اتصالات برشی از نوع گلمیخ در یک پشت بند از کف فولادی در محل تلاقی با تیر (۹ - ۳ - ۵)
- $P =$ نیروی انتقال یافته توسط یک وسیله اتصال (پیچ یا پرچ) به قطعه اتصال یافته بحرانی، کیلوگرم (۱۰ - ۳ - ۹)
- $P_e =$ بار کمانشی الاستیک، کیلوگرم (۹ - ۴)
- $P_e =$ مقاومت کمانشی اولیه، کیلوگرم (۸ - ۱)
- $P_n =$ مقاومت محوری اسمی (کشش یا فشار) کیلوگرم (۴ - ۱)
- $P_p =$ بار انکابی روی بتن، کیلوگرم (۱۰ - ۹)



- P_u = مقاومت محوری مورد نیاز (کشش یا فشار)، کیلوگرم (۱ - ۸)
 P_y = مقاومت تسلیم، کیلوگرم (۱ - ۵ - ۲)
 Q = ضریب تقلیل کامل برای عناصر لاغر فشاری (پ - ۵ - ۳)
 Q_a = ضریب تقلیل برای عناصر فشاری سخت شده لاغر (پ - ۲ - ۵)
 Q_n = مقاومت اسمی یک اتصال برشی از نوع گلمیخ، کیلوگرم (۵ - ۹)
 Q_s = ضریب تقلیل برای عناصر فشاری سخت نشده (پ - ۲ - ۵ - ۳)
 R = بار اسمی در اثر آب باران و یا یخ اولیه بدون احتساب سهم آب انباشتگی (۱ - ۴ - ۱)
 R_{PG} = ضریب تقلیل مربوط به مقاومت خمشی تیورورها (۲ - ۷)
 R_e = ضریب تیورور دوگانه (۲ - ۷)
 R_n = مقاومت اسمی (۱ - ۵ - ۳)
 R_v = مقاومت برشی در جان، کیلوگرم (۷ - ۱ - ۱۱)
 S = اساس مقطع الاستیک، سانتی متر به توان سه
 S = فاصله بندی اعضای ثانوی، سانتی متر (۲ - ۱۱)
 S = بار برف (۱ - ۴ - ۱)
 S_x = اساس مقطع الاستیک حول محور ثنوی، سانتی متر به توان سه (۳ - ۱ - ۶)
 S'_x = اساس مقطع الاستیک انتهای بزرگتر یک عضو با ارتفاع متغیر حول محور قوی، سانتی متر به توان سه (پ - ۶ - ۱ - ۷)
 $(S_x)_{eff}$ = اساس مقطع مؤثر حول محور قوی، سانتی متر به توان سه (پ - ۶ - ۱ - ۷)
 S_w = اساس مقطع الاستیک مربوط به بال کششی، سانتی متر به توان سه (پ - ۷ - ۲)
 S_{wc} = اساس مقطع الاستیک مربوط به بال فشاری، سانتی متر به توان سه (پ - ۷ - ۲)
 T = نیروی کششی ضریبدار اعمال شده به یک پیچ، کیلوگرم (۵ - ۳ - ۱۰)
 T_b = بار پیش کشیده مشخصه برای پیچهای پر مقاومت، کیلوگرم (۵ - ۳ - ۱۰)
 U = ضریب تقلیل جهت استفاده در محاسبه سطح مقطع مؤثر (۳ - ۲)
 U_p, U_s = به ترتیب شاخص تنش آب انباشتگی بر اعضای اصلی و ثانوی (پ - ۱۱ - ۲)
 V = نیروی اصطکاک جهت تحمل برش، کیلوگرم (۲ - ۱۰ - ۱۰)
 V_n = مقاومت اسمی برشی، کیلوگرم (۲ - ۲ - ۶)
 V_u = مقاومت برشی لازم، کیلوگرم (پ - ۷ - ۴)
 W = نیروی باد (۱ - ۴ - ۱)



- X_1 = ضریب کمانش تیرها طبق رابطه ۶-۱-۸ بخش ۶-۱-۳
- X_2 = ضریب کمانش تیرها طبق رابطه ۶-۱-۹ بخش ۶-۱-۳
- Z = اساس مقطع پلاستیک، سانتی متر به توان سه
- a = فاصله خالص بین سخت‌کننده‌های عرضی، سانتی متر (۶-۲-۲)
- a = فاصله بین قطعات اتصال در یک عضو ساخته شده از چند نیمرخ، سانتی متر (۵-۴)
- u = کوتاهترین فاصله از لبه یک سوراخ متعلق به خار مغزی تا لبه عضو در امتدادی موازی با امتداد نیرو، سانتی متر (۴-۳)
- a_r = نسبت سطح مقطع جان به سطح مقطع بال فشاری (پ-۷-۲)
- b = عرض عنصر فشاری در مقطع (جدول ۲-۵-۱)
- b_e = عرض مؤثر کاهش یافته برای عناصر فشاری لاغر، سانتی متر (پ-۲-۵-۳)
- b_{eff} = فاصله مؤثر از لبه، سانتی متر (۴-۳)
- b_f = عرض بال، سانتی متر (۱۱-۱-۵)
- c_1, c_2, c_3 = ضرایب عددی (۹-۲-۲)
- d = قطر اسمی و سایر اتصال (پرچ یا پیچ)، سانتی متر (۹-۲-۲)
- d = عمق (ارتفاع) کل عضو، سانتی متر (۶-۲-۱)
- d = قطر خار مغزی، سانتی متر (۴-۳)
- d = قطر غلتک، سانتی متر (۱۰-۸-۲)
- d_t = عمق انتهای بزرگتر از یک قطعه مهارنشده در عضو با ارتفاع متغیر (پ-۶-۳)
- d_c = عمق خالص جان در حد فاصل انتهای گردی اتصال بال به جان (۱۱-۱-۵)
- d_h = قطر یک سوراخ با اندازه استاندارد، سانتی متر (۱۰-۳-۹)
- d_o = عمق انتهای کوچکتر از یک قطعه مهارنشده در عضو با ارتفاع متغیر (پ-۶-۳)
- e = پایه لگاریتم طبیعی
- f = تنش فشاری محاسبه شده در عناصر سخت‌شده، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پ-۲-۵-۳)
- f_n = تنش محوری محاسبه شده در مقطع ستونها، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۱-۵-۱)
- F_{b1} = کوچکترین تنش خمشی محاسبه شده در یک انتهای یک قطعه از عضو با ارتفاع متغیر کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پ-۶-۳)
- F_{b2} = بزرگترین تنش خمشی محاسبه شده در یک انتهای یک قطعه از عضو با ارتفاع متغیر کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پ-۶-۳)



- f'_c = مقاومت فشاری مقرر بتن، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۲-۹)
 f_o = تنش حاصل از $(1.2D+1.2R)$ ، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (پ-۱۱-۲)
 f_t = تنش کششی محاسبه شده در پیچها و پرچها، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۴-۳-۱۰)
 f_{un} = تنش قائم مورد نیاز، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۸)
 f_{uv} = تنش برشی مورد نیاز، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۲-۸)
 f_v = تنش برشی محاسبه شده در مقطع پیچها و پرچها، کیلوگرم بر سانتی متر مربع (۴-۳-۱۰)
 g = فاصله عرضی* مرکز تا مرکز پیچها در مسیر گسیختگی (۲-۲)
 g = شتاب ثقل زمین مساوی ۹۸۱ سانتی متر بر مجذور ثانیه (۳-۴-۱)
 h = فاصله خالص بین بالهای تیر، سانتی متر، در تیرهای نورد شده از این مقدار، شعاع گردی موجود در محل اتصال بال به جان تیر کم می شود. در تیرورقهای پیچی یا پرچی، فاصله بین پیچها یا پرچهای اتصال به جان می باشد و در تیرورقهای جوشی، فاصله خالص بین بالهاست (۱-۵-۲)
 h_c = عمق فرضی جان جهت محاسبات پایداری، سانتی متر (۱-۵-۲)
 h_p = ارتفاع اسمی کنگره (پشت بند)، سانتی متر (۵-۳-۹)
 h_s = ضریب استفاده شده در رابطه (پ-۶-۴-۶) برای اعضا با ارتفاع متغیر (پ-۶-۳-۶)
 h_w = ضریب استفاده شده در رابطه (پ-۶-۴-۷) برای اعضا با ارتفاع متغیر (پ-۶-۳-۷)
 j = ضریب تعریف شده در رابطه (۱-۳-۱۶) جهت تعیین ممان اینرسی حداقل سخت کننده های عرضی (۳-۶)
 k = ضریب کمانش ورق جان تیر (۲-۲-۶)
 k = فاصله از سطح خارجی بال تا انتهای گردی اتصال بال به جان، سانتی متر (۵-۱-۱۱)
 l = بزرگترین طول مهار نشده در راستای یکی از بالها در نقطه بارگذاری، سانتی متر (۵-۱-۱۱)
 l = طول اتکا، سانتی متر (۲-۸-۱۰)
 m = نسبت تنش تسلیم جان به تنش تسلیم بال و یا تنش بحرانی در تیرهای دوگانه (پ-۷-۲)
 r = شعاع ژیراسیون حاکم، سانتی متر (۲-۱۱)
 r_{T_o} = مقدار شعاع ژیراسیون r_T برای انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر، سانتی متر (پ-۳-۳-۶)

* فاصله عرضی در امتداد عمود بر امتداد تأثیر نیرو اندازه گیری می شود.

- r_T = شعاع ژیراسیون بال فشاری به انضمام یک سوم از قسمت فشاری جان که حول محوری در صفحه جان محاسبه می شود، سانتی متر (پ - ۶ - ۱ - ۷)
- r_i = شعاع ژیراسیون حداقل یک نیمرخ مستقل در مقطع یک عضو ساخته شده از چند نیمرخ، سانتی متر (۵ - ۲)
- r_m = شعاع ژیراسیون نیمرخهای فولادی، لوله و یا قوطی در ستونهای مرکب، برای نیمرخهای فولادی این مقدار نباید از $\frac{1}{3}$ برابر ضخامت کل مقطع مرکب کمتر باشد، سانتی متر (۹ - ۲)
- \bar{r}_o = شعاع ژیراسیون قطبی حول مرکز برش، سانتی متر (۵ - ۳)
- r_{ox}, r_{oy} = به ترتیب شعاع ژیراسیون حول محور x و y در انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر، سانتی متر (پ - ۶ - ۳ - ۳)
- r_x, r_y = به ترتیب شعاع ژیراسیون حول محورهای x و y ، سانتی متر (۶ - ۱ - ۱ و ۵ - ۳)
- s = فاصله طولی از مرکز تا مرکز دو سوراخ متوالی در مسیر گسیختگی، سانتی متر (۲ - ۲)
- t = ضخامت قطعه وصل شده، سانتی متر (۱۰ - ۳ - ۶)
- t = ضخامت قطعه بحرانی، سانتی متر (۱۰ - ۳ - ۹)
- t_f = ضخامت بال، سانتی متر (۲ - ۵ - ۱)
- t_f = ضخامت بال اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی متر (۹ - ۵ - ۴)
- t_w = ضخامت جان اتصال برشی از نوع ناودانی، سانتی متر (۹ - ۵ - ۴)
- t_w = ضخامت جان، سانتی متر (۶ - ۲ - ۱)
- w = عرض ورق، فاصله بین جوشها، سانتی متر (۲ - ۳)
- w = وزن واحد حجم بتن، کیلوگرم بر متر مکعب (۹ - ۲)
- w_p = پهنای متوسط ماهیچه یا برآمدگی بتن، سانتی متر (۹ - ۳ - ۵)
- x = اندیسی که علامت را به خمش حول محور قوی ربط می دهد.
- x_o, y_o = مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح، سانتی متر (۵ - ۳)
- y = اندیسی که علامت را به خمش حول محور ضعیف ربط می دهد.
- z = فاصله از انتهای کوچکتر یک عضو با ارتفاع متغیر که در رابطه (پ - ۶ - ۳ - ۱) برای تغییرات در عمق استفاده می شود، سانتی متر (پ - ۶ - ۳)
- Δ_{oh} = تغییر شکل انتقالی طبقه ساختمانی مورد بحث، سانتی متر (۸ - ۱)
- γ = نسبت تغییرات عمق (پ - ۶ - ۳) و نیز اندیس جهت اعضا با ارتفاع متغیر (پ - ۶ - ۳)



- ξ = نمای توانی برای نوع دیگری از معادله اندرکنش تیر-ستونها (پ - ۸ - ۳)
 η = نمای توانی برای نوع دیگری از معادله اندرکنش تیر-ستونها (پ - ۸ - ۳)
 λ_c = پارامتر لاغری ستونها (۲ - ۵)
 λ_e = پارامتر لاغری معادل (پ - ۵ - ۳)
 λ_{eff} = نسبت لاغری مؤثر که توسط رابطه (پ - ۶ - ۳ - ۲) تعریف می‌گردد (پ - ۶ - ۳)
 λ_p = حد پارامتر لاغری برای عناصر فشرده، (۲ - ۵ - ۱)
 λ_r = حد پارامتر لاغری برای عناصر غیرفشرده (۲ - ۵ - ۱)
 μ = ضریب اصطکاک (۱۰ - ۱۰ - ۲)
 ϕ = ضریب مقاومت (۱ - ۵ - ۳)
 ϕ_b = ضریب مقاومت برای خمش (۲ - ۱)
 ϕ_c = ضریب مقاومت برای فشار (۲ - ۵)
 ϕ_c = ضریب مقاومت برای ستونهای مرکب با بازگذاری محوری (۲ - ۲ - ۹)
 ϕ_{ff} = ضریب مقاومت برای برش در مسیر گسیختگی (۲ - ۴)
 ϕ_t = ضریب مقاومت برای کشش (۱ - ۴)
 ϕ_v = ضریب مقاومت برای برش (۲ - ۲ - ۶)



کلیات

۱-۱- گستره

آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی، به‌عنوان یک روش دیگر طراحی، به موازات «طراحی به روش تشبیهی مجاز» و «طراحی به روش 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 به کار رود.

۲-۱- مبانی طراحی

۱-۲-۱- هدف طراحی

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

الف: ایمنی

منظور از ایمنی این است که مجموعه سازه، شامل قطعات و اتصالات آن، طوری سازمان داده شوند

که سازه از انجام 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 شده ساختمان مزاحمت فراهم نکند و:

۱. تحت اثر بارها و سربارهای متعارف در آن ترک خوردگی و تغییر شکل بیش از حد به وجود نیاید به طوری که اجزای غیرسازه‌ای، نظیر نازک‌کاری و تیغه‌ها، دچار آسیب شوند.
۲. در اثر لرزش، در استفاده کنندگان احساس ناامنی به وجود نیاید.

پ: پایایی

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

۱-۳- روش طراحی

۱-۳-۱ - 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 به هیچ یک از حالات ویژه که اصطلاحاً «حالت‌های حدی» نامیده می‌شوند، نرسد.

حالت‌های حدی حالاتی هستند که سازه یا قسمتهایی از آن تا رسیدن به آنها وظایف خود را به‌طور کامل انجام می‌دهند، ولی پس از رسیدن به هر یک از آنها قادر به انجام وظایف خود در آن حالت خاص نبوده، از حیز انتفاع ساقط می‌شوند.

حالات حدی به دو گروه حالات حدی نهایی (مقاومت) و حالات حدی بهره‌برداری مطابق جدول ۱-۱، تقسیم می‌شوند.

جدول ۱-۱ - حالات حدی

حالات حدی بهره‌برداری	حالات حدی نهایی (مقاومت)
۵ - تغییر شکل	۱ - حالات حدی مقاومت (مشمول بر نسلیم، گسیختگی، کمانش، تبدیل سازه به یک مکانیسم)
۶ - ارتعاش	۲ - ناپایداری در مقابل واژگونی و تغییر مکان جانبی
۷ - خسارات قابل تعمیر به علت خستگی	به حدی که شکل هندسی و در نتیجه رفتار سازه را به کلی تغییر دهد
۸ - خوردگی و پایایی	۳ - گسیختگی به علت خستگی
	۴ - تردشکنی

- ۱-۳-۲- در طراحی سازه‌ها علاوه بر بررسی حالات حدی ملاحظات زیر باید رعایت شوند:
- الف - اجزای مختلف سازه و اتصالات آنها باید چنان سازماندهی شوند که پایداری کلی و انسجام سازه تأمین شود. باید اطمینان حاصل شود که سازه در اثر آسیب موضعی اتفاقی، دچار گسیختگی کلی و یا گسیختگی زنجیره‌ای نخواهد شد.
- ب - مقاومت سازه در مقابل آتش‌سوزی یا پیش‌بینی تمهیدات خاص، باید تأمین شود. در این مورد رعایت آیین‌نامه‌های خاص این موضوع الزامی است.
- پ - پایایی سازه در مقابل عوامل خوردنده یا پیش‌بینی تمهیدات مناسب تأمین شود.
- ت - طراحی سازه باید جزئی از جریان طراحی، اجرا، و نگهداری تلقی شود.

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

۱-۳-۴- طراحی در حالات حدی نهایی

در این حالت حدی، طراحی اعضای مختلف سازه چنان صورت می‌گیرد که مقاومت نهایی طرح یا حداکثر ظرفیت باربری عضو در هر مقطع، بزرگتر یا مساوی با تلاشهای موجود در آن مقطع تحت اثر بارهای نهایی وارد به سازه باشد:

$$S_n \leq \phi S_n \quad (1-1)$$

در رابطه فوق، S_n مقاومت نهایی اسمی عضو در مقطع مورد نظر و S_n 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.

۱-۴-۳-۱- 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.



۱-۳-۴-۲ - ضرایب تقلیل مقاومت ϕ

در این آیین‌نامه، ضرایب تقلیل مقاومت ϕ به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\phi_c = 0.85 \quad (\text{برای فشار محوری})$$

$$\phi_v = 0.90 \quad (\text{برای برش})$$

$$\phi_b = 0.90 \quad (\text{برای لنگر خمشی})$$

$$\phi_t = 0.90 \quad (\text{برای تسلیم عضو کششی})$$

$$\phi_f = 0.75 \quad (\text{برای شکست عضو کششی})$$

۱-۳-۴-۳ - 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:

$$1.4D$$

$$1.25D + 1.5L$$

$$D + 1.2L \pm (1.4E \text{ یا } 1.2W)$$

$$0.85D \pm (1.4E \text{ یا } 1.2W)$$

$$1.25D + 1.5L + (1.5H \text{ یا } 1.25F)$$

$$0.85D + (1.5H \text{ یا } 1.25F)$$

$$D + 1.2L + T$$

$$1.25D + 1.25T$$

در ترکیبات فوق:

D = بار مرده

L = بار زنده برحسب نوع استفاده از ساختمانها و کلیه تجهیزات متحرک (شامل بار برف و

برکه‌ای شدن آب باران)

E = بار زلزله

W = بار باد

H = فشار جانبی خاک یا آب تحت الارضی



$$F = \text{فشار مایع}$$

$$T = \text{اثر تجمعی حرارت و نشست تکیه گاهی}$$

۱-۳-۵ - کنترل برای حالت حدی بهره‌برداری

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

۱-۴ - انواع سیستمهای سازه‌ای

در این آیین‌نامه سه گروه اصلی اسکلت ساختمانی و مفروضات محاسباتی مربوط به آنها، ملاک طرح و محاسبه سازه‌ها قرار گرفته است. هر یک از این گروه‌ها با مشخصاتی مختص به خود، تعیین‌کننده ابعاد اعضای سازه، نوع و مقاومت اتصالات مربوطه می‌باشد.

گروه ۱ - قابهای خمشی: (قابها با اتصالات صلب) که در آنها فرض می‌شود اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب است به طوری که در تغییر شکل قاب، زاویه اولیه بین تیر و ستون ثابت باقی می‌ماند.

گروه ۲ - 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 - قابهای نیمه صلب: که در آنها فرض می‌شود اتصال انتهای تیرها و شاهتیرها دارای ظرفیت خمشی به مقداری 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 کلیه اتصالات در هر کدام از گروه‌های فوق در جوابگویی به مفروضات مربوط به آن گروه انجام شود. استفاده از قابهای گروه ۱ در ساختمانها در همه حالاتها 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 تشکیل‌دهنده آن در مقابل نیروهای جانبی در حدی قابل قبول می‌باشد.

ب) ظرفیت تیرها و شاستیرها 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 (به تنهایی 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.

۵-۱ - مصالح فولادی

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

۶-۱ - بارهای محاسباتی

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

۱-۶-۱ - بار مرده به‌کار رفته در طرح و محاسبه باید شامل وزن کلیه اجزای ساختمان با احتساب اجزای فولادی و وسایل ثابت باشد.

۱-۶-۲ - بار زنده (سربار) باید شامل کلیه بارهای مؤثر اضافی که در نتیجه استفاده و بهره‌برداری از ساختمان بر آن تحمیل می‌گردد، باشد. بارهای زنده به دو دسته بارهای ایستا و بارهای ضربه‌ای تقسیم می‌شوند که اثرات ضربه در بارهای ضربه‌ای باید طبق آیین‌نامه 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 جراثقالهای 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 شماره ۵۱۹ محاسبه می‌گردد، باید در دوره ساخت و بهره‌برداری در نظر گرفته شود.

۱-۶-۴- بار زلزله

اثر زلزله طبق استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران در نظر گرفته می‌شود. طراحی و محاسبه عناصر باربر و اتصالات آنها باید با توجه به تراز شکل‌پذیری لازم در زلزله، انجام شود.

۱-۶-۵- بار برف

شدت بار هموار گسترده معادل بار برف، با توجه به منطقه‌ای که سازه در آنجا احداث می‌شود، از استاندارد شماره ۵۱۹ ایران انتخاب می‌شود.

۱-۶-۶- بارهای در حین اجرا

اسکلت سازه باید قادر به حمل بارهای وارده در حین ساختمان باشد. بارهای اجرایی طبق آیین‌نامه ۵۱۹ ایران تعیین می‌شوند.

۱-۶-۷- نیروهای پایداری

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



۱-۷ - 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 دهانه 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 دهانه بزرگتر مجاور ستون مورد نظر و فقط در طبقه

مورد بررسی.

۲. حالتی از بارگذاری بار زنده که در آن، حداکثر خارج قسمت لنگرهای خمشی به بارهای

محوری در ستون حاصل شود.

۳. بار مرده و زنده در تمام دهانه‌ها

اگر مقدار بار زنده کوچکتر یا مساوی ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع بوده و از سه چهارم بار مرده

تجاوز ننماید، در هر دو بند الف و ب، فقط بارگذاری حالت ۳ کافی خواهد بود.

۱-۸ - تحلیل سازه

در این آیین‌نامه، روشهای تحلیل زیر مجاز می‌باشد:

۱- تحلیل خطی

در این روش تحلیل، کلیه تلاشها در مقاطع مختلف سازه با فرض خطی بودن رفتار مصالح و کوچک

بودن تغییرشکل‌های ایجاد شده و براساس تئوری الاستیسیته تعیین می‌شوند.

۲- تحلیل خطی با بازپخش محدود

در این روش، فرضهای منظور شده عیناً مانند روش تحلیل خطی است. علاوه بر آنها، اجازه داده می‌شود

تلاشهای موجود در مقاطع مختلف با توجه به مشخصات مکانیکی آنها به مقدار 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 به ستون، می‌توانند برای $\frac{9}{10}$ لنگر منفی حداکثر تکیه‌گاهی حاصل از بارهای ثقلی طراحی گردند، به شرطی که برای چنین اعضایی حداکثر لنگر مثبت به میزان $\frac{1}{10}$ 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 صورتی که لنگرهای منفی مذکور به وسیله ستونی که به شکل صلب به تیر و یا شاهتیر قاب شده است تحمل گردد، این تقلیل $\frac{1}{10}$ را می‌توان در طراحی ستون مذکور در مقابل اثر ترکیب بار محوری و لنگر خمشی نیز منظور کرد، به شرطی که تنش محوری حاصل از اعمال همزمان هر گروه از بارهای محوری بر عضو مورد بحث از $0.15F_c$ تجاوز ننماید. F_c مقاومت محوری طرح عضو می‌باشد.

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

۳- تحلیل غیرخطی

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

۴- تحلیل حدی (تحلیل خمیری)

در این روش تحلیل، کلیه تلاشها با فرض رفتار صلب - خمیری مقاطع و با استفاده از تئوری پلاستیسیته با بررسی مکانیسمهای خرابی تعیین می‌شوند.

۱-۹- مدارک طراحی و محاسبه

۱-۹-۱- نقشه‌ها

نقشه‌های سازه باید طرح کامل مقاطع، محل قرار گرفتن اعضای سازه نسبت به یکدیگر، 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، به طوری که با مراجعه به آنها 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 اصطکاکي، 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.

۱-۹-۲ - 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 کم کردن 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.

۱-۱۰-۱ - شکل‌پذیری

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



مقررات عمومی

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

۲-۱- 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 نبشها، عرض کل عبارت است از مجموع عرض دو ساق منهای ضخامت.

۲-۲- سطح مقطع خالص

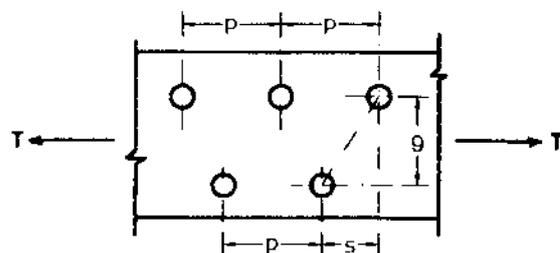
سطح مقطع خالص هر عضو برابر مجموع حاصلضرب ضخامت در عرض خالص هر جزء از مقطع می‌باشد و به شرح زیر محاسبه می‌شود:

در محاسبه سطح مقطع خالص در کشش، قطر سوراخ پیچ یا پرچ باید به اندازه 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، به اضافه مقدار $s^2/4g$ به ازای هر فاصله عرضی بین خطوط پیچها. در رابطه فوق:

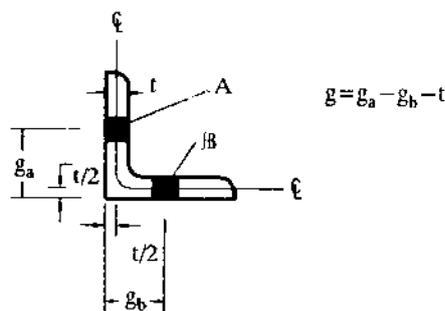


s = فاصله مرکز تا مرکز دو سوراخ متوالی در امتداد نیرو (cm). به s گام طولی گفته می‌شود.
 g = فاصله مرکز تا مرکز بین دو خط پیچ یا پرچ در امتداد عرضی (cm). به g گام عرضی گفته می‌شود.



شکل ۱-۲

در مورد نبشیه‌ها، فاصله عرضی بین دو خط پیچ یا پرچ که در دو بال مجاور نبشی قرار دارند، باید مساوی مجموع فواصل هر خط پیچ یا پرچ تا رأس نبشی، منهای ضخامت نبشی در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۲

سطح مقطع خالص بحرانی یک عضو، A_n عبارت از سطح مقطعی می‌باشد که از خط گسیختگی که کمترین عرض خالص را به دست بدهد، ایجاد شود.
 در مقطعی که یک جوش انگشترانه یا کام را قطع می‌نماید، ضخامت فلز جوش را نباید در محاسبه سطح مقطع خالص منظور نمود.

۲-۳ - سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی

سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱. چنانچه بار به وسیله پیچ یا پرچ یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد، سطح مقطع خالص مؤثر A_e برابر سطح مقطع خالص A_n می‌باشد.
۲. چنانچه بار کششی به وسیله پیچ یا پرچ یا جوش توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام

آن منتقل گردد، سطح مقطع مؤثر A_e به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$A_e = AU \quad (۱-۳-۲)$$

که در آن:

$$U = \text{ضریب کاهش طبق رابطه}$$

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

$$\bar{x} = \text{برون محوری اتصال}$$

$$L = \text{طول اتصال در امتداد نیرو}$$

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

$$A = \text{طبق تعاریف زیر:}$$

الف: وقتی که بار کششی توسط پیچ یا پرچ منتقل گردد:

$$A = A_n$$

سطح مقطع خالص عضو =

ب: وقتی که بار کششی فقط توسط جوش طولی به عضوی غیر از ورق و یا جوش طولی در

ترکیب یا جوش عرضی منتقل گردد:

$$A = A_g$$

سطح مقطع کلی عضو =

پ: وقتی که بار کششی فقط توسط جوش عرضی منتقل گردد.

سطح مقطع عضوی که به طور مستقیم اتصال یافته $A =$

$$U = 1.0$$

ت: چنانچه انتقال بار به ورق، به وسیله دو خط جوش طولی در امتداد دو لبه در انتهای ورق

انجام شود، برای $l \geq w$ داریم:

$$A = \text{سطح مقطع ورق}$$

و همچنین:

$$l > 2w \dots\dots\dots U = 1.0$$

$$2w > l > 1.5w \dots\dots\dots U = 0.87$$

$$1.5w > l > w \dots\dots\dots U = 0.75$$

$l =$ طول جوش (cm)

$w =$ عرض ورق (فاصله بین جوشهای طولی) (cm)

تبصره: در مورد ورتهای اتصال اعضای کششی، به بخش ۱۰ - ۵ - ۲ مراجعه شود.



۲-۴- پایداری

پایداری عمومی کل سازه و هر کدام از اعضای آن باید تأمین گردد. همچنین تأثیرات قابل توجه بار در روی هندسه تغییرشکل یافته سازه و یا اجزای آن باید مدنظر قرار گیرد.

۲-۵- کمانش موضعی

۲-۵-۱- طبقه‌بندی نیمرخهای فولادی

نیمرخهای فولادی به سه 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 به ضخامت عناصر فشاری آن نباید از نسبت عرض به ضخامت λ_p مشخص شده در جدول ۲-۵-۱ تجاوز نماید. اگر نسبت عرض به ضخامت 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 به ضخامت از λ_r مشخص شده در جدول ۲-۵-۱ تجاوز نماید، در این صورت جزء فشاری به‌عنوان جزء فشاری لاغر به حساب می‌آید.

عرض آزاد عناصر با یک لبه متکی

عرض آزاد عناصری که در آنها فقط یک لبه به موازات نیروی فشاری متکی می‌باشد، به‌نحو زیر محاسبه می‌شود:

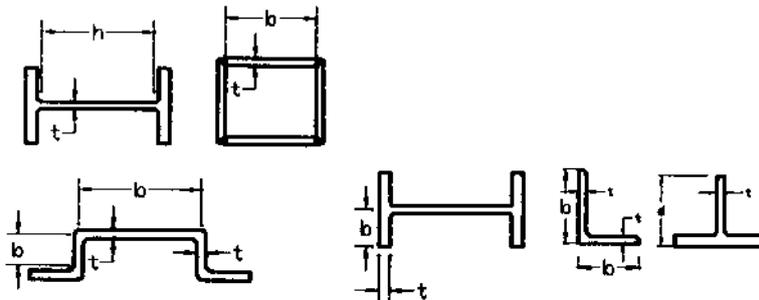
- الف: برای بال نیمرخ I و T ، عرض b برابر نصف عرض اسمی بال نیمرخ است.
- ب: برای بال نبشیها، ناودانها و مقاطع Σ ، عرض b برابر عرض اسمی کامل آنها است.
- پ: برای ورقها، عرض b برابر فاصله لبه آزاد تا اولین خط جوش و یا پیچ و پرچ است.
- ت: برای تیغه سپریها، d برابر عمق اسمی کامل نیمرخ است.

عرض آزاد عناصر با دو لبه متکی

عرض آزاد عناصری که در آنها هر دو لبه به موازات نیروی فشاری متکی می‌باشد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

- الف: برای جان نیمرخهای نوردشده یا تاشده، h فاصله بین آغازگردی ریشه اتصال جان به بال

می‌باشد. و h_e دو برابر فاصله محور خنثی تا آغازگردی ریشه اتصال جان به بال فشاری است.
 ب: برای جان نیمرخهای ساخته شده از ورق، h برابر فاصله بین نزدیکترین دو خط پیچ یا پرچ و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h برابر فاصله آزاد بین دو بال است و h_e دو برابر فاصله بین محور خنثی و نزدیکترین خط پیچ یا پرچ بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h_e دو برابر فاصله آزاد بین محور خنثی و بال فشاری است.
 پ: در مورد ورق تقویتی مقاطع زوج، عرض b برابر فاصله دو خط پیچ یا پرچ یا دو خط جوش است.



ت: در مورد بال نیمرخهای جعبه‌ای مربع یا مستطیل، عرض b برابر فاصله آزاد بین آغازگردی ریشه اتصال بال به جان است. اگر شعاع‌گردی مشخص نباشد، عرض b را می‌توان فاصله پشت به پشت جان، منهای سه برابر ضخامت جان در نظر گرفت.
 در مورد بال نیمرخهای نوردشده که ضخامت آنها متغیر است، ضخامت در محلی که فاصله آن از لبه آزاد و جان نیمرخ به یک اندازه است در نظر گرفته شود.

۲-۵-۲- نیمرخ برای تحلیل خمیری (پلاستیک)

تحلیل پلاستیک در صورتی مجاز است که بالهای فشاری در محدوده مفصل پلاستیک و تمام جانها، دارای نسبت عرض به ضخامت کوچکتر یا مساوی k_p مشخص شده در جدول ۲-۵-۱ باشند. در مورد نیمرخهای مدور توخالی به تذکر زیر جدول فوق‌الذکر توجه شود.

۲-۵-۳- عناصر فشاری لاغر

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



جدول ۲-۵-۱ - مقادیر حدی نسبت عرض به ضخامت برای عناصر نشاری ($F_y, \text{kg/cm}^2$)

نسبت حدی عرض به ضخامت		نسبت عرض به ضخامت	توضیح
A_s (هتر نشرده)	A_s (نشرده)		
$1180 / \sqrt{F_y - 700}$	$545 / \sqrt{F_y}$ (ب)	b/h	۱- بال نبرخهای نورشدهٔ آو ناودانی در خمش
$1355 / \sqrt{F_y - 1155} / K_c$ (ج)	$545 / \sqrt{F_y}$ (ب)	b/h	۲- بال نبرخهای دوگانه و یا ساخته شده از ورق در خمش
$910 / \sqrt{F_y} / K_c$ (ج)	موردی ندارد	b/h	۳- بال نبرخهای ۱ در فشار خالص
$795 / \sqrt{F_y}$	موردی ندارد	b/t	۴- بالهای برجسته جفت نشی که در تماس پرسته هستند، بالهای ناودانی در فشار خالص، نشینها و ورقهای برجسته از تیرها یا اعضای نشاری
$640 / \sqrt{F_y}$	موردی ندارد	b/h	۵- بال اعضای نشاری از نشی تک و یا زوج با اقمهٔ فاصله‌دهنده و عناصر سخت‌نشده که فقط در یک لبه تکیه دارند
$1065 / \sqrt{F_y}$	موردی ندارد	d/h	۶- تیرچهٔ نبرخ T

عناصر نشاری با این لبه تکیه دایره شده

الف: برای تیرهای دوگانه، به جای F_y ، از تنش تسلیم بال F_{yB} استفاده نمایید.

ب: با فرض مساحت خالص در عرض تیرین سوراخ

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

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

ث: تنشهای پس‌ماند نشاری در بال مساوی 700 kg/cm^2 برای نبرخ نورشده و مساوی 1155 kg/cm^2 برای نبرخهای جوش شده

$$\text{ج: } K_c = \frac{4}{\sqrt{h/k_e}} \quad 0.35 \leq K_c \leq 0.763$$

چ: برای اعضای بال ناساوی به پیوست ۲ - ۵ - ۱ مراجعه شود.

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

جدول ۲-۵-۱ - مقادیر حدی نسبت عرض به ضخامت برای عناصر فشاری $(F_y, kN/cm^2)$

نسبت حدی عرض به ضخامت			
A_1 (غیر فشرده)	A_2 (فشرده)	نسبت عرض به ضخامت	توضیح
$1995 / \sqrt{F_y}$	$1595 / \sqrt{F_y}$	b/t	۷- پالک تیرهای جعبه‌ای مستطیل یا مربع و تیرهای نواری با ضخامت جدار ثابت که تحت خمش یا فشار می‌باشند، و ورقهای تفریبی و ورقهای دایانراگم در حدفاصل خطوط جوش یا پیچ و برنج
$2660 / \sqrt{F_y}$	موردی ندارد	b/t	۸- عرض تکیه داده نشده ورقهای تفریبی مستطیل (ب)
$8115 / \sqrt{F_y}$ (ج)	$5355 / \sqrt{F_y}$ (ب)	h/L	۹- جان در فشار خمشی (الف)
$8115 \left[\frac{P_u}{\phi_b P_y} \left(1 - 0.75 \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \right] / \sqrt{F_y}$ (ج)	<p>(ب) $P_u / \phi_b P_y \leq 0.125$</p> $\frac{3355}{\sqrt{F_y}} \left[1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y} \right]$ <p>(ب) $P_u / \phi_b P_y > 0.125$</p> $\frac{1600}{\sqrt{F_y}} \left[2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right]$ $\geq \frac{2120}{\sqrt{F_y}}$	h/L	۱۰- جان تحت اثر تورم خمشی و فشار محوری
$231000 / F_y$	$144900 / F_y$ (ت)	D/t	۱۱- تسمیح دایره‌ای توخالی در فشار محوری در خمش
$627900 / F_y$	$144900 / F_y$ (ت)	D/t	
$2120 / \sqrt{F_y}$	موردی ندارد	b/t h/L	۱۲- سایر عناصر سخت‌شده، منگی در دو لبه نواری تیر، که در بالا ذکر نشده‌اند و تحت فشار یکجانبه می‌باشند.

عناصر فشاری با دو لبه تکیه داده شده



مورد تیورورها با جان لاغر به فصل ۷ مراجعه شود.

۲-۶ - مهاربندی در تکیه گاهها

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

۲-۷ - 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 بار کششی قرار دارد ولی در شرایط دیگری ممکن است تحت مقداری فشار قرار گیرند، لازم نیست محدودیت لاغری اعضای فشاری را پرآورده نمایند.

۲-۸ - دهانه‌های ساده

طول دهانه تیرها، شاهتیرها و خرپاهایی که به صورت دهانه ساده طراحی می‌شوند، باید مساوی فاصله مراکز ثقل اعضای تکیه گاهی در نظر گرفته شود.

۲-۹ - گیرداری انتهایی

وقتی که انتهای اعضا به علت یکسرگی یا طره‌ای بودن دهانه، به صورت صلب یا نیمه‌صلب طراحی گردد، باید این اعضا و اعضای تکیه گاهی برای نیروهای حاصل از این فرضیات طراحی گردند، مگر قسمتهایی از اتصال که مقداری تغییرشکل‌های غیرالاستیک، ولی خودمحدود، در آنها اجازه داده شده است.

۲-۱۰ - تناسبات هندسی تیرها و شاهتیرها

تیرهای نوردشده، جوشی، تیورورها، و تیرها با ورق تقویتی بال، باید بر مبنای ممان اینرسی مقطع



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

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

که در آن:

A_{fg} = سطح مقطع کلی بال

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

F_u = حداقل مقاومت کششی مقرر

F_y = تنش تسلیم

در صورت برقراری شرط زیر:

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

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

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

تیرهای دوگانه را می توان براساس سطح مقطع کل طراحی نمود، مشروط بر اینکه نیروی محوری بیشتر از ϕ_b برابر $0.15 A_g F_y$ بر آنها وارد نشود که F_y 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 می توان به کمک 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 اتصال دهنده بال به جان و ورق تقویتی به بال باید بر مبنای برش افقی ناشی از تغییرات لنگر خمشی تیر طراحی شوند. توزیع طولی پیچها، پرچها و جوشهای منقطع باید متناسب با نیروی برشی باشد. لیکن فاصله آنها نباید از مقادیر حداکثر ارائه شده در بند ۴-۵ برای اعضای فشاری و بند ۲-۴ برای اعضای کششی تجاوز نماید. این پیچها، پرچها و جوشها باید برای انتقال هر نیرویی که مستقیماً از طریق بال به جان منتقل می شود، طراحی گردند، مگر اینکه این نیرو به طریقی دیگر به جان انتقال یابد.



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

برای ورقهای تقویتی جوشی، طول ادامه یافته a' که از انتهای ورق اندازه‌گیری می‌شود، به شرح زیر تعریف می‌گردد:

- الف: مساوی عرض ورق تقویت وقتی که جوش گوشه پیوسته با اندازه‌ای بزرگتر یا مساوی $\frac{3}{4}$ ضخامت ورق، در انتها و دو طرف ورق در طول a' اجرا گردد.
- ب: مساوی $1/5$ برابر عرض ورق تقویت وقتی که جوش گوشه پیوسته با اندازه‌ای کوچکتر از $\frac{3}{4}$ ضخامت ورق، در انتها و دو طرف ورق در طول a' اجرا گردد.
- پ: مساوی ۲ برابر عرض ورق تقویت وقتی که جوش گوشه پیوسته فقط در دو طرف ورق تقویت به طول a' اجرا گردد.



قابها و سایر سازه‌ها

این فصل حاوی احتیاجات عمومی برای پایداری کلی سازه‌هاست.

۳-۱- آثار درجه دوم (آثار ثانویه)

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

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

$$M_u = B_1 M_{m1} + B_2 M_{m2} \quad (3-1-1)$$

که در آن:

M_{m1} = لنگر نهایی در عضو با فرض عدم انتقال جانبی در قاب حاصل از یک تحلیل

ارتجاعی درجه اول

M_{m2} = لنگر نهایی در عضو فقط به علت انتقال جانبی در قاب حاصل از یک تحلیل

ارتجاعی درجه اول

$$B_1 = \frac{C_m}{(1 - P_u/P_{e1})} \geq 1 \quad (3-1-2)$$

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

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



K = ضریب طول مؤثر کمانش در صفحه خمش که طبق بخش ۳-۲-۱ برای قاب مهار شده تعیین می‌گردد.

P_u = نیروی محوری نهایی عضو مورد نظر

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

الف - برای اعضای فشاری بدون بار جانبی بین تکیه‌گاهها در صفحه خمش:

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \quad (3-1-3)$$

که در آن M_1/M_2 نسبت لنگر انتهایی کوچکتر به لنگر انتهایی بزرگتر در قطعه واقع بین دو نقطه مهار شده در صفحه خمش مورد نظر است. در صورتی که انحنای قطعه مضاعف باشد، این نسبت مثبت و در صورتی که انحنای قطعه ساده باشد، این نسبت منفی است.

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

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

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

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u \left[\frac{\Delta_{oh}}{\sum HL} \right]} \quad (4-1-3)$$

یا:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}} \quad (5-1-3)$$

که در آن:

$\sum P_u$ = نیروی محوری نهایی تمام ستونهای طبقه

Δ_{oh} = تغییر شکل جانبی

$\sum H$ = 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 صفحه خمش که طبق بخش ۳-۲-۲ برای قاب مهار نشده تعیین می‌گردد.

۳-۲- پایداری قاب

۳-۲-۱- قابهای مهار شده

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 سازه چند طبقه 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 ۱-۳، 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 سقف طبقات و بام که به‌نحو مناسب به‌سازه متصل هستند، توأمأ 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 خرابای مفصلی طره قائم در نظر گرفته شوند. تغییرشکل محوری کلیه اعضای سیستم بادبندی قائم باید در تحلیل پایداری جانبی منظور شود.

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

۳-۲-۲- قابهای مهار نشده

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 چندطبقه مهارنشده، باید شامل اثر ناپایداری قاب و تغییرشکل محوری ستونها تحت بارهای نهایی (ضریب‌دار) ارائه شده در بخش ۱-۳ باشد.

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



اعضای کششی

این فصل مربوط است به طراحی اعضای 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 اعضای که تحت اثر توأم نیروی کششی محوری و لنگر خمشی هستند، به بخش ۸-۱-۱، و برای اعضای که تحت خستگی قرار دارند، به بخش ۱۱-۳، برای میله‌های حدیده شده به بخش ۱۰-۳، و برای اتصال اعضای کششی به بخش ۱۰-۴-۳ و ۱۰-۵-۲ مراجعه نمایید.

۴-۱- 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 - برای تسلیم روی مقطع کل

$$\phi_t = 0.90$$

$$P_n = F_y A_g \quad (1-1-4)$$

ب - برای گسیختگی روی مقطع خالص

$$\phi_t = 0.75$$

$$P_n = F_u A_e \quad (2-1-4)$$



در روابط فوق:

$$A_e = \text{سطح مقطع خالص مؤثر}$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کل}$$

$$F_y = \text{حدافل تنش تسلیم مقرر}$$

$$F_u = \text{حدافل مقاومت کششی مقرر}$$

$$P_u = \text{مقاومت محوری اسمی}$$

اگر اعضا فاقد سوراخ بوده و کلاً به وسیله جوش متصل شده باشند، در رابطه ۴-۱-۲ سطح مقطع خالص مؤثر باید براساس بخش ۲-۳ 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 رابطه ۴-۱-۲ سطح مقطع خالص در محل سوراخها مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- اعضای ساخته شده از چند نیمرخ

فاصله طولی بین وسایل اتصالی که عناصری مانند یک ورق و یک نیمرخ یا دو ورق در تماس به یکدیگر را به هم متصل می نمایند، نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

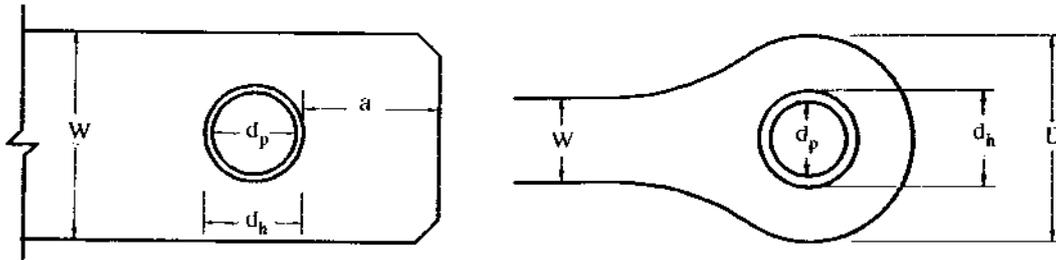
۲۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۳۰ سانتی متر برای اعضای رنگ شده، یا اعضای رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی قرار ندارند.

۱۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۱۸ سانتی متر برای اعضای رنگ نشده از فولاد ضدزنگ که تحت شرایط خوردگی قرار دارند. در این خصوص به بخش ۱۰-۳-۵ نیز مراجعه شود.

فاصله طولی وسایل اتصال عناصر باید ترجیحاً به میزانی باشد که ضریب لاغری هر عنصر بین وسایل اتصال از ۳۰۰ تجاوز ننماید. در اعضای کششی ساخته شده از چند نیمرخ، اتصال عناصر می تواند توسط ورقهای تقویتی مشبک یا قید افقی بدون چپ و راست انجام شود. عرض ورق قیدها نباید از $\frac{2}{3}$ فاصله بین خطوط جوش یا خطوط پیچ و پرچ که قیدها را به عناصر متصل می کنند، کمتر باشد. ضخامت این قیدها نباید از $\frac{1}{50}$ فاصله بین آن خطوط کمتر باشد.

فاصله طولی بین جوشهای منقطع یا پرچ از پیچ در قیدها نباید از ۱۵ سانتی متر تجاوز نماید. فاصله قیدهای افقی باید به میزانی باشد که ضریب لاغری هر عنصر درحد فاصل دو قید از ۳۰۰ تجاوز ننماید.

۴-۳- تسمه‌ها با عرض ثابت و اتصالات لولایی با پین^۱ و تسمه‌های سرپهن^۲



(ب) تسمه با عرض ثابت

(الف) تسمه سرپهن

شکل ۴-۳-۱

قطر پین نباید از $\frac{1}{4}$ عرض تنه تسمه کمتر و قطر سوراخ نباید بیش از یک میلی‌متر از قطر پین بزرگتر باشد (به ترتیب $d_p \geq \frac{7}{8} W$ و $d_h \leq d_p + 0.1 \text{ cm}$)

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 اعضای 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 اعضا نسبت به یکدیگر مجاز باشد قطر سوراخ نباید بیش از $\frac{1}{8}$ 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 تسمه سرپهن، حداقل مساحت خالص بعد از انتهای اتکایی سوراخ پین، به موازات محور عضو، نباید کمتر از $\frac{1}{3}$ سطح مقطع خالص در مقطع سوراخ باشد.

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

می‌شود:

الف - کشش در سطح مقطع مؤثر خالص

$$\phi = \phi_t = 0.75$$

1- pin (خار مغزی)

2- eybar



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

ب - برش در سطح مقطع مؤثر

$$\phi_{sf} = 0.75$$

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

پ - برای لهیدگی در سطح تصویرشده پیز، به بخش ۱۰ - ۸ - ۱ مراجعه شود.

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

در روابط فوق:

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

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

$b_{eff} = 2t + 1.6 \text{ cm}$ که نباید بزرگتر از فاصله واقعی لبه سوراخ تا لبه 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 زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور پخ زد، مشروط بر اینکه سطح مقطع باقیمانده بند از سوراخ در صفحه عمود بر خط پخ، کمتر از سطح مقطع لازم بعد از سوراخ، به موازات محور عضو نباشد.

مقاومت طرح تسمه‌های سرپهن

مقاومت طرح تسمه‌های سرپهن طبق بخش ۴ - ۷ با A_g مساوی سطح مقطع تنه محاسبه می‌گردد.

ضخامت تسمه‌های سرپهن باید در طول آن یکنواخت باشد و در ناحیه سوراخ مغزی تقویت

نشود و دارای سر دایره‌شکل هم‌مرکز با سوراخ پین باشد.

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

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

ضخامت تنه تسمه‌های سرپهن می‌تواند از ۱۲ میلی‌متر کمتر باشد مشروط به اینکه مهره‌های

خارجی به نحوی تعبیه شوند که تماس مناسبی بین صفحات در محل اتصال ایجاد شود. فاصله بین

لبه سوراخ تا لبه سر دایره‌شکل در امتداد عمود بر راستای نیرو، باید بزرگتر از $\frac{1}{3}W$ و به منظور محاسبه،

کوچکتر از $\frac{3}{4}W$ عرض تنه تسمه باشد ($\frac{2}{3}W \leq k \leq \frac{3}{4}W$).

ستونها و سایر اعضای فشاری

این فصل مربوط می‌شود به طراحی اعضای منشوری (با هندسه مقطع ثابت) که تحت نیروی محوری فشاری در امتداد محور مرکزی عضو قرار دارند. برای اعضای که تحت اثر توأم نیروی محوری و لنگر خمشی می‌باشند، به فصل ۸ و برای اعضا با مقطع متغیر، به پیوست پ - ۶ - ۴ مراجعه شود.

۵-۱- طول مؤثر و محدودیت‌های لاغری

۵-۱-۱- 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 ۵-۱-۲ تا ۵-۱-۳ محاسبه نمود، مگر آنکه با انجام تحلیل دقیقی بتوان ضریب طول مؤثر دیگری به دست آورد.

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

$$K = \frac{3\psi_i\psi_j + 1.4(\psi_i + \psi_j) + 0.64}{3\psi_i\psi_j + 2(\psi_i + \psi_j) + 1.28} \leq 1 \quad (5-1-1)$$

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

ψ = پارامتر نشان‌دهنده شرایط تکیه گاهی عضو فشاری و برابر است با نسبت مجموع EI

ستونها به مجموع EI تیرهای منتهی به گره در یک صفحه



ψ_i و ψ_j مقادیر ψ مربوط به دو انتها می‌باشند. برای پای مفصلی و پای گیردار داریم:
 $\psi = 1$ (پای گیردار) $\psi = 10$ (پای مفصلی)

۵-۱-۳- ضریب طول مؤثر K در اعضای فشاری مهار نشده‌ای که در دو انتها با اتصال صلب به تیر متصل شده باشند، با استفاده از رابطه ۵-۱-۲ به دست می‌آید:

$$K = \sqrt{\frac{1.6\psi_i\psi_j + 4(\psi_i + \psi_j) + 7.5}{\psi_i + \psi_j + 7.5}} \quad (۲-۱-۵)$$

ψ_i و ψ_j مقادیر ψ مربوط به دو انتها می‌باشند.

۵-۱-۴- تحلیل خمیری

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

۵-۲- مقاومت فشاری طرح

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

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (۱-۲-۵)$$

برای $\lambda_e \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_e^2}) F_y \quad (۲-۲-۵)$$

برای $\lambda_e > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_e^2} \right] F_y \quad (۳-۲-۵)$$

در رابطه فوق:

$$\lambda_e = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (۴-۲-۵)$$



$$A_g = \text{سطح مقطع کل (cm}^2\text{)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد (kg/cm}^2\text{)}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته (kg/cm}^2\text{)}$$

$$K = \text{ضریب طول مؤثر}$$

$$l = \text{طول مهارشده عضو (cm)}$$

$$r = \text{شعاع زیراسیون حاکم نسبت به محور عمود بر صفحه کمانش (cm).}$$

برای اعضای که عناصر آنها احتیاجات بخش ۲ - ۵ - ۱ را برآورده نمی‌کنند، به پیوست

پ - ۲ - ۵ - ۳ مراجعه شود.

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

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

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g F_{crft}$$

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

که در آن:

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

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

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

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

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

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



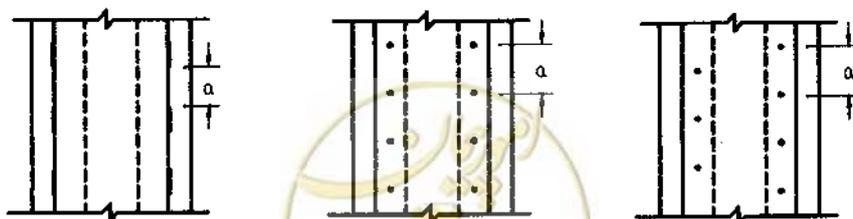
$$\lambda_c = \frac{Kl}{r_y \pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{با استفاده از } F_y \text{ طبق بخش ۲-۵ برای کمانش خمشی حول محور تقارن } y, \text{ تعیین می‌شود.}$$

برای نبشی جفت و نیمرخ T که عناصر آزاد احتیاجات بخش ۲-۵-۱ را برآورده نمی‌سازند، برای تعیین F_{cr} به منظور کاربرد در رابطه ۲-۵-۱، به پیوست ۲-۵-۳ مراجعه شود. سایر ستونها با مقطع غیرمتقارن و یا متقارن تک‌محوری، مانند ستونهای با نیمرخ نبشی، سپری و همچنین ستونهای متقارن دو محوری، 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 به این حالت حدی نهایی، به پیوست ۲-۵-۳ مراجعه نمایید.

۴-۵ - 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، به یکدیگر وصل شوند.

در فاصله بین دو انتهای چنین اعضای باید از پرچها، پیچها و یا جوشهای منقطع با فواصلی به اندازه کافی کوتاه، برای انتقال تنشها استفاده نمود. اگر اتصال دو نیمرخ یک عضو فشاری مرکب از چند نیمرخ، توسط ورق انجام شده باشد، فاصله پرچها، پیچها و یا جوشهای منقطعی که ورق را به نیمرخها متصل می‌نمایند، نباید از ۳۰ سانتی متر و یا $1065t/\sqrt{F_y}$ بیشتر شود که در آن t ضخامت نازکترین ورق پوششی به کاررفته و F_y تنش تسلیم فولاد مصرفی برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد (شکل ۱-۵). در صورتی که پیچها یا پرچها، در روی خطوطشان به محاذات یکدیگر نباشند (شکل ۲-۵)، حداکثر فاصله آنها در روی خطوطشان نباید از $1595t/\sqrt{F_y}$ و یا ۴۵ سانتی متر بیشتر شود.



شکل ۱-۵

شکل ۲-۵

اعضای فشاری که از دو یا چند نیمرخ نورد شده ساخته می‌شوند، باید در فواصل a به یکدیگر متصل گردند به طوری که ضریب لاغری Ka/r_i هر نیمرخ در حدفاصل اتصال، از 0.75 ضریب لاغری تعیین‌کننده کل عضو مرکب تجاوز نکند. شعاع زیراسیون حداقل هر نیمرخ، ملاک محاسبه ضریب لاغری آن خواهد بود. در طول یک ستون مرکب، حداقل دو نقطه اتصال (به شرح بالا) بین دو سر آن باید موجود باشد.

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

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

الف - برای اتصالات پیچی که به صورت عادی سفت شده‌اند:

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{Kl}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (1-4-5)$$

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

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{Kl}{r}\right)_0^2 + 0.82 \frac{\alpha^2}{(1+\alpha^2)} \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2} \quad (2-4-5)$$

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

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

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

a = فاصله بین بستها و یا لقمه‌های اتصالی

r_i = شعاع زیراسیون 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 به محور مرکزی خودش که موازی محور کمانش می‌باشد.

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

h = فاصله 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 - ۵ - ۱، اگر عرض باقیمانده ورق در محل سوراخ، دارای شرایط زیر باشد، می‌تواند در محاسبه مقاومت طرح مورد استفاده قرار گیرد.

الف - نسبت عرض به ضخامت آن محدودینتهای بخش ۲ - ۵ - ۱ را برآورده نماید.

ب - نسبت طول سوراخ (در امتداد تنش) به عرض آن، از دو تجاوز ننماید.

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

د - محیط سوراخها در هیچ جایی، انحنایی با شعاع کمتر از ۴ سانتی متر نداشته باشد.

عمل ورتهای پوششی مشبک را می‌توان توسط بستهای چپ و راست نیز انجام داد. 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 حتی الامکان نزدیک به انتهای عضو فشاری باشند. در اعضای اصلی، عرض بست افقی انتهایی، حداقل باید مساوی فاصله خطوط پیچها یا خطوط جوشهای متصل کننده آنها به عناصر عضو فشاری باشند. عرض بستهای افقی میانی باید حداقل برابر نصف این فاصله باشد. ضخامت بستهای افقی نباید از $\frac{1}{5}$ فاصله مرکز به مرکز 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، فاصله پرچها و پیچها در امتداد تنش در بستهای افقی نباید از ۶ برابر قطرشان بیشتر باشد و در اتصال هر طرف بست افقی به عناصر عضو فشاری، باید از حداقل سه پیچ استفاده شود.

فاصله بستهای چپ و راست که می‌توانند از تسمه، نبشی، ناودانی یا نیمرخهای دیگر باشند، باید طوری انتخاب شود که ضریب لاغری L/r بال قطعها 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 $L/3$ بستهای چپ و راست ساده نباید از ۱۴۰ تجاوز نمایند و در صورتی که از بستهای چپ و راست به صورت زوج استفاده شود ضریب لاغری بستها نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید. بستهای چپ و راست زوج باید در محل تلاقی با یکدیگر بهم متصل شوند. طول L برای بستهای چپ و راست ساده برابر طول آزاد فاصله 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 میلی متر باشد، بهتر است از بستهای زوج یا نیمرخهای نبشی برای آنها استفاده کرد.

۵-۵ - اعضای فشاری دارای اتصالات لولایی

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



تیرها و سایر اعضای خمشی

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

۶-۱ - طراحی برای خمش

مقاومت خمشی اسمی M_n یک عضو کمترین مقداری است که بر پایه یکی از حالات حدی زیر به دست می‌آید:

(الف) تسلیم

(ب) کماتش پیچشی - جانبی

(پ) کماتش موضعی بال

(ت) کماتش موضعی جان

برای تیرها با مقطع فشرده که طول مهارنشده L_b آنها کمتر از L_p می‌باشد، فقط حالت حدی تسلیم حاکم می‌باشد. برای تیرها با مقطع فشرده یا غیرفشرده که طول مهارنشده بال فشاری آنها بزرگتر از L_b است، حالات حدی تسلیم و کماتش پیچشی - جانبی باید کنترل گردند. برای مقاطعی که نسبت به محور ضعیف خود تحت خمش می‌باشند، و یا برای مقاطع قوطی و یا دایره، بررسی حالت حدی کماتش پیچشی - جانبی لازم نیست.



این فصل به نیمرخهای 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 به موازات 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 - جانبی مورد توجه قرار می‌گیرد. مقررات کمانش پیچشی - جانبی به نیمرخهایی با دو محور تقارن، ناودانیها، نشیهای جفت و سپری محدود می‌شود. برای کمانش پیچشی - جانبی سایر نیمرخها با یک محور تقارن و برای حالت حدی کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان نیمرخهای غیرفشرده یا با عناصر لاغر، به پیوست ۶ - ۱ مراجعه شود. برای نیمرخهای غیرمتقارن و تیرهایی که تحت ترکیب خمش و پیچش قرار دارند، به قسمت ۸ - ۲ و برای خمش دومحوره به قسمت ۸ - ۱ مراجعه گردد.

۶-۱-۱ - حالت حدی تسلیم (نواحی ۱ و ۲ در شکل ۶-۱)

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

$$\phi_b = 0.9$$

$$M_n = M_p$$

$$(۶-۱-۱)$$

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

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

$$M_p = \text{لنگر پلاستیک (لنگر خمیری)}$$

$$M_y = \text{لنگر نظیر جاری شدن تارهای خارجی مقطع (لنگر تسلیم)}$$

$$Z = \text{اساس مقطع پلاستیک}$$

$$S = \text{اساس مقطع الاستیک}$$

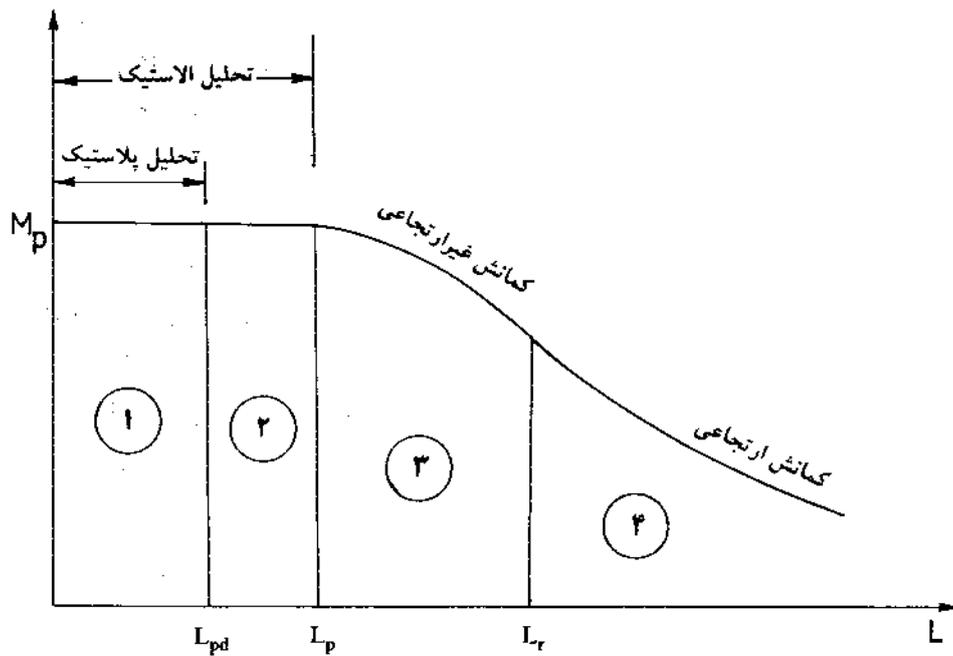
$$F_{yr} = \text{تنش تسلیم بال فشاری}$$

۶-۱-۲ - حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی

این حالت حدی به اعضایی قابل اعمال است که خمش آنها در حول محور اصلی قوی باشد.

مقاومت خمشی طرح برای حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن

$$\phi_b = 0.9 \text{ و } M_n \text{ مقاومت اسمی می‌باشد که به طریق زیر تعیین می‌گردد:}$$



شکل ۶-۱ نواحی کمانش پیچشی - جانبی

۶-۱-۲-الف - نیمرخها با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی با $L_b \leq L_r$ (ناحیه ۳ در شکل ۶-۱) مقاومت خمشی اسمی برابر است با:

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

که در آن:

L_b = فاصله بین دو نقطه مهارشده 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 نقطه مهارشده

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



که در آن:

$$M_{\max} = \text{قدر مطلق حداکثر لنگر خمشی در طول مهارنشده (بین دو نقطه مهارشده)}$$

$$M_A = \text{قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه } 0.25 \text{ طول مهارنشده}$$

$$M_B = \text{قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه } 0.5 \text{ طول مهارنشده}$$

$$M_C = \text{قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه } 0.75 \text{ طول مهارنشده}$$

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.

$$L_p = \text{حداکثر طول مهار نشده برای حصول لنگر پلاستیک کامل (شکل ۶-۱)}$$

الف - برای نیمرخهای I همگن و دوگانه، و نیمرخ نبشی

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

$$r_y = \text{شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف } y \text{ (خمش حول محور } x \text{ رخ می‌دهد) (cm)}$$

$$F_{yf} = \text{تنش تسلیم بال فشاری (kg/cm}^2\text{)}$$

ب - برای نیمرخ قوطی و نیمرخهای مستطیلی توپر

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

$$A = \text{سطح مقطع تیر (cm}^2\text{)}$$

$$J = \text{ثابت پیچش (cm}^4\text{)}$$

$$M_p = Z F_{yf} = \text{ظرفیت لنگر پلاستیک مقطع (کیلوگرم - سانتی متر)}$$

$$L_r = \text{طول مهارنشده در حد فاصل کماتنژ الاستیک و غیرالاستیک (شکل ۶-۱)}$$

الف - برای نیمرخهای I با دو محور تقارن و ناودانیها

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{(1 + X_2 F_L^2)}} \quad (۶-۱-۶)$$

$$M_r = F_L S_x \quad (۷-۱-۶)$$

که در آن:

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} \quad (۸-۱-۶)$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2 \quad (۹-۱-۶)$$



که در آن:

- S_x = اساس مقطع الاستیک حول محور حداکثر مقطع (cm^3)
- E = مدول الاستیسیته فولاد (مساوی $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)
- G = مدول الاستیسیته برشی فولاد (مساوی $0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)
- F_L = کوچکترین دو مقدار $(F_{yf} - F_r)$ یا F_{ys} (برحسب kg/cm^2)
- F_r = تنش پس ماند 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_{ys} = تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)
- I_y = ممان اینرسی حول محور ضعیف y (cm^4)
- C_w = ثابت تابیدگی (cm^6)

روابط ۶-۱-۶ تا ۶-۱-۶ به طور محافظه کارانه با فرض $C_b = 1$ به دست آمده‌اند.
ب- برای نیمرخهای قوطی و نیمرخهای مستطیلی توپر

$$L_r = \frac{4 \times 10^6 r_y \sqrt{JA}}{M_r} \quad (۱۰-۱-۶)$$

$$M_r = F_{yf} S_x \quad (۱۱-۱-۶)$$

۶-۱-۲-ب- نیمرخها با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی با $L_b > L_r$ (ناحیه ۲ در شکل ۶-۱) مقاومت خمشی اسمی برابر است با:

$$M_n = M_o \leq M_p \quad (۱۲-۱-۶)$$

که در آن M_o لنگر بحرانی کمانشی الاستیک است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:
الف- برای نیمرخهای I با دو محور تقارن و نیمرخ ناودانی (بارگذاری در صفحه جان)

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} \quad (۱۳-۱-۶)$$

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



ب- برای نیمرخهای مستطیلی توپر یا نیمرخهای قوطی متقارن

$$M_{cr} = \frac{4 \times 10^6 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_y} \quad (۱۴-۱-۶)$$

۶-۱-۲-۲-۲- نیمرخهای سپری و نبشی جفت

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

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

که در آن:

$$M_n \leq 1.5M_y \text{ (جان تحت کشش)}$$

$$M_n \leq 1.0M_y \text{ (جان تحت فشار)}$$

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

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.

۶-۱-۲-۳- طول مهار نشده برای طراحی به وسیله 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 مهار نشده بال فشاری آن در حوالی محل مفصل پلاستیک مربوط به مکانیسم خرابی، از مقدار L_{pm} تجاوز نکند. به صورت زیر تعیین می‌گردد:

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

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

که در آن:

$$F_y = \text{تنش تسلیم بال فشاری (kg/cm}^2\text{)}$$

$$M_1 = \text{لنگر کوچکتر در انتهای طول مهار نشده تیر}$$

$M_2 =$ 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.



ب - برای نیمرخهای مستطیلی توپر و نیمرخهای قوطی متقارن

$$L_{pd} = \frac{35 \times 10^4 + 21 \times 10^4 (M_1/M_2)}{F_y} r_y \geq 21 \times 10^4 r_y / F_y \quad (۱۸-۱-۶)$$

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 به وجود می‌آید و در محل‌هایی که در مجاورت یک مفصل پلاستیک نیستند، مقاومت خمشی طرح، طبق بخش ۶-۱-۲ تعیین می‌گردد.

۶-۲- طراحی برای برش

این قسمت مربوط است به طراحی جانهای سخت‌نشده تیرها با مقطع متقارن یک محوره یا دو محوره شامل تیرهای دوگانه و ناودانی که تحت تأثیر برش در صفحه جان قرار دارند. برای طراحی مقاومت برشی جانهای دارای سخت‌کننده به پیوست ب-۶-۲ و یا فصل ۷ مراجعه نمایید. برای طراحی برش نیمرخهای فوق در امتداد ضعیف، لوله‌ها و مقاطع غیرمتقارن، به پیوست ۸-۲ مراجعه نمایید. برای چشمه‌ها با برش زیاد به بخش ۱۱-۱-۷ مراجعه نمایید. برای مقاومت برشی اتصالات به بخشهای ۱۰-۴ و ۱۰-۵ مراجعه نمایید.

۶-۲-۱- مساحت جان

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

۶-۲-۲- مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح برای جان سخت‌نشده با $h/t_w < 260$ مساوی $\phi_v V_n$ در نظر گرفته می‌شود که در آن:



$$\phi_v = 0.9$$

V_n = مقاومت برشی اسمی

h = ارتفاع جان

t_w = ضخامت جان

V_n به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h/t_w \leq \frac{3500}{\sqrt{F_{yw}}} \quad \text{الف: برای} \quad (1-2-6)$$

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w$$

$$\frac{3500}{\sqrt{F_{yw}}} < h/t_w \leq \frac{4375}{\sqrt{F_{yw}}} \quad \text{ب: برای} \quad (2-2-6)$$

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

$$\frac{4375}{\sqrt{F_{yw}}} \leq h/t_w \leq 260 \quad \text{پ: برای} \quad (3-2-6)$$

$$V_n = \frac{9.25 \times 10^6}{(h/t_w)^2} A_w$$

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

۳-۲-۶ - سخت‌کننده‌های عرضی

به بخش ۷-۵ از فصل هفتم مراجعه شود.

۳-۶ - اعضا با ارتفاع متغیر

به پیوست پ - ۳-۶ مراجعه شود.

۴-۶ - وجود بازشو در جان تیر

در صورت وجود، اثر بازشو در جان تیر باید در طراحی ملاحظه گردد. در صورتی که مقاومت برشی مورد نیاز بزرگتر از مقاومت برش خالص موجود در محل بازشو باشد، باید اطراف سوراخ به نحو مقتضی تقویت گردد.

تیرورقها

تیرورقها، تیرهای با ارتفاع مقطع بزرگ هستند که از ورق ساخته می‌شوند. جان آنها در گروه مقاطع با عناصر لاغر (طبق تعریف جدول ۲-۵-۱) 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 $\lambda_p = 8135/\sqrt{F_{yf}}$ بزرگتر باشد، مشخصات این فصل برای تعیین مقاومت خمشی منظور می‌شود، و در غیر این صورت باید به فصل ۶ مراجعه نمود.

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

۷-۱- محدودیتهای لاغری جان

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

الف: برای $\frac{a}{h} \leq 1.5$:

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max} = \frac{16735}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (1-1-7)$$

ب: برای $\frac{a}{h} > 1.5$:

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max} = \frac{98 \times 10^4}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 1155)}} \quad (2-1-7)$$



که در آن:

a = فاصله آزاد بین سخت‌کننده‌های عرضی (cm)

h = در تیرهای نوردشده، فاصله آزاد بین دو بال منهای شعاع ماهیچه اتصال‌دهنده بال و

جان. برای تیرهای ساخته شده از ورق، در صورتی که اتصال بال و جان توسط پرچ یا

پیچ انجام شود، فاصله بین دو خط پرچ یا پیچ بالا و پایین جان و در صورتی که اتصال

بال و جان توسط جوش انجام شود، فاصله 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.

۷-۲ - مقاومت خمشی طرح

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

در تیرها با بالهای نامساوی برای تعیین r_x مربوط به حالت حدی کماتش موضعی جان

به پیوست پ - ۲ - ۵ - ۱ مراجعه شود.

الف: برای حالت حدی تسلیم بال کششی

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

ب: برای حالت حدی کماتش بال فشاری

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

که در آن:

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

R_e = ضریب تیرورق دوگانه

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

(برای تیرورقهای همگن) $R_e=1$

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

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

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

F_{yf} = تنش تسلیم بال کششی (kg/cm^2)

S_{xx} = اساس مقطع نسبت به بال فشاری (cm^3)

S_{yy} = اساس مقطع نسبت به بال کششی (cm^3)

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

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

الف: برای $\lambda \leq \lambda_p$

$$F_{cr} = F_{yf} \quad (۴-۲-۷)$$

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

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

پ: برای $\lambda > \lambda_r$

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

در روابط گذشته، پارامتر لاغری باید برای هر دو 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:

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

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

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



$$C_{PG} = 20 \times 10^6 C_b \quad (10-2-7)$$

$C_b =$ به رابطه فصل ۶ مراجعه شود.

$r_T =$ شعاع ژیراسیون بال فشاری به علاوه $\frac{1}{3}$ ناحیه فشاری جان حول محوری که در صفحه جان قرار دارد (cm). به طور تقریبی می‌توان آن را مساوی $1.2r_y$ در نظر گرفت.

برای حالت حدی کمانش موضعی بال

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (11-2-7)$$

$$\lambda_p = \frac{545}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (12-2-7)$$

$$\lambda_r = \frac{1925}{\sqrt{F_{yf}/K_c}} \quad (13-2-7)$$

$$C_{PG} = 1.85 \times 10^6 K_c \quad (14-2-7)$$

$$C_b = 1$$

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

حالت حدی کمانش خمشی موضعی بال انابل کاربرد نیست.

۷-۳ - مقاومت برشی طرح بدون توجه به عمل 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:

$$\phi_v = 0.90$$

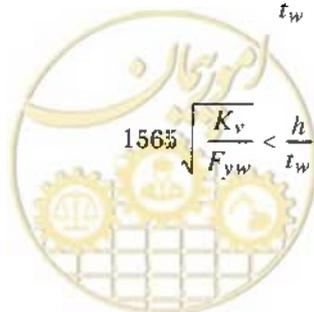
$V_n =$ مقاومت برشی اسمی که به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w$$

$$(1-3-7)$$

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



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

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

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

که در آن:

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

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

a = فاصله بین سخت‌کننده‌های عرضی

h = برای تیرهای نوردشده مساوی فاصله خالص بین دو بال منهای شعاع گردی محل اتصال بال به جان، برای تیورقهای جوشی مساوی فاصله خالص بین دو بال، و برای تیورقهای پیچی یا پرچی، فاصله بین خطوط پیچ و پرچ

۷-۴ - مقاومت برشی طرح با توجه به عمل میدان کششی

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

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

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

ب: برای $h/t_w > 1565 \sqrt{K/F_{yw}}$

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

که در آن:

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



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

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

ضریب کمانش ورق جان K از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

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 به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{برای } \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1960 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \quad 1565$$

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

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

$$C_v = \frac{3.08 \times 10^6 K}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \quad (۶-۴-۷)$$

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

۷-۵ - سخت‌کننده‌های عرضی

در تیورورها وقتی که $h/t_w \leq 3500/\sqrt{F_{yw}}$ و یا وقتی برش لازم V_n ، که از تحلیل سازه برای بارهای ضربیدار به دست می‌آید، کوچکتر یا مساوی $0.6 \phi A_w F_{yw} C_v$ باشد، احتیاجی به سخت‌کننده‌های 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 تیورورق برای حصول مقاومت برشی لازم و یا اقتناع محدودیت‌های قسمت ۷-۱، لازم گردد.

ممان اینرسی I_y سخت‌کننده عرضی جفت در حول محور مرکزی جان و یا ممان اینرسی سخت‌کننده عرضی تک نسبت به محل تماس سخت‌کننده با ورق جان، نباید کمتر از at_w^3 گردد که در آن:

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



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

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

که در آن:

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

$D=1$ برای سخت‌کننده‌های جفت

$=1.8$ برای سخت‌کننده تک از نبشی

$=2.4$ برای سخت‌کننده تک از ورق

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

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

فاصله مرکز به مرکز پیچهایی که سخت‌کننده‌ها را به جان تیر وصل می‌کنند، نباید از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. چنانچه برای اتصال سخت‌کننده‌ها به جان تیر از جوشهای گوشه منقطع استفاده شود، باید فواصل بین جوشها از ۱۶ برابر ضخامت جان یا ۲۵ سانتی‌متر، هر کدام کمتر است، تجاوز نماید.

اتصال قطعات سخت‌کننده تک یا زوج برای برش حداقلی برابر با رابطه ۷-۵-۳ به ازای هر سانتی‌متر طول سخت‌کننده محاسبه می‌شود:

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

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



۷-۶ - اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی

در مقاطعی که:

$$0.6\phi V_n \leq V_u \leq \phi V_n \quad (\text{با } \phi=0.9)$$

و

$$0.75\phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n \quad (\text{با } \phi=0.9)$$

بوده و طراحی تیورق بر پایه عمل میدان کشتی انجام گرفته، باید شرط اندرکنش نیروی برشی و لنگر خمشی طبق رابطه زیر اقناع گردد:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0.625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.375 \quad (۷-۶-۱)$$

که در آن:

M_n = مقاومت خمشی اسمی تیورق طبق فصل ۶ یا قسمت ۷-۲ از فصل ۷

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

$$\phi = 0.9$$



ترکیب نیروها

این بخش مربوط است به طراحی اعضای منشوری تحت اثر توأم نیروهای محوری و خمشی حول یک و یا هر دو محور تقارن و، با یا بدون پیچش و یا پیچش تنها. برای اعضا با ارتفاع متغیر به پیوست پ - ۶ - ۳ مراجعه فرمایید.

۸-۱ - اعضا با نیمرخهای متقارن تحت اثر توأم خمشی و نیروی محوری

۸-۱-۱ - اعضا با مقطع دارای دو و یا یک محور تقارن تحت اثر خمشی و کشش اندرکنش خمشی و کشش در نیمرخهای متقارن براساس روابط ۸-۱-۱ الف و ۸-۱-۱ ب، محدود می شود:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \text{ برای}$$

(الف - ۸-۱-۱)

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2 \text{ برای}$$

(ب - ۸-۱-۱)

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

که در آن:

$$P_u = \text{مقاومت کششی لازم (kg)}$$

$$P_n = \text{مقاومت کششی اسمی محاسبه شده طبق مفاد بخش ۴ - ۱ (kg)}$$



$M_u =$ مقاومت خمشی مورد نیاز (kg-cm)

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

$\phi = \phi_c =$ ضریب مقاومت در کشش، $\phi_c = 0.90$ (به بخش ۴-۱ رجوع شود).

$\phi_b =$ ضریب مقاومت در خمش $= 0.90$

$x =$ زیرنویسی که نماد را به خمش حول محور قویتر مربوط می‌نماید.

$y =$ زیرنویسی که نماد را به خمش حول محور ضعیفتر مربوط می‌نماید.

به جای استفاده از روابط ۸-۱-۱ الف و ۸-۱-۱ ب، می‌توان از تحلیل دقیقتری برای اندرکنش استفاده نمود.

۸-۱-۲ - اعضا با تقارن دو محوری و تک محوری تحت اثر خمش و فشار

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

$P_u =$ مقاومت فشاری مورد نیاز (kg)

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

$M_u =$ مقاومت خمشی مورد نیاز که ذیلاً طبق تبصره الف) همین بند تعیین

می‌گردد. (kg-cm)

$\phi_c = \phi =$ ضریب مقاومت در فشار، $\phi_c = 0.85$ (به بخش ۵-۲ رجوع شود).

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

الف - محاسبه 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 ضربیندار محاسبه نمود. در سازه‌هایی که براساس تحلیل پلاستیک طراحی می‌شوند، M_u باید از روی یک تحلیل پلاستیک که ضوابط بخشهای ۱-۳ و ۲-۳ را برآورده می‌کند، تعیین گردد. در سازه‌هایی که براساس یک تحلیل الاستیک از مرتبه ۱ طراحی می‌شوند، به جای یک تحلیل مرتبه ۲ می‌توان از روش زیر برای محاسبه M_u استفاده نمود:

$$M_u = B_1 M_{u1} + B_2 M_{u2} \quad (۸-۱-۲)$$

که در آن:



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

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

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

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

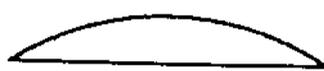
$\lambda =$ با استفاده از رابطه ۵ - ۲ - ۴ با ضریب طول مؤثر $K \leq 1$ در صفحه خمش تعریف می شود.

$C_m =$ ضریبی که مقدار آن به طریق زیر تعیین می شود.

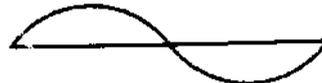
I - برای اعضای فشاری که جزیی از یک قاب مهار شده در مقابل انتقال جانبی در صفحه خمش می باشند و در همین صفحه، در حد فاصل تکیه گاههای خود، تحت اثر بارگذارهای جانبی قرار ندارند.

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4 \quad (4-1-8)$$

که در آنجا M_1/M_2 نسبت لنگر کوچکتر به لنگر بزرگتر در دو انتهای قطعه مهاربندی نشده از عضو، برای خمش مورد نظر می باشد. وقتی که عضو با انحنای مضاعف خمیده می شود، M_1/M_2 مثبت، و وقتی که با انحنای ساده خمیده می شود، منفی است.



انحنای ساده ($M_1/M_2 < 0$)



انحنای مضاعف ($M_1/M_2 > 0$)

II - برای اعضای فشاری که جزیی از یک قاب مهار شده در مقابل انتقال جانبی در صفحه بارگذاری می باشند و اعضا در حد فاصل تکیه گاههای خود تحت اثر نیروهای جانبی قرار دارند، مقدار C_m را می توان از طریق تحلیل به دست آورد.

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

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

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

و

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u \left(\frac{\Delta_{oh}}{\sum HLL} \right)} \quad (5-1-8)$$



و یا

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_e}} \quad (6-1-8)$$

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

که در آن:

$\sum P_u$ = مقاومت باربری محوری مورد نیاز کلیه ستونهای واقع در یک طبقه (kg)

Δ_{oh} = تغییر شکل انتقالی طبقه مورد نظر (cm)

$\sum H$ = مجموع کلیه نیروهای افقی طبقه، که باعث Δ_{oh} می‌گردد (kg)

L = ارتفاع طبقه (cm)

λ_c = ضریب لاغری تعریف شده به وسیله رابطه ۵-۲-۴ که در آن ضریب طول مؤثر K در

صفحه خمش مطابق مفاد بخش ۳-۲-۲ و ۵-۱-۳ و ۵-۱-۴ تعیین می‌شود، لیکن

نیاید از واحد کمتر باشد.

ب - محاسبه M_{ux}

به هنگام استفاده از روابط ۸-۱-۱ الف و ۸-۱-۱ ب، M_{ux} باید مطابق بخش ۶-۱ 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 ۶-۱-۲ 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 رابطه ۸-۱-۲، برای محاسبه M_{ux} به کار می‌رود، برای یک عضو مهار شده که تحت خمش حول محوری قوی قرار دارد و فقط در دو انتهایش به طور 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.

۸-۲ - 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 بر حسب تنش قائم f_{un} و یا تنش برشی f_{uv} که از طریق تحلیل الاستیک در مقابل بارهای ضریب‌دار حاصل می‌شوند، باشد.



الف - برای حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش قائم

$$f_{un} \leq \phi F_y \quad (۱-۲-۸)$$

$$\phi=0.90$$

ب - برای حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش برشی

$$f_{uv} \leq 0.6 \phi F_y \quad (۲-۲-۸)$$

$$\phi=0.90$$

پ - برای حالت حدی کماتش

$$f_{um} \text{ یا } f_{uv} \leq \phi_c F_{cr} \quad (۳-۲-۸) \text{ (برحسب مورد)}$$

که در آن:

$$\phi_c=0.85$$

F_{cr} = مقدار به دست آمده از روابط پ - ۵ - ۳ - ۲ و پ - ۵ - ۳ - ۳، برحسب مورد.

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

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

در این مورد به پیوست پ - ۸ - ۳، مراجعه نمایید.



اعضای مختلط

این فصل مربوط است به طراحی 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 به واسطه چسبندگی کافی با یکدیگر، در مقابل بارهای خارجی به طور مشترک عمل می نمایند.

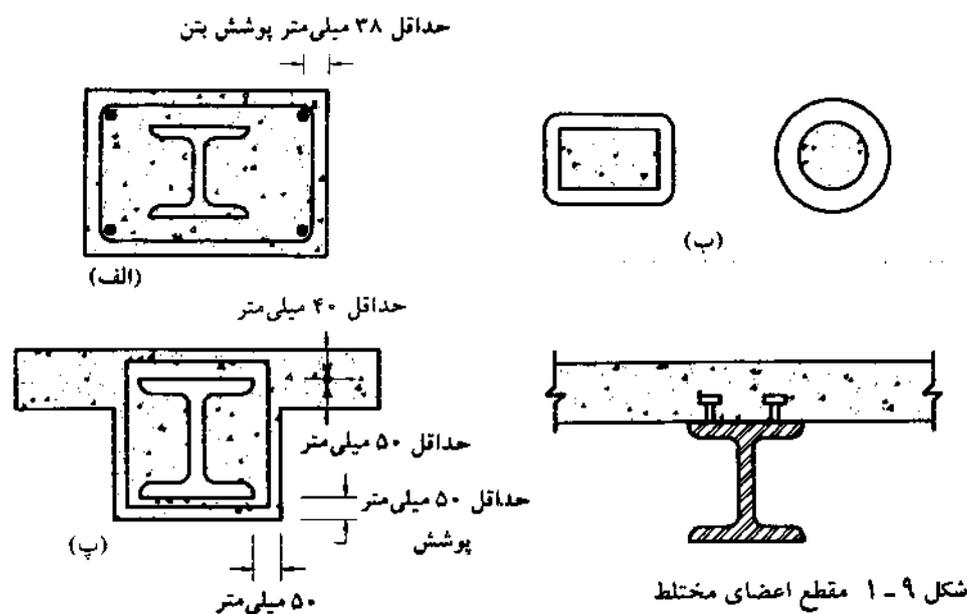
تیرهای مختلط با دهانه ساده و یا پیوسته، با اتصالات برشگیر و یا محاط در بتن که با و یا بدون پایه های موقت اجرا می شوند، مشمول مقررات این فصل هستند.

۹-۱- فرضیات طراحی

تعیین نیروها : در تعیین نیروهای داخلی اعضا و یا اتصالات سازه هایی که شامل تیرهای مختلط می باشند، لازم است توجهات کافی نسبت به مقطع مؤثر اعضا، در هر مرحله از افزایش بارگذاری، مبذول گردد.

تحلیل الاستیک : برای تحلیل الاستیک تیرهای پیوسته بدون ماهیچه های انتهایی، می توان فرض کرد که سختی در سرتاسر طول آنها ثابت می باشد و این سختی را می توان با استفاده از ممان اینرسی مقطع مرکب تبدیل یافته در ناحیه لنگر مثبت، به دست آورد.





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 ناحیه لنگر مثبت توسط اتصالات برشگیر به تیر فولادی وصل شده باشد، می‌توان تنش فشاری در بتن را مساوی $0.85f'_c$ که در سرتاسر ناحیه 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 ناحیه 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 ناحیه لنگر منفی، به کمک اتصالات برشگیر به تیر فولادی وصل شده باشد، می‌توان یک تنش کششی برابر با F_y برای کلیه میلگردهای موازی تیر فولادی که در عرض مؤثر دال بتنی واقعند و احتیاجات مربوط به پیوستگی 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 ناحیه 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 هر نقطه از فولاد و بتن متناسب با فاصله آن نقطه از محور خنثی می باشد. تنش نیز مساوی حاصل ضرب کرنش در E و یا E_c در نظر گرفته می شود. از مقاومت کششی بتن باید صرف نظر 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 دوگانه مختلط، تنش حداکثر در بال تیر فولادی نباید از F_y تجاوز کند، لیکن کرنش در جان تیر می تواند از کرنش تسلیم تجاوز نماید که تنش در چنان نقاطی را می توان برابر با F_{ys} فرض کرد.

تیر مختلط کامل: در این تیرها اتصالات برشی به تعداد کافی برای تأمین مقاومت خمشی حداکثر مقطع مختلط تعبیه شده اند. برای تعیین توزیع تنش الاستیک می توان فرض کرد که لغزشی به وقوع نمی پیوندد.

تیر مختلط نسبی: در این حالت، اتصالات برشی تعیین کننده مقاومت خمشی تیرهای مختلط نسبی می باشد. در محاسبات الاستیک نظیر محاسبه تغییر شکلها، 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 به طور یکپارچه با دال ریخته شده است، می تواند فرض گردد که با چسبندگی طبیعی و بدون نیاز به قطعات اتصالی اضافی، با بتن یکپارچه شده است. مشروط به اینکه: (۱) پوشش بتن در طرفین و زیر بال تحتانی تیر، لااقل ۵ سانتی متر باشد. (۲) سطح خارجی بال فوقانی تیر، لااقل ۴ سانتی متر پایینتر از سطح فوقانی و ۵ سانتی متر، بالاتر از سطح تحتانی دال بتنی باشد و (۳) پوشش بتنی دارای آرماتور کافی (به صورت مش و یا هر نوع مناسب دیگر) برای جلوگیری از پکیدن بتن باشد (شکل ۹-۱-پ).

ستون مختلط: یک ستون فولادی مختلط می تواند از نیمرخ فولادی نورد شده و یا ساخته شده که کاملاً در بتن سازه ای محاط شده و یا نیمرخ قوطی یا لوله که کاملاً با بتن سازه ای پر شده، تشکیل شود (اشکال ۹-۱-الف و ب).

۹-۲- اعضای فشاری

۹-۲-۱- محدودیتها

یک ستون مختلط باید دارای شرایط زیر باشد:



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

ب - پوشش بتنی هسته فولادی، باید به کمک میلگردهای طولی باربر، میلگردهای طولی و تنگهای عرضی به منظور دورگیری بتن، مسلح شده باشد. میلگردهای طولی باربر باید در ترازهای اتصال تیر به ستونها، پیوسته باشند. میلگردهای طولی دورگیرکننده، می‌توانند در ترازهای اتصال تیر به ستون منقطع باشند. فواصل تنگها نباید از $\frac{2}{3}$ کوچکترین بعد مقطع مختلط بزرگتر باشند. مساحت مقطع فولادهای عرضی و طولی باید حداقل برابر با 0.18 سانتی متر مربع برای هر سانتی متر فاصله بین میلگردها باشد. پوشش بتنی خالص در بیرون میلگردهای عرضی و طولی باید حداقل ۴ سانتی متر باشد.

پ - بتن مورد استفاده باید دارای مقاومت فشاری مشخصه حداقل 200 و حداکثر 550 کیلوگرم بر سانتی متر مربع در مورد بتن با وزن معمولی باشد. برای بتن سبک وزن، این مقاومت باید حداقل 280 کیلوگرم بر سانتی متر مربع باشد.

ت - تنش تسلیم حداقل مقرر فولاد سازه‌ای و میلگردها، جهت محاسبه مقاومت یک ستون مرکب، نباید از 3850 کیلوگرم بر سانتی متر مربع تجاوز نماید.

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

۹-۲-۲ - 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 به کمک روابط $1-2-5$ و $4-2-5$ ، با منظور کردن تعدیلات زیر، تعیین می‌شود:

(الف) - A_g = 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 $0/3$ برابر بعد کل مقطع مختلط در صفحه کمانش کوچکتر باشد (که جایگزین r می‌شود).
(ب) - F_y را با تنش تسلیم تعدیل یافته F_{my} طبق رابطه $9-2-1$ و E را با ضریب الاستیسیته تعدیل یافته E_m طبق رابطه $9-2-2$ ، جایگزین نمایند.

$$F_{my} = F_y + c_1 F_{yr} (A_r / A_s) + c_2 f'_c (A_c / A_s) \quad (۱-۲-۹)$$

$$E_m = E + c_3 E_c (A_c / A_s) \quad (۲-۲-۹)$$

که در آن:

$$A_c = \text{مساحت مقطع بتن (cm}^2\text{)}$$

$$A_r = \text{مساحت مقطع میلگردهای طولی (cm}^2\text{)}$$

$$A_s = \text{مساحت مقطع نیمرخ فولادی (cm}^2\text{)}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته فولاد (kg/cm}^2\text{)}$$

$$E_c = \text{مدول الاستیسیته بتن (kg/cm}^2\text{)}^*$$

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

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

$$f'_c = \text{مقاومت فشاری مقرر نمونه استوانه‌ای بتن (kg/cm}^2\text{)}$$

$c_1 = 1$ و $c_2 = 0.85$ و $c_3 = 0.4$ و $c_1 = 0.7$ ، $c_2 = 0.6$ و $c_3 = 0.2$ برای نیمرخهای محاط در بتن

و $c_1 = 0.7$ ، $c_2 = 0.6$ ، $c_3 = 0.2$ و $c_1 = 0.7$ ، $c_2 = 0.6$ ، $c_3 = 0.2$ برای نیمرخهای محاط در بتن

۹-۲-۳- 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 به همدیگر متصل شوند تا قبل از گرفتن بتن، از کمانش جداگانه نیمرخها جلوگیری گردد.

۹-۲-۴- 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 ناحیه 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 ناحیه بارگذاری شده می‌باشد.

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



۹-۳-۱ - اعضای خمشی

۹-۳-۱-۱ - عرض مؤثر

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

(الف) یک هشتم طول دهانه تیر از مرکز تا مرکز تکیه گاهها

(ب) نصف فاصله تا محور تیر مجاور

(پ) فاصله از محور تیر تا لبه دال

۹-۳-۲ - مقاومت تیرهای دارای اتصالات برشگیر

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

(الف) برای حالت $h_c / t_w \leq 5365 / \sqrt{F_y}$

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

(ب) برای حالت $h_c / t_w > 5365 / \sqrt{F_y}$

$\phi_b = 0.90$ 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 بر مبنای 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 ۲-۵ باشد.

(ب) اتصالات برشی، دال بتنی در ناحیه لنگر منفی را به تیر فولادی وصل کنند.

(پ) آرما توره‌های دال بتنی موازی با تیر، واقع در محدوده عرض مؤثر، به‌طور کامل ضوابط

مربوط به چسبندگی و طول مهاربندی را برآورده نمایند.

۹-۳-۳ - 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.

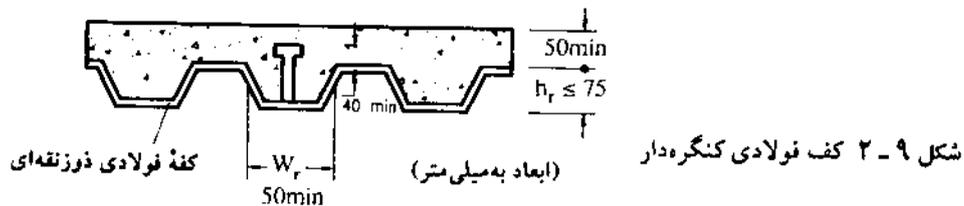
۹-۳-۴ - مقاومت در حین ساخت

هنگامی که از پایه‌های موقت در حین اجرا استفاده نمی‌گردد، قبل از رسیدن بتن به ۷۵ درصد مقاومت مشخصه f'_c ، مقطع فولادی باید مقاومت کافی جهت تحمل کلیه بارهای وارده را داشته باشد. مقاومت خمشی طرح مقطع فولادی تنها، باید طبق مفاد بخش ۶-۱ تعیین شود.

۹-۳-۵ - کفهای فولادی کنگره‌دار (دوزنقه‌ای)

(الف) کلیات

مقاومت خمشی طرح $\phi_b M_n$ سیستمهای مختلط، متشکل از دال بتنی روی کفهای فولادی کنگره‌دار متصل به تیرهای فولادی، طبق مفاد بخش ۹-۳-۲ با اصلاحات زیر، تعیین می‌شود. این بخش، قابل اعمال به کفهایی می‌باشد که ارتفاع اسمی (h_r) کنگره آنها از ۷/۵ سانتی‌متر بزرگتر نباشد. عرض میانگین کنگره یا ماهیچه بتنی (W_r)، نباید از ۵ سانتی‌متر کمتر باشد، لیکن در محاسبات، این کمیت نباید بیشتر از حداقل عرض آزاد در نزدیکی رویه فوقانی کفه منظور گردد. (شکل ۹-۲)، برای محدودیت‌های اضافی به بخش ۹-۳-۵-پ، مراجعه شود.



دال بتنی باید به کمک اتصالات برشی از نوع گلمیخهای جوش شده با قطرهایی برابر و یا کمتر از ۲۰ میلی‌متر، به تیرهای فولادی اتصال داده شود. این گلمیخها را می‌توان یا از طریق کف فولادی و یا اینکه مستقیماً به تیر فولادی جوش داد. اتصالات برشی از نوع گلمیخ بعد از نصب باید حداقل به اندازه ۴ سانتی‌متر بلندتر از سطح فوقانی کف فولادی، قرار بگیرند (شکل ۹-۲). ضخامت دال بتنی در بالای کفه فولادی، نباید از ۵ سانتی‌متر کمتر باشد.

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

در حالتی که کنگره‌ها بر تیرهای فولادی عمود هستند، از وجود بتن در زیر سطح فوقانی کف فولادی،



در تعیین خواص هندسی مقطع مرکب و محاسبه A_e (سطح مقطع بال بتنی)، باید صرف نظر شود. فاصله 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 ۹-۵، که در ضریب کاهش زیر، ضرب شده است.

$$\frac{0.85}{\sqrt{N_r}} (w_r/h_r) [(H_s/h_r) - 1.0] \leq 1.0 \quad (۹-۳-۱)$$

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.

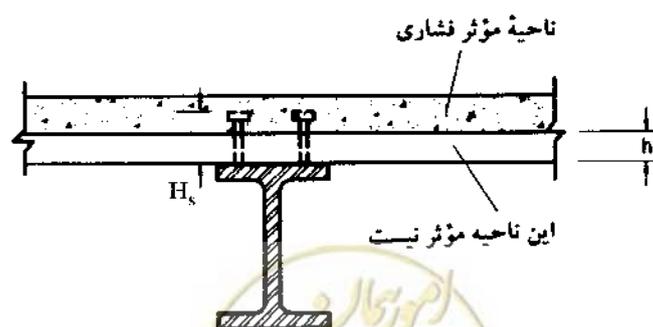
N_r = تعداد اتصالات گلمیخی در یک کنگره در محل تقاطع با تیر که در محاسبات نباید بیشتر از ۳ عدد در نظر گرفته شود. گرچه ممکن است در یک‌ردیف بیش از سه گلمیخ نصب گردد.

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

به منظور مقابله با بلند شدن دال، کف فولادی باید به اعضای تکیه‌گاهی در فواصلی که از ۴۰

سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند، مهار گردد. چنین مهاربندی را می‌توان یا به کمک گلمیخها و یا به کمک

ترکیبی از اتصالات گلمیخی و جوشهای قوسی تنظیمی و یا اینکه به کمک تدابیر دیگری که طراح معین می‌کند، فراهم کرد.



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

(ب) کفهای فولادی با کنگره‌هایی موازی تیر فولادی

بتن موجود در زیر سطح فوقانی کف فولادی را می‌توان در تعیین خواص مقطع و در محاسبه A_e برای استفاده در بخش ۹-۵ منظور کرد.

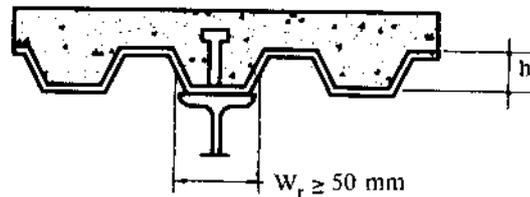
کنگره‌های کف فولادی واقع بر روی تیرهای تکیه‌گاهی دال را می‌توان در موازات تیر بریده و دو لبه را از هم فاصله داد، تا اینکه یک ماهیچه بتنی تشکیل گردد (شکل ۹-۴).

وقتی که ارتفاع اسمی کف فولادی $3/8$ سانتی‌متر و یا بزرگتر باشد، عرض میانگین w_r ماهیچه و یا کنگره تکیه‌گاهی، نباید کمتر از ۵ سانتی‌متر برای اولین گلمیخ (در یک ردیف عرض) به اضافه ۴ برابر قطر گلمیخ برای هر گلمیخ اضافی باشد (شکل ۹-۴).

مقاومت اسمی اتصال برشی از نوع گلمیخ، باید مساوی مقدار قیدشده در بخش ۹-۵ باشد، به استثنای وقتی که w_r/h_r کمتر از ۱.۵ است، که در این حالت مقدار حاصل از بخش ۹-۵ باید در ضریب کاهش زیر ضرب گردد:

$$0.6(w_r/h_r)[(H_s/h_r)-1.0] \leq 1.0 \quad (۹-۳-۲)$$

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



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

۹-۳-۶ - مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح تیرهای مختلط، بر مبنای مقاومت برشی جان تیر فولادی و مطابق بخش ۶-۲ تعیین می‌شود.

۹-۴ - ترکیب فشار و خمش

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



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

$$M_n = \text{مقاومت اسمی خمشی، با فرض توزیع پلاستیک تنش در مقطع مختلط، مگر اینکه در زیر به نحو دیگری مشروط شده باشد (kg-cm)}$$

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

$$F_{my} = \text{تنش تسلیم تعدیل یافته (kg/cm}^2\text{)}. \text{ به بخش ۹-۲ مراجعه نمایید.}$$

$$\phi_b = \text{ضریب مقاومت برای خمش (بخش ۹-۳)}$$

$$\phi_c = 0.85$$

$\lambda_c =$ پارامتر لاغری ستون، طبق رابطه ۵-۲-۴ و تعدیل اعمال شده در بخش ۹-۲-۲، هنگامی که جمله مربوط به نیروی محوری در روابط ۸-۱-۱ الف، و ۸-۱-۱ ب، از ۳/۰ 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 به مفاد بخش ۹-۳ تعیین گردد. اگر اتصالات برشی به ازای $P_u = 0$ مورد نیاز باشند، باید برای $P_u / \phi_b P_n$ کمتر از ۳/۰ نیز آنها را قرار داد.

۹-۵- اتصالات برشگیر

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

۹-۵-۱- مصالح

اتصالات برشگیر باید با از نوع گلمیخهای کلاهنک‌دار 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 آیین‌نامه بتن ایران باشد.

۹-۵-۲- نیروی برشی افقی

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



برشی افقی در فصل مشترک بین تیر فولادی و دال بتنی، به وسیله 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 نقطه لنگر خمشی حداکثر مثبت و لنگر خمشی صفر، باید برابر کوچکترین مقدار از مقادیر: (۱) $0.85f'_c A_c$ ، (۲) $A_s F_y$ و (۳) ΣQ_n در نظر گرفته شود که در آنها:

$$f'_c = \text{مقاومت فشاری مشخصه بتن (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_c = \text{سطح مقطع دال بتنی در محدوده عرض مؤثر (cm}^2\text{)}$$

$$A_s = \text{سطح مقطع هسته فولادی (cm}^2\text{)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد تیر (kg/cm}^2\text{)}$$

$\Sigma Q_n = \text{مجموع مقاومتهای اسمی اتصالات برشی واقع در بین نقاط لنگر مثبت حداکثر و لنگر صفر (kg)}$

هرگاه در تیرهای مختلط پیوسته (یکسره)، فرض شود که آرماتورهای طولی در نواحی لنگر منفی به طور مختلط با تیرهای فولادی کار می‌کنند، نیروی برشی افقی کل بین نقطه‌ای که در آن لنگر منفی حداکثر و نقطه دیگری که در آن لنگر صفر است، باید برابر یا کوچکترین مقدار از بین مقادیر ΣQ_n و $A_s F_y$ در نظر گرفته شود، که در آن:

$$A_s = \text{سطح مقطع آرماتورهای طولی واقع در محدوده عرض مؤثر با طول‌گیری کافی (cm}^2\text{)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم آرماتورها (kg/cm}^2\text{)}$$

$\Sigma Q_n = \text{مجموع مقاومتهای اسمی برشی اتصالات واقع در بین نقاط لنگر منفی حداکثر و لنگر صفر (kg)}$

۹-۵-۳ - مقاومت اتصالات برشگیر از نوع گلمیخها

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

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (۹-۵-۱)$$

که در آن:

$$A_{sc} = \text{سطح مقطع گلمیخ (cm}^2\text{)}$$

$$f'_c = \text{مقاومت فشاری مشخصه بتن (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_u = \text{مقاومت کششی حداقل گلمیخ (kg/cm}^2\text{)}$$



$$E_c = \text{مدول الاستیسیته بتن} * (\text{kg/cm}^2)$$

برای اتصال برشگیر از نوع گلمیخ مدفون در دال متکی بر کف فولادی کنگره‌دار، برای تعیین ضرایب تقلیل طبق روابط ۹-۳-۱ و ۹-۳-۲، برحسب مورد، به بخش ۹-۳ مراجعه نمایید. ضرایب تقلیل در رابطه ۹-۵-۱، فقط روی جمله $0.5A_{se}\sqrt{f'_c E_c}$ باید اعمال گردد.

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

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

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c \sqrt{f'_c E_c} \quad (9-5-2)$$

که در آن:

$$t_f = \text{ضخامت بال اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)}$$

$$L_c = \text{طول اتصال برشی از نوع ناودانی (cm)}$$

۹-۵-۵ - 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 محاسبه شده طبق بخش ۹-۵-۲، تقسیم بر مقاومت اسمی یک اتصال برشی که طبق مفاد بخش ۹-۵-۳ یا ۹-۵-۴ تعیین می‌گردد.

۹-۵-۶ - فاصله‌بندی و نصب اتصالات برشی

اتصالات برشی مورد نیاز در هریک از طرفین نقطه لنگر حداکثر مثبت یا منفی را می‌توان بین آن نقطه و نقاط مجاوری که دارای لنگر صفر هستند، به‌طور یکنواخت توزیع کرد. لیکن مقدار اتصالات برشی مستقر بین هر بار متمرکز و نزدیکترین نقطه دارای لنگر صفر، باید جهت حصول لنگر حداکثر مورد نیاز در نقطه اعمال بار متمرکز کافی باشد.

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

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

لااقل باید ۲۵ میلی متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند. قطر گلمیخ نباید از ۲/۵ برابر ضخامت بال تیری که بدان جوش داده می شود تجاوز نماید، مگر اینکه گلمیخ درست در بالای جان تیر قرار گرفته باشد. حداقل فاصله 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 می باشد، مگر در داخل کنگره های کفهای فولادی کنگره ای که فاصله مرکز تا مرکز حداقل در هر دو امتداد را می توان ۴ برابر قطر اتصالات انتخاب کرد. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز بین اتصالات برشی نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال تجاوز نماید.

۹-۶- حالات ویژه

وقتی که سیستم سازه ای مختلط از ضوابط بخشهای (۹ - ۱) الی (۹ - ۵) تبعیت ننماید، مقاومت اتصالات برشی و جزییات اجرایی آنها باید به کمک یک برنامه منظم اجرای آزمایشها ثبت گردد.



اتصالها و وسایل اتصال

۱۰-۱- مقررات عمومی

۱۰-۱-۱- مبانی طراحی

اتصالات از اجزای اتصال (نظیر: سخت‌کننده‌ها، ورقهای اتصال، نشیما 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 بر مبنای یکی از دو معیار زیر، هر کدام که مناسب باشد، به دست می‌آید:

(الف) تحلیل سازه در مقابل بارهای ضربیدار وارده

(ب) نسبت مشخصی از مقاومت اعضای بهم وصل شده

۱۰-۱-۲- اتصالات ساده

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

۱۰-۱-۳- 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.

۱۰-۱-۴- اعضای فشاری با درزهای اتکایی

هنگامی که انتقال نیرو به کف 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 وصله 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.

کلیه وصله‌های فشاری باید برای تحمل هرگونه کشش ناشی از ترکیب بار طبق بخش ۱-۳-۴-۳ طراحی شوند.

۱۰-۱-۵- وصله نیمرخهای سنگین

این بند به نیمرخهای نوردشده حجیم و سنگین و نیمرخهای ورق‌سی که با جوش دادن ورقهای ضخیمتر از ۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، مربوط می‌شود.

در وصله این‌گونه اعضا که توسط جوش لب به لب نفوذی صورت می‌پذیرد، باید برای جلوگیری از اثر انقباض ناشی از سرد شدن و شکست ناشی از تردی در جوش و مصالح مجاور آن، احتیاطهای لازم به‌عمل آید.

اگر جوش وصله نقش انتقال تنشهای کششی ناشی از نیروی کششی و لنگر خمشی را داشته باشد، لازم است محدودیت‌های مربوط به طاقت مصالح روی نمونه طبق روش شارپی بررسی گردد. در محل وصله، سوراخهای دسترسی باید طبق بند ۱۰-۱-۶، پیش‌گرمایش جوشکاری طبق بند ۱۰-۲-۸، و برش یا شعله و احتیاجات بازرسی باید طبق بند ۱۳-۲-۲ رعایت گردد.

در اتصالات کششی نیمرخهای سنگین، باید بعد از جوشکاری، کلیه 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 ۱۰-۱-۶ را برآورده نماید.

در وصله 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 به حداقل برسانند. برای مثال می‌توان بال را با جوش لب به لب با نفوذ نسبی و جان را با استفاده از ورق وصله و جوش گوشه متصل نمود و یا از ورقهای وصله پیچی و یا ترکیبی از ورق وصله با جوش گوشه و پیچ استفاده نمود.

۱۰-۱-۶ - سوراخهای دسترسی برای جوش در محل وصله تیرها و در محل اتصال

طول سوراخهای دسترسی برای جوشکاری که از محل ریشه 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 به ضخامت بیش از ۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند، لبه‌های برش داده 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 به سنگ زدن و صاف کردن ندارند.

۱۰-۱-۷ - 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 ضربه‌دار ۴/۵ تن طراحی شوند.

۱۰-۱-۸ - 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.



۱۰-۱-۹- 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 سهم نمود.

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

۱۰-۱-۱۰- 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.

۱۰-۱-۱۱- محدودیتهای اتصالات پیچی و جوشی

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

۱. وصله ستونها در سازه‌های با ارتفاع ۶۰ متر و بیشتر.
۲. وصله ستونها در سازه‌های با ارتفاع ۳۰ تا ۶۰ متر، در صورتی که نسبت بعد کوچک پلان به ارتفاع در آنها از ۰/۴ کمتر باشد.
۳. وصله ستونها در سازه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر، در صورتی که نسبت بعد کوچک پلان به ارتفاع در آنها از ۰/۲۵ کمتر باشد.
۴. اتصال کلیه تیرها و شاهتیرها به ستون بر یا اتصال هر نوع تیر یا شاهتیری که مهار ستونها به آنها مرتبط باشد، در سازه‌های با ارتفاع بیش از ۳۸ متر.
۵. کلیه سازه‌هایی که جرثقیلهای با ظرفیت بیش از ۵ تن را تحمل می‌کنند، وصله‌های خریاهای بام و اتصالات خریاها به ستونها، وصله‌های ستونها، مهاربندی ستونها، مهاربندیهای زانویی و تکیه‌گاه جرثقیلها.
۶. اتصالات برای تکیه‌گاههای ماشین‌آلاته 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 کلیه حالت‌های دیگر می‌توان اتصال را با پیچهای معمولی و پرمقاومت با عملکرد انکابی انجام داد.

از لحاظ این بخش، ارتفاع یک‌سازه قابدار چندطبقه، عبارت‌است از فاصله قائم بین تراز جدول کنار خیابان تا مرتفع‌ترین نقطه 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 به خیابان نیست، میانگین تراز زمینهای مجاور باید به جای تراز جدول به کار برده شود. خریشته‌های پشت بام را می‌توان در محاسبات بلندی سازه کنار گذاشت.

۱۰-۲- اتصالات جوشی

۱۰-۲-۱- جوشهای شیاری

انواع جوشهای شیاری عبارتند از با نفوذ کامل و با نفوذ نسبی.

(الف) سطح مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر جوشهای شیاری، مساوی حاصل ضرب طول مؤثر جوش در ضخامت مؤثر گلولی جوش در نظر گرفته می‌شود.

طول مؤثر جوش شیاری، مساوی عرض قطعه متصل شده و ضخامت مؤثر گلولی جوش شیاری با نفوذ کامل مساوی ضخامت قطعه متصل شده نازکتر است.

ضخامت مؤثر گلولی جوش شیاری با نفوذ نسبی، مساوی با مقادیر نشان داده شده در جدول

۱۰-۲-۱- است.

ضخامت مؤثر گلولی یک جوش شیاری لب‌گرد در حالت همسطح با قطعه و در دو حالت اتصال لب به لب و یا اتصال T، طبق جدول ۱۰-۲-۲ می‌باشد. باید مقاطعی به صورت 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 گلولی جوش تأیید شود.

ضخامتهای مؤثر گلولی بزرگتر از مقادیر جدول ۱۰-۲-۲ به شرطی مجاز است که سازنده بتواند با مدارک مناسب نشان دهد که می‌تواند به‌طور مستمر چنین ضخامتهای مؤثر گلولی 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 به کار می‌رود و یا طراح مقرر می‌کند، باشند.

جدول ۱۰-۲-۱ ضخامت مؤثر گلولی جوشهای شیاری با نفوذ نسبی

روش جوشکاری	وضعیت جوشکاری	زاویه داخلی در رویه جوش	ضخامت مؤثر گلولی
جوش قوسی با: ۱. الکتروود پوشش‌دار یا زیرپودری	همه وضعیتها	درز U یا ل (لاله‌ای و نیم‌لاله‌ای)	عمق شیار
۲. الکتروود با حفاظ گازی		درز V یا \checkmark (جناغی و نیم‌جناغی) $\geq 60^\circ$ زاویه پنخ	
۳. الکتروود با حفاظ مغزی		درز V یا \checkmark (جناغی و نیم‌جناغی) $> 45^\circ$ زاویه پنخ $> 60^\circ$	عمق شیار منهای ۳ میلی‌متر

جدول ۱۰-۲-۲ ضخامت مؤثر گلولی جوشهای شیاری لب‌گرد

نوع جوش	شعاع گرهی لبه (R)	ضخامت مؤثر گلولی گامی
نیم‌جناغی لب‌گرد	همه 	$\frac{5}{16} R$
جناغی لب‌گرد	همه 	$\frac{1}{2} R^*$

* برای جوشکاری با حفاظ گازی وقتی که R از ۲۵ میلی‌متر بزرگتر است، از مقدار $\frac{3R}{8}$ استفاده شود.

(ب) محدودیتها

حداقل ضخامت مؤثر گلولی یک جوش شیاری با نفوذ نسبی باید طبق جدول ۱۰-۲-۳ باشد. اندازه حداقل جوش براساس قطعه ضخیمتر از بین دو عضو به هم وصل شده تعیین می‌گردد. لیکن لازم نیست که اندازه حداقل از ضخامت ورق نازکتر، بیشتر باشد. در این حالت، باید با پیش‌گرم نمودن کافی، از سلامت جوش اطمینان حاصل نمود.

جدول ۱۰-۲-۳ ضخامت مؤثر حداقل گلوی جوشهای شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت ورق ضخیمتر (میلی متر)	ضخامت مؤثر حداقل گلو (میلی متر)
۶ و کوچکتر	۳
بیش از ۶ الی ۱۳	۵
بیش از ۱۳ الی ۱۹	۶
بیش از ۱۹ الی ۲۸	۸
بیش از ۲۸ الی ۵۷	۱۰
بیش از ۵۷ الی ۱۵۰	۱۳
بیش از ۱۵۰	۱۶

۱۰-۲-۲-۱۰ جوشهای گوشه

(الف) سطح مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر جوشهای گوشه برابر است با حاصل ضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر گلو. طول مؤثر جوشهای گوشه، بجز جوشهای گوشه داخل سوراخها و شیارها، برابر است با طول کل جوش با اندازه کامل با احتساب طول برگشتها.

ضخامت مؤثر گلوی یک جوش گوشه برابر است با کوتاهترین فاصله ریشه درز تا سطح هندسی جوش، با این استثناء که در مورد جوشهای گوشه اجرا شده با روش قوسی زیرپودری، ضخامت مؤثر گلو برابر است با اندازه ساق جوش برای جوشهای گوشه ۱۰ میلی متر و کمتر و برابر است با اندازه تئوریک گلوگاه به اضافه ۳ میلی متر برای جوشهای گوشه بزرگتر از ۱۰ میلی متر. برای جوشهای گوشه داخل سوراخها و شیارها طول مؤثر برابر است با طول خط مرکزی جوش که از مرکز صفحه مار بر گلوی جوش می گذرد. در مورد جوشهای گوشه رویهم، مساحت مقطع مؤثر نباید از سطح مقطع اسمی سوراخ و یا شیار در روی سطح فصل مشترک بیشتر باشد.

(ب) محدودیتها

بعد (اندازه ساق) حداقل جوشهای گوشه در جدول ۱۰-۲-۴ ارائه گردیده است. بعد حداقل جوش براساس ضخامت قطعه ضخیمتر تعیین می گردد. با این استثناء که نیازی نیست از ضخامت قطعه نازکتر تجاوز نماید. در این حالت استثناء، باید توجه ویژه ای مبذول داشت که جهت حفظ بی عیبی جوش، پیش گرمایش کافی اعمال گردد.



جدول ۱۰-۲-۴ بعد حداقل جوشهای گوشه

ضخامت ورق ضخیمتر (میلی متر)	بعد حداقل جوش گوشه (میلی متر)
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 به کار برده شود، به‌قرار ذیل است:

- در امتداد لبه‌های مصالحی با ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر، مساوی ضخامت مصالح.
- در امتداد لبه‌های مصالحی با ضخامت ۶ میلی‌متر و یا بیشتر، مساوی ضخامت مصالح منهای ۱/۵ میلی‌متر، مگر اینکه در روی نقشه طراحی به‌طور اخص مشخص شده باشد که این جوش باید تا حصول ضخامت کامل گلو، اجرا گردد.
- برای جوش متصل‌کننده بال به‌جان، اندازه واقعی لازم نیست بزرگتر از ظرفیت برشی ورق جان باشد و رعایت حداقل ذکر شده در جدول «۱۰-۲-۴» 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 گوشه طولی به‌تنهایی به‌کار رفته باشند، طول هر کدام از این جوشهای گوشه نباید از فاصله عمودی بین آنها کمتر باشد. فواصل عرضی بین جوشهای گوشه طولی در اتصال انتهای اعضای کششی نباید از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز نماید، مگر اینکه اعضای مزبور براساس سطح مقطع خالص مؤثر طبق بخش ۲-۳ طراحی شده باشند.

حداکثر طول مؤثر جوشی که به‌صورت طولی بازگذاری 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 گوشه پیوسته با کوچکترین اندازه مجاز به‌دست می‌دهد و یا برای اتصال اجزای یک عضو متشکل از چند نیم‌رخ، به‌کار برد.

طول مؤثر هر قطعه از یک جوش منقطع، نباید از ۴ برابر بُعد جوش و یا ۴۰ میلی متر کمتر باشد. در درزهای رویهم، حداقل طول پوشش دو قطعه، باید ۵ برابر ضخامت قطعه نازکتر باشد، لیکن نباید از ۲۵ میلی متر کمتر گردد. در درزهای رویهم که ورقها و تسمه‌های تخت با تنش محوری را به همدیگر اتصال می‌دهند، باید انتهای هر دو قطعه رویهم جوش گوشه داده شوند، مگر در مواقعی که تغییر شکل قطعات رویهم به حد کافی محدود شده باشد که از باز شدن درز تحت اثر بارگذاری حداکثر، ممانعت به عمل آید.

جوشهای گوشه بغل و کله که به ترتیب در کناره و یا در انتهای قطعات و یا اعضا، به پایان می‌رسند، در صورت امکان باید حداقل به طول ۲ برابر اندازه اسمی جوش، حول گوشه به طور پیوسته برگردانده شوند. این دستورالعمل باید برای جوشهای گوشه بغل و بالای اتصال دهنده نشیمنهای عرضی و طولی تیرها و اتصالات مشابه به صفحه‌ای که نسبت به آن لنگر خمشی حساب می‌شود، اعمال گردد. برای اتصالات ساده با نشیمنهای جان و اتصالات ساده با ورق سر، که انعطاف پذیری اتصال به قابلیت انعطاف ساقهای برجسته نشیمنها وابسته‌اند، طول برگشتهای انتهایی از ۴ برابر اندازه اسمی جوش، نباید بیشتر شود. جوشهای گوشه‌ای که در دو لبه 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 به منظور انتقال برش در درزهای رویهم و یا برای جلوگیری از کمانش و یا جدا شدن قطعات رویهم و یا برای به هم پیوستن قطعات مشکله اعضای ساخته شده از چندینمخ به کار برد. چنین جوشهایی را می‌توان با رعایت مفاد بخش ۱۰-۲ در رویهم قرار داد. جوشهای گوشه در سوراخها و شیارها نباید به عنوان جوشهای انگشخانه و کام تلقی شوند.

۱۰-۲-۳- جوشهای انگشخانه و کام توپر

(الف) مساحت مقطع مؤثر

سطح مقطع مؤثر برشی جوشهای انگشخانه و کام برابر با سطح مقطع اسمی حفره و یا شکاف در روی صفحه فصل مشترک دو ورق می‌باشد.

(ب) محدودیتها

جوشهای انگشخانه و کام را می‌توان برای انتقال نیروی برشی در درزهای رویهم و یا برای جلوگیری



از کمانش قطعات رویهم و یا برای به هم پیوستن تقاطعات متشکله اعضای ساخته شده از چند نیمرخ به کار برد.

قطر سوراخ جوشهای انگشتانه که برحسب میلی متر گرد شده، نباید از ضخامت ورق حاوی سوراخ به اضافه ۸ میلی متر کمتر و از $\frac{1}{4}$ برابر ضخامت فلز جوش بیشتر باشد.

حداقل فاصله مرکز به مرکز جوشهای انگشتانه مساوی ۴ برابر قطر سوراخ می باشد.

طول شکاف یک جوش کام نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد. عرض شکاف که

برحسب میلی متر گرد شده، نباید از ضخامت ورق حاوی شکاف به اضافه ۸ میلی متر کمتر و از $\frac{1}{4}$ برابر ضخامت فلز جوش بیشتر باشد. سر و ته شکاف یا باید نیم دایره ای باشد و یا اینکه گوشه های آن با شعاعی برابر با اقل ضخامت قطعه حاوی شکاف گرد شده باشند، مگر اینکه انتهای شکاف به لبه قطعه منتهی شده باشد.

حداقل فاصله محور به محور 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 میلی متر و یا کمتر، باید

مساوی با ضخامت قطعه باشد. و در قطعات ضخیمتر از ۱۵ میلی متر، ضخامت جوش باید مساوی $\frac{1}{4}$ ضخامت قطعه ولی نه کمتر از ۱۵ میلی متر باشد.

۱۰-۲-۴ - مقاومت طرح

مقاومت طرح جوش حداقل دو مقدار $F_{BM} A_{BM} \phi$ و $F_w A_w \phi$ برحسب مورد می باشد. مقادیر F_{BM} و F_w در جدول ۱۰-۲-۵ ارائه شده است. در این جدول داریم:

$$F_{BM} = \text{مقاومت اسمی مصالح پایه (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_w = \text{مقاومت اسمی مصالح الکتروود (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_{BM} = \text{سطح مقطع عرضی مصالح پایه (cm}^2\text{)}$$

$$A_w = \text{سطح مقطع مؤثر جوش (cm}^2\text{)}$$

$$\phi = \text{ضریب مقاومت.}$$

به عنوان روش دیگر، جوشهای گوشه بارگذاری شده در صفحه را می توان طبق پیوست ۱۰-۲-۴

طراحی نمود.



جدول ۱۰-۲-۵ مقاومت طرح جوشها

نوع جوش	نوع تنش ^۱	مصالح	ضریب مقاومت ϕ	مقاومت اسمی F_w یا F_{BM}	مقاومت لازم برای فلز جوش ^۲
جوش شیباری با نفوذ کامل	کشش عمود بر مقطع مؤثر	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار
	فشار عمود بر سطح مقطع مؤثر	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار و یا یک تراز پایین تر
	کشش و یا فشار در موازات محور جوش				
برش در سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکتروود جوش	0.90 0.80	$0.6 F_y$ $0.6 F_{Exx}$		
جوش شیباری با نفوذ نسبی	فشار عمود بر سطح مقطع مؤثر	فلز پایه	0.90	F_y	سازگار و یا یک تراز پایین تر
	کشش و یا فشار موازی با محور جوش	فلز پایه الکتروود جوش	-	-	
	برش در موازات محور جوش				
کشش عمود بر سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکتروود جوش	0.90 0.80	F_y $0.6 F_{Exx}$		
جوش گرهه	تنش در روی سطح مقطع مؤثر	فلز پایه الکتروود جوش	- 0.75	- $0.60 F_{Exx}$	سازگار و یا یک تراز پایین تر
	کشش و یا فشار در موازات محور جوش	فلز پایه	0.90	F_y	
جوش آنگانه و کام	برش در موازات سطح فصل مشترک (روی سطح مقطع مؤثر)	فلز پایه الکتروود جوش	- 0.75	- $0.60 F_{Exx}$	سازگار و یا یک تراز پایین تر

- ۱- جوشهای گوشه و جوشهای شیباری با نفوذ نسبی که اجزای متشکله اعضای ساخته شده از چند نیمرخ را بهممدیگر پیوند می دهند، نظیر اتصال جان به بال، می توانند بدون توجه به تنشهای فشاری و با کششی موازی محور جوش در این اعضا طراحی شوند.
- ۲- فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید با فلز پایه (مادر) سازگار باشد. الکتروودهای سازگار طبق جدول ذیل می باشند.

مقاومت نهایی فلز جوش (F_u)	تنش تسلیم فلز پایه (مادر) (F_y)
4200 kg/cm ² (E60)	تا 3000 kg/cm ²
4900 kg/cm ² (E70)	تا 3850 kg/cm ²
5600 kg/cm ² (E80)	تا 4600 kg/cm ²

۳- F_{Exx} مقاومت نهایی فلز الکتروود می باشد. (kg/cm²)



۱۰-۲-۵- ترکیب جوشها

اگر دو 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، به تنهایی نسبت به محور گروه محاسبه گردد. مقاومت کلی، مسابری مجموع مقاومت‌های تک تک جوشها می‌باشد.

۱۰-۲-۶- سازگاری فلز جوش با فلز پایه (مادر)

در انتخاب نوع الکتروود، سازگاری فلز جوش با فلز پایه (مادر) باید در نظر گرفته شود. در پانویس جدول ۱۰-۲-۵، نوع فلز جوش سازگار با فلز پایه ارائه شده است. استفاده از فلز جوش با تراز بالاتر از تراز سازگار، همواره بلامانع است.

۱۰-۲-۷- فلز جوش مختلط

اگر طاقت نمونه 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 نمونه زخم‌دار برای فلز جوش مختلط محرز باشد.

۱۰-۲-۸- پیش‌گرمایش برای نیمرخهای سنگین

برای نیمرخهای نوردشده سنگین و نیمرخهای «رقی جوشی با ورقهای ضخیمتر از ۵۰ میلی‌متر، باید قبل از انجام جوش لب به‌لب، پیش‌گرم کردن تا دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر صورت گیرد.

۱۰-۳- پیچها، قطعات حدیده شده و پرچها**۱۰-۳-۱- معرفی**

انواع متداول پیچهای معمول در اسکلت‌های فولادی مشتمل بر پیچهای معمولی و پیچهای پرمقاومت می‌باشند. در جدول ۱۰-۳-۱ مشخصات پیچهای موجود یا تولید در ایران طبق استانداردهای ASTM و DIN ارائه شده است. برای هر پیچ باید واشر و مهره 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 ۱۰-۳-۱ انواع پیچهای موجود در ایران طبق ASTM و DIN

نوع پیچ و برج	نام تجاری		F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)	حداقل نیروی پیش تنیدگی
	ASTM	DIN			
برج	A501	UST36 RST38	1900	3150	
	A502		2600	4200	
			2050	3300	
			2250	3700	
پیچ معمولی	A307	4.6 5.6	2400 3000	4200	-
				4000	
				5000	
پیچ پرمقاومت	A325	8.8 10.9	6400 9000	≤M25 8250	0.55 F _u A _b
				>M25 7250	
	A490			10000	
				8000	
				10000	
				10000	

پرمقاومت مجاز هستند. در عملکرد اتکایی ایجاد نیروی پیش تنیدگی لازم نیست ولی در عملکرد اصطکاکی، پیچها باید تا نیروی $0.55F_u A_b$ پیش تنیده گردند.

برای حصول پیش تنیدگی استفاده از یکی از سه روش «سفت کردن مجدد مهره»، «کشش سنج» و یا «آچار مدرج» امکان پذیر است.

در اتصالاتی که تحت اثر بارهای کششی نیستند، همچنین جایی که لغزش را می توان مجاز دانست، و نیز آنجا که لقی و خستگی در اثر ارتعاشات یا در اثر نوسانات بارگذاری از نظر طراحی مسئله ساز نیستند، کافی است که پیچها را بدون ایجاد نیروی پیش تنیدگی، تنها تا حالت سفت شدن اولیه سفت نمود. طبق تعریف سفت شدن اولیه حالتی است که در اثر اعمال چند ضربه آچار ضربه ای و یا اینکه در اثر کوشش کامل یک کارگر به کمک یک آچار معمولی حاصل شود و باید لایه های متصل به هم را به حالت تماس محکم درآورد. برای پیچهایی که بدین صورت سفت شده اند، از مقادیر مقاومت های اسمی مندرج در جدول ۱۰-۳-۲ مربوط به اتصالات اتکایی باید استفاده شود. پیچهایی که باید به صورت معمولی بدون ایجاد نیروی پیش تنیدگی سفت گردند، لازم است به وضوح در روی نقشه های محاسباتی و نقشه های نصب مشخص گردند.

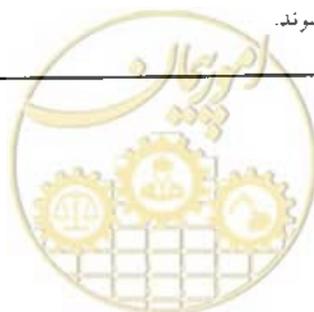
در اتصالات اصطکاکی که در آنها امتداد نیرو به طرف لبه قطعه مورد اتصال است، باید مقاومت اتکایی کافی طبق بند ۱۰-۳-۱۰ وجود داشته باشد.



جدول ۱۰-۳-۲ مقاومت طرح وسایل اتصال (بیچ و پرچ)

مقاومت برشی در اتصالات اتکایی		مقاومت کششی		شرح
مقاومت اسمی kg/cm ²	ضریب مقاومت ϕ	مقاومت اسمی kg/cm ²	ضریب مقاومت ϕ	
$0.4 F_u$	0.75	$0.75 F_u$	0.75	پیچهای معمولی
$0.4 F_u$	0.75	$0.78 F_u$	0.75	پیچهای پرمقاومت وقتی که حدیده‌ها در صفحه برش قرار دارند
$0.5 F_u$	0.75	$0.78 F_u$	0.75	پیچهای پرمقاومت وقتی که حدیده‌ها در صفحه برش قرار ندارند
$0.4 F_u$	0.75	$0.75 F_u$	0.75	قطعات حدیده‌شده منطبق بر مفاد بخش (۱-۳) وقتی که حدیده‌ها در صفحه برش قرار دارند
$0.5 F_u$	0.75	$0.75 F_u$	0.75	قطعات حدیده‌شده منطبق بر مفاد بخش (۱-۳) وقتی که حدیده‌ها در صفحه برش قرار ندارند
$0.9 F_y$	0.75	F_u	0.75	پرچهای گرم پرچ شده

۱- فقط بارگذاری استاتیکی
 ۲- استقرار حدیده‌ها در صفحات برش مجاز است
 ۳- مقاومت کششی اسمی ناحیه حدیده شده یک سبیل با حدیده توبی براساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حدیده، A_b ، باید از سطح مقطع اسمی تنه (قبل از ناحیه توبی) ضریب F_y بیشتر باشد.
 ۴- برای پیچهای پرمقاومت مشمول تنش خستگی ناشی از بار کششی به پیوست ۱۱-۴ رجوع شود.
 ۵- در اتصالات اتکایی مورد استفاده جهت وصله اعضای کششی، اگر طول کل اتصال (فاصله دو پرچ انتهایی) در امتداد محور نیرو از ۱۲۵ سانتی‌متر تجاوز کند، لازم است که مفادیر مندرج در جدول به میزان ۲۰ درصد تقلیل داده شوند.



۱۰-۳-۲- انواع سوراخهای پیچ

(الف) اندازه‌های حداکثر سوراخ پیچها و پرچها در جدول (۱۰-۳-۳) داده شده است. به‌خاطر نیاز به‌رواداریهای محل میل‌مهارها در شالوده‌های بتنی، سوراخهای بزرگتری در جزئیات 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 کلیه لایه‌های اتصالات اصطکاکی استفاده کرد. لیکن از آنها نمی‌توان در اتصالات از نوع اتکایی استفاده نمود. باید در لایه بیرونی روی سوراخهای فراخ، واشرهایی از فولاد خشکه نصب کرد.

(ت) از سوراخهای لوبیایی کوتاه می‌توان در هریک و یا در کلیه 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 لایه 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 دو طرف 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 لایه 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 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



تسمه یکسره قرار داد.

جدول ۱۰-۳-۳ ابعاد اسمی سوراخهای پیچ

اندازه حداکثر سوراخ				قطر پیچ (mm)
لوبیایی بلند (طول × عرض) (mm)	لوبیایی کوتاه (طول × عرض) (mm)	فراخ (قطر) (mm)	استاندارد (قطر) (mm)	
$(d+2) \times (2.5d)$	$(d+2) \times (d+7)$	$d+5$	$d+2$	d

در محاسبه سطح خالص مؤثر، برای سوراخهایی که با منگنه ایجاد می‌شوند، باید ۲ میلی‌متر به ابعاد فوق افزوده گردد.

۱۰-۳-۳- حد اقل فواصل

حداقل فاصله محور به محور سوراخهای استاندارد، فراخ، لوبیایی کوتاه و بلند $3d$ می‌باشد که d قطر پیچ است. فاصله خالص بین سوراخها نباید کمتر از $2d$ گردد. برای کنترل لهیدگی به بند ۱۰-۳-۱۰ مراجعه شود.

۱۰-۳-۴- حد اقل فاصله از لبه

حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه نوره شده و یا بریده شده با شعله مساوی $1.25d$ و تا لبه بریده شده با قیچی $1.75d$ (d قطر پیچ) می‌باشد. در سوراخ فراخ ۳ میلی‌متر به این فاصله اضافه می‌شود. در سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند، اگر قطر بزرگ سوراخ موازی لبه کار باشد، هیچ افزایشی به مقادیر 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 $0.75d$ به فواصل نظیر در سوراخ استاندارد اضافه می‌شود.

برای کنترل لهیدگی به بند ۱۰-۳-۱۰ مراجعه شود.

۱۰-۳-۵- حداکثر فواصل و فاصله از لبه

فاصله مرکز پیچ و یا پرچ تا نزدیکترین لبه قطعات در حال تماس، نباید از ۱۲ برابر ضخامت قطعه مورد بحث و نیز از ۱۵ سانتی‌متر تجاوز کند.

فاصله طولی بین وسایل اتصال در نیمرخهای ساخته شده از ورق و نیمرخ و یا دو ورق، به صورت زیر است:

الف) برای اعضای رنگ شده، و رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی نیست، فاصله وسایل اتصال نباید بزرگتر از ۲۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۳۰ سانتی متر شود.

ب) برای اعضای رنگ نشده که تحت شرایط خوردگی جوی قرار دارند، فاصله وسایل اتصال نباید از ۱۴ برابر ضخامت ورق نازکتر یا ۱۸ سانتی متر بیشتر شود.

۱۰-۳-۶ - مقاومت کششی و برشی اتکایی (غیر اصطکاکی)

مقاومت برشی یا کششی طرح پیچهای پرمقاومت یا قطعات حدیده شده مساوی $\phi F_u A_b$ است که در آن:

$$\phi = \text{ضریب مقاومت طبق جدول ۱۰-۳-۲}$$

$$F_u = \text{مقاومت کششی اسمی } F_u, \text{ یا مقاومت برشی اسمی } F_u \text{ طبق جدول ۱۰-۳-۲ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_b = \text{سطح مقطع تنه حدیده نشده پیچ یا قطعه رزوه شده (برای قطعات رزوه شده تویی}$$

$$\text{به پانویس جدول ۱۰-۳-۲ مراجعه شود) (cm}^2\text{)}$$

نیروی وارده، مساوی مجموع نیروهای ضربه‌دار و نیروهای کششی ناشی از عمل اهرمی شدن می‌باشد.

۱۰-۳-۷ - اثر ترکیبی برش و کشش در اتصالات اتکایی

مقاومت طرح پیچ یا پرچی که تحت اثر ترکیبی کشش و برش قرار دارد، مساوی $\phi F_u A_b$ می‌باشد که در آن ϕ مساوی ۰/۷۵ و F_u به صورت تابعی از f_u از روابط جدول ۱۰-۳-۴ محاسبه می‌شود. f_u تنش برشی ناشی از بارهای ضربه‌دار است. مقدار f_u باید کوچکتر از ϕF_u موجود در جدول ۱۰-۳-۲ باشد.

۱۰-۳-۸ - پیچهای پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی

طراحی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی برای برش مطابق بندهای ۱۰-۳-۸ الف و ب بوده و کنترل لهیدگی مطابق بندهای ۱۰-۳-۲ و ۱۰-۳-۱۰ صورت می‌گیرد.



جدول ۱۰-۳-۲ مقاومت کششی (F_t) به کیلوگرم بر سانتی متر مربع برای وسایل اتصال تحت اثر کشش و برش در اتصالات اتکایی

شرح	ناحیه رزوه شده واقع در مقطع برش	ناحیه رزوه شده خارج از مقطع برش
پیچهای معمولی	$F_u - 1.9 f_v \leq 0.75 F_u$	
پیچهای پرمقاومت	$F_u - 1.9 f_v \leq 0.78 F_u$	$F_u - 1.5 f_v \leq 0.78 F_u$
قطعات حدیده شده	$0.98 F_u - 1.9 f_v \leq 0.75 F_u$	$0.98 F_u - 1.5 f_v \leq 0.75 F_u$
برج	$1.3 F_u - 1.8 f_v \leq F_u$	

۱۰-۳-۸ الف - 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:

$\phi = 1$ برای سوراخهای استاندارد، فراخ، لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند وقتی که قطر بزرگ سوراخ عمود بر امتداد نیرو است.

$\phi = 0.85$ برای سوراخ لوبیایی بلند وقتی که قطر بزرگ سوراخ در امتداد نیرو است.

$F_v =$ مقاومت برشی اسمی مطابق جدول ۱۰-۳-۵

مقاومت برشی طرح باید مساوی و یا بزرگتر از برش پیچ به علت بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) باشد. هنگامی که 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 ۱۰-۳-۵ مربوط به سطوح فلس‌دار و تمیز شده توسط ماسه‌پاشی (سندبلاست) با ضریب اصطکاک ۰/۳۳ می‌باشد.

جدول ۱۰-۳-۵ مقاومت برشی اسمی پیچهای پرمقاومت اصطکاکی

به کیلوگرم بر سانتی متر مربع

نوع پیچ	مقاومت برشی اسمی	
	سوراخ استاندارد	سوراخ فراخ، سوراخ لوبیایی کوتاه
پرمقاومت	$0.15 F_u$	$0.12 F_u$
		$0.1 F_u$

† برای بار در امتداد عمود بر عرض شکاف. برای بار در امتداد موازی شکاف این عدد به $0.09 F_u$ کاهش می‌یابد.

۱۰-۳-۸-ب - طراحی پیچهای پر مقاومت اصطکاکی برای بارهای نهایی (ضریبدار) در این حالت باید به پیوست ۱۰-۳-۸-ب مراجعه شود.

۱۰-۳-۹ - ترکیب کشش و برش در اتصالات اصطکاکی طراحی اتصالات اصطکاکی تحت نیروی کششی مطابق بندهای ۱۰-۳-۹-الف، ۱۰-۳-۸-الف، یا ۱۰-۳-۹-ب، و ۱۰-۳-۸-ب، صورت می‌گیرد.

۱۰-۳-۹-الف - اتصالات اصطکاکی تحت بار بهره‌برداری مقاومت برشی طرح یک پیچ اصطکاکی تحت نیروی کششی بهره‌برداری T ، برابر است با مقدار حاصل از بخش ۱۰-۳-۸-الف، که در ضریب کاهش زیر ضرب می‌شود:

$$\left[1 - \frac{T}{T_b}\right]$$

که در آن:

$$T_b = \text{نیروی پیش‌تنیدگی اولیه پیچ طبق جدول ۱۰-۳-۱}$$

۱۰-۳-۹-ب - طراحی اتصالات اصطکاکی برای نیروی کششی تحت بار نهایی در این مورد به پیوست ۱۰-۳-۹-ب، مراجعه شود.

۱۰-۳-۱۰ - مقاومت لهدگی در سوراخ پیچ مقاومت لهدگی در سوراخ پیچ مساوی ϕR_{II} می‌باشد که در آن:

$$\phi = 0.75$$

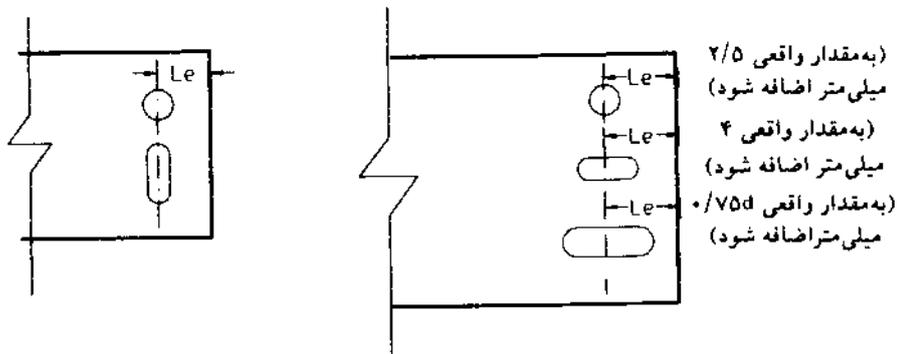
$$R_{II} = \text{مقاومت لهدگی اسمی (طبق روابط ۱۰-۳-۱ و ۱۰-۳-۲)}$$

مقاومت لهدگی باید برای هر نوع پیچ اتکایی و اصطکاکی کنترل شود. استفاده از پیچهای فواخ، لوبیایی کوتاه و لوبیایی بلند در امتداد نیرو محدود به پیچهای اصطکاکی می‌شود. در قسمتهای زیر:

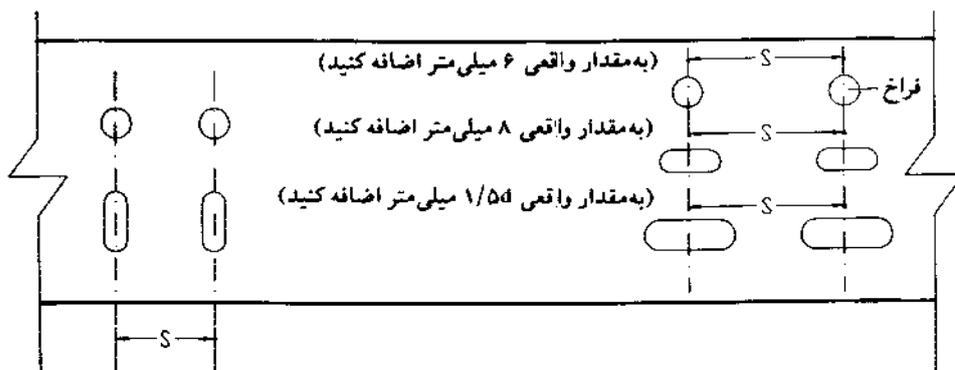
L_e = فاصله در امتداد نیرو از لبه ورق تا مرکز سوراخ استاندارد، یا مرکز سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند که عمود بر امتداد نیرو قرار دارند. در صورتی که سوراخ لوبیایی کوتاه و بلند در امتداد نیرو قرار داشته باشند، مقدار L_e به ترتیب به اندازه ۴ میلی متر و $0.75d$ (d)



قطر اسمی پیچ) باید افزایش یابد. برای سوراخهای فراخ، e باید به اندازه $2/5$ میلی‌متر افزایش یابد.



s = فاصله در امتداد نیرو از مرکز سوراخهای استاندارد، یا مرکز تا مرکز سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند که عمود بر امتداد نیرو قرار دارند. در صورتی که سوراخهای لوبیایی کوتاه و بلند در امتداد نیرو قرار داشته باشند، مقدار s به ترتیب به اندازه 8 و $1.5d$ (d قطر اسمی پیچ) باید افزایش یابد. برای سوراخهای فراخ، مقدار s باید به اندازه 5 میلی‌متر افزایش یابد.



d = قطر اسمی پیچ (میلی‌متر)

F_u = مقاومت نهایی قطعه بحرانی (kg/cm^2)

t = ضخامت قطعه بحرانی (mm). برای پیچها و پرچهای خزینه باید به اندازه نصف ارتفاع خزینه از t کاسته شود.

- (الف) وقتی که $L_e \geq 1.5d$ 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:

$$R_n = 2.4 dt F_u \quad (\text{الف} - ۱ - ۳ - ۱۰)$$

- برای سوراخ لوبیایی بلند در امتداد عمود بر نیرو (اتکایی و اصطکاکی)

$$R_n = 2 dt F_u \quad (\text{ب} - ۱ - ۳ - ۱۰)$$

- (ب) وقتی که $L_e < 1.5d$ یا $s < 3d$ است یا فقط یک پیچ در امتداد نیرو وجود دارد
- برای پیچهای استاندارد، و لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر نیرو در حالات اتکایی 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:

$$R_n = L_e^* t F_u \leq 2.4 dt F_u \quad (\text{الف} - ۲ - ۳ - ۱۰)$$

برای سوراخهای میانی

$$R_n = (s^* - d/2) t F_u \leq 2.4 dt F_u \quad (\text{ب} - ۲ - ۳ - ۱۰)$$

- برای سوراخهای لوبیایی بلند عمود بر امتداد نیرو در اتصالات اتکایی و اصطکاکی
- برای سوراخ پیچ تنها یا سوراخهای نزدیک لبه وقتی که در امتداد نیرو ۲ یا بیشتر پیچ وجود دارد:

$$R_n = L_e^* t F_u \leq 2.0 dt F_u \quad (\text{پ} - ۲ - ۳ - ۱۰)$$

برای سوراخهای میانی

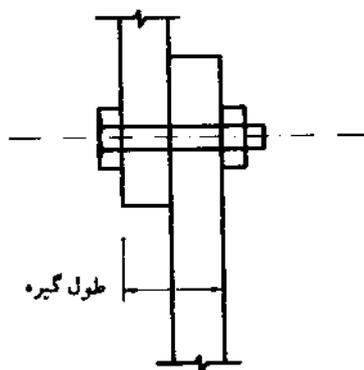
$$R_n = (s^* - d/2) t F_u \leq 2.0 dt F_u \quad (\text{ت} - ۲ - ۳ - ۱۰)$$

۱۰-۳-۱۱ - پیچها با طول گیره بلند

در پیچهای معمولی که مقاومت طراحی را فراهم می‌کند و طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، باید تعداد پیچ به ازای هر ۱/۵ میلی متر طول اضافی گیره، به میزان ۱ درصد اضافه شود.

* از مقادیر واقعی استفاده نمایند.





۱۰-۴- مقاومت گسیختگی طرح

۱۰-۴-۱- مقاومت گسیختگی برشی

مقاومت برشی طرح در حالت حدی گسیختگی در امتداد یک مسیر شکست برای اجزای اعضای متصل به هم 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

۱۰-۴-۲- مقاومت گسیختگی کششی

مقاومت کششی طرح در حالت حدی گسیختگی در امتداد یک مسیر شکست برای اجزای اعضای متصل به هم مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن:

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = F_u A_{nt}$$

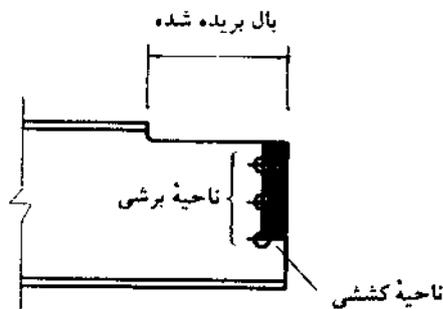
A_{nt} = سطح مقطع خالص مسیر شکست

۱۰-۴-۳- 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 صفحه عمود بر آن به دست می آید. 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، هنگامی که جهت تعیین مقاومت روی یک صفحه گسیختگی، از مقاومت



شکل برشی قالبی

نهایی سطح مقطع خالص استفاده می شود، برای صفحه عمود بر آن باید از تنش تسلیم در روی سطح مقطع کل استفاده شود. مقاومت برشی گسیختگی برش قالبی، ϕR_n ، به صورت زیر محاسبه می شود:

(الف) وقتی که $F_u A_{nv} \geq 0.6 F_u A_{nt}$ باشد:

$$\phi R_n = \phi [0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}] \quad (\text{الف} - ۳ - ۴ - ۱۰)$$

(ب) وقتی که $0.6 F_u A_{nv} > F_u A_{nt}$ باشد:

$$\phi R_n = \phi [0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gv}]$$

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)



۱۰-۵-۱ - اجزای اتصال

مطالب این فصل مربوط به طراحی اجزای اتصال نظیر سخت‌کننده‌ها، ورق‌های اتصال، نبشیه‌ها و نشیمنها، و ناحیه اتصال در اتصالات تیر به ستون است.

۱۰-۵-۱ - اتصالات برون‌محور

در صورت امکان، محورهای ثقل اعضای متقاطع تحت نیروهای محوری، باید در یک نقطه متقارب باشند. در غیر این صورت باید برای مقابله با تنشهای خمشی و برشی حاصل از برون‌محوری، پیش‌بینی‌های لازم اعمال گردد.

۱۰-۵-۲ - 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 به دست آمده از حالات حدی تسلیم، گسیختگی و گسیختگی برشی قالبی منظور شود.

(الف) برای حالت حدی تسلیم اجزای اتصال

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = A_g F_y \quad (10-5-1)$$

(ب) برای حالت حدی گسیختگی اجزای اتصال

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = A_n F_u \quad (10-5-2)$$

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 به بند ۱۰-۴-۳ مراجعه نمایید.

۱۰-۵-۳ - سایر اجزای اتصال

برای سایر اجزای اتصال، مقاومت طرح ϕR_n باید برای حالت حدی قابل اعمال محاسبه گردد، به نحوی 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:

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = 0.6 F_y A_g \quad (3-5-10)$$

در صورتی که اجزای اتصال در فشار باشند، باید با یک تحلیل مناسب، مقاومت طرح را تعیین نمود.

۱۰-۶ - لقمه‌ها (پرکننده‌ها)

در سازه‌های جوشی، پرکننده‌ها با ضخامت ۶ میلی‌متر و یا بیشتر، باید از لبه‌های ورق وصله بیرون بزنند و به قطعه‌ای که بدان نصب می‌گردد، به حد کافی جوش داده شود، به طوری که بتواند نیروی ورق وصله را که بر سطح ورق پرکننده وارد می‌شود، منتقل نماید.

جوشهایی که ورق وصله را به ورق پرکننده وصل می‌کنند، باید برای انتقال نیروی ورق وصله، کافی و در عین حال به قدر کافی طویل باشند تا اینکه از اضافه تنش ورق وصله در مقطعی به موازات و در نوک پنجه جوش جلوگیری گردد. لبه‌های پرکننده‌هایی که ضخامت آنها از ۶ میلی‌متر کمتر است، باید با لبه‌های ورق وصله هم‌باد باشند. در این حالت اندازه جوش باید مساوی مجموع اندازه جوش لازم جهت حمل نیروی وصله به اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

هنگامی که پیچ و یا پرچهای حامل بار از ورقهای پرکننده به ضخامت بیشتر از ۶ میلی‌متر عبور می‌کنند، به استثنای اتصالاتی که به صورت اصطکاکی طرح شده‌اند، پرکننده‌ها باید از لبه ورق وصله بیرون بزنند و این زائده‌ها باید به کمک تعداد کافی پیچ و یا پرچ محکم گردند تا اینکه تنش کل موجود در عضو به صورت یکنواخت روی سطح مقطع مرکب عضو و پرکننده توزیع گردد و یا اینکه باید تعداد معادلی وسایل اتصال (پیچ یا پرچ) به اتصال افزوده گردد.

۱۰-۷ - وصله‌ها

وصله‌های ساخته شده با جوش شیاری در تیورقها و تیرها باید مقاومت کامل نیمرخ وصل شده کوچکتر را فراهم آورند. سایر انواع وصله‌های کار گذاشته شده در مقطع تیورقها و تیرها کافی است که مقاومت مورد نیاز برای تحمل نیروها در محل وصله را فراهم نمایند.

۱۰-۸ - مقاومت اتکایی

مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم برابر با ϕR_n می‌باشد که در آن $\phi = 0.75$ و R_n برای سطوح اتکا



مختلف در زیر تعریف می‌گردد:

۱۰-۸-۱ - 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:

$$R_n = 1.8F_y A_{pb} \quad (10-8-1)$$

که در آن:

$$F_y = \text{تنش تسلیم حداقل مقرر (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_{pb} = \text{تصویر سطح اتکا (cm}^2\text{)}$$

۱۰-۸-۲ - غلنتکها و کفشکهای تکیه‌گاههای یا تاقانی

برای $d \leq 63.5 \text{ cm}$

$$R_n = 1.2(F_y - 910)ld/20 \quad (10-8-2)$$

برای $d > 63.5 \text{ cm}$

$$R_n = 3.75(F_y - 910)l\sqrt{d}/20 \quad (10-8-3)$$

که در آن:

$$d = \text{قطر (cm)}$$

$$l = \text{طول اتکا (cm)}$$

۱۰-۹ - کف ستونها و اتکاروی بتن

جهت انتقال نیرو و لنگر پای ستونها به شکل 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:

$$\phi_c = 0.60$$

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \dots \dots \dots \text{در روی سطح کامل یک تکیه‌گاه بتنی}$$

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{A_2/A_1} \dots \dots \dots \text{در ناحیه‌ای کمتر از سطح کامل یک تکیه‌گاه بتنی}$$



$A_1 =$ 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 ناحیه بارگذاری شده می‌باشد. (cm^2)
 همچنین باید $2 \leq \sqrt{A_2/A_1}$ باشد.

۱۰-۱۰- میل مهارها و اقلام مدفون

۱۰-۱۰-۱ میل مهارها

میل مهارها باید جهت مقاومت در برابر کلیه شرایط طراحی سازه تکمیل شده از نظر کشش و برش در پای ستون به انضمام نیروی خالص کششی هرگونه لنگری که ممکن است در اثر صلبیت اتصال پای ستون بروز نماید، طراحی گردند.

۱۰-۱۰-۲ اقلام مدفون

سازه 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 سازه بتنی تقلیل پیدا نکند.
 مقاومت و طراحی عناصر فولادی اقلام مدفون باید مطابق ضوابط این آیین‌نامه باشد. پیچها و گلمیخها و میله مهارهایی که به‌عنوان مهارهای مدفون، نیروی کششی حمل می‌کنند، باید جهت انتقال بارهای طراحی به بتن از طریق نیروی پیوستگی، برشی و اتکایی و یا ترکیبی از آنها طراحی گردند.
 انتقال بارهای برشی توسط اقلام مدفون به بتن، توسط مفهوم برش - اصطکاک صورت می‌پذیرد که در این خصوص ارجح است به آیین‌نامه بتن ایران مراجعه شود.

۱۰-۱۰-۳ اقلام مدفون پیش‌تنیده

مهار کردن اقلام به‌سازه‌های بتنی توسط اعضای فولادی پرمقاومت پس‌کشیده مجاز است. ضوابط مربوط به مصالح و طراحی اعضای فولادی پرمقاومت و مهار آنها و نیز روشهای ساخت و نصب آنها باید مطابق ضوابط یک آیین‌نامه معتبر باشد.



فصل ۱۱

نیروهای متمرکز، آب‌انباشتی و خستگی

در این فصل ملاحظات تکمیلی در خصوص مسائلی نظیر اعمال بارهای متمرکز، آب‌انباشتی و خستگی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱۱-۱- اثر نیروهای متمرکز بر بال و جان اعضا

۱۱-۱-۱- مبانی طراحی

بندهای ۱۱-۱-۲ تا ۱۱-۱-۷ مربوط به اثر بار متمرکز تک و با زوج، بر حسب مورد، بر روی اعضا می‌باشد. بار متمرکز تک می‌تواند به صورت فشاری و یا کششی باشد. بار متمرکز زوج، یکی کششی و دیگری فشاری، ایجاد لنگر زوج نیرو در عضو می‌نماید.

مطابق بند ۱۱-۱-۲ در محل تأثیر نیروی متمرکز کششی برای جلوگیری از خمش موضعی بال، و مطابق بند ۱۱-۱-۸ در انتهای غیرمتصل تیرها و شاهتیرها، سخت‌کننده عرضی مورد نیاز است. مطابق بندهای ۱۱-۱-۳ تا ۱۱-۱-۶ برای جلوگیری از تسلیم، لهیدگی، کمانش جانبی، و کمانش فشاری جان، نیاز به سخت‌کننده عرضی یا ورق تقویت ضخامت جان است. مطابق بند ۱۱-۱-۷ برای جلوگیری از گسیختگی برشی چشمه اتصال نیاز به سخت‌کننده قطری یا ورق تقویت ضخامت جان است.

سخت‌کننده‌های عرضی و قطری لازم طبق بندهای ۱۱-۱-۲ تا ۱۱-۱-۸، باید مقررات بخش ۱۱-۱-۹ را برآورده نمایند. ورقهای تقویت‌کننده ضخامت جان طبق بندهای ۱۱-۱-۳ تا ۱۱-۱-۶، باید مقررات بخش ۱۱-۱-۱۰ را برآورده نمایند.



۱۱-۱-۲- خمش موضعی بال

این بخش برای هر دو حالت نیروی کششی تک، یا مؤلفه کششی زوج نیروی متمرکز قابل اعمال است.

در صورتی که مقدار نیروی متمرکز ضریبناز 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 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = 6.25 t_f^2 F_{yf} \quad (1-1-10)$$

که در آن:

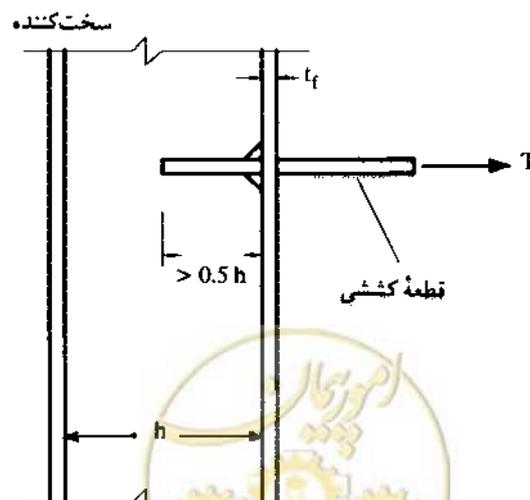
$$F_{yf} = \text{تنش تسلیم بال (kg/cm}^2\text{)}$$

$$t_f = \text{ضخامت بال تحت بار (cm)}$$

در صورتی که طول بارگذاری شده در امتداد عرض، کوچکتر از $0.15 b$ باشد (b عرض بال است)، اعمال رابطه ۱-۱-۱۰ لازم نیست.

در صورتی که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از $10 t_f$ از انتهای عضو اثر نماید، مقدار R_n حاصل از رابطه ۱-۱-۱۰ باید نصف گردد.

در صورت نیاز به سخت‌کننده عرضی، باید به بال کششی جوش شوند. مقدار جوش متناسب با نیروی سخت‌کننده است. جوش سخت‌کننده به جان باید قادر به انتقال نیروی سخت‌کننده به جان باشد.



شکل ۱-۱-۱۱ خمش موضعی بال

۱۱-۱-۳- تسلیم موضعی جان

این بخش مربوط به نیروی متمرکز تک یا هر دو مؤلفه زوج نیرو می‌شود. در صورتی که 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 به شرح زیر تعیین می‌گردد:

$$\phi = 1$$

R_n برحسب مورد، توسط یکی از روابط زیر به دست می‌آید:

(الف) وقتی نیروی متمرکز در فاصله‌ای بزرگتر از d از انتهای عضو اعمال شود:

$$R_n = (5K + N) F_{yw} f_w \quad (2-1-11)$$

(ب) وقتی نیروی متمرکز در فاصله‌ای کوچکتر از d از انتهای عضو اعمال شود:

$$R_n = (2.5K + N) F_{yw} f_w \quad (3-1-11)$$

در روابط ۲-۱-۱۱ و ۳-۱-۱۱ داریم:

$$F_{yw} = \text{تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm}^2\text{)}$$

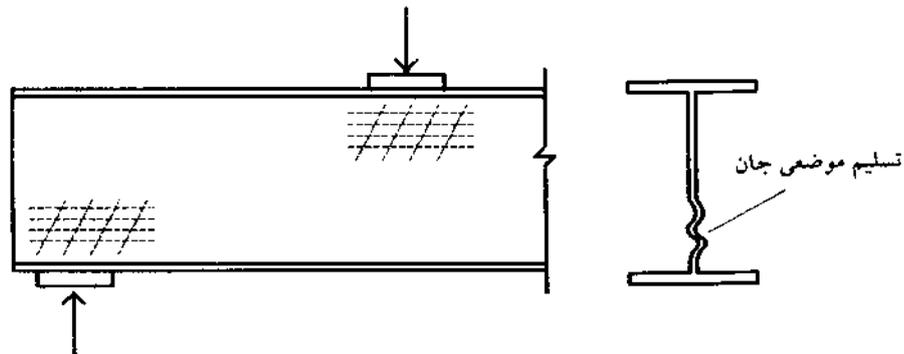
$$N = \text{طول اتکای نیرو (نه کمتر از } K \text{ برای واکنش انتهایی) (cm)}$$

$$K = \text{فاصله سطح خارجی بال تا آغازگردی محل اتصال جان به بال (cm)}$$

$$f_w = \text{ضخامت جان (cm)} \quad d = \text{ارتفاع کل مقطع (cm)}$$

در صورت کششی بودن نیرو، سخت‌کننده‌ها حتماً باید به بال جوش شوند. در صورت فشاری بودن نیرو، سخت‌کننده‌ها می‌توانند به صورت تماسی و یا اتصال جوش نیروی بال را انتقال دهند. جوش متصل‌کننده سخت‌کننده به جان، باید قادر به انتقال نیروی غیرمتمقارن سخت‌کننده به جان باشد. به بند ۱۱-۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به بند ۱۱-۱-۱۰ مراجعه کنید.



شکل ۱۱-۲ تسلیم موضعی جان



۱۱-۱-۴ - لهدگی جان

این بخش مربوط به نیروی متمرکز فشاری تک و یا مؤلفه فشاری زوج می‌شود. در صورتی که 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 به شرح 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:

$$R_n = 1130 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (۴-۱-۱۱)$$

R_n برحسب کیلوگرم و F_{yw} تنش تسلیم جان برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

(ب) وقتی که نیروی متمرکز فشاری در فاصله‌ای کمتر از $d/2$ از انتهای عضو اعمال شود:

$$N/d \leq 0.2$$

$$R_n = 565 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (\text{الف-۵-۱-۱۱})$$

$$N/d > 0.2$$

$$R_n = 565 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (\text{ب-۵-۱-۱۱})$$

در روابط ۱۱-۱-۵ الف و ب، داریم:

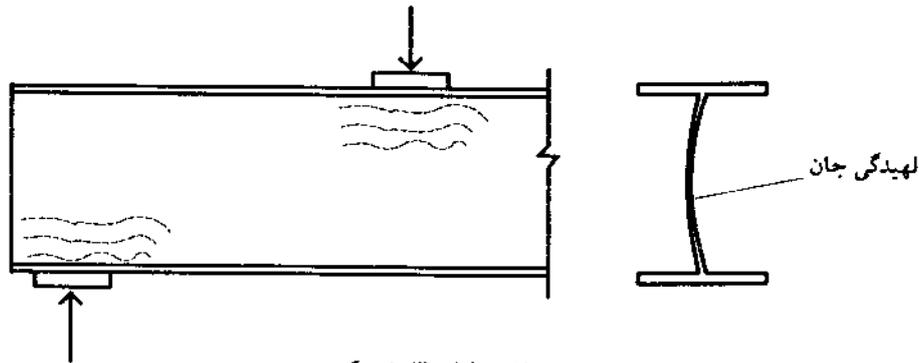
d = ارتفاع کلی عضو (cm)

N = طول اتکای نیرو (cm)

t_f = ضخامت بال (cm)

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به صورت اتکایی و یا با اتصال جوشی به بال تحت نیرو متصل گردند. جوش اتصال‌دهنده سخت‌کننده به جان باید قادر به انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به جان باشد. به بند ۱۱-۱-۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به بند ۱۱-۱-۱۰ مراجعه نمایید.



شکل ۱۱-۳ لهیدگی جان

۱۱-۱-۵- کمانش جانبی جان

این بخش مربوط می‌شود به حالتی که یک نیروی متمرکز تک‌فشاری، به عضوی 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 به روش زیر تعیین می‌شود:

(الف) اگر بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته شده باشد:

$$\frac{h/t_w}{l/b_f} \leq 2.3 \quad \text{برای}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 f_f}{h^2} \left[1 + 0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right] \quad (11-1-6)$$

در صورتی که $(h/t_w)/(l/b_f) > 2.3$ باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست. در صورتی که مقدار نیروی فشاری ضریب‌دار، 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 در سمت بال فشاری نصب شده و لاقط باید به اندازه نصف ارتفاع جان ادامه یابند.

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به صورت اتکایی و یا با اتصال جوشی به بال تحت نیرو متصل گردند. جوش اتصال‌دهنده سخت‌کننده به جان باید قادر به انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به جان



باشد. به بند ۱۱-۱-۹ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به بند ۱۱-۱-۱۰ مراجعه نمایید.

(ب) اگر بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته نشده باشد:

$$\frac{h/t_w}{l/b_f} \leq 1.7 \quad \text{برای}$$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right] \quad (7-1-11)$$

برای $(h/t_w)/(l/b_f) > 1.7$ ، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

در صورتی که 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 ۱۱-۱-۶ و ۱۱-۱-۷ داریم:

l = بزرگترین طول مهارنشده هر دو بال در محل تأثیر نیرو (cm)

b_f = عرض بال (cm)

t_w = ضخامت جان (cm)

h = ارتفاع خالص جان بین آغازگردی ماهیچه اتصال جان به بال در مقاطع نوردشده و بین دو

جوش اتصال‌دهنده بال به جان در تیرورق‌ها

$C_r = 672 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (اگر در محل تأثیر نیرو $M_n < M_y$ باشد)

$C_r = 336 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (اگر در محل تأثیر نیرو $M_n \geq M_y$ باشد)



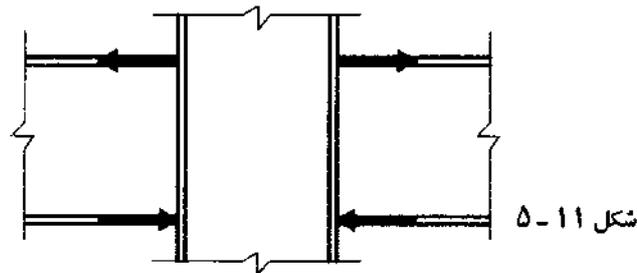
بال فشاری در مقابل دوران نگه داشته شده

بال فشاری در مقابل دوران آزاد است

شکل ۱۱-۴ کمانش جانبی جان

۱۱-۱-۶- کمانش فشاری جان

این بخش مربوط است به یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مؤلفه فشاری زوج نیرو که در یک مقطع در جهت مخالف به بالهای مقابل عضو اعمال می‌شوند.



در صورتی که مقدار نیروی فشاری ضربیدار از مقاومت طرح ϕR_n تجاوز نماید، یک سخت‌کننده تک، یا جفت و یا ورق تقویت جان باید در مقابل نیروی فشاری در تمام ارتفاع جان تعبیه گردد. ϕR_n به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = \frac{34500 t_w^3 \sqrt{F_{yw}}}{h} \quad (۸-۱-۱۱)$$

در صورتی که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از $d/2$ از انتهای تیر وارد شوند، R_n باید نصف گردد.

سخت‌کننده‌ها می‌توانند به صورت اتکایی و یا جوشی به بال تخت نیرو متصل شوند. جوش متصل‌کننده سخت‌کننده به جان باید برای انتقال نیروی نامتعادل سخت‌کننده به جان طرح گردد. به بند ۹-۱-۱۱ نیز مراجعه نمایید.

در صورت استفاده از ورق تقویت جان، به بند ۱۱-۱-۱۰ مراجعه شود.

۱۱-۱-۷- برش در جان چشمه اتصال

در صورتی که نیروی برشی ضربیدار جان در چشمه اتصال، بزرگتر از ϕR_v گردد، باید ورق تقویت جان، یا سخت‌کننده قطری در چشمه اتصال تعبیه گردد. ϕR_v به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\phi = 0.90$$

$R_v =$ طبق روابط زیر:

(الف) وقتی که تأثیر تغییر شکل چشمه اتصال در پایداری قاب در تحلیل قاب منظور

نمی‌شود.

$$P_u \leq 0.4 P_y \text{ برای}$$

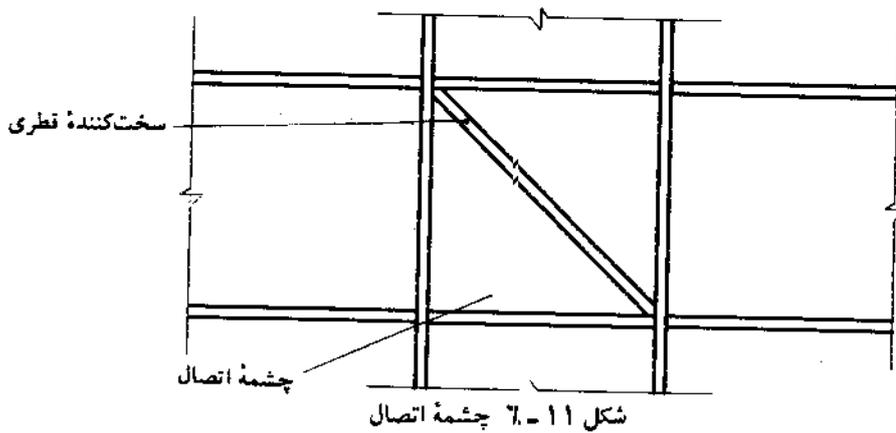
$$(۹-۱-۱۱)$$

$$P_u > 0.4 P_y \text{ برای}$$

$$R_v = 0.60 F_y d_c t_w$$



$$R_v = 0.60 F_y d_c t_w \left(1.4 - \frac{P_u}{P_y} \right) \quad (10-1-11)$$



(ب) وقتی که پایداری قاب، شامل تغییر شکل پلاستیک چشمه اتصال، در تحلیل منظور

می‌شود:

$$P_u \leq 0.75 P_y \text{ برای}$$

$$R_v = 0.60 F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \quad (11-1-11)$$

$$P_u > 0.75 P_y \text{ برای}$$

$$R_v = 0.60 F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \left(1.9 - \frac{1.2 P_u}{P_y} \right) \quad (12-1-11)$$

در روابط ۱۱-۱-۱۱ تا ۱۲-۱-۱۱ داریم:

$$t_w = \text{ضخامت جان ستون (cm)}$$

$$b_{cf} = \text{عرض بال ستون (cm)}$$

$$t_{cf} = \text{ضخامت بال ستون (cm)}$$

$$d_b = \text{ارتفاع تیر (cm)}$$

$$d_c = \text{ارتفاع ستون (cm)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم مصالح ستون (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_y A = P_y, \text{ نیروی محوری تسلیم مقطع ستون (kg)}$$

$$A = \text{سطح مقطع ستون (cm}^2\text{)}$$



در صورت استفاده از ورق تقویتی جان، باید مقررات بند ۶-۲ را برآورده نمایند و جوش اتصالی آنها به جان، باید قادر به انتقال نیروی برشی سهمیه باشد.
در صورت استفاده از سخت‌کننده قطری، چون اتصال سخت‌کننده به جان باید قادر به انتقال نیروی ناشی از لنگر نامتعادل باشد. به بخش ۱۱-۱-۹ نیز مراجعه شود.

۱۱-۱-۸- 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 سخت‌کننده عرضی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارد، تعبیه گردد. به بند ۱۱-۱-۹ نیز مراجعه شود.

۱۱-۱-۹- مقررات اضافی لازم برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز

سخت‌کننده‌های عرضی و قطری باید معیارهای زیر را برآورده نمایند:

- ۱- عرض هر سخت‌کننده به علاوه نصف ضخامت جان، نباید کمتر از $\frac{1}{3}$ عرض بال گردد.
- ۲- ضخامت سخت‌کننده نباید کمتر از نصف ضخامت بال گردد و همچنین نسبت عرض به ضخامت باید در رابطه زیر صدق نماید:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}}$$

سخت‌کننده‌هایی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارند، باید به صورت ستون (بند ۵-۲) 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 فاصله بین دو بال و t_w ضخامت جان می‌باشد).
جوش سخت‌کننده به جان باید قادر به انتقال نیروی سهمیه باشد. برای سخت‌کننده‌های جفت، به بند ۱۰-۸-۱ مراجعه شود.

۱۱-۱-۱۰- مقررات اضافی برای ورق‌های تقویتی جان در مقابل نیروهای متمرکز

ورق‌های تقویتی جان که طبق بندهای ۱۱-۱-۳ و ۱۱-۱-۶ مورد احتیاج هستند، باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

- ۱- ضخامت ورق تقویتی و ابعاد آنها باید جبران کمبود مقاومت موجود را بنماید.
- ۲- جوش ورق سخت‌کننده به جان باید برای انتقال نیروی سهمیه کافی باشد.



۱۱-۲- آب‌انباشگی

جهت حصول اطمینان نسبت به مقاومت و پایداری کافی تحت شرایط آب‌انباشگی، سیستم سازه‌ای بام باید به طریق تحلیل سازه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. مگر اینکه در سطح پشت‌بام شیبه‌ای کافی به سوی نقاط زهکشی آزاد فراهم و یا اینکه به تعداد کافی زهکشهای منفرد تعبیه شده باشد، به قسمی که از انباشت آب باران ممانعت به عمل آید.

در صورت برقراری شرایط زیر، سیستم سازه‌ای پشت‌بام پایدار تلقی گردیده و بررسی بیشتری

مورد نیاز نیست:

$$C_p + 0.9 C_s \leq 0.25 \quad (11-2-1)$$

$$I_d \geq 4(S^4)10^{-9} \quad (11-2-2)$$

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 = فاصله بین ستونها در امتداد شاهتیرها (طول اعضای اصلی) (cm)

L_s = فاصله بین ستونها در امتداد عمود بر شاهتیرها (طول اعضای ثانوی) (cm)

S = فاصله 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 به میزان ۱۵ درصد کاهش داده شود. در صورتی که کف فولادی مستقیماً روی اعضای اصلی تکیه نماید، به عنوان عضو ثانوی در نظر گرفته می‌شود.

در پیوست ۱۱-۲، روش دیگری برای محاسبه سختی تیرریزی بامهای تخت ارائه شده است.

۱۱-۳- خستگی

تعداد اعضا و یا اتصالاتی که در ساختمانهای متعارف باید در مقابل خستگی طراحی شوند کم



است، زیرا که در این‌گونه سازه‌ها، غالباً تغییرات در بارگذاری به دفعات بسیار کمی اتفاق می‌افتد و با اینکه این تغییرات فقط نوسانات بسیار جزئی در تنشها ایجاد می‌کنند. وقوع بارهای باد و زلزله در حد کامل، نادرتر از آنند که احتساب اثرشان در مقابل خستگی ضرورت پیدا کند. لیکن، عبورگاههای جرثقیلهای سقفی و سازه‌های تحمل‌کننده ماشین‌آلات و تجهیزات غالباً در معرض شرایط بارگذاری خستگی قرار می‌گیرند.

اعضا و اتصالات آنها که تحت بارگذاری خستگی قرار دارند، باید طبق ضوابط پیوست ۱۱-۴ با استفاده از بارهای بدون ضریب (بارهای بهره‌برداری) طراحی شوند.



ملاحظات طراحی برای حالت حدی بهره‌برداری

هدف این فصل ارائه رهنمودهای طراحی برای آن دسته شرایط بهره‌برداری است که در قسمتهای دیگر این مجموعه مطرح نشده‌اند. بهره‌برداری حالت حدی است که در آن کاربرپذیری، 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 تغییر مکانها و شتابها و غیره) باید با در نظر گرفتن 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.

۱۲-۱- خیز

اگر در مورد بعضی از اعضا، خیز بخصوصی لازم است تا آنها را در حالت بارگذاری به شکل مورد نظر در ارتباط با اعضای دیگر درآورد، باید این‌گونه محدودیتها در مدارک طراحی به‌روشنی داده شود. تیرها و خرپاهایی که 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.



۱۲-۲- انبساط و انقباض

پیش‌بینی‌های لازم برای انبساط و انقباض، متناسب با شرایط بهره‌برداری باید به عمل آید.

۱۲-۳- تغییر شکل، ارتعاش و انتقال جانبی

۱۲-۳-۱- تغییر شکلها

تغییر شکلها در اعضا و سیستم‌های سازه‌ای در اثر بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) نباید خللی در شرایط بهره‌برداری سازه ایجاد نماید.

۱۲-۳-۲- ارتعاشات

در طراحی تیرها و شاستیرهای حمال فضاهای وسیعی که فاقد دیوارهای جداکننده و یا سایر منابع مستهلک‌کننده می‌باشند، در صورتی که در داخل ساختمان ارتعاشات حاصل از ترافیک عابرین پیاده و غیره مطلوب نباشد، باید اثر ارتعاشات ملحوظ گردد.

۱۲-۳-۳- انتقال جانبی

انتقال جانبی سازه‌ها در برابر بارهای باد و یا زلزله مقرر در آیین‌نامه‌های مربوطه، نباید منجر به تصادم با سازه‌های مجاور گردد و نیز مقدار آنها نباید از مقادیر حدی که یا مقرر گردیده و یا متناسب تشخیص داده شده است، تجاوز نماید.

۱۲-۴- لغزش در اتصال

جهت طراحی اتصالات مقاوم در برابر لغزش به فصل دهم مراجعه شود.

۱۲-۵- خوردگی

در جایی که لازم باشد، خوردگی فولاد در طرح اعضای سازه منظور گردد و به آنها طوری ابعاد داده شود که اثر خوردگی را جبران نماید و یا با حفاظت در مقابل خوردگی به وسیله رنگ کردن و یا راه‌حلهای دیگر، شرایط بهره‌برداری سازه حفظ گردد. مقدار اضافه ضخامت قربانی بستگی به شرایط محیطی و عمر مفید سازه دارد که برحسب مورد باید تعیین گردد.

ساخت، نصب، و کنترل کیفیت

۱۳-۱- نقشه‌های کارگاهی

قبل از شروع ساخت، باید نقشه‌های کارگاهی که در آن تمام اطلاعات و جزئیات لازم برای ساخت قطعات قید شده باشد، تهیه شود. این اطلاعات و جزئیات باید شامل ابعاد عناصر سازه و محل آنها و نوع و اندازه تمام جوشها، پیچها و یا پرچها باشد. در این نقشه‌ها باید به روشنی 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 به سرعت اجرا و شرایط اقتصادی عمل ساخت و نصب، تهیه شود.

۱۳-۲- ساخت

۱۳-۲-۱- 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 قابل قبولی اندازه‌گیری شود، نباید از ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد برای فولادهای پرمقاومت و از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد برای سایر فولادها تجاوز نماید.



۱۳-۲-۲- 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 پریذگی (ناهمواری) باشند. در صورتی که عمق این ناهمواریها، کوچکتر از ۵ میلی‌متر باشند، وجود آنها مجاز می‌باشد. ناهمواریهای عمیقتر از ۵ میلی‌متر که در اثر برشکاری به وجود می‌آیند، باید به وسیله سنگ زدن حذف و یا به وسیله جوشکاری مرمت گردند. کلیه 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.

۱۳-۲-۳- صافکاری لبه‌ها

به صافکاری و سنگ زدن لبه‌های قیچی شده و یا با شعله بریده شده 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.

۱۳-۲-۴- ساختمانهای با اتصال جوشی

تکنیک جوشکاری، مهارت جوشکار، ظاهرکار، خواص جوش و روشهایی که برای تصحیح جوش و جوشکاری معیوب به کار می‌رود، باید مطابق با مقررات جوشکاری نشریات دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان برنامه و بودجه باشد.

۱۳-۲-۵- سازه‌ها با اتصالات پیچی

کلیه قسمت‌هایی که به هم پیچ می‌شوند، در هنگام نصب باید به وسیله خارهای مغزی (پین) و یا پیچهای موقت، کاملاً به هم 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 صورتی که ضخامت قطعه بیش از قطر اسمی پیچ به علاوه ۳ میلی‌متر نباشد، می‌توان سوراخها را با منگنه کردن درآورد. اما اگر ضخامت ورق بزرگتر از قطر اسمی پیچ به علاوه ۳ میلی‌متر باشد، باید سوراخها را با به کمک مته درآورد و یا اینکه اول آنها را کمی کوچکتر به وسیله منگنه درآورده سپس با تراشکاری آنها را گشاد نمود. منگنه و یا مته‌ای که جهت درآوردن چنین سوراخهایی

به کار می رود باید به اندازه $1/5$ میلی متر کوچکتر از قطر اسمی پیچ باشد. سوراخهای لازم در ورقهای ضخیمتر از ۱۲ میلی متر و از جنس فولاد پر مقاومت حتماً باید با مته درآورده شوند. در اتصالات، می توان ورقهای پرکننده ای را که ضخامتشان از ۶ میلی متر تجاوز نمی کند، بین لایه ها جاسازی کرد، بدون اینکه بارهای طراحی (براساس نوع سوراخها) برای طراحی اتصال را تغییر داد. وضع استقرار این ورقهای پرکننده، به امتداد اعمال بار بستگی ندارد. پیچهای پر مقاومت را باید مطابق با مشخصات مندرج در استانداردهای مربوطه مورد استفاده قرار داد.

۱۳-۲-۶- درزهای اتکایی

در آن دسته از اتصالات فشاری که بخشی از ظرفیت انتقال نیرو به عمل اتکای سطوح تماس بستگی دارد، باید سطوح اتکای هر کدام از قطعات به وسیله سنگ زدن، اره کردن و یا سایر ابزار مناسب آماده شده باشند.

۱۳-۲-۷- رواداریهای ابعاد

رواداری در ابعاد تا حدود مقادیر مندرج در مقررات اجرایی مربوطه مجاز می باشد.

۱۳-۲-۸- تنظیم پای ستونها

پای ستونها و صفحات پای ستونها (کف ستونها) باید مطابق ضوابط زیر تنظیم و آماده شوند:
الف) صفحات نوردشده فولادی در ضخامتهای ۵۰ میلی متر و یا کمتر، مجاز است بدون تراشکاری به کار برده شوند، مشروط بر اینکه در سطح آنها تماس کافی برقرار شود. صفحات اتکایی نوردشده فولادی در ضخامت بیش از ۵۰ میلی متر و کمتر از ۱۰۰ میلی متر را می توان با پرس کردن و در صورت فقدان پرس مناسب، به کمک تراشکاری کلیه سطوح اتکایی، جهت حصول تماس رضایت بخش بین سطوح اتکایی صافکاری کرد (به غیر از موارد ذکر شده در تبصره های ب و پ). صفحات اتکایی نوردشده با ضخامت بیش از ۱۰۰ میلی متر، در کلیه سطوح اتکایی باید تراشکاری شوند (به غیر از موارد ذکر شده در تبصره های ب و پ).

ب) سطح زیرین صفحات اتکایی و صفحات پای ستونها در حالتی که با ریختن دوغاب ماسه سیمان تماس کامل با شالوده برقرار می کنند، احتیاجی به تراشکاری ندارند.

پ) تراشکاری سطح فوقانی صفحات اتکایی در صورتی که به کمک جوشهای نفوذی کامل به ستون متصل گردند، ضروری نمی باشد.



۱۳-۳- رنگ آمیزی در کارگاه

۱۳-۳-۱- ضوابط عمومی

آماده کردن سطوح و رنگ کردن کارخانه‌ای، باید مطابق با آیین‌نامه مربوطه انجام شود. به‌جز در حالتی که 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 به رنگ کردن ندارند. تمام کارهای فلزی دیگر، به‌جز حالتی که مستثنی شده باشد، باید با یک لایه رنگ کارخانه‌ای، رنگ‌آمیزی شوند.

۱۳-۳-۲- سطوح غیر قابل دسترسی

در صورت درخواست به وسیله مدارک طراحی، سطوحی از قطعات فلزی که پس از مونتاژ کارگاهی غیر قابل دسترسی خواهند بود، به‌جز آن سطوحی که با هم در تماس هستند، باید قبل از مونتاژ کاملاً پاکیزه و رنگ‌آمیزی شوند.

۱۳-۳-۳- 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 آیین‌نامه اجرا تمیز گردند*.

۱۳-۳-۴- سطوح آماده شده

سطوح آماده شده با ماشین باید به وسیله یک لایه ضدزنگ که به‌هنگام نصب قابل رفع باشد، در مقابل خوردگی محافظت گردند.

۱۳-۳-۵- سطوح مجاور به جوشهای کارگاهی

به‌جز در مواردی که در مدارک طراحی قید گردیده‌اند، سطوح واقع در فاصله ۵۰ میلی متری محل هر کدام از جوشهای کارگاهی باید عاری از موادی باشند که مانع جوشکاری به شکل مناسب و یا

* رجوع شود به نشریه شماره ۵۵ سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی.

موجب تولید گازهای سمی به هنگام جوشکاری می‌گردند.

۱۳-۴- برپایی و نصب

۱۳-۴-۱- میزان کردن پای ستونها

صفحات پای ستونها باید در رقوم صحیح و به‌طور تراز و با اتکای کامل به بتن و یا مصالح بنایی استقرار یابند.

۱۳-۴-۲- مهاربندی

قابهای اسکلت فولادی ساختمانها، باید طبق مفاد آیین‌نامه استاندارد اجرا به‌صورت دقیق و شاقولی و داشته شوند. در صورت لزوم برای تحمل کلیه بارهای احتمالی وارده، از جمله وزن تجهیزات و بارهای عملیاتی، باید مهاربندیهای موقتی تعبیه گردد. مهاربندیهای مزبور تا زمانی که از نظر ایمنی لازم باشد باید در جای خود باقی بمانند.

۱۳-۴-۳- 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.

۱۳-۴-۴- جفت و جور کردن درزهای فشاری در ستونها

صرف‌نظر از نوع وصله (جوش شیاری یا 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 پرکننده مناسب، شامل تیغه‌های فولادی با ضخامت ثابت، پر شود. این مصالح صرف‌نظر از نوع فولاد مصرفی در اعضای متصل شونده می‌تواند از فولاد نرمه باشد.

۱۳-۴-۵- 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 به اقلام 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 به عمل آید.

۱۳-۴-۶- 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.

۱۳-۴-۷- اتصالات کارگاهی

همگام با پیشرفت در نصب و ادا شدن ساختمان، اتصالات پیچی و جوشی باید به‌نحوی تکمیل شوند، تا جوابگوی تمام بارهای مرده و نیروهای باد و تنشهای ضمن اجرا باشند.

۱۳-۵- 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 به کار رفته و مهارتهای اجرایی می‌تواند توسط بازرسان صاحب صلاحیت به‌نماینده‌گی از کارفرما، تحت بازرسی و کنترل قرار گیرد.

اگر چنین بازرسیهایی توسط نمایندگان کارفرما ضروری باشد، موضوع باید در مدارک طراحی قید گردد.

۱۳-۵-۱- همکاری

کلیه بازرسیهای نمایندگان کارفرما باید حتی‌الامکان در کارخانه سازنده انجام گیرد. سازنده باید با بازرسان همکاری نماید و اجازه 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.



۱۳-۵-۲ - 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 کلیه گزارش‌هایی را که از طرف بازرسان کار به صاحبکار داده می‌شود، دریافت نماید.

۱۳-۵-۳ - بازرسی جوشها

بازرسی جوشکاریها باید طبق مفاد آیین‌نامه 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.

۱۳-۵-۴ - بازرسی اتصالات اصطکاکی با پیچهای پرمقاومت

بازرسی اتصالات اصطکاکی با پیچهای پرمقاومت باید مطابق استانداردهای مربوطه باشد.

۱۳-۵-۵ - تعیین نوع فولاد

سازنده قبل از نصب و تنظیم قطعات، باید بتواند با عرضه مدارک کتبی و یا شیوه‌های عملی، روشی برای تعیین نوع و مشخصات مصالح مصرفی، ارائه نماید. روش شناسایی باید قادر به تحقیق درباره استفاده صحیح از مصالح درخصوص موارد زیر باشد:

- ۱- مشخصات آیین‌نامه‌ای مصالح
- ۲- شماره عملیات حرارتی در صورت لزوم
- ۳- گزارشهای آزمایشگاهی مصالح در مورد احتیاجات مخصوص



پیوستها



مقررات عمومی

در بخش پ - ۲ - ۵ - ۱ از این پیوست، تعریف توسعه یافته تری از نسبت عرض به ضخامت حدی برای جان اعضای تحت خمش و فشار محوری ارائه می شود. در بخش پ - ۲ - ۵ - ۳، طراحی اعضا با عناصر لاغر مورد توجه قرار می گیرد.

پ - ۲ - ۵ - 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:

$$\lambda_r = \frac{2120}{\sqrt{F_y}} \left[1 + 2.83 \left(\frac{h}{h_c} \right) \left(1 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \right] \quad (\text{پ - ۲ - ۵ - ۱})$$

$$\frac{3}{4} \leq \frac{h}{h_c} \leq \frac{3}{2}$$

برای اعضا با بالهای نامساوی و جان تحت خمش تنها، مقدار λ_r برای حالت حدی کمانش

موضعی جان برابر است با:

$$\lambda_r = \frac{2120}{\sqrt{F_y}} \left[1 + 2.83 \left(\frac{h}{h_c} \right) \right] \quad (\text{پ - ۲ - ۵ - ۲})$$

$$\frac{3}{4} \leq \frac{h}{h_c} \leq \frac{3}{2}$$



λ_r ، h و h_e مطابق تعریف بخش ۲-۵-۱ می‌باشند.

این جایگزینی‌ها باید در پیوستهای فصول ۶ و ۷ وقتی که به اعضا با بالهای نامساوی اعمال می‌شوند، انجام گردد. اگر بال فشاری بزرگتر از بال کششی باشد، λ_r باید با استفاده از روابط پ-۲-۵-۱، پ-۲-۵-۲، یا جدول ۲-۵-۱ محاسبه شود.

پ-۲-۵-۳- عناصر فشاری لاغر

اعضا با بارگذاری محوری متشکل از عناصر فشاری با نسبت عرض به ضخامت بزرگتر از λ_r مقرر شده در بخش ۲-۵-۱، 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 تناسب آنها مشمول پیوست پ-۶-۱ نیست، باید مطابق این پیوست طراحی شوند.

پ-۲-۵-۳-الف- عناصر فشاری با لبه متکی

مقاومت طرح عناصر فشاری با یک لبه متکی با نسبت عرض به ضخامت بزرگتر از λ_r مقرر شده در بخش ۲-۵-۱، باید با ضریب Q_s تقلیل یابد. مقدار Q_s برحسب مورد، با استفاده از روابط پ-۲-۵-۳، تا پ-۲-۵-۱۰، تعیین گردد. اگر چنین عناصری بال فشاری عضو خمشی را تشکیل دهند، حداکثر تنش خمشی لازم نباید از $Q_s F_y$ بیشتر شود که $\phi_b = 0.90$ است. مقاومت طرح اعضای فشاری با بار محوری باید با ضریب تقلیل Q به نحوی که در بند پ، آمده اصلاح شود.

(الف) برای تک‌نبشی:

اگر $635/\sqrt{F_y} < b/t < 1300/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1.340 - 0.00054(b/t)\sqrt{F_y} \quad (\text{پ-۲-۵-۳})$$

اگر $b/t \geq 1300/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1085000 / [F_y(b/t)^2] \quad (\text{پ-۲-۵-۴})$$

(ب) برای بالها، نبشیها، و ورقهای برجسته از تیرها و ستونهای نوردشده یا سایر اعضای فشاری

اگر $795/\sqrt{F_y} < b/t < 1475/\sqrt{F_y}$:

$$Q_s = 1.415 - 0.00052(b/t)\sqrt{F_y} \quad (\text{پ-۲-۵-۵})$$

اگر $b/t \geq 1475/\sqrt{F_y}$

(پ-۲-۵-۶)

$$Q_s = 14 \times 10^5 / [F_y (b/t)^2]$$

(پ) برای بالها، نبشیهها و ورقهای برجسته از ستونهای ساخته شده

از چند نیمرخ یا سایر اعضای فشاری

اگر $915/\sqrt{F_y/K_c} < b/t < 1680/\sqrt{F_y/K_c}$

(پ-۲-۵-۷)

$$Q_s = 1.415 - 0.00045 (b/t) \sqrt{F_y/K_c}$$

اگر $b/t > 1680/\sqrt{F_y/K_c}$

$$Q_s = 18.34 \times 10^5 K_c / [F_y (b/t)^2]$$

(پ-۲-۵-۸)

ضریب K_c باید به شرح زیر محاسبه گردد:الف: برای نیمرخهای l

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ و } 0.35 < K_c \leq 0.763$$

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 $1065/\sqrt{F_y} < b/t < 1475/\sqrt{F_y}$

(پ-۲-۵-۹)

$$Q_s = 1.908 - 0.00085 (b/t) \sqrt{F_y}$$

اگر $b/t \geq 1475/\sqrt{F_y}$

$$Q_s = 14 \times 10^5 / [F_y (b/t)^2]$$

(پ-۲-۵-۱۰)

که در آن:

 b = عرض عنصر فشاری با یک لبه منکی طبق تعریف بخش ۲-۵-۱ (cm) l = ضخامت عنصر فشاری با یک لبه منکی (cm) F_y = تنش تسلیم (kg/cm^2)

پ-۲-۵-۳-ب - عناصر فشاری با دو لبه متکی

اگر نسبت عرض به ضخامت عناصر با دو لبه متکی تحت فشار یکنواخت (به جز ورقهای پوششی سوراخدار) از حد b_e تعیین شده در بخش ۲-۵-۱ بیشتر شود، در این صورت باید از عرض مؤثر کاهش یافته b_e در محاسبه مشخصات هندسی مقطع استفاده کرد.
(الف) برای بال مقاطع مربع یا مربع مستطیل با ضخامت یکنواخت:

$$b_e = \frac{2735t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{545}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b \quad (\text{پ-۲-۵-۱۱})$$

(ب) برای سایر عناصر تحت فشار یکنواخت:

$$b_e = \frac{2735t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{480}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b \quad (\text{پ-۲-۵-۱۲})$$

که در آن:

b = عرض واقعی عنصر با دو لبه متکی طبق تعریف بخش ۲-۵-۱ (cm)

b_e = عرض مؤثر کاهش یافته (cm)

t = ضخامت عنصر مورد نظر (cm)

f = تنش فشاری محاسبه شده با فرضیات محدوده الاستیک در عنصر با دو لبه متکی بر پایه مشخصات هندسی مقرر شده در پ-۲-۵-۳-ب. (kg/cm^2) . اگر در مقطع مورد بررسی عنصر با یک لبه متکی وجود داشته باشد، f برای عنصر با دو لبه متکی طوری باید باشد که حداکثر تنش فشاری در عنصر با یک لبه متکی از $\phi_c F_{cr}$ تعریف شده در پ-۲-۵-۳-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.

(ب) نیمرخهای دایره‌شکل تحت فشار محوری

برای نیمرخهای دایره با نسبت قطر به ضخامت بزرگتر از $23.1 \times 10^4 / F_y$ ، و کوچکتر از

$$91 \times 10^4 / F_y$$

$$Q = \frac{77000}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3} \quad (\text{پ-۲-۵-۱۳})$$

که در آن:

D = قطر خارجی (cm)

t = ضخامت جدار (cm)



پ-۲-۵-۳-پ - مشخصات هندسی مقطع

به غیر از موارد زیر، مشخصات هندسی مقطع باید با استفاده از مقطع کلی محاسبه گردد. استثنایا به شرح زیر می باشند:

در محاسبه ممان اینرسی و مدول الاستیک مقطع اعضای خمشی، عرض مؤثر b_e عنصر با دو لبه متکی تحت فشار یکنواخت که مطابق بند پ-۲-۵-۳-ب، محاسبه گردیده است، باید در تعیین مشخصات هندسی مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.

برای عناصر با یک لبه متکی از مقطع، Q_s از بند پ-۲-۵-۳-الف، محاسبه می شود و برای عناصر با دو لبه متکی از مقطع:

$$Q_a = \frac{\text{مقطع مؤثر}}{\text{مقطع واقعی}} \quad (\text{پ-۲-۵-۱۴})$$

که در آن مقطع مؤثر مساوی مجموع سطوح مؤثر مقطع می باشد.

پ-۲-۵-۳-ت - مقاومت طرح

برای اعضا تحت فشار محوری، سطح مقطع کلی و شعاع ژیراسیون r ، باید بر مبنای سطح مقطع واقعی محاسبه شود. تنش بحرانی F_{cr} باید به صورت زیر محاسبه گردد:

$$\text{الف: برای } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5:$$

$$F_{cr} = Q \left(0.658 Q \lambda_c^2 \right) F_y \quad (\text{پ-۲-۵-۱۵})$$

$$\text{ب: برای } \lambda_c \sqrt{Q} > 1.5:$$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (\text{پ-۲-۵-۱۶})$$

که در آن:

$$Q = Q_s Q_a \quad (\text{پ-۲-۵-۱۷})$$

اگر در مقطع فقط عناصر با یک لبه متکی وجود داشته باشد، $Q_a = 1$ بوده و داریم:

$$Q = Q_s$$

اگر در مقطع فقط عناصر با دو لبه متکی وجود داشته باشد، $Q_s = 1$ بوده و داریم:

$$Q = Q_a$$

اگر در مقطع هر دو عنصر وجود داشته باشد:

$$Q = Q_s Q_a$$



پیوست فصل ۵

ستونها و سایر اعضای فشاری

این پیوست مربوط است به مقاومت ستونها با تقارن دوجوره با عناصر لاغر، و ستونها با مقطع نامتقارن یا متقارن یک محوره برای حالت حدی کمانش پیچشی یا خمشی - پیچشی.

پ-۵-۳ - مقاومت فشاری طرح برای کمانش خمشی - پیچشی

مقاومت اعضای فشاری بر مبنای حالت حدی کمانش پیچشی، و کمانش خمشی - پیچشی مساوی $P_n \phi_c$ می باشد که در آن:

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g F_{cr}$$

(پ-۵-۳-۱)

A_g = سطح مقطع کلی (cm^2)

تنش بحرانی اسمی F_{cr} به صورت زیر تعیین می شود:

الف: برای $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5$:

$$F_{cr} = Q \left(0.658 Q \lambda_e^2 \right) F_y$$

(پ-۵-۳-۲)

ب: برای $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5$:

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_e^2} \right] F_y$$

(پ-۵-۳-۳)

که در آن:

$$\lambda_e = \sqrt{F_y / F_e}$$

(پ-۵-۳-۴)



F_y = تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)

Q = مساوی ۱ برای نیمرخهایی که عناصر آنها نسبت عرض به ضخامت λ بخش ۲-۵-۱ را برآورده می‌کنند و مساوی Q_s و Q_a برای نیمرخهایی که عناصر آنها نسبت عرض به ضخامت λ بخش ۲-۵-۱ را برآورده نمی‌کنند. ضرایب اخیر با استفاده از مفاد پ-۲-۵-۳ قابل محاسبه است.

تنش بحرانی کمانش الاستیک پیچشی و یا خمشی - پیچشی به صورت زیر تعیین می‌گردد:
الف: برای نیمرخها با دو محور تقارن، تنش بحرانی کمانش الاستیک پیچشی برابر است با:

$$F_c = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (\text{پ-۵-۳-۵})$$

ب: برای نیمرخها با یک محور تقارن که در آن λ محور تقارن می‌باشد، تنش بحرانی کمانش الاستیک خمشی - پیچشی برابر است با:

$$F_c = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cy} F_{cz} H}{(F_{cy} + F_{cz})^2}} \right) \quad (\text{پ-۵-۳-۶})$$

پ: برای نیمرخهای غیرمتقارن، تنش بحرانی کمانش الاستیک خمشی - پیچشی کوچکترین ریشه معادله درجه سوم زیر است:

$$(F_c - F_{ex})(F_c - F_{ey})(F_c - F_{ez}) - F_c^2 (F_c - F_{ey})(x_0/\bar{F}_0)^2 - F_c^2 (F_c - F_{ex})(y_0/\bar{F}_0)^2 = 0 \quad (\text{پ-۵-۳-۷})$$

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 به مرکز هندسی (cm)

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad (\text{پ-۵-۳-۸})$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} \right) \quad (\text{پ-۵-۳-۹})$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L / r_x)^2} \quad (\text{پ-۵-۳-۱۰})$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L / r_y)^2} \quad (\text{پ-۵-۳-۱۱})$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{A \bar{r}_0^2} \quad (\text{پ-۵-۳-۱۲})$$

که در آن:

A = سطح مقطع عضو (cm^2)

L = طول مهارنشده 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)



تیرها و سایر اعضای خمشی

در این پیوست، بخش پ - ۱-۶، اختصاص به مقاومت خمشی تیرها و شاهتیرها، بخش پ - ۲-۶، اختصاص به مقاومت برشی تیرها و بخش پ - ۳-۶، اختصاص به اعضا با ارتفاع متغیر دارد.

پ - ۱-۶ - طراحی برای خمش

مقاومت خمشی طرح اعضای خمشی M_n ϕ_b است که در آن $\phi_b=0.90$ و M_n مقاومت اسمی است.

جدول پ - ۱-۶-۱ خلاصه‌ای از روابط ۱-۶-۱ تا ۱-۶-۱۵ برای تعیین مقاومت خمشی اسمی تیرها و شاهتیرها را ارائه می‌نماید. برای پارامترهای لاغری مقطع که در جدول پ - ۱-۶-۱ وجود ندارد، به پیوست پ - ۲-۵-۳ مراجعه نمایید. برای اعضای خمشی با بالهای نامساوی برای تعریف λ_r در حالت حدی کمانش موضعی بال به پیوست پ - ۲-۵-۱ مراجعه نمایید. مقاومت خمشی M_n کمترین مقدار به دست آمده طبق حالات حدی زیر است:

(الف) کمانش جانبی - پیچشی (LTB)، (ب) کمانش موضعی بال (FLB) و (پ) کمانش موضعی جان (WLB)

مقاومت خمشی اسمی M_n برای هر حالت حدی باید به طریق زیر محاسبه گردد:

الف: برای $\lambda \leq \lambda_p$:

$$M_n = M_p$$

(پ - ۱-۶-۱)

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



بر مبنای حالت حدی کمانش جانبی - پیچشی

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{پ - ۶ - ۱ - ۲})$$

بر مبنای حالت حدی کمانش بال و جان

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (\text{پ - ۶ - ۱ - ۳})$$

پ: برای $\lambda > \lambda_r$:

برای حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی و برای کمانش موضعی بال:

$$M_n = M_{cr} = S F_{cr} \leq M_p \quad (\text{پ - ۶ - ۱ - ۴})$$

برای $\lambda > \lambda_r$ ی بال:

در نیمرخیایی که جدول پ - ۶ - ۱ - ۱ شامل آنها نمی‌شود، به پیوست پ - ۲ - ۵ - ۳ مراجعه نمایید.

برای $\lambda > \lambda_r$ ی جان:

به پیوست فصل ۷ مراجعه نمایید.

برای تمام پارامترهای لاغری، مقاومت خمشی مقاطع دوگانه به مقاومت کمانشی الاستیک مقطع همگن محدود می‌شود.

علایم به کار رفته در معادلات فوق، به شرح زیر می‌باشند:

$$M_n = \text{مقاومت خمشی اسمی (kg-cm)}$$

$$M_p = \text{لنگر پلاستیک (kg-cm)}$$

$$M_{cr} = \text{لنگر کمانشی (kg-cm)}$$

$$M_r = \text{لنگر کمانشی حدی (مساوی } M_{cr} \text{ وقتی که } \lambda = \lambda_r \text{ است) (kg-cm)}$$

$\lambda =$ پارامتر لاغری حاکم مطابق زیر:

- نسبت لاغری حول محور ضعیف L_b / r_y برای کمانش جانبی - پیچشی

- نسبت عرض به ضخامت بال h/t ، برای کمانش موضعی بال طبق تعریف بخش ۲-۵-۱

- نسبت ارتفاع به ضخامت جان h/t_w ، برای کمانش موضعی جان طبق تعریف

بخش ۲-۵-۱

$\lambda_p =$ بزرگترین مقدار λ که برای آن $M_n = M_p$ می‌باشد.

$\lambda_r =$ بزرگترین مقدار λ که برای آن کمانش غیرالاستیک می‌باشد.

C_b = ضریب خمش که بستگی به شیب لنگر خمشی دارد (به بخش ۶-۱-۲ الف، و رابطه ۶-۱-۳ مراجعه نمایید).

S = اساس مقطع (cm^3)

L_b = طول به طور 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 - ۶-۱-۱ ارائه شده‌اند.

علایم به کار رفته در این جدول به شرح 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 پس ماند در بال به شرح زیر:

۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برای نیمرخهای نوردشده

۱۱۵۵ کیلوگرم بر سانتی متر 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 = به فصل ۷ مراجعه شود.

$(S_x)_{eff}$ = اساس مقطع مؤثر نسبت به محور 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 فاصله تار خنثی تا آغاز ماهیچه اتصال جان به بال (cm)

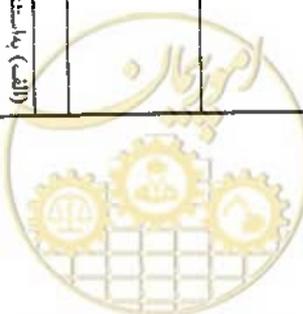
t_f = ضخامت بال (cm)

t_w = ضخامت جان (cm)



جدول پ-۱-۱ پارامترهای مقاومت اسمی

نوع تنش	حالت حدی کماتش	لنگر حدی کماتش M_t	تنش پیرایش F_{σ}	پارامترهای لاجری			محدودیتها
				λ	μ	β	
تیرها با تیرخ تاوردانی و تیرخ 1 با یک پادو محور تقارن (شامل تیرهای دوگانه) که تحت خمش حول محور قوی می باشند (الف)	کوماتش جانبی - پیچشی برای اعضا با تیرخ دارای دو محور تقارن و تاروانها LTB کوماتش جانبی - پیچشی اعضا با تیرخ دارای یک محور تقارن LTB	$F_L S_x$	$F_{\sigma} = \frac{C_b X_1 \sqrt{2} \sqrt{1 + \frac{X_2^2 X_3}{2I^2}}}{\lambda}$	$\frac{\mu_1}{I_y}$	$\frac{2515}{\sqrt{F_y}}$	(ب) و (ت)	قابل اتصال به تیرخهای ا به شرطی که: $h \leq h_{\max}$ در صورتی که $h > h_{\max}$ باشد، به فصل ۷ مراجعه شود.
				$\frac{\mu_2}{I_x}$	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}}$	مقداری از λ که برای آن $M_t(C_b=1) = M_t$	
تیرها با تیرخ تاوردانی و تیرخ 1 با دو محور تقارن که تحت خمش حول محور ضعیف می باشند (ب)	کوماتش موضعی تال FLB کوماتش موضعی جان WLB کوماتش موضعی تال FLB	$R_y F_y S_x$	(ج)	$\frac{b}{t}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	(ج)	همانند محور قوی
				موردی ندارد	$\frac{b}{t}$	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}}$		به طبق ضریف پیش ۱-۵-۲
نوع ج: LTB فقط برای خمش حول محور قوی کاربرد دارد.							
تیرها با تیرخ تاوردانی و تیرخ 1 با دو محور تقارن که تحت خمش حول محور ضعیف می باشند (الف)	کوماتش موضعی تال FLB	$F_y Z_x$	(د)	پارامترهای لاجری			محدودیتها
				موردی ندارد			
				$\frac{\mu_1}{I_y}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	(ج)	
				$\frac{\mu_2}{I_x}$	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}}$	به طبق ضریف پیش ۱-۵-۲	
تیرها با تیرخ تاوردانی و تیرخ 1 با دو محور تقارن که تحت خمش حول محور ضعیف می باشند (الف)	کوماتش موضعی تال FLB	$F_y Z_x$	(د)	پارامترهای لاجری			محدودیتها
				موردی ندارد			
				$\frac{\mu_1}{I_y}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	(ج)	
				$\frac{\mu_2}{I_x}$	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}}$	به طبق ضریف پیش ۱-۵-۲	



پ-۶-۲- طراحی برای برش

پ-۶-۲-۲- 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:

$$(I) \quad \frac{h}{t_w} \leq 1565 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \quad (\text{پ-۶-۲-۱})$$

$$(II) \quad 1565 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} \leq 1955 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \frac{1565 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}}{(h/t_w)} \quad (\text{پ-۶-۲-۲})$$

$$(III) \quad \frac{h}{t_w} > 1955 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$$

$$V_n = A_w \frac{1.85 \times 10^6}{(h/t_w)^2}$$

که در آن:

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

$$(a/h > 3 \text{ یا } a/h > [260/(h/t)]^2 \rightarrow K_v = 5)$$

a = فاصله بین سخت‌کننده‌های عرضی (cm)

h = ارتفاع خالص جان در حد فاصل دو بال (در تیرهای نورد شده می‌توان به اندازه شعاع گردی

اتصال بال به جان از این مقدار کاست).

پ-۶-۲-۳- سخت‌کننده‌های عرضی

در صورتی که $h/t_w \leq 3500/\sqrt{F_{yw}}$ بوده و یا V_n (که از تحلیل سازه برای بارهای ضریبدار به دست می‌آید)، کوچکتر یا مساوی $C_v \phi_v A_w F_{yw}$ باشد، نیازی به استفاده از سخت‌کننده نیست.

$\phi_v = 0.90$ بوده و C_v برای $K_v = 5$ محاسبه می‌شود.

ممان اینرسی سخت‌کننده (در صورتی که در یک طرف جان باشد، نسبت به سطح تماس، و در صورتی که در هر دو طرف جان باشد، نسبت به محور مرکزی جان) نباید کمتر از $aI_w^3 J$ باشد که در آن:

$$J = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5 \quad (\text{پ-۶-۲-۴})$$

در صورتی که به عمل تماس مستقیم بین سخت‌کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا واکنش تکیه گاهی، احتیاج نباشد، می‌توان سخت‌کننده را نرسیده به بال کششی قطع کرد. جوشهایی که سخت‌کننده را به جان 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 سخت‌کننده تک با مقطع مربع مستطیل استفاده می‌شود، باید آن را به بال فشاری تیر متصل کرد تا اثر پیچش خشی شود.

در صورت اتصال مهار جانبی به سخت‌کننده، متقابلاً باید قطعه تقویتی نیز به بال 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 صورتی که برای اتصال سخت‌کننده به جان از پیچ استفاده شده باشد، فواصل آنها نباید از ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر شود و در صورتی که از جوش منقطع استفاده شده باشد، فاصله خالص بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت جان و یا ۲۵۰ میلی‌متر بزرگتر شود.

پ-۶-۳ - 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 به نحوی در این پیوست تعدیل شده باشند.

پ-۶-۳-۱ - 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 صفحه خمش، باشد.



ب: بالها باید مساوی و دارای سطح مقطع ثابت باشند.

پ: تغییرات ارتفاع مقطع عضو باید خطی باشد:

$$d = d_0 \left(1 + \gamma \frac{z}{L} \right) \quad (\text{پ - ۶ - ۳ - ۱})$$

که در آن:

d_0 = ارتفاع مقطع در انتهای کوچکتر عضو (cm)

d_L = ارتفاع مقطع در انتهای بزرگتر عضو (cm)

γ = طبق رابطه 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 مهارنشده عضو در حد فاصل محور به محور اعضای مهارند

پ-۶-۳-۲ - مقاومت کششی طرح

مقاومت طرح اعضای کششی با ارتفاع متغیر، باید طبق بخش ۴-۱ تعیین گردند.

پ-۶-۳-۳ - مقاومت فشاری طرح

مقاومت طرح اعضای فشاری با ارتفاع متغیر باید طبق بخش ۵-۲ با استفاده از پارامتر لاغری λ_{eff} که به صورت زیر تعریف می شود، تعیین گردد:

$$\lambda_{eff} = \frac{S}{\pi} \sqrt{\frac{QF_y}{E}} \quad (\text{پ - ۶ - ۳ - ۲})$$

که در آن:

$KL/r_{oy} = S$ برای خمش حول محور ضعیف و مساوی $K_y L/r_{ox}$ برای خمش حول محور

قوی

K = ضریب طول مؤثر برای یک عضو منشوری

K_y = ضریب طول مؤثر برای یک عضو با ارتفاع متغیر که توسط یک روش منطقی تعیین می شود.

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 به ضخامت عناصر مقطع، کوچکتر از λ_r بخش ۲-۵-۱ باشد.

- مساوی $Q_s Q_e$ (طبق پ-۲-۵-۳)، اگر نسبت عرض به ضخامت عناصر مقطع از نسبت λ_r بخش ۲-۵-۱ تجاوز نماید.

$E =$ مدول الاستیسیته فولاد (kg/cm^2)

در رابطه ۵-۲-۱، به جای A_g باید از کوچکترین سطح مقطع عضو با ارتفاع متغیر استفاده شود.

پ-۶-۳-۴ - مقاومت خمشی طرح

مقاومت خمشی طرح اعضای خمشی با ارتفاع متغیر برای حالت حدی کماتش جانبی - پیچشی مساوی M_n می باشد که در آن $\phi_b = 0.90$ و مقاومت اسمی برابر است با:

$$M_n = (5/3) S'_x F_{by} \quad (\text{پ-۶-۳-۳})$$

که در آن:

$S'_x =$ اساس مقطع، مقطع بحرانی طول مهاربندی نشده مورد نظر

$$F_{by} = \frac{2}{3} \left[1.0 - \frac{F_y}{6B \sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2}} \right] F_y \leq 0.60 F_y \quad (\text{پ-۶-۳-۴})$$

مگر اینکه $F_{by} \leq F_y/3$ باشد که در این صورت:

$$F_{by} = B \sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2} \quad (\text{پ-۶-۳-۵})$$

در روابط فوق:

$$F_{sy} = \frac{84 \times 10^4}{h_s L d_o / A_f} \quad (\text{پ-۶-۳-۶})$$

$$F_{wy} = \frac{11.9 \times 10^6}{(h_w L / r_{T0})^2} \quad (\text{پ-۶-۳-۷})$$

که در آن:

$$h_s = \text{ضریبی مساوی} \sqrt{L d_o / A_f} \quad 1.0 + 0.0230 \gamma$$

$$h_w = \text{ضریبی مساوی} \sqrt{L / r_{T0}} \quad 1.0 + 0.00385 \gamma$$



F_{T0} = شعاع زیراسیون مقطعی در انتهای کوچکتر عضو شامل فقط بال فشاری به علاوه $\frac{1}{3}$ مساحت جان تحت فشار که در حوال محوری در صفحه جان محاسبه می‌شود. (cm)
 A_f = مساحت بال فشاری (cm²)

پارامتر B نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

الف: وقتی که لنگر حداکثر M_2 در سه قطعه متوالی با طول مهاربندی نشده تقریباً مساوی، در محدوده قطعه میانی قرار گیرد و M_1 لنگر بزرگتر در یک انتهای ناحیه سه قسمتی فوق باشد:

$$B = 1.0 + 0.37 \left(1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.50 \gamma \left(1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right) \geq 1.0 \quad (\text{پ - ۶ - ۳ - ۸})$$

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 قطعه متوالی با طول مهاربندی نشده تقریباً مساوی رخ دهد و f_{b1} تنش خمشی محاسبه شده در انتهای کوچکتر ناحیه دو قسمتی فوق باشد:

$$B = 1.0 + 0.58 \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) - 0.70 \gamma \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (\text{پ - ۶ - ۳ - ۹})$$

وقتی که انحنای ناشی از خمش ساده باشد، نسبت f_{b1}/f_{b2} منفی در نظر گرفته می‌شود، اگر در یکی از دو قطعه مهاربندی نشده متوالی، یک نقطه 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 محاسبه شده f_{b2} در انتهای کوچکتر دو قطعه متوالی با طول مهاربندی نشده تقریباً مساوی رخ دهد و f_{b1} تنش خمشی محاسبه شده در انتهای بزرگتر ناحیه دو قسمتی فوق باشد:

$$B = 1.0 + 0.55 \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) + 2.20 \gamma \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (\text{پ - ۶ - ۳ - ۱۰})$$

وقتی که انحنای ناشی از خمش ساده باشد، نسبت f_{b1}/f_{b2} منفی در نظر گرفته می‌شود. اگر در یکی از دو قطعه مهاربندی نشده متوالی، یک نقطه عطف وجود داشته باشد، f_{b1}/f_{b2} مثبت در نظر گرفته می‌شود. نسبت f_{b1}/f_{b2} همواره مخالف صفر است.

همچنین در رابطه پ - ۶ - ۳ - 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:

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (\text{پ-۶-۳-۱۱})$$

که در آن نسبت $\gamma = (d_L - d_o)/d_o$ ، برای قطعه‌ای محاسبه می‌شود که مجاور نقطه لنگر خمشی صفر است.

پ-۶-۳-۵ - مقاومت برشی طرح

مقاومت برشی طرح یک عضو خمشی با ارتفاع متغیر باید طبق بخش ۶-۲ محاسبه شود.

پ-۶-۳-۶ - 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 ۸-۱ تا ۸-۳ با تعدیلات زیر قابل استفاده می‌باشند:

P_n و P_{ex} باید بر مبنای 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 $M_{ux} = (5/3) S'_x F_{by}$ می‌باشد که در آن اساس مقطع الاستیک انتهای بزرگتر و F_{by} تنش خمشی طرح عضو با ارتفاع متغیر می‌باشد. و بالاخره، C_{mx} با C'_m که به صورت 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.

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.3 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (\text{پ-۶-۳-۱۲})$$

ب: وقتی که لنگر انتهای محاسبه شده در انتهای کوچکتر طول مهاربندی نشده مساوی صفر است:

$$C'_m = 1.0 - 0.9 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.6 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (\text{پ-۶-۳-۱۳})$$

وقتی که پارامتر لاغری مؤثر $\lambda_{eff} \geq 1.0$ باشد و تنشهای ترکیبی در فواصل کوچک در امتداد عضو بررسی شوند، در این صورت می‌توان از سطح مقطع واقعی و اساس مقطع واقعی مقطع تحت مطالعه استفاده نمود.



اعضا تحت نیروهای ترکیبی و پیچش

این پیوست حاوی روابط اندرکنشی جایگزین برای نیمرخهای I با $b_f/d \leq 1$ و نیمرخهای قوطی است.

پ - ۸ - ۳ - روابط اندرکنشی جایگزین برای اعضا تحت تنش ترکیبی

برای اعضا با نیمرخ I با $b_f/d \leq 1.0$ و نیمرخهای قوطی تحت خمش دو محوره، فقط در قابهای مهار شده، می توان به جای روابط ۸-۱-الف و ۸-۱-ب، از دو رابطه زیر استفاده نمود. هر دو رابطه باید اکتعاع گردند.

$$\left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M'_{px}} \right]^{\xi} + \left[\frac{M_{uy}}{\phi_b M'_{py}} \right]^{\xi} \leq 1.0 \quad (\text{پ - ۸ - ۳ - ۱})$$

$$\left[\frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M'_{nx}} \right]^{\eta} + \left[\frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M'_{ny}} \right]^{\eta} \leq 1.0 \quad (\text{پ - ۸ - ۳ - ۲})$$

در روابط فوق داریم:

(الف) برای نیمرخهای I

$$b_f/d < 0.5 : \quad \xi = 1.0$$

$$0.5 \leq b_f/d \leq 1.0 :$$

$$\xi = 1.6 - \frac{P_u/P_y}{2[\ln(P_u/P_y)]} \quad (\text{پ - ۸ - ۳ - ۳})$$



$$b_f/d < 0.30 : \quad \eta = 1.0$$

$$0.30 \leq b_f/d \leq 1.0 :$$

$$\eta = 0.4 + \frac{P_u}{P_y} + \frac{b_f}{d} \geq 1.0 \quad (\text{پ-۸-۳-۴})$$

که در آن:

b_f = عرض بال (cm)

d = ارتفاع عضو (cm)

C_m = ضریبی که به‌جمله لنگر خمشی اعمال می‌شود و بستگی به‌انحنای ستون دارد. به‌بخش

۱-۳ مراجعه شود.

$$M'_{px} = 1.2M_{px} \left(1 - \frac{P_u}{P_y}\right) \leq M_{px} \quad (\text{پ-۸-۳-۵})$$

$$M'_{py} = 1.2M_{py} \left(1 - \left(\frac{P_u}{P_y}\right)^2\right) \leq M_{py} \quad (\text{پ-۸-۳-۶})$$

$$M'_{rx} = M_{rx} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}}\right) \quad (\text{پ-۸-۳-۷})$$

$$M'_{ry} = M_{ry} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}}\right) \quad (\text{پ-۸-۳-۸})$$

(ب) برای نیمرخهای قوطی

$$\xi = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} \quad (\text{پ-۸-۳-۹})$$

$$\eta = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} - a \lambda_x \left(\frac{P_u}{P_y}\right)^b > 1.1 \quad (\text{پ-۸-۳-۱۰})$$

برای $P_u/P_y \leq 0.4$ ، 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.

$$M'_{px} = 1.2M_{px} (1 - P_u/P_y) \leq M_{px} \quad (\text{پ-۸-۳-۱۱-الف})$$

$$M'_{py} = 1.2M_{py} (1 - P_u/P_y) \leq M_{py} \quad (\text{پ-۸-۳-۱۱-ب})$$

$$M'_{rx} = M_{rx} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}} \cdot \frac{1.25}{(B/H)^{1/3}}\right) \quad (\text{پ-۸-۳-۱۲})$$

$$M'_{ry} = M_{ry} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n}\right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}} \cdot \frac{1.25}{(B/H)^{1/2}}\right) \quad (\text{پ-۸-۳-۱۳})$$

که در آن:

$$P_n = \text{مقاومت فشاری اسمی طبق بخش ۵-۲}$$

$$P_u = \text{مقاومت محوری لازم}$$

$$P_y = \text{مقاومت فشاری تسلیم مساوی } A_g F_y$$

$$\phi_b = \text{ضریب کاهش مقاومت در خمش مساوی } 0.9$$

$$\phi_c = \text{ضریب کاهش مقاومت در فشار مساوی } 0.85$$

$$P_e = \text{مقاومت کماتشی اولر مساوی } A_g F_y / \lambda_c^2 \text{ که در آن } \lambda_c \text{ پارامتر لاغری ستون است که}$$

طبق رابطه ۵-۲-۴ تعریف می شود.

$$M_u = \text{مقاومت خمشی لازم}$$

$$M_n = \text{مقاومت خمشی اسمی طبق بخش ۶-۱}$$

$$M_p = \text{لنگر پلاستیک که باید کوچکتر یا مساوی } 1.5 F_y S \text{ گردد.}$$

$$B = \text{بعد خارجی مقطع قوطی به موازات محور اصلی حداکثر } x$$

$$H = \text{بعد خارجی مقطع قوطی عمود بر محور اصلی حداکثر } x$$



پیوست فصل ۱۰

اتصالها و وسایل اتصال

پیوست پ-۱۰-۲-۴، روش جایگزینی را برای طراحی جوشهای گوشه پیشنهاد می‌کند. پیوستهای پ-۱۰-۳-۸ و پ-۱۰-۳-۹ مربوط هستند به روش طراحی اتصالات اصطکاکی به روش حدی.

پ-۱۰-۲- جوش

پ-۱۰-۲-۴- مقاومت طرح

به جای استفاده از روش مقاومت ثابت طبق جدول ۱۰-۲-۵، استفاده از روش زیر مجاز است:
(الف) مقاومت طرح گروه جوشهای خطی که بار وارده در صفحه جوش قرار داشته و از مرکز نقل جوشها عبور می‌نماید، مساوی $F_w A_w \phi$ می‌باشد که در آن:

$$F_w = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta)$$

که در آن:

$$0.75 = \phi$$

$$F_w = \text{تنش اسمی (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_{EXX} = \text{مقاومت نهایی فلز جوش (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\theta = \text{زاویه نیرو با محور طولی جوش}$$

$$A_w = \text{سطح مقطع گلولی مؤثر جوش (cm}^2\text{)}$$

(ب) مقاومت طرح جزء جوش در گروه جوش که در صفحه جوش بارگذاری شده و به روش

مرکز آتی دوران طرح می‌شود، مساوی $F_w A_w \phi$ و $F_w A_w \phi$ می‌باشد که در آن:



$$F_{wx} = \Sigma F_{wix}$$

$$F_{wy} = \Sigma F_{wiy}$$

$$F_{wi} = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.5 \sin^{1.5} \theta) f(p)$$

$$f(p) = [p(1.9 - 0.9p)]^{0.3}$$

$$\phi = 0.75$$

F_{wi} = مقاومت اسمی در جزء i ام جوش

F_{wix} = مؤلفه x تنش F_{wi}

F_{wiy} = مؤلفه 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

$$\Delta_i = r_i \Delta_u / r_{crit}$$

$$\Delta_u = 1.087(\theta + 6)^{-0.65} D \leq 0.17 D$$

Δ_u = تغییرشکل جزء جوش در تنش نهایی (شکست) در دورترین فاصله نسبت به مرکز آنی دوران

D = اندازه ساق جوش گوشه

r_{crit} = فاصله مرکز آنی دوران تا جزء جوش با حداقل نسبت Δ_u / r_i

پ-۱۰-۳ - پیچها و قطعات حدیده شده

پ-۱۰-۳-۸ - پیچهای پر مقاومت در اتصالات اصطکاکی

پ-۱۰-۳-۸-ب - طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی

اتصالات اصطکاکی را می توان برای بارهای نهایی (ضربیدار) طراحی نمود. در این حالت مقاومت طرح اتصال اصطکاکی به صورت ϕR_{st} تعریف می شود که در آن داریم:

$$R_{st} = 1.13 \mu T_m N_b N_s \quad (\text{پ-۱۰-۳-۱})$$

که در آن:

T_m = حداقل نیروی پیش تنیدگی



N_b = تعداد پیچها

N_s = تعداد صفحات لغزش

μ = ضریب اصطکاک

الف: برای وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلز دار تمیز و رنگ نشده) : $\mu=0.33$

ب: برای وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ شده) : $\mu=0.50$

پ: برای وضعیت سطحی کلاس C (سطح گالوانیزه شده 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 - ۱۰ - ۳ - ۹ - ترکیب برش و کشش در اتصالات اصطکاکی

پ - ۱۰ - ۳ - ۹ - ب - طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی

در طراحی اتصالات اصطکاکی در حالت حدی نهایی، در صورت وجود نیروی کششی، مقاومت

طرح $R_m \phi$ طبق رابطه پ - ۱۰ - ۳ - ۱، در ضریب کاهش زیر ضرب می‌گردد:

$$[1 - T_u / (1.13 T_m N_b)] \quad (\text{پ - ۱۰ - ۳ - ۲})$$

در رابطه فوق:

T_u = نیروی کششی ضریب‌دار (نهایی)



ملاحظات تکمیلی در طراحی برای حالت حدی مقاومت

پ-۱۱-۲- آب انباشتی

اگر برای بررسی صلبیت بامهای تخت احتیاج به روش دقیقتری نسبت به روش ارائه شده در بخش ۲-۱۱ یعنی معادله $C_p + 0.9C_m \leq 0.25$ باشد، مقررات این پیوست می تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای هر ترکیبی از اعضای اصلی و ثانویه، شاخص تنش به صورت زیر محاسبه می شود:

$$U_p = \left(\frac{\phi_b F_y - f_o}{f_o} \right)_p \quad \text{(پ-۱۱-۲-۳) برای اعضای اصلی}$$

$$U_s = \left(\frac{\phi_b F_y - f_o}{f_o} \right)_s \quad \text{(پ-۱۱-۲-۴) برای اعضای ثانوی}$$

که در آن:

$$f_o = \text{تنش ناشی از ترکیب بار } 1.2D + 1.2R$$

$$D = \text{بار مرده اسمی}$$

$$R = \text{بار اسمی به علت آب باران یا یخ*}$$

$$\phi_b = \text{ضریب مقاومت خمشی} = 0.90 \text{ (بخش ۶)}$$

* بسته به محل جغرافیایی، این بار می تواند شامل اثرات بار برف نیز باشد. اما تجربیات خرابیهای ناشی از آب انباشتی نشان می دهد که این خرابیها اغلب به علت بارانهای شدید تابستانی رخ می دهد 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 لبه بام می شود.



پس از محاسبه شاخصهای تنش، در تراز شاخص تنش U_p که برای تیر اصلی محاسبه شده، وارد شکل پ - ۱۱ - ۲ - ۱ شده و به‌طور افقی حرکت می‌نماییم تا منحنی مربوط به C_s محاسبه شده برای تیرهای ثانوی را قطع کند. سپس به‌طور قائم پایین می‌آییم تا محور افقی را قطع نماییم. اگر ثابت انعطاف‌پذیری C_p که بدین ترتیب از محور افقی به دست 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 این صورت با تغییر سختی تیرهای اصلی و ثانوی باید ترکیب مناسب را به دست 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 = فاصله بین ستونها در امتداد شاهتیرها (طول اعضای اصلی) (cm)

L_s = فاصله بین ستونها در امتداد عمود بر شاهتیرها (طول اعضای ثانوی) (cm)

S = فاصله بین اعضای ثانوی (cm)

I_p = ممان اینرسی اعضای اصلی (cm^4)

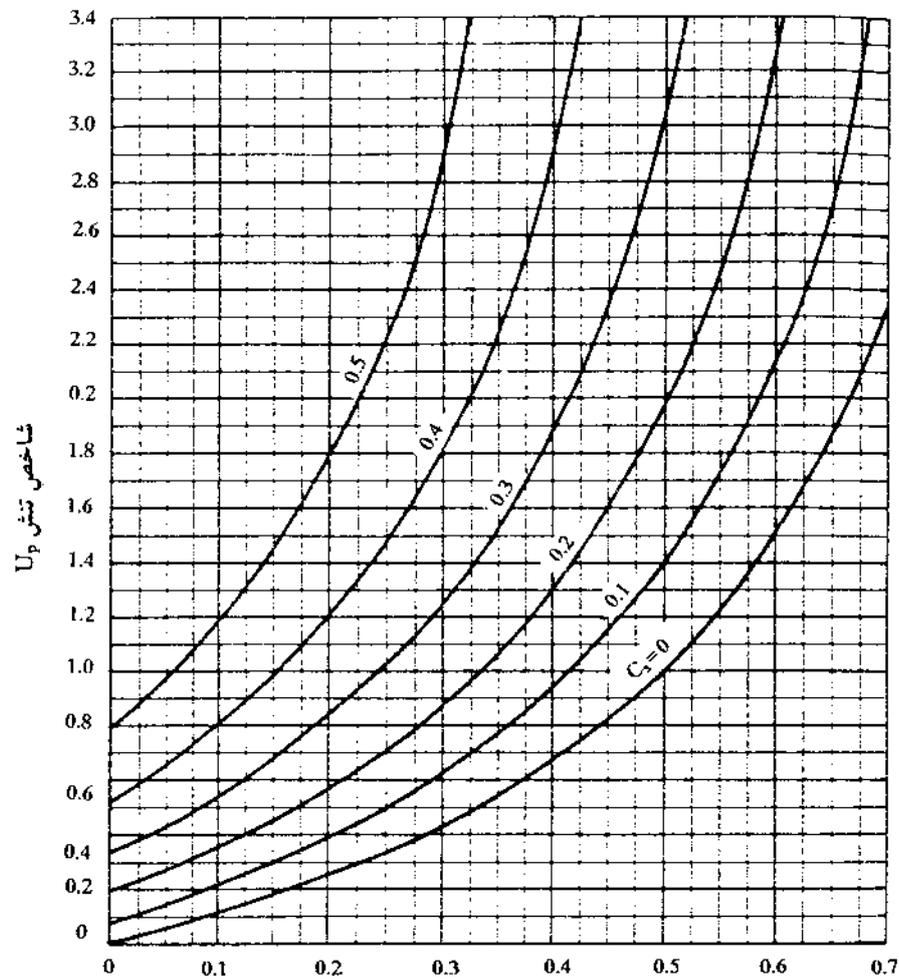
I_s = ممان اینرسی اعضای ثانوی (cm^4)

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 - ۱۱ - ۲ - 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 تغییر شکل آن، تنها کافی است که ممان اینرسی آن برای عرض یک متر، به حداقلی مساوی $4 \times 10^{-9} S^4$ (برحسب cm^4) محدود شود که در آن S دهانه پوشش فلزی بام برحسب سانتی‌متر می‌باشد. در صورتی که لازم شود پایداری یک بام متشکل از پوششهای فلزی با نسبت ارتفاع (عمق) به دهانه کوچک که اتکا بر تیرهای متکی بر ستون دارند، کنترل گردد، می‌توان

یک متر عرض پوشش را همانند عضو ثانوی فرض نمود و با محاسبه C_p برای آن، از اشکال پ-۱۱-۲ و پ-۱۱-۲-۲، برای کنترل استفاده کرد.

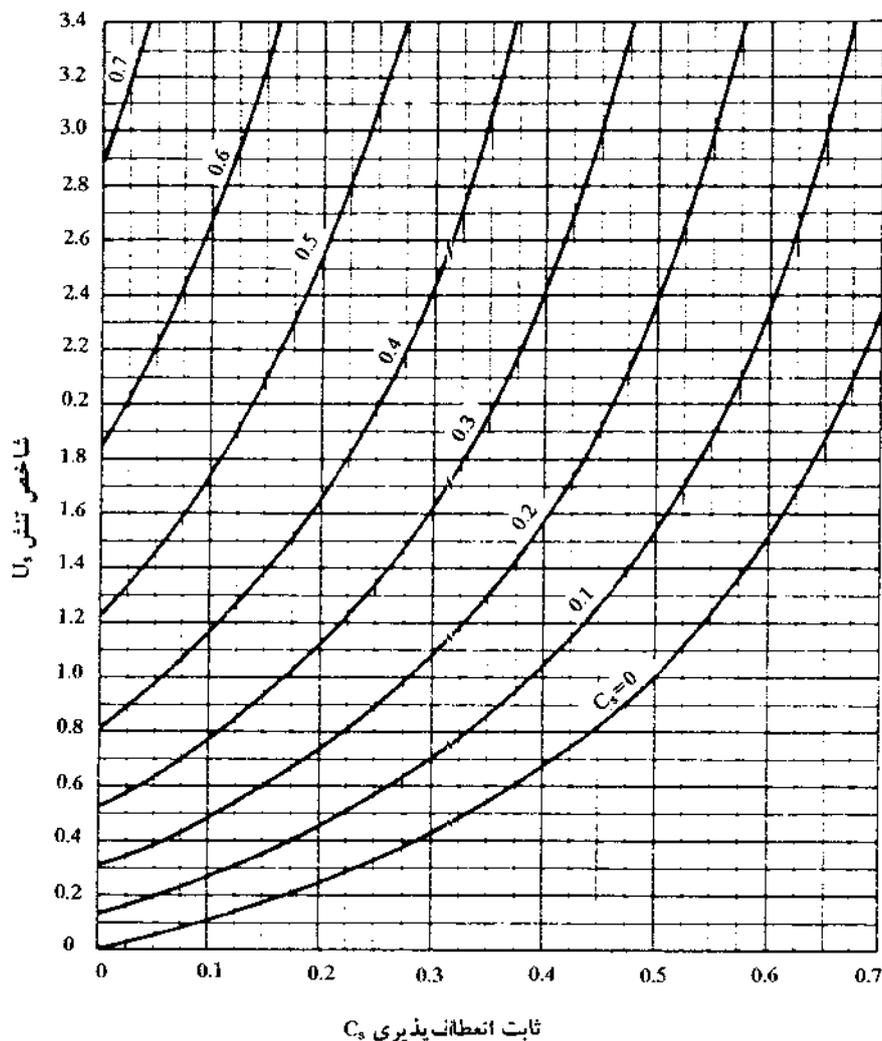
همچنین در صورتی که برای تیرریزی بام از تیرچه‌های جان باز و یا خرپا استفاده شده باشد، برای منظور کردن اثر تغییرشکل‌های برشی، مقادیر ممان اینرسی مقطع آنها در ضریب 0.85 ضرب می‌شود.



ثابت انعطاف پذیری C_p

شکل پ-۱۱-۲-۱ ضرایب انعطاف‌پذیری برای سیستم‌های مرکب از تیرهای اصلی و ثانوی





شکل پ-۱۱-۲ ضرایب انعطاف پذیری فقط برای تیرهای ثانوی

پ-۱۱-۴ - خستگی

در صورتی که اعضا و یا اتصالات تحت بارهای خستگی قرار داشته باشند، طراحی آنها باید طبق مفاد این پیوست انجام شود.

خستگی، به تعبیری که در این آیین نامه به کار می رود، شکست ناشی از نوسانات متعدد تنش می باشد. دامنه این نوسان، دامنه تنش نامیده می شود.

در صورت وجود تنش معکوس، (یعنی حالتی که علاوه بر مقدار، علامت تنش نیز عوض شود)، دامنه تنش مساوی مجموع قدرمطلقهای تنشهای فشاری و کششی در نظر گرفته می شود. در حالت کلی:

$$\text{دامنه تنش} = S_{\max} - S_{\min}$$

که در آن:

$$S_{\max} = \text{تنش حداکثر}$$

$$S_{\min} = \text{تنش حداقل}$$

تنشهای فوق در صورتی که فشاری باشند، منفی در نظر گرفته می‌شوند. برای تنش برشی نیز می‌توان از یک قرارداد علامت مناسب استفاده نمود.

پ-۱۱-۴-۱ - حالت بارگذاری، و نوع وضعیت مصالح

در طراحی اعضا و اتصالاتی که تحت بارهای زنده تناوبی قرار دارند، باید به تعداد تکرار بارگذاری، دامنه تنش، و نوع و وضعیت مصالح توجه لازم معطوف گردد. حالت بارگذاری با توجه به تعداد تکرار، مطابق جدول پ-۱۱-۴-۱ طبقه‌بندی می‌شود. نوع، موقعیت و وضعیت مصالح نیز مطابق جدول پ-۱۱-۴-۲ طبقه‌بندی می‌شود.

پ-۱۱-۴-۲ - دامنه تنش طرح

حداکثر دامنه تنش تحت بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب)، نباید از دامنه تنش طرح مقرر شده در جدول پ-۱۱-۴-۳ تجاوز نماید.

پ-۱۱-۴-۳ - مقاومت طرح پیچها در کشش

پیچهای پرمقاومت که به‌طور کامل پیش‌تنیده شده‌اند، وقتی که 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-۱۱-۴-۴ طراحی شوند.

جدول پ-۱۱-۴-۱ تعداد سیکل‌های بارگذاری

سیکل بارگذاری	حالت بارگذاری
۱ تا ۲۰۰۰۰ ^۱	۱
۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ ^۲	۲
۲۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ ^۳	۳
بالای ۲۰۰۰۰۰۰	۴
۱ - تقریباً معادل ۴ بار در هر روز برای ۲۵ سال	
۲ - تقریباً معادل ۱۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال	
۳ - تقریباً معادل ۵۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال	
۴ - تقریباً معادل ۲۰۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال	



جدول پ-۱۱-۴-۲- نوع و وضعیت و موقعیت مصالح

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش ^۱	طبقه تنش جدول	مثال نمونه ^۲ شکل
مصالح ساده	فلز مینا یا سطح نورد شده و یا تمیز نشده، لبه‌های بریده شده با مشعل، ضریب نرمی ۱۰۰۰ یا کمتر طبق ANSI	T یا Rev	A	پ-۱۱-۴-۱
مصالح مرکب از چند نیمرخ	فلز مینا و مصالح جوش در اعضا بدون ملحققات، تیرورقها و یا نیمرخهای مرکب که اجزای آنها توسط جوشهای شیاربی نفوذی یا گوشه پیوسته به موازات امتداد تنشهای وارده، به یکدیگر متصل شده است.	T یا Rev	B	۳، ۴، ۵ و ۶
	فلز مینا و مصالح جوش در اعضای بدون ملحققات، تیرورقها و یا نیمرخهای مرکب که اجزای آنها توسط جوشهای شیاربی نفوذی (بدون حذف تسمه پشت) و یا جوشهای شیاربی نیمه نفوذی به موازات امتداد تنش، به یکدیگر متصل شده است.	T یا Rev	B	۳، ۴، ۵ و ۶
	فلز مینا در ریشه جوشهای اتصال دهنده بال و جان به سخت‌کننده‌های عرضی	T یا Rev	C	۷
	فلز مینا در دو انتهای ورقهای پوششی جوشی با طول محدود و کم عرضتر از بال با انتهای راستگوشه و یا باریک شوند با و یا بدون جوش عرضی انتهایی و یا عرضتر از بال با جوش عرضی انتهایی	Rev یا T	E	۵
	ضخامت بال کمتر و یا مساوی ۲۰ میلی‌متر		E'	۵
	ضخامت بال بیشتر از ۲۰ میلی‌متر		E'	۵
	فلز مینا در انتهای ورقهای پوششی جوشی با طول محدود، با عرضی بزرگتر از عرض بال بدون جوش عرضی انتهایی			

(۱) تنش همواره کششی، (Rev): تنش معکوس (به‌طور متناوب کششی و یا فشاری) (S) تنش برشی که در برگیرنده 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) محدوده تنش خستگی مجاز برای جوش شیاربی نیمه‌نفوذی عرضی و جوش گوشه عرضی تابعی از گلولی مؤثر، عمق نفوذ و ضخامت ورق می‌باشد. به‌مآخذ زیر مراجعه شود:

Frank and Fisher, Journal of the Structural Division, Vol. 105, No ST9, Sept. 1979.

جدول پ-۱۱-۴-۲ - نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شماره نمونه شکل	طبقه تنش جدول	نوع تنش ^۱	وضعیت	شرایط عمومی
پ-۱۱-۴-۱	پ-۱۱-۴-۳	T یا Rev	فلز مینا و فلز جوش در محل وصله اجزای مقاطع مشابه، با جوش شیاری کاملاً نفوذی که در امتداد تنشهای وارده سنگ خورده 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 شده است. فلز مینا و فلز جوش در محل وصله 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 به ۲/۵ نندتر نباشد و سلامت جوش توسط روشهای رادیوگرافی و یا مافوق صوت طبق شرایط 9.25.2 یا 9.25.3 از AWS D1.1.85 تأیید شده است.	جوش شیاری
۱۲ و ۱۳	B'	T یا Rev	فلز پایه مطابق A514	
۱۲ و ۱۳	B	T یا Rev	سایر مصالح پایه	
۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	C	T یا Rev	فلز مینا و فلز جوش در محل وصله اجزایی با ضخامت و با عرض متفاوت با و یا بدون طول انتقال با شیبی نه بزرگتر از ۱ به ۲/۵ وقتی که جوش سنگ زده نشده ولی سلامت 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.	
۱۶	F ^۳	T یا Rev	فلز جوش در جوشهای شیاری نیمه نفوذی عرضی بر مبنای گلولی مؤثر جوش	جوش شیاری نیمه نفوذی



جدول پ-۱۱-۴-۲ - نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش	طبقه تنش جدول	مثال نمونه شکل
اتصالات با جوش گوشه	فلز مینا در جوشهای گوشه منقطع	T یا Rev	E	پ-۱۱-۴-۱
	فلز مینا در محل اتصال اعضای تحت نیروی محوری که اتصال انتهایی آنها توسط جوش گوشه انجام شده است. جوشهای انتهایی باید نسبت به محور عضو متعادل باشند. h کوچکتر و یا مساوی ۲۵ میلی‌متر... b بزرگتر از ۲۵ میلی‌متر.....	T یا Rev	E	۱۷ و ۱۸
جوشهای گوشه	فلز مینا در اعضای که توسط جوشهای گوشه عرضی متصل شده‌اند. h کوچکتر و یا مساوی ۱۲/۵ میلی‌متر... b بزرگتر از ۱۲/۵ میلی‌متر.....	T یا Rev	C	۲۰ و ۲۱
	به پانویس ۳ مراجعه شود			
جوشهای گوشه	فلز جوش در جوشهای گوشه طولی یا عرضی و پیوسته یا منقطع	S	F	۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۱ و ۲۰
جوشهای انگشترانه و کام توپر	فلز مینا در جوشهای انگشترانه و کام	T یا Rev	E	۲۷
	برش در جوشهای انگشترانه و کام	S	F	۲۷
وسایل اتصال پیچ و پرچ	فلز مینا در مقطع کل اتصالات اصطکاکی با پیچهای پر مقاومت، به استثنای اتصالات تحت نیروی محوری که خمش خارج از صفحه در مصالح اتصال به وجود می‌آورد	T یا Rev	B	۸
	فلز مینا در مقطع خالص سایر اتصالات پیچی یا پرچی	T یا Rev	D	۸ و ۹
	فلز مینا در مقطع خالص اتصالات انکابی با پیچهای پر مقاومت که تحت کشش کامل قرار گرفته‌اند.	T یا Rev	B	۸ و ۹

جدول پ-۱۱-۴-۲- نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شماره نمونه شکل	طبقه تنش جدول	نوع تنش	وضعیت	شرایط عمومی
پ-۱۱-۴-۱	پ-۱۱-۴-۳		فلز قطعه اصلی وقتی که قطعه الحاقی توسط جوش شیباری کاملاً نفوذی متصل شده و تحت بارگذاری طولی، و یا عرضی و یا به طور توأم می باشد و قطعه الحاقی با انحنایی به شعاع R به محل جوش که با سنگ صاف شده است، متصل می شود و در مورد بارگذاری عرضی، سلامت جوش توسط روشهای رادیوگرافی و یا مافوق صوت مطابق شرایط 9.25.2 و 9.25.3 از AWS D1.1.85 تأیید شده است.	ملحقات
۱۴	B	T یا Rev	..... R > 60 cm	بارگذاری طولی:
۱۴	C	T یا Rev	..... 60 > R > 15	
۱۴	D	T یا Rev	..... 15 > R > 5	
۱۴	E	T یا Rev	..... 5 > R	
			فلز قطعه الحاقی برای بارگذاری عرضی، ضخامتها مساوی و گرده جوش سنگ خورده است.	
۱۴	B	T یا Rev	..... R > 60 cm	
۱۴	C	T یا Rev	..... 60 > R > 15	
۱۴	D	T یا Rev	..... 15 > R > 5	
۱۴ و ۱۵	E	T یا Rev	..... 5 > R	
			فلز قطعه الحاقی برای بارگذاری عرضی، ضخامتها مساوی ولی گرده جوش سنگ خورده است.	
۱۴	C	T یا Rev	..... R > 60 cm	
۱۴	C	T یا Rev	..... 60 > R > 15	
۱۴	D	T یا Rev	..... 15 > R > 5	
۱۴ و ۱۵	E	T یا Rev	..... 5 > R	



جدول پ-۱۱-۴-۲ - نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش ^۱	طبقه تنش جدول	مثال نمونه ^۲ شکل
ملحقات (ادامه)	فلز قطعه الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامت‌ها نامساوی، گرده جوش سنگ خورده است.	Rev یا T	پ-۱۱-۴-۳	پ-۱۱-۴-۱
	..... $R > 5\text{ cm}$		D	۱۴
	..... $5 > R$	Rev یا T	E	۱۴ و ۱۵
	فلز قطعه الحاقی برای بارگذاری عرضی. ضخامت‌ها مساوی و گرده جوش سنگ نخورده است.	Rev یا T	E	۱۴ و ۱۵
	برای تمام مقادیر R	Rev یا T	C	۱۹
	فلز مینای الحاقی در بارگذاری عرضی	Rev یا T	D	۱۹
	..... $R > 15\text{ cm}$	Rev یا T	E	۱۹
	..... $15 > R > 5\text{ cm}$	Rev یا T		
	..... $5 > R$	Rev یا T		
	فلز قطعه اصلی وقتی که قطعه الحاقی با جوش شیاری کاملاً نفوذی متصل شده و قطعه اصلی تحت بارگذاری طولی است. یا 10cm یا $5 > a > 12b$	Rev یا T	D	۱۵
..... که $b \leq 2.5\text{cm}$ یا 10cm یا $a > 12b$		Rev یا T	F	۱۵
..... که $b > 2.5\text{cm}$ یا 10cm یا $a > 12b$		Rev یا T	E'	۱۵
فلز قطعه اصلی وقتی که قطعه الحاقی با جوش شیاری نیمه نفوذی یا جوش گوشه متصل شده و قطعه اصلی تحت بارگذاری طولی است.	..... $a < 5\text{cm}$	Rev یا T	C	۱۵، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶
	..... یا 10cm یا $5\text{cm} < a < 12b$	Rev یا T	D	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶
	..... که $b \leq 2.5\text{cm}$ یا 10cm یا $a > 12b$	Rev یا T	E	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶
	..... که $b > 2.5\text{cm}$ یا 10cm یا $a > 12b$	Rev یا T	E'	۱۵، ۲۳، ۲۴ و ۲۶

جدول پ-۱۱-۴-۲ - نوع و وضعیت و موقعیت مصالح (ادامه)

شرایط عمومی	وضعیت	نوع تنش ^۱	طبقه تنش جدول	مثال نمونه شکل
ملحقات (ادامه)	فلز قطعه اصلی وقتی که قطعه الحاقی با جوش گوشه و یا جوش شیاری نیمه نفوذی متصل شده و فلز قطعات اصلی تحت بارگذاری طولی است و انتهای جوش هماهنگ با انحنا گردی، کاملاً سنگ خورده است. $R > 5cm$	Rev یا T	D	۱۹
		Rev یا T	E	۱۱
	قطعه الحاقی با جوش گوشه متصل شده و انتهای جوش هماهنگ با انحنا گردی کاملاً سنگ خورده است و قطعه اصلی تحت بارگذاری طولی است. فلز قطعه الحاقی برای بارگذاری عرضی $R > 5cm$	Rev یا T	D	۱۹
		Rev یا T	E	۱۹
	فلز قطعه اصلی در محل اتصال گلمیخهای برشی توسط جوش گوشه یا جوش انتهایی اتوماتیک $R < 5cm$	Rev یا T	C	۲۲
		S	F	



جدول پ-۱۱-۳-۳ - دامنه مجاز تنش (kg/cm^2)

حالت بارگذاری	حالت بارگذاری	حالت بارگذاری	حالت بارگذاری	طبقه تنش
۴	۳	۲	۱	جدول پ-۱۱-۳
A	1680	2590	4410	A
B	1120	2030	3430	B
B'	840	1610	2730	B'
C	700	1470	2450	C
D	490	1120	1960	D
E	315	910	1540	E
E'	182	644	1120	E'
F	560	840	1050	F

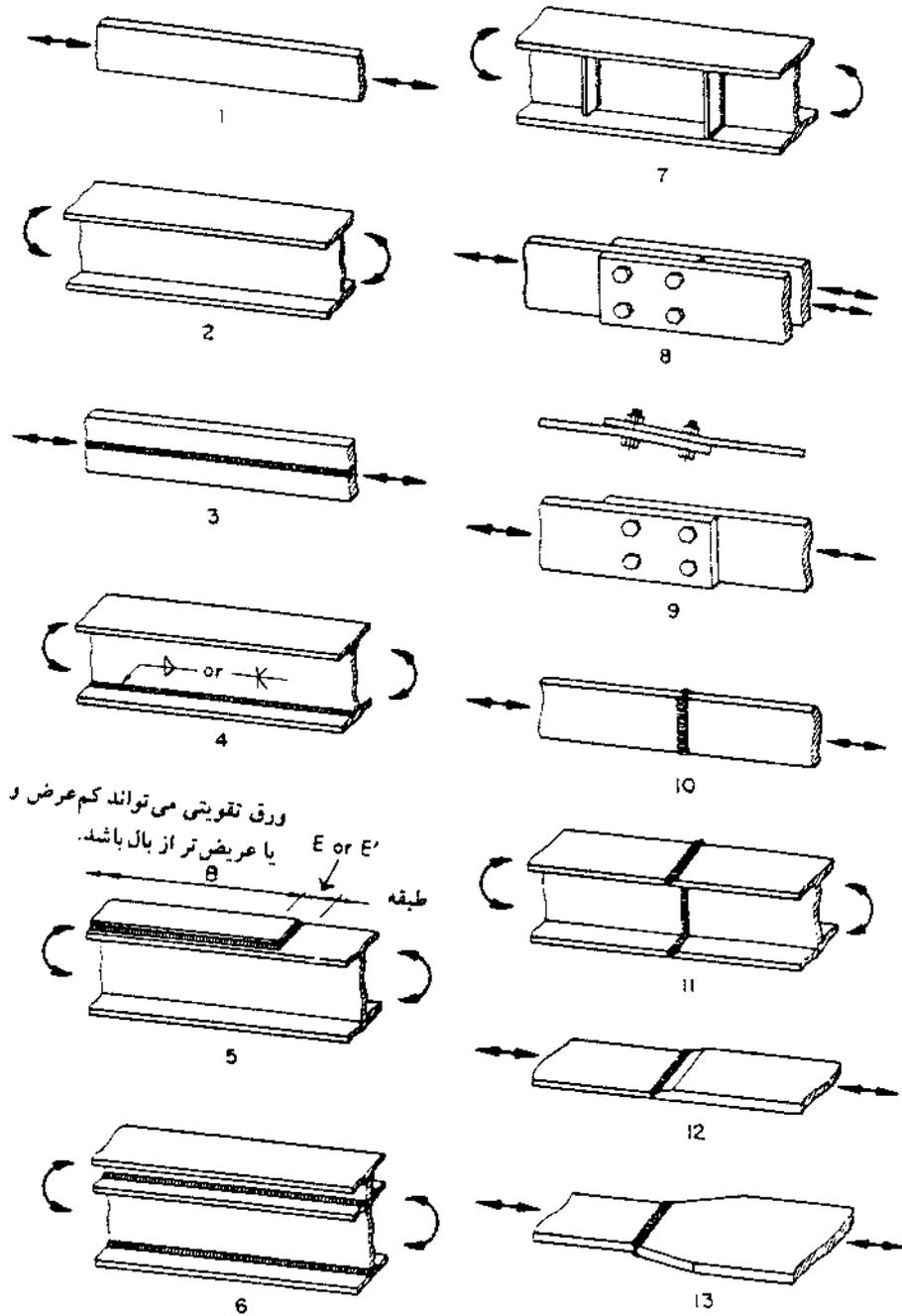
۱- در محل ریشه جوش سخت‌کننده و با بالها، دامنه تنش خمشی تا 840 kg/cm^2 مجاز می‌باشد.

جدول پ-۱۱-۳-۲ - مقاومت طرح پیچهای پرمقاومت که تحت کشش قرار دارند

تعداد سیکل بارگذاری	مقاومت طرح
کوچکتر از ۲۰۰۰۰	همانند مقادیر مقرر شده در بخش ۱۰-۳
بین ۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰	$0.30 A_b F_u^1$
بزرگتر از ۵۰۰۰۰۰	$0.25 A_b F_u^1$

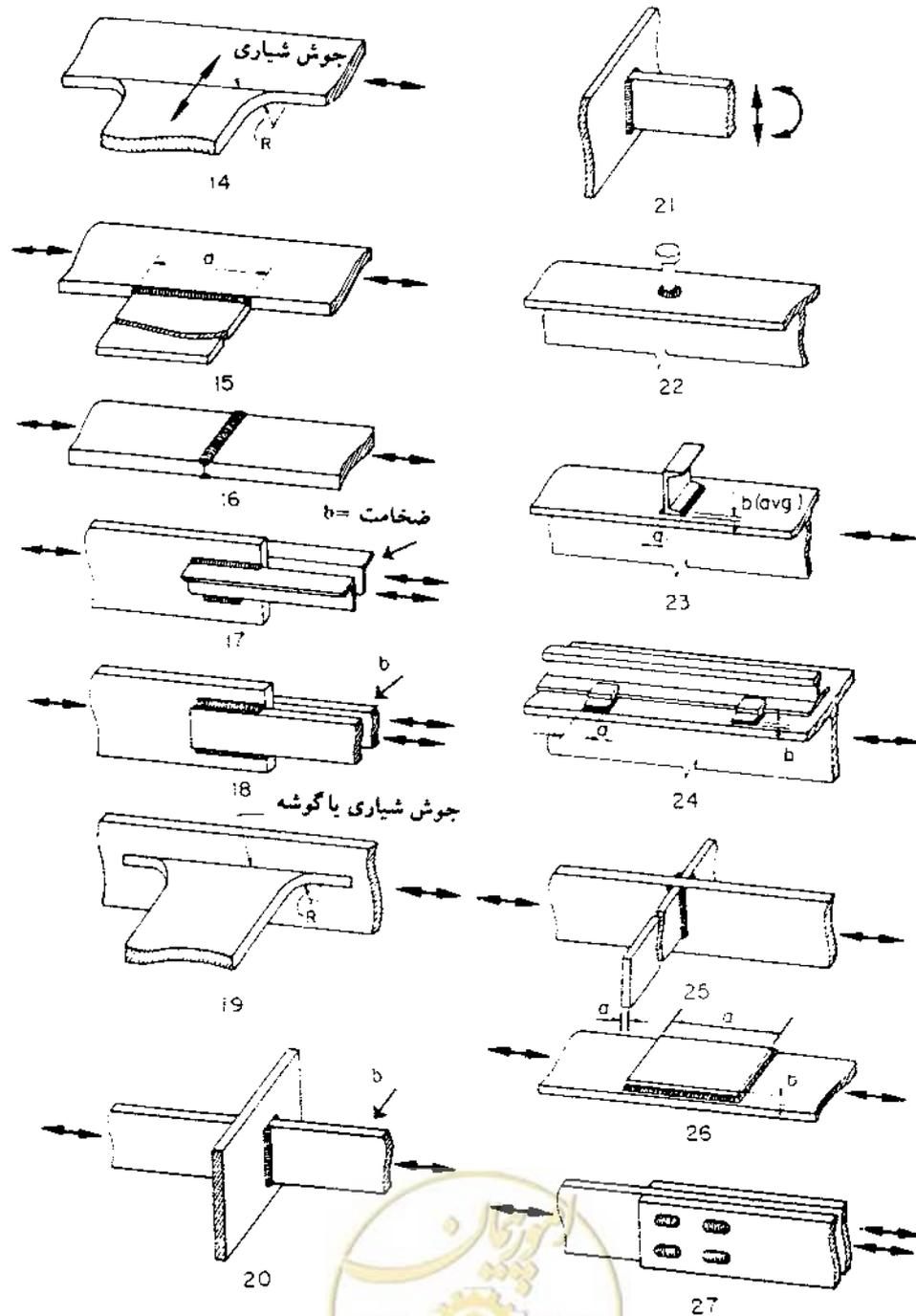
۱- تحت بار خدمت (بارهای بدون ضربه)





شکل پ-۱۱-۴-۱ اشکال نمونه

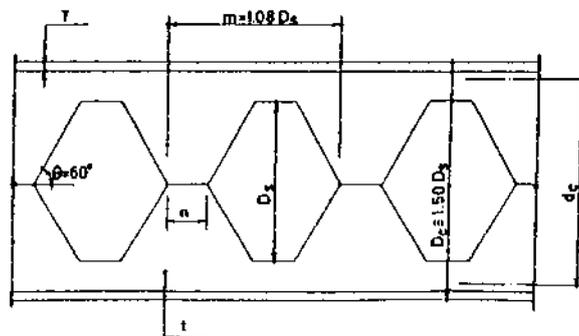




شکل پ-۱۱-۴-۱ اشکال نمونه (ادامه)

تیرهای لانه‌زنبوری

۱ - ضوابط مندرج در این ضمیمه در مورد تیرهای لانه‌زنبوری ساخته‌شده از نیمرخهای نوردشده I، با ابعاد و هندسه نشان داده شده در شکل ۱ صدق می‌نمایند و در اعمال آنها به تیرهای لانه‌زنبوری با هندسه و مشخصات متفاوت، باید جانب احتیاط رعایت گردد.



۲ - روشهای تحلیل

در تحلیل تیرهای لانه‌زنبوری، علاوه بر اثر خمشی کلی، لازم است اثرهای ناشی از خمش ثانوی حاصل از رفتار شبه ورنبدیلی نیز در نظر گرفته شود.



۲-۱- تحلیل ارتجاعی

۲-۱-۱- به منظور تحلیل ارتجاعی، تحلیل تیر لانه‌زنبوری را می‌توان به یکی از روشهای زیر انجام داد:

- روش قیاس با خریای ورن‌دیل؛
- روش قاب، که در آن تیر لانه‌زنبوری به صورت یک قاب با اعضای غیر منشوری یا منشوری معادل در نظر گرفته می‌شود؛
- روش اجزای محدود، که به منظور فراهم آوردن امکان عملی، می‌توان از خاصیت تکراری بودن مدول نمونه تیر لانه‌زنبوری بهره گرفت.

۲-۱-۲- در تحلیل تقریب به روش 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.

۲-۱-۳- 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 به علت بار نهایی، بدون احتساب تمرکز تنش، نباید از F_y تجاوز نمایند.

۲-۱-۴- 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 به علت بار نهایی در هیچ نقطه از جان مقطع T نباید از $0.6 F_y$ تجاوز نماید. در عین حال تنش برشی متوسط جان، در هیچ یک از مقاطع نباید از $0.55 F_y$ تجاوز کند.

۲-۱-۵- 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 به علت بار نهایی در این مقطع نباید از $0.6 F_y$ تجاوز نماید.



۲-۲- تحلیل خمیری

در صورتی که نسبت بعد به ضخامت عناصر تشکیل‌دهنده تیر لانه‌زنبوری به نحوی باشد که تشکیل مفصل پلاستیک در مقاطع اعضا میسر باشد، کلیه ضوابط تحلیل و طرح پلاستیک (خمیری) این آیین‌نامه صادق است.

۲-۲-۱- تحلیل خمیری تیر لانه‌زنبوری را می‌توان به روشهای زیر انجام داد:

- روش قیاس با خرپای ورن‌دیل، با در نظر گرفتن مکانیزمهای منفرد و ترکیبی مربوط به خرپای ورن‌دیل و مکانیزم خمش کلی؛
- روش اجزای محدود.

۲-۲-۲- در طراحی مقطع T باید اثر نیروی محوری ناشی از خمش کلی توأم با خمش موضعی ناشی از اثرهای ثانوی در نظر گرفته شود.

۲-۳- طرح به روش حدی

در طرح تیر لانه‌زنبوری به دو روش حدی، می‌توان نتایج حاصل از یک تحلیل الاستیک (ارتجاعی) را با احتساب ضرایب بار و مقاومت مناسب، مورد استفاده قرار داد.

۳- جوش جان

ضوابط مربوط به حداقل جوش جان مندرج در این بند، در مورد تیرهایی که تحت اثر نیروهای استاتیکی قرار دارند، صدق می‌کند.

۳-۱- 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 به انتقال 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 ریش نیمه‌نفوذی بدون آمادگی خاصی که براساس ضوابط ذیل طراحی می‌گردد، استفاده کرد. به این منظور باید روابط زیر برقرار باشد:

$$F_{v(avg)} = \frac{V_{wu}}{a_{w(net)}.n} \leq 0.7 F_y$$



که در آن:

$$F_{v(avg)} = \text{تنش برش متوسط در درز جوش تحت بارهای ضریب‌دار}$$

$$a_{w(net)} = \text{حداقل ضخامت خالص جوش که برابر است با مجموع حداقل عمق نفوذ جوش و حداقل ضخامت جوش تقویتی «ایم در هر دو سمت»}$$

$$V_{wu} = \text{کل نیروی برش ضریب‌دار در محل درز جوش}$$

$$n = \text{طول جوش مطابق شکل ۱}$$

یا:

$$V_{wu} = 0.7 F_y a_{w(net)} n$$

۳-۲ - 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، به صورتی که در بند ۳-۱ قید گردیده است، ایجاد شده باشد. حداقل ضخامت جوش تقویت دائم و حداقل عمق نفوذ باید به وضوح در نقشه‌های اجرایی مشخص گردد. در احتساب حداقل ضخامت خالص جوش، $a_{w(net)}$ ، در مواردی که برآمدگی جوش تقویتی باید تراشیده شود (سنگ زده شده) و برداشته شود (مانند نقاط اتصال جان به جان تیرهای مقاطع)، باید دقت کافی مبذول گردد.

۴ - کمانش جانبی - پیچشی

تیرهای لانه‌زنبوری فاقد تکیه‌گاه جانبی کامل باید در مقابل کمانش جانبی - پیچشی طراح شوند. در این خصوص، می‌توان از روشهای متداول طراحی و کنترل کمانش جانبی - پیچشی تیرهای حاوی جان توپر استفاده نمود مشروط بر آنکه کلیه خواص مقاطع و طول مؤثر معادل براساس خواص مقطع سوراخدار تیر لانه‌زنبوری در محاسبات ملحوظ گردد.

۵ - کمانش موضعی

کلیه اجزا تشکیل دهنده تیر لانه‌زنبوری باید از نظر کمانش موضعی مورد کنترل قرار داده شوند. اشکال کمانش موضعی تیر لانه‌زنبوری به شرح زیر است:

۵-۱ - کمانش جانبی - پیچشی جان در اثر خمش درون صفحه‌ای ناشی از برش.

۵-۲ - کمانش جان در موضع اعمال بار متمرکز یا روی تکیه‌گاهها - به تبع بزرگی بار متمرکز و میزان برش کلی موجود در جان، امکان وقوع وضعیتهای کمانشی زیر وجود دارد:
 - کمانش جان تحت اثر فشار
 - کمانش جان تحت اثر برش
 - کمانش جان تحت اثر عملکرد توأم فشار و برش.

۵-۳ - کمانش موضعی جان در گوشه سوراخها به علت وجود تمرکز تنش.

۵-۴ - کمانش موضعی مقطع T

۵-۵ - کمانش خمشی - پیچشی مقاطع T ، در فاصله بین مهارهای جانبی تیر لانه‌زنبوری.

در صورت لزوم به منظور جلوگیری از کمانش موضعی، می‌توان از تقویت‌های مناسب استفاده کرد.

۶ - لهیدگی جان

لهیدگی جان تیرهای لانه‌زنبوری باید براساس ضوابط مزبور به لهیدگی جان تیرهای با جان توپر مندرج در این آیین‌نامه کنترل شود.
 توصیه می‌شود در محل نیروهای متمرکز، حداقل دو چشمه توسط ورق پر گردد.

۷ - تغییر مکان

در محاسبه تغییر مکان الاستیک تیرهای لانه‌زنبوری، باید اثر تغییرشکل‌های ناشی از برش موجود در مدولها (شامل تغییرشکل‌های برشی و خمشی اجزا در هر مدول) با تغییر شکل ناشی از خمش کلی جمع گردد.



۸ - اثر خستگی

از ایجاد گوشه‌های تیز تحت اثر بارهای متناوب، بخصوص در مورد پانلهایی که در منطقه تغییر لنگر خمشی کلی قرار می‌گیرند، باید احتراز شود. در گوشه سوراخها باید قوس دایروی ایجاد کرد. در غیاب آنالیز الاستیک تفصیلی جهت تعیین ضریب شدت تنش و شدت حوزه تنش، حداقل شعاع انحنای گوشه، r_{min} ، باید به شرح 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 نیمه نفوذی تحت اثر بارهای متناوب و بارگذاری منجر به پدیده خستگی، در حالت کلی مجاز نمی‌باشد.

۹ - اثر نیروهای ناشی از زلزله و بارهای دینامیکی

به لحاظ 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:

- حداقل شعاع قوس دایروی گوشه‌ها مطابق بند الف - ۸، رعایت شود.

- در تیرهای لانه‌زنبوری تحت اثر بار گسترده، 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).

- در واضح اثر بارهای متمرکز نسبتاً سنگین و در محل تکیه‌گاهها، از تقویت‌های مناسب جان

استفاده شود.

- از جوش لب تمام نفوذی استفاده شود.

۱۰ - کنترل و تضمین کیفیت، بازرسی فنی، نکات اجرایی

در ساخت تیرهای لانه‌زنبوری، خصوصاً در حالت صنعتی شده و به‌قصد تولید انبوه، لازم است روش دقیقی از نظر کنترل و تضمین کیفیت، بازرسی فنی تولید، مدیریت تولید و روشهای اجرایی، برنامه‌ریزی و اعمال شود. نکات اجرایی زیر باید رعایت شوند:

- دقت گردد که در هنگام برش و جوشکاری، اعوجاج به حداقل ممکن تقلیل داده شود.
 - حداکثر رواداری مجاز از نظر عدم هم‌امتداد بودن دو نیمه‌جوش شده تیر که برحسب نسبت اندازه نایجایی اولیه در وسط ارتفاع اعضای قائم جان، δ_0 ، به ارتفاعات کل جان (تقریباً برابر با d_e مطابق شکل ۱) تعریف می‌شود، نباید در هیچ‌یک از اعضای قائم جان از $\frac{1}{400}$ تجاوز کند.
 - 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 متقله 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 بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع
 برای اعضای فشاری با $\phi_c=0.85$ برای فولاد $F_y=2400$

$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$		$\frac{KL}{r}$	
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	1088	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 سانتی متر مربع
برای اعضای فشاری با $\phi_c=0.85$ برای فولاد $F_y=3600$

| $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ | $\frac{KL}{r}$ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 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 | 1088 | 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 $\phi_c=0.85$

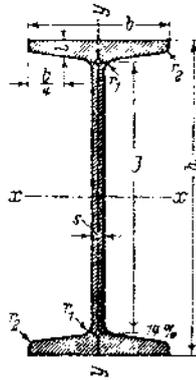
$\lambda_c$	$\phi_c F_{cr}/F_y$	$\lambda_c$	$\phi_c F_{cr}/F_y$	$\lambda_c$	$\phi_c F_{cr}/F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr}/F_y$
0.02	0.850	0.82	0.641	1.62	0.284	2.42	0.127
0.04	0.849	0.84	0.632	1.64	0.277	2.44	0.125
0.06	0.849	0.86	0.623	1.66	0.271	2.46	0.123
0.08	0.848	0.88	0.614	1.68	0.264	2.48	0.121
0.10	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	0.745	1.36	0.392	2.16	0.160	2.96	0.085
0.58	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

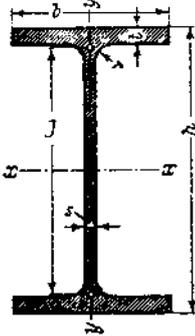


- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- U = سطح جانبی واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون
- Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)
- J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

I	ابعاد به میلی متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	s = r ₁	t	r ₂				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y 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	36 970	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	4 470	434	4,30	2 730	50,9



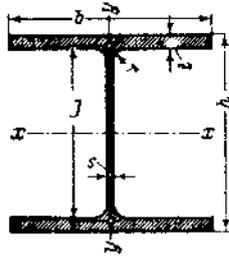
نیم‌رخ نیم‌پهن IPE



$A =$ 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)
 $J =$ فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPE	ابعاد به میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	X-X			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	t	r					I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
80	80	46	3,8	6,2	6	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	6,79	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	0,521	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	2,06	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	206	37,3	2,48	143	19,4
240	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	0,932	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2
270	270	138	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	1,129	8360	557	12,6	604	80,5	3,35	314	26,6
330	330	160	7,5	11,5	18	62,8	49,1	1,224	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	402	29,3
360	360	170	8,0	12,7	18	72,7	57,1	1,323	16270	904	15,0	1040	123	3,79	510	31,9
400	400	190	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 IPR₁

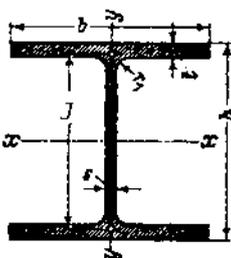


- سطح مقطع = A
- وزن واحد طول = G
- سطح جانبی واحد طول = U
- ممان اینرسی = I
- اساس مقطع = S
- شعاع ژیراسیون = r
- Q = لنگر استاتیکی نصف مقطع حول محور خشی (محور x)
- J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPR ₁	ابعاد به میلی متر					A cm ²	G kg/m	U cm ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	t	s	j				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y 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	1,78	22930	1480	13,6	8990	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	528	7,43	1040	31,7
400	390	300	11	19	27	189	125	1,91	45070	2310	16,8	8560	571	7,34	1280	35,2
460	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	7,06	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



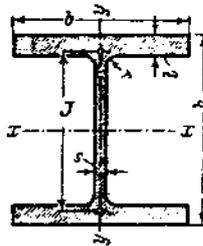
نیم‌رخ بال پهن معمولی IPB



- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- U = سطح جانبی واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون
- O = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)
- J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPB	ابعاد به میلی‌متر							A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			O cm ³	J cm ⁴
	h	b	t	r ₁ r ₂	r ₁	r ₂	I _x cm ⁴				S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm			
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	428	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	2180	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	654700	12890	40,1	16280	1090	6,38	7430	86,8	

نیرمخ بال پهن سنگین IPBv

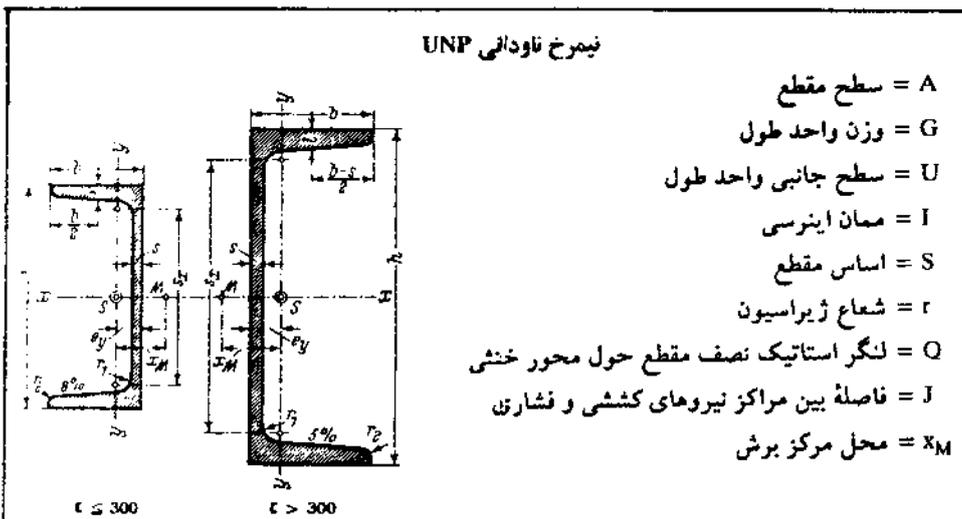


- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- U = سطح جانبی واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون
- Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)
- J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPBv	ابعاد به میلی متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	s	t	r				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y 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	1,82	59200	3480	14,0	19400	1250	8,00	2040	29,0
320/305	320	306	16	29	27	225	177	1,76	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	328	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	1230	7,01	5270	62,5
800	814	303	21	40	30	404	317	2,75	442600	10670	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

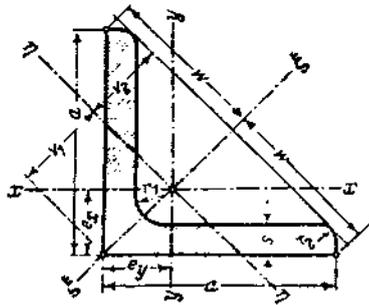


نیمرخ ناودانی UNP



c	ابعاد به میلی‌متر						A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴	e _y cm	x _M cm
	h	b	a	t	r	I _x cm ⁴				S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm					
10 × 15	30	15	4	4,5	2	2,21	1,74	0,103	2,53	1,09	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	0,80	—	—	0,67	1,01	
40	40	35	5	7	3,5	6,21	4,67	0,199	14,1	7,06	1,50	6,68	3,09	1,04	—	—	1,33	2,32	
50 × 25	50	25	5	6	3	4,92	3,86	0,181	16,8	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	10,8	1,92	9,12	3,75	1,13	—	—	1,37	2,47	
60	60	30	6	6	3	6,46	6,07	0,215	31,9	10,5	2,21	4,51	2,18	0,84	—	—	0,91	1,50	
65	65	42	5,5	7,5	4	9,03	7,09	0,273	67,3	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	—	—	1,42	2,80	
80	80	45	6	8	4	11,0	8,84	0,312	108	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	6,65	1,45	2,67	
100	100	60	6	8,5	4,5	13,5	10,6	0,372	208	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	8,42	1,55	2,83	
120	120	55	7	9	4,5	17,0	13,4	0,434	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	36,3	10,6	1,60	3,03	
140	140	60	7	10	5	20,4	16,0	0,489	505	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	625	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	13,3	1,84	3,66	
180	180	70	8	11	5,5	28,0	22,0	0,611	1380	160	6,95	114	22,4	2,02	89,6	15,1	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	2640	246	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	2,59	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	2,91	413	26,3	2,80	4,82	
350	350	100	14	16	8	77,3	60,6	1,047	12640	734	12,9	670	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 نشی با بالهای مساوی



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

r = شعاع ژیراسیون

محور $\eta-\eta$ محور اصلی حداقل نیمرخ است

L	ابعاد به میلیمتر				A cm ²	G kg/m	U m ² /m	$x-x=y-y$				$\xi-\xi$				$\eta-\eta$				
	a	s	r ₁	r ₂				e_x =e _y cm	w cm	v_1 cm	v_2 cm	I_x =I _y cm ⁴	S_x =S _y cm ³	r_x =r _y cm	I_ξ cm ⁴	r_ξ cm	I_η cm ⁴	S_η cm ³	r_η =r _z (min) cm	
20 × 3	20	3	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 × 4	25	3	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
30 × 4	30	3	3			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	5	2,5	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
35 × 4	35	3	3			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	5	2,5	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
40 × 4	40	3	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	6	3	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
45 × 4	45	3	3			3,39	2,74	0,174	1,23	3,18	1,75	1,57	6,43	1,97	1,36	10,2	1,71	2,68	1,53	0,89
		4	4	7	3,5	4,30	3,38		1,28		1,81	1,58	7,83	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,80	0,87
50 × 4	50	3	3			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
		4	4	7	3,5	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
55 × 4	55	3	3			5,69	4,47	0,213	1,45	3,89	2,04	1,77	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,24	2,57	0,96
		4	4	8	4	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
60 × 4	60	3	3			7,41	5,82	0,233	1,52	4,24	2,16	1,80	16,3	4,68	1,48	25,7	1,86	6,87	3,19	0,96
		4	4	9	4,5	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
65 × 4	65	3	3			5,32	4,18	0,213	1,52	3,89	2,15	1,93	14,7	3,70	1,68	23,3	2,09	6,11	2,84	1,07
		4	4	8	4	6,31	4,95		1,56		2,21	1,94	17,3	4,40	1,68	27,4	2,08	7,24	3,28	1,07
70 × 4	70	3	3			8,23	6,46	0,233	1,64	4,24	2,32	1,97	22,1	5,72	1,64	34,8	2,06	9,35	4,03	1,07
		4	4	10	4,5	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
75 × 4	75	3	3			5,82	4,57	0,233	1,84	4,24	2,32	2,11	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,03	3,46	1,17
		4	4	8	4	6,91	5,42		1,89		2,39	2,11	22,8	5,29	1,82	36,1	2,29	9,43	3,95	1,17
80 × 4	80	3	3			9,03	7,09	0,233	1,77	4,24	2,50	2,14	29,1	6,88	1,80	46,1	2,26	12,1	4,84	1,16
		4	4	10	4,5	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
85 × 4	85	3	3			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
		4	4	9	4,5	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
90 × 4	90	3	3			9,85	7,73	0,252	1,89	4,60	2,67	2,31	37,5	8,13	1,95	59,4	2,46	15,6	5,84	1,26
		4	4	11	4,5	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
95 × 4	95	3	3			13,2	10,3	0,252	2,00	4,60	2,83	2,36	48,8	10,8	1,91	76,8	2,42	20,7	7,31	1,25
		4	4	11	4,5				2,00											



L	a	s	r ₁	r ₂	F cm ²	G kg/m ³ /m ³	U cm	e	w	v ₁ cm	v ₂ cm	x-x-y-y			ξ-ξ		η-η		I _η cm ⁴	S _η cm ³	I _η (m ⁴) cm
												I _x -I _y cm ⁴	S _x -S _y cm ³	I _x -I _y cm ⁴	I _ξ cm ⁴	I _ξ cm ⁴	I _η cm ⁴	S _η cm ³			
70 × 7 8 9 11	70	7 8 9 11	9	4,5	8,13 9,40 11,9 14,3	6,38 7,38 9,34 11,2	0,272	1,93 1,97 2,05 2,13	4,95	2,13 2,09 2,13 2,29	2,69 2,95 3,01 3,24	3,63 3,63 3,65 3,68	45,6 52,4 58,9 61,8	8,35 9,67 11,0 13,8	2,28 2,28 2,25 2,22	72,2 83,6 93,3 113	2,87 2,89 2,85 2,83	18,9 21,1 24,4 29,8	6,54 7,15 8,11 9,55	1,47 1,45 1,46 1,45	
75 × 7 8 10 12	75	7 8 10 12	10	6	8,75 10,1 11,5 14,1 16,7	6,87 7,84 9,03 11,1 13,1	0,291	2,04 2,09 2,13 2,29	5,30	2,69 2,95 3,01 3,24	3,63 3,63 3,65 3,68	45,6 52,4 58,9 61,8	8,35 9,67 11,0 13,8	2,28 2,28 2,25 2,22	72,2 83,6 93,3 113	2,87 2,89 2,85 2,83	18,9 21,1 24,4 29,8	6,54 7,15 8,11 9,55	1,47 1,45 1,46 1,45		
80 × 7 8 10 12 14	80	7 8 10 12 14	10	5	10,8 12,3 15,1 17,9 20,6	8,49 9,66 11,9 14,1 16,1	0,311	2,21 2,26 2,34 2,41 2,48	6,66	3,13 3,20 3,31 3,41 3,51	3,82 3,82 3,85 3,89 3,93	64,2 72,3 87,5 102 115	11,1 12,8 15,5 18,2 20,8	2,44 2,42 2,41 2,39 2,36	102 115 139 161 181	3,07 3,06 3,03 3,00 2,98	26,5 29,6 35,9 43,0 48,6	8,48 9,25 10,9 12,6 13,9	1,57 1,55 1,54 1,53 1,54		
90 × 8 9 11 13 16	90	8 9 11 13 16	11	5,5	13,9 15,5 18,7 21,8 26,4	10,9 12,2 14,7 17,1 20,7	0,351	2,50 2,54 2,62 2,70 2,81	6,36	3,53 3,58 3,70 3,81 3,97	3,17 3,18 3,21 3,24 3,29	104 116 138 158 186	16,1 18,0 21,6 25,1 30,1	2,74 2,74 2,72 2,69 2,66	166 184 218 250 294	3,45 3,45 3,41 3,39 3,34	43,1 47,8 57,1 65,9 79,1	12,2 13,3 15,4 17,3 19,9	1,76 1,76 1,75 1,74 1,73		
100 × 8 9 12 14 16 20	100	8 9 12 14 16 20	12	6	15,5 19,2 22,7 26,2 29,8 36,2	12,2 15,1 17,8 20,6 23,2 28,4	0,390	2,74 2,82 2,90 2,98 3,06 3,20	7,07	3,87 3,99 4,10 4,21 4,32 4,53	3,52 3,54 3,57 3,60 3,63 3,71	145 177 207 235 262 311	19,9 24,7 29,2 33,5 37,7 45,7	3,08 3,04 3,02 3,00 2,97 2,93	230 280 328 372 413 487	3,85 3,82 3,80 3,77 3,74 3,67	69,9 73,3 86,2 98,3 111 135	15,5 18,4 21,0 23,4 25,6 31,9	1,98 1,95 1,96 1,94 1,93 1,93		
110 × 10 12 14 16 18 22	110	10 12 14 16 18 22	12	6	21,2 25,1 29,0	18,6 19,7 22,8	0,430	3,07 3,15 3,21	7,78	4,34 4,45 4,54	3,89 3,93 3,98	239 280 319	30,1 35,7 41,0	3,36 3,34 3,32	379 444 505	4,23 4,21 4,18	98,6 116 133	22,7 26,1 29,3	2,16 2,15 2,14		
120 × 11 12 13 15	120	11 12 13 15	13	6,5	25,4 27,5 29,7 33,9	19,9 21,6 23,3 26,6	0,469	3,36 3,40 3,44 3,51	8,49	4,75 4,80 4,86 4,96	4,24 4,26 4,27 4,31	341 368 394 446	39,5 42,7 46,0 52,5	3,66 3,65 3,64 3,63	541 584 625 705	4,62 4,60 4,59 4,56	140 152 162 186	29,5 31,6 33,3 37,5	2,35 2,35 2,34 2,34		
130 × 12 14 16	130	12 14 16	14	7	30,0 34,7 39,3	23,6 27,2 30,9	0,508	3,64 3,72 3,80	9,19	5,15 5,26 5,37	4,60 4,63 4,66	472 540 605	50,4 58,2 65,8	3,97 3,94 3,92	750 857 959	5,00 4,97 4,94	194 223 251	37,7 42,4 46,7	2,54 2,53 2,52		
140 × 13 15	140	13 15	15	7,5	35,0 40,0	27,5 31,4	0,547	3,92 4,00	9,90	5,54 5,66	4,96 4,99	638 723	63,3 72,3	4,27 4,25	1010 1150	5,38 5,36	262 298	47,3 52,7	2,74 2,73		
150 × 12 14 16 18 20	150	12 14 16 18 20	16	8	34,8 40,3 43,0 45,7 51,0 56,3	27,3 31,6 33,8 35,9 40,1 44,2	0,586	4,12 4,21 4,25 4,29 4,36 4,44	10,6	5,83 5,95 6,01 6,07 6,17 6,28	5,29 5,31 5,33 5,34 5,38 5,41	737 845 898 949 1050 1150	67,7 78,2 83,5 88,7 98,3 109	4,60 4,58 4,57 4,56 4,54 4,51	1170 1340 1430 1510 1670 1820	6,80 5,77 5,76 5,74 5,70 5,68	303 347 370 391 438 477	62,0 68,3 61,6 64,4 71,0 76,0	2,95 2,94 2,93 2,93 2,93 2,91		
160 × 16 17 19	160	15 17 19	17	8,5	46,1 51,8 57,6	36,2 40,7 45,1	0,625	4,49 4,57 4,65	11,3	6,35 6,46 6,58	5,67 5,70 5,73	1100 1230 1350	95,6 108 118	4,88 4,86 4,84	1750 1950 2140	6,15 6,13 6,10	453 506 558	71,3 78,3 84,8	3,14 3,13 3,12		
180 × 16 18 20 22	180	16 18 20 22	18	9	55,4 61,9 68,4 74,7	43,5 48,6 53,7 58,6	0,705	5,02 5,10 5,18 5,26	12,7	7,11 7,22 7,33 7,44	6,39 6,41 6,44 6,47	1680 1870 2040 2210	130 145 160 174	5,51 5,49 5,47 5,44	2690 2970 3260 3510	6,96 6,93 6,90 6,86	679 757 830 916	95,5 106 113 123	3,50 3,49 3,49 3,50		
200 × 16 18 20 24 28	200	16 18 20 24 28	18	9	61,8 69,1 76,4 90,6 105	48,5 54,3 59,9 71,1 82,0	0,785	5,52 5,60 5,68 5,84 5,99	14,1	7,90 7,92 8,04 8,26 8,47	7,09 7,12 7,15 7,21 7,28	2340 2600 2850 3330 3780	162 181 199 235 270	6,15 6,13 6,11 6,06 6,02	3740 4150 4540 5280 5990	7,78 7,75 7,72 7,64 7,57	943 1050 1160 1380 1580	121 33 144 167 86	3,91 3,90 3,89 3,90 3,89		



اساس مقطع خمیری نیمرخها

نیمرخ INP		نیمرخ IPE		نیمرخ IPB	
نمره نیمرخ	Z(cm ³)	نمره نیمرخ	Z(cm ³)	نمره نیمرخ	Z(cm ³)
100	40	100	39	100	104.2
120	63	120	60	120	165.2
140	95	140	88	140	246
160	136	160	123	160	354
180	186	180	166	180	482
200	250	200	220	200	642
220	324	220	286	220	828
240	412	240	366	240	1054
260	514	270	484	260	1282
280	632	300	628	280	1534
300	762	330	804	300	1868
320	914	360	1020	320	2140
340	1080	400	1308	340	2400
360	1276	450	1702	360	2680
380	1482	500	2200	400	3240
400	1714	550	2780	450	3980
450	2400	600	3520	500	4820
500	3240			550	5600
550	4240			600	6420
600	5460			650	7320



میلگرد چهارسو

A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول



d	A	G	U	d	A	G	U	d	A	G	U	d	A	G	U
mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /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	76	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	3,96	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	895	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	1930	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)	2,39	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	72	40,7	32,0	2260	200	314	247	6280
19,5	2,99	2,34	613	39	11,9	9,38	1230	73	41,9	32,9	2290	210	346	272	6600
20*	3,14	2,47	628	40*	12,6	9,86	1260					220	380	298	6910



a	A	G	U	a	A	G	U	a	A	G	U	a	A	G	U
mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /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	42	17,6	13,8	1680	75	56,3	44,2	3000
9	0,810	0,636	360	24	5,76	4,52	960	43	18,5	14,5	1720	80	64,0	50,2	3200
10	1,00	0,785	400	25	6,25	4,91	1000	45	20,3	15,9	1800	(83)	68,9	54,1	3320
(11)	1,21	0,950	440	26	6,76	5,31	1040	47	22,1	17,3	1880	85	72,3	56,7	3400
12	1,44	1,13	480	26,5	7,02	5,51	1060	48	23,0	18,1	1920	90	81,0	63,6	3600
13	1,69	1,33	520	28	7,84	6,15	1120	60	25,0	19,6	2000	(93)	86,5	67,9	3720
14	1,96	1,54	560	29	8,41	6,60	1160	62	27,0	21,2	2080	100	100	78,5	4000
15	2,25	1,77	600	30	9,00	7,07	1200	65	30,3	23,7	2200	(103)	106	83,3	4120
16	2,56	2,01	640	32	10,2	8,04	1280	66	31,4	24,6	2240	110	121	95,0	4400
17	2,89	2,27	680	(33)	10,9	8,55	1330	(57)	32,5	25,5	2280	120	144	113	4800
18	3,24	2,54	720	34	11,6	9,07	1380	68	36,0	28,3	2400	130	169	133	5200
19	3,61	2,83	760	35	12,3	9,62	1400	63	39,7	31,2	2520	140	196	154	5600
20	4,00	3,14	800	(36)	13,0	10,2	1440	65	42,3	33,2	2600	150	225	177	6000
21	4,41	3,46	840	37	13,7	10,7	1480								

S_x = گشتاور استاتیکی از نیم سطح مقطع J = ثابت پیچش سن و نون
 $s_x = \frac{J_x}{S_x}$ = فاصله مرکز کشش و فشار C_w = ثابت پیچش تابیدگی

h	J				IPB				IPB1				IPBv			
	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴
80	11.4	6.84	0.869	87.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	19.9	8.57	1.60	268	52.1	8.63	9.29	3380	41.5	8.41	5.26	2580	118	9.66	66.4	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	54330
160	68.0	13.7	6.57	3140	177	14.1	31.3	47940	123	13.8	12.3	31410	337	15.1	163	106100
180	93.4	15.5	9.58	5920	241	15.9	42.3	89750	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	588	18.7	280	348300
220	162	18.9	18.6	17760	414	19.6	76.8	295400	284	19.0	28.6	193300	710	20.6	316	572700
240	206	20.6	25.0	28730	527	21.4	103	486900	372	20.9	41.8	328500	1060	22.9	629	1152000
280	257	22.3	33.5	44070	641	23.3	124	753700	480	22.7	52.7	516400	1260	24.8	721	1728000
300	316	24.0	44.2	64590	767	25.1	144	1130000	556	24.6	62.4	785400	1480	26.7	808	2520000
320	381	25.7	56.8	91850	934	26.9	166	1688000	692	26.4	85.6	1200000	2040	29.0	1410	4388000
360	457	27.4	72.5	128800	1070	28.7	226	2089000	814	28.2	108	1512000	2220	30.7	1500	5004000
380	540	29.1	90.4	176300	1200	30.4	258	2454000	925	29.9	126	1824000	2360	32.4	1510	5584000
400	638	30.7	115	240100	1340	32.2	293	2893000	1040	31.7	149	2177000	2480	34.0	1510	6137000
425	741	32.4	141	318700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	857	34.1	170	419600	1620	35.7	357	3817000	1280	35.2	190	2942000	2780	37.4	1520	7410000
475	1020	36.2	216	567500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	1200	38.3	267	791100	1990	40.1	442	5258000	1610	39.6	245	4148000	3170	41.5	1530	9251000
550	1400	40.4	329	1067000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600	1620	42.4	402	1403000	2410	44.5	540	7018000	1970	44.1	310	5643000	3550	45.7	1540	11190000
650	2120	46.8	544	2399000	2800	48.9	802	8858000	2310	49.4	352	7189000	3970	49.9	1560	13520000
700	2730	50.9	613	3821000	3210	53.2	869	10970000	2680	52.8	399	8978000	4390	54.1	1570	15910000
750	-	-	-	-	3680	57.5	741	13380000	3070	57.1	449	11030000	4830	58.3	1580	18650000
800	-	-	-	-	4160	61.7	833	16060000	3520	61.2	515	13350000	5270	62.5	1590	21400000
850	-	-	-	-	5110	70.2	948	21640000	4350	69.8	599	18290000	6240	70.9	1650	27780000
900	-	-	-	-	6290	76.5	1140	29480000	5410	78.1	739	24960000	7220	79.0	1670	34750000
1000	-	-	-	-	7430	86.8	1280	37840000	6410	86.4	824	32070000	8260	87.2	1700	43010000

h	IPE				IPEo → IPEv				نیمرخ	IPBS					
	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴		s mm	S_x cm ³	s_x cm	J cm ⁴	C_w cm ⁴	
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	8.66	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	690	220 o	161	19.5	12.3	28790		17.1	2110	32.9	697	7823000
140	44.2	12.3	2.45	1080	240 o	205	21.3	17.3	43680		19.4	2440	33.3	1020	9305000
160	61.9	14.0	3.62	1680	270 o	287	24.2	25.0	67640		21.7	2770	33.8	1440	10880000
180	83.2	15.8	4.81	2430	300 o	372	26.9	31.2	107700		24	3130	34.2	1970	12850000
200	110	17.6	7.01	3360	330 o	471	29.5	42.3	165700	500/350	12	2230	44.4	349	8808000
220	143	19.4	9.10	4500	360 o	593	32.1	56.0	243300		14.5	2740	44.9	613	11140000
240	183	21.2	12.0	5970	400 o	751	35.6	73.4	337600		21	4040	45.0	1760	17780000
270	242	23.9	16.0	8050	400 v	841	35.8	89.4	470300	600/350	13	3010	53.2	449	14010000
300	314	26.6	20.2	10800	450 o	1020	40.0	109	637800		15.5	3640	53.7	759	17410000
330	402	29.3	26.3	14510	450 v	1150	40.2	150	871000		21	4870	54.6	1780	25080000
360	510	31.9	37.5	19600	500 o	1310	44.2	144	1148000	700/380	14.5	4210	62.1	618	26710000
400	654	35.4	51.3	26700	500 v	1580	44.6	244	1610000		17	5020	62.6	1010	32650000
450	851	39.7	67.2	36300	550 o	1830	48.5	188	2302000		21	6350	63.4	1930	43130000
500	1100	43.9	89.6	49000	550 v	2100	48.7	382	3095000	1000/400	16.5	7870	68.1	1020	74890000
550	1390	48.2	124	66000	600 o	2240	52.9	319	3880000		19	9180	68.6	1570	89210000
600	1760	52.4	166	88000	600 v	2660	53.2	514	4813000		21	10220	69.0	2130	101500000

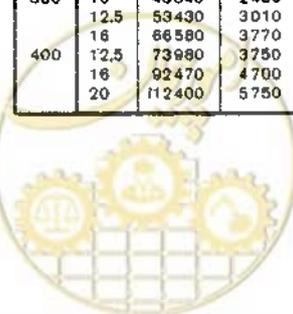


طراحی سازه‌های فولادی به روش حالات حدی

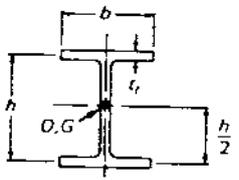
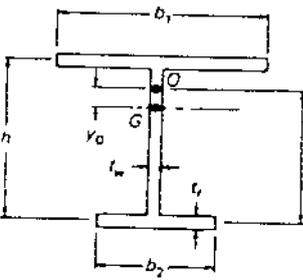
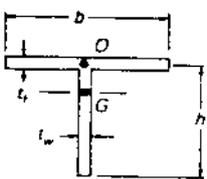
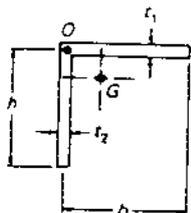
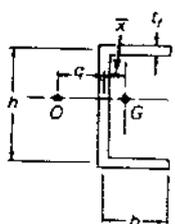
$J =$ ثابت پیچش سن و نان
 $C_w =$ ثابت پیچش تابیدگی
 $s =$ ضخامت جدار به میلی‌متر
 $I_x =$ ثابت پیچش مقاطع بسته
 $W_x =$ اساس مقطع پیچشی مقاطع بسته مساوی $2A I_x$
 $A =$ مساحت محصور توسط میانار مقطع

شماره	L				اندازه اسمی	□			اندازه اسمی	□		
	s_x cm	s_y cm	J cm ⁴	C_w cm ⁶		s	J cm ⁴	W cm ³		s	J cm ⁴	W cm ³
30x15	-	-	0,165	0,408	40	2,9	15,0	7,97	50x 30	2,9	12,9	7,39
30	-	-	0,912	4,36	4	4	19,0	10,3	4	4	18,2	9,54
40x20	-	-	0,363	2,12	50	2,9	30,7	12,9	60x 40	2,9	28,0	12,3
40	-	-	1,00	11,9	4	4	39,5	16,9	4	4	35,9	16,1
50x25	-	-	0,876	8,25	60	2,9	54,5	18,9	70x 40	2,9	34,9	14,4
50	-	-	1,12	27,8	4	4	71,2	25,1	4	4	44,9	19,0
60	-	-	0,939	21,9	5	5	84,5	30,2	80x 40	2,9	42,0	18,6
65	-	-	1,61	77,3	70	3,2	96,3	28,5	4	4	54,2	21,9
80	15,9	6,65	2,16	168	4	4	116	34,8	5	5	63,6	26,2
85	-	-	1,81	77,3	5	5	139	42,2	90x 50	3,2	79,8	26,0
100	24,5	8,42	2,81	414	80	3,6	162	42,0	4	4	95,9	31,6
120	36,3	10,0	4,15	900	4,5	4,5	196	51,3	5	5	114	38,2
140	51,4	11,8	5,68	1800	5,6	5,6	234	61,9	100x 50	3,6	102	32,2
160	68,8	13,3	7,39	3260	3,6	3,6	234	63,7	4,5	4,5	122	39,1
180	89,6	15,1	9,55	5570	4,5	4,5	284	65,8	5,6	5,6	144	48,9
200	114	16,8	11,9	9070	5,6	5,6	341	79,7	100x 60	3,6	141	38,1
220	146	18,5	16,0	14800	100	4	357	73,7	4,5	4,5	169	47,7
240	179	20,1	19,7	22100	5	5	433	90,2	5,6	5,6	201	57,4
260	221	21,8	25,5	33300	6,3	6,3	525	111	120x 60	4	199	51,9
280	266	23,6	31,0	48500	4,5	4,5	702	120	5	5	239	63,1
300	316	25,4	37,4	69100	5,6	5,6	852	146	6,3	6,3	266	76,6
320	413	26,3	46,7	98100	6,3	6,3	942	183	140x 80	4	408	82,6
350	469	28,6	61,2	114000	8	8	1380	202	5	5	496	101
380	507	31,1	79,1	148000	7,1	7,1	1690	250	6,3	6,3	601	124
400	618	32,9	101,6	221000	8,8	8,8	2030	302	160x 90	4,5	672	119
					6,3	6,3	2330	297	5,6	5,6	814	145
					8	8	2880	368	7,1	7,1	991	179
					10	10	3470	448	5,6	5,6	1150	184
					180	6,3	3360	379	7,1	7,1	1410	227
					8	8	4180	471	6,3	6,3	1680	272
					10	10	5040	574	8,8	8,8	2030	277
					200	6,3	4660	472	8	8	2490	342
					8	8	5780	588	10	10	2990	414
					10	10	7020	718	220x120	6,3	2320	305
					220	6,3	6250	574	8	8	2850	378
					8	8	7770	717	10	10	3420	458
					10	10	9470	878	260x140	6,3	3800	428
					260	7,1	11660	907	8	8	4700	530
					8,8	8,8	14200	1110	10	10	5690	646
					11	11	17350	1380	260x180	6,3	5820	554
					280	8	18360	1180	8	8	7220	692
					10	10	20080	1450	10	10	8790	846
					12,5	12,5	24480	1780	280x180	7,1	7210	669
					320	10	30300	1920	8,8	8,8	8740	815
					12,5	12,5	37080	2380	11	11	10620	995
					16	16	46030	2940	280x220	8	11180	921
					360	10	43540	2450	10	10	13670	1130
					12,5	12,5	53430	3010	12,5	12,5	16600	1380
					400	16	66580	3770	320x180	8,8	10550	935
					16	16	73980	3750	10	10	11800	1050
					20	20	92470	4700	320x220	12,5	14280	1280
							112400	5750	8,8	8,8	14810	1150
									10	10	16610	1300
									12,5	12,5	20120	1590
									10	10	19640	1470
									12,5	12,5	23920	1800
									16	16	29460	2230
									11	11	32930	2130
									14,2	14,2	41300	2680
									17,5	17,5	49350	3230

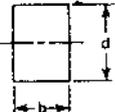
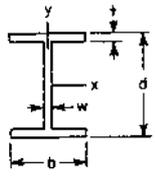
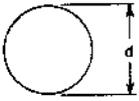
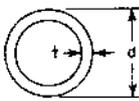
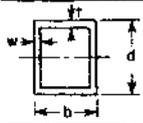
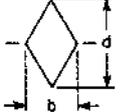
شماره	L	
	J cm ⁴	C_w cm ⁶
30	0,306	9,78
40	0,473	25,9
50	0,714	60,3
60	0,923	114
80	1,78	355
100	2,86	883
120	4,37	1920
140	6,87	3810
160	9,66	6940



روابطی برای محاسبه مشخصات هندسی پیچشی

$O =$ مرکز برش $G =$ مرکز هندسی	$J =$ ثابت پیچشی $I_p =$ ممان اینرسی قطبی نسبت به مرکز برش	$C_w =$ ثابت تابیدگی ممان اینرسی قطبی نسبت به مرکز هندسی
	$J = \frac{1}{3}(2bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{I_p h^2}{2} = \frac{t_f b^3 h^2}{24} = \frac{h^2 I_p}{4}$ $I_p = I_x + I_y$	
	$J = \frac{1}{3}(b_1 t_f^3 + b_2 t_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{t_f h^2}{12} \left(\frac{b_1^2 b_2^3}{b_1^3 + b_2^3} \right)$ $e = h \frac{b_1^3}{b_1^3 + b_2^3}$ $I_p = I_x + I_y + A y_0^2$	
	$J = \frac{1}{3}(bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{1}{36} \left(\frac{b^3 t_f^3}{4} + h^3 t_w^3 \right)$ مساری صفر برای مقادیر کوچک t	
	$J = \frac{1}{3}(bt_1^3 + ht_2^3)$ $C_w = \frac{1}{36} (b^3 t_1^3 + h^3 t_2^3)$ مساری صفر برای مقادیر کوچک t	
	$J = \frac{1}{3}(2bt_1^3 + ht_2^3)$ $C_w = \frac{t_1 b^3 h^2}{12} \left(\frac{3bt_1 + 2ht_2}{6bt_1 + ht_2} \right) = \frac{h^2}{4} (I_y + A\bar{x}^2 - q\bar{x}A)$ $q = \frac{ht_1^2 b^2}{4I_x}$	



مقطع	اساس مقطع پلاستیک Z	ضریب شکل
	$\frac{bd^2}{4}$	1.5
	x-x axis $bt(d-t) + \frac{w}{2}(d-2t)^2$	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
	$\frac{d^3}{6} \left[1 - \left(\frac{2t}{d} \right)^3 \right]$ td^2 for $t \ll d$	$\frac{16}{3\pi} \left[\frac{1 - \left(\frac{2t}{d} \right)^3}{1 - \left(\frac{2t}{d} \right)^4} \right]$ 1.27 for $t \ll d$
	$\frac{bd^2}{4} \left[1 - \left(1 - \frac{2w}{b} \right) \left(1 - \frac{2t}{d} \right)^2 \right]$	1.12 (approx.) for thin walls
	$\frac{bd^2}{12}$	2



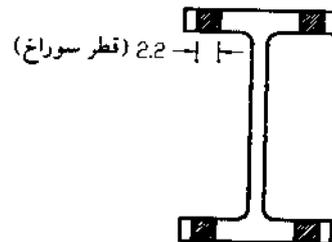
مثالهای طراحی

در این قسمت به منظور آشنایی با طرز استفاده از روابط آیین نامه، مثالهایی عرضه می شود. توجه شود که این مثالها جزئی از آیین نامه محسوب نمی شوند.

طراحی یک عضو کششی

مثال ۱

مطلوب است طراحی یک عضو کششی از نیمرخ IPE به طول ۹ متر که تحت نیروی محوری کششی مرده $P_D=64$ T و زنده $P_L=36$ T قرار دارد. هر کدام از بالهای این عضو توسط دو خط پیچ به صفحه اتصال، متصل شده و در هر خط پیچ لاقل سه پیچ وجود دارد.



$$F_y=2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ و } F_u=3700 \text{ kg/cm}^2 (\text{فولاد ST37})$$

ترکیب بارگذاری:

$$P_u=1.25P_D+1.5P_L=1.25 \times 64+1.5 \times 36=134 \text{ T می کند}$$



محاسبه سطح مقطع کل لازم

برای تسلیم مقطع کل از رابطه ۴-۱-۱ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$$\phi_r = 0.90$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi_r F_y} = \frac{134 \times 10^3}{0.9 \times 2400} = 62.04 \text{ cm}^2$$

برای گسیختگی مقطع خالص از رابطه ۴-۱-۲ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$$\phi_r = 0.75$$

$$A_e = \frac{P_u}{\phi_r F_u} = \frac{134 \times 10^3}{0.75 \times 3700} = 48.29 \text{ cm}^2$$

$$A_g = A_n + \text{سطح مقطع سوراخها} = \frac{A_e}{U} + \text{سطح مقطع سوراخها}$$

با توجه به بند ۲-۳ آیین‌نامه، ضریب کاهش برابر است با:

$$U = 1 - \bar{x}/L = 1 - 0/L = 1$$

$$\text{سطح مقطع سوراخها} = 4 \times 2.2 \times 1 = 8.8 \text{ cm}^2 = \text{ضخامت بال به فرض}$$

$$A_g = \frac{48.29}{1} + 8.8 = 57.1$$

از یک نیمرخ IPE360 با مشخصات زیر استفاده می‌شود:

$$d = 36 \text{ cm} \quad b_f = 17 \text{ cm} \quad t_f = 1.27 \text{ cm} \quad A = 72.7 \text{ cm}^2 \quad r_{min} = r_y = 3.79 \text{ cm}$$

$$b_f < \frac{2}{3} d$$

$$A_n = 72.7 - 4 \times 1.27 \times 2.2 = 61.52 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 1.0 \times 61.52 = 61.52 \text{ cm}^2 > 48.29 \text{ خوبست}$$

$$A_g = 72.7 \text{ cm}^2 > 62.04 \text{ خوبست}$$

$$L/r = 900/3.79 = 237 < 300 \text{ خوبست}$$

طراحی یک عضو فشاری

مثال ۲

مطلوب است طراحی یک عضو فشاری از نیمرخ IPB با طول مؤثر $KL = 6 \text{ m}$ که تحت بار



محوری مرده $P_D=80\text{ T}$ و زنده $P_L=45\text{ T}$ قرار دارد.

$$F_y=2400\text{ kg/cm}^2 \quad E=2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$$

$$P_u=1.25P_D+1.5P_L=1.25 \times 80+1.5 \times 45=167.5\text{ T}$$

برای آزمایش اول IPB280 را آزمایش می‌کنیم.

$$A=131\text{ cm}^2 \quad r_x=12.1\text{ cm} \quad r_y=7.09\text{ cm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{600}{7.09} = 84.63$$

$$\lambda_c = \frac{84.63}{\pi} \sqrt{\frac{2400}{2.1 \times 10^6}} = 0.91 \quad (\text{رابطه ۵-۲-۴})$$

از رابطه ۵-۲-۲ 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 رابطه ۵-۲-۱ به دست می‌آید:

$$P_u = \phi_c A_g F_{cr} = 0.85 \times 131 \times 1697 \times 10^{-3} = 189\text{ T} > 168\text{ T}$$

کنترل نسبت‌های عرض به ضخامت بال (جدول ۲-۵-۱):

$$b_f = 28\text{ cm} \quad t_f = 1.80\text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{\frac{1}{2}b_f}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} \times 28}{1.80} = 7.78 < \frac{795}{\sqrt{F_y}} = \frac{795}{\sqrt{2400}} = 16.23$$

کنترل عرض به ضخامت جان

$$h_c = 28 - 2 \times 4.2 = 19.60\text{ cm} \quad t_w = 1.05\text{ cm}$$

$$h_c/t_w = 19.60/1.05 = 18.67 < \frac{2120}{\sqrt{F_y}} = \frac{2120}{\sqrt{2400}} = 43.27$$

پس امکان کمانش موضعی هم نیست.

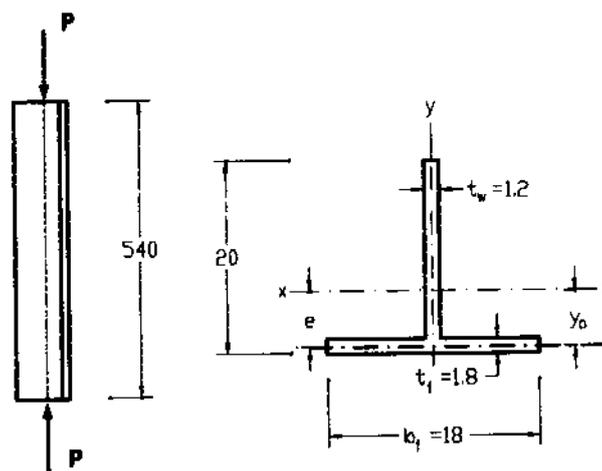
کمانش پیچشی - خمشی

مثال ۳

مطلوب است تعیین (الف) مقاومت کمانش خمشی و (ب) مقاومت کمانش پیچشی - خمشی برای یک عضو فشاری دو انتها مفصل به طول 5.4 m که متشکل از یک نیمرخ سپری با مشخصات نشان داده شده در مقطع می‌باشد.

$$F_y=2400\text{ kg/cm}^2 \quad E=2.1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2 \quad G=0.8 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$$





تعیین مشخصات هندسی مقطع

$$A = 18 \times 1.8 + (20 - 1.8) \times 1.2 = 54.24 \text{ cm}^2$$

$$e = \frac{18 \times 1.8 \times 0.9 + (20 - 1.8) \times 1.2 \times 10.9}{54.24} = 4.93 \text{ cm}$$

$$I_x = 18 \times \frac{1.8^3}{12} + 18 \times 1.8 \times (4.93 - 0.9)^2 + 1.2 \times \frac{18.20^3}{12} + 1.2 \times 18.2 \times 5.97^2$$

$$= 1916 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{1916/54.24} = 5.94 \text{ cm}$$

$$I_y = 1.8 \times \frac{18^3}{12} + 18.20 \times \frac{1.2^3}{12} = 878 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{878/54.24} = 4.02 \text{ cm}$$

اگر x_o و y_o مختصات مرکز برش نسبت به مرکز هندسی باشند، می‌توان نوشت:

$$x_o = 0$$

$$y_o = 4.93 - 0.9 = 4.03 \text{ cm}$$

مشخصات پیچشی یک نیمرخ سپری به شرح زیر می‌باشد:

$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 = \frac{1}{3} (18 \times 1.8^3 + 19.1 \times 1.2^3) = 45.99 \text{ cm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{36} \left(\frac{b_f^3 t_f^3}{4} + h^3 I_w \right) = \frac{1}{36} \left(\frac{18^3 \times 1.8^3}{4} + 19.1^3 \times 1.2^3 \right) = 570.65 \text{ cm}^6$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۸ آیین نامه:

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} = 0 + 4.03^2 + \frac{1916 + 878}{54.24} = 67.75 \text{ cm}^2$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۹ آیین نامه:

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \right) = 1 - \left(\frac{0 + 4.03^2}{67.75} \right) = 0.76$$

تعیین مقاومت کمانش پیچشی - خمشی

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۱۰ آیین نامه:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L / r_x)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{(1 \times 540 / 5.94)^2} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۱۱ آیین نامه:

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L / r_y)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{(1 \times 540 / 4.02)^2} = 1150 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۱۲ آیین نامه:

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{A \bar{r}_o^2}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6 \times 570.65}{(1 \times 540)^2} + 0.80 \times 10^6 \times 45.99 \right] \frac{1}{54.24 \times 67.75}$$

$$F_{ez} = 10023 \text{ kg/cm}^2$$

برای نیمرخها با محور تقارن لا، از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۶ می توان نوشت:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right)$$

$$F_e = \frac{1150 + 10023}{2 \times 0.76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1150 \times 10023 \times 0.76}{(1150 + 10023)^2}} \right)$$

$$F_e = 1117 \text{ kg/cm}^2$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۴ می توان 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 کماتش موضعی وجود ندارد، بنابراین ضریب کاهش ظرفیت $Q=1$ است.

$$\lambda_c \sqrt{Q} = 1.47 \sqrt{1} = 1.47 < 1.5$$

از رابطه پ - ۵ - ۳ - ۲ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$$F_{cr} = Q \left(0.658 Q \lambda_c^2 \right) F_y$$

$$F_{cr} = 1 (0.658^{1 \times 1.47^2}) 2400 = 0.405 \times 2400 = 972 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u = \phi_c P_n = \phi_c A_g F_{cr} = 0.85 \times 54.24 \times 972 \times 10^{-3} = 44.81 \text{ T}$$

تعیین مقاومت کماتش خمشی

از رابطه ۵ - ۲ - 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 رابطه ۵ - ۲ - ۳ آیین‌نامه می‌توان نوشت:

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y = \left[\frac{0.877}{2.27^2} \right] F_y = 0.170 \times 2400 = 408 \text{ kg/cm}^2$$

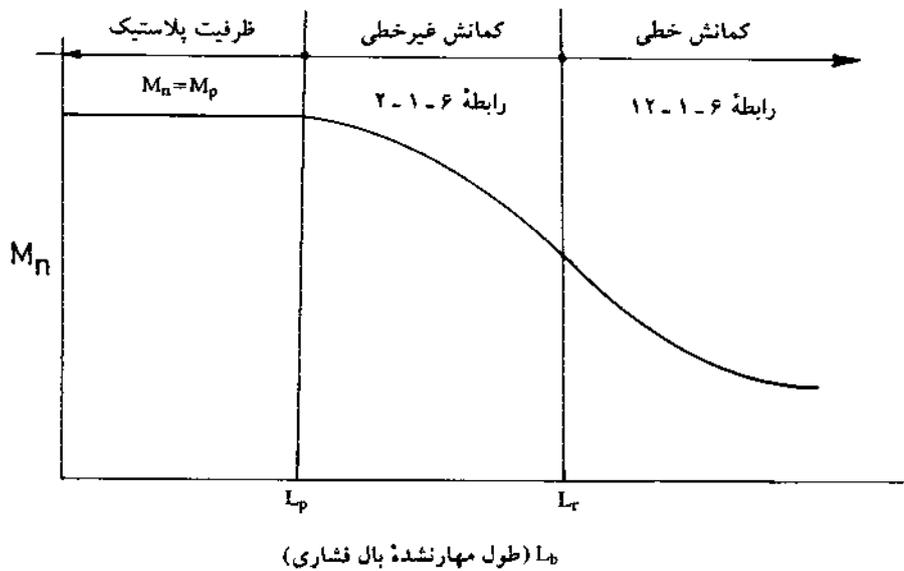
$$P_u = \phi_c A_g F_{cr} = 0.85 \times 54.24 \times 408 \times 10^{-3} = 18.81 \text{ T} \quad \text{حاکم است}$$

پس کماتش خمشی حاکم بوده و $P_u = 18.81 \text{ T}$ می‌باشد.

طراحی تیرها برای لنگر خمشی

شکل صفحه بعد نشان‌دهنده مقاومت اسمی کماتشی یک تیر برحسب فواصل مهاربندی جانبی بال فشاری می‌باشد.





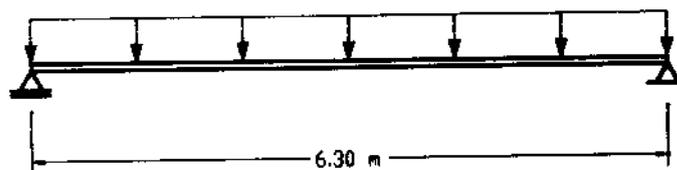
مطالعه شکل فوق نشان می‌دهد که تیرها برحسب فاصله مهاربندی جانبی بال فشاری، دارای سه ناحیه متمایز کمانشی می‌باشد. اگر بال فشاری تیر دارای مهاربندی در فواصل کم باشد، تیر می‌تواند تا ظرفیت پلاستیک تحت خمش قرار گیرد. در این حالت طراحی تیر در ناحیه ۱ قرار می‌گیرد و ظرفیت خمشی مقطع از رابطه $M_n = M_p = F_y Z$ به دست می‌آید. در صورتی که فواصل مهاربندی جانبی در حد فاصل L_p و L_r قرار گیرد، ظرفیت خمشی از رابطه ۲-۱-۶ و در صورتی که فواصل مهاربندیهای جانبی بزرگتر از L_r باشد، ظرفیت خمشی از رابطه ۱۲-۱-۶ به دست می‌آید. طول حدی L_p برحسب مورد از روابط ۴-۱-۶ و یا ۵-۱-۶ به دست می‌آید. طول حدی L_r نیز برحسب مورد از روابط ۶-۱-۶ و یا ۱۰-۱-۶ به دست می‌آید. در تمام موارد، نسبتهای عرض به ضخامت عناصر مقطع باید شرایط مقطع فشرده مندرج در جدول ۲-۵-۱ را برآورده نمایند.

مثال ۴

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر ساده نشان داده شده در شکل. بال فشاری تیر دارای مهاربندی جانبی پیوسته به علت دال بتنی واقع در روی آن می‌باشد. از فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده نمایید.



(شامل وزن) $D=1.5 \text{ T/m}$ بار مرده
 $L=4.75 \text{ T/m}$ بار زنده



حل:

$$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 4.75 = 9 \text{ T/m}$$

$$M_u = \frac{9 \times 6.3^2}{8} = 44.65 \text{ T.m}$$

$$Z_x \text{ لازم} = \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{44.65 \times 10^5}{0.9 \times 2400} = 2067 \text{ cm}^3$$

از IPE500 با $Z_x = 2200 \text{ cm}^4$ استفاده می‌شود.

کنترل نسبت‌های عرض به ضخامت

$$\text{بال} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{20}{2 \times 1.6} = 6.25 < \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{2400}} = 11.12$$

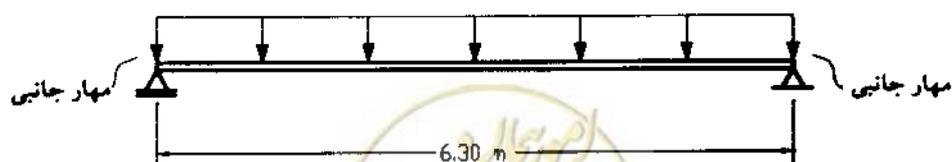
$$h_c = h - 2c = 42.6 \text{ cm} \quad t_w = 1.6 \text{ cm}$$

$$\text{جان} = \frac{h_c}{t_w} = \frac{42.6}{1.02} = 41.76 < \frac{5355}{\sqrt{F_y}} = \frac{5355}{\sqrt{2400}} = 109$$

مثال ۵

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر ساده نشان داده شده در شکل. بال فشاری تیر فقط در دو انتها دارای تکیه‌گاه جانبی می‌باشد. از فولاد نرمة با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده نمایید.

(شامل وزن) $D=1.5 \text{ T/m}$ بار مرده
 $L=3.0 \text{ T/m}$ بار زنده



حل:

برای انتخاب اول IPE500 را انتخاب نموده و آن را کنترل می‌نماییم. مشخصات هندسی این نیمرخ

به شرح زیر می باشد:

$$d=50 \text{ cm} \quad b=20 \text{ cm}$$

$$t_w=1.02 \text{ cm} \quad t_f=1.60 \text{ cm}$$

$$r=2.1 \text{ cm} \text{ (گردی اتصال بال به جان)}$$

$$A=116 \text{ cm}^2 \quad \text{وزن} = 90.7 \text{ kg/m}$$

$$I_x=48200 \text{ cm}^4 \quad S_x=1930 \text{ cm}^3 \quad r_x=20.4 \text{ cm}$$

$$I_y=2140 \text{ cm}^4 \quad S_y=214 \text{ cm}^3 \quad r_y=4.31 \text{ cm}$$

$$J=89.6 \text{ cm}^4 \text{ ثابت پیچش} \quad C_w=1249000 \text{ cm}^6 \text{ ثابت تابیدگی}$$

$$Z_x=2200 \text{ cm}^3$$

تعیین طول L_p (رابطه ۶-۱-۴)

$$L_p = \frac{2515}{\sqrt{F_{yf}}} r_y$$

$$r_y=4.31 \text{ cm} \quad F_{yf}=2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_p = \frac{2515}{\sqrt{2400}} \times 4.31 = 221 \text{ cm}$$

تعیین طول L_r (رابطه ۶-۱-۶)

$$L_r = \frac{r_y x_1}{(F_{yw} - F_r)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 (F_{yw} - F_r)^2}} \quad (6-1-6)$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (8-1-6)$$

$$E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad G=0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_1 = \frac{\pi}{1930} \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^6 \times 89.6 \times 116}{2}} = 15 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2$$

$$= 4 \times \frac{1249000}{2140} \left(\frac{1930}{0.8 \times 10^6 \times 89.6} \right)^2 = 1.7 \times 10^{-6} (1/\text{kg/cm}^2)^2$$

$F_r=700 \text{ kg/cm}^2$ برای نیمرخهای نوردشده



$$F_{yw} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_r = \frac{4.31 \times 15 \times 10^4}{(2400 - 700)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 1.7 \times 10^{-6} (2400 - 700)^2}}$$

$$L_r = 380.3 \times 1.86 = 705 \text{ cm}$$

$$L_p = 221 < L_b = 630 < L_r = 705$$

بنابراین طراحی تیر در ناحیه کمانش غیرخطی قرار می‌گیرد. ظرفیت خمشی تیر با استفاده از رابطه ۶-۱-۲ به دست می‌آید:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_{p1}}{L_r - L_{p1}} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_r = (F_{yw} - F_r) S_x$$

$$M_r = (2400 - 700) \times 1930 \times 10^{-5} = 32.81 \text{ T.m}$$

$$M_p = Z F_y = 2200 \times 2400 \times 10^{-5} = 52.80 \text{ T.m}$$

$$C_b = 1$$

(لنگر در حد فاصل دو نقطه مهاربندی شده، بزرگتر از لنگرهای انتهایی است)

$$M_n = 1 \left[52.80 - (52.80 - 32.81) \left(\frac{630 - 221}{698 - 221} \right) \right]$$

$$M_n = 1 [52.80 - 17.14] = 35.66 \text{ T.m}$$

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 35.66 = 32.09 \text{ T.m}$$

حال اقدام به محاسبه لنگر خمشی موجود می‌نماییم.

$$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 3 = 6.4 \text{ T/m}$$

$$M_u = \frac{6.4 \times 6.30^2}{8} = 31.75 < \phi_b M_n = 32.09 \text{ T.m}$$

پس نیمرخ انتخابی رضایت‌بخش می‌باشد.

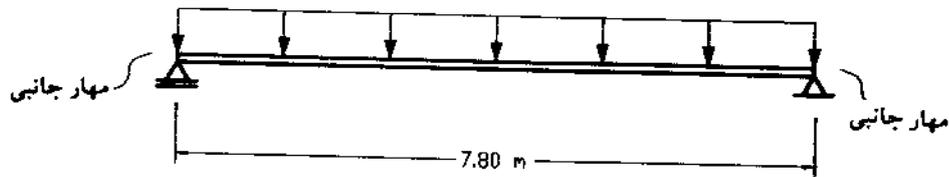
با توجه به مثال قبل نیمرخ IPE500 شرایط مقطع فشرده را برآورده می‌سازد.

مثال ۶

مطلوب است تعیین نیمرخ IPE مناسب برای تیر ساده 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.



(شامل وزن) $D=1.5 \text{ T/m}$ بار مرده
 $L=0.95 \text{ T/m}$ بار زنده



حل:

برای انتخاب اول IPE500 را انتخاب نموده و آن را کنترل می‌نماییم. مشخصات هندسی این نیمرخ در مثال ۵ برآورده شده است. همچنین با استفاده از همین مثال می‌توان نوشت:

$$L_p = 221 \text{ cm}$$

$$x_1 = 15 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 1.7 \times 10^{-6} \text{ (1/kg/cm}^2\text{)}^2$$

$$L_r = 698 \text{ cm}$$

$$L_b = 780 \text{ cm} > 698 \text{ cm}$$

پس طراحی تیر در ناحیه کمانش الاستیک قرار می‌گیرد. ظرفیت خمشی از رابطه ۶-۱-۱۲

به دست می‌آید:

$$M_n = M_{cr} \leq C_b M_r$$

برای M_{cr} از رابطه ۶-۱-۱۳ می‌توان نوشت:

$$M_{cr} = \frac{C_b S_x x_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{x_1^2 x_2}{2(L_b / r_y)^2}}$$

$$C_b = 1 \quad L_b = 780$$

$$L_b / r_y = 780 / 4.31 = 180.97$$

$$M_{cr} = \frac{1 \times 1930 \times 15 \times 10^4 \times \sqrt{2}}{180.97} \times 10^{-5} \sqrt{1 + \frac{(15 \times 10^4)^2 \times 1.7 \times 10^{-6}}{2 \times 180.97^2}}$$

$$M_{cr} \approx 28.2 \text{ T.m}$$

$$C_b M_r = C_b (F_{yf} - F_r) S_x = 1(2400 - 700) 1930 \times 10^{-5} = 32.81 \text{ T.m} > 28.2$$

$$M_n = M_{cr} = 28.2 \text{ T.m}$$



$$\phi M_n = 0.9 \times 28.2 = 25.38 \text{ T.m}$$

$$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 0.95 = 3.3 \text{ T/m}$$

$$M_u = 3.3 \times 7.80^2 / 8 = 25 < 25.38 \text{ خرابست}$$

پس نیمرخ انتخابی، رضایت بخش می‌باشد.

با توجه به مثال ۴، نیمرخ IPE500 شرایط مقطع فشرده را برآورده می‌سازد.

طراحی تیرها برای برش

طراحی تیرها برای برش طبق بخش ۶-۲ آیین‌نامه صورت می‌گیرد.

مثال ۷

مطلوب است کنترل مثال ۱ برای برش

$$W_u = 1.25 \times 1.5 + 1.5 \times 4.75 = 9 \text{ T/m}$$

$$V_u = 9 \times 6.30 \times 0.5 = 28.35 \text{ T}$$

نیمرخ انتخابی IPE500 می‌باشد.

$$d = 50 \text{ cm} \quad t_w = 1.02 \text{ cm} \quad h = d - 2t_f - r = 50 - 2 \times 1.6 - 2.1 = 44.70$$

$$h/t_w = 44.70 / 1.02 = 43.82$$

ظرفیت برشی برحسب مورد از روابط ۶-۲-۱ الی ۶-۲-۳ به دست می‌آید:

$$\frac{h}{t_w} = 43.82 \leq \frac{3500}{\sqrt{2400}} = 71.4$$

پس ظرفیت برشی از رابطه ۶-۲-۱ به دست می‌آید:

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w = 0.6 F_{yw} d t_w$$

$$V_n = 0.6 \times 2400 \times 50 \times 1.02 \times 10^{-3} = 73.44 \text{ T}$$

$$V_u = 28.35 < \phi_v V_n = 0.9 \times 73.44 = 66.10 \text{ T}$$

طراحی تیر - ستون

مثال ۸

مطلوب است طراحی یک ستون از یک قاب مهاربندی شده به طول ۳/۶ متر که تحت نیروی



محوری و لنگرهای انتهایی ضریب‌دار زیر قرار دارد. این نتایج از یک تحلیل مرتبه اول به دست آمده‌اند.

$$P_u = 110 \text{ T}$$

$$M_{ux} = 10 \text{ T.m}$$

$$M_{uy} = 5 \text{ T.m}$$

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.

$$F_y = 2400, E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

حل:

در انتخاب اول یک IPB₃₂₀ با مشخصات زیر در نظر می‌گیریم:

$$A = 149 \text{ cm}^2$$

$$r_x = 13 \text{ cm}$$

$$r_y = 7.58 \text{ cm}$$

$$Z_x = 2 \left(30 \times 1.9 \times 14.05 + 13.1 \times 1.1 \times \frac{13.1}{2} \right) = 1790 \text{ cm}^3$$

(مقدار دقیق از جدول مساوی 1868 cm^3 می‌باشد).

$$Z_y = 2 \times 1.9 \times \frac{30^2}{4} + 26.2 \times \frac{1.1^2}{4} = 863 \text{ cm}^3$$

