

دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی

نشریه شماره ۳۹۵

وزارت راه و ترابری

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

شورای عالی فنی امور زیربنایی حمل و نقل

پژوهشگاه حمل و نقل

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی

شماره : ۱۰۰/۹۷۸۶۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ : ۱۳۸۶/۷/۲۸	

موضوع :

دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۳۹۵ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، با عنوان «دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۱ به اجرا درآید.

رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر الزامی است. ولی در یک دوره گذر دو ساله تا ۱۳۸۸/۱۲/۱ استفاده از آیین‌نامه‌های معتبر نیز مجاز خواهد بود.

امیرمنصور برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش
خطرپذیری ناشی از زلزله
صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷
<http://tec.mporg.ir>

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه، طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار است.

نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوب جلسه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۲ هیئت وزیران) به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از طرحها را مورد تأکید قرار داده است.

بنابر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و معیارهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. وجود استانداردها، ضوابط، مشخصات فنی و آیین‌نامه‌های ملی در هر کشور، نشانه رشد و توسعه آن کشور است.

به دلیل نبود آیین‌نامه‌ای مدون برای طراحی پل، معمولاً مهندسان طراح ناگزیر به استفاده از آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف بوده‌اند. این آیین‌نامه‌ها نه تنها با یکدیگر تفاوت دارند و موجب ناهمگونی طرح‌ها می‌شوند، بلکه با آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها (نشریه شماره ۱۳۹) نیز ناهم‌سازند و گاه موجب غیراقتصادی بودن طرح (ضرایب اطمینان زیاد) و زمانی موجب ناامن بودن آن (ضرایب اطمینان کم) می‌شوند. بر این اساس پروژه تدوین دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی از سوی معاونت امور فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وقت) در دستور کار پژوهشکده حمل و نقل قرار گرفت.

در تدوین این نشریه چند اصل در نظر گرفته شده است. نخست آنکه ضوابط و روشها در صورت امکان با آیین‌نامه طرح و اجرای ساختمانهای فولادی ایران، هماهنگ و همساز باشد تا بکارگیری آن برای مهندسان کشور ساده و روان گردد. دوم اینکه، تناسب و ارتباط موزون میان ضوابط بارگذاری و طراحی در نظر گرفته شود و بالاخره اصل سوم گنجانیدن نکات و ضوابطی است که به ویژگیهای خاص پل مربوط می‌شود و آن را از سایر ساختمانها و ابنیه فنی متمایز می‌سازد. در این مجموعه از آخرین اطلاعات آیین‌نامه آشتو در زمینه طراحی پل‌های فولادی به روش تنش مجاز و نیز مبحث شماره ۱۰ مقررات ملی ساختمانی ایران که توسط دفتر نظامات مهندسی وزارت مسکن و شهرسازی تهیه شده، استفاده گردیده است. آیین‌نامه آشتو در چاپهای اخیر، طراحی سازه‌های فولادی در حالات حدی (ضرایب بار و مقاومت) را مورد توجه قرار داده است که می‌تواند موضوع دستورالعمل موازی با این دستورالعمل باشد.

این نشریه در ۱۸ فصل با موضوعات زیر ارائه شده است:

۱- مصالح، ۲- محدودیتهای لاغری، ۳- اعضای کششی، ۴- اعضای خمشی (تیرها و تیرورقها)، ۵- تیرهای مختلط، ۶- تیرهای جعبه‌ای، ۷- اعضای فشاری، ۸- ترکیب تنش‌ها، ۹- وسایل اتصال، ۱۰- اتصالات و وصله‌ها، ۱۱- تنش‌های مجاز خستگی، ۱۲- خراباها، ۱۳- تیرورق‌های قوسی با ورق جان یکپارچه، ۱۴- تیرهای خمیده، ۱۵- مسائل ویژه در طرح و محاسبه، ۱۶- ساخت، نصب و کنترل نوع کار، ۱۷- بالشتک‌های الاستومری، ۱۸- رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فلزی.

معاونت امور فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری، به این وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارشناسان مشروح زیر، که در تهیه، تدوین و ابلاغ این نشریه زحمات فراوانی کشیده‌اند، ابراز می‌نماید.

مجری پروژه : آقای مهندس شاپور طاحونی

ناظر پروژه : آقای مهندس سلمان گودرزی

همکاران پژوهشکده حمل‌ونقل :

آقای دکتر کیومرث عماد خانم مهندس زهرا گواشیری

آقای دکتر مجیدرضا ناظم

همکاران دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله :

خانم مهندس بهناز پورسید آقای مهندس علی تبار

آقای مهندس سید محمود ظفیری آقای مهندس طاهر فتح‌اللهی

کمیته انبیه شورایی فنی امور زیربنایی حمل‌ونقل :

آقای مهندس فرامرز امین‌پور آقای مهندس کریم جلالیان

آقای مهندس هوشنگ حسن‌نیا آقای مهندس سیاوش خدابخش

آقای مهندس مصطفی طباطبایی مقدم آقای دکتر کیومرث عماد

آقای مهندس مهران غلامی آقای دکتر رضا غیائی

آقای دکتر مرتضی قارونی نیک آقای مهندس سعید میرلو

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

معاون امور فنی

فهرست مطالب

۱ فصل اول- مصالح

- ۱-۱- حدود کاربرد
- ۲-۱- مصالح فولادی
- ۳-۱- بارهای محاسباتی
- ۴-۱- تنش های مجاز
- ۵-۱- ترکیبات بارگذاری
- ۶-۱- تحلیل سازه
- ۷-۱- توجه به شرایط بهره برداری
- ۸-۱- مدارک طراح و محاسبه

۲۳ فصل دوم- محدودیت های لاغری

- ۱-۲- لاغری کلی اعضا
- ۲-۲- لاغری تک نیمرخ ها
- ۳-۲- کمانش موضعی
- ۴-۲- حداقل ضخامت اجزای مقطع

۲۹ فصل سوم- اعضای کششی

- ۱-۳- سطح مقطع کلی
- ۲-۳- سطح مقطع خالص
- ۳-۳- سطح مقطع موثر
- ۴-۳- لاغری اعضای کششی
- ۵-۳- تنش کششی مجاز
- ۶-۳- اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ و ورق
- ۷-۳- اعضای کششی با اتصال لولایی

فصل چهارم - اعضای خمشی

۳۵

- ۱-۴ - کلیات
- ۲-۴ - مقطع خالص تیرها
- ۳-۴ - بالها
- ۴-۴ - دهانه محاسباتی تیرها
- ۵-۴ - نسبت ارتفاع به دهانه
- ۶-۴ - افتادگی
- ۷-۴ - پیش خیز
- ۸-۴ - تکیه گاه انتهایی
- ۹-۴ - سیستم های مهاربندی در عرشه های متشکل از تیر I
- ۱۰-۴ - تنش های خمشی مجاز
- ۱۱-۴ - تنش های برشی مجاز
- ۱۲-۴ - ضخامت حداقل جان
- ۱۳-۴ - سخت کننده های عرضی
- ۱۴-۴ - سخت کننده های طولی
- ۱۵-۴ - جوش سخت کننده های عرضی به جان
- ۱۶-۴ - سخت کننده های فشاری
- ۱۷-۴ - اثر مشترک برش و کشش
- ۱۸-۴ - تیر ورق های دوگانه

فصل پنجم - تیرهای مختلط (مرکب)

۴۹

- ۱-۵ - معرفی
- ۲-۵ - مقطع مختلط
- ۳-۵ - ضریب تبدیل n
- ۴-۵ - تاثیر خزش

- ۵-۵- بتن های خاص
- ۵-۶- محل تار خنثی
- ۵-۷- اثر بتن در ناحیه کششی
- ۵-۸- کماتش جانبی بال فشاری قبل از گرفتن بتن
- ۵-۹- عرض موثر
- ۵-۱۰- عدم استفاده از پایه موقت
- ۵-۱۱- استفاده از پایه موقت
- ۵-۱۲- تیرهای مختلط سراسری
- ۵-۱۳- ناحیه لنگر منفی
- ۵-۱۴- اتصال برشگیر در ناحیه لنگر منفی
- ۵-۱۵- اتصالات برشگیر
- ۵-۱۶- نیروی برشی
- ۵-۱۷- تغییرشکل تیرهای مختلط

فصل ششم- تیرهای جعبه ای _____ ۵۷

- ۶-۱- کلیات
- ۶-۲- طراحی ورق های جان
- ۶-۳- طراحی ورق های بال تحتانی (متکی در دو لبه به ورق جان)
- ۶-۴- سخت کننده های بال فشاری
- ۶-۵- طراحی جوشهای جان به بال
- ۶-۶- دیافراگم ها
- ۶-۷- مهاربندی جانبی
- ۶-۸- مهاربندی داخلی تیر جعبه ای
- ۶-۹- زه کشی و دسترسی (به داخل تیر ورق)

فصل هفتم- اعضای فشاری _____ ۶۵

- ۷-۱- ضریب لاغری

۲-۷- ضریب طول موثر K

۳-۷- تنش مجاز اعضای فشاری

۴-۷- اعضای فشاری مرکب

فصل هشتم- ترکیب تنش ها _____ ۷۵

۱-۸- ترکیب نیروهای فشاری محوری و لنگر خمشی

۲-۸- ترکیب کشش محوری و خمشی

۳-۸- ترکیب تنش های صفحه ای (تنش تخت)

فصل نهم- وسایل اتصال _____ ۷۹

۱-۹- جوش

۲-۹- پیچ و مهره قطعات رزوه شده، و پرچ

۳-۹- غلتکها

فصل دهم- اتصالات و وصله ها _____ ۹۱

۱-۱۰- مقاومت مجاز اعضا

۲-۱۰- نوع وصله

۳-۱۰- مقاومت وصله

۴-۱۰- اتصال بال به جان

۵-۱۰- وصله تیرها و تیروورقها

۶-۱۰- وصله اعضای فشاری

۷-۱۰- وصله اعضای کششی

۸-۱۰- وصله های جوشی

۹-۱۰- ورق های پرکننده

۱۰-۱۰- جزئیات وصله

۱۱-۱۰- اتصالات ساده

۱۲-۱۰- اتصال انتهایی دیافراگم ها و مهاربندی های عرشه

فصل یازدهم- تنش های مجاز خستگی _____ ۹۵

۱-۱۱- تنش های مجاز خستگی

فصل دوازدهم- خرپاها _____ ۱۰۵

۱-۱۲- کلیات

۲-۱۲- اعضای خرپا

۳-۱۲- تنش های ثانویه

۴-۱۲- نسبت ارتفاع به دهانه

۵-۱۲- پیش خیز

۶-۱۲- خط محور

۷-۱۲- مهاربندی و قاب های عرضی

۸-۱۲- بست های موازی و مورب

۹-۱۲- ورق های اتصال

۱۰-۱۲- خرپای میانگذر بدون بادبندی در صفحه یال فوقانی

فصل سیزدهم- تیورق های قوسی (طاقی) با ورق جان یکپارچه _____ ۱۰۹

۱-۱۳- ضریب تشدید لنگر

۲-۱۳- ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

۳-۱۳- کمانش در صفحه قائم

۴-۱۳- کنترل اثر لاغری جانبی

۵-۱۳- ورق جان

۶-۱۳- ورق بال

۷-۱۳- طول موثر کمانش در پرتال انتهایی

فصل چهاردهم - تیرهای خمیده در افق ————— ۱۱۷

- ۱-۱۴ - کلیات
- ۲-۱۴ - بارگذاری و مبانی طراحی
- ۳-۱۴ - تیرهای خمیده I شکل
- ۴-۱۴ - تیرهای خمیده مختلط با مقطع I
- ۵-۱۴ - تیرهای خمیده دوگانه
- ۶-۱۴ - تیرهای جعبه ای خمیده مختلط

فصل پانزدهم - مسائل ویژه در طرح و محاسبه ————— ۱۳۷

- ۱-۱۵ - جان و بالهای تیر در زیر بارهای متمرکز
- ۲-۱۵ - پیش خیز در تیرها و خرپاها
- ۳-۱۵ - انبساط و انقباض حرارتی
- ۴-۱۵ - فساد و خوردگی در فلز
- ۵-۱۵ - حداقل ضخامت قطعات فولادی
- ۶-۱۵ - افتادگی
- ۷-۱۵ - جزئیات تکیه گاهی

فصل شانزدهم - ساخت، نصب، کنترل کیفیت ————— ۱۴۳

- ۱-۱۶ - مقدمه
- ۲-۱۶ - دامنه کاربرد
- ۳-۱۶ - مشخصات فولاد مصرفی
- ۴-۱۶ - ساخت قطعات فولادی

فصل هفدهم - بالشتک‌های الاستومری ۱۵۵

۱۷-۱- کلیات

۱۷-۲- حمل و نگهداری

۱۷-۳- مشخصات فیزیکی الاستومر

۱۷-۴- ورق‌های فولادی

۱۷-۵- رواداری‌های ساخت

فصل هجدهم - رنگ آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت های فلزی ۱۶۱

۱۸-۱- موارد مورد استفاده

۱۸-۲- آماده سازی سطوح

۱۸-۳- رنگ آمیزی

۱۸-۴- ضخامت رنگ

۱۸-۵- رنگ آمیزی

۱۸-۶- تعمیر رنگ

۱۸-۷- گالوانیزه کردن

فهرست علائم

فهرست مآخذ

فصل اول

مصالح

۱-۱- حدود کاربرد

این آئین‌نامه حداقل ضوابط و مقررات لازم را برای طرح، محاسبه و اجرای پل‌های فولادی تعیین می‌کند و مشتمل بر روش طرح و محاسبه با تنش‌های مجاز (روش ارتجاعی) می‌باشد.

روش طراحی در حالت‌های حدی نیز برای طراحی و محاسبه قابل قبول است و در این خصوص تا زمان تدوین و تصویب مقررات مربوط می‌توان یکی از آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی را مورد استفاده قرار داد.

کاربرد این آئین‌نامه مربوط به طراحی پل‌های جاده و راه‌آهن می‌باشد.

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

۱-۲- مصالح فولادی

۱-۲-۱- نام گذاری

در جدول ۱-۱ لیست مصالح فولادی مورد استفاده در پلسازی ارائه شده است. نام گذاری جدید طبق آئین نامه اروپایی EN 10027-1 می باشد که کدگذاری جدید اروپا می باشد. به منظور مقایسه، نام گذاری قدیم این فولادها نیز ارائه شده است. معمولاً نام گذاری قدیم کشور آلمان در محاورات فنی ایران رایج می باشد.

۱-۲-۲- ترکیب شیمیایی

در جدول ۲-۱ ترکیب شیمیایی و میزان عناصر شیمیایی فولادهای مورد مصرف در پلسازی و در جدول ۳-۱ مقادیر حدی این عناصر ارائه شده است.

۱-۲-۳- کربن معادل

کربن معادل (CEV) فولادها از رابطه زیر تعیین می شود:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1-1)$$

در رابطه فوق:

C = درصد کربن، Mn = درصد منگنز، Cr = درصد کرم، Mo = درصد مولیبدین، V = درصد وانادیوم،

Ni = درصد نیکل، Cu = درصد مس

در جدول ۴-۱ مقادیر حدی کربن معادل ارائه شده است.

جدول ۱-۱- لیست مصالح فولادی مورد مصرف در پل‌سازی

ECISS	EN 10027-2	EN 10025:1990	آلمان	فرانسه	انگلیس	اسپانیا	ایتالیا	بلژیک	سوئد	پرتغال	اتریش	نروژ
S185	1.0035	Fe 310-0	St 33	A33		A310-0	Fe 320	A 320	13 00-00	Fe 310-0	St 320	NS 12 120
S235JR	1.0037	Fe 360 B	St 37-2	E 42-2			Fe 360 B	AE 235-B	13 11-00	Fe 360-B	USt 360B	NS 12 122
S235JRG1	1.0036	Fe 360 BFU	USt 37-2			AE 335-B-FU						
S235JRG2	1.0038	Fe 360 BFN	RSt 37-2		40 B	AE 335-B-FN			13 12-00		RSt 360B	NS 12 123
S235J0	1.0114	Fe 360 C	St 37-3U	E 24-3	40 C	AE 235 C	Fe 360 C	AE 235-C		Fe 360-C	St 360 C	
S235J2G3	1.0116	Fe 360 D1	St 37-3 N	E 24-4	40 D	AE 235 D	Fe 360 D	AE 235-D		Fe 360 D	St 360 D	NS 12 124
S235J2G4	1.0117	Fe 360 D2										
S275JR	1.0044	Fe 430 B	St 44-2	E 28-2	43 B	AE 275 B	Fe 430 B	AE 255-B	14 12-00	Fe 430 B	St 430 B	NS 12 142
S275J0	1.0143	Fe 430 C	St 44-3 U	E 28-3	43 C	AE 275 C	Fe 430 C	AE 255-C		Fe 430-C	St 430 C	NS 12 143
S275J2G3	1.0144	Fe 430 D1	St 44-3 N	E 28-4	43 D	AE 275 D	Fe 430 D	AE 255-D	14 14-00	Fe 430-D	St 430 CE	
S275J2G4	1.0145	Fe 430 D2							14 14-01		St 430 D	NS 12 143
S355JR	1.0045	Fe 510 B		E 36-2	50 B	AE 355 B	Fe 510 B	AE 355-B		Fe 510-B		
S355J0	1.0553	Fe 510 C	St 52-3 U	E 36-3	50 C	AE 355 C	Fe 510 C	AE 355-C		Fe 510-C	St 510 C	NS 12 153
S355J2G3	1.0570	Fe 510 D1	St 52-3 N		50 D	AE 355 D	Fe 510 D	AE 355-D		Fe 510-D	St 510 D	NS 12 153
S355J2G4	1.0577	Fe 510 D2										
S355K2G3	1.0595	Fe 510 DD1		E 36-4	50 DD			AE 355-DD		Fe 510-DD	St 490	
S355K2G4	1.0596	Fe 510 DD2			50 DD						St 590	
E295	1.0050	Fe 490-2	St 50-2	A 50-2		A 490	Fe 480	A 490-2	15 50-00 15 50-01	Fe 490-2	St 690	
E335	1.0060	Fe 590-2	St 60-2	A 60-2		A 590	Fe 580	A 590-2	16 50 00 16 50-01	Fe 590-2		
E360	1.0070	Fe 690-2	St 70-2	A 70-2		A 690	Fe 650	A 690-2	16 55 00 16 55 01	Fe 690-2		

جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی فولاد^(۱)

علامت		روش دی اکسیداسیون	زیر گروه ^(۴)	حداکثر مقدار کربن محصول به % ضخامت به mm			درصد حداکثر منیزیم	درصد حداکثر سیلیس	درصد حداکثر فسفر	درصد حداکثر گوگرد	درصد حداکثر نیتروژن ^(۲-۳)
				≤ 16	$16 < \leq 40$	$> 40^{(۵)}$					
مطابق با EN 10027-1 و ECIS 10	مطابق با EN 10027-2										
S185 ^(۶)	1.0035	Opt.	BS	--	--	--	--	--	--	--	--
S235JR ^(۶)	1.0037	Opt.	BS	0.17	0.20	--	1.40	--	0.045	0.045	0.009
S235JRG1 ^(۶)	1.0036	FU	BS	0.17	0.20	--	1.40	--	0.045	0.045	0.007
S235JRG2	1.0038	FN	BS	0.17	0.17	0.20	1.40	--	0.045	0.045	0.009
S235J0	1.0114	FN	QS	0.17	0.17	0.17	1.40	--	0.040	0.040	0.009
S235J2G3	1.0116	FF	QS	0.17	0.17	0.17	1.40	--	0.035	0.035	--
S23J2G4	1.0117	FF	QS	0.17	0.17	0.17	1.40	--	0.035	0.035	--
S275JR	1.0044	FN	BS	0.21	0.21	0.22	1.50	--	0.045	0.045	0.009
S275J0	1.0143	FN	QS	0.18	0.18	0.18 ^(۷)	1.50	--	0.040	0.040	0.009
S275J2G3	1.0144	FF	QS	0.18	0.18	0.18 ^(۷)	1.50	--	0.035	0.035	--
S275J2G4	1.0145	FF	QS	0.18	0.18	0.18 ^(۷)	1.50	--	0.035	0.035	--
S355JR	1.0045	FN	BS	0.24	0.24	0.24	1.60	0.55	0.045	0.045	0.009
S355J0	1.0553	FN	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.040	0.040	0.009
S355J2G3	1.0570	FF	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	--
S355J2G4	1.0577	FF	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	--
S355K2G3	1.0595	FF	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	--
S355K2G4	1.0596	FF	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	--
E 295	1.0050	FN	BS	--	--	--	--	--	0.045	0.045	0.009
E335	1.0060	FN	BS	--	--	--	--	--	0.045	0.045	0.009
E360	1.0070	FN	BS	--	--	--	--	--	0.045	0.045	0.009

۱- بخش ۱-۲-۲ را ببینید.

۲- حداکثر مقدار نیتروژن (N) می تواند از مقدار مزبور تجاوز کند مشروط بر آنکه به ازای هر 0.001 درصد افزایش نیتروژن، میزان حداکثر فسفر (p) 0.005 درصد کاهش یابد. میزان نیتروژن (N) به هر حال نباید از 0.012 درصد بیشتر باشد.

۳- چنانچه میزان کل آلومینیوم در ترکیب شیمیایی از 0.02 درصد تجاوز نماید و یا سایر عناصر محصورکننده نیتروژن به مقدار کافی موجود باشد، حداکثر مقدار نیتروژن اعمال نمی شود.

۴- فولاد مادر = BS و فولاد باکیفیت = QS

۵- برای مقاطع با ضخامت اسمی بیشتر از 100(mm)، میزان کربن (C) بطور توافقی تعیین می شود. (گزینه ۲۵)

۶- فقط در ضخامت اسمی کوچکتر و یا مساوی 25(mm) موجود است.

۷- برای ضخامت اسمی بزرگتر از 150(mm) مقدار حداکثر C، 0.2% است.

۸- برای ضخامت اسمی بزرگتر از 30(mm) و برای درجه های مناسب برای غلتک سرد، C = 0.22% می باشد.

جدول ۱-۳- مقادیر حدی میزان ترکیبات شیمیایی فولاد

علامت		روش دی	زیر گروه ⁽⁴⁾	حداکثر مقدار کربن به % ضخامت اسمی محصول به mm			درصد حداکثر منگنز	درصد حداکثر سیلیس	درصد حداکثر فسفر	درصد حداکثر گوگرد	درصد حداکثر نیتروژن ⁽²⁻³⁾
				≤ 16	> 16 ≤ 40	$> 40^{(5)}$					
مطابق با EN 10027-1 و ECISS IC 10	مطابق با EN 10027-2	اکسیداسیون									
S185 ⁽⁶⁾	1.0035	Opt.	BS	--	--	--	--	--	--	--	--
S235JR ⁽⁶⁾	1.0037	Opt.	BS	0.21	0.25	--	1.50	--	0.055	0.055	0.011
S235JRG1 ⁽⁶⁾	1.0036	FU	BS	0.21	0.25	--	1.50	--	0.055	0.055	0.009
S235JRG2	1.0038	FN	BS	0.19	0.19	0.23	1.50	--	0.055	0.055	0.011
S235J0	1.0114	FN	QS	0.19	0.19	0.19	1.50	--	0.050	0.050	0.011
S235J2G3	1.0116	FF	QS	0.19	0.19	0.19	1.50	--	0.045	0.045	--
S23J2G4	1.0117	FF	QS	0.19	0.19	0.19	1.50	--	0.045	0.045	--
S275JR	1.0044	FN	BS	0.24	0.24	0.25	1.60	--	0.055	0.055	0.011
S275J0	1.0143	FN	QS	0.21	0.21	0.21 ⁽⁷⁾	1.60	--	0.050	0.050	0.011
S275J2G3	1.0144	FF	QS	0.21	0.21	0.21 ⁽⁷⁾	1.60	--	0.045	0.045	--
S275J2G4	1.0145	FF	QS	0.21	0.21	0.21 ⁽⁷⁾	1.60	--	0.045	0.045	--
S355JR	1.0045	FN	BS	0.27	0.27	0.27	1.70	0.60	0.055	0.055	0.011
S355J0	1.0553	FN	QS	0.23	0.23 ⁽⁸⁾	0.24	1.70	0.60	0.050	0.050	0.011
S355J2G3	1.0570	FF	QS	0.23	0.23 ⁽⁸⁾	0.24	1.70	0.60	0.045	0.045	--
S355J2G4	1.0577	FF	QS	0.23	0.23 ⁽⁸⁾	0.24	1.70	0.60	0.045	0.045	--
S355K2G3	1.0595	FF	QS	0.23	0.23 ⁽⁸⁾	0.24	1.70	0.60	0.045	0.045	--
S355K2G4	1.0596	FF	QS	0.23	0.23 ⁽⁸⁾	0.24	1.70	0.60	0.045	0.045	--
E 295	1.0050	FN	BS	--	--	--	--	--	0.055	0.055	0.011
E335	1.0060	FN	BS	--	--	--	--	--	0.055	0.055	0.011
E360	1.0070	FN	BS	--	--	--	--	--	0.055	0.055	0.011

۱- بخش ۱-۲-۲ را ببینید.

۲- حداکثر مقدار نیتروژن (N) می‌تواند از مقدار مزبور تجاوز کند مشروط بر آنکه به ازای هر 0.001 درصد افزایش نیتروژن، میزان حداکثر فسفر (p) 0.005 درصد کاهش یابد. میزان نیتروژن (N) به هر حال نباید از 0.012 درصد بیشتر باشد.

۳- چنانچه میزان کل آلومینیوم در ترکیب شیمیایی از 0.02 درصد تجاوز نماید و یا سایر عناصر محصورکننده نیتروژن به مقدار کافی موجود باشد، حداکثر مقدار نیتروژن اعمال نمی‌شود.

۴- فولاد مادر = BS و فولاد باکیفیت = QS

۵- برای مقاطع با ضخامت اسمی بیشتر از 100(mm)، میزان کربن (C) بطور توافقی تعیین می‌شود. (گزینه ۲۵)

۶- فقط در ضخامت اسمی کوچکتر و یا مساوی 25(mm) موجود است.

۷- برای ضخامت اسمی بزرگتر از 150(mm) مقدار حداکثر C، 0.2% است.

۸- برای ضخامت اسمی بزرگتر از 30(mm) و برای درجه‌های مناسب برای غلتک سرد، 0.22% C می‌باشد.

جدول ۱-۴- مقادیر حدی کربن معادل (CEV)

علامت		روش دی اکسید کربن	زیر گروه ^(۱)	حداکثر مقدار حدی کربن معادل محصول ضخامت اسمی به mm		
مطابق با EN10027-1 و ECCI IC 10	مطابق با EN 10027-2			≤ 40	> 40 ≤ 150	> 150 ≤ 250
S235JR ²⁾	1.0037	Opt.	BS	0.35	--	--
S235JRG1 ²⁾	1.0036	FU	BS	0.35	--	--
S235GRG2	1.0038	FN	BS	0.35	0.38	0.40
S235J0	1.0114	FN	QS	0.35	0.38	0.40
S124J2G3	1.0116	FF	QS	0.35	0.38	0.40
S235J2G4	1.0117	FF	QS	0.35	0.38	0.40
S275JR	1.0044	FN	BS	0.40	0.42	0.44
S275J0	1.0143	FN	QS	0.40	0.42	0.44
S275J2G3	1.0144	FF	QS	0.40	0.42	0.44
S275J2G4	1.0145	FF	QS	0.40	0.42	0.44
S355JR	1.0045	FN	BS	0.45	0.47	0.49
S355J0	1.0553	FN	QS	0.45	0.47	0.49
S355J2G3	1.0570	FF	QS	0.45	0.47	0.49
S244J2G4	1.0577	FF	QS	0.45	0.47	0.49
S355K2G3	1.0595	FF	QS	0.45	0.47	0.49
S355K2G4	1.0596	FF	QS	0.45	0.47	0.49

۱- فولاد مادر = BS و فولاد با کیفیت = QS

۲- فقط برای ضخامت‌های اسمی بیشتر از 25 میلیمتر کاربرد دارد.

۴-۲-۱- مشخصات مکانیکی

در جدول ۵-۱ مشخصات مکانیکی فولادهای پلسازی (شامل تولیدات بلند و تخت مثل تسمه، ورق، نیمرخ) ارائه شده است.

۵-۲-۱- انرژی آزمایش ضربه

در جدول ۶-۱ انرژی حداقل در آزمایش ضربه برای فولادهای پلسازی ارائه شده است.

جدول ۱-۰- مشخصات مکانیکی فولادهای پلاسازی - مشخصات تنشی

علامت		روش دی اکسیژن	زیر گروه ^(۱)	حداقل تنش تسلیم (Fy) به N/mm ² ^(۱) (mm) ضخامت اسمی به										مقاومت کششی (Fu) به N/mm ² ^(۱) (mm) ضخامت اسمی به				
مطابق با EN 10027-1 و	مطابق با EN 10027-2			≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250			
ECSS IC 10				185	175	--	--	--	--	--	310-510	290-510	--	--				
S185 ^(۳)	1.0035	Opt.	BS	235	225	--	--	--	--	--	360-510	340-470	--	--				
S235JR ^(۳)	1.0037	Opt.	BS	235	225	--	--	--	--	--	360-510	340-370	--	--				
S235JRG1 ^(۳)	1.0036	FU	BS	235	225	--	--	--	--	--	360-510	340-370	--	--				
S235JRG2	1.0038	FN	BS	235	225	215	215	195	185	175	360-510	340-370	340-470	320-470				
S235J0	1.0114	FN	QS	235	225	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	320-470				
S235J2G3	1.0116	FF	QS	235	225	215	215	195	185	175	360-510	340-510	340-470	320-470				
S235J2G4	1.0117	FF	QS	235	225	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	320-470				
S275JR	1.0044	FN	BS															
S275J0	1.0143	FN	QS	275	265	255	245	235	225	215	205	430-580	410-560	400-540	380-540			
S275J2G3	1.0144	FF	QS															
S275J2G4	1.0145	FF	QS															
S355JR	1.0045	FN	BS															
S355J0	1.0553	FN	QS															
S355J2G3	1.0570	FF	QS	355	345	335	325	315	295	285	275	510-680	490-630	470-630	450-630			
S355J2G4	1.0577	FF	QS															
S355K2G3	1.0595	FF	QS															
S355K2G4	1.0596	FF	QS															
E295 ^(۴)	1.0050	FN	BS	295	295	285	275	265	255	245	235	225	490-660	450-610	440-610			
E335 ^(۴)	1.0060	FN	BS	335	335	325	315	305	295	275	265	255	590-770	550-710	540-710			
E360 ^(۴)	1.0070	FN	BS	360	355	345	335	325	305	295	285	690-900	670-830	650-830	640-830			

۱- مقادیر جدول فوق مربوط به آزمایش قطعات طولی می باشد.

۲- فولاد مادر = BS و فولاد با کیفیت = QS

۳- فقط برای ضخامت های کمتر از ۲۵ میلیمتر قابل استفاده است.

۴- این فولادها معمولاً برای نوردانی نبشی و مقاطع دیگر استفاده نمی شود.

۱- مقادیر جدول فوق مربوط به آزمایش قطعات طولی می باشد.

۲- فولاد مادر = BS و فولاد باکیفیت = QS

۳- فقط برای ضخامت های کمتر از ۲۵ میلیمتر قابل استفاده است.

۴- این فولادها معمولاً برای ناودانی، نبشی و مقاطع دیگر استفاده نمی شود.

جدول ۱-۵-۰-۱- ادامه - مشخصات کرنشی

علامت		روش دی اکسیژناسیون	زیر گروه ^(۱)		کرنش نهایی حداقل											
					ضخامت اسمی به (mm) و $L_0 = 80\text{mm}$						ضخامت اسمی به (mm) و $L_0 = 80\text{mm}$					
					≤ 1	> 1 ≤ 1.5	> 1.5 ≤ 2	> 2 ≤ 2.5	> 2.5 < 3	≥ 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250		
مطابق با EN 10027-1 و ECSS IC 10	مطابق با EN 10027-2				10	11	12	13	14	18	--	--	--	--	--	--
S185 ^(۳)	1.0035	Opt.	BS	1	8	9	10	11	12	16	--	--	--	--	--	--
S235JR ^(۳)	1.0037	Opt.	BS	1	17	18	19	20	21	26	25	24	22	21		
S235JRG1 ^(۳)	1.0036	FU	BS													
S235JRG2	1.0038	FN	BS													
S235J0	1.0114	FN	QS													
S235J2G3	1.0116	FF	QS													
S235J2G4	1.0117	FF	QS	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21		
S275JR	1.0044	FN	BS	1	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17		
S275J0	1.0143	FN	QS													
S275J2G3	1.0144	FF	QS													
S275J2G4	1.0145	FF	QS	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17		
S355JR	1.0045	FN	BS	1	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17		
S355J0	1.0533	FN	QS													
S355J2G3	1.0570	FF	QS													
S355J2G4	1.0577	FF	QS													
S355K2G3	1.0595	FF	QS													
S355K2G4	1.0596	FF	QS	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17		
E295 ^(۴)	1.0050	FN	BS	1	12	13	14	15	16	20	19	18	16	15	14	
E335 ^(۴)	1.0060	FN	BS	1	8	9	10	11	12	16	15	14	12	11	10	
E360 ^(۴)	1.0070	FN	BS	1	4	5	6	7	8	11	10	9	8	7	6	

- ۱- مقادیر جدول فوق مربوط به آزمایش قطعات طولی می باشد.
- ۲- فولاد مادر BS و فولاد باکیفیت QS
- ۳- فقط برای ضخامت های کمتر از ۲۵ میلیمتر قابل استفاده است.
- ۴- این فولادها معمولاً برای ناودانی، بشی و مقاطع دیگر استفاده نمی شود.

جدول ۱-۶- انرژی حداقل در آزمایش ضربه برای تولیدات تخت و بلند

علامت		روش دی اکسیداسیون	زیرگروه (2)	دمای محیط (°C)	انرژی حداقل (J) ضخامت اسمی به mm	
مطابق با EN 10027-1 و ECISS IC 10	مطابق با EN 10027-2				$> 10^{(3)}$ ≤ 150	$> 150^{(3)}$ ≤ 250
S185 ⁽⁴⁾	1.0035	Opt.	BS	--	--	--
S235JR ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1.0037	Opt.	BS	20	27	--
S235JRG1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1.0036	FU	BS	20	27	--
S235JRG2 ⁽⁵⁾	1.0038	FN	BS	20	27	23
S235J0	1.0114	FN	QS	0	27	23
S235J2G3	1.0116	FF	QS	-20	27	23
S235J2G4	1.0117	FF	QS	-20	27	23
S275JR ⁽⁵⁾	1.0044	FN	BS	20	27	23
S275J0	1.0143	FN	QS	0	27	23
S275J2G3	1.0144	FF	QS	-20	27	23
S275J2G4	1.0145	FF	QS	-20	27	23
S355JR ⁽⁵⁾	1.0045	FN	BS	20	27	23
S355J0	1.0553	FN	QS	0	27	23
S355J2G3	1.0570	FF	QS	-20	27	23
S355J2G4	1.0577	FF	QS	-20	27	23
S355K2G3	1.0595	FF	QS	-20	40	33
S355K2G4	1.0596	FF	QS	-20	40	33
E295	1.0050	FN	BS	--	--	--
E335	1.0060	FN	BS	--	--	--
E360	1.0070	FN	BS	--	--	--

۱- فولاد مادر = BS و فولاد باکیفیت = QS

۲- برای مقاطع با ضخامت اسمی بیشتر از 100 میلیمتر مقدار انرژی باید به توافق برسد.

۳- فقط برای ضخامت‌های کوچکتر و مساوی 25 میلیمتر قابل استفاده می‌باشد.

۴- خواص ضربه‌ای محصولات JR، فقط در هنگام زمان احتیاج به آن و یا سفارش آن مورد تایید قرار می‌گیرند.

۶-۲-۱- تنش تسلیم اسمی^۱

تنش تسلیم اسمی F_y مساوی حداقل تنش تسلیم ارائه شده در جدول ۵-۱ براساس ضخامت مربوطه در نظر گرفته می شود.

در صورتیکه از فولادهایی غیر از فولادهای ارائه شده در جدول فوق استفاده شود، تنش تسلیم اسمی F_y از رابطه زیر تعیین می شود.

$$F_y = F_{ym} - 0.6 S_1 \quad (2-1)$$

که در رابطه فوق:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (F_{ym} - F_{yi})^2}{9}} \quad (3-1)$$

F_{ym} = متوسط تنش تسلیم حاصل از حداقل ۱۰ آزمایش

S_1 = انحراف استاندارد حاصل از ۱۰ آزمایش

F_{yi} = تنش تسلیم حاصل از آزمایش ها

۷-۲-۱- مقاومت کششی نهایی

مقاومت کششی نهایی مصالح فولادی نباید کمتر از $1/2 F_y$ گردد که در آن F_y تنش تسلیم اسمی مصالح فولادی می باشد.

۸-۲-۱- شکل پذیری^۲

فولاد مورد استفاده در پلسازی باید دارای شکل پذیری متناظر با ۱۵ درصد افزایش طول نسبت به حالت اولیه نمونه استاندارد که فاصله مقیاس آن $5/65 \sqrt{S_0}$ است، باشد. که در رابطه فوق S_0 سطح مقطع قطعه مورد آزمایش می باشد.

در صورتیکه ظرفیت لنگر پلاستیک مقطع فشرده استفاده می شود و یا توزیع مجدد تنش کششی بال محاسبه می شود، شکل پذیری فولاد نباید کمتر از ۱۹ درصد افزایش طول نسبت به حالت اولیه نمونه استاندارد که فاصله مقیاس آن $5/65 \sqrt{S_0}$ است، باشد. که در رابطه فوق نیز S_0 سطح مقطع عرضی قطعه مورد آزمایش می باشد.

¹ - Nominal yield stress

² - Ductility

۱-۲-۹- طاق‌ت نمونه شیاردار^۱

۱-۲-۹-۱- مقدمه

برای اجتناب از شکست ترد، کیفیت قطعات فولادی در آزمایش ضربه باید با توجه به مقادیر زیر انتخاب گردد:

الف) حداقل دمای طراحی

ب) نوع فولاد مصرفی و جزئیات ساخت

ج) تراز سطح تنش مورد انتظار در حالت بهره‌برداری

د) مقاومت فولاد

هـ) ضخامت قطعه تحت تنش

۱-۲-۹-۲- حداقل دمای طراحی^۲

حداقل دمای طراحی U مورد استفاده برحسب درجه سلسیوس، بصورت زیر بدست می‌آید:

۱- در مواردیکه کارکرد اصلی آن، مقابله با تغییرشکلهای ناشی از حرارت باشد:

$$U = U_e - 5^\circ C$$

۲- در سایر موارد:

$$U = U_e$$

که در آن:

U_e : حداقل دمای موثر طراحی پل برحسب درجه سلسیوس ($^\circ C$) می‌باشد.

۱-۲-۹-۳- طبقه بندی تردی^۳

۱-۲-۹-۳-۱- کلیات

برای طبقه بندی تردی قطعات فولادی از ضریب K استفاده می‌گردد.

$$K = K_d \times K_g \times K_\sigma \times K_s$$

که در آن:

K = ضریبی که حداکثر ضخامت مجاز را بدست می‌دهد.

^۱ - Notch toughness

^۲ - Design minimum temperature

^۳ - Fracture classification

$$\begin{aligned}
 K_d &= \text{ضریب جزئیات} \\
 K_g &= \text{ضریب تمرکز تنش} \\
 K_\sigma &= \text{ضریب سطح تنش} \\
 K_s &= \text{ضریب نرخ بارگذاری}
 \end{aligned}$$

۲-۳-۹-۲-۱- ضریب جزئیات (K_d)

مقدار K_d باید براساس مقدار پتانسیل شکست اولیه منطقه ای مطابق جدول ۷-۱ محاسبه گردد.

۳-۳-۹-۲-۱- ضریب تمرکز تنش هندسی (K_g)

باید هرگونه تغییرات ناگهانی در مقطع عضو مانند ایجاد سوراخ، و یا اتصال نیمه صلب در محل اتصال بین اعضای مورد توجه قرار گیرد.

در این نواحی، ضریب تمرکز تنش الاستیک (K)، باید در اولین نقطه ای که جزئیات شروع می گردد اندازه گیری شود. ضریب K_g از رابطه زیر بدست می آید:

$$K_g = K^{-0.5}$$

K = ضریب تمرکز تنش مساوی نسبت حداکثر تنش کششی اصلی در ناحیه اولیه به تنش اسمی اصلی در آن مقطع می باشد.

۴-۳-۹-۲-۱- ضریب سطح تنش^۱

ضریب K_σ ، بسته به مقدار حداکثر تنش اصلی ($\sigma_{\max}$)، در محدوده حداکثر مجاز، باید براساس جدول ۸-۱ انتخاب شود.

۵-۳-۹-۲-۱- ضریب نرخ بارگذاری^۲

برای نواحی که در آنها خطر نیروی برخورد و ضربه وجود دارد، مانند عرشه ای که در مجاورت نرده های ثابت قرار دارد، یا ستون های فولادی که نزدیک به ترافیک بزرگراه یا راه آهن قرار دارند، مقدار $K_s = 0.5$ توصیه می شود. برای بقیه انواع بارگذاری مقدار $K_s = 1$ استفاده می گردد.

^۱ - Stress level coefficient

^۲ - Rate of loading coefficient

۱-۲-۹-۳-۶- حداکثر ضخامت مجاز^۱

ضخامت t قطعه فولادی به موارد زیر محدود می شود:

اگر $U > T_{27j} - 20$ باشد:

$$t \leq 50K \left(\frac{355}{F_y} \right)^{1.4} 1.2 \left(\frac{U - T_{27j}}{10} \right)$$

اگر $U < T_{27j} - 20$ باشد:

در این شرایط استفاده از فولاد مورد نظر، مجاز نمی باشد.

در روابط فوق:

t = حداکثر ضخامت مجاز قطعه فولادی تحت تنش برحسب میلیمتر

K = ضریبی است که در بند ۱-۲-۹-۳-۱ محاسبه شد.

F_y = تنش تسلیم اسمی قطعه فولادی مطابق بند ۱-۲-۶ (N/mm^2)

U = حداقل دمای طراحی برحسب درجه سلسیوس

T_{27j} = دمای آزمایش برحسب درجه سلسیوس متناظر با انرژی شاری ۲۷ ژول.

برای فولادهایی که T_{30j} و T_{40j} آنها در دست است، T_{27j} را می توان از روابط زیر محاسبه نمود:

$$T_{27j} = T_{30j}$$

$$T_{27j} = T_{40j} - 10$$

^۱ - maximum permitted thickness

جدول ۱-۷- ضریب جزئیات K_d

شرح جزئیات	k _d	شکل	روش	
		محصول	ساخت	
		کلیه مقاطع	اعضای غیر جوشی	
۲				سطوح نورد شده
۱/۵				گوشه‌های بریده شده توسط شعله
۱				اتصالات پیچی و جوشی که سوراخها توسط مته‌کاری ایجاد می‌شوند.
			اتصالات جوش و پیچی	
۱		کلیه مقاطع	اعضاء جوش شده	
				جوش عرضی طولی در اعضاء مرکب
				جوش عرضی برگشتی در انتهای جوش‌های کوتاه
۰/۷	مقاطع کم عرض			جوش عرضی برگشتی در انتهای جوش‌های طولی با $(\ell > 150mm)$
	$w \leq 50mm$			
۰/۵	مقاطع عریض			
	$w > 50mm$			
	در گوشه‌های برش نشده			
۱		ورق‌ها	جوش عرضی لب‌به‌لب در ورق‌ها	
۰/۷			جوش عرضی لب‌به‌لب در اعضاء مرکب از ورق‌ها	
۰/۵		مقاطع	جوش لب‌به‌لب عرضی	
۱		کلیه مقاطع	جوش گوشه در اتصالات صلیبی و T شکل	

جدول ۱-۸- ضریب سطح تنش K_σ

مقدار K_σ		
محدوده تنش	K_σ	
	$k_d > 0.7$	$k_d \leq 0.7$
در کشش $\sigma_{\max} > 0.5\sigma_y$	1	۱
در کشش $0.25\sigma_y < \sigma_{\max} \leq 0.5\sigma_y$	1	۱/۲۵
در کشش $\sigma_{\max} \leq 0.25\sigma_y$	1.5	۱/۵
تمامی تنش‌های فشاری	2	۲
اجزای پل ممکن است در زمان نصب تحت تنشی بیشتر از مقدار کشش در حالت بهره‌برداری قرار گیرند.		

۱-۲-۹-۴- مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی^۱

مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی بصورت زیر در نظر گرفته می شود:

- ضریب الاستیسیته، kg/cm^2 $2/1 \times 10^6$
- ضریب الاستیسیته برشی، kg/cm^2 $0/8 \times 10^6$
- ضریب پواسون، $\nu = 0/3$
- ضریب انبساط حرارتی، $1/^\circ C$ $\alpha = 12 \times 10^{-6}$

۱-۲-۹-۵- مشخصات مکانیکی مصالح پیچ، پرچ و گل میخ

در جداول ۱-۹، ۱۰-۱ و ۱۱-۱ به ترتیب مشخصات مکانیکی مصالح پیچ، پرچ و گل میخ ارائه شده است.

^۱ - Properties of steel

جدول ۹-۱- مشخصات مصالح پیچ

	۱	۲	۳
	رده پیچ	تنش تسلیم F_y (kg/cm ²)	تنش تسلیم F_u (kg/cm ²)
۱	۴/۶	۲۴۰۰	۴۰۰۰
۲	۵/۶	۳۰۰۰	۵۰۰۰
۳	۸/۸	۶۴۰۰	۸۰۰۰
۴	۱۰/۹	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰

جدول ۱۰-۱- مشخصات مصالح پرچ

	۱	۲	۳
	رده پرچ	تنش تسلیم F_y (kg/cm ²)	مقاومت نهایی کششی F_u (kg/cm ²)
۱	USt 36	۲۰۵۰	۳۳۰۰
۲	RSt 38	۲۲۵۰	۳۷۰۰

جدول ۱۱-۱- مشخصات مصالح گل میخ

	۱	۲	۳
	رده	تنش تسلیم F_y (kg/cm ²)	مقاومت نهایی کششی F_u (kg/cm ²)
۱	DIN 32 500 Part 1, رده 4.8	۳۲۰۰	۴۰۰۰
۲	DIN 32 500 Part 3, با ترکیب شیمیایی ST37-3 (DIN 17 100)	۳۵۰۰	۴۵۰۰
۳	DIN 17 100) $d \leq 40$ (یا St 37-2 St 37-3) $40 < d \leq 80$	۲۴۰۰	۳۶۰۰
		۲۱۵۰	
۴	DIN 17 100) $d \leq 40$ (St 52-3) $40 < d \leq 80$	۳۶۰۰	۵۱۰۰
		۳۲۵۰	

۳-۱- بارهای محاسباتی

۱-۳-۱- بارهای مرده

برای محاسبه وزن قطعات، وزن مخصوص مصالح باید طبق استاندارد شماره ۵۱۹ موسسه استاندارد تعیین شود.

۲-۳-۱- بارهای زنده

بارهای زنده باید طبق مقررات نشریه ۱۳۹ دفتر تحقیقات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی محاسبه شود.

۳-۳-۱- بارهای زلزله

بارهای زلزله باید منطبق بر مقررات آئین‌نامه طرح پلهای شوسه و راه‌آهن در برابر زلزله (استاندارد ۲۳۵ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) منظور شود.

۴-۳-۱- سایر بارها

سایر بارها باید طبق مقررات نشریه ۱۳۹ دفتر تحقیقات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی محاسبه شود.

۴-۱- تنشهای مجاز

تمام عناصر سازه اعم از اتصالات و وسایل اتصال، باید طوری طراحی و محاسبه شوند که تحت اثر بارهای مفروض بهره‌برداری، تنش در آنها از مقادیر مندرج در فصول بعدی تجاوز نکند.

۵-۱- ترکیبات بارگذاری

با توجه به همزمانی بارهای ارائه شده در نشریه ۱۳۹، ترکیبات بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز مطابق جدول ۱-۱۲ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱-۱۲- ترکیبات بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز

گروه	ترکیب بار	تنش مجاز برحسب درصد از تنش مجاز پایه
۱	$D + B + R + S + ST + PF + SF + E$	۱۰۰
۲	$L + I + LF + CF$ + گروه ۱	۱۰۰
۳-الف	W + گروه ۱	۱۳۳
۳-ب	$W + WL$ + گروه ۲	۱۳۳
۴-الف	T + گروه ۱	۱۳۳
۴-ب	T + گروه ۲	۱۳۳
۵	EQ + گروه ۱	مطابق آیین نامه طرح لرزه ای پلها
۶	بارهای ویژه + گروه ۱	طبق نیاز

اختصارات به کاررفته در جدول فوق به قرار زیر می باشند:

D = بارمرده

L = بارزنده

I = ضربه بارزنده

E = فشار زمین

B = نیروی غوطه وری

W = بارباد روی سازه

WL = بارباد روی بارزنده

PF = نیروی حاصل از پیش تنیدگی

ST = نیروهای ناشی از نشست تکیه گاهی

LF = نیروی ترمز بار زنده

CF = نیروی گریز از مرکز بار زنده

R = اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پیش تنیده

S = نیروهای حاصل از افت (انقباض) مصالح

EQ = نیروی حاصل از زلزله

T = نیروی حاصل از تغییرات دما

SF = نیروی حاصل از جریان رودخانه

۶-۱- تحلیل سازه

نیروهای داخلی و تنش اعضا، اتصالات، و وسایل اتصال در سازه تحت اثر بارهای وارده باید توسط یکی از روشهای شناخته شده تحلیل الاستیک سازه تعیین شود.

۷-۱- توجه به شرایط بهره‌برداری

سازه و اجزای تشکیل دهنده آن، همچنین اتصالات و وسایل اتصال، باید برای شرایط بهره‌برداری کنترل گردند.

۸-۱- مدارک طراح و محاسبه

۸-۱-۱- نقشه‌ها

نقشه‌های سازه باید طرح کامل مقاطع، محل قرار گرفتن اعضای سازه نسبت به یکدیگر، تراز عرشه، محورهای مار بر مرکز ستونها، پیش‌آمدگیها و پس‌نشستگیها با اندازه‌های مربوطه را شامل باشند.

مدارک طراحی و محاسبه باید حاوی اطلاعاتی در مورد مقادیر بار، 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 پرمقاومت، برای اتصالات موردنظر باشد، مدارک طرح و محاسبه و نقشه‌ها باید نوع اتصال را از نظر رفتار (اتصال اصطکاکی، اتصال اتکایی و یا 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.

۸-۱-۲- حروف، علائم، و یادداشتهای فنی

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

یادداشت‌های فنی برای تفهیم روش کار و یا نتایج موردنظر باید روشن و موجز باشد. در اتصالاتی که برای کم کردن تشهای پسماند جوشکاری و جلوگیری از تابیدگی قطعات، باید از تکنیک و یا ترتیب خاصی و یا از تعداد عبور جوشکاری معینی پیروی شود، لازم است آن روش دقیقاً در مدارک و نقشه‌ها توضیح داده شود.

فصل دوم

۲- محدودیت‌های لاغری

۲-۱- لاغری کلی اعضا

در اعضایی که ملاک طراحی آنها نیروی فشاری است، ضریب لاغری KL/r نباید از ۱۲۰ برای اعضای اصلی و ۱۴۰ برای اعضای فرعی تجاوز کند و اگر نیروی کششی ملاک است، ضریب لاغری L/r نباید از ۲۰۰ برای اعضای اصلی و ۲۴۰ برای بادبندها تجاوز کند. اعضای کششی با نیروی پیش‌تنیدگی کافی، مستثنی از این قاعده می‌باشند. لاغری اعضای کششی که تحت تنشهای معکوس قرار می‌گیرند، نباید از ۱۴۰ تجاوز کند. L طول مهار نشده عضو از مرکز ثقل دو نقطه مهاربندی عرضی یا مرکز ثقل دو اتصال عضو در نظر گرفته می‌شود. در خصوص طول مهاری خرپاهای میان‌گذر (بدون مهاربندی عرضی بال فشاری) باید به بخش مربوطه مراجعه نمود.

۲-۲- لاغری تک نیمرخها

در اعضای فشاری مرکب از چند نیمرخ و بستهای افقی یا چپ و راست، لاغری حداکثر L_1/r_1 هر تک نیمرخ در حدفاصل بین دو گره، نباید از ۴۰ و یا $\frac{2}{3}$ ضریب لاغری حداقل کلی عضو بیشتر گردد. L_1 طول آزاد هر نیمرخ بین دو گره و r_1 شعاع ژیراسیون حداقل می‌باشد.

۲-۳- کمانش موضعی

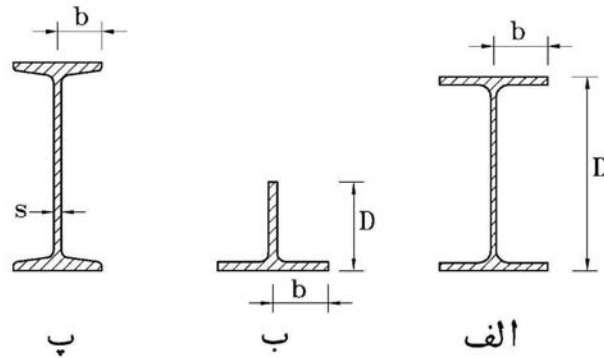
۲-۳-۱- به منظور جلوگیری از کمانش موضعی، نسبت پهنا به ضخامت عناصر مقطع نباید از مقادیر مندرج در جدول ۲-۱ تجاوز نماید.

۲-۳-۲- پهنای آزاد اجزا بایک لبه متکی

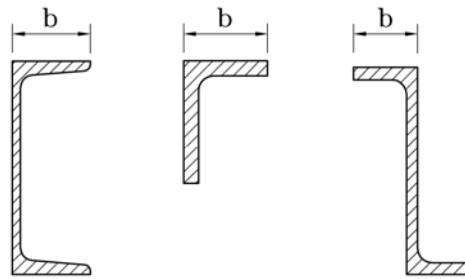
پهنای آزاد اجزایی که فقط در یک لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند، به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- برای بال‌های نیمرخ I و نیمرخ سپری، برابر عرض بال

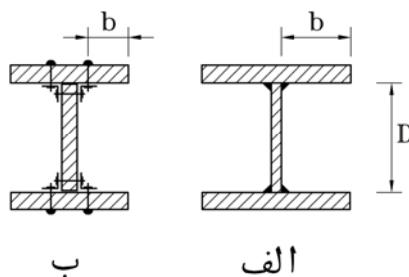
برای بال نیمرخ‌های نورد شده‌ای که شیب داشته باشد، ضخامت معادل، برابر ضخامت بال در نقطه مابین لبه بال و سطح جان در نظر گرفته می‌شود.



۲- برای بال‌های نیمرخ نبشی، ناودانی، دو نبشی (Z)، برابر با تمام عرض موجود.



۳- برای تیورق‌ها، عرض b عبارت است از عرض بال

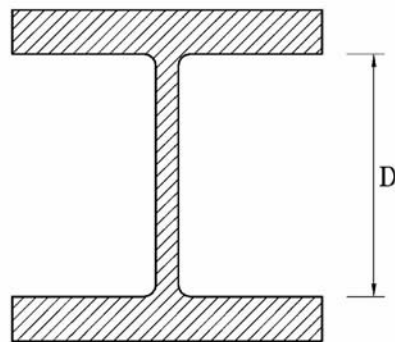


۴- برای تیغه جان نیمرخ سپری، پهنای D برابر ارتفاع کلی مقطع

۲-۳-۳- پهنای آزاد اجزا با دو لبه متکی

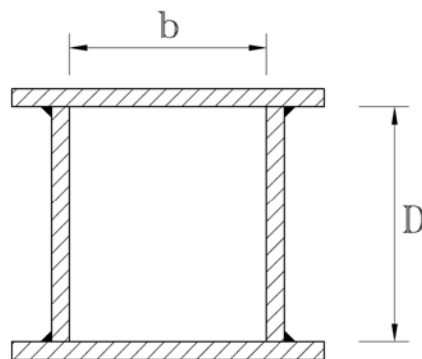
پهنای آزاد b یا D برای اجزایی که در دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

۱- برای جان نیمرخ‌های نورد شده، D مساوی فاصله بین دوابال

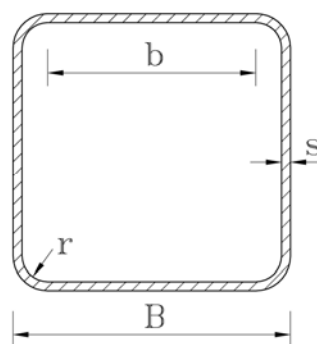


۲- برای جان نیمرخهای ساخته شده از ورق، D برابر فاصله خالص بین بالهای نیمرخ.

۳- برای ورقهای بال در نیمرخهای ساخته شده از ورق، پهنای b عبارت است از فاصله بین دو ردیف وسیله اتصال مجاور یا دو خط جوش مجاور.



۴- برای بالهای نیمرخهای قوطی، پهنای b عبارت است از فاصله خالص دوجان منهای شعاع انحنا بین جان و بال در هر طرف. اگر شعاع مشخص نباشد، می‌توان پهنای کل منهای سه برابر ضخامت جان را در نظر گرفت.



$$b = B - 3s$$

۵- برای ورقهای تقویتی، b عرض ورق می‌باشد.

جدول ۱-۲- مقادیر حداکثر نسبت پهنا به ضخامت

شرح	پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت
بالهای تیرنورد شده I و ناودانی در خمش	$\frac{b}{t}$	$\frac{430}{\sqrt{f_b}} \leq 24$
	$\frac{b}{t}$	$\frac{430}{\sqrt{f_b}} \leq 24$
	$\frac{b}{t}$	$\frac{430}{\sqrt{f_a}} \leq 12$
	$\frac{b}{t}$	$\frac{430}{\sqrt{f_a}} \leq 12$
جان تیرورقهای قوس و جان ستونها	$\frac{D}{t}$	بدون سخت کننده طولی $\frac{1300}{\sqrt{f_a}} \leq 60$ یک سخت کننده طولی در وسط ارتفاع $\frac{2000}{\sqrt{f_a}} \leq 90$ دو سخت کننده طولی در نقاط $\frac{1}{3}$ ارتفاع $\frac{2600}{\sqrt{f_a}} \leq 120$
ورقهای تقویتی روی بال تیر با دو خط اتصال در دو لبه موازی	$\frac{b}{t}$	$\frac{1300}{\sqrt{f_a}} < 50$
بالهای مقطع قوطی با ضخامت ثابت جدار در خمش یا فشار و تمام عناصر دیگر با دو لبه متکی تحت اثر فشار یکنواخت	$\frac{b}{t}$	$\frac{1050}{\sqrt{f_a}} \leq 45$
جان تیرهای خمشی	$\frac{D}{t}$	بدون سخت کننده طولی $\frac{6100}{\sqrt{f_b}} \leq 170$ باسخت کننده طولی $\frac{12200}{\sqrt{f_b}} \leq 340$
جان تیرستونها تحت اثر مشترک فشار حاصل از خمش و فشار محوری	$\frac{D}{t}$	$\frac{6100}{\sqrt{f_b}} \left(1 - 0.7 \frac{f_a}{f_b} \right)$
مقطع لوله (D قطر خارجی لوله)	$\frac{D}{t}$	$\frac{120 \times 10^3}{f_a}$

f_a = تنش فشاری موجود (kg/cm^2) f_b = تنش خمشی فشاری موجود (kg/cm^2)

F_y = تنش تسلیم مصالح (kg/cm^2)

توجه: در بحرانی ترین شرایط f_a و f_b را می توان مساوی $0.55F_y$ در نظر گرفت.

۲-۴- حداقل ضخامت اجزای مقطع

حداقل ضخامت اجزای مقطع ۸ میلیمتر می باشد. ضخامت جان تیرهای نوردشده نباید کمتر از ۶ میلیمتر باشد. حداقل ضخامت پشت بندهای عرشه های ارتوتروپیک ۵ میلیمتر می باشد. در صورتیکه شرایط خوردگی فولاد در میان باشد، باید اضافه ضخامت قربانی برای اجزای مقطع در نظر گرفته شود و یا سیستم محافظت موثر و یا رنگ های پوششی مناسب منظور گردد.

فصل سوم

۳- اعضای کششی

۳-۱- سطح مقطع کلی

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

۳-۲- سطح مقطع خالص

سطح مقطع خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصلضربهای پهنای خالص اجزا در ضخامت نظیر آنها می‌باشند. پهنای خالص عبارت است از پهنای کل منهای قطر سوراخهای عضو که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- قطر محاسباتی سوراخ پیچ و پرچ به مقدار ۲ میلیمتر بزرگتر از قطر سوراخ به حساب می‌آید.

۲- اگر سوراخهای متعدد به شکل زنجیره (به صورت زیگزاگ) در مسیر مقاطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند،

برای محاسبه پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی، مجموع قطرهای مسیر زنجیره را کم و به آن به

ازای هر مسیر قطری، یک مرتبه جمله $S^2/4g$ را اضافه کرد که در آن:

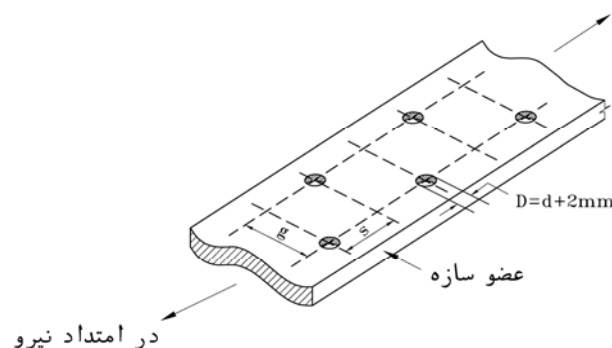
S = گام طولی پیچها (فاصله مرکز به مرکز سوراخها در امتداد طولی)

g = گام عرضی (فاصله مرکز به مرکز ردیفهای طولی)

در نیمرخ نبشی، گام عرضی برای سوراخهای واقع در روی دو بال متعامد، عبارت خواهد بود از جمع فواصل

سوراخها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن.

مقطع بحرانی مقطعی است که سوراخهای مسیر زنجیره مربوطه، حداقل پهنای خالص را به دست می‌دهد.



شکل ۳-۱

۳-۳- سطح مقطع موثر

۱- در صورتیکه بار بصورت مستقیم، توسط وسایل اتصال، به هر یک از عناصر تشکیل دهنده مقطع منتقل شود،

سطح مقطع موثر (A_e) برابر سطح مقطع خالص (A_n) در نظر گرفته می شود.

۲- اگر بار توسط پیچ یا پرچ به قسمتی از عناصر تشکیل دهنده مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع موثر

از رابطه زیر بدست می آید.

$$A_e = U A_n \quad (۱-۳)$$

که در آن:

$$A_n = \text{سطح مقطع خالص}$$

$$U = \text{ضریب کاهش}$$

۳- اگر بار توسط اتصال جوشی به قسمتی از عناصر تشکیل دهنده مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود، سطح مقطع

موثر از رابطه زیر بدست می آید:

$$A_e = U A_g \quad (۲-۳)$$

که در آن:

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی}$$

مقادیر U بصورت زیر تعریف می شود:

الف: برای نیمرخهای I و IPB و نیمرخهای سپری بریده شده از آنها که اتصال آنها از طریق بالها صورت گرفته و سایر نیمرخها، شامل نیمرخهای ساخته شده از ورق، که دارای اجزای غیرمتصل باشند و نبشی ها با یک بال متصل که حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد:

$$U = 0.85$$

ب: در تسمه ها که با جوشهای طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل اند، طول جوشها نباید از فاصله عمودی

بین آنها (پهنای تسمه) کمتر باشد و ضریب U برای آنها بصورت زیر تعریف می شود:

$$1.5W > L \geq W \quad \rightarrow \quad U = 0.75$$

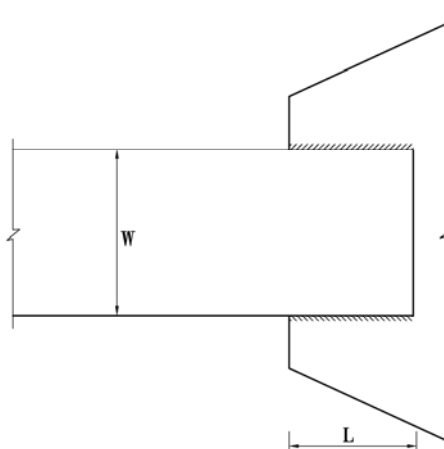
$$2W > L \geq 1.5W \quad \rightarrow \quad U = 0.87$$

$$L \geq 2W \quad \rightarrow \quad U = 1$$

که در آن:

$$L = \text{طول جوش}$$

$$W = \text{پهنای تسمه (فاصله بین خطوط جوش)}$$



شکل ۲-۳

۳-۴- لاغری اعضای کششی

لاغری اعضای کششی باید شرایط مندرج در بندهای ۱-۲ و ۲-۲ را تامین نمایند.

۳-۵- تنش کششی مجاز

تنش کششی مجاز نباید از $0.55F_y$ بر روی سطح مقطع کلی و یا از $0.46F_u$ بر روی سطح مقطع موثر خالص تجاوز کند که F_y تنش تسلیم و F_u تنش نهایی مصالح می‌باشد.

۳-۶- اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ و ورق

- ۳-۶-۱- در اعضای کششی که به طور سرتاسری در تماس با یکدیگر متصل می‌شوند، فاصله محور به محور وسایل اتصال یا فاصله بین نوارهای جوش منقطع بین یک نیمرخ و ورق، یا بین دو ورق نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:
- الف) در اعضای رنگ شده و اعضای که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلیمتر.
- ب) در اعضای رنگ نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۱۸۰ میلیمتر.

- ۳-۶-۲- در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) نیمرخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصله محوره به محور پیچها و پرچها و یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع که آنها را به یکدیگر متصل می‌کند، نباید از ۶۰۰ میلیمتر تجاوز کند.

۳-۶-۳- در اعضای کششی که از دو (و یا تعداد بیشتری) نیمرخ و یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آنها به فواصلی قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط به یکدیگر متصل می‌شوند، فاصله لقمه‌ها و اتصالات باید طوری اختیار شود که ضریب لاغری هر یک از عناصر تشکیل دهنده در فاصله آزاد از ۲۰۰ تجاوز نکند.

۳-۶-۴- در اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ، به کاربردن ورقهای تقویتی سوراخدار و یا قیدهای موازی (بدون بستهای چپ و راست) در طرف باز نیمرخ مرکب مجاز است. ضلع قیدهای موازی در امتداد طول عضو باید حداقل $\frac{2}{3}$ فاصله بین دو ردیف وسایل اتصالی باشد که قید را به عناصر عضو کششی متصل می‌کند.

در اتصال با جوش، این ضلع باید حداقل $\frac{2}{3}$ فاصله بین مراکز ثقل جوشهای اتصال دوسر باشد.

ضخامت این قیدها نباید از $\frac{1}{5}$ فواصل یاد شده یا ۸ میلیمتر، کمتر شود. فاصله محوره‌محور پیچها یا پرچها و فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی، در اتصال قیدها نباید از ۱۵۰ میلیمتر تجاوز کند. فاصله قیدهای موازی از یکدیگر باید به اندازه‌ای باشد که ضریب لاغری هر یک از عناصر کششی متصل شده بین این قیدها، از ۲۰۰ بیشتر نشود.

۳-۷- اعضای کششی با اتصال لولایی

۳-۷-۱- تنشهای مجاز

تنش مجاز در مقطع باقیمانده در محل سوراخ پین در قطعه کششی نباید از $0.45F_y$ تجاوز کند. F_y تنش تسلیم فولاد می‌باشد.

تنش فشاری تماسی در سطح تصویر شده پین (حاصلضرب قطر در طول تماس) نباید از:

$$(۳-۳) \quad F_p = 0.4F_y \quad (\text{اتصال لولایی با دوران}) \quad F_p = 0.8F_y \quad (\text{اتصال لولایی بدون دوران})$$

تجاوز کند. اگر دو و یا چند عضو در تماس دارای حد تسلیم (F_y) مختلف باشند، F_y کوچکتر ملاک خواهد بود. در تسمه‌های سرپهن که شرایط بند ۳-۷-۳ را داشته باشند، تنش مجاز برابر $0.55F_y$ بر سطح مقطع تسمه در نظر گرفته می‌شود.

۳-۷-۲- تسمه با عرض ثابت با اتصال لولایی

حداقل سطح مقطع خالص بعد از سوراخ پین (که موازی محور عضو کششی در نظر گرفته می‌شود)، نباید از

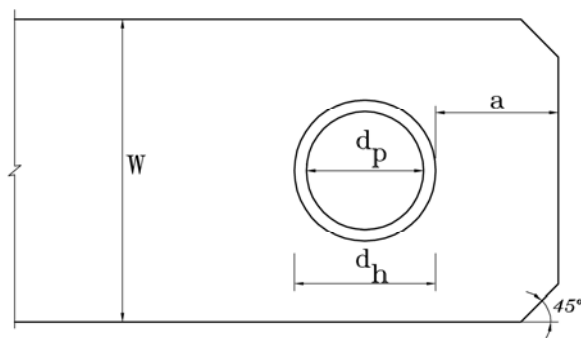
$$\frac{2}{3} \text{ سطح مقطع عرضی باقیمانده در محل سوراخ، کمتر شود.}$$

$$a \geq \frac{2}{3}(w - d_h)$$

در قطعات با اتصال پین که انتظار می‌رود اتصال مفصلی تحت بارهای حداکثر، حرکت نسبی بین قطعات متصل شده را تحمل نماید، قطر سوراخ پین نباید بیش از ۲ میلی‌متر بزرگتر از قطر پین باشد.

$$d_h \leq d_p + 2^{mm}$$

می‌توان گوشه‌های بعد از محل پین را تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور طولی عضو، پخ زد مشروط بر آنکه باقیمانده بعد از سوراخ مفصل در امتداد عمود بر خط بریده شده، کمتر از سطح مقطع بعد از سوراخ، به موازات محور عضو نباشد.



شکل ۳-۳- تسمه با عرض ثابت

۳-۷-۳- تسمه‌های سرپهن با اتصال لولایی

ضخامت تسمه‌های سرپهن باید یکنواخت باشد (در صورت لزوم بدون در نظر داشتن ورق‌های تقویتی متصله). همچنین سرپهن این تسمه‌ها باید دایره‌ای و هم‌مرکز با سوراخ پین باشد. شعاع قسمت ماهیچه‌ای شکل که در لبه اتصال قسمت پهن به تسمه وجود دارد، نباید از شعاع سردایره‌ای شکل کمتر باشد.

در طراحی، عرض تسمه نباید بیشتر از ۸ برابر ضخامت آن در نظر گرفته شود ($W \leq 8t$). ضخامت تسمه را نباید کمتر از ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفت، مگر حالتی که بین اتصال دارای مهره باشد که با سفت کردن آنها قطعات جمع و فشرده شوند. فاصله بین لبه سوراخ تا لبه تسمه در امتداد عمود بر نیروی وارده، نباید کمتر از $\frac{2}{3}$ و بیشتر از $\frac{3}{4}$ عرض تسمه در نظر گرفته شود.

$$\frac{2}{3}W \leq b \leq 0.75W$$

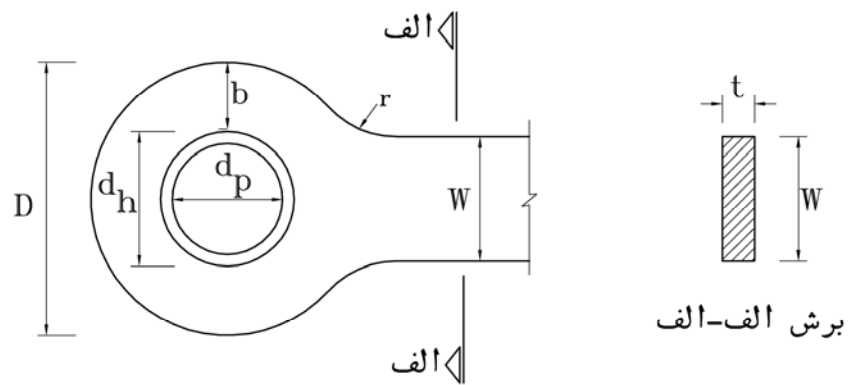
قطر پین نباید از $\frac{7}{8}$ برابر عرض تسمه کمتر باشد.

$$d_p \geq \frac{7}{8}W$$

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

$$d_h \leq d_p + 2^{mm}$$

برای فولادهای پرمقاومت، ($F_y > 4900 \text{ kg/cm}^2$)، قطر سوراخ پین نباید از ۵ برابر ضخامت تسمه تجاوز کند و عرض تسمه باید متناسباً کاهش داده شود.



شکل ۳-۴- تسمه سرپهن

فصل چهارم

اعضای خمشی (تیرها و تیورورها)

۴-۱- کلیات

این فصل شامل ضوابط مربوط به طراحی اعضای خمشی زیر می‌باشد:

- تیرها از نیمرخ نرده شده IPB, IPE, INP
- تیورورها با یک یا دو محور تقارن که در صفحه تقارن خود بارگذاری شوند.
- تیر از نیمرخهای ناودانی که در صفحه مار بر مرکز برش و موازی صفحه جان ناودانی بارگذاری شود و یا در مقابل پیچش در محل نقطه اثر بار و تکیه‌گاه مقید شده باشد.

۴-۲- مقطع خالص تیرها

ابعاد لازم برای تیورورها، با محاسبه ممان اینرسی مقطع کلی تعیین می‌شود. فرض می‌شود که وجود سوراخهای پیچ و پرچ (چه کارخانه‌ای و چه کارگاهی) در بالها، از ممان اینرسی نمی‌کاهد، مگر در حالتی که نسبت سطح مقطع خالص به سطح مقطع کل بال کششی در رابطه زیر صدق نماید:

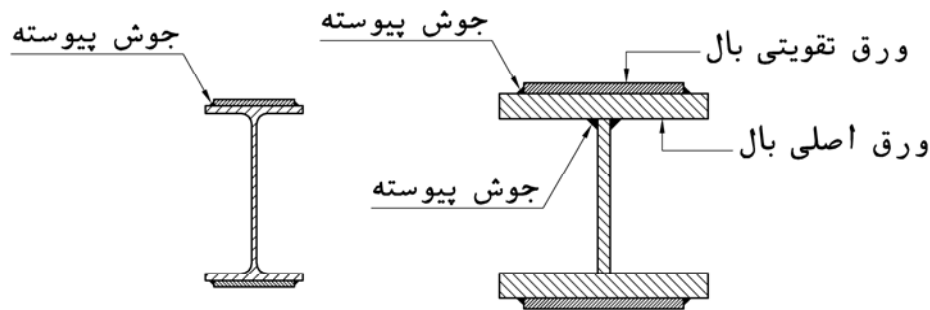
$$\frac{A_{fn}}{A_{fg}} \leq 0.85$$

Fy = تنش جاری شدن (kg/cm²)

در این صورت از سطح مقطع سوراخدار بال کششی استفاده می‌شود، لیکن می‌توان از جابجایی تار خشی بواسطه این سوراخها صرف‌نظر نمود.

۴-۳- بالها

۴-۳-۱- بالهای تیورورها متشکل از تسمه‌های بریده شده از ورق می‌باشد که به کمک جوش شیاری نفوذی سربه‌سر به هم یکسره شده‌اند. حسب نیاز مساحت بال می‌تواند تغییر نماید. این تغییر می‌تواند به کمک تغییر عرض، تغییر ضخامت و یا افزودن ورق تقویت انجام بگیرد. به استثنای تیورورهای مختلط، سطح مقطع کل بال فشاری نباید کمتر از سطح مقطع کل بال کششی گردد.



شکل ۴-۱- تقویت بال‌ها

۴-۳-۲- نسبت عرض کلی بال به ضخامت آن باید مطابق جدول ۲-۱ باشد.

۴-۳-۳- پیچ‌های پرمقاومت، پرچ و یا جوش که بال و جان تیرورق را به یکدیگر و یا ورقهای تقویتی را به بال اتصال می‌دهد، باید در مقابل برش افقی کل ناشی از نیروهای خمشی وارد بر تیر محاسبه شوند. طرز توزیع این پیچها، پرچها و یا جوش در طول تیر باید با شدت برش در طول آن متناسب باشد. فواصل طولی محوره‌محور بین پیچها یا پرچها نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

الف: حالتی که وسایل اتصال در خطوط اتصال مجاور پس و پیش نباشند:

$$\frac{1060}{\sqrt{F_y}} t \leq 30 \text{ cm}$$

ب: حالتی که وسایل اتصال در خطوط اتصال مجاور پس و پیش قرار گیرند:

$$\frac{1590}{\sqrt{F_y}} t \leq 45 \text{ cm}$$

t = ضخامت ورق تقویتی

در صورتیکه شرایط خوردگی مطرح باشد، فواصل پیچها نباید از ۱۰ برابر ضخامت ورق بیشتر باشد.

۴-۳-۴- پیچها، پرچها، و یا جوشهایی که بال و جان را به هم اتصال می‌دهد، باید طوری محاسبه شوند که قادر باشند بارهای مستقیم بر روی بال را نیز به جان تیر انتقال دهند، مگر اینکه پیش‌بینی شده باشد که چنین بارهایی مستقیماً به وسیله سخت‌کننده‌های فشاری منتقل شوند.

۴-۳-۵- ورقهای تقویتی بال

۴-۳-۵-۱- حداقل طول ورق تقویتی که به یک تیر ورق یا تیر نورد شده اضافه می‌گردد، نباید از $(2d+90)$ cm کمتر گردد که d ارتفاع کل تیر می‌باشد.

۴-۳-۵-۲- ضخامت ورق تقویتی تک نباید از دو برابر ضخامت بالی که بدان متصل می‌شود بزرگتر گردد. در صورت استفاده از چند ورق تقویتی، مجموع ضخامتهای آنها نباید از $\frac{2}{5}$ برابر ضخامت بالی که بدان متصل می‌شوند، بزرگتر باشد.

۴-۳-۵-۳- در صورتیکه ضخامت بال بیشتر از ۲۰ میلیمتر بوده و بال تحت بارهای خستگی در وضعیت کششی یا معکوس قرار داشته باشد، نمی‌توان بدان ورق تقویتی با طول محدود متصل کرد و ورق تقویتی باید در تمام طول دهانه اجرا گردد.

۴-۳-۵-۴- ورقهای تقویتی که در تمام طول تیر ادامه ندارند، باید بعد از نقطه قطع محاسباتی^۱، به اندازه a ادامه یابند به طوری که در این طول اضافی اتصال کامل بین ورق و بال برقرار باشد. اتصال در این قسمت باید قادر باشد که در حد تنش مجاز نظیر، با نیروی حاصل از خمش سهم ورق تقویتی در نقطه قطع تنوریک مقابله کند. در تیورورقهای با اتصال جوشی، جوشهایی که انتهای ورق تقویتی قطع شده در طول a را به تیر متصل می‌کند، باید شرایط زیر را برآورده نماید:

۱- جوشهای به طول a باید کافی باشد تا در حد تنش مجاز نظیر بتواند با نیروی حاصل از خمش سهم ورق تقویتی که در نقطه‌ای به فاصله a از انتهای ورق تقویتی بوجود می‌آید، مقابله کند.

۲- طول a که از انتهای ورق تقویتی اندازه‌گیری می‌شود باید برابر باشد با:

الف: $\frac{1}{5}$ برابر پهنای ورق تقویتی در حالتی که جوش اتصال پیوسته و در دو لبه طرفین و انتهای ورق تقویتی اجرا گردد.

ب: دو برابر پهنای ورق تقویتی، در حالتی که جوش پیوسته فقط در دو لبه طرفین ورق (به طول a) وجود دارد و در لبه انتهایی جوش اجرا نمی‌شود.

در انتهای باریک شونده، عرض لبه انتهای ورق تقویتی نباید از ۷۵ میلیمتر کمتر باشد.

دامنه تنش در نقطه قطع عملی ورق باید در حد دامنه تنش خستگی باشد.

۴-۳-۵-۵- در صورت استفاده از اتصالات پرچی و پیچی پیش‌تنیده، نسبت عرض به ضخامت بال نبشی اتصال دهنده بال فشاری به جان، نباید از مقادیر جدول ۲-۱ تجاوز نماید.

^۱ - نقطه قطع محاسباتی، نقطه‌ای است که تنش خمشی در مقطع تیر بدون ورق تقویتی به علت بارهای وارده، مساوی تنش خمشی مجاز باشد.

۴-۴- دهانه محاسباتی تیرها

دهانه محاسباتی تیرها، مرکز به مرکز تکیه گاهها در نظر گرفته می شود.

۴-۵- نسبت ارتفاع به دهانه

در تیرها و شاهتیرها، نسبت ارتفاع به دهانه ترجیحاً نباید کمتر از $\frac{1}{25}$ شود. در تیرهای مرکب (مختلط)، ارتفاع شامل ضخامت دال بتنی نیز می شود. در اینگونه تیرها، ارتفاع تیر فولادی به تنهایی نباید کمتر از $\frac{1}{30}$ گردد. در دهانه های سراسری، طول تیر برای محاسبه نسبت فوق، فاصله نقاط عطف بار مرده در نظر گرفته می شود.

۴-۶- افتادگی

در تیرهای ساده و یا یکسره، افتادگی (تغییر شکل قائم) ناشی از بار زنده و ضربه نباید از $\frac{1}{800}$ دهانه تجاوز نماید. در پل های شهری این حد به $\frac{1}{1000}$ دهانه کاهش می یابد. افتادگی بازوهای طره ای به علت بار زنده و ضربه نباید از $\frac{1}{300}$ طول طره تجاوز نماید. برای بازوهای طره ای با کاربری پیاده رو، این حد به $\frac{1}{360}$ دهانه کاهش می یابد. در محاسبه تغییر شکل ها، می توان از مدل سه بعدی عرشه با منظور کردن اعضای عرضی (دیافراگم ها) و یا سایر اجزای یکپارچه کننده عرشه استفاده نمود. در محاسبه تغییر شکل از ممان اینرسی سطح مقطع کلی عضو استفاده می شود.

۴-۷- پیش خیز

تیرها باید طوری پیش خیز داده شوند که پس از اعمال تمام بارهای مرده، منطبق بر پروفیل طولی مورد نظر پل گردند. مقدار پیش خیز باید در نقشه ها نشان داده شود.

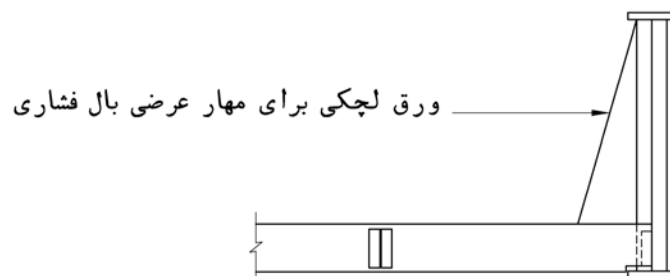
۴-۸- تکیه گاه انتهایی

۴-۸-۱- برای تیرها با دهانه کمتر از ۱۵ متر، تکیه گاه انتهایی نیاز به تدابیر خاصی برای هماهنگی با تغییر شکل ندارد. برای دهانه ۱۵ متر و بیشتر، برای تکیه گاه انتهایی باید بالشتک مناسب برای هماهنگی با تغییر شکل تیر و دوران انتهایی تعبیه گردد. این بالشتک می تواند ورق محدب، بالشتک الاستومر، یا از نوع یاتاقانی (مفصلی) باشد.

- ۴-۸-۲- یک انتهای تیر باید مفصل ثابت باشد تا بتواند با نیروهای طولی مقابله نماید. برای هماهنگی با تغییرشکل‌های طولی عرشه به علت تغییرات درجه حرارت، انتهای دیگر باید بصورت لغزشی باشد.
- برای دهانه‌های کمتر از ۱۵ متر تکیه‌گاه لغزشی می‌تواند یک ورق ساده تنها باشد. برای دهانه‌های بزرگتر از ۱۵ متر، انبساط و انقباض دهانه باید با استفاده از یک تکیه‌گاه لغزشی مناسب شامل بالشتک الاستومر، تکیه‌گاه یاتاقانی گهواره‌ای و یا جزئیات مشابه باشد.
- ۴-۸-۳- باید با استفاده از ضامن‌ها و مهارهای مناسب پایداری لغزشی و واژگونی عرشه در مقابل نیروهای جانبی زلزله تامین گردد. برای این منظور باید به آیین‌نامه طرح پلها در مقابل زلزله مراجعه شود.

۴-۹- سیستم‌های مهاربندی در عرشه‌های متشکل از تیر I

- ۴-۹-۱- در عرشه‌های متشکل از تیرهای I باید سیستم‌های بادبندی زیر تعبیه گردد:
- الف: دیافراگم یا تیرعرضی انتهایی در محل تکیه‌گاهها. این دیافراگم یا تیر عرضی انتهایی باید مقاومت کافی در مقابل نیروی جک زدن برای بلندکردن عرشه به منظور تعویض نئوپرن را داشته باشند.
- ب: دیافراگم یا تیرهای عرضی در داخل دهانه در فواصل کمتر یا مساوی ۷/۵ متر. امتداد دیافراگم‌های داخلی باید عمود بر تیرهای اصلی باشد.
- پ: بادبندی افقی در صفحه بال فوقانی. اگر بال فوقانی به دال بتنی کف یا هر کف دیگری با سختی جانبی کافی، متصل شده باشد، لزومی به انجام این مهاربندی نمی‌باشد.
- ت: بادبندی افقی در صفحه بال تحتانی (اختیاری)
- ۴-۹-۲- نیروی بادبندیها و دیافراگم براساس فشار بادی معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع سطح بادگیر محاسبه می‌گردد. نصف این فشار به بال تحتانی و نصف آن به بال فوقانی اعمال می‌شود.
- ۴-۹-۳- ارتفاع حداقل دیافراگم‌ها یا تیرهای عرضی، $\frac{1}{4}$ و یا ترجیحاً $\frac{3}{4}$ ارتفاع تیر اصلی، می‌باشد.
- ۴-۹-۴- حداقل نیمرخ به کاررفته در دیافراگم‌ها و بادبندی‌ها، نبشی ۸×۸۰×۸۰ می‌باشد.
- ۴-۹-۵- در صورتیکه بال فشاری تیر مربوط به عرشه میانگذار باشد و امکان مهاربندی عرضی بال فشاری موجود نباشد، باید بال فشاری را به کمک ورق لچکی مثلثی شکل به تیر عرضی کف متصل نمود.



شکل ۴-۲

۴-۹-۶- تنش موجود در بال تحتانی تیرورقها تحت بار جانبی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$f = Rf_{cb} \quad (۱-۴)$$

در رابطه فوق داریم:

$$R = [0.75L - 11] \left(\frac{0.305}{S_d} \right)^{0.67} \quad (\text{بال تحتانی بادبندی نشده است}) \quad (۲-۴)$$

$$R = [0.2L - 0.64] \left(\frac{0.305}{S_d} \right)^{0.5} \quad (\text{بال تحتانی بادبندی شده است}) \quad (۳-۴)$$

$$f_{cb} = \frac{M_{cb} \times 10^5}{S_f} \quad (۴-۴)$$

$$M_{cb} = 0.08WS_d^2 \quad (۵-۴)$$

$$S_f = \frac{t_f b_f^2}{6} \quad (۶-۴)$$

W = نیروی باد بر سطح جانبی تیرورق در واحد طول (تن بر متر)

S_d = فواصل دیافراگم (متر)

L = طول دهانه کلی (متر)

t_f = ضخامت بال تحتانی (cm)

b_f = عرض بال تحتانی (cm)

M_{cb} = لنگر (تن - متر)

f = تنش (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

۴-۹-۷- حداکثر نیروی افقی F_d در دیافراگمها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_d = 1.14WS_d \quad (۷-۴)$$

که W و S_d مطابق مقادیر تعریف شده قبلی می‌باشد.

۴-۱۰- تنش‌های خمشی مجاز

۴-۱۰-۱- تنش فشاری مجاز ناشی از خمش در تارهای انتهایی اعضای خمشی از نیمرخ I که نسبت به صفحه جان

خود دارای تقارن بوده و در همین صفحه بارگذاری شده‌اند برابر است با:

$$F_b = 0.55F_y \left[1 - \frac{6(L/b)^2}{C_c^2} \right] \leq 0.55F_y \quad (۸-۴)$$

که در رابطه فوق:

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

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

$$L = \text{طول قسمتی از بال فشاری که در جهت عرضی اتکا ندارد (cm)}$$

$$b = \text{عرض بال فشاری}$$

$$C_c = \text{لاگری مرز بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی}$$

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \quad (9-4)$$

$$E = \text{ضریب ارتجاعی فولاد (kg/cm}^2\text{)}$$

آیین‌نامه آشتو اجازه نمی‌دهد طول L آنقدر زیاد شود که امکان کمانش ارتجاعی ستونی بال فشاری ممکن باشد. طول L باید در رابطه زیر صدق کند:

$$\frac{L}{b} \leq \pi \sqrt{\frac{E}{6F_y}} \quad (10-4)$$

برای فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ، روابط ۸-۴ تا ۱۰-۴ بصورت ساده شده زیر در می‌آیند.

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 \left\{ \begin{array}{l} F_b = 1320 - 0.476 \left(\frac{L}{b} \right)^2 \\ C_c = 130 \\ \frac{L}{b} < 37 \end{array} \right.$$

به جای استفاده از رابطه ۸-۴ می‌توان تنش خمشی مجاز را از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$F_b = \frac{3.5 \times 10^6 C_b \left(\frac{I_{yc}}{L} \right)}{S_{xc}} \sqrt{0.772 \frac{J}{I_{yc}} + 9.87 \left(\frac{d}{L} \right)^2} \leq 0.55 F_y \quad (11-4)$$

در رابطه فوق:

$$S_{xc} = \text{اساس مقطع تیر حول محور قوی نسبت به بال فشاری (cm}^3\text{)}$$

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

L = فاصله تکیه‌گاههایی که از تغییر مکان جانبی و یا پیچیدن بال فشاری جلوگیری می‌کند (cm). در تیرهای طره‌ای که فقط در محاذات تکیه‌گاه به طور جانبی نگهداری شده باشد، می‌توان L را برابر طول طره در نظر گرفت.

$$A_f = \text{سطح مقطع بال فشاری (cm}^2\text{)}$$

C_b = ضریب یکنواختی نمودار لنگر خمشی که از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (۱۲-۴)$$

در رابطه فوق، M_1 لنگر کوچکتر و M_2 لنگر بزرگتر در دو انتهای طول آزاد (بدون تکیه‌گاه جانبی) است که نسبت به محور قوی مقطع در نظر گرفته می‌شود. در صورتیکه M_1 و M_2 باعث انحنای مضاعف شوند، نسبت M_1/M_2 مثبت، و در حالتی که باعث انحنای ساده شوند، این نسبت منفی به حساب می‌آید.

اگر لنگر خمشی در بین دو انتهای طول آزاد، مقداری بزرگتر از لنگرهای دوانتها را به خود بگیرد، ضریب C_b برابر ۱ محسوب می‌شود.

در تیرهای طره‌ای می‌توان C_b را مساوی ۱ در نظر گرفت.

I_{yc} = ممان اینرسی بال فشاری نسبت به محور قائم مار بر صفحه جان (cm^4)

d = ارتفاع کلی مقطع

J = ثابت سن‌ونان مقطع تیر طبق رابطه زیر (cm^4):

$$J = \frac{1}{3} [\sum b t^3]$$

b عرض و t ضخامت عناصریال و جان تیر

L = فاصله دونقطه مهارشده (cm)

۴-۱۰-۲- تنشهای مجاز خمشی نسبت به محور ضعیف برای اعضای بامقطع I ، تسمه‌ها و ورقها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_b = 0.55 F_y \quad (۱۳-۴)$$

۴-۱۰-۳- تنش خمشی در اعضای با مقطع قوطی نورد شده، و لوله (مقطع دایره)، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_b = 0.55 F_y \quad (۱۴-۴)$$

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

۴-۱۱- تنشهای برشی مجاز

۴-۱۱-۱- در صورتیکه در تیر ورق سخت‌کننده عرضی تعبیه نشده باشد، تنش برشی مجاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_v = \frac{51 \times 10^5}{(h/t_w)^2} \leq \frac{F_y}{3} \quad (۱۵-۴)$$

که h ارتفاع و t_w ضخامت جان می‌باشد.

در صورتیکه $\frac{h}{t_w} > 150$ و یا تنش برشی موجود بزرگتر از مقدار فوق باشد، تعبیه سخت‌کننده عرضی الزامی است.

۴-۱۱-۲- وقتی که f_v بزرگتر از F_v طبق رابطه ۴-۱۵ باشد، نیاز به سخت‌کننده عرضی خواهیم داشت. در حالت اخیر

فاصله سخت‌کننده‌ها به $3h$ یا $h \left(\frac{260}{h/t_w} \right)^2$ (هرکدام که کوچکترند)، محدود می‌شود و تنش برشی مجاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_v = \frac{F_y}{3} \left[C_v + \frac{0.87(1 - C_v)}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (\text{با استفاده از عمل دستکهای کششی}) \quad (۴-۱۶)$$

$$F'_v = C_v \frac{F_y}{3} \quad (\text{بدون استفاده از عمل دستکهای کششی}) \quad (۴-۱۷)$$

که در روابط فوق:

h = ارتفاع جان (cm)

a = فواصل سخت‌کننده‌های عرضی (cm)

F_y = تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)

F_v = تنش برشی مجاز (kg/cm^2)

C_v = نسبت تنش کمانش برشی طبق روابط زیر:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1600 \sqrt{\frac{K}{F_y}} \rightarrow C_v = 1 \quad (۴-۱۸)$$

$$1600 \sqrt{\frac{K}{F_y}} \leq \frac{h}{t_w} < 2000 \sqrt{\frac{K}{F_y}}$$

$$C_v = \frac{1600}{(h/t_w)} \sqrt{\frac{K}{F_y}} > 0.8 \quad (۴-۱۹)$$

$$\frac{h}{t_w} > 2000 \sqrt{\frac{K}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{3.15 \times 10^6 K}{(h/t_w)^2 F_y} \leq 0.8 \quad (۴-۲۰)$$

$$K = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (۴-۲۱)$$

در چشمه اول سخت‌کننده طوری قرار داده می‌شود که $a/h \leq 1.5$ باشد و تنش برشی بدون توجه به عمل میدان کششی از رابطه ۴-۱۷ بدست می‌آید.

۴-۱۲- ضخامت حداقل جان

در صورت عدم استفاده از سخت‌کننده‌های طولی، نسبت ارتفاع به ضخامت جان نباید از مقدار زیر تجاوز

نماید:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{6100}{\sqrt{f_b}} \leq 170 \quad (۴-۲۲)$$

h = ارتفاع جان در حد فاصل داخلی دو بال

t_w = ضخامت جان

f_b = تنش خمشی موجود (kg/cm^2)

در صورت استفاده از سخت‌کننده طولی، نسبت فوق را می‌توان دوبرابر نمود:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{12200}{\sqrt{f_b}} \leq 340 \quad (۴-۲۳)$$

۴-۱۳- سخت‌کننده‌های عرضی

۴-۱۳-۱- در تیروورق‌های جوشی، سخت‌کننده‌های عرضی ترجیحاً باید از ورق باشند این سخت‌کننده‌ها می‌توانند بصورت جفت در دو طرف جان و یا تک در یک طرف جان تعبیه گردند. در حالت جفت، سخت‌کننده‌ها باید به بال فشاری محکم شوند، و لزومی ندارد به آن جوش گردند. در حالت تک سخت‌کننده‌ها بهتر است به بال فشاری جوش گردند، جوش سخت‌کننده عرضی به بال کششی لازم نیست. در صورتیکه از سخت‌کننده برای اتصال دیافراگم‌های عرضی یا بادبندهای عرضی استفاده شود، سخت‌کننده باید به بال فوقانی و تحتانی جوش شود. در این صورت کاهش کلاس خستگی باید مورد توجه قرار گیرد.

۴-۱۳-۲- ممان اینرسی سخت‌کننده جفت نسبت به محور میانی جان و یا سخت‌کننده تک نسبت به سطح تماس با جان نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر کمتر گردد:

$$I = at_w^3 J$$

$$J = 2.5 \left(\frac{h}{a} \right)^2 - 2 \geq 0.5 \quad (۴-۲۴)$$

I = ممان اینرسی حداقل هر نوع سخت‌کننده نسبت به محور مرکزی جان

J = نسبت صلبیت سخت‌کننده به ورق جان

a = فاصله خالص سخت‌کننده‌های عرضی

h = ارتفاع خالص جان (در صورتیکه سخت‌کننده طولی وجود داشته باشد، فاصله بین سخت‌کننده طولی و بال)

$$t_w = \text{ضخامت ورق جان}$$

سطح مقطع کلی سخت‌کننده‌های عرضی میانی باید بزرگتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر باشد:

$$A = [0.15BDt_w(1 - C_v)(f_v / F_v) - 18t_w^2]Y \quad (25-4)$$

که در آن:

$$Y = \text{نسبت تنش تسلیم ورق جان به تنش تسلیم ورق سخت‌کننده}$$

$$B = \text{برای سخت‌کننده‌های جفت، } 1/8 \text{ برای سخت‌کننده نبشی و } 2/4 \text{ برای سخت‌کننده تک}$$

$$C_v = \text{طبق رابطه ۴-۱۸ تا ۴-۲۰}$$

در صورتیکه مقدار حاصل از رابطه ۴-۲۵ صفر و یا منفی گردد، تحقق شرط رابطه ۴-۲۴ کفایت می‌کند.

۴-۱۳-۳- عرض ورق سخت‌کننده یا عرض برجسته نبشی نباید از ۵۰ میلیمتر به علاوه $\frac{1}{30}$ ارتفاع تیر و از $\frac{1}{4}$ عرض کامل بال تیرورق کمتر باشد. نسبت عرض به ضخامت ورق سخت‌کننده یا بال برجسته نبشی نباید از ۱۶ تجاوز نماید.

۴-۱۴-۱- سخت‌کننده‌های طولی

۴-۱۴-۱-۱- سخت‌کننده طولی به فاصله $\frac{h}{5}$ از بال فشاری تیر و به موازات آن و در یک طرف جان و در حد فاصل سخت‌کننده‌های عرضی تعبیه می‌گردد. حداقل ممان اینرسی ورق سخت‌کننده طولی نسبت به سطح تماس با جان نباید کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر گردد:

$$I = ht_w^3 [2.4(\frac{a}{h})^2 - 0.13] \quad (26-4)$$

پارامترهای موجود در رابطه فوق در زیر رابطه ۴-۲۴ تعریف شده‌اند.

۴-۱۴-۲- نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده طولی باید در رابطه زیر صدق نماید:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{600}{\sqrt{f_b}} \quad (27-4)$$

که در آن:

$$b = \text{عرض سخت‌کننده}$$

$$f_b = \text{تنش فشاری خمشی در بال}$$

۴-۱۴-۳- تنش در سخت‌کننده نباید بزرگتر از تنش خمشی مجاز پایه برای مصالح سخت‌کننده باشد.

۴-۱۴-۴- سخت‌کننده‌های طولی معمولاً در یک طرف جان و بصورت مقطع درحد فاصل سخت‌کننده‌های عرضی قرار می‌گیرند.

۴-۱۴-۵- در صورت تعبیه سخت‌کننده‌های طولی، ارتفاع کلی جان باید در تمام روابط ذکر شده در قسمتهای قبل (شامل محاسبات مربوط به تنش برشی مجاز و مشخصات هندسی سخت‌کننده) مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۱۵- جوش سخت‌کننده‌های عرضی به جان

ورق‌های سخت‌کننده عرضی باید طوری به جان تیرورق متصل گردند که بتوانند برشی برابر و یا بیش از مقدار داده شده در ذیل را تحمل کنند:

$$f_{vs} = h \sqrt{\left(\frac{F_y}{1400} \right)^3} \quad (۴-۲۸)$$

f_{vs} = جریان برش برحسب کیلوگرم برسانتیمتر طول یک ورق و یا یک زوج ورق سخت‌کننده

F_y = تنش تسلیم فولاد جان

h = ارتفاع جان

جوش فوق بصورت پیوسته انجام شده و باید در فاصله‌ای نه کمتر از $4t_w$ و نه بیشتر از $6t_w$ از بال کششی قطع گردند.

۴-۱۶- سخت‌کننده‌های فشاری

۴-۱۶-۱- در محل تاثیر نیروهای متمرکز و یا واکنشهای تکیه‌گاهی باید سخت‌کننده‌های فشاری تعبیه گردد. سخت‌کننده‌های فشاری باید در تمام ارتفاع جان ادامه داشته باشند.

۴-۱۶-۲- نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده فشاری نباید بیشتر از $12 \leq \sqrt{f_a} / 430$ گردد و عرض آن نباید کوچکتر از $\frac{1}{3}$ عرض بال (بال عریض‌تر) گردد. f_a تنش موجود در سخت‌کننده است.

۴-۱۶-۳- سخت‌کننده فشاری به صورت ستونی محاسبه می‌گردد که طول موثر آن h (ارتفاع جان) می‌باشد و سطح مقطع آن متشکل است از سطح مقطع جفت سخت‌کننده فشاری به علاوه نواری از جان که پهنای آن در سخت‌کننده‌های فشاری $18t_w$ در نظر گرفته می‌شود.

۴-۱۶-۴- اگر بار عمود بر امتداد بال به صورت کششی باشد، سخت‌کننده باید به بال جوش شود. وقتی که بار به صورت فشاری است، سخت‌کننده یا باید با فشار مستقیم تماسی (با سطحی که کاملاً صاف و با بال جفت شده است)، بار را منتقل کند و یا اینکه اتصال جوشی کافی برای این انتقال تعبیه شود.

۴-۱۷- اثر مشترک برش و کشش

جان تیوررقهایی که به عمل میدان کششی متکی باشند، باید با توجه به تنشهای کششی حاصل از لنگر خمشی در جان محاسبه شود. یعنی تنشهای کششی در صفحه جان به علت لنگر خمشی، نباید از $0.55 F_y$ و نیز از مقداری که از رابطه زیر تعیین می‌گردد، بیشتر شود:

$$F'_b = \left(0.754 - 0.34 \frac{f_v}{F_y} \right) F_y \quad (۴-۲۹)$$

f_v = تنش برشی محاسبه شده موجود در جان

F_v = تنش برشی مجاز

۴-۱۸- تیوررقهای دوگانه

۴-۱۸-۱- این بخش مربوط به طراحی تیرهایی می‌شود که فولاد بکاررفته در جان تیوررق نسبت به فولاد یکی از بالها یا هر دو بال، دارای مقاومت کمتری باشد. اینگونه تیرها، شامل تیوررقهای مختلط و غیرمختلط و حتی تیوررقهای مختلط جعبه‌ای می‌باشند. در هر مقطع عرضی که تنش خمشی در هر کدام از بالها از ۵۵ درصد تنش تسلیم فولاد جان تجاوز کند، سطح بال فشاری نباید کمتر از سطح بال کششی باشد. سطح بال فوقانی شامل سطح تبدیل یافته هر بخشی از دال یا آرماتورهایی که فرض می‌شوند بصورت مرکب با تیرهای فولادی عمل می‌کنند، می‌باشد.

۴-۱۸-۲- تنش مجاز خمشی

۴-۱۸-۲-۱- در صورتیکه تنش در هر یک از بالها از حاصلضرب تنش مجاز حاصل از روابط ارائه شده در این آیین‌نامه در ضریب کاهش R بیشتر نگردد، تنش خمشی در جان می‌تواند از مقدار مجاز بیشتر گردد. ضریب کاهش R طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R = 1 - \frac{\beta\psi(1-\alpha)^2(3-\psi+\psi\alpha)}{6+\beta\psi(3-\psi)} \quad (۴-۳۰)$$

که در آن:

α = نسبت تنش تسلیم فولاد جان به تنش تسلیم فولاد بال کششی

β = نسبت مساحت جان به مساحت بال کششی

ψ = نسبت فاصله تار خارجی بال کششی تا محور خنثای مقطع (مقطع تبدیل یافته برای تیرهای مختلط) به ارتفاع مقطع فولادی

۴-۱۸-۲-۲- تنش خمشی در دال بتنی تیرهای مرکب (مختلط) نباید از تنش مجاز بتن ضربدر R بیشتر شود.

۴-۱۸-۳- برش

تنش برشی متوسط در جان تیورق‌های دوگانه نباید از مقدار حاصل از رابطه ۴-۱۷ تجاوز نماید. استفاده از رابطه ۴-۲۹ برای تیورق‌های دوگانه مجاز نیست.

۴-۱۸-۴- خستگی

تیورق‌های دوگانه باید برای دامنه تنش خستگی که در فصل خستگی ارائه شده، کنترل گردند.

۴-۱۸-۵- نسبت‌های عرض به ضخامت

در محاسبه نسبت‌های عرض به ضخامت مجاز برای جان و بال، f_b ‌های موجود در روابط باید بر R تقسیم گردد.

۴-۱۸-۶- سخت‌کننده‌های فشاری

در طراحی سخت‌کننده‌های فشاری در تیورق‌های دوگانه یکسره که در آنها α کمتر از ۰.۷ است، هیچ قسمتی از جان در تحمل نیروها دخالت داده نمی‌شوند.

فصل پنجم

تیرهای مختلط (مرکب)

۱-۵- معرفی

این بخش شامل دستورالعمل‌های طراحی تیرهای فولادی می‌باشد که دال بتن آرمه به کمک اتصالات برشگیر بدان متصل بوده و از این پس تیر مختلط خوانده می‌شوند.

۲-۵- مقطع مختلط

محاسبات مقطع مختلط، با استفاده از مفهوم مقطع تبدیل یافته انجام می‌شود. جنس مقطع تبدیل یافته برحسب فولاد انتخاب شده و برای تبدیل، عرض موثر دال بتنی بر ضریب تبدیل n تقسیم می‌شود. n نسبت ضریب ارتجاعی فولاد به بتن می‌باشد.

۳-۵- ضریب تبدیل n

ضریب تبدیل n یا نسبت ضریب ارتجاعی فولاد به بتن با توجه به مقاومت مشخصه بتن مطابق جدول ۱-۵ انتخاب می‌شود.

جدول ۱-۵- مقادیر ضریب تبدیل n

f_c (مقاومت مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن - kg/cm^2)	n
$f_c = 200$	10
$200 < f_c \leq 250$	9
$250 < f_c \leq 300$	8
$300 < f_c \leq 400$	7
> 400	6

۴-۵- تاثیر خزش

برای منظور کردن اثرات خزشی بتن تحت بارهای دائمی، ضریب تبدیل n باید ۳ برابر گردد.

۵-۵- بتن های خاص

در صورت استفاده از بتن با خواص انبساطی، طراحی مقطع مختلط باید توام با احتیاط انجام شده و تمهیداتی برای انطباق با انبساط در نظر گرفته شود.

۵-۶- محل تار خشی

در دهانه‌های ساده و در نواحی لنگر مثبت دهانه‌های یکسره، تناسبات مقطع مختلط باید طوری انتخاب گردد که تار خشی در زیربال فوقانی تیر فولادی قرار گیرد.

۵-۷- اثر بتن در ناحیه لنگر منفی

بتن موجود در نواحی لنگر منفی نباید در محاسبات مربوط به لنگر مقاوم مورد استفاده قرار گیرد. در این نواحی فقط آرماتورهای موازی محور تیر می‌توانند بصورت مرکب با مقطع فولادی در محاسبات مربوط به لنگر مقاوم مشارکت نمایند. از بتن ناحیه لنگر منفی می‌توان در محاسبه ممان اینرسی برای محاسبات تغییرشکل و یا تعیین پارامترهای سختی در تحلیل سازه استفاده نمود.

۵-۸- کمانش جانبی بال فشاری قبل از گیرش بتن

در هنگام بتن‌ریزی دال، کمانش جانبی بال فشاری تیر فولادی باید کنترل گردد.

۵-۹- عرض موثر

عرض موثر دال بتنی که با تیر بصورت مقطع T مختلط عمل می‌نماید، نباید بزرگتر از حداقل مقادیر حاصل از معیارهای زیر منظور گردد:

الف) یک چهارم دهانه محوره محور تیر

ب) فاصله مرکز به مرکز تیرها

پ) ۱۲ برابر ضخامت حداقل دال

ت) فاصله تا لبه آزاد بتن

برای تیرهایی که بال آنها فقط در یک طرف می‌باشد، عرض موثر نباید بزرگتر از حداقل مقادیر حاصل از معیارهای زیر منظور گردد:

الف) یک دوازدهم طول دهانه

ب) نصف فاصله مرکز به مرکز تا تیر مجاوز

پ) ۶ برابر ضخامت دال

۵-۱۰- عدم استفاده از پایه موقت

در صورتیکه در هنگام بتن‌ریزی دال، در زیر تیر فولادی از پایه‌های موقت استفاده نشده باشد، تنش‌های حداکثر در تیر فولادی و دال بتنی مجموع سه گروه تنش زیر خواهد بود:

الف) تنش در تیر فولادی تنها به علت وزن تیر، دال بتنی، و وزن قالب‌بندی.

ب) تنش در مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$ به علت بارهای مرده اضافی (مثل وزن آسفالت، نرده، پیاده‌رو و...).

پ) تنش در مقطع مختلط با ضریب تبدیل n به علت بارهای زنده و ضربه.

از مجموع تنش‌های فوق، می‌توان تنش ناشی از قالب‌برداری از مقطع مرکب با ضریب تبدیل n را کسر نمود.

۵-۱۱- استفاده از پایه موقت

در صورتیکه در هنگام بتن‌ریزی دال، در زیر تیر فولادی از پایه‌های موقت استفاده شده باشد، تنش‌های حداکثر در تیر فولادی و دال بتنی مجموع دو گروه تنش زیر خواهد بود:

الف) تنش در مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$ به علت کلیه بارهای مرده.

ب) تنش در مقطع مختلط با ضریب تبدیل n به علت بارهای زنده و ضربه.

۵-۱۲- تیرهای مختلط سراسری

در تیرهای مختلط پیوسته، اتصالات برشی را می‌توان در سرتاسر طول دهانه و یا فقط در نواحی لنگر مثبت مورد استفاده قرار دارد. طراحی ناحیه لنگر مثبت، مشابه طراحی تیر ساده می‌باشد. در نواحی لنگر منفی در صورتیکه از آرماتورهای طولی در تعیین لنگر مقاوم استفاده شده باشد، باید اتصالات برشگیر نصب گردد. در غیراینصورت وجود اتصال برشگیر لازم نبوده و باید طبق بند ۵-۱۵-۹ عمل نمود. در صورت جوش دادن سخت‌کننده‌ها به بال کششی باید به کاهش کلاس خستگی بال فشاری توجه نمود.

۵-۱۳- ناحیه لنگر منفی

در نواحی لنگر منفی، حداقل سطح مقطع آرماتورهای طولی ۱ درصد سطح مقطع بتنی می‌باشد که $\frac{2}{3}$ آن باید در محدوده عرض موثر و در تار فوقانی دال قرار داده شوند.

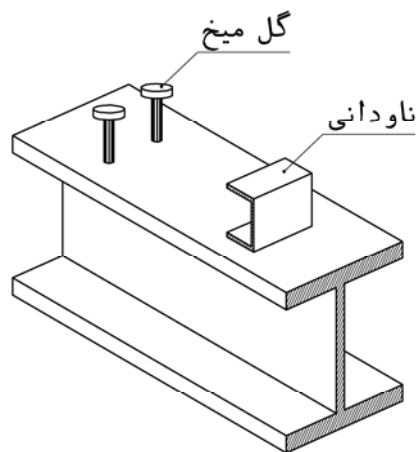
۵-۱۴- اتصال برشگیر در ناحیه لنگر منفی

وقتی که اتصالات برشگیر از ناحیه لنگر منفی حذف می‌گردند، آرماتورهای طولی دال باید به اندازه ۴۰ برابر قطر از نقطه عطف عبور کرده و وارد ناحیه لنگر مثبت گردند.

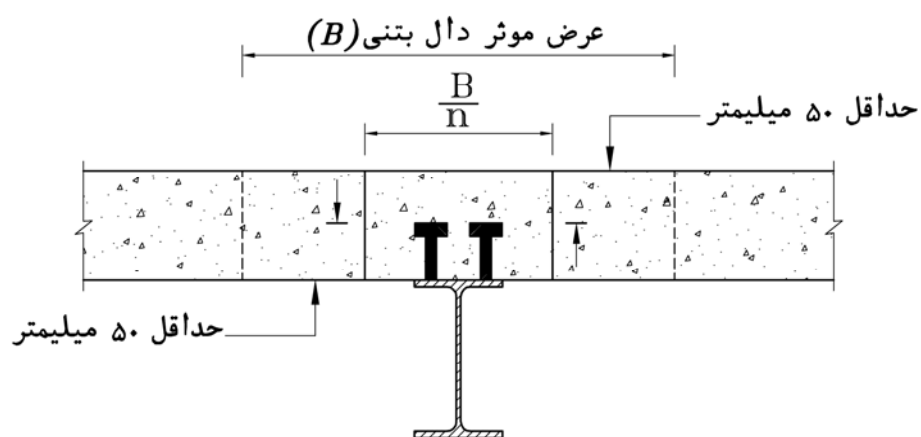
۵-۱۵-۵- اتصالات برشگیر

۵-۱۵-۱- به منظور تامین رفتار مختلط بین تیر فولادی و دال بتنی، باید وسایل مکانیکی خاصی برای انتقال برش افقی موجود در فصل مشترک آنها تعبیه گردد (شکل ۵-۱).

۵-۱۵-۲- حداقل پوشش بتن روی سطح فوقانی اتصال، ۵۰ میلیمتر می باشد و برشگیر باید حداقل ۵۰ میلیمتر در بتن فرورفته باشد (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۱- اتصالات برشگیر



شکل ۵-۲

۵-۱۵-۳- در هنگام استفاده از برشگیر ناودانی، حداقل اندازه جوشی که در دورادور آن اجرا می‌گردد، ۵ میلیمتر می‌باشد.

۵-۱۵-۴- حداقل فاصله لبه اتصال برشگیر تا لبه ورق بال، ۲۵ میلیمتر است. فاصله مرکز به مرکز دو اتصال برشگیر مجاور، نباید از ۱۰۰ میلیمتر کمتر باشد.

۵-۱۵-۵- حداکثر فاصله اتصالات برشگیر در امتداد طولی ۶۰۰ میلیمتر می‌باشد. از این قاعده در نواحی لنگر منفی که از جوش اتصال برشگیر به واسطه مسائل تمرکز تنش و خستگی نگرانی وجود دارد، می‌توان عدول نمود.

۵-۱۵-۶- اتصالات برشگیر باید بر مبنای خستگی محاسبه شده و برای مقاومت نهایی کنترل گردند.

۵-۱۵-۷- طراحی برشگیر برای خستگی

۵-۱۵-۷-۱- در طراحی برای خستگی، فواصل طولی اتصالات برشگیر در محل موردنظر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P = \frac{\sum Z_r}{S_r} \leq 60cm \quad (۱-۵)$$

۵-۱۵-۷-۲- S_r دامنه تغییرات برش افقی در نقطه موردنظر در محل اتصال بال فوقانی و دال بتنی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S_r = \frac{V_r Q}{I} \quad (۲-۵)$$

که در آن:

S_r = دامنه تغییرات برشی افقی در محل اتصال بال فوقانی و دال بتنی (kg/cm)

V_r = دامنه تغییرات نیروی برشی مقطع به علت بارزنده و ضربه در نقطه موردنظر (kg)

$$V_r = V_{\max} - V_{\min}$$

Q = لنگر استاتیکی بال بتنی (یا آرماتورهای طولی در ناحیه لنگر منفی) نسبت به تارخشیای مقطع مختلط تبدیل یافته (cm^3).

I = ممان اینرسی مقطع مختلط تبدیل یافته (cm^4). در نواحی لنگر منفی به جای بال بتنی، مشارکت آرماتورهای طولی در محاسبه I منظور می‌گردد.

۵-۱۵-۷-۳- Z_r دامنه تغییرات نیروی مجاز برشگیر برحسب کیلوگرم برای هر قطعه اتصال است که از روابط صفحه بعد بدست می‌آید:

الف) برای اتصال برشگیر ناودانی:

$$Z_r = BW \quad (۳-۵)$$

ب) برای گل‌میخ ($H/d \geq 4$)

$$Z_r = \alpha d^2 \quad (۴-۵)$$

در روابط فوق مقادیر B و α که تابع تعداد تکرار می‌باشند، از جدول ۲-۵ تعیین می‌گردد.

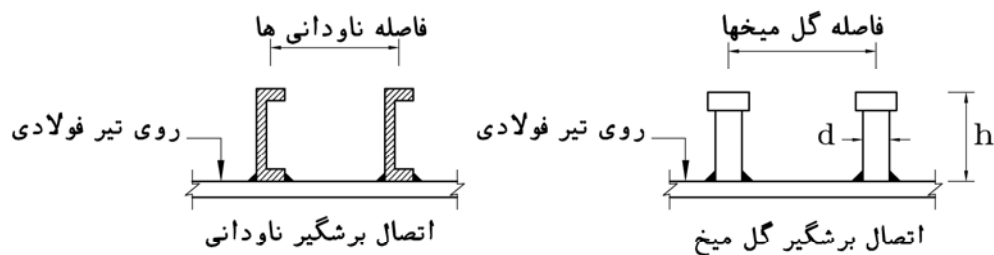
جدول ۲-۵

تعداد تکرار	۱۰۰.۰۰۰	۵۰۰.۰۰۰	۲.۰۰۰.۰۰۰	>۲.۰۰۰.۰۰۰
B	۷۱۵	۵۳۵	۴۳۰	۳۷۵
α	۹۱۵	۷۴۵	۵۵۰	۳۸۵

W = طول ناودانی (cm)

d = قطر گلمیخ (cm)

H = ارتفاع گلمیخ (cm)



شکل ۳-۵

۵-۱۵-۸- طراحی برای مقاومت نهایی

۵-۱۵-۸-۱- در تیرهای ساده تعداد اتصالات برشگیر بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و تکیه‌گاه انتهایی مجاور برابر است با:

$$N_l = \frac{P}{\phi S_u} \quad (۵-۵)$$

که در آن:

N_1 = تعداد اتصالات برشگیر بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و تکیه‌گاه انتهایی مجاور

S_u = مقاومت نهایی یک اتصال برشگیر (kg)

ϕ = ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸۵

P = نیروی برشی افقی که باید انتقال داده شود (kg). نیروی P کوچکترین مقدار دو نیروی زیر خواهد بود:

$$P_1 = A_s F_y \quad (۶-۵)$$

$$P_2 = 0.85 f_c b t_s \quad (۷-۵)$$

در روابط فوق:

A_s = سطح مقطع کلی مقطع فولادی شامل ورقهای تقویتی (cm^2)

F_y = تنش جاری شدن فولاد (kg/cm^2)

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن (kg/cm^2)

b = عرض موثر بال فشاری (cm)

t_s = ضخامت دال بتنی (cm)

۵-۱۵-۸-۲- مقاومت نهایی برشگیر (S_u)، از روابط زیر بدست می‌آید:

الف: برای اتصال برشگیر ناودانی:

$$S_u = 146 \left(h + \frac{t}{2} \right) W \sqrt{f_c} \quad (۸-۵)$$

ب: برای اتصال برشگیر گل‌میخ

$$S_u = 247 d^2 \sqrt{f_c} \quad (۹-۵)$$

که در آنها:

W = طول ناودانی (cm)

t = ضخامت جان ناودانی (cm)

h = ضخامت متوسط بال ناودانی (cm)

d = قطر گل‌میخ

۵-۱۵-۸-۳- در تیرهای سراسری، تعداد اتصال برشگیر لازم بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطه حداکثر لنگر خمشی منفی نباید از مقدار زیر کمتر گردد.

$$N_2 = \frac{P + P_3}{\phi S_u} \quad (۱۰-۵)$$

در رابطه فوق تمام نمادها در قبل تعریف شده‌اند و داریم:

$$P_3 = A_s^r F_y^{r*} \quad (۱۱-۵)$$

A_s^r = سطح مقطع کل میلگردهای طولی دال که در عرض موثر بال قرار گرفته و از آنها در ناحیه لنگر منفی در تعیین لنگر مقاوم خمشی استفاده شده است.
 F_y^{r*} = تنش تسلیم آرماتورهای طولی.

۵-۱۵-۹- در صورتیکه از آرماتورهای طولی دال در مقاومت خمشی ناحیه لنگر خمشی منفی استفاده نشود، لازمست در نقطه عطف لنگر خمشی، اتصالات برشگیر اضافی زیر تعبیه گردد:

$$N_c = A_r^2 f_r / Z_r \quad (۱۲-۵)$$

در رابطه فوق:

N_c = تعداد اتصال برشگیر اضافی برای هر تیر در نقطه عطف
 A_r^2 = سطح مقطع کلی آرماتورهای طولی ناحیه لنگر منفی سهم هر تیر
 f_r = دامنه تغییرات تنش برای بارزنده (در غیاب اطلاعات دقیقتر، می‌توان مقدار آنرا ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع منظور کرد).
 Z_r = دامنه مجاز نیروی برشی برای هر اتصال برشگیر

برشگیرهای فوق در محدوده $\frac{1}{3}$ عرض موثر دال در دو طرف نقطه عطف قرارداد می‌شوند.

۵-۱۶- نیروی برشی قائم

در مقاطع مختلط، اینطور فرض می‌شود که تمام برش قائم توسط سطح مقطع جان تیر فولادی حمل می‌گردد.

۵-۱۷- تغییرشکل تیرهای مختلط

در تیرهای مختلط که اجرای آنها بدون پایه موقت انجام می‌شود، تغییرشکل ناشی از وزن تیر و وزن دال و قالب‌بندی، با استفاده از ممان اینرسی تیر فولادی تنها انجام می‌شود. همچنین کلیه محدودیتهای ذکر شده درخصوص تغییرشکل تیرها، باید در مورد تیرهای مختلط رعایت گردد (بند ۴-۵ و ۴-۶).

فصل ششم

تیرهای جعبه‌ای

۶-۱- کلیات

این بخش مربوط به طراحی تیرهای جعبه‌ای عرشه‌های متشکل از دو یا چند تیر جعبه‌ای طولی در دهانه‌های ساده یا یکسره با طول متوسط می‌شود. فاصله مرکز به مرکز بالهای فوقانی تیورقهای جعبه‌ای باید یکسان، و متوسط فاصله مرکز به مرکز بالهای فوقانی تیورقهای جعبه‌ای مجاور نباید از ۱/۲ برابر فاصله مرکز به مرکز بالهای فوقانی هر تیر جعبه‌ای بیشتر و از ۰/۸ برابر آن کمتر باشد.

در هنگام کاربرد تیرهای غیرموازی، فاصله مرکز به مرکز بالهای مجاور در تکیه‌گاهها نباید از ۱/۳۵ برابر فاصله مرکز به مرکز بالهای هر تیر جعبه بیشتر و از ۰/۶۵ برابر آن کمتر گردد. طول طره لبه دال شامل جدول دست‌اندازها به ۶۰ درصد متوسط فاصله مرکز به مرکز بالهای تیورقهای جعبه‌ای مجاور محدود می‌شود، که نباید از ۱/۸ متر بیشتر گردد.

۶-۲- طراحی ورقهای جان

۶-۲-۱- برش قائم

برش طراحی V_w در صفحه جان تیورق طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_w = \frac{V_v}{\cos \theta} \quad (۱-۶)$$

که در آن:

$$V_v = \text{نیروی برشی در امتداد قائم}$$

$$\theta = \text{زاویه بین ورق جان و محور قائم}$$

۶-۲-۲- تنشهای خمشی ثانوی

۶-۲-۲-۱- ورقهای جان ممکن است بصورت قائم (بازاویه ۹۰ درجه نسبت به بال تحتانی) یا شیبدار بکار روند. چنانچه شیب جان نسبت به صفحه قائم بر بال تحتانی بزرگتر از ۱ افقی به ۴ قائم نباشد و عرض بال تحتانی نیز از ۲۰ درصد دهانه کمتر باشد، احتیاجی به در نظر گرفتن تنشهای خمشی عرضی به علت اعوجاج مقطع، و ارتعاش بال تحتانی نمی‌باشد. در مورد سازه‌هایی که در این طبقه قرار می‌گیرند، تنشهای خمشی عرضی به علت بارهای تکمیلی، شامل بارهای خدمات شهری، نباید از ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بیشتر شود.

۶-۲-۲-۲- در مورد سازه‌هایی که خارج از این حدود قرار می‌گیرند، باید ارزیابی دقیقی از تنش‌های خمشی عرضی ناشی از تمامی علل فوق، صورت گیرد. این تنشها باید به ۱۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع محدود شوند.

۶-۳- طراحی ورقهای بال تحتانی (متکی در دو لبه به ورق جان)

۶-۳-۱- بال تحتانی در کشش

۶-۳-۱-۱- در دهانه‌های ساده، در صورتیکه عرض بال تحتانی کششی کوچکتر از $\frac{1}{6}$ دهانه باشد، تمام عرض آن در کشش موثر فرض می‌گردد. چنانچه عرض ورق بال از $\frac{1}{6}$ طول دهانه بیشتر شود، فقط $\frac{1}{6}$ طول دهانه بعنوان عرض موثر در نظر گرفته می‌شود.

۶-۳-۱-۲- در دهانه‌های یکسره، به جای طول دهانه، فاصله بین دو نقطه عطف منظور شود.

۶-۳-۲- بال تحتانی در فشار (بدون سخت‌کننده‌های طولی و عرضی)

۶-۳-۲-۱- اگر نسبت عرض به ضخامت بال تحتانی، کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر باشد، تنش فشاری مجاز آن مساوی $0.55F_y$ منظور می‌شود:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{1625}{\sqrt{F_y}} \quad (۶-۲)$$

که:

$$\left(F_y = 2400 \rightarrow \frac{b}{t} \approx 35 \right) \quad \begin{aligned} b &= \text{عرض بال بین دو جان (سانتیمتر)} \\ t &= \text{ضخامت بال (سانتیمتر)} \end{aligned}$$

۶-۳-۲-۲- برای نسبتهای $\frac{b}{t}$ بزرگتر ولی نه بیشتر از ۶۰، تنشها در بال تحتانی سخت نشده، نباید از مقدار زیر بیشتر شود:

$$F_b = 0.55F_y - 0.224F_y \times \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{13300 - \frac{3.77b\sqrt{F_y}}{t}}{7160} \right) \right] \quad (۶-۳)$$

۳-۲-۳-۶- در مورد مقادیر $\frac{b}{t}$ بیشتر از $\frac{3515}{\sqrt{F_y}}$ (مساوی ۷۰ برای $F_y = 2400$)، تنش در بال باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = \frac{4 \times 10^6}{(b/t)^2} \quad (۴-۶)$$

۳-۲-۳-۶-۴- ارجح است که نسبت $\frac{b}{t}$ ، به جز نواحی نزدیک نقطه عطف که تنشهای خمشی ناشی از بارمرده بسیار ناچیز می باشد، از مقدار ۶۰ تجاوز نکند.

۳-۲-۳-۶-۵- در صورتیکه نسبت $\frac{b}{t}$ از ۴۵ تجاوز کند، لزوم استفاده از سخت کننده های طولی مطرح می شود.

۳-۳-۶- بال تحتانی در فشار (با سخت کننده طولی)

۳-۳-۶-۱- سخت کننده های طولی باید با فواصل مساوی در عرض بال فشاری توزیع گردند. ممان اینرسی هر سخت کننده نسبت به محور مار بر محل تماس سخت کننده با بال نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر کمتر گردد:

$$I_s = \phi \ t_f^3 W \quad (۵-۶)$$

که در آن:

$$\phi = 0.07 k^3 n^4 \quad (\text{برای } n > 1)$$

$$\phi = 0.125 k^3 \quad (\text{برای } n = 1)$$

$$t_f = \text{ضخامت بال فشاری}$$

$$W = \text{عرض بال فشاری بین سخت کننده های طولی یا فاصله بین جان و نزدیک ترین سخت کننده}$$

$$n = \text{تعداد سخت کننده های طولی}$$

$$k = \text{ضریب کمانش که نباید بزرگتر از ۴ باشد (معمولاً عددی بین ۲ تا ۴ مورد استفاده قرار می گیرد)}$$

۳-۳-۳-۶-۲- در صورت استفاده از سخت کننده های طولی، برای تنش مجاز فشاری $0.55 F_y$ ، نسبت $\frac{W}{t}$ نباید از مقدار بدست آمده توسط رابطه زیر بیشتر شود:

$$\frac{W}{t} = \frac{810 \sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} \quad (۶-۶)$$

۶-۳-۳-۳- در مورد مقادیر بزرگتر $\frac{W}{t}$ (کمتر از ۶۰ یا $\frac{1755\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}}$ هر کدام که کوچکتر باشند)، تنش در بال شامل سخت‌کننده‌های طولی، باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = 0.55F_y - 0.224F_y \times \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{6650\sqrt{k} - \frac{3.77W\sqrt{F_y}}{t}}{3580\sqrt{k}} \right) \right] \quad (۷-۶)$$

۶-۳-۳-۴- برای مقادیر $\frac{W}{t}$ بیشتر از $\frac{1755\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}}$ و کمتر از ۶۰، تنش در بال شامل سخت‌کننده باید از مقدار مجاز زیر کمتر گردد:

$$F_b = \frac{1 \times 10^6 k}{(W/t)^2} \quad (۸-۶)$$

۶-۳-۳-۵- در صورت استفاده از سخت‌کننده‌های طولی، به‌تراست که در محل نقطه عطف بارهای مرده، حداقل یک سخت‌کننده عرضی، علاوه بر سخت‌کننده‌های طولی موجود بکار رود. ابعاد این سخت‌کننده عرضی، نظیر سخت‌کننده طولی انتخاب می‌شود.

۶-۳-۳-۶- در صورتیکه سخت‌کننده‌های طولی در بیشترین مقدار $\frac{W}{t}$ نظیر تنش مجاز $0.55F_y$ تعبیه شده و تعداد آنها نیز از ۲ بیشتر باشد، استفاده از سخت‌کننده‌های عرضی باید مورد توجه قرار گیرد.

۶-۳-۴- بال تحتانی در فشار (با سخت‌کننده‌های طولی و عرضی)

۶-۳-۴-۱- سخت‌کننده‌های طولی باید در فواصل مساوی در عرض بال قرار گیرند و ممان اینرسی هرسخت‌کننده نسبت به محور مار بر محل تماس سخت‌کننده با بال نباید کمتر از مقدار زیر باشد:

$$I_s = 8t_f^3 W \quad (۹-۶)$$

۶-۳-۴-۲- ممان اینرسی حداقل هرکدام از سخت‌کننده‌های عرضی نسبت به محوری مار بر مرکز سطح و موازی لبه تحتانی، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_t = 0.1(n+1)^3 W \frac{f_s^3}{E} \frac{A_f}{a} \quad (۱۰-۶)$$

که در آن:

A_f = سطح مقطع بال فشاری شامل سخت‌کننده‌های طولی (سانتیمترمربع)

a = فاصله سخت‌کننده‌های عرضی (سانتیمتر)

f_s = حداکثر تنش خمشی طولی بال در پانلهای مجاور سخت‌کننده‌های عرضی (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

E = ضریب الاستیسیته فولاد جان (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

W = فاصله بین دو سخت‌کننده طولی

۶-۳-۴-۳- در بال تحتانی با سخت‌کننده‌های طولی و عرضی، جهت استفاده از تنش مجاز پایه $F_b = 0.55F_y$ ، نسبت $\frac{W}{t}$ برای سخت‌کننده‌های طولی نباید از مقدار زیر تجاوز کند.

$$\frac{W}{t} = \frac{810\sqrt{k_1}}{\sqrt{F_y}} \quad (۱۱-۶)$$

$$k_1 = \frac{\left[1 + (a/b)^2\right]^2 + 87.3}{(n+1)^2 (a/b)^2 [1 + 0.1(n+1)]} < 4 \quad (۱۲-۶)$$

۶-۳-۴-۴- برای مقادیر بزرگتر $\frac{W}{t}$ ، (کمتر از ۶۰ یا $\frac{1755\sqrt{k_1}}{\sqrt{F_y}}$ ، هرکدام که کوچکتر باشد) تنش فشاری مجاز برابر خواهد بود با:

$$F_b = 0.55F_y - 0.224F_y \times \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{6650\sqrt{k_1} - \frac{3.77W\sqrt{F_y}}{t}}{3580\sqrt{k_1}} \right) \right] \quad (۱۳-۶)$$

۶-۳-۴-۵- در مورد مقادیر $\frac{W}{t}$ بزرگتر از $\frac{1755\sqrt{k_1}}{\sqrt{F_y}}$ و کمتر از ۶۰، تنش در بال به مقدار زیر محدود می‌شود:

$$F_b = \frac{1 \times 10^6 k_1}{(W/t)^2} \quad (۱۴-۶)$$

۶-۳-۴-۶- بیشترین مقدار عدد کمانش k_1 ، مساوی ۴ در نظر گرفته می‌شود. وقتی که k_1 مساوی حداکثر مقدار خود یعنی ۴ می‌باشد، فواصل سخت‌کننده‌های عرضی نباید از $4W$ تجاوز نماید. چنانچه نسبت $\frac{a}{b}$ از ۳ بیشتر گردد، به وجود سخت‌کننده‌های عرضی نیازی نیست.

۶-۳-۴-۷- سخت‌کننده‌های عرضی لازم نیست به ورق بال متصل شوند، ولی اتصال آنها به ورقهای جان و سخت‌کننده‌های طولی ضروری می‌باشد. هرکدام از اتصالات جان باید برای تحمل نیروی قائمی که از رابطه زیر تعیین می‌شود، طراحی گردند:

$$R_w = \frac{F_y S_s}{2b} \quad (۱۵-۶)$$

که در رابطه فوق S_s اساس مقطع سخت‌کننده عرضی است.

۶-۳-۴-۸- اتصال به هرکدام از سخت‌کننده‌های طولی نیز باید برای تحمل نیروی قائم زیر طراحی گردد:

$$R_s = \frac{F_y S_s}{nb} \quad (۱۶-۶)$$

۶-۴- سخت‌کننده‌های بال فشاری - کلیات

۶-۴-۱- نسبت عرض به ضخامت هرکدام از عناصر برجسته سخت‌کننده‌های بال نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{b'}{t'} = \frac{690}{\sqrt{F_y}} \quad (۱۷-۶)$$

که در آن:

$b' =$ عرض هر عنصر برجسته سخت‌کننده

$t' =$ ضخامت عنصر برجسته سخت‌کننده

$F_y =$ مقاومت نظیر حد تسلیم عنصر برجسته سخت‌کننده

۶-۴-۲- سخت‌کننده‌های طولی تا جایی ادامه می‌یابند که حداکثر تنش در بالها از مقادیر مجاز مربوط به فلز مبنا بیشتر نشود.

۶-۵- طراحی جوشهای جان به بال

ضخامت موثر مجموع جوشهای اتصالی بال به جان، نباید کمتر از ضخامت جان باشد، مگر زمانی که دو یا چندین دیافراگم در داخل دهانه در حد فاصل دو تکیه‌گاه بکاررفته باشد، که در اینصورت حداقل اندازه لازم برای جوشهای گوشه طبق فصل ۹ می‌تواند به کار رود. بدون توجه به نوع جوش بکاررفته، جوشها باید در هر دو طرف ورق جان قرار داشته باشند.

۶-۶-۱- دیافراگم‌ها

۶-۶-۱-۱- در تکیه‌گاهها، در حدفاصل تیرهای جعبه‌ای، برای جلوگیری از دوران، تغییر مکان، و اعوجاج، لزوم تعبیه دیافراگم یا تیرهای عرضی ضروری است.

۶-۶-۱-۲- برای تیر جعبه‌هایی که طبق مفاد این فصل طراحی شده‌اند، تعبیه دیافراگم و یا تیرهای عرضی در داخل دهانه (در حد فاصل دو تکیه‌گاه) ضروری نیست.

۶-۷- مهاربندی جانبی

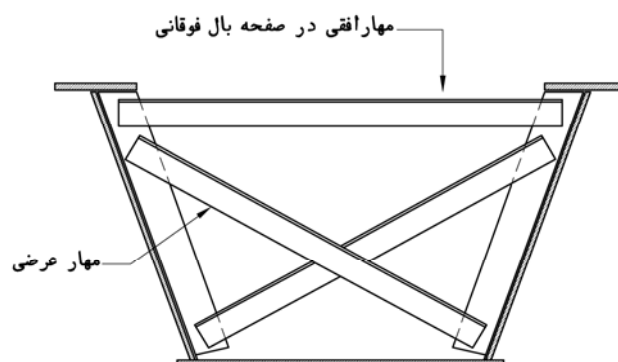
بطور کلی، هیچ سیستم مهاربندی جانبی بین دو تیرورق جعبه‌ای لازم نمی‌باشد. برای تعیین لزوم تعبیه مهاربندی، فشار بادی معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع بر سطح بادگیر تیرورق اعمال می‌شود. نصف فشار کل به صورت خطی به بال تحتانی اعمال می‌شود. مقطع مقاوم در مقابل این بار افقی، مقطعی است که بال تحتانی تیرورق، جان آن را تشکیل می‌دهد و بالهای آن، عرضی از جان تیرورق به اندازه ۱۲ برابر ضخامت آن می‌باشد. در صورتیکه ترکیب تنشهای ناشی از نیروی افقی فوق و بار مرده تیرورق و دال بتنی روی آن، از ۱۵۰ درصد تنشهای مجاز طراحی تجاوز نماید، سیستم مهاربندی جانبی ضروری می‌باشد.

۶-۸- مهاربندی داخلی تیر جعبه‌ای

بمنظور جلوگیری از اعوجاج مقطع تیر در حین حمل و نقل و قبل از بتن‌ریزی دال، لازمست داخل تیر جعبه‌ای مطابق شکل ۶-۱ مهاربندی گردد. این سیستم مهاربندی شامل مهار عرضی و مهار افقی در صفحه بال فوقانی می‌باشد.

۶-۹- زهکشی و دسترسی (به داخل تیرورق)

بنا به شرایط آب‌وهوایی، موقعیت و نوع مصالح بکاررفته، تعبیه دریچه‌های آدم‌رو یا بازشوهای دیگر در دال بتنی عرشه یا در جعبه فولادی تیرورق به منظور دسترسی به داخل آن برای نقل مکان، بازرسی، تعمیر، نگهداری، زهکشی و موارد مشابه ضروری می‌باشد.



شکل ۶-۱- مهاربندی تیر جعبه‌ای

فصل هفتم

اعضای فشاری

این فصل اختصاص به طراحی اعضای فشاری (شامل ستونها و اعضای فشاری خرپاها) دارد که تحت اثر فشار محوری قرار دارد. برای اعضای که تحت اثر همزمان فشار محوری و لنگر خمشی قرار دارند به فصل هشتم مراجعه نمایید.

۷-۱- ضریب لاغری: ضریب لاغری عضو فشاری با λ نشان داده شده و بصورت زیر محدود می‌گردد:

$$\lambda = \frac{KL}{r_{\min}} < 120 \quad (\text{اعضای اصلی}) \quad (۷-۱)$$

$$\lambda = \frac{KL}{r_{\min}} < 140 \quad (\text{اعضای فرعی}) \quad (۷-۲)$$

در رابطه فوق:

K = ضریب طول موثر

L = طول آزاد عضو (فاصله بین مراکز ثقل اتصال دو انتهای عضو)

$r_{\min}$ = شعاع ژیراسیون حداقل مقطع

اعضای اصلی، اعضای هستند که تنش‌های ناشی از بارهای مرده و زنده را تحمل می‌نمایند. اعضای فرعی اعضای هستند که برای مهاربندی سازه در مقابل نیروهای عرضی و طولی به کار می‌روند و یا از آنها برای کاهش طول مهارنشده‌ی اعضای اصلی استفاده می‌شود.

در تعیین $r_{\min}$ برای کنترل لاغری طبق روابط ۷-۱ و ۷-۲ می‌توان از قسمتی از مقطع صرف‌نظر نمود، مشروط براینکه در تعیین باربری مجاز عضو نیز از آن قسمت صرف‌نظر شود.

۷-۲- ضریب طول موثر K

در اعضای فشاری که از حرکت جانبی دو انتهای آن جلوگیری شده است، ضریب طول موثر K باید مساوی ۱ در نظر گرفته شود.

در اعضای فشاری که از حرکت جانبی دو انتهای آن جلوگیری نشده و پایداری جانبی سازه از طریق سختی خمشی اعضای سازه که با اتصالات صلب به یکدیگر متصل شده‌اند، تامین می‌شود، ضریب طول موثر باید با استفاده از تجزیه و تحلیل وضع موجود تعیین شود، و هیچگاه نباید از ۱ کوچکتر در نظر گرفته شود. در غیاب محاسبات دقیقتر K را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \geq 1 \quad (۳-۷)$$

G_A, G_B = پارامتر نشان دهنده شرایط مرزی دو انتهای عضو فشاری و برابر است با نسبت مجموع EI/L ستونها به مجموع EI/L تیرهای منتهی به دو انتهای عضو فشاری در یک صفحه

$G=1$ انتهای گیردار

$G=10$ انتهای مفصلی

K برای اعضای فشاری طره‌ای، گیردار در یک انتها و آزاد در انتهای دیگر، مساوی ۲ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۷- تنش مجاز اعضای فشاری

در اعضای فشاری که اجزای مقطع آن شرایط کمانش موضعی را برآورده می‌نمایند، تنش مجاز فشاری از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{F_y}} \quad (۴-۷)$$

F_y = تنش تسلیم فولاد مصرفی (kg/cm^2)

E = ضریب الاستیسیته فولاد مساوی $2/1 \times 10^6$ کیلوگرم برسانتیمترمربع

C_c = لاغری مرزی بین کمانش الاستیک و غیرالاستیک

در صورتیکه $\lambda \leq C_c$ باشد:

$$F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{\lambda^2 F_y}{4\pi^2 E} \right] = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{\lambda^2 F_y}{8 \times 10^7} \right] \quad (۵-۷)$$

در صورتیکه $\lambda > C_c$ باشد:

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{2.12 \lambda^2} = \frac{95 \times 10^5}{\lambda^2} \quad (۶-۷)$$

در روابط ۵-۷ و ۶-۷، عدد $2/12$ ضریب اطمینان می‌باشد و همچنین داریم:

λ = لاغری حداکثر عضو فشاری طبق بند ۲-۷ که مساوی KL/r می‌باشد.

F_a = تنش فشاری مجاز (kg/cm^2)

F_y = تنش تسلیم فولاد مصرفی (kg/cm^2)

۷-۴-۱- اعضای فشاری مرکب

۷-۴-۱- معرفی

اعضای فشاری مرکب ترکیبی از نیمرخ، ورق، تسمه به یکی از صور زیر می‌باشند:

الف: اعضای فشاری مرکب از نیمرخها و ورقهای سراسری (جان پر) شامل:

اعضای فشاری ساخته شده از ورق با مقطع I و یا جعبه

اعضای فشاری ساخته شده از چند نیمرخ با اتصال مستقیم

اعضای فشاری ساخته شده از چند نیمرخ که به کمک ورقهای سرتاسری به هم متصل شده‌اند.

ب: اعضای فشاری مرکب مشبک شامل:

اعضای فشاری مرکب که در آن نیمرخهای فولادی به کمک لقمه به هم متصل می‌شوند.

اعضای فشاری مرکب با بستهای چپ و راست

اعضای فشاری مرکب با بستهای موازی

۷-۴-۲- اعضای فشاری مرکب از نیمرخها و ورقهای سراسری

طراحی چنین اعضای فشاری مطابق نیمرخهای یکپارچه انجام می‌شود. جوشی که اجزای مقطع را به

یکدیگر متصل می‌نماید، باید شرایط زیر را برآورده نماید:

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

ب- در محل اتصال به علت تغییرات ناگهانی نیروهای داخلی، مقدار نیروی برشی بصورت موضعی تشدید می‌یابد. لذا تقویت جوش در این ناحیه الزامی است.

پ- در دو انتهای عضو، در طولی به اندازه $1/5$ برابر عرض مقطع، بعد جوش اتصالی باید طوری محاسبه گردد، که قادر به حمل نیروی محوری اجزای اتصالی با تنش $0.55F_y$ باشد.

ت- این جوش باید بصورت پیوسته باشد. به استثنای دوانتهای عضو، در سایر نواحی بعد جوش حداقل غالباً برای آن کفایت می‌کند.

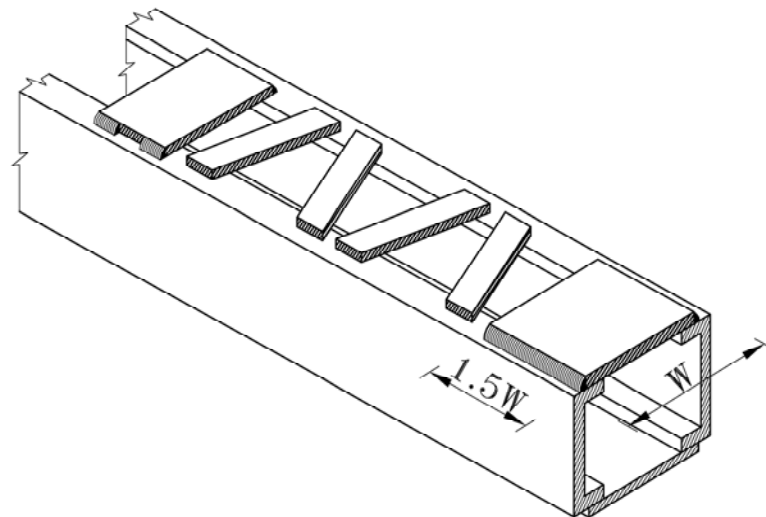
۷-۴-۳- اعضای فشاری مرکب مشبک

۷-۴-۳-۱- کلیات

در دو انتهای عضو فشاری مرکب مشبک، و یا در محل وصله نیمرخها، در طولی مساوی $1/5$ برابر عرض

حداکثر عضو، عناصر تشکیل دهنده باید به کمک جوش پیوسته و یا پیچ و پرچهایی با فواصل کوچکتر از 4 برابر قطر به یکدیگر متصل شوند (شکل ۷-۱). این جوش باید بتواند نیروی سهم هر جزء متصل شونده را با تنش $0.55F_y$ تحمل

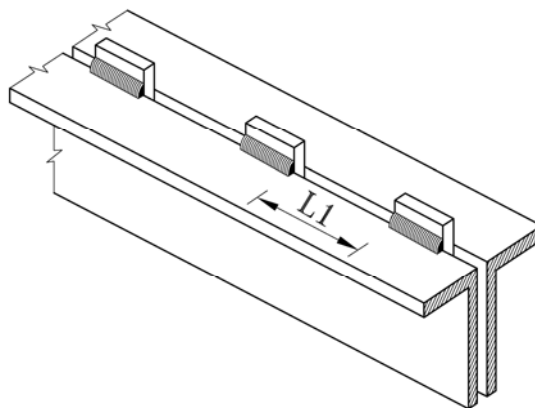
نماید.



شکل ۷-۱- نحوه اتصال نیمرخ‌ها در انتهای اعضای فشاری

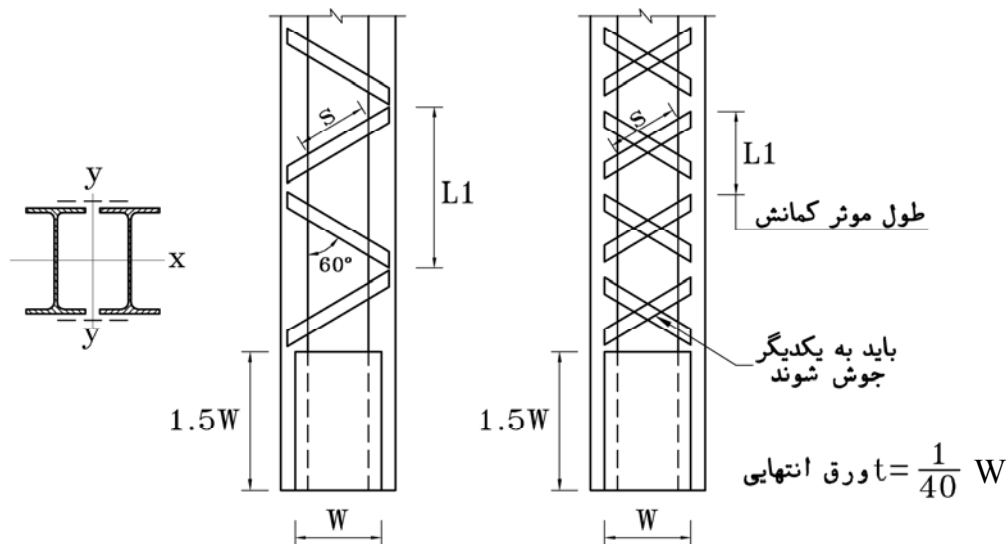
۷-۴-۳-۲- اعضای فشاری مرکب با لقمه

اعضای فشاری مرکب که از دو یا چند نیمرخ نورد شده ساخته شوند و با گذاردن قطعات لقمه در بین آنها به یکدیگر متصل گردند، فواصل لقمه‌ها (یا نقاط اتصال) باید طوری باشد که ضریب لاغری λ حداکثر هر نیمرخ در قسمتی که بین دو لقمه قرار دارد، از $\frac{2}{3}$ ضریب لاغری تعیین کننده کل عضو مرکب تجاوز نکند. شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ، ملاک محاسبه ضریب لاغری حداکثر آن خواهد بود. در طول یک عضو مرکب، حداقل دو نقطه اتصال، باید بین دوسر آن موجود باشد (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- اعضای فشاری مرکب با لقمه

الف - ورق انتهایی: بسته‌های چپ و راست در دو انتهای عضو، باید به ورق قید انتهایی ختم شوند. طول ورق قید انتهایی باید حداقل مساوی $\frac{1}{5}$ برابر فاصله عرضی دو خط اتصال خود به عضو عرضی باشد. ضخامت ورق انتهایی نباید از $\frac{1}{40}$ فاصله بین دو خط اتصال دوطرف آن کمتر باشد.



اگر وسیله اتصال ورقهای انتهایی، پیچ یا پرچ باشد، فاصله این وسایل اتصال از یکدیگر در امتداد تنش نباید از ۶ برابر قطر آنها تجاوز کند و ورقهای انتهایی باید در اتصال هر طرف خود حداقل سه عدد پیچ یا پرچ داشته باشند. در اتصال جوشی، طول هر خط جوش که ورق انتهایی را متصل می‌کند، باید مساوی طول ورق باشد که در دو انتها دارای طول برگشت (قلاب) باشد.

ب- **بستهای چپ و راست:** بستهای چپ و راست را می‌توان از تسمه، نبشی، ناودانی یا مقطع مناسب دیگر انتخاب کرد. بستهای چپ و راست را باید طوری قرار داد که لاغری حداکثر موضعی اعضای محصور بین نقاط اتصال آنها از $\frac{2}{3}$ لاغری تعیین کننده کلی عضو و یا ۴۰ (هرکدام که کوچکترند)، بیشتر نشود.

بستهای چپ و راست را باید برای تحمل نیروی برشی ناشی از نیروهای خارجی و نیروی برشی اضافی ناشی از کمانش که در امتداد عمود بر محور طولی عضو اثر می‌کند و مقدار آن ۲ درصد نیروی فشاری عضو فرض می‌شود، محاسبه کرد.

نسبت L/r برای بستهای چپ و راست تکی نباید از ۱۲۰ تجاوز کند. برای بستهای چپ و راست زوج (ضربدری)، این نسبت نباید از ۱۴۰ بیشتر شود.

بستهای چپ و راست زوج که بصورت ضربدری اجرا می‌شود، باید در محل تقاطع خود به یکدیگر متصل شوند. طول آزاد برای محاسبه ضریب لاغری بستهای اتصالی که در فشار قرار دارند، در بستهای تکی برابر فاصله بین اتصالات (پیچ، پرچ یا جوش) دوسر آنها به عضو فشاری و در بستهای زوج ضربدری، ۷۰ درصد این فاصله به حساب می‌آید. زاویه تمایل امتداد بستها نسبت به محور طولی عضو، ارجح است که برای بست تکی از ۶۰ درجه و برای بستهای زوج از ۴۵ درجه کمتر نباشد.

اگر فاصله بین اتصالات (پیچ یا پرچ یا جوش) دوسر بست بیش از ۴۰۰ میلیمتر باشد، ارجح است که بستها به صورت زوج در نظر گرفته شوند و یا در آنها از نیمرخ نبشی استفاده گردد.

پ- طراحی بست چپ و راست:

نیروی محوری بست چپ و راست از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F = \frac{V}{2 \sin \alpha} \quad (V-7)$$

V = مجموع نیروی برشی ناشی از بارگذاری جانبی و برش ناشی از کمانش (رابطه ۷-۱۲)

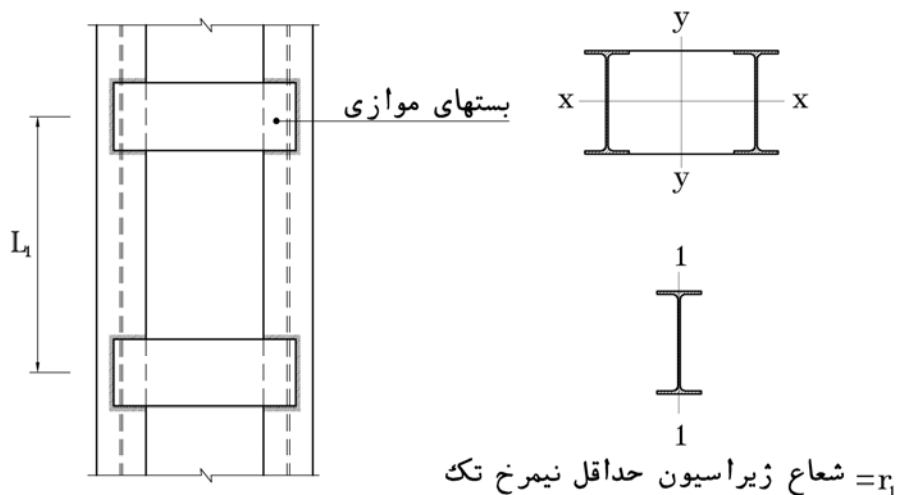
۷-۴-۳-۴- اعضای فشاری با بستهای موازی

الف- بستهای میانی باید به تعدادی باشد که طول عضو فشاری (بین دو بست انتهایی) را حداقل به سه قسمت تقسیم کند.

ب- فاصله بستها از یکدیگر باید به اندازه‌ای باشد که نسبت لاغری تک نیمرخ عضو فشاری $(\lambda_1 = L_1 / r_1)$ در قسمتی که بین بستها قرار دارد، از ۴۰ و همچنین از $\frac{2}{3}$ ضریب لاغری λ_y بیشتر نشود. ضریب لاغری عضو فشاری نسبت به محور y-y (محور عمود بر امتداد قید) و L_1 فاصله مرکز به مرکز قیدها در امتداد طول عضو و r_1 شعاع ژیراسیون حداقل تک نیمرخ می‌باشد.

پ- بستهای موازی و اتصالات آنها باید برای تحمل لنگر خمشی و نیروی برشی وارده محاسبه شوند. فرض می‌شود لنگر و برش موثر بر بستها حاصل از نیروی برشی جانبی V می‌باشد که در امتداد عمود بر محور طولی عضو فشاری

عمل می‌کند و مقدار آن ۲ درصد بار محوری عضو فشاری به علاوه برش ناشی از نیروهای خارجی است و اثر آن بین یک جفت قید در روی دو سطح موازی عضو، به تساوی تقسیم می‌شود.



شکل ۷-۴- عضو فشاری مرکب مشبک با بست‌های موازی

ت- بستها را می‌توان از تسمه، ورق، ناودانی و یا نیمرخ I انتخاب کرد. اتصال قیدها به نیمرخ‌های اصلی عضو فشاری باید توسط پیچ، پرچ و یا جوش صورت گیرد به طوری که هر اتصال و نیز مقطع هر بست در مقابل نیروی برشی T و لنگر M مقاومت نماید:

$$T = \frac{V \cdot L_1}{2b} \quad (۸-۷)$$

$$M = \frac{V \cdot L_1}{4} \quad (۹-۷)$$

در این روابط:

V = نیروی برشی جانبی مساوی برش ناشی از بارهای خارجی (شامل وزن) به علاوه برش ناشی از کماتش (رابطه ۷-۱۲)

L_1 = فاصله مرکز به مرکز بستها در امتداد طول عضو

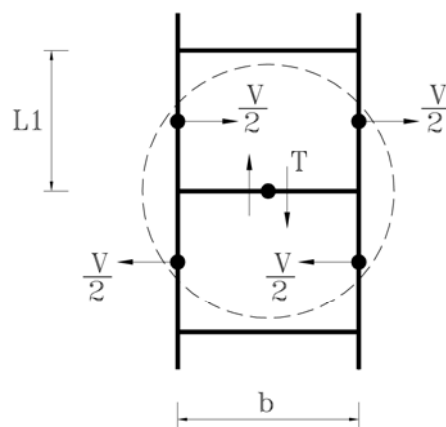
b = فاصله بین مرکز ثقل اتصالهای دوسربست

ث- ورقهای انتهایی که در دو سر عضو فشاری قرار می‌گیرند، باید حداقل طولی برابر با ۱/۵ برابر فاصله بین مراکز ثقل نیمرخهای تشکیل دهنده عضو فشاری را داشته باشند.

ج- بستها باید حداقل ضخامتی مساوی $\frac{1}{4}$ فاصله بین مراکز ثقل اتصالات دوسر خود را داشته باشند. رعایت محدودیت اخیر برای قیدهایی که از نیمرخ ناودانی و یا I با بالهای عمود بر سطح عضو فشاری تشکیل شده باشند، لازم نیست.

چ- طول موثر بستها در کمانش (در مقابل نیروی محوری) برابر با فاصله بین مراکز ثقل اتصالات دو سر آنها در نظر گرفته می شود.

ح- بستها باید در دو انتهای خود در تمام نقاط تماس با نیمرخهای طولی جوش شوند.



شکل ۷-۵- محاسبه بستهای موازی

۷-۴-۳-۵- لاغری موثر ستونهای مرکب با بستهای مورب و موازی

در صورتیکه محور y ، محور اصلی مقطع عمود بر صفحه بستها باشد (اشکال ۷-۳ و ۷-۴)، نسبت لاغری در حول آن به علت تغییر شکلها باید اصلاح گردد. نسبت لاغری موثر را می توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (۷-۱۰)$$

در رابطه فوق:

λ_y = نسبت لاغری کلی در حول محور y

λ_1 = نسبت لاغری موضعی طبق روابط زیر:

الف: برای اعضا با بستهای موازی

$$\lambda_1 = L_1 / r_1$$

L_1 = فاصله مرکز به مرکز دو بست موازی

r_1 = لاغری حداقل تک نیمرخ

ب: برای ستونهای مرکب با بست مورب

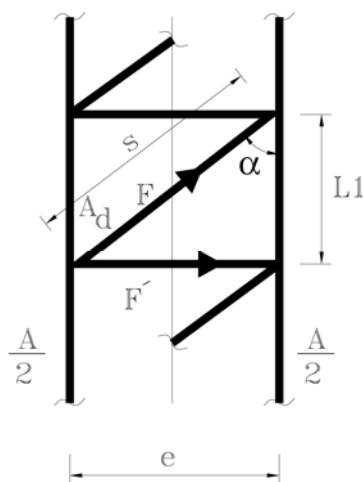
$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2A_d} \cdot \frac{S^3}{L_1 e^2}} \quad (۱۱-۷)$$

A = سطح مقطع کلی ستون

A_d = سطح مقطع یک بست مورب

S = طول مرکز به مرکز بست مورب

e = فاصله بین مراکز نیمرخها



شکل ۷-۶- هندسه بستهای چپ و راست

۷-۴-۶- برش ناشی از کمانش

در محاسبات مربوط به بستهای چپ و راست و مورب، نیروی برشی ناشی از کمانش عضو فشاری از رابطه زیر به دست می آید:

$$V = \frac{P}{100} \left[\frac{100}{\ell / r + 10} + \frac{(\ell / r) F_y}{230000} \right] \geq 0.02 P \quad (۱۲-۷)$$

در رابطه فوق:

V = نیروی برشی ناشی از کمانش

P = نیروی فشاری مجاز عضو

ℓ = طول عضو

r = شعاع ژیراسیون مقطع عضو فشاری حول محوری عمود بر صفحه مشبک

F_y = تنش تسلیم فولاد مصرفی

مقدار نیروی برشی فوق حدود ۲ درصد ظرفیت فشاری مجاز عضو فشاری منظور می شود.

فصل هشتم

ترکیب تنش‌ها

۸-۱- ترکیب نیروی فشاری محوری و لنگر خمشی

اعضایی که تحت اثر نیروی فشاری محوری توأم با لنگر خمشی قرار می‌گیرند، باید روابط زیر را اقلان نمایند:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1 \quad (۸-۱)$$

و

$$\frac{f_a}{0.472 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (\text{در دواتهای عضو}) \quad (۸-۲)$$

در روابط فوق، اندیسهای x و y در ترکیب با اندیسهای b، e و m، محورهای خمشی مربوط به تنشها و یا خواصی دیگر را نشان می‌دهند. داریم:

F_a = تنش فشاری مجاز اگر فقط نیروی محوری عمل کند.

F_b = تنش فشاری مجاز در خمش اگر فقط لنگر خمشی تنها عمل کند.

F'_e = تنش کمزش که برضریب اطمینان تقسیم شده است.

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{2.12 \left(\frac{K_b L_b}{r_b} \right)^2} = \frac{95 \times 10^5}{\lambda_b^2} \quad (۸-۳)$$

L_b = طول آزاد در صفحه خمش

r_b = شعاع ژیراسیون نظیر

K_b = ضریب طول موثر در صفحه خمش

λ_b = لاغری حول محور خمش ($\lambda_b = K_b L_b / r_b$)

۱- در معادله ۸-۱ وقتی بارگذاری جانبی در حدفاصل تکیه‌گاهها موجود است، باید f_{bx} و f_{by} براساس لنگر بین تکیه‌گاهی، و در رابطه ۸-۲ براساس لنگر تکیه‌گاهی محاسبه گردد. در صورتیکه بارگذاری جانبی نداشته باشیم، تنشهای ذکرشده براساس حداکثر لنگر محاسبه می‌شوند.

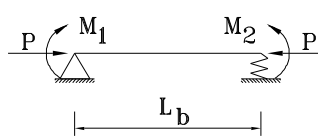
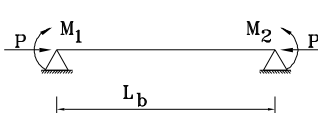
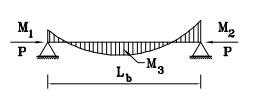
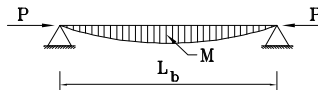
$$f_a = \text{تنش فشاری موجود}$$

$$f_{bx} = \text{تنش فشاری ناشی از خمش در حول محور X}$$

$$f_{by} = \text{تنش فشاری ناشی از خمش در حول محور Y}$$

$$C_m = \text{مطابق جدول ۸-۱}$$

جدول ۸-۱ ضریب C_m در رابطه اندرکنشی ۸-۱

C_m	شکل	شرایط بارگذاری
0.85		از انتقال جانبی دوانتهای عضو فشاری جلوگیری نشده است. لنگر خمشی در دو انتهای عضو حداکثر است.
$0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$ $M_1 = \text{لنگر کوچکتر}$ $M_2 = \text{لنگر بزرگتر}$ برای انحنای مضاعف $M_1 / M_2 > 0$ می‌باشد. برای انحنای ساده، $M_1 / M_2 < 0$ می‌باشد.		از انتقال جانبی دوانتهای عضو فشاری جلوگیری شده است. بارگذاری عرضی موجود نیست. لنگر خمشی در دو انتهای عضو حداکثر است.
0.85		از انتقال جانبی دو انتها جلوگیری شده است. بارگذاری عرضی همراه با لنگرهای انتهایی وجود دارد.
1.0		از انتقال جانبی دو انتها جلوگیری شده است. بارگذاری عرضی وجود دارد.

همواره می‌توان در جهت اطمینان، C_m را مساوی واحد منظور کرد.

۸-۲- ترکیب کشش محوری و خمشی

اعضایی که تحت اثر کشش محوری توام با تنش خمشی قرار می‌گیرند، باید طوری محاسبه شوند که در تمام

نقاط طول عضو، رابطه زیر برآورده گردد:

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (۸-۴)$$

که در آن:

$$f_b = \text{تنش کششی محاسباتی حاصل از لنگر خمشی}$$

$$f_t = \text{تنش کششی محاسباتی حاصل از کشش محوری}$$

$$F_b = \text{تنش خمشی مجاز}$$

$$F_t = \text{تنش کششی مجاز}$$

از طرف دیگر، تنش‌های فشاری ناشی از خمش که از بارگذاری مستقل دیگری حاصل شده باشد، نباید از مقادیر مجاز تجاوز نماید.

۸-۳- ترکیب تنش‌های صفحه‌ای (تنش تخت)

در صورت وجود تنش صفحه‌ای در یک نقطه از قطعه موردنظر، تنش مقایسه‌ای از رابطه فون‌میزز قابل محاسبه می‌باشد:

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (۸-۵)$$

در رابطه فوق:

$$\sigma_h = \text{تنش مقایسه‌ای}$$

$$\sigma_x = \text{تنش قائم در امتداد x}$$

$$\sigma_y = \text{تنش قائم در امتداد y}$$

$$\tau_{xy} = \text{تنش برشی}$$

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

برحسب مورد، تنش مقایسه‌ای σ_h باید کوچکتر از تنش مجاز مربوطه باشد.

فصل نهم

وسایل اتصال

جهت اتصال قطعات مختلف سازه به یکدیگر از وسایل اتصال که شامل جوش، پیچ و پرچ می‌باشد، استفاده می‌گردد. در این فصل انواع وسایل اتصال و مشخصات و مقررات مربوط به هر یک ارائه می‌گردد.

۹-۱- جوش

انواع جوشها عبارتند از: جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و جوش کام

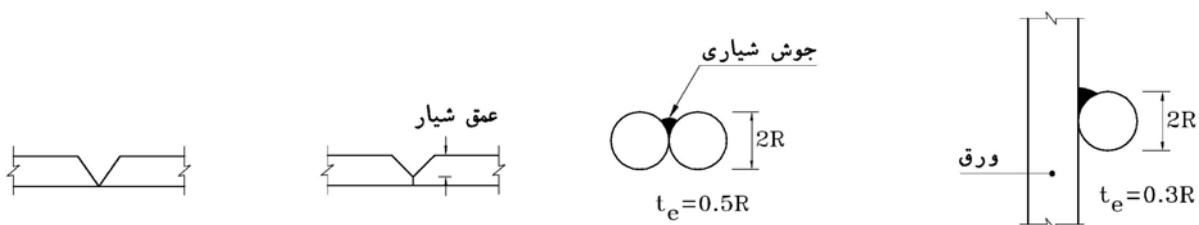
۹-۱-۱- جوشهای شیاری (لب به لب)

الف: انواع جوش شیاری: انواع جوش شیاری عبارتند از: جوش شیاری با نفوذ کامل (شکل ۹-۱-الف) و جوش شیاری با نفوذ نسبی (اشکال ۹-۱-ب و پ و ت). استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری خستگی کششی وجود داشته باشد مجاز نیست.

ب: سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوشهای شیاری عبارت است از حاصلضرب طول موثر جوش در ضخامت گلوگاه موثر

پ: طول موثر: طولی است که جوش در آن با سطح مقطع یکنواخت اجرا شده باشد.

ت: ضخامت گلوگاه موثر: در جوش شیاری با نفوذ کامل، مساوی ضخامت قطعه نازکتر و در جوش شیاری با نفوذ نسبی، مساوی عمق شیار جوش منهای ۳ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. ضخامت گلوگاه موثر جوش شیاری که بین دو لبه گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه گرد و لبه تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، طبق اشکال ۹-۱-پ و ت می‌باشد.



الف: جوش شیاری با نفوذ کامل
ب: جوش شیاری با نفوذ نسبی
پ: جوش شیاری با نفوذ نسبی دو لبه گرد
ت: جوش شیاری با نفوذ نسبی بین لبه گرد و تخت

شکل ۹-۱

ث: حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی: ضخامت گلوگاه موثر نباید از مقادیر مندرج در جدول ۹-۱ کمتر شود. حداقل ضخامت گلوگاه موثر با توجه به ضخامت قطعه ضخیمتر تعیین می‌شود. از طرفی مقدار حداقل نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز نماید.

جدول ۹-۱ - حداقل ضخامت گلوگاه جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه ضخیمتر (mm)	حداقل گلوگاه جوش شیاری با نفوذ نسبی (mm)
$t \leq 20mm$	6
$t > 20mm$	8

(۱) استفاده از ضخامت کمتر طبق نظر مهندس طراح با اعمال پیش گرمایش مجاز است.

(۲) حداقل ضخامت جوش نمی‌تواند بیش از ضخامت قطعه نازکتر باشد.

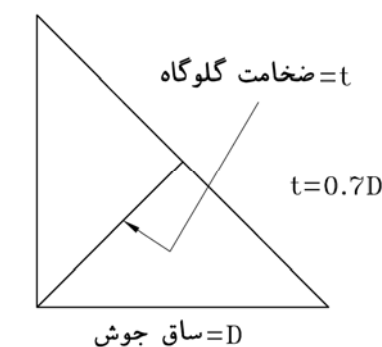
۹-۱-۲ - جوش گوشه

الف: سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر مساوی حاصلضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر در نظر گرفته می‌شود.

ب: طول موثر: مساوی طول کلی نوارجوش شامل قسمتهای برگشت خورده می‌باشد. برای جوشهای گوشه در سوراخ و شکاف، طول موثر برابر با طول میانتری که از مقطع گلوگاه جوش می‌گذرد، در نظر گرفته می‌شود.

پ: ضخامت گلوگاه موثر: مساوی کوتاهترین فاصله بین عمیقترین نقطه مقطع جوش تا سطح خارجی آن منظور می‌شود به عبارت ساده‌تر، ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش.

ت: ساق جوش: ضلع مثلث قائم‌الزاویه مقطع جوش، ساق جوش یا بعد جوش نامیده می‌شود.



شکل ۹-۲ - هندسه مقطع جوش گوشه

ث: حداقل اندازه ساق جوش: حداقل اندازه ساق جوش گوشه طبق جدول ۹-۲ تعیین می‌شود. حداقل اندازه ساق جوش تابع ضخامت قطعه ضخیمتر می‌باشد. این مقدار نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز نماید.

جدول ۹-۲- حداقل اندازه ساق جوش گوشه

ضخامت قطعه ضخیمتر (mm)	حداقل گلوگاه جوش شیاری (mm)
$t \leq 20$	6
$t > 20$	8

(۱) استفاده از ساق کوچکتر از مقادیر حداقل، طبق نظر مهندس با اعمال پیش گرمایش مجاز است.

(۲) حداقل ضخامت جوش نمی‌تواند بیش از ضخامت قطعه نازکتر باشد.

ج: حداکثر اندازه ساق جوش گوشه: حداکثر ساق جوش گوشه در قطعات با ضخامت کمتر از ۸ میلیمتر، مساوی ضخامت قطعه و در قطعات با ضخامت ۸ میلیمتر و بیشتر، ۲ میلیمتر کمتر از ضخامت قطعه می‌باشد. حداکثر اندازه جوش باید طوری محدود شود که تنش در مصالح پایه مجاور از مقادیر مجاز تجاوز ننماید.

چ: محدودیتهای طول موثر: طول موثر جوش گوشه در تحمل تنش، نباید از ۴ برابر اندازه ساق آن و یا ۴۰ میلیمتر کمتر باشد. اگر از جوش گوشه در لبه‌های طولی و موازی در انتهای تسمه‌های کششی استفاده شود، طول هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد. فاصله عمودی نباید از ۲۰۰ میلیمتر تجاوز نماید. انتهای این جوش‌ها در گوشه‌ها باید به صورت قلاب با طول برگشتی مساوی حداقل ۲ برابر ساق جوش درآید.

ح: جوشهای منقطع: استفاده از جوش گوشه منقطع در پلسازی ممنوع است، مگر برای اتصال سخت‌کننده که آنها باید بصورت بخیه، پشت و رو، انجام شود.

خ: جوش آب‌بند: جوش آب‌بند باید بصورت پیوسته اجرا گردد. چنین جوشی می‌تواند نقش مقاومتی نیز داشته باشد. اندازه این جوش غالباً براساس محدودیتهای جوش حداقل تعیین می‌گردد.

د: اتصالات رویهم با جوش گوشه: در اتصال دو قطعه‌ای که روی هم می‌آیند، طول رویهم‌آمدگی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازکتر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلیمتر کمتر نشود. اتصالات روی هم که ورق‌ها و تسمه‌هایی تحت اثر تنشهای محوری را به یکدیگر متصل می‌کند، باید در ضلع انتهایی هر یک از قسمتهای متصل شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند.

ذ: جوش گوشه در لبه سوراخ و شکاف: در اتصالات رویهم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کماتش و یاجدایی قسمتهای متصل شونده، می‌توان از جوش گوشه در لبه سوراخ و شکاف استفاده نمود.

ر: برگشت جوش گوشه (قلاب): کلیه جوشهای گوشه که در لبه کناری و یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در آخر ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به آن قلاب می‌گویند. حداقل طول قلاب ۲ برابر اندازه ساق جوش

می‌باشد. این شرط برای نشیمن‌های تکیه‌گاهی (براکت)، در جوشهای گوشه قائم و جوشهای گوشه سربالا نیز صدق می‌کند. در نبشی‌های اتصال تیر و ستون یا ورقهای این نوع اتصال (که انعطاف‌پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال برجسته نبشی یا طول قابل تغییر شکل ورق است)، برگشت در انتهای جوش گوشه (قلاب) نباید از ۴ برابر اندازه ساق جوش بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود.

۹-۱-۳- جوش انگشتانه و کام توپر

الف: سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در برش برای جوش انگشتانه (جوش در سوراخ) و کام (جوش در شکاف) برابر با سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه برش به حساب می‌آید.

ب: مورد استفاده: از جوش انگشتانه و کام می‌توان برای انتقال برش در اتصال عناصری که روی هم قرار گرفته‌اند و یا جلوگیری از کمانش در عناصر روی هم آمده در اعضای مرکب ساخته شده استفاده نمود.

پ: محدودیتها: قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعه سوراخ شده به اضافه ۸ میلیمتر کمتر باشد. همچنین قطر یاد شده نباید از مقدار حداقل به اضافه ۳ میلیمتر و یا ۲/۲۵ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود.

حداقل فاصله مرکز به مرکز جوشهای انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد.

عرض شکاف در جوش کام، نباید از ضخامت قطعه به اضافه ۸ میلیمتر کمتر و همچنین از ۲/۲۵ برابر ضخامت جوش بیشتر شود.

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

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

ت: ضخامت جوش: ضخامت جوش انگشتانه و کام در قطعاتی که ضخامت آنها ۱۶ میلیمتر و یا کمتر است، باید برابر

با ضخامت قطعه باشد. در قطعاتی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلیمتر است، ضخامت این جوش باید حداقل $\frac{1}{4}$

ضخامت مصالح باشد و از ۱۶ میلیمتر نیز کمتر نشود.

۹-۱-۴- تنشهای مجاز

به جز حالتی که عامل خستگی تعیین کننده باشد، جوشها باید طوری محاسبه شوند که محدودیتهای تنش

مندرج در جدول ۹-۳ را جوابگو باشند. کلیه جوشها باید طبق مشخصات ارائه شده در بند ۱۶-۴-۴ مورد آزمایش

غیرمخرب قرار گیرند.

۹-۱-۵- ترکیب تنشها

الف: دوتنش برشی هم صفحه و متعامد را می توان با قانون جمع متوازی الاضلاع، جمع زد.

$$\tau_h = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad (۱-۹)$$

ب: در جوش هایی مثل جوش اتصال بالبه جان تیرورق که در آن ترکیب تنش عمود بر مقطع جوش و تنش برشی در صفحه گلوگاه وجود دارد، تنش برشی مجاز از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$\tau_{\text{مجاز}} = \sqrt{(0.27 F_u)^2 - \frac{\sigma^2}{4}} \quad (۲-۹)$$

در رابطه فوق σ تنش عمود بر مقطع جوش و F_u مقاومت نهایی فلز الکتروود است.

۹-۱-۶- ترکیب جوشها

اگر از دو یا چند نوع جوش (شیاری، گوشه، انگشتانه، و یا کام) در یک اتصال استفاده شود، باید ظرفیت موثر هر یک را جداگانه نسبت به محور مجموعه جوش محاسبه و سپس ظرفیت مجاز مجموعه جوش را محاسبه نمود.

۹-۱-۷- فلز جوش مختلط

اگر طاقت نمونه زخم دار به عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوش اعم از خال جوش، عبور ریشه، و عبورهای بعدی، باید سازگاری لازم را داشته باشد تا طاقت نمونه زخم دار برای فلز جوش مختلط محرز شود.

۹-۱-۸- پیش گرمایش

برای نیمرخهای نورد شده و قطعات مرکب ساخته شده از ورق با جوش، باید قبل از انجام جوش، پیش گرمایش تا دمای لازم صورت گیرد. دمای پیش گرمایش به شرح زیر می باشد:

ضخامت ورق (میلیمتر)	دمای پیش گرمایش در فرآیند غیرکم هیدروژن (درجه سلیوس)	دمای پیش گرمایش در فرآیند کم هیدروژن (درجه سلیوس)
≤ 20	۲۰	۱۰
$20 < t \leq 40$	۶۵	۲۰
$40 < t \leq 65$	۱۱۰	۶۵
$t > 65$	۱۵۰	۱۱۰

جدول ۹-۳- تنش‌های مجاز جوش

نوع جوش	نوع تنش	تنش مجاز
جوش شیاری (لب) با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی یا فشاری، در امتداد عمود بر مقطع موثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	برشی، در مقطع موثر	$0.27 \times \text{مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از } 0.36 F_y \text{ فلز پایه بیشتر نشود)}$
جوش شیاری (لب) با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع موثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	کششی، در امتداد عمود بر مقطع موثر	$0.27 \times \text{مقاومت نهایی کششی فلز جوش (تنش کششی در فلز مادر نباید از } 0.55 \text{ حد جاری شدن فلز مادر بیشتر شود)}$
	برشی، موازی با محور جوش	$0.27 \times \text{مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از } 0.36 F_y \text{ فلز پایه بیشتر نشود)}$
جوش گوشه	برشی، در مقطع موثر	$0.27 \times \text{مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از } 0.36 F_y \text{ فلز پایه بیشتر نشود)}$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع موثر)	$0.27 \times \text{مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از } 0.36 F_y \text{ فلز پایه بیشتر نشود)}$

* این تنشها باید در ضرایب مذکور در بند ۹-۱-۴ ضرب شوند.

** فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکتروود مطابق با مقادیر زیر تامین شود:

مقاومت نهایی کششی فلز الکتروود (F_{ue})	حد تسلیم فلز مادر (F_y)
4200 kg/cm ²	تا 3000 kg/cm ²
4900 kg/cm ²	تا 3800 kg/cm ²
5600 kg/cm ²	تا 4600 kg/cm ²

۹-۲- پیچ و مهره، قطعات رزوه شده و پرچ

۹-۲-۱- انواع اتصالات پیچی

در اتصالاتی که مقاومت آنها بر پایه انتقال برش بین قطعات متصل شونده استوار است، از دو نوع اتصالات اصطکاکی و اتکایی می‌توان استفاده نمود. در حالات زیر فقط استفاده از اتصالات اصطکاکی مجاز است:

- ۱- در حالت وجود بارهای خستگی (تکراری)، ضربه‌ای، و ارتعاشی
 - ۲- در صورت استفاده از سوراخهای فراخ و لوبیایی
 - ۳- در اتصالاتی که اثر مشترک جوش و پیچ به کار گرفته می‌شود.
 - ۴- در تمام مواردی که قضاوت مهندس طراح، وجود لغزش در اتصال را برای شرایط بهره‌برداری سازه مضر تشخیص دهد.
 - ۵- اتصالاتی که تحت اثر همزمان برش و کشش و یا کشش تنها قرار دارند.
- استفاده از اتصالات اتکایی با پیچهای پرمقاومت، محدود به اعضای فشاری و اعضای درجه دوم می‌باشد.

۹-۲-۲- سوراخها

- ۱- در جدول ۹-۴ انواع سوراخها و اندازه حداکثر آنها ارائه شده است.

جدول ۹-۴- ابعاد اسمی سوراخ پیچ

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

- ۲- سوراخهای فراخ فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند.
- ۳- سوراخهای لوبیایی کوتاه در تمام حالات در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی باید عمود بر امتداد نیرو باشند.
- ۴- سوراخهای لوبیایی بلند در اتصالات اتکایی فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط می‌توانند در یکی از ورقهای اتصال در هر جهت اختیاری وجود داشته باشند.

۹-۲-۳- سطوح موثر

۱- سطح موثر در برش و کشش: سطح موثر پیچها، قطعات رزوه شده و پرچها در برش و کشش، مساحت حاصل از قطر اسمی آنها می باشد.

۲- سطح موثر در تنش لهیدگی (فشار تماسی): سطح موثر تماس پیچها، قطعات رزوه شده و پرچها در فشار مستقیم به صورت حاصلضرب قطر در ضخامت تماس به حساب می آید، مگر در پیچها و پرچهای کله خزینه که نصف عمق خزینه باید کم شود.

۹-۲-۴- تنش های کششی و برشی مجاز

تنشهای کششی و برشی مجاز برای پیچها، قطعات رزوه شده و پرچها مطابق جدول ۹-۵ می باشد. سطح موثر این تنشها، مقطع اسمی پرچ (قبل از پرچکاری)، و مقطع دندانه نشده پیچ یا میله های رزوه شده (غیر از میله های با دندانه های برجسته) در نظر گرفته می شود. پیچهای پر مقاومت که بار وارده را به صورت کشش مستقیم تحمل می کنند، باید طوری محاسبه شوند که تنش متوسط در مقطع اسمی پیچ، بدون در نظر گرفتن هر گونه نیروی پیش تنیدگی، از مقادیر مجاز در جدول ۹-۵ تجاوز نکند. نیروی موثر باید برابر نیروی خارجی به اضافه اثر اهرم شدن (ناشی از تغییر شکل در قطعات متصل شده) باشد.

طرح و محاسبه پیچها، قطعات دندانه شده و پرچهایی که تحت اثر خستگی قرار می گیرند، باید با توجه به اصول معرفی شده در مبحث خستگی انجام شود.

جدول ۹-۵- تنش‌های مجاز در انواع پیچها و پرچها (kg/cm^2)

تنش برشی مجاز (F _v)					تنش کششی مجاز (F _t)	نوع وسیله اتصال
اتصال اتکایی با سوراخ استاندارد ^(۲)	اتصال اصطکاکی ^(۱)					
	سوراخ لوبیایی بلند		سوراخ بزرگ و لوبیایی کوتاه	سوراخ استاندارد		
	بار در امتداد عرضی	بار در امتداد طولی				
0.6 F _y					0.5 F _y	پرچ
0.17 F _u (b)					0.33 F _u (۳) (a)	پیچ معمولی
0.17 F _u					0.33 F _u (a)	پیچ‌های اتکایی (حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد).
0.22 F _u					0.33 F _u (a)	پیچ‌های اتکایی (حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد).
0.2 F _u	0.09 F _u	0.1 F _u	0.12 F _u	0.15 F _u	0.38 F _u (a)	پیچ‌های پرمقاومت اصطکاکی

a- فقط برای بارهای استاتیکی

b- قرارگرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است.

(۱) باضریب اصطکاک ۰.۳۳ برای وضعیتی که سطوح تماس از فلس ناشی از عمل نوردکارخانه‌ای به کمک سندبلاست تمیز باشند.

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

(۳) F_u تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش تسلیم مصالح پرچها می‌باشد.

۹-۲-۵- ترکیب تنشها

۱- در اتصالات اصطکاکی که تحت نیروی کششی قرار دارند، نیروی کششی از نیروی پیش‌تنیدگی سطوح در حال تماس کاسته و باعث کاهش تنش برشی اصطکاکی در سطح تماس می‌گردد. در این حالت تنش برشی مجاز کاهش یافته از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$F'_v = F_v (1 - 0.00022 f_t) \quad (۹-۳)$$

در رابطه فوق:

 F_v = تنش برشی مجاز در اتصال اصطکاکی طبق جدول ۹-۵ F'_v = تنش برشی مجاز کاهش یافته f_t = تنش کششی موجود به علت نیروی کششی خارجی شامل اثر اهرمی شدن (kg/cm^2)

۲- در اتصالات اتکایی از نوع پرچ یا پیچ‌های پرمقاومت، اثر مشترک تنش کششی و تنش برشی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$f_v / F_v \leq 0.33 \rightarrow F'_t = F_t$$

$$f_v / F_v > 0.33 \rightarrow F'_t = F_t \sqrt{1 - (f_v / F_v)^2} \quad (۹-۴)$$

$$f_v^2 + (k f_t)^2 \leq F_v^2$$

f_v = تنش برشی موجود در پیچ یا پرچ

f_t = تنش کششی موجود در پیچ یا پرچ

k = مساوی ۰/۷۵ برای پرچ و ۰/۶ برای پیچ وقتی که صفحه برش خارج از ناحیه دنده شده باشد.

F_v = تنش برشی مجاز طبق جدول ۹-۵

F_t = تنش کششی مجاز طبق جدول ۹-۵

F'_t = تنش کششی کاهش یافته

۹-۲-۶- خستگی

در صورتیکه پیچ تحت نیروی کششی خستگی قرار گیرد، تنش کششی به علت نیروی کششی خستگی و نیروی اهرمی ناشی از آن نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

تنش کششی مجاز	سیکل تناوب
$0.33 F_u$	۲۰.۰۰۰
$0.3 F_u$	۲۰.۰۰۰ تا ۵۰۰.۰۰۰
$0.23 F_u$	بزرگتر از ۵۰۰.۰۰۰

F_u = تنش کششی نهایی پیچ

۹-۲-۷- اثر اهرمی شدن

در صورت اعمال نیروی کششی، علاوه بر کشش خارجی، نیروی اهرمی طبق رابطه زیر بوجود می‌آید که باید برکشش خارجی اعمال گردد:

$$Q = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{20} \right] T \quad (۹-۵)$$

که در آن:

Q = نیروی اهرمی برای هر پیچ

T = نیروی کششی مستقیم برای هر پیچ به علت بارهای خارجی

a = فاصله مرکز پیچ تا لبه ورق

b = فاصله مرکز پیچ موردنظر تا پنجه یا ماهیچه قطعه اتصالی

t = ضخامت نازکترین قطعه متصل شده

۹-۲-۸- تنش لهیدگی مجاز

تنش لهیدگی مجاز بر روی سطح تصویر اسمی (حاصلضرب قطر در ضخامت قطعه) در اتصالات اتکایی برابر است با:

$$\frac{0.5 L_e F_u}{d} \leq F_u \quad (۹-۶)$$

F_u = تنش نهایی مصالح ورق

d = قطر سوراخ

L_e = فاصله خالص بین لبه سوراخ و لبه ورق و یا دو لبه سوراخ

۹-۲-۹- فواصل پیچها

۱- فاصله مرکز به مرکز سوراخهای استاندارد، بزرگ، لوبیایی کوتاه و بلند نباید از $3d$ کمتر باشد. در سوراخ بزرگ

و لوبیایی فاصله خالص بین دو لبه سوراخ نباید از $2d$ کمتر گردد. d قطر وسیله اتصال می باشد.

۲- فاصله انتهایی بین لبه سوراخ و لبه ورق نباید کمتر از $1.5d$ باشد. d قطر وسیله اتصال می باشد.

۳- حداکثر فاصله مرکز به مرکز پیچها یا پرچها برای ایجاد درز رطوبت بند، نباید از ۱۰۰ میلیمتر به علاوه ۴ برابر

ضخامت قطعه متصل شونده یا ۱۷۵ میلیمتر بیشتر شود. فاصله مرکز پیچ تا لبه نیز نباید از ۸ برابر نازکترین

قسمت متصل شونده و یا ۱۲۵ میلیمتر بزرگتر شود.

۹-۲-۱۰- حداقل نیروی پیش تنیدگی

حداقل نیروی پیش تنیدگی در اتصالات اصطکاکی، $0.55F_u A_b$ می باشد که در آن A_b سطح مقطع پیچ و F_u

تنش نهایی مقاوم مصالح پیچ است.

۹-۲-۱۱- برش قالبی

در اتصال انتهایی تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر برداشته شده است و یا در حالتی نظیر که ممکن است

به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برشی در سطح مار بر وسیله اتصال و

کشش در سطح عمود بر آن خرابی اتفاق بیفتد، تنش برشی مجاز عبارت است از:

$$F_v = 0.3F_u \quad (۹-۷)$$

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

$$F_t = 0.5 F_u \quad (۸-۹)$$

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

F_u نیز تنش نهایی مصالح می‌باشد.

در اتصالات جوشی باید مسیر حداقل برای پارگی در جوشها کنترل شود.

۹-۲-۱۲- قطرهای توصیه شده برای پیچها

قطرهای توصیه شده برای پیچها، ۱۸، ۲۰ و ۲۲ میلیمتر می‌باشد.

۹-۳- غلتکها

نیروی فشاری تماس مجاز در واحد طول تماس غلتک تکیه‌گاهی با ورق زیرسری برابر است با:

$$d \leq 65 \text{ cm}$$

$$p = \frac{F_y - 920}{1400} (42d) \quad (۹-۹)$$

$$65 \text{ cm} < d \leq 320 \text{ cm}$$

$$p = \frac{F_y - 920}{1400} (335\sqrt{d}) \quad (۱۰-۹)$$

که در آن:

p = تنش فشاری تماسی مجاز (kg/cm)

d = قطر غلتک (cm)

F_y = تنش تسلیم حداقل مصالح در حال تماس (kg/cm^2)

فصل دهم

اتصالات و وصله‌ها

۱۰-۱- مقاومت مجاز اعضا

الف: اعضای فشاری

در وصله‌های پیچی و پرچی، مقاومت اعضای فشاری بر مبنای سطح مقطع کلی محاسبه می‌شود. در نتیجه ظرفیت فشاری مجاز عضو فشاری از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$P = A_g F_a \quad (10-1)$$

F_a = تنش فشاری مجاز در محل وصله

A_g = سطح مقطع کلی طبق تعریف بالا

ب: اعضای خمشی

مقاومت اعضای خمشی بر مبنای سطح مقطع کلی است، مگر اینکه بیش از ۱۵ درصد از مقطع هر بال به علت سوراخها کسر شده باشد که در اینصورت مازاد بر ۱۵ درصد باید از سطح مقطع کلی کسر گردد. در نتیجه ظرفیت خمشی مجاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$M = S F_b$$

F_b = تنش خمشی مجاز در محل وصله

S = اساس مقطع بر مبنای سطح مقطع تعریف شده در بالا

پ: اعضای کششی

مقاومت اعضای کششی نباید از $0.46 F_u A_n$ بیشتر گردد که در آن A_n سطح مقطع خالص عضو کششی و F_u مقاومت نهایی فولاد مصرفی است.

۱۰-۲- نوع وصله

وصله می‌تواند پرچی، پیچی (پر مقاومت) و یا جوشی باشد.

۱۰-۳- مقاومت وصله

نیروی طرح وصله در فشار، کشش، برش، و خمش بزرگترین دو مقدار زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف: متوسط نیروی داخلی موجود در محل وصله و مقاومت مجاز عضو در همان نقطه

ب: ۷۵ درصد مقاومت عضو در محل وصله

۱۰-۴- اتصال بال به جان

در صورتیکه برای اتصال بال به جان تیرورق از پیچ یا پرچ استفاده شود، باید دو نبشی در هر دو طرف ورق جان تعبیه گردد.

۱۰-۵- وصله تیرها و تیرورقها

الف: وصله جان

در وصله جان باید دو ورق وصله در دو طرف جان بصورت متقارن قرار داده شود. ورق وصله باید در تمام ارتفاع جان ادامه داشته و در هر طرف درز حداقل دو ستون پیچ یا پرچ تعبیه گردد. ورق وصله جان و اتصال آن باید برای نیروی برشی و لنگر خمشی سهم جان و لنگر خمشی ناشی از برون محوری نیروی برشی طراحی گردد.

ب: وصله بال

وصله بال را می توان برای قسمتی از لنگر طرح مازاد بر لنگر سهم جان انجام داد.

پ: نیروی برش طرح

به عنوان یک روش دیگر، برش طرح در وصله جان تیرهای نورد شده را می توان مساوی برش حداقل واقعی که در نسبت لنگر طرح به لنگر واقعی در محل وصله ضرب شده، طراحی نمود.

ت: در اعضای خمشی پیچی یا پرچی، بین دو وصله کارگاهی، نباید در اجزای بال، وصله وجود داشته باشد، مگر با اجازه مخصوص دستگاه نظارت. در بالهایی که فقط از یک جزء تشکیل یافته اند، محل وصله، همان محل وصله کارگاهی در نظر گرفته می شود. تا حد امکان سعی کنید وصله را در مناطق کم تنش قرار دهید.

ث: در تیرهای سراسری، سعی کنید وصله را در نقاط عطف قرار دهید.

۱۰-۶- وصله اعضای فشاری

الف: اعضای فشاری را می توان با استفاده از جوش شیار با نفوذ کامل، ترجیحاً بدون استفاده از ورق وصله، به یکدیگر وصله کرد.

ب: در وصله ستونها و اعضای فشاری خرپا، در صورتیکه انتهای دو عضو در محل درز کاملاً سنگ خورده باشد، طوریکه در محل درز در تماس کامل قرار گیرند، وصله را می توان برای ۵۰ درصد مقاومت مجاز عضو در محل درز طراحی نمود.

پ: سعی گردد محل وصله اعضای فشاری خرپا تا حد امکان به محل گره نزدیک باشد و سعی گردد هر قسمت برای نیروی سهمی خود متصل شده و وصله ها متقارن باشد.

۷-۱۰- وصله اعضای کششی

الف: اعضای کششی را می توان با استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل، ترجیحاً بدون استفاده از ورق وصله، به یکدیگر وصله کرد.

ب: در وصله اعضای کششی، برای عضو و ورقهای اتصال، از سطح مقطع کلی استفاده می شود، مگر اینکه سطح مقطع خالص کمتر از ۸۵ درصد سطح مقطع کلی باشد که در اینصورت مازاد بر پانزده درصد، از سطح مقطع کلی کسر می گردد.

۸-۱۰- وصله های جوشی

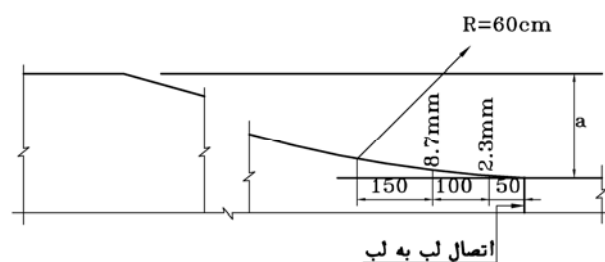
الف: اعضای فشاری و کششی را می توان به کمک جوش شیاری کاملاً نفوذی، ترجیحاً بدون استفاده از ورق اضافی، وصله نمود.

ب: در جوشهای کارگاهی، تا حد امکان باید از جوشهای بالای سر (سقفی) پرهیز نمود.

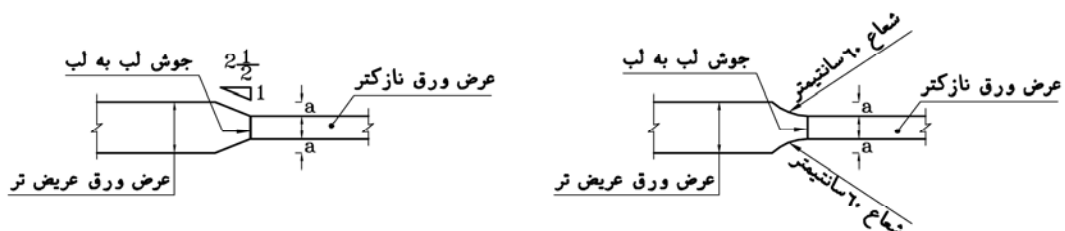
پ: ورقهای پرکننده با ضخامت ۶ میلیمتر و یا بزرگتر، باید از لبه های ورق وصله بیرون زده و با جوش کامل به عضو در تماس جوش شود. در طراحی جوش ورق پرکننده، باید اثر برون محوری نیروی انتقال یافته از ورق اتصال، منظور گردد.

لبه ورقهای پرکننده با ضخامت مساوی و یا کوچکتر از ۶ میلیمتر، باید همباد ورق اتصال بوده و ضخامت جوش محاسباتی ورق اتصال باید به اندازه ضخامت ورق پرکننده افزایش یابد.

ت: در وصله ورقهای بال با عرضهای متفاوت با جوش شیاری نفوذی، یکی از جزئیات شکل زیر باید مراعات گردد:



جزئیات تغییر تدریجی عرض



ب: انتقال با خط مستقیم

الف: انتقال با قوس به شعاع ۶۰ سانتیمتر

۱۰-۹- ورقهای پرکننده

الف: در اتصالات پیچی یا پرچی، در صورت استفاده از ورق پرکننده، ترجیحاً ورق پرکننده باید بعد از ورق اتصال ادامه یافته و با وسایل اتصال کافی جهت انتقال نیروی پرکننده، متصل شود. تنش موجود در ورق پرکننده از تقسیم نیروی عضو بر سطح مقطع کلی شامل سطح مقطع عضو و ورق پرکننده بدست می آید. می توان وسایل اتصال اضافی را در محدوده ورق اتصال قرارداد و ورق پرکننده را ادامه نداد. تعداد وسایل اضافی، حداقل باید دو خط عرضی از وسایل اتصال تشکیل دهد.

در اتصالات پیچی از نوع اصطکاکی نیازی به ادامه ورق پرکننده، و لزومی به تعبیه وسایل اتصال اضافی نیست.

ب: در صورتیکه ضخامت ورق پرکننده کمتر از ۶ میلیمتر باشد، لازم نیست بعد از ورق اتصال ادامه یافته و احتیاج به وسایل اتصال اضافی نیست.

پ: تعداد ورقهای پرکننده با ضخامت بزرگتر از ۶ میلیمتر، نمی تواند بیش از دو عدد باشد، مگر با اجازه مخصوص مهندس.

۱۰-۱۰- جزئیات وصله

جزئیات اتصال باید طوری سازمان یابد که نسبت به هر دو محور مقطع متقارن باشند.

۱۰-۱۱- اتصالات ساده

در اتصالات ساده انتهایی تیرهای عرضی و تیرچه های سیستم عرشه به تیرهای حمال، باید از دو نبشی جان که در طرفین جان قرار دارند، استفاده شود. حداقل ضخامت این نبشی ها ۱۰ میلیمتر است. این اتصال بهتر است با پیچهای پرمقاومت برقرار گردد، لیکن از پرچ و جوش نیز می توان برای آن استفاده نمود. در صورت استفاده از جوش، لنگر انتهایی باید در محاسبات جوش دیده شود.

۱۰-۱۲- اتصال انتهایی دیافراگم ها و مهاربندی های عرشه

ورقهایی که برای اتصال دیافراگم ها و مهاربندی عرشه به تیرهای عرشه به کار می روند، باید به هر دو بال تیرهای عرشه جوش شوند.

فصل یازدهم

تنش‌های مجاز خستگی

۱-۱۱- تنشهای مجاز خستگی

اعضا و وسایل اتصالات (شامل پرچ و پیچ و جوش) که تحت تنشهای متغیر و یا معکوس تکرار شونده قرار دارند، باید طوری طراحی شوند که حداکثر تنش موجود در آنها از تنشهای مجاز پایه حالت استاتیکی و همچنین دامنه تغییرات تنش در آنها، از دامنه‌های مجاز (F_{sr}) جدول ۱۱-۳ تجاوز نکند. در ارتباط با استفاده از جدول ۱۱-۳ ذکر توضیحات زیر ضروری است:

۱. تکرار بارگذاری: همانطور که جدول ۱۱-۳ نشان می‌دهد، دامنه مجاز تنش خستگی تابعی از تکرار بارگذاری می‌باشد. در این جدول، چهار وضعیت بارگذاری برای تکرار ۱۰۰.۰۰۰ سیکل، ۵۰۰.۰۰۰ سیکل، ۲.۰۰۰.۰۰۰ سیکل، و بالای ۲.۰۰۰.۰۰۰ سیکل نشان داده شده است. تعداد تکرار بارگذاری، با توجه به جدول ۱۱-۱ انتخاب می‌شود، مگر اینکه مطالعات بارسنجی و یا سایر ملاحظات، دلالت بر عدد دیگری داشته باشند.
۲. طبقه تنش: طبقه تنش برحسب نوع مصالح و نیمرخ و همچنین جزئیات طرح، از جدول ۱۱-۲ و شکل ۱۱-۱ انتخاب می‌شود.
۳. مسیر بار معین و مسیر بار نامعین: جدول ۱۱-۳ شامل دو قسمت، یکی برای سازه‌ها و اجزا با مسیر بار معین و دیگری برای سازه‌ها و اجزا با مسیر بار نامعین می‌باشد. در یک تعریف کلی، سازه با مسیر بار معین، سازه‌ای است که از بین رفتن یک جزء، باعث فروریختن کامل سازه شود. اجزای باربر اصلی را که تحت تنشهای کششی قرار دارند، می‌توان اعضا با مسیر بار معین در نظر گرفت. مثالهایی از اعضا با مسیر بار معین عبارتند از: بالها و جان شاهیتر پلها با یک یا دو شاهیتر، اعضای اصلی خرپاهای معین، ورقهای آویز، تیرسرتون در پایه‌های یک و دو ستونی.
۴. تنشهای خستگی مجاز برآن دسته از ترکیبات بارگذاری اعمال می‌شوند که شامل بار زنده یا بار باد می‌باشند. تعداد تکرار برای ترکیبات بار مرده و باد، مساوی ۱۰۰.۰۰۰ سیکل منظور می‌شود.
۵. برای اعضای باربر اصلی که تحت تنش کششی قرار دارند، باید مشخصات ضربه طبق آزمایش طاقت شیاری شارپی تعیین شود. احتیاجات ضربه‌ای اعضا بستگی به نوع فولاد، نوع ساخت، نوع وسیله اتصال (جوش یا پیچ و پرچ) و دمای متوسط بهره‌برداری دارد. اعضای که برای آنها تعیین مشخصات طاقت شیاری اجباری است، باید به همراه محدوده دمای بهره‌برداری، در مدارک پیمان مشخص شوند. محدوده دمای بهره‌برداری به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

ناحیه ۱	۱۸- درجه سانتیگراد و بالاتر
ناحیه ۲	۱۷- تا ۳۴- درجه سانتیگراد
ناحیه ۳	۳۵- تا ۵۰- درجه سانتیگراد

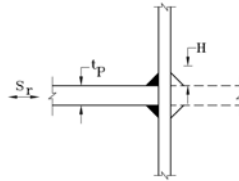
جدول ۱۱-۱- تعداد سیکل بارگذاری

اعضای باربر اصلی (طولی)			نوع جاده
بارکامیون ^۲	ADTT ^۱	حالت	
۲.۰۰۰.۰۰۰	۲۵۰۰ و یا بیشتر	I	آزادراهها، بزرگراهها، شاهراهها (راههای اصلی)، و خیابانها
۵۰۰.۰۰۰	کمتر از ۲۵۰۰	II	آزادراهها، بزرگراهها، شاهراهها (راههای اصلی)، و خیابانها
۱۰۰.۰۰۰	_____	III	سایر راهها و خیابانها که در دو حالت I و II ذکر نشده‌اند.
اعضای عرضی و سایر جزئیاتی که تحت بار چرخ قرار دارند			
بالای ۲.۰۰۰.۰۰۰	۲۵۰۰ و یا بیشتر	I	آزادراهها، بزرگراهها، شاهراهها (راههای اصلی)، و خیابانها
۲.۰۰۰.۰۰۰	کمتر از ۲۵۰۰	II	آزادراهها، بزرگراهها، شاهراهها (راههای اصلی)، و خیابانها
۵۰۰.۰۰۰	_____	III	سایر راهها و خیابانها

۱- ترافیک متوسط روزانه کامیون در یک امتداد

۲- اعضا با فرض وجود یک کامیون در عرض پل، باید برای تکرار بیش از ۲.۰۰۰.۰۰۰ نیز کنترل شوند.

جدول ۱۱-۲

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش ^۱	شکل مثال (شکل ۱۱-۱)	طبقه تنش
مصالح ساده	فلز مبنا با سطح نوردشده یا پرداخت شده. لبه‌های بریده شده با مشعل با صافی ۱۰۰۰ یا کمتر طبق ANSI	T یا Rev	۱ و ۲	A
اعضای مرکب از چند نیمرخ	فلز مبنا و مصالح جوش در اعضای ساخته شده از ورق و یا نیمرخ (بدون ملحقات) که اجزای آنها توسط جوش شیار پیوسته با نفوذ کامل (که تسمه پشت‌بند آن برداشته شده) و یا جوش گوشه پیوسته به موازات امتداد تنشهای وارده، به یکدیگر متصل شده است.	T یا Rev	۳ و ۴ و ۵ و ۷	B
	فلز مبنا و فلز جوش در اعضای ساخته شده از ورق و یا نیمرخ (بدون ملحقات) که اجزای آنها توسط جوش شیار پیوسته با نفوذ کامل (بدون حذف تسمه پشت‌بند) و یا جوشهای شیار نیمه‌نفوذی به موازات امتداد تنش، به یکدیگر متصل شده‌اند.	T یا Rev	۳ و ۴ و ۵ و ۷	B'
	تنش خمشی محاسبه شده در ریشه جوش سخت کننده عرضی به جان و یا بال تیر	T یا Rev	۶	C
	فلز مبنا در دو انتهای ورقهای تقویتی جوشی با طول محدود، و کم عرض تر از بال با انتهای راست گوشه یا باریک شونده، با و یا بدون جوش عرضی انتهایی و یا عریض تر از بال با جوش عرضی انتهایی (الف) ضخامت بال کمتر و یا مساوی ۲۰ میلیمتر (ب) ضخامت بال بیشتر از ۲۰ میلیمتر	T یا Rev T یا Rev	۷ ۷	E E'
	فلز مبنا در انتهای ورقهای تقویتی جوشی با طول محدود با عرضی بزرگتر از عرض بال بدون جوش عرضی انتهایی	T یا Rev	۷	E'
۱- T تنش همواره کششی، Rev تنش معکوس (به طور متناوب کششی و فشاری) ۲- به طور طولی بارگذاری شده، بدین معناست که تنش وارده در امتداد محور جوش است. به طور عرضی بارگذاری شده، بدین معناست که تنش وارده عمود بر امتداد جوش است. ۳- جوشهای شیار نیمه نفوذی با بارگذاری عرضی، منع شده‌اند. ۴- دامنه تنش خستگی مجاز در گلولی جوشهای گوشه که به طور عرضی بارگذاری شده‌اند، تابعی از گلولی موثر و ضخامت ورق می‌باشد. (ابعاد برحسب اینچ) $* S_r = S_r^c \left(\frac{0.06 - 0.79 H / t_p}{1.1 t_p^{.167}} \right)$  S_r^c = دامنه تنش مجاز مربوط به طبقه تنش C. هیچ نفوذی در ریشه جوش فرض نشده است. ۵- ورقهای اتصال (گاست) که با جوش گوشه به سطح بال تیر متصل می‌شوند، ممنوع می‌باشند.				

جدول ۱۱-۲- ادامه

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش ^۱	شکل مثال (شکل ۱۱-۱)	طبقه تنش
جوش شیاری نفوذی	فلز مبنا و فلز جوش در محل وصله اجزای مقاطع مشابه (از نیمرخ نورد شده یا ساخته شده) با جوش شیاری تمام نفوذی که در امتداد تنشهای وارده سنگ خورده و سلامت جوش توسط آزمایشهای غیرمخرب تایید شده است.	Rev یا T	۸ و ۱۰	B
	فلز مبنا و فلز جوش در محل وصله اجزایی با ضخامت و یا عرض متفاوت و دارای طول انتقال به شعاع ۶۰ سانیمتر با جوش شیاری تمام نفوذی که در امتداد تنشهای وارده سنگ خورده و سلامت جوش توسط آزمایشهای غیرمخرب تایید شده است.	Rev یا T	۱۳	B
	فلز مبنا و فلز جوش در محل وصله اجزایی با ضخامت و یا عرض متفاوت و دارای طول انتقال، با جوش شیاری تمام نفوذی که در امتداد تنشهای وارده طوری سنگ خورده که شیب آن از ۱ به ۲/۵ تندتر نباشد و سلامت جوش توسط آزمایشهای غیرمخرب تایید شده است. (الف) فلز پایه مطابق A514 و A517 (ب) سایر مصالح پایه	Rev یا T Rev یا T	۱۱ و ۱۲ ۱۱ و ۱۲	B' B
	فلز پایه و فلز جوش در محل وصله اجزایی با ضخامت و یا عرض متفاوت با جوش شیاری تمام نفوذی با و یا بدون طول انتقال با شیبی نه بزرگتر از ۱ به ۲/۵، وقتی که گرده جوش سنگ نخورد و سلامت جوش توسط آزمایش غیرمخرب تایید گردد.	Rev یا T	۸ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲	C
	فلز مبنا در مجاورت قطعات الحاقی که توسط جوش شیاری تمام و یا نیمه نفوذی متصل شده و طول قطعه الحاقی (L)، کوچکتر از ۵ سانتیمتر است.	Rev یا T	۶ و ۱۵	C
جوش شیاری قطعات الحاقی به طور طولی بارگذاری شده اند ^۲	فلز مبنا در مجاورت قطعات الحاقی که توسط جوش شیاری تمام و یا نیمه نفوذی متصل شده و طول قطعه الحاقی (L)، بین ۵ سانتیمتر و ۱۲ برابر ضخامت ورق قرار دارد، لیکن از ۱۰ سانتیمتر کوچکتر نیست.	Rev یا T	۱۵	D
	فلز مبنا در مجاورت قطعات الحاقی که توسط جوش شیاری تمام و یا نیمه نفوذی متصل شده و طول قطعه الحاقی (L)، بزرگتر از ۱۲ برابر ضخامت ورق و یا ۱۰ سانتیمتر است.			
	ضخامت قطعه الحاقی کوچکتر از ۲۵ میلیمتر ضخامت قطعه الحاقی بزرگتر یا مساوی ۲۵ میلیمتر	Rev یا T Rev یا T	۱۵ ۱۵	E E'

جدول ۱۱-۲- ادامه

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش ^۱	شکل مثال (شکل ۱۱-۱)	طبقه تنش
	فلز مبنا در مجاورت قطعات الحاقی که توسط جوش شیاری تمام نفوذی با شعاع انتقال R متصل شده است. بدون توجه به طول قطعه الحاقی داریم: - وقتی که جوشهای انتهایی سنگ زده شده‌اند. (الف) شعاع انتقال بزرگتر یا مساوی ۶۰ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۶۰ و بزرگتر یا مساوی ۱۵ سانتیمتر (پ) شعاع انتقال کوچکتر از ۱۵ و بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (ت) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - برای تمام شعاعهای انتقال بدون سنگ زدن انتهای جوش	Rev یا T	۱۶	B C D E E
	قطعه الحاقی توسط جوش شیاری تمام نفوذی با شعاع انتقال R متصل و سلامت جوش در امتداد عمود بر امتداد نیرو توسط آزمایش غیرمخرب تایید شده است. بدون توجه به طول قطعه الحاقی داریم: - ضخامت ورقهای اتصالی یکسان است و گرده جوش سنگ‌زده شده است. (الف) شعاع انتقال بزرگتر یا مساوی ۶۰ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۶۰ و بزرگتر یا مساوی ۱۵ سانتیمتر (پ) شعاع انتقال کوچکتر از ۱۵ و بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (ت) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - ضخامت ورقهای اتصالی یکسان است و گرده جوش سنگ زده نشده است. (الف) شعاع انتقال بزرگتر و یا مساوی ۱۵ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۱۵ و بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (پ) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - ضخامت ورقهای اتصالی یکسان نیست، لیکن گرده جوش سنگ زده شده است. (الف) شعاع انتقال بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - ضخامت ورقهای اتصالی یکسان نیست و گرده جوش سنگ زده نشده است. برای تمام شعاعهای انتقال	Rev یا T	۱۶	B C D E C D E D E E

جوش شیاری -
قطعات الحاقی به
طور عرضی
بارگذاری شده‌اند

جدول ۱۱-۲- ادامه

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش ^۱	شکل مثال (شکل ۱۱-۱)	طبقه تنش
جوش شیار (اتصالات)	فلز پایه در اتصالی که توسط جوش با بارگذاری عرضی متصل شده است. جوش عمود بر امتداد تنش می باشد. (الف) ضخامت قطعه، کوچکتر یا مساوی ۱۲ میلیمتر (ب) ضخامت قطعه بزرگتر از ۱۲ میلیمتر	Rev یا T Rev یا T	۱۴	C به پانویس ۴ مراجعه شود
	فلز مبنا در جوشهای گوشه منقطع	Rev یا T	—	E
	تنش برشی در گروی جوش گوشه	برش	۹	F
جوش گوشه قطعات الحاقی تحت بارگذاری طولی (۲ و ۳ و ۵)	فلز مبنا در مجاورت قطعه الحاقی با جوش گوشه به طول (L)، در امتداد تنش، کمتر از ۵ سانتیمتر و گلمیخهای برشگیر	Rev یا T	۱۵ و ۱۷ و ۲۰	C
	فلز مبنا در مجاورت قطعه الحاقی با جوش گوشه به طول (L)، در امتداد تنش، بین ۵ سانتیمتر و ۱۲ برابر ضخامت ورق ولی کمتر از ۱۰ سانتیمتر	Rev یا T	۱۵ و ۱۷	D
	فلز مبنا در مجاورت قطعه الحاقی با جوش گوشه به طول (L)، در امتداد تنش، بزرگتر از ۱۲ برابر ضخامت ورق یا ۱۰ سانتیمتر (الف) ضخامت قطعه الحاقی کوچکتر از ۲۵ میلیمتر (ب) ضخامت قطعه الحاقی بزرگتر یا مساوی ۲۵ میلیمتر	Rev یا T Rev یا T	۷ و ۹ و ۱۵ و ۱۷	E E'
	فلز مبنا در مجاورت قطعه الحاقی که توسط جوش گوشه، با شعاع انتقال R متصل شده است. بدون توجه به طول قطعه انتقالی: - جوشهای انتهایی سنگ زده شده است. (الف) شعاع انتقال بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - برای تمام شعاعهای انحنا بدون سنگ زدگی جوشهای انتهایی	Rev یا T Rev یا T	۱۶ ۱۶	D E E
جوش گوشه - قطعات الحاقی تحت بارگذاری عرضی - جوش در امتداد تنشهای اصلی	فلز مبنا در مجاورت قطعه الحاقی که توسط جوش گوشه، با شعاع انتقال R متصل شده است. بدون توجه به طول جوش داریم (تنش برشی در گروی جوش گوشه در طبقه F قرار می گیرد) - جوشهای انتهایی سنگ زده شده است. (الف) شعاع انتقال بزرگتر یا مساوی ۵ سانتیمتر (ب) شعاع انتقال کوچکتر از ۵ سانتیمتر - برای تمام شعاعهای انحنا بدون توجه به سنگ زدگی جوشهای انتهایی	Rev یا T Rev یا T	۱۶ ۱۶	D E E

جدول ۱۱-۲- ادامه

شرایط کلی	وضعیت	نوع تنش ^۱	شکل مثال (شکل ۱۱-۱)	طبقه تنش
اتصالات با وسایل اتصال مکانیکی (پیچ و پرچ)	فلز مبنا در مقطع کلی اتصالات با پیچهای پرمقاومت اصطکاکی، به استثنای درزها با بار محوری که در قطعات متصل کننده خمش خارج از صفحه ایجاد می نمایند. فلز مبنا در مقطع خالص اتصالات با پیچهای پرمقاومت اتکایی فلز مبنا در مقطع خالص اتصالات با پرچ	T یا Rev T یا Rev	۲۱ ۲۱	B D
اتصالات مفصلی	فلز مبنا در مقطع خالص فلز مبنا در تنه اتصال مفصلی یا مقطع کل پنجه اتصال الف: سطوح نوردشده و یا ماشین کاری شده ب: لبه های برش داده شده با هواگاز	T T	۲۳ و ۲۴ ۲۳ و ۲۴ ۲۳ و ۲۴	E A B

جدول ۱۱-۳- دامنه خستگی^۱ مجاز F_{sr} برحسب کیلوگرم برسانتیمترمربع

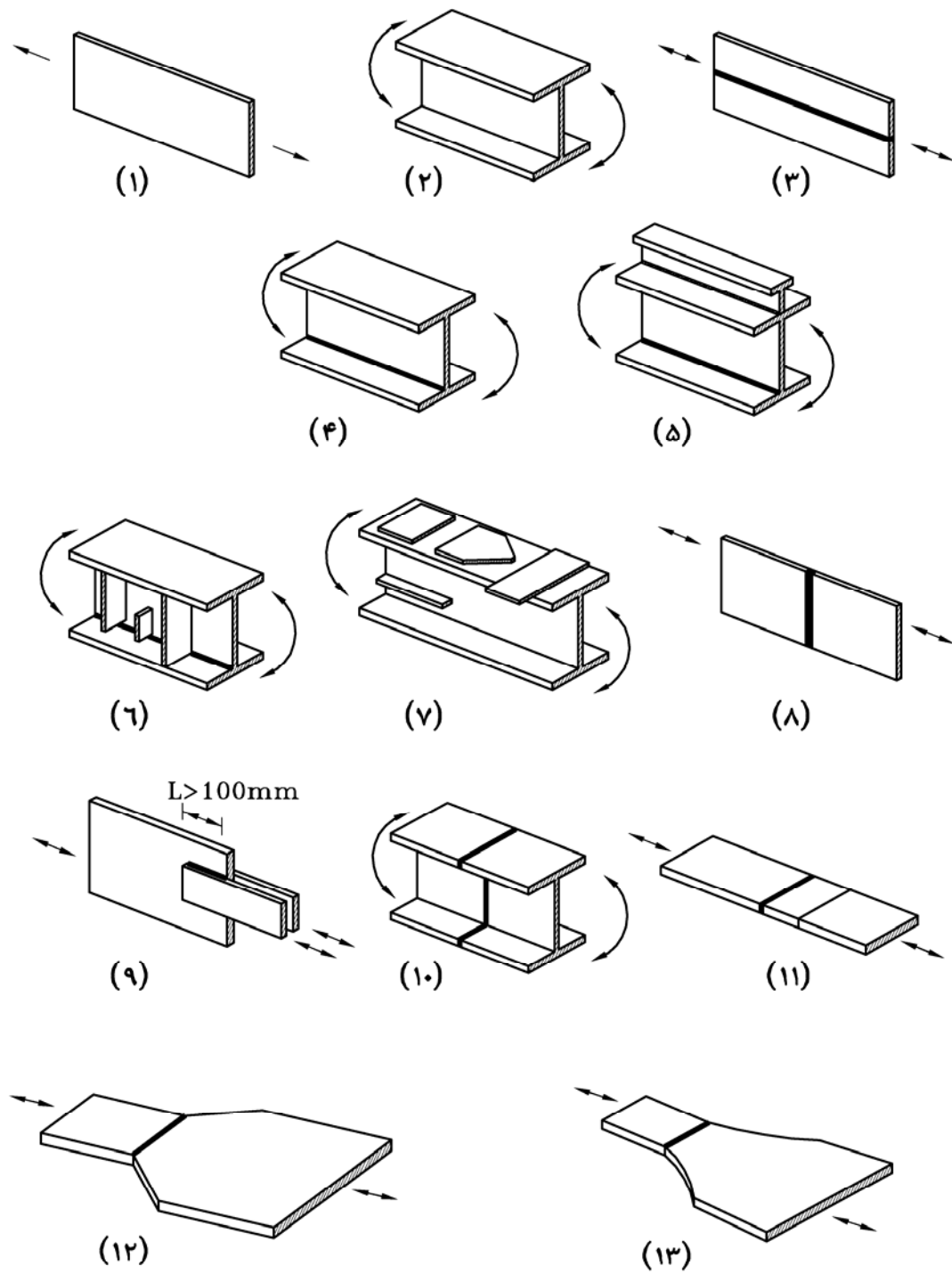
مسیر بار نامعین				
طبقه تنش	برای ۱۰۰.۰۰۰ تکرار	برای ۵۰۰.۰۰۰ تکرار	برای ۲.۰۰۰.۰۰۰ تکرار	برای بیش از ۲.۰۰۰.۰۰۰ تکرار
A	۴۴۱۰	۲۵۹۰	۱۶۸۰	۱۶۸۰
B	۳۴۳۰	۲۰۳۰	۱۲۶۰	۱۱۲۰
B'	۲۷۳۰	۱۶۱۰	۱۰۱۵	۸۴۰
C	۲۴۸۵	۱۴۷۰	۹۱۰	۷۰۰
	————	————	————	۲۸۴۰
D	۱۹۶۰	۱۱۲۰	۷۰۰	۴۹۰
E	۱۵۴۰	۹۱۰	۵۶۰	۳۱۵
E'	۱۱۲۰	۶۴۴	۴۰۶	۱۸۲
F	۱۰۵۰	۸۴۰	۶۳۰	۵۶۰
مسیر بار معین				
A	۳۵۰۰	۲۰۳۰	۱۶۸۰	۱۶۸۰
B	۲۷۳۰	۱۶۱۰	۱۱۲۰	۱۱۲۰
B'	۲۱۷۰	۱۲۶۰	۷۷۰	۷۷۰
C	۱۹۶۰	۱۱۲۰	۷۰۰	۶۳۰
	————	————	۲۸۴۰	۲۷۷۰
D	۱۵۴۰	۹۱۰	۵۶۰	۳۵۰
E	۱۱۹۰	۷۰۰	۴۲۰	۱۶۱
E'	۸۴۰	۴۹۰	۲۸۰	۹۱
F	۸۴۰	۶۳۰	۴۹۰	۴۲۰

(۱) تنش حداقل - تنش حداکثر = دامنه خستگی

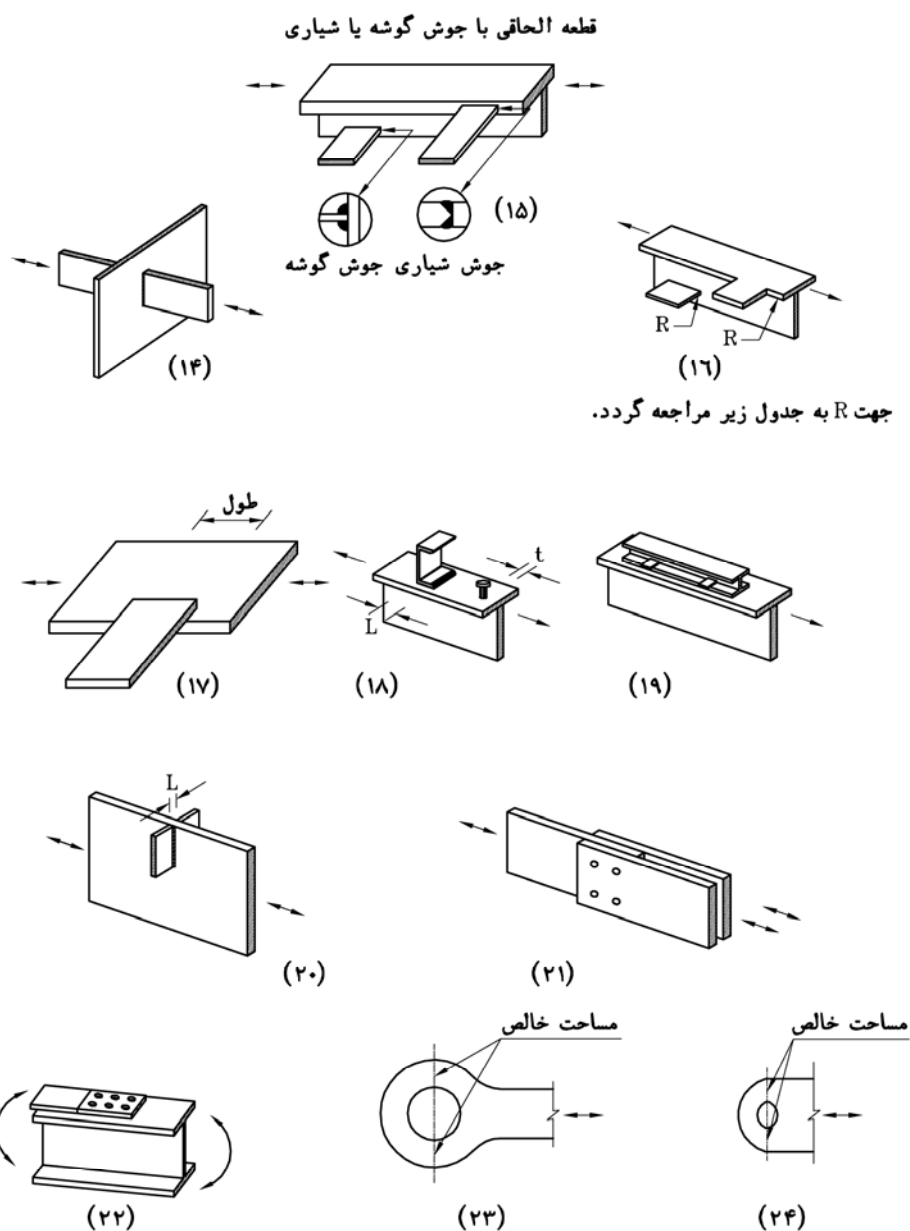
تنش کششی مثبت و تنش فشاری منفی در نظر گرفته می شود.

(۲) برای جوش سخت کننده عرضی به بال و یا به جان

(۳) در سازه ها با مسیر بار معین، برای بال ضخیمتر از ۲۰ میلیمتر، نباید از ورق پوششی جوش شده با طول محدود استفاده کرد.



شکل ۱۱-۱



شرایط جوش	طبقه
ضخامتها مساوی با حذف گرده	B
ضخامتها مساوی بدون حذف گرده	C
ضخامتها نامساوی با حذف گرده	D
ضخامتها نامساوی بدون حذف گرده	E

R (س م)	گوشه	شیاری
$R > 60$	D	B
$60 > R \geq 15$	D	C
$15 > R \geq 5$	D	D
$5 > R$	E	E

فصل دوازدهم

خرپاها

۱۲-۱- کلیات

۱۲-۱-۱- اجزای تشکیل دهنده اعضای خرپا را می‌توان با جوش، پرچ و یا پیچهای پرمقاومت بهم متصل کرد.

۱۲-۱-۲- مقطع اعضای خرپا باید نسبت به صفحه میانی خرپا متقارن باشند.

۱۲-۱-۳- عضو انتهایی خرپا بهتر است بصورت مایل بوده و باید در محل اتصال آن به یال فوقانی، دارای مهار جانبی باشد.

۱۲-۱-۴- برای جلوگیری از واژگونی در برابر نیروهای جانبی، خرپاهای اصلی باید با فاصله مرکز به مرکز کافی از هم قرارداده شوند.

۱۲-۱-۵- برای مقاصد طراحی، ارتفاع موثر باید مطابق زیر فرض شود:

در خرپاهای پرچی یا پیچ شده، فاصله بین مراکز ثقل یالها

در خرپاهای با اتصالات مفصلی، فاصله بین مراکز مفاصل

۱۲-۲- اعضای خرپا

۱۲-۲-۱- اعضای جان و یال خرپا معمولاً از نیمرخهای زیر ساخته می‌شوند:

مقاطع H نورد شده و یا ساخته شده از ورق یا ناودانی، با جان پر، مشبک و یا بستهای موازی و مورب.

مقاطع ناودانی بصورت نورد شده یا ساخته شده از ورق یا نبشی، با جان پر، مشبک و یا بستهای موازی و مورب.

مقاطع قوطی با استفاده از مقاطع I، ناودانی، نبشی، ورق، که بوسیله ورقهای پر، مشبک و یا بستهای موازی یا مورب متصل گردیده‌اند.

۱۲-۲-۲- یال فشاری بهتر است بصورت پیوسته باشد.

۱۲-۲-۳- چنانچه اعضای جان خرپا تحت تنشهای خستگی معکوس باشند، اتصالات انتهایی آنها نباید بصورت مفصلی (پینی) باشد.

۱۲-۲-۴- آرایش اجزای مقطع طوری باشد که زهکشی طبیعی صورت گرفته و از ماندآب در گوشه‌ها جلوگیری شود.

۱۲-۳- تنشهای ثانوی

تنشهای ثانوی در خرپا، ناشی از لنگرهای انتهایی اعضا به علت گیرداری در محل اتصالات می‌باشند. هندسه خرپا باید بگونه‌ای باشد که تنشهای ثانویه تا حد امکان کاهش یابند. تنشهای ثانویه ناشی از اعوجاج عرضی خرپا، و یا تغییر شکل تیر عرضی، در اعضایی که بعدشان در صفحه اعوجاج از یک دهم طولشان کمتر است، معمولاً منظور نمی‌شوند. اگر تنش ثانویه از ۲۸۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع برای اعضای کششی و ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در مورد اعضای فشاری بیشتر شود، مقدار اضافی به مثابه تنش اولیه منظور می‌شود. تنشهای ناشی از لنگر خمشی وزن اعضا بعنوان تنش ثانویه اضافی در نظر گرفته می‌شود.

۱۲-۴- نسبت ارتفاع به دهانه

نسبت ارتفاع به دهانه خرپا، نباید کمتر از $\frac{1}{10}$ گردد. طول دهانه، فاصله مرکز به مرکز دو تکیه‌گاه می‌باشد.

۱۲-۵- پیش خیز

در ساخت خرپا، باید خیز اولیه‌ای به اندازه تغییر شکل ناشی از بار مرده تعبیه گردد. در محاسبه تغییر شکل خرپاها، از سطح مقطع کلی اعضا استفاده می‌شود.

۱۲-۶- خط محور

خطوط واصل بین نقاط تقارب اعضا در محل اتصالات را خطوط محور گویند.

- ۱۲-۶-۱- اعضای اصلی باید بگونه‌ای انتخاب شوند که محور ثقل آنها حتی الامکان به خط محور نزدیک باشد.
- ۱۲-۶-۲- در اعضای فشاری با مقطع نامتقارن، نظیر مقاطعی که از قطعات گونه و یک ورق پوششی تشکیل شده‌اند، محور ثقل مقطع به استثنای مواردی که به جهت مقابله با خمش ناشی از بار مرده، وجود برون محوری لازم می‌باشد، باید تا حد امکان به خط محور نزدیک باشد.

۱۲-۷- مهاربندی و قابهای عرضی

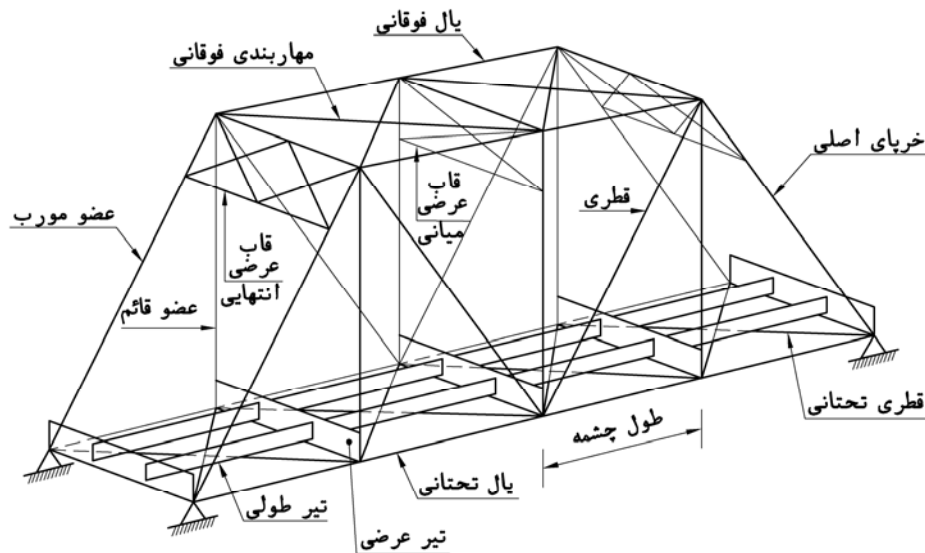
در پلهای خرابایی تعبیه سیستم‌های مهاربندی زیر ضروری است:

۱۲-۷-۱- مهاربند افقی در صفحه مار بر دو یال فوقانی

۱۲-۷-۲- مهاربند افقی در صفحه مار بر دو یال تحتانی

۱۲-۷-۳- قابهای (پرتال‌های) انتهایی و میانی در صفحه قائم مار بر اعضای قائم دو خرپای مجاور در خرپاهای میانگذر. حداقل ارتفاع تیر افقی مساوی ۱/۵ متر می‌باشد (به قسمت ۷-۱۳ مراجعه نمایید).

۱۲-۷-۴- مهاربندی عرضی در صفحه قائم مار بر اعضای قائم دو خرپای مجاور در خرپاهای عبور از بالا.



شکل ۱۲-۱- مهاربندی خرپاها

۱۲-۸- بست‌های موازی و مورب

در صورت استفاده از بست‌های موازی و مورب برای ساخت اعضای فشاری و کششی، باید تناسب آنها منطبق بر تناسبات ذکر شده در قسمت ۷-۴-۳ فصل ۷ (اعضای فشاری) باشد.

۱۲-۹- ورق‌های اتصال

۱۲-۹-۱- به استثنای خرپای مفصلی (ساخته شده با پین)، در محل اتصال اعضای اصلی باید از ورق اتصال استفاده نمود.

۱۲-۹-۲- خطوط جوش و آرایش وسایل اتصال نظیر پرچ و پیچ، باید حتی‌الامکان نسبت به محور عضو متقارن باشند.

۱۲-۹-۳- ضخامت ورق اتصال براساس تنشهای برشی، محوری، خمشی و ترکیب آنها در بحرانی‌ترین مقطع تعیین می‌گردد.

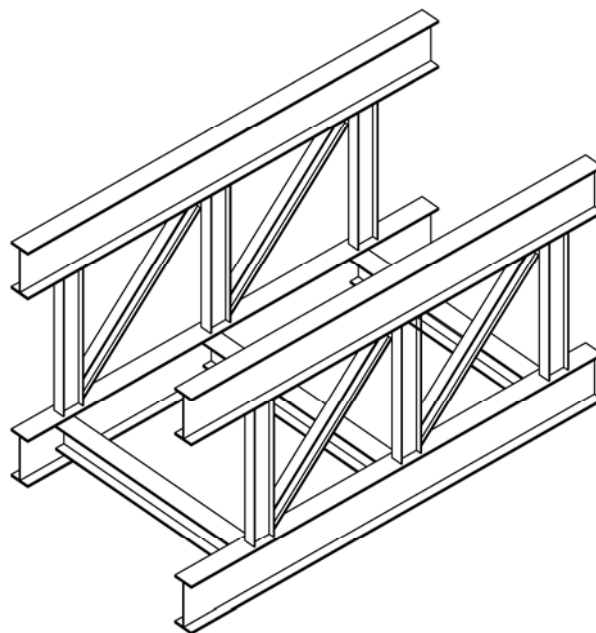
۱۲-۹-۴- باید حتی‌الامکان از برش ورق با زوایای حاده پرهیز نمود.

۱۲-۹-۵- اگر نسبت عرض به ضخامت لبه آزاد ورق اتصال از $2900/\sqrt{F_y}$ تجاوز نماید، لبه ورق باید تقویت گردد. این نسبت برای فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ مساوی ۶۰ بدست می‌آید.

۱۲-۱۰- خرپاهای میانگذر بدون بادبندی در صفحه یال فوقانی

خرپاهای میانگذر (عبور از میان) را می‌توان بدون بادبندی در صفحه یال فوقانی طراحی نمود، مشروط بر اینکه؛ الف: قاب U شکل متشکل از تیرهای عرضی کف و اعضای قائم خرپا، مقاومت خمشی جانبی کافی برای بار جانبی به مقدار حداقل ۴۵۰ کیلوگرم بر متر طول که بر یال فوقانی اعمال می‌شود، داشته باشد. این مقدار نباید از نیروی کمانشی یال فشاری کمتر باشد.

ب: یال فوقانی باید همانند ستونی متکی بر تکیه‌گاههای ارتجاعی در محل گره‌ها در نظر گرفته شود. نیروی کمانشی این ستون فرضی، حداقل باید $1/5$ برابر مجموع نیروهای حاصل از بارهای مرده، زنده و ضربه گردد.



شکل ۱۲-۲- قاب U شکل

فصل سیزدهم

تیرورقهای قوسی (طاقی) با ورق جان یکپارچه

این فصل اختصاص به معرفی ضوابط خاص برای طراحی تیرورقهای قوسی (طاقی) با ورق جان یکپارچه دارد.

۱۳-۱- ضریب تشدید لنگر

در صورتیکه در تحلیل، تغییر شکل تیرقوس در نظر گرفته نشده باشد، لنگرهای ناشی از بار زنده و ضربه باید در ضریب تشدید بدست آمده از رابطه زیر ضرب گردد:

$$A_F = \frac{1}{1 - \frac{1.70T}{AF_e}} \quad (13-1)$$

که در آن:

T = نیروی محوری قوس در نقطه $\frac{1}{4}$ دهانه به علت بار مرده و زنده و ضربه
 F_e = تنش کمانش اولر طبق رابطه زیر:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{20 \times 10^6}{\lambda^2} \quad (13-2)$$

L = نصف طول تیرقوسی

A = سطح مقطع تیر قوسی

r = شعاع ژیراسیون مقطع

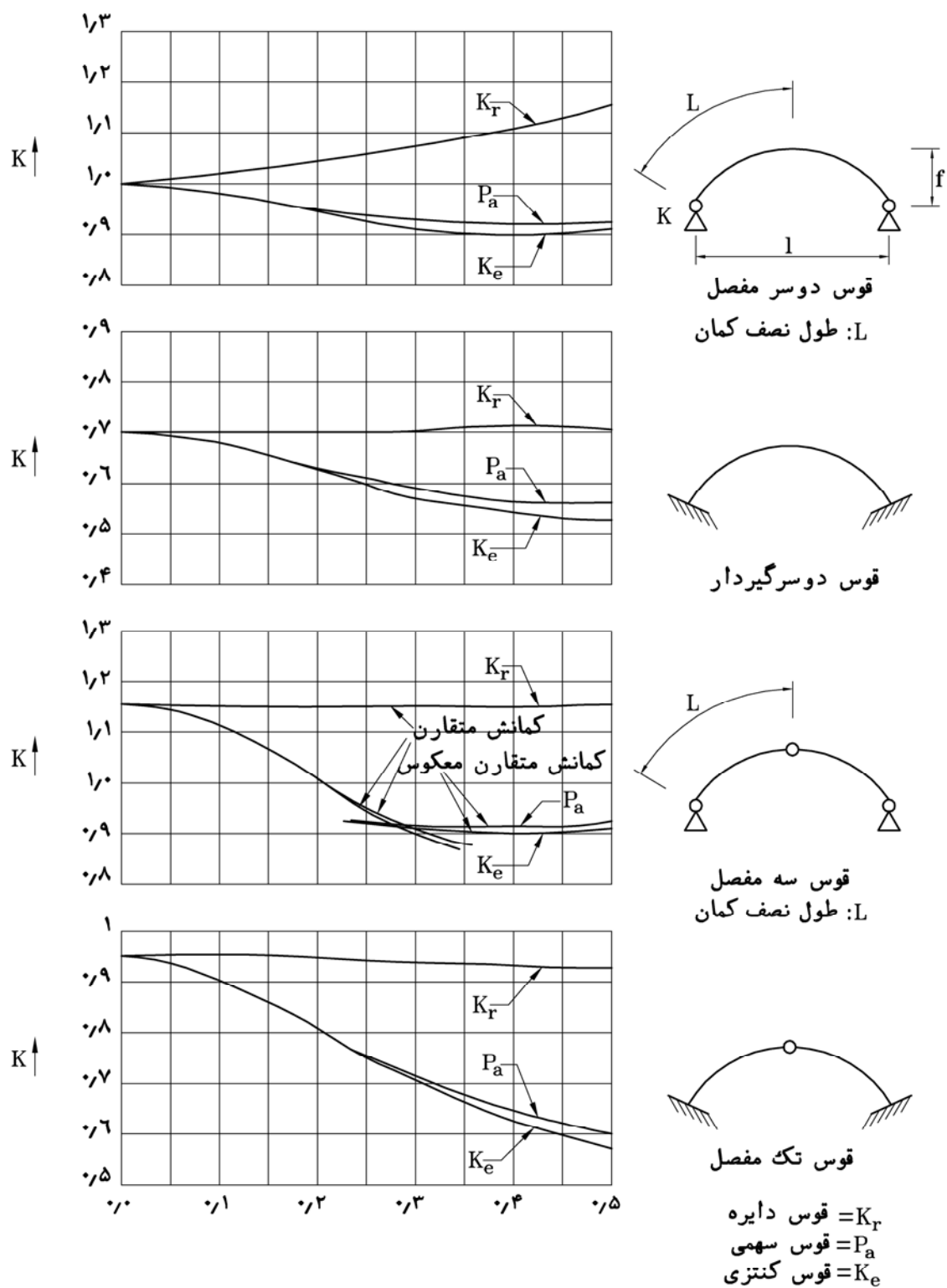
K = ضریب طول موثر

E = ضریب الاستیسیته فولاد

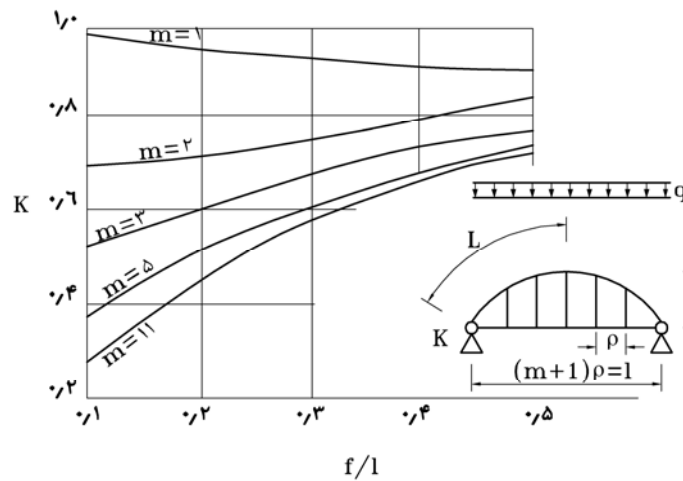
مقادیر محافظه کارانه K برای کمانش قوس در صفحه، در تعیین F_e و F_a به شرح زیر است:

نسبت خیز به دهانه	قوس سه مفصل	قوس دوسر مفصل	قوس دوسرگیردار
۰/۱-۰/۲	۱/۱۶	۱/۰۴	۰/۷۰
۰/۲-۰/۳	۱/۱۳	۱/۱۰	۰/۷۰
۰/۳-۰/۴	۱/۱۶	۱/۱۶	۰/۷۲

به جای استفاده از جدول فوق، مهندس طراح می تواند از مقادیر دقیقتر k طبق شکل ۱۳-۱ برای قوسهای دومفصل، دوسرگیردار، سه مفصل و تک مفصل، و طبق شکل ۱۳-۲ برای قوسهای مهارشده با عرشه آویزان استفاده نماید.



شکل ۱۳-۱- مقادیر K برای کمانش قوسها در صفحه



شکل ۱۳-۲- مقادیر K برای کمانش در صفحه قوسهای مهارشده با عرشه آویزان

۱۳-۲- ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

تحت اثر ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی، مقطع تیر باید طوری انتخاب گردد که رابطه زیر را اقلان نماید:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (13-3)$$

که در آن:

f_a = تنش ناشی از نیروی محوری فشاری

f_b = تنش ناشی از لنگر خمشی با منظورکردن ضریب تشدید لنگر طبق رابطه ۱۳-۱

F_a = تنش فشاری مجاز

F_b = تنش خمشی مجاز

۱۳-۳- کمانش در صفحه قائم

برای کمانش در صفحه قائم (صفحه قوس)، F_a از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2 F_y}{4\pi^2 E} \right] = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{\lambda^2 F_y}{80 \times 10^6} \right] \quad (13-4)$$

$$\lambda = \frac{KL}{r} \text{ (ضریب لاغری)}$$

تمام نمادهای رابطه فوق، در زیر رابطه ۱۳-۲ تعریف شده‌اند.

F_y = تنش تسلیم مصالح قوس (kg/cm^2)

۱۳-۴- کنترل اثر لاغری جانبی

اثر لاغری جانبی باید مورد مطالعه قرار گیرد. قوسهای مهارشده که در آنها کش و عرشه بصورت معلق است، تحت تشدید لنگر نمی‌باشند.

۱۳-۵- ورق جان

۱۳-۵-۱- نسبت ارتفاع به ضخامت ورق جان در صورت عدم تعبیه سخت‌کننده‌های طولی، نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1325}{\sqrt{f_a}} \leq 60 \quad (۱۳-۵)$$

h = ارتفاع جان

t_w = ضخامت ورق جان

f_a = تنش فشاری یکنواخت ناشی از نیروی محوری

۱۳-۵-۲- در صورتیکه یک سخت‌کننده طولی در وسط ارتفاع جان قرارداده شود، نسبت ارتفاع به ضخامت جان نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1985}{\sqrt{f_a}} \leq 90 \quad (۱۳-۶)$$

ممان اینرسی سخت‌کننده نسبت به صفحه جان (پای سخت‌کننده) نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$I_s = 0.75ht_w^3 \quad (۱۳-۷)$$

۱۳-۵-۳- اگر دو سخت‌کننده طولی در نقاط $\frac{1}{3}$ ارتفاع جان تعبیه گردد، نسبت ارتفاع به ضخامت جان نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{2650}{\sqrt{f_a}} \leq 120 \quad (۱۳-۸)$$

ممان اینرسی سخت‌کننده نسبت به صفحه جان (پای سخت‌کننده) نباید از مقدار زیر کمتر گردد:

$$I_s = 2.2ht_w^3 \quad (۱۳-۹)$$

۱۳-۵-۴- نسبت عرض به ضخامت هر قسمت برجسته از سخت‌کننده جان نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{b'}{t_s} = \frac{430}{\sqrt{f_a + \frac{f_b}{3}}} \leq 12 \quad (10-13)$$

۱۳-۵-۵- روابط مربوط به ورق جان در محدوده زیر قابل استفاده هستند:

$$0.2 \leq \frac{f_b}{f_a + f_b} \leq 0.7 \quad (11-13)$$

۱۳-۶-۱- ورق بال

۱۳-۶-۱- در قوسها با مقطع جعبه‌ای، نسبت عرض به ضخامت بال (b/t_f) در حدفاصل دو جان، نباید بزرگتر از مقدار زیر باشد:

$$\frac{b}{t_f} = \frac{1125}{\sqrt{f_a + f_b}} \leq 47 \quad (12-13)$$

۱۳-۶-۲- نسبت عرض به ضخامت قسمت برجسته بال، نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{b'}{t_f} = \frac{430}{\sqrt{f_a + f_b}} \leq 12 \quad (13-13)$$

۱۳-۷- طول موثر کمانش در پرتال انتهایی

طول موثر کمانش برای کمانش جانبی قسمت ابتدایی قوس که عضو ستونی پرتال انتهایی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۳-۳) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{طول موثر کمانشی} = \beta h \quad (14-13)$$

در رابطه فوق:

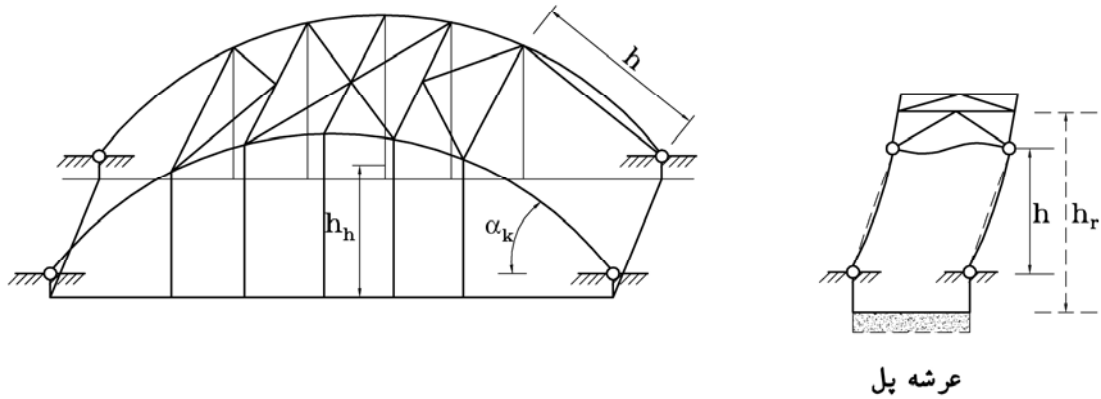
h = طول ظاهری قسمت ستونی پرتال انتهایی

β = ضریب طول موثر کمانش

ضریب طول موثر β برحسب شرایط گیرداری، از یکی از حالات شکل ۱۳-۴ بدست می‌آید. در این شکل داریم:

I = ممان اینرسی قسمت ستونی پرتال (انتهای قوس) در حول محور کمانش

I_o = ممان اینرسی تیورعرضی



شکل ۱۳-۳- پرتال انتهایی

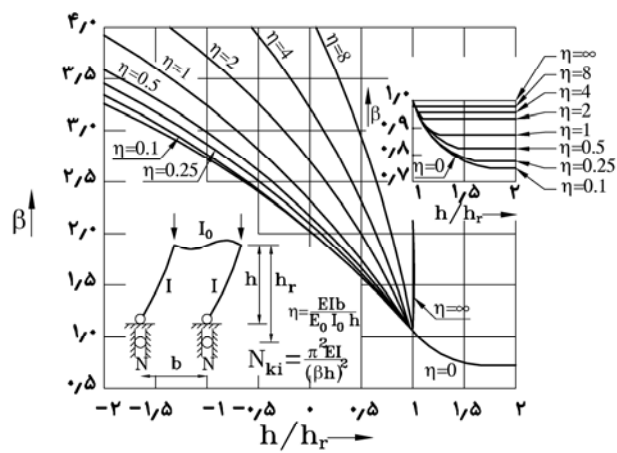
h_r = ارتفاعی که از رابطه زیر بدست می آید:

$$h_r = h_H / \sin \alpha_k \quad (۱۳-۱۵)$$

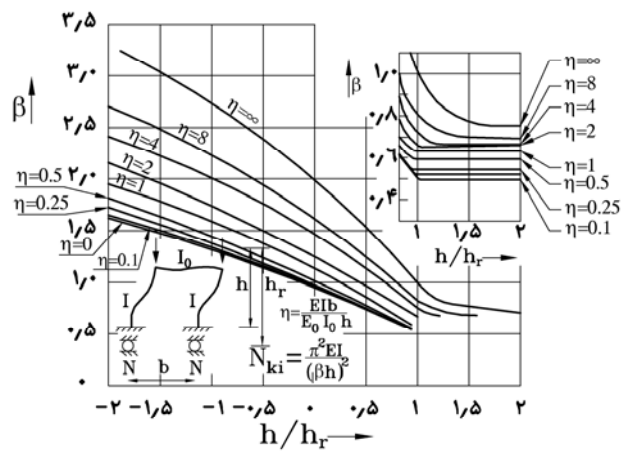
α_k = زاویه قسمت ابتدایی قوس

h_H = ارتفاع متوسط آویز

نسبت h/h_r وقتی منفی است که تیر قوس مستقیماً به پایه متصل نیست، یعنی تیر حمال عرشه به روی پایه متکی است و تیر قوس به تیر حمال عرشه متصل می باشد. در این حالت وضعیت کمانشی بحرانی تر است.

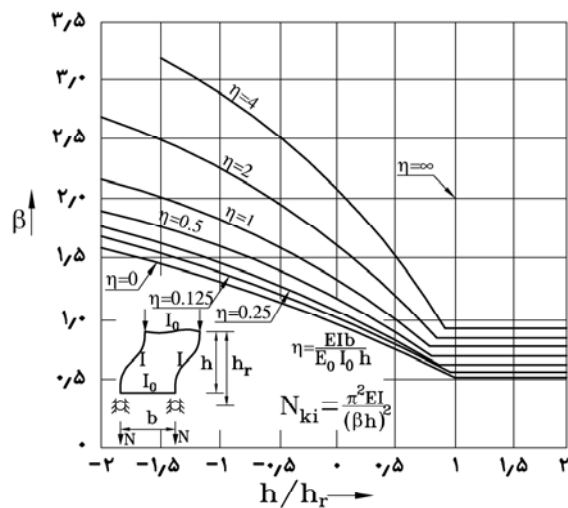


الف: پای مفصل



ب: پای گیردار

$$\eta = \frac{\text{ستون} \left(\frac{EI}{h} \right)}{\text{تیر} \left(\frac{EI_0}{b} \right)}$$

ب: پای ستون به طور صلب به
تیر عرضی تحتانی متصل است

فصل چهاردهم

تیرهای خمیده

۱۴-۱- کلیات

مطالب این بخش شامل تیرهای فولادی I و جعبه‌ای، مختلط و یا غیرمختلط، مربوط به عرشه پلهایی می‌شود که در پلان، دارای انحنا بوده و از این پس تیرهای خمیده نامیده می‌شوند. مقررات این بخش شامل مقاطع I شکل نورد شده و یا ساخته شده و نیز مقاطع جعبه‌ای بوده و در پل‌های با دهانه‌های ساده و یا یکسره با طول دهانه متوسط قابل اعمال می‌باشد.

۱۴-۲- بارگذاری و مبانی طراحی

در طرح تیرهای خمیده عرشه پل‌های فولادی علاوه بر مقررات بندهای ۱-۱، ۳-۱ این آیین‌نامه که باید برای طراحی مورد استفاده قرار گیرد توجه به موارد زیر نیز ضروری است.

۱۴-۲-۱- نیروهای برخاست

در تحلیل نیروهای بخش‌های مختلف پل‌های خمیده، تشخیص بحرانی‌ترین حالت اعمال بارهای زنده که منتهی به حداقل واکنش‌های تکیه‌گاهی می‌گردد ضروری بوده و نیروهای برخاست و بلندشدن عرشه پل در محل تکیه‌گاه باید مدنظر قرار گرفته و پیش‌بینی‌های لازم انجام شود. هنگامی که حداقل واکنش تکیه‌گاهی در اثر بار زنده بیش از دو خط عبور بوجود می‌آید، کاهش بار زنده نباید صورت گیرد.

۱۴-۲-۲- مبانی طراحی

در تعیین نیروها و لنگرهای خمشی و پیچشی ناشی از بارهای مختلف اعمال شده به عرشه پل، باید از روش‌های تحلیل سازه مناسب استفاده شود که تنش‌های ناشی از پیچش غیریکنواخت و پیچش تابیدگی را نیز مدنظر قرار دهد.

۱۴-۲-۳- پیش‌بینی تغییر مکان‌های حرارتی

در طراحی عرشه پل‌های خمیده باید امکان تغییر مکان‌های حرارتی در امتداد شعاعی در تکیه‌گاه‌ها مدنظر قرار گیرد. در حالت کلی این جهت‌های شعاعی بر محور تقارن تیرها در تکیه‌گاه‌ها مماس نخواهند بود.

۱۴-۲-۴- دیافراگم‌ها و مهاربندی‌های جانبی

در طرح عرشه پل‌های خمیده علاوه بر دیافراگم‌ها و مهاربندی‌های تکیه‌گاهی، حداقل دو مهاربند یا دیافراگم عرضی در داخل دهانه یا در فواصل مساوی و یا کوچکتر از ۷/۵ متر لازم است. جهت سیستم‌های مهاربندی در عرشه‌ها به فصل پنجم و فصل ششم رجوع شود.

۱۴-۲-۵- خستگی

در طراحی تیرهای خمیده نیز باید مقررات فصل ۱۱ این آیین‌نامه مورد استفاده قرار گیرد.

۱۴-۳- تیرهای خمیده I شکل

۱۴-۳-۱- کلیات

مقررات این بخش شامل تیرهای ساخته شده به وسیله پرچ و پیچ نمی‌باشد. تیرهای خمیده I شکل می‌توانند به صورت غیرمختلط و یا مختلط با دال بتنی و اتصالات برشگیر و یا بصورت تیرهای دوگانه طراحی گردند.

۱۴-۳-۲- تنش‌های مجاز قائم در بال تیرهای I شکل غیرمختلط

۱۴-۳-۲-۱- تنش‌های فشاری

نسبت عرض بال فشاری به ضخامت آن نباید از مقدار زیر تجاوز کند.

$$\frac{b}{t} = \frac{1160}{\sqrt{F_y}} \quad (۱-۱۴)$$

که در آن:

b = عرض بال فشاری (سانتیمتر)

t = ضخامت بال فشاری (سانتیمتر)

F_y = تنش تسلیم فولاد بال (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

تنش فشاری نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر تجاوز نماید.

$$F_b = 0.55 F_y \left[1 - \frac{(L/r)^2 F_y}{4\pi^2 E} \right] \rho_B \rho_w \quad (۲-۱۴)$$

که در آن:

L = طول مهار نشده بال فشاری (سانتیمتر)

r = شعاع ژیراسیون بال فشاری حول محوری که در صفحه جان قرار دارد. (سانتیمتر)

E = ضریب ارتجاعی فولاد

ضریب $\rho_B \rho_w$ که ضریب کاهش در تنش مجاز بواسطه انحنای می باشد از طریق روابط زیر بدست آمده و در عین حال مقادیر مختلف آن نیز در جدول ۱۴-۱ ارائه شده است.

$$\rho_B = \frac{1}{1 + \left(\frac{L}{R}\right)\left(\frac{L}{b}\right)} \quad (۳-۱۴)$$

$$\rho_w = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_w}{f_b}\right)\left(1 - \frac{75L}{b}\right)} \quad (۴-۱۴)$$

$$\rho_w = \frac{0.95 + \frac{(L/b)}{30 + 8000[0.1 - (L/R)^2]}}{1 + 0.6(f_w/f_b)} \quad (۵-۱۴)$$

که در روابط بالا:

R = شعاع انحنای جان تیر (سانتیمتر)

L و b مطابق تعریف قبلی می باشد.

$\frac{f_w}{f_b}$ نسبت تنش قائم در گوشه بال ناشی از پیچش تابیدگی به تنش خمشی در بال می باشد، که به شرح زیر تعیین می گردد.

هنگامی که f_w در گوشه دور از مرکز انحنای فشاری است:

$$\frac{f_w}{f_b} > 0 \quad (۶-۱۴)$$

هنگامی که f_w در گوشه نزدیک به مرکز انحنای فشاری است:

$$\frac{f_w}{f_b} < 0 \quad (۷-۱۴)$$

جدول ۱۴-۱- ضریب کاهش $\rho_b \rho_w$ برای تنش مجاز ناشی از انحنا

$\frac{L}{R}$	$\frac{f_w}{f_b}$	L/b										
		۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴
۰/۰۰۸	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷
	۰/۲۵	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷
	۰/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۴
	-۰/۲۵	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۲
	-۰/۵۰	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳
۰/۰۱۰	۰/۵۰	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۵
	۰/۲۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴
	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۱
	-۰/۲۵	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۹
	-۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۰
۰/۰۱۴	۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۰
	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۹
	۰/۰۰	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۵
	-۰/۲۵	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴
	-۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۶
۰/۰۱۸	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶
	۰/۲۵	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۵
	۰/۰۰	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۷۰
	-۰/۲۵	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰
	-۰/۵۰	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲
۰/۰۲۲	۰/۵۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳
	۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱
	۰/۰۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵
	-۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶
	-۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۹
۰/۰۲۶	۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰
	۰/۲۵	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۸
	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۲
	-۰/۲۵	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳
	-۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۶
۰/۰۳۰	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸
	۰/۲۵	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۶
	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۵۸
	-۰/۲۵	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۰
	-۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۴
۰/۰۴۰	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳
	۰/۲۵	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰
	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱
	-۰/۲۵	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۴۴
	-۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۸

ادامه جدول ۱۴-۱- ضریب کاهش $\rho_b \rho_w$ برای تنش مجاز ناشی از انحنای

$\frac{L}{R}$	$\frac{f_w}{f_b}$	L/b										
		۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴
۰/۰.۵	۰/۵۰	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰
	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۵
	۰/۰	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۵
	-۰/۲۵	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۶
۰/۰.۶	-۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۴
	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۴۸
	۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۹
	۰/۰	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۱
۰/۰.۷	-۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۵
	-۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۱
	۰/۵۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۶
	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۵
۰/۰.۸	۰/۰	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳۷
	-۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۲
	-۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸
	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۴
۰/۰.۹	۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱
	۰/۰	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴
	-۰/۲۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۶
	-۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶
۰/۱.۰	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۲
	۰/۲۵	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۸
	۰/۰	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۲
	-۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۷
۰/۱.۰۰	-۰/۵۰	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۴
	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۴۰
	۰/۲۵	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۵
	۰/۰	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۹
۰/۱.۰۰	-۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۵
	-۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۲

تبصره ۱: هنگامی که $f_w/f_b > 0$ باشد، کوچکترین مقدار بدست آمده از روابط (۴-۱۴) و (۵-۱۴) ملاک عمل خواهد بود.

تبصره ۲: هنگامی که $f_w/f_b < 0$ باشد، مقدار بدست آمده از رابطه (۴-۱۴) ملاک عمل خواهد بود.

در هیچ حالتی نباید حداکثر تنش قائم در گوشه بال $(f_w + f_b)$ از $0.55 F_y$ تجاوز کند.

تبصره ۳: در محاسبه مقدار تنش مجاز از رابطه (۲-۱۴)، بزرگترین مقدار لنگر خمشی در هر یک از دو سر عضو بعلاوه مقدار f_w در آن نقطه، باید مورد استفاده قرار گیرد.

تبصره ۴: در نقطه با تنش خمشی حداکثر باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$\left| \frac{f_w}{f_b} \right| \leq 0.5 \quad (۸-۱۴)$$

و همین طور:

$$\frac{L}{b} \leq 25 \quad (۹-۱۴)$$

و

$$\frac{L}{R} \leq 0.1 \quad (۱۰-۱۴)$$

۱۴-۳-۲-۲- تنش کششی

در گوشه بال کششی محدودیت زیر حاکم است.

$$f_w + f_b \leq 0.55 F_y \quad (۱۱-۱۴)$$

۱۴-۳-۳- تنش برشی مجاز

تنش برشی مجاز در جان تیرهای خمیده از رابطه زیر تعیین می گردد.

$$F_v = \frac{C_v}{3} F_y \quad (۱۲-۱۴)$$

که در آن:

$$F_v = \text{تنش برشی مجاز (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد جان (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)}$$

$$C_v = \text{نسبت تنش کمانش برشی طبق روابط ۱۸-۴، ۱۹-۴ و ۲۰-۴}$$

۱۴-۳-۴- نسبت ضخامت به ارتفاع جان

الف: شاه‌تیرهای فاقد سخت‌کننده طولی

در تیرهای خمیده، نسبت ضخامت ورق جان به ارتفاع آن نباید کمتر از مقدار حاصل از رابطه زیر باشد:

$$\frac{t_w}{D} = \frac{\sqrt{F_b}}{15330} \times \frac{1}{1 - 4(d_o / R)} \geq \frac{1}{170} \quad (13-14)$$

که در آن:

 F_b = تنش مجاز بدست آمده از رابطه (۱۴-۲) D = ارتفاع جان (سانتیمتر) d_o = فاصله موجود بین سخت‌کننده‌های جانبی (سانتیمتر) R = شعاع انحنای جان شاه‌تیر (سانتیمتر)

ب: شاه‌تیرهای دارای سخت‌کننده طولی

نسبت ضخامت ورق جان به ارتفاع آن در تیرهای خمیده که دارای یک سخت‌کننده طولی در ناحیه تنش فشاری هستند، نباید از مقدار تعیین شده از رابطه زیر کمتر باشد.

$$\frac{t_w}{D} = \frac{\sqrt{F_b}}{30600} \times \frac{1}{1 - 2.9(d_o / R) + 2.2(d_o / R)} \geq \frac{1}{340} \quad (14-14)$$

 D = ارتفاع آزاد جان بین بال و سخت‌کننده طولی

۱۴-۳-۵- سخت‌کننده‌های عرضی میانی

در تیرهای خمیده، ممان اینرسی سخت‌کننده‌های عرضی نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر کمتر باشد:

$$I = 3.82 d_o t_w^3 J \quad (15-14)$$

به طوری که:

 I = حداقل ممان اینرسی لازم برای هر نوع سخت‌کننده عرضی میانی (سانتیمتر به توان ۴) d_o = فاصله موجود بین سخت‌کننده‌های عرضی (سانتیمتر) t_w = ضخامت ورق جان (سانتیمتر) J = نسبت سختی مورد نیاز برای یک سخت‌کننده عرضی به ورق جان که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$J = (0.01 D^2 - 20)(X) \quad (16-14)$$

به طوری که:

D = ارتفاع جان (سانتیمتر)

X = ضریبی است که به شرح زیر تعیین می گردد.

الف: هنگامی که $\frac{d}{D} \leq 0.78$ باشد:

$$X = 1.0 \quad (14-17)$$

ب: هنگامی که $0.78 \leq \frac{d}{D} < 1.0$ و $0 \leq Z \leq 10$ باشد:

$$X = 1.0 + \frac{[(d/D) - 0.78]Z^4}{1775} \quad (14-18)$$

در روابط فوق:

d = فاصله مورد نیاز بین سخت کننده های عرضی (سانتیمتر)

Z = ضریبی است که طبق رابطه زیر تعیین می گردد.

$$Z = 242 \frac{d^3}{R t_w} \quad (14-19)$$

به طوری که:

R = شعاع انحنای جان تیرورق (سانتیمتر)

d و t_w مطابق تعریف قبل می باشند.

۱۴-۳-۶- ضخامت ورق سخت کننده های عرضی

ضخامت ورق این سخت کننده ها نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر کمتر باشد:

$$t_s = \frac{b' \sqrt{F_y}}{682} \quad (14-20)$$

که در آن:

t_s = ضخامت ورق سخت کننده عرضی (سانتیمتر)

b' = طول قسمت برجسته ورق سخت کننده (سانتیمتر)

F_y = تنش تسلیم فولاد (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

۱۴-۳-۷- سخت کننده های طولی

علاوه بر مقررات مربوط به سخت کننده های طولی، شعاع ژیراسیون سخت کننده های جان تیرهای خمیده، نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$r = \frac{d_o \sqrt{F_y}}{15330} \quad (۲۱-۱۴)$$

که در رابطه فوق d_o و F_y مطابق تعاریف قبلی می باشند.

۱۴-۴- تیرهای خمیده مختلط با مقطع I شکل

۱۴-۴-۱- کلیات

مطالب این بخش شامل دستورالعمل های مربوط به طراحی تیرهای مختلط با مقطع I شکل می باشد که توسط اتصالات برشگیر به دال بتنی متصل شده اند. علاوه بر مقررات فصل پنجم، دستورالعمل های این بخش نیز باید در طراحی مدنظر قرار گیرد.

جهت تعیین عرض موثر دال بتنی مطابق بند ۹-۵ عمل می شود.

۱۴-۴-۲- طراحی اتصالات برشگیر

اتصالات برشگیر بر مبنای خستگی محاسبه شده و برای مقاومت نهایی کنترل می گردد.

۱۴-۴-۲-۱- طراحی اتصالات برشگیر برای خستگی

طراحی اتصالات برشگیر برای خستگی باید مطابق بند ۷-۱۵-۵ انجام شود.

۱۴-۴-۲-۲- طراحی اتصالات برشگیر برای مقاومت نهایی

تعداد اتصالات برشگیر لازم بین نقاط لنگر مثبت حداکثر و تکیه گاه های انتهایی یا نقاط عطف بار مرده باید در رابطه زیر صدق کند.

$$P_c \leq \phi S_u \quad (۲۲-۱۴)$$

که در آن:

ϕ = ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۸۵

S_u = مقاومت نهایی یک اتصال برشگیر مطابق بند ۸-۱۵-۵

P_c = نیروی برشی افقی که باید انتقال داده شود و بشرح زیر تعیین می گردد.

$$P_c = \sqrt{\bar{P}^2 + F^2 + 2\bar{P}F \cdot \sin \frac{\theta}{2}} \quad (۲۳-۱۴)$$

$$\bar{P} = \frac{P}{N} \quad (۱۴-۲۴)$$

الف: مقدار P در نقاط لنگر حداکثر مثبت کوچکترین دو مقدار زیر می‌باشد.

$$P_1 = 0.85 f_c b t_s \quad (۱۴-۲۵)$$

$$P_2 = A_s F_y \quad (۱۴-۲۶)$$

ب: مقدار P در نقاط لنگر حداکثر منفی با رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$P = A_{sr} F_{yr} \quad (۱۴-۲۷)$$

در روابط فوق:

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن (کیلوگرم برسانتیمترمربع)

A_s = سطح مقطع کل مقطع فولادی شامل ورق‌های تقویتی (سانتیمترمربع)

F_y = تنش تسلیم فولاد (کیلوگرم برسانتیمترمربع)

b = عرض موثر بال فشاری (سانتیمتر)

t_s = ضخامت دال بتنی (سانتیمتر)

A_{sr} = سطح مقطع کل میلگردهای طولی دال، که در عرض موثر بال قرار گرفته و از آنها در ناحیه لنگر منفی

در تعیین لنگر مقاوم خمشی، استفاده شده است.

F_{yr} = تنش تسلیم میلگردهای طولی

N = تعداد اتصالات برشگیر بین نقاط لنگر مثبت حداکثر و تکیه‌گاه‌های مجاور انتهایی و یا نقاط عطف مربوط

به بار مرده، یا بین نقاط حداکثر لنگر منفی و نقاط عطف بار مرده مجاور

$$F = \frac{P(1-\cos\theta)}{4k \times N_s \times \sin \frac{\theta}{2}}$$

θ = زاویه محصور بین نقاط حداکثر لنگر مثبت یا منفی و نقطه عطف یا تکیه‌گاه مجاور

N_s = تعداد اتصالات برشگیر در یک مقطع

$$k = 0.166 \left(\frac{N}{N_s} - 1 \right) + 0.375$$

۱۴-۵- تیرهای خمیده دوگانه

۱۴-۵-۱- کلیات

مطالب این بخش شامل دستورالعمل‌های طراحی تیرهای خمیده دوگانه‌ای می‌شود که مقطع آنها دارای محور تقارن قائم در میان صفحه ورق جان می‌باشد. علاوه بر مقررات بند ۴-۱۹ باید از دستورالعمل‌های این بخش نیز استفاده شود.

۱۴-۵-۲- تنش‌های مجاز

۱۴-۵-۲-۱- تنش‌های خمشی در تیرهای غیرمختلط

در صورتی که تنش در هر یک از بال‌ها از حاصل ضرب تنش مجاز حاصل از روابط ارائه شده در این آیین‌نامه و ضریب کاهش R بیشتر نگردد، تنش خمشی در جان می‌تواند از مقدار تنش خمشی مجاز بیشتر باشد. ضریب کاهش R طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R = 1 - \frac{\beta\psi(1-\alpha')^2(3-\psi+\psi\alpha')}{6+\beta\psi(3-\psi)} \quad (۱۴-۲۸)$$

β = نسبت مساحت جان به مساحت بال کششی

ψ = نسبت فاصله تار خارجی بال کششی تا محور خنثای مقطع (مقطع تبدیل یافته برای تیرهای مرکب به ارتفاع مقطع فولادی)

α' = نسبت تنش تسلیم فولاد جان به تنش تسلیم فولاد بال کششی

$$\alpha' = \alpha \left(1 + \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_t \right) \quad (۱۴-۲۹)$$

$\left| \frac{f_w}{f_b} \right|_t$ = قدر مطلق نسبت تنش کششی گوشه بال ناشی از پیچش تابیدگی به تنش خمشی بال کششی

اگر $\left| \frac{f_w}{f_b} \right|_t \geq \frac{1-\alpha}{\alpha}$ باشد، $R=1$ خواهد بود.

۱۴-۵-۲-۲- تنش‌های خمشی در تیرهای مختلط

در ناحیه لنگر مثبت تیرهای مختلط در صورتی که تنش در بال کششی از مقدار حاصل ضرب تنش مجاز رابطه ۱۴-۲ برای فولاد بال و ضریب کاهش رابطه (۱۴-۲۸) تجاوز نکند، تنش خمشی در جان می‌تواند از تنش مجاز فولاد جان تجاوز کند.

در محدوده لنگر منفی تیرهای مختلط با دهانه‌های یکسره، در جایی که بال کششی توسط اتصالات برشگیر به دال بتنی متصل می‌شود، ضریب کاهش باید توسط رابطه (۲۸-۱۴) و مقادیر α' تعریف شده به شرح زیر تعیین گردد.

$$\text{الف: وقتی که } \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c \leq \frac{2\psi-1}{1-\psi} \text{ باشد:}$$

$$\alpha' = \alpha \quad (30-14)$$

$$\text{ب: وقتی که } \frac{2\psi-1}{1-\psi} < \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c < \frac{\psi}{\alpha(1-\psi)} - 1 \text{ باشد:}$$

$$\alpha' = \alpha \left[1 + \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c \frac{1-\psi}{\psi} \right] \quad (31-14)$$

در روابط فوق α و ψ مطابق تعریف قبل می‌باشند.

$$\text{قدر مطلق نسبت تنش فشاری گوشه بال ناشی از پیچش تابیدگی به تنش خمشی بال فشاری.} = \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c$$

$$\text{اگر } \frac{\psi}{\alpha(1-\psi)} - 1 \geq \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c \text{ باشد، } R=1 \text{ خواهد بود.}$$

در ارتباط با مقادیر R به شکل‌های ۱-۱۶ و ۲-۱۶ رجوع شود.

۱۴-۵-۳- برش

تنش برشی در جان نباید از تنش برشی مجاز برای فولاد جان تجاوز کند.

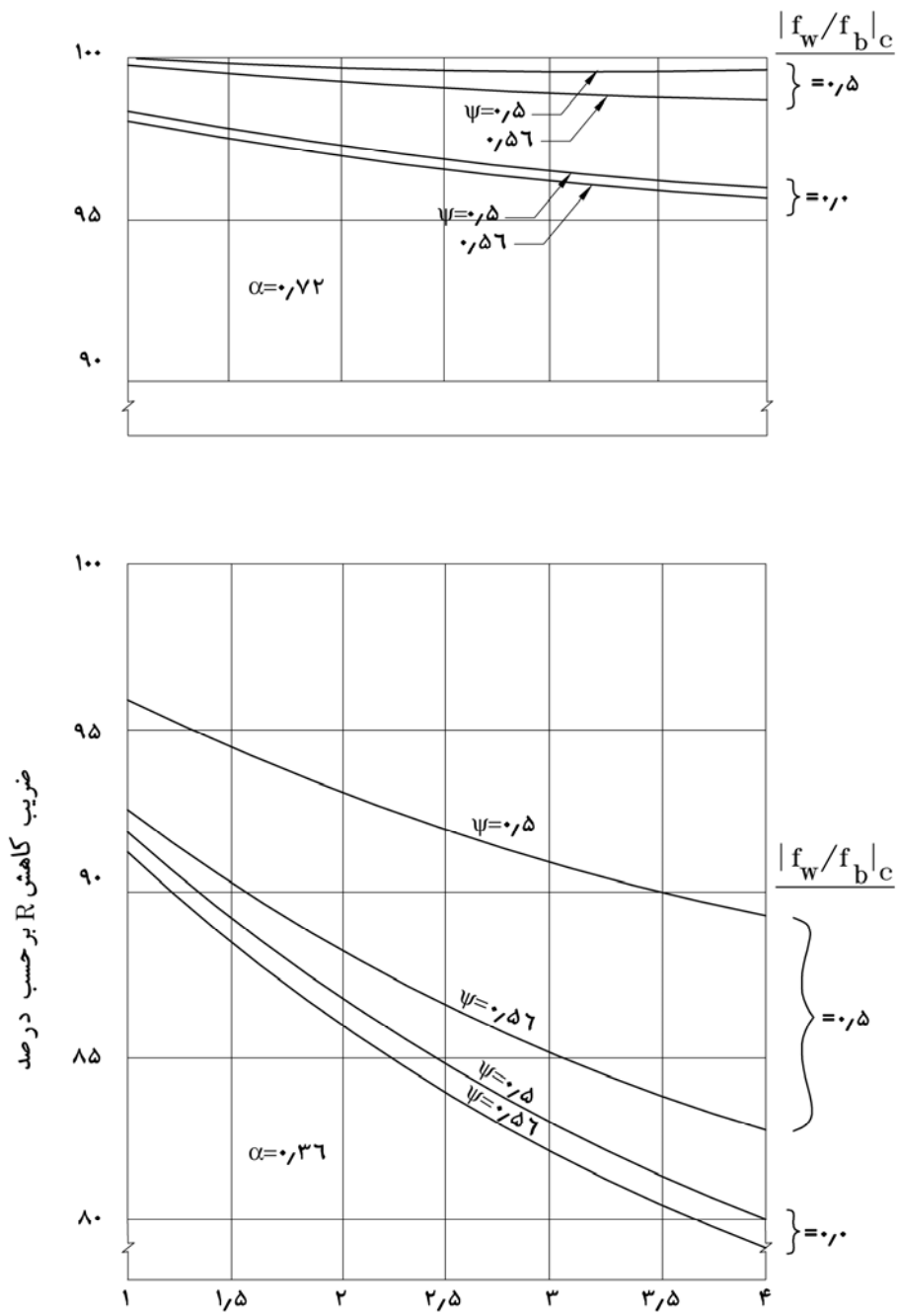
۱۴-۵-۴- خستگی

طراحی برای خستگی باید مطابق مقررات فصل یازدهم باشد.

۱۴-۵-۵- نسبت‌های عرض به ضخامت

در محاسبه نسبت‌های عرض به ضخامت مجاز برای جان و بال، f_b های موجود در روابط باید بر R تقسیم

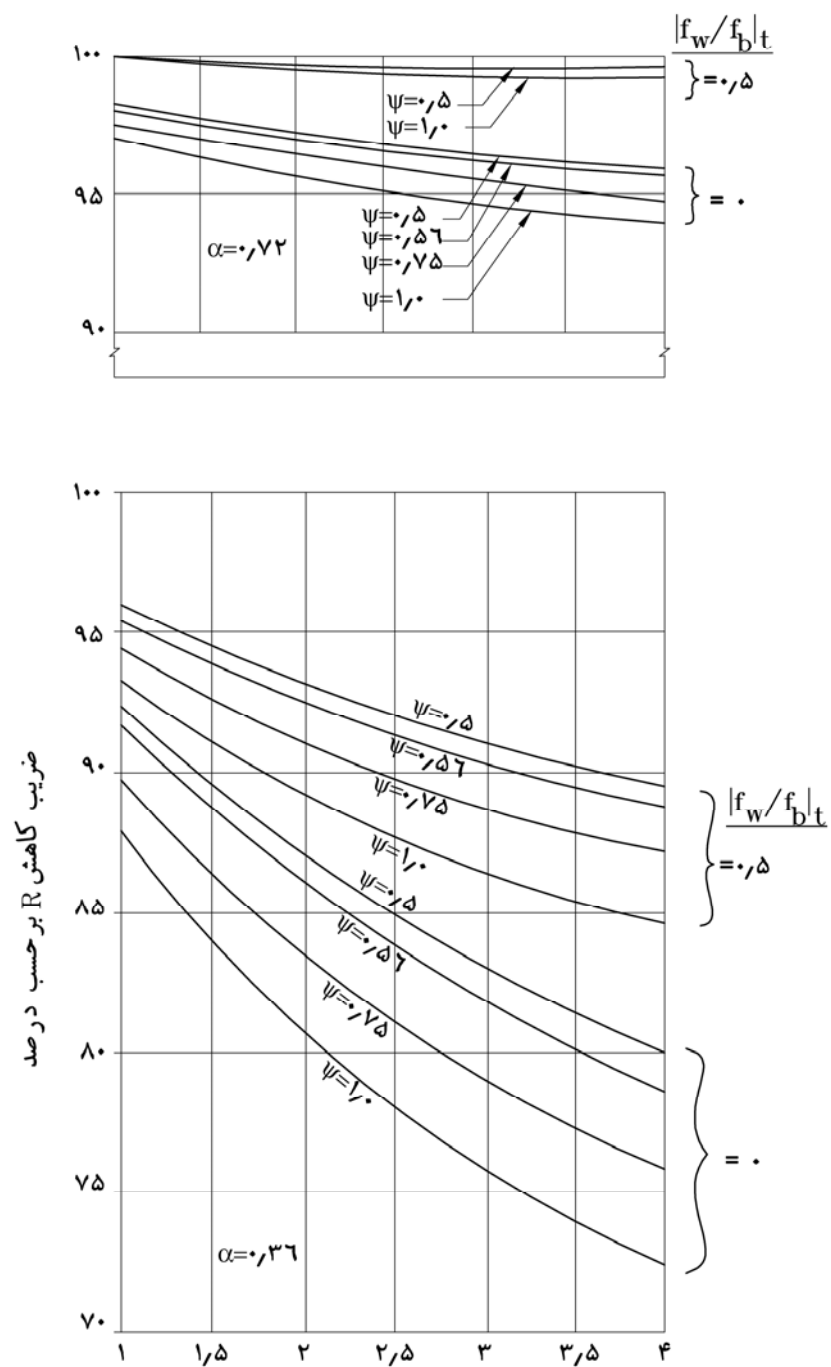
گردد.



نسبت سطح جان به سطح بال کششی، β

ضرایب کاهش تیرهای دوگانه در ناحیه لنگر منفی شاه‌تیرهای مرکب

شکل ۱۴-۱- نمودار ضریب کاهش در تیرهای دوگانه



نسبت سطح جان به سطح بال کششی، β

ضرایب کاهش تیرهای دوگانه در شاه تیرهای غیر مرکب و ناحیه لنگر مثبت شاه تیرهای مرکب

شکل ۱۴-۲- نمودار ضریب کاهش در تیرهای دوگانه

۱۴-۶- تیرهای جعبه‌ای خمیده مختلط

۱۴-۶-۱- کلیات

مقررات این بخش شامل ضوابط طراحی تیرهای جعبه‌ای چندتایی، در دهانه‌های ساده و یکسره، با طول دهانه متوسط در پل‌های خمیده می‌باشد. در طراحی تیرهای جعبه‌ای خمیده مختلط علاوه بر دستورالعمل‌های فصل ۶ این آیین‌نامه، موارد زیر نیز باید مدنظر قرار گیرد.

۱۴-۶-۲- بارگذاری

۱۴-۶-۲-۱- کلیات

بارگذاری این نوع پل‌ها می‌بایست مطابق بند ۱-۳ صورت گرفته و موارد زیر نیز در مورد آنها اعمال گردد.

۱۴-۶-۲-۲- اثر ضربه

ضریب ضربه بواسطه بارهای متحرک و نیز نیروی گریز از مرکز باید مطابق جدول ۱۴-۲ در نظر گرفته شود.

جدول ۱۴-۲- ضرایب ضربه در تیر جعبه‌های خمیده

مقدار	ضریب ضربه I
عکس‌العمل‌ها	۲/۰۰
تنش‌های مستقیم در جان جعبه و ورق‌های تحتانی	۱/۳۵
تنش‌های مستقیم در دال	۱/۳۰
تنش‌های برشی در جان جعبه	۱/۵۰
تنش در دیافراگم	۱/۵۰
خیزها	۱/۳۰

تبصره: ضرایب ضربه ارائه شده در محدوده تعیین شده زیر قابل اعمال می‌باشد.

متر ۹۰ $\leq$ طول دهانه $\leq$ ۳۰ متر

متر ۳۰۰ $\leq$ شعاع انحنای محور میانی عرشه پل $\leq$ ۹۰

کیلومتر در ساعت ۱۱۰ $\leq$ سرعت خودرو

۳ $\leq$ تعداد شاه‌تیرهای جعبه‌ای

۲ $\leq$ تعداد دهانه‌های یکسره

۰/۳ $\leq$ نسبت وزن خودرو به وزن پل

در صورتی که از محدوده‌های فوق تجاوز گردد، باید بررسی دینامیکی اثر ضربه مدنظر قرار گیرد.

۱۴-۶-۳- مبانی طراحی

در طراحی تیرهای جعبه‌ای خمیده مرکب، اگر ورق‌های جان مقاطع جعبه‌ای توسط یک ورق فولادی بال با سیستم مهاربندی در قسمت فوقانی به یکدیگر متصل شده باشند، مقطع فولادی باید به صورت مقطع بسته، تحت بار بتن تازه و دیگر بارهای اعمال شده ناشی از ساخت و قبل از سخت شدن عرشه بتنی، تحلیل و طراحی گردد. در غیراینصورت مقاطع باید به صورت مقطع باز مورد بررسی قرار گیرند.

جهت تحمل پیچش در عرشه پل‌های با شاه‌تیرهای جعبه‌ای مجزا، پیش‌بینی دیافراگم‌های میانی و تکیه‌گاهی الزامی است.

تنش‌های ناشی از پیچش تابیدگی بویژه در ارتباط با خستگی باید مدنظر قرار گرفته و در صورت لزوم در طراحی پیش‌بینی‌های لازم صورت گیرد.

۱۴-۶-۴- طراحی ورق جان

۱۴-۶-۴-۱- نیروی برش طراحی

نیروی برشی طراحی V_w برای جان، باید برپایه نیروی برشی قائم توأم با لنگر خمشی، V_v و نیروی برشی توأم با لنگر پیچشی، V_t در مقطع موردنظر، تعیین گردد.

برای شاه‌تیرهای با جان مورب، مولفه نیروی برشی طراحی توأم با لنگر خمشی باید از رابطه زیر محاسبه گردد.

$$V_w = \frac{V_v}{\cos \theta}$$

به طوری که:

$$V_v = \text{نیروی برشی قائم توأم با لنگر خمشی}$$

$$\theta = \text{زاویه بین ورق جان و محور قائم}$$

نیروی برشی پیچشی باید بسته به جهت پیچش داخلی، به برش خمش هر جان اضافه و یا از آن کسر گردد. اگر سخت‌کننده‌های عرضی جان موردنیاز باشد، فواصل سخت‌کننده‌ها در جان باید با در نظر گرفتن مقدار کل تنش برشی برای جان موردنظر تعیین گردد. سخت‌کننده‌های عرضی، در جان هر یک از جعبه‌های مجزا، ترجیحاً باید در امتداد خطوط شعاعی قرار گیرد.

۱۴-۶-۵- طراحی ورق بال پایین

۱۴-۶-۵-۱- بالهای کششی

علاوه بر ضوابط فصل ۶ این آیین نامه، نقطه نظرات زیر نیز باید اعمال گردد.
تنش قائم مجاز در بال کششی باید به مقدار زیر محدود گردد.

$$F_b = 0.55 F_y \sqrt{1 - 9.2 (f_v / f_y)^2}$$

به طوری که:

$$f_v = \text{تنش برشی ناشی از پیچش که باید از } \frac{C_v}{3} F_y \text{ کمتر باشد.}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم}$$

۱۴-۶-۵-۲- بالهای فشاری بدون سخت کننده

الف: در بالهای فشاری سخت نشده، هر گاه نسبت عرض به ضخامت مساوی یا کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر باشد، تنش مجاز قائم همان تنش مجاز قائم بال کششی خواهد بود.

$$\frac{b}{t} = \frac{1620}{\sqrt{F_y}} X$$

به طوری که:

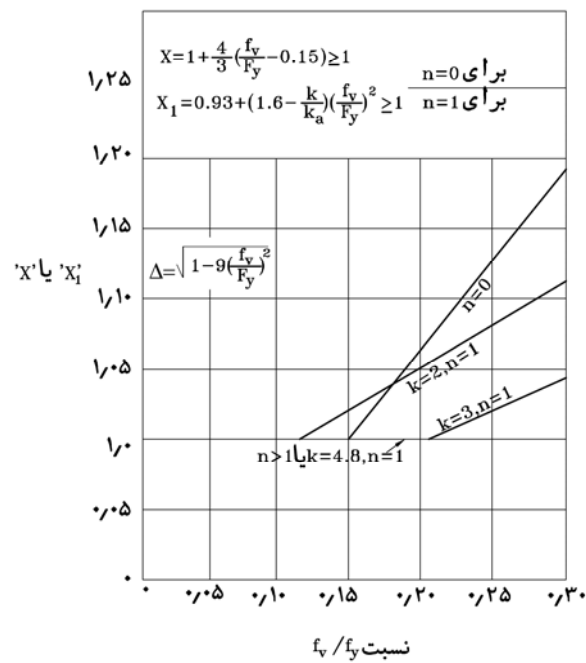
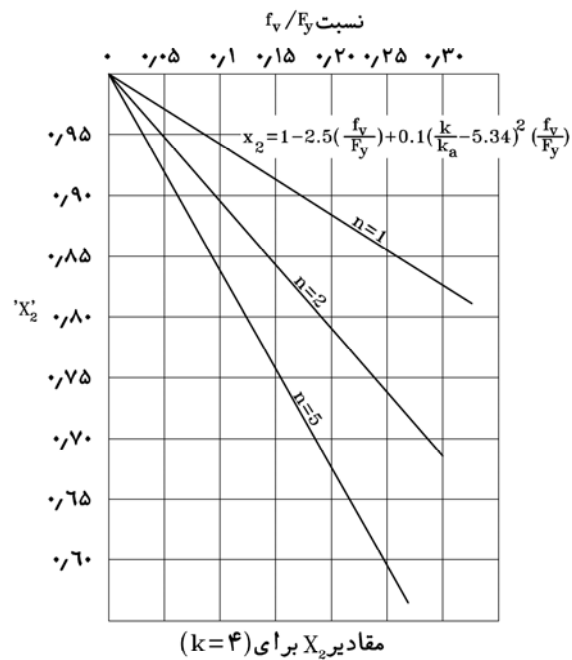
$$b = \text{عرض بال بین جانها}$$

$$t = \text{ضخامت بال}$$

$$X = 1 + \frac{4}{3} \left(\frac{f_v}{F_y} - 0.15 \right) \geq 1$$

$$f_v = \text{تنش برش پیچشی در بال}$$

برای تعیین مقادیر X به شکل ۱۴-۳ رجوع شود.

نسبت f_v / f_y مقادیر X برای بال سخت شدهمقادیر X_1 برای بال سخت نشدهشکل ۱۴-۳- نمودار تعیین مقدار X و X_1 و X_2

هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد.

$$\frac{1620 X}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{3510}{\sqrt{F_y}}$$

تنش قائم در یک بال فشاری سخت نشده، نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر بیشتر باشد.

$$F_b = \left[0.326 F_y + 0.224 F_y \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{3510 - (b/t) \sqrt{F_y}}{3510 - 1620 X} \right) \right) \right] \times \Delta$$

به طوری که:

$$\Delta = \sqrt{1 - 9.0 (f_v / F_y)^2}$$

ب: هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد،

$$\frac{b}{t} > \frac{3510}{\sqrt{F_y}}$$

تنش قائم در بال نباید از کوچکترین دو مقدار زیر بیشتر شود.

$$F_b = 57.6 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 \times \Delta$$

$$F_b = 57.6 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 - \frac{f_v^2}{113.4 (t/b)^2 \times 10^6}$$

Δ مطابق تعریف قبل می باشد.

پ: تنش برشی پیچشی f_v در ورق بال نباید از $\frac{1}{3} F_y$ تجاوز کند و موارد مذکور در بندهای ۶-۳-۲ و ۵-۳-۲-۵ در مورد تیرهای خمیده نیز باید رعایت گردد.

۱۴-۶-۵-۳- ورق بال تحتانی در فشار، با سخت کننده طولی

الف: تامین سخت کننده های طولی باید مطابق دستورالعمل های بند ۶-۳-۳-۱ صورت گیرد.

ب: در صورت استفاده از سخت کننده های طولی، برای تنش مجاز قائم، نظیر بال کششی، نسبت $\frac{w}{t}$ نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر تجاوز کند.

$$\frac{w}{t} = \frac{810 \sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} X_1$$

به طوری که:

$$X_1 = 1$$

برای $n > 1$

$$X_1 = 0.93 + \left(1.6 - \frac{k}{k_s}\right) \left(\frac{f_v}{F_y}\right) \geq 1$$

برای $n = 1$

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \sqrt[3]{(I_s / W t^3)}}{(n+1)^2} \leq 5.34$$

پ: در مورد مقادیر بزرگتر $\frac{w}{t}$ (کمتر از ۶۰ یا $\frac{1755\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} X_2$ هر کدام که کوچکتر باشد)، تنش در بال دارای

سخت‌کننده‌های طولی باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = \left[0.326 F_y + 0.224 F_y \times \sin \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{1755\sqrt{k} X_2 - (w/t)\sqrt{F_y}}{1755\sqrt{k} X_2 - 810\sqrt{k} X_1} \right) \right) \right] \Delta$$

به طوری که:

$$\Delta = \sqrt{1 - 9.0 \left(\frac{f_v}{F_y} \right)^2}$$

$$X_2 = 1 - 2.13 \left(\frac{f_v}{F_y} \right) + 0.1 \left[\left(\frac{k}{k_s} \right) - 5.34 \right]^2 \left(\frac{f_v}{F_y} \right)$$

ت: برای مقادیر $\frac{w}{t}$ بیشتر از $\frac{1755\sqrt{k}}{\sqrt{F_y}} X_2$ و کمتر از ۶۰، تنش در بال دارای سخت‌کننده، نباید از کوچکترین دو

مقدار زیر تجاوز کند.

$$F_b = 14.4 k \left(\frac{t}{w} \right)^2 \times \Delta \times 10^6$$

$$F_b = 14.4 k \left(\frac{t}{w} \right)^2 \times \Delta \times 10^6 - \frac{f_v^2 k}{14.4 \times k_s^2 (t/w)^2 \times 10^6}$$

که Δ و k_s مطابق روابط قبل می‌باشند.

فصل پانزدهم

مسائل ویژه در طرح و محاسبه

۱۵-۱- جان و بال‌های تیر در زیر بارهای متمرکز

الف) مبانی طراحی

اعضایی که تحت اثر بار متمرکز بر بال قرار می‌گیرند و مقطع آنها نسبت به جان تیر متقارن است، باید جان و بال آنها طوری محاسبه شود که در مقابل خمش موضعی بال، تسلیم جان تیر، لهیدگی در جان و کمانش توأم با انتقال عرضی جان، طبق بندهای ب تا ث مقاوم باشند. در اعضای که بار متمرکز بر هر دو بال وارد می‌شود، باید جان آنها ضوابط مربوط به تسلیم جان، لهیدگی جان و کمانش ستونی جان، مندرج در بندهای پ، ت و ج را تامین کند.

ب) خمش موضعی در بال

در صورتی که ضخامت بال ستون کمتر از مقدار رابطه ۱۵-۱ باشد، در محاذات بال کششی تیری که به ستون متصل می‌شود و یا در وضعیت مشابه در اتصال خرپا، باید یک جفت قطعه سخت‌کننده قرار داد:

$$t = 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} \quad (15-1)$$

در این رابطه:

t = ضخامت بال ستون (cm)

F_{yc} = تنش تسلیم فولاد ستون (kg/cm^2)

P_{bf} = نیروی نهایی بال تیر که به ستون وارد می‌شود (kg). مقدار آن $A_s F_y$ است که A_s سطح مقطع بال و F_y تنش تسلیم است.

پ) تسلیم موضعی جان

در تیرها و تیروورها مرکب (با اتصال جوشی) باید روابط زیر برقرار شوند:

۱- در حالتیکه بار متمرکز، از انتهای عضو در فاصله‌ای بیش از ارتفاع مقطع وارد می‌شود:

$$\frac{R}{t_w(N+5K)} \leq 0.55F_y \quad (15-2)$$

۲- درحالتی که بار متمرکز در انتها و یا نزدیک به انتهای عضو وارد می‌شود:

$$\frac{R}{t_w(N+2.5K)} \leq 0.55F_y \quad (15-3)$$

که در آن:

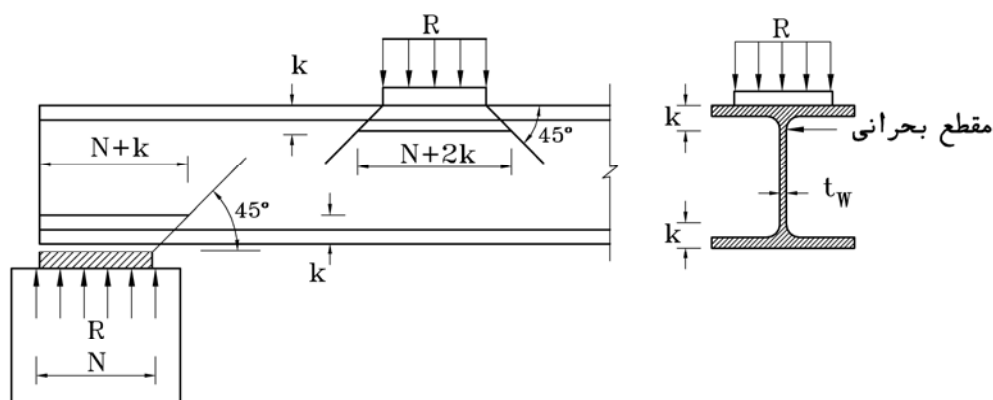
R = بار متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاه

t_w = ضخامت جان

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

K = فاصله از سطح خارج بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال یا انتهای بعد جوش.

اگر روابط فوق برقرار نشوند، تعبیه قطعات سخت‌کننده فشاری ضروری است.



شکل ۱۵-۱- تسلیم موضعی جان

(ت) لهیدگی در جان

وقتی که نیروی فشاری از مقادیر زیر تجاوز کند، باید قطعات سخت‌کننده فشاری در روی جان اعضایی که تحت اثر بارهای متمرکز هستند قرار داده شود.

۱. اگر بار متمرکز در فاصله بیش از $\frac{d}{2}$ از انتهای عضو وارد شود:

$$R = 566 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{3/2} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \quad (۱۵-۴)$$

۲. اگر بار متمرکز در فاصله کمتر از $\frac{d}{2}$ از انتهای عضو وارد شود:

$$R = 285 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{3/2} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}} \quad (۱۵-۵)$$

در این روابط:

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

d = ارتفاع کل نیمرخ (cm)

t_f = ضخامت بال (cm)

t_w = ضخامت جان (cm)

ث) کمانش توأم با انتقال جانبی در جان

تعبیه قطعات سخت کننده فشاری در جان تیرهایی که از حرکت جانبی بال توسط مهار جلوگیری نشده و تحت اثر بارهای متمرکز فشاری باشند، هنگامی ضروری است که نیروی متمرکز فشاری از حدود زیر بیشتر شود:

۱. اگر بال بارگذاری شده در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده و نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ کمتر از $2/3$ باشد:

$$R = \frac{480 \times 10^3 t_w^3}{h} \left[1 + 0.4 \left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f} \right)^3 \right] \quad (6-15)$$

۲. اگر بال بارگذاری شده در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد و نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ کمتر از $1/7$ باشد:

$$R = \frac{480 \times 10^3 t_w^3}{h} \left[0.4 \left(\frac{d_c / t_w}{L / b_f} \right)^3 \right] \quad (7-15)$$

در این روابط:

R = بار متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاه (kg)

L = بزرگترین طول بدون تکیه‌گاه جانبی در هر یک از بالها در محل بار متمرکز (cm)

b_f = عرض بال (cm)

$d_c = d - 2k$ = ارتفاع خالص جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان) (cm)

در صورتیکه نسبت $\frac{d_c / t_w}{L / b_f}$ از مقدار $2/3$ و یا $1/7$ (بسته به حالت مورد بحث) بزرگتر باشد، احتیاجی به

بررسی روابط ۶-۱۵ و ۷ نمی‌باشد.

برای بالی که تحت اثر بار گسترده هموار قرار گیرد نیز احتیاجی به این بررسی نمی‌باشد.

ج) کمانش فشاری در جان

اگر ارتفاع خالص جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان)، از مقدار زیر بزرگتر باشد، باید

یک جفت قطعه سخت کننده در مقابل بال فشاری تعبیه کرد:

$$\frac{34.5 \times 10^3 t_{wc}^3 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}} \quad (۸-۱۵)$$

در این رابطه:

$$t_{wc} = \text{ضخامت جان ستون (cm)}$$

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

$$P_{bf} = \text{نیروی محاسبه شده‌ای که به جان وارد می‌شود (kg)}$$

چ) لزوم تعبیه قطعات سخت‌کننده در محل بارهای متمرکز

در صورت عدم اقناع بندهای ب تا ج، باید در جان تیر قطعات سخت‌کننده بصورت جفت تعبیه گردد. این سخت‌کننده‌ها باید در تمام ارتفاع جان ادامه داشته و به هر دو بال فوقانی و تحتانی نیز جوش شوند. در صورت نیاز به قطعات سخت‌کننده، این قطعات باید به صورت ستون فرضی با بار محوری طراحی شوند. نسبت عرض به ضخامت قطعات سخت‌کننده، باید مقادیر مربوط به عناصر فشاری را برآورده نموده و طول موثر ستون فرضی برابر با h (ارتفاع آزاد جان بین دو بال) در نظر گرفته شود. سطح مقطع این ستون عبارت است از سطح مقطع جفت قطعه تقویتی به اضافه نواری از جان که پهنای آن در قطعات تقویتی میانی برابر $18t_w$ و در قطعات تقویتی انتهایی برابر $12t_w$ در نظر گرفته می‌شود.

اگر بار عمود بر امتداد بال به صورت کششی باشد، قطعه سخت‌کننده باید به بالی که تحت اثر این بار است، جوش شود و وقتی که بار عمود بر امتداد بال، به صورت فشاری است، قطعه سخت‌کننده یا باید با فشار مستقیم تماسی (با سطحی که کاملاً صاف و با بال جفت شده است) بار را منتقل کند و یا اینکه اتصال جوشی کافی برای این انتقال تعبیه شود.

قطعات سخت‌کننده باید محدودیتهای زیر را نیز جوابگو باشد:

۱- عرض هر قطعه سخت‌کننده به اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از $\frac{1}{3}$ عرض بال تیر یا ورق اتصال (که

بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

۲- ضخامت قطعه سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

۳- جوشهایی که قطعه سخت‌کننده را به جان ستون متصل می‌کند، باید در مقابل نیرویی که در قطعه سخت‌کننده از بار متمرکز به وجود می‌آید، محاسبه شوند.

۱۵-۲- پیش‌خیز در تیرها و خرپاها

اگر برای بعضی از قطعات، پیش‌خیز بخصوصی لازم است تا در هنگام بارگذاری به شکل موردنظر و در ارتباط با قطعات دیگر درآید، باید این گونه محدودیتها در مدارک طرح و محاسبه به روشنی مشخص شود.

در تیرها و خرپاها لازم است به اندازه تغییرشکل بار مرده و شیب طولی لازم، پیش‌خیز داده شود.

در خرپاها و تیرهای مربوط به عرشه پلهای شهری باید پیش‌خیزی در حدود تغییرشکل ناشی از بار مرده، به اضافه $\frac{1}{4}$ بار زنده و شیب طولی لازم پیش‌بینی شود.

تیرها و خرپاهایی که پیش‌خیز معینی برای آنها قید نشده باشد، باید در کارخانه طوری ساخته شوند که به هر حال پس از نصب، تغییرشکل روبه‌بالا (خیز) داشته باشند.

۱۵-۳- انبساط و انقباض حرارتی

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

در محاسبات، ضریب انبساط و انقباض حرارتی فولاد برابر $11/5 \times 10^{-6}$ به ازای هر درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

۱۵-۴- فساد و خوردگی در فلز

در مواردی لازم است فساد و خوردگی مصالح در طرح و محاسبه اعضای سازه در نظر گرفته شود و ابعاد آنها طوری داده شود که اثر خوردگی را جبران کند. و یا در حالت دیگر با حفاظت در مقابل خوردگی به وسیله رنگ زدن و یا راه‌حلهای دیگر، باید شرایط بهره‌برداری حفظ شود. برای جزئیات تکمیلی به بندهای ۱۸-۳ و ۱۸-۴ مراجعه شود.

در جاهایی که تیرها و یا ستونها در معرض عوامل جوی قرار می‌گیرند باید سطوح داخلی آنها (در صورتی که قسمتهای توخالی داشته باشند) برای مقابله با خوردگی کاملاً مسدود شود و به صورت آب‌بندی شده درآید، یا فضاهای داخلی آنها ابعاد کافی داشته باشد تا با دسترسی به داخل آنها هر چند وقت یکبار تمیز و رنگ شوند.

۱۵-۵- حداقل ضخامت قطعات فولادی

بجز قطعاتی که در آنها پیش‌بینی‌های ویژه و موثری برای جلوگیری از خوردگی به عمل آمده باشد، محدودیتهای زیر برای ابعاد قطعات فولادی باید رعایت شود:

الف) ضخامت اجزای اعضای سازه‌ای که در فضای خارج و در معرض عوامل جوی یا اثرات خورنده دیگر قرار داشته باشند، از ۸ میلیمتر کمتر نباشد.

ب) اعضای با مقطع لوله‌ای شکل و یا قوطی شکل که کاملاً آب‌بندی شده و بین داخل و خارج آنها هیچ نشی صورت نگیرد، حداقل ضخامت جدار ۶ میلیمتر می‌باشد.

پ) در مورد سخت‌کننده‌های عرشه‌های ارتوتروپیک، حداقل ضخامت ۴ میلیمتر می‌باشد.

۱۵-۶- افتادگی

در دهانه‌های ساده و یکسره، افتادگی ناشی از بار زنده و ضربه به $\frac{1}{800}$ دهانه محدود می‌گردد. در پله‌ای شهری این محدودیت $\frac{1}{1000}$ دهانه است.

در بازوهای طره‌ای، افتادگی حداکثر به $\frac{1}{300}$ دهانه محدود می‌گردد. اگر این بازوها حامل پیاده‌رو باشند، تغییر شکل حداکثر آنها به $\frac{1}{375}$ دهانه محدود می‌شود.

در صورت وجود تیرها و دیافراگم‌های عرضی کافی، در محاسبه افتادگی می‌توان فرض نمود تمام تیرها بطور مساوی در مقابل افتادگی مشارکت دارند و افتادگی آنها مساوی است.

در تیرهای مختلط، از ممان اینرسی کل مقطع مختلط با ضریب تبدیل n می‌توان در محاسبه افتادگی استفاده نمود.

۱۵-۷- جزئیات تکیه‌گاهی

برای دهانه‌های کوتاه‌تر از ۱۵ متر، تعبیه هیچگونه تمهیداتی برای دوران و انبساط تکیه‌گاهی لازم نیست و یک صفحه تکیه‌گاهی تخت برای این منظور کافی است. برای دهانه‌های بلندتر از ۱۵ متر، تعبیه جزئیات تکیه‌گاهی خاص از قبیل تکیه‌گاه یاتاقانی، نئوپرن و یا جزئیات دیگر ضروری است.

فصل شانزدهم

ساخت، نصب و کنترل نوع کار

۱۶-۱- مقدمه

این فصل اختصاص به روش‌های تهیه مصالح، برشکاری، مونتاژ، جوشکاری، حمل، پیش‌مونتاژ، نصب و محکم کردن پیچها، دارد.

۱۶-۲- دامنه کاربرد

- براساس مفاد این فصل و طبق نقشه‌های اجرایی فولادی پیمانکار موظف به انجام موارد زیر می‌باشد:
- تهیه مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی لازم .
 - تهیه نقشه‌های کارگاهی که جزئیات اجرای عملیات آهنگری درکارگاه را مشخص سازند در هماهنگی با نقشه‌های اجرایی و تجهیزات و امکانات کارگاه .
 - برشکاری، سوراخکاری و مونتاژ قطعات
 - جوشکاری قطعات مونتاژ شده
 - تهیه پیچ و مهره پرمقاومت و آچارهای مدرج مخصوص سفت کردن پیچ‌ها
 - پیش‌مونتاژ قسمتهای کاردرمحل کارگاه ساخت
 - حمل قطعات ساخته شده به محل نصب
 - ایجاد امکانات لازم برای انبارکردن قطعات فولادی در محل
 - مونتاژ قطعات طبق نقشه‌ها درمحل کار

۱۶-۳- مشخصات فولادمصرفی

کلیه فولادهای مصرفی اعم از ورق، تیرآهن، ناودانی، نبشی، تسمه و غیره می‌بایستی از انواع مذکور در فصل ۱ باشد.

قطعات فولادی باید از معایی که به مقاومت و یا شکل ظاهری آن لطمه می‌زند عاری باشند. بکار بردن فولادهای مصرف شده قابل قبول نمی‌باشد.

قطعات فولادی اعم از اجزای قاب، ستونها و شاهتیرها باید حتی الامکان یکپارچه بوده و از وصله کردن قطعات کوتاه خودداری گردد، مگر محل وصله در نقشه های اجرایی مشخص شده باشد یا موافقت مهندس طراح با کروکی تهیه شده برای اتصال مورد نظر جلب گردد.

هرگاه دستگاه نظارت از مشخصات فولادهای وارد شده به کارگاه اطمینان نداشته باشد میتواند از هر ۱۰ تن نیمرخ فولادی مشابه به تعداد ۳ نمونه اتفاقی انتخاب و انجام آزمایشهای زیر را درمورد آنها تقاضا نماید:

- آزمایش مقاومت کششی با اندازه گیری تغییرشکل نسبی
- آزمایش خمش سرد
- آزمایش خمش بر اثر ضربه
- آزمایش متالورگرافی و تعیین ترکیب شیمیایی

۱۶-۴- ساخت قطعات فولادی

۱۶-۴-۱- کلیات

کارفرما نقشه های محاسباتی فولادی را در اختیار پیمانکار قرار میدهد. پیمانکار موظف است براساس نقشه های مذکور ابتدا نقشه های کارگاهی^۱ را تهیه و به تصویب مهندس مشاور برساند.

نقشه های کارگاهی باید کلیه اطلاعات و جزئیات لازم برای برش و ساخت قطعات اعم از ابعاد و اندازه ها، آماده سازی لبه ها برای جوشکاری، جزئیات جوش و اندازه پیچ ها و سوراخهای آنها را شامل شود.

قبل از شروع به ساختن و نصب قطعات باید اندازه های مندرج در نقشه ها بمنظور تطبیق کامل و جلوگیری از بروز هر گونه اشکال در موقع ساخت و نصب به دقت کنترل گردد.

هر قطعه پس از آنکه به اندازه و شکل مشخص شده در نقشه ها ساخته شد، باید شماره و علامت گذاری شود. مونتاژ، جوشکاری و متصل کردن قطعات به یکدیگر باید در کارگاه سرپوشیده و مجهز ساخت اسکلت های فولادی توسط استادکاران و کارگران ماهر و زیر نظر متخصص فن انجام گردد.

۱۶-۴-۲- بریدن و سوراخ کردن

ابتدا قطعات باید به ابعاد و اشکال لازم به دقت بریده شده و در محل های لازم سوراخ گردد. برش ورقهایی که در ساختن قطعات فولادی مصرف می گردد باید توسط دستگاه برش شعله ریلی انجام گیرد و برش با دستگاه گیوتین، جوش یا برش دستی قابل قبول نیست. برش نیمرخهای فولادی (تیر آهن، ناودانی و نبشی) که برای ساخت مهارها، نرده ها و اتصال آن مصرف می شوند در صورت موافقت مهندس مشاور با دستگاه نظارت می تواند با اهر یا برش دستی انجام گیرد. در هر صورت کلیه ناصافی هایی که بر اثر برش بوجود می آید باید با سنگ زدن برطرف شود.

^۱ - Work-Shop Drawings

سوراخهای نهایی ورقها باید به کمک مته دوار انجام پذیرد. برای سوراخهای با قطر زیاد میتوان ابتدا با قطر کوچکتر سوراخی توسط منگنه ایجاد نمود و بعد بامته سوراخ را به قطر دلخواه رساند. قطعاتی که با پیچ به هم متصل می گردند در صورت امکان باید همه به هم خال جوش شده باهم سوراخکاری شوند.

به کارگیری روشهای گرم کردن موضعی و یا تغییر شکل مکانیکی برای ایجاد انحنا یا راست کردن قطعات با تأیید دستگاه نظارت مجاز میباشد، ولی دمای موضع گرم شده نباید از ۶۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود. این دما باید به کمک گچ های رنگی مخصوص که در درجه حرارت حدود ۶۰۰ درجه تغییر رنگ میدهند، مورد کنترل قرار گیرد.

۱۶-۴-۳- ساخت و آماده کردن قطعات قبل از مونتاژ

قطعات فولادی باید طوری ساخته شوند که هیچ نوع تغییر شکلی غیر از آنچه در نقشه مشخص شده در آنها بوجود نیاید. انحناء و تغییر شکل هایی که طبق نقشه و یا دستور دستگاه نظارت لازم باشد هنگام ساختن قطعات ایجاد می شود.

قطعاتی که در نقشه یکپارچه (بدون وصله) مشخص شده اند نباید از اتصال دویاچند قطعه ساخته شوند مگر با موافقت دستگاه نظارت. در این حالت نحوه وصله کردن و ابعاد صفحات اتصال باید طبق نقشه ها و یا دستورکار دستگاه نظارت مشخص شده و به پیمانکار ابلاغ شود. از وصله نمودن بیش از حد باید خودداری گردد.

پخ زنی و آماده کردن لبه قطعات برای جوشکاری باید هنگام برش شعله، با زاویه دادن به سرمشعل یا با سنگ زنی های بعدی انجام پذیرد. استفاده از دستگاههای پخ زن ضربه ای مجاز نمی باشد. پخ زنی و آماده کردن لبه ها باید مطابق جزئیات اجرایی جوش باشد، که مطابق بند ۱۶-۴-۴ این مشخصات قبلاً به تأیید دستگاه نظارت رسیده است.

۱۶-۴-۴- اتصال با جوشکاری

برای برقراری اتصالات جوشی رعایت مشخصات مندرج در آیین نامه جوشکاری ساختمانی (نشریه ۲۲۸ دفتر تحقیقات و استانداردهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی) لازم است. موارد زیر جهت تکمیل و تأیید بعضی مفاد نشریات فوق عنوان میگردند:

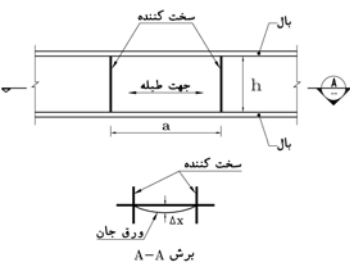
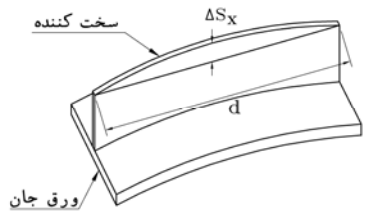
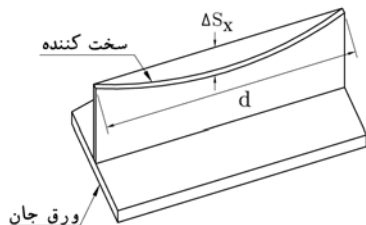
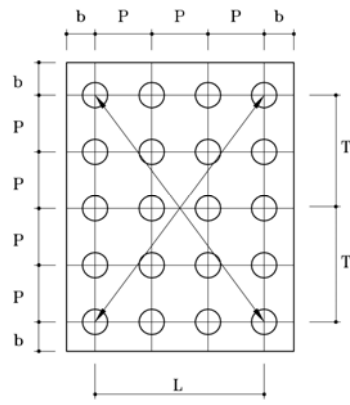
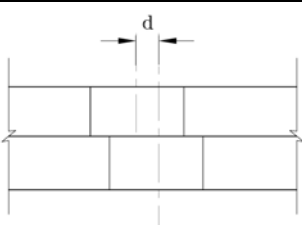
الف- پیمانکار باید برای یکایک جوشها قبل از شروع جوشکاری نوع الکتروود مصرفی و قطر آن، شدت جریان و ولتاژ، تعداد پاسها، نحوه آماده سازی لبه ها و تمام اطلاعات اجرایی دیگر را توسط مهندس یا کاردان ارشد جوشکاری بر روی برگه های «دستورالعمل جوشکاری»^۱ ثبت نموده و در تمام مدت جوشکاری در اختیار جوشکار، سرپرست کارگاه جوشکاری و ناظرین قرار دهد. برگه های «دستورالعمل جوشکاری» باید قبلاً به تأیید دستگاه نظارت رسیده باشند.

ب - جوشکاری باید طبق نقشه و کاملاً مطابق با ابعاد مشخص شده بوسیله طراح، توسط جوشکاران ماهر (ارزیابی شده) انجام گردد و چنانچه دستگاه نظارت لازم بداند باید جوشکاران دارای گواهینامه جوشکاری از وزارت کار یا مراجع ذیصلاح دیگر بوده و یا قبل از انجام کار توسط دستگاه نظارت آزمایش لازم از آنها بعمل آید.

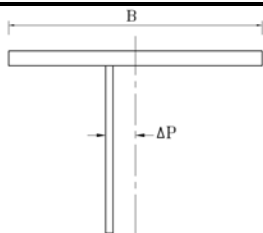
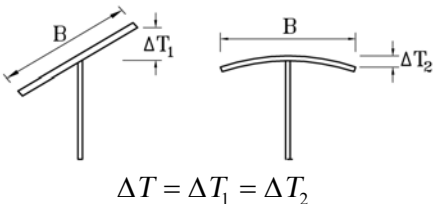
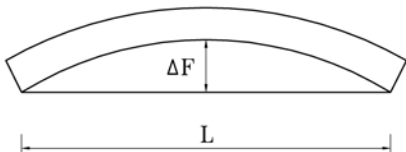
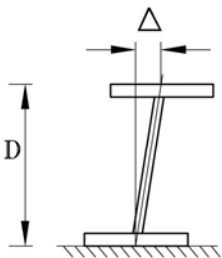
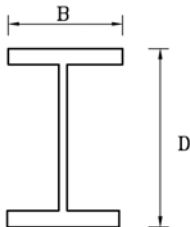
^۱ - Welding Procedure

- پ - قبل از جوشکاری باید سطوح موردنظر از مواد زاید (گرد و خاک، زنگ زدگی، رنگ و غیره) کاملاً پاک شود.
- ت - جوشکاری بطور کلی در درجه حرارت زیر صفر درجه سانتیگراد خصوصاً در جریان باد ممنوع است، در صورتیکه جریان هوا یکنواخت و ثابت بوده و بتوان سطوح مجاور محل جوشکاری را به شعاع حداقل ۱۰ سانتیمتر با وسایل مناسب بنحوی گرم کرد که با دست کاملاً محسوس باشد و این درجه حرارت در تمام مدت جوشکاری حفظ شود، میتوان در هوای تا ۵ درجه زیر صفر جوشکاری کرد.
- ث - جوشکاری نباید بیش از آنچه در نقشه ذکر شده و یا دستگاه نظارت دستور داده است انجام شود.
- ج - شدت جریان و نوع الکترودها باید طوری انتخاب شوند که جوش کامل و دارای نفوذ کافی بوده و قطعات مورد اتصال بقدر کافی ذوب شوند. سطح جوش باید عاری از شیار، قسمتهای برآمده، سوختگی و گودی درز باشد.
- چ - چنانچه جوشکاری در بیش از یک پاس انجام شود قبل از برداشتن پوسته پاس قبلی و پاک کردن آن با بررسی سیمی، نباید پاس بعد شروع شود.
- ح - بین قطعاتی که مستقیماً بطریق جوش گوشه بهم جوش می شوند نباید درزی بیش از ۲ میلیمتر موجود باشد.
- خ - جوشکاری باید بنحوی انجام گیرد که قطعات مربوطه از شکل اصلی خارج نشده و از تاب برداشتن و اعوجاج بیشتر از حد رواداریهای جدول شماره ۱۶-۱ جلوگیری شود.
- د - بر روی تمام جوشها باید آزمایشهای کنترل کیفیت چشمی توسط بازرس جوش انجام و نتیجه این آزمایشها به دستگاه نظارت و کارفرما گزارش شود. در جدول ۱۶-۲ میزان آزمایش های غیر مخرب جوش ارائه شده است. نتیجه تمام این آزمونها باید در پرونده های مخصوص ثبت شده در اختیار دستگاه نظارت قرار گیرند. تفسیر دستگاه نظارت از نتایج آزمایش فکعی محسوب میگردد.
- دستگاه نظارت می تواند مستقیماً آزمایشهای کنترل کیفیت بر روی قطعات انجام داده یا دستور تکرار و تجدید آزمایشهای لازم توسط پیمانکار را بنماید.
- ذ - روش اجرا باید طوری ترتیب داده شود که مقدار جوش های کارگاهی لازم به حداقل برسد. بطوریکه ساخت قطعات با جوش در کارخانه انجام شده و اتصال در کارگاه توسط پیچ پرمقاومت برقرار شود.

جدول شماره ۱۶-۱- حد اکثر انحراف مجاز در ساخت تیرورقهای فولادی (رواداریهای ساخت)

مثال	رواداری	شرح انحراف
	$\Delta x = \frac{G}{100} \text{ یا } 3 \text{ mm}$ هرکدام که بزرگترند $G = \text{بعد حداقل چشمه}$ $G = \min(a \text{ یا } h)$	تبله ورق جان عمود بر صفحه که به موازات ضلع بزرگتر اندازه گیری شده است
	$\Delta S_x = \frac{d}{500} \text{ یا } 3 \text{ mm}$ هرکدام که بزرگترند	تاب برداشتن سخت کننده در جهت عمود بر ورق سخت شده
	$\Delta S_y = \frac{d}{250} \text{ یا } 3 \text{ mm}$ هرکدام که بزرگترند	تاب برداشتن سخت کننده به موازات ورق سخت شده
	$\Delta P = \pm 2$ $\Delta b = \pm 3$ $\Delta L = \pm 3$ $\Delta T = \pm 3$ $ a - b \leq 3 \text{ mm}$	رواداری سوراخ پیچ ها
	$d < 2 \text{ mm}$	جابه جایی سوراخ

جدول شماره ۱۶-۱ - حداکثر انحراف مجاز در ساخت تیرورقهای فولادی (رواداریهای ساخت) (ادامه)

شرح انحراف	رواداری	مثال
جابجایی مرکز بال نسبت به جان	$\Delta p = \frac{B}{100} < 1 \text{ mm}$	
کجی یا تحدب بال	$\Delta T = \frac{B}{100}$ یا ۳ mm هر کدام که بزرگترند	
ریسمانی بودن بال یا جان در طول قطعه	$\Delta F = \frac{L}{1000}$ یا ۳ mm هر کدام که بزرگترند L = طول قطعه ای از تیر یا تمام طول تیر	
انحراف نسبی یک بال نسبت به بال دیگر	$\Delta = \frac{D}{300}$ یا ۳ mm هر کدام که بزرگترند	
رواداری ابعادی اجزای مقطع	$\pm \xi \text{ mm}$	

جدول ۱۶-۲- میزان آزمایشهای غیرمخرب هنگام تولید

نوع آزمایش	نوع جوش مورد آزمایش
بازرسی چشمی	۱- صد درصد کلیه جوشها
پرتونگاری یا فراصوت	۲- صد درصد جوشهای لب به لب عرضی بالهای کششی، اعضای کششی خرپاها، ۱/۶ عمق جان تیرها در مجاورت بال کششی*
پرتونگاری یا فراصوت	۳- ده درصد جوشهای لبه به لب طولی بالهای کششی و اعضای کششی خرپاها
پرتونگاری یا فراصوت	۴- بیست درصد جوشهای لب به لب عرضی و طولی در بالهای فشاری و اعضای فشاری خرپاها
پرتونگاری یا فراصوت	۵- بیست درصد جوشهای لب به لب عرضی جان تیرها که شامل بند ۲ فوق نمی باشد و جوشهای لب به لب طولی جان تیرها
براده مغناطیسی یا رنگ نافذ	۶- ده درصد جوش گوشه بال به جان

* در صورت حصول نتایج مثبت، مهندس مشاور می تواند دستور تقلیل آزمایشات را تا سقف ۵۰ درصد صادر نماید.

۱۶-۴-۵- پیش مونتاژ

در صورتی که دستگاه نظارت لازم بداند، پیمانکار موظف است تیرها و ستونهای فولادی را در محل کارگاه ساخت پیش مونتاژ نماید. هدف از پیش مونتاژ تیرها و ستونها حصول اطمینان از دقت ساخت و کیفیت جفت و جور شدن قطعات در هنگام نصب می باشد. همچنین در هنگام پیش مونتاژ، خیز شاهی تحت بار خود آن اندازه گیری شده و با خیز تئوریک مقایسه خواهد شد، جفت و جوش شدن قطعات بایندها با بستن تعدادی از آنها مورد کنترل قرار خواهد گرفت.

به هنگام پیش مونتاژ باید حداقل ۵۰ درصد از پیچهای هراتصال بسته شوند. پیچهای پیش مونتاژ می تواند از نوع پیچهای معمولی انتخاب گردد. از این پیچها بعداً به عنوان پیچهای اصلی نباید استفاده نمود. قطعات پیش مونتاژ شده بعد از علامت گذاری باز شده به همراه صفحات اتصال برای حمل به کارگاه نصب، انبار خواهند شد.

۱۶-۴-۶- انبار کردن، حمل و رفع معایب

انبار نمودن و حمل قطعات فولادی در کارگاه ساخت و محل نصب باید بنحوی صورت گیرد که قطعات تغییر شکل نداده و تنشهای بیش از حد مجاز در آن ایجاد نشود و هیچ آسیبی به آن وارد نیاید. قطعاتی که تغییر شکل داده یا آسیب دیده است، به هر علت که باشد باید قبل از بکارگیری بنحو رضایت بخشی با تایید دستگاه نظارت اصلاح و مرمت گردد. در صورتیکه تعمیر قسمتهای معیوب بدون کم کردن مقاومت آن میسر نباشد باید آن قسمتها تعویض گردند. قطعات فولادی باید در محیطی دور از رطوبت انبار گردند. در صورت انبار کردن قطعات در محیط باز، باید زیر قطعات سکوها مناسبی قرار داد تا قطعه با زمین فاصله داشته باشد. تعداد و فاصله سکوها باید بنحوی انتخاب گردد که قطعات دچار تنش یا تغییر شکل بیش از حد نگردند.

جابجا کردن قطعات باید با در نظر گرفتن ضوابط ایمنی با وسایل مناسب و بنحوی انجام گیرد که تنشهای اضافی در این قطعات ایجاد نشود. قطعات سنگین با شکل و فرم خاص باید با قلاب نمودن در نقاط مناسب و یا نقاطی که قبلاً تعیین و علامت گذاری شده است بلند شوند تا هنگام جابجا کردن و نصب، تنش و تغییر شکل زیاد در هیچ قسمتی ایجاد نشده، به اتصالات برشی و سوراخهای پیچها نیز آسیبی وارد نگردد.

۱۶-۴-۷- اتصال قطعات

۱۶-۴-۷-۱- اصلاح سوراخها

برای مونتاژ نهایی قطعات، بعد از آنکه قطعات علامت گذاری شده بر روی خرک چیده شدند و صفحات اتصال بر روی سوراخها قرار گرفت، قطعات بوسیله سمبه هایی که از سوراخهای اتصال می گذرند در جای خود ثابت میشوند. در کارگاه ساخت، انطباق سوراخها مورد کنترل دقیق قرار گرفته است ولی باز هم امکان دارد که حداکثر تا ۱۵ درصد

سوراخها بعلت عدم دقت های ساخت کاملاً منطبق نباشد. درچنین حالتی باید این سوراخها را با گذراندن یک پیچ امتحانی پیدا کرده بوسیله برقوزدن آنها را اصلاح نمود. حداکثر قطر بر قوی مصرفی ۳ میلیمتر بزرگتر از قطر پیچ می باشد.

۱۶-۴-۷-۲- بستن و محکم کردن پیچ ها

محکم کردن پیچهای هراتصال در دو مرحله انجام می گیرد. اول، تعدادی از پیچ ها تا حد سفتی کامل محکم می شوند، تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به هم چسبیده اند، سپس تمام پیچها در سوراخ قرارگرفته کاملاً سفت میشوند. درمرحله دوم، با چرخاندن اضافی مهره، پیچها پیش تنیده میگردند. درهریک از مراحل محکم کردن پیچها باید ازقسمتی که اتصال صلب تراست وصفحات تغییرشکل کمتری میدهند شروع به بستن پیچ ها کرد. در وصلهها، قسمت صلب اتصال، وسط صفحه اتصال می باشند. بعد از محکم کردن پیچ های وسط با حفظ تقارن و ترتیب، پیچهای کناری تا لبه آزاد ورق اتصال محکم می شوند. سپس می توان به پیچهای وسط پرداخت تا اطمینان حاصل شود سفت کردن پیچهای کناری آنها را از حالت کاملاً سفت خارج نکرده است. درتمام مراحل محکم کردن پیچها باید دقت کرد از چرخیدن پیچ و مهره با هم جلوگیری بعمل آید.

سفتی کامل را درپیچ به حالتی می گویند که یک نفر کارگر زورمند با یک آچارمعمولی بدون آنکه با وزن خود به دسته آچار ضربه وارد کند، با بکارگیری آخرین زور خود نتواند پیچ را از آن محکمتر نماید. برای پیش تنیده کردن چنین پیچی باید مهره آنرا به اندازه مقداری که درجدول شماره ۱۶-۲ مشخص شده اضافه چرخاند. این چرخش اضافی را میتوان به کمک آچار دسته بلند، یا با آچارمعمولی با استفاده از دو کارگر یا بوسیله آچار بادی و کمپرسور تأمین نمود.

جدول شماره ۱۶-۲- چرخش اضافی لازم برای پیش تنیده کردن پیچها

تعداد دور اضافه برای پیش تنیده کردن پیچها	طول پیچ (L)
$\frac{1}{3}$ دور	$L \leq 4 D$
$\frac{1}{2}$ دور	$4 D < L \leq 8 D$
$\frac{2}{3}$ دور	$8 D < L \leq 12 D$

D قطر پیچ می باشد.

اگر در چرخاندن پیچها ازآچارهایی که با کمپرسور بادی کار میکنند استفاده شود، باید فشار باد را طوری تنظیم کرد که در یک مرحله مهره ها را بدون چرخیدن پیچ تا مرحله سفتی کامل برساند و درمرحله بعد با ازدیاد فشار باد یا با دست به روشی که در بالا گفته شد پیچ ها را پیش تنیده کرد. تنظیم باد کمپرسور متضمن استفاده از آچارمدرج

(تورک متر) یا آزمون و خطاهای متوالی می باشد و باید در آن دقت کامل بعمل آید. بازکردن پیچهایی که به حدپیش تنیدگی رسیده اند و استفاده مجدد از آنها مجاز نمی باشد. در جدول ۱۵-۳ مشخصات مکانیکی پرچها و پیچها و در جدول ۱۵-۴ میزان نیرو و لنگر پیش تنیدگی مطابق استاندارد DIN ارائه شده است.

۱۶-۴-۷-۳- کنترل پیش تنیدگی پیچ ها

پیمانکار موظف است کنترل کیفیت دقیقی بر عملیات بستن پیچ و مهره ها در کارگاه نصب اعمال داشته، گزارشهای مربوط به این کنترلها را جهت بررسی و تأیید به دستگاه نظارت اعلام نماید. دستگاه نظارت میتواند رأساً یا از طریق آزمایشگاه با صلاحیت، مستقلاً پیش تنیدگی پیچها را کنترل نماید. در هر صورت تصمیم دستگاه نظارت در مورد کفایت پیش تنیدگی پیچ ها قطعی خواهد بود. برای پیچهای پر مقاومت بکارگرفته شده در طرح، نیروی پیش تنیدگی لازم برای سفت کردن پیچ ها برابر ۵۵ درصد مقاومت نهایی پیچ میباشد. لازم به تذکر است که با پیچاندن اضافی مهره ها ممکن است کشش پیچ بطور قابل ملاحظه ای از مقدار فوق الذکر بیشتر شوند ولی این موضوع اشکالی در بر ندارد. در پیچهایی که وسیله چرخاندن اضافه مهره پیش تنیده می شوند، بعد از آنکه پیچها کاملاً سفت شدند بوسیله یک گچ رنگی نقطه ای از پیچ و مهره را که روبروی هم قرار دارند، علامت گذاری کرده بعداً کنترل می گردد که چرخش اضافی مطابق جدول شماره ۱۶-۲ بمیزان کافی انجام شده باشد. برای کنترل پیش تنیدگی پیچ ها باید از تورک متر مناسب که قبلاً در یک آزمایشگاه مورد قبول دستگاه نظارت کالیبره شده است، استفاده بعمل آورد.

جدول ۱۶-۳- مشخصات مکانیکی پرچها و پیچها

توضیح	نام تجاری پیچ یا پرچ		تنش تسلیم	تنش نهایی
	DIN	ASTM	F_y (kg/cm ²)	F_u (kg/cm ²)
پرچ	UST ۳۶		۲۰۵۰	۳۳۰۰
	UST ۳۸		۲۲۵۰	۳۷۰۰
		Gr۱ و A۵۰۲	۱۹۰۰	
		Gr۲ و A۵۰۲	۲۶۰۰	
پیچ معمولی	۴/۶		۲۴۰۰	۴۰۰۰
	۵/۶		۳۰۰۰	۵۰۰۰
		A۳۰۷		۴۲۰۰
پیچ پرمقاومت	۸/۸		۶۴۰۰	۸۰۰۰
	۱۰/۹		۹۰۰۰	۱۰۰۰۰
		A۳۲۵	*۵۹۰۰-۶۴۰۰ ⁺	۸۲۵۰ و $\leq (d \geq 5mm)$
			*۵۱۰۰-۵۶۰۰ ⁺	۷۲۵۰ و $\leq (d \geq 5mm)$
		A۴۹۰	*۸۲۵۰-۹۰۰۰ ⁺	۱۰۰۰۰

* نظیر کرنش ۰/۵ درصد + روش تصویر

جدول ۱۶-۴- نیروی پیش تنیدگی و لنگر پیچشی پیش تنیدگی طبق استاندارد DIN

پیچ	نیروی پیش تنیدگی (Ton)	لنگر پیچشی لازم	
		گریسکاری با Mos ₂ (T.m)	روغن کاری شده (T.m)
M۱۲	۵/۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۲۱
M۱۶	۱۰/۰	۰/۰۲۵۰	۰/۰۳۵۰
M۲۰	۱۶/۰	۰/۰۴۵۰	۰/۰۶۰۰
M۲۲	۱۹/۰	۰/۰۶۵۰	۰/۰۹۰۰
M۲۴	۲۲/۰	۰/۰۸۰۰	۰/۱۱۰۰
M۲۷	۲۹/۰	۰/۱۲۵۰	۰/۱۶۵۰
M۳۰	۳۵/۰	۰/۱۶۵۰	۰/۲۲۰۰
M۳۶	۵۱/۰	۰/۲۸۰۰	۰/۳۸۰۰

فصل هفدهم

بالشتک های الاستومری

۱۷-۱- کلیات

پیمانکار موظف است کلیه مشخصات مربوط به بالشتک های الاستومری از جمله ابعاد، خواص مصالح، رده الاستومر و نوع لایه های مصرفی را به انضمام کاتالوگ کارخانه سازنده به موقع تهیه و به تایید کارفرما برساند. بالشتک باید در ابعاد مندرج در نقشه های اجرایی سفارش داده شود و هر نوع برش کاری روی بالشتک غیرمجاز می باشد. بالشتکها باید در محل دقیق خود مطابق نقشه های اجرایی نصب شوند. سطح زیرین بالشتکها باید به کمک ملات ریزدانه و پرعیار و پرمقاومت بصورت یک سطح کاملاً مسطح درآید. قبل از نصب بالشتکها پیمانکار موظف است تراز و یکنواختی سطح ملات را به تایید دستگاه نظارت برساند. استفاده از ورق زیرسری طبق جزئیات شکل ۱۷-۱ قابل توصیه می باشد.

۱۷-۲- حمل و نگهداری

بالشتک ها باید قبل از حمل و نقل، بسته بندی شده بطوریکه مصون از هرگونه آسیب باشند. انبارداری آنها باید در اتاق های سر بسته و عاری از نور و صدمات محیطی و فیزیکی باشد.

۱۷-۳- مشخصات فیزیکی الاستومر

الاستومر می تواند از نوع نئوپرن (پلی کلروپرن) و یا لاستیک طبیعی (پلی ایزوپرن) باشد. الاستومرها به ۵ رده کلی ۰ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ تقسیم می شوند. رده های فوق باتوجه به مندرجات جداول ۱۷-۱ و ۱۷-۲ مشخص میشوند. در بالشتکها می توان از الاستومر با رده بالاتر به جای رده پایینتر استفاده کرد. درمورد الاستومرها باید آزمایشات زیر انجام شود. (جداول ۱۷-۱ و ۲)

الف- مشخصات فیزیکی

۱- سختی درومتر

۲- استحکام کششی حداقل

۳- ازدیاد طول نظیر گسیختگی در آزمایش کششی

۴- ضریب برجهندگی در کشش و برش

۵- مقاومت پارگی

ب - مقاومت حرارتی

۱- تغییر سختی درومتر

۲- تغییر مقاومت کششی

۳- تغییر ازدیاد طول نسبی

ج - مانایی فشاری

د - مقاومت ازنی

هـ- ترد شکنی در درجه حرارت پایین

همه آزمایشها باید در دمای 23 ± 2 درجه سانتیگراد انجام شوند، مگر در مواردی که ذکر شده باشد.

۱۷-۴- ورقهای فولادی

ورقهای فولادی از فولاد ST-52 می باشند. سطح ورقهای فولادی باید کاملاً آماده شده و به کمک چسباننده های مناسب پیوستگی کامل با نئوپرن داشته باشند. روی سطح ورقهای فولادی حداقل باید با ۲/۵ میلیمتر نئوپرن پوشیده شده باشد.

۱۷-۵- رواداری های ساخت

رواداری های ساخت براساس جدول ۱۷-۳ می باشند.

جدول ۱۷-۱- آزمایشهای کنترل کیفیت نئوپرن

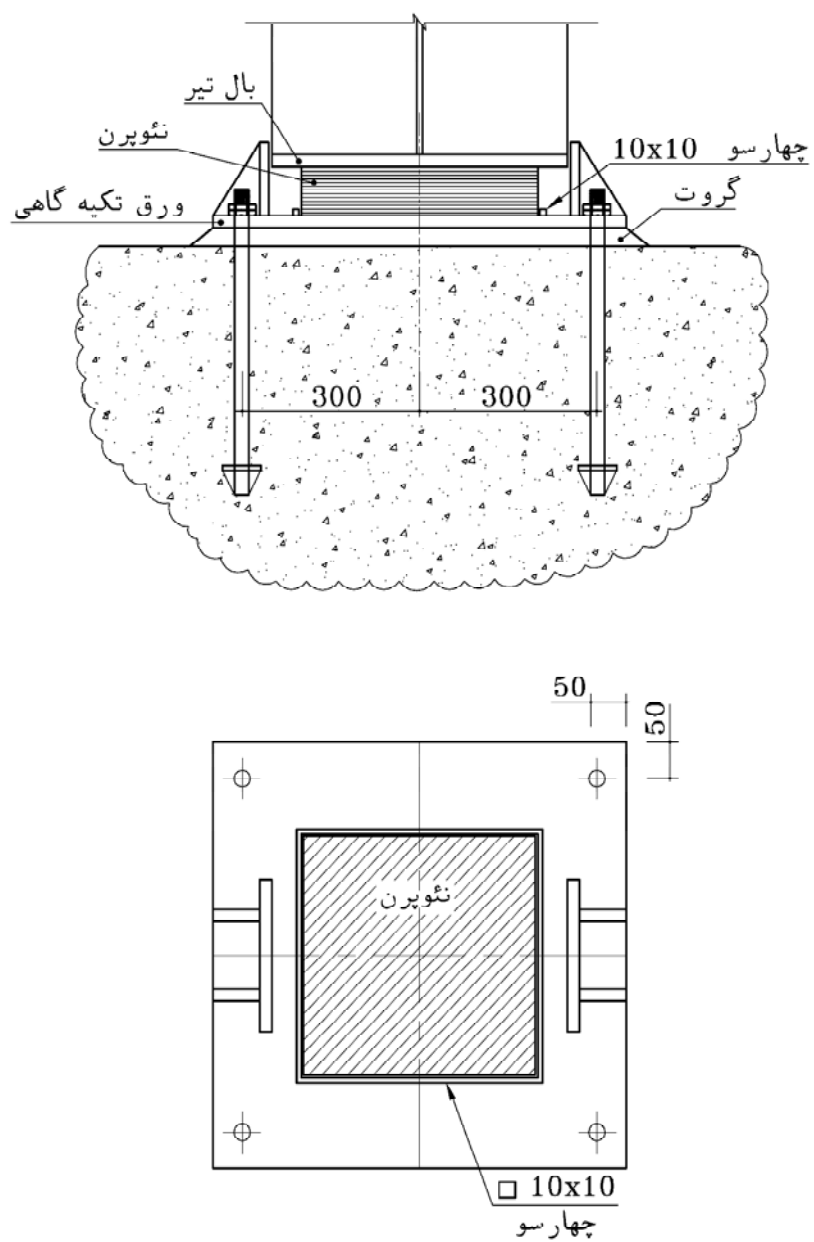
مشخصات فیزیکی				
سختی درومتر (Shore A)	50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5	D ۲۲۴۰
حداقل استحکام کششی (kg/cm^2)	۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	D ۴۱۲
حداقل ازدیاد طول نهایی (%)	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	
زمانبندی حرارتی				
تغییرات در سختی درومتر (Shore A)	۱۵	۱۵	۱۵	D ۵۷۳
حداکثر تغییرات در مقاومت کششی (%)	-۱۵	-۱۵	-۱۵	۷۰ ساعت در
حداکثر ازدیاد طول نهایی (%)	-۴۰	-۴۰	-۴۰	100°C
مانایی فشاری				
۲۲ ساعت دردمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، (حداکثر %)	۳۵	۳۵	۳۵	D ۳۹۵
				روش B
مقاومت ازنی				
غلظت PPhm ۱۰۰ ازن، ۲۰٪ کرنش، (38 ± 1) درجه سلسیوس به مدت ۱۰۰ ساعت ماندگاری طبق روال D518، روش A	بدون ترک	بدون ترک	بدون ترک	D ۱۱۴۹
شکندگی در دمای پایین				
رده ۰ و ۲ بدون نیاز به آزمایش	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	D ۷۴۶
رده ۳- شکندگی در ۴۰- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	روش B
رده ۴- شکندگی در ۴۸- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	
رده ۵- شکندگی در ۵۷- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	
سفتی حرارتی آنی				
رده ۰ و ۲- آزمایش در ۳۲- درجه سلسیوس	سختی در درجه حرارت زمان آزمایش نباید بیشتر از ۴ برابر سختی اندازه گیری شده در ۲۳ درجه سلسیوس باشد.			D ۱۰۴۳
رده ۳- آزمایش در ۴۰- درجه سلسیوس				
رده ۴- آزمایش در ۴۶- درجه سلسیوس				
رده ۵- آزمایش در ۵۴- درجه سلسیوس				

جدول ۱۷-۲- آزمایشهای کنترل کیفیت لاستیک طبیعی

مشخصات فیزیکی				
۷۰ ± ۵	۶۰ ± ۵	۵۰ ± ۵	سختی درومتر (Shore A)	D ۲۲۴۰
۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	حداقل استحکام کششی (kg/cm ²)	D ۴۱۲
۳۰۰	۴۰۰	۴۵۰	حداقل ازدیاد طول نهایی (%)	
زمانبندی حرارتی				
۱۰	۱۰	۱۰	تغییرات در سختی درومتر (Shore A)	D ۵۷۳
-۲۵	-۲۵	-۲۵	حداکثر تغییرات در استحکام کششی (%)	۷۰ ساعت در
-۲۵	-۲۵	-۲۵	حداکثر ازدیاد طول نهایی (%)	۷۰°C
مانایی فشاری				
۲۵	۲۵	۲۵	۲۲ ساعت در ۷۰ درجه سلسیوس، حداکثر	D ۳۹۵ روش B
مقاومت ازنی				
بدون ترک	بدون ترک	بدون ترک	غلظت ۲۵PPHm ازن، ۲۰٪ کرنش، (۳۸ ± ۱) درجه سلسیوس و ۴۸ ساعت ماندگاری طبق روال D518، روش A	D ۱۱۴۹
شکندگی در دمای پایین				
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۰ تا ۲ بدون نیاز به آزمایش	D ۷۴۶
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۳- شکندگی در ۴۰- درجه سلسیوس	روش B
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۴- شکندگی در ۴۸- درجه سلسیوس	
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۵- شکندگی در ۵۷- درجه سلسیوس	
سختی آنی				
سختی در درجه حرارت زمان آزمایش نباید بیشتر از ۴ برابر سختی اندازه گیری شده در ۲۳ درجه سلسیوس باشد.			رده ۰ و ۲- آزمایش در ۳۲- درجه سلسیوس رده ۳- آزمایش در ۴۰- درجه سلسیوس رده ۴- آزمایش در ۴۶- درجه سلسیوس رده ۵- آزمایش در ۵۴- درجه سلسیوس	D ۱۰۴۳

جدول ۱۷-۳- رواداری های ساخت

۱- ارتفاع کلی	
ضخامت طراحی ۳۲ میلیمتر یا کمتر	(۳mm + و ۰-)
ضخامت طراحی بیشتر از ۳۲ میلیمتر	(۶mm + و ۰-)
۲- بعد افقی کل	
۹۱۴ میلیمتر یا کمتر	(۶mm + و ۰-)
بیشتر از ۹۱۴ میلیمتر	(۱۲mm + و ۰-)
۳- ضخامت هر لایه	
ضخامت الاستومر در هر نقطه ای در داخل تکیه گاه	۲۰٪ $\pm$ مقدار طراحی، اما کمتر از (۳mm $\pm$)
۴- توازی سطوح مخالف	
بالا و پایین	۰/۰۰۵ رادیان
لبه ها	۰/۰۲ رادیان
۵- وضعیت ظاهری	
سوراخها، شیارها یا مغزی ها	(۳mm $\pm$)
۶- پوشش لبه	
لایه های مدفون یا اعضای اتصال	(۳mm $\pm$)
۷- ضخامت	
پوشش لایه بالا و پایین (در صورت نیاز)	۰- و کوچکترین از ۱/۵ + میلیمتر و ۲۰٪ + ضخامت اسمی لایه پوشش
۸- اندازه	
سوراخها، شیارها یا مغزی ها	(۳mm $\pm$)



شکل ۱۷-۱ جزئیات ورق زیرسری نئوپرن

فصل هجدهم

رنگ آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت های فلزی

قسمت های فلزی باید در مقابل خوردگی محافظت شوند که برای این منظور باید سطوح آنها رنگ شود.

۱۸-۱- مواد مورد استفاده

رنگهای مورد استفاده جهت قسمت های فولادی باید از نوع آماده و مناسب با شرایط آب و هوایی منطقه باشند و استفاده از رنگها پس از مشخص شدن کارخانه تولید کننده آن ها منوط به تصویب دستگاه نظارت می باشد. تمام موارد مورد استفاده جهت آماده سازی سطح و رنگ آمیزی آن باید دارای بهترین کیفیت ممکن بوده و باید مطابقت کامل با استانداردهای کارخانه سازنده داشته و مورد تصویب دستگاه نظارت قرار گیرند، در هر صورت حصول به کیفیت نهایی مطلوب برعهده پیمانکار خواهد بود.

۱۸-۲- آماده سازی سطوح

تمیزکاری با پاشش مواد ساینده بهترین روش برای از بین بردن رنگ، اکسیدهای حاصل از نور، رنگ های قدیمی با چسبندگی کم می باشد. کلاً درمورد آماده سازی سطح با پاشش مواد ساینده موارد زیر حائز اهمیت می باشند: یکی از مطالب مهم در پاشش مواد ساینده، اطمینان از فشار مؤثر باد می باشد. مقدار صحیح فشار باد در آماده سازی با مواد ساینده، تقریباً 7 kg/cm^2 می باشد. اگر فشار باد تا 5 kg/cm^2 کاهش یابد، برای به دست آوردن نتایجی مشابه، تقریباً دو برابر از مواد ساینده استفاده می شود. بدین منظور بعد از آماده سازی سطح با مواد ساینده، باید بلافاصله سطح را با آستری مناسب پوشش داد. البته قبل از اعمال آستری باید گرد و خاک برروی سطح را با هوای فشرده (بدون آب و روغن) و یا جاروی برقی صنعتی کاملاً تمیز کرد.

اگر مقدار زنگ و رنگ ها، با چسبندگی کم برروی سطح زیاد باشد، بهتر است که ابتدا با تراشیدن، حجم مواد زاید را کم کرده و سپس عملیات آماده سازی با پاشش مواد ساینده را آغاز نمود.

سطوح آلومینیومی آماده سازی نشده و یا سایر فلزات سبک و آهن گالوانیزه شده، سطوح مشکلی برای رنگ آمیزی می باشند، زیرا چسبندگی لایه پرایمر به سطوح فوق بسیار کم می باشد. در این شرایط موارد زیر توصیه می شوند. ابتدا باید سطح را با یک حلال قوی کاملاً چربی زدایی کرد. سپس یک لایه واش پرایمر^۱ برروی سطح اعمال نموده و آنگاه سیستم رنگ ارایه شده را برروی آن اعمال نمود.

^۱ - Wash Primer

۱۸-۲-۱- درجات مختلف کیفیت آماده سازی

تمیزکاری با برس سیمی و با پاشش مواد ساینده ممکن است باتوجه به چگونگی انجام کار به نتیجه ای خوب یابد منتهی شود.

درجات آماده سازی

سطوح فولادی قبل از اعمال آستری ها به صورت زیر طبقه بندی می شود. درجات آماده سازی که در زیر آورده می شوند، بیانگر تمیزی سطح آهن می باشند که باید از کثافات و چربی ها پاک شده و همچنین لایه های ضخیم زنگ از روی سطح آن برداشته شده باشند.

Sa 1 : تمیز کردن به صورت ماسه پاشی خفیف

سطح فولاد پس از ماسه پاشی و به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره بین باید عاری از روغن، چربی، کثیفی و نیز لایه اکسید حاصل از نورده که چسبندگی آن کم می باشد و زنگ و پوشش های رنگی و مواد خارجی باشد.

Sa 2 : تمیز کردن به صورت ماسه پاشی عمیق

سطح فولاد پس از ماسه پاشی، به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز بیشترین مقدار لایه اکسید حاصل از نورده، زنگ و پوشش های رنگی و مواد خارجی از روی سطح زدوده شده باشد، هرگونه مواد آلاینده باقیمانده باید به سختی به سطح چسبیده باشند.

Sa 2.5 : تمیز کردن به صورت ماسه پاشی عمیق تر

سطح فولاد پس از ماسه پاشی، به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز باید لایه اکسید حاصل از نورده، زنگ، پوشش های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. هرگونه اثر به جامانده از مواد آلاینده، فقط به صورت لکه های جزئی به شکل خال ها و نوارها به نظر خواهد آمد.

Sa 3: تمیز کردن بصورت ماسه پاشی تا درجه ای که تمیزی فولاد با چشم دیده شود و سطح فولاد نقره ای گردد.

سطح فولاد پس از ماسه پاشی، به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره بین بایستی عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز باید لایه اکسید حاصل از نورد، زنگ، پوشش های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. اینچنین سطحی باید دارای نمای فلزی یکنواختی باشد.

۱۸-۳- رنگ آمیزی

۱۸-۳-۱- برای حفاظت سازه های فلزی در مقابل خوردگی باید کلیه سطوح رنگ آمیزی شوند، مگر در مواردی که عدم رنگ آمیزی از سوی مشاور تصریح شوند.

۱۸-۳-۲- قبل از شروع عملیات رنگ آمیزی باید تمام سطوح را کاملاً تمیز، خشک و آماده نمود به قسمی که برای پذیرفتن رنگ شرایط مناسبی داشته باشند. در هر مورد شروع کار منوط به تایید دستگاه نظارت خواهد بود. به عبارت دیگر قبل از شروع هر قشر رنگ آمیزی، نوع رنگ آمیزی، نوع رنگ، سیستم رنگ آمیزی و قشر قبلی باید توسط دستگاه نظارت بازدید و تایید گردد.

۱۸-۳-۳- رنگ مصرفی باید کاملاً سطح مورد نظر را پوشش داده و برای جلوگیری از سوسماری شدن پوشش، باید رنگهای آستر و رویه از یک کارخانه تهیه شوند. رنگ آمیزی سطوح بزرگ باید بصورت پاششی باشد. تنها برای لکه گیری ها استفاده از قلم مجاز است.

۱۸-۳-۴- رنگ آمیزی باید در محیط مناسب و سر بسته و رطوبت و دمای مناسب انجام شود.

۱۸-۳-۵- قطعاتی که تازه رنگ شده اند باید از گرد و خاک محافظت شده و سطح رنگ آمیزی تا زمان تحویل موقت حفاظت شوند.

۱۸-۳-۶- رنگ آمیزی باید در شرایط آب و هوای منطبق با کاتالوگ معتبر کارخانه سازنده رنگ صورت گیرد.

۱۸-۳-۷- در شرایط محیطی خشک فروشنده موظف است عملیات رنگ آمیزی را حداکثر تا ۲۴ ساعت پس از تمیز نمودن سطوح انجام دهد، مشروط بر آنکه دمای شرایط نگهداری سطوح با کاتالوگ کارخانه سازنده تطابق داشته و به تصویب دستگاه نظارت رسیده باشد.

۱۸-۳-۸- در سطوح و لبه هایی از سازه فلزی که پس از رنگ آمیزی جوش خواهند شد، باید رنگ آمیزی تا فاصله پنج سانتیمتر از لبه متوقف شود.

۱۸-۳-۹- تمام نقاطی که رنگ قطع شده و سطح فلز بیرون است باید تمیز شده و مجدداً رنگ آمیزی شوند به طوری که سطح کاملاً پوشیده شده و یکپارچگی رنگ با سطوح مجاور رنگ شده تامین گردد.

۱۸-۳-۱۰- در تمام سطوحی که طبله کردن، وجود ترک ها و پوسته شدن رنگ و سایر علایم حاکی از این است که اتصال رنگ به سطح تامین نشده است، باید عملیات ترمیم انجام گیرد. بدین ترتیب که رنگ سطوح فوق به کمک ماسه پاشی به طور کامل برداشته شود و مجدداً عملیات مربوط به آماده نمودن سطوح رنگ آمیزی صورت گیرد.

۱۸-۳-۱۱- سطوح تمام شده رنگ آمیزی باید دارای مشخصات زیر باشد:

یکنواختی ظاهری در رنگ، یکنواخت بودن میزان ماتی و شفافیت رنگ، عدم ایجاد موج و سایه، نداشتن چروک و پخش نشدن پوسته رنگ، انطباق لایه اجرا شده با مشخصات، ایجاد پوشش کامل و بدون شره، عدم چسبندگی سطوح رنگ شده با دست و لباس و تمیزبودن سطوح از گردوغبار.

۱۸-۳-۱۲- اگر در حین اجرای عملیات نصب، رنگ قطعات صدمه ببینند (به واسطه عملیات جوشکاری، حمل، بستن و یا....) بایستی پیمانکار باید سطوح موردنظر را تمیز نموده و به طوری که سطوح فولادی ظاهر شود و سپس براساس مشخصات فنی لایه های رنگ متناسب و سازگار با رویه قبلی و مجاور را در فواصل زمانی مناسب جهت پوشش دادن کامل استفاده نماید. نقاشی و رنگ کاری نباید در هوای سرد یا تاریک و یا زمانی که درصد رطوبت هوا بالا باشد انجام گیرد. در رطوبت بیش از ۸۰ درصد و در حالتیکه اختلاف دمای محیط و نقشه شبنم کمتر از ۵ درجه باشد، رنگ آمیزی ممنوع می باشد.

۱۸-۴- ضخامت رنگ

۱۸-۴-۱- رنگ آمیزی باید باتوجه به میزان تعیین شده توسط سازنده انجام گیرد. اما ضخامت رنگ خشک شده نباید از حداقل ضخامت رنگ تعیین شده کمتر شود. چنانچه میزان تعیین شده در یک دست رنگ نتواند ضخامت لازم را تامین کند، رنگ آمیزی باید مجدداً تکرار شود تا حداقل ضخامت مورد لزوم به دست آید.

۱۸-۴-۲- کلیه مصالح قطعات فلزی باید با یکدست رنگ اولیه (ضدزنگ) و دو دست رنگ (آستر و رویه) با مشخصات جدول ۱۸-۱ رنگ شود.

جدول ۱۸-۱- حداقل ضخامت رنگ آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی	آماده سازی سطح فولاد	نوع وضخامت رنگ		
		قطعه فولاد در داخل دیوار و نازک کاری	قطعه فولادی بصورت روباز لیکن درون محیط بسته	قطعه فولادی در معرض شرایط جوی
معتدل ^(۱)	Sa 2	۴۰ میکرون ضدزنگ (رنگ الکیدی غنی از روی)	۴۰ میکرون آستر الکیدی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه الکیدی	۴۰ میکرون آسترآلکیدی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی
سخت ^(۲)	Sa 2.5	۴۰ میکرون آسترآپوکسی غنی از روی	۴۰ میکرون آسترآپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آسترآپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون آستر میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی یورتان
بسیار سخت و ساحلی ^(۳)	Sa 3	۴۰ میکرون آسترآپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آسترآپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی یورتان	مثل ناحیه جزرومدی که نیاز به مطالعه خاص دارد.

(۱) شرایط معتدل، شرایط آب و هوایی بار طوبت نسبی متوسط کمتر از ۵۰٪ (مانند شهر تهران)

(۲) شرایط سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ (همانند شهر رشت)

(۳) شرایط بسیار سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ همراه با بخار کلر یا نظایر آن (مانند شهر بندرعباس)

(۴) در صورتیکه دستورالعمل رنگ آمیزی توسط کارشناس ذیصلاح تهیه شود، می توان از شرایط جدول فوق عدول نمود.

(۵) صفحاتی که قرار است در اتصال اصطکاکی رویهم قرار گیرند، نباید رنگ شوند، فقط به لایه ای در حد ۲۰ میکرون به عنوان رنگ انبارداری نیاز می باشد.

(۶) میکرون $\frac{1}{1000}$ میلیمتر است.

۱۸-۴-۳- سطوح غیرقابل دسترس

بجز سطوح تماس بقیه سطوحی که بعد از ساخت، قابل دسترس نخواهد بود باید قبل از جمع کردن کار، تمیز و رنگ آمیزی شود، البته در صورتی که در مدارک طرح و محاسبه این عمل خواسته شده باشد.

۱۸-۴-۴- سطوح تماس

در اتصالات اتکایی (غیراصطکاکی)، رنگ کردن سطوح تماس به طور کلی مجاز است. در اتصالات اصطکاکی شرایط لازم در سطوح تماس باید طبق مقررات مربوط به پیچهای اصطکاکی رعایت شود.

۱۸-۴-۵- سطوح صاف و آماده شده

سطوحی که با ماشین کردن آماده می شوند باید در مقابل خوردگی محافظت شوند. بدین منظور از یک لایه مصالح ضدزنگ که بتوان آن را قبل از نصب به آسانی برطرف کرد یا مصالح مخصوصی که احتیاج به برطرف کردن نداشته باشد، می توان استفاده کرد.

۱۸-۴-۶- سطوح مجاور جوش کارگاهی

بجز حالتی که در مدارک طرح و محاسبه به عنوان شرط بخصوصی قید شده باشد، کلیه سطوحی که در فاصله ۵ سانتیمتری از محل هر جوش کارگاهی قرار می گیرند، باید از موادی که به جوشکاری صدمه می زند و یا در حین جوشکاری گازهای سمی و مضر تولید می کند، کاملاً پاک شود.

۱۸-۵- انبارداری رنگ

مواد مورد استفاده جهت آماده سازی باید مطابقت کامل با توصیه های کارخانه سازنده داشته باشند و لازم است مواد مورد مصرف در مکانی انبار شوند که درجه حرارت محیط حداقل برابر ۱۸ و حداکثر ۳۵ درجه باشند.

۱۸-۶- تعمیر رنگ

در صورت نیاز مراحل ترمیم رنگهای آستر در محل های خاص به شرح زیر می باشد.

- ۱- در کلیه سطوحی که آستری آن شره، طبله و یا هرنوع معایب دیگر رنگ را دارد تا حذف کامل عیب و ایجاد سطح کاملاً صاف و پرداخت شده جهت رنگ آمیزی، پوستاب زنی شده و سپس با دستمال هرگونه گرد و غبار و زائده های رنگ از روی سطح حذف و خشک گردد و بعد یک لایه آستری درمحل فوق اعمال گردد.

- ۲- در صورتیکه رنگ آستری خراب شده، بصورت گسترده باشد ترمیم رنگ می‌بایست پس از آماده‌سازی سطح بصورت اسپری انجام گردد.
- ۳- در صورتیکه مساحت رنگ آستری خراب شده، کم باشد و ترمیم آن قابل اجرا بصورت اسپری نباشد از قلم‌مو استفاده گردد.

۱۸-۷- گالوانیزه کردن

عملیات گالوانیزه کردن باید با شیوه غوطه وری داغ (hot dip precess) بوسیله روی با خلوص ۰/۹۸ در هر مترمربع پوشانده شوند.

قبل از عملیات گالوانیزه کردن سطح فلز باید کاملاً تمیز و عاری از هرگونه آلودگی‌های خارجی گردد.

در مورد قطعات گالوانیزه شده و پیچهایی که مورد عملیات جوشکاری قرار خواهند گرفت نباید نزدیکتر از ۵ سانتیمتر به محل جوش گالوانیزه شوند چنین قسمتهایی که گالوانیزه نشده اند مطابق آنچه در بخش رنگ آمیزی آورده شده است مورد عملیات ترمیم قرار خواهند گرفت.

فهرست علائم

سطح مقطع عرضی	A
ضریب لنگر خمشی	A
ضریب تشدید	A_F
حاصلضرب سطح در تنش تسلیم برای بال تحتانی مقطع فولادی	$(AF_y)_{bf}$
حاصلضرب سطح در تنش تسلیم برای بخش فشاری دال	$(AF_y)_c$
حاصلضرب سطح در تنش تسلیم برای بال فوقانی مقطع فولادی	$(AF_y)_{tf}$
حاصلضرب سطح در تنش تسلیم برای جان مقطع فولادی	$(AF_y)_w$
مساحت بال	A_f
مساحت بال فشاری	A_{fc}
مجموع مساحت آرماتور طولی روی تکیه گاه میانی در محدوده عرض موثر بال	A_s^t
مجموع مساحت آرماتور طولی دال مسلح برای هر نوار روی تکیه گاه میانی	A_r^s
مساحت مقطع فولادی	A_s
مساحت جان تیر	A_w
فاصله مرکز پیچ‌های مفروض تا لبه ورق	a
فاصله سخت کننده های عرضی	a
ارتفاع ناحیه فشاری (عمق بلوک فشاری)	a
نسبت لنگر کوچکتر به لنگر بزرگتر در دو انتهای عضو	a
ثابت وابسته به تعداد سیکل های تنش (چرخه)	B
ثابت سخت کننده ها	B
عرض بال فشاری	b
فاصله مرکز پیچ‌های مفروض تا لبه بخش اتصال	b
عرض موثر دال	b
عرض موثر بال	b
عرض بال پهن تر	b
فاصله لبه ورق تا تکیه گاه	b
طول مهار نشده	b
عرض بال بین جان ها	b
عرض سخت کننده	b'
پهنای آزاد بال نیمرخ، نبشی و سخت کننده	b'
ضریب کماتش جان	C
نیروی فشاری در دال	C
ضریب تعادل لنگر	C
نیروی فشاری در ناحیه بالای مقطع فولادی	C'

ضریب یکنواختی لنگر خمشی	C_b
نسبت داوری ستون حدفاصل کمانش الاستیک و غیرالاستیک	C_c
ضریب هم‌مکانی لنگر ثانوی با حداکثر لنگر نسبت به محور x	C_{mx}
ضریب هم‌مکانی لنگر ثانوی با حداکثر لنگر نسبت به محور y	C_{my}
ضریب تنش کمانش	c
فاصله خالص بین بال ها	D
فاصله خالص مهار نشده بین اجزاء بال	D
فاصله بالای دال تا محور خشی در مقطع مرکب در زمانیکه در تئوری تحت لنگر مثبت به ظرفیت خمشی پلاستیک می‌رسد و حداکثر کرنش در دال 0.003 می باشد.	D'
فاصله خالص بین تار خشی و بال فشاری	D_C
لنگر بار مرده تیر مرکب	D_C
عمقی از جان که در لنگر پلاستیک در ناحیه فشاری واقع می گردد	D_{CP}
فاصله بالای دال تا تار خشی پلاستیک	D_p
لنگر بار مرده روی تیر فولادی	D_s
قطر پیچ	d
قطر گل میخ	d
ارتفاع تیر	d
قطر غلتک	d
ارتفاع تیر	d_b
عمق ستون	d_c
فاصله سخت کننده های میانی	d_o
مدول الاستیسیت فولاد. برحسب psi	E
مدول الاستیسیت بتن	E_c
حداکثر تنش ایجاد شده در بال پایین	F
حداکثر تنش فشاری	F
تنش مجاز محوری	F_a
تنش مجاز خمشی	F_b
تنش کمانشی بال فشاری ورق یا ستون	F_{cr}
تنش فشاری ناشی از خمش حول محور x	F_{bx}
تنش فشاری ناشی از خمش حول محور y	F_{by}
حداکثر نیروی افقی	F_D
تنش کمانشی اوایلر	F_e
تنش اوایلر تقسیم بر ضریب اطمینان	F'_e
تنش تکیه گاهی محاسباتی بر اساس بار طراحی	F_p

تنش خمشی محدوده کننده	F_s
محدوده مجاز تنش	F_{sr}
تنش کششی مجاز کاهش یافته در پرچ ها یا پیچ ها وقتی تنش برشی نیز موجود است.	F_t'
حداقل تنش تسلیم مشخصه آرماتور	F_y^r
ضریب اطمینان	$F.S.$
حداقل مقاومت کششی مشخصه	F_u
مقاومت کششی رده الکترو	F_u
تنش برشی مجاز	F_v
مقاومت برشی وسیله اتصال	F_v
ترکیب کشش و برش در اتصالات تکیه گاهی	F_{vc}
حداقل تنش تسلیم مشخصه فولاد	F_y
حداقل مقاومت مشخصه تسلیم بال	F_{yf}
حداقل مقاومت مشخصه تسلیم جان	F_{yw}
تنش محوری فشاری محاسباتی	f_a
تنش خمشی فشاری محاسباتی	f_b
مقاومت فشاری نهایی بتن (نمونه استوانه ای ۲۸ روزه)	f_c'
تنش فشاری بال فوقانی تحت بار مرده در عملکرد غیر مرکب	F_{dl}
محدوده تنش در اثر بار زنده و ضربه در تکیه گاه دال بتن مسلح	f_r
حداکثر تنش خمشی طولی در بال هر ناحیه در هر سمت سخت کننده عرضی	f_s
تنش کششی ناشی از بار بهره برداری	f_t
تنش برشی	f_v
تنش خمشی فشاری محاسباتی حول محور X	f_{bx}
تنش خمشی فشاری محاسباتی حول محور Y	f_{by}
فاصله بین وسایل اتصال	G
ارتفاع گل میخ	H
ضخامت متوسط بال در ناودانی	h
ممان اینرسی	I
ممان اینرسی سخت کننده	I_s
ممان اینرسی سخت کننده عرضی	I_t
ممان اینرسی عضو حول محور قائم در صفحه جان	I_y
ممان اینرسی بال فشاری حول محور قائم در صفحه جان	I_{yc}
نسبت سختی مورد نیاز یک سخت کننده عرضی به ورق جان	J
ثابت پیچش سن و نان Sanvenan	J
ضریب طول موثر در صفحه کمایش	K

ثابت: 0.75 برای پرچ ، 0.6 برای پیچ با مقاومت بالا	k
ضریب کماتش	k
فاصله لبه خارجی بال تا انتهای ماهیچه جان	k
ضریب کماتش	K_L
ضریب طول موثر در صفحه خمش	K_b
فاصله بین پیچ ها در جهت بارهای وارده	L
طول مهارنشده واقعی	L
نصف طول قوس	L
فاصله بین تیرهای عرضی	L
طول مهار نشده	L_b
طول عضو بین تکیه گاه ها	L_c
فاصله خالص بین سوراخها و یا بین سوراخ و لبه مقطع در جهت اعمال بار تکیه گاهی	L_c
طول مهار نشده حدی	L_p
طول مهار نشده حدی	L_r
طول عضو	l
حداکثر لنگر خمشی	M
لنگر انتهای عضو	M_1
لنگر در دو منطقه مهار شده مجاور	$M_1 \& M_2$
لنگر ستون	M_c
لنگر پلاستیک کامل مقطع	M_p
لنگر کماتش پیچشی جانبی یا لنگر تسلیم	M_r
لنگر الاستیک پایه (ستون یا شمع) تحت بارگذاری که بیشترین لنگر مثبت را در دهانه مجاور ایجاد کند	M_s
حداکثر مقاومت خمشی	M_u
ظرفیت لنگر در تسلیم اول	M_y
تعداد اتصال دهنده های برشی	$N_1 \& N_2$
تعداد اتصال دهنده های اضافی برای هر تیر در نقطه عطف	N_c
تعداد سطوح لغزش در یک اتصال لغزشی	N_s
تعداد خطوط عبور طراحی راه	N_w
نسبت مدول الاستیسته فولاد به بتن	n
تعداد سخت کننده های طولی	n
نیروی محوری فشاری مجاز در عضو	P
فشار محوری عضو	P
نیرو در دال	P_0, P_1, P_2, P_3

مقاومت لغزشی مجاز	P_s
حداکثر ظرفیت محوری فشاری	P_u
باربری مجاز	P
کشش اهرمی هر پیچ	Q
ممان استاتیکی حول تارخشی	Q
شعاع	R
تعداد خطوط عبور طراحی برای تیر ورق جعبه ای	R
ضریب کاهش برای تیر ورق مختلط	R
ضریب کاهش ظرفیت خمشی	R_b
محدوده تنش کششی و فشاری در یک چرخه تنش	R_{ev}
نیروی عمودی در محل اتصال سخت کننده قائم به سخت کننده طولی	R_v
نیروی عمودی جان	R_w
شعاع ژیراسیون	R_r
شعاع ژیراسیون در صفحه خمش	r_b
شعاع ژیراسیون در امتداد محور Y-Y	r_y
شعاع ژیراسیون بال فشاری حول محور مار بر صفحه جان	r'
تنش مجاز پیچ و پرچ در برش	S
مدول مقطع	S
شیب بین دو سوراخ متوالی در زنجیر	S
محدوده برش افقی	S_r
مدول مقطع سخت کننده عرضی	S_s
مدول مقطع سخت کننده طولی یا عرضی	S_t
مقاومت نهایی اتصالات برشی	S_u
مدول مقطع در بال فشاری	S_{xc}
تنش محاسباتی در پیچ یا پرچ در برش	s
محدوده تنش کششی	T
کشش مستقیم در پیچ در اثر بار خارجی	T
ضخامت ورق خارجی نازکتر	t
ضخامت عضو فشاری	t
ضخامت نازکترین بخش اتصال	t
تنش محاسباتی پیچ یا پرچ در کشش همراه با هر تنش ناشی از عملکرد اهرمی	t
ضخامت سطح فرسودنی	t
ضخامت بال	t

ضخامت بال نبشی	t
ضخامت جان ناودانی	t
ضخامت سخت کننده	t
ضخامت بال زیر بار متمرکز	t_b
ضخامت بال یا عضوی که بایستی سخت شود	t_c
ضخامت بال	t_f
ضخامت ماهیچه بتنی بالای تیر یا بال فوقانی آن	t_h
ضخامت سخت کننده	t_s
ضخامت دال	t_s
ضخامت جان	t_w
ضخامت بال فوقانی	t_{tf}
ضخامت بخش بیرون زده سخت کننده	t'
نیروی برشی	V
مقاومت تسلیم برشی جان	V_p
محدوده برش در برابر بار زنده و ضربه	V_r
حداکثر نیروی برشی	V_u
برش قائم	V_v
برش طراحی جان	V_w
طول اتصال برشی ناودانی	W
عرض راه بین جدول ها و یا موانع در صورتی که از جدول استفاده نشود.	W_c
سهم بار چرخ	W_L
طول اتصال برشی ناودانی که در جهت عمود بر تیر اندازه گیری می شود.	w
وزن واحد حجم بتن	w
عرض بال بین سخت کننده های طولی	w
نسبت مقاومت تسلیم ورق جان به مقاومت تسلیم سخت کننده	Y
فاصله تار خنثی تا لبه خارجی	Y_o
موقعیت مقطع فولادی نسبت به تار خنثی	$\bar{y}$
مدول پلاستیک مقطع	Z
محدوده مجاز برش افقی در وسیله اتصال	Z_r
ثابت وابسته به تعداد سیکل های تنش	α
حداقل مقاومت مشخصه تسلیم جان تقسیم بر حداقل مقاومت مشخصه تسلیم بال کششی	α
مساحت جان تقسیم بر مساحت بال کششی	β
$\frac{F_{yw}}{F_{yf}}$	P

θ	زوایه انحراف ورق جان نسبت به قائم
Ψ	نسبت سطح مقطع کل به سطح مقطع دو بال
Ψ	فاصله لبه خارجی بال کششی تا تار ختنی تقسیم بر ارتفاع مقطع فولادی
Δ	خیز
Δ_{DL}	افتادگی مرده در هر منطقه
Δ_m	حداکثر Δ_{DL}
Φ	ضریب کاهش
Φ	ضریب سخت کننده طولی
μ	ضریب لغزش در نقطه بحرانی لغزش

فهرست مآخذ

- 1- AASHTO- standard specification for highway bridges- 16th ed 1996- section 10.
- 2- B55400: Part 3: 1982
Code of Practice for design of steel bridges.
- 3- AASHTO-design criteria for horizontally curved steel bridges.
- 4- DIN 4114- steel structure stability.
- 5- DIN 18800- structural steel work.
- ۶- مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران- مبحث دهم: طرح و اجرای سازه های فولادی.
- ۷- مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری- معیارهای طراحی پل های خمیده فولادی- فرخ فروتن.

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی

فهرست نشریات منتشر شده در سالهای اخیر
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

Γ'ΧΡ	Ψ ΥΔΨ ΖΒΨ	Ψ'ΙΨ Ψ'ΗΖ ΨΥ Ψ'Ε		ΨΔΖ ΚΥ Ψ	ΚΥ Ψ Ε Ψ
		-	ΨΗ		

					(-)
					() - - - - - - - - - -
					-
					«

Γ'ΧΡ	ψ Ψ Ψ	ř'ł ŋz Yy 'E		'DZ KY η	KY η E ĩ
		-	ŋH		

					-
					-
					- - : () - - : ()
					-
					- (- :) (- :)
					-) (- :) (- :
					-

این نشریه

با عنوان «دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی»، شامل هجده فصل است.

۱- مصالح، ۲- محدودیت‌های لاغری، ۳- اعضای کششی، ۴- اعضای خمشی (تیرها و تیرورق‌ها)، ۵- تیرهای مختلط، ۶- تیرهای جعبه‌ای، ۷- اعضای فشاری، ۸- ترکیب تنش‌ها، ۹- وسایل اتصال، ۱۰- اتصالات و وصله‌ها، ۱۱- تنش‌های مجاز خستگی، ۱۲- خرپاها، ۱۳- تیرورق‌های قوسی با ورق جان یکپارچه، ۱۴- تیرهای خمیده، ۱۵- مسائل ویژه در طرح و محاسبه، ۱۶- ساخت، نصب و کنترل نوع کار، ۱۷- بالشتک‌های الاستومری، ۱۸- رنگ آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فلزی، فصل‌های این مجموعه را تشکیل می‌دهند.

رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح‌های عمرانی الزامی است.