

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا) آیین نامه پل های فولادی ضابطه شماره ۳۹۵-۸۰۰

«تجدیدنظر اول»
آخرین ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

(طراحی به روش تنش مجاز و ضرایب بار و مقاومت)

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

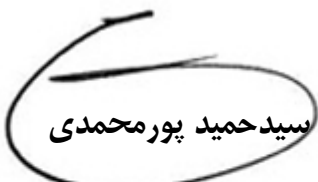
۱۴۰۴

شماره :	۱۴۰۴/۱۲۷۶۸۹
تاریخ :	۱۴۰۴/۰۳/۱۳
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	

به استناد ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و تبصره ذیل بند (۳-۱) ماده (۴) «سند نظام فنی‌و اجرایی یکپارچه کشور»، موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۰۵۴۴/ت/۶۳۷۱۹ هـ مورخ ۱۴۰۴/۰۳/۰۶ هیئت وزیران؛ ضابطه پیوست با مشخصات زیر ابلاغ و در «سامانه نظام فنی‌و اجرایی کشور» به نشانی Nezamfanni.ir منتشر می‌شود:

عنوان:	آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) - آیین‌نامه پل‌های فولادی
شماره ضابطه:	۸۰۰-۳۹۵
نوع ابلاغ:	لازم الاجرا
حوزه شمول:	همه قراردادهای جدیدی که از محل وجوه عمومی و یا به صورت مشارکت عمومی-خصوصی منعقد می‌شوند.
تاریخ اجرا:	۱۴۰۴/۰۷/۰۱
متولی تهیه، اخذ بازخورد و اصلاح:	دبیرخانه «آیین‌نامه راه‌های ایران - (آرا)» مستقر در امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور
مرجع اعلام اصلاحات:	امور نظام فنی‌و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور

این بخشنامه از تاریخ اجرا، جایگزین بخشنامه شماره ۱۰۰/۹۷۸۶۶ مورخ ۱۳۸۶/۰۷/۲۸ می‌شود.


 سیدحمید پورمحمدی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، زیربنائی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده 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، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

کارشناسان این امور 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، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و

بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: nezamfanni@chmail.ir

web: nezamfanni.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های توسعه‌ای کشور به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا، عمرمفید و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نظام فنی و اجرایی کشور، به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است. در اجرای ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه و آیین‌نامه اجرایی آن با موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، سازمان برنامه و بودجه کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های توسعه‌ای کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌ها، طی سال‌های اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط و تشکلهای خصوصی استفاده شود.

آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) به منظور تکمیل و یکپارچه سازی ضوابط فنی حوزه راه، مشتمل بر تدوین و بازنگری تمام ضوابط مورد نیاز مطالعات توجیهی، تهیه طرح، احداث، بهره‌برداری و نگهداری و بهسازی، با همکاری جامعه فنی و مهندسی کشور در دست تهیه بوده و به مرور نهایی و ابلاغ می‌شود.

مجموعه حاضر تجدیدنظر اول «آیین‌نامه پل‌های فولادی» در قالب آیین‌نامه راه‌های ایران (آرا) با شماره ضابطه ۳۹۵-۸۰۰ است که در دو بخش «مقررات پل‌های فولادی» و «ضوابط و معیارهای فنی پل‌های فولادی» تدوین شده است.

با توجه به گسترش استفاده از طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) در ساختمان و به دنبال آن در پل سازی، در ویرایش جدید آیین‌نامه با حفظ روش تنش مجاز سنتی (ASD)، طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) به این نشریه اضافه شد.

هر فصل به ۳ قسمت تقسیم شده است که قسمت اول اختصاص به ملاحظات عمومی، قسمت دوم به طراحی به روش سنتی تنش مجاز و قسمت سوم به طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت اختصاص دارد. به منظور کاربردی شدن روش LRFD، در پیوست هر فصل مثال‌های متعددی به روش LRFD ارائه شده است. در انتهای فصول نیز طراحی عرشه فولادی به روش LRFD به طور کامل ارائه شده است.

با وجود تلاش، دقت و وقت فراوانی که برای تهیه این آیین‌نامه صرف شده است، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام نیست. بنابراین در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه، از کاربران محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، سازمان ارسال کنند. پیشنهادهای دریافت شده بررسی و در صورت نیاز، با همفکری

نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق نشانی Nezamfanni.ir برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات، دارای تاریخ جدید و معتبر خواهد بود.

امید است ضابطه در ویرایش جدید مورد استقبال طراحان قرار گیرد. بدین وسیله از تمام اساتید، کارشناسان و دست‌اندرکاران تهیه این آیین‌نامه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

حمید امانی همدانی

معاون فنی، زیربنایی و تولیدی

بهار ۱۴۰۴

تهیه و کنترل «آیین نامه پل های فولادی»

[ضابطه شماره ۳۹۵-۸۰۰] - تجدیدنظر اول

مدیر طرح: مهندسین مشاور راه یاب ملل

مهندس عمران (مدیر طرح)	برهان رستمی
مهندس عمران	مظفر بیگلر
مهندس عمران	ربابه قدیری
کارشناسی ارشد عمران	علیرضا محمدی راد
کارشناسی ارشد عمران	امید رحمتی

مجری پروژه:

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر	شاپور طاحونی
--------------------------------------	--------------

اعضای گروه هدایت و راهبری:

معاون امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور	علیرضا توتونچی
رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور	طاهر فتح اللهی مرنی
کارشناس امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور	سجاد حیدری حسنکلو
رئیس هیئت مدیره مهندسین مشاور راه یاب ملل	برهان رستمی

بسمه تعالی

پیشگفتار (۱۳۸۶)

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 گنجاندن 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 قرارداده 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 قارونی‌نیک آقای مهندس سعید میرلو

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

معاون امور فنی

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا) آیین نامه پل های فولادی

بخش اول: مقررات پل های فولادی
«تجدیدنظر اول»

آخرین ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۴

مقررات

۱- دامنه

این آیین نامه حداقل ضوابط و مقررات لازم را برای طرح، تحلیل و اجرای پل های فولادی تعیین می کند و مشتمل بر طرح و محاسبه با روش تنش های مجاز (ASD)، و روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) می باشد. کاربرد این آیین نامه مربوط به طراحی پل های جاده و راه آهن می باشد. مقررات مندرج در این آیین نامه باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به کار رود.

۲- اسناد بالادستی

اسناد بالادستی این آیین نامه عبارتند از:

۱. استاندارد ۲۳۶۲۳ موسسه ای استاندارد تحت عنوان بارگذاری سازه های غیرساختمانی.
۲. نشریه ۱۳۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرایی تحت عنوان آیین نامه بارگذاری پل ها.
۳. استاندارد ۱۴۶۸۴ تحت عنوان آیین نامه طرح پل های راه و راه آهن در برابر زلزله.
۴. استاندارد (۱۳۷۵-۵۱۹) تحت عنوان حداقل بار وارده بر ساختمان ها و ابنیه فنی - برای تعیین اوزان مخصوص.
۵. نشریه ۲۲۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرایی تحت عنوان آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران.

تمامی ضوابط مندرج در این آیین نامه باید هماهنگ با اسناد فوق باشند.

۳- حالات حدی

این آیین نامه به منظور تامین تراز قابل قبول ایمنی برای ترکیب های بارگذاری مختلف تنظیم گشته که حالات حدی نامیده می شوند. حالت حدی به شرایطی گفته می شود که پس از آن پل یا اجزای آن قادر به برآورده کردن ضوابطی که برای آن حالت حدی مقرر شده اند، نمی باشد. حالات حدی مشتمل هستند بر:

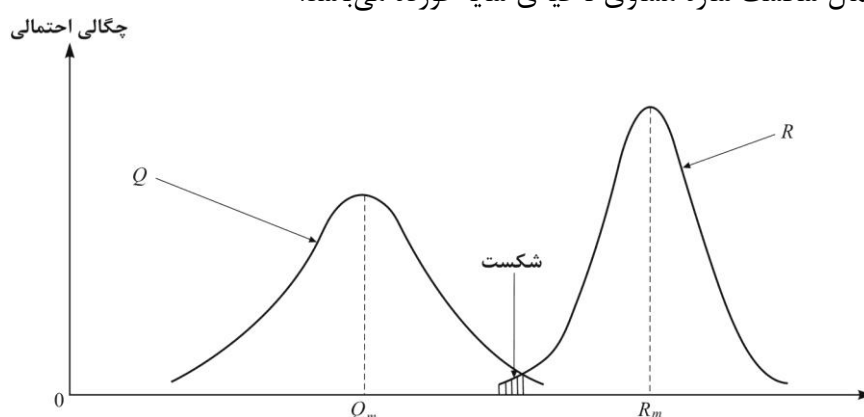
- حالت حدی بهره برداری شامل محدودیت های تغییر شکل، لرزش و ترک.
- حالات حدی خستگی و شکنندگی شامل محدودیت های مربوط به تعداد تکرار ایمن بار زنده و ضوابط طاقت مصالح. شامل ضوابطی می باشد که از وقوع و رشد ترک در اثر تکرار بارگذاری و شکست ترد مصالح در طول عمر سازه جلوگیری می کند.
- حالات حدی مقاومت. شامل ضوابطی می باشد که از مقاومت و پایداری موضعی و کلی استاتیکی پل تحت ترکیب های بارگذاری مختلف طی عمر سازه مطمئن می سازد.
- حالات حدی رویدادهای نادر که از مقاومت و بقای پل حین زمین لرزه های بزرگ، برخورد وسایل نقلیه، جریان سیل و برخورد یخ مطمئن می سازد.

۴- فلسفه ی طراحی

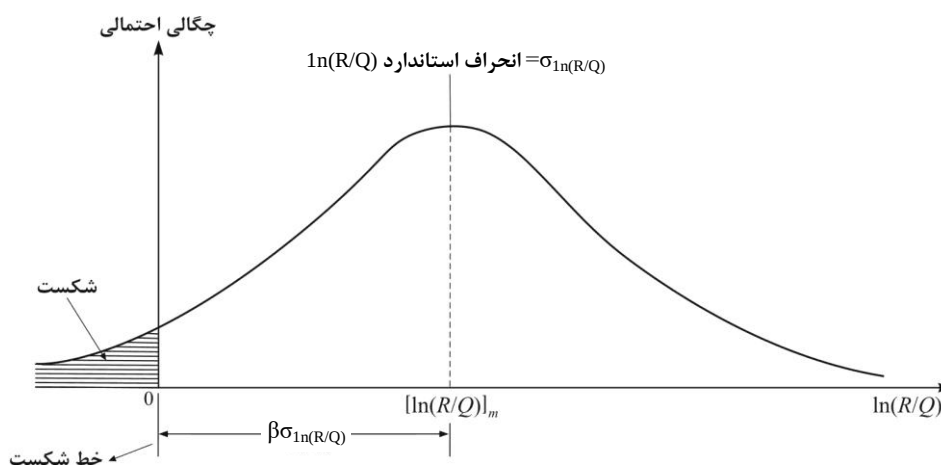
حالات حدی شرایط هستند که در آن سازه از عهده ی وظایف موردنظر بر نمی آید. حالات حدی معمولاً به مقوله های مقاومت، خدمت پذیری (بهره برداری)، خستگی و رویدادهای نادر تقسیم می شوند. حالات حدی مقاومت شامل حالات حدی تسلیم، کمناش، خستگی، شکست، واژگونی، و لغزش می باشد. حالات حدی خدمت پذیری شامل پدیده های ناشی از کاربری پل شامل افتادگی (تغییر شکل)، ارتعاش، ترک، و خوردگی است. در بررسی هر حالت حدی، باید هر دو متغیر بارهای وارد بر سازه و مقاومت سازه مورد توجه قرار گیرند. در حالت کلی،

تحلیل تمام عدم قطعیت‌هایی^۱ که مؤثر بر حصول حالت حدی به خصوصی هستند، عملی نیست و شاید غیرممکن است. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در بارهای مؤثر و مقاومت سازه، برای تحلیل باید از روش‌های احتمالاتی (آماري) استفاده نمود. روش جاری برای حصول ارزیابی احتمال‌اندیشانه^۲ از ایمنی سازه، استفاده از روش لنگر دوم درجه اول^۳ می‌باشد. در این روش فرض می‌شود که بار (یا آثار بار بر ساختمان) Q و مقاومت R متغیرهای تصادفی^۴ می‌باشند. در شکل ۱ نمودارهای توزیع چگالی این متغیرهای تصادفی نشان داده شده است. وقتی که مقاومت R از بار (یا آثار بار) Q بزرگتر باشد، حاشیه‌ی ایمنی برقرار خواهد بود.

منطقه‌ی غیرایمن، محدوده‌ای است که R کوچکتر از Q باشد (منطقه‌ی سایه‌خورده). برای نمایش شکست سازه، به جای استفاده از شکل ۱ و مقادیر R و Q ، می‌توان از لگاریتم طبیعی نسبت R/Q یعنی $[\ln(R/Q)]$ مطابق شکل ۲ استفاده نمود که در آن احتمال شکست سازه مساوی ناحیه‌ی سایه‌خورده می‌باشد.



شکل ۱- توزیع چگالی بار Q و مقاومت R



شکل ۲- شاخص ایمنی

در این شکل، فاصله‌ی بین خط شکست و مقدار متوسط تابع $[\ln(R/Q)]$ ، به صورت حاصل ضرب β در انحراف استاندارد تابع تعریف می‌گردد. ضریب β شاخص ایمنی^۵ خوانده می‌شود. هر چه β بزرگتر باشد، حاشیه‌ی ایمنی بزرگتر خواهد بود. استفاده از مفهوم شاخص ایمنی β دارای فواید زیر است:

- ۱- شاخص ایمنی نشانه‌ای از یکنواختی ایمنی در اجزای سازه باشد.
- ۲- از آن می‌توان برای برپایی روشی جدید با حاشیه‌ی ایمنی یکنواخت استفاده نمود.

۳- می‌تواند جایگزین مناسبی به جای حاشیه‌ی ایمنی باشد.
در حالت کلی نیاز ایمنی سازه را می‌توان مطابق رابطه‌ی زیر بیان نمود:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (۱)$$

که سمت چپ آن نشان‌دهنده‌ی مقاومت و سمت راست آن نشان‌دهنده‌ی بار یا آثار بار وارد بر سازه است. مشاهده می‌شود که مقاومت اسمی R_n در ضریب مقاومت کوچکتر از واحد ϕ ضریب می‌شود تا مقاومت طرح (یا مقاومت قابل استفاده) به دست آید و از طرف دیگر بارهای Q_i (مثل بار مرده، زنده، برف، باد، زلزله و...) در ضریب بار بزرگتر از واحد γ_i ضرب می‌شوند تا بار ضریب‌دار $\sum \gamma_i Q_i$ به دست آید.

۴-۱- مفهوم احتمال‌اندیشانه‌ی ضریب اطمینان در طراحی به‌روشن حدی و روش تنش مجاز

به منظور برقراری ضریب ایمنی کافی در روش‌های احتمال‌اندیشانه، همانند شکل ۲، لگاریتم طبیعی نسبت مقاومت R به بار Q ، به عبارت دیگر $\ln(R/Q)$ به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. استفاده از این متغیر نسبت به حالتی که R و Q به‌عنوان دو متغیر تصادفی در نظر گرفته شوند، راحت‌تر است. وقتی که $\ln(R/Q) < 0$ شود، به معنای این است که حالت حدی مقاومت فرا رسیده و سطح سایه‌خورده در شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی میزان احتمال این پدیده است. اگر $\bar{R}$ و $\bar{Q}$ به ترتیب مقادیر متوسط مقاومت و بار، و σ_R و σ_Q به ترتیب انحراف استاندارد مقاومت و بار باشند، انحراف استاندارد کمیت $\ln(R/Q)$ را می‌توان توسط رابطه‌ی زیر تقریب زد:

$$\sigma \ln(R/Q) \approx \sqrt{V_R^2 + V_Q^2} \quad (۲)$$

که در آن:

$$V_R = \sigma_R / \bar{R} \quad (۳)$$

$$V_Q = \sigma_Q / \bar{Q} \quad (۴)$$

$$V_R = \text{ضریب پراکندگی مقاومت} \quad V_Q = \text{ضریب پراکندگی بار}$$

مطابق شکل ۲، حاشیه‌ی ایمنی مساوی فاصله‌ی بین مبدأ تا مقدار متوسط منحنی توزیع $\ln(R/Q)$ است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\beta \sigma \ln(R/Q) \approx \beta \sqrt{V_R^2 + V_Q^2} = \ln(\bar{R}/\bar{Q}) \quad (۵)$$

هر چه این فاصله بزرگتر باشد، احتمال رسیدن به حالت حدی کمتر می‌شود. با استفاده از رابطه‌ی فوق، شاخص ایمنی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = \frac{\ln(\bar{R}/\bar{Q})}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}} \quad (۶)$$

هدف‌گذاری آیین‌نامه برای تعیین ضریب کاهش ظرفیت ϕ ، حصول مقادیر β مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر شاخص ایمنی β هدف

ترکیب بار	شاخص ایمنی β هدف
بار مرده + بار زنده (یا بار برف)	۳ برای اعضا، ۴/۵ برای اتصالات
بار مرده + بار زنده + بار باد	۲/۵ برای اعضا
بار مرده + بار زنده + بار زلزله	۱/۷۵ برای اعضا

سیاست جاری بر این قرار دارد که اتصال قوی‌تر از عضو باشد، به همین علت شاخص ایمنی آن ۴/۵ هدف‌گذاری شده است. شاخص ایمنی ترکیب‌های بار که شامل بار باد و یا زلزله حداکثر هستند، با توجه به احتمال کم رخداد، کوچکتر انتخاب شده است.

مفهوم سنتی ضرایب اطمینان

همان‌طور که در بخش گذشته بیان گردید، اعضای یک سازه باید دارای مقاومت ذخیره‌ای مازاد بر مقاومت لازم تحت بارهای بهره‌برداری باشند. عواملی که چنین مقاومت ذخیره‌ای را ایجاد می‌نمایند، به قرار زیر می‌باشند:

- بارهای واقعی ممکن است با بار مفروض طراحی متفاوت باشند.
- توزیع بار در روی سازه ممکن است با توزیع بار مفروض طراحی متفاوت باشد.
- ساده‌سازی‌ها و مفروضاتی که برای ایده‌آل کردن سازه در هنگام تحلیل به کار گرفته می‌شود، باعث به‌وجود آمدن خطاهایی در آثار نیرو (نیروهای برشی، لنگرهای خمشی و غیره) می‌شود.
- به‌علت عدم دانش کافی، رفتار واقعی سازه ممکن است با رفتار مفروض متفاوت باشد.
- ابعاد واقعی نیمرخ‌ها، ممکن است با ابعاد استاندارد، متفاوت باشد.
- مقاومت واقعی مصالح با آنچه در طراحی فرض شده است، ممکن است متفاوت باشد. انتخاب ایمنی مناسب در طراحی، ترکیبی از اقتصاد و آمار می‌باشد. بدین معنی که نمی‌توان چنان ضریب ایمنی برای سازه انتخاب نمود که احتمال خرابی آن صفر درصد باشد. در عمل ضرایب ایمنی (ضریب اطمینان یا ضریب بار) بر این مبنا انتخاب می‌شوند که احتمال خرابی کوچک‌تر از یک حد معقول باشد. هر چند که انتخاب ضریب ایمنی مناسب، مسئله آماری است، لیکن در شرایط حاضر اعداد و ارقام مورد استفاده در آیین‌نامه‌ها بیشتر متکی بر تجربه و قضاوت‌های مهندسی می‌باشند و هنوز ضرایب ایمنی صد در صد متکی بر عوامل آماری شناخته نشده‌اند. به‌طور کلی عدم قطعیت‌های موجود در طرح سازه را می‌توان به‌عدم قطعیت‌های قابل اندازه‌گیری و عدم قطعیت‌های حرفه‌ای تقسیم نمود. عدم قطعیت‌های قابل اندازه‌گیری همان اختلاف‌های آماری موجود در مقاومت مصالح و یا مقاومت مرتبط با ابعاد عضو می‌باشند که کم و بیش از قوانین آماری پیروی می‌نمایند. عدم قطعیت‌های حرفه‌ای مواردی هستند که از یک روال آماری تبعیت نمی‌کنند. مثل عدم توانایی موجود در تحلیل رفتار واقعی یک سازه و یا استفاده از روش‌های تقریبی برای تحلیل سازه.

برای تعریف ضریب ایمنی، همانند رابطه‌ی ۱، به‌طور کیفی می‌توانیم بگوییم که مقاومت حداقل سازه باید به مقدار مناسبی بزرگتر از حداکثر بارهای وارد بر آن باشد. فرض نماییم که بارهای واقعی وارد بر سازه به اندازه‌ی ΔL از مقدار بار طراحی L تجاوز نموده و مقاومت آن به اندازه‌ی ΔS کوچکتر از مقاومت اسمی S باشد. در این صورت سازه وقتی دقیقاً کافی است که:

$$S - \Delta S = L + \Delta L$$

$$S(1 - \Delta S / S) = L(1 + \Delta L / L) \quad (7)$$

ضریب اطمینان، مساوی نسبت مقاومت اسمی S به بار طراحی L می‌باشد:

$$FS = \frac{S}{L} = \frac{1 + \Delta L / L}{1 - \Delta S / S} \quad (8)$$

رابطه‌ی ۸ با اینکه اثر افزایش بار و کاهش مقاومت را نشان می‌دهد، لیکن درصد تأثیر هر کدام از آنها را معین نمی‌کند. مثلاً اگر فرض نماییم که میزان افزایش $\Delta L / L$ مساوی ۴۰ درصد و میزان کاهش مقاومت $\Delta S / S$ مساوی ۱۵ درصد باشد، ضریب اطمینان FS برابر خواهد شد با:

$$FS = \frac{1 + 0.4}{1 - 0.15} = \frac{1.4}{0.85} = 1.65$$

هر چند که ضریب اطمینان ۱/۶۵ بیان‌کننده‌ی احتمال افزایش بار یا کاهش مقاومت می‌باشد، لیکن هیچ اطلاعاتی در مورد احتمال بزرگتر شدن تغییرات از مقادیر مفروض نمی‌دهد. آیین‌نامه از ضریب اطمینان $FS = 1.82$ به عنوان ضریب اطمینان پایه در طراحی به روش الاستیک استفاده می‌نماید. در طراحی به روش تنش مجاز، معکوس ۱/۸۲ به صورت ضریب ۰/۵۵ بر تنش تسلیم اعمال می‌گردد تا تنش مجاز به دست آید.

۴-۲- روش‌های طراحی

همان‌طور که گفته شد فلسفه هر طرح، تولید سازه ایمن و اقتصادی می‌باشد. اگر مقاومت سازه را با R و مقاومت مورد

نیاز یا نیروهای داخلی ناشی از بارهای وارد بر سازه را با Q نمایش دهیم، شرط سازه ایمن این می باشد که:

$$R \geq Q \quad (9)$$

همان طور که می دانیم مقاومت R و مقاومت مورد نیاز Q ، طبیعت آماری داشته و به یقین نمی توان گفت که مقاومت مصالحی که از کارخانه بیرون می آید چه مقدار است و یا بار وارد بر یک ساختمان دقیقاً چقدر است. از طرف دیگر، در روش هایی که برای تحلیل سازه به کار می رود، فرضیاتی وجود دارد که این فرضیات، در عمل و اجرا دقیقاً قابل تأمین نمی باشند. لذا لازم است ضرایب اطمینانی بر دو طرف معادله فوق اعمال گردد تا اطمینان از ایمنی سازه به دست آید. البته مقدار ضریب اطمینان اعمال شده نباید طوری باشد که اقتصاد طرح را بر هم زند. با اعمال ضرایب ایمنی جزئی بر مقاومت و بار، نامعادله ۹ به صورت زیر در می آید:

$$\phi R = \gamma Q \quad (10)$$

در رابطه فوق:

ϕ = ضریب کاهش ظرفیت که همواره کوچکتر از ۱ می باشد.

γ = ضریب تشدید بار (یا ضریب بار) که همواره بزرگتر از ۱ می باشد.

برحسب چگونگی اعمال ضرایب ϕ و γ در حال حاضر سه روش طراحی توسط آیین نامه ها به رسمت شناخته می شود:

الف- روش تنش های مجاز (ASD)^۱

در روش تنش های مجاز، هر دو ضریب اطمینان به سمت چپ معادله آورده می شوند. در نتیجه رابطه ی ۱۰ به صورت زیر به دست می آید:

$$\frac{\phi}{\gamma} R = Q \quad \text{یا} \quad R_a = Q \quad (11)$$

بدین معنی که مقاومت مجاز R_a باید مساوی یا بزرگتر از مقاومت مورد نیاز Q ناشی از بارهای بدون ضریب باشند. در عمل در طراحی به روش تنش های مجاز، تنش های نهایی یا بحرانی در ضرایب کوچکتر از واحدی (حدود ۰/۵۵) ضرب می شوند، تا تنش های مجاز به دست آیند. سپس با استفاده از این تنش های مجاز، ظرفیت مجاز محوری، برشی و یا خمشی عضو با توجه به روابط مقاومت مصالح و مشخصات هندسی مقطع محاسبه می شود. ظرفیت مجاز محوری، برشی و یا خمشی عضو که بدین نحو به دست می آید باید مساوی یا بزرگتر از نیروهای داخلی سازه باشد که از تحلیل الاستیک سازه در مقابل بارهای وارده مرده و زنده بدون ضریب به دست می آیند.

ب- طراحی به روش مقاومت مجاز^۲

در این روش مقاومت نهایی مقاطع حساب شده و بر ضریب اطمینان کلی Ω تقسیم می شود تا به سطح بهره برداری برسد. در نتیجه رابطه ی ۱۰ به شکل زیر در می آید:

$$\frac{R}{\Omega} = Q \quad \left(\Omega = \frac{\gamma}{\phi} \text{ و } \gamma_{\text{متوسط}} = 1.5 \Rightarrow \Omega = \frac{1.5}{\phi} \right) \quad (12)$$

اختلاف آن با طراحی به روش تنش مجاز در آن است که دیگر از مفهوم تنش استفاده نمی کند.

روش مقاومت مجاز آیین نامه مستقلی ندارد و از روابط آیین نامه حدی (LRFD) استفاده می کند.

پ- روش حالات حدی (LSD)^۳ یا روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

ایراد روش پلاستیک در این است که ضرایب بار برای تمام بارها یکسان بوده و طراح برای تحلیل سازه باید از تحلیل حدی (تحلیل پلاستیک) استفاده نماید. متأسفانه در شرایط فعلی، انجام تحلیل حدی برای تمامی سازه ها مقدور نبوده و

1. Allowable Stress Design
- 2 Allowable Strength Design
3. Limit State Design*

* در ادبیات فنی آمریکایی این روش را طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت گویند (LRFD)

LRFD: Load and Resistance Factor Design

فقط سازه‌های خاصی نظیر تیر سراسری، قاب‌های تک‌دهانه یک طبقه و یا قاب‌های چندطبقه مهاربندی شده را می‌توان به وسیله این روش تحلیل نمود. با توجه به این موضوع در سال‌های اخیر تمایل بر این بوده است که همانند طراحی سازه‌های بتن مسلح، آیین‌نامه‌ای تدوین شود که برای تحلیل از روش تحلیل الاستیک یا حدی (به اختیار طراح) استفاده نماید، و از طرف دیگر مقاومت مقطع را در حالت حدی نهایی محاسبه کند.

در مورد ضرایب ایمنی ϕ و γ ، روش حالات حدی فلسفه‌ای مبتنی بر اصول آمار و احتمالات در پیش می‌گیرد. بدین معنی که در رابطه‌ی ۱۰، ضریب کاهش ظرفیت را در سمت چپ و ضریب بار را در سمت راست حفظ و برای بارهای مختلف (مرده، زنده، برف و غیره) با توجه به حدود تغییرات آماری، ضرایب بار گوناگونی معرفی می‌کند. در نتیجه رابطه ۱۰ در این روش به صورت زیر در می‌آید.

$$\phi R = \sum \gamma_i L_i \quad \text{یا} \quad \phi R_n = Q_u \quad (13)$$

که در رابطه فوق، L_i نوع بار و γ_i و ضریب بار مربوطه، Q_u مقاومت موردنیاز ناشی از بارهای ضریبدار، و ϕ ضریب کاهش مقاومت و R_n مقاومت نهایی اسمی عضو بر حسب توزیع تنش در حالت نهایی (پلاستیک) می‌باشد. رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر توسعه داد:

$$\phi R_n = \gamma_D L_D + \gamma_L L_L + \gamma_E L_E \quad (14)$$

یعنی مقاومت نهایی طرح ϕR_n مساوی یا بزرگتر از مقاومت مورد نیاز Q_u ناشی از بارهای ضریبدار باشد.

۵- گروه‌بندی پل‌ها

۵-۱- گروه‌بندی پل‌ها برحسب اهمیت

در این آیین‌نامه، پل‌ها از نظر اهمیت به سه گروه تقسیم می‌شوند:

۵-۱-۱- پل‌های با اهمیت زیاد

این گروه شامل پل‌های زیر است:

- الف- پل‌های آزادراه‌ها، بزرگ‌راه‌ها، راه‌های اصلی و فرعی درجه یک و پل‌های شبکه اصلی و فرعی راه‌آهن کشور.
- ب- پل‌های راه‌های اتصالی به صنایع حیاتی کشور و تاسیسات مهم نظامی.

۵-۱-۲- پل‌های با اهمیت متوسط

این گروه شامل کلیه پل‌ها به جز موارد بند ۵-۱-۱ از قبیل پل‌های راه‌های فرعی درجه دو و درجه سه (روستایی) می‌باشد.

۵-۱-۳- پل‌ها با اهمیت کم

سایر موارد که در بندهای ۵-۱-۱ و ۵-۱-۲ اشاره نشده است.

۵-۲- گروه‌بندی پل‌ها برحسب شکل

در این آیین‌نامه، پل‌ها به لحاظ شکل به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۵-۲-۱- پل‌های منظم

این گروه شامل پل‌هایی است که کلیه شرایط زیر را برآورده نمایند:

- ۱- تعداد دهانه‌ها ۶ و یا کمتر باشد.
- ۲- زاویه قوس پل در پلان مساوی یا کمتر از ۹۰ درجه باشد.
- ۳- در پل‌های متشکل از دهانه‌های ساده متوالی، زاویه قوس پل در پلان مساوی یا کمتر از ۲۰ درجه باشد.
- ۴- نسبت طول دهانه‌های متوالی کمتر از ۲ باشد.
- ۵- نسبت سختی پایه‌های متوالی میانی کمتر از ۳ باشد.

۵-۲-۲- پل‌های نامنظم

این گروه شامل کلیه پل‌ها به جز مواردی که در بند ۵-۲-۱ ذکر شده‌اند، می‌باشد.

۶- عرض پل

عرض آزاد پل یا فاصله خالص بین دو لبه جدول را مساوی عرض روسازی به علاوه عرض شانه‌هاست. ابلاغیه وزارت راه و ترابری ایران، عرض هر خط عبور را در راه‌های شوسه درجه ۱، مساوی ۳/۶۵ متر و در راه‌های روستایی درجه ۱، مجموع دو خط را ۵/۵ متر و در راه‌های روستایی درجه ۲، مجموع دو خط را ۴ متر مقرر می‌دارد. عرض شانه‌های خاکی نیز بین ۰/۷۵ تا ۳ متر توصیه می‌شود. بنابراین در راه‌های شوسه درجه ۱ دو خطه در دشت، عرض آزاد حداقل پل مساوی $۸/۸۰ = ۲ \times ۰/۷۵ + ۳/۶۵$ متر به دست می‌آید. این مقدار حداقل در مورد راه‌های کوهستانی دوخطه، ۷/۵ متر می‌باشد. با مطالعه طرح‌های موجود، مشاهده می‌گردد که عرض آزاد پل در راه‌های شوسه درجه ۱ بین ۸ تا ۱۰ متر انتخاب گردیده است. به هر حال عرض آزاد پل در مطالعات مرحله ۱ با در نظر گرفتن توسعه‌های احتمالی آینده و مسائل اقتصادی و نظرات کارفرما مورد مطالعه قرار گرفته و انتخاب می‌گردد.

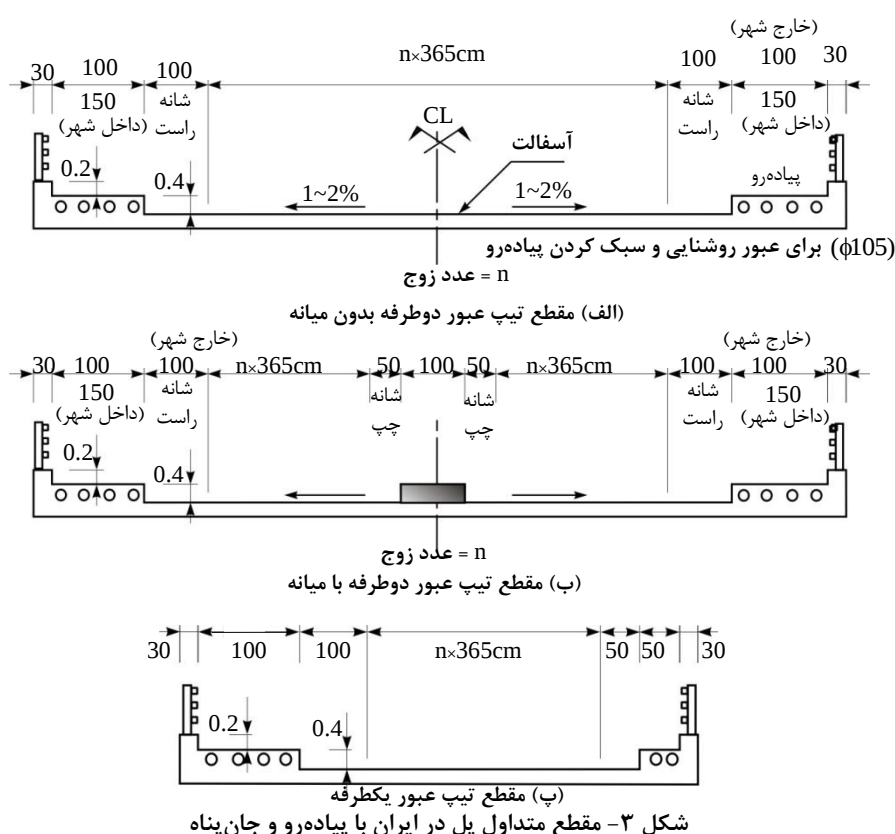
عرض پیاده‌روی پل، در پل‌های شهری بستگی به حجم افراد پیاده دارد. در مورد راه‌های کوهستانی نیز دستورالعمل مشخصی وجود ندارد. ولی عرض کافی برای عبور دو فرد پیاده از کنار یکدیگر، ۱/۲۵ متر می‌باشد. غالباً عرض‌های بین ۱ تا ۱/۵ متر برای عرض پیاده‌رو به ترتیب در پل‌های بیابانی و شهری مشاهده شده است.

۶-۱- مقطع عرضی

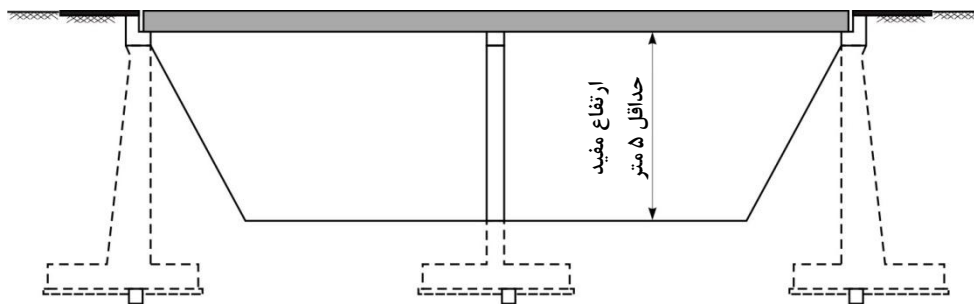
مقطع عرضی پل‌های راه، عموماً شامل سه بخش متمایز سواره‌رو، پیاده‌رو و جان‌پناه‌هاست. در شکل ۳ مقطع عرضی تیپ برای پل‌های دوطرفه و یک طرفه ارائه شده است.

۷- ارتفاع مفید

حداقل ارتفاع مفید برای عبور وسایل نقلیه از زیر پل، که از روی آسفالت جاده تا زیر عرشه پل یا قطعات الحاقی در نظر گرفته می‌شود، باید معادل ۵ متر اختیار شود (شکل ۴). دستگاه‌های اجرایی مجاز می‌باشند که برحسب نوع راه، نحوه بهره‌برداری و نوع وسایل نقلیه‌ای که معمولاً از زیر پل عبور خواهند نمود، در مورد تعیین ارتفاع خاص برای یک یا چند دستگاه پل واقع بر یک محور، با ارایه توجیه فنی و اقتصادی، ارتفاع پل را تا ۵/۶۰ متر اختیار نمایند.



شکل ۳- مقطع متداول پل در ایران با پیاده‌رو و جان‌پناه



شکل ۴- ارتفاع آزاد زیر پل

قاب ارتفاع‌سنج (گاباری) چندمنظوره مطابق ارتفاع مفید پل، باید قبل از ورودی پل نصب گردد. انجام روکش زیرگذرها باید به نحوی صورت پذیرد که باعث کاهش ارتفاع مفید پل نگردد.

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

آیین نامه راه های ایران (آرا) آیین نامه پل های فولادی

بخش دوم: ضوابط و معیارهای فنی پل های فولادی
(تجدیدنظر اول)

آخرین ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

Nezamfanni.ir

۱۴۰۴

فهرست مطالب

فصل ۱ مصالح.....	۱
۱-۱- حدود کاربرد.....	۳
۲-۱- مصالح فولادی.....	۳
فصل ۲ بارها، ترکیب‌های بار، تحلیل.....	۱۹
۱-۲- بارهای محاسباتی.....	۲۱
۲-۲- ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز.....	۲۱
۳-۲- ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش LRFD.....	۲۲
۴-۲- مدارک طرح و محاسبه.....	۲۸
۵-۲- تحلیل بار زنده.....	۲۸
فصل ۳ اعضای کششی.....	۴۵
۱-۳- قسمت ۱- کلیات.....	۴۷
۲-۳- قسمت ۲- طراحی به روش تنش مجاز.....	۵۳
۳-۳- قسمت ۳- طراحی به روش LRFD.....	۵۶
فصل ۴ اعضای خمشی با مقطع I.....	۶۵
۱-۴- قسمت ۱- کلیات.....	۶۷
۲-۴- قسمت ۲- طراحی به روش تنش‌های مجاز.....	۷۷
۳-۴- قسمت ۳- طراحی به روش ضرایب بار مقاومت (LRFD).....	۸۵
فصل ۵ تیرهای مختلط (مرکب).....	۱۲۱
۱-۵- قسمت اول- کلیات.....	۱۲۲
۲-۵- قسمت دوم- طراحی به روش تنش مجاز.....	۱۲۶
۳-۵- قسمت سوم- طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD).....	۱۳۳
فصل ۶ تیرهای جعبه‌ای مختلط.....	۱۵۵
۱-۶- قسمت اول- کلیات.....	۱۵۷
۲-۶- طراحی تیرهای جعبه‌ای به روش تنش‌های مجاز.....	۱۶۶
۳-۶- قسمت سوم- طراحی تیرهای جعبه‌ای به روش LRFD.....	۱۷۰
فصل ۷ اعضای فشاری.....	۱۸۱
۱-۷- قسمت اول- کلیات.....	۱۸۳
۲-۷- قسمت دوم- طراحی اعضای فشاری به روش تنش مجاز.....	۱۹۲
۳-۷- قسمت سوم- طراحی اعضای فشاری به روش LRFD.....	۱۹۳
فصل ۸ ترکیب تنش‌ها.....	۲۲۱
۱-۸- قسمت اول- روش تنش مجاز.....	۲۲۳
۲-۸- قسمت دوم- روش LRFD.....	۲۲۶
فصل ۹ وسایل اتصال (جوش و پیچ).....	۲۳۵
۱-۹- جوش.....	۲۳۷
۲-۹- پیچ.....	۲۴۹

فصل ۱۰ اتصال ها و وصله ها.....	۲۶۵
۱-۱۰- قسمت اول- طراحی به روش تنش مجاز.....	۲۶۷
۲-۱۰- قسمت دوم- طراحی به روش LRFD.....	۲۷۳
فصل ۱۱ ملاحظات خستگی و شکست.....	۳۱۳
۱-۱۱- خستگی.....	۳۱۵
۲-۱۱- شکست.....	۳۳۶
فصل ۱۲ خرپاها.....	۳۳۹
۱-۱۲- کلیات.....	۳۴۱
۲-۱۲- اعضای خرپا.....	۳۴۱
۳-۱۲- تنش های ثانوی.....	۳۴۱
۴-۱۲- نسبت ارتفاع به دهانه.....	۳۴۲
۵-۱۲- پیش خیز.....	۳۴۲
۶-۱۲- خط محور.....	۳۴۲
۷-۱۲- مهاربندی و قاب های عرضی.....	۳۴۲
۸-۱۲- مقاومت اعضای خرپا.....	۳۴۳
۹-۱۲- ورق های اتصال.....	۳۴۳
۱۰-۱۲- خرپاهای میان گذر- بدون مهاربندی جانبی یال فشاری.....	۳۴۹
فصل ۱۳ تیرورق های قوسی (طاقی) با ورق جان یکپارچه.....	۳۵۵
۱-۱۳- ضریب تشدید لنگر.....	۳۵۷
۲-۱۳- ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی.....	۳۵۹
۳-۱۳- کمانش در صفحه قائم.....	۳۵۹
۴-۱۳- کنترل اثر لاغری جانبی.....	۳۶۰
۵-۱۳- ورق جان.....	۳۶۰
۶-۱۳- ورق بال.....	۳۶۱
۷-۱۳- طول موثر کمانش در پرتال انتهایی.....	۳۶۱
فصل ۱۴ تیرها با انحنای افقی.....	۳۶۵
۱-۱۴- کلیات.....	۳۶۷
۲-۱۴- بارگذاری و مبانی طراحی.....	۳۶۷
۳-۱۴- تیرهای خمیده I شکل.....	۳۶۸
۴-۱۴- تیرهای خمیده مختلط با مقطع I شکل.....	۳۷۵
۵-۱۴- تیرهای خمیده دوگانه.....	۳۷۷
۶-۱۴- تیرهای جعبه ای خمیده ی مختلط.....	۳۸۱
فصل ۱۵ ساخت، نصب و کنترل کیفیت.....	۳۸۷
۱-۱۵- مقدمه.....	۳۸۹
۲-۱۵- دامنه کاربرد.....	۳۸۹
۳-۱۵- مشخصات فولاد مصرفی.....	۳۸۹
۴-۱۵- ساخت قطعات فولادی.....	۳۹۰

فصل ۱۶	بالتک‌های الاستومری.....	۳۹۹
۱-۱۶	کلیات.....	۴۰۱
۲-۱۶	حمل و نگهداری.....	۴۰۱
۳-۱۶	مشخصات فیزیکی الاستومر.....	۴۰۱
۴-۱۶	ورق‌های فولادی مسلح‌کننده‌ی نئوپرن.....	۴۰۲
۵-۱۶	رواداری‌های ساخت.....	۴۰۲
فصل ۱۷	رنگ‌آمیزی و گالوانیزه کردن قسمت‌های فلزی.....	۴۰۷
۱-۱۷	مواد مورد استفاده.....	۴۰۹
۲-۱۷	آماده‌سازی سطوح.....	۴۰۹
۳-۱۷	رنگ‌آمیزی.....	۴۱۰
۴-۱۷	ضخامت رنگ.....	۴۱۲
۵-۱۷	انبارداری رنگ.....	۴۱۳
۶-۱۷	تعمیر رنگ.....	۴۱۳
۷-۱۷	گالوانیزه کردن.....	۴۱۴
پیوست	طراحی نمونه عرشه فولادی به روش LRFD.....	۴۱۵

فصل ١

مصالح

۱-۱- حدود کاربرد

این آیین نامه حداقل ضوابط و مقررات لازم را برای طرح، محاسبه و اجرای پل های فولادی تعیین می کند و مشتمل بر روش طرح و محاسبه با تنش های مجاز (ASD)^۱، و روش طراحی با استفاده از ضرایب بار و مقاومت (LRFD)^۲ می باشد.

کاربرد این آیین نامه مربوط به طراحی پل های جاده و راه آهن می باشد.
مقررات مندرج در این آیین نامه باید توأم با معلومات و قضاوت مهندسی به کار رود.

۲-۱- مصالح فولادی

۱-۲-۱- نام گذاری

در جدول ۱-۱ لیست مصالح فولادی مورد استفاده در پل سازی ارائه شده است. نام گذاری جدید، طبق آیین نامه اروپایی EN 10027-2 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 پل سازی 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 ی فوق:

C = درصد کربن، Mn = درصد منگنز، Cr = درصد کروم، Mo = درصد مولیبدن، 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 پل سازی

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	
S235JR	1.0037	Fe 360 B	St 37-2	E 42-2			Fe 360 B	AE 235-B	13 11-00	Fe 360-B		NS 12 120
S235JRG1	1.0036	Fe 360 BFU	USt 37-2			AE 335-B-FU					USt 360B	NS 12 122
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 St 360 CE	
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	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 نیترژن ^(۲-۳)
			≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ^(۵)					
مطابق با EN 10027-1 و ECISS IC 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
S235JRG1 ^(۶)	1.0036	FU	BS	0.17	0.20	--	1.40	--	0.045	0.045
S235JRG2	1.0038	FN	BS	0.17	0.17	0.20	1.40	--	0.045	0.045
S235J0	1.0114	FN	QS	0.17	0.17	0.17	1.40	--	0.040	0.040
S235J2G3	1.0116	FF	QS	0.17	0.17	0.17	1.40	--	0.035	0.035
S235J2G4	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
S275J0	1.0143	FN	QS	0.18	0.18	0.18 ^(۷)	1.50	--	0.040	0.040
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
S355J0	1.0553	FN	QS	0.20	0.20 ^(۸)	0.22	1.60	0.55	0.040	0.040
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
E335	1.0060	FN	BS	--	--	--	--	--	0.045	0.045
E360	1.0070	FN	BS	--	--	--	--	--	0.045	0.045

۱- بخش ۱-۲ را ببینید.

۲- حداقل مقدار نیترژن (N) می تواند از مقدار مزبور تجاوز کند مشروط بر آنکه به ازای هر 0.001 درصد افزایش نیترژن، میزان حداکثر فسفر (p) 0.005 درصد کاهش یابد. میزان نیترژن (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 نیترژن به مقدار کافی موجود باشد، حداکثر مقدار نیترژن اعمال نمی شود.

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

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

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.

جدول ۱-۳- مقادیر حدی میزان ترکیبات شیمیایی فولاد

علامت		روش دی اکسیداسیون	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 پیروزن ⁽²⁻³⁾
مطابق با EN 10027-1 و ECISS IC 10	مطابق با EN 10027-2			≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ⁽⁵⁾					
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 را ببینید.

۲- حداقل 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 با کیفیت = QS

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

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 ۴-۱ - 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 ECISS 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(mm) کاربرد دارد.

۴-۲-۱- مشخصات مکانیکی مصالح فولادی

۴-۲-۱-۱- مصالح قابل به کارگیری در سازه‌های فولادی شامل نیمرخ‌ها، ورق‌ها، پیچ و مهره‌ها، الکترودها، گل‌میخ و مصالح مصرفی جوشکاری باید با استانداردهای معتبر مورد قبول این آیین‌نامه انطباق داشته باشند. معیارهای پذیرش مصالح باید به شرح زیر مطابق الزامات بندهای «الف» تا «ت» باشد:

الف) ضامن انطباق بر استاندارد، تولید مصالح توسط تولیدکنندگان باصلاحیت، استفاده از مواد اولیه با کیفیت و حاکم بودن سیستم‌های تضمین و کنترل کیفیت بر فرآیندهای تولید است. همچنین محصول باید مستقیماً توسط تولیدکننده یا فروشنده‌ی رسمی به دست مصرف کننده برسد و دارای گواهی‌نامه انطباق با یکی از استانداردهای جدول ۱-۱ باشد.

ب) با تامین شرایط بند (الف)، صدور گواهی‌نامه‌ی معتبر انطباق با استاندارد، توسط تولیدکننده‌ی فولاد یا فروشنده‌ی رسمی آن با رعایت مشخصات اصلی مطابق با مقادیر جدول ۱-۵ و نیز رعایت شرایط بخش ۱-۲-۶، برای اقناع ضوابط این مبحث کافی است.

پ) در صورتی که شرایط بند (الف) در مورد ضابطه‌بندی و یکنواختی فرایند تولید و توزیع برقرار باشد، ولی گواهی‌نامه‌ی محصول با هیچ یک از استانداردهای معرفی شده در جدول ۱-۱ انطباق نداشته و با یکی از استانداردهای معتبر دیگر که

در جدول ۱-۱ معرفی نشده‌اند، صادر گردد، می‌توان با انجام آزمون‌های معادل‌سازی، آن محصول را با یکی از استانداردهای معرفی شده در پیوست جدول ۱-۱ انطباق داد.

(ت) مصالح غیرمنطبق با استانداردهای جدول ۱-۱ در سازه فولادی پل قابل استفاده نیست.

۱-۲-۴-۲- فولاد سازه‌ای باید دارای مقاومت و شکل‌پذیری مناسب بوده و جوش‌پذیر باشد. همچنین در بعضی از کاربردها، فولاد سازه‌ای باید طاقت ضربه‌ای مطلوب داشته و در برابر جداشدگی لایه‌ای مقاوم باشد. حدود کمی هر یک از مشخصه‌های مورد اشاره، در صورت نیاز باید در نقشه‌های اجرایی و مدارک فنی طرح معرفی گردیده یا به استنادی که مشخصه‌های موردنظر را محدود نموده است، ارجاع داده شود.

در این آیین‌نامه، مقدار مدول الاستیسیته‌ی (ضریب ارتجاعی) مصالح فولادی (E) مساوی 2×10^5 مگاپاسکال ($2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$) و مقدار نسبت پواسون مصالح فولادی (ν) مساوی 0.3 در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطابق این مبحث، تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد سازه‌ای (F_y) نباید از ۴۶۰ مگاپاسکال بیشتر باشد.

تبصره: کاربرد میله‌ها و کابل‌های بسیار پرمقاومت غیرقابل جوشکاری برای اعضا و عناصر کششی و اتصال به وسیله‌ی دندانه شدن و کاربرد مهره یا اتصالات مخصوص فولاد پیش‌تنیدگی و کابل‌ها، مجاز است. برای مشخصات فولادهای پیش‌تنیده و کابل‌ها به استانداردهای EN و ASTM مراجعه شود.

مطابق استانداردهای ISIRI 14262، EN 10025 و ISO 630-2، مصالح فولادی از نظر طاقت نمونه‌ی شیار داده شده‌ی شارپی به شرح زیر به سه رده‌ی JR، J0 و J2 طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) رده‌ی JR: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونه‌ی شیار داده شده‌ی شارپی آن حداقل ۲۷ ژول در دمای $+20$ درجه‌ی سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونه‌ی شیار داده شده‌ی شارپی، شرایط پذیرش این رده آسان‌تر از شرایط پذیرش رده‌های J0 و J2 است.

ب) رده‌ی J0: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونه شیار داده شده شارپی آن حداقل ۲۷ ژول در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونه‌ی شیار داده شده‌ی شارپی، شرایط پذیرش این رده آسان‌تر از شرایط پذیرش رده‌ی J2 بوده و سخت‌گیرانه‌تر از شرایط پذیرش رده‌ی JR است.

پ) رده‌ی J2: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونه شیار داده شده شارپی آن حداقل ۲۷ ژول در دمای -20 درجه‌ی سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونه‌ی شیار داده شده‌ی شارپی، شرایط پذیرش این رده از شرایط پذیرش رده‌های JR و J0 سخت‌گیرانه‌تر است.

جدول ۵-۱- مشخصات مکانیکی فولادهای پل سازی - مشخصات تنش

علامت		روش دی اکسپانسیون	زیر گروه ^(۱)	حداقل تنش تسلیم ^(۱) N/mm^2 به (F_y) (mm)								مقاومت کششی ^(۱) N/mm^2 به (F_u) (mm)			
مطابق با EN 10027-1 و	مطابق با EN 10027-2			ضخامت اسمی به (mm)								ضخامت اسمی به (mm)			
				≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250
ECISS IC 10															
S185 ^(۳)	1.0035	Opt.	BS	185	175	--	--	--	--	--	--	310-510	290-510	--	--
S235JR ^(۳)	1.0037	Opt.	BS	235	225	--	--	--	--	--	--	360-510	340-470	--	--
S235JRG1 ^(۳)	1.0036	FU	BS	235	225	--	--	--	--	--	--	360-510	340-370	--	--
S235JRG2	1.0038	FN	BS	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-370	340-470	320-470
S235J0	1.0114	FN	QS	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	320-470
S235J2G3	1.0116	FF	QS	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-510	340-470	320-470
S235J2G4	1.0117	FF	QS	235	225	215	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 = فولاد با کیفیت 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.

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.

[illegible]

- ۱- مقادیر جدول فوق مربوط به آزمایش قطعات طولی می باشد.
- ۲- فولاد باکیفیت QS
- ۳- فقط برای ضخامت‌های کمتر از ۲۵ میلیمتر قابل استفاده است.
- ۴- این فولادها معمولاً برای ناوانی، نبشی و مقاطع دیگر استفاده می شود.

۱-۲-۵- انرژی آزمایش ضربه

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

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

علامت		روش دی اکسیداسیون	زیرگروه ^(۲)	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 ^(۴)	1.0035	Opt.	BS	--	--	--
S235JR ^{(۴)(۵)}	1.0037	Opt.	BS	20	27	--
S235JRG1 ^{(۴)(۵)}	1.0036	FU	BS	20	27	--
S235JRG2 ^(۵)	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 ^(۵)	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 ^(۵)	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 با کیفیت = QS

۲- برای مقاطع با ضخامت اسمی بیشتر از ۱۰۰ میلیمتر، مقدار انرژی باید به توافق برسد.

۳- فقط برای ضخامت‌های کوچکتر و مساوی ۲۵ میلیمتر قابل استفاده می‌باشد.

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

۱-۲-۶- تنش تسلیم اسمی^۱

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

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

$$F_y = F_{ym} - 0.6S_{10} \quad (۲-۱)$$

که در رابطه فوق:

$$S_{10} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (F_{ym} - F_{yi})^2}{9}} \quad (۳-۱)$$

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

S_{10} = انحراف استاندارد حاصل از ۱۰ آزمایش

F_{yi} = تنش تسلیم حاصل از آزمایش‌ها

۷-۲-۱- مقاومت کششی نهایی

مقاومت کششی نهایی مصالح فولادی نباید کمتر از $1.2F_y$ گردد که در آن F_y تنش تسلیم اسمی مصالح فولادی می‌باشد.

۸-۲-۱- شکل‌پذیری^۱

فولاد مورد استفاده در پل‌سازی باید دارای شکل‌پذیری متناظر با ۱۵ درصد افزایش طول نسبت به حالت اولیه نمونه استاندارد که فاصله‌ی مقیاس آن $5.65\sqrt{S_0}$ است، باشد که در رابطه فوق S_0 سطح مقطع قطعه مورد آزمایش می‌باشد. در صورتی که ظرفیت لنگر پلاستیک مقطع فشرده استفاده شده و یا توزیع مجدد تنش کششی بال محاسبه شود، شکل‌پذیری فولاد نباید کمتر از ۱۹ درصد افزایش طول نسبت به حالت اولیه نمونه استاندارد که فاصله‌ی مقیاس آن $5.65\sqrt{S_0}$ است، باشد. که در رابطه فوق S_0 سطح مقطع عرضی قطعه مورد آزمایش می‌باشد.

۹-۲-۱- طاقت نمونه شیاردار^۲

۱-۹-۲-۱- 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

(ه) ضخامت قطعه‌ی تحت تنش

1- Ductility

2- Notch toughness

۱-۲-۹-۲- حدافل دمای طراحی^۱

حدافل دمای طراحی (U) مورد استفاده برحسب درجه‌ی سلسیوس، به صورت زیر به دست می‌آید:

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

$$U = U_e - 5^{\circ}\text{C} \quad (۴-۱)$$

۲- در سایر موارد:

$$U = U_e \quad (۵-۱)$$

U_e = حدافل دمای موثر طراحی پل برحسب درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$)

۱-۲-۹-۳- طبقه‌بندی تردی^۲

۱-۲-۹-۳-۱- کلیات

برای طبقه‌بندی تردی قطعات فولادی از ضریب K استفاده می‌گردد.

$$K = K_d \times K_g \times K_{\sigma} \times K_s \quad (۶-۱)$$

که در آن:

K = ضریبی که حداکثر ضخامت مجاز را بدست می‌دهد.

K_d = ضریب جزئیات

K_g = ضریب تمرکز تنش

K_{σ} = ضریب سطح تنش

K_s = ضریب نرخ بارگذاری

۱-۲-۹-۳-۲- ضریب جزئیات (K_d)

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

۱-۲-۹-۳-۳- ضریب تمرکز تنش هندسی (K_g)

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

در این نواحی، ضریب تمرکز تنش الاستیک (K)، باید در اولین نقطه‌ای که جزئیات شروع می‌گردد اندازه‌گیری شود. ضریب K_g از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

1 - Design minimum temperature

2 - Fracture classification

$$K_g = K^{-0.5} \quad (۷-۱)$$

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

۱-۲-۹-۳-۴- ضریب سطح تنش^۱

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

۱-۲-۹-۳-۵- ضریب نرخ بارگذاری^۲

برای نواحی که در آنها خطر نیروی برخورد و ضربه وجود دارد، مانند عرشه‌ای که در مجاورت نرده‌های ثابت قرار دارد یا ستون‌های فولادی که نزدیک به ترافیک بزرگراه یا راه‌آهن قرار دارند، مقدار $K_s = 0.5$ توصیه می‌شود. برای انواع دیگر بارگذاری مقدار $K_s = 1$ استفاده می‌گردد.

۱-۲-۹-۳-۶- حداکثر ضخامت مجاز^۳

ضخامت t قطعه فولادی به موارد زیر محدود می‌شود:

اگر $U > T_{27j} - 20$ باشد:

$$t \leq 50K \left(\frac{355}{F_y} \right)^{1.4} 1.2 \left(\frac{U - T_{27j}}{10} \right) \quad (۸-۱)$$

اگر $U < T_{27j} - 20$ باشد:

در این شرایط استفاده از فولاد موردنظر، مجاز نمی‌باشد.

1- Stress level coefficient

2- Rate of loading coefficient

3- Maximum permitted thickness

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 درجه‌ی سلسیوس

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

برای فولادهایی که مقدار T_{30j} و T_{40j} آنها موجود است، مقدار T_{27j} را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه نمود:

$$T_{27j} = T_{30j} \quad (۹-۱)$$

$$T_{27j} = T_{40j} - 10 \quad (۱۰-۱)$$

جدول ۱-۷- ضریب جزئیات K_d

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

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 $\sigma_{max} > 0.5F_y$	1	1
در کشش $0.25F_y < \sigma_{max} \leq 0.5F_y$	1	1.25
در کشش $\sigma_{max} \leq 0.25F_y$	1.5	1.5
تمامی تنش‌های فشاری	2	2
اجزای پل ممکن است در زمان نصب تحت تنشی بیشتر از مقدار کشش در حالت بهره‌برداری قرار گیرند.		

۴-۹-۲-۱- مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی^۱

مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

- ضریب الاستیسیته، $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($2 \times 10^5 \text{ MPa}$)
- ضریب الاستیسیته برشی، $0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($0.8 \times 10^5 \text{ MPa}$)
- ضریب پواسون، $\nu = 0.3$
- ضریب انبساط حرارتی، $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

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

در جدول‌های ۹-۱ و ۱۰-۱ به ترتیب مشخصات مکانیکی مصالح پیچ و گل‌میخ ارائه شده است.

جدول ۹-۱- مشخصات مصالح پیچ‌ها*

نوع پیچ	ISIRI 2874 EN-ISO 898	ASTM	تنش تسلیم مشخصه (F_y) (MPa)	تنش کشش نهایی (F_u) (MPa)	کرنش نهایی (ϵ_u) (%)
پیچ‌های معمولی	4.6	A307	240	400	22
	4.8	—	320	420	14
	5.6	—	300	500	20
	5.8	—	400	520	10
	6.8	—	480	600	8
پیچ‌های پرمقاومت	8.8	A325 F3125	کاربرد ندارد	800	12
	10.9	A490 F3125	کاربرد ندارد	1000	9
	12.9	—	کاربرد ندارد	1200	8

* در اتصالات پیش‌تینیده و لغزش بحرانی فقط از پیچ‌های پرمقاومتی می‌توان استفاده کرد که مطابق استاندارد مربوطه، دارای قابلیت پیش‌تینیدگی باشند. پیچ‌هایی دارای قابلیت پیش‌تینیدگی هستند که پیچ، مهره و واشر مطابق استاندارد معتبر نظیر EN ISO 14399 تولید شده باشند.

۶-۹-۲-۱- مشخصات مکانیکی فولادها طبق استاندارد ASTM و JIS

در جدول‌های ۱۱-۱ و ۱۲-۱ مشخصات مصالح فولادی طبق استانداردهای ASTM و JIS ارائه شده است.

جدول ۱-۱- مشخصات مصالح گل‌میخ

۳	۲	۱	
مقاومت نهایی کششی F_u (MPa)	تنش تسلیم F_y (MPa)	رده	
400	320	DIN 32 500 Part 1 رده 4.8	۱
450	350	DIN 32 500 Part 3 با ترکیب شیمیایی ST37-3 (DIN 17 100)	۲
360	240	(DIN 17 100) $D \leq 40$	۳
	215	(St 37-3 یا St 37-2) $40 < d \leq 80$	
510	360	(DIN 17 100) $d \leq 40$	۴
	325	(St 52-3) $40 < d \leq 80$	

جدول ۱۱-۱- نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی مطابق استاندارد انجمن آزمایش مصالح آمریکا (ASTM)

* نام و رده‌ی فولاد مطابق استاندارد ASTM	ضخامت (mm)	تنش تسلیم (MPa)	تنش کششی نهایی (MPa)	کرنش نهایی (ϵ_u) (%)
ASTM A36	تا 200 بیشتر از 200	250 220	550-400	21
ASTM A572 Grade 42 Grade 50 Grade 55 Grade 60 Grade 65	تمام ضخامت‌ها	290 345 380 415 450	415 450 485 520 550	24 21 20 18 17
ASTM A588 Grade B Grade C	تمام ضخامت‌ها	345 345	485 485	21 21
ASTM A709 Grade 36 Grade 50 Grade 50S	تمام ضخامت‌ها	250 345 450-345	550-400 450 450	21 21 21
ASTM A913 Grade 50 Grade 60 Grade 65	تمام ضخامت‌ها	345 415 450	450 520 550	21 18 17
ASTM A992	تمام ضخامت‌ها	450-345	450	21

* برای رده‌های فولاد این جدول، تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد (F_y) باید برابر حد پایین تنش تسلیم و تنش کششی نهایی مشخصه‌ی فولاد (F_u) باید برابر حد پایین تنش کششی نهایی در نظر گرفته شود.

جدول ۱-۱۲- نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی مطابق استاندارد JIS G 3136 ژاپن

نام و رده‌ی فولاد مطابق استاندارد JIS G-3136	ضخامت (mm)	تنش تسلیم (MPa)	تنش کششی نهایی (MPa)	نسبت تنش تسلیم به تنش کششی نهایی (%)	کرنش نهایی (ϵ_u) (%)
SN400A	$6 \leq t < 12$	235	40-510	—	17
	$12 \leq t < 16$	235		—	17
	16	235		—	21
	$16 < t \leq 40$	235		—	21
	$40 < t \leq 100$	215		—	23
SN400B	$6 \leq t < 12$	235	400-510	—	18
	$12 \leq t < 16$	235-355		≤ 80	18
	16	235-355		≤ 80	22
	$16 < t \leq 40$	235-355		≤ 80	22
	$40 < t \leq 100$	215-335		≤ 80	24
SN400C	$6 \leq t < 12$	—	400-510	—	18
	$12 \leq t < 16$	—		—	18
	16	235-355		≤ 80	22
	$16 < t \leq 40$	235-355		≤ 80	22
	$40 < t \leq 100$	235-355		≤ 80	24
SN490B	$6 \leq t < 12$	325	490-610	—	17
	$12 \leq t < 16$	325-445		≤ 80	17
	16	325-445		≤ 80	21
	$16 < t \leq 40$	325-445		≤ 80	21
	$40 < t \leq 100$	295-415		≤ 80	23
SN490C	$6 \leq t < 12$	—	490-610	—	17
	$12 \leq t < 16$	—		—	17
	16	325-445		≤ 80	21
	$16 < t \leq 40$	325-445		≤ 80	21
	$40 < t \leq 100$	295-415		≤ 80	23

* برای رده‌های فولاد این جدول، تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد (F_y) باید برابر حد پایین تنش تسلیم و تنش کششی نهایی مشخصه‌ی فولاد (F_u)

باید برابر حد پایین تنش کششی نهایی در نظر گرفته شود.

فصل ۲

بارها، ترکیب‌های بار، تحلیل

۲-۱- بارهای محاسباتی

۲-۱-۱- بارهای مرده

وزن قطعات و وزن مخصوص مصالح، مطابق استاندارد شماره ۲۳۶۲۳ موسسه استاندارد تعیین شود.

۲-۱-۲- بارهای زنده

بارهای زنده باید مطابق مقررات نشریه ۱۳۹ یا پیوست پ استاندارد ۲۳۶۲۳، محاسبه شود.

۲-۱-۳- بارهای زلزله

بارهای زلزله باید منطبق بر مقررات آیین‌نامه طرح پل‌های شوسه و راه‌آهن در برابر زلزله (استاندارد ۱۴۶۸۴ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) منظور شود.

۲-۱-۴- سایر بارها

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

۲-۲- ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز

با توجه به همزمانی بارهای ارائه شده در نشریه ۱۳۹، ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز مطابق جدول ۲-۱ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲-۱- ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز

گروه	ترکیب بار	تنش مجاز بر حسب 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 آیین‌نامه طرح لرزه‌ای پل‌ها
۶	بارهای ویژه + گروه ۱	طبق نیاز

اختصارات به کاررفته در جدول فوق به قرار زیر می‌باشند:

D = بار مرده

L = بار زنده

I = ضربه بار زنده

E = فشار زمین

B = نیروی غوطه‌وری

W = بار باد روی سازه

WL = بار باد روی بار زنده

PF = نیروی حاصل از پیش‌تنیدگی

ST = نیروهای ناشی از نشست تکیه‌گاهی

LF = نیروی ترمز بار زنده

CF = نیروی گریز از مرکز بار زنده

R = اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پیش‌تنیده

S = نیروهای حاصل از افت (انقباض) مصالح

EQ = نیروی حاصل از زلزله

T = نیروی حاصل از تغییرات دما

SF = نیروی حاصل از جریان رودخانه

۳-۲- ترکیب‌های بارگذاری در طراحی به روش LRFD

ترکیب بار عمومی در روش LRFD مطابق رابطه‌ی زیر می‌باشد:

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (۱-۲)$$

در رابطه‌ی فوق:

Q_i = بارهای مختلف وارد بر پل

γ_i = ضرایب بار طبق جدول‌های ۳-۲ تا ۷-۲

η_i = ضریب اصلاح طبق روابط زیر:

(الف) برای ترکیب‌های بارگذاری که مقادیر حداکثر γ_i به کار می‌روند:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95$$

(ب) برای ترکیب‌های بارگذاری که مقادیر حداقل γ_i به کار می‌روند:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1.0$$

η_D = ضریب شکل‌پذیری مساوی ۱/۰۵ برای اجزا و اتصالات غیرشکل‌پذیر، مساوی ۱ برای اجزا با جزئیات متعارف، مساوی ۰/۹۵ برای اجزا با جزئیات خاص شکل‌پذیری.

η_D = ضریب نامعینی مساوی ۱/۰۵ برای اجزا و اعضای معین، مساوی ۱ برای اجزا و اعضای نامعین، مساوی ۰/۹۵ برای درجه نامعینی خاص.

η_I = ضریب اهمیت مساوی ۱/۰۵ برای پل‌های با اهمیت زیاد، مساوی ۱ برای پل‌های با اهمیت متوسط، مساوی ۰/۹۵ برای پل‌ها با اهمیت کم.

بطور معارف η_i مساوی واحد فرض می‌شود.

هر کدام از ترکیب‌های بار، معرف یکی از حالات زیر می‌باشند:

مقاومت ۱- ترکیب بار پایه، برای خمش و برش بدون اثر باد. برای مثال ترکیب بار پایه، برای طراحی عرشه بصورت زیر در می‌آید.

$$1.25D + 1.75(L + I)$$

مقاومت ۲- در صورتی به کار می‌رود، که لازم است وسیله‌ی نقلیه خاص در طراحی پل مثل بار تانک و تریلی تانکر به کار رود.

مقاومت ۳- این ترکیب بار اثر باد را بر روی سازه در نظر می‌گیرد.

مقاومت ۴- در مواردی حاکم است، که نسبت بار مرده به بار زنده خیلی زیاد باشد.

مقاومت ۵- اثر باد را روی سازه و وسیله‌ی نقلیه در نظر می‌گیرد.

حدی ۱- تاثیر زلزله را روی پل بررسی می‌کند.

حدی ۲- نیروهای برخورد و اثر بار یخ را مطالعه می‌کند.

بهره‌برداری ۱- از آن برای طراحی بتن پیش‌تنیده و همچنین کنترل عرض ترک و تغییرشکل استفاده می‌شود.

بهره‌برداری ۲- از آن برای کنترل تسلیم و اتصالات در سازه‌های فولادی استفاده می‌شود.

بهره‌برداری ۳- برای کنترل تنش کششی در سازه‌های پیش‌تنیده استفاده می‌شود.

خستگی- برای تعیین کردن بارهای خستگی می‌توان به پیوست پ استاندارد ملی شماره ۲۳۶۲۳ رجوع کرد.

جدول ۲-۲- جدول ترکیب بار به روش LRFD

[illegible]

جدول ۲-۳- ضریب بار برای بارهای دایم (γ_p)

نوع بار	ضریب بار	
	حداکثر	حداقل
DC: وزن مرده اجزای سازه‌ای و ملحقات	1.25	0.90
DC: ترکیب بار مقاومتی ۵	1.50	0.90
DD: نیروی کشانی روبه پایین		
• روش α	1.40	0.25
• روش λ	1.05	0.30
• روش اونیل	1.25	0.35
DW: وزن مرده سطوح روکشی	1.50	0.65
EH: فشار افقی خاک		
• فعال	1.50	0.90
• مقاوم	1.35	0.90
• روش AEP برای دیوارهای مهارشده	1.35	N/A
EL: تنش‌های ناشی از اعمال پیش‌تنیدگی، ضریب پواسون، خزش و جمع‌شدگی	1.00	1.00
EV: فشار قائم خاک		
• پایداری کلی	1.00	N/A
• سازه‌های حایل خاک	1.35	1.00
• دیوارهای MSE		
○ روش سختی		
▪ Reinforcement and connection rupture	1.35	N/A
▪ Soil failure- geosynthetics (Service I)	1.20	N/A
○ Coherent Gravity Method	1.35	N/A
• سازه‌ی مدفون صلب	1.30	0.90
• قاب خمشی	1.35	0.90
• سازه‌های مدفون انعطاف‌پذیر		
○ فولادی	1.50	0.90
○ پلی‌اتیلن	1.30	0.90
○ سایر	1.95	0.90
• میخ‌کوبی	1.00	N/A
ES: سربار خاک	1.50	0.75

جدول ۲-۴- تعریف اختصارات به کاررفته در ترکیب بار آشتو

(الف) بارهای دائمی		(ب) بارهای غیردائمی
DD = فروکش	BR = نیروی ترمز	LS = سربار بار زنده
DC = وزن مرده اجزای سازه	CE = نیروی گریز از مرکز	PL = بار زنده پیاده‌رو
DW = وزن مرده سطوح روکش	CT = نیروی برخورد وسایل نقلیه	SE = نشست
EH = فشار افقی خاک	CV = نیروی برخورد	TG = گرادیان حرارتی
ES = بار سربار خاک	EQ = نیروی زلزله	TU = تغییردمای یکنواخت
EV = فشار قائم خاک ناشی از وزن آن	FR = نیروی اصطکاک	WA = فشار جریان
CR = اثر خزش	IC = بار یخ	WL = بار باد روی وسیله نقلیه
SH = انقباض	IM = اثر دینامیکی وسایل نقلیه	WS = بار باد روی سازه
PS = نیروی ثانویه ناشی از پیش‌تنیدگی	LL = بار زنده (وسایل نقلیه)	

جدول ۲-۵- ضرایب بارهای دائمی ناشی از انقباض، خزش و پیش‌تنیدگی (اثرات خودکرنشی) - (γ_p)

CR , SH	Ps	جزء سازه‌ای پل
مشابه γ_p برای DC	1.0	عرشه در پل‌های قطعه‌ای پیش‌ساخته
		پایه‌های بتنی در پل‌های با عرشه قطعه‌ای پیش‌ساخته
1.0	1.0	عرشه‌های بتنی غیرقطعه‌ای
		پایه‌های بتنی در پل‌های با عرشه‌های بتنی غیرقطعه‌ای
0.5	0.5	* در صورت استفاده از I_g
1.0	1.0	* در صورت استفاده از $I_{effective}$
1.0	1.0	پایه‌های فولادی

جدول ۲-۶- ضرایب بار زنده برای ترکیب بار بهره‌برداری ۳ (γ_{LL})

γ_{LL}	شرح
1.0	در صورت استفاده از روش تابع زمان برای محاسبه‌ی اتلاف پیش‌تنیدگی
0.8	سایر اجزای پیش‌تنیده

جدول ۲-۷- ضریب بار برای بارهای دائمی به علت تغییر مکان‌های تکیه‌گاهی (γ_{SE})

SE	شرح
1.00	نشست آنی
1.40	• روش هو
*	• روش اشتراک
	• روش محلی
1.00	نشست تحکیم
1.00	تغییر مکان جانبی
*	• روش P-y
	• روش محلی
لازمست به کمک روش‌های زمین‌شناسی تعیین گردد. *	

ضریب‌های مقاومت

ضریب‌های مقاومت برای حالت حدی مقاومت در طراحی به روش LRFD به شرح زیر می‌باشند:

اعضا	$\phi_f = 1.00$ $\phi_v = 1.00$ $\phi_c = 0.95$ $\phi_c = 0.90$ $\phi_c = 0.90$ $\phi_u = 0.80$ $\phi_y = 0.95$	• برای خمش • برای برش • فشار محوری در مقطع فولادی • فشار محوری با و بدون خمش مقطع مختلط فولاد و بتن CFT • فشار محوری در مقطع مختلط • گسیختگی کششی در مقطع خالص • تسلیم کششی در مقطع کل
پیچ	$\phi_b = 1.00$ $\phi_{bb} = 0.80$ $\phi_{sc} = 0.85$ $\phi_t = 0.80$ $\phi_t = 0.80$ $\phi_t = 0.80$ $\phi_s = 0.75$ $\phi_s = 0.75$ $\phi_s = 0.80$ $\phi_{bs} = 0.80$ $\phi_{uv} = 0.80$	• لهیدگی در پین • لهیدگی پیچ‌ها • برای اتصال برشگیر • پیچ ASTM F3125 در کشش • پیچ A307 در کشش • میله مهار ASTM F1554 در کشش • پیچ A307 در برش • میله مهار ASTM F1554 در برش • پیچ ASTM F3125 در برش • برش قالبی • گسیختگی برشی در اجزای اتصال
ورق اتصال	$\phi_{cg} = 0.75$ $\phi_{cs} = 0.65$ $\phi_{vy} = 0.80$	• ورق اتصال خرپا • وصله‌ی یال خرپا • ورق اتصال خرپا در تسلیم برشی
	$\phi_w = 0.80$	• لهیدگی جان
جوش	$\phi_{e1} = 0.85$ $\phi_{e2} = 0.80$ $\phi_{e1} = 0.80$ $\phi_{e2} = 0.80$ $\phi = 1.00$	• جوش نفوذی: ○ برش روی سطح موثر ○ کشش و فشار عمود بر سطح موثر جوش - مثل فلز پایه ○ کشش و فشار موازی سطح موثر جوش - مثل فلز پایه • مصالح جوش در جوش نیمه‌نفوذی: ○ برش به موازات سطح موثر جوش ○ کشش یا فشار موازی جوش - مثل فلز پایه ○ فشار عمود بر سطح موثر جوش - مثل فلز پایه ○ کشش عمود بر سطح موثر • فلز جوش در جوش گوشه: ○ کشش یا فشار موازی محور جوش - مثل فلز پایه ○ برش در گلوئی موثر جوش • مقاومت حین شمع‌کوبی
شمع‌کوبی		

۴-۲- مدارک طرح و محاسبه

۴-۲-۱- نقشه‌ها

نقشه‌های سازه باید طرح کامل مقاطع، محل قرارگرفتن 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.

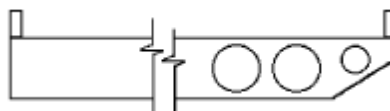
۴-۲-۲- حروف، علائم، و یادداشت‌های فنی

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 تنش‌های پسماند جوشکاری و جلوگیری از تابیدگی قطعات، باید از رویه و یا ترتیب خاصی و یا از تعداد عبور جوشکاری معینی پیروی شود، لازم است که روش، دقیقاً در مدارک و نقشه‌ها توضیح داده شود.

۴-۵- تحلیل بار زنده

۴-۵-۱- عرشه‌های یک عنصری^۱ (دال بتنی مسلح - توپر یا سوراخدار)



شکل ۴-۱- عرشه یک عنصری (دال بتنی مسلح - توپر یا سوراخدار)

عرض موثر برای بار زنده یک خط عبور برای نیروی برشی و لنگر خمشی برابر است با:

(الف) عرشه یک خطه

$$E = 0.25 + 0.42\sqrt{L_1 W_1} \quad (۲-۲)$$

(ب) عرشه چندخطه

$$E = 2.10 + 0.12\sqrt{L_1 W_1} \leq \frac{W}{N_L} \quad (۳-۲)$$

در روابط فوق:

E = عرض موثر برای بار زنده یک خط عبور (متر)

L_1 = دهانه‌ی اصلاح شده، مساوی کمترین مقدار: الف) دهانه واقعی (متر) و ب) ۱۸ (متر)

N_L = تعداد خطوط عبور

W = عرض پل (لبه خارجی تا لبه‌ی خارجی) متر

W_1 = عرض اصلاح شده پل مساوی کمترین مقدار: الف) عرض، واقعی لبه تا لبه (متر) و ب) ۱۸ متر برای عرشه چند

خطه و ۹ متر برای عرشه تک خطه

برای پل‌های کج، آثار نیروهای طولی باید در ضریب r ضرب گردد:

$$r = 1.05 - 0.25 \tan \theta \leq 1 \quad (۴-۲)$$

که در آن θ زاویه کجی برحسب درجه می‌باشد.

۲-۵-۲- عرشه‌های دوعنصری

عرشه‌های دوعنصری متشکل از دال بتن مسلح و تیرهای طولی باید منطبق بر یکی از اشکال جدول ۲-۸ بوده و دارای شرایط زیر باشند:

۱- عرض عرشه ثابت باشد.

۲- تعداد تیرها کمتر از ۴ نباشد (مگر اینکه به نحو دیگری مشخص شده باشد).

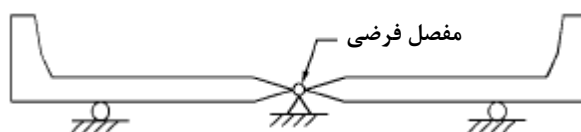
۳- تیرها موازی و دارای سختی مساوی باشند.

۴- عرض طره دال، بیش از ۱/۲ متر نباشد.

۵- در پل‌های منحنی در پلان، فاصله حداکثر کمان از وتر از ۲/۵ درصد طول وتر کمتر باشد.

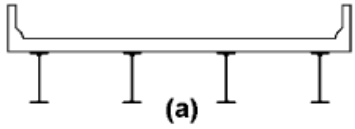
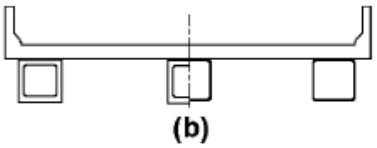
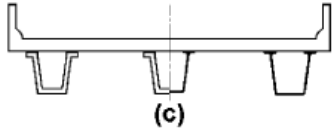
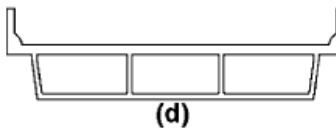
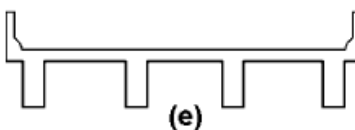
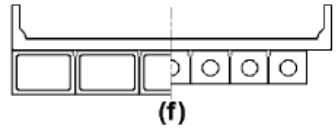
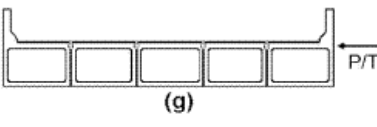
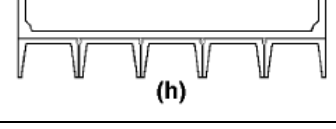
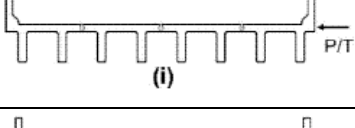
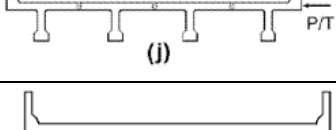
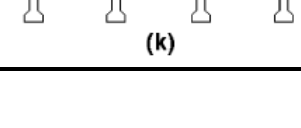
۶- عرشه باید دارای دیافراگم‌های عمیق و صلب در دو انتهای عرشه (و در داخل دهانه) باشد.

در صورتیکه فاصله‌ی تیرها بزرگتر از محدوده‌های ذکر شده در جداول باشد، توزیع بار زنده بین تیرهای طولی با استفاده از قانون اهرم (توزیع استاتیکی) صورت می‌گیرد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- مدل دال عرشه برای قانون اهرم برای عرشه با سه شاهتیر طولی

جدول ۲-۸- انواع عرشه دوعنصری

نوع شاهتیر تکیه‌گاهی	نوع دال عرشه	
تیر فولادی	دال بتنی درجا	
تیر فولادی یا بتنی پیش‌ساخته‌ی جعبه‌ای	دال بتنی درجا	
تیر فولادی یا بتنی پیش‌ساخته با مقطع جعبه‌ای باز (U)	دال بتنی درجا	
عرشه‌ی جعبه‌ای چندسلولی درجاریز	بتن یکپارچه	
تیرهای T درجاریز	بتن یکپارچه	
تیرهای جعبه‌ای یا سوراخدار پیش‌ساخته پهلوی به پهلوی	بتن درجا	
تیرهای جعبه‌ای یا سوراخدار پیش‌ساخته‌ی پهلوی به پهلوی با پهلوی با کلید برشی، با و یا بدون پیش‌تنیدگی عرضی	بتن پرکننده درز	
تیرهای بتن مسلح پیش‌ساخته‌ی ناودانی با بتن درجا	دال بتنی درجا	
تیرهای T بتنی دو جان پیش‌ساخته با کلید برشی، با و یا بدون پیش‌تنیدگی عرضی	بتن پرکننده درز	
تیرهای T بتنی، T پیش‌ساخته با کلید برشی، با و یا بدون پیش‌تنیدگی عرضی	بتن پرکننده درز	
تیرهای بتنی I پیش‌ساخته	دال بتنی درجا	

۲-۵-۳- فهرست نمادها

A = سطح مقطع تیرهای طولی (mm^2)

b = عرض تیر (mm)

C = پارامتر سختی

D = عرض توزیع برای هر خط عبوری (mm)

d = ارتفاع شاهتیرها (mm)

 d_c = فاصله‌ی افقی از محور جان خارجی تیر خارجی در تراز عرشه تا لبه‌ی داخلی جدول (mm)

e = ضریب اصلاح

g = ضریب توزیع

 I_p = ممان اینرسی قطبی (mm^4)J = ممان اینرسی پیچش سن ونان (ثابت پیچش سن ونان) (mm^4)

$$J = \frac{4A_0^2}{\sum \frac{s}{t}} \quad \text{برای مقاطع بسته جدار نازک} \quad (۵-۲)$$

$$J = \frac{1}{3} \sum bt^3 \quad \text{برای مقاطع باز} \quad (۶-۲)$$

b = عرض هر جزء (mm) t = ضخامت هر جزء (mm)

K = ثابت انواع مختلف ساخت

 K_g = ضریب سختی طولی (mm^4)

L = طول دهانه (mm)

 N_b = تعداد شاهتیرها N_c = تعداد سلول‌ها در تیرهای بتنی جعبه‌ای N_L = تعداد خطوط طرح (قسمت صحیح نسبت عرض فاصله‌ی بین در جدول تقسیم بر ۳/۶ متر)

S = فاصله محور تا محور جان تیرها (mm)

 t_s = ارتفاع دال بتنی عرشه (mm) θ = زاویه کجی μ = ضریب پواسون

W = عرض پل (بین دو لبه‌ی داخلی پیاده‌رو) (mm)

 W_e = فاصله مرکز جان تیر خارجی تا لبه‌ی طره پیاده‌رو (mm)

۲-۵-۴- ضریب سختی طولی K_g

در محاسبات مربوط به توزیع بار زنده بین شاهتیرهای طولی از ضریب سختی طولی K_g طبق رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$K_g = n(I + Ae^2) \quad (۷-۲)$$

$$n = \frac{E_B}{E_D} \quad (۸-۲)$$

که در آن:

E_B = ضریب الاستیسیته‌ی مصالح تیر E_D = ضریب الاستیسیته مصالح دال

I = ممان اینرسی تیر تنها (بدون اثر دال) A = سطح مقطع تیر تنها (بدون اثر دال)

e_g = فاصله بین مراکز ثقل تیر پایه و دال

از ضریب K_g در محاسبه ضریب توزیع به صورت کسر $\frac{K_g}{Lt_s^3}$ با توان‌های مختلف استفاده می‌شود که در آن L طول

دهانه مطابق جدول ۲-۹ و t_s ضخامت دال می‌باشد. توجه شود که این کسر بدون بعد است. در غیاب محاسبات دقیق‌تر مقادیر کسر با توان‌های مختلف را می‌توان از جدول ۲-۱۰ محاسبه نمود.

جدول ۲-۹- طول دهانه در رابطه‌ی توزیع طولی

نیروی داخلی	طول L
لنگر مثبت	طول دهانه
لنگر منفی - اولین تکیه‌گاه، داخلی	متوسط دو دهانه مجاور
لنگر منفی - سایر دهانه‌ها	طول دهانه‌ی موردنظر
برش	طول دهانه‌ی موردنظر
واکنش تکیه‌گاهی خارجی	طول دهانه خارجی
واکنش تکیه‌گاهی داخلی	متوسط دو دهانه مجاور

جدول ۲-۱۰- مقادیر ثابت با توان‌های مختلف

پارامتر	نوع عرشه (جدول ۴-۳)			
	a	e	k	f,g,i,j
$\left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$	1.02	1.05	1.09	—
$\left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.25}$	1.03	1.07	1.15	—
$\left(\frac{Lt_s^3}{K_g}\right)^{0.3}$	0.97	0.93	0.85	—
$\frac{I}{J}$	—	—	—	$0.54\left(\frac{d}{b}\right) + 0.16$

۲-۵-۵- ضرایب توزیع لنگر خمشی

۲-۵-۵-۱- تیرهای داخلی (میانی)

ضرایب توزیع بار زنده‌ی یک خط عبور (بار محور)، در محاسبه لنگر خمشی در تیرهای داخلی (میانی)، با استفاده از روابط جدول ۲-۱۱ بدست می‌آید. توجه شود که اعداد بدست آمده از این روابط، نسبت سهم باربر تیر میانی از بار یک خط عبوری می‌باشد.

جدول ۲-۱۱- ضرایب توزیع لنگر خمشی تیر داخلی برای بار یک خط عبور (طول به میلیمتر)

نوع عرشه- جدول ۲-۸	ضریب توزیع	محدوده مجاز
k, e, a و همچنین i و زاگر دارای اتصال کافی تا حصول رفتار یکپارچه باشد	یک خط ترافیک: $0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$	$1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq t_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_b \geq 4$ $4 \times 10^9 \leq K_g \leq 3 \times 10^{12}$
	دو یا چند خط ترافیک: $0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$	$N_b = 3$
d	یک خط ترافیک: $\left(1.75 + \frac{S}{1100}\right) \left(\frac{300}{L}\right)^{0.35} \left(\frac{1}{N_c}\right)^{0.45}$	$2100 \leq S \leq 4000$ $18\,000 \leq L \leq 73\,000$ $N_c \geq 3$
	دو یا چند خط ترافیک: $\left(\frac{13}{N_c}\right)^{0.3} \left(\frac{S}{430}\right) \left(\frac{1}{L}\right)^{0.25}$	$N_c > 8 \Rightarrow N_c = 8$
b, c	یک خط ترافیک: $\left(\frac{S}{910}\right)^{0.35} \left(\frac{Sd}{L^2}\right)^{0.25}$	$1800 \leq S \leq 5500$ $6000 \leq L \leq 43\,000$ $450 \leq d \leq 1700$ $N_b \geq 3$
	دو یا چند خط ترافیک: $\left(\frac{S}{1900}\right)^{0.6} \left(\frac{Sd}{L^2}\right)^{0.125}$	$S > 5500$
f	یک خط ترافیک:	
g اگر دارای اتصال کافی تا حصول رفتار یکپارچه باشد.	$k \left(\frac{b}{2.8L}\right)^{0.5} \left(\frac{I}{J}\right)^{0.25}$ $k = 2.5(N_b)^{-0.2} \geq 1.5$	$900 \leq b \leq 1500$ $6000 \leq L \leq 37\,000$ $5 \leq N_b \leq 20$
	دو یا چند خط ترافیک: $k \left(\frac{b}{7600}\right)^{0.6} \left(\frac{b}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{I}{J}\right)^{0.06}$	

جدول ۲-۱۱- (ادامه) ضرایب توزیع لنگر خمشی تیر داخلی برای بار یک خط عبور (طول به میلیمتر)

نوع عرشه	ضریب توزیع	محدوده مجاز
h	بدون توجه به تعداد خطوط: S/D که در آن: $C = K(W/L) \leq K$ $D = 300[11.5 - N_L + 1.4N(1 - 0.2C)^2]$ (وقتی $C \leq 5$) $D = 300(11.5 - N_L)(C > 5)$ (وقتی $C > 5$) $K = \sqrt{\frac{(1+\mu)I}{J}}$	$45^\circ \leq \text{زاویه کجی}$ $N_L \leq 6$
g, i, j اگر طوری متصل شوند که از تغییر مکان قائم نسبی بین تیرها جلوگیری شود.	برای طرح اولیه می‌توان از مقادیر زیر استفاده نمود: K نوع تیر تیر مستطیلی بدون بازشو 0.7 تیر مستطیلی با بازشوی دایره 0.8 تیر جعبه‌ای 1.0 تیر ناودانی 2.2 تیر T 2.0 تیر دابل T 2.0	
a	یک خط عبور: S/2300 ($t_g < 100$) S/3050 ($t_g \geq 100$) دو یا چند خط عبور: S/2400 ($t_g < 100$) S/3050 ($t_g \geq 100$)	$S \leq 1800$ $S \leq 3200$
b, c	بدون توجه به تعداد خطوط: $0.05 + 0.85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L}$	$0.5 \leq \frac{N_L}{N_b} \leq 1.5$

S = فاصله بین شاهتیرهای طولی به متر

۲-۵-۵-۲- تیر داخلی با عرشه فولادی

جدول ۲-۱۲- ضرایب توزیع بار خط عبوری برای لنگر تیر داخلی با دال عرشه فولادی (طول به میلیمتر)

محدوده مجاز	دو یا چند خط ترافیک	یک خط ترافیک
$S \leq 1700$ $t_g \geq 50$	S/2700	S/2800

۲-۵-۳- تیرهای کناری (خارجی)

نسبت g تیرهای کناری، از لنگر خمشی ناشی از بار خط کامل، از جدول ۲-۱۳ بدست می‌آید. فاصله d_e وقتی مثبت است، که جان تیر خارجی، در داخل لبه‌ی جدول و وقتی منفی است، که در خارج لبه‌ی جدول قرار گرفته باشد. در پل‌های دال و شاهتیر با دیافراگم‌های عرضی یا قاب عرضی، ضریب توزیع تیر خارجی نباید کمتر از روش کوربن بدست آید:

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{est} \sum_{N_L}^{N_L}}{\sum_{N_b}^{N_b} x^2} \quad (۹-۲)$$

جدول ۲-۱۳- ضرایب توزیع لنگر خمشی تیر خارجی برای یک خط عبور (طول به میلیمتر)

محدوده‌ی مجاز	دو یا چند خط عبوری	یک خط عبوری	نوع عرشه - جدول ۲-۸
$-300 \leq d_e \leq 1700$	$g = e g_{interior}$ $e = 0.77 + \frac{d_e}{2800}$	قانون اهرم	k و e, a و همچنین i و j اگر دارای اتصال کافی برای عملکرد یکپارچه باشد.
$N_b = 3$	از کمترین مقدار بدست آمده از رابطه‌ی فوق با $N_b = 3$ و یا قانون اهرم استفاده شود.		
$W_e \leq S$	$g = \frac{W_e}{4300}$	$g = \frac{W_e}{4300}$	d
$0 \leq d_e \leq 1400$ $1800 < S \leq 5500$	$g = e g_{interior}$ $e = 0.97 + \frac{d_e}{8700}$	قانون اهرم	b, c
$S > 5500$	قانون اهرم		
$d_e \leq 600$	$g = e g_{interior}$ $e = 1.04 + \frac{d_e}{7600} \geq 1.0$	$g = e g_{interior}$ $e = 1.125 + \frac{d_e}{9100} \geq 1.0$	f, g
N/A	قانون اهرم	قانون اهرم	h
			i, j اگر اتصال فقط برای جلوگیری از تغییر مکان قائم نسبی کافی باشد.
N/A	قانون اهرم	قانون اهرم	a (دال فولادی)
همانطور که در جدول ۲-۱۱ مقرر شده است.			
b, c			

۲-۵-۵-۴- پل‌های کج

در پل‌های کج، مقادیر لنگر خمشی را می‌توان در ضرایب کاهش جدول ۲-۱۴ ضرب نمود.

جدول ۲-۱۴- ضرایب اصلاح عرشه‌ی کج (طول به میلیمتر)

نوع عرشه جدول ۲-۸	برای هر تعداد خط عبوری	محدوده مجاز
a, e و k و همچنین i و j اگر دارای اتصال کافی برای عملکرد یکپارچه باشند.	$1 - c_1 (\tan \theta)^{1.5}$ $c_1 = 0.25 \left(\frac{K_g}{L t_s^3} \right)^{0.25} \left(\frac{S}{L} \right)^{0.5}$ $\theta < 30^\circ \Rightarrow c_1 = 0.0$ $\theta < 60^\circ \Rightarrow \theta = 60^\circ$	$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ $1100 \leq S \leq 4900$ $6000 \leq L \leq 73\ 000$ $N_b \geq 4$
b, c, d, f, g	$1.05 - 0.25 \tan \theta \leq 1.0$ $\theta > 60^\circ \Rightarrow \theta = 60^\circ$	$0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$

۲-۵-۶- ضریب توزیع برای برش

۲-۵-۶-۱- تیرهای داخلی

نسبت سهم باربر تیرهای داخلی از بار یک خط عبور برای محاسبه‌ی نیروی برشی از روابط جدول ۲-۱۵ بدست می‌آید. برای توزیع جانبی بار چرخ، در مجاور دو انتهای دهانه، از قانون اهرم استفاده می‌شود.

جدول ۲-۱۵- سهم تیرهای داخلی از بار یک خط عبور برای محاسبه نیروی برشی (طول به میلیمتر)

نوع عرشه- جدول ۲-۸	یک خط عبوری	دو یا چند خط عبوری	محدوده‌ی مجاز
a, e و k و همچنین i و j اگر اتصالات کافی برای عملکرد یکپارچه وجود داشته باشد	$0.36 + \frac{S}{7600}$	$0.2 + \frac{S}{3600} - \left(\frac{S}{10700} \right)^{2.0}$	$1100 \leq S \leq 4900$ $6000 \leq L \leq 73000$ $110 \leq t_s \leq 300$ $N_b \geq 4$
	قانون اهرم	قانون اهرم	$N_b = 3$
d	$\left(\frac{S}{2900} \right)^{0.6} \left(\frac{d}{L} \right)^{0.1}$	$\left(\frac{S}{2200} \right)^{0.9} \left(\frac{d}{L} \right)^{0.1}$	$1800 \leq S \leq 4000$ $6000 \leq L \leq 73000$ $890 \leq d \leq 2800$ $N_c \geq 3$
b, c	$\left(\frac{S}{3050} \right)^{0.6} \left(\frac{d}{L} \right)^{0.1}$	$\left(\frac{S}{2250} \right)^{0.8} \left(\frac{d}{L} \right)^{0.1}$	$1800 < S \leq 5500$ $6000 < L \leq 43000$ $450 \leq d \leq 1700$ $N_b \geq 3$
	قانون اهرم	قانون اهرم	$S > 5500$

جدول ۲-۱۵- (ادامه) سهم تیرهای داخلی از بار یک خط عبور برای محاسبه نیروی برشی (طول به میلی‌متر)

نوع عرشه - جدول ۲-۸	یک خط عبوری	دو یا چند خط عبوری	محدوده‌ی مجاز
f,g	$0.70 \left(\frac{b}{L}\right)^{0.15} \left(\frac{1}{J}\right)^{0.05}$	$\left(\frac{b}{4000}\right)^{0.4} \left(\frac{b}{L}\right)^{0.1} \left(\frac{1}{J}\right)^{0.05} \left(\frac{b}{1200}\right)$ $\frac{b}{1200} \geq 1.0$	$900 \leq S \leq 1500$ $6000 \leq L \leq 37000$ $5 \leq N_b \leq 20$ $1.0 \times 10^{10} \leq J \leq 2.5 \times 10^{11}$ $1.7 \times 10^{10} \leq I \leq 2.5 \times 10^{11}$
h	قانون اهرم	قانون اهرم	N/A
i و ز اگر اتصالات فقط برای جلوگیری از تغییر مکان‌های نسبی قائم در فصل مشترک کافی باشد.			
a	قانون اهرم	قانون اهرم	N/A
b,c	همانطور که در جدول ۲-۱۱ مقرر شده است		

برای تیرهای بتنی جعبه‌ای در عرشه‌ها با تیرهای متعدد، اگر مقادیر I و J با محدودیت‌های جدول انطباق نداشته باشد، ضریب توزیع برای برش مطابق لنگر در نظر گرفته می‌شود.

۲-۵-۶-۲- تیرهای خارجی (کناری)

نسبت سهم باربر تیرهای خارجی از بار یک خط عبور برای محاسبه نیروی برشی از روابط جدول ۲-۱۶ بدست می‌آید. برای مواردی که در جدول، سخنی از آنها به میان نیامده است، از قانون اهرم استفاده می‌شود.

جدول ۲-۱۶- سهم تیرهای خارجی از بار یک خط عبور برای محاسبه نیروی برشی (طول به میلی‌متر)

نوع عرشه - جدول ۲-۸	یک خط عبوری	دو یا چند خط عبوری	محدوده‌ی مجاز
a, e, k و همچنین i و ز اگر اتصالات کافی برای عملکرد یکپارچه وجود داشته باشد	قانون اهرم	$g = e g_{interior}$ $e = 0.6 + \frac{d_e}{3000}$	$-300 \leq d_e \leq 1700$
		قانون اهرم	$N_b = 3$
d	قانون اهرم	$g = e g_{interior}$ $e = 0.64 + \frac{d_e}{3800}$	$-600 \leq d_e \leq 1500$
b,c	قانون اهرم	$g = e g_{interior}$ $e = 0.8 + \frac{d_e}{3050}$	$0 \leq d_e \leq 1400$
		قانون اهرم	$S > 5500$
f,g	$g = e g_{interior}$ $e = 1.25 + \frac{d_e}{6100} \geq 1.0$	$g = e g_{interior} \left(\frac{1200}{b}\right)$ $\frac{1200}{b} \leq 1.0$ $e = 1 + \left(\frac{d_e + b - 610}{12200}\right)^{0.5} \geq 1.0$	$d \leq 600$
h	قانون اهرم	قانون اهرم	N/A
i و ز اگر اتصالات فقط برای جلوگیری از تغییر مکان‌های نسبی قائم در فصل مشترک کافی باشد.			
a	قانون اهرم	قانون اهرم	N/A
b,c	همانطور که در جدول ۲-۱۱ مقرر شده است		

۲-۵-۶-۳- پل‌های کج

مقادیر ضریب توزیع نیروی برشی برای پلهای کج باید مطابق جدول ۲-۱۷ اصلاح شود.

جدول ۲-۱۷- مقادیر اصلاح ضرایب نیروی برشی در پل‌های کج (طول به میلیمتر)

نوع عرشه - جدول ۲-۸	ضریب اصلاح	محدوده‌ی مجاز
a, e و k و همچنین i و j اگر اتصالات کافی برای عملکرد یکپارچه وجود داشته باشد	$1.0 + 0.20 \left(\frac{K_t^3}{K_g} \right)^{0.3} \tan \theta$	$0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ $1100 \leq S \leq 4900$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_b \geq 4$
d	$1.0 + \left(0.25 + \frac{L}{70d} \right) \tan \theta$	$0^\circ < \theta \leq 60^\circ$ $1800 < S \leq 4000$ $6000 \leq L \leq 73000$ $900 \leq d \leq 2700$ $N_c \geq 3$
b, c	$1.0 + \frac{\sqrt{Ld}}{6S} \tan \theta$	$0^\circ < \theta \leq 60^\circ$ $1800 < S \leq 3500$ $6000 \leq L \leq 43000$ $450 \leq d \leq 1700$ $N_b \geq 3$
f, g	$1.0 + \frac{L \sqrt{\tan \theta}}{90d}$	$0^\circ < \theta \leq 60^\circ$ $6000 \leq L \leq 37000$ $430 \leq d \leq 1500$ $900 \leq b \leq 1500$ $5 \leq N_b \leq 20$

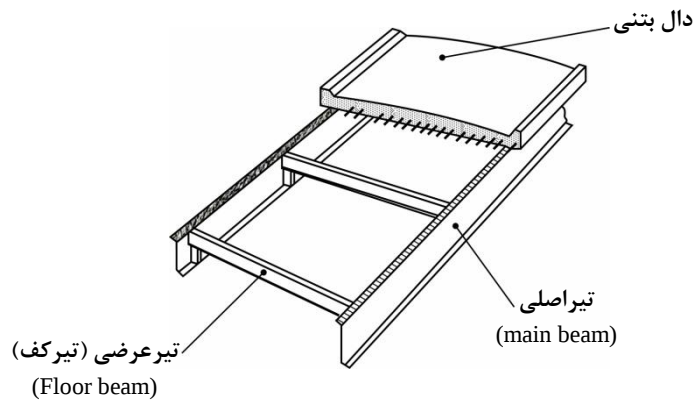
۲-۵-۷- عرشه سه عنصری

شکل ۲-۳ نشان دهنده پلان عرشه سه عنصری می‌باشد. در این نوع عرشه بار چرخ ابتدا به دال بتنی و سپس از طریق دال بتنی به تیرهای عرضی و سپس از طریق تیرهای عرضی به دو تیر اصلی کناری انتقال پیدا می‌کند. این نوع عرشه‌ها برای دهانه ۳۰ تا ۱۰۰ متر مناسب می‌باشند.

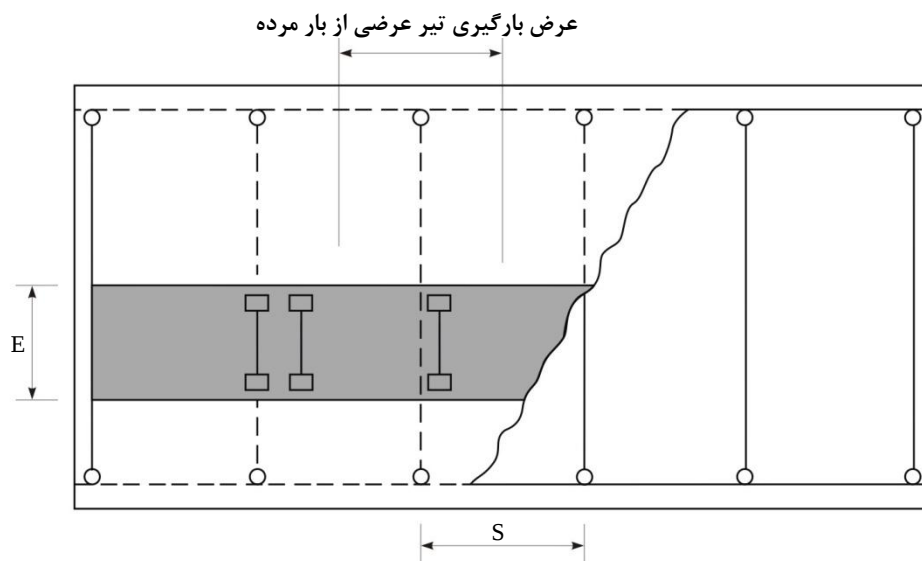
تیرهای عرضی و تیر اصلی می‌تواند از بتن مسلح و یا فولاد باشد.

۲-۵-۷-۱- طراحی دال بتن مسلح

طراحی دال بتن مسلح در این حالت، همانند طراحی دالی است که میلگردهای اصلی آن به موازات محور طولی پل می‌باشد، که در مورد آن در بخش مربوط به عرشه‌های یک عنصری بحث شد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۳- پلان عرشه سه عنصری



$$E = 0.12S + 2.45 \leq 4.2\text{m}$$

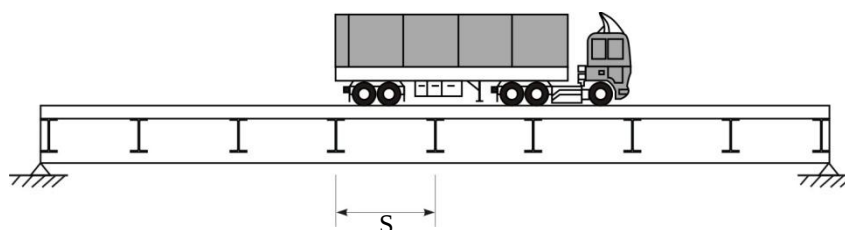
E = عرض موثر دال برای خط عبور دال مثل عرشه یک عنصری با دهانه S و به صورت پیوسته تحلیل می‌شود.

شکل ۲-۴- طراحی دال عرشه سه عنصری

۲-۷-۵-۲- تیرهای عرضی

تیرهای عرضی (شکل ۲-۵) به صورت تیرهای ساده‌ای می‌باشند، که به دو تیر حمال کناری تکیه دارند. در صورتی که فاصله تیرها عرضی کم باشد، چند تیر مجاور در حمل بار چرخ مشارکت خواهند نمود. دستورات آیین‌نامه آشتو در مورد توزیع بار چرخ در روی تیرهای عرضی به قرار زیر می‌باشد:

در محاسبات تیرهای عرضی کف پل، هیچ‌گونه توزیع عرضی برای بارهای چرخ در نظر نمی‌گیریم. اگر کف بتنی مستقیماً روی تیرهای عرضی قرار گیرد (مثل سیستم مورد بحث)، کسری از بار چرخ که به هر تیر اختصاص می‌یابد، $\frac{S}{1.83}$ می‌باشد که S فاصله تیرهای عرضی برحسب متر می‌باشد. اگر S از $1/83$ متر بیشتر گردد، بار وارد بر تیرهای عرضی عکس‌العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می‌آید. با توجه به این موضوع که تیر عرضی همانند یک تیر ساده عمل می‌کند، موقعیت نامساعد نیروها با استفاده از خط تاثیر و یا قضیه سری بارهای متمرکز به دست می‌آید.



سهم تیر عرضی از بار مرده، کلیه بارهای مرده‌ی واقع در محدوده‌ی عرض بارگیر شامل وزن بتن دال، آسفالت، و وزن خود تیر عرضی می‌باشد. برای بار زنده داریم:

$$S \leq 1.83\text{m} \rightarrow R = \frac{S}{1.83} \left(\frac{W}{2} \right)$$

$$S > 1.83\text{m} \rightarrow R = \text{روش تحلیل استاتیکی}$$

$$W = \text{وزن محور (۱۶ تن)}$$

$$\frac{W}{2} = \text{وزن چرخ کامیون (۸ تن برای چرخ عقب)}$$

$$R = \text{بار وارد بر تیر عرضی}$$

شکل ۲-۵- سهم تیر عرضی از بار چرخ

۲-۷-۵-۳- طراحی تیر اصلی

با رسم خطوط تاثیر نیروی برشی و لنگر خمشی تیر اصلی (و یا خطوط تاثیر نیروهای داخلی اعضای خرپا) و قراردادن بار زنده در موقعیت‌های بحرانی، مقادیر نیروهای طراحی تیر به دست می‌آیند.

۲-۵-۸- عرشه چهار عنصری

شکل ۲-۶ نشان دهنده پلان عرشه چهار عنصری می‌باشد. در این نوع عرشه‌ها بار چرخ ابتدا به دال بتنی و سپس از طریق آن به تیرهای طولی و سپس از طریق تیرهای طولی به تیرهای عرضی و در انتها از طریق تیرهای عرضی به دو تیر

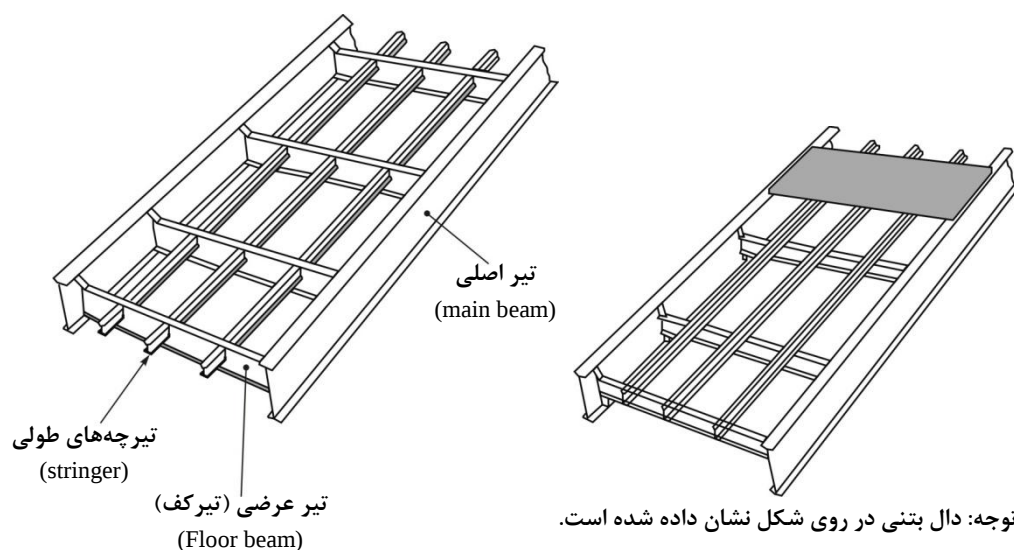
اصلی کناری انتقال پیدا می‌کنند. فرق این نوع عرشه با عرشه سه عنصری در این است که به واسطه وجود تیرهای طولی، ضخامت دال به طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند.

۲-۵-۸-۱- طراحی دال بتن مسلح

طراحی دال بتن مسلح در این حالت همانند طراحی دالی است، که میلگردهای اصلی آن عمود بر محور طولی پل می‌باشد که در مورد آن در بخش مربوط به عرشه دو عنصری صحبت شد.

۲-۵-۸-۲- طراحی تیرهای طولی

توزیع بار زنده در روی تیرهای طولی، همانند توزیع بار خط عبوری در روی تیرهای طولی عرشه دو عنصری است.



شکل ۲-۶- پلان عرشه چهار عنصری

۲-۵-۸-۳- طراحی تیرهای عرضی

روش تحلیل و طراحی تیرهای عرضی در عرشه چهار عنصری، همانند روش طراحی ارائه شده در عرشه سه عنصری می‌باشد.

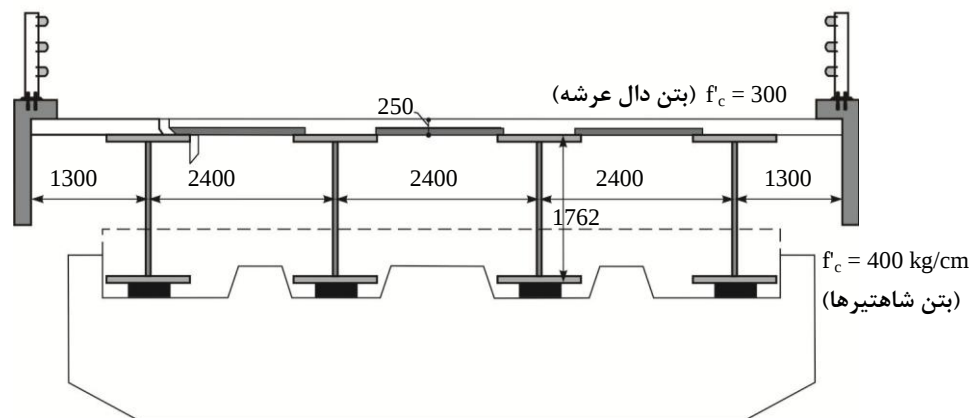
۲-۵-۸-۴- طراحی تیرهای اصلی

با رسم خطوط تاثیر نیروی برشی و لنگر خمشی برای تیر اصلی (با خطوط تاثیر نیروهای داخلی اعضای خرپا) و قراردادن بار زنده در موقعیت‌های بحرانی، مقادیر نیروهای طراحی تیر اصلی به دست می‌آیند.

پیوست فصل دوم

مثال ۱-۲

پلی با دهانه‌ی ساده‌ی $L = 39\text{m}$ و مقطع نشان داده شده در شکل ۷-۲ مفروض است. سهم تیر میانی را از بار خط عبور.



شکل ۷-۲- مربوط به مثال ۱-۲

با توجه به جدول ۸-۲، عرشه از نوع a می‌باشد و ضریب توزیع بار زنده وسیله نقلیه آشتو بر روی شاهتیر میانی، با استفاده از جدول شماره ۱۱-۲ برای لنگر و ۱۵-۲ برای برش حاصل می‌شود.

$$D_m = 0.075 + \left(\frac{S}{2900} \right)^{0.6} \left(\frac{S}{L} \right)^{0.2} \left(\frac{k_g}{Lt_s^3} \right)^{0.1} \quad (\text{توزیع خمش})$$

$$D_v = 0.2 + \frac{S}{3600} - \left(\frac{S}{10700} \right)^2 \quad (\text{توزیع برش})$$

S : بیانگر فاصله بین شاهتیرها بر حسب (mm)

L : طول تیر بر حسب (mm)

K_g : پارامتر نشان دهنده سختی طولی شاهتیر که از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$K_g = n(I + Ae_g^2)$$

که در آن:

$$n = \frac{E_{\text{girder}}}{E_{\text{deck}}} = \frac{2.1 \times 10^6}{15000 \sqrt{300}} = 8$$

I، ممان اینرسی شاهتیر،

$$I = 4.2 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

A، سطح مقطع شاهتیر

$$A = 986.5 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

و e_g بیانگر فاصله بین مراکز هندسی شاهتیر و دال عرشه می‌باشد.

$$e_g = (88.1 + 12.5) \times 10 = 1006 \text{ mm}$$

با توجه به نتایج بدست آمده،

$$k_g = 8(4.2 \times 10^{10} + 986.5 \times 10^2 \times (1006^2)) = 11.34 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

براساس مشخصات هندسی عرشه

$$S = 2400 \text{ mm}$$

$$L = 39000 \text{ mm} \text{ (طول دهانه)}$$

ضخامت اولیه دال عرشه برابر 25cm در نظر گرفته می‌شود،

$$t_s = 25 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{k_g}{Lt_s^3} \right)^{0.1} = \left(\frac{11.34 \times 10^{11}}{39000 \times 250^3} \right)^{0.1} = 1.064 \text{ (از جدول ۲-۱۰ مقدار تقریبی ۱/۰۲ بدست می‌آید.)}$$

ضریب توزیع لنگر خمشی برای شاهتیر میانی از بار یک خط عبور

$$D_m = 0.075 + \left(\frac{2400}{2900} \right)^{0.6} \times \left(\frac{2400}{39000} \right)^{0.2} \times 1.064$$

$$D_m = 0.075 + [0.89 \times 0.57 \times 1.064] = 0.62$$

ضریب توزیع نیروی برشی برای شاهتیر میانی از بار یک خط عبور

$$D_v = 0.2 + \frac{2400}{3600} - \left(\frac{2400}{10700} \right)^2 = 0.2 + 0.667 - 0.05 = 0.82$$

فصل ۳

اعضای کشتی

۳-۱-۱- قسمت ۱- کلیات

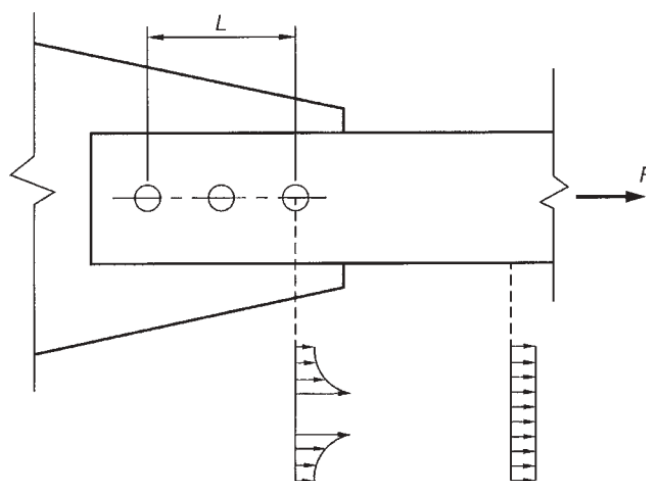
۳-۱-۱- معرفی

اعضای کششی در مهندسی پل شامل؛ یال‌های کششی خرپاها، قطری‌های کششی خرپاها، آویزهای پل‌های قوسی، انواع مهاربندی‌ها برای یال فشاری خرپاها، بال فشاری تیروورق‌ها، و دیافراگم کف‌ها می‌باشند.

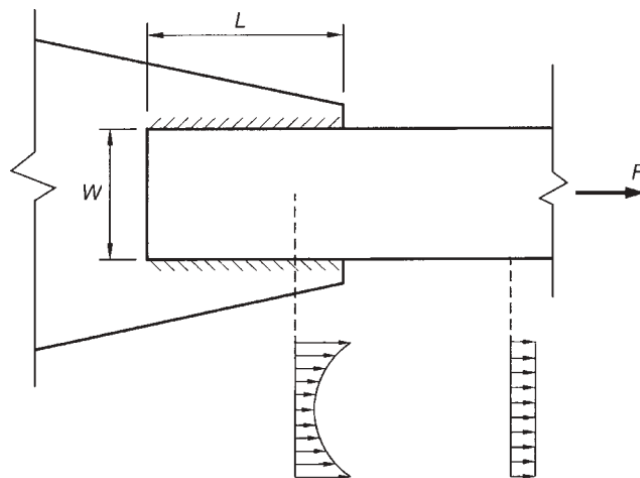
۳-۱-۲- اتصال اعضای کششی

در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ دو نوع اتصال پیچی و جوشی اعضای کششی نشان داده شده است. در صورت استفاده از اتصال پیچی، وجود سوراخ باعث کاهش سطح مقطع و از طرف دیگر باعث تمرکز تنش و افزایش موضعی تنش‌های کششی می‌شود. در فاصله‌ای حدود ۲ تا ۳ برابر بعد عضو، تمرکز تنش حذف شده و تنش یکنواخت برقرار می‌شود. با افزایش تنش در لبه‌های سوراخ و تسلیم فولاد در آن ناحیه، در بارهای فراتر از حد ارتجاعی، تنش تسلیم یکنواخت در نواحی سوراخ‌دار تشکیل می‌شود.

در صورت استفاده از اتصال جوشی، کاهش مقطع به علت عدم وجود سوراخ نخواهیم داشت، البته توزیع تنش در مقطع قدری غیریکنواخت و در مجاورت جوش‌ها تمرکز تنش وجود دارد، که با اندکی فاصله از اتصال، توزیع تنش یکنواخت می‌شود.



شکل ۳-۱- اتصال پیچی عضو کششی و تمرکز تنش در اطراف سوراخ



شکل ۳-۲- اتصال جوشی عضو کششی و تمرکز تنش در مجاورت جوش

۳-۱-۳- 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 دو بال منهای ضخامت بال.

۳-۱-۴- سطح مقطع خالص

سطح مقطع خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصلضرب‌های پهنای خالص اجزا در ضخامت نظیر آنها می‌باشد. 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،

(شکل ۳-۳)، برای محاسبه پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی، مجموع قطرهای مسیر زنجیره را کم

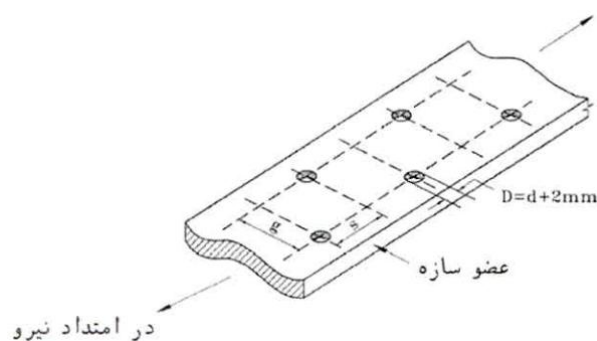
و به آن به ازای هر مسیر قطری، یک مرتبه جمله‌ی $S^2/4g$ را اضافه کرد که در آن:

S = گام طولی پیچ‌ها (فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های 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 مسیر زنجیره‌ی مربوطه، حداقل پهنای خالص را به دست دهد.



شکل ۳-۳- آرایش یکدرمیان پیچ‌ها

۳-۱-۵- سطح مقطع موثر

- ۱- در صورتی که بار بصورت مستقیم، توسط وسایل اتصال، به هر یک از عناصر تشکیل دهنده‌ی مقطع منتقل شود، سطح مقطع موثر (A_e) برابر سطح مقطع خالص (A_n) در نظر گرفته می‌شود.
- 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 به دست می‌آید.

$$A_e = U A_n R_p \quad (۱-۱-۳)$$

که در آن:

$$A_n = \text{سطح مقطع خالص}$$

$$U = \text{ضریب کاهش}$$

R_p = ضریب نوع اجرای سوراخ مساوی ۰/۹ برای سوراخی که بطور تمام اندازه با دستگاه پانچ اجرا می‌شود و مساوی ۱ برای سوراخی که توسط دریل اجرا می‌شود.

- 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 می‌آید:

$$A_e = U A_g \quad (۲-۱-۳)$$

که در آن:

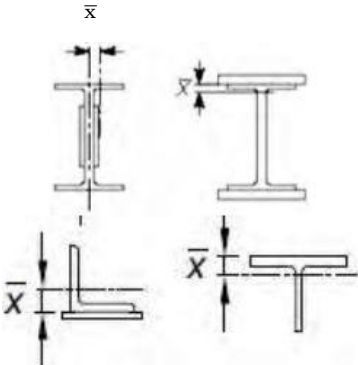
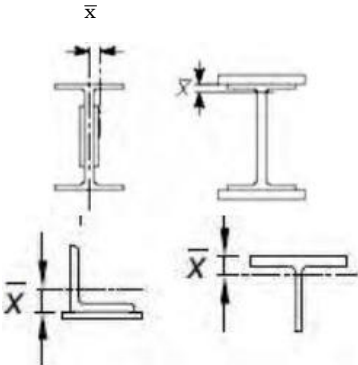
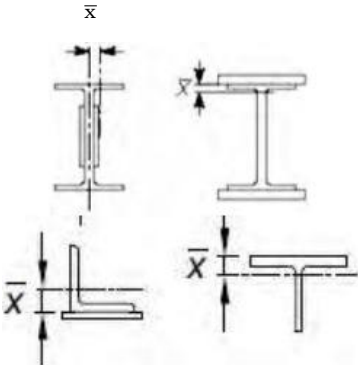
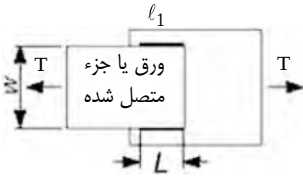
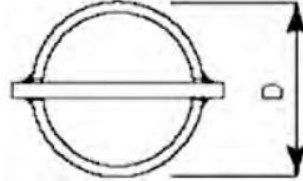
$$A_g = \text{سطح مقطع کلی}$$

مقادیر و روابط U در جدول ۳-۱ و پارامترهای لازم برای محاسبه‌ی U در شکل ۳-۴ ارائه شده است.

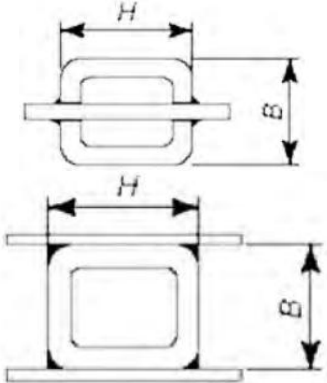
۳-۱-۶- لاغری اعضای کششی

لاغری حداکثر اعضای کششی (L/r_{min}) مطابق جدول ۳-۲ می‌باشد. L طول آزاد عضو کششی و r_{min} شعاع ژیراسیون حداقل مقطع عضو کششی می‌باشد. این محدودیت به منظور جلوگیری از افتادگی عضو می‌باشد.

جدول ۳-۱- مقادیر ضریب تاخیر U

حالت	شرح	ضریب تاخیر برش، U	مثال‌های نمونه
۱	کلیه‌ی اعضای کششی که در آن‌ها بار به وسیله‌ی پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه‌ی اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۴، ۵ و ۶).	$U = 1$	
۲	کلیه‌ی اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آن‌ها بار به وسیله‌ی پیچ یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد. برای مقاطع I شکل نوردشده و سپری T بریده شده از آن‌ها و نیز نیمرخ‌های I شکل بال‌پهن، استفاده از مقادیر حالت ۷ این جدول نیز مجاز است. همچنین برای نبشی‌ها استفاده از حالت ۸ این جدول نیز مجاز است.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\ell}$	
۳	کلیه‌ی اعضای کششی که در آن‌ها بار به وسیله‌ی فقط جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1$ سطح مقطع قسمت (یا قسمت‌های) اتصال یافته	
۴	ورق‌ها (تسمه‌های کششی)، نبشی‌ها، ناودانی‌ها و مقاطع I شکل با قطعات متصل شونده که در آن‌ها نیروی کششی فقط از طریق جوش‌های طولی در دو لبه‌ی موازی (در انتهای قطعه) منتقل می‌شود.	$U = \frac{(3\ell^2)}{(3\ell^2 + W^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{\ell}\right)$ مقدار $\bar{x}$ براساس حالت ۲ این جدول تعیین می‌شود.	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$\ell \geq 1.3D \Rightarrow U = 1.0$ $D \leq \ell < 1.3D \Rightarrow U = 1 - \frac{\bar{x}}{\ell}$	

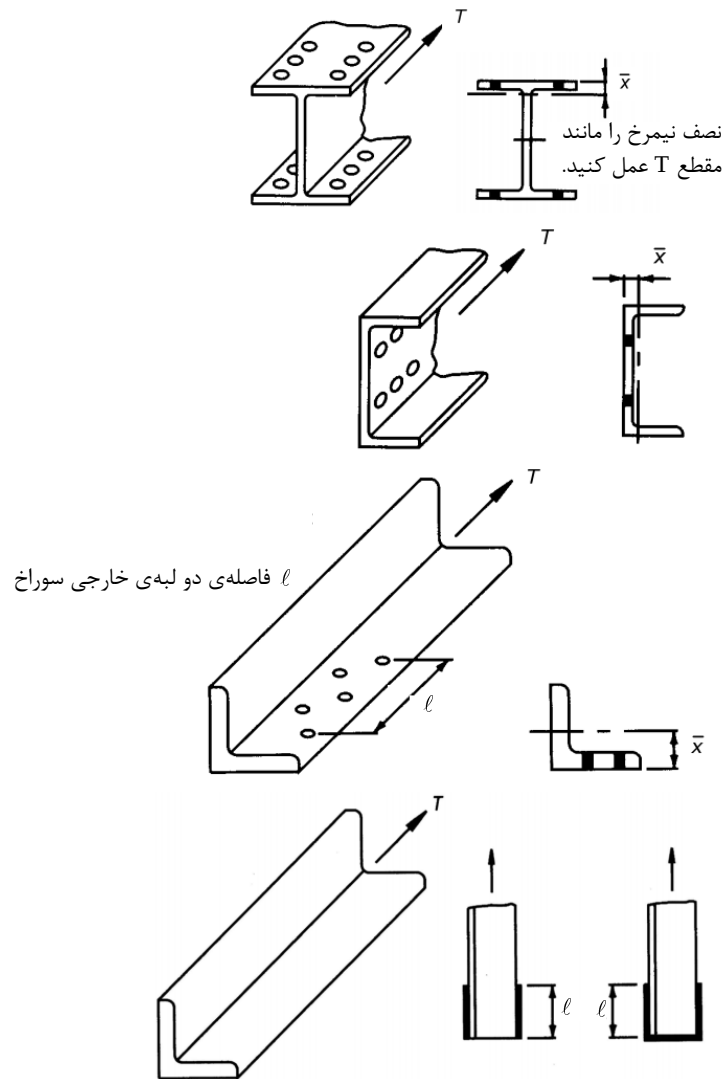
جدول ۳-۱- (ادامه) - مقادیر ضریب تاخیر U

حالت	شرح	ضریب تاخیر برش، U	مثال های نمونه
۶	چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم محور صورت گیرد که در آن طول جوش ها نباید از H کمتر باشد.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\ell}$ $\bar{x} = b - \frac{2b^2 + tH - 2t^2}{2H + 4b - 4t}$ $\ell \geq H$	 $b_f =$ عرض بال $d =$ ارتفاع کلی مقطع برای نیمرخ T مساوی ارتفاع کلی مقطعی که T از آن بریده شده است.
۷	چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه مقابل صورت گیرد که در آن طول جوش ها نباید از H کمتر باشد.	$U = \left(\frac{3\ell^2}{3\ell^2 + H^2} \right) \left(1 - \frac{\bar{x}}{\ell} \right)$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	
۸	در نیمرخ های I نورد شده و سپری T بریده شده از آن ها و همچنین نیمرخ های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگ تر از حالت ۲ این جدول مجاز است (بزرگ ترین مقدار به دست آمده از حالت ۲ و این حالت به عنوان مقدار U در نظر گرفته می شود).	$b_f \geq \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.9$ $b_f < \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.85$	
	در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال ها برقرار شده و حداقل سه وسیله ی اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.7$	
	چنانچه حداقل چهار وسیله ی اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.8$	
	چنانچه سه وسیله ی اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو موجود باشد. اگر تعداد وسیله ی اتصال در هر ردیف در امتداد تاثیر نیرو کمتر از ۳ باشد، آنگاه مقدار U باید از طریق حالت ۲ این جدول تعیین شود.	$U = 0.6$	

در این جدول:

ℓ = طول اتصال در امتداد نیرو، مساوی فاصله ی اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی
 [۱] $\bar{x}$ = خروج از مرکزیت اتصال (فاصله ی عمودی مرکز اتصال تا مرکز هندسی بخشی از عضو که نیروی آن توسط این اتصال منتقل می گردد).

[۲] $\ell = \frac{\ell_1 + \ell_2}{2}$ که در آن، ℓ_1 و ℓ_2 نباید از ۴ برابر بعد جوش کمتر باشد.



شکل ۳-۴- تعیین $\bar{x}$ و l در محاسبه‌ی تاخیر برشی و ضریب کاهش U

جدول ۳-۲- مقادیر حداکثر لاغری اعضای کششی

حداکثر (L/r)	عضو کششی
140	اعضای اصلی تحت تنش‌های معکوس (نیروهای رفت و برگشتی)
200	غیرتحت تنش‌های معکوس
240	اعضای مهاربندی

۲-۳-۲- قسمت ۲- طراحی به روش تنش مجاز

۲-۳-۱- 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.

۲-۳-۲- مقاومت کششی مجاز

مقاومت کششی مجاز عضو کششی کوچکترین دو مقدار زیر می‌باشد:

معیار تسلیم:

$$P = (0.55F_y) A_g \quad (۲-۳-۱)$$

معیار گسیختگی:

$$P = (0.46F_u) A_e \quad (۲-۳-۲)$$

که در روابط فوق:

A_g = سطح مقطع کلی

A_e = سطح مقطع خالص موثر (رابطه‌ی ۱-۳-۱ و ۲-۳-۱)

۲-۳-۳- اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ و ورق

۲-۳-۳-۱- 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 دارند، ۱۴ برابر ضخامت نازکترین ورق یا ۱۸۰ میلیمتر.

۲-۳-۳-۲- در اعضای کششی که از دو (یا تعداد بیشتری) نیمرخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصله محور 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.

۲-۳-۳-۳- 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 حداکثر هر یک از عناصر تشکیل دهنده در فاصله آزاد از $\frac{3}{4}$ لاغری حداکثر مندرج در جدول ۲-۳ تجاوز نکند.

۳-۲-۳-۴- در اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ، به کار بردن 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 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 $\frac{1}{8}$ فواصل یاد شده یا ۸ میلیمتر، کمتر شود. فاصله محوره به محور 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 حداکثر هر یک از عناصر کششی متصل شده بین این قیدها، از $\frac{3}{4}$ لاغری حداکثر مندرج در جدول ۲-۳ بیشتر نشود.

۳-۲-۴- اعضای کششی با اتصال لولایی

۳-۲-۴-۱- 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:

$$F_p = 0.8F_y \quad (\text{اتصال لولایی بدون دوران}) \quad F_p = 0.4F_y \quad (\text{اتصال لولایی با دوران}) \quad (3-2-3)$$

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 ۳-۲-۴-۳ را داشته باشند، تنش مجاز برابر $0.55F_y$ بر سطح مقطع تسمه در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۴-۲- تسمه با عرض ثابت با اتصال لولایی

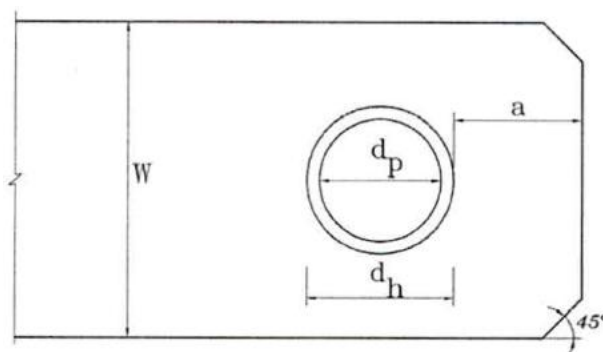
حداقل سطح مقطع خالص بعد از سوراخ پین (که موازی محور عضو کششی در نظر گرفته می‌شود)، نباید از $\frac{2}{3}$ سطح مقطع عرضی باقیمانده در محل سوراخ، کمتر شود.

$$a \geq \frac{2}{3}(w - d_h) \quad (4-2-3)$$

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.

$$d_h \leq d_p + 2^{mm} \quad (۵-۲-۳)$$

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 ۳-۵- تسمه با عرض ثابت

۳-۴-۲-۳- 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.

$$\frac{2}{3}W \leq b \leq 0.75W \quad (۶-۲-۳)$$

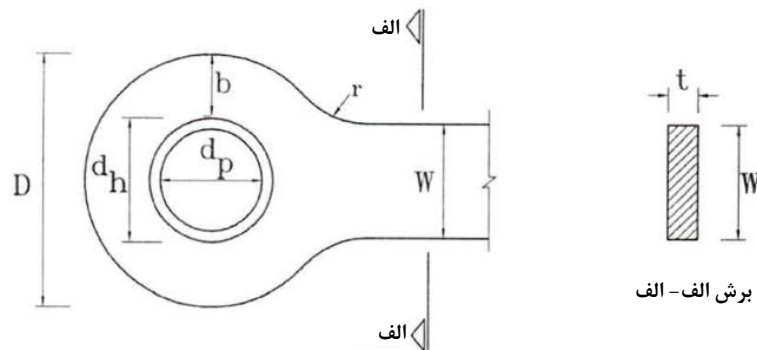
قطر پین نباید از $\frac{7}{8}$ برابر عرض تسمه کمتر باشد.

$$d_p \geq \frac{7}{8}W \quad (۷-۲-۳)$$

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

$$d_h \leq d_p + 2^{mm} \quad (۸-۲-۳)$$

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 ۳-۶- تسمه سرپهن

۳-۳- قسمت ۳- طراحی به روش LRFD

۳-۳-۱- مقاومت کششی

مقاومت کششی ضریبدار عضو کششی کوچکترین دو حالت زیر می‌باشد:

(الف) حالت حدی تسلیم

$$P_r = \phi_y P_{ny} = \phi_y F_y A_g$$

(۱-۳-۳)

که در آن:

$$\phi_y = \text{ضریب مقاومت تسلیم مساوی } 0.95$$

$$P_{ny} = \text{مقاومت کششی اسمی تسلیم در مقطع کل}$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم}$$

(ب) حالت حدی گسیختگی

$$P_r = \phi_u P_{nu} = \phi_u F_u A_e$$

(۲-۳-۳)

که در آن:

$$\phi_u = \text{ضریب مقاومت گسیختگی کششی مساوی } 0.8$$

$$P_{nu} = \text{مقاومت کششی اسمی گسیختگی در مقطع خالص}$$

$$F_u = \text{تنش گسیختگی کششی}$$

$$A_e = \text{سطح مقطع خالص موثر}$$

برای اتصالات پیچی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$A_e = U A_n R_p$$

(۳-۳-۳)

که در آن:

$$A_n = \text{سطح مقطع خالص}$$

R_p = ضریب نوع اجرای سوراخ مساوی ۰/۹ برای سوراخی که بطور تمام اندازه با دستگاه پانچ اجرا می‌شود و مساوی ۱ برای سوراخی که توسط دریل اجرا می‌شود.

$$U = \text{ضریب کاهش به علت تاخیر برشی}$$

برای اتصالات جوشی سطح مقطع خالص موثر A_e برابر است با:

$$A_e = UA_g \quad (۴-۳-۳)$$

که در آن:

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی}$$

در حالت بررسی حالت حدی تسلیم، نیازی به منظور کردن U نمی‌باشد.

۳-۳-۲- ضریب کاهش U

اگر در محل اتصال تمام اجزای مقطع (شامل بال و جان) توسط ورق وصله، متصل شده باشند، ضریب کاهش U مساوی ۱ است. لیکن اگر قسمت‌های متصل نشده داشته باشیم، ضریب U کوچکتر از ۱ خواهد بود. مقادیر ضریب کاهش U برای حالات مختلف در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

۳-۳-۳- اعضای ساخته شده از چند نیمرخ

اعضای کششی می‌تواند متشکل از نیمرخ‌هایی باشد که به کمک ورق‌های سراسری (با و بدون سوراخ) و بست‌های موازی و یا مورب باشد. جوش‌های اتصالی بین ورق‌ها و نیمرخ‌ها باید پیوسته باشد. در این حالت رعایت مفاد ۳-۲-۳ ضروری است.

۳-۳-۴- اعضای کششی با اتصال لولایی

۳-۴-۱- تنش‌های حدی

تنش حدی در مقطع باقیمانده در محل سوراخ پین در قطعه‌ی کششی نباید از $0.675F_y$ تجاوز کند که F_y تنش تسلیم فولاد می‌باشد.

تنش فشاری تماسی در سطح تصویر شده‌ی پین (حاصلضرب قطر در طول تماس) نباید از مقادیر زیر تجاوز کند.

$$F_p = 1.2F_y \quad (\text{اتصال لولایی بدون دوران})$$

$$F_p = 0.6F_y \quad (\text{اتصال لولایی با دوران}) \quad (۵-۳-۳)$$

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

۳-۴-۳-۳- تسمه با عرض ثابت با اتصال لولایی

کلیه‌ی تناسبات مثل بند ۳-۴-۲-۳ و شکل ۳-۵ می‌باشد.

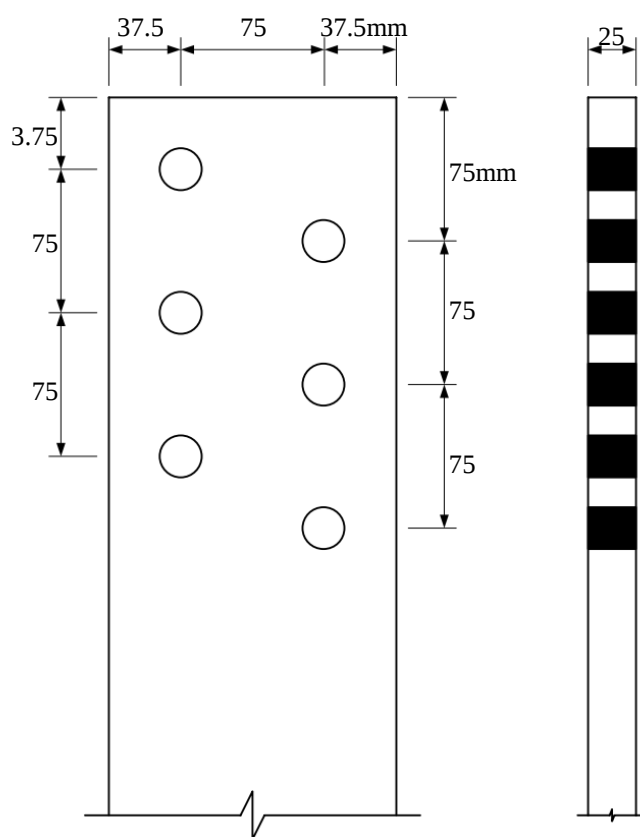
۳-۴-۳-۳- تسمه‌های سرپهن با اتصال لولایی

کلیه‌ی تناسبات مثل بند ۳-۴-۲-۳ و شکل ۳-۶ می‌باشد.

پیوست فصل سوم

مثال ۱-۳

تسمه ی نشان داده شده در شکل به عنوان عضو کششی مورد استفاده قرار گرفته است که نیروی کششی نهایی آن $P_u = 90 \text{ ton}$ و طول آن $1/2$ متر می باشد. قطر پیچ ها 22 میلیمتر و قطر سوراخ 24 میلیمتر است. با فرض $F_u = 4550 \text{ kg/cm}^2$ و $F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ کفایت عضو را کنترل کنید.



شکل مثال ۱-۳

حل:

کنترل لاغری حداقل:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{bt^3}{12bt}} = \sqrt{\frac{t^2}{12}} = 0.72 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{120}{0.72} = 166.7$$

چون $140 < L/r_{\min} < 200$ می باشد، عضو نباید تحت تنش های معکوس قرار گیرد.

محاسبه‌ی مقاومت کششی

تسلیم مقطع کل:

$$P_n = F_y A_g = 15 \times 2.5 \times 3500 \times 10^{-3} = 131.25 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.95)(131.25) = 124.7 \text{ ton}$$

گسیختگی مقطع خالص:

$$P_n = F_u A_e = F_u U A_n$$

$$A_n = \left[15 - 2 \times 2.4 + \left(\frac{3.75^2}{4 \times 7.5} \right) \right] (2.5) = 26.67 \text{ cm}^2$$

$$P_n = (4550)(1.00)(26.67)10^{-3} = 121.4 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.80)(121.4) = 97 \text{ ton} > 90$$

پس عضو رضایت‌بخش است.

مثال ۲-۳

عضو کششی به طول ۲/۵۵ متر با مقطع ناودانی نشان داده شده در شکل مفروض است. قطر پیچ ۲۲ میلیمتر با سوراخ ۲۴ میلیمتر می‌باشد. مطلوبست تعیین ظرفیت کششی عضو.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2 \text{ و } F_u = 4550 \text{ kg/cm}^2$$

حل:

کنترل لاغری:

$$r_{\min} = 1.94 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{255}{1.94} = 131 < 140$$

مقاومت کششی تسلیم:

$$P_n = F_y A_g = (3500)(56.84)10^{-3} = 199 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.95)(199) = 189 \text{ ton}$$

گسیختگی مقطع خالص:

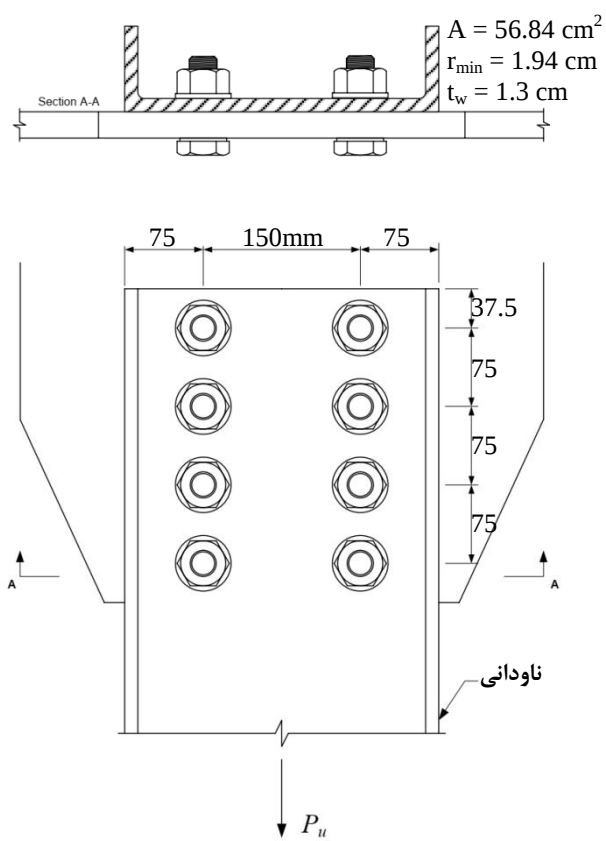
$$P_n = F_u A_e = F_u U A_n$$

$$A_n = 56.84 - 2 \times 2.4 \times 1.3 = 50.6 \text{ cm}^2$$

$$U = 0.85$$

$$P_n = 4550 \times 0.85 \times 50.6 \times 10^{-3} = 195.7 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = 0.8 \times 195.7 = 156.6 \text{ ton} \quad (\text{حاکم است})$$



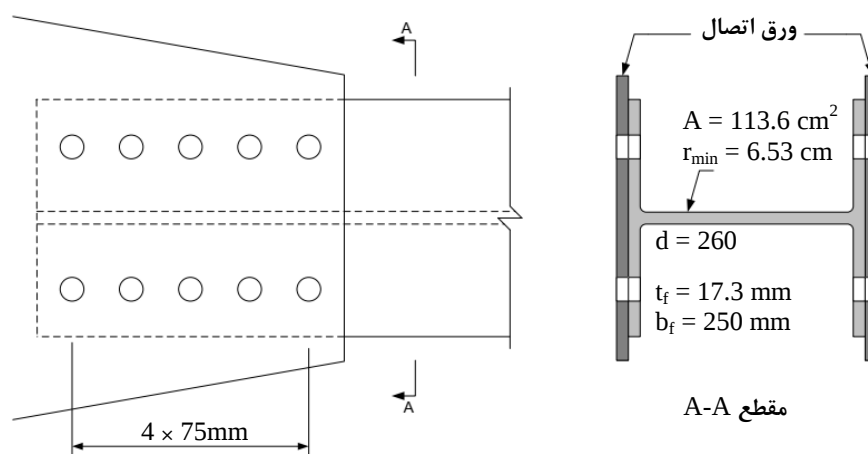
شکل مثال ۲-۳

مثال ۳-۳

عضو کششی به طول ۸ متر و مقطع بال پهن نشان داده شده مفروض است. پیچ‌ها از نوع M20 و سوراخ ۲۲ میلیمتر می‌باشند. داریم:

$$F_u = 4550 \text{ kg/cm}^2 \text{ و } F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

مطلوبست تعیین ظرفیت کششی عضو.



شکل مثال ۳-۳

حل:

کنترل لاغری:

$$r_{\min} = 6.53 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{800}{6.53} = 122.5 < 140$$

مقاومت تسلیم:

$$P_n = F_y A_g = (3500)(113.6) \times 10^{-3} = 397.6 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.95)(397.6) = 377.7 \text{ ton}$$

گسیختگی مقطع خالص:

$$P_n = F_u A_e = F_u U A_n$$

$$A_n = 113.6 - 4 \times 2.2 \times 1.73 = 98.4 \text{ cm}^2$$

کنترل نسبت b_f/d برای تعیین U:

$$b_f \geq \frac{2}{3}d \quad \dots \quad (250) \geq \left(\frac{2}{3}\right)(260) = 173 \text{ mm}$$

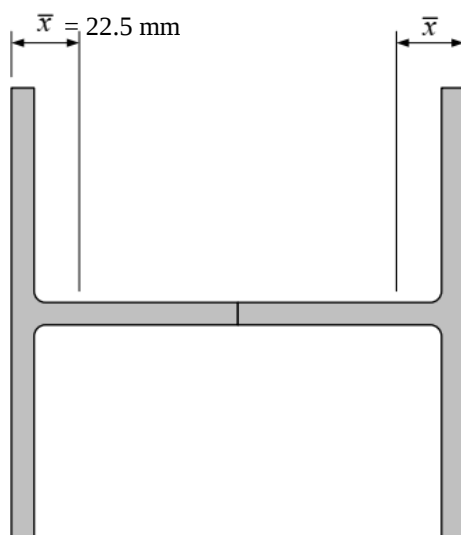
تعداد پیچ‌های هر ردیف نیز مساوی یا بیش از ۳ می‌باشد. پس نتیجه می‌شود:

$$U = 0.90$$

$$P_n = 4550 \times 0.9 \times 98.4 \times 10^{-3} = 403 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.80)(403) = 322.4 \text{ ton} \quad (\text{حاکم است})$$

محاسبه ی U با استفاده از روابط جدول ۱-۳



$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{2.25}{30} = 0.925$$

قدری از ۰/۹ بزرگتر است.

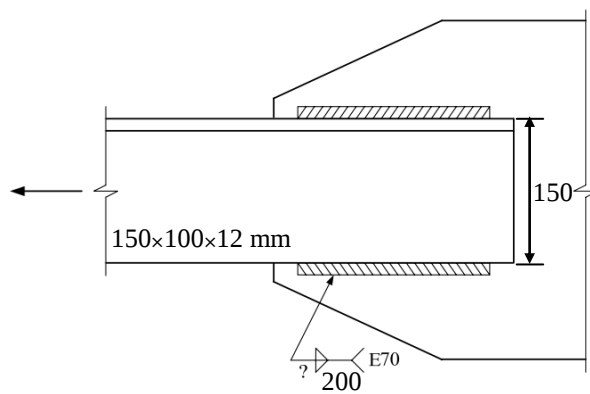
$\bar{x}$ = فاصله سطح خارجی بال تا مرکز هندسی مقطع سپری (T) که نصف مقطع کامل می باشد.

L = طول اتصال

مثال ۳-۴

مطلوبست تعیین ظرفیت کششی نبشی نشان داده شده در شکل. طول عضو ۵ متر می باشد و داریم:

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ و } F_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$$



شکل مثال ۳-۴

حل:

کنترل لاغری:

$$r_{\min} = r_z = 2.2 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} = \frac{500}{2.2} = 227 \leq 240$$

محاسبه‌ی مقاومت کششی طرح

معیار تسلیم

$$P_n = F_y A_g = 2400 \times 30 \times 10^{-3} = 72 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = 0.95 \times 72 = 68.4 \text{ ton}$$

معیار گسیختگی:

$$P_n = F_u A_e = F_u U A_n$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{2.5}{20} = 0.875$$

$$P_n = 3700 \times 0.875 \times 30 \times 10^{-3} = 97.1 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = 0.8 \times 97.1 = 77.7 \text{ ton}$$

معیار تسلیم حاکم است.

فصل ۴

I اعضای خمشی با مقطع

۴-۱-۱- قسمت ۱- کلیات

۴-۱-۱- معرفی

این فصل به خمش تیرهای نورد شده یا ساخته شده‌ی مستقیم، منحنی در پلان یا صفحه‌ی قائم با مقطع I متقارن نسبت به محور قائم اختصاص دارد. ضوابط این بخش شامل نیمرخ‌های غیرمختلط (فولادی)، ضوابط عمومی نیمرخ‌های مختلط*، غیردوگانه و دوگانه، جان با ارتفاع ثابت و متغیر و کمانش جانبی بال فشاری می‌شود. این فصل در سه قسمت، ۱. کلیات، ۲. طراحی به روش تنش مجاز و ۳. طراحی به روش LRFD، ارائه می‌شود و مشتمل است بر:

- تناسبات ابعادی و مشخصات هندسی مقطع
- ضوابط اجرایی
- ضوابط بهره‌برداری
- ضوابط خستگی
- حالت‌های حدی مقاومت
- مقاومت برشی جان
- طراحی سخت‌کننده‌های عرضی میانی
- طراحی سخت‌کننده‌های طولی

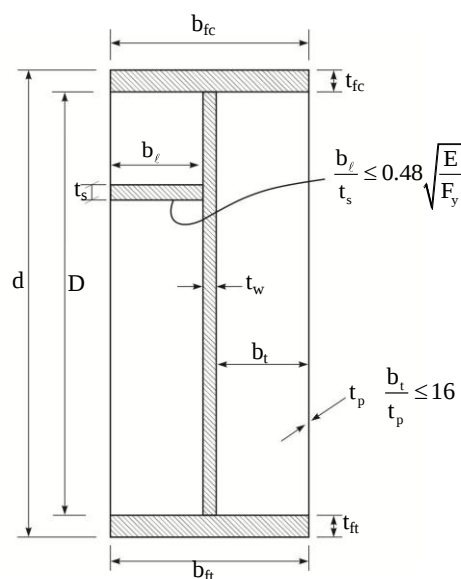
۴-۱-۲- تناسبات ابعادی

تناسبات ابعادی مقطع تیرورق فولادی

نسبت‌های زیر لازم است در تناسبات ابعادی مقطع تیر فولادی رعایت شود:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 12 \quad (\text{بال کششی یا فشاری})$$

(۴-۱-۱)



*- ضوابط خاص نیمرخ‌های مختلط در فصل پنجم مورد توجه قرار می‌گیرد.

بال:

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \leq \lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۷-۱-۴)$$

$F_{yc} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	λ_{pF}
2400	10.8
3600	9.2

جان:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq \lambda_{pw(D_{cp})} \quad (۸-۱-۴)$$

$$\lambda_{pw(D_{cp})} = \frac{\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{R_h M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_{rw} \left(\frac{D_{cp}}{D_c}\right) \quad (۹-۱-۴)$$

$$\lambda_{rw} = 4.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq \lambda_{rw} = \left(3.1 + \frac{5}{\alpha_{wc}}\right) \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۱۰-۱-۴)$$

 D_c = ارتفاع ناحیه ی فشاری جان در حالت الاستیک D_{cpc} = ارتفاع ناحیه ی فشاری جان در حالت خمیری (پلاستیک) M_y = لنگر تسلیم و مساوی کوچکترین $M_{yc} = S_c F_y$ و $M_{yt} = S_t F_y$ R_h = ضریب کاهش دوگانگی (رابطه ۴-۳-۹) M_p = لنگر خمیری

$$\alpha_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}$$

ضرایب پلاستیک (خمیری) بصورت زیر تعریف می شوند.

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (\text{برای بال فشاری})$$

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}}$$

 M_p = لنگر پلاستیک (خمیری)

M_{yc} = لنگر تسلیم نسبت به بال فشاری مساوی $S_c F_y$

M_{yt} = لنگر تسلیم نسبت به بال کششی مساوی $S_t F_y$

نسبت M_p/M_y برای مقطع I متقارن نسبت به محور x مساوی ۱/۱۲ می‌باشد. برای چنین مقطعی $\lambda_{pw(D_{cp})}$ و λ_{rw} بصورت زیر در می‌آید.

F_{yc}	$\lambda_{pw(D_{cp})}$	λ_{rw}
2400	113	138
3500	92	112

۴-۱-۴- مقاطع غیرفشرده

مقاطع غیرفشرده، مقاطعی هستند که لاغری اجزای آن بیش از مقادیر مربوط به فشرده و کوچکتر از مقادیر حدی زیر است.

بال:

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \leq \lambda_{rf} = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (۱۱-۱-۴)$$

$$F_{yr} = \min(0.7F_{yc}, F_{yw}) > 0.5F_{yc}$$

$F_{yc} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ و } F_{yr} = 0.7F_{yc}$	λ_{rf}
2400	19.80
3500	16.40

جان:

$$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} \quad (۱۲-۱-۴)$$

$F_{yw} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	λ_{rw}
2400	168.6
3500	139.6

F_{yc} = تنش تسلیم بال فشاری

F_{yw} = تنش تسلیم جان

۴-۱-۵- مقاطع دوگانه

مقاطع دوگانه به دو دسته‌ی (الف) جان با مقاومت کمتر و (ب) بال با مقاومت کمتر طبقه‌بندی می‌شوند.

در حالت (الف)، مقاومت تسلیم حداقل مقرر ورق جان نباید کمتر از ۷۰ درصد مقاومت تسلیم حداقل مقرر ورق بال و ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد.

در حالت (ب) برای تیر ورق‌هایی که مقاومت ورق جان آنها از یک یا هر دو بال بزرگتر است، در تعیین مقاومت خمشی و برشی، مقاومت تسلیم جان نباید بزرگتر از ۱/۲ برابر مقاومت تسلیم حداقل مقرر بال با مقاومت کمتر شود. در مقاطع دوگانه مختلط در خمش مثبت با فولاد قوی‌تر جان نسبت به بال فشاری (حالت ب)، در تعیین مقاومت خمشی و برشی تیر، می‌توان از مقاومت کامل جان استفاده نمود.

۴-۱-۶- تیرها با ارتفاع متغیر

در محاسبات خمش حول محور قوی مقطع I، در تعیین تنش بال شیبدار پایینی، اثر شیب بال باید منظور شود. با حفظ تعادل استاتیکی می‌توان از برش جان، مولفه‌ی قائم نیروی بال را کسر نمود. در محل تغییر شیب بال تحتانی، اثر مولفه‌ی قائم نیروی بال و انتقال این نیرو به جان باید با تعبیه سخت‌کننده‌های جان، مورد بررسی قرار گیرد.

$$P_h = MA_f / S_x = \text{مولفه‌ی افقی نیروی بال}$$

که در آن:

$$A_f = \text{مساحت بال شیبدار}$$

$$M = \text{لنگر خمشی حول محور قوی } x$$

$$S_x = \text{اساس ارتجاعی نسبت به بال شیبدار}$$

تنش عمود بر سطح بال شیبدار:

$$f_h = \frac{P_h}{A_f \cos \theta}$$

که در رابطه‌ی فوق:

$$\theta = \text{زاویه‌ی شیب بال شیبدار}$$

مولفه قائم برابر است با:

$$P_v = P_h \tan \theta$$

۴-۱-۷- سختی

در محاسبات مربوط به خمش از سختی‌های زیر استفاده می‌شود:

- برای بارهای وارد به مقاطع غیرمختلط، از مشخصات مقطع فولادی استفاده شود.

- برای بارهای دائمی که بر مقطع مختلط اعمال می‌شوند، از مشخصات سختی مقطع مختلط درازمدت استفاده می‌شود، با این فرض که دال بتنی در تمام طول دهانه موثر است.
 - برای بارهای غیردائمی (عبوری) که بر مقطع مختلط عمل می‌کنند، از مشخصات سختی مقطع مختلط کوتاه‌مدت استفاده می‌شود، با این فرض که دال بتنی در تمام طول دهانه موثر است.
- از مشخصات سختی فوق می‌توان برای مدلسازی شبکه‌های عرشه پل استفاده نمود. برای سختی پیچشی باید به بخش مربوطه مراجعه شود.

۴-۱-۸- اثر سوراخ در بال کششی

در کنترل اعضای خمشی برای حالت حدی مقاومت یا توالی اجرا، رابطه‌ی زیر باید در بال کششی دارای سوراخ پیچ، اقلاناع گردد.

$$f_t \leq 0.84 \left(\frac{A_n}{A_g} \right) F_u \leq F_{yt} \quad (۴-۱-۱۳)$$

که در رابطه‌ی فوق:

A_n = سطح مقطع خالص بال کششی

A_g = سطح مقطع کلی بال کششی

f_t = تنش در مقطع کلی بال کششی تحت بارهای ضریبدار بدون توجه به خمش جانبی بال

F_u = تنش نهایی مصالح

۴-۱-۹- ورق‌های تقویتی بال

۴-۱-۹-۱- 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.

۴-۱-۹-۲- ضخامت ورق تقویتی تک نباید از دو برابر ضخامت بالی که بدان متصل می‌شود بزرگتر گردد. (توصیه می‌شود از ضخامت بال تجاوز کند) استفاده از چند ورق تقویتی مجاز نمی‌باشد.

۴-۱-۹-۳- در صورتی که 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.

۴-۱-۹-۴- ورق‌های تقویتی که در تمام طول تیر ادامه ندارند، باید بعد از نقطه قطع محاسباتی^۱، به اندازه‌ی a ادامه یابند به طوری که در این طول اضافی، اتصال کامل بین ورق و بال برقرار باشد. اتصال (جوش یا پیچ اصطکاکی) در این

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

قسمت، باید قادر باشد که با نیروی حاصل از خمش در ورق تقویتی در نقطه قطع تئوریک مقابله کند و نیازهای خستگی را برآورده نماید. در تیرورق‌های 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 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:

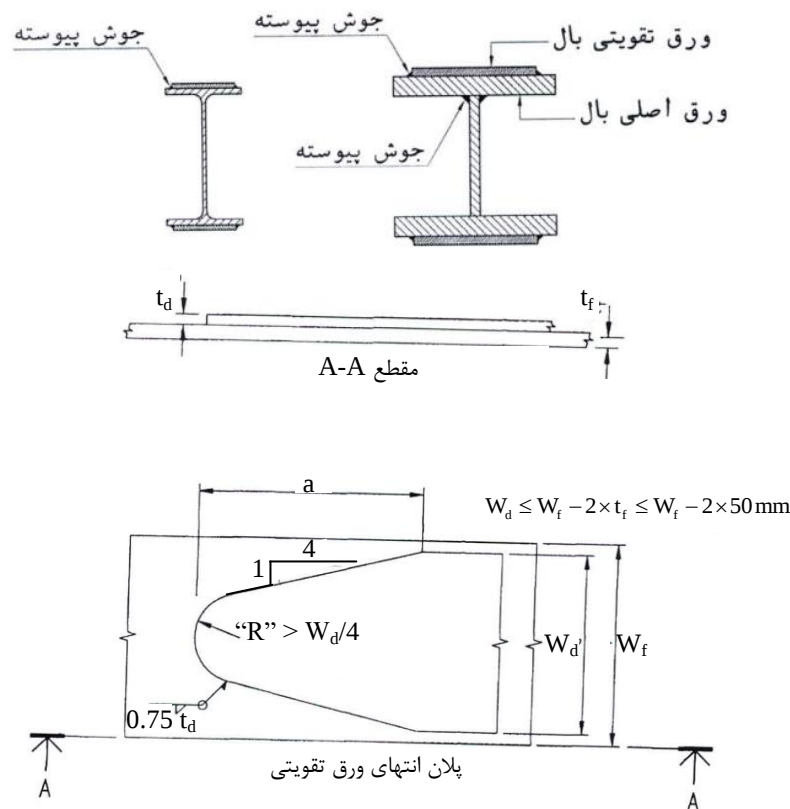
الف) $1/5$ برابر پهنای ورق تقویتی در حالتی که جوش اتصال پیوسته و در دو لبه طرفین و انتهای ورق تقویتی اجرا گردد.

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 انتهایی ورق تقویتی نباید از ۷۵ میلیمتر کمتر باشد.

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

در شکل ۴-۱-۲ جزئیات مناسب برای قطع ورق تقویتی ارائه شده است.



شکل ۴-۱-۲- تقویت ورق بال و جزئیات اضافه طول انتهایی

۴-۱-۱۰- دهانه محاسباتی تیرها

دهانه محاسباتی تیرها، مرکز به مرکز تکیه‌گاه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۴-۱-۱۱- نسبت ارتفاع به دهانه

در تیرها و شاه‌تیرها، نسبت ارتفاع به دهانه ترجیحاً نباید کمتر از $\frac{1}{8}$ شود. در تیرهای مرکب (مختلط)، ارتفاع شامل ضخامت دال بتنی نیز می‌شود. در اینگونه تیرها، ارتفاع تیر فولادی به تنهایی نباید کمتر از $\frac{1}{8}$ گردد. در دهانه‌های سراسری، طول تیر برای محاسبه نسبت فوق، فاصله نقاط عطف بار مرده در نظر گرفته می‌شود.

۴-۱-۱۲- افتادگی

در تیرهای ساده و یا یکسره، افتادگی (تغییر شکل قائم) ناشی از بار زنده و ضربه نباید از $\frac{1}{8}$ دهانه تجاوز نماید. در پل‌های شهری این حد به $\frac{1}{16}$ دهانه کاهش می‌یابد. افتادگی بازوهای طره‌ای به علت بار زنده و ضربه نباید از $\frac{1}{16}$ طول طره تجاوز نماید. برای بازوهای طره‌ای با کاربری پیاده‌رو، این حد به $\frac{1}{32}$ دهانه کاهش می‌یابد. در محاسبه تغییر شکل‌ها، می‌توان از مدل سه‌بعدی عرشه با منظور کردن اعضای عرضی (دیافراگم‌ها) و یا سایر اجزای یکپارچه کننده عرشه استفاده نمود. در محاسبه تغییر شکل از ممان اینرسی سطح مقطع کلی عضو استفاده می‌شود.

۴-۱-۱۳- پیش خیز

تیرها باید طوری پیش خیز داده شوند، که پس از اعمال تمام بارهای مرده، منطبق بر پروفیل طولی موردنظر پل گردند. مقدار پیش‌خیز باید در نقشه‌ها نشان داده شود.

۴-۱-۱۴- تکیه گاه انتهایی

۴-۱-۱۴-۱- برای تیرها با دهانه کمتر از ۱۰ متر، تکیه گاه انتهایی نیاز به تدابیر خاصی برای هماهنگی با دوران تکیه‌گاهی ندارد. برای دهانه ۱۰ متر و بیشتر، برای تکیه گاه انتهایی باید بالشتک مناسب برای هماهنگی با تغییر شکل تیر و دوران انتهایی تعبیه گردد. این بالشتک می‌تواند ورق محدب، بالشتک الاستومر، یا از نوع یاتاقنی (مفصلی) باشد.

۴-۱-۱۴-۲- یک انتهای تیر باید مفصل ثابت باشد تا بتواند با نیروهای طولی مقابله نماید. برای هماهنگی با تغییر شکل‌های طولی عرشه به علت تغییرات دما، انتهای دیگر باید بصورت لغزشی باشد.

برای دهانه‌های کمتر از ۱۰ متر تکیه‌گاه لغزشی می‌تواند یک ورق ساده تنها باشد. برای دهانه‌های بزرگ از ۱۰ متر، انبساط و انقباض دهانه باید با استفاده از یک تکیه‌گاه لغزشی مناسب شامل بالشتک الاستومر، تکیه‌گاه یاتاقانی گهواره‌ای و یا جزئیات مشابه باشد.

۴-۱-۱۴-۳- 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.

۴-۱-۱۵- سیستم‌های مهاربندی در عرشه‌های متشکل از تیر I

۴-۱-۱۵-۱- در عرشه‌های متشکل از تیرهای I باید سیستم‌های مهاربندی زیر تعبیه گردد (شکل ۴-۱-۳- الف):

الف) دیافراگم یا تیر عرضی انتهایی در محل تکیه‌گاه‌ها. این دیافراگم یا تیر عرضی انتهایی باید مقاومت کافی در مقابل نیروی جک زدن برای بلندکردن عرشه به منظور تعویض نئوپن 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) مهاربندی 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.

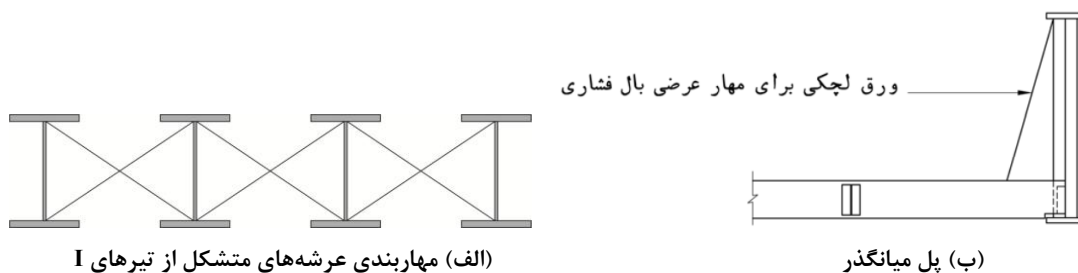
ت) مهاربندی افقی در صفحه بال تحتانی (اختیاری)

۴-۱-۱۵-۲- نیروی مهاربندی‌ها 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.

۴-۱-۱۵-۳- ارتفاع حداقل دیافراگم‌ها یا تیرهای عرضی، $\frac{1}{4}$ و یا ترجیحاً $\frac{1}{3}$ ارتفاع تیر اصلی، می‌باشد.

۴-۱-۱۵-۴- حداقل نیم‌رخ به کار رفته در دیافراگم‌ها و مهاربندی‌ها، نبشی $8 \times 8 \times 80$ می‌باشد.

۴-۱-۱۵-۵- در صورتی که بال فشاری تیر، مربوط به عرشه میانگذار باشد و امکان مهاربندی عرضی بال فشاری موجود نباشد، باید بال فشاری را به کمک ورق لچکی مثلی شکل به تیر عرضی کف متصل نمود (شکل ۴-۱-۳- ب).



شکل ۴-۱-۳

۴-۱۵-۶- تنش موجود در بال تحتانی تیرورق‌ها تحت بار جانبی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$f = Rf_{cb} \quad (۴-۱-۱۴)$$

در رابطه فوق داریم:

$$R = [0.75L - 11] \left(\frac{0.305}{S_d} \right)^{0.67} \quad (۴-۱-۱۵) \quad (\text{بال تحتانی مهاربندی نشده است})$$

$$R = [0.2L - 0.64] \left(\frac{0.305}{S_d} \right)^{0.5} \quad (۴-۱-۱۶) \quad (\text{بال تحتانی مهاربندی شده است})$$

$$f_{cb} = \frac{M_{cb} \times 10^5}{S_f} \quad (۴-۱-۱۷)$$

$$M_{cb} = 0.08WS_d^2 \quad (۴-۱-۱۸)$$

$$S_f = \frac{t_f b_f^2}{6} \quad (۴-۱-۱۹)$$

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 (سانتی‌متر)

b_f = عرض بال تحتانی (سانتی‌متر)

M_{cb} = لنگر (تن-متر)

f = تنش (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

۴-۱۵-۷- حداکثر نیروی افقی F_d در دیافراگم‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_d = 1.14WS_d \quad (۴-۱-۲۰)$$

که W و S_d مطابق نمادهای تعریف شده‌ی قبلی می‌باشد.

۲-۴- قسمت ۲- طراحی به روش تنش‌های مجاز

۱-۲-۴- تنش‌های خمشی مجاز

۱-۱-۲-۴- 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:

$$F_b = 0.55F_y \left[1 - \frac{6(L/b_f)^2}{C_c^2} \right] \leq 0.55F_y \quad (۱-۲-۴)$$

که در رابطه فوق:

F_b = تنش مجاز بال فشاری

F_y = تنش تسلیم فولاد مصرفی

L = طول قسمتی از بال فشاری که اتکای جانبی ندارد (فاصله‌ی بین دو مهار جانبی)

b_f = عرض بال فشاری

C_c = لاغری مرز بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \quad (۲-۲-۴)$$

E = ضریب ارتجاعی فولاد

طول L نباید آنقدر زیاد شود که امکان کمانش ارتجاعی ستونی بال فشاری ممکن باشد. طول L باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$\frac{L}{b_f} \leq \pi \sqrt{\frac{E}{6F_y}} \quad (۳-۲-۴)$$

$$\left(F_y = 2400 \Rightarrow \frac{L}{b_f} \leq 38 \right)$$

برای فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ، روابط فوق بصورت ساده شده‌ی زیر درمی‌آیند.

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

به جای استفاده از رابطه ۱-۲-۴ می‌توان تنش خمشی مجاز را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$F_b = \frac{3.5 \times 10^6 C_b \left(\frac{I_{yc}}{L} \right)}{S_{xc}} \sqrt{0.772 \frac{J}{I_{yc}} + 9.87 \left(\frac{d}{L} \right)^2} \leq 0.55 F_y \quad (F_b \text{ بر حسب } \text{kg/cm}^2) \quad (۴-۲-۴)$$

در رابطه فوق:

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

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر (kg/cm^2)

L = فاصله تکیه‌گاه‌هایی که از تغییرمکان 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 = سطح مقطع بال فشاری (cm^2)

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

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (5-2-4)$$

در رابطه فوق، M_1 لنگر کوچکتر و M_2 لنگر بزرگتر در دو انتهای طول مهارشده‌ی بال فشاری است که نسبت به محور قوی مقطع در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که 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 دو انتها 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):

$$J = \frac{1}{3} [\sum bt^3] \quad (6-2-4)$$

b عرض و t ضخامت عناصر بال و جان تیر

L = فاصله‌ی دو نقطه مهار شده (طول مهار نشده) (cm)

۴-۲-۱-۲-۴- تنش‌های مجاز خمشی نسبت به محور ضعیف برای اعضای با مقطع I ، تسمه‌ها و ورق‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_b = 0.55 F_y \quad (7-2-4)$$

۴-۲-۱-۳- تنش خمشی در اعضای با مقطع قوطی نورد شده، و لوله (مقطع دایره)، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_b = 0.55 F_y \quad (8-2-4)$$

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

۴-۲-۲- تنش‌های برشی مجاز

۴-۲-۲-۱- در صورتی که در تیرورق سخت کننده عرضی تعبیه نشده باشد، تنش برشی مجاز برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_v = \frac{51 \times 10^5}{(D/t_w)^2} \leq \frac{F_y}{3} \quad (۹-۲-۴)$$

که D ارتفاع و t_w ضخامت جان می‌باشد.

در صورتی که $\frac{D}{t_w} > 150$ و یا تنش برشی موجود بزرگتر از مقدار فوق باشد، تعبیه سخت کننده عرضی الزامی است.

۴-۲-۲-۲- وقتی که f_v بزرگتر از F_v طبق رابطه ۴-۲-۹ باشد، نیاز به سخت کننده عرضی خواهیم داشت. در حالت اخیر فاصله سخت کننده‌ها به $3D$ یا $D\left(\frac{260}{D/t_w}\right)$ (هرکدام که کوچکترند)، محدود می‌شود و تنش برشی مجاز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_v = \frac{F_y}{3} \left[C_v + \frac{0.87(1-C_v)}{\sqrt{1+(d_o/D)^2}} \right] \quad \text{(با استفاده از عمل دستک‌های کششی)} \quad (۱۰-۲-۴)$$

$$F'_v = C_v \frac{F_y}{3} \quad \text{(بدون استفاده از عمل دستک‌های کششی)} \quad (۱۱-۲-۴)$$

که در روابط فوق:

D = ارتفاع جان (cm)

d_o = فواصل سخت کننده‌های عرضی (cm)

F_y = تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)

F_v = تنش برشی مجاز (kg/cm^2)

C_v = نسبت تنش کماتش برشی طبق روابط زیر:

$$\frac{D}{t_w} \leq 1600 \sqrt{\frac{K}{F_y}} \rightarrow C_v = 1 \quad (۱۲-۲-۴)$$

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

$$C_v = \frac{1600}{(D/t_w)} \sqrt{\frac{K}{F_y}} > 0.8 \quad (۱۳-۲-۴)$$

$$\frac{D}{t_w} > 2000 \sqrt{\frac{K}{F_y}} \rightarrow C_v = \frac{3.15 \times 10^6 K}{(D/t_w)^2 F_y} \leq 0.8 \quad (۱۴-۲-۴)$$

$$K = 5 + \frac{5}{(d_o/D)^2} \quad (۱۵-۲-۴)$$

در چشمه اول سخت‌کننده طوری قرار داده می‌شود که $d_o/D \leq 1.5$ باشد و تنش برشی بدون توجه به عمل دستک‌های کششی از رابطه ۱۱-۲-۴ بدست می‌آید.

۴-۲-۳- ضخامت حداقل جان

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

$$\frac{D}{t_w} = \frac{6100}{\sqrt{f_b}} \leq 170 \quad (۱۶-۲-۴)$$

$$F_b = 0.55F_y \Rightarrow \frac{D}{t_w} = 5.65 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

D = 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 دو برابر نمود:

$$\frac{D}{t_w} = \frac{12200}{\sqrt{f_b}} \leq 340 \quad (۱۷-۲-۴)$$

$$f_b = 0.55F_y \Rightarrow \frac{D}{t_w} = 11.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

۴-۲-۴- سخت‌کننده‌های عرضی میانی

۴-۲-۴-۱- در تیرورق‌های 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 صورتی که از سخت‌کننده برای اتصال دیافراگم‌های عرضی یا بادبندی‌های عرضی استفاده شود، سخت‌کننده باید به بال فوقانی و تحتانی جوش شود. در این صورت کاهش کلاس خستگی باید مورد توجه قرار گیرد.

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

$$I = at_w^3 J \quad (۱۸-۲-۴)$$

$$J = 2.5 \left(\frac{D}{d_o} \right) - 2 \geq 0.5 \quad (۱۹-۲-۴)$$

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

J = نسبت صلیبیت سخت کننده به ورق جان

d_o = فاصله ی سخت کننده های عرضی

D = ارتفاع خالص جان (در صورتی که سخت کننده طولی وجود داشته باشد، فاصله بزرگتر بین سخت کننده ی طولی و بال)

t_w = ضخامت ورق جان

سطح مقطع کلی سخت کننده های عرضی میانی باید بزرگتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر باشد:

$$A = [0.15BDt_w(1-C_v)(f_v/F_v) - 18t_w^2] Y \quad (۲۰-۲-۴)$$

که در آن:

Y = نسبت تنش تسلیم ورق جان به تنش تسلیم ورق سخت کننده

B = مساوی ۱/۰ برای سخت کننده های جفت، مساوی ۱/۸ برای سخت کننده نبشی و مساوی ۲/۴ برای سخت کننده تک

C_v = طبق رابطه ۱۳-۲-۴ و ۱۴-۲-۴

در صورتی که مقدار حاصل از رابطه ۲۰-۲-۴ صفر و یا منفی گردد، تحقق شرط رابطه ۱۹-۲-۴ کفایت می کند.

۴-۴-۲-۳-۴ عرض سخت کننده یا عرض برجسته نبشی نباید از ۵۰ میلیمتر به علاوه $\frac{1}{16}$ ارتفاع تیر و از $\frac{1}{4}$ عرض کامل

بال تیروورق کمتر باشد. نسبت عرض به ضخامت ورق سخت کننده یا بال برجسته نبشی نباید از ۱۶ تجاوز نماید.

۴-۲-۵- سخت کننده های طولی

۴-۲-۵-۱- سخت کننده ی طولی به فاصله $\frac{D}{5}$ از بال فشاری تیر و به موازات آن و در یک طرف جان و در حد فاصل

سخت کننده های عرضی تعبیه می گردد. حداقل ممان اینرسی ورق سخت کننده طولی نسبت به سطح تماس با جان نباید کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر گردد:

$$I = ht_w^2 \left[2.4 \left(\frac{d_o}{D} \right)^2 - 0.13 \right] \quad (۲۱-۲-۴)$$

پارامترهای موجود در رابطه فوق در زیر رابطه ۱۹-۲-۴ تعریف شده اند.

۴-۲-۵-۲- نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده طولی باید در رابطه زیر صدق نماید:

$$\frac{b_\ell}{t_s} \leq 0.48 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (22-2-4)$$

که در آن:

b_ℓ = عرض سخت‌کننده‌ی طولی

t_s = ضخامت سخت‌کننده‌ی طولی

۴-۲-۵-۳- تنش در سخت‌کننده نباید بزرگتر از تنش خمشی مجاز پایه برای مصالح سخت‌کننده باشد.

۴-۲-۵-۴- سخت‌کننده‌های طولی معمولاً در یک طرف جان و بصورت منقطع در حفاصل سخت‌کننده‌های عرضی قرار می‌گیرند.

۴-۲-۵-۵- 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.

۴-۲-۶- جوش سخت‌کننده‌های عرضی به جان

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

$$f_{vs} = D \sqrt{\left(\frac{F_y}{1400} \right)^3} \quad (23-2-4)$$

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

F_y = تنش تسلیم فولاد جان (kg/cm^2)

D = ارتفاع جان

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

۴-۲-۷- سخت‌کننده‌های فشاری

۴-۲-۷-۱- در محل تاثیر نیروهای متمرکز و یا واکنش‌های تکیه‌گاهی باید سخت‌کننده‌های فشاری تعبیه گردد. سخت‌کننده‌های فشاری باید در تمام ارتفاع جان ادامه داشته باشند.

۴-۷-۲-۲- نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده فشاری نباید بیشتر از $0.48\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ گردد و عرض آن نباید کوچکتر از $\frac{1}{4}$ عرض بال (بال عریض‌تر) گردد. F_y تنش تسلیم فولاد سخت‌کننده است.

۴-۷-۲-۳- سخت‌کننده‌ی فشاری به صورت ستونی محاسبه می‌گردد که طول موثر آن D (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. ضریب طول موثر این ستون 0.75 فرض می‌شود.

۴-۷-۲-۴- 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.

۴-۲-۸- اثر مشترک برش و کشش

جان تیورورق‌هایی 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 $0.55F_y$ و نیز از مقداری که از رابطه زیر تعیین می‌گردد، بیشتر شود:

$$F'_b = \left(0.754 - 0.34 \frac{f_v}{F_y} \right) F_y \quad (۴-۲-۲۴)$$

f_v = تنش برشی محاسبه شده موجود در جان

F_v = تنش برشی مجاز

۴-۲-۹- تیر ورق‌های دوگانه

۴-۲-۹-۱- این بخش مربوط به طراحی تیرهایی می‌شود که فولاد بکاررفته در جان تیورورق نسبت به فولاد یکی از بال‌ها یا هر دو بال، دارای مقاومت کمتری باشد. اینگونه تیرها، شامل تیورورق‌های مختلط و غیرمختلط و حتی تیورورق‌های 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.

۲-۹-۲-۴- تنش مجاز خمشی

۲-۹-۲-۴-۱- در صورتی که 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:

$$R = 1 - \frac{\beta\psi(1-\alpha)^2(3-\psi+\psi\alpha)}{6+\beta\psi(3-\psi)} \quad (25-2-4)$$

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

۲-۹-۲-۴-۲- تنش خمشی در دال بتنی تیرهای مرکب (مختلط) نباید از تنش مجاز بتن ضربدر R بیشتر شود.

۲-۹-۳-۴- برش

تنش برشی متوسط در جان تیرورق‌های دوگانه نباید از مقدار حاصل از رابطه ۲-۴-۱۱ تجاوز نماید. استفاده از رابطه ۲-۴-۲۴ برای تیرورق‌های دوگانه مجاز نیست.

۲-۹-۴-۴- خستگی

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

۲-۹-۵-۴- 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.

۲-۹-۶-۴- سخت‌کننده‌های فشاری

در طراحی سخت‌کننده‌های فشاری در تیرورق‌های دوگانه یکسره که در آنها α کمتر از 0.7 است، هیچ قسمتی از جان در تحمل نیروها دخالت داده نمی‌شوند.

۳-۴- قسمت ۳- طراحی به روش ضرایب بار مقاومت (LRFD)

۳-۴-۱- حالات حدی طراحی

تیرهای فولادی پل‌ها باید برای سه حالت حدی زیر طراحی شوند:

الف- حالت حدی مقاومت

ب- حالت حدی بهره‌برداری

پ- حالت حدی خستگی

۳-۴-۲- کمانش خمشی جان

۳-۴-۱-۲- جان بدون سخت‌کننده‌های طولی

تنش اسمی کمانشی خمشی جان بدون سخت‌کننده‌های طولی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$F_{crw} = \frac{0.9E k}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \leq R_h F_{yc} , < \frac{F_{yw}}{0.7} \quad (۱-۳-۴)$$

که در آن:

D = ارتفاع جان، t_w = ضخامت جان، E = ضریب الاستیسیته

F_{yc} = تنش تسلیم مقرر ورق بال فشاری F_{yw} = تنش تسلیم مقرر ورق جان

K = ضریب خمشی - کمانش که از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود.

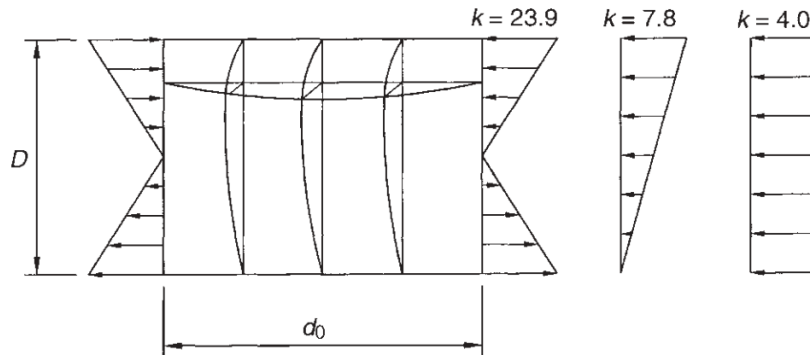
$$K = \frac{9}{(D_c/D)^2} \quad (۲-۳-۴)$$

که در آن:

D_c = ارتفاع جان تحت فشار به علت خمشی در محدوده‌ی ارتجاعی

R_h = ضریب دوگانگی (بند ۳-۳-۴)

در صورتی که هر دو لبه‌ی جان تحت فشار باشند، مقدار $k = 7.2$ فرض می‌شود.



شکل ۴-۳-۱- کمانش خمشی جان بدون سخت‌کننده‌ی طولی

با حل رابطه (۴-۳-۱) برای لاغری $\frac{D}{t_w}$ جان حاصل می‌شود:

$$\left(\frac{D}{t_w}\right)^2 = \frac{k\pi^2}{12(1-\mu^2)} \frac{E}{F_y} \quad (۴-۳-۱)$$

با فرض $\mu = 0.3$ ، نسبت حداکثر لاغری جان برای حصول لنگر تسلیم از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\frac{D}{t_w} \leq \sqrt{\frac{k(0.904)E}{F_{yc}}} = 0.95\sqrt{k} \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۴-۳-۲)$$

مطابق شکل ۴-۳-۱، برای خمش خالص مقدار $k = 23.9$ می‌باشد. در نتیجه:

$$\frac{D}{t_w} \leq 0.95\sqrt{23.9} \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 4.64 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۴-۳-۳)$$

$$F_{yc} = 2400 \Rightarrow \frac{D}{t_w} \leq 140$$

طبق رابطه ۴-۳-۳، نسبت D/t_w باید کوچکتر یا مساوی ۱۵۰ باشد.

۴-۳-۲- جان با سخت‌کننده‌ی طولی

تنش اسمی کمانشی خمشی جان با سخت‌کننده‌های طولی از رابطه‌ی ۴-۳-۱ با اصلاح ضریب کمانش k طبق روابط حاصل می‌شود:

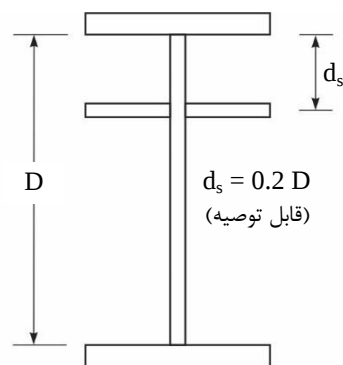
$$\frac{d_s}{D_c} \geq 0.4$$

$$k = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} \geq \frac{9}{(D_c/D)^2} \quad (۴-۳-۴)$$

$$\frac{d_s}{D_c} < 0.4$$

$$k = \frac{11.64}{\left(\frac{D_c - d_s}{D}\right)^2}$$

(۷-۳-۴)



شکل ۲-۳-۴

که در آن:

 d_s = فاصله‌ی مرکز ثقل سخت‌کننده‌ی طولی تا زیرورق بال.

با فرض خمش خالص:

$$D_c = \frac{1}{2}D \text{ و } d_s = 0.4D_c \Rightarrow k = 129$$

پس از رابطه (۴-۳-۴) حاصل می‌شود:

$$\frac{D}{t_w} \leq 0.95 \sqrt{129} \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 10.8 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۸-۳-۴)$$

$$F_{yc} = 2400 \Rightarrow \frac{D}{t_w} \leq 320$$

با معیار معرفی شده در روش تنش مجاز هماهنگ است.

طبق رابطه‌ی ۴-۱-۶ در صورت استفاده از سخت‌کننده‌ی طولی نسبت D/t_w باید مساوی یا کوچکتر از ۳۰۰ باشد.

۴-۳-۳-۳- ضریب‌های کاهش مقاومت بال

برای مقاومت بال، دو ضریب کاهش R_h (ضریب دوگانگی) و R_b (ضریب کاهش کماتش خمشی جان) تعریف می‌شود:

۴-۳-۳-۱- ضریب کاهش دوگانگی R_h

برای نیمرخ‌های نورد شده، تیر ورق‌های همگن (جنس فولاد بال و جان یکسان)، و تیروورق‌هایی که تنش تسلیم جان آنها بیشتر از بال است، ضریب $R_h = 1$ فرض می‌شود.

برای تیروورق‌های دوگانه که تنش تسلیم بال آنها بزرگتر از مقدار نظیر جان است، ضریب کاهش مقاومت R_h به کمک رابطه‌ی زیر تعریف می‌گردد:

$$R_h = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta} \quad (9-3-4)$$

که در آن:

$$\beta = \frac{2D_n t_w}{A_{fn}} \quad (10-3-4)$$

$$\rho = \min(F_{yw}/f_n \text{ و } 1.0)$$

که در روابط فوق:

A_{fn} = مساحت بال همراه با ورق‌های پوششی در یک سمت تار خنثی که مربوط به D_n است. در تیرهای مختلط (کامپوزیت) در ناحیه‌ی لنگر منفی می‌توان، سطح مقطع میلگردهای منفی را در مساحت A_{fn} منظور نمود.
 D_n = بزرگترین دو مقدار فاصله‌ی تار خنثای الاستیک تا سطح داخلی دو بال فوقانی و تحتانی. در صورتیکه تار خنثای الاستیک در وسط ارتفاع جان قرار داشته باشد، بالی باید در نظر گرفته شود که اولین تسلیم در آن رخ می‌دهد.
 f_n = حداکثر تنش تسلیم مقرر هر یک از اجزایی که در محاسبه‌ی A_{fn} شامل ورق بال، ورق پوششی، و یا میلگردهای طولی در یک سمت تار خنثای الاستیک مربوط به D_n قرار دارند. در غیر اینصورت بزرگترین تنش الاستیک در بال، ورق پوششی یا میلگردهای طولی مربوط به D_n در صورتیکه اولین تسلیم در سمت مخالف تار خنثی رخ دهد.

۴-۳-۲- ضریب کاهش کمانش خمشی جان^۱ (R_b)

در صورتیکه در ناحیه‌ی فشاری جان، خطر کمانش خمشی جان وجود داشته باشد، بال متصل به جان، سهم ناحیه‌ی کمانش یافته را تحمل می‌نماید. در این صورت با اعمال ضریب کاهش R_b بر تنش مقاوم خمشی بال، از سهم خمش بال کاسته می‌شود.

در صورتیکه خطر کمانش خمشی جان در میان نباشد، مقدار $R_b = 1$ است. طبق بند ۴-۳-۲، این وضعیت در صورتی رخ می‌دهد:

الف) مقطع در ناحیه‌ی خمش مثبت برای جان بدون سخت‌کننده‌ی طولی وقتی که $D/t_w \leq 150$ باشد و برای تیرها با سخت‌کننده‌ی طولی جان وقتی که $D/t_w \leq 300$ باشد.

ب) یک یا چند سخت‌کننده‌ی طولی وجود داشته باشد، بطوریکه:

$$\frac{D}{t_w} \leq 0.95 \sqrt{\frac{E k}{F_{yc}}} \quad (11-3-4)$$

$$F_y = 2400 \Rightarrow \frac{D}{t_w} = 300 \text{ و } F_y = 3500 \Rightarrow \frac{D}{t_w} = 260$$

¹ - Web load- shedding factor

(پ) جان رابط‌های زیر را اقتناع نماید:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_{rw} \quad (۱۲-۳-۴)$$

در غیر اینصورت، مقدار R_b از روابط زیر حاصل می‌شود:

$$d_s/D_c < 0.76 \quad (\text{الف})$$

$$R_b = 1.07 - 0.12 \frac{D_c}{D} - \frac{a_{wc}}{1200 + 300a_{wc}} \left[\frac{D}{t_w} - \lambda_{rwD} \right] \leq 1.0 \quad (\text{الف} - ۱۳-۳-۴)$$

(ب) سایر موارد:

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_{wc}}{1200 + 300a_{wc}} \right) \left(\frac{2D_c}{t_w} - \lambda_{rw} \right) \leq 1.0 \quad (\text{ب} - ۱۳-۳-۴)$$

که در آن:

$\lambda_{rw} =$ لاغری حداکثر برای جان غیرفشرده که برحسب جمله D/t_w بیان شده و بصورت زیر محاسبه می‌شود.

- برای نیمرخ‌ها با سخت‌کننده‌ی طولی

$$\lambda_{rw} = \left(\frac{2D_c}{D} \right) \lambda_{rwD} \quad (\text{الف} - ۱۴-۳-۴)$$

- برای سایر حالات:

$$4.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq \lambda_{rw} = \left(3.1 + \frac{5.0}{a_{wc}} \right) \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{ب} - ۱۴-۳-۴)$$

$F_{yc}(\text{kg/cm}^2)$	$\lambda_{rw} = 4.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$	$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$
2400	130	162
3500	111	137

$\lambda_{rwD} =$ لاغری حداکثر برای جان غیرفشرده که برحسب جمله‌ی D/t_w بیان شده و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

- برای تیر ورق‌های همگن با سخت‌کننده‌ی طولی:

$$\lambda_{rwD} = 0.95 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yc}}} \quad (\text{پ} - ۱۴-۳-۴)$$

$F_{yc}(\text{kg/cm}^2)$	λ_{rwD}
2400	300
3500	260

- برای تیورق‌های دوگانه با سخت‌کننده‌ی طولی

$$\lambda_{rwD} = \left(\frac{1}{2D_c/D} \right) 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۴-۳-۱۴-ت)$$

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{cf}} \quad (۴-۳-۱۵)$$

یعنی a_{wc} مساوی است با نسبت دو برابر مساحت جان تحت فشار به مساحت بال فشاری برای تیرهای مختلط با سخت‌کننده‌های طولی، در ناحیه‌ی خمش مثبت داریم:

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{cf} + b_s t_s \left(1 - f_{DC1}/F_{yc} \right) / 3n} \quad (۴-۳-۱۶)$$

که در آن:

b_{fs} = عرض کامل بال فشاری D = ارتفاع جان b_s = عرض موثر دال بتنی

f_{DC1} = تنش حداکثر در بال فشاری تحت بارهای ضریبدار گروه ۱ که قبل از گرفتن دال بتنی، در مقطع فولادی تنها محاسبه می‌شود. در محاسبه‌ی این تنش خمش عرضی بال مورد توجه نمی‌باشد.

k = ضریب کمانش خمشی جان برای جان‌ها با سخت‌کننده طولی (رابطه ۴-۳-۶ و ۴-۳-۷)

n = نسبت مدول الاستیسیته‌ی فولاد به بتن

t_s = ضخامت دال بتنی

D_c = ارتفاع ناحیه‌ی فشاری جان در محدوده‌ی ارتجاعی برای نیمرخ‌های مختلط (D_c طبق فصل پنجم محاسبه می‌شود). در تیرهای دارای سخت‌کننده‌ی طولی، مساحت این سخت‌کننده‌ها در محاسبه‌ی D_c باید منظور شود.

d_s = فاصله‌ی مرکز نزدیکترین سخت‌کننده‌ی طولی تا زیر بال فوقانی فشاری.

t_{fc} = ضخامت بال فشاری t_w = ضخامت جان

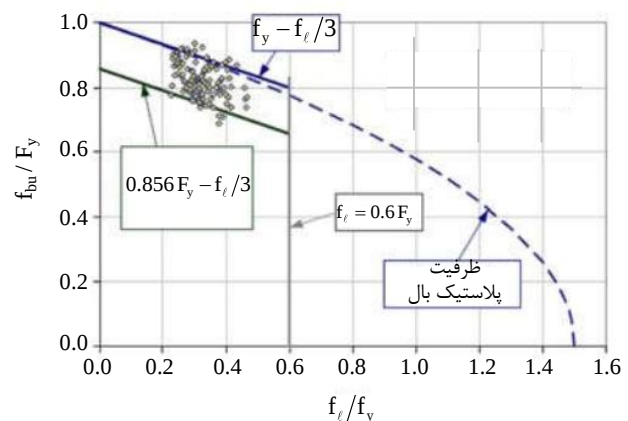
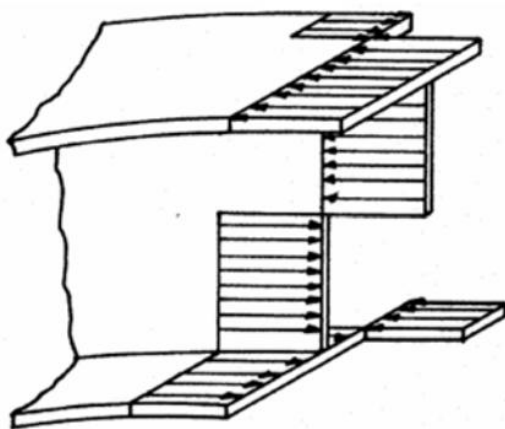
۴-۳-۴- طراحی برای خمش

روابط طراحی تیرهای I شامل طراحی تیرهای مستقیم، منحنی در صفحه‌ی افقی، و ترکیبی از مستقیم و منحنی در صفحه می‌باشند که شامل روابط اندرکنشی برای خمش حول محور قوی، خمش حول محور ضعیف و پیچش می‌باشند. در جدول ۴-۳-۱ این روابط اندرکنشی برای حالت حدی مقاومت بطور خلاصه ارائه شده‌اند. مطابق شکل ۴-۳-۳، این روابط، در صورتیکه تنش خمشی جانبی بال کمتر از $0.6F_y$ باشد، تقریب خطی دقیقی از مقاومت تیر-ستون معادل به دست می‌دهند.

جدول ۴-۳-۱- روابط طراحی خمشی مقطع فولادی در حالت حدی مقاومت

نوع مقطع	Design Equation
فشرده	$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_n$ (۱۷-۳-۴)
مقطع مختلط تحت خمش مثبت	بال فشاری $f_{bu} \leq \phi_f F_{nc}$ (۱۸-۳-۴)
غیر فشرده	بال کششی $f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nt}$ (۱۹-۳-۴)
مقطع فولادی تنها و مقطع مرکب در ناحیه‌ی لنگر منفی	بال فشاری $f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nc}$ (۲۰-۳-۴)
مهار جانبی فاصله‌دار (گسسته)	بال کششی $f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nt}$ (۲۱-۳-۴)
مهار جانبی پیوسته	$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf}$ (۲۲-۳-۴)

f_{bu} = تنش بال ناشی از بارهای قائم، تمامی تنش‌های f_{bu} از تقسیم لنگر خمشی ضریب‌دار M_u حول محور قوی براساس مقطع الاستیک S نسبت به بال فشاری یا کششی (برحسب مورد) محاسبه می‌شوند.
 f_ℓ = تنش ناشی از خمش جانبی بال
 F_{nc} = تنش مقاوم بال فشاری
 F_{nt} = تنش مقاوم بال کششی
 F_{yf} = تنش تسلیم مقرر بال
 M_u = لنگر ضریب‌دار حول محور قوی
 M_n = لنگر مقاوم اسمی حول محور قوی
 ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت خمشی
 R_h = ضریب کاهش دوگانگی
 S_{xt} = اساس مقطع الاستیک مقطع نسبت به بال کششی
 S_{xc} = اساس مقطع الاستیک مقطع نسبت به بال فشاری



شکل ۴-۳-۳- شکل ترسیمی روابط اندرکنش خمش

روش محاسبه‌ی تنش‌های خمشی

برای نیمرخ‌های فشرده، از آنجاییکه مقاومت خمشی اسمی معمولاً بزرگتر از ظرفیت خمشی تسلیم (M_y) می‌باشد، منطقی است که طراحی براساس ظرفیت خمشی M_n قرار گیرد. برای نیمرخ‌های غیرفشرده، از آنجاییکه مقاومت خمشی محدود به M_y می‌باشد، روش کنترل تنش در پیش گرفته شده است.

در صورتی که حالت حدی کماتش جانبی بال حاکم باشد، برای کنترل خمش باید تنش‌های زیر محاسبه شود:

- لنگر خمشی M_u یعنی بزرگترین لنگر خمشی حول محور قوی در طول مهار نشده تعیین می‌شود.
- بدون توجه به خمش جانبی بال، تنش f_{bu} یعنی بزرگترین تنش فشاری در طول مهار نشده‌ی بال را بدست آورید.

- تنش f_ℓ یعنی بزرگترین تنش به علت خمش جانبی بال در طول مهار نشده محاسبه می‌شود.
- در صورتی که مقاومت خمشی بر مبنای تسلیم، کماتش موضعی بال یا کماتش جان باشد، مقادیر f_{bu} ، M_u و f_ℓ را می‌توان در مقطع موردنظر تعیین نمود.

مقادیر فوق بر مبنای بارهای ضریب‌دار محاسبه شده و در تمام روابط باید با علامت مثبت قرار داده شوند. در بال‌ها با اتکای جانبی پیوسته، تنش خمش جانبی مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. تنش خمشی در بال‌ها با اتکای جانبی فاصله‌دار، به کمک تحلیل بدست می‌آید. تمام بال با اتکای جانبی فاصله‌دار باید رابطه‌ی زیر را اقلان نمایند.

$$f_\ell \leq 0.6F_{yf}$$

تنش ناشی از خمش جانبی در بال یعنی f_ℓ را می‌توان از تحلیل الاستیک مرتبه اول تعیین نمود، مشروط بر اینکه فواصل مهارهای جانبی روابط زیر را اقلان نمایند:

$$L_b \leq 1.2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{f_{bu}/F_{yc}}}$$

یا بطور معادل:

$$L_b \leq 1.2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{M_u/M_{yc}}}$$

اگر دو رابطه‌ی فوق صادق نباشند باید تحلیل مرتبه‌ی دوم برای تعیین ناشی از خمش جانبی در بال انجام داد. در مهندسی پل غالباً دو رابطه‌ی فوق برآورده می‌شوند.

C_b = ضریب یکنواختی تغییرات لنگر خمشی در طول مهار نشده‌ی L_b که در بخش ۴-۳-۵ توضیح داده می‌شود.
 f_{bu} = تنش ناشی از بزرگترین لنگر خمشی در طول مهار نشده‌ی L_b ناشی از خمش حول محور قوی مقطع، بدون منظور کردن تنش ناشی از خمش جانبی.

L_b = طول مهار نشده‌ی جانبی

L_p = مقدار محدوده شده‌ی L_b برای حصول لنگر پلاستیک (رابطه ۴-۳-۲۷)

M_u = بزرگترین لنگر خمشی ضریب‌دار حول محور قوی در طول مهار نشده‌ی L_b که ایجاد فشار در بال موردنظر می‌نماید.

M_{yc} = لنگر تسلیم نسبت به بال فشاری مساوی $S_{xc} f_y$

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

R_b = ضریب کاهش مقاومت به علت کمانش خمشی جان (بخش ۴-۳-۳-۲)

در صورت نیاز به تحلیل مرتبه‌ی دوم برای تعیین تنش ناشی از خمش جانبی، می‌توان نتایج ناشی از تحلیل مرتبه‌ی اول را با روابط زیر اصلاح نمود:

$$f_{\ell} = \left(\frac{0.85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) f_{\ell 1} \geq f_{\ell 1}$$

یا بطور معادل:

$$f_{\ell} = \left(\frac{0.85}{1 - \frac{M_u}{F_{cr} S_{xc}}} \right) f_{\ell 1} \geq f_{\ell 1}$$

که در آن:

F_{yc} = تنش تسلیم مقرر

f_{bu} = بزرگتر تنش فشاری در طول مهار نشده‌ی بال ناشی از خمش حول محور قوی که بدون منظور کردن تنش ناشی از خمش جانبی محاسبه می‌شود.

$f_{\ell 1}$ = بزرگترین تنش ناشی از خمش جانبی در طول مهار نشده یا مقطع مورد مطالعه با استفاده از تحلیل مرتبه اول

F_{cr} = تنش کمانش پیچشی - جانبی الاستیک در بال مورد مطالعه (رابطه‌ی ۴-۳-۳۲) در طول مهار نشده در تیرهای مستقیم با جان فشرده یا غیرفشرده

M_u = بزرگترین لنگر خمشی ضربیدار حول محور قوی در طول مهار نشده که ایجاد فشار در بال تحت مطالعه می‌نماید.

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک حول محور قوی نسبت به بال فشاری

$$S_{xc} = \frac{M_{yc}}{F_{yc}} \quad \text{یا} \quad f_{yc} = \frac{M_{yc}}{S_{xc}}$$

۴-۳-۵ - مقطع فولادی

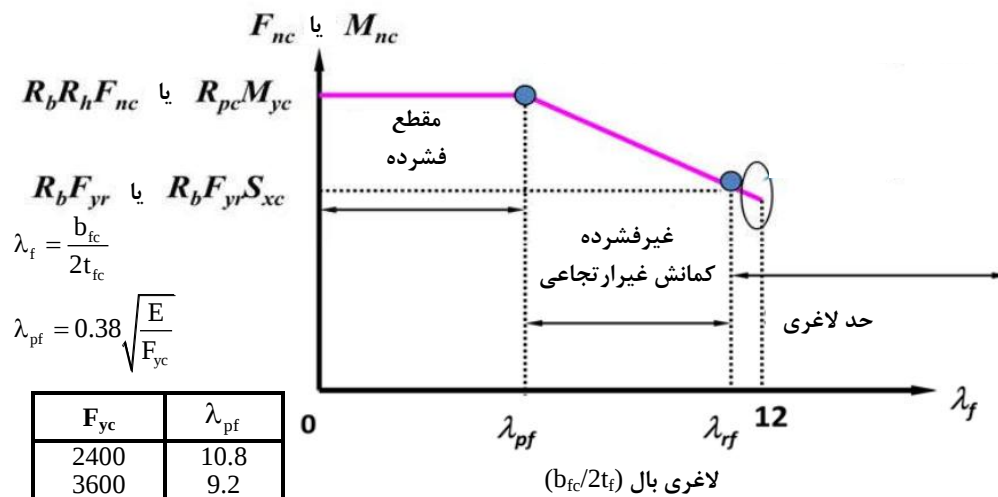
مقاومت خمشی مقطع فولادی تنها (مقطع مختلط در ناحیه‌ی خمش منفی و مقطع فولادی تنها) دارای سه حالت خرابی یا حالت حدی می‌باشد:

۱- تسلیم

۲- کمانش موضعی بال

۳- کمانش جانبی - پیچشی

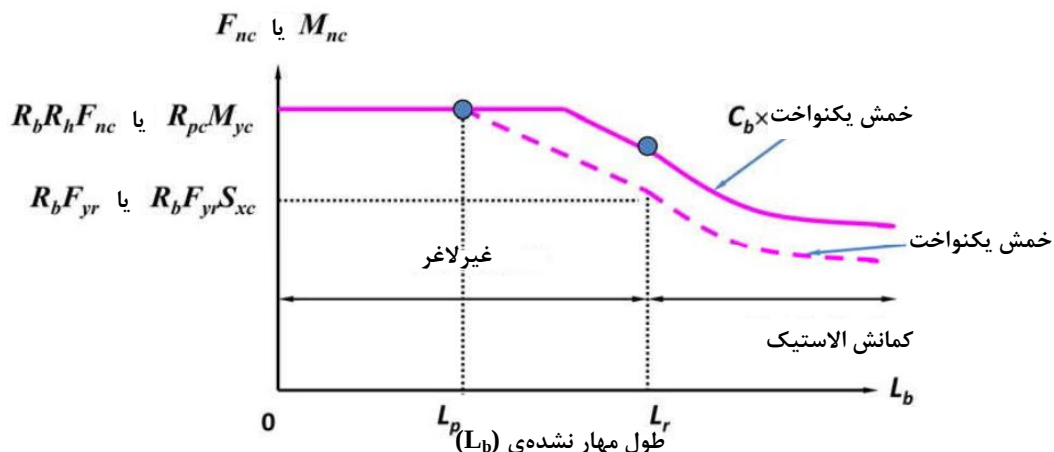
ظرفیت خمشی، بستگی به مقاومت تسلیم فولاد، نسبت لاغری بال فشاری λ_f (برحسب نسبت عرض به ضخامت $b_{fc}/2t_{fc}$) برای کمانش موضعی بال فشاری و طول مهار نشدهی بال فشاری L_b برای کمانش جانبی-پیچشی دارد. شکل ۲-۳-۴ نشان‌دهندهی هندسهی تیرورق فولادی می‌باشد و شکل ۴-۳-۴ نشان‌دهندهی ظرفیت خمشی برحسب ضریب لاغری بال فشاری (کمانش موضعی) و شکل ۵-۳-۴ مقاومت خمشی برحسب طول مهار نشدهی بال فشاری (کمانش جانبی-پیچشی) می‌باشد. مقاومت مقطع، کوچکترین مقدار حاصل از دو معیار فوق خواهد بود. روابط محاسباتی ظرفیت خمشی در جدول ۲-۳-۴ ارائه شده است.



$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$F_{yr} = \min(0.7f_{yc}, f_{yw}) > 0.5F_{yc}$$

شکل ۴-۳-۴- کمانش موضعی بال



شکل ۵-۳-۴- مقاومت کمانش جانبی پیچشی تیرها با مقطع I

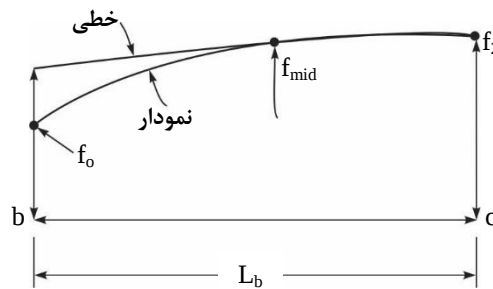
جدول ۴-۳-۲- مقاومت خمشی مقطع فولادی تنها- حالت حدی مقاومت

مقاومت خمشی اسمی	بال
$F_{nc} = \text{کوچکترین} [F_{nc(FLB)}, F_{nc(LTB)}]$ (۲۳-۳-۴)	
$F_{nc(FLB)} = \begin{cases} R_b R_h F_{yc} & \lambda_f > \lambda_{pf} \text{ برای} \\ \left[1 \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc} & \lambda_f > \lambda_{pf} \text{ برای} \end{cases}$ (۲۴-۳-۴)	فشار
$F_{nc(LTB)} = \begin{cases} R_b R_h F_{yc} & L_b \leq L_p \text{ برای} \\ C_b \left[1 \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} & L_b < L_p \leq L_r \text{ برای} \\ F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} & L_b > L_r \text{ برای} \end{cases}$ (۲۵-۳-۴)	
$F_{nt} = R_h F_{yt}$ (۲۶-۳-۴)	کشش
$L_b = \text{طول مهار نشدهی بال فشاری}$ $L_p = R_b R_h F_{yc} = 1.0 r_t \sqrt{E/F_{yc}}$ (۲۷-۳-۴) $L_r = \pi r_t \sqrt{E/F_{yr}}$ (۲۸-۳-۴) $\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$ (۲۹-۳-۴) $\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$ (۳۰-۳-۴) $F_y = 2400 \Rightarrow \lambda_{pf} = 10.8, F_y = 3500 \Rightarrow \lambda_{pf} = 9.2$ $\lambda_{rf} = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$ (۳۱-۳-۴) $F_{cr} = \text{تنش کمانشی پیچشی جانبی الاستیک} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2}$ (۳۲-۳-۴) $F_{yr} = \min \{0.7 F_{yc}, F_{yw}\} \geq 0.5 F_{yc}$ (۳۳-۳-۴) $C_b = \text{ضریب یکنواختی تغییرات نمودار لنگر خمشی}$ $r_t = \frac{1}{3} \text{ جان فشاری بعلاوهی } \frac{1}{3} \text{ جان فشاری برای کمانش پیچشی - جانبی}$ $R_b = \text{ضریب کاهش کمانش خمشی جان (بخش ۲-۳-۴)}$ $R_h = \text{ضریب کاهش دوگانگی (بخش ۱-۳-۴)}$	

ضریب یکنواختی لنگر

- برای طره‌ی مهار نشده و برای طول مهار نشده با $f_{mid}/f_2 > 1$ یا $f_2 = 0$ داریم:

$$C_b = 1$$



شکل ۴-۳-۶-الف - تغییرات لنگر خمشی در طول مهار نشده‌ی L_b و تنش‌های f_0 و f_2 در دو انتهای آن و f_{mid} در وسط

- برای سایر حالات:

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0.3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2.3$$

شعاع ژیراسیون کماتش جانبی بال فشاری r_t

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}}$$

در روابط فوق:

D_c = ارتفاع جان تحت فشار

f_{mid} = تنش ناشی از خمش حول محور قوی بدون تنش ناشی از خمش جانبی بال در وسط طول مهار نشده‌ی bc. به علت بارهای ضریبدار که از پوش لنگر خمشی که بزرگترین تنش فشاری را ایجاد می‌کند و یا کوچکترین تنش کششی، در صورتیکه این نقطه هیچگاه در فشار نباشد، ایجاد می‌نماید. تنش فشاری با علامت مثبت و تنش کششی با علامت منفی منظور می‌شود.

f_0 = تنش، بدون منظور کردن خمش جانبی در نقطه‌ی مهار شده‌ی سمت دیگر. محاسبه‌ی f_2 که از پوش لنگر خمشی که بزرگترین فشار را در این نقطه در بال تحت مطالعه، و یا کوچکترین کشش را اگر این نقطه هیچگاه تحت فشار نباشد، ایجاد می‌نماید. f_0 ناشی از بارهای ضریبدار بوده و مثبت است اگر فشاری باشد، و منفی است اگر کششی باشد.

f_1 = تنش که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

- وقتی که تغییرات لنگر در طول مهار نشده مقعر باشد:

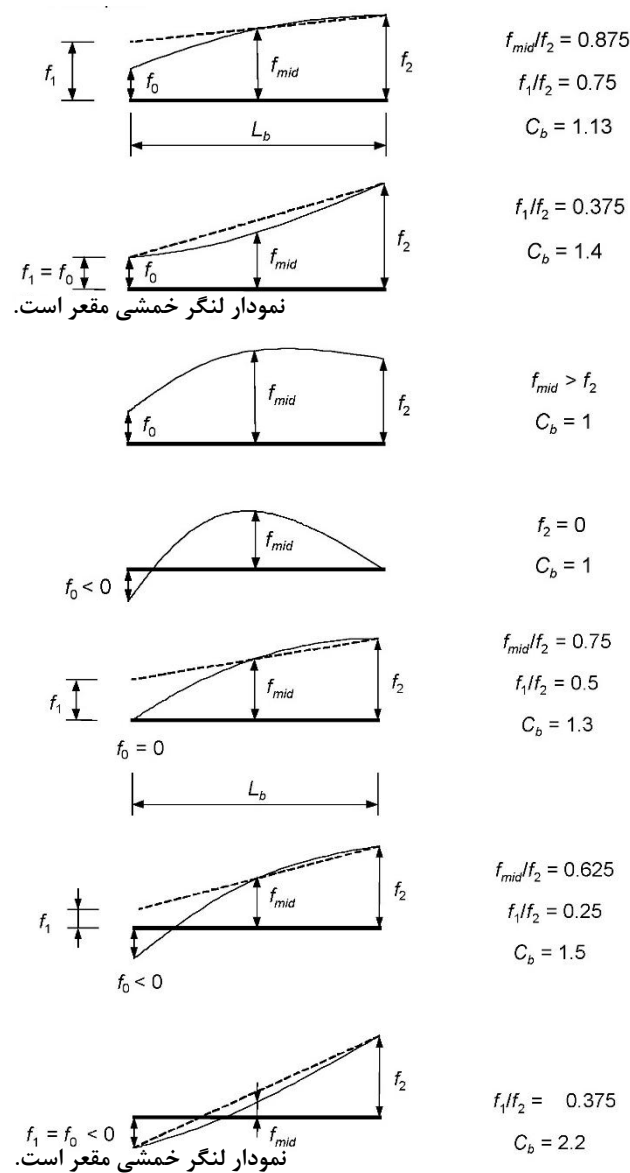
$$f_1 = f_0$$

برای سایر حالات

$$f_1 = 2f_{mid} - f_2 \geq f_0$$

f_2 = بزرگترین تنش فشاری بدون منظور کردن تنش ناشی از خمش جانبی در هر یک از دو انتهای طول مهار نشده‌ی بال فشاری موردنظر به علت پوش لنگر خمشی. f_2 به علت بارهای ضریبدار است و باید با علامت مثبت منظور شود. اگر f_2 صفر یا کششی در هر دو انتهای طول مهار نشده باشد، f_2 مساوی صفر منظور می‌شود.

در اشکال زیر مقادیر تقریبی C_b بصورت تصویری نشان داده شده است.



شکل ۴-۳-۶- ب- مقادیر C_b برحسب نمودار تغییرات لنگر خمشی در طول مهار نشده

۴-۳-۶- حالت حدی بهره‌برداری

حالت حدی بهره‌برداری به منظور کنترل تغییرشکل‌های الاستیک و دائمی می‌باشد، که می‌تواند تاثیر منفی بر رانندگی روی پل داشته باشد. طبق آیین‌نامه حداکثر افتادگی ناشی از بار زنده نباید از $L/800$ تجاوز نماید که در آن L طول دهانه است.

آیین‌نامه به منظور جلوگیری از تغییرشکل‌های دائمی ناشی از بارهای ترافیکی سخت، مقرر می‌دارد که تحت ترکیب بار بهره‌برداری ۲ بدون منظور کردن تنش خمشی جانبی، الزامات زیر را برآورده نماید:

- برای بال فولادی فوقانی مقطع مختلط

$$f_f \leq 0.95 R_h F_{yf} \quad (۳۴-۳-۴)$$

- برای بال فولادی تحتانی مقطع مختلط

$$f_f + \frac{f_\ell}{2} \leq 0.95 R_h F_{yf} \quad (۳۵-۳-۴)$$

- برای هر دو بال مقطع فولادی تنها (غیرمختلط)

$$f_f + \frac{f_\ell}{2} \leq 0.8 R_h F_{yf} \quad (۳۶-۳-۴)$$

- برای مقطع مختلط فشرده در ناحیه‌ی خمشی مثبت وقتی که در هنگام بتن‌ریزی دال زیر تیر فولادی پایه موقت نصب می‌شود، تنش فشاری طولی در دال بتنی بدون منظور کردن تنش خمشی جانبی (f_c)، نباید از $0.6f'_c$ تجاوز کند که در آن f'_c مقاومت مشخصه فشاری ۲۸ روزه بتن می‌باشد.

- به استثنای مقطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت با $D/t_w \leq 150$ و بدون سخت‌کننده‌ی طولی باید داشته باشیم:

$$f_c \leq F_{crw} \quad (۳۷-۳-۴)$$

$$F_{crw} = \text{تنش اسمی کمانش خمشی جان (رابطه‌ی ۴-۳-۱)}$$

۴-۳-۷- کنترل توالی اجرا

در عرشه‌های با تیرهای I که دال آنها بدون استفاده از پایه‌ی موقت اجرا می‌شود، باید تنش‌های زیر کنترل گردد:

- بال فشاری

بال فشاری با اتکای جانبی گسسته بال فشاری

$$f_{bu} + f_\ell \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (۳۸-۳-۴)$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_{\ell} \leq \phi_f F_{nc} \quad (۳۹-۳-۴)$$

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (۴۰-۳-۴)$$

f_{bu} = تنش نهایی ناشی از بارهای ضریبدار بدون منظور کردن تنش ناشی از خمش جانبی که بر مقطع فولادی تنها اعمال می‌شود.

$$f_{bu} = \frac{M_u}{S_x} \quad (۴۱-۳-۴)$$

F_{crw} = تنش اسمی کمانش خمشی جان (رابطه ۱-۳-۴)

در صورتی که جان تیر فشرده یا غیرفشرده باشد، کنترل رابطه (۴۰-۳-۴) لازم نیست. برای تیرها با جان لاغر، در صورتی که $f_{\ell} = 0$ باشد، کنترل رابطه ۳۸-۳-۴ لازم نیست. برای تیرهای با اتکای جانبی پیوسته‌ی بال فشاری داریم:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (۴۲-۳-۴)$$

• بال کششی

برای بال با اتکای جانبی گسسته

$$f_{bu} + f_{\ell} \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (۴۳-۳-۴)$$

برای بال با اتکای جانبی پیوسته

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yt} \quad (۴۴-۳-۴)$$

جان

$$V_u \leq \phi_v V_{cr} \quad (۴۵-۳-۴)$$

V_u = برش ناشی از بار مرده‌ی ضریبدار و بارهای اجرایی ضریبدار

V_{cr} = مقاومت کمانشی برشی

۴-۳-۸- طراحی برای برش

۴-۳-۸-۱- الزامات طراحی

برای طراحی در مقابل برش، در تیرهای I لازمست رابطه‌ی زیر برقرار شود:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (۴۶-۳-۴)$$

که در آن:

V_u = نیروی برشی ضریبدار در مقطع مورد مطالعه

$$\phi_v = \text{ضریب کاهش مقاومت مساوی ۱}$$

$$V_n = \text{ظرفیت برشی اسمی}$$

$$۴-۳-۸-۲- \text{ظرفیت برشی اسمی}$$

ظرفیت برشی اسمی V_n بستگی به نسبت لاغری جان یعنی D/t_w دارد که در آن D ارتفاع جان و t_w ضخامت آن می‌باشد.

ظرفیت برشی بدون استفاده از عمل میدان کششی (دستک کششی)

در چشمه انتهایی (همجوار تکیه‌گاه) و یا در چشمه‌های داخلی در صورتیکه نخواهیم از عمل میدان کششی استفاده نماییم و فقط اتکای ما به کمانش برشی الاستیک باشد، مقاومت برشی از روابط زیر حاصل می‌شود:

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (۴۷-۳-۴)$$

$$V_p = 0.58F_{yw}Dt_w \quad (۴۸-۳-۴)$$

$$C = \begin{cases} 1.0 & \left(\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \text{ برای (الف)} \right) \\ \frac{1.12}{(D/t_w)} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} & \left(1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \text{ برای (ب)} \right) \\ \frac{1.57}{(D/t_w)^2} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} & \left(\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \text{ برای (پ)} \right) \end{cases} \quad (۴۹-۳-۴)$$

$$k = 5 + \frac{5}{(d_o/D)^2} \quad (۵۰-۳-۴)$$

در روابط فوق:

$$C = \text{نسبت مقاومت برشی کمانشی به مقاومت برشی تسلیم}$$

$$V_{cr} = \text{مقاومت برشی کمانشی}$$

$$D = \text{ارتفاع جان}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان}$$

$$F_{yw} = \text{تنش تسلیم فولاد جان}$$

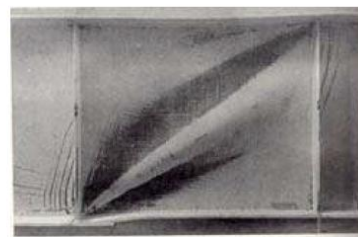
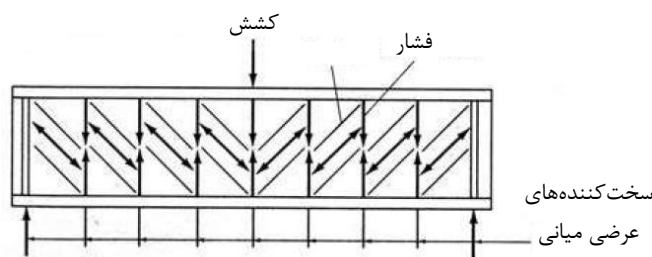
d_o = فواصل سخت‌کننده‌های عرضی میانی. در صورت عدم وجود سخت‌کننده‌ی طولی نباید از $3D$ و در صورت وجود سخت‌کننده‌ی طولی نباید از $1.5D$ تجاوز کند.

k = ضریب کمانش برشی. اگر نخواهیم از سخت‌کننده‌ی جان استفاده نماییم، $d_o/D = \infty$ شده و مقدار $k = 5$ بدست می‌آید. توصیه می‌شود همواره از سخت‌کننده جان استفاده شود بطوریکه چشمه‌های جان بصورت مربعی درآید

($d_o/D = 1$ و در نتیجه $k = 10$). در صورت استفاده از عمل میدان کششی وجود سخت‌کننده‌های عرضی میانی الزامی است.

ظرفیت برشی با استفاده از عمل کششی (دستک کششی)

در چشمه‌های داخلی در صورتیکه بخواهیم از ظرفیت برشی پس از کمانش جان (عمل میدان کششی) استفاده نماییم (شکل ۷-۳-۴)، ظرفیت برشی جان از روابط زیر حاصل می‌شود:



شکل ۷-۳-۴ - عمل میدان کششی

برای:

$$\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5 \quad (۵۱-۳-۴)$$

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \quad (۵۲-۳-۴)$$

در غیر اینصورت:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2 + \frac{d_o}{D}}} \right] \quad (۵۳-۳-۴)$$

برای تشکیل عمل میدان کششی استفاده از سخت‌کننده‌های میانی الزامی است. در روابط فوق:

b_{fc} = عرض بال فشاری t_{fc} = ضخامت بال فشاری

b_{ft} = عرض بال کششی t_{ft} = ضخامت بال کششی

C = طبق رابطه‌ی ۴-۳-۴۹

سایر نمادها در زیر روابط قبلی معرفی شده‌اند.

۴-۳-۸-۳- سخت‌کننده‌های جان تیروورق

در جان تیروورق سه نوع سخت‌کننده برای جلوگیری از کمانش قطری، افزایش نیروی برشی مقاوم، افزایش باربری و جلوگیری از کمانش قائم تحت نیروی متمرکز تعبیه می‌شود:

- ۱- سخت‌کننده‌های عرضی میانی برای جلوگیری از کمانش قطری.
- ۲- سخت‌کننده‌های فشاری در محل نیروهای متمرکز.
- ۳- سخت‌کننده‌های طولی برای جلوگیری از کمانش خمشی جان.

۴-۳-۸-۴- سخت‌کننده‌های عرضی میانی

سخت‌کننده‌های عرضی میانی باعث افزایش مقاومت کمانشی و پس از کمانشی تیروورق‌ها می‌شوند و همچنین باعث افزایش سختی تیروورق در هنگام جابه‌جایی و عملیات نصب و جلوگیری از اعوجاج مقطع می‌شوند. این سخت‌کننده‌ها باید الزامات زیر را برآورده نمایند.

- ۱) دارای نسبت عرض به ضخامت کافی برای جلوگیری از کمانش موضعی باشند.
- ۲) دارای سختی کافی باشند تا در محل آنها، گره‌ی کمانشی رخ دهد و جان طول به چشمه‌های کوچک تقسیم شود.

۳) مقاومت فشاری کافی جهت تشکیل عمل میدان کششی باشند.

در تیرهای منحنی بطور اجباری و در تیرهای مستقیم توصیه می‌شود که سخت‌کننده‌ها بصورت زوج در دو طرف جان قرار گیرند.

در تیرهای مستقیم سخت‌کننده به بال فشاری جوش و به بال کششی جوش نمی‌شود. جوش سخت‌کننده به جان باید در فاصله $4t_w$ و نه بیشتر از $6t_w$ و یا ۱۰۰ میلیمتر از بال کششی قطع شود. سخت‌کننده باید کاملاً به بال کششی بچسبد ولی به آن جوش نشود.

در تیرهای منحنی سخت‌کننده‌های میانی حتماً باید به هر دو بال جوش شوند.

عرض سخت‌کننده

عرض هر سخت‌کننده باید روابط زیر را اقلان کند:

$$b_t \geq 50\text{mm} + \frac{D}{30} \quad (۵۴-۳-۴)$$

$$16t_p \geq b_t \geq b_f / 4 \quad (۵۵-۳-۴)$$

b_f = عرض عریضترین بال فشاری در چشمه موردنظر. در مقاطع جعبه‌ای، عرض بال فوقانی.
 t_p = ضخامت سخت‌کننده.

ممان اینرسی

ممان اینرسی سخت‌کننده باید روابط زیر را اقلان کند:

$$I_t \geq I_{t1} \quad (۵۶-۳-۴)$$

و

$$I_t \geq I_{t2} \quad (۵۷-۳-۴)$$

که در آن:

$$I_{t1} = b t_w^3 J \quad (۵۸-۳-۴)$$

$$I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5} \quad (۵۹-۳-۴)$$

$$J = \frac{2.5}{(d_o/D)^2} - 2.0 \geq 0.5 \quad (۶۰-۳-۴)$$

$$F_{crs} = \frac{0.31E}{\left(\frac{b_t}{t_p} \right)^2} \leq F_{ys} \quad (۶۱-۳-۴)$$

که در روابط فوق:

I_t = برای سخت‌کننده دوطرفه (جفت)، مساوی ممان اینرسی سخت‌کننده نسبت به محور جان و برای سخت‌کننده‌ی یک‌طرفه، نسبت به محل تماس با جان.

b = کوچکترین d_o و D

d_o = عرض کوچکتر در دو چشمه‌ی مجاور

J = پارامتر سختی عرضی

ρ_t = حداکثر (1.0 و F_{yw}/F_{crs})

F_{crs} = تنش کمانش موضعی

F_{ys} = تنش تسلیم سخت‌کننده

b_t = عرض برجسته سخت‌کننده

F_{yw} = تنش تسلیم جان

t_p = ضخامت ورق سخت‌کننده

سخت‌کننده‌هایی که در مجاور چشمه‌هایی که از عمل میدان کششی آنها استفاده می‌کنند، باید الزامات زیر را برآورده نمایند:

- برای $I_{t2} > I_{t1}$:

$$I_t \geq I_{t1} + (I_{t2} - I_{t1}) \rho_w \quad (۶۲-۳-۴)$$

- در غیر اینصورت:

$$I_t \geq I_{t2} \quad (۶۳-۳-۴)$$

که در آنها:

- اگر هر دو چشمه مجاور سخت‌کننده تحت عمل میدان کششی باشند:

$$\rho_w = \text{حداکثر در دو چشمه مجاور سخت‌کننده} \left(\frac{V_u - \phi_v V_{cr}}{\phi_v V_n - \phi_v V_{cr}} \right) \quad (۶۴-۳-۴)$$

- در غیر اینصورت:

$$\rho_w = \text{نسبت در یک چشمه‌ی تحت میدان کششی} \left(\frac{V_u - \phi_v V_{cr}}{\phi_v V_n - \phi_v V_{cr}} \right) \quad (۶۵-۳-۴)$$

V_{cr} = تنش مقاوم تسلیم یا کمانش برشی چشمه‌ی مورد مطالعه

$$V_{cr} = C V_p \quad (۶۶-۳-۴)$$

V_p = نیروی برشی پلاستیک

$$V_p = 0.58 F_{yw} D t_w \quad (۶۷-۳-۴)$$

ϕ_v = ضریب مقاومت برشی مساوی ۱

C = نسبت مقاومت کمانشی برشی به مقاومت برشی تسلیم

V_n = ظرفیت برشی اسمی

V_u = نیروی برشی ضریبدار در مقطع مورد مطالعه

سخت‌کننده‌های عرضی که همراه با سخت‌کننده‌های طولی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید رابطه‌ی زیر را نیز اقلنا نمایند.

$$I_t \geq \left(\frac{b_t}{b_\ell} \right) \left(\frac{D}{3.0 d_o} \right) I_\ell \quad (۶۸-۳-۴)$$

که در آن:

b_t = عرض سخت‌کننده‌ی عرضی میانی

b_ℓ = عرض سخت‌کننده‌ی طولی

I_ℓ = ممان اینرسی سخت‌کننده‌ی طولی

۴-۳-۸-۵ - سخت‌کننده‌های فشاری

کلیات

در محل نیروهای متمرکز یا واکنش‌های تکیه‌گاهی استفاده از سخت‌کننده‌ی فشاری لازم است.

این سخت‌کننده‌ها بصورت دوطرفه در دو طرف جان مورد استفاده قرار می‌گیرند و باید به جان جوش یا پیچش شوند. باید بطور کامل در تماس با بال قرار گیرند. در تکیه‌گاه انتهایی به هر دو بال بالا و پایین جوش می‌شوند و در تکیه‌گاه پیوسته به بال فشاری (پایین) جوش می‌شوند و در تماس با بال بالا قرار می‌گیرند.

در طراحی باید مقاومت لهدگی و ستونی آنها کنترل شوند.

نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده‌ی فشاری

نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده‌ی فشاری باید در رابطه‌ی زیر صدق کند. عرض سخت‌کننده‌ی فشاری طوری انتخاب می‌شود تا به لبه‌ی بال برسد.

$$\frac{b_t}{t_p} \leq 0.48 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (۴-۳-۶۹)$$

که در آن:

F_{ys} = مقاومت تسلیم سخت‌کننده‌ی فشاری

b_t = عرض سخت‌کننده‌ی فشاری

مقاومت فشار تماسی (لهدگی)

مقاومت لهدگی سخت‌کننده‌ی فشاری از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$(R_{sb})_r = \phi_b (R_{sb})_n \quad (۴-۳-۷۰)$$

که در آن:

$(R_{sb})_n$ = ظرفیت اسمی لهدگی سخت‌کننده‌ی فشاری

$$(R_{sb})_n = 1.4 A_{pn} F_{ys} \quad (۴-۳-۷۱)$$

که در آن:

ϕ_b = ضریب کاهش مقاومت لهدگی مساوی ۱

A_{pn} = سطح تماس خالص سخت‌کننده با بال

F_{ys} = تنش تسلیم سخت‌کننده

مقاومت فشاری محوری سخت‌کننده‌های فشاری

مقاومت فشاری محوری سخت‌کننده‌ی فشاری همانند ستونی است که طول موثر آن $0.75D$ و شعاع ژیراسیون آن، مساوی شعاع ژیراسیون مقطع موثر حول محور جان است. D ارتفاع ورق جان است.

مقطع موثر

مقطع موثر سخت‌کننده‌ی فشاری مساوی سطح مقطع سخت‌کننده‌ها به علاوه ۹ برابر ضخامت جان در هر طرف سخت‌کننده می‌باشد.

۴-۳-۸-۶- سخت‌کننده‌های طولی

کلیات

به منظور جلوگیری از کمانش خمشی جان از سخت‌کننده‌ی طولی بصورت ورق جوش شده به جان یا نبشی پیچ شده به جان در فاصله‌ی حدود $0.2D$ از بال فشاری استفاده می‌شود. مقطع سخت‌کننده‌های طولی باید در سطح مقطع کلی مقطع منظور شود. سخت‌کننده‌های عرضی و فشاری در محل برخورد با سخت‌کننده‌ی طولی باید پیوسته باشند و سخت‌کننده‌ی طولی باید قطع شده و به آنها جوش شود.

تنش در سخت‌کننده‌ی طولی تحت خمش ناشی از بارهای ضربیدار در حالت حدی در هنگام کنترل توالی ساخت نباید از مقدار زیر تجاوز کند:

$$f_s \leq \phi_f R_h F_{ys} \quad (۷۲-۳-۴)$$

که در آن:

ϕ_f = ضریب تقلیل مقاومت خمشی مساوی ۱

F_{ys} = تنش تسلیم ورق سخت‌کننده

R_h = ضریب کاهش دوگانگی

نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده‌های طولی

نسبت عرض برجسته‌ی سخت‌کننده به ضخامت آن باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$\frac{b_\ell}{t_s} \leq 0.48 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (۷۳-۳-۴)$$

$F_y(\text{kg/cm}^2)$	$0.48\sqrt{E/F_{ys}}$
2400	14.2
3500	11.76

t_s = ضخامت جان سخت کننده‌ی طولی

ممان اینرسی سخت کننده‌ی طولی حول محور قائم

$$I_\ell \geq Dt_w^3 \left[2.4 \left(\frac{d_o}{D} \right)^2 - 0.13 \right] \beta \quad (۷۴-۳-۴)$$

و

$$r \geq \frac{0.16d_o \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}}{\sqrt{1 - 0.6 \frac{F_{yc}}{R_h F_{ys}}}} \quad (۷۵-۳-۴)$$

که در روابط فوق:

β = ضریب اصلاح انحنا

- برای حالتی که سخت کننده در سمتی از جان باشد که به سمت دور از مرکز انحنا است.

$$\beta = \frac{Z}{6} + 1 \quad (۷۶-۳-۴)$$

- برای حالتی که سخت کننده در سمتی از جان باشد که به سمت مرکز انحنا است.

$$\beta = \frac{Z}{12} + 1 \quad (۷۷-۳-۴)$$

Z = پارامتر انحنا

$$Z = \frac{0.95d_o^2}{Rt_w} \leq 10 \quad (۷۸-۳-۴)$$

که در آن:

d_o = فاصله سخت کننده‌های عرضی

I_ℓ = ممان اینرسی مقطع موثر شامل سخت کننده‌ی طولی به علاوه‌ی $(18t_w)$ از جان حول محور قائم مقطع موثر

R = حداقل شعاع تیر در چشمه

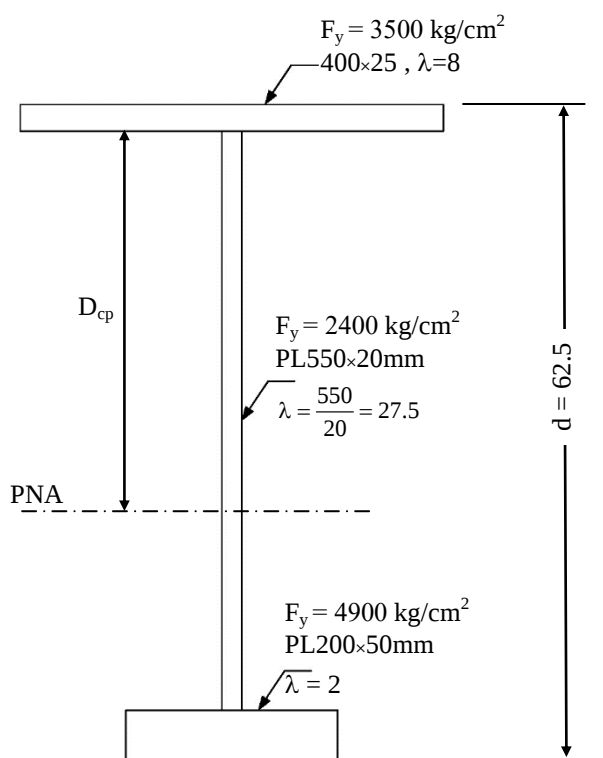
r = شعاع ژیراستون مقطع موثر تعریف شده برای I_ℓ

پیوست فصل چهارم

مثال‌های طراحی به روش LRFD

مثال ۱-۴

مطلوبست تعیین لنگر پلاستیک مقطع نشان داده شده در شکل.



شکل مثال ۱-۴

حل:

لنگر پلاستیک M_p مساوی ZF_y می‌باشد که در آن Z اساس پلاستیک مقطع است، لیکن از آنجایی که مقطع همگن نبوده و F_y واحد ندارد، باید به روش استاتیکی محل تار خنثای پلاستیک و لنگر پلاستیک تعیین شود:

$$P_c = 40 \times 2.5 \times 3500 \times 10^{-3} = 350 \text{ ton} \quad (\text{نیروی تسلیم بال فشاری})$$

$$P_w = 55 \times 2 \times 2400 \times 10^{-3} = 264 \text{ ton} \quad (\text{نیروی تسلیم ورق جان})$$

$$P_t = 20 \times 5 \times 4900 \times 10^{-3} = 490 \text{ ton} \quad (\text{نیروی تسلیم بال کشش})$$

$$P_c + P_w > P_t \quad (350 + 264 = 614 > 490)$$

پس تار خنثای پلاستیک در جان قرار می‌گیرد. با تعریف q یعنی نسبتی از جان که در بالای تار خنثی قرار دارد، می‌توان نوشت:

$$P_{\text{کش}} = P_{\text{فشار}}$$

$$P_c + qP_w = (1-q)P_w + P_t$$

$$(350) + q(264) = (1-q)(264) + (490)$$

$$q = 0.7652$$

$$P_{wc} = 264 \times 0.7652 = 202 \text{ ton} \quad P_{wt} = 264(1 - 0.7652) = 62 \text{ ton}$$

$$D_{cp} = 0.7652 \times 55 = 42.1 \text{ cm} \Rightarrow \bar{Y} = 42.1 + 2.5 = 44.6 \text{ cm}$$

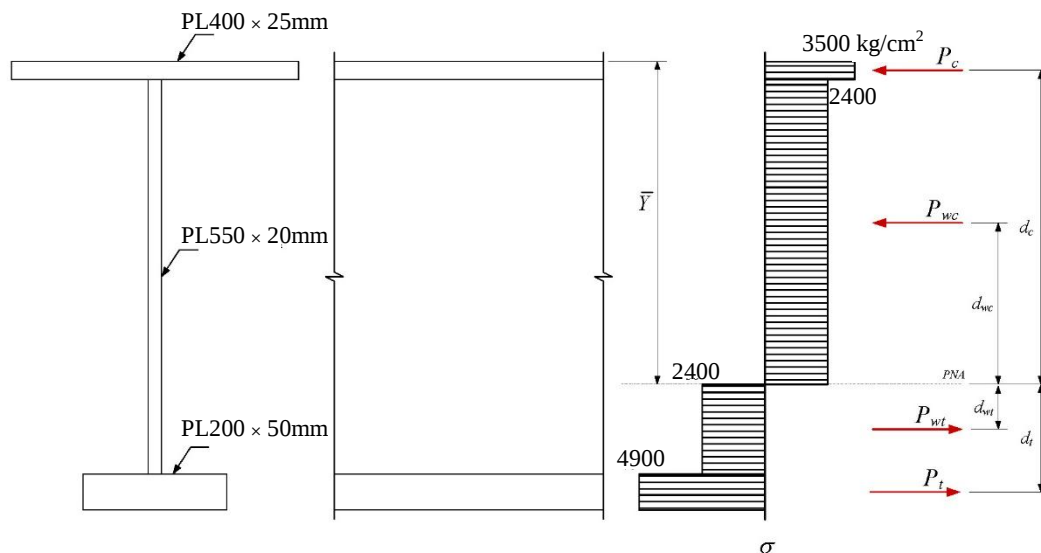
حال لنگر استاتیک تمام نیروها نسبت به PNA محاسبه می‌شود تا لنگر پلاستیک حاصل شود.

$$d_c = \bar{Y} - \frac{t_c}{2} = 44.6 - 0.5 \times 2.5 = 43.35 \text{ cm}$$

$$d_{wc} = \left(\frac{1}{2}\right)qh = 0.5 \times 0.7652 \times 55 = 21.04 \text{ cm}$$

$$d_{wt} = \left(\frac{1}{2}\right)(1-q)h = 0.5(1 - 0.7652) \times 55 = 6.46 \text{ cm}$$

$$d_t = d - \bar{Y} - \frac{t_t}{2} = 62.5 - 44.6 - 2.5 = 15.4 \text{ cm}$$



$$\begin{aligned} M_p &= \sum P_i d_i = P_c d_c + P_{wc} d_{wc} + P_{wt} d_{wt} + P_t d_t \\ &= 350 \times 43.35 + 202 \times 21.04 + 62 \times 6.46 + 490 \times 15.4 \\ &= 27369.1 \text{ ton.cm} = 273.7 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

اگر مقطع همگن بود و از یک نوع فولاد ساخته می‌شد، $M_p = ZF_y$ می‌شد که نحوه محاسبه‌ی اساس مقطع پلاستیک Z به قرار زیر است:

$$A = 40 \times 2.5 + 55 \times 2 + 20 \times 5 = 310 \text{ cm}^2$$

تار خنثای پلاستیک، مقطع را نصف می‌کند.

$$\frac{A}{2} = 155 \text{ cm}^2$$

$$40 \times 2.5 + D_{cp} \times 2 = 155$$

$$D_{cp} = 27.5 \text{ cm}$$

$$Z = 40 \times 2.5 \times (27.5 + 1.25) + 2 \times \frac{27.5^2}{2} + 2 \times \frac{(50 - 27.5)^2}{2} + 20 \times 5 (50 - 27.5 + 2.5) = 6637.5 \text{ cm}^3$$

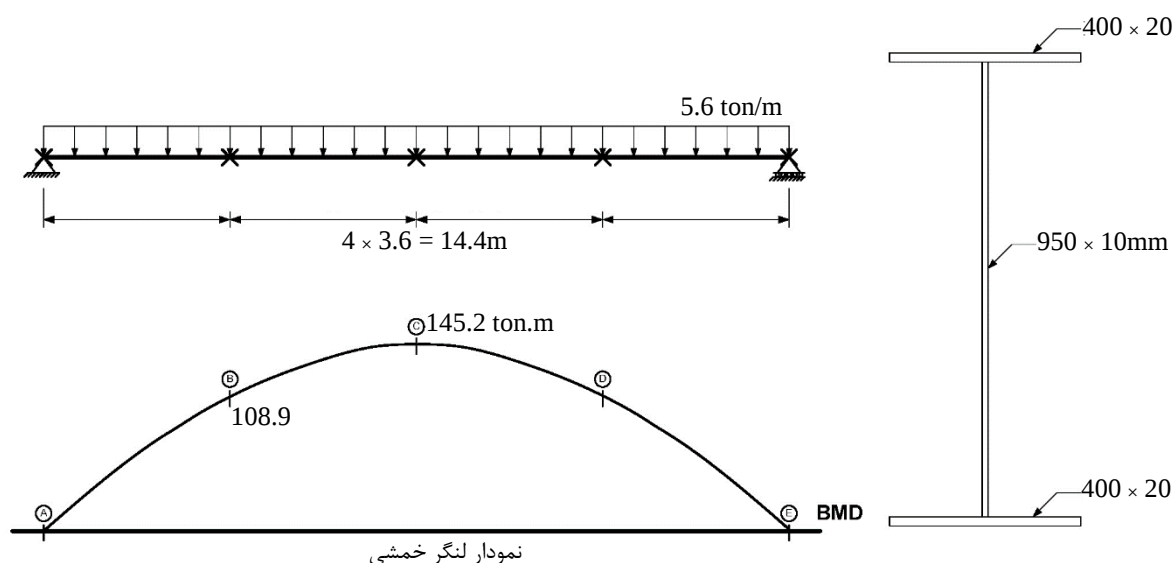
اگر کل مقطع از فولاد ST52 با $F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ ساخته می‌شد، لنگر M_p برابر می‌شد با:

$$M_p = 6637.5 \times 3500 \times 10^{-5} = 2323 \text{ ton.m}$$

مثال ۴-۲

تیری به دهانه‌ی ۱۴/۴ متر با مقطع نشان داده شده در شکل تحت بار ضریبدار ۵/۶ تن بر متر (شامل وزن تیر) مفروض است. با استفاده از روابط خمش کفایت تیر را کنترل نمایید.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$



حل:

۱- طبقه بندی مقطع

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$D = 95 \text{ cm}$$

$$D_c = \frac{D}{2} = \frac{95}{2} = 47.5 \text{ cm}$$

$$\frac{2 \times 47.5}{1} = 95 \leq 5.7 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 140 \quad \text{OK,} \quad (\text{جان لاغر نیست})$$

$$\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0.3$$

$$I_{yc} = I_{yt} \quad \text{OK} \quad \text{به علت تقارن}$$

مودهای شکست زیر باید مورد بررسی قرار گیرند:

$$F_{nc} \begin{cases} F_{nc(FLB)} & \bullet \text{ کمانش موضعی بال فشاری} \\ F_{nc(LTB)} & \bullet \text{ کمانش پیچشی جانبی بال فشاری} \\ F_{nt} & \bullet \text{ تسلیم بال کششی} \end{cases}$$

کنترل کمانش موضعی بال فشاری:

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} = \frac{40}{2 \times 2} = 10$$

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 0.38 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 9.3$$

چون $\lambda_f > \lambda_{pf}$ می باشد، بال غیرفشرده است. داریم:

$$F_{nc(FLB)} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc}$$

$$\lambda_{rf} = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$F_{yr} = \min(0.7F_{yc}, F_{yw}) \geq 0.5F_{yc}$$

$$F_{yr} = 0.7 \times 3500 = 2450 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_{rf} = 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2450}} = 16.4$$

$$R_b = 1.00 \quad (\text{چون جان لاغر نیست})$$

$$R_h = 1.00 \quad (\text{مقطع دوگانه نیست})$$

$$F_{nc(FLB)} = \left[1 - \left(1 - \frac{2450}{(1.00)(3500)} \right) \left(\frac{10 - 9.3}{16.4 - 9.3} \right) \right] (1.00)(1.00)(3500) = 3396.5 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل کمانش پیچشی - جانبی بال:

$$L_b = 360 \text{ cm} \quad \text{طول مهار نشده}$$

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}} = \frac{(40)}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{(47.5 \times 1)}{(40 \times 2)} \right)}} = 10.55 \text{ cm}$$

$$(r_t = 0.28 b_{fc} \text{ بطور تقریب})$$

$$L_p = 1.0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = ((1.0)(10.55)) \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 258.4 \text{ cm} < 360 \text{ cm}$$

$$F_{yr} = \min(0.7 F_{yc}, F_{yw}) \geq 0.5 F_{yc} \quad F_{yr} = (0.7)(3500) = 2450 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = (\pi)(10.55) \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2450}} = 970.4 \text{ cm}$$

$$L_p = 258.4 < L_b = 360 < L_r = 970.4$$

پس کمانش غیرارجاعی حاکم است.

$$F_{nc(LTB)} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc(LTB)} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{2450}{(1.00)(3500)} \right) \left(\frac{360 - 258.4}{970.4 - 258.4} \right) \right] (1.0)(1.0)(3500) \leq (1.0)(1.0)(3500)$$

$$F_{nc(LTB)} = (C_b)(0.957)(3500) = (C_b)(3350) \leq 3500 \text{ kg/cm}^2$$

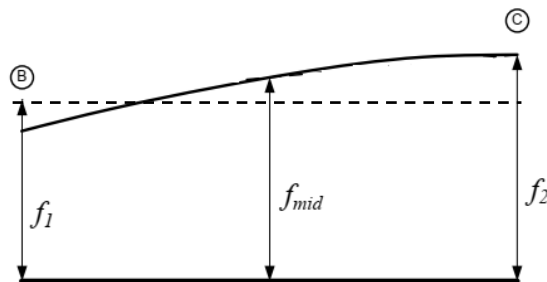
محاسبه‌ی ضریب تغییرات لنگر:

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0.3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2.3$$

$$M_2 = M_c = 145.2 \text{ ton.m} \quad \rightarrow \quad f_2 = 1605 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_o = M_B = 108.9 \text{ ton.m} \quad \rightarrow \quad f_o = 1204 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{BC, \text{mid}} = 136.2 \text{ ton.m} \quad \rightarrow \quad f_{\text{mid}} = 1506 \text{ kg/cm}^2$$



چون نمودار لنگر خمشی مقعر نمی باشد:

$$f_1 = 2f_{\text{mid}} - f_2 \geq f_o = (2)(1506) - (1605) = 1407 \geq 1204 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{1407}{1605} \right) + 0.3 \left(\frac{1407}{1605} \right)^2 = 1.061 \leq 2.3 \quad \rightarrow \quad C_b = 1.061$$

$$F_{\text{nc(LTB)}} = (1.061)(3350) = 3554 > 3500 \quad \rightarrow \quad F_{\text{nc(LTB)}} = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

کوچکترین دو مقدار $F_{\text{nc(FLB)}}$ و $F_{\text{nc(LTB)}}$ حاکم است.

$$F_{\text{nc(LTB)}} = 3500 > F_{\text{nc(FLB)}} = 3396.5$$

$$f_{\text{nc}} = F_{\text{nc(FLB)}} = 3396.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi F_{\text{nc}} = (1.00)(3396.5) = 3396.5 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل رابطه ی خمشی

$$f_{\text{bu}} + \frac{1}{3} f_{\ell} \leq \phi_f F_{\text{nc}}$$

$$f_{\text{bu}} = f_c = 1605 \text{ kg/cm}^2$$

با فرض ترکیب بار مقاومت ۱:

$$\gamma_{\text{ws}} = 0 \quad f_{\ell} = 0$$

$$f_{\text{bu}} + \frac{1}{3} f_{\ell} = 1605 < \phi_f F_{\text{nc}} = 3396.5$$

پس بال فشاری رضایت بخش است.

کنترل مقاومت بال کششی

$$F_{\text{nt}} = R_h F_{\text{yt}} = (1.0)(3500) = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi F_{\text{nt}} = (1.00)(3500) = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_{\ell} \leq \phi_f F_{nc}$$

$$f_{bu} = f_c = 1605$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_{\ell} = 165 < \phi_f F_{nc} = 3500$$

پس بال کششی نیز رضایت بخش است.

پس مقطع کفایت خمشی دارد.

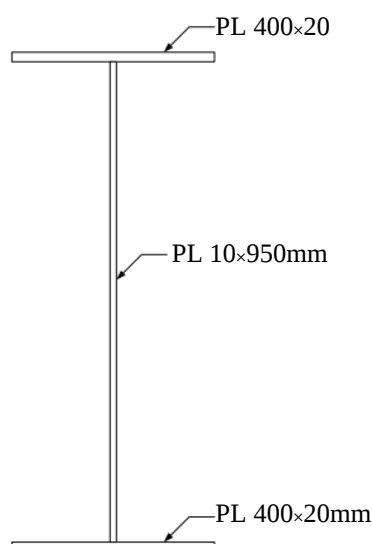
تذکر:

در مهندسی پل لازم است در فواصل حداکثر تا ۷/۵ متر دیافراگم عرضی در عرشه‌ی پل فولادی تعبیه نمود و اصولاً طراحی بر مبنای عدم اجازه به کمانش پیچشی - جانبی قرار دارد. با انتخاب مناسب نسبت b_{fc}/t_{fc} باید از کمانش موضعی جلوگیری نمود.

مثال ۳-۴

تیرورق نشان داده شده در شکل مفروض است. اگر نیروی برشی ضریبدار ۱۱۰ تن باشد، مطلوبست کنترل برشی آن.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2 \text{ داریم:}$$



حل:

برای کنترل برش داریم:

$$V_n = CV_p$$

$$V_p = 0.58F_y D t_w$$

$$V_p = (0.58)(3500)[95 \times 1] \times 10^{-3} = 192.85 \text{ ton}$$

چون در جان سخت کننده تعبیه نشده است:

$$k = 5$$

$$\sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(5)}{(3500)}} = 54.8$$

$$1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = (1.12)(54.8) = 61.3$$

$$1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = (1.40)(54.8) = 76.7 \quad \frac{D}{t_w} = \frac{95}{1} = 95$$

$$\frac{D}{t_w} = 95 > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = 76.7$$

پس کمانش الاستیک حاکم است.

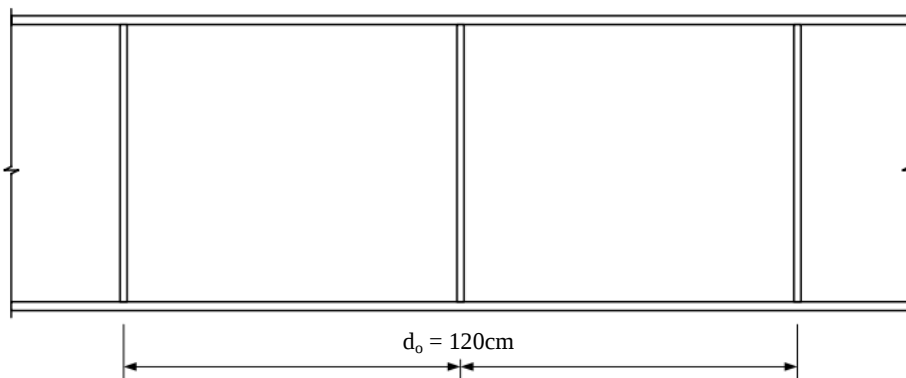
$$C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2} \left(\frac{Ek}{F_y} \right) = \frac{(1.57)}{(95)^2} \left(\frac{(2.1 \times 10^6)(5.00)}{(3500)} \right) = 0.52$$

$$V_n = CV_p = 0.52 \times 192.85 = 100.3$$

$$\phi V_n = (1.00)(100.3) = 100.3 < V_u = 110 \text{ ton}$$

پس نیاز به افزودن سخت‌کننده‌ی عرضی میانی داریم. نسبت ابعاد چشمه از ۱ تا ۱/۵ خوب است.

$$\frac{d_o}{D} \approx 1.25 \rightarrow d_o \cong 1.25D = (1.25)(95) = 118.75 \Rightarrow d_o = 120 \text{ cm} \Rightarrow \frac{d_o}{D} = \frac{120}{95} = 1.263$$



$$k = 5 + \frac{5}{(d_o/D)^2} = 5 + \frac{5}{(1.263)^2} = 8.134$$

$$\sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(8.134)}{(3500)}} = 69.9$$

$$1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = (69.9)(1.12) = 78.2$$

$$1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = (69.9)(1.40) = 98$$

$$\frac{D}{t_w} = 95 < 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} = 96.15$$

کمانش غیرالاستیک حاکم است.

$$C = \frac{1.12}{(D/t_w)} \sqrt{\left(\frac{Ek}{F_y}\right)} = \frac{(1.12)}{(95)} \sqrt{\left(\frac{(2.1 \times 10^6)(8.134)}{(3500)}\right)} = 0.82$$

$$V_n = CV_p = 0.82 \times 192.85 = 158.1$$

$$\phi V_n = (1.00)(15.81) = 158.1 > V_u = 110 \text{ ton}$$

تعیین تنش برشی مجاز در چشمه‌های داخلی با استفاده از عمل میدان کششی

$$\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$$

$$\frac{(2)(95)(1)}{[(40)(2) + (40)(2)]} = 1.188 \leq 2.5$$

OK

می‌توان از عمل میدان کششی استفاده نمود:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right]$$

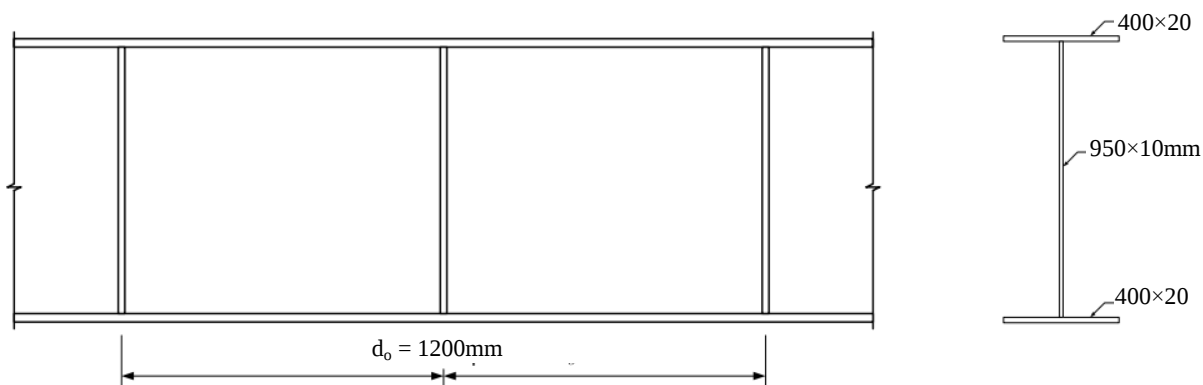
$$V_n = 192.85 \left[(0.82) + \frac{(0.87)(1-0.82)}{\sqrt{1 + (1.263)^2}} \right] = 192.85 \times 0.92 = 177.4 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = (1.00)(177.4) = 177.4 \text{ ton}$$

مثال ۴-۴

در مثال قبل، مطلوبست طراحی سخت‌کننده‌های میانی و انتهایی برای تحمل واکنش تکیه‌گاهی.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$



طراحی سخت‌کننده‌های میانی

ممان اینرسی مقطع سخت‌کننده نسبت به محور جان باید روابط زیر را اکتان نماید:

$$I_t \geq b t_w^3 J$$

$$I_t \geq \frac{D^4 \rho_t^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}$$

I_t = ممان اینرسی سخت‌کننده عرضی میانی نسبت به محور جان

$$J = 2.5 \left(\frac{D}{d_o} \right)^2 - 2.0 \geq 0.5 \quad \text{یا} \quad J = \frac{2.5}{(d_o/D)^2} - 2.0 \geq 0.5$$

از دو ورق $150 \times 10\text{mm}$ در دو طرف جان به عنوان سخت‌کننده استفاده می‌شود.

$$J = \frac{2.5}{(120/95)^2} - 2.0 = -0.43 \Rightarrow J = 0.5$$

$$b = \min(d_o, D) \quad b = 95$$

$$\rho = \max(F_{yw}/F_{crs}, 1.00)$$

$$F_{crs} = \frac{0.31E}{\left(\frac{b_t}{t_p} \right)^2} \leq F_{ys} \quad F_{crs} = \frac{(0.31)(2.1 \times 10^6)}{\left(\frac{15}{1} \right)^2} = 2893 \text{ kg/cm}^2 \leq 3500$$

$$\rho = 3500/2893 \geq 1.00 \quad \rho = 1.21$$

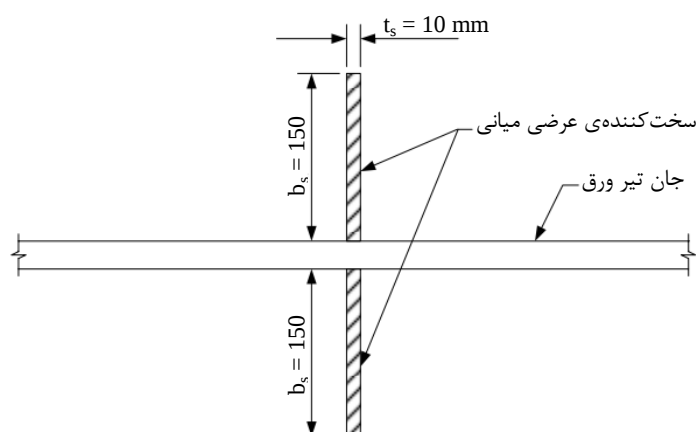
$$b t_w^3 j = 95 \times 1^3 \times 0.5 = 47.5 \text{ cm}^4 \quad (\text{حاکم است})$$

$$\frac{D^4 \rho_t^{1.3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5} = \frac{(95)^4 (1.25)^{1.3}}{40} \left(\frac{3500}{2.1 \times 10^6} \right)^{1.5} = 185.2 \text{ cm}^4$$

$$I_t = \frac{(t_s)(2b_s + t_w)^3}{12} \quad b_s = 15$$

$$I_t = \frac{(t_s)[(2)(15)+1]^3}{12} = 2482.6 t_s$$

$$t_p \geq \frac{bt_w^3 J}{2482.6} = \frac{47.5}{2482.6} = 0.019 \text{ cm} \Rightarrow t_s = 10 \text{ mm}$$



طراحی سخت کننده‌ی فشاری

ابتدا ظرفیت جان برای تحمل فشار تکیه‌گاهی بدون وجود سخت کننده فشاری کنترل می‌شود. در اغلب موارد این کنترل لازم نیست و در محل نیروی متمرکز وجود سخت کننده‌ی فشاری الزامی است.

$$R = 110 \text{ ton}$$

کنترل تسلیم جان

$$N = 250 \text{ mm} \quad k = 20 + 10 (\text{جوش بال به جان}) = 30 \text{ mm}$$

$$R_n = (2.5k + N) F_{yw} t_w$$

$$R_n = (2.5 \times 3 + 2.5)(3500 \times 1) 10^{-3} = 113.75 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = (1.0)(113.75) = 113.75 > 110 \text{ ton}$$

کنترل لهیدگی جان

$$\text{فاصله واکنش تکیه‌گاهی از انتهای تیر} = 40 \text{ cm} < d/2 = 99/2 = 49.5 \text{ cm}$$

$$\frac{N}{d} = \frac{25}{99} = 0.253 > 0.2$$

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$R_n = (0.40)(1)^2 \left[1 + \left(\frac{(4)(25)}{(95+2 \times 1)} - 0.2 \right) \left(\frac{1}{2} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6 \times 3500 \times 2)}{(1)}}$$

$$R_n = 0.4 \times 1.83 \times 0.354 \times 121244 \times 10^{-3} = 31.4 \text{ ton}$$

مقدار فوق کوچکتر از واکنش تکیه‌گاهی ۱۱۰ تن است و وجود سخت‌کننده‌ی فشاری الزامی است.

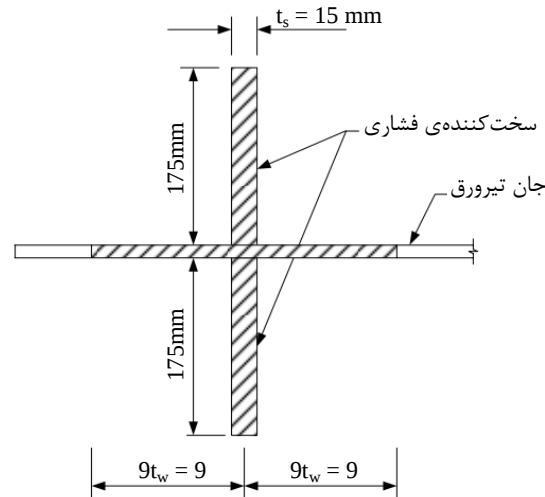
تعیین ابعاد سخت‌کننده‌ی فشاری با توجه به معیار کمانش موضعی:

$$b_t \leq 0.48t_p \sqrt{\frac{Ek}{F_y}} \quad F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

$$b_t \leq 0.48t_p \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 11.75 \Rightarrow b_s = 175 \text{ mm}$$

$$t_p \geq \frac{b_t}{11.75} = \frac{17.5}{11.75} = 1.49 \Rightarrow t_s = 15 \text{ mm}$$

طراحی سخت‌کننده‌ی فشاری همانند ستون:



$$I = 5834 \text{ cm}^4$$

$$A = 70.5 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 9.1$$

$$\left(\frac{KL}{r} \right) = \left(\frac{(0.75)(95)}{9.1} \right) = 7.83$$

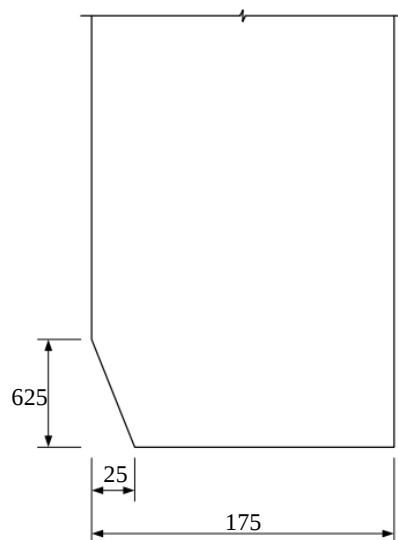
$$\lambda = \left(\frac{KL}{r\pi} \right)^2 \frac{F_y}{E} = \left(\frac{7.83}{\pi} \right)^2 \left(\frac{3500}{2.1 \times 10^6} \right) = 0.01$$

$$P_n = 0.66^{\lambda} F_y A_s$$

$$= (0.66^{0.01})(3500)(70.5)10^{-3} = 245.7 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.90)(245.7) = 221 \text{ ton} > 110 \text{ ton}$$

کنترل تسلیم تماسی (لهیدگی):



$$R_n = 1.4 A_{pn} F_{ys}$$

$$A_{pn} = \text{سطح تماس} = (2)(17.5 - 2.5) \times 1.5 = 45 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 1.4 \times 45 \times 3500 \times 10^{-3} = 220.5 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = (1.00)(220.5) = 220.5 \text{ ton} > 110 \text{ ton}$$

فصل ۵

تیرهای مختلط (مرکب)

۵-۱- قسمت اول - کلیات

۵-۱-۱- تعریف

نیمرخ‌های مختلط شامل تیرهای فولادی می‌باشند که به کمک برشگیرها با دال بتنی واقع بر بال فوقانی آنها یکپارچه شده‌اند. توجه شود که تمام ضوابط فصل چهارم در این فصل به قوت خود باقی هستند. مگر اینکه به نحوی در این فصل مورد اصلاح قرار گیرند.

۵-۱-۲- تناسبات هندسی

کلیه‌ی تناسبات هندسی ارائه شده در بندهای ۴-۱-۲ الی ۴-۱-۴ در مورد تیرهای مختلط نیز باید رعایت شود.

۵-۱-۳- محاسبه‌ی تنش هماهنگ با روش اجرا

۵-۱-۳-۱- توالی بارگذاری

تنش الاستیک در هر تراز از مقطع مختلط به علت بارهای وارده، مجموع تنش‌های ناشی از هر مرحله بارگذاری بطور جداگانه در مقاطع زیر است:

- مقطع فولادی تنها
- مقطع مختلط در مقابل بارهای درازمدت.
- مقطع مختلط در مقابل بارهای کوتاه‌مدت.

۵-۱-۳-۲- اجرا بدون پایه‌های موقت

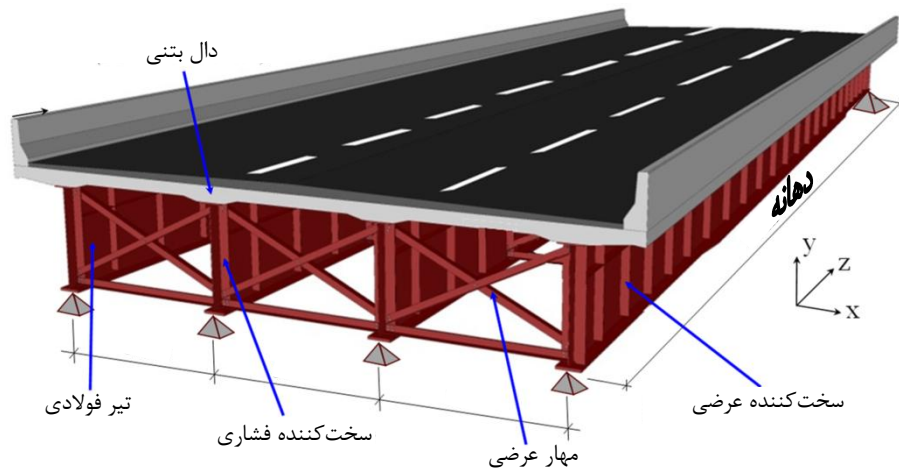
در اجرا بدون پایه‌های موقت مراحل بارگذاری به شرح زیر است.

- ۱- وزن تیر فولادی، وزن دال بتنی نگرفته و قالب‌بندی که به مقطع فولادی تنها وارد می‌شود (بار مرده‌ی گروه ۱)
- ۲- بارهای مرده به غیر از وزن دال بتنی که به مقطع مختلط با اثرات درازمدت وارد می‌شود. (بار مرده‌ی گروه ۲)
- ۳- بارهای زنده که به مقطع مختلط با اثرات کوتاه‌مدت وارد می‌شود. (بار زنده)

۵-۱-۳-۳- اجرا با پایه‌های موقت

در اجرا با پایه‌های موقت مراحل بارگذاری به شرح زیر است:

- ۱- تمام بارهای مرده‌ی دائمی به مقطع مختلط با اثرات درازمدت وارد می‌شود.
- ۲- بارهای زنده که به مقطع مختلط با اثرات کوتاه‌مدت وارد می‌شود.



شکل ۵-۱-۱- تیرهای مختلط I

۵-۱-۴- محاسبه‌ی تنش در اثر خمش مثبت (بتن دال فوقانی در فشار)

برای محاسبه‌ی تنش‌های خمشی در حالت حدی مقاومت، از مشخصات مقطع تبدیل یافته در حالت الاستیک استفاده شده و از مقاومت کششی بتن در زیر تار خنثای الاستیک صرف نظر می‌شود.

عرض مقطع بال فشاری بتن در مقطع تبدیل یافته برای بارهای مرده‌ی دائمی از تقسیم عرض موثر دال بتنی بر ضریب $3n$ بدست می‌آید، که n نسبت مدول الاستیسیته‌ی فولاد به بتن می‌باشد. برای بارهای زنده که اثر آنی دارند، عرض تبدیل یافته از تقسیم عرض موثر بر n تعیین می‌گردد. برای بتن با وزن مخصوص متعارف مقادیر n مطابق جدول ۵-۱ می‌باشند. در صورتی که لنگر ناشی از بارهای دائم و آنی هم علامت نباشند، مادامی که تنش در بتن دال فشاری است، می‌توان از مشخصات مقطع مربوط به هر بارگذاری استفاده و تنش‌های بدست آمده را با هم جمع نمود. در غیر اینصورت باید از روش محاسبه تنش در مناطق با لنگر منفی استفاده نمود.

جدول ۵-۱

C20	$16 \leq f'_c < 20$	$n = 10$
C25	$20 \leq f'_c < 25$	$n = 9$
C30	$25 \leq f'_c < 32$	$n = 8$
C35	$32 \leq f'_c < 42$	$n = 7$
C40	$42 \leq f'_c$	$n = 6$

f'_c بر حسب N/mm^2 (مگاپاسکال)

۵-۱-۵- محاسبه‌ی تنش در اثر خمش منفی (بتن دال فوقانی در کشش)

برای محاسبه‌ی تنش‌های خمشی در مقطع تحت لنگر منفی، مقطع موثر برای بارهای آنی و درازمدت شامل نیمرخ فولادی و کلیه‌ی میلگردهای طولی واقع در عرض موثر دال بتنی می‌باشد.

۵-۱-۶- تنش‌های دال بتنی

برای محاسبه‌ی تنش‌های خمشی در دال بتنی، ناشی از بارهای آنی و درازمدت، از مقطع تبدیل یافته با ضریب تبدیل n استفاده کنید.

۵-۱-۷- عرض موثر دال بتنی

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 مجاور

پ) ۶ برابر ضخامت دال

۵-۱-۸- مقاطع غیرمختلط

در صورتی که دال بتنی با اتصال‌های برشگیر کافی با بال فوقانی تیر متصل نشده باشد، باید از مشخصات هندسی نیمرخ فولادی تنها برای محاسبات تنش استفاده نمود.

۵-۱-۹- حداقل آرماتور دال در ناحیه لنگر خمشی منفی

وقتی که تنش‌های کششی طولی دال بتنی به علت بارهای اجرایی ضریبدار یا ترکیب بار بهره‌برداری II از ϕf_r تجاوز کند، حداقل به میزان یک درصد مقطع بتنی، باید آرماتور طولی در دال تعبیه گردد. مقدار ϕ را مساوی ۰/۹ فرض کنید و f_r نیز از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad (۱-۱-۵)$$

f'_c = مقاومت مشخصه به کیلوگرم بر سانتیمترمربع

به منظور دوام بتن، توصیه می‌شود همواره میلگرد طولی به مقدار یک درصد مقطع بتنی، تعبیه گردد.

حداقل تنش تسلیم میلگردهای فوق مساوی ۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع و حداکثر قطر آن ۲۰ میلیمتر است.

میلگرد فوق در دو لایه قرارداده می‌شود بطوریکه ۳/۴ آن در لایه فوقانی قرار گیرد. این میلگرد در تمام عرض دال بطور یکنواخت توزیع می‌شود و حداکثر فاصله آنها ۳۰۰ میلیمتر است.

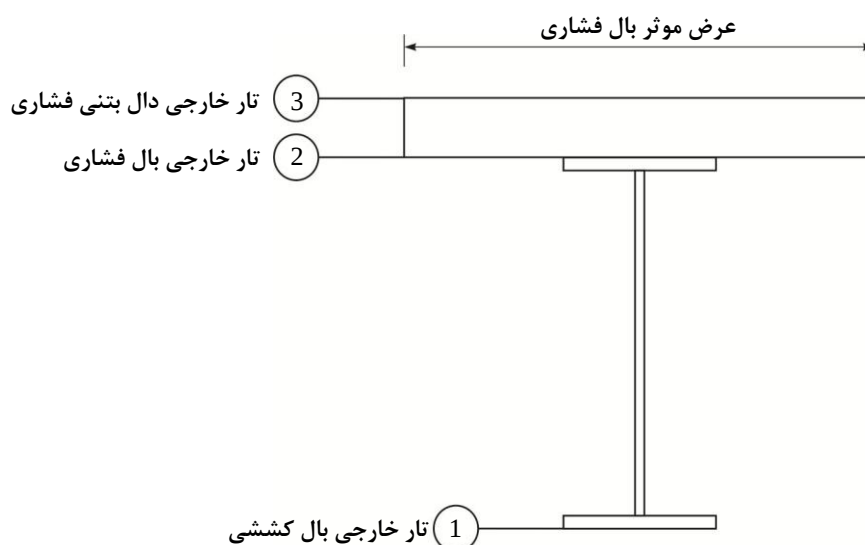
در صورتی که اتصال‌های برشگیر از ناحیه‌ی لنگر منفی حذف شوند، میلگردهای فوق باید تا ناحیه لنگر مثبت ادامه یابند بطوری که به اندازه‌ی طول مهاری از اولین اتصال برشگیر عبور نمایند.

۵-۲- قسمت دوم- طراحی به روش تنش مجاز

۵-۲-۱- الزامات طراحی برای خمش

۵-۲-۱-۱- محاسبات تنش‌های خمشی در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت با استفاده از مفروضات زیر صورت می‌گیرد.

۱. از اثر بتن در زیر تار خنثا صرف‌نظر می‌شود.
۲. تغییرات کرنش در ارتفاع مقطع خطی است.
۳. تغییرات تنش در ارتفاع مقطع خطی است.
۴. مشخصات هندسی مقطع، بر مبنای مقطع تبدیل یافته‌ی فولادی صورت می‌گیرد. عرض بال فشاری باید بر ضریب تبدیل $n = E_s/E_c$ یا $3n$ (بر حسب مورد) تقسیم شود.
۵. توالی اجرا در محاسبات تنش باید مورد توجه قرار گیرد.
۶. تنش حداکثر در بتن تحت فشار مساوی $0.4f'_c$ می‌باشد که f'_c مقاومت مشخصه‌ی بتن دال می‌باشد.
۷. تنش حداکثر در تار کششی فولاد نباید از $0.55F_y$ بزرگتر شود که F_y تنش تسلیم فولاد بال کششی است.
۸. تنش فشاری حداکثر در فولاد باید با توجه به ملاحظات کمانش جانبی بال فشار و کمانش موضعی بال فشاری تعیین گردد. (بخش ۴-۲)
۹. محاسبه‌ی تنش‌ها در ۳ تار نشان داده شده در شکل ۵-۲-۱ الزامی است.
۱۰. برای عملکرد یکپارچه‌ی مقطع وجود اتصال برشگیر لازم است.



شکل ۵-۲-۱- تارهای محاسبه‌ی تنش

۵-۲-۱-۲- محل تار خنثی

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

۵-۲-۱-۳- 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.

۵-۲-۱-۴- کمانش جانبی بال فشاری قبل از گیرش بتن

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

۵-۲-۱-۵- 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 (بار مرده‌ی گروه ۱).

ب) تنش در مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$ به علت بارهای مرده اضافی دائمی (مثل وزن آسفالت، نرده، پیاده‌رو که بار مرده گروه ۲ نامیده می‌شود).

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.

۵-۲-۱-۶- 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.

۵-۲-۱-۷- 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 داد. 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 غیر اینصورت وجود اتصال برشگیر لازم نبوده و باید طبق بند ۵-۲-۲-۹ عمل نمود. در صورت جوش دادن سخت‌کننده‌ها به بال کششی باید به کاهش کلاس خستگی بال فشاری توجه نمود.

۵-۲-۱-۸- ناحیه لنگر منفی

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

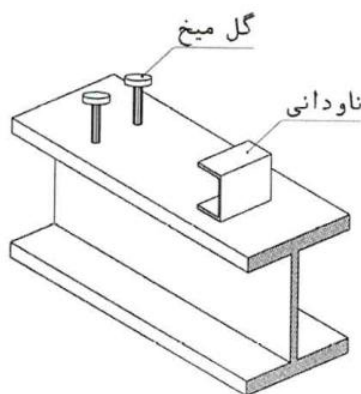
۵-۲-۱-۹- اتصال برشگیر در ناحیه لنگر منفی

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.

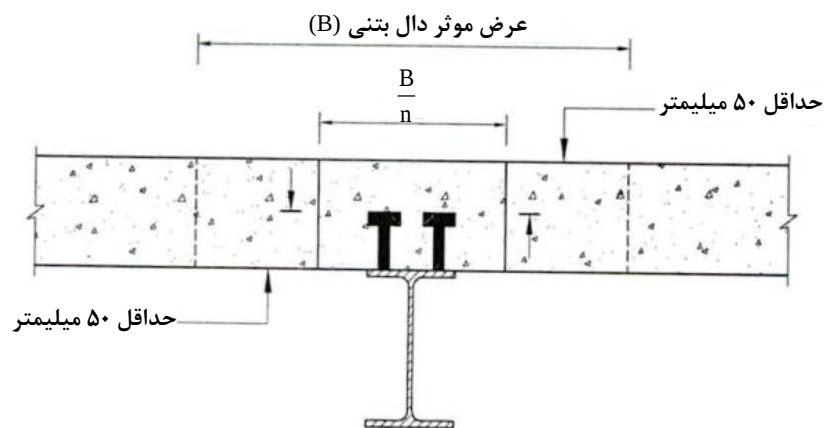
۵-۲-۲- اتصال برشگیر

۵-۲-۲-۱- 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 ۵-۲-۲)، که به آن اتصال برشگیر می‌گویند.

۵-۲-۲-۲- حداقل پوشش بتن روی سطح فوقانی اتصال برشگیر، ۵۰ میلیمتر می‌باشد و برشگیر باید حداقل ۵۰ میلیمتر در بتن فررفته باشد (شکل ۵-۲-۳).



شکل ۵-۲-۲- اتصال برشگیرها



شکل ۳-۲-۵

۳-۲-۲-۵- در هنگام استفاده از برشگیر ناودانی، حداقل اندازه جوشی که در دوردور آن اجرا می‌گردد، ۵ میلیمتر می‌باشد.

۴-۲-۲-۵- 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.

۵-۲-۲-۵- 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.

۶-۲-۲-۵- اتصالات برشگیر باید بر مبنای خستگی محاسبه شده و برای مقاومت نهایی کنترل گردند.

۷-۲-۲-۵- طراحی برشگیر برای خستگی

۱-۷-۲-۲-۵- در طراحی برای خستگی، فواصل طولی اتصالات برشگیر در محل موردنظر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$p = \frac{\sum Z_r}{S_r} \leq 600 \text{ mm} \quad (۱-۲-۵)$$

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

$$S_r = \frac{V_r Q}{I} \quad (۲-۲-۵)$$

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 بار زنده و ضربه در نقطه موردنظر (kg)

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

Q = لنگر استاتیک بال بتنی (یا آرماتورهای طولی در ناحیه لنگر منفی) نسبت به تار خنثای 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.

۵-۲-۷-۳- 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:

$$Z_r = BW \quad (۳-۲-۵)$$

ب) برای گل‌میخ

$$Z_r = \alpha d^2 \quad (۴-۲-۵)$$

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

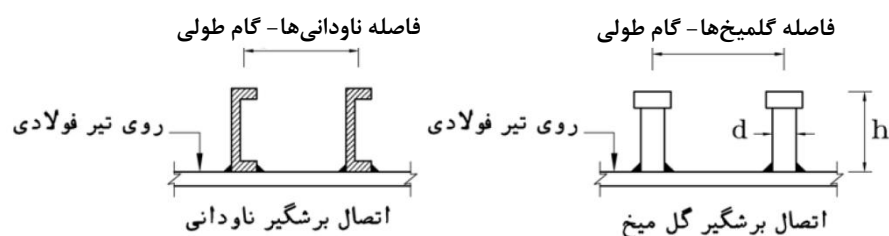
جدول ۵-۲

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 ۵-۲-۴

۵-۲-۲-۸- طراحی برای مقاومت نهایی

۵-۲-۲-۸-۱- در تیرهای ساده تعداد اتصالات برشگیر بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت و تکیه‌گاه انتهایی مجاور برابر است با:

$$N_1 = \frac{P}{\phi S_u} \quad (۵-۲-۵)$$

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:

$$P_1 = A_s F_y \quad (۶-۲-۵)$$

$$P_2 = 0.85 f_c' b t_s \quad (۷-۲-۵)$$

در روابط فوق:

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

F_y = تنش تسلیم 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)

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

الف: برای اتصال برشگیر ناودانی:

$$S_u = 146 \left(h + \frac{t}{2} \right) W \sqrt{f_c'} \quad (۸-۲-۵)$$

ب: برای اتصال برشگیر گل‌میخ

$$S_u = 247 d^2 \sqrt{f_c'} \quad (۹-۲-۵)$$

که در آنها:

W = طول ناودانی (cm)

t = ضخامت جان ناودانی (cm)

h = ضخامت متوسط بال ناودانی (cm)

$d =$ قطر گل‌میخ

۵-۲-۳-۸-۳- 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.

$$N_2 = \frac{P + P_3}{\phi S_u} \quad (۱۰-۲-۵)$$

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

$$P_3 = A_s^r F_y^{r*} \quad (۱۱-۲-۵)$$

$A_s^r =$ 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.

۵-۲-۲-۹- در صورتی که 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:

$$N_c = A_r^2 f_r / Z_r \quad (۱۲-۲-۵)$$

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 بار زنده (در غیاب اطلاعات دقیقتر، می‌توان مقدار آنرا ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع 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.

۵-۲-۳- نیروی برشی قائم

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

۵-۲-۴- تغییر شکل تیرهای مختلط

در تیرهای مختلط که اجرای آنها بدون پایه موقت انجام می‌شود، تغییر شکل 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 تغییر شکل تیرها، باید در مورد تیرهای مختلط رعایت گردد (فصل چهارم).

۵-۳- قسمت سوم- طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

۵-۳-۱- خمش مقاطع مختلط

۵-۳-۱-۱- کلیات

قسمت فولادی مقطع مختلط باید تمام الزامات فصل چهارم (شامل قسمت‌های ۱-۴ و ۳-۴) را برآورده نماید. بنابراین فصل چهارم پیش‌نیاز فصل پنجم می‌باشد.

طراحی تیرهای فولادی مختلط در ناحیه‌ی خمش منفی که در آن بال بتنی به کشش می‌افتد، همانند ضوابط تیرهای فولادی در فصل چهارم است و در این فصل در مورد آن بحثی نمی‌شود.

۵-۳-۱-۲- مقاطع مختلط در خمش مثبت

طراحی مقاطع مختلط در خمش مثبت به دو روش طراحی می‌شوند:

- مقطع فشرده

- مقطع غیرفشرده

تیرهای فولادی مختلط که در صفحه‌ی افق بصورت منحنی و یا کثیرالاضلاع هستند، باید بصورت غیرفشرده طراحی شوند.

۵-۳-۱-۳- مقطع فشرده

تیرهای مختلط مستقیم که الزامات زیر را برآورده نمایند، بصورت فشرده طراحی می‌شوند.

- تنش تسلیم ورق‌های بال نباید از ۴۹۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تجاوز نماید.
- نسبت ارتفاع به ضخامت جان رابطه‌ی زیر را اقلان نماید:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad \text{برای جان بدون سخت‌کننده‌ی طولی} \quad (۵-۳-۱)$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad \text{برای جان با سخت‌کننده‌ی طولی}$$

- نسبت لاغری ناحیه‌ی فشاری جان (شکل ۵-۳-۱) رابطه‌ی زیر را اقلان نماید:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۵-۳-۲)$$

$F_y \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
2400	111
3500	92

- سایر الزامات مندرج در تناسبات هندسی (فصل چهارم، قسمت ۴-۱) رعایت شود.
- در صورتی که شرایط فوق برقرار نباشد، مقطع غیرفشرده می‌باشد، توجه شود که در مقاطع مختلط، بال فشاری در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت، توسط بتن دارای اتکای جانبی پیوسته بوده و نیازی به منظور کردن خمش جانبی نیست.
- در مقاطع فشرده مقاومت خمشی برحسب لنگر پلاستیک بیان می‌شود، در حالی که در مقاطع غیرفشرده مقاومت خمشی برحسب تنش‌های محاسباتی الاستیک بیان می‌گردد.

۵-۳-۱-۴- مقطع غیرفشرده

- تیرهای فولادی مختلط که در صفحه‌ی افق بصورت منحنی و یا کثیرالاضلاع می‌باشند و یا تیرهای مستقیم پل‌های کج با زاویه کجی بیش از ۲۰ درجه در رده‌ی غیرفشرده طبقه‌بندی می‌شوند.
- مقاطع غیرفشرده باید الزامات زیر را برآورده سازند.
- تنش تسلیم ورق‌های بال نباید از ۴۹۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع تجاوز کند.
 - لاغری جان رابطه‌ی زیر را اقلان نماید.

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_{rw} \quad (3-3-5)$$

- بال رابطه‌ی زیر را اقلان نماید.

$$\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0.3 \quad (4-3-5)$$

که در آن:

$$\lambda_{rw} = \text{لاغری حدی برای جان غیرفشرده}$$

$$4.6 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq \lambda_{rw} = \left(3.1 + \frac{5.0}{a_{wc}} \right) \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5-3-5)$$

$F_y \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$4.6 \sqrt{E/F_y}$	$5.7 \sqrt{E/F_y}$
2400	136	168
3500	112	140

a_{wc} = نسبت ۲ برابر جان تحت فشار به مساحت بال فشاری

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (6-3-5)$$

که در آن:

$$D_c = \text{ارتفاع جان فشاری}$$

I_{yc} = ممان اینرسی بال فشاری نسبت به محور قائم

I_{yt} = ممان اینرسی بال کششی نسبت به محور قائم

۵-۳-۲- مقاومت خمشی - مقطع مختلط در خمش مثبت

۵-۳-۱- مقاطع فشرده

کلیات

در حالت حدی مقاومت، مقطع باید رابطه‌ی زیر را برآورده کند:

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_n \quad (۷-۳-۵)$$

که در آن:

ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت خمشی مساوی ۱

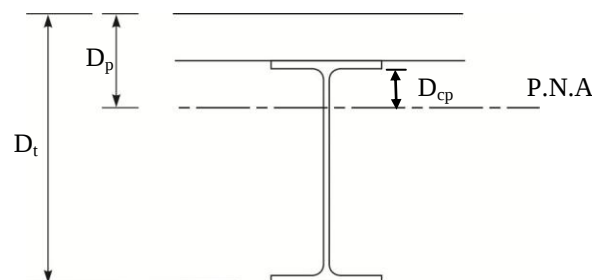
f_ℓ = تنش ناشی از خمش جانبی بال

M_n = مقاومت خمشی اسمی مقطع

M_u = لنگر خمشی ضریبدار حول محور قوی

M_{yt} = لنگر تسلیم نسبت به بال کششی

$M_{yt}/F_{yt} = S_{xt}$ = اساس مقطع حول محور قوی نسبت به بال کششی



شکل ۵-۳-۱- مقاومت خمشی اسمی

مقاومت خمشی اسمی بصورت زیر بدست می‌آید:

$$D_p \leq 0.1D_t$$

$$M_n = M_p \quad (۸-۳-۵)$$

در غیر اینصورت:

$$M_n = M_p \left(1.07 - 0.7 \frac{D_p}{D_t} \right) \quad (۹-۳-۵)$$

که در آن:

D_t و D_p مطابق شکل ۵-۳-۱

M_p = لنگر پلاستیک (خمیری) مقطع مختلط

در دهانه‌های یکسره مقاومت خمشی اسمی مقطع باید رابطه‌ی زیر اقناع شود:

$$M_n \leq 1.3R_h M_y \quad (۵-۳-۱۰)$$

که در آن:

M_n = مقاومت خمشی اسمی مطابق

M_y = لنگر تسلیم

R_h = ضریب مقطع دوگانه

لنگر تسلیم M_y

لنگر تسلیم M_y برای مقطع مختلط در ناحیه‌ی خمش مثبت، لنگری است که اولین تسلیم را در یکی از بال‌ها بوجود می‌آورد. در محاسبه‌ی این لنگر، باید لنگر M_{D1} (ناشی از بارهای مرده‌ی گروه ۱) بر مقطع فولادی اعمال شود و تنش‌ها محاسبه شود. سپس باید لنگر M_{D2} (ناشی از بارهای مرده‌ی گروه ۲) بر مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$ اعمال شده و تنش‌ها محاسبه شود. سپس باید لنگر اضافی M_{AD} بر مقطع مختلط با ضریب تبدیل n طوری محاسبه شود که تنش تسلیم در یکی از بال‌ها بوجود آید. در نتیجه لنگر تسلیم M_y برابر خواهد شد با:

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \quad (۵-۳-۱۱)$$

$$F_{yf} = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{AD}}{S_{ST}} \quad (۵-۳-۱۲)$$

$$M_{AD} = S_{ST} \left[F_{yf} - \frac{M_{D1}}{S_{NC}} - \frac{M_{D2}}{S_{LT}} \right] \quad (۵-۳-۱۳)$$

S_{NC} = اساس مقطع فولادی

S_{LT} = اساس مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$

S_{ST} = اساس مقطع مختلط با ضریب n

لنگر خمیری (لنگر پلاستیک) M_p

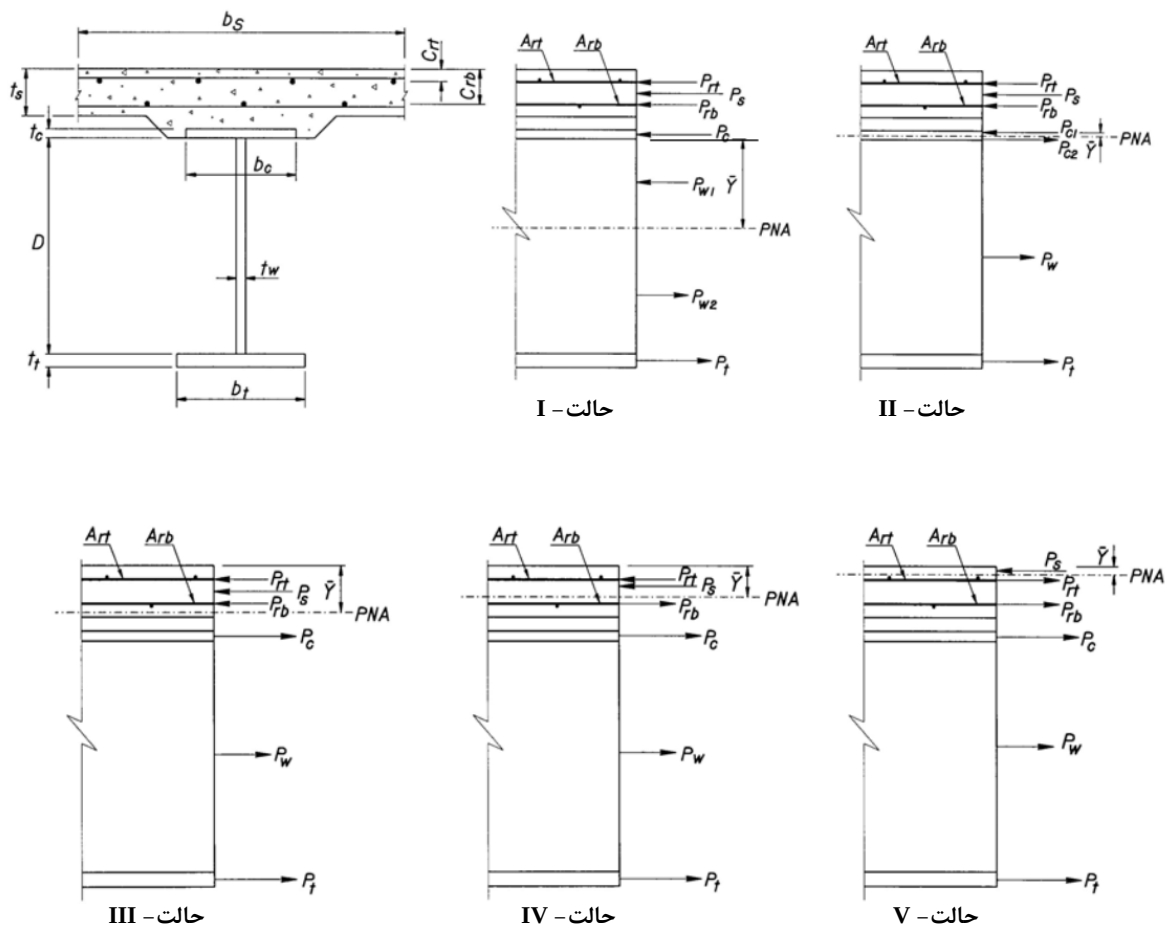
لنگر پلاستیک M_p ، لنگری است که تسلیم فشاری و کششی کامل در مقطع بوجود آید، بطوریکه تنش فشاری در بتن به $0.85f'_c$ برسد و تنش کششی و فشاری در مقطع فولادی به F_y . در جدول ۵-۳ روابط لازم برای محاسبه لنگر خمیری M_p ارائه شده است.

جدول ۵-۳- روابط لازم برای محاسبه‌ی لنگر خمیری M_p

ناحیه	حالت و محل PNA	شرایط و رابطه $\bar{Y}$	M_p
لنگر مثبت	I- در جان	$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt}$ $\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$	$M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t]$
	II- در بال فوقانی	$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_{rt}$ $\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right]$	$M_p = \frac{P_c}{2t_c} \left[\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_t d_t]$
	III- در دال زیر P_{rb}	$P_t + P_w + P_c \geq \left(\frac{C_{rb}}{t_s}\right) P_s + P_{rb} + P_{rt}$ $\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_w + P_c + P_t - P_{rt} - P_{rb}}{P_s} \right]$	$M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
	IV- در بال بالای P_{rt} زیر P_{rb}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} \geq \left(\frac{C_{rt}}{t_s}\right) P_s + P_{rt}$ $\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t - P_{rt}}{P_s} \right]$	$M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
	V- در دال بالای P_{rt}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} + P_{rt} < \left(\frac{C_{rt}}{t_s}\right) P_s$ $\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t + P_{rt}}{P_s} \right]$	$M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
لنگر منفی	I- در جان	$P_c + P_w \geq P_t + P_{rb} + P_{rt}$ $\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_c - P_t - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$	$M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_t d_t + P_c d_c]$
	II- در بال فوقانی	$P_c + P_w + P_t \geq P_{rb} + P_{rt}$ $\bar{Y} = \left(\frac{t_t}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_c - P_{rt} - P_{rb}}{P_t} + 1 \right]$	$M_p = \frac{P_t}{2t_t} \left[\bar{Y}^2 + (t_t - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_c d_c]$

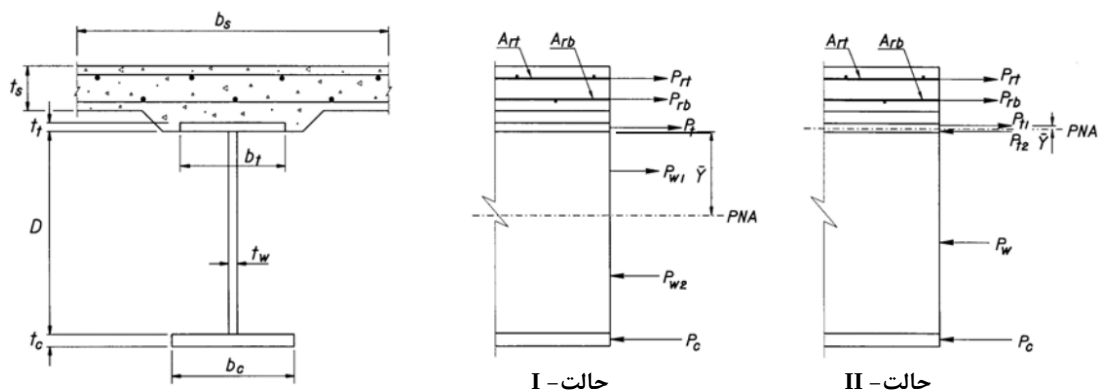
$P_{rt} = F_{yt} A_{rt}$; $P_s = 0.85 f_c' b_s t_s$; $P_{rb} = F_{yrb} A_{rb}$; $P_c = F_{yc} b_c t_t$; $P_w = F_{yw} D t_w$; $P_t = F_{yt} b_t t_t$;

$f_c' =$ مقاومت مشخصه‌ی بتن
 PNA = تار خنثای پلاستیک
 A_{rb} , A_{rt} = سطح مقطع میلگردهای طولی دال
 F_{yrb} , F_{yrt} = تنش تسلیم میلگرد
 b_s , b_t , b_c = عرض بال فشاری، بال کششی و دال بتنی
 t_s , t_t , t_c = ضخامت بال فشاری، بال کششی، جان و دال بتنی
 F_{yw} , F_{yc} , F_{yt} = تنش تسلیم بال کششی، بال فشاری و جان



$$\begin{aligned}
 P_{c1} &= \bar{Y} b_c F_{yc}; & P_{c2} &= (t_c - \bar{Y}) b_c F_{yc} \\
 P_{w1} &= \bar{Y} t_w F_{yw}; & P_{w2} &= (D - \bar{Y}) t_w F_{yw} \\
 P_{t1} &= \bar{Y} b_t F_{yt}; & P_{t2} &= (t_t - \bar{Y}) b_t F_{yt}
 \end{aligned}$$

شکل ۵-۳-۲- حالات محاسباتی لنگر خمیری (پلاستیک) برای خمش مثبت



$$P_{w1} = \bar{Y} t_w F_{yw}; \quad P_{w2} = (D - \bar{Y}) t_w F_{yw}$$

$$P_{t1} = \bar{Y} b_t F_{yt}; \quad P_{t2} = (t_t - \bar{Y}) t_t F_{yt}$$

شکل ۵-۳-۳- حالات محاسباتی لنگر خمیری (پلاستیک) برای لنگر منفی

۵-۳-۲- مقاطع غیرفشرده

در بال فشاری باید رابطه‌ی زیر اقناع شود:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (۱۴-۳-۵)$$

که در آن:

$$\phi_f = \text{ضریب مقاومت خمشی (مساوی ۱)}$$

$$f_{bu} = \text{تنش بال (بدون اثر خمش جانبی)}$$

$$F_{nc} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال فشاری}$$

در بال کششی باید رابطه‌ی زیر اقناع شود:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nt} \quad (۱۵-۳-۵)$$

که در آن:

$$f_\ell = \text{تنش ناشی از خمش جانبی بال}$$

$$F_{nt} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال کششی}$$

حداکثر تنش فشاری طولی در بتن در حالت حدی مقاومت نباید از $0.6f'_c$ تجاوز نماید.

حداکثر مقاومت خمشی

حداکثر مقاومت خمشی بال فشاری برابر است با:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (۱۶-۳-۵)$$

که در آن:

$$R_b = \text{ضریب کاهش کمانش خمشی جان}$$

$$R_h = \text{ضریب دوگانگی}$$

مقاومت خمشی اسمی بال کششی برابر است با:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (۱۷-۳-۵)$$

۵-۳-۳- الزامات شکل پذیری

مقاطع فشرده و غیرفشرده باید رابطه‌ی زیر را برآورده نمایند:

$$D_p \leq 0.42 D_t \quad (۱۸-۳-۵)$$

که در آن:

$$D_p = \text{فاصله تار فوقانی دال بتنی تا تار خنثای خمیری (PNA)}$$

$$D_t = \text{ارتفاع کل مقطع کامپوزیت}$$

در جدول ۴-۵ روابط لازم برای مقاومت خمشی اسمی مقاطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت (حالت حدی مقاومت) ارائه شده است.

۵-۳-۴- مقاومت خمشی مقاطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر منفی

در این مورد باید به ضوابط فصل ۴، تیرهای فولادی تنها مراجعه شود.

جدول ۴-۵- مقاومت خمشی اسمی مقاطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت (حالت حدی مقاومت)

نوع مقطع	مقاومت خمشی اسمی
فشرده	$M_n = \min \left\{ \begin{array}{l} M_p \\ M_p \left[1 - \left(1 - \frac{M_y}{M_p} \right) \left(\frac{D_p / D_t - 0.1}{0.32} \right) \right] \\ 1.3 R_h M_y \end{array} \right.$ برای $D_p \leq 0.1 D_t$ برای $D_p > 0.1 D_t$ برای دهانه‌ی پیوسته
غیرفشرده	بال فشاری $F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$
	بال کششی $F_{nt} = R_h F_{yt}$
الزامات شکل پذیری	برای مقاطع فشرده و غیرفشرده $D_p \leq 0.42 D_t$
	D_p = فاصله تار فوقانی دال بتنی تا تار خنثای پلاستیک مقطع مختلط D_t = ارتفاع کل مقطع مختلط F_{yt} = تنش تسلیم بال کششی M_p = لنگر خمیری مقطع مختلط M_y = لنگر تسلیم مقطع مختلط R_b = ضریب کاهش کمانش خمشی جان

۵-۳-۵- اتصال برشگیر

۵-۳-۵-۱- کلیات

برای عملکرد یکپارچه‌ی خمشی بین مقطع فولادی و دال بتنی وجود اتصال برشگیر در فصل مشترک سطح فوقانی بال فشاری تیر فولادی و دال بتنی لازم می‌باشد (شکل‌های ۵-۲-۲ تا ۵-۲-۴).

در دهانه‌ی ساده وجود برشگیر در تمام طول دهانه لازمست. در دهانه‌های یکسره وجود برشگیر در ناحیه‌ی لنگر مثبت ضروری است و در ناحیه‌ی لنگر منفی می‌توان برشگیر نصب نمود، چون در این ناحیه دال بتنی در کشش است و عملکرد خمشی ندارد. اگر ناحیه‌ی لنگر خمشی منفی اتصال برشگیر نصب شود، از آرماتورهای طولی دال می‌توان در محاسبات اساس مقطع تیر فولادی استفاده نمود.

در صورتیکه در ناحیه‌ی لنگر منفی اتصال برشگیر نصب نشود، آرماتورهای طولی دال باید به اندازه‌ی طول مهاری وارد ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت شود.

در تیرهای منحنی در افق، ساده یا پیوسته، برشگیر باید در تمام طول تیر نصب شود.

۵-۳-۵-۲- انواع اتصال برشگیر

مطابق شکل ۵-۲-۲، اتصال برشگیر از نوع گلمیخ و ناودانی می‌باشد.

۵-۳-۵-۳- طراحی اتصال برشگیر

در طراحی اتصال برشگیر، باید دو حالت حدی زیر مورد مطالعه قرار گیرد:

۱- حالت حدی خستگی.

۲- حالت حدی مقاومت.

۵-۳-۵-۴- تعیین فاصله‌ی اتصال برشگیر در حالت حدی خستگی

فاصله اتصالات برشگیر باید رابطه‌ی زیر را اقلان نماید:

$$p \leq \frac{nZ_r}{V_{sr}} \quad (۵-۳-۱۹)$$

که در آن:

V_{sr} = دامنه‌ی برش افقی خستگی در واحد طول

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} \quad (۵-۳-۲۰)$$

V_{fat} = دامنه‌ی برش خستگی طولی بر واحد طول

$$V_{fat} = \frac{V_f Q}{I} \quad (۲۱-۳-۵)$$

F_{fat} = دامنهی برش شعاعی بر واحد طول مساوی بزرگترین.

$$F_{fat} = \frac{A_{bot} \sigma_{f\ell g} \ell}{wR} \quad (۲۲-۳-۵)$$

یا

$$F_{fat2} = \frac{F_{rc}}{w} \quad (۲۳-۳-۵)$$

که در روابط فوق:

$\sigma_{f\ell g}$ = دامنهی تنش طولی خستگی در بال تحتانی بدون منظور کردن خمش عرضی

A_{bot} = مساحت بال تحتانی

F_{rc} = دامنهی خالص نیروی قاب عرضی یا دیافراگم در دال فوقانی

I = ممان اینرسی مقطع مختلط برای بار کوتاه‌مدت

ℓ = فاصله بین دو نقطه‌ی مهار

n = تعداد برشگیر در یک مقطع

p = گام طولی برشگیرها

Q = لنگر استاتیکی دال بتنی تبدیل یافته حول محور خنثای الاستیک مقطع تبدیل یافته‌ی کوتاه‌مدت

R = حداقل شعاع تیر منحنی در افق

V_f = دامنهی برش قائم در ترکیب بار خستگی

w = طول موثر عرشه مساوی ۱۲۰ سانتیمتر به استثنای تکیه‌گاه انتهایی که ۶۰ سانتیمتر فرض می‌شود.

Z_f = مقاومت برشی خستگی برشگیر

در تیرهای مستقیم، دامنهی برش خستگی شعاعی مساوی صفر فرض می‌شود. برای تیرهای مستقیم یا منحنی در افق با زاویه کجی کمتر از ۲۰ درجه، دامنهی برش خستگی مساوی صفر فرض می‌شود.

برای تیرهای با ارتفاع جان بیش از ۶۰ سانتیمتر، گام طولی برشگیرها نباید از ۱۲۰ سانتیمتر تجاوز نماید. برای تیرها با ارتفاع جان کمتر از ۶۰ سانتیمتر، گام طولی، برشگیرها نباید از ۶۰ سانتیمتر تجاوز نماید.

گام عرضی

در صورت استفاده از گل‌میخ، فاصله مرکز به مرکز آنها نباید کمتر از ۴ برابر قطر باشد. فاصله‌ی خالص بین لبه‌ی بال و لبه‌ی اتصال برشگیر نباید کمتر از ۲۵ میلیمتر باشد. فاصله‌ی خالص بالای برشگیر تا سطح بتن نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر و حداقل طول فرورفت گل‌میخ به بتن نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر باشد.

مقاومت خستگی

مقاومت خستگی Z_r هر برشگیر از روابط زیر حاصل می‌شود.

برشگیر از نوع گل‌میخ

- در صورتیکه $ADTT^1$ ۷۵ ساله‌ی یک خطه مساوی یا بزرگتر از ۱۰۹۰ کامیون در روز باشد، باید ترکیب بار خستگی I استفاده شود و مقاومت خستگی برای عمر (تکرار) بی‌نهایت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z_r = 5.5d^2 \quad (24-3-5)$$

- در غیر اینصورت ترکیب بار خستگی II باید مورد استفاده قرار گیرد که مقاومت برشی خستگی برای عمر خستگی محدود به صورت زیر منظور می‌شود:

$$Z_r = \alpha d^2 \quad (25-3-5)$$

که در آن:

$$\alpha = 34.5 - 4.28 \log N \quad (26-3-5)$$

برشگیر از نوع ناودانی

- در صورتیکه $ADTT$ ۷۵ ساله‌ی یک خطه مساوی یا بزرگتر از ۲۲۴۰ کامیون در روز باشد، ترکیب بار خستگی I باید مورد استفاده قرار گیرد و مقاومت برشی برای عمر خستگی بی‌نهایت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z_r = 2.1w \quad (27-3-5)$$

- در غیر اینصورت ترکیب بار خستگی II باید مورد استفاده قرار گیرد و مقاومت برشی برای عمر خستگی محدود از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$Z_r = Bw \quad (28-3-5)$$

که در آن:

$$B = 9.37 - 1.08 \log N \quad (29-3-5)$$

$$ADTT = (ADTT)_{SL} \text{ یک خط عبور}$$

d = قطر گلمیخ (سانتیمتر)

N = تعداد سیکل تکرار

w = طول ناودانی در امتداد عمود بر محور تیر

اثر خستگی جوش سخت کننده به بال باید طبق فصل خستگی مورد بررسی قرار گیرد.

الزامات نقطه عطف

در تیرهای سراسری که در ناحیه‌ی لنگر منفی از عملکرد مختلط استفاده نمی‌شود، در نقطه عطف باید الزامات اضافی زیر منظور شود.

تعداد برشگیرهای اضافی از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$n_{ac} = \frac{A_s f_{sr}}{Z_r} \quad (۳۰-۳-۵)$$

که در آن:

A_s = سطح مقطع آرماتورهای طولی در محدوده‌ی عرض موثر دال.

f_{sr} = دامنه‌ی تنش در آرماتورهای فوق در ترکیب بار خستگی

Z_r = مقاومت خستگی اتصال برشگیر

برشگیرهای اضافی فوق در طول مساوی $\frac{1}{3}$ عرض موثر دال در دو طرف نقطه‌ی عطف قرارداد می‌شوند.

۵-۵-۳-۵- حالت حدی مقاومت

کلیات

مقاومت برشی اتصال برشگیر در حالت حدی مقاومت (Q_r) از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n \quad (۳۱-۳-۵)$$

که در آن:

Q_n = مقاومت برشی اسمی اتصال برشگیر

ϕ_{sc} = ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸۵

در حالت حدی مقاومت، حداقل تعداد اتصالات برشگیر (n) در ناحیه‌ی مورد بررسی از رابطه‌ی زیر حاصل می‌گردد:

$$n = \frac{P}{Q_r} \quad (۳۲-۳-۵)$$

که در آن:

P = نیروی برشی اسمی کل

Q_r = مقاومت برشی نهایی اتصال برشگیر که از رابطه‌ی ۳۱-۳-۵ به دست می‌آید.

نیروی برشی اسمی کل P

در دهانه‌های ساده و در دهانه‌ی پیوسته که در ناحیه‌ی لنگر منفی عملکرد غیرمختلط دارند، نیروی برشی اسمی کل (P) بین نقطه حداکثر لنگر خمشی مثبت تا نقطه‌ی لنگر صفر از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P = \sqrt{P_p^2 + F_p^2} \quad (۳۳-۳-۵)$$

که در آن:

P_p = مساوی کوچکترین دو مقدار زیر که در محل لنگر خمشی حداکثر مثبت بار زنده و ضربه محاسبه می‌شوند:

$$P_{1p} = 0.85f'_c b_s t_s \quad (۳۴-۳-۵)$$

یا

$$P_{2p} = F_{yw} D t_w + F_{yt} b_{ft} t_{ft} + F_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (۳۵-۳-۵)$$

F_p = طبق رابطه‌ی زیر:

$$F_p = P_p \frac{L_p}{R} \quad (۳۶-۳-۵)$$

که در آن:

b_s = عرض موثر دال بتنی

L_p = طول قوس افقی بین انتهای تیر تا محل لنگر خمشی حداکثر مثبت ناشی از بار زنده و ضربه

R = شعاع قوس افقی تیر در محدوده‌ی L_p

t_s = ضخامت دال بتنی

در تیرهای مستقیم $F_p = 0$ می‌باشد.

در دهانه‌های پیوسته که در آن در ناحیه‌ی لنگر منفی از عملکرد مختلط استفاده می‌شود، برای ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت، از محل لنگر خمشی مثبت حداکثر بار زنده و ضربه تا تکیه‌گاه آزاد از رابطه‌ی ۳۳-۳-۵ استفاده می‌شود. برای نیروی برشی کل P بین نقطه لنگر خمشی حداکثر مثبت بار زنده و ضربه تا محور تکیه‌گاه پیوسته داخلی داریم:

$$P = \sqrt{P_T^2 + F_T^2} \quad (۳۷-۳-۵)$$

P_T = طبق رابطه‌ی زیر:

$$P_T = P_p + P_n \quad (۳۸-۳-۵)$$

P_n = کمترین دو مقدار زیر در محل تکیه‌گاه داخلی:

$$P_{1n} = F_{yw} D t_w + F_{yt} b_{ft} t_{ft} + F_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (۳۹-۳-۵)$$

یا

$$P_{2n} = 0.45f'_c b_s t_s \quad (۴۰-۳-۵)$$

F_T = نیروی برشی شعاعی طبق رابطه‌ی زیر:

$$F_T = P_T \frac{L_n}{R} \quad (۴۱-۳-۵)$$

که در آن:

L_n = طول قوس افقی از محل لنگر خمشی حداکثر بار زنده و ضربه تا تکیه‌گاه داخلی.

R = شعاع قوس افقی

برای تیرهای مستقیم، $F_T = 0$ می‌باشد.

مقاومت برشی اسمی

مقاومت برشی اسمی گل‌میخ تک از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_n = 0.5A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (۴۲-۳-۵)$$

که در آن:

A_{sc} = سطح مقطع گل‌میخ

E_c = مدول الاستیسیته‌ی بتن دال

F_u = مقاومت کششی گل‌میخ

مقاومت برشی اسمی ناودانی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c \sqrt{f'_c E_c} \quad (۴۳-۳-۵)$$

که در آن:

t_f = ضخامت بال ناودانی برشگیر

t_w = ضخامت جان ناودانی برشگیر

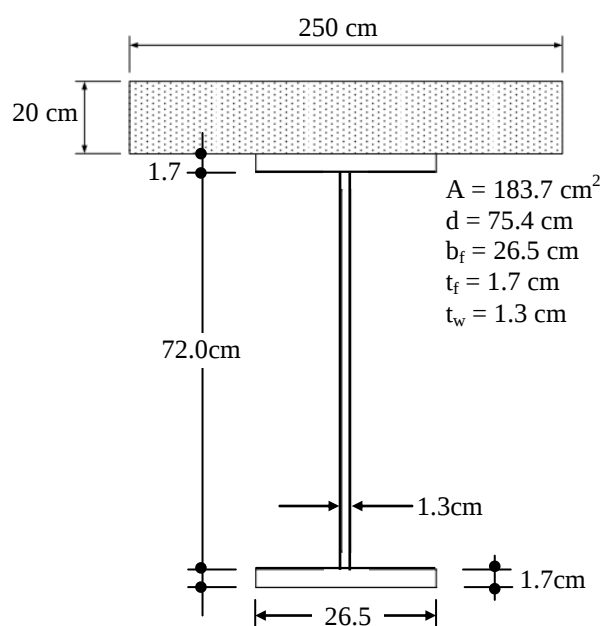
L_c = طول ناودانی برشگیر

پیوست فصل پنجم

مثال ۵-۱

مطلوبست تعیین لنگر خمیری (پلاستیک) برای مقطع مختلط نشان داده شده در شکل.

$$F_v = 3500 \text{ kg/cm}^2 \quad f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$



حل:

تعیین نیروهای فشاری کنترل کننده:

$$P_s = 0.85f'_c b_e t_s = (0.85)(280)(20)(250) \times 10^{-3} = 1190 \text{ ton}$$

$$P_{\text{Steel}} = A_{\text{st}} F_v = (183.7)(3500) \times 10^{-3} = 643 \text{ ton}$$

اتصالات برشگیر باید بتوانند کوچکترین دو نیروی فوق را تحمل کنند.

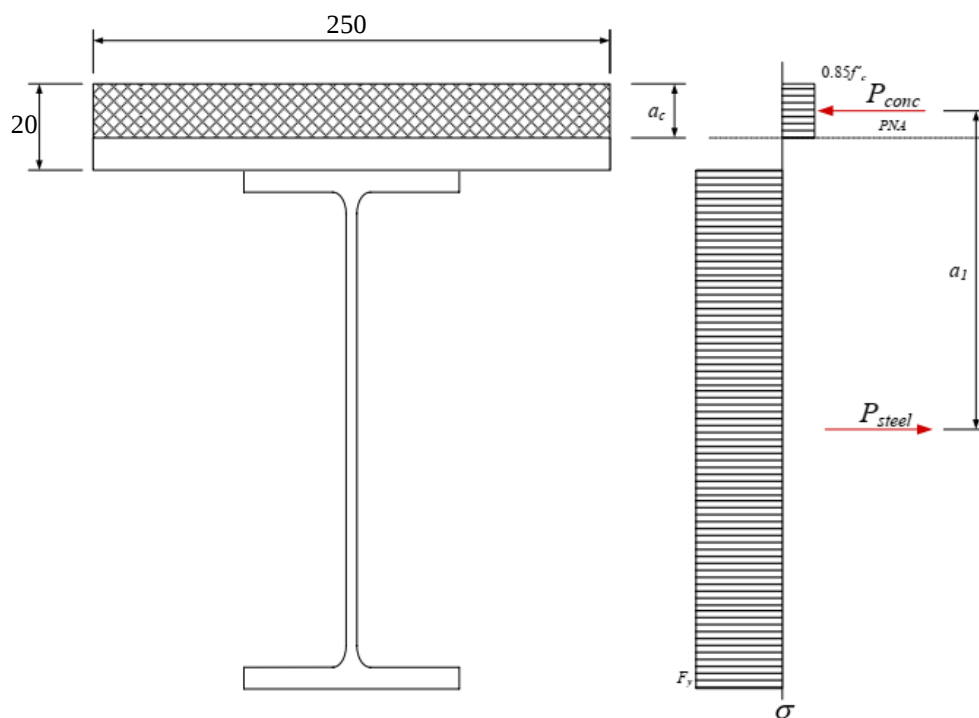
چون $P_s > P_{steel}$ است، تار خنثای پلاستیک (PNA) در داخل دال قرار می‌گیرد.

تعیین محل تار خنثی

محل تار خنثی از تساوی نیروی بال فشاری با نیروی کششی تیر فولادی حاصل می‌شود:

$$P_{\text{Conc}} = P_{\text{Steel}} \rightarrow 0.85f'_c b_e a_c = A_{st} F_y$$

$$a_c = \frac{A_{st} F_y}{0.85 f'_c b_e} = \frac{(183.7)(3500)}{(0.85)(280)(250)} = 10.8 \text{ cm (از بالای دال)}$$



با صرف نظر از نیروی کششی در دال بتنی، لنگر پلاستیک از لنگر زوج نیروی فشاری و کششی حاصل می‌شود:

$$M_p = (P_{Conc})(a_1) = (P_{Steel})(a_1)$$

$$a_1 = \frac{d_{st}}{2} + t_s - \frac{a_c}{2} = \frac{75.4}{2} + 20 - \frac{10.8}{2} = 52.3 \text{ cm}$$

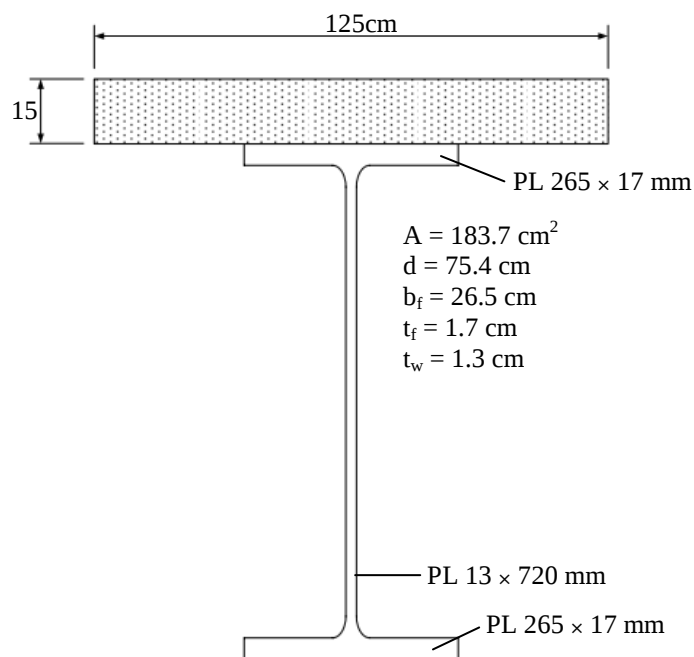
$$M_p = 643 \times 52.3 \times 10^{-2} = 336.3 \text{ ton.m}$$

لنگر پلاستیک را می‌توان با جمع کردن لنگر نیروها حول تار خنثای پلاستیک (PNA) تعیین نمود.

مثال ۵-۲

مطلوبست تعیین لنگر پلاستیک (خمیری) مقطع نشان داده شده در شکل.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2 \quad f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$



حل:

$$P_s = 0.85f'_c b_s t_s = (0.85)(280)(15)(125) \times 10^{-3} = 446.25 \text{ ton}$$

$$P_{\text{Steel}} = A_{\text{st}} F_y = (183.7)(3500) \times 10^{-3} = 643 \text{ ton}$$

اتصالات برشگیر باید بتوانند کوچکترین دو نیروی فوق را تحمل کنند.

چون $P_s < P_{\text{steel}}$ می باشد، تار خنثای پلاستیک در مقطع فولادی قرار دارد.

با استفاده از روابط جدول ۳-۵ داریم:

$$P_s = 0.85f'_c b_s t_s = (0.85)(280)(15)(125) \times 10^{-3} = 446.25 \text{ ton}$$

$$P_c = (26.5)(1.7)(3500) \times 10^{-3} = 157.7 \text{ ton} \quad \text{بال فشاری}$$

$$P_w = 72 \times 1.3 \times 3500 \times 10^{-3} = 327.6 \text{ ton} \quad \text{جان}$$

$$P_t = P_c = 157.7 \text{ ton} \quad \text{بال کششی}$$

حالت ۱:

$$P_t + P_w \stackrel{?}{\geq} P_c + P_s$$

$$157.7 + 327.6 \geq 157.7 + 446.25$$

خیر

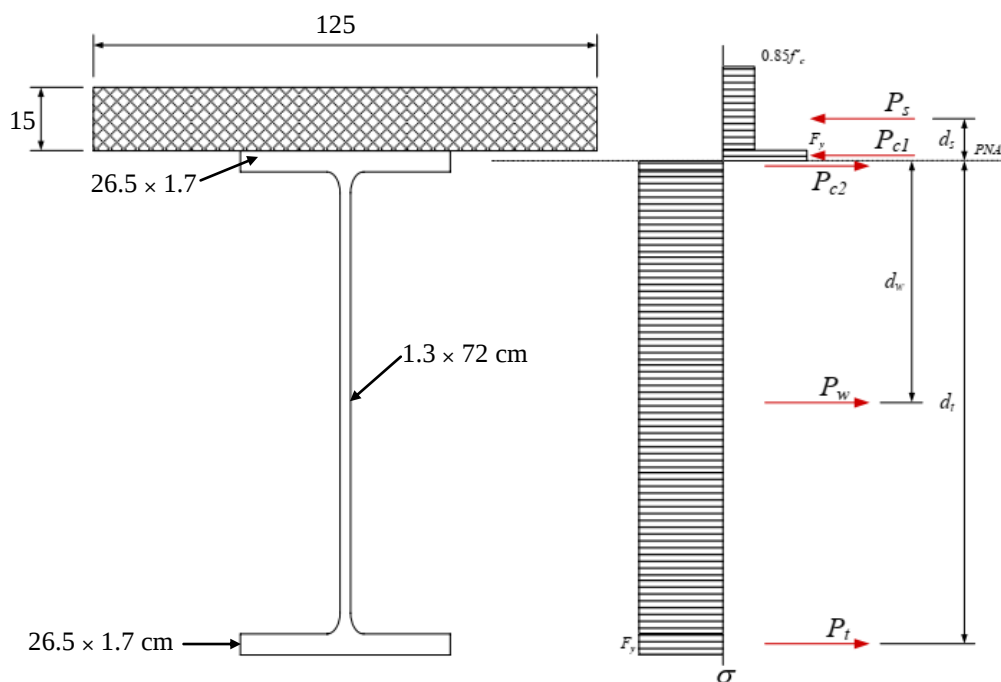
حالت ۲:

$$P_t + P_w + P_c \stackrel{?}{\geq} P_s$$

$$157.7 + 327.6 + 157.7 \geq 446.25$$

بله

پس تار خنثی پلاستیک در بال فوقانی قرار دارد.



$$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2} \right) \left(\frac{P_w + P_t - P_s}{P_c} + 1 \right)$$

$$= \left(\frac{1.7}{2} \right) \left(\frac{327.6 + 157.7 - 446.25}{157.7} + 1 \right) = 1.06 \text{ cm}$$

حال بازوی نیروها محاسبه می‌شود:

$$d_s = \frac{15}{2} + 1.06 = 8.56 \text{ cm}$$

$$d_w = \frac{75.4}{2} - 1.06 = 36.64 \text{ cm}$$

$$d_t = 75.4 - \frac{1.7}{2} - 1.06 = 73.49 \text{ cm}$$

$$M_p = \left(\frac{P_c}{2t_c} \right) \left[\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_w d_w + P_t d_t]$$

$$= \left(\frac{157.7}{(2)(0.017)} \right) \left[(0.0106)^2 + (0.017 - 0.0106)^2 \right] +$$

$$[(446.25)(0.0856) + (327.6)(0.3664) + (157.7)(0.7349)] = 0.71 + 38.2 + 120 + 115.9 = 274.8 \text{ ton.m}$$

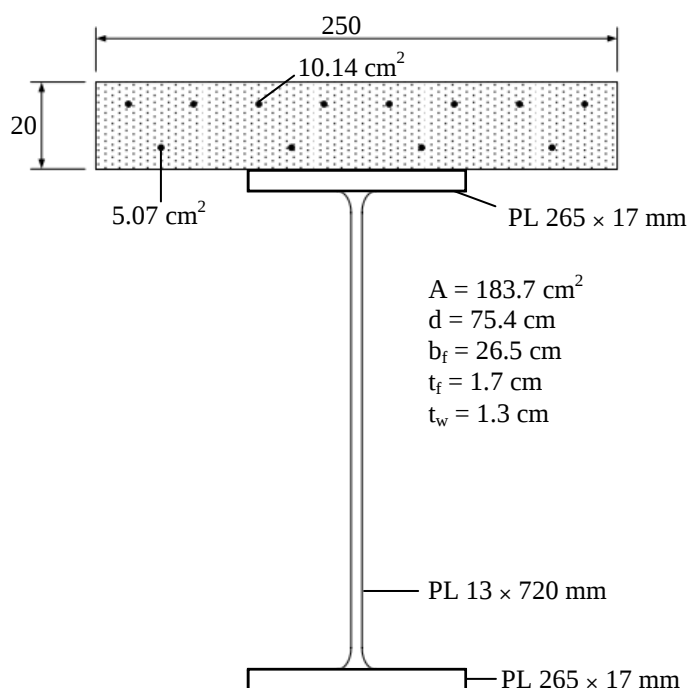
مثال ۳-۵

مطلوبست تعیین لنگر پلاستیک برای مقطع نشان داده شده در شکل برای ناحیه لنگر خمشی منفی. داریم:

$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3500 \text{ kg/cm}^2 \text{ ورق‌ها}$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \text{ میلگردها}$$



حل:

دال بتنی در کشش قرار دارد و بنابراین در محاسبات وارد نمی‌شود، لیکن میلگردهای طولی دال منظور خواهند شد.

$$P_{rt} = F_{yrt} A_{rt} = 10.14 \times 4200 \times 10^{-3} = 42.6 \text{ ton}$$

$$P_{rb} = F_{yrb} A_{rb} = 5.07 \times 4200 \times 10^{-3} = 21.3 \text{ ton}$$

$$P_t = (26.5)(1.7)(3500) \times 10^{-3} = 157.7 \text{ ton}$$

$$P_w = 72 \times 1.3 \times 3500 \times 10^{-3} = 327.6 \text{ ton}$$

$$P_c = P_t = 157.7 \text{ ton}$$

کنترل حالت ۱:

$$P_c + P_w \stackrel{?}{\geq} P_t + P_{rb} + P_{rt}$$

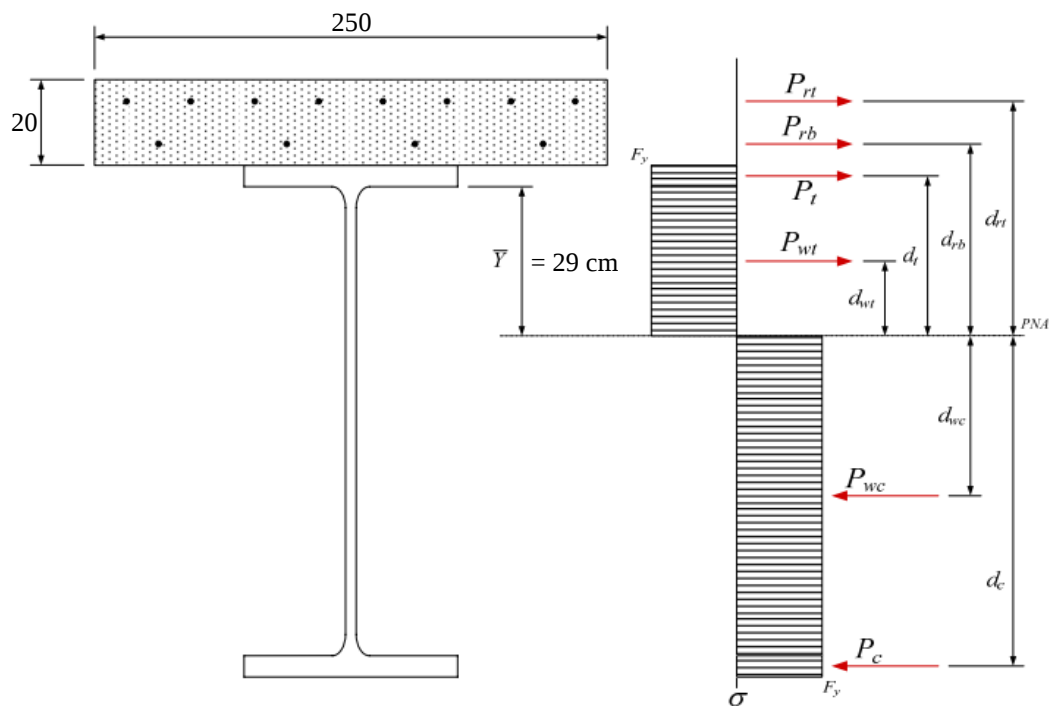
$$157.7 + 327.6 \geq 157.7 + 42.6 + 21.3, 485.3 \geq 221.6 \quad \text{بله}$$

برقرار است، پس تار خنثای خمیری (PNA) در محدوده‌ی جان قرار دارد.

$$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2} \right) \left(\frac{P_c + P_t - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right), D = d - 2t_f = 75.4 - 2 \times 1.7 = 72 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \left(\frac{72}{2} \right) \left(\frac{157.7 - 157.7 - 42.6 - 21.3}{327.6} + 1 \right)$$

$$\bar{Y} = 29 \text{ cm} \quad (\text{از زیر بال فوقانی اندازه‌گیری می‌شود})$$



$$d_{rt} = 29 + 1.7 + 20 - [5.5] = 45.2 \text{ cm}$$

$$d_{rb} = 29 + 1.7 + [5.5] = 36.2 \text{ cm}$$

$$d_t = 29 + 0.5 \times 1.7 = 29.85 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{aligned} d_{wt} &= 0.5 \times 29 = 14.5 \\ d_{wc} &= 0.5(72 - 29) = 21.5 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \text{در صورت استفاده از روابط جدول نیاز به محاسبه ندارند.}$$

$$d_c = (72 - 29) + 0.5 \times 1.7 = 43.85 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_p &= \left(\frac{P_w}{2D} \right) \left[y^2 + (D-y)^2 \right] + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_t d_t + P_c d_c] \\ &= \left(\frac{327.6}{2 \times 0.72} \right) \left(0.29^2 + (0.72 - 0.29)^2 \right) + 42.6 \times 0.452 + 21.3 \times 0.362 + 157.7 \times 0.2985 \\ &\quad + 157.7 \times 0.4385 = 61.2 + 19.3 + 7.7 + 47.1 + 69.2 = 204.5 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

فصل ۶

تیرهای جعبه‌ای مختلط

۶-۱- قسمت اول- کلیات

۶-۱-۱- معرفی

این فصل مربوط به طراحی تیرهای جعبه‌ای عرشه‌های متشکل از یک یا چند تیر جعبه‌ای طولی مستقیم یا منحنی در پلان در دهانه‌های ساده یا یکسره با طول متوسط می‌شود. فاصله مرکز به مرکز بال‌های فوقانی تیروورق‌های جعبه‌ای باید یکسان، و متوسط فاصله مرکز به مرکز بال‌های فوقانی تیروورق‌های جعبه‌ای مجاور، نباید از $1/2$ برابر فاصله مرکز به مرکز بال‌های فوقانی هر تیر جعبه‌ای بیشتر و از $0/8$ برابر آن کمتر باشد، (شکل ۶-۱-۱-الف). مطابق شکل‌های ۶-۱-۱-ب و پ، تیر جعبه‌ها می‌توانند از ورق‌های جوش شده و یا مطابق شکل ۶-۱-۱-ت، از نوع پرسی^۱ باشند.

در هنگام کاربرد تیرهای غیرموازی، فاصله مرکز به مرکز بال‌های مجاور در تکیه‌گاه‌ها نباید از $1/35$ برابر فاصله مرکز به مرکز بال‌های هر تیر جعبه بیشتر و از $0/65$ برابر آن کمتر گردد. طول طره لبه دال شامل جدول دست‌اندازها به 60 درصد متوسط فاصله مرکز به مرکز بال‌های تیروورق‌های جعبه‌ای مجاور محدود می‌شود، که نباید از $1/8$ متر بیشتر گردد.

فاصله مرکز به مرکز بال هر تیروورق جعبه‌ای باید در طول دهانه ثابت باشد.

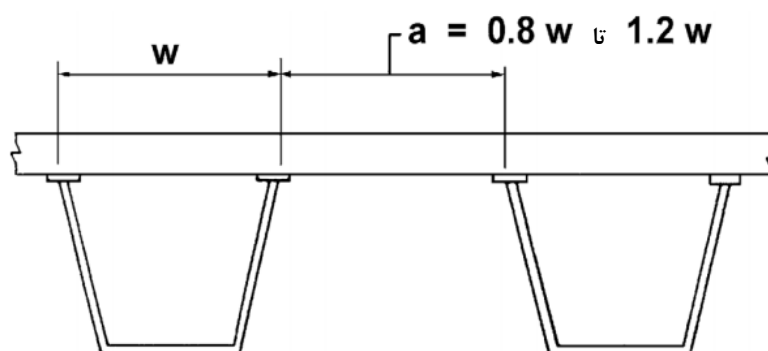
قرارگیری تیرهای جعبه‌ای تک باید طوری باشد که مرکز ثقل بارهای مرده تا حد امکان نزدیک به مرکز برش مقطع جعبه‌ای باشد.

کلیه الزامات تیرهای فولادی و مختلط با مقطع I در این فصل نیز اعتبار خود را حفظ می‌نمایند، مگر این که به نحوی مورد حک و اصلاح قرار بگیرند.

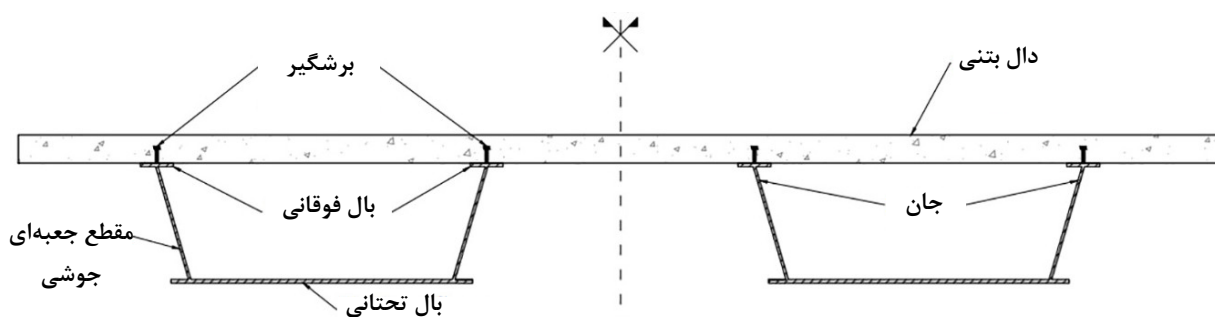
۶-۱-۲- عرض موثر بال تحتانی

در صورتیکه عرض بال تحتانی از $1/8$ دهانه‌ی موثر بیشتر نشود، تمام عرض بال در محاسبه‌ی مقاومت خمشی موثر خواهد بود. در صورتی که این عرض بزرگتر شود، عرض موثر بال همان $1/8$ دهانه‌ی موثر منظور می‌شود. دهانه موثر برای دهانه‌های ساده مساوی طول دهانه و در دهانه‌های یکسره مساوی فاصله نقاط عطف نمودار لنگر خمشی بار مرده می‌باشد.

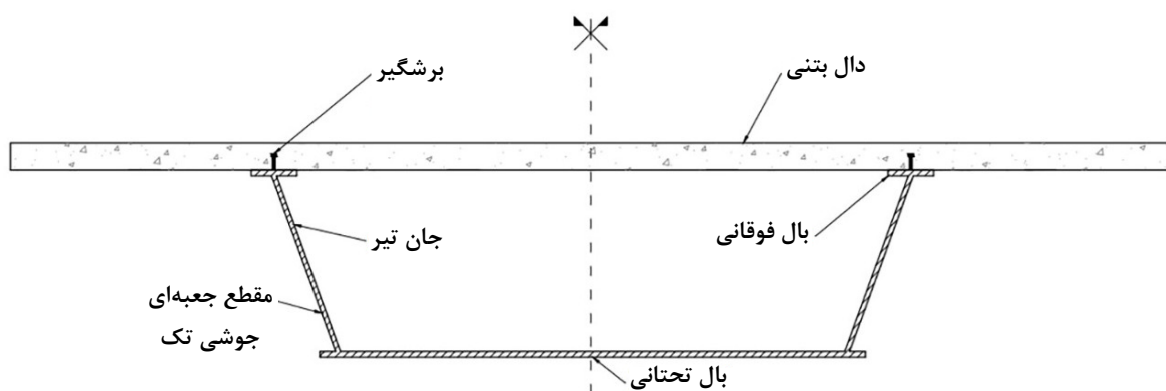
در مقاطع جعبه‌ای کامل با دو یا چند شاهتیر، اثر پیچش تابیدگی^۲ منظور نمی‌شود و فقط اثر پیچش خالص محاسبه می‌شود. در عرشه با تیر جعبه‌ی تک، لازمست اثر پیچش تابیدگی و تنش‌های طولی ناشی از آن به کمک مدل اجزای محدود مورد محاسبه قرار گیرد.



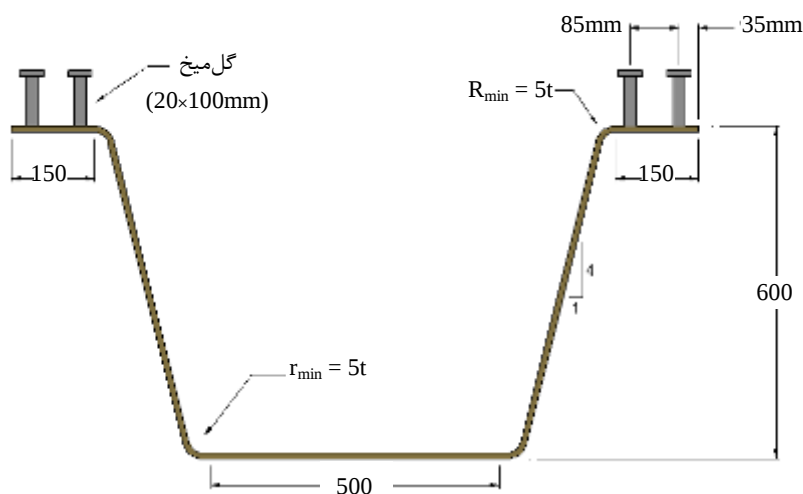
شکل ۶-۱-۱-الف- فواصل تیورق‌های جعبه‌ای



شکل ۶-۱-۱-ب- مقطع عرشه با تیر جعبه‌های چندتایی



شکل ۶-۱-۱-پ- مقطع عرشه با تیر جعبه‌ای تک



شکل ۶-۱-۱-ت- مقطع تیر جعبه‌ای پرسی (Tub Section)

مقطع موثر برای مقابله با نیروی باد، شامل بال مقطع جعبه‌ای که نقش جان را بازی می‌کند و عرضی معادل ۱۲ برابر ضخامت جان می‌باشد که نقش بال مقطع را ایفا می‌کند.

۶-۱-۳- تکیه‌گاه تیرهای جعبه‌ای

بالمشتک تکیه‌گاهی تیرهای جعبه‌ای، می‌تواند بصورت زوج در زیر دو جان و یا می‌تواند بصورت تک منطبق بر مرکز برش تیر جعبه‌ای باشد. وجود سخت‌کننده‌ی فشاری بصورت ورق دیافراگم یکپارچه در محل تکیه‌گاه چه با بالمشتک زوج و چه با بالمشتک تک الزامی است.

۶-۱-۴- جوش اتصالی بال به جان

ضخامت موثر مجموع جوش‌های اتصالی بال به جان، نباید کمتر از کوچکترین ضخامت جان و یا بال 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 جوش می‌تواند به کار رود. در صورت استفاده از جوش گوشه، جوش‌ها باید در هر دو طرف ورق جان قرار داشته باشند.

۶-۱-۵- دیافراگم‌ها

در تکیه‌گاه‌ها، در حداثال تیرهای جعبه‌ای، برای جلوگیری از دوران، تغییر مکان، اعوجاج، تعبیه دیافراگم یا تیرهای عرضی در حداثال تیر جعبه‌ها ضروری است.

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.

۶-۱-۶- مهاربندی جانبی

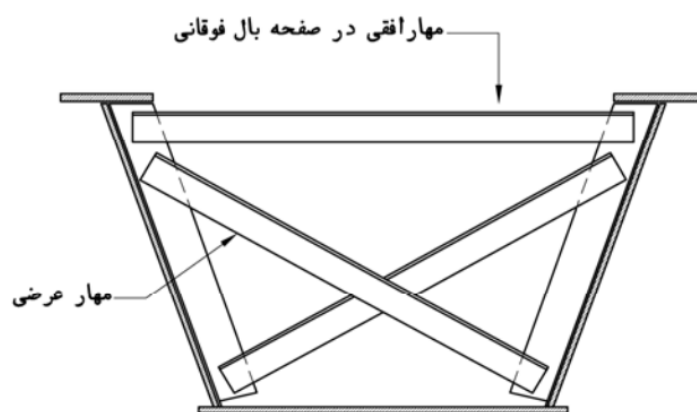
بطور کلی، هیچ سیستم مهاربندی جانبی بین دو تیرورق جعبه‌ای لازم نمی‌باشد. برای تعیین لزوم تعبیه مهار جانبی، فشار بادی معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع بر سطح بادگیر تیرورق اعمال می‌شود. نصف فشار کل به صورت خطی به بال تحتانی اعمال می‌شود. مقطع مقاوم در مقابل این بار افقی، مقطعی است که بال تحتانی تیرورق، جان آن را تشکیل می‌دهد و بال‌های آن، عرضی از جان تیرورق به اندازه ۱۲ برابر ضخامت آن می‌باشد. در صورتی که 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.

۶-۱-۷- مهاربندی داخلی تیر جعبه‌ای

به منظور جلوگیری از اعوجاج مقطع تیر در حین حمل و نقل و نصب تا قبل از بتن‌ریزی دال، لازم است داخل تیر جعبه‌ای مطابق شکل ۶-۱-۲ مهاربندی گردد. این سیستم مهاربندی شامل مهار عرضی و مهار افقی در صفحه بال فوقانی می‌باشد.

۶-۱-۸- زهکشی و دسترسی به داخل تیر جعبه

بنا به شرایط آب و هوایی، موقعیت و نوع مصالح بکاررفته، تعبیه دریچه‌های آد مرو و یا بازشوهای دیگر در دال بتنی عرشه یا در بال فولادی تحتانی تیر جعبه در نقاط کم تنش به منظور دسترسی به داخل آن برای نقل مکان، بازرسی، تعمیر، نگهداری، زهکشی و موارد مشابه ضروری می‌باشد. لبه‌های بازشو لازمست با سخت‌کننده تقویت شود و توسط دریچه با پیچ‌های پیرامونی بسته شود.



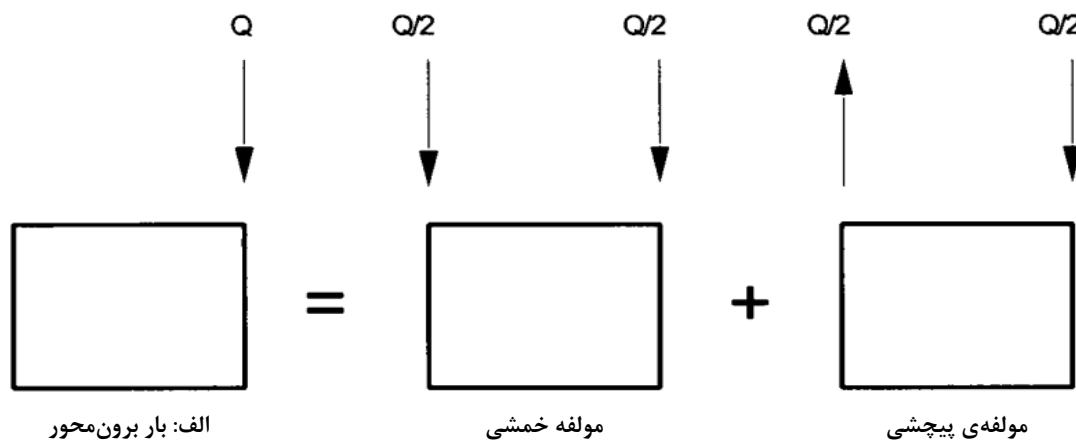
شکل ۶-۱-۲- مهاربندی داخلی تیر جعبه‌ای

۶-۱-۹- خستگی

کنترل خستگی باید طبق الزامات فصل خستگی انجام شود.

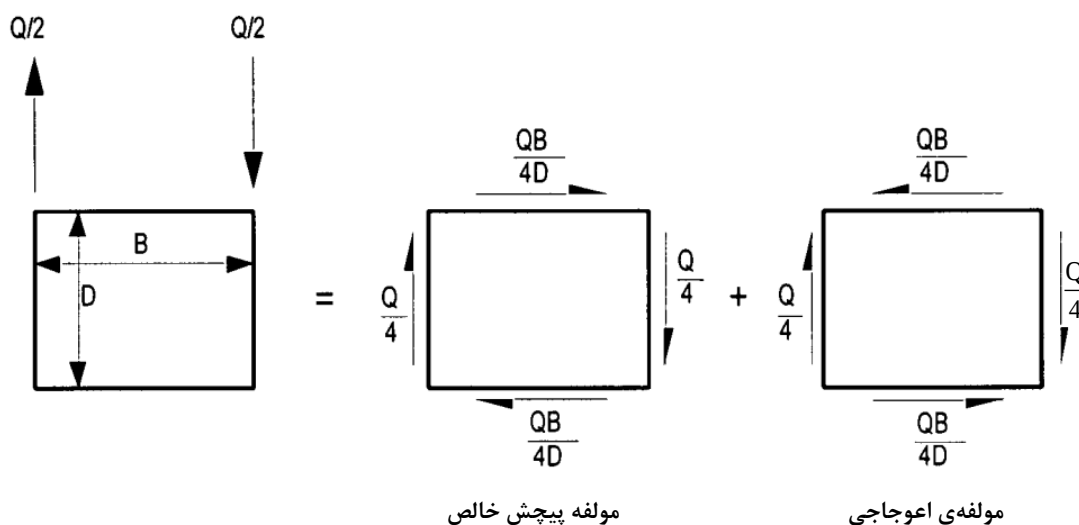
۶-۱-۱۰- مقاطع جعبه‌ای تک

در مقاطع جعبه‌ای تک باید اثر خمش عرضی تحت بارهای وارده و همچنین پیچش تابیدگی و تنش‌های طولی ناشی از آن و همچنین خستگی ناشی از تنش‌های پیچش تابیدگی طولی مورد توجه قرار گیرد. مدلسازی اجزای محدود برای مقاطع جعبه‌ای تک برای محاسبه‌ی تنش‌های ناشی از بار وارده تحت خمش طولی، خمش عرضی و پیچش عرضی، ضروری است. در طراحی تیرهای جعبه‌ای پل‌ها تحت بار برون محور (بخصوص در تیرجعبه‌های تک)، سه مولفه‌ی خمشی^۱، پیچشی^۲ و اعوجاجی^۳ باید مورد توجه قرار گیرد. دو مولفه‌ی اول اثر نیروهای خارجی هستند و باید توسط واکنش‌های تکیه‌گاهی تحمل شوند که آثار آنها در شکل ۶-۱-۳- الف نشان داده شده است.



شکل ۶-۱-۳- الف- مولفه‌های خمشی و پیچشی بار برون محور

مولفه‌ی پیچشی که بصورت زوج نیرو عمل می‌کند، تبدیل به دو مولفه‌ی پیچشی خالص و مولفه‌ی اعوجاجی می‌شود.



شکل ۶-۱-۳-ب- پیچش خالص و مولفه اعوجاجی

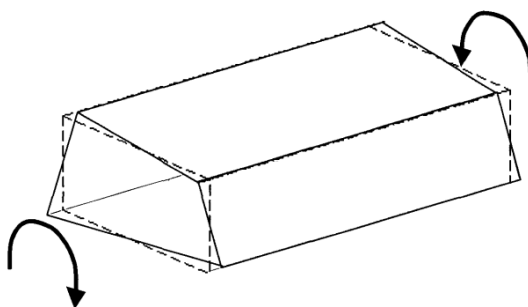
وجود دیافراگم در محل تکیه‌گاه و همچنین مهاربندی‌های داخلی، علاوه بر ایجاد پایداری در ساخت و نصب، از اعوجاج مقطع نیز جلوگیری می‌نماید.

پیچش خالص و پیچش تابیدگی

در اثر اعمال لنگر پیچشی بر مقطع جعبه‌ای، دو مولفه‌ی پیچش خالص یا سن‌ونان و مولفه پیچش تابیدگی در مقطع بوجود می‌آید که جمع آنها ثابت ولی مقدار آنها در طول دهانه متغیر است. در اثر پیچش خالص تنش برشی زیر در جدار مقطع جعبه‌ای بوجود می‌آید.

$$f_v = \frac{T}{2BDt}$$

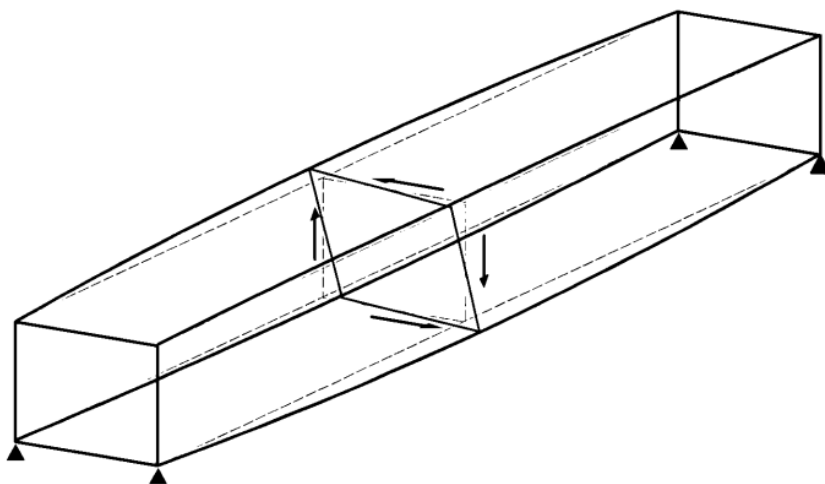
که B و D ابعاد مقطع جعبه‌ای و t ضخامت جدار و T لنگر پیچشی وارد بر مقطع است. در اثر مولفه‌ی تابیدگی کرنش طولی و تنش‌های طولی در تیر جعبه‌ای ایجاد می‌شود که مفهوم آن این است که مقاطع صفحه‌ای عمود بر محور تیر بعد از پیچش بصورت صفحه باقی نمی‌مانند (شکل ۶-۱-۳-پ).



شکل ۶-۱-۳-پ- تابیدگی مقطع تحت برش خالص

اعوجاج

با اعمال بار برون‌محور بر مقطع تیر جعبه‌ای، تغییر شکل‌های اعوجاجی در مقطع تیر بوجود می‌آید که به خمش عرضی و تنش‌های تابیدگی اضافه می‌گردد. مهاربندی داخلی مقطع جعبه‌ای باعث کاهش این پدیده می‌شود.



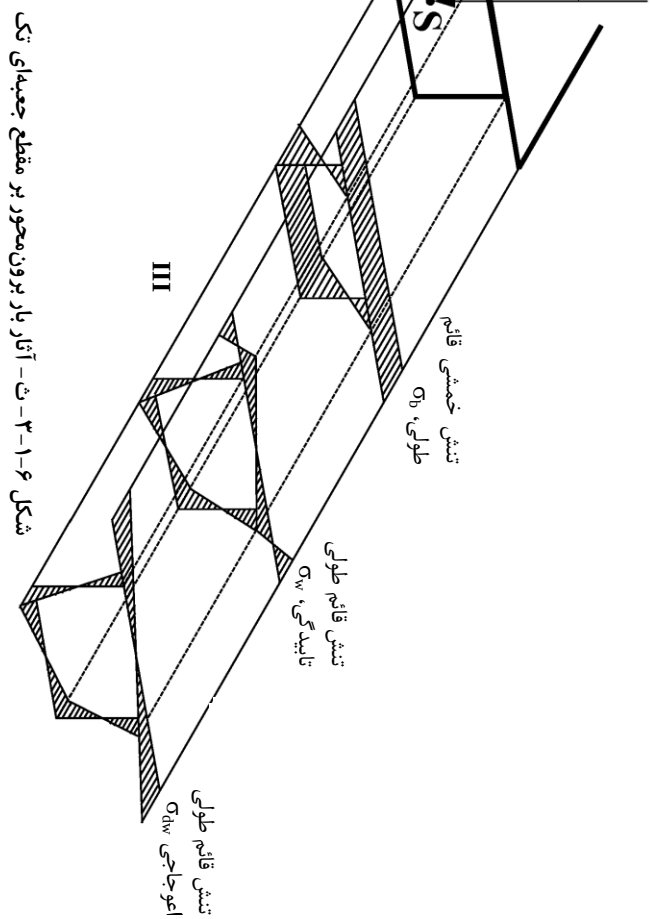
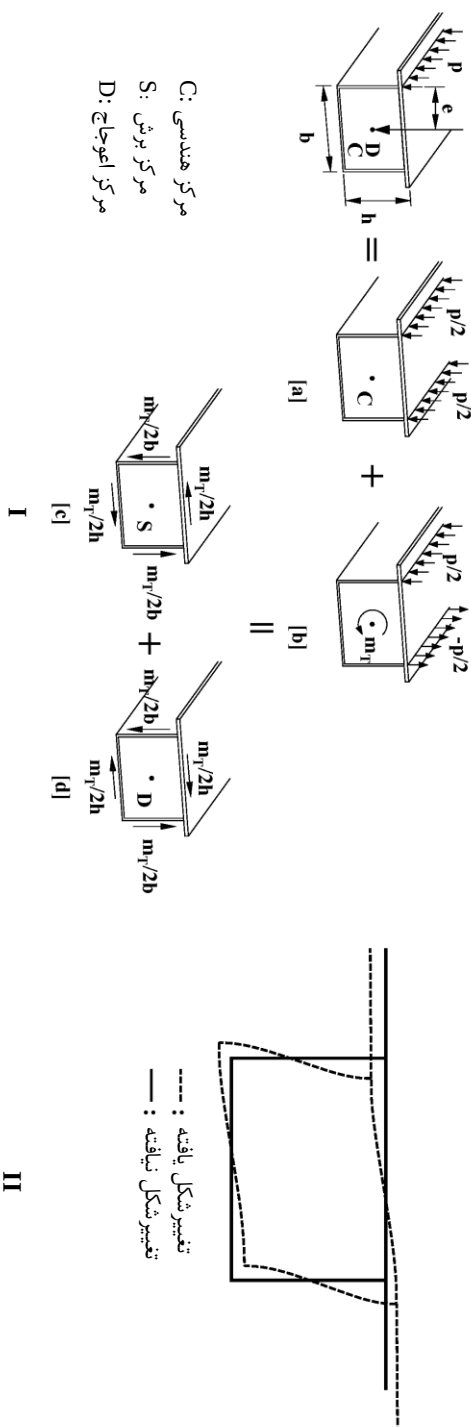
شکل ۶-۱-۳-ت- اعوجاج مقطع جعبه‌ای

در شکل ۶-۱-۳-ت، آثار ناشی از پیچش مقطع جعبه‌ای نشان داده شده است. در پل‌ها با تیر جعبه‌ای تک، استفاده از تحلیل اجزای محدود برای طراحی لازمست؛ توجه شود که آثار پیچشی مورد بحث، در پل‌ها با تیرهای جعبه‌ای چندتایی (۲ و بیشتر) در طراحی قابل توجه نمی‌باشد.

۶-۱-۱۱- محدودیت‌های تناسبات مقطع عرضی

تناسبات جان

جان‌ها می‌توانند قائم و یا شیب‌دار باشند. در حالت دوم، شیب جان نباید از ۱ افقی به ۴ قائم تجاوز نماید. برای حالت جان‌های شیب‌دار، فاصله‌ی بین جان‌ها در محل اتصال با بال باید برای کنترل الزامات طراحی مورد استفاده قرار گیرد. اتصال جان به بال‌های فوقانی باید وسط عرض ورق بال صورت بگیرد.



- نسبت عرض به ضخامت جان بدون سخت‌کننده‌ی طولی باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (۱-۱-۶)$$

- نسبت عرض به ضخامت جان با سخت‌کننده‌ی طولی باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad (۲-۱-۶)$$

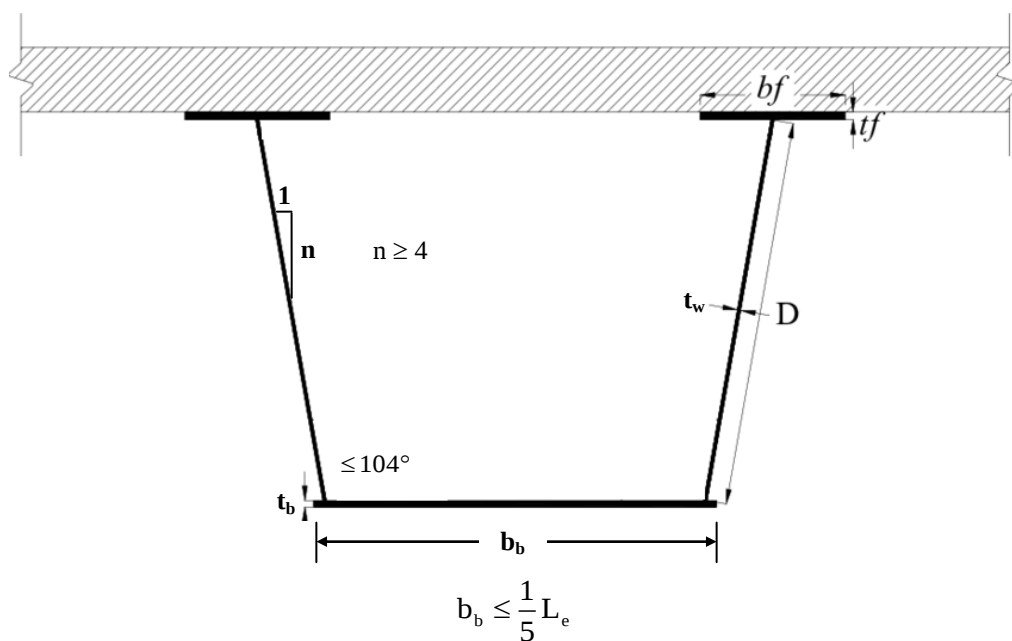
تناسبات بال

نسبت عرض به ضخامت بال‌های فشاری باید تناسبات زیر را اقلان نماید.

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 12 \quad (۳-۱-۶)$$

$$b_f \geq \frac{D}{6} \quad (۴-۱-۶)$$

$$t_f \geq 1.1t_w \quad (۵-۱-۶)$$



L_e = دهانه موثر مساوی دهانه‌ی کل در دهانه ساده و فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی عطف لنگر خمشی بار مرده در دهانه‌ی یکسره (تقریباً $0.7 \times$ طول دهانه)

شکل ۶-۱-۴ - تناسبات مقطع

۲-۶- طراحی تیرهای جعبه‌ای به روش تنش‌های مجاز

۱-۲-۶- طراحی ورق‌های جان

۱-۱-۲-۶- برش قائم

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

$$V_w = \frac{V_v}{\cos \theta} \quad (۱-۲-۶)$$

که در آن:

V_v = نیروی برشی در امتداد قائم

θ = زاویه بین ورق جان و محور قائم

۲-۲-۶- تنش‌های خمشی ناشی از اعوجاج و تابیدگی

۱-۲-۲-۶- 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 به علت تابیدگی، اعوجاج مقطع و ارتعاش بال تحتانی نمی‌باشد.

۲-۲-۲-۶- در مورد سازه‌هایی که خارج از این حدود قرار می‌گیرند، باید ارزیابی دقیقی از تنش‌های خمشی ناشی از تابیدگی و اعوجاج، صورت گیرد.

۳-۲-۶- طراحی ورق‌های بال تحتانی (متکی در دو لبه به ورق جان)

۱-۳-۲-۶- بال تحتانی در کشش

۱-۱-۳-۲-۶- در دهانه‌های ساده، در صورتیکه عرض بال تحتانی کششی کوچکتر از $\frac{1}{8}$ دهانه باشد، تمام

عرض آن در

کشش موثر فرض می‌گردد. چنانچه عرض ورق بال از $\frac{1}{8}$ طول دهانه بیشتر شود، فقط $\frac{1}{8}$ طول دهانه بعنوان عرض موثر در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱-۳-۲-۶- در دهانه‌های یکسره، به جای طول دهانه، فاصله‌ی بین دو نقطه عطف لنگر خمشی ناشی از بار مرده منظور می‌شود.

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

۲-۳-۲-۶-۱- 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:

$$\frac{b}{t} \leq 1.10 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۲-۲-۶)$$

که:

$$\left(F_y = 2400 \rightarrow \frac{b}{t} \approx 35 \right)$$

b = عرض بال بین دو جان (سانتیمتر)

t = ضخامت بال (سانتیمتر)

۲-۳-۲-۶-۲- برای نسبت‌های $\frac{b}{t}$ بزرگتر از $1.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ و کوچکتر از $2.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (ولی نه بیشتر از ۶۰)، تنش‌ها در بال تحتانی سخت‌نشده، نباید از مقدار زیر بیشتر شود:

$$F_b = 0.55F_y - 0.224F_y \times \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{13300 - \frac{3.77b\sqrt{F_y}}{t}}{7160} \right) \right] \quad (۳-۲-۶)$$

۲-۳-۲-۶-۳- در مورد مقادیر $\frac{b}{t}$ بیشتر از $2.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (مساوی ۷۰ برای $F_y = 2400$)، تنش در بال باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = \frac{4 \times 10^6}{(b/t)^2} \quad (۴-۲-۶)$$

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

۲-۳-۲-۶-۵- در صورتیکه نسبت $\frac{b}{t}$ از ۴۵ تجاوز کند، لزوم استفاده از سخت‌کننده‌های طولی مطرح می‌شود.

۶-۲-۳-۳- بال تحتانی، در فشار (با سخت کننده طولی)

۶-۲-۳-۱- سخت‌کننده‌های طولی باید با فواصل مساوی در عرض بال فشاری توزیع گردند. ممان اینرسی هر سخت‌کننده نسبت به محور مار بر محل تماس سخت‌کننده با بال نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر کمتر گردد:

$$I_s = \psi t_f^3 W \quad (5-2-6)$$

که در آن:

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

$$\psi = 0.125k^3 \quad (n=1, \dots, 5)$$

$$t_f = \text{ضخامت بال فشاری}$$

W = عرض بال فشاری بین سخت کننده های طولی یا فاصله بین جان و نزدیک ترین سخت کننده

$$n = \text{تعداد سخت‌کننده‌های طولی}$$

$k =$ ضریب کماتش، که نباید بزرگتر از ۴ باشد (معمولاً عددی بین ۲ تا ۴ مورد استفاده قرار گیرد).

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

$$\frac{W}{t} = 0.55 \sqrt{\frac{Ek}{F_v}} \quad (9-2-9)$$

۶-۲-۳-۳-۳-۳ در مورد مقادیر بزرگتر $\frac{W}{t}$ (کمتر از ۶۰ یا $1.2\sqrt{\frac{Ek}{F_y}}$ هر کدام که کوچکتر باشند)، تنش در بال شامل سخت‌کننده‌های طولی، باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = 0.55F_y - 0.224F_y \times \left[1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{6650\sqrt{k} - \frac{0.0026W\sqrt{E}}{\sqrt{F_y}}}{3580\sqrt{k}} t \right) \right] \quad (V-2-6)$$

۶-۲-۳-۳-۴- برای مقادیر $\frac{W}{t}$ بیشتر از $1.2\sqrt{\frac{Ek}{F_y}}$ و کمتر از ۶۰، تنش در بال شامل سخت‌کننده‌ی طولی باید از مقدار مجاز زیر کمتر گردد:

$$F_b = \frac{1 \times 10^6 k}{(W/t)^2} \quad (۸-۲-۶)$$

۶-۲-۳-۳-۵- 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.

۶-۲-۴- سخت‌کننده‌های بال فشاری - کلیات

۶-۲-۴-۱- نسبت عرض به ضخامت هر کدام از عناصر برجسته سخت‌کننده‌های بال نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{b'}{t'} = 0.48 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۹-۲-۶)$$

که در آن:

b' = عرض هر عنصر برجسته سخت‌کننده

t' = ضخامت عنصر برجسته سخت‌کننده

F_y = مقاومت نظیر حد تسلیم عنصر برجسته سخت‌کننده

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

۳-۶- قسمت سوم- طراحی تیرهای جعبه‌ای به روش LRFD

حالت حدی مقاومت

۳-۶-۱- خمش

در صورت وجود سوراخ در بال کششی، الزامات بند (۴-۱-۸- فصل ۴) باید برآورده شود.

۳-۶-۲- مقطع در خمش مثبت (بال تحتانی در کشش)- مقاطع فشرده و غیرفشرده

مقاطع در تیر جعبه‌ای قوس در افق در رده‌های مقاطع غیرفشرده طبقه‌بندی می‌شوند.

مقاطع در تیر جعبه‌ای مستقیم که الزامات زیر را برآورده نمایند، در رده‌ی مقاطع فشرده طبقه‌بندی می‌شوند.

- تنش تسلیم ورق بال و جان نباید از 490 MPa (4900 kg/cm^2) تجاوز نماید.
- نسبت D/t_w جان روابط ۱-۶-۱ یا ۲-۱-۶ را اقلان می‌نماید.
- مقطع، مربوط به تیری از پلی باشد که، مستقیم و تعداد تیر جعبه‌ای آن مساوی و یا بیش از ۲ باشد.
- عرض بال تحتانی به طور کامل موثر می‌باشد (کوچکتر یا مساوی $\frac{1}{8}$ دهانه‌ی موثر)
- لاغری جان در رابطه‌ی زیر صدق نماید.

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۱-۳-۶)$$

D_{cp} = ارتفاع فشاری جان در لنگر خمیری (پلاستیک)

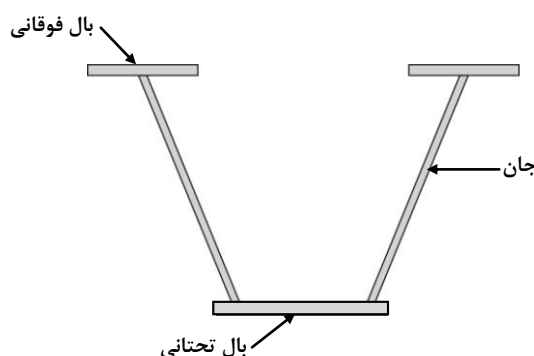
مقاطع چه فشرده و چه غیرفشرده باید الزامات شکل‌پذیری بند زیر را برآورده نمایند.

$$D_p \leq 0.42D_t$$

D_t = ارتفاع کل مقطع مختلط

D_p = فاصله تار فوقانی دال بتنی تا تار خنثای پلاستیک مقطع مختلط

۳-۶-۳- مقاومت خمشی- مقطع در خمش مثبت (بال تحتانی در کشش)



شکل ۳-۶-۱- تعریف بال تحتانی و فوقانی

مقطع فشرده

در حالت حدی مقاومت، مقطع باید رابط‌هی زیر را اقلان نماید:

$$M_u \leq \phi_f M_n \quad (۲-۳-۶)$$

که در آن:

ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی 1.0

M_n = مقاومت خمشی اسمی که از فصل مربوط به تیرهای I حاصل می‌شود (جدول ۱-۳-۴)

M_u = لنگر خمشی حول محور قوی به علت بارهای ضریب‌دار در مقطع مورد مطالعه

مقاطع غیرفشرده

در حالت حدی مقاومت، تنش در بال فشاری فوقانی باید رابط‌هی زیر را برآورده نماید:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (۳-۳-۶)$$

که در آن:

ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی 1.0

f_{bu} = تنش طولی بال در مقطع مورد مطالعه تحت بارهای ضریب‌دار بدون منظور کردن خمش عرضی بال و تنش‌های طولی ناشی از پیچش تابیدگی.

F_{nc} = تنش مقاوم فشاری اسمی بال

تنش در بال کششی باید رابط‌هی زیر را اقلان نماید:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (۴-۳-۶)$$

که در آن:

F_{nt} = تنش مقاوم کششی اسمی بال

تنش فشاری طولی در بتن دال که به عنوان بال مقطع مختلط عمل می‌کند، نباید از $0.6f'_c$ در حالت حدی مقاومت تجاوز نماید.

تنش مقاوم اسمی خمشی

تنش مقاوم اسمی خمشی بال فشاری مقطع جعبه‌ای پرسی از رابط‌هی زیر به دست می‌آید:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (۵-۳-۶)$$

که در آن:

R_b = ضریب کمانش خمشی جان (فصل چهارم)

R_h = ضریب دوگانگی (فصل چهارم)

تنش مقاوم اسمی خمشی بال فشاری در مقطع جعبه‌ای جوشی از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (۶-۳-۶)$$

که در آن:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (۷-۳-۶)$$

f_v = تنش برشی سن‌ونان در بال ناشی از پیچش بارهای ضربیدار

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_{fc}} \quad (۸-۳-۶)$$

که در آن:

A_o = مساحت سطح محصور در میان‌تار مقطع جعبه‌ای

T = پیچش داخلی به علت بارهای ضربیدار

t_{fc} = ضخامت بال فشاری

مقاومت خمشی اسمی بال کششی در مقاطع جعبه‌ای بسته و مقطع جعبه‌ای پرپیچ برابر است با:

$$f_{nt} = R_h F_{yt} \Delta \quad (۹-۳-۶)$$

که در آن:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yt}} \right)^2} \quad (۱۰-۳-۶)$$

f_v = تنش برشی سن‌ونان در بال ناشی از پیچش بارهای ضربیدار.

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_{ft}} \quad (۱۱-۳-۶)$$

که در آن:

A_o = مساحت سطح محصور در میان‌تار مقطع جعبه‌ای

T = لنگر پیچشی داخلی به علت بارهای ضربیدار

t_{ft} = ضخامت بال کششی

۶-۳-۴- مقاومت خمشی - مقطع در خمش منفی (بال تحتانی در فشار)

بال تحتانی در فشار

در حالت حدی مقاومت، مقطع باید رابطه‌ی زیر را اقلان نماید:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (۱۲-۳-۶)$$

که در آن:

$$\phi_f = \text{ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی } 1.0$$

$$f_{bu} = \text{تنش طولی بال به علت بارهای ضریب‌دار در مقطع مورد مطالعه بدون توجه به تنش‌های طولی ناشی از پیچش}$$

$$F_{nc} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال}$$

بال فوقانی کششی با اتکای جانبی پیوسته

در حالت حدی مقاومت، باید رابطه‌ی زیر اقناع شود:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (۱۳-۳-۶)$$

که در آن:

$$F_{nt} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال}$$

۶-۳-۵- مقاومت خمشی بال تحتانی مقطع جعبه‌ای در فشار

بال تحتانی در فشار بدون سخت‌کننده‌ی طولی

مقاومت خمشی بال تحتانی مساوی از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$F_{nc} = F_{cb} \sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\phi_v F_{cv}} \right)^2} \quad (۱۴-۳-۶)$$

که در آن:

$$F_{cb} = \text{مقاومت فشاری کمانشی بال تحتانی}$$

$$\bullet \quad \lambda_f \leq \lambda_p$$

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (۱۵-۳-۶)$$

$$\bullet \quad \lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r$$

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{\Delta - 0.3}{R_h} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (۱۶-۳-۶)$$

$$\bullet \quad \lambda_f > \lambda_r$$

$$F_{cb} = \frac{0.9 E R_b k}{\lambda_f^2} \quad (۱۷-۳-۶)$$

$$F_{cv} = \text{مقاومت برشی کمانشی بال تحت برشی تنها}$$

$$\bullet \quad \lambda_f \leq 1.12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$$

$$F_{cv} = 0.58F_{yc} \quad (۱۸-۳-۶)$$

$$\bullet \quad 1.12 \sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \leq 1.40 \sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}}$$

$$F_{cv} = \frac{0.65 \sqrt{F_{yc} Ek_s}}{\lambda_f} \quad (۱۹-۳-۶)$$

$$\bullet \quad \lambda_f > 1.40 \sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc}}}$$

$$F_{cv} = \frac{0.9Ek_s}{\lambda_f^2} \quad (۲۰-۳-۶)$$

λ_f = نسبت لاغری بال فشاری

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \quad (۲۱-۳-۶)$$

$$\lambda_p = 0.57 \sqrt{\frac{Ek_s}{F_{yc} \Delta}} \quad (۲۲-۳-۶)$$

$$\lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yr}}} \quad (۲۳-۳-۶)$$

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (۲۴-۳-۶)$$

f_v = تنش برشی پیچشی سن‌ونان به علت بارهای ضریب‌دار

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_{fc}} \quad (۲۵-۳-۶)$$

$$f_{yr} = (\Delta - 0.3) F_{yc} \quad (۲۶-۳-۶)$$

k = ضریب کمانش تحت فشار محوری مساوی ۴

$$k = 4.0$$

k_s = ضریب کمانش برشی مساوی ۵/۳۴

$$k_s = 5.34$$

که در آن:

ϕ_f = (ضریب کاهش مقاومت خمشی) مساوی 1.0

ϕ_v = (ضریب کاهش مقاومت برشی) مساوی 1.0

b_{fc} = عرض بال فشاری تحتانی بین دو جان

A_o = سطح مقطع سطح محصور در میان‌تار مقطع

R_b = ضریب کمانش خمشی جان

R_h = ضریب دوگانگی

T = پیچش در مقطع در علت بارهای ضریب‌دار

بال تحتانی در فشار با سخت‌کننده‌ی طولی

برای تعیین مقاومت خمشی اسمی بال فشاری با سخت‌کننده‌های فشاری از همان روابط بال بدون سخت‌کننده‌ی فشاری با جایگذاری‌های زیر استفاده می‌شود.

• W به جای b_{fc}

• اصلاح ضریب k بصورت زیر:

• اگر $n = 1$ باشد:

$$k = \left(\frac{8I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۲۷-۳-۶)$$

• اگر $n = 2$ باشد:

$$k = \left(\frac{0.894I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۲۸-۳-۶)$$

$$1.0 \leq k \leq 4.0$$

• ضریب کمانشی برشی k_s از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \left(\frac{I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}}{(n+1)^2} \leq 5.34 \quad (۲۹-۳-۶)$$

که در آن:

I_s = ممان اینرسی سخت‌کننده‌ی طولی حول محل تماس.

n = تعداد سخت‌کننده‌های طولی با فواصل مساوی

w = بزرگترین فاصله بین سخت‌کننده‌های طولی و یا بین جان و سخت‌کننده‌ی طولی

۶-۳-۶- مقاومت کششی برپایه‌ی تسلیم بال کششی

مقاومت کششی مقاطع جعبه‌ای پرسی برپایه‌ی تسلیم بال کششی از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (۳۰-۳-۶)$$

که در آن:

$$R_h = \text{ضریب دوگانگی مصالح}$$

مقاومت خمشی اسمی مقطع جعبه‌ای بسته برپایه‌ی تسلیم بال کششی از رابطه‌ی ۹-۳-۶ به دست می‌آید.

۶-۳-۷- مقاومت برشی

مقاومت برشی مقاطع جعبه‌ای از روابط بخش ۸-۳-۴ مربوط به تیرهای I به دست می‌آید و فقط کافی نیروی برشی ناشی از بارهای ضریبدار با رابطه‌ی زیر اصلاح می‌شود:

$$V_{ui} = \frac{V_u}{\cos \theta} \quad (۳۱-۳-۶)$$

که در آن:

$$V_u = \text{برش ناشی از بارهای ضریبدار}$$

$$\theta = \text{زاویه بین صفحه‌ی جان با امتداد قائم}$$

در تیرهای جعبه‌ای تک، V_u شامل اثر پیچش نیز می‌باشد.

۶-۳-۸- اتصالات برشگیر

طراحی اتصالات برشگیر مشابه بخش ۵-۳-۵ تیرهای I می‌باشد. در این محاسبات در صورت وجود، تنش برشی ناشی از پیچش نیز ملحوظ می‌شود.

فاصله‌ی اتصالات برشگیر در عرض بال (گام عرضی) باید در رابطه‌ی زیر صدق کند.

$$\frac{s_t}{t_f} \sqrt{\frac{F_{yf}}{kE}} \leq \lambda_p$$

که در آن:

$$k = \text{ضریب کمانش ورق تحت فشار یکنواخت (بند ۵-۳-۶)}$$

$$\lambda_p = \text{لاغری حدی طبق رابطه‌ی (۲۲-۳-۶)}$$

۶-۳-۹- سخت‌کننده‌ها

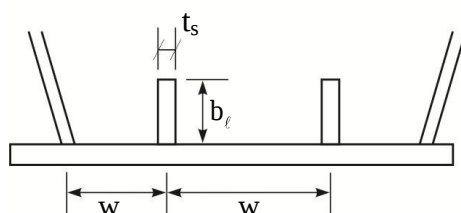
۶-۳-۹-۱- سخت‌کننده‌های جان

طراحی سخت‌کننده‌های جان مطابق بخش نظیر در تیرهای I صورت می‌گیرد (فصل ۴).

۶-۳-۹-۲- سخت‌کننده‌های طولی بال تحتانی در فشار

در بال تحتانی تحت فشار، سخت‌کننده‌های طولی باید در فواصل مساوی تعبیه گردند. تنش تسلیم آنها نباید کمتر از تنش تسلیم بال شود و لاغری آن باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$\frac{b_\ell}{t_s} \leq 0.48 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (۶-۳-۳۲)$$



شکل ۶-۳-۲- سخت‌کننده‌های طولی و فواصل آنها

t_s = ضخامت سخت‌کننده‌ی طولی

b_ℓ = ارتفاع سخت‌کننده

ممان اینرسی سخت‌کننده نسبت به محل تماس نباید کمتر از مقدار زیر باشد:

$$I_\ell \geq \Psi w t_{fc}^3 \quad (۶-۳-۳۳)$$

که در آن:

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

$$\Psi = 0.12 k^3 \quad (\text{برای } n = 2)$$

k = ضریب کماتش ورق تحت تنش فشاری یکنواخت

$$1.0 \leq k \leq 4.0$$

n = تعداد سخت‌کننده‌های طولی در فواصل مساوی

w = بزرگترین فاصله بین سخت‌کننده‌ها و یا بین سخت‌کننده و جان

۶-۳-۱۰- کنترل عملیات نصب و بتن‌ریزی

مقطع جعبه‌ای فولادی تنها باید بتواند وزن خود، قالب‌بندی و بتن‌ریزی (در صورتیکه از پایه‌ی موقت استفاده نشده باشد) را حین عملیات حمل و نصب تحمل کند.

بال فوقانی فشاری

در این خصوص از الزامات بال فشاری تیرهای I مطابق فصل چهارم استفاده می‌شود. فاصله‌ی اتکای جانبی مساوی فاصله دیافراگم‌های داخلی منظور می‌شود.

بال تحتانی فشاری

تنش در بال تحتانی تحت فشار مقطع فولادی تنها در حین عملیات نصب و بتن‌ریزی باید رابطه‌ی زیر با اقناع نماید:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (۳۴-۳-۶)$$

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (۳۵-۳-۶)$$

که در آن:

ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت برای خمش (مساوی ۱)

f_{bu} = تنش خمشی طولی بال بدون اثر پیچش تابیدگی

F_{crw} = تنش کمانش خمشی جان طبق فصل ۴

F_{nc} = مقاومت خمشی اسمی بال فشاری مطابق با ضوابط این فصل با فرض $R_b = 1$ (بند ۵-۳-۶)

برای مقاطع با جان فشرده یا غیرفشرده کنترل رابطه‌ی ۲۵-۳-۶ لازم نیست.

برای شرایط بحرانی ساخت، بال‌های مقطع فولادی غیرمختلط در کشش با بال‌های کششی یا فشاری با اتکای جانبی

پیوسته، باید رابطه‌ی زیر را اقناع نمایند:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf} \Delta \quad (۳۶-۳-۶)$$

که در آن:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yf}} \right)^2} \quad (۳۷-۳-۶)$$

f_v = تنش برشی پیچشی سن و نان به علت بارهای ضربدار در مقطع مورد مطالعه.

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_f} \quad (۳۸-۳-۶)$$

که در آن:

$$A_o = \text{سطح مقطع محصور در میان تار مقطع}$$

$$R_h = \text{ضریب دوگانگی}$$

$$T = \text{لنگر پیچشی داخلی به علت بارهای ضربیدار}$$

قبل از گرفتن دال بتنی، مقطع جعبه‌ای فولادی بصورت غیرمختلط عمل می‌نماید.

افتادگی حداکثر بال مقطع فولادی غیرمختلط، تحت بار بدون ضریب وزن خود و وزن بتن مسلح دال نباید از 1/360 دهانه عرضی بین جان‌ها تجاوز نماید.

تنش خمشی عرض بال تحت بارهای ضربیدار وزن و وزن بتن نباید از 1400 kg/cm^2 تجاوز نماید.

برای محاسبات فوق می‌توان فرض نمود که دال بصورت دهانه‌ی ساده در حدفاصل دو جان عمل می‌کند. در صورت نیاز برای کاهش افتادگی و یا خمش می‌توان از سخت‌کننده‌ی مناسب برای بال استفاده نمود.

فصل ۷

اعضای فشاری

۷-۱- قسمت اول - کلیات

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

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

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

$$\lambda = \frac{KL}{r_{\min}} < 140 \quad (\text{اعضای فرعی}) \quad (۷-۱-۲)$$

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 می‌توان از قسمتی از مقطع صرف‌نظر نمود، مشروط براینکه:

- ظرفیت عضو بر مبنای سطح مقطع و شعاع ژیراسیون واقعی، از نیروی داخلی عضو تجاوز کند.
- ظرفیت مقطع کاهش یافته با شعاع ژیراسیون مربوطه، بزرگتر از نیروی داخلی عضو باشد.

۷-۱-۲- 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 تحلیل وضع موجود تعیین شده و هیچگاه نباید از ۱ کوچکتر در نظر گرفته شود. در غیاب محاسبات دقیقتر K را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4 G_A + G_B + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \geq 1 \quad (۳-۱-۷)$$

G_A و 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.

$$G = 1 \quad \text{انتهای گیردار} \quad (۴-۱-۷)$$

$$G = 10 \quad \text{انتهای مفصلی} \quad (۵-۱-۷)$$

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

۳-۱-۷- اعضای فشاری مرکب

۳-۱-۷-۱- 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

۳-۱-۷-۲- 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.

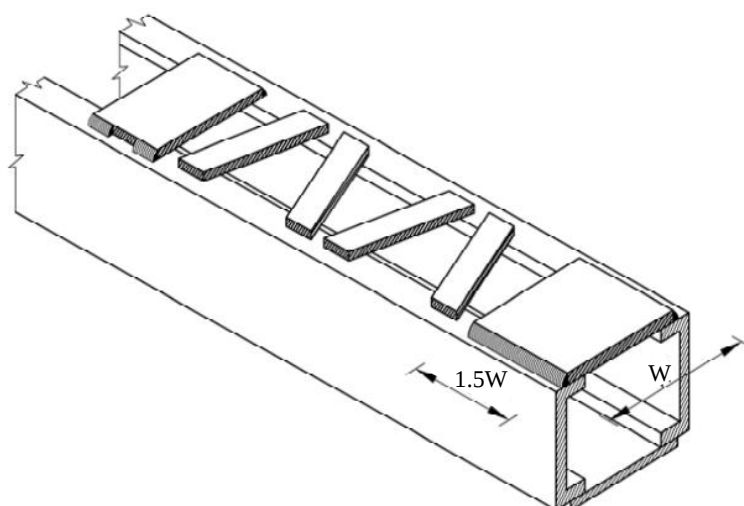
پ- در دو انتهای عضو، در طولی به اندازه $1/5$ برابر عرض مقطع، بعد جوش اتصالی باید طوری محاسبه گردد، که قادر به حمل نیروی محوری اجزای اتصالی با تنش $0.55F_y$ باشد.

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

۷-۱-۳-۳- اعضای فشاری مرکب مشبک

۷-۱-۳-۳-۱- کلیات

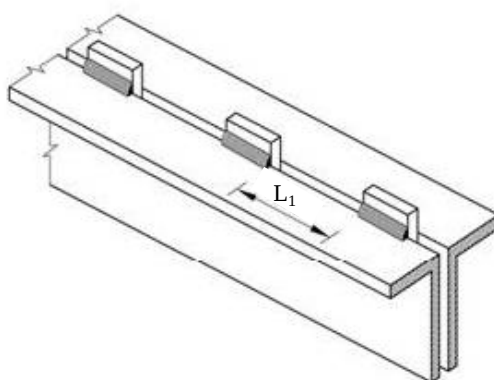
در دو انتهای عضو فشاری مرکب مشبک، و یا در محل وصله نیمرخ‌ها، در طولی مساوی $1/5$ برابر عرض حداکثر عضو، عناصر تشکیل‌دهنده باید به کمک جوش پیوسته و یا پیچ و پرچ‌هایی با فواصل کوچکتر از 4 برابر قطر به یکدیگر متصل شوند (شکل ۷-۱-۱). این جوش باید بتواند نیروی سهم هر جزء متصل شونده را با تنش $0.55F_y$ تحمل نماید.



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

۷-۱-۳-۳-۲- اعضای فشاری مرکب با لقمه

اعضای فشاری مرکب که از دو یا چند نیمرخ نورد شده ساخته می‌شوند و با گذاردن قطعات لقمه در بین آنها به یکدیگر متصل می‌گردند، 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 ۷-۱-۲).



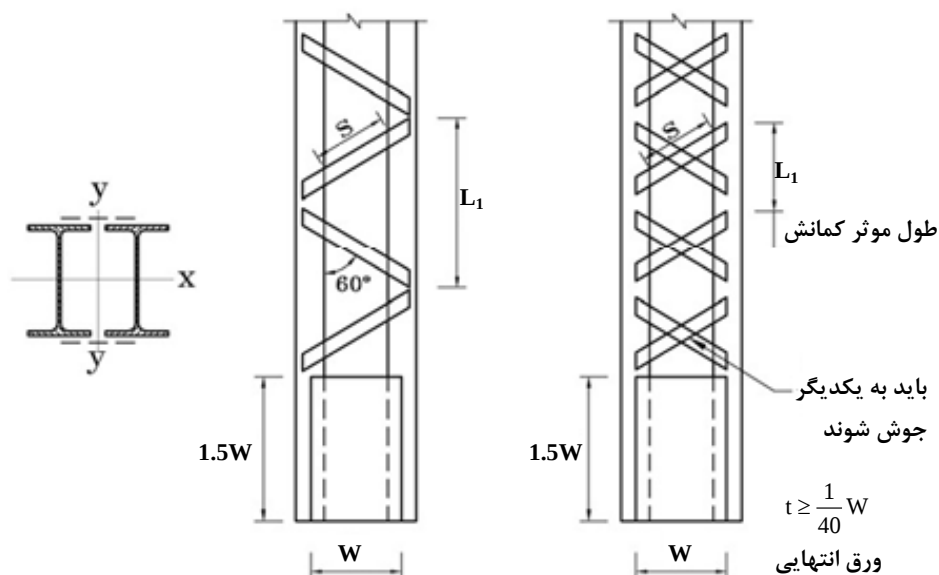
شکل ۷-۱-۲- اعضای فشاری مرکب با لقمه

۷-۱-۳-۳- اعضای فشاری مرکب با بست‌های چپ و راست

الف- ورق انتهایی: بست‌های 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 ورق انتهایی به عضو عرضی باشد. ضخامت ورق انتهایی نباید از $\frac{1}{4}$ فاصله بین دو خط اتصال دوطرف آن کمتر باشد (شکل ۷-۱-۳).

$$t \geq \frac{1}{40} W \quad (۷-۱-۶)$$

ورق انتهایی



شکل ۷-۱-۳- اعضای فشاری با بست چپ و راست

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 قلاب می‌باشد.

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 کمناش 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 مرکز ثقل 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:

$$F = \frac{V}{2 \sin \alpha} \quad (7-1-7)$$

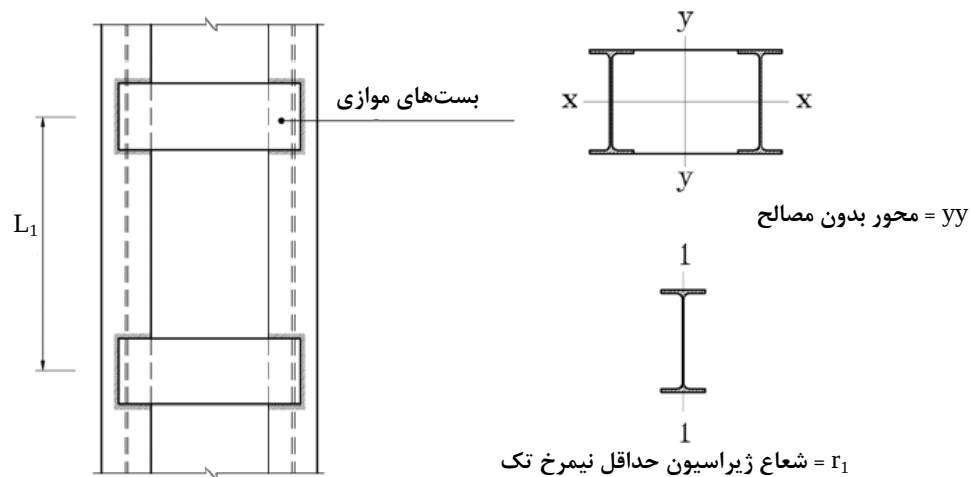
V = مجموع نیروی برشی ناشی از بارگذاری جانبی و برش ناشی از کمناش (رابطه ۷-۱-۱۲)

۷-۱-۳-۴- اعضای فشاری مرکب 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. λ_y 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 (شکل ۷-۱-۴).

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 ۷-۱-۴- عضو فشاری مرکب مشبک با بست‌های موازی

ت- بست‌ها را می‌توان از تسمه، ورق، ناودانی و یا نیمرخ I انتخاب کرد. اتصال بست‌ها 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:

$$T = \frac{VL_1}{2b} \quad (۷-۱-۸)$$

$$M = \frac{VL_1}{4} \quad (۷-۱-۹)$$

در این روابط:

V = نیروی برشی جانبی مساوی برش ناشی از بارهای خارجی (شامل وزن) به علاوه برش ناشی از کمانش (رابطه ۷-۱-۱۲).

L_1 = فاصله مرکز به مرکز بست‌ها در امتداد طول عضو.

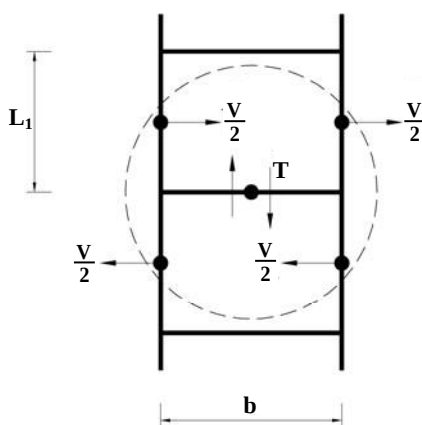
b = فاصله بین مرکز ثقل اتصال‌های دوسر بست.

ث- ورق‌های انتهایی که در دو سر عضو فشاری قرار می‌گیرند، باید حداقل طولی برابر با $1/5$ 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 می‌شود.

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



شکل ۷-۱-۵- محاسبه بست‌های موازی

۷-۱-۳-۵- لاغری موثر اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب و موازی

در صورتی که محور y ، محور اصلی مقطع عمود بر صفحه بست‌ها باشد (محور بدون مصالح در اشکال ۷-۱-۳ و ۷-۱-۴)، نسبت لاغری حول آن به علت تغییر شکل‌ها باید اصلاح گردد. نسبت لاغری موثر را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$\lambda_{ye} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (7-1-10)$$

در رابطه فوق:

λ_y = نسبت لاغری کلی حول محور y

λ_1 = نسبت لاغری موضعی طبق روابط زیر:

الف: برای اعضای فشاری مرکب با بست‌های موازی

$$\lambda_1 = L_1 / r_1$$

(۷-۱-۱۱-الف)

L_1 = فاصله مرکز به مرکز دو بست موازی

r_1 = لاغری حداقل تک نیمرخ

ب: برای اعضای فشاری مرکب با بست مورب

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

(۷-۱-۱۱-ب)

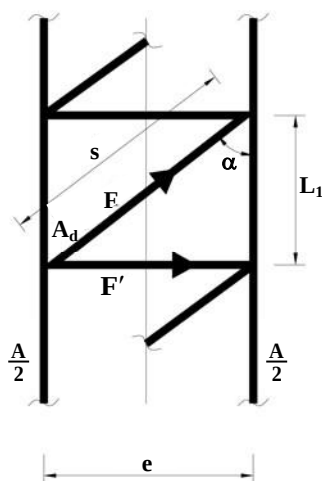
A = سطح مقطع کلی ستون

A_d = سطح مقطع یک بست مورب

S = طول مرکز به مرکز بست مورب

e = فاصله بین مراکز نیمرخ‌ها

در این حالت در جهت اطمینان می‌توان از رابطه‌ی ۷-۱-۱۱-الف نیز استفاده نمود.



شکل ۷-۱-۶- هندسه بست‌های چپ و راست

۷-۱-۳-۳-۶- برش ناشی از کمناش

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

$$V = \frac{P}{100} \left[\frac{100}{\ell/r + 10} + \frac{(\ell/r) F_y}{230000} \right] \geq 0.02 P \quad (۱۲-۱-۷)$$

در رابطه فوق:

V = نیروی برشی ناشی از کمانش که باید به نیروی برشی ناشی از بارهای خارجی اضافه شود.

P = نیروی فشاری عضو

ℓ = طول عضو

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

F_y = تنش تسلیم فولاد مصرفی (kg/cm^2)

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

۷-۲-۲- قسمت دوم- طراحی اعضای فشاری به روش تنش مجاز

۷-۲-۱- مقاومت فشاری مجاز ناشی از کمانش خمشی

مقاومت فشاری مجاز عضو برابر است با:

$$P = F_a A_g \quad (۷-۲-۱)$$

که در آن:

$$F_a = \text{تنش مجاز فشاری}$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی}$$

۷-۲-۲- تنش مجاز اعضای فشاری

در اعضای فشاری که اجزای مقطع آن شرایط کمانش موضعی را برآورده می‌نمایند (جدول ۷-۲)، تنش مجاز فشاری از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (۷-۲-۲)$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد مصرفی}$$

$$E = \text{ضریب الاستیسیته فولاد}$$

$$C_c = \text{لاغری مرزی بین کمانش الاستیک و غیرالاستیک}$$

در صورتیکه $C_c \leq \lambda$ باشد (کمانش غیرارتجاعی):

$$F_a = \frac{F_y}{2.12} \left[1 - \frac{\lambda^2 F_y}{4\pi^2 E} \right] \quad (۷-۲-۳)$$

در صورتیکه $C_c > \lambda$ باشد (کمانش ارتجاعی اولر):

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{2.12 \lambda^2} \quad (۷-۲-۴)$$

در روابط فوق، عدد ۲/۱۲ ضریب اطمینان می‌باشد و همچنین داریم:

$\lambda =$ لاغری حداکثر عضو فشاری طبق بند ۷-۱-۱ که مساوی KL/r می‌باشد.

$$F_a = \text{تنش فشاری مجاز}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد مصرفی}$$

توجه شود که در روش تنش مجاز فقط کمانش خمشی مورد توجه قرار می‌گیرد. در روش LRFD سایر موده‌های کمانشی نیز منظور می‌شود.

۷-۳-قسمت سوم- طراحی اعضای فشاری به روش LRFD

۷-۳-۱- کلیات

ضوابط این بخش مربوط است به ستون‌ها و اعضای فشاری فولادی تنها و مختلط (ترکیب فولاد و بتن) منشوری (با مقطع ثابت) که تحت تاثیر نیروی محوری فشاری قرار دارند.

قوس‌های فولادی باید ضوابط اضافی فصل سیزدهم را نیز برآورده نمایند. یال فشاری خرپاهای میانگذر کوتاه (بدون مهار جانبی فوقانی) باید ضوابط اضافی فصل دوازدهم را نیز برآورده نمایند.

۷-۳-۲- مقاومت فشاری محوری

مقاومت فشاری ضریبدار P_r برابر است با:

$$P_r = \phi_c P_n$$

که در آن:

P_n = مقاومت فشاری اسمی مطابق بخش‌های ۷-۳-۳ تا ۷-۳-۷

ϕ_c = ضریب کاهش مقاومت فشاری مساوی ۰/۹

۷-۳-۳- اعضای فشاری فولادی

۷-۳-۳-۱- کلیات

مقاومت فشاری اسمی P_n باید بر مبنای کوچکترین حالت حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی، بر حسب مورد بصورت زیر تعیین گردد:

- مودهای کمانشی برای اعضا با مقطع متقارن دوماحوره

○ مود کمانش خمشی

○ برای مقاطع باز که طول موثر مهارنشده‌ی پیچشی بزرگتر از طول موثر مهار نشده جانبی است، مود کمانش

پیچشی نیز بررسی شود.

- مودهای کمانشی برای اعضا با مقطع متقارن تک‌محوره

○ مود کمانش خمشی

○ برای مقاطع باز، مود کمانش خمشی- پیچشی نیز بررسی شود.

- مودهای کمانشی برای اعضا با مقطع نامتقارن

- برای اعضا با مقطع باز، فقط مود کمانشی خمشی - پیچشی
- برای اعضا با مقطع نبشی تک طبق مفاد بند ۷-۳-۳-۵ فقط مود کمانشی خمشی
- برای اعضا با مقطع بسته (جعبه‌ای)، فقط کمانش خمشی
- برای سخت‌کننده‌های فشاری، بررسی مودهای کمانشی پیچشی - خمشی و پیچشی لازم نمی‌باشد.

۷-۳-۳-۲- الزامات عمومی

اعضای فشاری می‌توانند از نیمرخ تک، نیمرخ‌های مرکب و نیمرخ‌های ساخته شده از ورق یا ترکیبی از ورق و نیمرخ باشند.

در روش LRFD مقاومت فشاری طراحی اعضا برابر $\phi_c P_n$ می‌باشد که P_n مقاومت فشاری اسمی است که باید برابر کوچک‌ترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی (برحسب مورد) در نظر گرفته شود. در طراحی اعضای فشاری مقدار ϕ_c برابر ۰.۹ است. حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری براساس شکل مقطع، مطابق جدول ۷-۱ و بندهای زیر انتخاب می‌شود.

۷-۳-۳-۳- مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش خمشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر.

۷-۳-۳-۴- مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر.

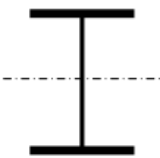
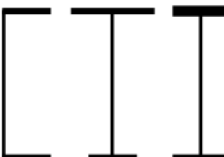
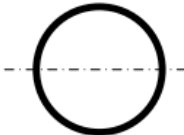
۷-۳-۳-۵- اعضای با مقطع نبشی تک

۷-۳-۳-۶ و ۷- اعضای فشاری دارای اجزای لاغر

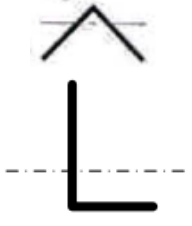
توجه:

به اجزایی لاغر اطلاق می‌شود که نسبت عرض به ضخامت آنها مطابق بند ۷-۳-۳-۶ باشند.

جدول ۷-۱- حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری برای مقاطع مختلف

حالت	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی براق مقاطع بدون اجزای لاغر	بند مربوطه	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای مقاطع دارای اجزای لاغر	بند مربوطه
۱	مقاطع I شکل دارای دو محور تقارن		- کمانش خمشی حول هر یک از محورهاهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۳-۳-۳-۷ ۴-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر یک از محورهاهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو - کمانش موضعی	۶-۳-۳-۷
۲	مقاطع I شکل با یک محور تقارن و مقاطع ناودانی		- کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی- پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۳-۳-۳-۷ ۴-۳-۳-۷	- کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی- پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۶-۳-۳-۷
۳	مقاطع صلیبی یا ساخته شده (مرکب) دارای دو محور تقارن		- کمانش خمشی حول هر یک از محورهاهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۳-۳-۳-۷ ۴-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر یک از محورهاهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۶-۳-۳-۷
۴	مقاطع توخالی مستطیلی شکل		- کمانش خمشی حول محورهاهای اصلی مقطع	۴-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محورهاهای اصلی مقطع	۶-۳-۳-۷
۵	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل		- کمانش خمشی حول هر محور دلخواه مقطع	۳-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر محور دلخواه مقطع	۶-۳-۳-۷

جدول ۷-۱- (ادامه) حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری برای مقاطع مختلف

حالت	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی براق مقاطع بدون اجزای لاغر	بند مربوطه	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای مقاطع دارای اجزای لاغر	بند مربوطه
۶	مقاطع سپری		- کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی - پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو - کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع	۳-۳-۳-۷ ۴-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی - پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو - کمانش موضعی	۷-۳-۳-۷
۷	مقاطع مرکب از دو نیم‌رخ نبشی پشت به پشت		- کمانش خمشی - پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۳-۳-۳-۷ ۴-۳-۳-۷ ۶-۳-۳-۷	- کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی - پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۷-۳-۳-۷ ۶-۳-۳-۷
۸	مقاطع نبشی تک		- کمانش خمشی - کمانش خمشی - پیچشی	۵-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی - کمانش خمشی - پیچشی	۷-۳-۳-۷
۹	مقاطع توپر		کمانش خمشی حول محورهای اصلی	۳-۳-۳-۷	موضوعیت ندارد	—
۱۰	مقاطع بدون محور تقارن غیر از نبشی‌های تک		کمانش خمشی - پیچشی حول محورهای اصلی مقطع و حول محور طولی عضو	۴-۳-۳-۷	- کمانش موضعی - کمانش خمشی - پیچشی حول محورهای اصلی مقطع و حول محور طولی عضو	۷-۳-۳-۷

۷-۳-۳-۳- مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش خمشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر

مقاومت فشاری اسمی (P_n)، اعضای فشاری با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن بدون اجزای لاغر براساس کمانش خمشی حول محور موردنظر با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (۷-۳-۱)$$

که در آن:

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی عضو}$$

$$F_{cr} = \text{تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی که از روابط زیر به دست می‌آید:}$$

الف) اگر $\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (یا $\beta = \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$) باشد:

$$F_{cr} = (0.658^\beta) F_y \quad (۲-۳-۷)$$

$$\beta = \frac{F_y}{F_e}$$

ب) اگر $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (یا $\beta = \frac{F_y}{F_e} > 2.25$) باشد:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (۳-۳-۷)$$

F_y	$4.71\sqrt{E/F_y}$
2400	139
3500	115

در روابط فوق:

$$\frac{KL}{r} = \text{نسبت لاغری عضو حول محور کمانش موردنظر}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته‌ی فولاد}$$

$$K = \text{ضریب طول موثر حول محور کمانش موردنظر مطابق ضوابط بخش ۱-۷}$$

$$L = \text{طول مهار نشده‌ی عضو حول محور کمانش موردنظر}$$

$$r = \text{شعاع ژیراسیون مقطع عضو حول محور کمانش موردنظر}$$

$$F_e = \text{تنش کمانش الاستیک اولر که مقدار آن عبارت است از:}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \Rightarrow \beta = \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{KL}{r\pi}\right)^2 \frac{F_y}{E} \quad (۴-۳-۷)$$

۷-۳-۳-۴ - مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی در اعضای با مقطع بدون

اجزای لاغر

همان‌طور که در جدول ۱-۷ نیز عنوان شده است، الزامات این بند برای تعیین مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری با مقاطع دارای دو محور تقارن، یک محور تقارن و نامتقارن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

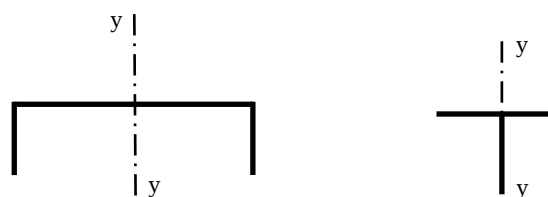
مقاومت فشاری اسمی (P_n) در اعضای فشاری با مقاطع بدون اجزای لاغر براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی (حسب مورد) برابر $F_{cr}A_g$ است که در آن A_g سطح مقطع کلی عضو و F_{cr} تنش فشاری بوده که مقدار آن با استفاده از روابط ۲-۳-۷ و ۳-۳-۷ ولی براساس تنش‌های کمانش پیچشی الاستیک (اولر) و خمشی - پیچشی الاستیک (F_e) که برای حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شود، به دست می‌آید:

الف) برای مقاطع دارای دو محور تقارن براساس حالت حدی کمانش پیچشی حول محور طولی مار بر مرکز برش:

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \quad (۵-۳-۷)$$

ب) برای مقاطع با یک محور تقارن که محور تقارن آن‌ها y نام‌گذاری شده است، براساس حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی حول محور y و محور طولی مار بر مرکز برش:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (۶-۳-۷)$$



شکل ۱-۳-۷

پ) برای مقاطع نامتقارن، براساس حالت حدی کمانشی خمشی - پیچشی حول محورهای اصلی مقطع و محور طولی مار بر مرکز برش، F_e عبارت است از کوچک‌ترین ریشه‌ی معادله‌ی درجه سوم زیر:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{\bar{r}_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{\bar{r}_0} \right)^2 = 0 \quad (۷-۳-۷)$$

در روابط فوق:

C_w = ثابت تابیدگی

K_z = ضریب طول موثر برای کمانش پیچشی، مقدار این ضریب به طور محافظه‌کارانه می‌تواند برابر یک انتخاب گردد. ولی در مواردی که فقط یک انتها یا هر دو انتهای ستون در برابر تابیدگی مقید شده باشند، این ضریب می‌تواند برابر 0.7 برای حالت فقط در یک انتها مقید یا برابر 0.5 برای حالت در هر دو انتها مقید، در نظر گرفته شود. مقید شدن در برابر تابیدگی می‌تواند از طریق جعبه‌ای کردن انتهای مقطع، در طولی حداقل برابر بزرگ‌ترین بعد مقطع ستون انجام شود.

J = ثابت پیچشی

$G = \text{مدول الاستیسیته‌ی برشی}$ $G = \frac{1}{2.6} E$ (با فرض $\nu = 0.3$)

X_0 و Y_0 = مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح در راستای محوره‌های اصلی x و y

r_x و r_y = شعاع ژیراسیون حول محوره‌های اصلی x و y

$\bar{r}_0$ = شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (۸-۳-۷)$$

A_g = سطح مقطع کلی عضو

H = ضریبی است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} \quad (۹-۳-۷)$$

F_{ex} , F_{ey} و F_{ez} از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L_x}{r_x} \right)^2} \quad (۱۰-۳-۷)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L_y}{r_y} \right)^2} \quad (۱۱-۳-۷)$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_0^2} \quad (۱۲-۳-۷)$$

I_x و I_y = ممان اینرسی حول محوره‌های اصلی

L_x , L_y و L_z = طول مهار نشده‌ی عضو به ترتیب حول محوره‌های کمانش x , y و z

K_x و K_y = ضریب طول موثر برای کمانش خمشی حول محوره‌های اصلی x و y

تبصره: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن، C_w را می‌توان مساوی $I_y h_0^2 / 4$ در نظر گرفت که در آن h_0 فاصله‌ی مرکز تا مرکز بال‌ها است. برای مقاطع ناودانی، C_w را می‌توان برابر $\frac{t_f b^3 h^2}{12} \left(\frac{3bt_f + 2ht_w}{6bt_f + ht_w} \right)$ در نظر گرفت که در آن t_f , b , h و t_w به ترتیب عرض بال، ضخامت بال، ارتفاع و ضخامت جان ناودانی هستند. برای مقاطع سپری و نبشی جفت پشت به پشت، در محاسبه‌ی F_{ez} می‌توان از جملات حاوی C_w صرف‌نظر کرد و x_0 را مساوی صفر در نظر گرفت.

۷-۳-۳-۵- اعضای با مقطع نبشی تک

مقاومت فشاری اسمی (P_n)، اعضای فشاری با مقطع نبشی تک باید براساس کوچک‌ترین مقدار به دست آمده از حالت های حدی کمانش خمشی مطابق الزامات بند ۷-۳-۳-۳ (چنانچه دارای اجزای لاغر نباشند) یا مطابق الزامات بند ۷-۳-۳-۷ (چنانچه دارای اجزای لاغر باشند) و حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی مطابق الزامات بند ۷-۳-۳-۷ فقط برای حالتی که $\frac{b}{t} > 0.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد، در نظر گرفته شود (b پهنا و t ضخامت ساق نبشی است). نبشی‌هایی که به صورت برون‌محور بارگذاری می‌شوند، در صورتی که شرایط زیر برقرار باشند، در طراحی می‌توان از برون‌محوری آن‌ها صرف‌نظر کرد:

(۱) نیروی محوری نبشی از دو انتهای آن و فقط از طریق یک ساق اعمال گردد.

(۲) اتصال دو انتهای عضو به کمک جوش یا حداقل دو پیچ انجام شود.

(۳) هیچ‌گونه بار عرضی میانی بر عضو اعمال نگردد.

نبشی‌های تکی که شرایط فوق را دارند و نیز شرایط انتهایی آن‌ها با یکی از حالت‌های مشخص شده در بندهای (الف) و (ب) زیر مطابقت دارد، می‌توانند براساس نسبت‌های لاغری اصلاح شده که در این بخش ارائه می‌شود، به عنوان عضوی که تنها تحت اثر نیروی فشاری قرار دارد، طراحی شوند. نبشی‌های تکی که این شرایط را ندارند یا شرایط انتهایی آن‌ها با حالت‌های مشخص شده در بندهای (الف) و (ب) زیر متفاوت است، باید برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی مطابق مورد محاسبه و طراحی قرار گیرند.

الف) برای نبشی با ساق‌های مساوی یا نامساوی که از طریق ساق بلندتر متصل شده‌اند و به صورت اعضای تک یا اعضای جان خرابه‌های صفحه‌ای که با اعضای مجاور خود به یک سمت ورق اتصال یا یال خرابه متصل شده‌اند، لاغری اصلاح شده با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{برای } \frac{L}{r_a} \leq 80 :$$

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0.75 \frac{L}{r_a} \quad (۷-۳-۱۳)$$

$$\text{برای } \frac{L}{r_a} > 80 :$$

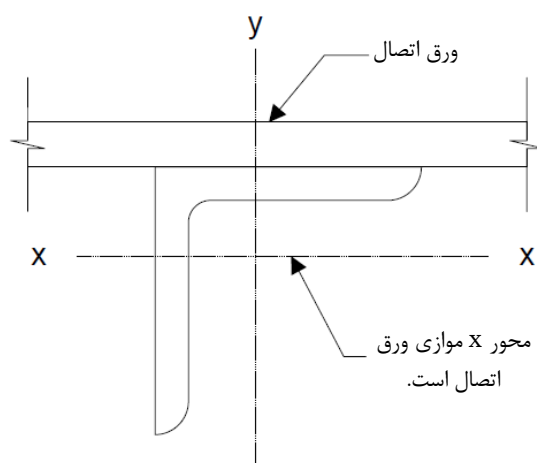
$$\frac{KL}{r} = 32 + 1.25 \frac{L}{r_a} \leq 200 \quad (۷-۳-۱۴)$$

برای نبشی با ساق نامساوی با نسبت ساق کوچکتر از 1.7 که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، باید به $\frac{KL}{r}$ به دست آمده از روابط ۱۳-۳-۷ و ۱۴-۳-۷ جمله‌ی $4[(b_\ell/b_s)^2 - 1]$ اضافه شود، لیکن $\frac{KL}{r}$ به دست آمده نباید کمتر از $0.95L/r_z$ در نظر گرفته شود.

ب) برای نبشی با ساق‌های مساوی یا نامساوی که از طریق ساق‌های بلندتر متصل شده‌اند و عضوی از جان خریای جعبه ای یا فضایی هستند که با اعضای مجاورشان به یک طرف ورق اتصال یا بال‌ها متصل شده‌اند، لاغری اصلاح شده از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{برای } \frac{L}{r_a} \leq 75 :$$

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.8 \frac{L}{r_a} \quad (۱۵-۳-۷)$$



شکل ۷-۳-۲- عضو فشاری با مقطع تک نبشی

$$\text{برای } \frac{L}{r_a} > 75 :$$

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_a} \leq 200 \quad (۱۶-۳-۷)$$

برای نبشی با ساق‌های نامساوی با نسبت بعد دو ساق کمتر از 1.7 که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، باید به $\frac{KL}{r}$ به دست آمده از روابط ۱۵-۳-۷ و ۱۶-۳-۷ جمله‌ی $6[(b_\ell/b_s)^2 - 1]$ اضافه شود، لیکن $\frac{KL}{r}$ به دست آمده نباید کمتر از $0.82L/r_z$ در نظر گرفته شود.

در روابط فوق:

L = طول عضو بین محل تقاطع محور اعضا

b_ℓ = پهنای ساق بزرگ‌تر نبشی

b_s = پهنای ساق کوچک‌تر نبشی

r_a = شعاع ژیراسیون حول محور موازی با ساق متصل شده

r_z = شعاع ژیراسیون حول محور اصلی ضعیف نبشی

۷-۳-۳-۶- اجزای لاغر

در نیمرخ‌های اعضای تحت فشاری محوری، در صورتی که نسبت عرض به ضخامت (نسبت لاغری) اجزای مقطع در رابطه‌ی زیر صدق نماید، آن جزء لاغر فرض می‌شود.

$$\frac{b}{t} > \lambda_r \quad (۷-۳-۷)$$

λ_r = حد بالای نسبت عرض به ضخامت اجزای غیرلاغر مطابق جدول ۷-۲

b = عرض جز

t = ضخامت جز

در صورت اجزای مقطع تحت فشار محوری لاغر باشند، ظرفیت فشاری مقطع مطابق بند ۷-۳-۳-۷ محاسبه می‌شود.

جدول ۷-۲- حد بالای نسبت عرض به ضخامت (لاغری) اجزای مقاطع اعضای تحت فشار محوری

اجزای با یک لبه‌ی متکی	λ_r	b
ساق نیمرخ سپری نورد شده	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• ارتفاع کل جان مقطع سپری
بال نیمرخ‌های نورد شده شامل نیمرخ‌های I, T و ناودانی و بال برجسته‌ی دو نیمرخ نبشی که بصورت پشت به پشت و پیوسته متصل شده‌اند.	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• نصف عرض بال • کل عرض بال ناودانی
بال نیمرخ ساخته شده از ورق	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	• نصف عرض بال
بال برجسته‌ی نبشی تک	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• عرض قسمت برجسته
اجزای با دو لبه‌ی متکی	λ_r	b
ورق‌های پوششی سوراخدار	$1.86 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• خالص فاصله‌ی بین دو خط جوش یا اتصال پیچی
جان نیمرخ I و ناودانی نورد شده.	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• فاصله خالص بین آغاز گردی محل اتصال یا جوش
جان نیمرخ I و ناودانی ساخته شده‌ی غیر جوش.	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• فاصله خالص بین دو خط جوش یا پیچ • فاصله خالص بین دو آغاز گردی طرفین ورق در نیمرخ‌های توخالی نورد شده
جداره‌های نیمرخ‌های قوطی توخالی سرد تا شده	$1.28 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• فاصله بین آغاز گردی گوشه
سایر ورق‌ها متکی در دو لبه‌ی کناری	$1.09 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• فاصله‌ی خالص بین دو تکیه‌گاه
سایر اجزا	λ_r	b
مقاطع توخالی دایره	$0.11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	• قطر خارجی مقطع لوله
$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{D}{t_w}}}$ (۱۸-۳-۷)		
$0.35 \leq k_c \leq 0.76$ (۱۹-۳-۷)		
$k_c =$ ضریب کماتش موضعی بال فشاری • برای بال نیمرخ‌های ورق‌های I جوش و غیرجوشی		
و		
که در آن: $D =$ ارتفاع جان $t_w =$ ضخامت جان		

۷-۳-۳-۷- اعضای فشاری دارای اجزای لاغر

این بخش به طراحی اعضای منشوری با مقطع دارای اجزای لاغر می‌پردازد که تحت اثر نیروی محوری فشاری قرار دارند. مقاومت فشاری اسمی (P_n)، این نوع اعضا براساس حالت‌های حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی در اندرکنش با کمانش موضعی باید با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین شود:

$$P_n = F_{cr} A_{ec} \quad (۲۰-۳-۷)$$

A_{ec} = مجموع سطح مقطع موثر اجزای عضو در فشار که با توجه به بعد موثر کاهش یافته b_e ، یا d_e و یا h_e جزء با استفاده از روابط ۲۱-۳-۷ و ۲۲-۳-۷ محاسبه می‌شود یا مستقیماً براساس روابط ۲۴-۳-۷ و ۲۵-۳-۷ به دست می‌آید. F_{cr} = تنش بحرانی که براساس حالت‌های کمانش از روابط بخش‌های ۳-۳-۷ و ۴-۳-۳-۷ به دست می‌آید. در مورد مقاطع نبشی تک فقط باید از ضوابط بخش ۵-۳-۳-۷ برای محاسبه‌ی این تنش استفاده شود.

۷-۳-۳-۸- اعضای دارای اجزای لاغر به استثنای مقاطع توخالی دایره‌ای

پهنای موثر کاهش‌یافته (b_e) در اجزای این مقاطع از روابط زیر محاسبه می‌شود. این روابط برای محاسبه‌ی ارتفاع موثر جان اجزای لاغر (h_e)، یا عمق موثر تیغه‌ی مقاطع سپری (d_e) نیز قابل استفاده هستند.

$$\text{الف) اگر } \lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \text{ باشد:}$$

$$b_e = b \quad (۲۱-۳-۷)$$

$$\text{ب) اگر } \lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \text{ باشد:}$$

$$b_e = b \left(1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{e\ell}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{e\ell}}{F_{cr}}} \quad (۲۲-۳-۷)$$

در روابط فوق:

b = پهنای جزء (در محاسبه‌ی h_e یا d_e از پارامترهای h یا d که به ترتیب ارتفاع جان یا عمق تیغه هستند، استفاده شود)

c_1 = ضرایب تاثیر نقص اولیه که از جدول ۳-۷ به دست می‌آید.

λ = نسبت پهنای به ضخامت جزء

λ_r = حداکثر نسبت پهنای به ضخامت جزء

$F_{e\ell}$ = تنش کمانش الاستیک موضعی که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{e\ell} = \left(c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y \quad (۲۳-۳-۷)$$

c_2 = ضرایب تاثیر نقص اولیه که از جدول ۳-۷ به دست می‌آید.

جدول ۷-۳- ضرایب تاثیر نقص اولیه در محاسبه‌ی بعد موثر کاهش یافته

حالت	جزء لاغر	c ₁	c ₂
۱	• اجزای با دو لبه مقید مقطع به استثنای بال‌های مقاطع توخالی مربعی یا مستطیل شکل	0.18	1.31
۲	• بال‌های مقاطع توخالی مربعی یا مستطیل شکل	0.20	1.38
۳	• سایر اجزا	0.22	1.49

۷-۳-۳-۹- مقاطع توخالی دایره‌ای لاغر

در این مقاطع، سطح مقطع موثر (A_{ec}) از روابط زیر محاسبه می‌شود:

الف) اگر $\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y}$ باشد:

$$A_{ec} = A_g \quad (۷-۳-۲۴)$$

ب) اگر $0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 0.45 \frac{E}{F_y}$ باشد:

$$A_{ec} = \left[\frac{0.038E}{F_y \left(\frac{D}{t} \right)} + \frac{2}{3} \right] A_g \quad (۷-۳-۲۵)$$

در روابط فوق:

D = قطر خارجی مقطع توخالی دایره‌ای

t = ضخامت دیواره‌ی مقطع توخالی دایره‌ای

A_g = سطح مقطع کلی عضو

۷-۳-۴- اعضای فشاری مختلط (فولاد + بتن)*

۷-۳-۴-۱- محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط

مشخصات مصالح بتنی، میلگرد و بخش فولادی اعضای با مقطع مختلط باید دارای شرایط زیر باشند:

۱- برای محاسبه‌ی مقاومت موجود اعضای با مقطع مختلط، تنش فشاری مشخصه‌ی نمونه‌ی استوانه‌ای بتن (f'_c)

برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی نباید از 20MPa کمتر و از 70MPa بیشتر و برای بتن‌های با وزن

مخصوص سبک نباید از 20MPa کمتر و از 40MPa بیشتر باشد. مصالح بتنی با مقاومت بیشتر را می‌توان برای

*- به علت کامل نبودن آیین‌نامه آشتو، این قسمت از مبحث دهم اقتباس شده است.

استفاده‌ی آن‌ها در سختی اعضا به کار برد، لیکن در محاسبه‌ی مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط نمی‌توان به آن تکیه کرد، مگر آنکه استفاده از آن‌ها توسط آزمایش یا تحلیل توجیه داشته باشد.

۲- در محاسبه‌ی مقاومت موجود اعضای با مقطع مختلط، تنش تسلیم مشخصه‌ی بخش فولادی و میلگردها به ترتیب نباید بیشتر از 460 و 550 مگاپاسکال در نظر گرفته شوند.

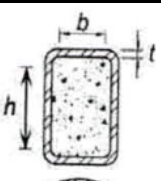
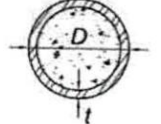
۷-۳-۴-۲- طبقه‌بندی مقاطع مختلط پرشده با بتن از منظر کمانش موضعی

برای نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی در اعضای با مقاطع مختلط پرشده با بتن، مقاطع فولادی به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- مقاطع با اجزای فشرده
- مقاطع با اجزای غیرفشرده
- مقاطع با اجزای لاغر

برای نیروی محوری فشاری، مقاطع با اجزای فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آن‌ها نسبت پهنا به ضخامت کلیه‌ی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی مقطع فولادی از λ_p مشخص شده در جدول ۷-۴ بیشتر نباشد. مقاطع با اجزای غیرفشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آن‌ها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء مقطع فولادی از λ_p مشخص شده در جدول ۷-۴ بیشتر بوده اما از λ_r مشخص شده در جدول ۷-۴ کوچک‌تر باشد. مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آن‌ها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای مقطع فولادی از λ_r مشخص شده در جدول ۷-۴ بزرگ‌تر باشد؛ اما نسبت پهنا به ضخامت هیچ یک از آن‌ها از حداکثر نسبت پهنا به ضخامت مجاز مشخص شده در جدول ۷-۴ بزرگ‌تر نباشد.

جدول ۷-۴- نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فولادی مقطع مختلط پرشده با بتن در اعضای تحت اثر نیروی محوری فشاری

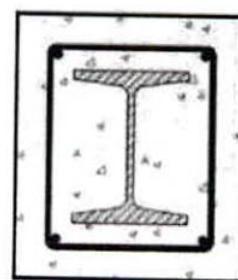
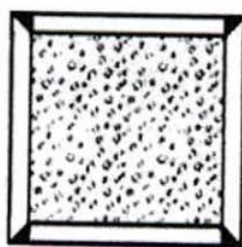
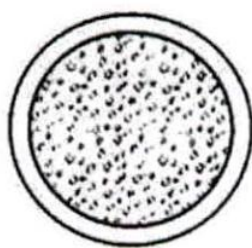
حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_p (غیرفشرده/فشرده) λ_r (لاغر/غیرفشرده)	حداکثر نسبت مجاز	مقاطع فولادی نمونه
۱	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t و h/t	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $3 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	مقاطع دایره‌ای شکل	D/t	$0.15 \frac{E}{F_y}$ $0.19 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

۷-۳-۴-۳- طبقه‌بندی اعضای محوری با مقطع مختلط

اعضای محوری با مقطع مختلط به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) اعضای محوری با مقطع مختلط با روکش بتنی و هسته‌ی فولادی.

ب) اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن.



(پ) عضو محوری مختلط با مقطع دایره‌ای

پر شده با بتن

(ب) عضو محوری مختلط جعبه‌ای

پر شده با بتن

(الف) عضو محوری مختلط محاط در بتن

(روکش بتنی و هسته‌ی فولادی)

شکل ۷-۳-۳- اعضای محوری با مقطع مختلط

۷-۴-۴-۳- اعضای محوری با مقطع مختلط با روکش بتنی و هسته‌ی فولادی (شکل ۷-۳-۳- الف)

الف) محدودیت‌ها

۱- سطح مقطع هسته‌ی فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کلی مقطع مختلط باشد.

۲- پوشش بتنی هسته‌ی فولادی باید به کمک میلگردهای طولی و تنگ‌های عرضی یا مارپیچ مسلح شوند. حداقل

قطر تنگ‌های عرضی ۱۰ میلی‌متر است. چنانچه از تنگ عرضی با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شود، حداکثر

فاصله‌ی مرکز تا مرکز تنگ‌ها در راستای طولی عضو محوری ۳۰۰ میلی‌متر و چنانچه از تنگ‌های عرضی با قطر

۱۲ میلی‌متر یا بیشتر استفاده شود، حداکثر فاصله‌ی مرکز تا مرکز تنگ‌ها ۴۰۰ میلی‌متر است. در هر حال

حداکثر فاصله‌ی تنگ‌های عرضی در راستای طولی نباید از نصف بعد کوچک‌تر مقطع مختلط بیشتر باشد.

۳- نسبت مساحت میلگردهای طولی به مساحت کل مقطع مختلط ρ_s باید حداقل ۰.۰۰۴ باشد.

$$\rho_s = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0.004$$

که در آن:

A_g = سطح مقطع کل مقطع مختلط

A_{sr} = مجموع سطح مقطع آرماتورهای طولی

ب) مقاومت فشاری موجود

برای مقاطع مختلط با روکش بتنی و هسته‌ی فولادی و دارای دو محور تقارن، مقاومت فشاری موجود در روش LRFD برابر $\phi_c P_n$ که در آن P_n مقاومت فشاری اسمی مقطع بوده و باید براساس حالت حدی کمانش خمشی با توجه به لاغری عضو به شرح زیر تعیین شود:

$$\phi_c = 0.75$$

$$(۱) \text{ برای } \beta = \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} (0.658^\beta)$$

(الف-۲۶-۳-۷)

$$(۲) \text{ برای } \beta = \frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$$

$$P_n = 0.877 P_e$$

(ب-۲۶-۳-۷)

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c$$

(۲۷-۳-۷)

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2}$$

(۲۸-۳-۷)

که در آن:

$$A_c = \text{سطح مقطع بخش بتنی}$$

$$A_s = \text{سطح مقطع بخش فولادی}$$

$$E_c = \text{مدول الاستیسیته‌ی بتن.}$$

$$(EI)_{eff} = \text{صلبیت خمشی موثر مقطع مختلط مطابق رابطه‌ی زیر:}$$

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

(۲۹-۳-۷)

که در آن C_1 ضریبی است که برای تعیین سختی موثر عضو فشاری با مقطع مختلط محاط در بتن از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$C_1 = 0.25 + 3 \left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right] \leq 0.7$$

(۳۰-۳-۷)

$$E_s = \text{مدول الاستیسیته‌ی فولادی}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد}$$

$$F_{ysr} = \text{تنش تسلیم مشخصه‌ی میلگردهای فولادی}$$

$$I_c = \text{ممان اینرسی بخش بتنی نسبت به محور خنثای الاستیک مقطع مختلط}$$

$$I_{sr} = \text{ممان اینرسی میلگردها نسبت به محور خنثای الاستیک مقطع مختلط}$$

K = ضریب طول موثر عضو محوری فشاری مختلط

L = طول مهار نشدهی عضو محوری فشاری مختلط

$$KL = L_e$$

تبصره: مقاومت فشاری موجود اعضای مختلط محاط در بتن لزومی ندارد کمتر از مقاومت فشاری مقطع فولادی تنها در نظر گرفته شود.

پ) جزئیات بندی اعضای محوری با مقطع مختلط با روکش بتنی و هسته ی فولادی

۱- الزامات مربوط به پوشش بتن روی میلگردها، وصله ی میلگردها، فواصل میلگردها از یکدیگر و خم میلگردها باید با توجه به الزامات آیین نامه آبا تعیین گردد.

۲- فاصله ی آزاد بین میلگردها و مقطع فولادی باید از 1.5 برابر قطر میلگرد طولی و 40 میلی متر بزرگ تر باشد.

۳- به طور کلی در اعضای فشاری با مقطع مختلط با روکش بتنی در بتن لزومی به در نظر گرفتن الزامات کمانش موضعی برای اجزای فولادی نیست، لیکن در صورتی که مقطع فولادی از دو یا تعداد بیشتری مقطع فولادی تشکیل شده باشد، مقاطع فولادی باید توسط بست که می تواند از تسمه، نبشی، ناودانی یا مقاطع دیگر باشد، به یکدیگر متصل شوند تا از کمانش هر یک از مقاطع فولادی به تنهایی در اثر بارهای وارد بر آنها قبل از سفت شدن بتن جلوگیری به عمل آید.

۷-۳-۴-۵- اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن

الف) محدودیت ها

اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن باید محدودیت های زیر را برآورده نمایند:

- ۱- مساحت بخش فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کل مقطع مختلط باشد.
- ۲- نسبت پهنا به ضخامت در اجزای مقطع فولادی باید مطابق با جدول ۷-۴ تعیین شود.
- ۳- در اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن، لزومی به تامین حداقل میلگرد طولی نبوده و در صورت استفاده از میلگردهای طولی نیازی به تنگ های عرضی برای تامین مقاومت نیست.

ب) مقاومت فشاری موجود

مقاومت فشاری موجود اعضای فشاری با مقطع مختلط پر شده با بتن دارای دو محور تقارن باید براساس الزامات بند

۷-۳-۴-۴-ب و با اصلاحات زیر تعیین شود:

۱- برای مقاطع با اجزای فشرده:

$$P_{no} = P_p$$

$$(۷-۳-۳۱)$$

که در آن:

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (۳۲-۳-۷)$$

$C_2 = 0.85$ برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای و 0.95 برای مقاطع دایره‌ای شکل توخالی

۲- برای مقاطع با اجزای غیرفشرده:

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (P_p - P_y) \quad (۳۳-۳-۷)$$

که در آن:

P_p = مطابق رابطه‌ی ۳۲-۳-۷

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f'_c \left[A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right] \quad (۳۴-۳-۷)$$

λ = نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع فولادی

λ_p = حد لاغری برای اجزای فشرده مطابق جدول ۴-۷

λ_r = حد لاغری برای اجزای غیرفشرده مطابق جدول ۴-۷

۳- برای مقطع با اجزای لاغر:

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f'_c \left[A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right] \quad (۳۵-۳-۷)$$

که در آن:

$$F_{cr} = \begin{cases} \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} & \text{برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای} \\ \frac{0.72F_y}{\left[\left(\frac{b}{t}\right)\frac{F_y}{E_s}\right]^{0.2}} & \text{برای مقاطع دایره‌ای شکل} \end{cases} \quad (۳۶-۳-۷)$$

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_s I_c \quad (۳۷-۳-۷)$$

که در آن، C_3 ضریبی است که مقدار آن برای تعیین سختی موثر عضو فشاری با مقطع مختلط پرشده با بتن از رابطه‌ی

زیر تعیین می‌شود:

$$C_3 = 0.45 + 3 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \leq 0.9 \quad (۳۸-۳-۷)$$

تبصره: مقاومت فشاری موجود اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن لزومی ندارد کمتر از مقاومت فشاری مقطع فولادی

تنها در نظر گرفته شود.

پیوست فصل هفتم

مثال ۷-۱

مطلوبست تعیین مقاومت طراحی ستونی از نیمرخ بال پهن به طول ۶ متر با دو انتهای مفصلی. $F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ می باشد و مشخصات نیمرخ بال پهن به قرار زیر است:

$$A = 141 \text{ cm}^2 \quad r_x = 15.34 \text{ cm} \quad r_y = 6.3 \text{ cm} \quad b_f/t_f = 6.41 \quad h/t_w = 25.4$$

حل:

کنترل لاغری موضعی

$$\text{بال: } \frac{b_f}{2t_f} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_f = 6.41 \quad 6.41 \leq 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 13.7 \text{ OK}$$

$$\text{جان: } \frac{h}{t_w} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_w = 25.4 \quad 25.4 \leq 1.49 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 36.3 \text{ OK}$$

محاسبه ظرفیت کمانش خمشی

ضریب لاغری

$$\left(\frac{KL}{r} \right)_x = \frac{1 \times 600}{15.34} = 39.1 < 120$$

$$\left(\frac{KL}{r} \right)_y = \frac{1 \times 600}{6.3} = 95.2 < 120 \quad (\text{حاکم است})$$

$$\lambda = \frac{KL}{r} = 95.2 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 115.4$$

پس کمانش غیرارتجاعی حاکم است.

$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{KL}{r\pi} \right)_y^2 \frac{F_y}{E} = \left(\frac{95.2}{\pi} \right)^2 \left(\frac{3500}{2.1 \times 10^6} \right) = 1.53 < 2.25$$

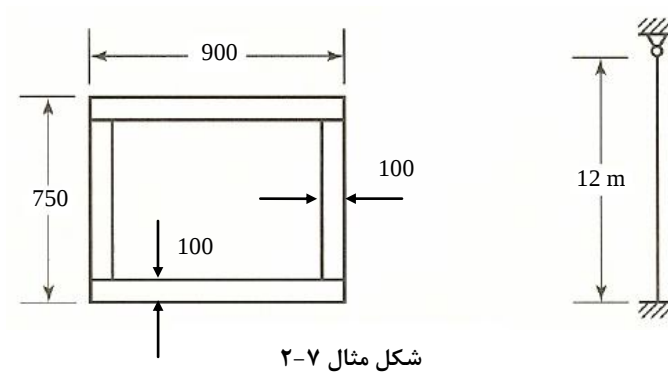
$$P_n = F_{cr} A_s = 0.66^\beta F_y A_s = (0.66^{(1.53)}) (3500) (141) 10^{-3} = 1853.4 \times 141 \times 10^{-3} = 261.3 \text{ ton}$$

$$\phi P_n = (0.90) (261.3) = 235.2 \text{ ton}$$

مثال ۲-۷

مطلوبست تعیین ظرفیت فشاری ستون نشان داده شده در شکل.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$



حل:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I_x = \sum \frac{bh^3}{12} + Ad^2 = 2.2 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sum \frac{hb^3}{12} + Ad^2 = 3 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$A_s = 2 \times 90 \times 10 + 2 \times 55 \times 10 = 2900 \text{ cm}^2$$

$$I_x < I_y$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2.2 \times 10^6}{2900}} = 27.54 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{90 - 2 \times 10}{10} = 7.00$$

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$7.00 \leq 1.40 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 34.3 \text{ cm}$$

خوبست

محاسبه‌ی لاغری

$$K = 0.8$$

$$L_x = L_y = 12 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{KL_x}{r_x} = \frac{0.8 \times 1200}{27.54} = 34.9 \leq 4.71 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 115.4$$

پس کمانش غیرارتجاعی حاکم است.

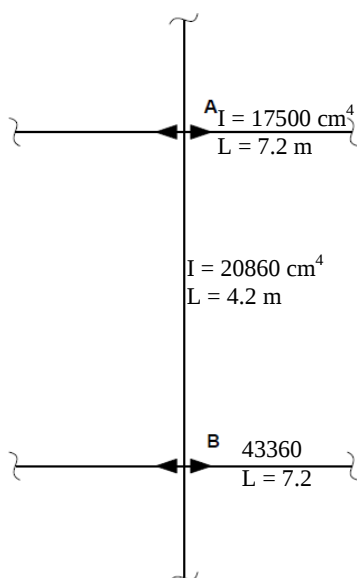
$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{KL}{r\pi} \right)_x^2 \frac{F_y}{E} = \left(\frac{34.9}{\pi} \right)^2 \frac{3500}{2.1 \times 10^6} = 0.21 < 2.25$$

$$P_n = F_{cr} A_s = 0.66^\beta F_y A_s = 0.66^{0.21} (3500)(2900) 10^{-3} = 3207.5 \times 2900 \times 10^{-3} = 9302 \text{ ton}$$

$$\phi_c P_n = (0.90)(9302) = 8372 \text{ ton}$$

مثال ۷-۳

مطلوبست تعیین ضریب طول موثر برای ستون AB با مشخصات زیر. انتقال جانبی ستون آزاد است.



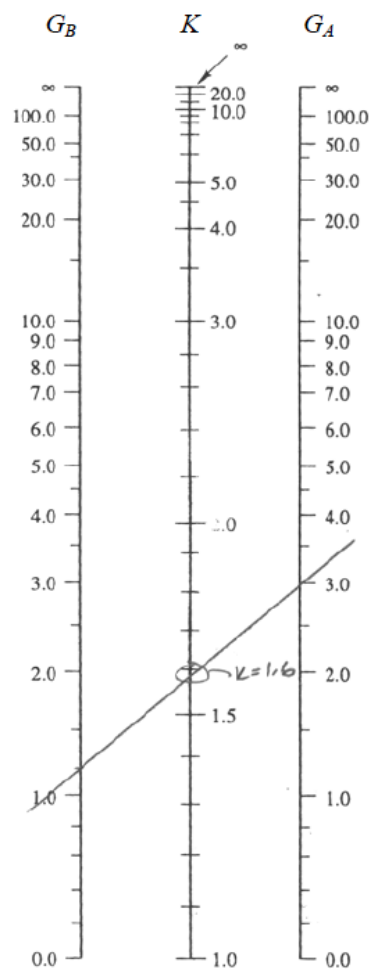
$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_C}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_G} = \frac{\left(\frac{(2)(20860)}{(420)} \right)}{\left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{(2)(17500)}{(720)} \right)} = 3.065$$

$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_C}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_G} = \frac{\left(\frac{(2)(20860)}{(420)} \right)}{\left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{(2)(43360)}{(720)} \right)} = 1.237$$

برای قاب مهار نشده

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4.0(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}}$$

$$K = \sqrt{\frac{(1.6)(3.065)(1.237) + (4.0)(3.065 + 1.237) + 7.5}{(3.065 + 1.237 + 7.5)}} = 1.615$$

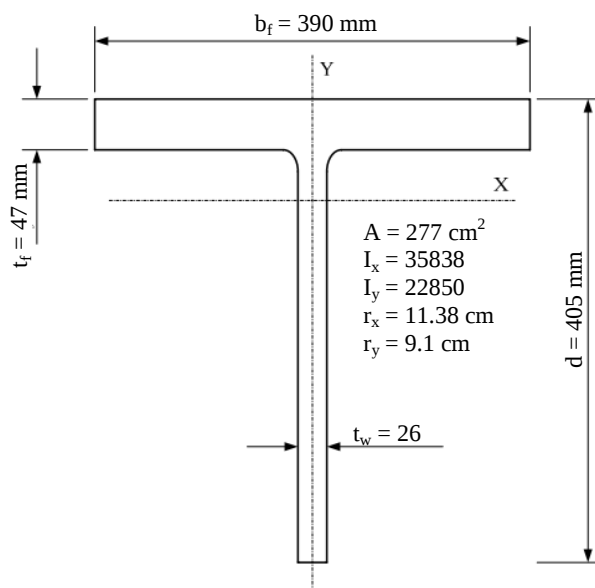


قاب مهار نشده

مثال ۵-۷

مطلوبست تعیین ظرفیت محوری ستون با طول موثر $KL = 7.2 \text{ m}$ و مقطع سیپری نشان داده شده در شکل.

$$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$$



شکل مثال ۵-۷

حل:

کنترل کمانش موضعی

بال:

$$\frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{39}{(2)(4.7)} = 4.14$$

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 13.7$$

خوبست

جان:

$$\frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = 15.7$$

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 18.4$$

کمانش خمشی حول محور x:

$$\lambda_x = \frac{720}{11.38} = 63.3 < 4.71 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 116$$

پس کمانش غیرالاستیک حاکم است:

$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{KL}{r\pi} \right)^2 \frac{F_y}{E} = \left(\frac{63.3}{\pi} \right)^2 \times \frac{3500}{2.1 \times 10^6} = 0.68$$

$$P_n = F_{cr} A_s = 0.66^{0.68} \times 3500 \times 277 \times 10^{-3} = 2638.5 \times 277 \times 10^{-3} = 731 \text{ ton}$$

کمانش خمشی - پیچشی حول محور y

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{\frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{\left(\frac{720}{9.1} \right)^2} = 3311 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2} = [0 + GJ] \frac{1}{A_g F_o^2}$$

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$x_o = 0 \quad y_o = 9.2 - \frac{4.7}{2} = 6.85 \text{ cm}$$

$$\bar{r}_o^2 = 0 + 6.85^2 + \frac{35838 + 22850}{277} = 259 \text{ cm}^2$$

$$G = E/2.6 = 0.8 \times 10^6$$

$$F_{ez} = \frac{0.8 \times 10^6 \times 1561}{277 \times 259} = 17400 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} = 1 - \frac{0 + 6.85^2}{259} = 0.82$$

$$F_e = \frac{3311 + 17400}{2 \times 0.82} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 3311 \times 17400 \times 0.82}{(3311 + 17400)^2}} \right]$$

$$F_e = 12628 \times 0.25 = 3157 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{720}{9.1} = 79.2 \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{3500}} = 116$$

$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \frac{3500}{3157} = 1.1 < 2.25$$

$$F_{cr} = 0.66^1 \times 3500 = 2310 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_n = F_{cr} A_s = 277 \times 2310 \times 10^{-3} = 640$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 640 = 576 \text{ ton} \quad (\text{حاکم است})$$

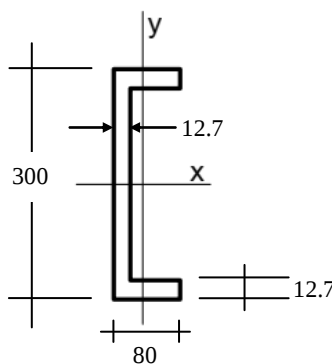
توجه: اگر با کمانش خمشی حول محور y مسئله حل می‌شد، نتیجه خیلی فرق نمی‌کرد.

مثال ۶-۷

مطلوبست تعیین ظرفیت فشاری ستون با مقطع ناودانی نشان داده شده در شکل.

$$F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$KL_y = 2.1 \text{ m}, \quad KL_x = KL_z = 4.2 \text{ m}$$



شکل مثال ۶-۷

حل:

کنترل لاغری موضعی

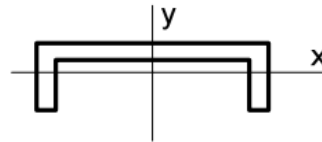
$$\text{بال: } \frac{b}{t} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{80}{12.7} = 6.3 \quad \frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2500}} = 16.2 \quad \text{OK}$$

$$\text{جان: } \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2t_f}{t_w} = \frac{300 - 2 \times 12.7}{12.7} = 21.56$$

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2500}} = 43.2 \quad \text{OK}$$

محاسبه‌ی ظرفیت

مقطع را طوری قرار می‌دهیم که محور y محور تقارن باشد تا با روابط کمانش منطبق گردد.



$$KL_x = 2.1\text{m} , \quad KL_y = KL_z = 4.2\text{m}$$

$$r_x = 1.94\text{cm} \quad I_x = 214\text{cm}^4$$

$$r_y = 10.9\text{cm} \quad I_y = 6753$$

$$A_g = 56.84\text{cm}^2 \quad J = 35.84\text{cm}^4$$

$$C_w = 40549\text{cm}^6$$

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} = 132.94 \Rightarrow \bar{r}_o = 11.53$$

$$x_o = 0 , \quad y_o = 3.22\text{cm} \quad (\text{مرکز برش})$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} = 1 - \frac{3.22^2 + 0}{132.94} = 0.92$$

محاسبه‌ی ظرفیت کمانش خمشی حول محور x :

$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \left(\frac{KL}{r\pi} \right)_x^2 \frac{F_y}{E} = \left(\frac{210}{(1.94)(\pi)} \right)^2 \left(\frac{2500}{2.1 \times 10^6} \right) = 1.41$$

$$P_n = (0.66^{(1.41)})(2500)(56.84)10^{-3} = 79\text{ ton}$$

محاسبه‌ی F_e برای کمانش خمشی - پیچشی حول محور y

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right)$$

$$F_{ey} = \frac{(\pi^2)(2.1 \times 10^6)}{\left(\frac{420}{10.9} \right)^2} = 13960\text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{(\pi^2)(2.1 \times 10^6)(40549)}{420^2} + (0.8 \times 10^6)(35.84) \right] \frac{1}{(56.84)(11.53)^2}$$

$$F_{ez} = 4425 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = \left(\frac{(13960) + (4425)}{(2)(0.92)} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(4)(13960)(4425)(0.92)}{(13960 + 4425)^2}} \right)$$

$$F_e = 4274.11 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = \frac{F_y}{F_e} = \frac{2500}{4274} = 0.58$$

$$P_n = (0.66^{(0.58)})(2500)(56.84)10^{-3} = 111 \text{ ton}$$

کمانش خمشی حول محور x حاکم است:

$$\phi P_n = 0.9 \times 79 = 71.1 \text{ ton}$$

فصل ۸

ترکیب تنش‌ها

۸-۱- قسمت اول - روش تنش مجاز

۸-۱-۱- ترکیب نیروی فشاری محوری و لنگر خمشی

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

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

$$\frac{f_a}{0.472 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (\text{در دو انتهای عضو}) \quad (۸-۱-۲)$$

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 کمانش که برضریب اطمینان تقسیم شده است.

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{2.12 \left(\frac{K_b L_b}{r_b} \right)^2} = \frac{95 \times 10^5}{\lambda_b^2} \quad (۸-۱-۳)$$

L_b = طول آزاد در صفحه خمش

r_b = شعاع ژیراسیون نظیر

K_b = ضریب طول موثر در صفحه خمش

$\lambda_b = k_b L_b / r_b$ لاغری حول محور خمش

f_a = تنش فشاری موجود

f_{bx} = تنش فشاری ناشی از خمش در حول محور x

f_{by} = تنش فشاری ناشی از خمش در حول محور y

C_m = مطابق جدول ۸-۱

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

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

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

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

۸-۱-۲- ترکیب کشش محوری و لنگر 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:

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (۸-۱-۴)$$

که در آن:

f_b = تنش کششی محاسباتی حاصل از لنگر خمشی

f_t = تنش کششی محاسباتی حاصل از کشش محوری

F_b = تنش خمشی مجاز

F_t = 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.

۸-۱-۳- ترکیب تنش‌های صفحه‌ای (تنش تخت)

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

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (۵-۱-۸)$$

σ_h = تنش مقایسه‌ای

σ_x = تنش قائم در امتداد x

σ_y = تنش قائم در امتداد y

τ_{xy} = تنش برشی

علامت σ_x ، σ_y در صورتی که کششی باشند، مثبت و در صورتی که فشاری باشند، منفی در نظر گرفته می‌شود. برحسب مورد، تنش مقایسه‌ای σ_h باید کوچکتر از تنش مجاز مربوطه باشد.

۸-۲- قسمت دوم- روش LRFD

۸-۲-۱- ترکیب نیروی فشاری محوری و لنگر خمشی

ترکیب نیروی محوری فشاری P_u و لنگرهای خمشی M_{ux} و M_{uy} که از تحلیل الاستیک سازه تحت بارهای ضریب‌دار بدست آمده‌اند، باید روابط اندرکنشی زیر را برآورده نمایند.

(الف) مقاطع فشرده طبق تعاریف فصل چهارم

$$\bullet \quad \frac{P_u}{P_r} < 0.2$$

$$\frac{P_u}{2.0P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (۱-۲-۸)$$

$$\bullet \quad \frac{P_u}{P_r} \geq 0.2$$

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8.0}{9.0} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (۲-۲-۸)$$

(ب) همه نوع مقطع

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \leq 1.0 \quad (۳-۲-۸)$$

که در آن:

P_r = مقاومت فشاری ضریب‌دار مقطع مساوی ϕ_a برابر مقاومت اسمی طبق روابط فصل ۷.

M_{rx} = مقاومت خمشی ضریب‌دار مقطع حول محور x مساوی ϕ_f برابر مقاومت اسمی طبق روابط فصل‌های ۴ تا ۶.

M_{ry} = مقاومت خمشی ضریب‌دار مقطع حول محور y مساوی ϕ_f برابر مقاومت اسمی طبق روابط فصل‌های ۴ تا ۶.

P_u = نیروی محوری ضریب‌دار مقطع

M_{ux} = لنگر خمشی ضریب‌دار تشدید یافته‌ی مقطع حول محور x .

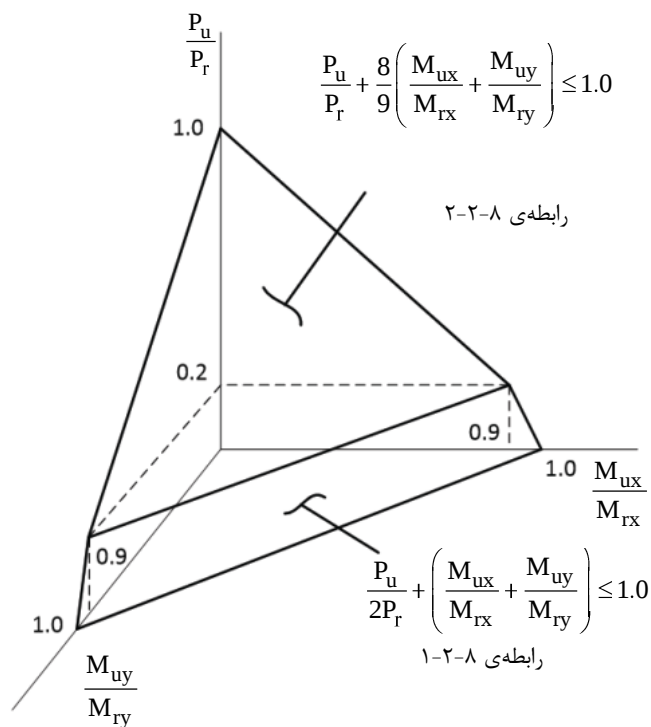
M_{uy} = لنگر خمشی ضریب‌دار تشدید یافته‌ی مقطع حول محور y .

M_{ux} و M_{uy} را می‌توان با یکی از تحلیل‌های زیر تعیین نمود:

• تحلیل مرتبه‌ی دوم که قادر به اعمال تشدید لنگر ناشی از نیروی محوری P_u باشد.

• تحلیل الاستیک مرتبه‌ی اول با اعمال جداگانه ضریب تشدید لنگر.

نمودار روابط اندرکنشی مطابق شکل زیر می‌باشد:



شکل ۸-۲-۱- سطوح گسیختگی روابط اندرکنشی ۸-۲-۱ تا ۸-۲-۳

مقادیر M_{rx} و M_{ry} به صورت زیر حاصل می‌شوند:

$$M_{rx} = \min \phi_f F_{nc} S_{xc}, \phi_f F_{nt} S_{xt}$$

که در آن:

$$F_{yc} = \text{تنش تسلیم حداقل مقرر بال فشاری}$$

$$F_{yt} = \text{تنش تسلیم حداقل مقرر بال کششی}$$

$$F_{nc} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال فشاری}$$

$$F_{nt} = \text{مقاومت خمشی اسمی بال کششی}$$

$$M_{yc} = \text{لنگر تسلیم نسبت به بال فشاری}$$

$$M_{yt} = \text{لنگر تسلیم نسبت به بال کششی}$$

$$S_{xc} = \text{اساس مقطع الاستیک حول محور قوی نسبت به بال فشاری}$$

$$M_{yc} = S_{xc} F_{yc}$$

S_{xt} = اساس مقطع الاستیک حول محور قوی نسبت به بال کششی

$$M_{yt} = S_{xt} F_{yt}$$

ϕ_f = ضریب کاهش مقاومت خمشی مساوی 1.0

در صورت استفاده از مقادیر کلی ظرفیت‌های خمشی اسمی، مقادیر M_{rx} بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$M_{rx} = \min \phi_f M_{nc}, \phi_f M_{nt}$$

M_{nc} = مقاومت خمشی اسمی بر پایه‌ی بال فشاری

M_{nt} = مقاومت خمشی اسمی بر پایه‌ی بال کششی

لاغری حداکثر اعضای فشاری $Kl/r \leq 120$ برای اعضای فشاری درجه اول و $Kl/r \leq 140$ برای اعضای فشاری درجه دوم می‌باشد. K ضریب طول موثر، ℓ طول عضو و r شعاع ژیراسیون حداقل مقطع است.

۸-۲-۲- ترکیب کشش محوری و لنگر خمشی

ترکیب کشش محوری ضریب‌دار P_u و لنگرهای خمشی ضریب‌دار M_{ux} و M_{uy} که از تحلیل الاستیک سازه تحت بارهای ضریب‌دار به دست آمده‌اند، باید روابط زیر را برآورده نمایند:

(الف) برای تمام مقاطع

- $\frac{P_u}{P_{ry}} < 0.2$

$$\frac{P_u}{2P_{ry}} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (۴-۲-۸)$$

- $\frac{P_u}{P_{ry}} \geq 0.2$

$$\frac{P_u}{P_{ry}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad (۵-۲-۸)$$

برای مقاطع غیرفشرده I و جعبه‌ای طبق تعاریف فصول ۴ تا ۶ می‌توان از روابط زیر نیز استفاده نمود:

$$\frac{P_u}{P_{ry}} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rxpe}} + \frac{M_{uy}}{M_{rype}} \right) \leq 1.0 \quad (۶-۲-۸)$$

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{rxc}} + \frac{M_{uy}}{M_{ryc}} \right) \leq 1.0 \quad (۷-۲-۸)$$

در روابط فوق:

$$P_{ry} = \text{مقاومت کششی ضریب‌دار برپایه تنش تسلیم مساوی } \phi_a \text{ برابر مقاومت اسمی طبق روابط فصل ۳.}$$

$$P_u = \text{نیروی کششی ضریب‌دار مقطع}$$

$$M_{rx} = \text{مقاومت خمشی ضریب‌دار حول محور } x \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر مقاومت خمشی اسمی حول محور } x \text{ به جز گسیختگی بال کششی.}$$

$$M_{rxc} = \text{مقاومت خمشی ضریب‌دار حول محور } x \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر مقاومت خمشی اسمی حول محور } x \text{ با توجه به کمانش فشاری مطابق فصل ۴ تا ۶.}$$

$$M_{rxpe} = \text{برای مقطع } I \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر لنگر خمیری (پلاستیک) حول محور } x, \text{ برای مقطع جعبه‌ای غیرمختلط, } \phi_f \text{ برابر لنگر پلاستیک موثر حول محور } x \text{ برپایه‌ی مقطع موثر بال فشاری مطابق فصل ۶ با صرف‌نظر از سخت‌کننده‌های طولی جان.}$$

$$M_{ry} = \text{مقاومت خمشی ضریب‌دار حول محور } y \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر مقاومت خمشی اسمی حول محور } y \text{ به جز گسیختگی بال کششی.}$$

$$M_{ryc} = \text{مقاومت خمشی ضریب‌دار حول محور } y \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر مقاومت خمشی اسمی حول محور } y \text{ با توجه به کمانش بال فشاری طبق فصل‌های ۴ تا ۶}$$

$$I \text{ برای مقطع } : M_{ryc} = M_{ryt} = M_{ry} \quad (۸-۲-۸)$$

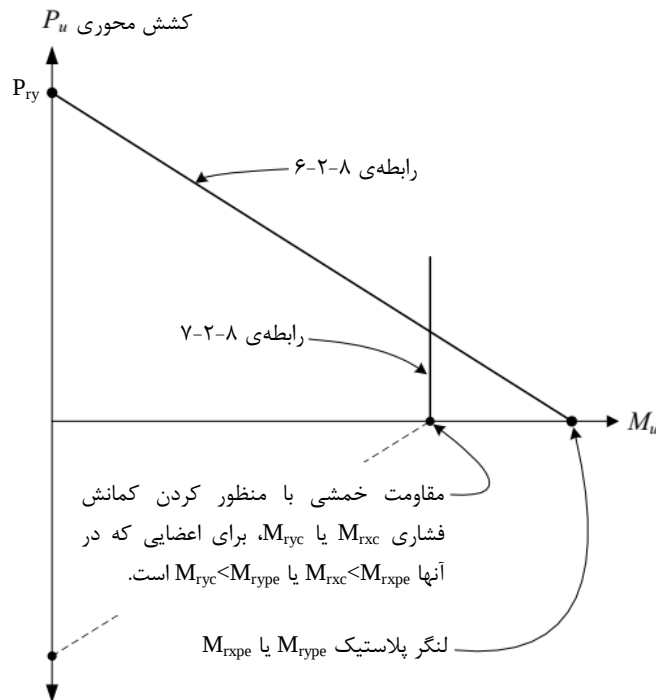
$$M_{rype} = \text{برای مقاطع } I \text{ مساوی } \phi_f \text{ برابر لنگر پلاستیک حول محور } y. \text{ برای مقطع جعبه‌ای غیرمختلط مساوی } \phi_f \text{ برابر لنگر پلاستیک موثر حول محور } y \text{ برپایه‌ی مساحت بال فشاری موثر طبق فصل ۴ تا ۶ با صرف‌نظر از سخت‌کننده‌های طولی جان.}$$

$$M_{ux} \text{ و } M_{uy} = \text{لنگر خمشی ضریب‌دار به علت بارهای ضریب‌دار به ترتیب حول محور } x \text{ و } y.$$

$$\phi_f = \text{ضریب کاهش مقاومت مساوی واحد.}$$

نسبت لاغری اعضای کششی برای اعضای اصلی تحت تنش‌های معکوس $\ell/r \leq 140$ ، و برای اعضای اصلی که تحت تنش‌های معکوس نیستند $\ell/r \leq 200$ و برای اعضای کششی غیراصلی $\ell/r \leq 240$ می‌باشد که در آن ℓ طول عضو و r شعاع ژیراسیون حداقل می‌باشد.

نمودار رابط‌های اندرکنشی مطابق شکل زیر است:



شکل ۸-۲-۲- سطوح گسیختگی روابط اندرکنشی ۸-۲-۶ و ۸-۲-۷

توجه: سطوح گسیختگی روابط اندرکنشی ۸-۲-۴ و ۸-۲-۵ مطابق شکل ۸-۲-۱ می‌باشند، با این تفاوت که P_{ry} جایگزین P_r می‌شود.

۸-۲-۳- اندرکنش بین برشی خمشی و برشی پیچشی

برای نیمرخ‌های جعبه‌ای (مربع یا مستطیل) غیرمختلط و یا نیمرخ‌های دایره‌ای توخالی لازمست الزامات زیر منظور شود: در صورتی که نسبت $f_{ve}/\phi_T F_{cv} > 0.2$ باشد، لازمست اثر تنش برشی ضریبدار پیچشی به نحوی که در زیر مقرر خواهد شد، در روابط اندرکنشی منظور گردد. در رابطه‌ی فوق:

$$f_{ve} = \text{تنش برشی ضریبدار ناشی از پیچش}$$

$$F_{cv} = \text{تنش مقاوم برشی}$$

$$\phi_T = \text{ضریب کاهش مقاومت}$$

به علاوه وقتی که $P_u/P_r > 0.05$ باشد، لازمست اثر تنش برشی در روابط اندرکنشی منظور گردد.

$$P_u = \text{نیروی محوری ضریبدار}$$

$$P_r = \text{مقاومت محوری ضریبدار}$$

در صورتیکه تنش برشی ناشی از خمش و تنش برشی ناشی از پیچش همزمان وجود داشته باشد، لازمست اثر آنها در اضلاعی از مقطع که هم‌جهت هستند، با هم جمع شوند.

در صورت وجود شروط فوق، لازمست روابط اندرکنشی به شرح زیر اصلاح شوند:

- P_r باید در Δ ضرب شود.

- M_{rx} باید در Δ_x ضرب شود.

- M_{ry} باید در Δ_y ضرب شود.

مقادیر Δ ، Δ_x و Δ_y به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Delta = 1 - \left(\frac{f_{ve}}{\phi_T F_{cv}} \right)^2 > 0 \quad (۹-۲-۸)$$

$$\Delta_x = 1 - \left(\frac{f_{vex}}{\phi_T F_{cvx}} \right)^2 > 0 \quad (۱۰-۲-۸)$$

$$\Delta_y = 1 - \left(\frac{f_{vey}}{\phi_T F_{cvy}} \right)^2 > 0 \quad (۱۱-۲-۸)$$

که در آن:

ϕ_T = ضریب کاهش مقاومت پیچشی

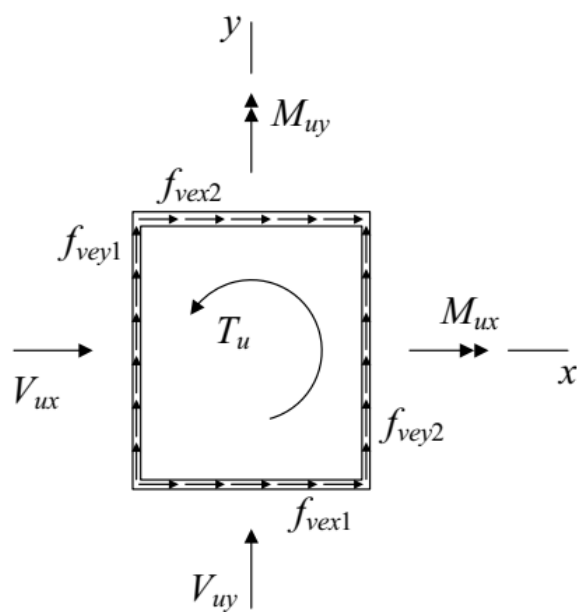
f_{ve} = تنش برشی ضریبدار کلی ناشی از پیچش و یا خمش

f_{vex} = تنش برشی ضریبدار کلی ناشی از پیچش و یا خمش در اجزای موازی محور x

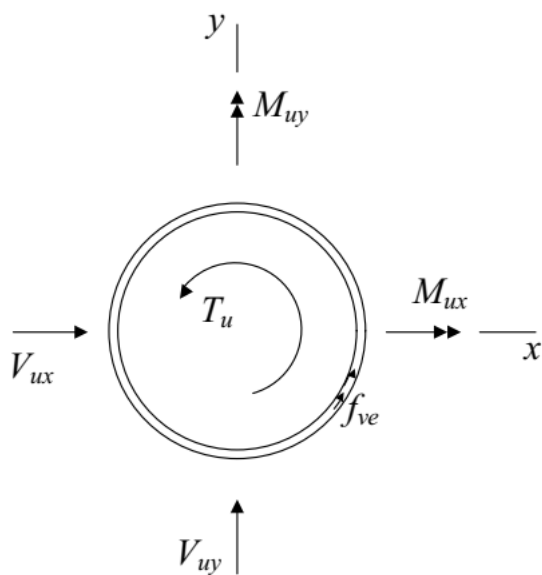
f_{vey} = تنش برشی ضریبدار کلی ناشی از پیچش و یا خمش در اجزای موازی محور y

F_{cvx}, F_{cvy} = مقاومت برشی اسمی اجزای مقطع در امتداد x و یا y

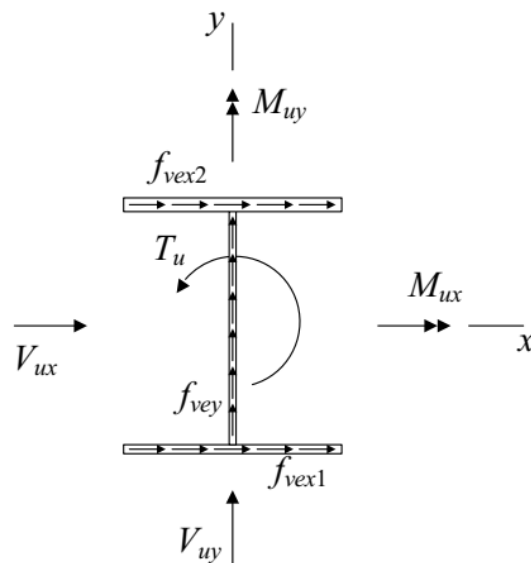
F_{cv} = تنش برشی مجاز با منظور کردن اثر کمانش برشی (فصل چهارم)



شکل ۸-۲-۳- تنش برشی در مقطع جعبه‌ای تحت ترکیب برش و خم



شکل ۸-۲-۴- تنش برشی در مقطع لوله‌ای تحت ترکیب برش و پیچش



شکل ۸-۲-۵- تنش برشی در مقطع I

برای محاسبه‌ی تنش برشی می‌توان از روابط زیر استفاده نمود:

الف - مقطع دایره‌ی توخالی غیرمختلط:

$$f_v = \frac{T_u}{2\pi r^2 t}$$

ب - مقطع جعبه‌ای مربع و یا مستطیل:

$$f_v = \frac{T_u}{2A_0 t}$$

که در روابط فوق:

A_0 = سطح محصور در میان‌تار پیرامونی مقطع جعبه‌ای

T_u = لنگر پیچشی ضریب‌دار

r = شعاع میان‌تار مقطع لوله‌ای

t = ضخامت جدار مقطع لوله‌ای یا جعبه‌ای

فصل ۹

وسایل اتصال (جوش و پیچ)

جهت اتصال قطعات مختلف سازه فولادی به یکدیگر از وسایل اتصال شامل جوش و پیچ استفاده می‌شود. این فصل به الزامات وسایل اتصال اختصاص دارد.

۹-۱- جوش

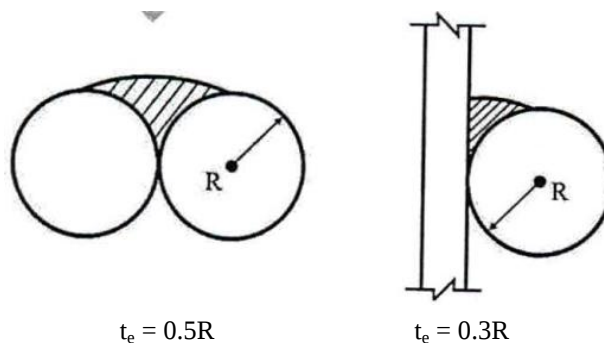
۹-۱-۱- الزامات عمومی جوش

۹-۱-۱-۱- جوش‌های شیاری

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های شیاری، (شکل ۹-۱-۱)، عبارت است از حاصل ضرب طول موثر در ضخامت موثر جوش. طول موثر جوش برابر با طول جوش شده و ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل برابر با ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر در اتصال لب‌به‌لب و ضخامت قطعه‌ی جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت موثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی (ناقص) در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد، مجاز نیست. ضخامت موثر جوش شیاری که بین دو لبه‌ی گرد (مثال شیار بین دو میلگرد) یا بین یک لبه‌ی گرد و لبه‌ی تخت (مثال میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، باید مطابق شکل ۹-۱-۲ در نظر گرفته شود.



شکل ۹-۱-۱- جوش شیاری



شکل ۹-۱-۲- ضخامت موثر جوش‌های شیاری لبه‌گرد

ب) محدودیت: ضخامت موثر در جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقدار مورد نیاز محاسباتی و همچنین مقادیر مندرج در جدول ۹-۱ کوچک‌تر باشد. حداقل ضخامت موثر با توجه به ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر تعیین می‌شود. در اتصال لب‌به‌لب قطعات، ضخامت جوش نباید از ضخامت نازک‌ترین قطعه‌ی متصل شونده بزرگ‌تر باشد.

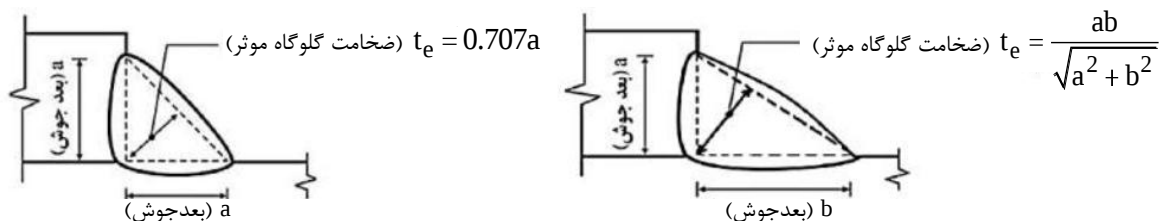
جدول ۹-۱- حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی با یک بار عبور

ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر	حداقل ضخامت موثر (با یک بار عبور)
مساوی یا کمتر از ۲۰	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

- در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تامین نمود، باید از پیش‌گرمایش یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.
- برای قطعات با ضخامت بزرگ‌تر از ۴۰ میلی‌متر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعه‌ی خاص مورد بررسی قرار گیرد.

۹-۱-۱-۲- جوش‌های گوشه

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصل ضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر در نظر گرفته می‌شود. طول موثر جوش گوشه (به جز جوش‌های گوشه‌ای که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت‌خورده (در صورتی که طول برگشت کوچک‌تر از چهار برابر بعد جوش نباشد) است. بعد جوش گوشه برابر اندازه ساق مقطع جوش است. مطابق شکل ۹-۱-۳ ضخامت گلوگاه موثر (t_e) در جوش گوشه برابر کوتاه‌ترین فاصله بین ریشه‌ی مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می‌آید.



شکل ۹-۱-۳- بعد و ضخامت گلوگاه موثر جوش‌های گوشه

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

(ب) محدودیت‌ها:

- ۱- حداقل بعد جوش‌های گوشه نباید از بعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و مقادیر نشان داده شده در جدول ۹-۲ کوچک‌تر انتخاب شود. حداقل بعد جوش با یک بار عبور تابع ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر بوده و در هر حال نباید از ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر بیشتر باشد.
- ۲- حداکثر بعد جوش‌های گوشه در لبه‌ی قطعات متصل شونده برای قطعات با ضخامت کوچک‌تر از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه و برای قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت منهای ۲ میلی‌متر است.

جدول ۹-۲- حداقل بعد جوش گوشه با یک بار عبور

ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
مساوی یا کمتر از ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر

- در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تامین نمود، باید از پیش‌گرمایش یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.
- در سازه‌های تحت بار دینامیکی با تکرار زیاد حداقل بعد جوش گوشه برابر ۶ میلی‌متر است. بارهای ناشی از باد و زلزله در ردیف بارهای دینامیکی با تکرار زیاد قرار نمی‌گیرند.

- ۳- طول موثر جوش‌های گوشه‌ی محاسباتی نباید از ۴ برابر بعد جوش کوچک‌تر باشد. به عبارت دیگر، بعد جوش نباید از یک چهارم طول آن بزرگ‌تر باشد.
- ۴- در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول موثر هر خط جوشی که به صورت طولی بارگذاری شده است، نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش تجاوز نماید. در صورت نیاز به طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد جوش، طول موثر آن باید به شرح زیر با ضریب β کاهش داده شود:

$$L_e = \beta L$$

$$0.6 \leq \beta = 1.2 - 0.002 L/a \leq 1.0 \quad (9-1-1)$$

در رابطه‌ی فوق:

$$L_e = \text{طول موثر هر خط جوش}$$

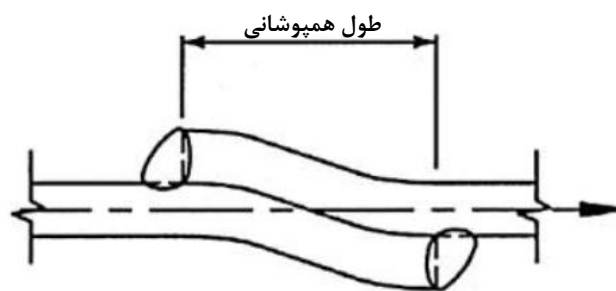
$$L = \text{طول واقعی هر خط جوشی که در قسمت انتهایی اتصال به صورت طولی بارگذاری شده است.}$$

$$a = \text{بعد جوش گوشه}$$

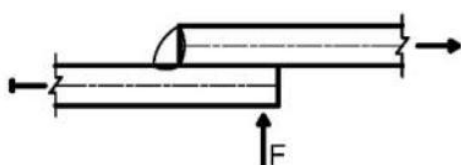
$$\beta = \text{ضریب کاهش طول واقعی هر خط جوش}$$

- ۵- استفاده از جوش‌های گوشه‌ی منقطع برای انتقال نیروها در اتصال قطعات سخت‌کننده به جان تیورق و برای اتصال اجزای اعضای ساخته شده از ورق مجاز است. طول موثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد. فاصله‌ی آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

- در قطعات رنگ‌شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند و احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلی‌متر.
 - در قطعات رنگ نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار دارند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۱۸۰ میلی‌متر.
- ۶- در اتصالات پوششی (روی‌هم) دو قطعه که تحت اثر تنش‌های محوری قرار دارند، اگر فقط از جوش گوشه‌ای عرضی استفاده شده باشد، باید انتهای هر دو قطعه به یکدیگر جوش شود و مطابق شکل ۹-۱-۴-الف طول هم‌پوشانی دو قطعه نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه‌ی نازک‌تر و ۲۵ میلی‌متر کوچک‌تر باشد.
- در وضعیتی که اتصال به اندازه کافی مقید شده باشد یا از طریق حداقل دو ردیف طولی جوش انگشتانه یا کام و یا دو یا چند خط جوش گوشه‌ی طولی از تغییر شکل ناحیه‌ی هم‌پوشانی و در نتیجه از باز شدن اتصال تحت اثر بار محوری جلوگیری شود، می‌توان مطابق شکل ۹-۱-۴-پ از جوش گوشه‌ی عرضی فقط از یک طرف اتصال استفاده کرد و در این حالت نیازی به تامین حداقل طول هم‌پوشانی نیست.
- ۷- استفاده از جوش گوشه در لبه‌ی سوراخ و شکاف در اتصال روی هم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمت‌های متصل شونده مجاز است. جوش‌های گوشه در سوراخ‌ها و شکاف‌ها به عنوان جوش کام یا انگشتانه تلقی نمی‌شوند.



(الف) طول همپوشانی در اتصالات پوششی (جوش دوطرفه)



(ب) جوش یک‌طرفه مقید و مجاز



(ب) جوش یک‌طرفه غیرمقید و غیرمجاز

شکل ۹-۱-۴- اتصال پوششی (روی‌هم) دو قطعه

۸- جوش‌های گوشه می‌توانند به انتهای ناحیه‌ی اتصال، منتهی شده یا قبل از رسیدن به انتهای ناحیه‌ی اتصال قطع شوند و یا حتی می‌توان آن‌ها را طوری جوش داد تا به شکل قوطی یا ناودانی در بیاید. مگر در مواردی به شرح زیر که محدودیت‌هایی برای آن‌ها وضع شده است:

- در اتصالات پوششی (روی هم) که یکی از قطعه‌های اتصالی تا پشت لبه‌ی قطعه اتصالی دیگر که تحت اثر تنش کششی قرار دارد امتداد یافته باشد، جوش گوشه باید در فاصله‌ای بیشتر یا مساوی با بعد جوش تمام شود (شکل ۹-۱-۵).

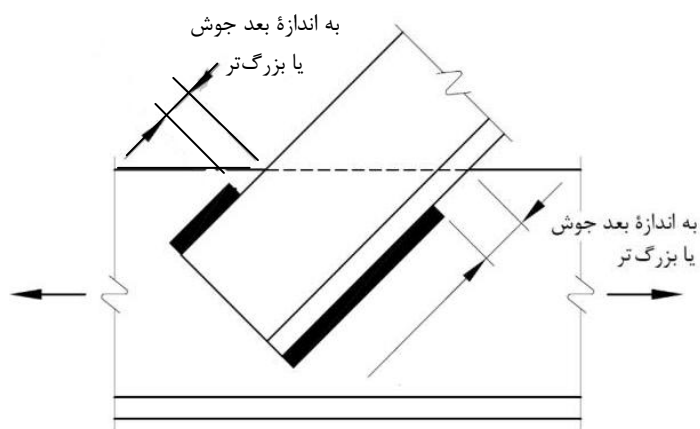
- در اتصالات مفصلی با نبشی نشیمن طول برگشت جوش گوشه در قسمت فوقانی اتصال نبشی نباید از دو برابر بعد جوش گوشه کوچک‌تر باشد.

- در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان که انعطاف‌پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال نبشی‌ها است، طول برگشت جوش گوشه در قسمت فوقانی اتصال نبشی به تکیه‌گاه نباید از دو برابر بعد جوش گوشه کوچک‌تر و از چهار برابر بعد جوش و نیز نصف پهنای بال نبشی بزرگ‌تر باشد. در این نوع اتصالات برگشت جوش باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود (شکل ۹-۱-۶).

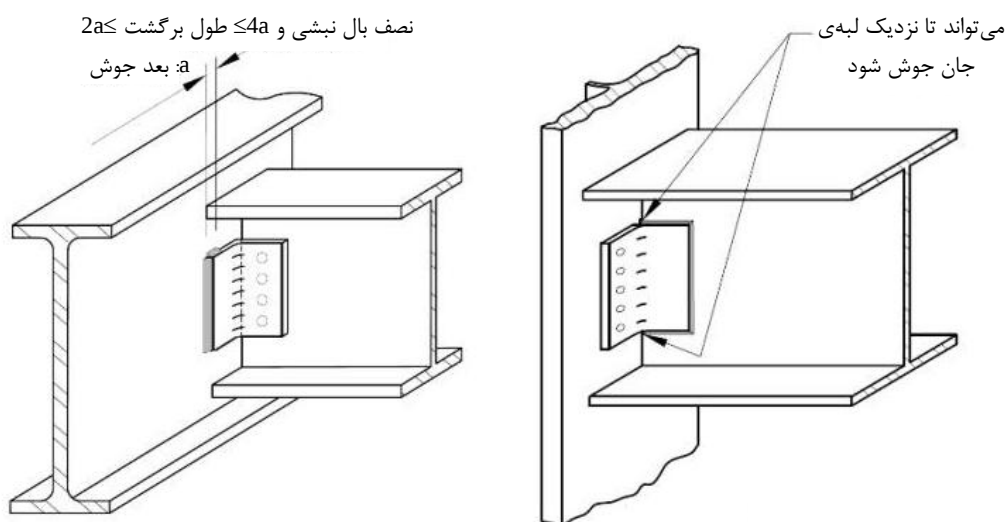
- ورق‌های سخت‌کننده‌ی عرضی باید به بال‌های تیر جوش شود. در مواردی که در اتصال، کنترل خستگی مدنظر باشد انتهای جوش گوشه‌ی ورق‌های سخت‌کننده‌ی عرضی به جان تیرهای با ضخامت جان کوچک‌تر از ۲۰ میلی‌متر، باید حداقل چهار برابر و حداکثر شش برابر ضخامت جان از پنجه‌ی جوش گوشه‌ی جان به بال کششی بارگذاری نشده، فاصله داشته باشد.

- جوش‌های گوشه‌ای که در دو وجه مخالف یک صفحه‌ی مشترک ایجاد می‌شوند، در صورتی که مطابق شکل ۹-۱-۷ فاصله‌ی انتهای جوش گوشه‌ی عرضی تا لبه‌ی قطعه، کوچک‌تر از بعد جوش باشد، باید در گوشه‌ی مشترک بین دو نوار جوش قطع شوند.

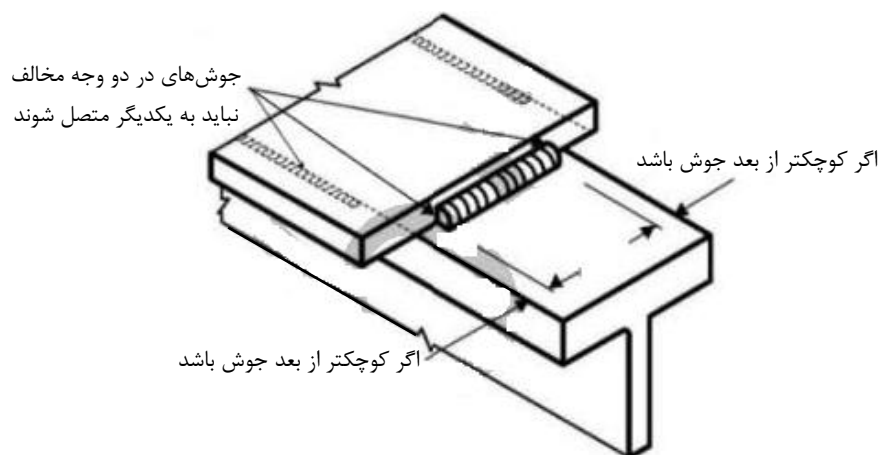
- در اتصالات پوششی (اتصالات روی هم) وقتی عضو زیری در کشش است، برای جلوگیری از زخم در لبه و تردشکنی در جوش، انتخاب محل شروع و پایان مسیر جوشکاری باید مورد توجه قرار گیرد (شکل ۹-۱-۸). همچنین لازم است شروع خط جوش به اندازه‌ی حداقل بعد جوش از لبه‌ی عضو، فاصله داشته باشد.



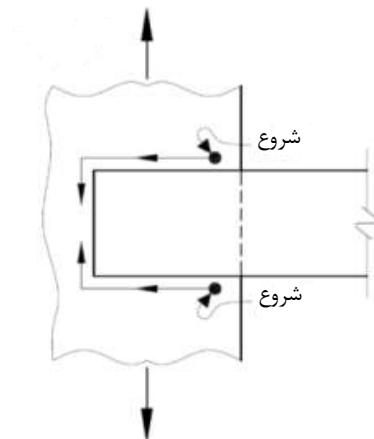
شکل ۹-۱-۵- جوش گوشه در انتهای اعضای محوری



شکل ۹-۱-۶- اتصالات مفصلی با نبشی جان



شکل ۹-۱-۷- جوش‌های گوشه در دو وجه مخالف یک صفحه‌ی مشترک



شکل ۹-۱-۸- مسیر مناسب برای جلوگیری از زخم (ترک یا شیار) در لبه

۹-۱-۱-۳- جوش‌های انگشتانه و کام

الف) سطح مقطع موثر: برای جوش انگشتانه و کام، سطح مقطع موثر در برش مساوی سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه‌ی برش در نظر گرفته می‌شود.

ب) محدودیت‌ها

- ۱- استفاده از جوش انگشتانه و کام برای انتقال برش در اتصال‌های پوششی یا جلوگیری از کمانش در عناصر روی هم آمده در اعضای ساخته شده، مجاز است.
- ۲- قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعه‌ی سوراخ شده به اضافه‌ی ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین قطر مورد اشاره نباید از قطر حداقل به اضافه ۳ میلی‌متر یا $2/25$ برابر ضخامت جوش بزرگ‌تر شود.
- ۳- حداقل فاصله‌ی مرکز تا مرکز سوراخ‌های جوش‌های انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ است.
- ۴- در جوش کام، طول شکاف نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بزرگ‌تر باشد.
- ۵- در جوش کام، پهنای شکاف نباید از ضخامت قطعه‌ی بریده شده به اضافه ۸ میلی‌متر کوچک‌تر و از $2/25$ برابر ضخامت جوش بزرگ‌تر باشد.
- ۶- انتهای شکاف یا باید نیم‌دایره‌ای یا خطی مستقیم باشد که گوشه‌های آن تبدیل به ربعی از دایره (با شعاعی بزرگ‌تر از ضخامت قطعه‌ی حاوی شکاف) می‌شود؛ مگر اینکه انتهای شکاف به لبه‌ی قطعه منتهی شده باشد.
- ۷- حداقل فاصله‌ی مرکز تا مرکز شکاف‌ها در امتداد عمود بر طول، چهار برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله‌ی مرکز تا مرکز شکاف‌ها در امتداد طول، دو برابر طول شکاف است.

۸- ضخامت جوش انگشتانه و کام در قطعاتی که ضخامت آن‌ها کوچک‌تر یا مساوی ۱۶ میلی‌متر است، باید برابر با ضخامت قطعه و در قطعاتی که ضخامت آن‌ها بیش از ۱۶ میلی‌متر است، باید برابر با بزرگ‌ترین دو مقدار نصف ضخامت قطعه و ۱۶ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۹-۱-۱-۴- 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.

۹-۱-۱-۵- فلز جوش مختلط

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

۹-۱-۱-۶- پیش‌گرمایش

برای نیمرخ‌های نورد شده و قطعات مرکب ساخته شده از ورق با جوش، باید قبل از انجام جوش، پیش‌گرمایش تا دمای لازم صورت گیرد. دمای پیش‌گرمایش به شرح زیر در جدول ۹-۳ ارائه شده است.

جدول ۹-۳- دمای پیش‌گرمایش

ضخامت ورق (میلیمتر)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند غیر کم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)	دمای پیش‌گرمایش در فرآیند کم‌هیدروژن (درجه سلسیوس)
≤ 20	۲۰	۱۰
$20 < t \leq 40$	۶۵	۲۰
$40 < t \leq 65$	۱۱۰	۶۵
$t > 65$	۱۵۰	۱۱۰

۹-۱-۲- طراحی جوش‌ها به روش تنش مجاز

۹-۱-۲-۱- تنش‌های مجاز جوش

به جز حالتی که عامل خستگی تعیین‌کننده باشد، جوش‌ها باید طوری محاسبه شوند که محدودیت‌های تنش مندرج در جدول ۹-۴ را جوابگو باشند. کلیه جوش‌ها باید مورد آزمایش غیرمخرب قرار گیرند.

۹-۱-۲-۲- ترکیب تنش‌ها

الف: برآیند دو تنش برشی هم صفحه و متعامد را می‌توان با قانون جمع متوازی‌الاضلاع، محاسبه نمود.

$$\tau_b = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad (۹-۱-۲)$$

ب: در جوش‌هایی مثل جوش اتصال با لبه 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 می‌گردد:

$$\tau_{\text{مجاز}} = \sqrt{0.27 F_u^2 - \frac{\sigma^2}{4}} \quad (۹-۱-۳)$$

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

جدول ۹-۴- تنش‌های مجاز جوش

تنش مجاز	نوع تنش	نوع جوش
جوش شیاری (لب) با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی یا فشاری، در امتداد عمود برمقطع موثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	برشی، در مقطع موثر	$0.۲۷ \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از $0.۳۶ F_y$ فلز پایه بیشتر نشود).
جوش شیاری (لب) با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود برمقطع موثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	کششی، در امتداد عمود برمقطع موثر	$0.۲۷ \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش (تنش کششی در فلز مادر نباید از 0.۵۵ حد جاری شدن فلز مادر بیشتر شود).
جوش گوشه	برشی، موازی با محور جوش	$0.۲۷ \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از $0.۳۶ F_y$ فلز پایه بیشتر نشود).
	برشی، در مقطع موثر	$0.۲۷ \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از $0.۳۶ F_y$ 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)	$0.۲۷ \times$ مقاومت نهایی کششی فلز جوش (مشروط بر اینکه از $0.۳۶ F_y$ فلز پایه بیشتر نشود).

** فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد (جدول ۹-۶)

۹-۱-۳- طراحی جوش‌ها به روش LRFD

۹-۱-۳-۱- مقاومت جوش‌ها

مقاومت موجود جوش در طراحی به روش LRFD مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن مقادیر ϕ مطابق جدول ۹-۵ تعیین می‌شود و R_n مقاومت اسمی جوش است که باید به شرح زیر برابر کوچک‌ترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی مربوط به مصالح فلز پایه و حالت‌های حدی مربوط به فلز جوش در نظر گرفته شود:

الف) براساس مصالح فلز پایه

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (۹-۱-۴)$$

ب) براساس مصالح فلز جوش

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (۵-۹-۱)$$

که در آن:

$$F_{nBM} = \text{تنش اسمی فلز پایه مطابق جدول ۵-۹} \quad F_{nw} = \text{تنش اسمی فلز جوش مطابق جدول ۵-۹}$$

$$A_{BM} = \text{سطح مقطع فلز پایه} \quad A_{we} = \text{سطح مقطع موثر جوش}$$

در جوش‌های گوشه به غیر از جوش‌هایی که تحت اثر نیروهای محوری کششی یا فشاری موازی با محور جوش قرار دارند، کلیه تنش‌ها می‌تواند به صورت برشی بر روی سطح مقطع موثر جوش در نظر گرفته شود. در صورتی که جوش تحت اثر ترکیبی از لنگر خمشی، پیچشی، نیروی برشی و نیروی محوری قرار داشته باشد، تنش‌های مورد اشاره برآیند تنش‌های ناشی از این نیروها (به صورت برداری) خواهد بود که باید کمتر از مقاومت موجود جوش مطابق جدول ۵-۹ باشد.

جدول ۵-۹- مقاومت موجود جوش‌ها**

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ)	تنش اسمی (F_{nBM} یا F_{nw})	
جوش شیار با نفوذ کامل و لبه‌ی آماده شده	کششی عمود بر محور جوش	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می‌گردد.			
	فشاری عمود بر محور جوش	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می‌گردد.			
	کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	طراحی ندارد.			
	برشی	فلز جوش	0.75	$0.6F_{eu}$	
فلز پایه		1	۶۰ درصد مقاومت کششی فلز پایه		
جوش شیار با نفوذ نسبی	کششی در امتداد عمود بر محور جوش	براساس فلز پایه	$\phi = 0.75$	$F_{nBM} = F_u$ *	
		براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	$\phi = 0.8$	$F_{rw} = 0.6F_{ue}$ *	
		طراحی ندارد			
	فشاری- ستون بر کف ستون و وصله‌های ستون	براساس فلز پایه	$\phi = 0.9$	$F_{nBM} = F_u$ *	
		براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	$\phi = 0.8$	$F_{rw} = 0.6F_{ue}$	
	کششی یا فشاری موازی با محور جوش	طراحی ندارد			
جوش گوشه	برشی	براساس فلز پایه		**	
		براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	$\phi = 0.75$	$F_{rw} = 0.6F_{ue}$	
		براساس فلز پایه	**	**	
	برشی	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	$\phi = 0.8$	$F_{rw} = 0.6F_{ue}$	
جوش انگشتانه و کام	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	طراحی ندارد (براساس فلز پایه)			
		برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع موثر)			
		براساس فلز پایه		**	
		براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	$\phi = 0.8$	$F_{nw} = 0.6F_{ue}$	

** مقاومت جوش نباید از مقاومت فلز پایه بزرگتر شود.

* F_y = تنش تسلیم فلز پایه، F_u = تنش کششی نهایی فلز پایه، F_{ue} = تنش کششی نهایی فلز جوش

** فلز جوش باید سازگار با مصالح فلز پایه باشد.

تبصره ۱: برای جوش‌های گوشه‌ای که در آن‌ها تمامی خطوط جوش موازی یکدیگر بوده و نیروی وارد بر مرکز ثقل آن‌ها نسبت به خطوط طولی جوش دارای زاویه‌ی θ باشد، به عنوان یک گزینه‌ی دیگر طراحی، مقاومت اسمی فلز جوش گوشه را می‌توان از طریق رابطه‌ی زیر نیز تعیین نمود:

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (۹-۱-۶)$$

که در آن:

$$F_{nw} = 0.60 F_{ue} \quad 1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta \quad (۹-۱-۷)$$

$$\phi = 0.75$$

θ = زاویه‌ی بین امتداد نیروی وارد بر مرکز ثقل جوش‌ها نسبت به خطوط طولی جوش‌ها.

تبصره ۲: برای گروه جوش گوشه که متشکل از جوش‌های گوشه‌ی طولی و عرضی (عمود بر محور جوش‌های گوشه‌ی طولی) بوده و نیروی وارد بر مرکز ثقل گروه جوش‌ها در امتداد جوش‌های گوشه‌ی طولی باشد، به عنوان یک گزینه‌ی دیگر طراحی، مقاومت اسمی گروه جوش گوشه را می‌توان مطابق روابط زیر، بزرگ‌ترین دو مقدار R_{n1} و R_{n2} در نظر گرفت:

$$R_{n1} = R_{nw\ell} + R_{nwt} \quad (۹-۱-۸)$$

$$R_{n2} = 0.85 R_{nw\ell} + 1.5 R_{nwt} \quad (۹-۱-۹)$$

که در آن:

$R_{nw\ell}$ = مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به صورت طولی که با توجه به جدول ۹-۵ تعیین می‌شود.
 R_{nwt} = مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به صورت عرضی که با توجه به جدول ۹-۵ و بدون در نظر گرفتن افزایش تبصره‌ی (۱) بالا تعیین می‌شود.

تبصره ۳: روش مرکز آنی دوران برای گروه جوش‌هایی که تحت اثر هم‌زمان برش و پیچش قرار دارند، در صورت رعایت سازگاری کرنش‌ها می‌تواند به عنوان یک روش قابل قبول برای تعیین مقاومت مورد نیاز گروه جوش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۹-۳-۲- ترکیب انواع جوش‌ها

اگر در یک اتصال از ترکیب دو یا چند نوع جوش به صورت مجموعه (جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و جوش کام) استفاده شود، برای تعیین مقاومت موجود اتصال باید مقاومت موجود هر یک از جوش‌ها را جداگانه نسبت به محور مجموعه‌ی جوش محاسبه و سپس مقاومت موجود مجموعه را از مجموع مقاومت‌های موجود تک‌تک جوش‌ها تعیین نمود.

۹-۱-۴- الکتروود (فلز پرکننده) سازگار با فلز پایه

الکتروود (فلز پرکننده‌ی جوش) سازگار با فلز پایه مطابق جدول زیر تعریف می‌شود:

جدول ۹-۶- الکتروودهای سازگار با فلز پایه

نوع الکتروود سازگار	تنش تسلیم مشخصه‌ی مصالح فلز پایه (F_y)
E60 یا معادل آن	تا 300 MPa و $t \leq 20$ mm (t = ضخامت فلز پایه)
E70 یا معادل آن	
E70 یا معادل آن	تا 300 MPa و $t > 20$ mm
E70 یا معادل آن	از 300 MPa تا 380 MPa
E80 یا معادل آن	از 380 MPa تا 460 MPa

فلز پرکننده‌ی جوش (نوع الکتروود مصرفی) برای انواع مختلف جوش‌ها باید الزامات زیر را تامین نماید:

- ۱- برای جوش‌های شیاری با نفوذ کامل تحت اثر کشش در راستای عمود بر محور جوش یا تحت اثر برش در راستای محور طولی جوش (به غیر از جوش‌های اتصال بال به جان مقاطع اعضای خمشی) باید مطابق جدول ۹-۶ از فلز پرکننده‌ی سازگار یا حداکثر یک رده بالاتر از فلز پرکننده‌ی سازگار استفاده شود.
- ۲- برای جوش‌های شیاری با نفوذ کامل در سایر وضعیت‌های بارگذاری و نیز برای جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی استفاده از فلز پرکننده دارای مقاومتی حداکثر یک رده پایین‌تر از مقاومت فلز پرکننده‌ی سازگار مجاز است.
- ۳- برای جوش‌های گوشه، انگشتانه و کام رعایت فلز پرکننده‌ی سازگار الزامی نبوده، لیکن در هر حال استفاده از فلز پرکننده دارای مقاومتی بیش از یک رده بالاتر از مقاومت فلز پرکننده‌ی سازگار مجاز نیست.

۹-۱-۵- فلز جوش مختلط

هرگاه طاقت نمونه زخم‌دار (آزمایش شاری) به عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوش‌ها اعم از خال جوش، عبور جوش در عمق و ریشه‌ی اتصال یا عبورهای بعدی که جوش تکمیلی را در اتصال ایجاد می‌کند، باید سازگاری لازم را داشته باشد تا طاقت نمونه زخم‌دار برای فلز جوش مختلط محرز شود.

۲-۹- پیچ

۱-۲-۹- الزامات عمومی

۱-۱-۲-۹- انواع پیچ‌ها

رده‌ی مکانیکی و مشخصات انواع متداول پیچ‌های مورد استفاده در سازه‌های فولادی برای پیچ‌های معمولی و پرمقاومت در جدول ۷-۹ ارائه شده است. برای میله‌های دندان‌دار شده استفاده از کلیه‌ی فولادهای مجاز ساختمانی بلامانع است. برای هر پیچ باید واشر و مهره‌ی سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

اتصالات پیچی از لحاظ نحوه‌ی اجرای پیچ‌ها (سفت کردن آن‌ها) و مقاومت موجود آن‌ها به شرح زیر به سه دسته‌ی «اتکایی»، «پیش‌تنیده» و «لغزش بحرانی» تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) اتصالات پیچی اتکایی: اتصالات پیچی اتکایی اتصالاتی هستند که سفت کردن آن‌ها در حد «سفتی کامل» بوده و به لحاظ مقاومت برشی، پیچ‌ها نیروی برشی را از طریق اتکای تنه‌ی پیچ به جداره‌ی سوراخ انتقال می‌دهند و از مقاومت لغزشی موجود بین سطوح تماس اتصال صرف‌نظر می‌شود.

سفتی کامل نحوه‌ی سفت کردنی است که با یک آچار ساده و حداکثر توان یک کارگر معمولی یا چند دور آچارهای بادی و الکتریکی قابل حصول فرض می‌شود. در این حالت سطوح اتصال باید در تماس با یکدیگر قرار گیرند و تمامی پیچ‌ها باید به حدی سفت باشند که باز شدن آن‌ها بدون آچار ممکن نباشد. ممکن است در یک اتصال با تعداد پیچ زیاد، عمل سفت کردن هر پیچ چند بار انجام شود تا حصول این امر محرز شود.

جدول ۷-۹- مشخصات مکانیکی پیچ‌ها*

نوع پیچ	ISIRI 2874 EN-ISO 898	ASTM	تنش تسلیم مشخصه (F_y) (MPa)	تنش کششی نهایی (F_u) (MPa)	کرنش نهایی (ϵ_u) (%)
پیچ‌های معمولی	4.6	A307	240	400	22
	4.8	—	320	420	14
	5.6	—	300	500	20
	5.8	—	400	520	10
	6.8	—	480	600	8
پیچ‌های پرمقاومت	8.8	A325 F1852	—	800	12
	10.9	A490 F2280	—	1000	9
	12.9	—	—	1200	8

* در اتصالات پیش‌تنیده و لغزش بحرانی فقط از پیچ‌های پرمقاومتی می‌توان استفاده کرد که مطابق استاندارد مربوطه، دارای قابلیت پیش‌تنیدگی باشند. پیچ‌هایی دارای قابلیت پیش‌تنیدگی هستند که پیچ، مهره و واشر مطابق استاندارد معتبر نظیر EN ISO 14399 تولید شده باشند.

در بستن پیچ‌های یک اتصال باید از قسمت سخت‌تر شروع به سفت کردن کرد تا این عمل موجب جدایش قطعات در قسمت‌های دیگر نشود.

به جز موارد مذکور در بندهای (ب) و (پ) زیر، استفاده از اتصالات اتکایی با پیچ‌های معمولی یا پرمقاومت مجاز است.

(ب) **اتصالات پیش‌تنیده:** اتصالات پیش‌تنیده اتصالاتی هستند که پیچ‌های آن از جنس فولاد پرمقاومت و به لحاظ مشخصات هندسی قابلیت پیش‌تنیدگی داشته باشند و پیچ‌ها در هنگام سفت کردن پس از حصول حالت سفتی کامل، به روش مناسبی پیش‌تنیده شوند. روش‌های مناسب پیش‌تنیده کردن یک پیچ شامل روش «سفت کردن اضافی مهره»، استفاده از «واشر نیروسنج»، «آچار مدرج کالیبره شده»، «پیچ‌های کشش کنترل» و استفاده از دیگر ابزارهای ویژه هستند. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در این پیچ‌ها باید مطابق مقادیر جدول ۹-۸ باشد. مقاومت برشی و اتکایی موجود این نوع اتصالات مطابق اتصالات اتکایی تعیین شده و در آن‌ها از مقاومت لغزشی موجود سطوح تماس اتصال صرف‌نظر می‌شود. از اینرو به این پیچ‌ها، اتکایی پیش‌تنیده گفته می‌شود. استفاده از این نوع اتصالات در شرایط زیر الزامی است:

- در اتصالات اعضای فشاری ساخته شده.
- در اتصالاتی که تحت اثر ارتعاش احتمال شل‌شدگی پیچ‌ها وجود داشته باشد. (شامل تمام سازه‌های پل‌ها می‌شود)
- در مواقعی که اتصال تحت اثر نیروهای رفت و برگشتی قابل ملاحظه قرار دارد.
- در مواقعی که اتصال تحت اثر بارهای خستگی بدون برگشت جهت بار قرار دارد.
- کلیه پیچ‌ها در رده مقاومتی A490 مطابق استاندارد ASTM و 10.9 و همچنین مطابق استانداردهای EN و ISIRI و بالاتر که تحت اثر نیروی کششی همراه با نیروی برشی یا بدون آن و نیز همراه یا بدون اثر خستگی قرار دارند.

(پ) **اتصالات لغزش بحرانی:** اتصالات لغزش بحرانی اتصالاتی هستند که در آن‌ها پیچ‌ها مانند پیچ‌های پیش‌تنیده به یکی از روش‌های مجاز سفت می‌شوند؛ لیکن انتقال نیروی برشی در اتصال، توسط مقاومت در برابر لغزش بین سطوح در تماس اتصال انجام می‌پذیرد. در اتصالات لغزش بحرانی، سطوح تماس باید دارای وضعیت سطحی کلاس A یا B باشند. در سطوح در تماس این نوع اتصالات نباید لغزش رخ دهد و پیچ به جداری سوراخ اتکاء نمی‌یابد. با این وجود، مقاومت اتکایی و پارگی موجود باید کنترل شود. استفاده از اتصالات لغزش بحرانی در شرایط زیر الزامی است:

- در کلیه مواردی که لغزش در اتصال موجب ناپایداری یا کاهش مقاومت موجود سازه می‌شود.
- در مواقعی که اتصال تحت اثر نیروهای دینامیکی با تکرار زیاد توأم با اثر خستگی قرار دارد. بارهای باد و زلزله در ردیف بارهای دینامیکی با تکرار زیاد قرار نمی‌گیرند.
- در مواردی که در اتصال از سوراخ بزرگ شده یا لوبیایی در امتداد نیرو استفاده شده باشد و استفاده از آن‌ها در این آیین‌نامه مجاز شمرده شده باشد.
- در اتصال انتهایی ورق‌های پوششی بال‌های تیر.

جدول ۸-۹- حداقل نیروی پیش تنیدگی (T_b) در اتصالات پیش تنیده و لغزش بحرانی

پیچ‌های نوع A490 مطابق استاندارد ASTM و 10.9 مطابق استانداردهای EN و ISIRI	پیچ‌های نوع A325 مطابق استاندارد ASTM و 8.8 مطابق استانداردهای EN و ISIRI	قطر اسمی پیچ (بر حسب میلی‌متر)
114 kN	91 kN	M16
179 kN	142 kN	M20
221 kN	176 kN	M22
257 kN	205 kN	M24
334 kN	267 kN	M27
408 kN	326 kN	M30
595 kN	475 kN	M36

تبصره: در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده در جدول ۸-۹ باشد، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی را می‌توان برابر $0.55A_{nb}F_u$ (که معادل $0.7A_{eb}F_u$ است)، در نظر گرفت، که در آن A_{nb} سطح مقطع اسمی تنه‌ی غیررزوه‌ی پیچ، A_{eb} سطح مقطع پیچ در محل دندانه‌ها و F_u تنش کشش نهایی مصالح پیچ است.

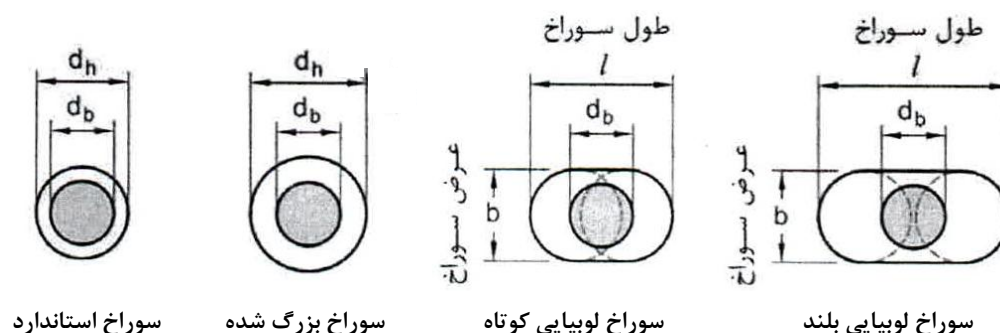
۹-۲-۱-۲- مشخصات و فواصل سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

در اتصالات پیچی لازم است قطعات فولادی به نحو صحیح و متناسب با قطر پیچ سوراخ شوند. دقت در سوراخ‌کاری و سالم بودن جداره‌ی سوراخ و رعایت فواصل سوراخ‌ها از لبه‌ی قطعه و نیز از یکدیگر نقش مهمی در میزان مقاومت و باربری اتصالات پیچی ایفا می‌کند از این‌رو، باید به شرح زیر الزامات بندهای (الف) تا (ج) در طراحی و محاسبه رعایت گردند.

الف) انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

مطابق شکل ۹-۲-۱ در اتصالات پیچی سوراخ‌ها باید یکی از انواع زیر باشند:

- ۱- سوراخ استاندارد
- ۲- سوراخ بزرگ‌شده
- ۳- سوراخ لوبیایی کوتاه
- ۴- سوراخ لوبیایی بلند



شکل ۹-۲-۱- انواع سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

ب) محدودیت ابعاد اسمی سوراخ پیچ‌ها و دامنه‌ی کاربرد آن‌ها

۱- ابعاد حداکثر سوراخ پیچ‌ها باید مطابق جدول ۹-۹ باشند.

جدول ۹-۹- ابعاد اسمی سوراخ پیچ برحسب میلی‌متر

ابعاد اسمی سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض)	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	سوراخ بزرگ‌شده	سوراخ استاندارد	
18×40	18×22	20	18	M16
22×50	22×26	24	22	M20
24×55	24×30	28	24	M22
27×60	27×32	30	27	M24
30×67	30×37	35	30	M27
33×75	33×40	38	33	M30
$(d_b+3) \times 2.5d_b$	$(d_b+3) \times (d_b+10)$	$d_b + 8$	$d_b + 3$	$\geq M36$

d_b = قطر اسمی پیچ. استفاده از پیچ‌های با قطر کمتر از ۱۶ میلی‌متر برای اتصال اعضای اصلی مجاز نیست.

۲- سوراخ‌های بزرگ شده فقط در اتصالات لغزش بحرانی مجاز است.

۳- سوراخ لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات لغزش بحرانی مجاز است اما در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده استفاده از آن‌ها زمانی مجاز است که امتداد طولی سوراخ عمود بر امتداد نیرو باشد.

۴- سوراخ لوبیایی بلند در تمام امتدادها در اتصالات لغزش بحرانی مجاز است اما در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده استفاده از آن‌ها زمانی مجاز است که امتداد طولی سوراخ عمود بر امتداد نیرو باشد. لیکن در هر سه نوع اتصال، سوراخ لوبیایی بلند باید فقط در یکی از ورق‌های اتصال تعبیه شود.

پ) حداقل فاصله‌ی سوراخ پیچ‌ها

فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های استاندارد نباید از $3d_b$ کوچکتر باشد. در سوراخ‌های بزرگ شده و لوبیایی، حداقل فاصله‌ی خالص بین سوراخ‌ها در امتداد نیرو و یا امتداد عرضی نیرو، نباید کمتر از $2d_b$ گردد. d_b قطر اسمی پیچ می‌باشد.

ت) حداقل فاصله‌ی سوراخ‌ها تا لبه

فاصله‌ی مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبه‌ی قطعه‌ی متصل شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۹-۱۰ کوچکتر باشد. برای سوراخ‌های بزرگ شده و لوبیایی فاصله‌ی مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار C مطابق جدول ۹-۱۱ کوچکتر باشد.

جدول ۹-۱۰- حداقل فاصله‌ی مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا *

لبه‌ی بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه‌ی نورد شده‌ی ورق - نیمرخ، تسمه و نیز
(d_b = قطر اسمی پیچ)	لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
$2d_b$	$1.5d_b$

جدول ۹-۱۱- مقادیر افزایش حداقل فاصله‌ی سوراخ تا لبه (C) *

سوراخ لوبیایی (mm)			سوراخ بزرگ شده (mm)
موازی با لبه	عمود بر امتداد لبه		
	لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه	
0	0.75 d _b	5 mm	3 mm

* دستورات ارائه شده توسط آشتو قدری سهل‌گیرانه‌تر است و جدول ۹-۱۰ و ۹-۱۴ بر مبنای مبحث دهم تنظیم شده است.

فاصله‌ی حداکثر پیچ‌ها

- به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت، گام طولی پیچ‌ها (فاصله مرکز به مرکز در امتداد طولی) در یک خط پیچ به موازات لبه‌ی ورق باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$S \leq 100\text{mm} + 4t \leq 175\text{mm} \quad (S < 14t < 180\text{mm} \text{ مبحث } ۱۰) \quad (۹-۲-۱)$$

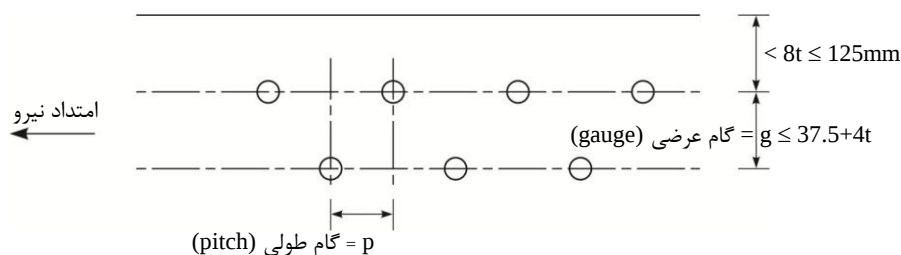
t = ضخامت ورق نازک‌تر

- در صورت وجود خط دوم پیچ یک درمیان، به موازات خط جبهه اول در گام عرضی کمتر از $37.5\text{mm} + 4t$ ، گام طولی پیچ‌های یک درمیان باید رابطه‌ی زیر را اقلان نماید.

$$p \leq 100 + 4t - \frac{3}{4}g \leq 175 \quad (۹-۲-۲)$$

t = ضخامت ورق نازک‌تر g = گام عرضی پیچ‌های یک درمیان

- فاصله‌ی مرکز پیچ تا لبه نیز نباید از ۸ برابر نازک‌ترین قسمت متصل شونده و یا از ۱۲۵ میلی‌متر بزرگ‌تر شود.



شکل ۹-۲-۲- حداکثر فواصل پیچ‌ها

پیچ بخیه

- در صورت استفاده از پیچ برای بستن دو یا چند ورق به یکدیگر در مقاطع ساخته شده، رعایت ضوابط زیر الزامی است:
- در اعضای فشاری حداکثر گام طولی پیچ‌ها برابر $12t$ بوده و حداکثر گام عرضی دو ردیف پیچ نیز نباید از مقدار $24t$ تجاوز نماید که t ضخامت قطعه نازک‌تر می‌باشد.
- در اعضای کششی گام طولی پیچ‌ها، ۲ برابر گام طولی در اعضای فشاری بوده و گام عرضی مشابه اعضای فشاری ($24t$) می‌باشد.

همچنین گام طولی دو ردیف پیچ یک درمیان باید در رابطه‌ی زیر صدق کند.

$$p \leq 15t - \left(\frac{3}{8}g \right) \leq 12t \quad (۳-۲-۹)$$

گام طولی پیچ‌ها در اعضای ساخته شده نباید از دو معیار فوق تجاوز نماید.

۹-۲-۲- طراحی پیچ‌ها به روش تنش مجاز

۹-۲-۲-۱- تنش‌های کششی و برشی مجاز

تنش‌های کششی و برشی مجاز برای پیچ‌ها، قطعات رزوه شده و پرچ‌ها مطابق جدول ۹-۱۲ می‌باشد. سطح موثر این تنش‌ها، مقطع اسمی پرچ (قبل از پرچکاری) و مقطع دندانه نشده پیچ یا میله‌های رزوه شده (غیر از میله‌های با دندانه‌های برجسته) در نظر گرفته می‌شود. پیچ‌های پرمقاومت که بار وارده را به صورت کشش مستقیم تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه شوند که تنش متوسط در مقطع اسمی پیچ، بدون در نظر گرفتن هرگونه نیروی پیش‌تنیدگی، از مقادیر مجاز در جدول ۹-۱۲ 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 می‌گیرند، باید با توجه به اصول معرفی شده در مبحث خستگی انجام شود.

جدول ۹-۱۲- تنش‌های مجاز در انواع پیچ‌ها و پرچ‌ها

تنش برشی مجاز (Fv)					تنش کششی مجاز (Ft)	نوع وسیله اتصال
اتصال اتکایی با سوراخ استاندارد ^(۲)	اتصال اصطکاکی ^(۱) (لغزش بحرانی)					
	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- قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است.

(۱) با ضریب اصطکاک ۰.۳۳ برای وضعیتی که سطوح تماس از فلس ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای به کمک سندبلاست تمیز شده 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.

۹-۲-۲- ترکیب تنش‌ها

۱- در اتصالات اصطکاکی (لغزش بحرانی) 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.

$$F'_v = F_v (1 - 0.00022 f_t) \quad (۹-۲-۴)$$

در رابطه‌ی فوق:

$$F_v = \text{تنش برشی مجاز در اتصال اصطکاکی (لغزش بحرانی) طبق جدول ۹-۱۲}$$

$$F'_v = \text{تنش برشی مجاز کاهش یافته}$$

$$f_t = \text{تنش کششی موجود به علت نیروی کششی خارجی شامل اثر اهرمی شدن (kg/cm}^2\text{)}$$

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

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

$$f_v / F_v > 0.33 \rightarrow F'_t = F_t \sqrt{1 - (f_v / F_v)^2} \quad (۹-۲-۵)$$

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

$$f_v = \text{تنش برشی موجود در پیچ یا پرچ}$$

$$f_t = \text{تنش کششی موجود در پیچ یا پرچ}$$

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

$$F_v = \text{تنش برشی مجاز طبق جدول ۹-۱۲}$$

$$F_t = \text{تنش کششی مجاز طبق جدول ۹-۱۲}$$

$$F'_t = \text{تنش کششی کاهش یافته}$$

۹-۲-۳- خستگی

در صورتی که 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:

جدول ۹-۱۳

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

$$F_u = \text{تنش کششی نهایی پیچ}$$

۹-۲-۲-۴- اثر اهرمی شدن

در صورت اعمال نیروی کششی، علاوه بر کشش خارجی، نیروی اهرمی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود که باید بر کشش خارجی اعمال گردد:

$$Q = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{328} \right] T \quad (۹-۲-۶)$$

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 (برحسب سانتی‌متر)

۹-۲-۲-۵- تنش لهیدگی مجاز

تنش لهیدگی مجاز برروی سطح تصویر اسمی (حاصل ضرب قطر در ضخامت قطعه) در اتصالات اتکایی برابر است با:

$$\frac{0.5L_e F_u}{d} \leq F_u \quad (۹-۲-۷)$$

F_u = تنش نهایی مصالح ورق

d = قطر سوراخ

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

۹-۲-۲-۶- حداقل نیروی پیش‌تنیدگی

حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی مساوی، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$T_b = 0.55 F_u A_b \quad (۹-۲-۸)$$

T_b = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی

A_b = سطح مقطع پیچ

F_u = تنش نهایی مقاوم مصالح پیچ

۹-۲-۳- طراحی پیچ‌ها به روش LRFD

۹-۲-۳-۱- مقاومت کششی و برشی موجود پیچ‌ها و میله‌های دندانه شده در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده

در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده، در طراحی به روش LRFD مقاومت کششی و برشی طراحی مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن مقدار R_n برای پیچ‌های معمولی، پیچ‌های پرمقاومت و میله‌های دندانه شده باید براساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و برشی از رابطه‌ی زیر تعیین شود:

$$R_n = F_u A_b \quad (۹-۲-۹)$$

$$\phi = 0.80 \quad (۱۰-۲-۹)$$

در روابط فوق:

A_b = سطح مقطع اسمی تنه‌ی پیچ یا میله‌ی دندانه شده (خارج از ناحیه‌ی دنده شده)

F_u = تنش کششی اسمی (F_{nt}) یا تنش برشی اسمی (F_{nv})، مطابق مقادیر جدول ۹-۱۴

جدول ۹-۱۴- تنش اسمی پیچ و میله‌های دندانه شده

تنش کششی اسمی ^[۱] (F_{nt})	تنش برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده	نوع وسیله اتصال
$0.75F_u$ ^[۲]	$0.38F_u$ ^[۲]	پیچ‌های معمولی در حالتی که سطح برش در داخل یا خارج ناحیه‌ی دندانه شده قرار دارد.
$0.75F_u$	$0.45F_u$ ^[۳]	پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش در داخل ناحیه‌ی دندانه شده قرار دارد.
$0.75F_u$	$0.55F_u$ ^[۳]	پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش خارج ناحیه‌ی دندانه شده قرار دارد.
$0.75F_u$	$0.38F_u$ ^[۲]	میله‌ی دندانه شده در حالتی که سطح برش در داخل ناحیه‌ی دندانه شده قرار دارد.
$0.75F_u$	$0.55F_u$ ^[۳]	میله‌ی دندانه شده در حالتی که سطح برش خارج ناحیه‌ی دندانه شده قرار دارد.

یادداشت‌ها:

[۱] برای تنش کششی اسمی پیچ‌های پرمقاومت تحت اثر تنش کششی ناشی از خستگی به فصل خستگی رجوع شود.

[۲] در پیچ‌های معمولی که طول گیره‌ی آن‌ها از پنج برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به ازای هر ۲ میلی‌متر طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۳] در اتصالات انتهایی اعضای بار محوری، وقتی که فاصله‌ی اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۹۵۰ میلی‌متر تجاوز کند، این مقادیر را باید ۱۶/۷ درصد کاهش داد.

[۴] در جدول فوق F_u تنش کششی نهایی پیچ است.

تبصره: در اتصالات پیچی تحت اثر کشش خالص یا کشش ناشی از خمش، هنگامی که لبه‌ی قطعه‌ی پیچ شده به لبه‌ی قطعه‌ی دیگر اتکا می‌کند، در تعیین مقاومت مورد نیاز پیچ‌ها باید آثار ناشی از عمل اهرمی نیز در نظر گرفته شود.

۹-۲-۳-۲- اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده

در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده، در مواردی که تنش کششی یا برشی ناشی از بارهای ضربه‌دار کمتر از 30 درصد مقاومت متناظر باشد، لزومی به در نظر گرفتن اثر مشترک کشش و برش نیست. در غیر این‌صورت مقاومت کششی و

برشی اسمی پیچ‌ها ناشی از اثر توأم کشش و برش باید براساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و برشی و نیز مقادیر ضرایب ϕ به شرح زیر تعیین شوند:

$$R_{nt} = F'_{nt} A_b \text{ و } R_{nv} = F'_{nv} A_b \quad (۱۱-۲-۹)$$

$$\phi = 0.8$$

$$F'_{nt} = F_{nt} \left[1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} \right] \text{ و } F'_{nv} = F_{nv} \left[1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right] \quad (۱۲-۲-۹)$$

F'_{nt} = مقاومت کششی اصلاح شده شامل آثار تنش برشی

F'_{nv} = مقاومت برشی اصلاح شده شامل آثار تنش کششی

F_{nt} = مقاومت کششی اسمی در صورتیکه فقط کشش تنها باشد.

F_{nv} = مقاومت برشی اسمی در صورتیکه فقط برش تنها باشد.

f_{ut} = تنش کشی تحت اثر نیروهای ضریبدار

f_{uv} = تنش برشی تحت اثر نیروهای ضریبدار

A_b = سطح مقطع اسمی پیچ

به روش دیگر:

$$\frac{f_{uv}}{F_{nv}} \leq 0.3 \rightarrow F_{nt} = 0.75 F_u \quad (۱۳-۲-۹)$$

$$\frac{f_{uv}}{F_{nv}} > 0.3 \rightarrow F_{nt} = 0.75 F_u \sqrt{1 - \left(\frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} \right)^2} \quad (۱۴-۲-۹)$$

۹-۲-۳-۳- مقاومت کششی و برشی موجود در اتصالات لغزش بحرانی (اصطکاکی)

مقاومت کششی موجود پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات لغزشی بحرانی عیناً مشابه مقاومت کششی موجود آن‌ها در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده می‌باشد.

مقاومت برشی موجود پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات لغزش بحرانی براساس حالت حدی لغزش در ترکیب بار بهره‌برداری II برابر است با:

$$R_{nv} = h_f K_h K_s N_s P_t \quad (۱۵-۲-۹)$$

K_h = ضریب نوع سوراخ پیچ

- برای سوراخ‌های استاندارد و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو

$$K_h = 1.0$$

- برای سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد موازی با راستای نیرو

$$K_h = 0.85$$

- برای سوراخ‌های لوبیایی بلند عمود بر امتداد نیرو

$$K_h = 0.70$$

- برای سوراخ‌های لوبیایی بلند به موازات نیرو

$$K_h = 0.60$$

K_s = ضریب اصطکاک به شرح زیر:

- $K_s = 0.3$ برای وضعیت سطحی کلاس A

این وضعیت سطحی باید دارای یکی از شرایط زیر باشد:

۱- سطح تمیز شده‌ی فلس‌دار حداقل با درجه‌ی St 2 و رنگ نشده‌ی کاملاً محافظت شده.

۲- سطح تمیز شده و ماسه‌پاشی شده‌ی فلس‌دار حداقل با درجه‌ی Sa 1 با پوشش تایید شده‌ی این کلاس مطابق استانداردهای معتبر.

۳- سطح گالوانیزه شده به روش حوضچه‌ی داغ و زبر شده.

- $K_s = 0.5$ برای وضعیت سطحی کلاس B

این وضعیت سطحی باید دارای یکی از شرایط زیر باشد:

۱- سطح تمیز شده و ماسه‌پاشی شده حداقل با درجه‌ی Sa 2.5 و رنگ نشده‌ی کاملاً محافظت شده.

۲- سطح تمیز شده و ماسه‌پاشی شده حداقل با درجه‌ی Sa 2.5 با پوشش تایید شده‌ی این کلاس مطابق استانداردهای معتبر.

h_f = ضریب کاهش به خاطر وجود ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر به شرح زیر:

- در صورت عدم نیاز به ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر مساوی ۱
- در صورت استفاده فقط از یک ورق پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر مساوی ۱
- در صورت استفاده از دو یا تعداد بیشتری از ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر مساوی ۰/۸۵

$$P_t = \text{حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ مساوی } 0.55F_u A_b \text{ (جدول ۹-۸)}$$

$$N_s = \text{تعداد صفحات لغزش}$$

۹-۲-۳-۴ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات لغزش بحرانی

در اتصالات لغزش بحرانی، در صورت حضور هم‌زمان نیروی کششی و برشی، مقاومت برشی اسمی براساس کنترل لغزش (در حالتی که نیروی کششی وارد شده باعث کاهش پیش‌فشاردگی اتصال می‌شود) مطابق رابطه‌ی ۹-۲-۱۵ باید به شرح زیر در ضریب کاهش k_{sc} ضرب گردد.

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \geq 0 \quad (۱۶-۲-۹)$$

که در آن:

T_u = نیروی کششی ضریبدار کل اتصال

D_u = نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل پیچ‌ها و مساوی ۱/۱۳

T_b = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ مساوی $0.55F_u A_b$ (جدول ۸-۹)

n_b = تعداد پیچ‌هایی که نیروی کششی وارد شده را تحمل می‌کنند.

۹-۲-۳-۵- مقاومت اتکایی موجود در جدار سوراخ‌ها

مقاومت اتکایی موجود در جدار سوراخ پیچ در اتصالات اتکایی، پیش‌تنیده و لغزش بحرانی در روش LRFD مساوی ϕR_n بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، و R_n (مقاومت اتکایی اسمی) براساس حالت‌های حدی اتکایی، در حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$\phi = 0.80$$

۱- برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ‌شده، سوراخ لوبیایی کوتاه (مستقل از راستای نیرو) و سوراخ لوبیایی بلند (در حالتی که نیرو در امتداد طولی سوراخ باشد):

$$R_n = 2.4d_b t F_u \quad (۱۷-۲-۹)$$

۲- برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = 2.0d_b t F_u \quad (۱۸-۲-۹)$$

در روابط فوق:

d_b = قطر اسمی پیچ

F_u = تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال

t = ضخامت قطعه‌ی اتصال

۹-۲-۳-۶- مقاومت پارگی موجود در حدفاصل بین سوراخ‌ها و در فاصله‌ی بین سوراخ‌ها تا لبه‌ی قطعات

مقاومت پارگی موجود در حدفاصل بین سوراخ‌ها و نیز در فاصله‌ی بین سوراخ‌ها تا لبه‌ی قطعات در اتصالات اتکایی، پیش‌تنیده و لغزش بحرانی در روش LRFD مساوی ϕR_n بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) و R_n (مقاومت پارگی اسمی) براساس حالت‌های حدی پارگی، در حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$\phi = 0.8$$

۱- برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده، سوراخ لوبیایی کوتاه (مستقل از راستای نیرو) و سوراخ لوبیایی بلند (در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد):

$$\ell_c \leq 2d \Rightarrow R_n = 1.2 \ell_c t F_u \quad (۱۹-۲-۹)$$

$$\ell_c > 2d \Rightarrow R_n \text{ مطابق رابطه ی } ۱۷-۲-۹$$

۲- برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = 1.0 \ell_c t F_u \quad (۲۰-۲-۹)$$

F_u = تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال

t = ضخامت قطعه‌ی اتصال

ℓ_c = فاصله‌ی خالص در راستای نیرو، بین لبه‌ی سوراخ‌ها برای سوراخ‌های میانی و برابر فاصله‌ی خالص در راستای نیرو، بین لبه‌ی سوراخ انتهایی تا لبه آزاد ورق اتصال برای سوراخ‌های انتهایی.

۹-۲-۳-۷- عمل اهرمی

نیروی کششی حاصل از اهرمی شدن از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$Q_u = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{328} \right] P_u \quad (۲۱-۲-۹)$$

که در آن:

Q_u = نیروی کششی هر پیچ به علت بار ضریب‌دار (مساوی صفر وقتی که منفی بدست آید).

P_u = کشش مستقیم بر هر پیچ به علت بار ضریب‌دار.

a = فاصله بین مرکز پیچ تا لبه‌ی ورق.

b = فاصله مرکز پیچ تا آغازگردی محل اتصال قطعه‌ی اتصالی.

t = ضخامت نازکترین قطعه‌ی متصل شده (برحسب سانتی‌متر).

فصل ۱۰

اتصال‌ها و وصله‌ها

۱-۱۰- قسمت اول - طراحی به روش تنش مجاز

۱-۱-۱۰- مقاومت مجاز اعضا

الف: اعضای فشاری

در وصله های پیچی و پرچی، مقاومت اعضای فشاری بر مبنای سطح مقطع کلی محاسبه می شود. در نتیجه ظرفیت فشاری مجاز عضو فشاری از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$P = A_g F_a \quad (۱-۱-۱۰)$$

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 محاسبه می شود، مگر اینکه بیش از ۱۵ درصد از مقطع هر بال به علت سوراخ ها کسر شده باشد که در این صورت مازاد بر ۱۵ درصد باید از سطح مقطع کلی کسر گردد. در نتیجه ظرفیت خمشی مجاز از رابطه زیر بدست می آید:

$$M = S F_b \quad (۲-۱-۱۰)$$

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.

۱-۱-۲- نوع وصله

وصله می تواند پیچی (پرمقاومت) و یا جوشی باشد.

۱-۱-۳- مقاومت وصله

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

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

ب: ۷۵ درصد مقاومت عضو در محل وصله.

۱۰-۱-۴- اتصال بال به جان

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

۱۰-۱-۵- وصله تیرها و تیرورق‌ها

الف- وصله بال

وصله بال باید براساس مقاومت کششی ورق بال طراحی شود. لنگر ناشی از زوج نیروی وصله‌ی بال‌ها باید محاسبه شده و اگر از لنگر خمشی موجود در محل درز کمتر باشد، مازاد لنگر باید به وصله‌ی جان انتقال یابد.

ب- 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.

پ- محل وصله

۱. در اعضای خمشی پیچی یا پرچی، بین دو وصله کارگاهی، نباید در اجزای بال، وصله وجود داشته باشد. در بال‌هایی که فقط از یک جزء تشکیل یافته‌اند، محل وصله، همان محل وصله‌ی کارگاهی در نظر گرفته می‌شود. تا حد امکان سعی کنید وصله را در مناطق کم تنش قرار دهید.
۲. در تیرهای سراسری، وصله باید در نقاط عطف لنگر خمشی بار مرده قرار گیرد. در دهانه‌های ساده محل وصله نباید در محدوده $\frac{1}{3}$ میانی دهانه واقع شود.

ث- استفاده از جوش در وصله‌ها

در صورت استفاده از جوش برای وصله‌ی تیرها، باید از استفاده از ورق اتصال اجتناب کرد. بال‌ها و جان‌ها باید با استفاده از جوش شیار لیب‌لب با نفوذ کامل متصل گردند. درز بال و جان نیز باید حداقل ۲۵۰ میلی‌متر فاصله داشته باشند.

۱۰-۱-۶- وصله اعضای فشاری

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

ب: 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 وصله‌ها متقارن باشد.

۱۰-۱-۷- وصله اعضای کششی

الف: اعضای کششی را می‌توان 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 می‌شود، 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 می‌گردد.

۱۰-۱-۸- وصله‌های جوشی

الف: اعضای فشاری و کششی را می‌توان 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 لبه‌های 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 ۱۰-۲-۱۰ باید مراعات گردد.

۱۰-۱-۹- ورق‌های پرکننده در اتصال‌های جوشی

در محل وصله‌ی اعضا، ورق‌های پرکننده باید الزامات عمومی زیر را تامین نمایند:

الف) در اتصال‌های جوشی، در صورتی که فاصله‌ی بین وجه داخلی ورق وصله و وجه خارجی قطعه‌ی با ابعاد کوچک‌تر، مساوی یا کمتر از ۲ میلی‌متر باشد، نیازی به تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده نبوده، لیکن بعد محاسباتی جوش باید به اندازه‌ی فاصله‌ی خالی افزایش یابد.

ب) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها مساوی و کمتر از ۶ میلی‌متر است یا ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت مساوی یا بزرگ‌تر از ۶ میلی‌متر که توانایی انتقال نیروی ورق وصله را به ستون فوقانی ندارند، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود و بعد جوش باید حداقل مساوی مجموع بعد جوش جهت انتقال نیروی وصله به اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

پ) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها بیش از ۶ میلی‌متر بوده و توانایی لازم جهت انتقال نیروی وصله را دارند، باید از لبه‌های ورق وصله به اندازه‌ی کافی ادامه یابند و به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، جوش شوند. جوش ورق‌های پرکننده به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، باید برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد. همچنین، بعد جوش‌هایی که ورق‌های وصله را به ورق‌های پرکننده متصل می‌کنند، باید متناسب با ضخامت ورق پرکننده بوده و برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشند. در ضمن ورق‌های پرکننده باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر تسلیم برشی، گسیختگی برشی و برش قالبی باشند.

تبصره: در صورتی که ابعاد مقاطع وصله شونده اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته و در محل وصله نیازمند تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت بزرگ باشند، در این صورت توصیه می‌شود اعضا قبل از محل وصله‌ی کارگاهی، در کارخانه هم اندازه شده و از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل به یکدیگر متصل شوند تا در هنگام نصب نیازی به تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده نباشد.

۱۰-۱-۱۰- ورق‌های پرکننده در اتصال‌های پیچی

الف: 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 می‌آید. می‌توان وسایل اتصال اضافی را در محدوده ورق اتصال قرارداد و ورق پرکننده را ادامه داد. 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 صورتی که 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، نمی‌تواند بیش از دو عدد باشد.

ت: توصیه می‌شود با انتقال تدریجی مقطع، تا حد امکان از ورق‌های پرکننده استفاده نشود.

۱۰-۱۱- جزئیات وصله

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

۱۰-۱۲- اتصالات ساده

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

۱۰-۱۳- ظرفیت مجاز برش قالبی

ظرفیت مجاز برشی قالبی موجود در اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا، نظیر انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در حالت‌هایی که ممکن است به علت برش در سطحی که از اجزای اتصال یا ناحیه‌ی تاثیرپذیر اعضا می‌گذرد و یا مطابق اشکال ۱۰-۲-۲ و ۱۰-۲-۳ به علت اثر ترکیب برش و کشش در دو سطح متعامد در آنها خرابی اتفاق افتد، طبق رابطه‌ی زیر می‌باشد:

$$R = R_p [\min(0.3F_y A_{gv} \text{ و } 0.3F_u A_{nv}) + 0.5U_{bs}F_u A_{nt}] \quad (۱۰-۱-۳)$$

که در آن:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت اثر برش در راستای نیروی وارده

A_{nt} = سطح مقطع خالص تحت اثر کشش در راستای عمود بر نیروهای وارده

A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت اثر برش در راستای نیروی وارده

F_y = تنش تسلیم مشخصه‌ی فولاد

F_u = تنش کششی نهایی مشخصه‌ی فولاد

U_{bs} = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع

غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. (شکل ۱۰-۲-۳).

R_p = مساوی ۰/۹ اگر سوراخ توسط دستگاه ضربه‌زن ایجاد شده باشد و مساوی ۱ اگر توسط دریل انجام شده باشد.

۱۰-۱-۱۴- اتصال انتهایی دیافراگم‌ها و مهاربندی‌های عرشه

ورق‌هایی که برای اتصال دیافراگم‌ها و مهاربندی عرشه به تیرهای عرشه به کار می‌روند، باید به هر دو بال تیرهای عرشه جوش شوند.

۱۰-۱-۱۵- غلتک‌ها

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

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

$$p = \frac{F_y - 900}{1400} 42d \quad (۴-۱-۱۰)$$

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

$$p = \frac{F_y - 900}{1400} 335\sqrt{d} \quad (۵-۱-۱۰)$$

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)

۱۰-۲- قسمت دوم- طراحی به روش LRFD

۱۰-۲-۱- مقاومت کششی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا

مقاومت کششی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا مساوی ϕR_n می باشد که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) و R_n (مقاومت کششی اسمی اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا) براساس کوچک ترین مقدار به دست آمده از حالت های حدی تسلیم و گسیختگی کششی به شرح زیر است:

(الف) حالت حدی تسلیم کششی در مقطع کلی

$$R_n = F_y A_g \quad (۱۰-۲-۱)$$

$$\phi = 0.9$$

(ب) حالت حدی گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر

$$R_n = F_u A_e \quad (۱۰-۲-۲)$$

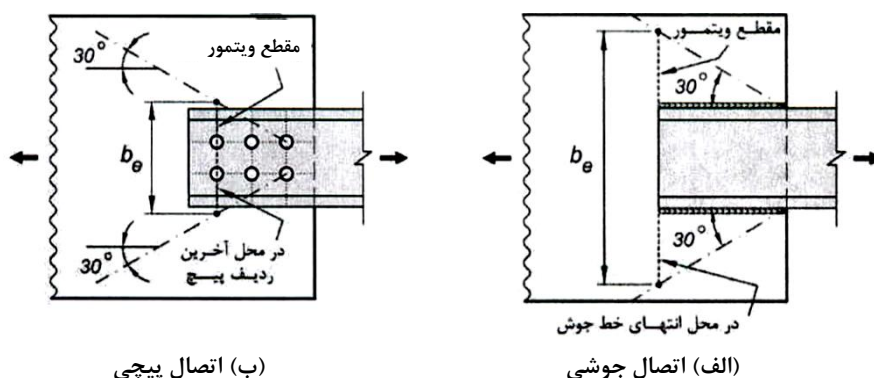
$$\phi = 0.75$$

که در آن:

A_g و A_e = به ترتیب سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص موثر (مطابق فصل اعضای کششی)

F_y و F_u = به ترتیب تنش تسلیم مشخصه و تنش کششی نهایی مشخصه فولاد

تبصره: در تعیین سطح مقطع های فوق، پهنای مقطع جزء اتصال نباید از پهنای ویتمور مطابق شکل ۱۰-۲-۱ بزرگ تر در نظر گرفته شود. اگر پهنای ویتمور خارج از پهنای ورق اتصال قرار گیرد، پهنای ورق اتصال ملاک محاسبه خواهد بود.



شکل ۱۰-۲-۱- پهنای ویتمور در محل اتصال اعضا به ورق اتصال (ورق گاست)

۱۰-۲-۲- مقاومت برشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا

مقاومت برشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا مساوی ϕR_n بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) و R_n (مقاومت برشی اسمی اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا) براساس کوچک ترین مقدار به دست آمده از حالت های حدی تسلیم و گسیختگی برشی، به شرح زیر تعیین می شوند:

الف) حالت حدی تسلیم برشی در مقطع کلی

$$R_n = 0.6F_y A_{gv} \quad (۳-۲-۱۰)$$

$$\phi = 1.00$$

ب) حالت حدی گسیختگی برشی در مقطع خالص

$$R_n = R_p 0.6F_u A_{nv} \quad (۴-۲-۱۰)$$

$$\phi = 0.75$$

در روابط فوق:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت اثر برش

A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت اثر برش برای اتصالات پیچی و سطح مقطع کلی تحت اثر برش برای اتصالات جوشی

F_y و F_u = به ترتیب تنش تسلیم مشخصه و تنش کششی نهایی مشخصه فولاد

R_p = ضریب روش ایجاد سوراخ پیچ، مساوی ۰/۹ برای سوراخ ایجاد شده توسط دستگاه ضربه‌زن و ۱ برای سوراخ ایجاد شده توسط دریل.

۳-۲-۱۰- مقاومت برش قالبی

مقاومت برشی قالبی موجود در اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا، نظیر اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در حالت‌هایی که ممکن است به علت برش در سطحی که از اجزای اتصال یا ناحیه‌ی تاثیرپذیر اعضا می‌گذرد و یا مطابق شکل‌های ۲-۲-۱۰ و ۳-۲-۱۰ به علت اثر ترکیبی برش و کشش در دو سطح متعامد در آن‌ها خرابی اتفاق افتد، مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، و R_n (مقاومت برش قالبی اسمی) مطابق رابطه‌ی زیر است:

$$R_n = R_p \left[\min 0.58F_y A_{gv}, 0.58F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \right] \quad (۵-۲-۱۰)$$

$$\phi = 0.75$$

که در آن:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت اثر برش در راستای نیروی وارده

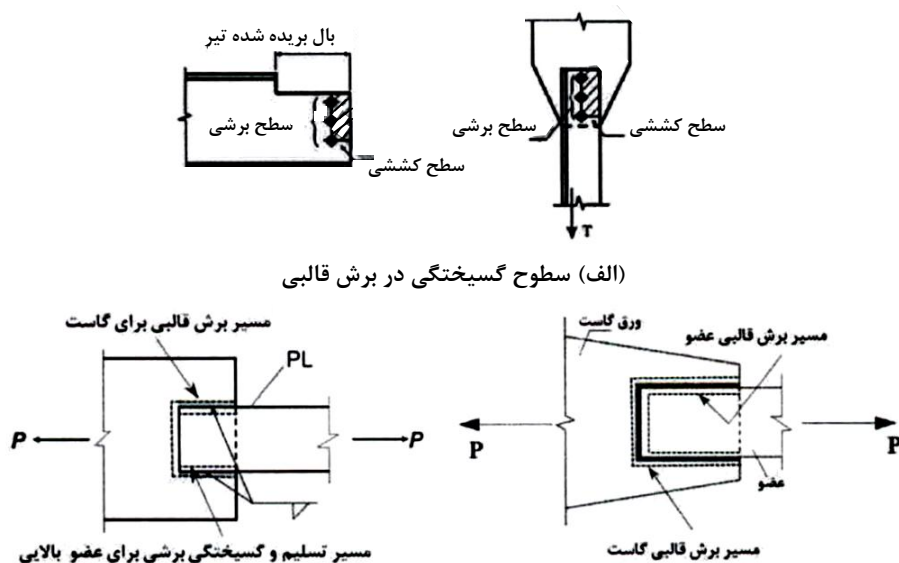
A_{nt} = سطح مقطع خالص تحت اثر کشش در راستای عمود بر نیروهای وارده

A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت اثر برش در راستای نیروی وارده

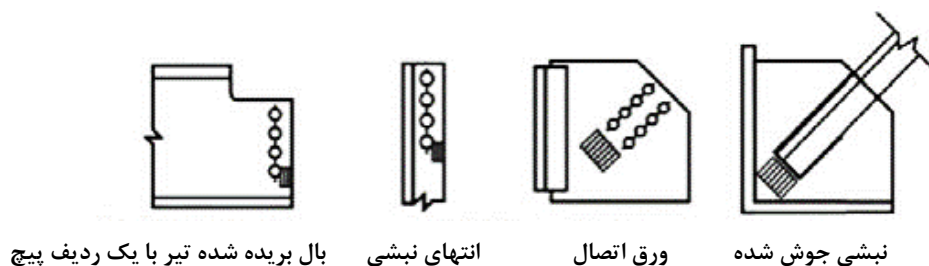
F_y = تنش تسلیم مشخصه فولاد

F_u = تنش کششی نهایی مشخصه فولاد

U_{bs} = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی 0.5 در نظر گرفته می‌شود. (شکل ۱۰-۲-۳).
 R_p = مساوی ۰/۹ اگر سوراخ توسط دستگاه ضربه‌زن ایجاد شده باشد و مساوی ۱ اگر توسط دریل انجام شده باشد.



(ب) برخی دیگر از حالت‌های گسیختگی برش قالبی
 شکل ۱۰-۲-۲-۲- حالت‌های مختلف گسیختگی برشی قالبی



(۱) حالت‌های $U_{bs} = 1.0$

بال بریده شده تیر با دو ردیف پیچ

(۲) حالت‌های $U_{bs} = 0.5$

شکل ۱۰-۲-۳- ضریب U_{bs} در حالت‌های مختلف

۱۰-۲-۴- مقاومت فشاری موجود اجزای اتصال دهنده

مقاومت فشاری موجود اجزای اتصال دهنده مساوی ϕR_n بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، و R_n (مقاومت فشاری اسمی اجزای اتصال دهنده) براساس کوچک‌ترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم و کمانش به شرح زیر تعیین می‌شوند:

الف) در صورتی که $KL/r \leq 25$ باشد:

$$P_n = F_y A_g \quad (۱۰-۲-۶)$$

$$\phi = 0.9$$

که در آن:

A_g = سطح مقطع کلی اجزای اتصال دهنده

F_y = تنش تسلیم مشخصه فولاد

K = ضریب طول موثر اجزای اتصال دهنده که عموماً مقدار آن برابر واحد در نظر گرفته می‌شود.

L = طول مهار نشده اجزای اتصال دهنده برابر با طولی از جزء اتصال بوده که از انتهای اتصال عضو به گاست در راستای محور طولی مار بر مرکز سطح عضو تا محل اتصال ورق گاست به تکیه‌گاه اندازه‌گیری می‌شود.

ب) برای حالتی که $KL/r > 25$ است، مقاومت فشاری اجزای اتصال دهنده باید براساس الزامات فصل اعضای فشاری تعیین شود.

تبصره: سطح مقطع کلی اجزای اتصال دهنده، باید مطابق شکل ۱۰-۲-۱ براساس پهنای ویتور در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۴- مقاومت خمشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا

مقاومت خمشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تاثیرپذیر اعضا باید براساس کوچک‌ترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم خمشی، گسیختگی خمشی، کمانش موضعی و کمانش جانبی-پیچشی، تعیین شود.

۱۰-۲-۵- مقاومت اتکایی موجود برای سطوح صاف

مقاومت اتکایی موجود سطوح متکی به هم مساوی ϕR_n بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، و R_n (مقاومت اتکایی اسمی سطوح متکی به هم) براساس حالت حدی اتکایی (تسلیم فشاری موضعی) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$\phi = 0.75$$

برای سطوح صاف و آماده شده، جدار سوراخ‌های ایجاد شده برای پین‌ها و انتهای سخت‌کننده‌های کاملاً جفت شده در تماس با جزء فولادی:

$$P_n = 1.8 F_y A_{pb} \quad (۱۰-۲-۷)$$

که در آن:

F_y = تنش تسلیم مشخصه ی فولاد

A_{pb} = تصویر سطح اتکاء

۱۰-۲-۶- مقاومت اتکایی

برای کفشک های تکیه گاهی مقاومت اتکایی بر واحد طول تماس مساوی ϕp_n می باشد که $\phi = 0.75$ و p_n طبق روابط زیر است:

۱- در صورتی که $d \leq 650 \text{ mm}$ باشد.

$$p_n = \frac{F_y - 900}{1400} 84d \quad (۸-۲-۱۰)$$

۲- در صورتی که $650 \text{ mm} \leq d \leq 3200 \text{ mm}$ باشد.

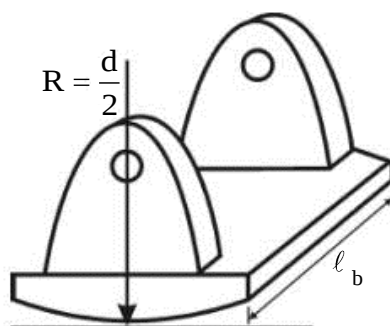
$$p_n = \frac{F_y - 900}{1400} 670\sqrt{d} \quad (۹-۲-۱۰)$$

در روابط فوق:

F_y = تنش تسلیم مشخصه ی فولاد بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

d = قطر کفشک بر حسب سانتی متر

R_n = مقاومت اتکایی اسمی بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر طول تماس



l_b = طول تماس

شکل ۱۰-۲-۴- کفشک های تکیه گاهی

۱۰-۲-۷- کف ستون ها، ورق های نشیمن و فشار مستقیم بر مصالح بنایی

مقاومت اتکایی موجود برای مصالح مختلف تکیه گاهی مساوی $\phi_c P_p$ بوده که در آن ϕ_c (ضریب کاهش مقاومت)، و P_p (مقاومت اتکایی اسمی) براساس حالت حدی خردشدگی مصالح تکیه گاهی به شرح زیر تعیین می شوند:

$$\phi_c = 0.65$$

الف) فشار مستقیم روی تکیه‌گاه مصالح بنایی یا سنگ آهکی یا ماسه سنگ متراکم و ماسه سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (10-2-10)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکاء در تماس با تکیه‌گاه برحسب میلی‌متر مربع

F_p = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۶۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

ب) فشار مستقیم برروی تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (11-2-10)$$

که در آن:

A_p = سطح اتکاء در تماس با تکیه‌گاه برحسب میلی‌متر مربع

F_p = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

پ) فشار مستقیم برروی تکیه‌گاه بتنی.

۱۰-۲-۸- کف ستون‌ها و ورق‌های نشیمن و فشار مستقیم بر بتن

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \quad (12-2-10)$$

f'_c = تنش فشاری مشخصه‌ی نمونه‌ای استوانه‌ای بتن

A_1 = سطح ورق کف ستون یا ورق نشیمن در تماس با تکیه‌گاه بتنی

۱۰-۲-۹- میل‌مهارهای کف ستون و اقلام مدفون

الف) میل‌مهارهای کف ستون

میل‌مهارها از نظر کشش، برش و آثار توام آن‌ها باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر نیروهای حاصل از ترکیب‌های مختلف بارگذاری باشند. مقاومت کششی و برشی موجود میل‌مهارها مطابق ضوابط میله‌های دندانه شده (فصل نهم) تعیین می‌شود. طراحی میل‌مهارها برای برش می‌تواند به صورت اتکایی و با شرایط سفتی کامل صورت گیرد. در پایه‌ی پل‌ها توصیه می‌شود میله‌مهارها بصورت دو مهره باشند و مهره‌ها به صفحه‌ی پای پایه جوش شوند تا از باز کردن احتمالی آنها اجتناب شود.

(ب) اقلام مدفون

اجزای بتنی سازه باید طوری طراحی شود که به طور ایمن نیروهای حاصل از اقلام مدفون را با حاشیه‌ی اطمینان کافی و با رعایت جزئیات خاص و مصالح مناسب تحمل نماید؛ به نحوی که اطمینان حاصل گردد که مقاومت اقلام مدفون در اثر گسیختگی‌ها در سازه‌ی بتنی کاهش پیدا نکند. مقاومت‌های موجود اجزای بتنی سازه باید براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و مقاومت‌های موجود اجزای فولادی باید براساس الزامات این مبحث تعیین شود.

۱۰-۲-۱۰- وصله‌های پیچی

۱- وصله‌ی پیچی اعضای اصلی تحت فشار و کشش محوری در حالات حدی مقاومت باید برای بزرگترین نیروی دو حالت زیر طراحی شود:

الف- متوسط نیروی محوری داخلی ضربیدار در محل وصله و ظرفیت محوری ضربیدار مقطع (ضرب شده در ϕ) در همان نقطه.

ب- ۷۵ درصد ظرفیت محوری ضربیدار عضو کوچکتر در محل وصله.

۲- وصله‌ی پیچی اعضای اصلی تحت نیروهای ترکیبی به استثنای وصله‌های اعضای خمشی در حالت حدی مقاومت باید برای بزرگترین دو حالت زیر طراحی شوند.

الف- نیروهای داخلی محاسبه شده تحت بارهای ضربیدار.

ب- ۷۵ درصد ظرفیت محوری ضربیدار مقطع در همان نقطه.

۳- وصله‌های پیچی. اعضای فرعی مثل دیافراگم‌ها، مهاربندهای جانبی عرشه و موارد مشابه باید برای حداقل ۷۵ درصد ظرفیت اعضای مهاربندی طراحی شوند. در صورتی که در مدلسازی سه‌بعدی این اعضا تحت نیروی محاسباتی قرار گیرند (مثل پل‌های خمیده در افق)، می‌توان آنها را برای نیروهای ضربیدار حاصل از تحلیل طراحی نمود.

۴- وصله‌های خمشی پیچی

- وصله‌های خمشی در تیرهای پیوسته باید در محل نقطه عطف تیر تحت بارهای مرده قرار گیرند. در دهانه‌های ساده محل وصله نباید در محدوده‌ی $\frac{1}{3}$ میانی دهانه قرار گیرد.
- در هر طرف درز در بال و جان حداقل باید دو ردیف پیچ قرار داشته باشد.
- از سوراخ‌های بزرگ شده و یا لوبیایی نمی‌توان استفاده شود.
- در وصله‌های پیچی باید از پیچ‌های حساس به لغزش تحت بارهای بهره‌برداری و اتکایی پیش‌تنیده تحت بارهای ضربیدار نهایی استفاده نمود.

- برای وصله‌ی بال، از ظرفیت تسلیم ورق بال کوچکتر، در دو طرف درز استفاده می‌شود:

$$P_{fy} = F_{yf} A_e \quad (۱۳-۲-۱۰)$$

که در آن:

A_e = سطح مقطع موثر بال کوچکتر در طرفین درز

$$A_e = \left(\frac{\phi_u F_u}{\phi_y F_{yf}} \right) A_n \leq A_g \quad (۱۴-۲-۱۰)$$

ϕ_u = ضریب تقلیل ظرفیت شکست اعضای کششی

ϕ_y = ضریب تقلیل ظرفیت تسلیم اعضای کششی

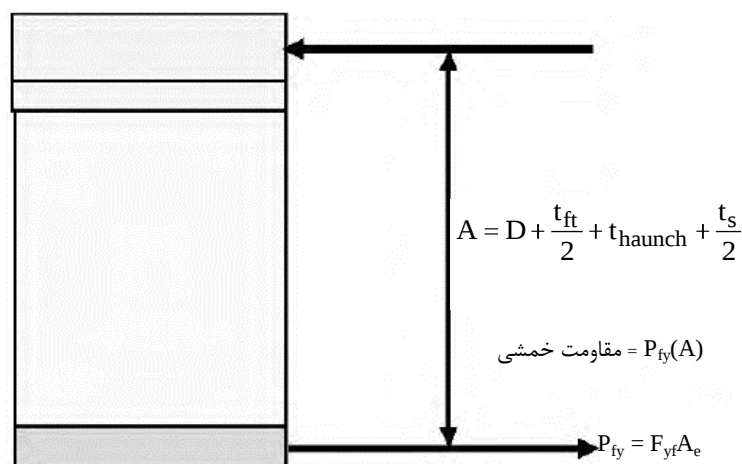
A_n = سطح مقطع خالص بال

A_g = سطح مقطع کلی بال

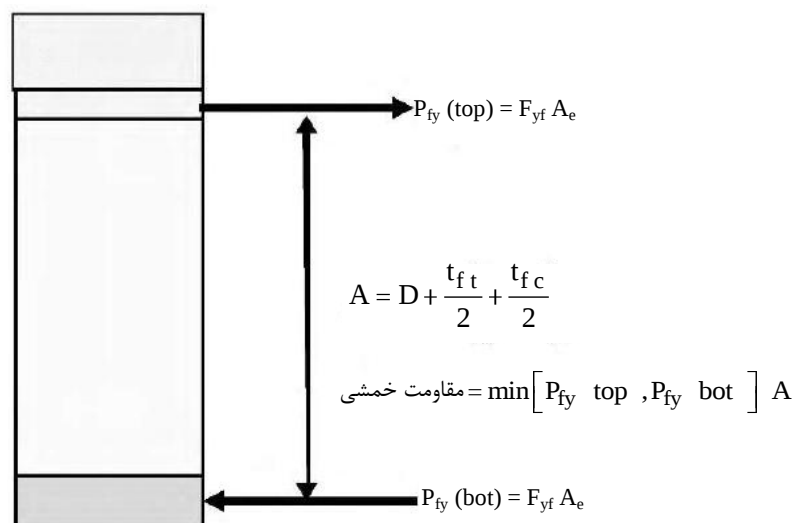
F_u = تنش نهایی فولاد بال

F_{yf} = تنش تسلیم فولاد بال

- بعد از محاسبه‌ی وصله، ظرفیت خمشی مقطع در محل وصله محاسبه می‌شود. روش محاسبه با استفاده از قانون اهرم مطابق اشکال (۵-۲-۱۰) و (۶-۲-۱۰) انجام می‌شود. باقیمانده ظرفیت خمشی نیز به جان داده می‌شود.



شکل ۵-۲-۱۰ - محاسبه‌ی لنگر مقاوم بال برای مقطع مختلط تحت خمش مثبت



شکل ۱۰-۲-۶- محاسبه‌ی لنگر مقاوم بال برای مقطع مختلط تحت لنگر منفی برای مقطع فولادی تنها

وصله‌ی جان

وصله‌ی جان باید برای مقاومت برشی ضریب‌دار جان ($V_r = \phi_v V_n$) کوچکتر دو طرف درز طراحی شود. در صورتیکه اتصال بال لنگر لازم برای لنگر خمشی ضریب‌دار مقطع را تامین نکند، باقیمانده لنگر باید توسط جان محاسبه شود:

$$M_w = M_u - M_{\text{flange}} \quad (10-2-15)$$

(ظرفیت خمشی بال) - (لنگر ضریب‌دار در محل درز وصله) = M_w (لنگر خمشی سهم جان)

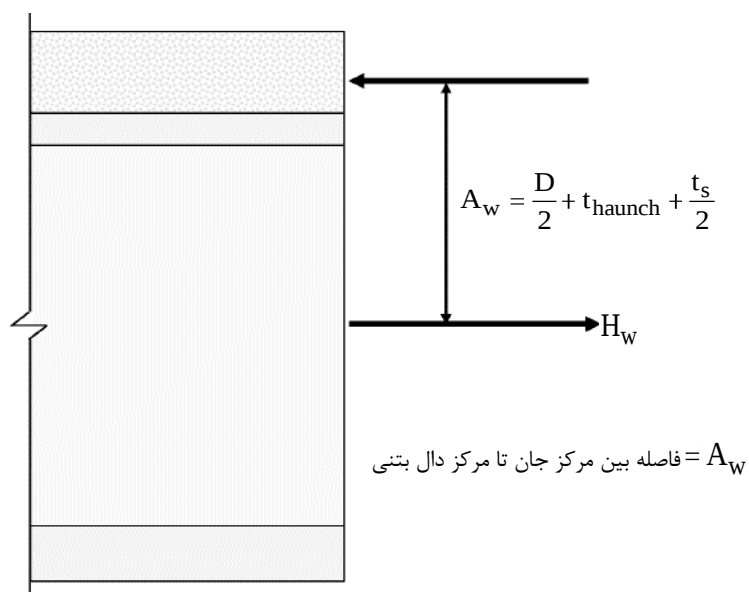
نیروی افقی ناشی از حرکت لنگر خمشی سهم جان مطابق اشکال ۱۰-۲-۷ و ۱۰-۲-۸ حاصل می‌شود.

به روش دیگر، سهم لنگر خمشی جان را می‌تون از رابطه‌ی زیر محاسبه نمود.

$$M_w = \frac{I_w}{I_{\text{کل}}} \times M_u \quad (10-2-16)$$

$$I_w = \text{ممان اینرسی جان}$$

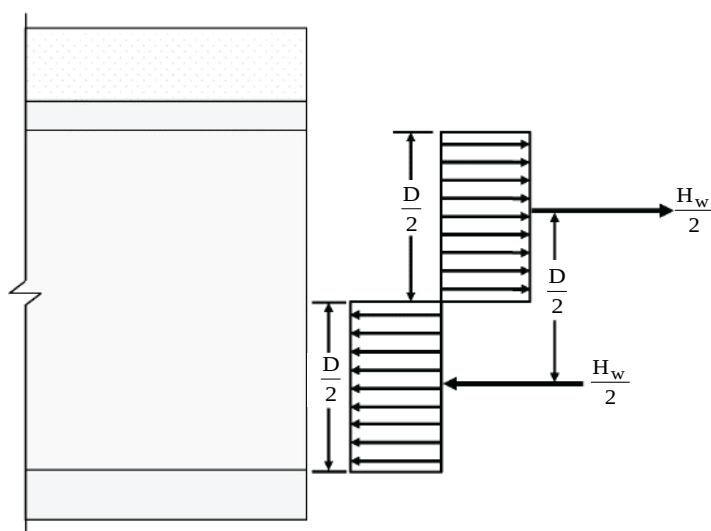
$$I_{\text{کل}} = \text{ممان اینرسی کل مقطع}$$



$$\text{لنگر جان} = H_w A_w$$

$$H_w = \frac{\text{لنگر جان}}{A_w} \quad (۱۰-۲-۱۷-الف)$$

شکل ۱۰-۲-۷- محاسبه‌ی نیروی افقی در جان (H_w) برای مقطع مختلط تحت خمش



$$\text{لنگر جان} = \frac{H_w}{2} \left(\frac{D}{2} \right)$$

$$H_w = \frac{\text{لنگر جان}}{D/4} \quad (۱۰-۲-۱۷-ب)$$

شکل ۱۰-۲-۸- محاسبه‌ی نیروی افقی در جان (H_w) برای مقطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر خمشی منفی برای مقطع فولادی تنها

۱۰-۲-۱۱- ورق‌های پرکننده در اتصال‌های پیچی

در وصله‌ی اعضای کششی و خمشی، در وصله‌ی بال در صورت استفاده از ورق پرکننده باید شرایط زیر تامین شود.

۱. در صورتیکه ضخامت ورق پرکننده مساوی یا کمتر از ۶ میلیمتر باشد، لبه‌های ورق پرکننده و ورق وصله باید همباد شوند.

۲. در صورتیکه ضخامت ورق پرکننده بیش از ۶ میلیمتر باشد، این ورق باید از لبه‌های ورق وصله ادامه یابد و قسمت ادامه یافته باید به کمک پیچ‌های اضافی به منظور انتقال سهم ورق پرکننده، به عضو متصل شود.

۳. به جای روش فوق، می‌توان از ادامه دادن ورق پرکننده صرف‌نظر نمود، و به جای آن ظرفیت برشی پیچ‌ها را با استفاده از ضریب زیر کاهش داد:

$$R = \left[\frac{1 + \gamma}{1 + 2\gamma} \right] \quad (10-2-18)$$

$$\gamma = \frac{A_f}{A_p} \quad (10-2-19)$$

A_f = سطح مقطع ورق یا ورق‌های پرکننده

A_p = کوچکترین سطح مقطع ورق اتصال یا قطعه‌ی اتصال‌یافته

در صورت استفاده از پیچ‌های حساس به لغزش، دستورات لازم در قسمت پیچ‌های حساس به لغزش ارائه شده است. تنش تسلیم ورق پرکننده نباید از ۷۰ درصد تنش تسلیم قطعات متصل شده یا 2400 kg/cm^2 کمتر شود.

۱۰-۲-۱۲- وصله‌های جوشی

۱۰-۲-۱۲-۱- وصله‌های جوشی اعضای فشاری یا کششی

وصله‌های جوشی اعضای فشار یا کششی می‌تواند به کمک ورق‌های اتصال مطابق قوانین بند ۱۰-۲-۱۰ و یا جوش شیاری لب‌به‌لب با نفوذ کامل (CJP) صورت بگیرد.

۱۰-۲-۱۲-۲- وصله‌ی جوشی اعضای خمشی

اتصال جوشی اعضای خمشی فقط به کمک جوش شیاری لب‌به‌لب با نفوذ کامل (CJP) صورت می‌گیرد و استفاده از ورق‌های اتصال مجاز نیست. درز جوش‌های بال و جان نباید در یک مقطع انجام شود و حداقل باید ۲۵۰ میلیمتر با یکدیگر فاصله داشته باشند. در صورتیکه عرض قطعات متصل شوند، یکسان نباشد، باید طول انتقال مطابق شکل ۱۰-۲-۱۰ برای تبدیل عرض قطعات متصل شونده در نظر گرفته شود.

در صورت یکسان نبودن ضخامت ورق‌ها، باید تبدیل ضخامت با شیب ۲/۵ به ۱ صورت پذیرد.

۱۰-۲-۱۳- ورق‌های پرکننده در وصله‌های جوشی

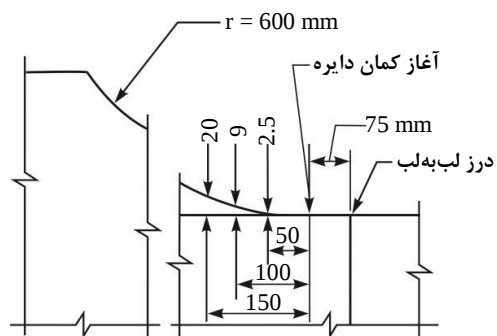
در محل وصله‌ی اعضا، ورق‌های پرکننده باید الزامات عمومی زیر را تامین نمایند:

الف) در اتصالات جوشی، در صورتی که فاصله‌ی بین وجه داخلی ورق وصله و وجه خارجی قطعه‌ی با ابعاد کوچک‌تر، مساوی یا کمتر از ۲ میلی‌متر باشد، نیازی به تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده نبوده، لیکن بعد محاسباتی جوش باید به اندازه‌ی فاصله‌ی خالی افزایش یابد.

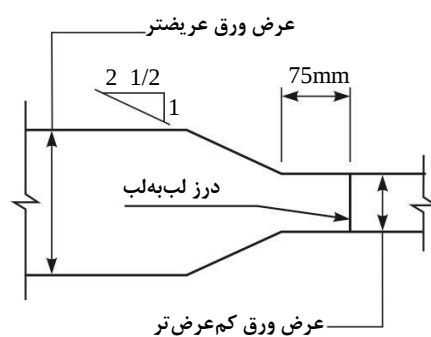
ب) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر است یا ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت مساوی یا بزرگ‌تر از ۶ میلی‌متر که توانایی انتقال نیروی ورق وصله را به ستون فوقانی ندارند، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود و بعد جوش باید حداقل مساوی مجموع بعد جوش جهت انتقال نیروی وصله به اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

پ) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها بیش از ۶ میلی‌متر بوده و توانایی لازم جهت انتقال نیروی وصله را دارند، باید از لبه‌های ورق وصله به اندازه‌ی کافی ادامه یابند و به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، جوش شوند. جوش ورق‌های پرکننده به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، باید برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد. همچنین، بعد جوش‌هایی که ورق‌های وصله را به ورق‌های پرکننده متصل می‌کنند، باید متناسب با ضخامت ورق پرکننده بوده و برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشند. در ضمن ورق‌های پرکننده باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر تسلیم برشی، گسیختگی برشی و برش قالبی باشند.

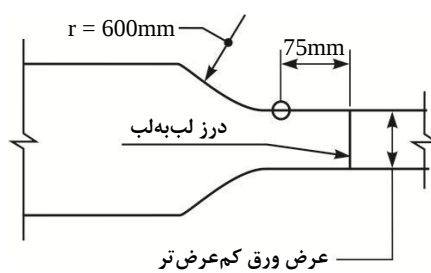
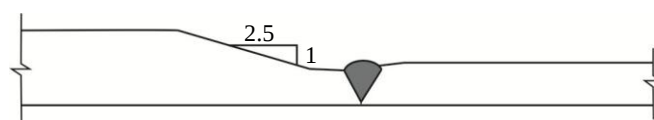
تبصره: در صورتی که ابعاد مقاطع وصله شونده اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته و در محل وصله نیازمند تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت بزرگ باشند، در این صورت توصیه می‌شود اعضا قبل از محل وصله‌ی کارگاهی، در کارخانه هم اندازه شده و از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل به یکدیگر متصل شوند تا در هنگام نصب نیازی به تعبیه‌ی ورق‌های پرکننده نباشد.



(الف) جزئیات تبدیل عرض



(ب) تبدیل با خط مستقیم

(پ) تبدیل با کمان $r = 600 \text{ mm}$ 

تبدیل ضخامت

شکل ۱۰-۲-۱۰

۱۰-۲-۱۴- اتصالات صلب

کلیات

اتصال صلب باید برای انتقال نیروهای داخلی ضریب‌دار شامل لنگر خمشی، نیروی محوری و نیروی برشی طراحی شود.

جان

ضخامت جان سخت‌نشده باید رابطه‌ی زیر را برآورده نماید:

$$t_w \geq \sqrt{3} \left(\frac{M_c}{\phi_v F_y d_b d_c} \right) \quad (20-2-10)$$

که در آن:

F_y = تنش تسلیم فولاد جان

M_c = لنگر ستون به علت بارهای ضریب‌دار

d_b = ارتفاع مقطع تیر

d_c = ارتفاع مقطع ستون

ϕ_v = ضریب تقلیل مقاومت برشی ($\phi_v = 1$)

در صورتیکه ضخامت جان کمتر از مقدار فوق باشد، باید با استفاده از ورق تقویتی یا استفاده از سخت‌کننده‌ی قطری کمبود ضخامت فوق را جبران نمود.

در محل اتصال صلب تیر به ستون قاب اگر ضخامت‌های زیر تامین نشود، لازم است در مقابل بال فشاری و بال کششی تیر یک جفت سخت‌کننده در جان ستون تامین شود:

الف: ضخامت جان ستون در مقابل بال فشاری تیر

$$t_w = \frac{A_f}{t_b + 5k} \quad (21-2-10)$$

ب: در مقابل بال کششی تیر

$$t_c = 0.4 \sqrt{A_f} \quad (22-2-10)$$

که در روابط فوق:

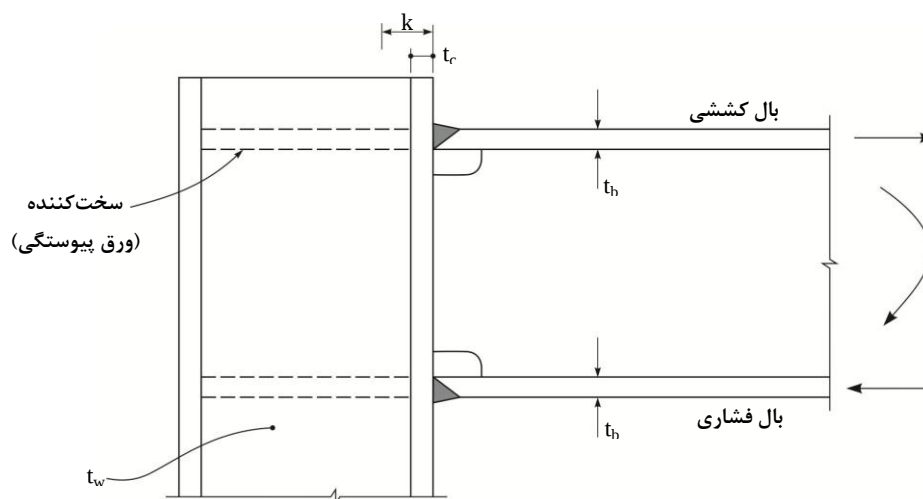
A_f = مساحت بال فشاری یا کششی تیر

k = فاصله سطح خارجی بال ستون تا آغاز گردی محل اتصال جان به بال ستون

t_b = ضخامت بال تیر

t_c = ضخامت بال ستون

توصیه می شود که در مقابل بال کششی و بال فشاری تیر همواره سخت کننده قرار داده شود.



شکل ۱۰-۲-۱۱

۱۰-۲-۱۵- نکات تکمیلی

در اتصالات مهاربندها، از برون محوری اجتناب نمایید و محور اعضا در محل اتصال باید همگرا باشند. در صورت وجود هرگونه برون محوری، باید در محاسبات منظور گردد.

در اتصالات تیرهای عرضی به شاهتیرهای اصلی، باید از نبشی زوج جان استفاده شود و ضخامت نبشی از ۱۰ میلی متر کمتر نشود. در صورت استفاده از نشیمن برای عملیات مونتاژ، تعداد پیچ های نبشی جان باید برای تمام برش طراحی شود.

در تیرهای خمیده در افق باید از سوراخ های استاندارد در اتصالات پیچی استفاده شود.

اتصالات انتهایی تیرهای عرضی (کف) به تیرهای اصلی باید به کمک پیچ انجام شود. در صورت استفاده از جوش، باید گیرداری ناشی از جوش منظور شود.

در اتصالات پیچی، بعد از سفت کردن پیچ ها باید قطعاتی که عاری از زنگ می باشند، بطور کامل طبق مشخصات رنگ آمیزی شوند.

۱۰-۲-۱۶- اتصالات حساس به لغزش

در موارد زیر باید از پیچ های حساس به لغزش تحت ترکیب بارهای بهره برداری II استفاده نمود.

- اتصالات تحت بارهای خستگی
- پیچ های تحت برش در سوراخ های بزرگ شده

- پیچ‌های تحت برش در سوراخ‌های لوبیایی کوتاه و بلند در امتدادی غیر از امتداد عمود بر محور شکاف لوبیایی.
- اتصالاتی که تحت بارهای خستگی معکوس قرار دارند.
- در اتصالاتی که در آنها از ترکیب جوش و پیچ استفاده می‌شود.
- در تمام اتصالاتی که طبق قضاوت مهندس طراح سازه، لغزش صفحات اتصال در عملکرد سازه تاثیر منفی دارد.
- در اتصال اعضای فشاری که در آن سوراخ استاندارد یا لوبیایی عمود بر محور نیرو، فقط در یکی از ورق‌های اتصال یا اجزای مقطع قرار دارد.

۱۰-۲-۱۷- اتصالات اتکایی

اتصالات اتکایی فقط در مورد اعضای فشاری و یا اتصالات اعضای مهاربند مجاز است.

توجه:

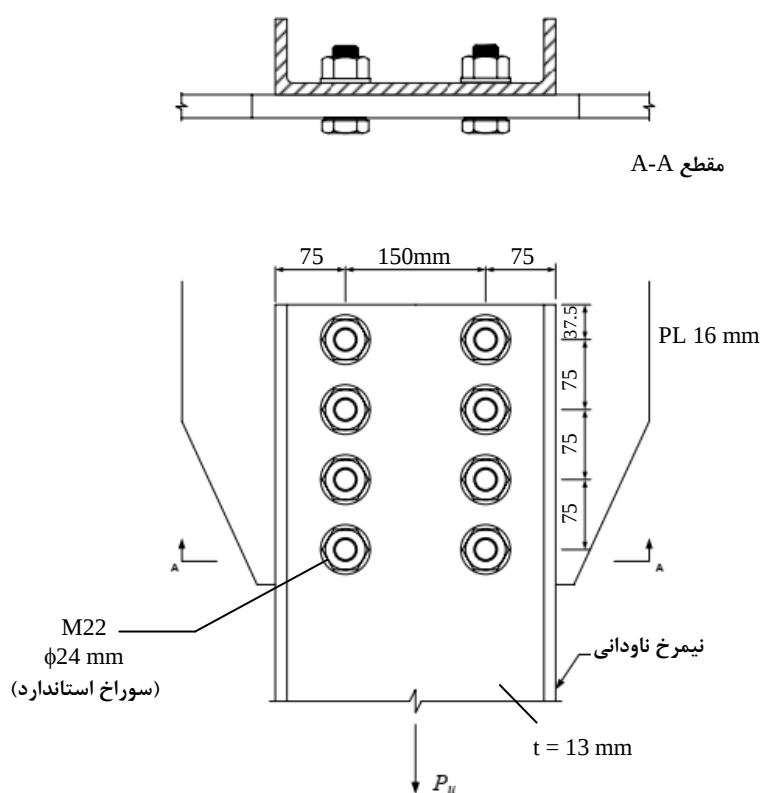
اتصالات پل‌ها با استفاده از پیچ‌های پیش‌تنیده، در ترکیب بارهای نهایی بصورت اتکایی طراحی شده و سپس تحت ترکیب بار بهره‌برداری II بصورت حساس به لغزش کنترل می‌شوند.

پیوست فصل دهم

مثال ۱-۱۰

مطلوبست تعیین ظرفیت کششی اتصال ناودانی نشان داده شده برحسب مود شکست برشی پیچ ها، لهیدگی پیچ ها و برش قالبی. هم چنین نیروی لازم برای لغزش اتصال را نیز محاسبه نمایید. پیچ ها به قطر ۲۲ میلیمتر از نوع A325 با $F_u = 8000 \text{ kg/cm}^2$ می باشد. برای فولاد داریم:

$$F_u = 4000 \text{ kg/cm}^2 \text{ و } F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$



شکل مثال ۱-۱۰

حل:

با فرض اینکه سطح برش در ناحیه ی دندانه شده رخ می دهد.

$$R_n = 0.45 A_b F_{ub} N_s$$

$$A_b = \left(\frac{\pi}{4} \right) 2.2^2 = 3.8 \text{ cm}^2$$

$$F_{ub} = 8000 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_s = 1 \text{ (پیچ یک برشه)}$$

$$R_n = 0.45 \cdot 3.8 \cdot 8000 \cdot 10^{-3} = 13.68 \text{ ton (برای یک پیچ)}$$

$$\phi R_n = 0.80 \quad 13.68 = 10.94 \text{ ton / پیچ}$$

$$\phi R_n = 8 \times 10.94 = 87.52 \text{ ton (برای ۸ پیچ)}$$

مقاومت لهیدگی

پیچ‌های داخلی - فشار لهیدگی بر جان ناودانی

$$L_c = 7.5 - 2 \times \frac{1}{2} \times 2.4 = 5.1 \text{ cm}$$

$$L_c = 5.1 > 2d = 4.4 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \times 2.2 \times 1.3 \times 4000 \times 10^{-3} = 27.5 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های داخلی - فشار لهیدگی بر ورق اتصال

$$L_c = 7.5 - 2 \times \frac{1}{2} \times 2.4 = 5.1 \text{ cm}$$

$$L_c = 5.1 \text{ cm} > 2d = 4.4 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \times 2.2 \times 1.6 \times 4000 \times 10^{-3} = 33.8 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های انتهایی - فشار لهیدگی بر جان ناودانی

$$L_c = 3.75 - \frac{1}{2} \times 2.4 = 2.55 \text{ cm}$$

$$L_c = 2.55 < 2d = 4.4 \text{ cm}$$

$$R_n = 1.2 L_c t F_u \quad R_n = 1.2 \times 2.55 \times 1.3 \times 4000 \times 10^{-3} = 15.9 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های انتهایی - فشار لهیدگی بر ورق اتصال

$$L_c = 3.75 - \frac{1}{2} \times 2.4 = 2.55 \text{ cm}$$

$$L_c = 2.55 < 2d = 3.75 \text{ cm}$$

$$R_n = 1.2 L_c t F_u \quad R_n = 1.2 \times 2.55 \times 1.6 \times 4000 \times 10^{-3} = 19.6 \text{ ton / پیچ}$$

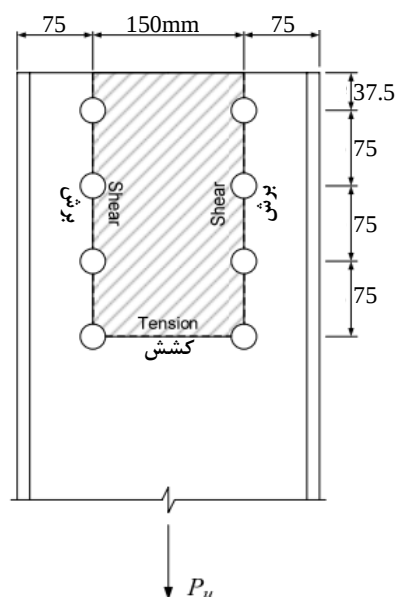
برای هشت پیچ داریم:

$$R_n = 2 \text{ bolts } 19.6 + 4 \text{ bolts } 27.5 + 2 \text{ bolts } 15.9 = 181 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \quad 181 = 144.8 \text{ ton}$$

مقاومت برشی قالبی

کنترل برشی قالبی در جان ناودانی



$$A_{tg} = 15 \cdot 1.3 = 19.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{tn} = \left[15 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2.4 \right] 1.3 = 16.38 \text{ cm}^2$$

$$A_{vg} = 2 \left[3.75 + 3 \cdot 7.5 \right] 1.3 = 68.25 \text{ cm}^2$$

$$A_{vn} = 2 \left[3.75 + 3 \cdot 7.5 - 3.5 \cdot 2.4 \right] 1.3 = 46.41 \text{ cm}^2$$

$$A_{tn} \stackrel{?}{\geq} 0.58 A_{vn}$$

$$16.38 \stackrel{?}{\geq} 0.58 \cdot 46.41 = 26.9 \quad \text{خیر}$$

$$\therefore R_n = 0.58 F_u A_{vn} + F_y A_{tg}$$

$$R_n = \left[0.58 \cdot 4000 \cdot 46.41 + 2500 \cdot 19.5 \right] \times 10^{-3} = 156.42 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \cdot 156.42 = 125.1 \text{ ton}$$

مقاومت برشی پیچ ها حاکم است. داریم:

$$\phi R_n = 87.52 \text{ ton}$$

کنترل ظرفیت لغزشی

$$R_n = K_h K_s N_s P_t$$

$$K_h = 1.00 \quad (\text{برای سوراخ استاندارد})$$

$$K_s = 0.33 \quad (\text{با فرض سطح کلاس A})$$

$$N_s = 1$$

$$P_t = 0.55 F_u A_b = 0.55 \times 8 \times 3.8 = 16.72$$

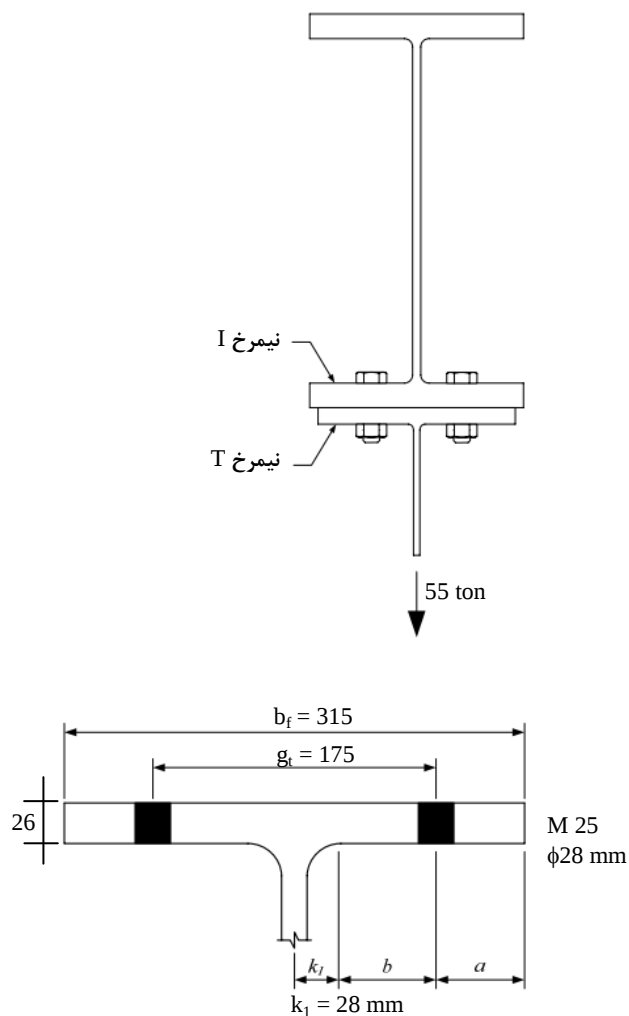
$$R_n = 1.00 \cdot 0.33 \cdot 1 \cdot 16.72 = 5.5 \text{ ton/m}$$

$$R_n = 8 \cdot 5.5 = 44 \text{ ton} \quad (\text{برای تمام پیچ ها})$$

مثال ۱۰-۲:

مطلوبست تعیین تعداد پیچ‌های ۲۵ میلیمتر آویز نشان داده شده در شکل.

پیچ $F_u = 8000 \text{ kg/cm}^2$



شکل مثال ۱۰-۲

حل:

$$Q_u = \left(\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{328} \right) P$$

$$b = \frac{g_t}{2} - k_1 = \frac{17.5}{2} - 2.8 = 5.95 \text{ cm}$$

$$a = \frac{1}{2} (b_f - g_t) = \frac{1}{2} (31.5 - 17.5) = 7 \text{ cm}$$

$$Q_u = \left(\frac{3}{8} \frac{5.95}{7} - \frac{2.6^3}{328} \right) P_u = 0.265 P_u$$

$$T_u = Q_u + P_u = 1.265 P_u = 1.265 \cdot 55 = 69.6 \text{ ton}$$

مقاومت کششی پیچ ها

$$T_n = 0.75 A_b F_{ub}$$

$$A_b = \left(\frac{\pi}{4} \right) 2.5^2 = 4.9 \text{ cm}^2$$

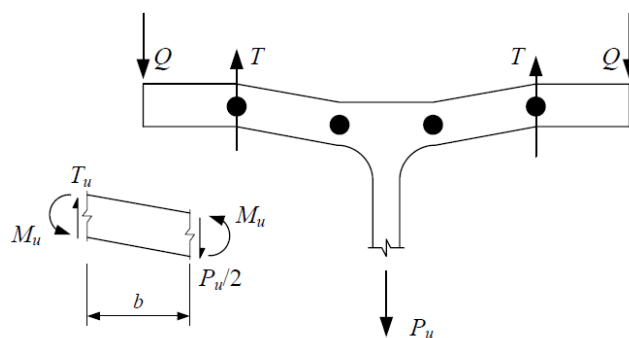
$$F_{ub} = 8000 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_n = 0.75 \cdot 4.9 \cdot 8000 \cdot 10^{-3} = 29.4 \text{ ton / پیچ}$$

$$\phi T_n = 0.80 \cdot 29.4 = 23.52 \text{ ton / پیچ}$$

$$(\text{برای } 4 \text{ پیچ}) = 4 \times 23.52 = 94.1 \text{ ton} > 69.6 \text{ ton}$$

کنترل بال سپری



$$\Sigma M \rightarrow 2M_u = \left(\frac{P_u b}{2} \right)$$

$$M_u = \left(\frac{55 \cdot 5.95}{4} \right) = 81.8 \text{ ton.cm}$$

$$\phi M_p \geq M_u \quad M_p = \frac{L t^2}{4} F_y = \left(\frac{20 \cdot 2.6^2}{4} \right) 3500 \cdot 10^{-3} = 118.3 \text{ ton.cm}$$

$$\phi M_p = 1.00 \cdot 118.3 = 118.3 \text{ ton.cm}$$

مثال ۱۰-۳

در مثال ۱۰-۲ با فرض دامنه‌ی نیروی کششی بدون ضریب ۲۷ تن، عمر خستگی پیچ ها را محاسبه نمایید.

حل:

برای ایمنی باید داشته باشیم:

$$\gamma \Delta f \leq \Delta f_n$$

$$\gamma \Delta f = \frac{\gamma \Delta P}{A_{bolts}} = \frac{0.75 \left[\frac{1.265}{4} \frac{27 \times 10^3}{4.9} \right]}{A_{bolts}} = 1307 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta F_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{\Delta F_{TH}}{2}$$

برای عمر بی‌نهایت (نامحدود):

$$\Delta F_n = \frac{\Delta F_{TH}}{2} = \frac{2170}{2} = 1085 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma \Delta f = 1307 > \Delta F_n = 1085 \text{ kg/cm}^2$$

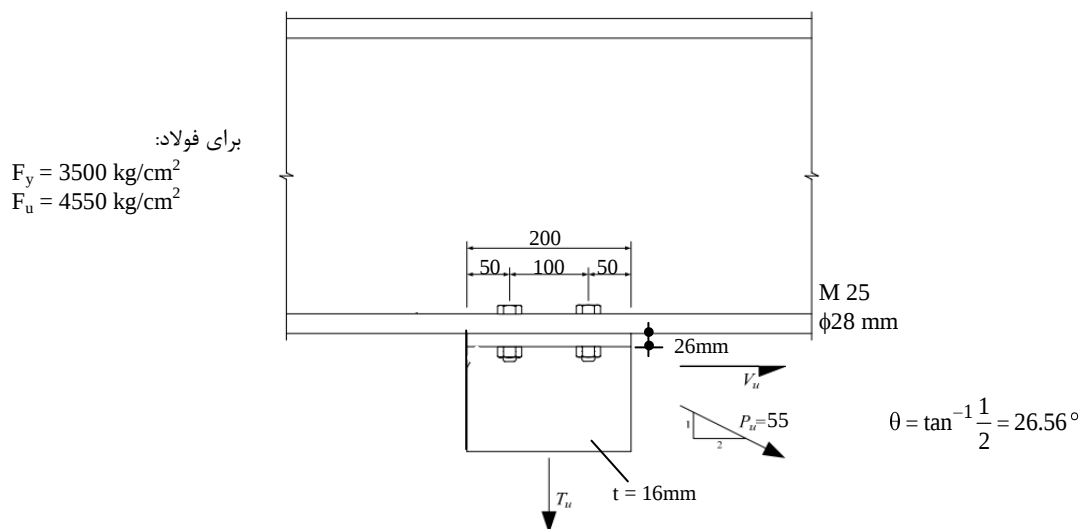
پس عمر پیچ‌ها محدود خواهد بود. برای عمر محدود داریم:

$$\gamma \Delta f \leq \Delta F_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N \leq \frac{A}{\gamma \Delta f^3} = \frac{5.865 \times 10^{14}}{1307^3} = 262,700 \text{ سیکل}$$

مثال ۴-۱۰:

در مثال قبل فرض کنید نیروی $P_u = 55 \text{ ton}$ تحت زاویه با شیب ۱ به ۲ اعمال شود. مطلوبست کنترل مجدد اتصال.



شکل مثال ۴-۱۰

$$V_u = P_u \cos \theta = 55 \times \cos 26.56^\circ = 49.2 \text{ ton}$$

$$V_u = \frac{49.2}{4} = 12.3 \text{ ton / پیچ}$$

$$T_u = P_u \sin 26.56^\circ = 24.6 \text{ ton}$$

$$T_u = \frac{24.6}{4} = 6.15 \text{ ton / پیچ}$$

با فرض عدم عبور صفحه‌ی برش از ناحیه‌ی دندان‌ه شده ظرفیت برشی برابر است با:

$$V_n = R_n = 0.45 A_b F_{ub} N_s$$

$$V_n = 0.45 \cdot 4.9 \cdot 8000 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 17.64 \text{ ton}$$

$$\frac{V_u}{V_n} = \frac{12.3}{17.64} = 0.7 \quad \therefore T_n = 0.75 A_b F_{ub} \sqrt{1 - \left(\frac{V_u}{\phi V_n} \right)^2}$$

$$T_n = 0.75 \cdot 4.9 \cdot 8000 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{12.3}{0.80 \cdot 17.64} \right)^2} \times 10^{-3} = 14.4 \text{ ton / پیچ}$$

$$\phi T_n = 0.80 \cdot 14.4 = 11.52 \text{ ton / پیچ}$$

$$\phi T_n = 11.52 > T_u = 6.15 \quad \text{OK}$$

کنترل لهیدگی

پیچ داخلی

$$L_c = 10 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2.8 = 7.2 \text{ cm}$$

$$L_c = 7.2 > 2d_b = 5$$

$$R_n = 2.4 d_b t F_u$$

$$R_n = 2.4 \cdot 2.5 \cdot 2.6 \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 71 \text{ ton}$$

پیچ انتهایی

$$L_c = 5 - \frac{1}{2} \cdot 2.8 = 3.6 \text{ cm}$$

$$L_c = 3.6 < 2d_b = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 1.2 L_c t F_u$$

$$R_n = 1.2 \cdot 3.6 \cdot 2.6 \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 51.1 \text{ ton}$$

برای ۴ پیچ

$$R_n = 2 \cdot 71 + 2 \cdot 51.1 = 244.2 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \cdot 244.2 = 195.4 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 195.4 > V_u = 49.2 \text{ ton} \quad \text{OK}$$

کنترل برش در ساق نیم‌رخ T:

$$R_n = 0.58 A_g F_y$$

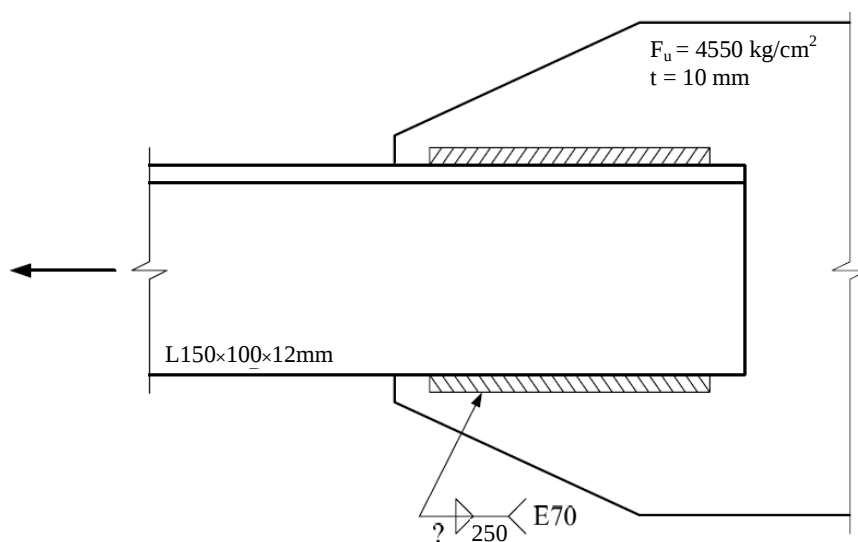
$$R_n = 0.58 \left[20 \quad 1.6 \right] 3500 \cdot 10^{-3} = 65 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 1.00 \quad 65 = 65 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 65 > V_u = 49.2 \text{ ton} \quad \text{OK}$$

مثال ۵-۱۰

مطلوبست طراحی اتصال جوشی نبشی نشان داده شده در شکل به ورق اتصال به ضخامت ۱۰ میلیمتر، با فرض الکتروود E70 و طول جوش مساوی ۲۵۰ میلیمتر. مطلوبست تعیین اندازه‌ی جوش، ظرفیت نبشی بر مبنای تسلیم مقطع کل مساوی $\phi P_n = 74 \text{ ton}$ می‌باشد.



شکل مثال ۵-۱۰

حل:

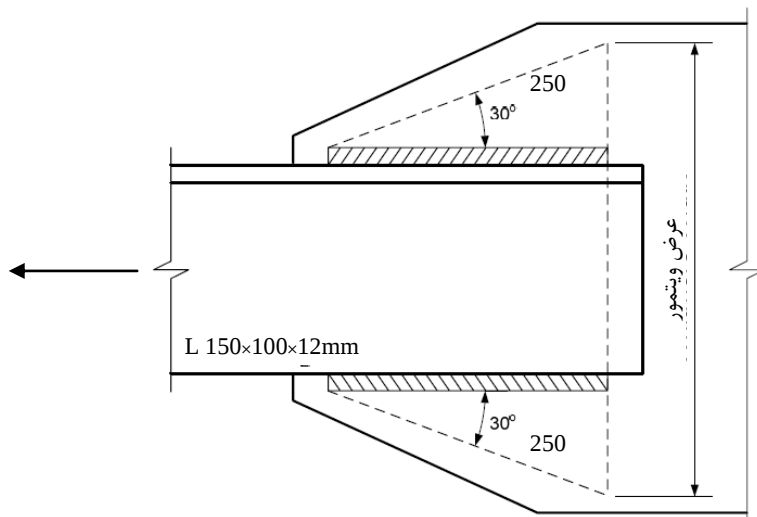
حداقل اندازه جوش = 6 mm ، حداکثر جوش = 12 - 2 = 10 mm

$$\phi R_{n,weld} = 0.6 \phi_{e2} F_{exx} A_w \geq \phi P_{n,member}$$

$$\phi R_{n,weld} = 0.6 \quad 0.80 \quad 4900 \times \left[0.7071 \quad D \right] 2 \quad 25 \geq 74 \times 10^3$$

$$D \geq \frac{74 \times 10^3}{83155} = 0.9 \text{ cm} \rightarrow D = 10 \text{ mm}$$

کنترل ظرفیت ورق گاست به روش ویتمور



محاسبه عرض

$$L_w = 15 + 2 \cdot 25 \tan 30^\circ = 43.8 \text{ cm}$$

تسلیم مقطع کل:

$$\phi P_n = \phi F_y A_g = 0.95 \cdot 3500 \left[43.8 \cdot 1 \right] 10^{-3} = 145.6 \text{ ton}$$

کنترل شکست مقطع خالص

$$\phi P_n = \phi F_u A_e = 0.80 \cdot 4550 \left[43.8 \cdot 1 \right] 1.00 \times 10^{-3} = 159.4 \text{ ton} \quad U = 1.00$$

کنترل برش قالبی در ورق اتصال

$$A_{tg} = A_{tn} = 15 \cdot 1 = 15 \text{ cm}^2 \quad A_{vg} = A_{vn} = 2 \cdot 25 \cdot 1 = 50 \text{ cm}^2$$

$$A_{tn} \stackrel{?}{\geq} 0.58 A_{vn} \rightarrow 15 \stackrel{?}{\geq} 0.58 \cdot 50 = 29 \quad \text{خیر}$$

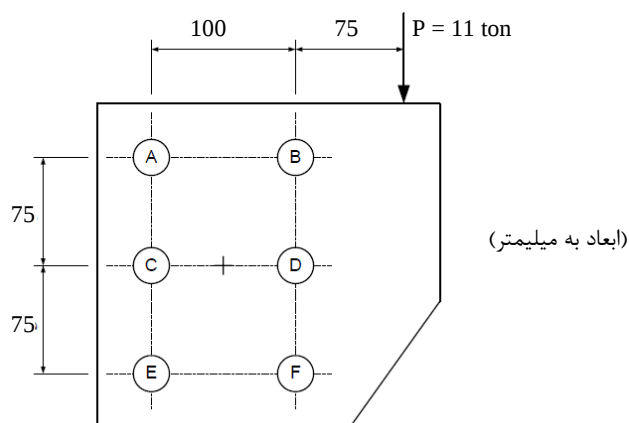
$$\therefore R_n = 0.58 F_u A_{vn} + F_y A_{tg}$$

$$R_n = 0.58 \cdot 4550 \cdot 50 \cdot 10^{-3} + 3500 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 184.45 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \cdot 184.45 = 147.56 \text{ ton} > 74 \text{ ton}$$

مثال ۱۰-۶-الف:

در شکل نشان داده شده، نیروهای پیچها را محاسبه کنید. پیچها به قطر ۲۵ میلیمتر می باشد.



شکل مثال ۱۰-۶-الف

$$\tau = \frac{Tr}{J} \rightarrow T = 11 \cdot 7.5 + 5 = 137.5 \text{ ton.cm}$$

$$J = \sum Ad^2 = A \sum d^2$$

$$J = \left[4 \left(\sqrt{5^2 + 7.5^2} \right)^2 + 2 \cdot 5^2 \right] \left(\frac{\pi}{4} \right) 2.5^2$$

$$J = 1841 \text{ cm}^4$$

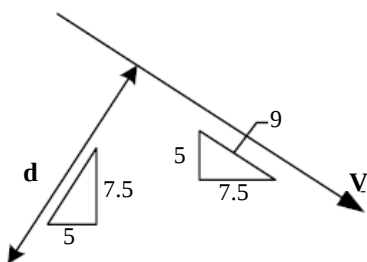
پیچ‌های گوشه:

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{137.5 \times 10^3 \left(\sqrt{5^2 + 7.5^2} \right)}{1841}$$

$$\tau = 673 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = 673 \text{ kg/cm}^2 \left(\frac{\pi}{4} \right) 2.5^2 10^{-3} = 3.3 \text{ ton}$$

نیروی فوق عمود بر شعاع پیچ از مرکز هندسی عمل می‌کند. مولفه‌های آن عبارتند از:



$$V_y = \left(\frac{5}{9}\right) V = \left(\frac{5}{9}\right) 3.3 = -1.83 \text{ ton}$$

$$V_x = \left(\frac{7.5}{9}\right) V = \left(\frac{7.5}{9}\right) 3.3 = 2.75 \text{ ton}$$

اکنون به پیچ B، مولفه قائم ناشی از برش مستقیم اضافه می شود:

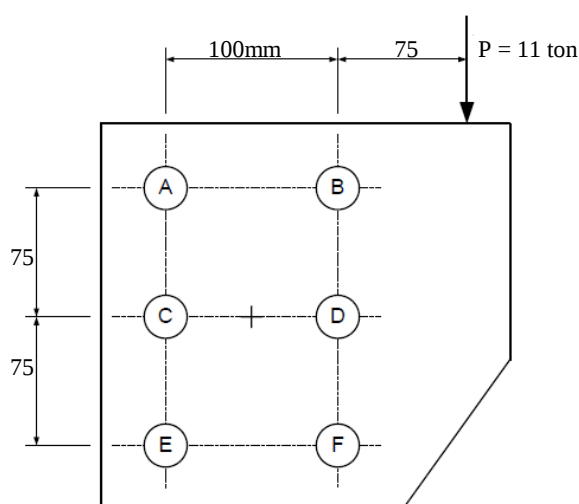
$$V_y = -1.83 + \frac{11}{6} = -3.66 \text{ ton}$$

$$V_x = 2.75 \text{ ton}$$

$$V_{\text{total}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{3.66^2 + 2.75^2} = 4.57 \text{ ton}$$

مثال ۱۰-۶-ب:

مسئله ۶-الف را به روش ساده شده حل کنید.



شکل مثال ۱۰-۶-ب

$$T = -11 \cdot 7.5 + 5 = -137.5 \text{ ton.cm}$$

$$\Sigma d^2 = 4 \left[5^2 + 7.5^2 \right] + 2 \cdot 5^2$$

$$\Sigma d^2 = 375 \text{ cm}^2$$

در پیچ B داریم:

$$V_{B,x} = -\left(\frac{-137.5 \cdot 7.5}{375}\right) = 2.75 \text{ ton}$$

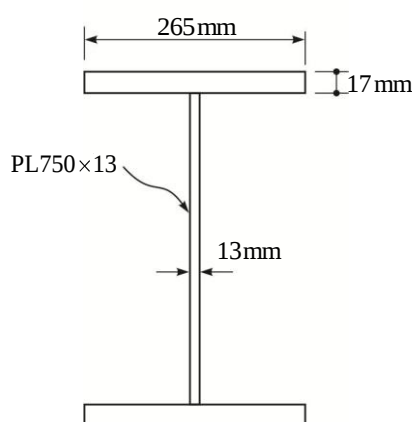
$$V_{B,y} = \left(\frac{-137.5 \cdot 5}{375}\right) = -1.83 \text{ ton}$$

$$V_{B,\text{total}} = \sqrt{2.75^2 + \left[-1.83 + \left(\frac{-11}{6} \right) \right]^2}$$

$$V_{B,\text{total}} = 4.57 \text{ ton}$$

مثال ۷-۱۰:

مطلوبست طراحی وصله برای تیر ورق نشان داده شده در شکل. داریم:



$$A = 187.6 \text{ cm}^2$$

$$d = 78.4 \text{ cm}$$

$$r_t = 2.57$$

$$I_r = 166076 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 4236 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 29.7 \text{ cm}$$

$$I_y = 5328 \text{ cm}^4$$

$$S_y = 401.5 \text{ cm}^3$$

$$r_y = 5.33 \text{ cm}$$

$$Z_x = 5113 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 633 \text{ cm}^3$$

شکل مثال ۷-۱۰ - مقطع PG1

$M_u = 112 \text{ ton.m}$ (لنگر ضریب‌دار در محل وصله)

$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ و $F_u = 4550 \text{ kg/cm}^2$

$$\phi M_n = 1 \times 5113 \times 3500 \times 10^{-5} = 179 \text{ ton.m}$$

حل:

وصله برای بزرگترین لنگر در حالت زیر طراحی می شود:

$$\frac{M_{u,Beam} + \phi M_{n,Beam}}{2} = \frac{112 + 179}{2} = 145.5 \text{ ton.m}$$

$$0.75\phi M_{n,Beam} = 0.75 \cdot 179 = 135 \text{ ton.m}$$

$$\Rightarrow M_{u,Splice} = 145.5 \text{ ton.m}$$

وصله ی بال:

چون نیمرخ فولادی و غیرمختلط است و فرض بر این می باشد که لنگر می تواند مثبت یا منفی باشد، فرق نمی کند که کدام بال کنترل کننده و کدام بال غیرکنترل کننده است.

برای بال کنترل کننده

$$F_{cf} = \left(\frac{1}{2} \right) \left(\left| \frac{f_{cf}}{R_h} \right| + \alpha \phi_f F_{yf} \right) \geq 0.75 \alpha \phi_f F_{yf}$$

$$f_{cf} = \frac{112 \times 10^5}{166076} = 2586 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_h = 1.00$$

$$\phi M_n = \phi M_p, F_n = F_{yf} \Rightarrow \alpha = 1.00$$

$$F_{cf} = \left(\frac{1}{2} \right) \left(\left| \frac{2586}{1.00} \right| + 1.00 \cdot 1.00 \cdot 3500 \right) \geq 0.75 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 3500$$

$$= 3043 \geq 2625 \quad \rightarrow F_{cf} = 3043 \text{ kg/cm}^2$$

برای بال غیرکنترل کننده:

$$F_{ncf} = R_{cf} \left| \frac{f_{ncf}}{R_h} \right| \geq 0.75 \alpha \phi_f F_{yf}$$

$$f_{ncf} = f_{cf} = 2586 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{cf} = \left| \frac{F_{cf}}{f_{cf}} \right| = \left| \frac{3043}{2586} \right| = 1.177$$

$$F_{ncf} = 1.177 \left| \frac{2586}{1.00} \right| \geq 0.75 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 3500$$

$$= 3043 \geq 2625 \text{ kg/cm}^2 \quad \rightarrow F_{ncf} = 3043 \text{ kg/cm}^2$$

برای بال فشاری

$$P_{u,Comp} = F_{cf} A_e$$

برای بال فشاری، A_e مساوی مقطع کل بال است:

$$A_e = A_g = 26.5 \times 1.7 = 45.05 \text{ cm}^2$$

$$P_{u, \text{Comp}} = 3043 \quad 45.05 \quad 10^{-3} = 137 \text{ ton}$$

برای بال کششی

$$P_{u, \text{Ten}} = F_{cf} A_e$$

برای کشش داریم:

$$A_e = \left(\frac{\phi_u F_u}{\phi_y F_y} \right) A_n \leq A_g$$

با فرض استفاده از پیچ ۲۵ و سوراخ ۲۸ میلی‌متر داریم.

$$A_n = \left[26.5 - 2 \quad 2.8 \right] 1.7 = 35.53 \text{ cm}^2$$

$$A_e = \left(\frac{0.80 \quad 4550}{0.95 \quad 3500} \right) 35.53 \leq 45.05 \text{ cm}^2$$

$$= 39 \leq 45.05 \quad \rightarrow A_e = 39 \text{ cm}^2$$

$$P_{u, \text{Ten}} = 3043 \quad 39 \quad 10^{-3} = 119 \text{ ton}$$

چون در محل وصله‌ی بال از دو ورق اتصال خارجی و داخلی استفاده می‌شود (ورق داخلی خود از دو قسمت تشکیل می‌شود)، نیروی هر ورق برابر است با:

$$P_{u, \text{Ten}} = \frac{119}{2} = 59.5 \text{ ton} \quad (\text{کششی}) \quad \text{و} \quad P_{u, \text{Comp}} = \frac{137}{2} = 68.5 \text{ ton} \quad (\text{فشاری})$$

عرض ورق خارجی مساوی عرض بال یعنی ۲۶۵ میلی‌متر با دو ردیف پیچ ۲۵ میلی‌متر با سوراخ استاندارد ۲۸ میلی‌متر فرض می‌شود.

برای ورق خارجی

تسلیم مقطع کل (کشش):

$$\phi P_n = \phi_y F_y A_g \geq P_{u, \text{Ten}}$$

$$\phi P_n = 0.95 \quad 3500 \quad 26.5 \quad t_{\text{outer}} \geq 59.5 \text{ ton}$$

$$t_{\text{outer}} \geq \frac{59.5 \times 10^3}{0.95 \quad 3500 \quad 26.5} = 0.68 \text{ cm} \Rightarrow t_{\text{outer}} = 8 \text{ mm}$$

گسیختگی مقطع خالص (کشش):

$$\phi P_n = \phi_u F_u A_n U \geq P_{u, \text{Ten}}$$

$$\phi P_n = 0.80 \quad 4550 \quad \left[26.5 - 2 \times 2.8 \right] t_{\text{outer}} \quad 1.00 \geq 59.5 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$t_{\text{outer}} \geq \frac{59.5 \times 10^3}{0.8 \quad 4550 \quad 20.9} = 0.78 \text{ cm} \Rightarrow t_{\text{outer}} = 8 \text{ mm}$$

تسلیم مقطع کل (فشار)

$$\phi P_n = \phi_c F_y A_g \geq P_{u,Comp}$$

$$\phi P_n = 0.90 \quad 3500 \quad 26.5 \quad t_{outer} \geq 68.5 \times 10^3$$

$$t_{outer} \geq \frac{68.5 \times 10^3}{0.9 \quad 3500 \quad 26.5} = 0.82 \text{ cm} \Rightarrow t_{outer} = 10 \text{ mm}$$

ورق داخلی:

عرض هر ورق داخلی مساوی عرض بال منهای ضخامت جان به علاوه ساق جوش، تقسیم بر دو می باشد:

$$W_{inner} = \frac{1}{2} b_f - 2k_1 = 26.5 - 2 \times 1.3 \quad 0.5 = 11.95 \text{ cm} \quad (\text{ساق جوش نصف جان فرض شده است})$$

$$\text{عرض ورق} = 100 \text{ mm}$$

تسلیم کلی (کشش):

$$\phi P_n = \phi F_y A_g \geq P_{u,Ten}$$

$$\phi P_n = 0.95 \quad 3500 \quad 2 \quad 10 \quad t_{inner} \geq 59.5 \times 10^3$$

$$t_{inner} \geq \frac{59.5 \times 10^3}{0.95 \quad 3500 \quad 2 \quad 10} = 0.9 \text{ cm} \Rightarrow t_{inner} = 10 \text{ mm}$$

شکست مقطع خالص (کشش):

$$\phi P_n = \phi F_u A_n U \geq P_{u,Ten}$$

$$\phi P_n = 0.80 \quad 4550 \quad 2 \quad [10 - 2.8] \quad t_{inner} \quad 1.00 \geq 59.5 \times 10^3$$

$$t_{inner} \geq \frac{59.5 \times 10^3}{0.80 \quad 4550 \quad 14.4} = 1.14 \text{ cm} \Rightarrow t_{inner} = 12 \text{ mm}$$

تسلیم کلی (فشار):

$$\phi P_n = \phi_c F_y A_g \geq P_{u,Comp}$$

$$\phi P_n = 0.90 \quad 3500 \quad 2 \quad 10 \quad t_{inner} \geq 68.5 \times 10^3$$

$$t_{inner} \geq \frac{68.5 \times 10^3}{0.90 \quad 3500 \quad 2 \quad 10} = 1.09 \text{ cm} \Rightarrow t_{inner} = 12 \text{ mm}$$

$$A_{Outer} = 26.5 \times 1 = 26.5 \quad A_{Inner} = 2 \quad 10 \quad 1.2 = 24 \text{ cm}^2$$

$$\frac{|A_{Outer} - A_{Inner}|}{A_{Ave}} = \frac{2 \quad |26.5 - 24|}{26.5 + 24} = 9.9\% < 10$$

چون اختلاف سطح کمتر از ۱۰ درصد است، فرض تقسیم نیروی بال بطور مساوی بین وصله خارجی و داخلی صحیح می باشد.

$2 \times 100 \times 12 \text{ mm}$ (ورق داخلی) و $265 \times 10 \text{ mm}$ (ورق خارجی)

کنترل برشی پیچ‌ها:

فرض می‌شود صفحه‌ی برش از ناحیه‌ی دندانده شده عبور می‌کند. پیچ‌ها نیز دوبرشه می‌باشند.

$$R_n = 0.45 A_b F_{ub} N_s$$

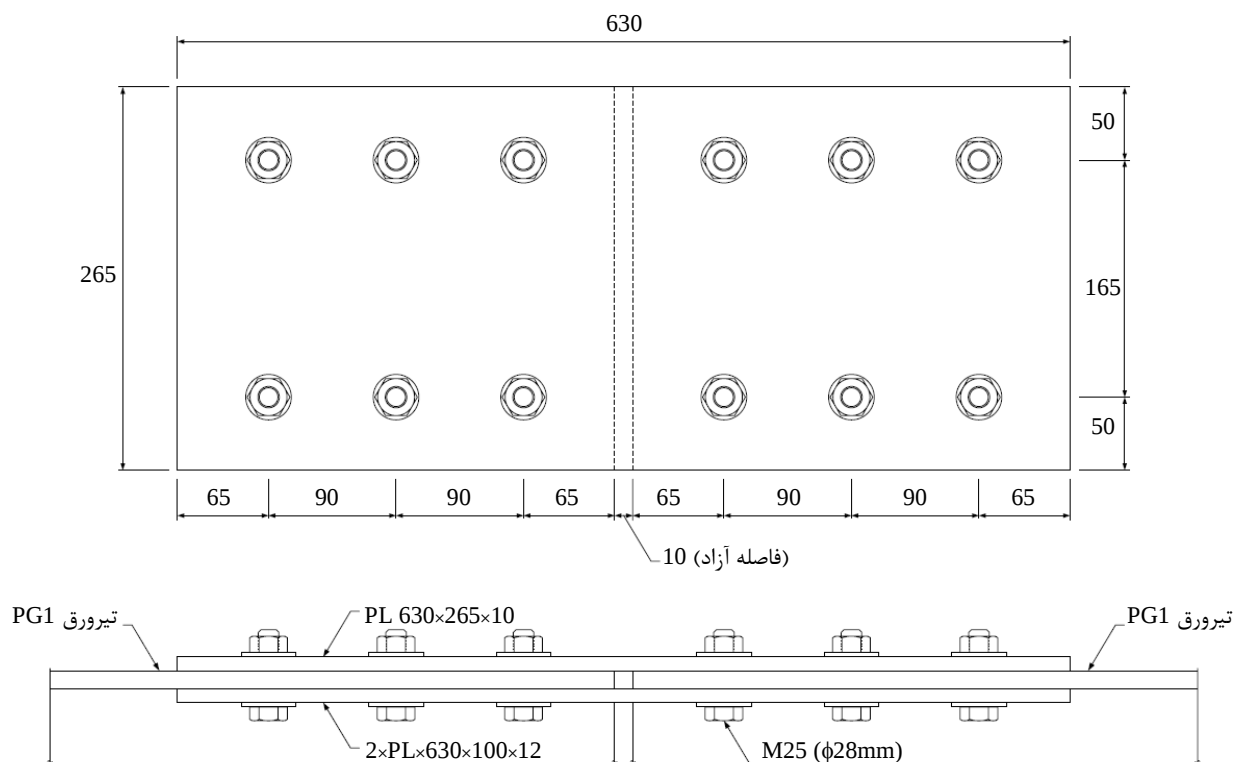
$$A_b = \left(\frac{\pi}{4} \right) 2.5^2 = 4.9 \text{ cm}^2 \quad F_{ub} = 8000$$

$$R_n = 0.45 \cdot 4.9 \cdot 8000 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 35.28 \text{ ton / پیچ}$$

$$\phi R_n = 0.80 \cdot 35.28 = 28.2 \text{ ton}$$

تعیین تعداد پیچ‌های بال

$$n_{fb} = \frac{137}{28.2} = 4.85 \text{ پیچ} \rightarrow \text{تعداد پیچ‌ها} = 6$$



کنترل لهیدگی در وصله‌های بال:

پیچ‌های میانی - لهیدگی در بال تیر

$$L_c = 9 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2.8 = 6.2 \text{ cm} \quad L_c = 6.2 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \cdot 2.5 \cdot 1.7 \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 46.41 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های میانی - لهیدگی در ورق‌های وصله

$$L_c = 9 - 2 \times \frac{1}{2} \times 2.8 = 6.2 \text{ cm} \quad L_c = 6.2 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \times 2.5 \times 1 + 1.2 \times 4550 \times 10^{-3} = 60 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های انتهایی - لهیدگی بال تیر

$$L_c = 6.5 - \frac{1}{2} \times 2.8 = 5.1 \text{ cm} \quad L_c = 5.1 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \times 2.5 \times 1.7 \times 4550 \times 10^{-3} = 46.41 \text{ ton / پیچ}$$

پیچ‌های انتهایی - لهیدگی ورق‌های وصله

$$L_c = 6.5 - \frac{1}{2} \times 2.8 = 5.1 \text{ cm} \quad L_c = 5.1 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4 d t F_u \quad R_n = 2.4 \times 2.5 \times 1.2 + 1 \times 4550 \times 10^{-3} = 60 \text{ ton / پیچ}$$

برای تمام ۶ پیچ

$$R_n = 2 \times 60 + 2 \times 46.41 + 2 \times 60 = 500 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \times 500 = 400 \text{ ton}$$

هم برای بال فشاری و هم برای بال کششی جوابگوست.

کنترل لغزش ورق وصله‌ی بال

وصله‌ی پیچی بال باید تحت نیروی بهره‌برداری بال بصورت لغزش - بحرانی کنترل گردد.

$$II \text{ لنگر تحت ترکیب بار بهره‌برداری } = 75.9 \text{ ton.m}$$

$$P_{slip} = F_s A_g \quad F_s = \frac{f_s}{R_h} = \frac{75.9 \times 10^5}{1 \times 166076} = 1753 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{slip} = 1753 \times 26.5 \times 1.7 \times 10^{-3} = 79 \text{ ton}$$

مقاومت لغزشی هر پیچ برابر است با:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t$$

$$K_h = 1.00 \quad (\text{سوراخ استاندارد})$$

$$K_s = 0.33 \quad (\text{شرایط سطحی کلاس A})$$

$$N_s = 2$$

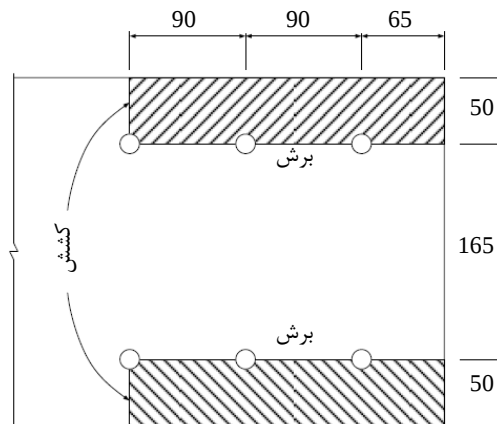
$$P_t = 0.55 \times 8000 \times 4.9 \times 10^{-3} = 21.56 \text{ ton}$$

$$R_n = 1.00 \times 0.33 \times 2 \times 21.56 = 14.2 \text{ ton}$$

تعداد پیچ لازم

$$n_{fb} = \frac{79}{14.2} = 5.56 < 6 \text{ خوبست}$$

کنترل برش قالبی



$$A_{tg} = 2 \times 5 \times 1.7 = 17 \text{ cm}^2$$

$$A_{tm} = 2 \left[5 - \frac{1}{2} \times 2.8 \right] \times 1.7 = 12.24 \text{ cm}^2$$

$$A_{vg} = 2 \times (9 + 9 + 6.5) \times 1.7 = 83.3 \text{ cm}^2$$

$$A_{vn} = 2 \left[24.5 - 2.5 \times 2.8 \right] \times 1.7 = 59.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{tm} \stackrel{?}{\geq} 0.58 A_{vn}$$

$$12.24 \stackrel{?}{\geq} 0.58 \times 59.5 = 34.51 \text{ خیر}$$

$$\therefore R_n = 0.58 F_u A_{vn} + F_y A_{tg}$$

$$R_n = 0.58 \times 4550 \times 59.5 + 3500 \times 17 = 216.5 \text{ ton}$$

$$\phi R_n = 0.80 \times 216.5 = 173.2$$

مقدار فوق بزرگتر از ظرفیت کششی بال است.

وصله‌ی جان

وصله‌ی جان باید برای نیروهای داخلی در حالت حدی زیر طراحی شود:

$$۱- V_{uw} \text{ - نیروی برشی مستقیم.}$$

$$۲- M_{vum} \text{ - لنگر ناشی از برون محوری نیروی برشی فوق } (V_{uw}).$$

$$۳- M_{uw} \text{ - سهم جان از لنگر خمشی کل مقطع.}$$

$$۴- H_{uw} \text{ - نیروی افقی ناشی از تغییر مکان لنگر تیر از محل ENA تا وسط ارتفاع تیر.}$$

$V_u = 20 \text{ ton}$ (نیروی برشی ضریبدار)

$\phi V_n = 194 \text{ ton}$ (ظرفیت برشی جان)

۱- تعیین نیروی برشی مستقیم

?

$$V_u < 0.5 \phi V_n$$

?

$$20 < 0.5 \cdot 1.00 \cdot 194 = 97 \text{ ton}$$

$$V_u < 0.5 \phi V_n \Rightarrow V_{uw} = 1.5 V_u = 1.5 \cdot 20 = 30 \text{ ton}$$

۲- تعیین لنگر خمشی ناشی از برون محوری برش مستقیم V_{uw}

با فرض آرایش پیچهای جان نشان داده شده در شکل صفحه بعد داریم:

$$e = \frac{1}{2} \cdot 9 + 6.5 + \frac{1}{2} \cdot 1.0 = 11.5 \text{ cm}$$

$$M_{vum} = e V_{uw} = 0.115 \cdot 30 = 3.45 \text{ ton.m}$$

(درز اتصال ۱۰ میلیمتر منظور شده است.)

۳- تعیین سهم جان از لنگر خمشی مقطع

$$M_{um} = \frac{t_w D^2}{12} |R_h F_{cf} - R_{cf} F_{ncf}|$$

$$F_{cf} = 3043 \text{ kg/cm}^2 \text{ (مثبت چون در کشش است)}$$

$$R_{cf} = 1.177$$

$$f_{ncf} = -2586 \text{ kg/cm}^2 \text{ (منفی چون در فشار است)}$$

$$M_{uw} = \left[\frac{1.3 \cdot 75^2}{12} \right] [1.00 \cdot 3043 - 1.177 \cdot -2586] \times 10^{-5} = 609.4 \times 6086 \times 10^{-5} = 37.1 \text{ ton.m}$$

۴- تعیین نیروی افقی ناشی از حرکت لنگر (H_{uw})

$$H_{uw} = \frac{t_w D}{12} |R_h F_{cf} - R_{cf} f_{ncf}|$$

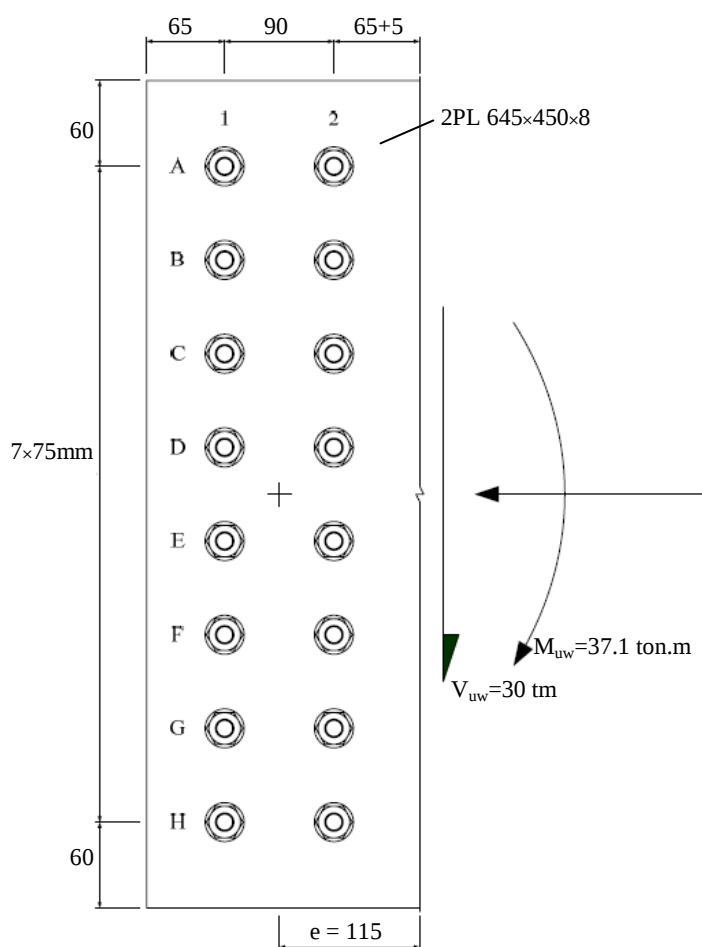
$$H_{uw} = \left[\frac{1.3 \cdot 75}{12} \right] [1.00 \cdot 3043 + 1.177 \cdot -2586] \\ = 8.125 |0.000| = 0.00$$

در این حالت ENA در وسط ارتفاع تیر است. چون H_{uw} نیروی افقی ناشی از برون محوری ENA نسبت به وسط ارتفاع

تیر است، در نتیجه H_{uw} صفر است.

لنگر کل موثر بر وصله‌ی جان برابر است با:

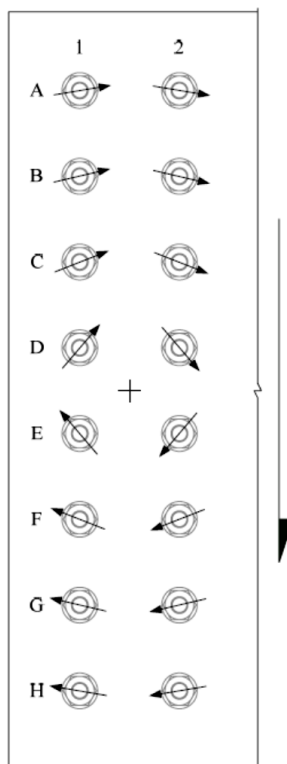
$$M_{\text{Total}} = M_{\text{vum}} + M_{\text{uw}} = 3.45 + 37.1 = 40.55 \text{ ton.m}$$



کنترل گروه پیچ تحت برش مستقیم و لنگر پیچشی

$$\Sigma d^2 = 4 \left[4 d_x^2 + d_{y,D}^2 + d_{y,C}^2 + d_{y,B}^2 + d_{y,A}^2 \right]$$

$$\Sigma d^2 = 4 \left[4 \cdot 4.5^2 + 3.75^2 + 11.25^2 + 18.75^2 + 26.25^2 \right] = 5049 \text{ cm}^2$$



برای پیچ A2 داریم:

$$V_{T,X} = \frac{T_y}{\sum d^2} = \frac{40.55 \times 10^2}{5049} \frac{26.25}{1} = 21 \text{ ton}$$

$$V_{T,Y} = \frac{T_x}{\sum d^2} = \frac{40.55 \times 10^2}{5049} \frac{4.5}{1} = 3.6 \text{ ton}$$

مقدار نیروی برش مستقیم برابر است با:

$$V_{D,Y} = \frac{30}{16} = 1.875$$

$$V_{\text{Total}} = \sqrt{21^2 + 3.6 + 1.875^2} = 21.70 \text{ ton}$$

$$21.70 < \phi r_n = 28.2 \quad \text{O.K}$$

کنترل تسلیم خمشی ورق های وصله ی جان

$$M_{uw} = 37.1 \text{ ton.m}$$

$$\sigma = \frac{M y}{I} = \left[\frac{12}{d_p^3} \frac{1}{2 t_p} \right] \left(\frac{M d_p}{2} \right) = \frac{3M}{d_p^2 t_p} \leq \phi F_y$$

$$\Rightarrow t_p \geq \frac{3M}{d_p^2 \phi F_y} = \frac{3}{64.5^2} \frac{37.1 \times 10^5}{1.00 \times 3500} = 0.76 \text{ cm} \Rightarrow t_p = 8 \text{ mm}$$

از دو ورق $645 \times 450 \times 8$ در دو طرف جان استفاده می‌شود.

کنترل تسلیم برشی ورق وصله‌ی جان

$$V_{uw} = 30 \text{ ton}$$

$$V_{um} \leq \phi V_n = \phi \cdot 0.58 \cdot d_p \cdot 2t_p \cdot F_y$$

$$= 1.00 \cdot 0.58 \cdot 64.5 \cdot \left[2 \cdot 0.8 \right] \cdot 3500 \cdot 10^{-3} = 209.5 \text{ ton} > 30$$

کنترل گسیختگی برشی در ورق جان

$$V_{uw} = 30 \text{ ton}$$

$$V_{um} \leq \phi V_n = \phi \cdot 0.58 \cdot d_{p,net} \cdot 2t_p \cdot F_u$$

$$= 0.80 \cdot 0.58 \cdot \left[64.5 - 8 \cdot 2.8 \right] \cdot \left[2 \cdot 0.8 \right] \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 142 > 30$$

کنترل لهیدگی در پیچ‌های جان

پیچ‌های لبه- لهیدگی در جان تیر

$$L_c = 6.5 - \frac{1}{2} \cdot 2.8 = 5.1 \text{ cm} \quad L_c = 5.1 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4d_b t F_u \quad R_n = 2.4 \cdot 2.5 \cdot 1.3 \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 35.5 \text{ ton} / \text{پیچ}$$

پیچ‌های لبه- لهیدگی در ورق‌های وصله جان

$$L_c = 6.5 - \frac{1}{2} \cdot 2.8 = 5.1 \text{ cm} \quad L_c = 5.1 > 2d = 5 \text{ cm}$$

$$R_n = 2.4d_b t F_u \quad R_n = 2.4 \cdot 2.5 \cdot 2 \cdot 0.8 \cdot 4550 \cdot 10^{-3} = 43.7 \text{ ton} / \text{پیچ}$$

لهیدگی در جان حاکم است.

$$R_n = 35.5$$

$$\phi R_n = 0.80 \cdot 35.5 = 28.4 \text{ ton} / \text{پیچ} \quad \text{خوبست.}$$

کنترل لغزش پیچ‌های وصله‌ی جان

۱- نیروی برشی در ترکیب بار بهره‌برداری II

$$V_{sw} = 13.8 \text{ ton}$$

۲- محاسبه‌ی لنگر ناشی از برون‌محوری نیروی برشی فوق

$$e = 11.5 \text{ cm}$$

$$M_{vsw} = e V_{sw} = 13.8 \times 0.115 = 1.6 \text{ ton.m}$$

۳- لنگر خمشی سهم جان:

$$M_{sw} = \frac{t_w D^2}{12} |f_s - f_{os}|$$

$$M_{sw} = \left[\frac{1.3 \cdot 75^2}{12} \right] |1675 - -1675| \times 10^{-5} = 20.4 \text{ ton.m}$$

۴- تعیین نیروی افقی ناشی از حرکت لنگر تیر H_{sw}

$$H_{sw} = \frac{t_w D}{12} |f_s + f_{os}|$$

$$H_{sw} = \left[\frac{1.3 \cdot 75^2}{12} \right] |1675 + -1675| = 0$$

لنگر کل برابر است با:

$$M_{Total} = M_{vsw} + M_{sw} = 1.6 + 20.4 = 22 \text{ ton.m}$$

با تناسب گیری از محاسبات نیروهای ضریب دار داریم:

$$V_{T,x} = 21 \times \frac{22}{40.55} = 11.39 \text{ ton}$$

$$V_{T,y} = 3.6 \times \frac{22}{40.55} = 1.95$$

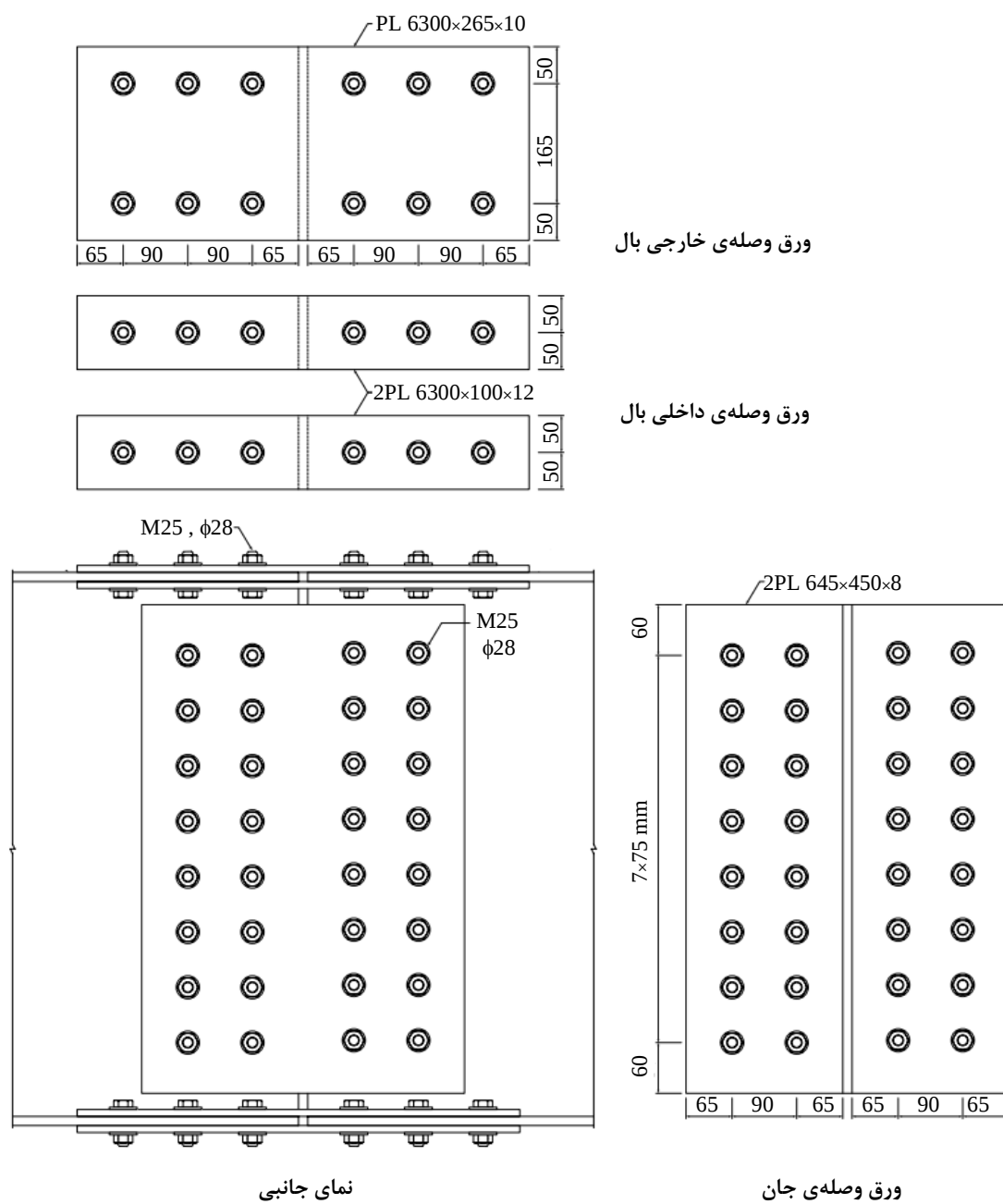
$$V_{D,y} = \frac{13.8}{30} \times 1.875 = 0.86$$

$$V_{\text{کل}} = \sqrt{11.39^2 + 1.95^2 + 0.86^2} = 11.73 \text{ ton}$$

مقدار فوق خیلی کوچکتر از نیروی لغزش است.

طرح نهایی وصله

در شکل زیر طرح نهایی وصله نشان داده شده است.



فصل ۱۱

ملاحظات خستگی و شکست

۱۱-۱- خستگی

خستگی عبارت است از شکست مصالح تحت تنش‌های به مراتب کمتر از تنش‌های مجاز به علت تکرار بارگذاری با دامنه‌ی بزرگ و یا تکرار اعوجاج.

۱۱-۱-۱- کلیات

خستگی به دو مقوله خستگی ناشی از بارگذاری^۱ و خستگی ناشی از اعوجاج^۲ دسته‌بندی می‌شود.

۱۱-۱-۲- خستگی ناشی از بارگذاری

۱۱-۱-۲-۱- کاربرد

اثری از نیرو که در طراحی خستگی پل‌های فولادی مورد توجه قرار می‌گیرد، دامنه‌ی تنش ناشی از بار زنده می‌باشد. دامنه‌ی تنش اختلاف بین تنش حداکثر و حداقل با منظور کردن علامت تنش می‌باشد (شکل ۱-۱۱) که در آن تنش کششی با علامت مثبت و تنش فشاری با علامت منفی منظور می‌شود.

$$\Delta f = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \text{دامنه‌ی تنش} \quad (۱-۱۱)$$

در تیرهای مختلط با اتصالات برش‌گیر در تمام طول دهانه و دال بتنی با حداقل آرماتورهای طولی و عرضی، تنش‌های ناشی از بار مرده‌ی موثر بر مقطع مختلط و زنده و دامنه‌ی تنش ناشی از بار زنده را می‌توان با فرض عملکرد مختلط در نواحی خمش مثبت و منفی محاسبه نمود. برای بار مرده از مشخصات مقطع مختلط درازمدت و برای بار زنده از مشخصات مقطع مختلط کوتاه مدت استفاده می‌شود.

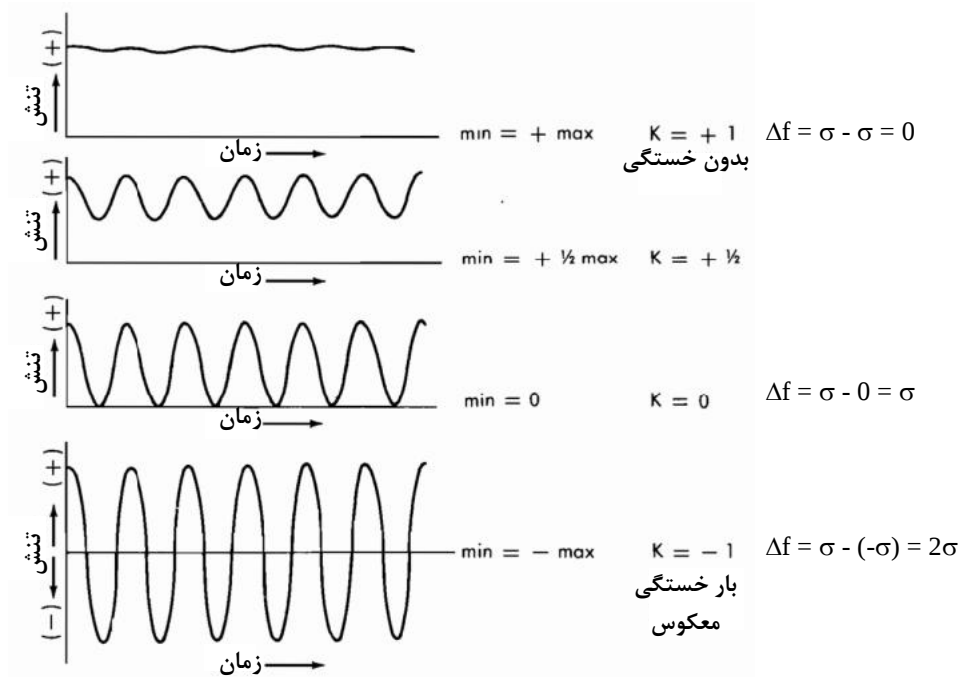
در محاسبات خستگی نیازی به منظور کردن اثر تنش پس‌ماند نمی‌باشد. الزامات این فصل فقط به جزئیاتی اعمال می‌شود که تحت تنش کششی خالص می‌باشند. در نواحی که بارهای بدون ضریب دائمی ایجاد فشار می‌کنند، خستگی در حالتی مورد توجه قرار می‌گیرد که تنش فشاری کمتر از حداکثر تنش کششی ایجاد شده توسط بار زنده در ترکیب بار خستگی I باشد.

۱۱-۱-۲-۲- معیارهای طراحی

برای خستگی‌های ناشی از بارگذاری، هر جزئیات باید الزامات دامنه‌ی تنش را طبق روابط زیر برآورده نماید.

1- Load induced fatigue

2 Distortion induced fatigue



شکل ۱-۱۱

$$\gamma \Delta f \leq \Delta F_n \quad (۲-۱۱)$$

که در آن:

γ = ضریب بار برای ترکیب بارگذاری خستگی

Δf = دامنه‌ی تنش ناشی از تغییرات بار خستگی (رابطه‌ی ۱-۱۱ و شکل ۱-۱۱)

ΔF_n = مقاومت خستگی اسمی

مقاومت خستگی (ΔF)

مقاومت اسمی خستگی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

- برای ترکیب بار خستگی I و عمر بی‌نهایت:

$$\Delta F_n = \Delta F_{TH} \quad (۳-۱۱)$$

$$N_{TH} = \frac{A}{\left[\Delta F_{TH} \right]^3} \quad (۴-۱۱)$$

- برای ترکیب بار خستگی II و عمر محدود

$$\Delta F_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۵-۱۱)$$

که در آن:

$$N = 365 \cdot 75 \cdot n \cdot ADTT_{SL} \quad (۶-۱۱)$$

نمادهای مورد استفاده در روابط فوق به قرار زیر می‌باشند:

A = ثابت خستگی (جدول ۳-۱۱ و ۶-۱۱)

n = تعداد تکرار به ازای عبور یک کامیون (جدول ۴-۱۱)

$(ADTT)_{SL}$ = ترافیک متوسط روزانه کامیون در یک خط عبور

$$ADTT_{SL} = p \cdot ADTT \quad (۷-۱۱)$$

$ADTT$ = ترافیک متوسط روزانه در یک امتداد

p = ضریب همزمانی مساوی ۰/۸ برای سه خط عبور یا بیشتر

$$\text{Fatigue I: } ADTT = 2500, N = 365 \cdot 75 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 2500 = 0.5475 \cdot 10^8 > N_{TH}$$

$$\text{Fatigue II: } ADTT = 20, N = 365 \cdot 75 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 20 = 438,000 < N_{TH}$$

ΔF_{TH} = حد دوام خستگی^۱ (جدول ۵-۱۱)

N = تعداد تکرار نظیر خرابی خستگی

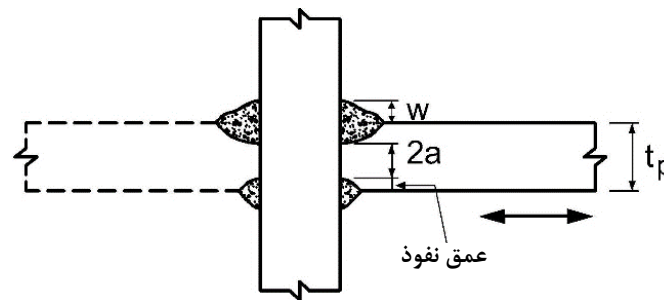
N_{TH} = تعداد تکرار نظیر حد دوام خستگی

در جدول ۲-۱۱، $(ADTT)_{SL}$ ۷۵ ساله معادل عمر بی‌نهایت برحسب کامیون در روز ارائه شده است.

مقاومت اسمی فلز پایه و فلز جوش در جزییاتی که اجزای ورق غیرپیوسته‌ی بارگذاری شده توسط یک جفت جوش گوشه یا جوش نفوذی ناقص به دو طرف ورق عمود بر امتداد تنش اصلی جوش می‌شوند و یا جوش نفوذی ناقص تحت تنش کششی عرضی بارگذاری می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۲-۱۱):

$$\Delta F_n = \Delta F_n^c \left(\frac{0.61 - 0.56 \left(\frac{2a}{t_p} \right) + 0.68 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \right) \leq \Delta F_n^c \quad (۸-۱۱)$$

ΔF_n^c = مقاومت خستگی اسمی برای طبقه‌ی خستگی (روابط ۳-۱۱ یا ۵-۱۱ برحسب مورد) و $2a$ و w و t_p مطابق شکل ۲-۱۱.



شکل ۲-۱۱

در شکل ۱۱-۳، فرم عمومی نمودار مقاومت خستگی در مقابل تعداد تکرار N رسم شده است.

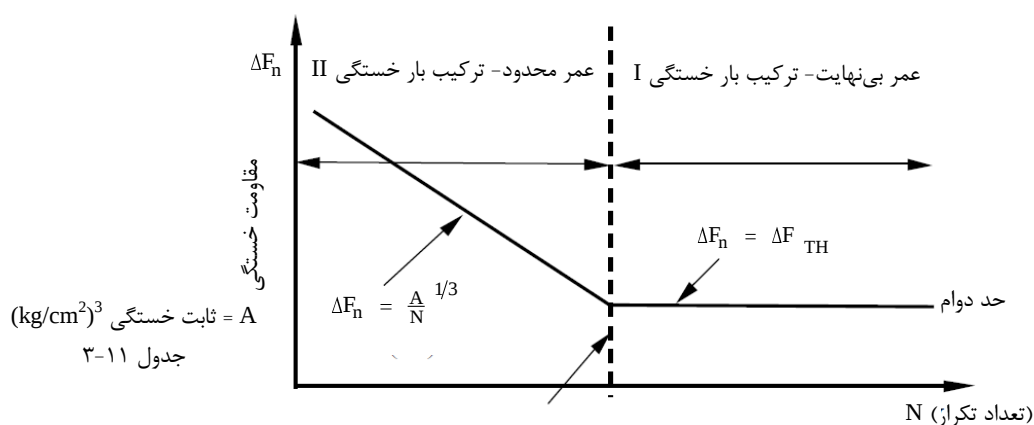
خستگی

طبقه‌های تنش که معمولاً در طراحی تیرورق‌های I با آن برخورد می‌شوند در جدول ۱۱-۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱۱-۱- طبقه خستگی‌های متداول در طراحی تیرورق‌ها

ردیف	جزئیات	طبقه‌ی ۱ خستگی	خستگی II $\Delta F_n = \frac{A}{N}^{\frac{1}{3}}$ (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	حد دوام خستگی I (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)
1	فلز پایه و فلز جوش در وصله‌های جوشی با نفوذ کامل	B	2110	41.2×10^{14}	1120
2	فلز پایه در مقطع کل با اتصال پیچی پیش‌تنیده اصطکاکی (لغزش بحرانی) (اتصال پیچی ورق گاست به بال)	B	2110	41.2×10^{14}	1120
3	فلز پایه در اتصال برشگیر از نوع گل‌میخ با جوش گوشه	C	1510	15.1×10^{14}	700
4	فلز پایه در پنجه اتصال سخت‌کننده‌های عرضی به بال و جوش سخت‌کننده عرضی به جان	C'	1510	15.1×10^{14}	840
5	فلز پایه در قطعات اتصالی به بال کششی	E	950	3.8×10^{14}	315

1- Category



شکل ۱۱-۳- مقاومت خستگی ΔF_n در مقابل تعداد تکرار N

۱۱-۲-۳- طبقه‌بندی جزییات

جزییات و اجزای آن باید طوری طراحی شوند تا الزامات جدول ۱۱-۶ را برآورده نمایند.

جدول ۱۱-۲- $(ADTT)_{SL}$ ۷۵ ساله معادل عمر بی‌نهایت (کامیون در روز)

جزییات طبقه تنش خستگی	$(ADTT)_{SL}$ ۷۵ ساله معادل عمر بی‌نهایت (کامیون در روز)
A	690
B	1120
B'	1350
C	1680
C'	975
D	2450
E	4615
E'	8485

$$ADTT_{SL} = \frac{A}{\left[\frac{0.80 \Delta F_{TH}}{1.75} \right]^3 \cdot 365 \cdot 75 \cdot n} \quad (۱۱-۹)$$

جدول ۱۱-۳- طبقه خستگی و ثابت A

طبقه خستگی	ثابت A $(kg/cm^2)^3$
A	85.8×10^{14}
B	41.2×10^{14}
B'	21×10^{14}
C	15.1×10^{14}
C'	15.1×10^{14}
D	7.6×10^{14}
E	3.8×10^{14}
E'	1.34×10^{14}
پیچ A325 در کشش محوری	5.9×10^{14}
پیچ A490 در کشش محوری	11×10^{14}

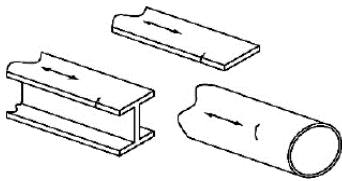
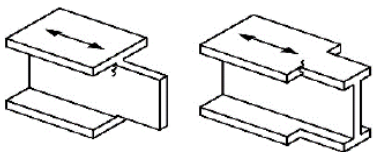
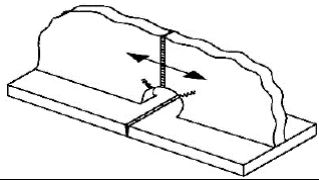
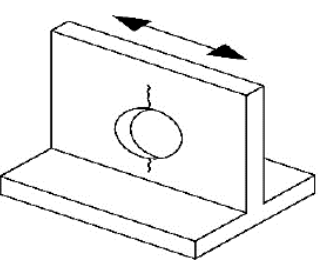
جدول ۱۱-۴- تکرار به ازای یکبار عبور کامیون

اعضای طولی	
تیر دهانه ساده	1.0
تیرهای سراسری	1.5
۱- نزدیک تکیه‌گاه داخلی	1.0
۲- جای دیگر	
تیر طره	5.0
عرشه ارتوتروپیک	5.0
خرپاها	1.0
اعضای عرضی	
$> 6m$ فواصل	1.0
$\leq 6m$ فواصل	2.0

جدول ۱۱-۵- حد دوام دامنه‌ی خستگی (kg/cm^2)

طبقه خستگی	حد دوام kg/cm^2
A	1680
B	1120
B'	840
C	700
C'	840
D	700
E	315
E'	182
پیچ A325 در کشش محوری	2170
پیچ A490 در کشش محوری	2660

جدول ۱۱-۶

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک ^۱	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ^۳	طبقه ^۲	توضیحات
بخش ۱- مصالح ساده دور از هرگونه جوش					
	دور از هرگونه جوش یا اتصالات سازه‌ای	1680	85.8×10^{14}	A	۱-۱. فلز پایه، به استثنای فولاد هوازده بدون پوشش، با سطوح نورد یا پرداخت شده و یا فولاد پایه با لبه‌های برش خورده حرارتی با زبری سطح ۲۵ میکرون یا کمتر اما بدون گوشه‌های مقعر
		1120	41.2×10^{14}	B	۱-۲. فلز پایه فولادی هوازده بدون پوشش با سطوح نورد یا پرداخت شده و طراحی شده مطابق با FHWA(1989) و یا با لبه‌های بریده شده حرارتی با زبری سطح ۲۵ میکرون یا کمتر اما بدون گوشه‌های مقعر
	در هر لبه‌ی خارجی	700	15.1×10^{14}	C	۱-۳. فلز پایه در عضو با گوشه‌های مقعر در سوراخ‌ها، برش‌ها، زبانه‌ها و یا سایر ناپیوستگی‌های هندسی که براساس الزامات AASHTO/AWS D1.5 ساخته شده باشد، به استثنای سوراخ‌های دسترسی جوش.
	در فلز پایه در گوشه مقعر سوراخ دسترسی جوش	700	15.1×10^{14}	C	۱-۴. فلز پایه در مقاطع نورد شده با سوراخ‌های دسترسی جوش ساخته شده مطابق با الزامات AASHTO/AWS D1.5
	در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ	490	7.6×10^{14}	D	۱-۵. فلز پایه در مقطع خالص سوراخ باز در اعضای ساخته شده مطابق الزامات AASHTO/AWS D1.5، به استثنای مواردی که در شرایط ۱-۶ مشخص شده است. تمامی تنش‌ها باید روی مقطع خالص محاسبه شود. یادداشت: برای سوراخ‌های با پیچ‌های پرمقاومت پیش‌تنیده نصب شده در سوراخ‌های استاندارد، (شرایط ۲-۱ را ملاحظه کنید).

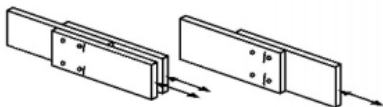
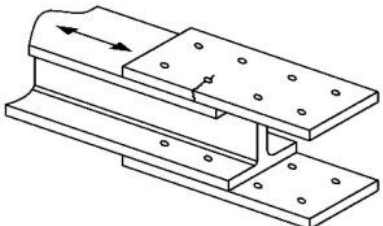
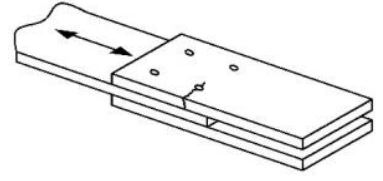
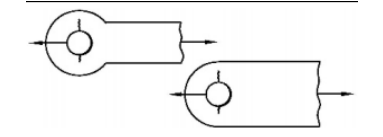
1- Potential crack initiation point

2- Category

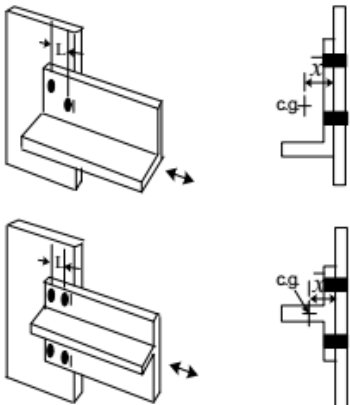
جدول ۱۱-۶- ادامه

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام $(\Delta F)_{TH}$ (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۱- مصالح ساده دور از هرگونه جوش					
	در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ	700	44×10^8	C	۶-۱. فلز پایه در مقطع خالص در پیچه‌های آرمرو و دست‌رو ساخته شده مطابق با الزامات AASHTO/AWS D1.5، که عرض سوراخ حداقل $0.3W$ برابر عرض ورق باشد. هندسه سوراخ باید به صورت زیر باشد: الف) دایروی؛ یا ب) مربعی با گوشه‌های گرد شده با شعاع حداقل $0.1W$ برابر عرض ورق ($R \geq 0.1W$)؛ یا پ) بیضی شکل ($B > A$)، قطر بزرگ موازی با امتداد تنش اولیه؛ یا ت) مستطیلی ($B > A$)، طول موازی با امتداد تنش اولیه، با گوشه‌های گرد شده با شعاع حداقل $0.1W$ برابر عرض ورق ($R \geq 0.1W$) تمامی سوراخ‌ها باید در مرکز ورق مدنظر قرار گیرند، و تمامی تنش‌ها باید روی مقطع خالص محاسبه شود.

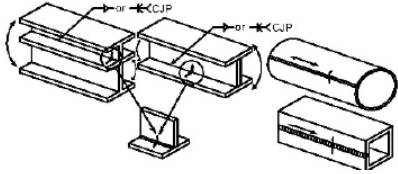
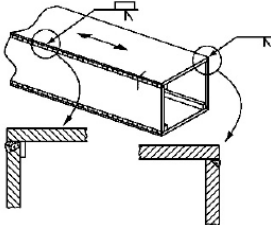
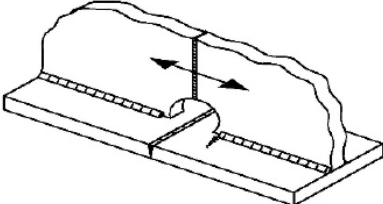
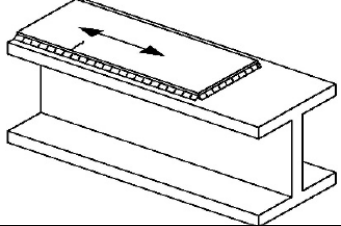
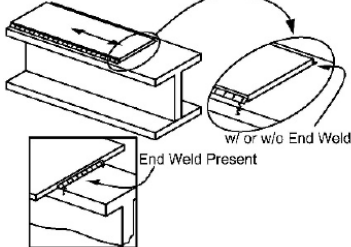
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۲- مصالح متصل شده با اتصالات مکانیکی					
	از میان مقطع ناخالص نزدیک سوراخ	1120	120×10 ⁸	B	۱-۲. فلز پایه درمقطع ناخالص اتصال پیچی اصطکاکی پرمقاومت به همراه با پیچ‌های پرمقاومت پیش‌تنیده که در سوراخ‌هایی که با استفاده از متنه‌زی یا برق‌کاری شده، قرار گرفته‌اند؛ به طور مثال بال، وصله‌های جان یا سخت‌کننده‌های پیچی. (یادداشت: برای سوراخ‌های پیچی با اندازه کامل شرایط ۲-۳ را ملاحظه کنید؛ برای اتصال نبشی پیچی یا اعضای سپری (T شکل) به لچکی یا ورق‌های اتصال، شرایط ۲-۵ را ملاحظه کنید.)
	در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ	1120	120×10 ⁸	B	۲-۲. فلز پایه در مقطع خالص اتصال پیچی اتکایی پرمقاومت اما ساخته و نصب شده با تمامی الزامات مربوط به اتصال اصطکاکی (یادداشت: برای سوراخ‌های پیچی شرایط ۲-۳ را ملاحظه کنید؛ برای اتصال نبشی پیچی یا اعضای سپری (T شکل) به لچکی یا ورق‌های اتصال، شرایط ۲-۵ را ملاحظه کنید.)
	در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ یا از میان مقطع ناخالص نزدیک سوراخ، برحسب کاربرد	490	22×10 ⁸	D	۳-۲. فلز پایه در مقطع خالص یا ناخالص اتصال پیچی پرمقاومت با پیچ‌های پیش‌تنیده نصب شده در سوراخ‌های با اندازه کامل؛ و فلز پایه در مقطع خالص اتصالات بست مکانیکی، به استثنای تسمه سرپهن و تسمه پینی؛ برای مثال اتصالات پیچ‌های ASTM A307 یا پیچ‌های پرمقاومت بدون پیش‌تنیدگی. (یادداشت: برای اتصال نبشی پیچی یا اعضای سپری (T شکل) به لچکی یا ورق‌های اتصال، شرایط ۲-۵ را ملاحظه کنید.)
	در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ	315	11×10 ⁸	E	۴-۲. فلز پایه در مقطع خالص سرتسمه‌ی سرپهن یا تسمه‌ی پینی. (یادداشت: برای فلز پایه در دنباله تسمه سرپهن یا از مقطع ناخالص تسمه پینی، برحسب کاربرد، شرایط ۱-۱ یا ۲-۱ را ملاحظه کنید.)

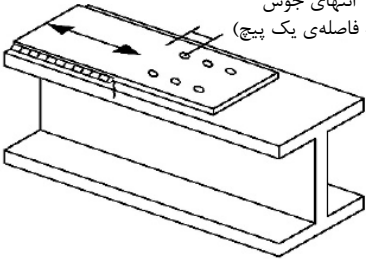
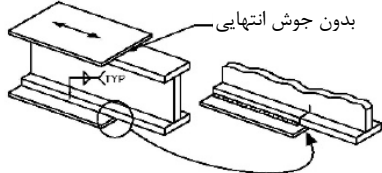
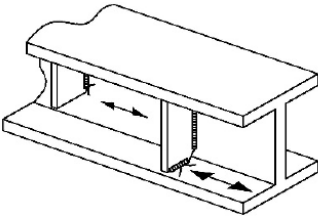
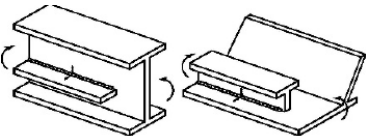
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام $(\Delta F)_{TH}$ (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۲- مصالح متصل شده با اتصالات مکانیکی					
	از میان مقطع ناخالص نزدیک سوراخ یا در مقطع خالص با شروع از کناره‌ی سوراخ، برحسب کاربرد	طبقه مرتبط در بالا را ملاحظه کنید.	طبقه مرتبط در بالا را ملاحظه کنید.	طبقه مرتبط در بالا را ملاحظه کنید.	۲-۵. فلز پایه در نبشی یا اعضای سپری متصل به لچکی یا ورق اتصال دهنده با استفاده از اتصال پیچی اصطکاکی پرمقاومت محدوده تنش خستگی باید روی سطح مقطع موثر عضو محاسبه شود، $A_e = U A_g$ که در آن $U = 1 - \bar{x}/L$ و A_g سطح مقطع کلی (ناخالص) عضو می‌باشد. $\bar{x}$ فاصله از مرکز عضو تا سطح لچکی یا ورق اتصال دهنده می‌باشد و L فاصله بیرون به بیرون پیچ‌ها در امتداد نیرو می‌باشد. از تاثیر لنگر ناشی از خروج از مرکزی در اتصالات، در محاسبه‌ی محدوده تنش باید صرف‌نظر شود. رده خستگی باید با همان مشخصاتی که برای شرایط ۲-۱ در نظر گرفته شده انتخاب شود. برای تمامی انواع دیگر اتصالات پیچی A_g با سطح مقطع خالص عضو جایگزین شده، A_n در محاسبه‌ی سطح مقطع موثر طبق معادله قبلی و از رده خستگی مناسب برای نوع اتصال مشخص شده برای شرایط ۲-۲ یا ۲-۳، برحسب کاربرد، استفاده شود.

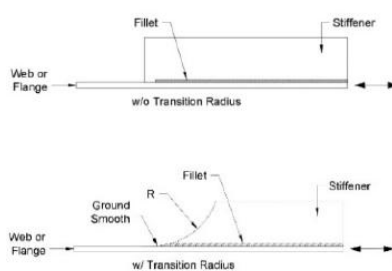
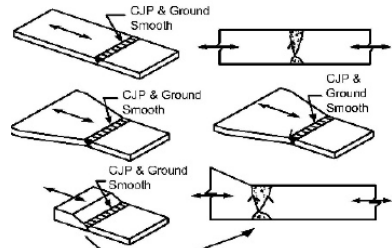
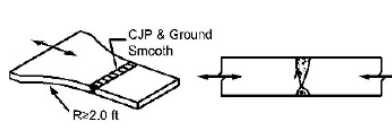
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۳- مفاصل جوشی متصل کننده اجزا در اعضای ساخته شده					
	از ناپیوستگی‌های داخلی یا سطحی جوش و به دور از انتهای جوش	1120	120×10^8	B	۱-۳. فلز پایه و فلز جوش در اعضای بدون ملحقاتی که با ورق‌ها یا نیمرخ‌های متصل شده توسط جوش‌های شیاری نفوذ کامل طولی پیوسته همراه با شیارزنی و جوش پشت یا با جوش‌های گوشه پیوسته در امتداد تنش ساخته شده‌اند.
	در ناپیوستگی‌های داخلی یا سطحی جوش، شامل جوش متصل کننده‌ی تسمه پشت‌بند	840	61×10^8	B'	۲-۳. فلز پایه و فلز جوش در اعضای بدون ملحقات ساخته شده از ورق‌ها یا نیمرخ‌های متصل شده توسط جوش‌های شیاری نفوذ کامل طولی پیوسته با پشت‌بند باقی‌مانده و یا با جوش‌های شیاری نیمه‌نفوذی پیوسته در امتداد تنش.
	از انتهای جوش به سمت جان یا بال	490	22×10^8	D	۳-۳. فلز پایه و فلز جوش در انتهای جوش‌های طولی منتهی به سوراخ‌های دسترسی جوش ساخته شده با الزامات AASHTO/AWS D1.5 (یادداشت: شامل وصله‌های لب‌هلب نمی‌شود).
	از ناپیوستگی‌های داخلی یا سطحی جوش و به دور از انتهای جوش	1120	120×10^8	B	۴-۳. فلز پایه و فلز جوش در ورق‌های پوششی جوش شده با طول جزئی که با استفاده از جوش گوشه پیوسته در امتداد تنش متصل شده است.
	در بال، روی پنجه انتهای جوش یا در بال، روی انتهای جوش طولی یا در لبه‌ی بالی که با ورق پوششی پهن‌تر از خود پوشیده شده است.	315 182	11×10^8 3.9×10^8	E E'	۵-۳. فلز پایه در انتهای ورق‌های پوششی که با یک تراز بال با انتهای مربعی یا مخروطی جوش شده با طول جزئی، همراه با یا بدون جوش در سرتاسر انتهای آن یا ورق‌های پوششی همراه جوش انتهایی سراسری که پهن‌تر از بال می‌باشد: ≤ 20 mm ضخامت بال E E' 20 mm > ضخامت بال

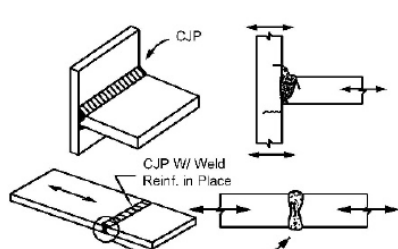
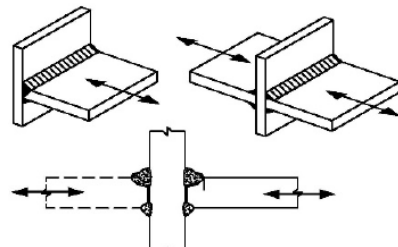
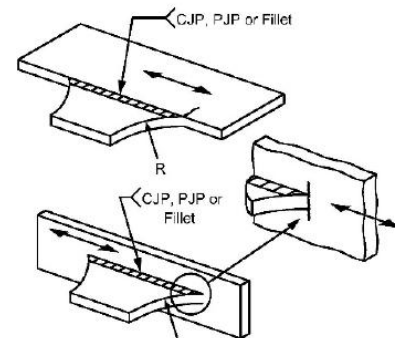
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۳- مفاصل جوشی متصل کننده اجزا در اعضای ساخته شده					
	در بال در انتهای جوش طولی	1120	120×10^8	B	۳-۶. فلز پایه در انتهای ورق‌های پوششی جوش شده با طول جزئی به همراه اتصال انتهایی پیچی اصطکاکی که الزامات بند ۳-۱۰-۱۲-۳ را برآورده می‌کند.
	در لبه‌ی بال، در انتهای جوش ورق پوششی	182	3.9×10^8	E'	۳-۷. فلز پایه در انتهای ورق‌های پوششی جوش شده با طول جزئی که پهن‌تر از بال بوده و جوش انتهایی ندارد.
بخش ۴- اتصالات سخت‌کننده‌های جوش شده					
	شروع از ناپیوستگی هندسی روی پنجه جوش گوشه و گسترش درون فلز پایه	840	44×10^8	C'	۴-۱. فلز پایه در پنجه‌ی جوش گوشه عرضی سخت‌کننده به بال و سخت کننده به جان. (یادداشت: شامل جوش‌های مشابه روی سخت‌کننده‌های فشاری و ورق های اتصال) فلز پایه در مجاورت جوش گوشه با شیارهای سخت‌کننده فشاری به بال.
	از ناپیوستگی داخلی یا سطحی جوش و به دور از انتهای جوش	1120	120×10^8	B	۴-۲. فلز پایه و فلز جوش در جان طولی یا سخت‌کننده‌های قوطی‌شکل بال متصل شده با جوش گوشه پیوسته در امتداد تنش.

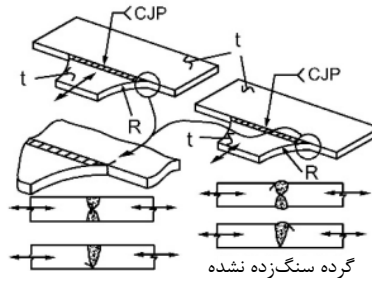
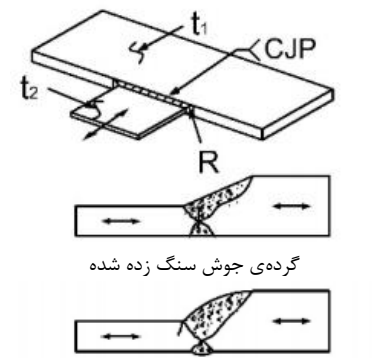
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۴- اتصالات سخت کننده های جوش شده					
	در عضو اصلی، روی پنجه انتهایی جوش	315	11×10 ⁸	E	۳-۴. فلز پایه در انتهای جوش طولی سخت کننده به جان یا سخت کننده به قوطی جان: با سخت کننده متصل شده با جوش بدون شعاع تبدیلی در انتها: ضخامت سخت کننده > ۲۵ میلی متر
		182	3.9×10 ⁸	E'	ضخامت سخت کننده ≤ ۲۵ میلی متر
		1120	120×10 ⁸	B	با سخت کننده متصل شده با جوش و با شعاع تبدیلی R در انتها و انتهای جوش سنگ زده و صاف: R ≥ ۶۰۰ میلی متر
		700	44×10 ⁸	C	۱۵۰ میلی متر ≥ R ≥ ۶۰۰ میلی متر
		490	22×10 ⁸	D	۵۰ میلی متر ≥ R ≥ ۱۵۰ میلی متر
		315	11×10 ⁸	E	R > ۵۰ میلی متر
بخش ۵- مفاصل جوشی با جهت عرضی نسبت به تنش اصلی					
	از ناپیوستگی های داخلی فلز پرکننده یا در امتداد مرز ذوب یا در نقطه شروع تبدیل	1120	120×10 ⁸	B	۱-۵. فلز پایه و فلز جوش در یا در مجاورت وصله های لب به لب که به صورت شیاری نفوذ کامل جوش شده اند. سلامت جوش با استفاده از آزمایش های غیرمخرب مشخص شده و جوش به صورت صاف و هم تراز، موازی با جهت تنش سنگ زنی شده باشد. تبدیل در ضخامت یا عرض باید با شیبی کمتر از ۱ به ۲/۵ باشد (شکل ۶-۱۳-۶-۱۰۲ ملاحظه شود).
		840	61×10 ⁸	B'	F _y < 690 MPa F _y ≥ 690 MPa
	از ناپیوستگی داخلی فلز پرکننده یا ناپیوستگی های در امتداد مرز ذوب	1120	120×10 ⁸	B	۲-۵. فلز پایه و فلز جوش در یا در مجاورت وصله های لب به لب که به صورت شیاری نفوذ کامل جوش شده اند. سلامت جوش با استفاده از آزمایش های غیرمخرب مشخص شده و جوش در امتداد تنش در تبدیل عرضی با شعاع بیش از ۳۰۰ میلی متر با نقطه ی مماس در انتهای جوش شیاری، سنگ زده شود. (شکل ۶-۱۳-۶-۱۰۲ ملاحظه شود).

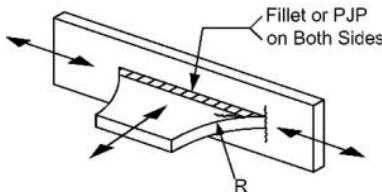
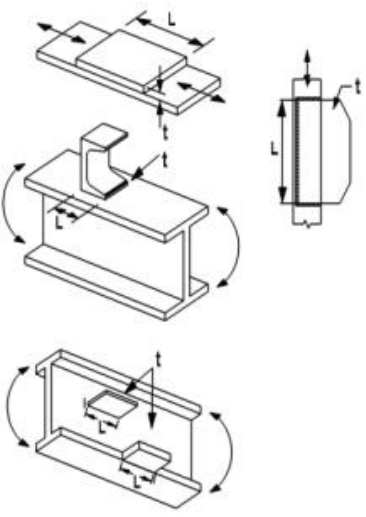
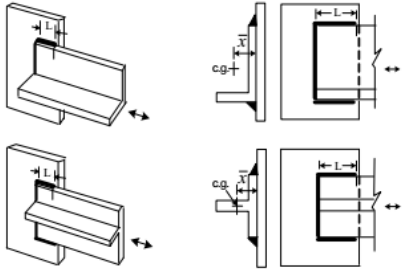
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۵- درزهای جوشی با جهت عرضی نسبت به تنش اصلی					
	از ناپیوستگی‌های سطحی روی پنجه جوش و گسترش درون فلز پایه یا در امتداد فلز پایه و یا در امتداد مرز ذوب	700	44×10^8	C	۳-۵. فلز پایه و فلز جوش در یا در مجاورت پنجه‌ی جوش شیار ی نفوذ کامل اتصالات کنج یا سپری، و یا در وصله‌های لبه‌لب با جوش شیار ی نفوذ کامل، همراه با یا بدون تبدیل در ضخامت با شیبی که بزرگتر از ۱ به ۲/۵ نباشد. هنگامی که گرده جوش برداشته نمی‌شود. (یادداشت: وقوع ترک در لبه‌ی T می‌تواند به علت تنش خمشی خارج از صفحه ایجاد شده به واسطه‌ی ساق، رخ دهد).
	شروع از ناپیوستگی هندسی روی پنجه جوش و گسترش درون فلز پایه و یا شروع از ریشه جوش تحت بارگذاری کششی و گسترش به سمت بقلا و خارج شدن از درز جوش	700	44×10^8	C (رابطه ۱۱-۸)	۴-۵. فلز پایه و فلز جوش در جزئیات عناصر صفحه ناپیوسته بارگذاری شده که با استفاده از جفت جوش‌های گوشه یا شیار ی نیمه‌نفوذی در دو طرف مقابل، عمود بر جهت تنش اصلی، متصل شده‌اند.
بخش ۶- ملحقات جوش شده تحت بارگذاری عرضی					
	نزدیک نقطه‌ی تماس گردی با لبه‌ی صاف روی لبه‌ی عضو تحت بارگذاری طولی و یا روی پنجه انتهایی جوش اگر به صورت ملایم سنگ‌زنی نشده باشد.	120 700 490 315 315	120×10^8 44×10^8 22×10^8 11×10^8 11×10^8	B C D E E	۱-۶. فلز پایه در اعضای تحت بارگذاری طولی در جزئیات بارگذاری عرضی (برای مثال ورق اتصال جانبی) که با جوش در امتداد تنش اصلی ملحق شده و دارای شعاع تبدیل R می‌باشد: با انتهای جوش سنگ‌زده و صاف: $R \geq 600$ میلی‌متر $150 \text{ میلی‌متر} \leq R \leq 600$ میلی‌متر $50 \text{ میلی‌متر} \leq R \leq 150$ میلی‌متر $R \geq 50$ میلی‌متر برای تمامی شعاع‌های تبدیلی بدون انتهای جوش سنگ‌خورده. (یادداشت: شرایط ۲-۶ و ۳-۶ یا ۴-۶ برحسب کاربرد، باید بررسی شود).

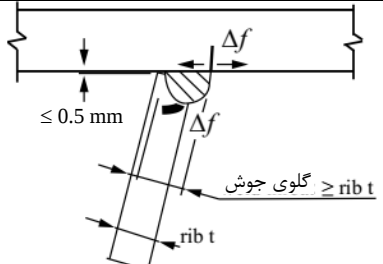
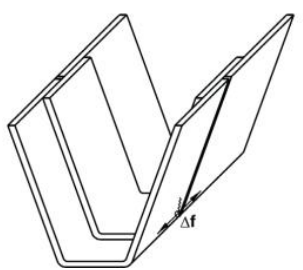
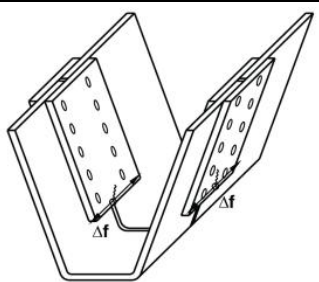
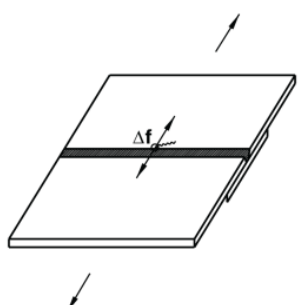
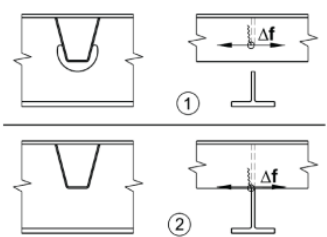
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۶- ملحقات جوش شده تحت بارگذاری عرضی					
	در نزدیکی نقاط تماس گردی با لبه صاف یا در جوش یا در مرز ذوب اعضای تحت بارگذاری طولی و یا ملحقات تحت بارگذاری عرضی	1120 700 490 315	120×10 ⁸ 44×10 ⁸ 22×10 ⁸ 11×10 ⁸	B C D E	۲-۶. فلز پایه در جزئیات تحت بارگذاری عرضی (برای مثال ورق اتصال جانبی) ملحق شده با جوش شیاری نفوذ کامل در امتداد تنش اصلی با شعاع تبدیلی R و سلامت جوش مشخص شده با آزمایش‌های غیرمخرب و انتهای جوش سنگ زده و صاف، به عضو تحت بارگذاری طولی با ضخامت برابر: در صورتی که گرده‌ی جوش برداشته شود: ۶۰۰ میلی‌متر $R \geq$
					۱۵۰ میلی‌متر $R \geq$ $600 > R \geq$ ۶۰۰ میلی‌متر
					۵۰ میلی‌متر $R \geq$ $150 > R \geq$ ۱۵۰ میلی‌متر
					۵۰ میلی‌متر $R >$
					در صورتی که گرده‌ی جوش باقی بماند:
					۶۰۰ میلی‌متر $R \geq$
					۱۵۰ میلی‌متر $R \geq$ $600 > R \geq$ ۶۰۰ میلی‌متر
					۵۰ میلی‌متر $R \geq$ $150 > R \geq$ ۱۵۰ میلی‌متر
					۵۰ میلی‌متر $R >$
					(یادداشت: شرایط ۱-۶ نیز باید بررسی شود).
	روی پنجه جوش در امتداد لبه‌ی ورق نازکتر، در انتهای جوش ناحیه تبدیل با شعاع کوچک، روی پنجه جوش در امتداد روی پنجه جوش در امتداد لبه‌ی ورق نازکتر	490 315 315	22×10 ⁸ 11×10 ⁸ 11×10 ⁸	D E E	۳-۶. فلز پایه در جزئیات تحت بارگذاری عرضی (برای مثال ورق اتصال جانبی) ملحق شده با جوش شیاری نفوذ کامل در امتداد تنش اصلی با شعاع تبدیلی R و سلامت جوش مشخص شده با آزمایش‌های غیرمخرب و انتهای جوش سنگ زده و صاف، به عضو تحت بارگذاری طولی با ضخامت نابرابر: در صورتی که گرده‌ی جوش برداشته شود: ۵۰ میلی‌متر $R \geq$ ۵۰ میلی‌متر $R <$
					برای تمامی شعاع‌های تبدیل بدون انتهای جوش سنگ خورده.
					(یادداشت: شرایط ۱-۶ نیز باید بررسی شود).

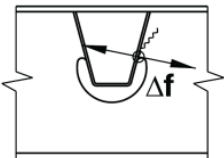
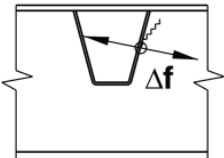
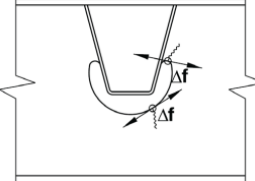
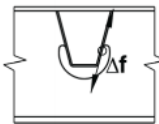
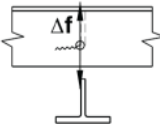
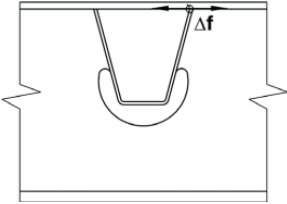
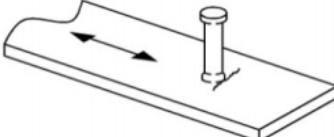
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۶- ملحقات جوش شده تحت بارگذاری عرضی					
				بخش ۵ ردیف ۱۱	۴-۶. فلز پایه در جزئیات تحت بارگذاری عرضی (برای مثال ورق اتصال جانبی) که با جوش گوشه یا جوش شیاری نیمه‌نفوذی در امتداد جهت تنش اصلی به عضو تحت بارگذاری طولی ملحق شده است. (یادداشت: شرایط ۱-۶ نیز باید بررسی شود.)
بخش ۷- ملحقات جوش شده تحت بارگذاری طولی					
	در عضو اصلی، در پنجه انتهایی جوش	700 490 315 182	44×10^8 22×10^8 11×10^8 3.9×10^8	C D E E'	۱-۷. فلز پایه در عضو تحت بارگذاری طولی در جزئیات به طول L در امتداد تنش اصلی و ضخامت t که با جوش شیاری یا گوشه در امتداد عمود بر جهت تنش اصلی بدون شعاع تبدیلی، ملحق شده است: $L < 50$ میلیمتر $50 \leq L \leq 100$ میلی‌متر $100 < L \leq 12t$ میلی‌متر $25 < t$ میلی‌متر $25 \leq t$ میلی‌متر (یادداشت: برای اتصالات نبشی یا اعضای سپری جوش شده به لچکی یا ورق اتصال، شرایط ۲-۷ ملاحظه شود.)
	پنجه جوش‌های گوشه‌ای اتصال اعضا	182	3.9×10^8	E'	۲-۷. فلز پایه در نبشی یا اعضای سپری متصل به لچکی یا ورق اتصال با جوش گوشه طولی در امتداد دوطرف جزء عضو متصل، همراه با یا بدون جوش از سمت پشت. محدوده تنش خستگی باید روی سطح مقطع موثر عضو محاسبه شود، $U = 1 - \bar{x}/L$ که در آن $A_e = V A_g$ و A_g سطح مقطع ناخالص (کلی) عضو می‌باشد. $\bar{x}$ فاصله از مرکز عضو تا سطح لچکی یا ورق اتصال دهنده می‌باشد و L حداکثر طول جوش طولی می‌باشد. در محاسبه‌ی محدوده تنش، از تاثیر لنگر ناشی از خروج از مرکزی در اتصالات باید صرف‌نظر شود.

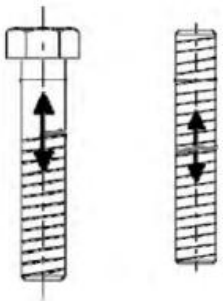
جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۸ - عرشه‌ی ارتوتروپیک					
	شکل ملاحظه شود.	700	44×10^8	C	۸-۱. جوش اتصال تیرچه به عرشه - یک طرفه (حداقل ۶۰ درصد) نفوذ جوش با درز اتصال ≥ 0.5 میلی‌متر قبل از جوشکاری. گلولی جوش $\leq$ ضخامت دیواره تیرچه سطح مجاز طراحی ۱، ۲ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	490	22×10^8	D	۸-۲. وصله تیرچه (جوش شده) - جوش شیاری لب‌به‌لب تکی با پشت‌بند دائمی باقی‌مانده. درز جوش < ضخامت دیواره تیرچه سطح مجاز طراحی ۱، ۲ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	1120	120×10^8	B	۸-۳. وصله تیرچه (پیچ شده) - فلز پایه در مقطع ناخالص (کلی) اتصال اصطکاکی پرمقاومت. سطح مجاز طراحی ۱، ۲ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	490	22×10^8	D	۸-۴. وصله ورق عرشه (در صفحه) - جوش شیاری لب‌به‌لب تکی عرضی یا طولی با پشت‌بند دائمی باقی‌مانده سطح مجاز طراحی ۱، ۲ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	700	44×10^8	C	۸-۵. جوش تیرچه به تیر کف (عرضی) - دیواره‌ی تیرچه در جوش (گوشه یا نفوذ کامل) سطح مجاز طراحی ۱، ۲ یا ۳

جدول ۱۱-۶ (ادامه)

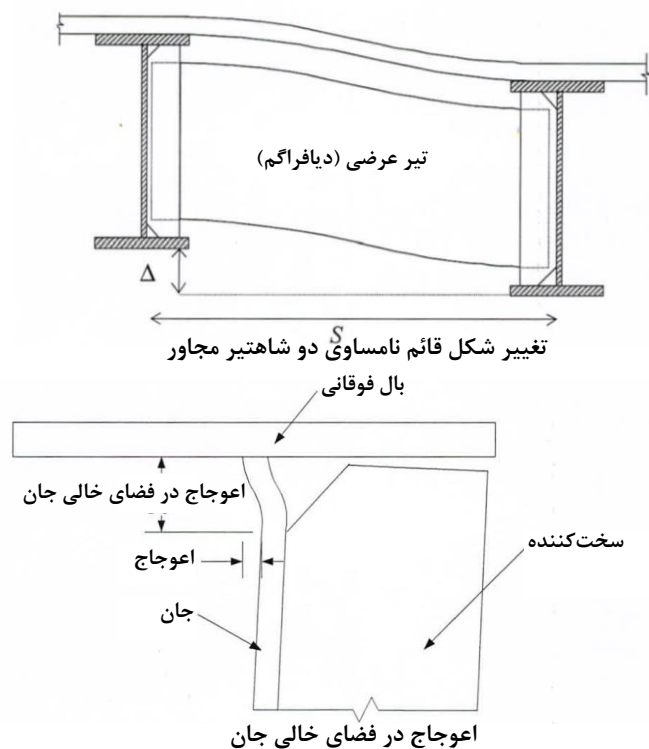
مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF) _{TH} (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۸- عرشه‌ی ارتوتروپیک					
 	شکل ملاحظه شود.	700	44×10^8	C	۸-۶. جوش تیرچه به تیر کفی (عرضی)- جان تیر در جوش (گوشه، نیمه نفوذی یا نفوذ کامل) سطح طراحی مجاز ۱ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	1680	250×10^8	A	۸-۷. برش تیر کف (عرضی)- فلز پایه در لبه، با پرداخت صاف به وسیله برش حرارتی مطابق با AWS D1.5 سطح طراحی مجاز ۱ یا ۳
 	شکل ملاحظه شود.	700	44×10^8	C	۸-۸. جان تیرچه در محل برش تیر کف در جوش تیرچه به تیر کف (عرضی) (گوشه، نیمه نفوذی یا نفوذ کامل) سطح طراحی مجاز ۱ یا ۳
	شکل ملاحظه شود.	700	44×10^8	C	۸-۹. اتصال تیرچه به عرشه در تیر کف (عرضی) سطح طراحی مجاز ۱ یا ۳
(یادداشت ۱)					
بخش ۹- موارد دیگر					
	روی پنجه جوش و در فلز پایه	700	44×10^8	C	۹-۱. فلز پایه در اتصال دهنده‌های برشی گل‌میخ که با جوش گوشه یا جوش خودکار گل‌میخ متصل شده‌اند.

جدول ۱۱-۶ (ادامه)

مثال شکلی	نقطه آغازین ترک	حد دوام (ΔF_{TH}) (kg/cm ²)	ثابت A (kg/cm ²) ³	طبقه	توضیحات
بخش ۹ - موارد دیگر					
	در ریشه‌ی رزوه‌ها و گسترش درون ناحیه تحت تنش کششی	موضوعیت ندارد. 490	3.9×10 ⁸ N/A	E' D	۹-۲. پیچ‌های پرمقاومت بالای غیر پیش‌تنیده، پیچ‌های معمولی، پیچ دوسر رزوه (Threaded Anchor rods)، پیچ بدون سر (Hanger rods) با رزوه‌های برش خورده، سنگ‌خورده و یا غلتکی. از محدوده تنش اعمالی ناشی از بار زنده بر روی ناحیه کششی به علاوه عمل اهرمی (Prying Action)، در صورت وجود، استفاده شود.
					(خستگی II) عمر محدود
					(خستگی I) عمر نامحدود

۱۱-۱-۳ - خستگی ناشی از اعوجاج

ترک ناشی از خستگی اعوجاجی، در جان شاهتیرهای طولی در نزدیکی بال و در محل اتصال تیرهای عرضی به آنها در اثر تغییرشکل غیریکسان شاهتیرهای طولی وقتی که مسیر بار مستقیمی برای انتقال نیروی عرضی از جان به بال شاهتیر طولی تامین نشده باشد، رخ می‌دهد (شکل ۱۱-۴). لازمست مسیر بار کافی برای انتقال نیروهای خواسته و ناخواسته، با اتصال اعضای عرضی به اجزای مقطع عرضی شاهتیرهای طولی تامین گردد.



شکل ۱۱-۴ - خستگی اعوجاجی

اتصال اعضای عرضی به اجزای شاهتیرهای طولی می‌تواند به کمک جوش یا پیچ صورت پذیرد. برای جلوگیری از شکست ناشی از این نوع خستگی، لازمست جزییات مناسب در محل اتصال تیرعرضی به تیرطولی ملحوظ گردد. به علاوه لازمست کنترل کمانش جان تیر طولی به کمک روابط مربوطه انجام شود.

۱۱-۳-۱- ورق‌های اتصالی عرضی

به جز مواردی که در این بخش مستثنی می‌شود، ورق‌های اتصالی تیرعرضی به تیرطولی باید به هر دو بال شاهتیر طولی جوش یا پیچ شود که در آنها:

- دیافراگم‌ها یا قاب‌های عرضی که به ورق‌های اتصالی عرضی یا سخت‌کننده‌های عرضی که نقش ورق‌های اتصالی را بازی می‌کنند، متصل شده‌اند.
- دیافراگم‌ها یا قاب‌های عرضی داخلی یا خارجی که به ورق‌های اتصالی عرضی یا سخت‌کننده‌های عرضی که نقش ورق‌های اتصال را بازی می‌کنند، متصل شده‌اند.
- تیرهای عرضی یا تیرچه‌های طولی که به ورق‌های اتصالی عرضی یا سخت‌کننده‌های عرضی که نقش ورق‌های اتصال را بازی می‌کنند، متصل شده‌اند.

در پل‌های مستقیم و غیرکج، در غیاب اطلاعات دقیقتر، اتصال جوشی یا پیچی باید برای نیروی جانبی ۹ تن محاسبه شود.

در صورت استفاده از دیافراگم‌های عرضی میانی لازمست:

- در تیرهای نورد شده در پل‌های مستقیم با عرشه‌ی بتن آرمه‌ی مسلح مختلط که تکیه‌گاه‌های آنها عمود بر تیرها و یا با کجی کمتر از ۱۰ درجه است.
- با دیافراگم‌های میانی که در یک خط به موازات تکیه‌گاه قرار دارند.

برای اتصال دیافراگم‌ها، با ارتفاع کمتر از ارتفاع کامل، نبشی انتهایی یا ورق اتصال می‌تواند به جان تیر طولی پیچ یا جوش شود. نبشی‌های انتهایی یا ورق‌ها باید به اندازه‌ی $\frac{1}{4}$ ارتفاع کامل تیر باشند. در نبشی‌های پیچی سوراخ‌های بالا و پایین باید فاصله‌ای حداقل ۷۵ میلی‌متری از بال‌ها داشته باشند. فاصله‌بندی پیچ‌ها باید مقررات فصل مربوط را برآورده نمایند. در اتصالات جوشی فاصله انتهایی جوش از بال‌ها باید حداقل ۷۵ میلی‌متر باشد. پنجه و پاشنه‌ی نبشی‌های انتهایی یا هر دو طرف ورق‌های اتصالی باید به جان تیر جوش شوند. جوش‌ها نباید در امتداد بالا و پایین نبشی‌های انتهایی و ورق‌های اتصالی قرار داده شوند.

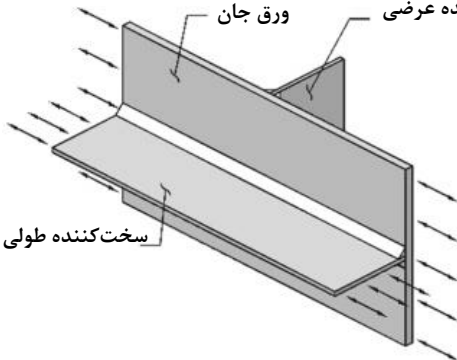
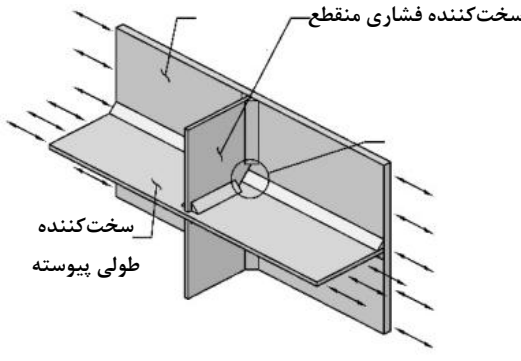
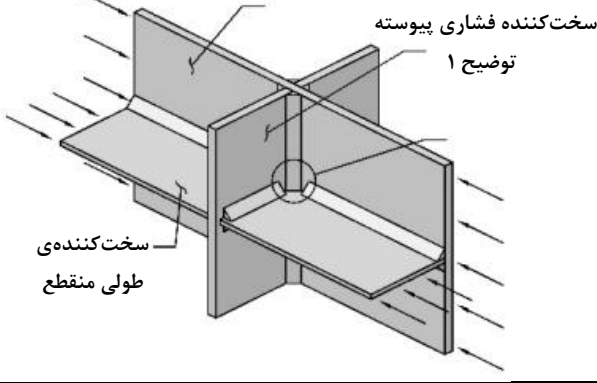
ورق‌های اتصال جانبی

اگر امکان اتصال ورق‌های اتصال جانبی به بال نباشد، ورق‌های اتصال جانبی را می‌توان به جان سخت شده در فاصله‌ای نه کمتر از نصف عرض بال در زیر یا بالای بال متصل نمود. این ورق‌ها حداقل باید ۱۵۰ میلیمتر از زیر یا بالای بال فاصله داشته باشند ولی همانطور که گفته شد این فاصله نباید کمتر از نصف عرض بال باشد. انتهای عضو مهار جانبی حداقل باید ۱۰۰ میلیمتر از جان و یا لبه‌ی سخت‌کننده‌ی عرضی فاصله داشته باشد.

ورق اتصال جانبی باید بر سخت‌کننده‌های عرضی منطبق باشد، حتی اگر سخت‌کننده در یک طرف جان و ورق اتصال در سمت دیگر باشد.

در جدول ۷-۱۱ جزییات لازم در محل تقاطع سخت‌کننده‌های طولی و عرضی به منظور جلوگیری از ترک‌های اعوجاجی ارائه شده است.

جدول ۷-۱۱- جزییات لازم در محل تقاطع سخت‌کننده‌های طولی و عرضی به منظور جلوگیری از ترک‌های اعوجاجی

توضیح	نوع تنش در محل تقاطع	مثال شکلی
سخت‌کننده طولی در یک سمت و سخت‌کننده‌ی قائم در سمت دیگر	کشش، فشار، معکوس	
سخت‌کننده‌ی طولی پیوسته و سخت‌کننده‌ی عرضی منقطع	کشش، فشار و معکوس	
سخت‌کننده‌ی عرضی پیوسته و سخت‌کننده طولی منقطع	فقط فشار	
Note 1: If a gap is specified between the weld toes, the recommended minimum distance between the weld toes is 0.75 in., but shall not be less than 0.5 in. Larger gaps are also acceptable.		

جدول ۱۱-۷- (ادامه) جزییات لازم در محل تقاطع سخت‌کننده‌های طولی و عرضی به منظور جلوگیری از ترک‌های اعوجاجی

مثال شکلی	نوع تنش در محل تقاطع	توضیح
	کشش، فشار و معکوس	ورق اتصال جانبی به جان
	فقط فشار	ورق اتصال جانبی به جان

۱۱-۲- شکست

۱۱-۲-۱- طبقه‌بندی و الزامات آزمایش ضربه‌ی شیار V شاری (CVN)

اعضا و اجزا در دو طبقه‌ی اصلی^۱ و فرعی^۲ مطابق جدول ۱۱-۸ قرار می‌گیرند. اعضا یا اجزای اصلی یا قسمت‌هایی از آنها که در ترکیب بار I تحت تنش کششی خالص قرار دارند، باید در اسناد مناقصه مشخص شده باشند. برای اعضا یا اجزای اصلی یا قسمت‌هایی از آنها که در ترکیب بار I، تحت تنش کششی خالص قرار دارند، آزمایش ضربه‌ی شیار V شاری لازم است، به استثنای اعضای دیافراگم‌ها و قاب‌های عرضی و ورق‌های اتصال پیچی یا جوشی در پل‌های منحنی در افق، مگر اینکه در اسناد مناقصه ترتیب دیگری پیش‌بینی شده باشد.

از نقطه‌نظر دمای بهره‌برداری، مطابق جدول ۱۱-۹ سه پهنه‌بندی دمایی تعریف می‌شود. براساس پهنه‌بندی فوق، حداقل انرژی آزمایش شاری (CVN) برای اعضا و اجزای حساس به شکست^۳ و غیرحساس به شکست^۴ مطابق جدول ۱۱-۱۰ می‌باشد. اعضای که تحت ترکیب بار مقاومتی شماره ۱ در تنش کششی خالص نباشد، در گروه غیرحساس به شکست قرار می‌گیرند. اعضای حساس به شکست در رده‌ی اعضای اصلی می‌باشند که در ترکیب

- 1- Primary
- 2- Secondary
- 3- Fracture Critical
- 4- Nonfracture- Critical

بار مقاومتی شماره ۱ تحت تنش کششی خالص قرار دارند و طبق قضاوت مهندسی تعیین و در اسناد پیمان مشخص می‌شوند.

جدول ۱۱-۸- طبقه‌بندی اعضا

توضیح	طبقه‌بندی عضو یا جزء
شاهتیرها، تیرها، تیرچه‌ها، تیرهای کفی، کلاhek پایه (خرک)، دیوارهای جداکننده و تیرهای دوطرفه (دوتایی)	اصلی
پال‌های خرپا، قطری‌ها، قائم‌ها و دروازه و اعضای مهاربند نوسانی	اصلی
تیرهای قوسی و تیرهای کلاف جوش یا ساخته شده	اصلی
قاب‌های صلب	اصلی
صفحه لچکی و ورق‌های وصله در تیرها، بندهای قوسی، تیرمهارها و قاب‌های صلب	اصلی
ورق‌های وصله و پوششی در شاه‌تیرها، تیرها، تیرچه‌ها، تیرهای کفی، کلاhek پایه (خرک) و تیرهای دوطرفه (دوتایی)	اصلی
اعضای مهاربند باربر بندهای قوسی	اصلی
بال تحتانی دائمی اعضای مهاربند جانبی و بست مکانیکی شده یا بال تحتانی جوش شده ورق‌های اتصال جانبی در پل‌های مستقیم و دارای انحنای افقی	اصلی
بال فوقانی اعضای مهاربند جانبی یا دستک‌ها و بال فوقانی ورق‌های اتصال در پل‌های مستقیم و دارای انحنای افقی	فرعی
دیافراگم و اعضای قاب‌های عرضی و صفحه لچکی‌های جوش یا پیچ شده قاب‌های عرضی در پل‌های مستقیم	فرعی
دیافراگم و اعضای قاب‌های عرضی و صفحه لچکی‌های جوش یا پیچ شده قاب‌های عرضی در پل‌های دارای انحنای افقی	اصلی
دیافراگم و اعضای قاب‌های عرضی و صفحه لچکی‌های جوش یا پیچ شده قاب‌های عرضی و سخت‌کننده فشاری در تکیه‌گاه پل‌های واقع شده در نواحی لرزه‌ای ۳ و ۴	اصلی
یاتاقان‌ها، ورق‌های پرکننده، بالشتک‌ها و صفحه‌های بنایی	فرعی
سخت‌کننده‌های طولی جوش یا پیچ شده بال و جان	اصلی
سخت‌کننده‌های میانی عرضی جوش شده یا پیچ شده جان، سخت‌کننده‌های عرضی بال، سخت‌کننده‌های فشاری تکیه‌گاهی و ورق‌های اتصال عرضی	فرعی
ورق بست (قید افقی) و ورق نگهدارنده جوش یا پیچ شده مکانیکی، بست چپ و راست و ورق‌های پیوسته سوراخ شده (مشبک) یا سوراخ‌نشده در اعضای ساخته شده	اصلی
میلگردهای سرپهن و ورق‌های آویز	اصلی
دیگر اجزای سازه‌ای یا ملحقاتی متفرقه‌ای که دو عضو اصلی را بهم متصل کرده و در موارد بالا ذکر نشده‌اند.	اصلی
دیگر اجزای غیرسازه‌ای یا ملحقات متفرقه (به طور مثال؛ سد یا بند انبساط، جزییات زهکشی، براکت‌ها و دیگر ملحقات متفرقه)	فرعی

جدول ۱۱-۹- دمای بهره‌برداری

پهنه‌بندی دمایی	حداقل دمای بهره‌برداری
1	-18 >
2	-18 تا -34
3	-35 تا -50

جدول ۱۱-۱۰

رده (Y.P./Y.S.)	ضخامت (mm)	حساس به شکست				غیرحساس به شکست		
		حداقل انرژی (ژول)	پهنه ۱ @ °C ژول	پهنه ۲ @ °C ژول	پهنه ۳ @ °C ژول	پهنه ۱ @ °C ژول	پهنه ۲ @ °C ژول	پهنه ۳ @ °C ژول
36	$t \leq 100$	27	34 @ 21	25 @ 40	25 @ 10	15 @ 70	15 @ 40	15 @ 10
50/50S/50W	$t \leq 50$	27	25 @ 70	25 @ 40	25 @ 10	15 @ 70	15 @ 40	15 @ 10
	$50 < t \leq 100$	32	40 @ 70	30 @ 40	30 @ 10	20 @ 70	20 @ 70	20 @ 10
HPS 50W	$t \leq 100$	32	40 @ 10	30 @ 10	40 @ -12	20 @ 10	20 @ 10	20 @ 10
HPS 70W	$t \leq 100$	38	35 @ -10	35 @ -10	47 @ -23	25 @ -10	25 @ -10	25 @ -10
HPS 100W	$t \leq 65$	38	35 @ -30	35 @ -30	47 @ -34	25 @ -30	25 @ -30	25 @ -30
	$65 < t \leq 100$	38	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	35 @ -30	35 @ -30	35 @ -30

جوشکاری این اعضا باید طبق مفاد مندرج در دستورالعمل جوشکاری پل‌های فولادی AWS-D1.5 جوش شوند.

فصل ۱۲

خرپاها

۱۲-۱- کلیات

۱۲-۱-۱- اعضا و اجزای تشکیل دهنده ی خریا را می توان با جوش، پرچ و یا پیچ های پرمقاومت بهم متصل کرد.

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

۱۲-۱-۳- عضو انتهایی خریا 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، خریاهای اصلی باید با فاصله مرکز به مرکز کافی از هم قرار داده شوند.

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

- در خریاهای پرچی یا پیچ شده، فاصله بین مراکز ثقل یال ها

- در خریاهای با اتصالات مفصلی، فاصله بین مراکز مفصل

۱۲-۲- اعضای خریا

۱۲-۲-۱- اعضای جان و یال خریا معمولاً از نیمرخ های زیر ساخته می شوند:

نیمرخ های H نورد شده و یا ساخته شده از ورق یا ناودانی، با جان پر، مشبک و یا بست های موازی و مورب.

نیمرخ های ناودانی بصورت نورد شده یا ساخته شده از ورق یا نبشی، با جان پر، مشبک و یا بست های موازی و مورب.

نیمرخ های قوطی با استفاده از مقاطع I، ناودانی، نبشی، ورق، که بوسیله ورق های پر، مشبک و یا بست های موازی یا مورب متصل گردیده اند.

۱۲-۲-۲- لازمست یال فشاری و کششی بصورت پیوسته باشد.

۱۲-۲-۳- چنانچه اعضای جان خریا تحت تنش های 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 ماند آب در گوشه ها جلوگیری شود.

۱۲-۳- تنش های ثانوی

تنش های ثانوی در خریا، ناشی از وزن اعضا و لنگرهای انتهایی اعضا به علت گیرداری در محل اتصالات می باشند. هندسه خریا باید به گونه ای باشد که تنش های ثانویه تا حد امکان کاهش یابند. با توجه به استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری

برای تحلیل و طراحی خرپا بصورت نامعین و گره‌های صلب و امکان مدلسازی سه بعدی، تنش‌های ثانوی ناشی از خمش اعضا چه به علت گیرداری گره‌ها و چه به علت وزن اعضا، همانند تنش‌های محوری در طراحی مورد توجه قرار می‌گیرند.

۱۲-۴- نسبت ارتفاع به دهانه

توصیه می‌شود نسبت ارتفاع به دهانه‌ی خرپا، کمتر از $\frac{1}{4}$ نشود. در دهانه‌ی ساده، طول دهانه، فاصله مرکز به مرکز دو تکیه‌گاه می‌باشد. در دهانه‌های سراسری طول دهانه، 0.7 فاصله‌ی مرکز به مرکز دو تکیه‌گاه منظور می‌شود.

۱۲-۵- پیش‌خیز

در ساخت خرپا، باید خیز اولیه‌ای به اندازه تغییرشکل ناشی از بار مرده تعبیه گردد. در محاسبه تغییرشکل 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 مرکز هندسی مقطع آنها حتی‌الامکان 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، مرکز هندسی مقطع به استثنای مواردی که به جهت مقابله با خمش ناشی از بار مرده، وجود برون‌محوری لازم می‌باشد، باید تا حد امکان به خط محور نزدیک باشد.

۱۲-۷- مهاربندی و قاب‌های عرضی

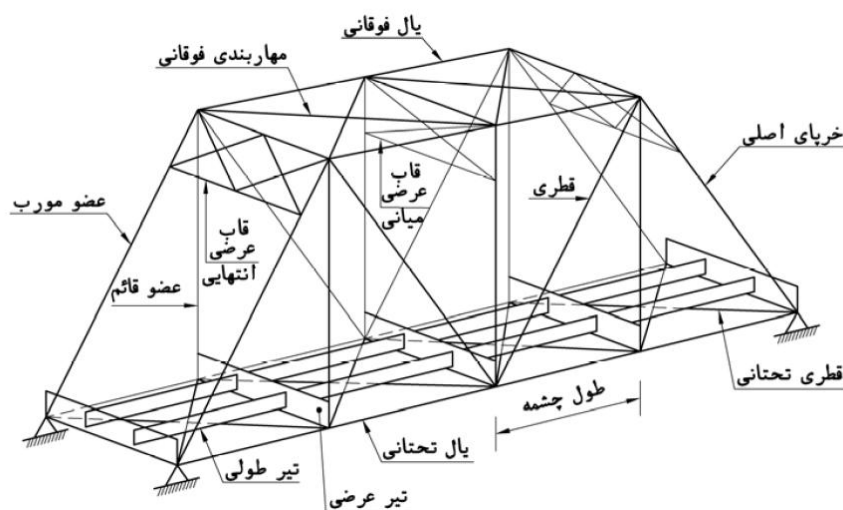
در پل‌های خرپایی تعبیه سیستم‌های مهاربندی زیر ضروری است:

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 $1/5$ متر می‌باشد.

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



شکل ۱۲-۱- مهاربندی خریاها

۱۲-۸- مقاومت اعضای خریا

جزئیات و مقاومت اعضای کششی خریا طبق مفاد فصل سوم، اعضای فشاری خریا طبق مفاد فصل هفتم و مقاومت اعضای که تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی قرار دارند، طبق مفاد فصل هشتم تعیین می‌گردد.

۱۲-۹- ورق‌های اتصال

۱۲-۹-۱- به استثنای خریای 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 $2\sqrt{E/F_y}$ تجاوز نماید، لبه ورق باید تقویت گردد. این نسبت برای فولاد نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ مساوی ۶۰ بدست می‌آید.

مقاومت برشی ورق اتصال

مقاومت برشی ورق اتصال براساس دو معیار زیر تعیین می‌شود:

(الف) مقاومت برشی تسلیم

$$V_r = \phi_{vy} 0.58 F_y A_{vg} \Omega \quad (۱-۱۲)$$

که در آن:

ϕ_{vy} = ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸

Ω = ضریب کاهش مقاومت ورق اتصال مساوی ۰/۸۸

A_{vg} = سطح مقطع کل صفحه‌ی برش

F_y = تنش تسلیم مقرر ورق اتصال

(ب) مقاومت برشی گسیختگی

$$R_r = \phi_{vu} 0.58 R_p F_u A_{vn} \quad (۲-۱۲)$$

ϕ_{vu} = ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸

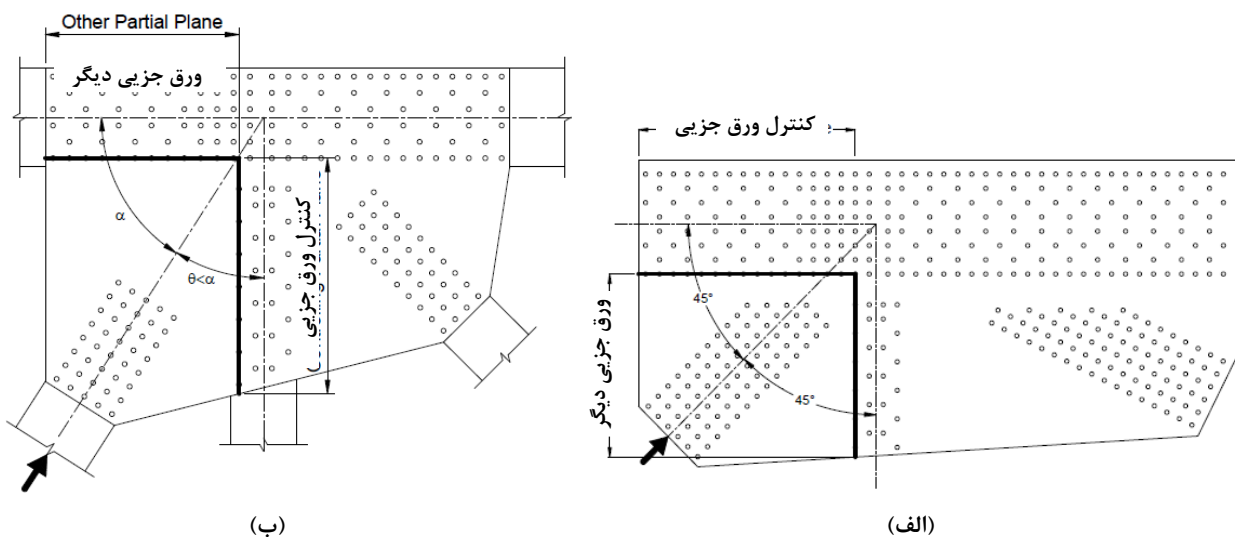
R_p = ضریب کاهش روش سوراخکاری مساوی ۱ برای سوراخ مته شده و مساوی ۰/۹ برای سوراخ مگانه شده

A_{vn} = سطح مقطع خالص صفحه برش

F_u = تنش نهایی ورق اتصال

صفحه برش در ورق اتصال

صفحه برش در ورق اتصال می‌تواند به صورت کلی و در یک امتداد از اول تا انتهای ورق اتصال و یا می‌تواند همانند شکل ۲-۱۲-الف و ب بصورت جزئی برای مولفه‌های افقی و قائم نیروی عضو باشد:



شکل ۲-۱۲

مقاومت فشاری ورق اتصال

مقاومت فشاری P_r ورق اتصال از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P_r = \phi_{cg} P_n \quad (۳-۱۲)$$

که در آن:

ϕ_{cg} = ضریب کاهش مقاومت فشاری ورق اتصال مساوی ۰/۷۵

P_n = مقاومت فشاری روی سطح مقطع ویتمور (شکل ۳-۱۲) طبق روابط زیر:

$$\frac{P_e}{P_o} \leq 2.25 \Rightarrow P_n = \left[0.658 \left(\frac{P_o}{P_e} \right) \right] P_o \quad (۴-۱۲)$$

$$\frac{P_o}{P_e} > 2.25 \Rightarrow P_n = 0.877 P_e \quad (۵-۱۲)$$

$$P_o = F_y A_g \quad (۶-۱۲)$$

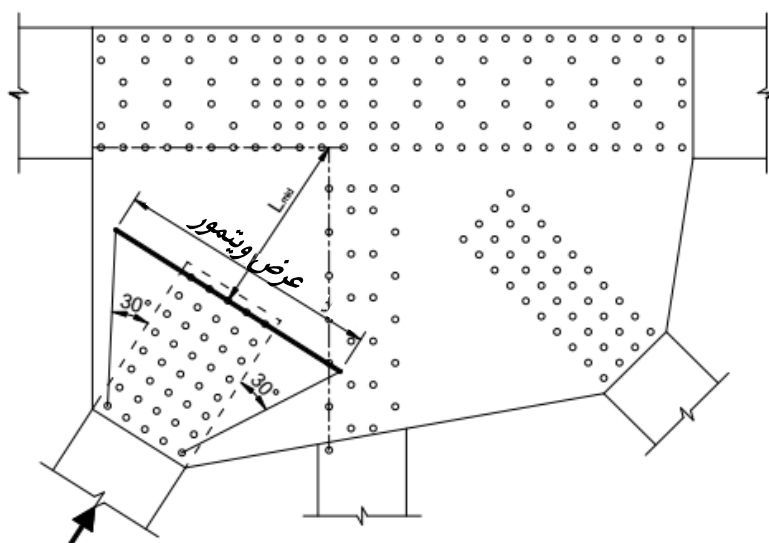
در محاسبه P_n ضریب کاهش جزء لاغیر Q مساوی واحد (۱) منظور می‌شود و نیروی کمانش الاستیک P_e از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$P_e = \frac{3.29E}{\left(\frac{L_{mid}}{t_g} \right)^2} A_g \quad (۷-۱۲)$$

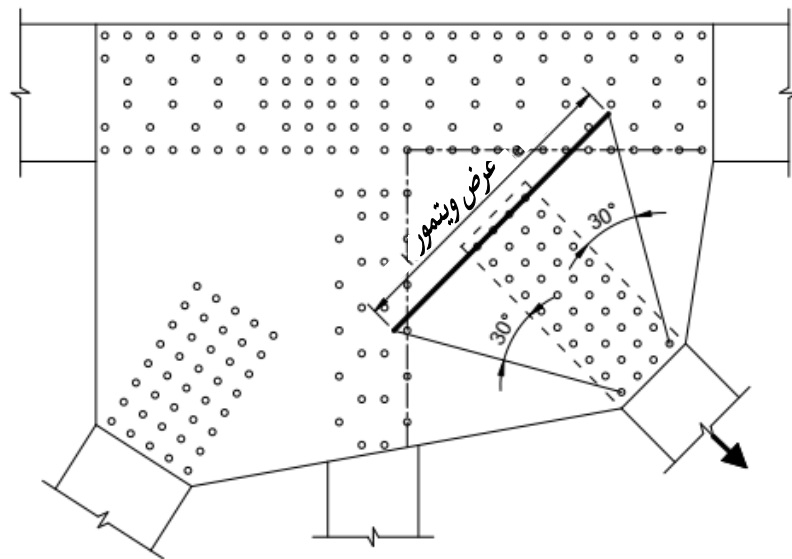
که در آن:

A_g = مساحت مقطع ویتمور (شکل ۳-۱۲)

L_{mid} = طول جزء فشاری مطابق (شکل ۳-۱۲)



شکل ۳-۱۲



شکل ۴-۱۲

مقاومت کششی ورق گاست:

مقاومت کششی در مقطع ویتمور (شکل ۴-۱۲) با توجه به روابط فصل سوم و دو رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$P_r = \phi_y P_{ny} = \phi_y F_y A_g \quad (۸-۱۲)$$

$$P_r = \phi_u P_{nu} = \phi_u F_u A_n R_p U \quad (۹-۱۲)$$

در روابط فوق:

F_y = تنش تسلیم مصالح ورق اتصال

F_u = تنش نهایی مصالح ورق اتصال

A_n = سطح مقطع خالص ویتمور کوچکتر یا مساوی $0.85A_g$

A_g = سطح مقطع کلی ویتمور

R_p = مساوی ۱ برای سوراخ‌های ایجاد شده توسط مته‌کاری و ۰.۹ برای سوراخ‌های ایجاد شده توسط منگنه

ϕ_y = ضریب کاهش مساوی ۰/۹۵

ϕ_u = ضریب کاهش مساوی ۰/۸۰

U = ضریب کاهش مساوی ۱

وصله‌ی یال فشاری در محل ورق اتصال (شکل ۵-۱۲)

برای وصله‌ی یال فشاری مقاومت فشاری ضریب‌دار از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود (شکل ۶-۱۲):

$$P_r = \phi_{cs} F_{cr} \left(\frac{S_g A_g}{S_g + e_p A_g} \right) \quad (۱۰-۱۲)$$

که در آن:

F_{cr} = تنش بحرانی ورق اتصال

$$\frac{KL_{splice} \sqrt{12}}{t_g} < 25 \Rightarrow F_{cr} = F_y \quad (۱۱-۱۲)$$

که در آن:

ϕ_{cs} = ضریب تقلیل ظرفیت مساوی ۰/۶۵

A_g = سطح مقطع ورق اتصال در محل درز وصله

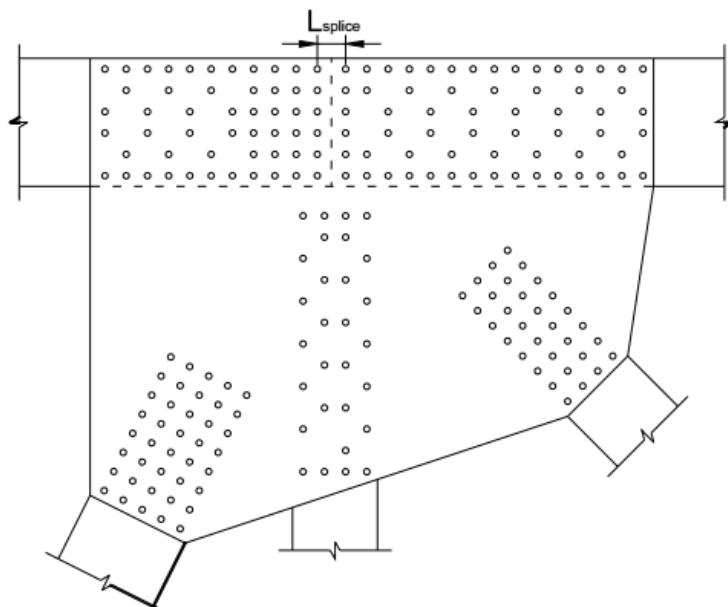
e_p = برون محوری نیروی یال فشاری نسبت به مرکز سطح مقطع ورق اتصال

K = ضریب طول موثر ستون مساوی ۰/۵

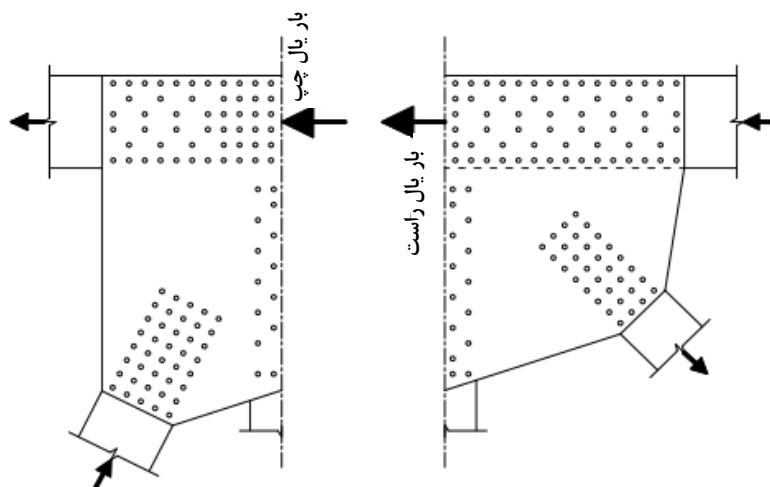
L_{splice} = مطابق شکل ۵-۱۲

S_g = اساس مقطع ورق‌های وصله در محل درز اتصال (شکل ۶-۱۲)

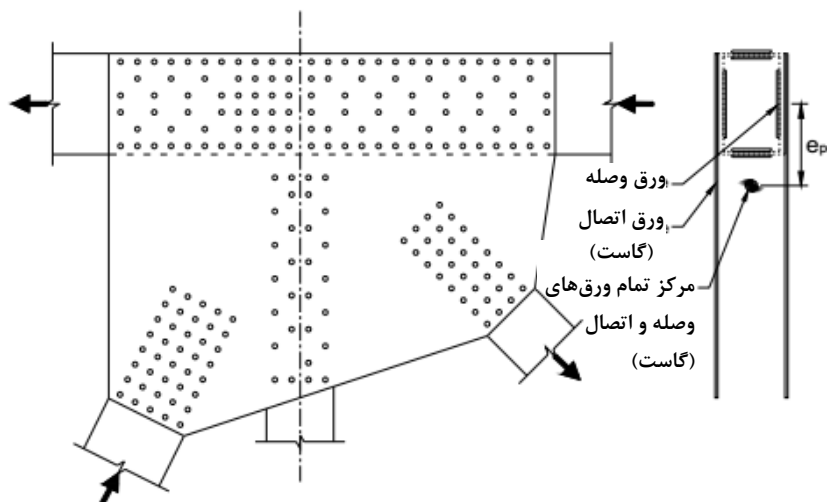
t_g = ضخامت ورق وصله



شکل ۵-۱۲



شکل ۱۲-۶



شکل ۱۲-۷

وصله یال کششی در محل ورق اتصال

برای وصله‌ی یال کششی، مقاومت کشش ضریب‌دار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P_r = \phi_{cs} F_y \left(\frac{S_g A_g}{S_g + e_p A_g} \right) \quad (12-12)$$

$$P_r = \phi_{cs} F_u \left(\frac{S_n A_n}{S_n + e_p A_n} \right) \quad (13-12)$$

که در آن:

$$\phi_{CS} = \text{ضریب تقلیل مقاومت مساوی } 0/65$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی ورق‌های اتصال (گاست) در محل درز وصله}$$

$$A_n = \text{سطح مقطع خالص ورق‌های اتصال در محل درز وصله}$$

$$e_p = \text{برون محوری نیروی کششی نسبت به مرکز مقطع (شکل ۱۲-۷)}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم مقرر مصالح ورق اتصال (گاست)}$$

$$F_u = \text{تنش نهایی مصالح ورق اتصال}$$

$$S_g = \text{اساس مقطع کلی ورق‌های اتصال در محل درز وصله}$$

$$S_n = \text{اساس مقطع خالص ورق‌های اتصال در محل درز وصله}$$

وصله‌ی یال کششی باید برای برش قالبی نیز کنترل شود.

۱۲-۱۰- خریاهای میان‌گذر - بدون مهاربندی جانبی یال فشاری^۱

توضیح داده شد که یکی از انواع عرشه‌های خریایی، عرشهٔ میان‌گذر بدون مهاربندی جانبی یال فشاری است. (شکل ۱۲-۸). در این عرشه، یک قاب U شکل متشکل از تیر عرضی و اعضای قائم خریا، تامین کنندهٔ مهاربندی جانبی بال فشاری می‌باشد که در زیر مبانی تئوری روش تحلیل آنها را شرح می‌دهیم.



شکل ۱۲-۸- عرشه‌های میان‌گذر بدون مهاربندی جانبی یال فشاری

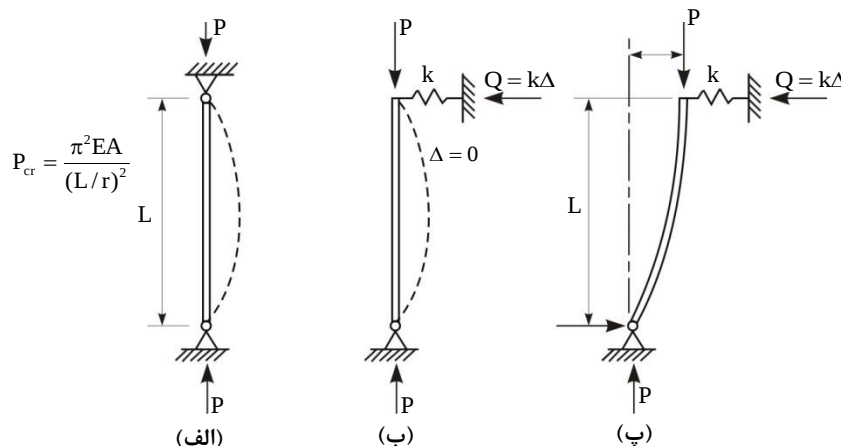
مهاربندی موضعی برای ستون‌ها و تیرهای الاستیک

عضوی فشاری شکل ۹-۱۲-الف، را در نظر بگیرید که از انتقال جانبی دو انتهای آن به وسیله‌ی دو تکیه‌گاه مفصلی صلب، بطور کامل جلوگیری شده است. به چنین حالتی، سیستم مهاربندی شده می‌گوییم. حال تکیه‌گاه فوقانی را از حالت کاملاً صلب خارج نموده و به جای آن تکیه‌گاه جانبی الاستیک که مدل ساده‌ی آن فنر ساده با سختی K می‌باشد، قرار می‌دهیم. این فنر در واقع نماینده‌ی یک سیستم مهاربندی جانبی الاستیک با سختی K می‌باشد (سختی عبارت است از نیروی لازم برای ایجاد تغییر مکان واحد در نقطه و امتداد مورد نظر). در ساده‌ترین حالت، سیستم مهاربندی می‌تواند یک عضو محوری ساده (میله مهار) با سطح مقطع A ، طول L و ضریب الاستیسیته‌ی E باشد که با استفاده از رابطه $\Delta = PL / EA$ ، سختی معادل آن $K = EA / L$ به دست می‌آید. حال به مدل ساده شده‌ی ۹-۱۲-ب، برمی‌گردیم.

در این مدل، فنر فرضی قادر است به ازای انتقال جانبی Δ ، واکنش $K\Delta$ را در تکیه‌گاه فوقانی ایجاد نماید. حال مطابق شکل ۹-۱۲-پ، به تکیه‌گاه الاستیک فوقانی، انتقال جانبی مساوی Δ اعمال می‌نماییم، تعادل لنگر حول تکیه‌گاه مفصلی تحتانی، ایجاب می‌نماید:

$$P\Delta = QL = (K\Delta)L \quad (۱۴-۱۲)$$

بررسی معادله‌ی ۱۴-۱۲ نشان می‌دهد که اگر $(K\Delta)L$ کوچکتر از $P\Delta$ باشد، انتقال جانبی رخ می‌دهد و مهاربندی جانبی عملاً وجود ندارد، لیکن اگر $(K\Delta)L$ بزرگتر از $P\Delta$ باشد، سختی K برای جلوگیری از انتقال جانبی در تکیه‌گاه فوقانی کافی است. بنابراین حداقل سختی مورد نیاز K برابر است با:



شکل ۹-۱۲- مهاربندی جانبی عضو تک دهانه

$$K = \frac{P}{L} \quad (۱۵-۱۲)$$

بزرگترین نیروی P که می‌تواند بر روی ستون وجود داشته باشد، نیروی کماتش بحرانی P_{cr} می‌باشد که سختی نظیر آن، سختی ایده‌آل نامیده شده و با K_{ideal} نشان داده می‌شود، داریم:

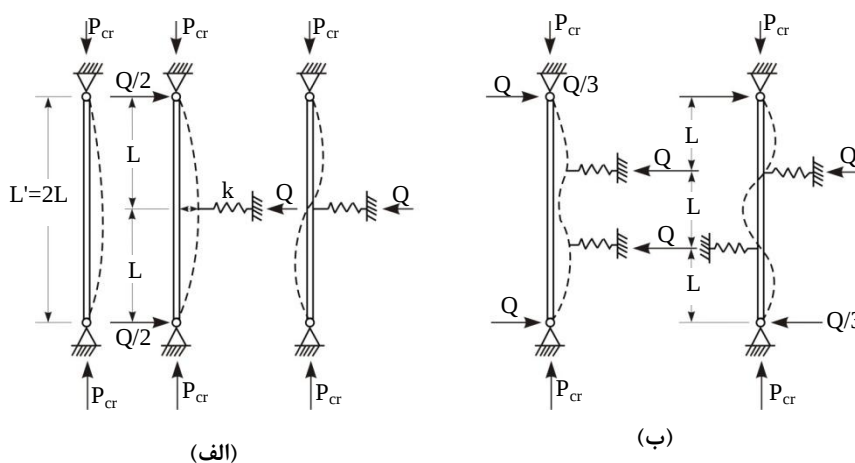
$$K_{ideal} = \frac{P_{cr}}{L} \quad (۱۶-۱۲)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(L/r)^2} \quad (۱۷-۱۲)$$

رابطه‌ی ۱۶-۱۲، بدین معناست که اگر سختی سیستم مهاربند موضعی موجود مساوی یا بزرگتر از K_{ideal} باشد، مقاومت فشاری عضو می‌تواند مساوی P_{cr} در حالت دو انتها مفصل (رابطه‌ی ۱۷-۱۲) گردد. در این صورت وضعیت شکل ۱۲-۹ الف، برقرار بوده و سیستم دارای مهاربندی جانبی موضعی کافی است. در غیر این صورت قبل از رسیدن به مقاومت فشاری P_{cr} ، عضو در نقطه‌ی مهاربندی انتقال جانبی پیدا کرده و تحت نیروی فشاری به مراتب کمتری از P_{cr} کمانه می‌کند.

رابطه‌ی ۱۶-۱۲ برای حالت دو دهانه مساوی (شکل ۱۲-۱۰ الف) و سه دهانه مساوی (شکل ۱۲-۱۰ ب) و بالاخره n دهانه مساوی، قابل تعمیم می‌باشد. در حالت کلی شکل عمومی رابطه‌ی ۱۶-۱۲ به صورت زیر در می‌آید:

$$K_{ideal} = \frac{\beta P_{cr}}{L} \quad (۱۸-۱۲)$$



شکل ۱۲-۱۰

که در آن β برحسب تعداد دهانه‌ها از شکل ۱۲-۱۱ قابل محاسبه می‌باشد. همچنین، در وضعیت کمانه یافته، نیروی محوری وارد بر سیستم مهاربندی برابر است با:

$$Q = K_{ideal} \Delta \quad (۱۹-۱۲)$$

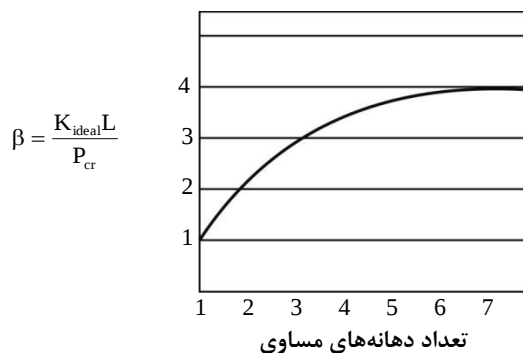
در طراحی به روش تنش مجاز، اگر ضریب اطمینان ۲ برای نیروی P_{cr} در نظر کمانش بگیریم (یعنی $P_{cr}/P=2$) و ضریب اطمینان ۲ نیز برای کجی‌های اولیه عضو در نظر بگیریم، سختی لازم K با استفاده از رابطه‌ی ۱۲-۱۸ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$K = 4 \frac{\beta P}{L} \quad (۲۰-۱۲)$$

که در آن P نیروی فشاری موجود، L طول دهانه و β ضریبی می‌باشد که برحسب تعداد دهانه‌های موجود از شکل ۱۲-۱۱ به دست می‌آید که مقدار حداکثر و مجانبی آن مساوی ۴ است. اگر طبق توصیه وینتر^۱، مقدار $\Delta = L/500$ در نظر گرفته شود، مقدار نیروی تکیه‌گاهی Q نیز با استفاده از رابطه‌ی ۱۲-۱۹ به صورت زیر در می‌آید:

$$Q = \frac{\beta P}{L} (0.004L) = 0.004\beta P \quad (۲۱-۱۲)$$

دو رابطه‌ی ۱۲-۲۰ و ۱۲-۲۱ اساس طراحی سیستم‌های مهاربندی موضعی برای ستون‌ها و بال فشاری تیرها و یال فشاری خرپاها می‌باشد. در مورد ستون‌ها، P نیروی محوری ستون، در مورد تیرها، P نیروی فشاری بال فشاری و در مورد خرپاها، P نیروی فشاری یال تحت فشار می‌باشد.



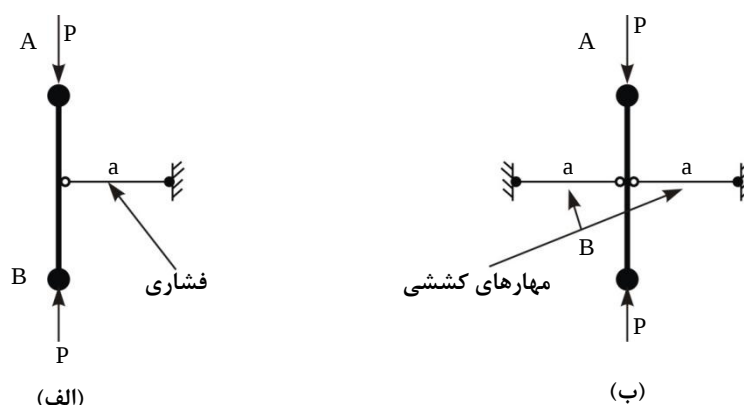
شکل ۱۲-۱۱

سیستم‌های مهاربندی موضعی

(الف) تیرها و ستون‌ها

همان‌طور که بیان شد، ساده‌ترین سیستم مهاربندی موضعی، عضو محوری (برحسب سیستم انتخابی ممکن است فشاری یا کششی باشد) با طول L و سطح مقطع A می‌باشد که در این صورت سختی آن مساوی $K=EA/L$ می‌گردد. علاوه بر تامین سختی کافی طبق رابطه‌ی ۱۲-۲۰، این عضو مهاربند باید برای نیروی محوری Q طبق رابطه‌ی ۱۲-۲۱ طراحی گردد. در شکل ۱۲-۱۲ الف، مهاربند a که فقط از یک طرف عضو فشاری AB را مهار نموده است، باید به صورت یک عضو

فشاری طراحی گردد. در صورتی که در شکل ۱۲-۱۲-ب، مهاربندی‌های a را می‌توان به صورت کششی طراحی نمود، زیرا در هر دو طرف عضو فشاری AB تعبیه شده‌اند. همیشه باید سعی گردد که مهاربند به صورت کششی انتخاب شود. در این صورت می‌توان برای مهاربند از میلگردهای ظریف استفاده نمود.



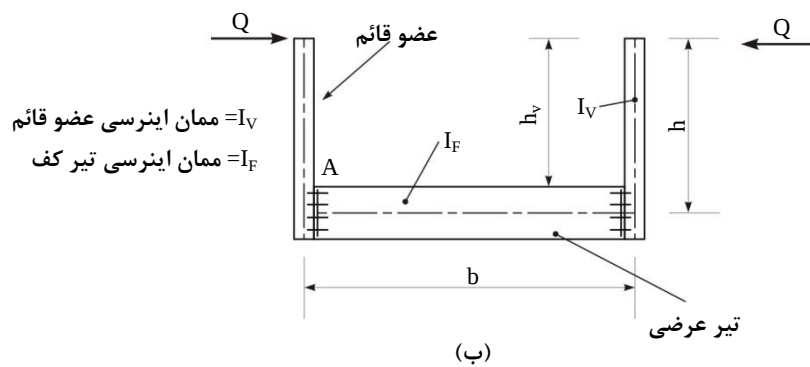
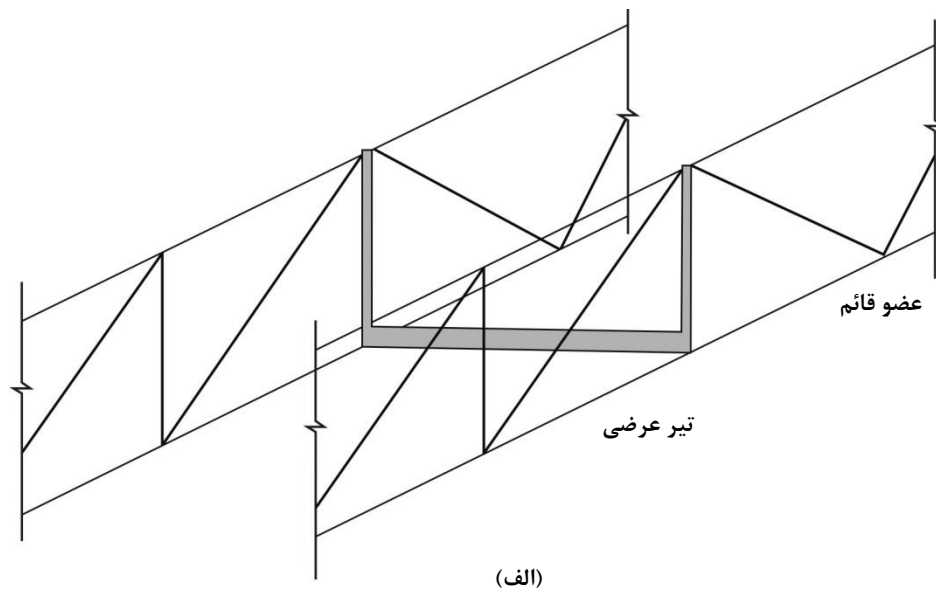
شکل ۱۲-۱۲

(ب) خریاها

در خریاهای پل که در آن به علل سرگیر نشدن، یال‌های فوقانی دو خریای کناری عرشه پل به یکدیگر مهار نمی‌شود، عامل جلوگیری کننده از کمانش یال تحت فشار، قاب U شکل متشکل از دو عضو قائم خریا و تیر عرضی کف پل می‌باشد (شکل ۱۲-۱۳-الف).

اگر هندسه این قاب مطابق شکل ۱۲-۱۳-ب، در نظر گرفته شود، سختی آن برابر خواهد شد با:

$$K = \frac{E}{\left[\frac{h_v^3}{3I_v} + \frac{h^2 b}{2I_F} \right]} \quad (۱۲-۲۲)$$



شکل ۱۲-۱۳

مقدار K محاسبه شده از رابطه فوق باید بزرگتر از مقدار به دست آمده از رابطه‌ی ۱۲-۲۰ گردد. به علاوه، اتصال صلب A باید برای لنگر Qh طراحی گردد که در آن Q از رابطه‌ی ۱۲-۲۱ به دست می‌آید، آیین‌نامه پل‌سازی آشتو مقرر می‌دارد که نیروی Q نباید از $۲/۲$ تن (یا $۰/۴۵$ تن بر متر طول یال خرپا، هر کدام که بزرگترند) کوچکتر در نظر گرفته شود.

فصل ۱۳

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 صورتی که در تحلیل، تغییرشکل تیر قوس در نظر گرفته نشده باشد، لنگرهای ناشی از بار زنده و ضربه باید در ضریب تشدید بدست آمده از رابطه‌ی زیر ضرب گردد:

$$A_F = \frac{1}{1 - \frac{1.70T}{AF_e}} \quad (۱-۱۳)$$

که در آن:

T = نیروی محوری فشاری قوس در نقطه $\frac{1}{4}$ دهانه به علت بار مرده و زنده و ضربه.

F_e = تنش کمانش اولر طبق رابطه زیر:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (۲-۱۳)$$

L = نصف طول تیر قوسی (شکل ۱-۱۳)

A = سطح مقطع تیر قوسی

r = شعاع ژیراسون مقطع

K = ضریب طول موثر

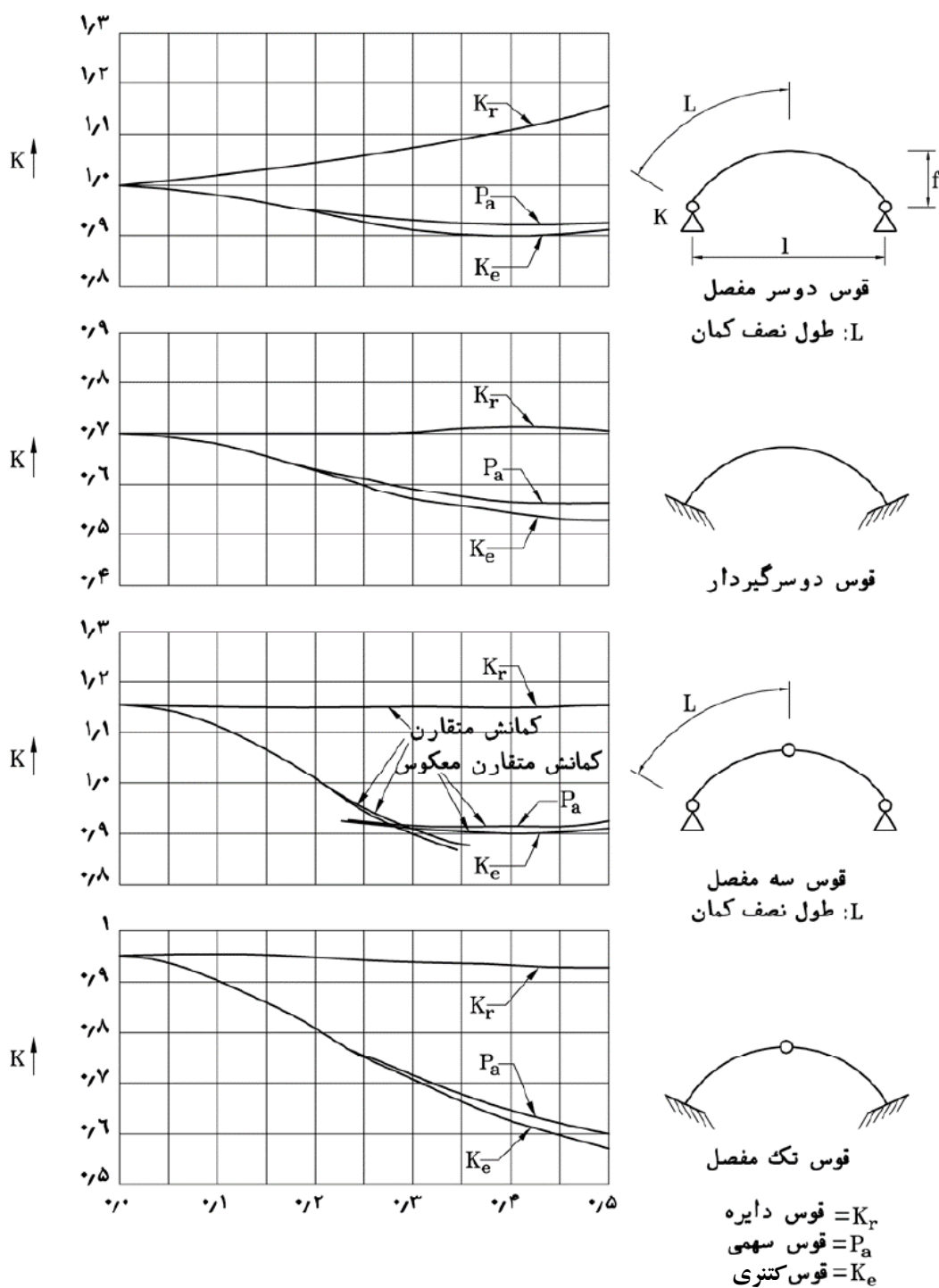
E = ضریب الاستیسیته فولاد

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

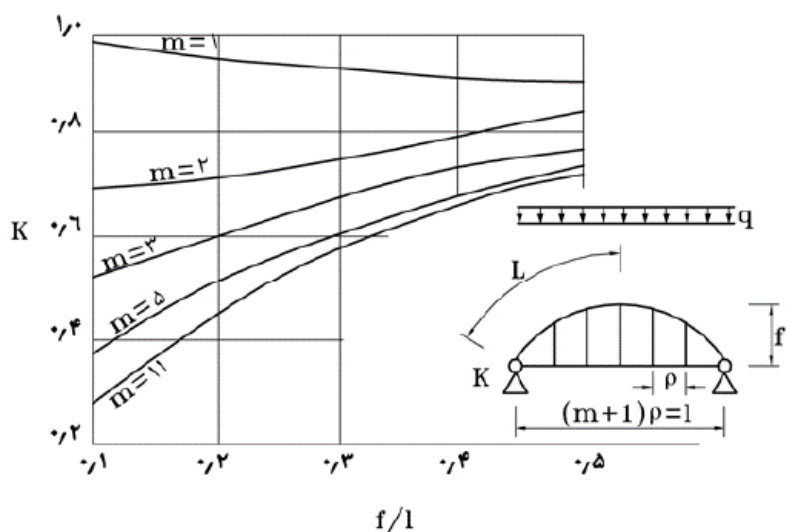
مقادیر نسبت طول موثر

نسبت خیز به دهانه	قوس سه مفصل	قوس دوسر مفصل	قوس دوسر گیردار
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 طراحی می‌تواند از مقادیر دقیق‌تر k طبق شکل ۱-۱۳ برای قوس‌های دومفصل، دوسرگیردار، سه مفصل و تک مفصل، و طبق شکل ۲-۱۳ برای قوس‌های مهار شده 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 مهار شده با عرشه آویزان

۱۳-۲- ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

تحت اثر ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی، مقطع تیر قوسی باید طوری انتخاب شود که رابطه‌ی زیر را اکتان 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 بدون ضریب بار

f_b = تنش ناشی از لنگر خمشی بدون ضریب بار با منظور کردن 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 صفحه‌ی قائم (صفحه قوس)، F_a از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

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

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

F_y = تنش تسلیم مصالح قوس

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:

$$\frac{h}{t_w} = 0.90 \sqrt{\frac{E}{f_a}} \leq 60 \quad (۱۳-۵)$$

h = ارتفاع جان

t_w = ضخامت ورق جان

f_a = تنش فشاری یکنواخت ناشی از نیروی محوری بدون ضریب

۱۳-۵-۲- در صورتی که یک سخت‌کننده طولی در وسط ارتفاع جان قرار داده شود، نسبت ارتفاع به ضخامت جان نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.35 \sqrt{\frac{E}{f_a}} \leq 90 \quad (۱۳-۶)$$

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

$$I_s = 0.75 h t_w^3 \quad (۱۳-۷)$$

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:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.85 \sqrt{\frac{E}{f_a}} \leq 120 \quad (۱۳-۸)$$

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

$$I_s = 2.2 h t_w^3 \quad (۱۳-۹)$$

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

(۱۰-۱۳)

$$\frac{b'}{t_s} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{f_a + \frac{f_b}{3}}} \leq 12$$

f_b = تنش حداکثر ناشی از لنگر خمشی بدون ضریب در جان

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

$$0.2 \leq \frac{f_b}{f_a + f_b} \leq 0.7 \quad (۱۱-۱۳)$$

۱۳-۶- ورق بال

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

$$\frac{b}{t_f} = 0.8 \sqrt{\frac{E}{f_a + f_b}} \leq 47 \quad (۱۲-۱۳)$$

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

$$\frac{b'}{t_f} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{f_a + f_b}} \leq 12 \quad (۱۳-۱۳)$$

۱۳-۷- طول موثر کمانش در پرتال انتهایی

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

$$\text{طول موثر کمانش} = \beta h \quad (۱۴-۱۳)$$

در رابطه فوق:

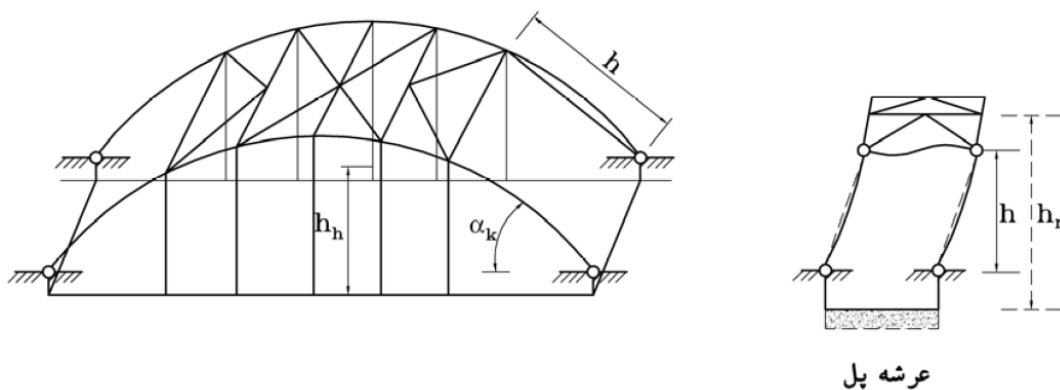
h = طول ظاهری قسمت ستونی پرتال انتهایی

β = ضریب طول موثر کمانشی

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

I = ممان اینرسی قسمت ستون پرتال (انتهایی قوس) حول محور کمانش

I_0 = ممان اینرسی تیر عرضی



شکل ۱۳-۳- پرتال انتهایی

h_r = ارتفاعی که از رابطه زیر بدست می‌آید:

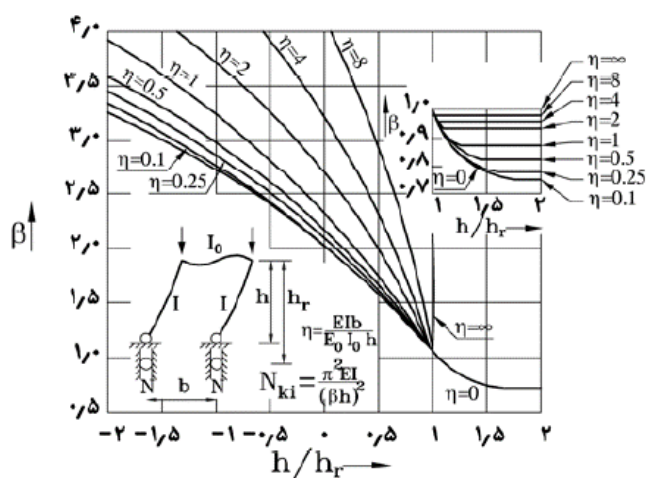
$$h_r = h_H / \sin \alpha_k$$

(۱۳-۱۵)

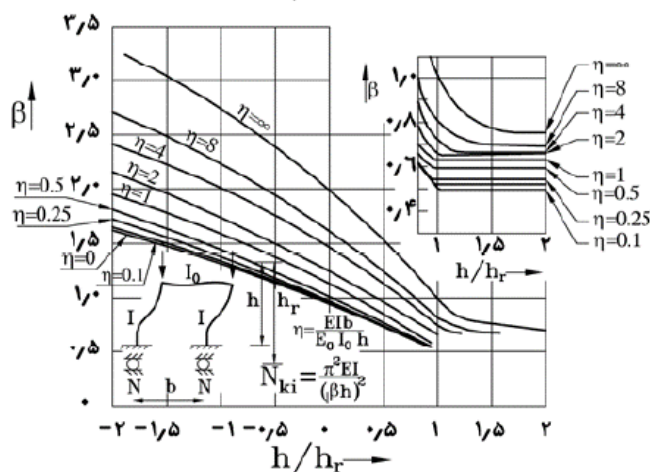
α_k = زاویه قسمت ابتدایی قوس

h_H = ارتفاع متوسط آویز

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

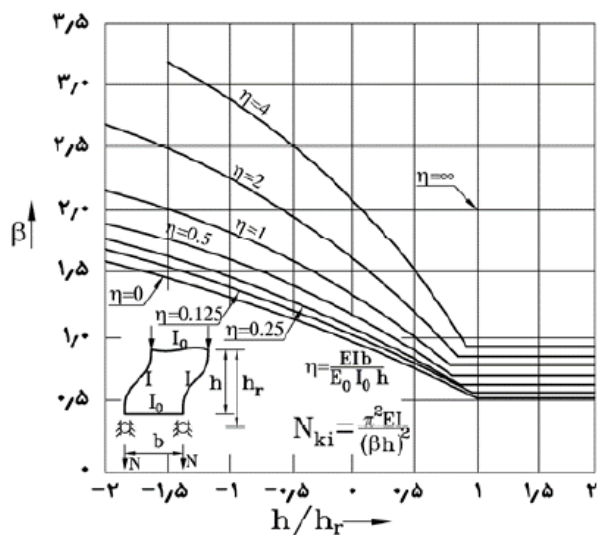


الف: پای مفصل



ب: پای گیردار

$$\eta = \frac{\text{ستون} \frac{EI}{h}}{\text{تیر} \frac{EI_0}{b}}$$

پ: پای ستون به طور صلب به تیر
عرضی تحتانی متصل است.

شکل ۱۳-۴- ضریب طول موثر برای پرتال انتهایی

فصل ۱۴

تیرها با انحنای افقی

۱۴-۱- کلیات

مطالب این بخش شامل تیرهای فولادی I و جعبه‌ای، مختلط و یا غیرمختلط، مربوط به عرشه‌ی پل‌هایی می‌شود که در پلان، دارای انحنای افقی 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 عمومی 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 سازه‌ی مناسب استفاده شود بطوریکه تنش‌های ناشی از پیچش غیریکنواخت و پیچش تابیدگی را نیز مدنظر قرار دهد^۱.

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.

۱- غالباً نیاز به تحلیل اجزای محدود تیرهای خمیده وجود دارد.

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 خستگی 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

۱۴-۳-۱-۲- تنش‌های فشاری

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

$$\frac{b}{2t} = 0.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq 12 \quad (1-14)$$

که در آن:

b = عرض بال فشاری

t = ضخامت بال فشاری

F_y = تنش تسلیم فولاد بال (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

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

$$F_b = 0.55F_y \left[1 - \frac{L/r^2 F_y}{4\pi^2 E} \right] \rho_B \rho_w \quad (2-14)$$

که در آن:

L = طول مهار نشده بال فشاری

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

E = ضریب ارتجاعی فولاد

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

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

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

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

که در روابط بالا:

R = شعاع انحنای جان تیر (سانتیمتر)

L و b = مطابق تعریف قبلی می‌باشد.

نسبت تنش قائم در گوشه بال ناشی از پیچش تابیدگی به تنش خمشی در بال می‌باشد، که به شرح زیر تعیین می‌گردد.

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 انحنای

$\frac{L}{R}$	$\frac{f_w}{f_b}$	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
۰/۰۱۰	-۰/۵۰	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳
	۰/۵۰	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
۰/۰۱۴	-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
	۰/۵۰	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
۰/۰۱۸	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
	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶
۰/۰۲۲	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
۰/۰۲۶	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
۰/۰۳۰	-۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۹
	۰/۵۰	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
۰/۰۳۴	-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
	۰/۵۰	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
۰/۰۳۸	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	۰/۴۳
	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳
۰/۰۴۰	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
	۰/۰۰	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	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۹
	۰/۰۰	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	۰/۰۰	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
	۰/۰۰	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
	۰/۰۰	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
	۰/۰۰	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 $0.55F_y$ 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 همین‌طور:

$$\frac{L}{b} \leq 25 \quad (۹-۱۴)$$

و

$$\frac{L}{R} \leq 0.1 \quad (۱۰-۱۴)$$

۱۴-۳-۲- تنش کششی

در گوشه‌ی بال کششی محدودیت زیر حاکم است.

$$f_w + f_b \leq 0.55F_y \quad (۱۱-۱۴)$$

۱۴-۳-۳- تنش برشی مجاز

تنش برشی مجاز در جان تیرهای خمیده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$F_v = \frac{C_v}{3} F_y \quad (۱۲-۱۴)$$

که در آن:

F_v = تنش برشی مجاز (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

F_y = تنش تسلیم فولاد جان (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

C_v = نسبت تنش کمانش برشی طبق روابط ۱۲-۲-۴، ۱۳-۲-۴ و ۱۴-۲-۴

۱۴-۳-۴- نسبت ضخامت به ارتفاع جان

الف: شاه تیرهای فاقد سخت کننده طولی

در تیرهای خمیده، نسبت ارتفاع به ضخامت ورق جان نباید بزرگتر از مقدار حاصل از رابطه زیر باشد:

$$\frac{D}{t_w} = 10.6 \sqrt{\frac{E}{F_b}} [1 - 4 d_o/R] \leq 170 \quad (13-14)$$

که در آن:

 F_b = تنش مجاز بدست آمده از رابطه (۲-۱۴) D = ارتفاع جان (سانتیمتر) d_o = فاصله موجود بین سخت کننده های جانبی (سانتیمتر) R = شعاع انحنای جان شاه تیر (سانتیمتر)

ب: شاه تیرهای دارای سخت کننده طولی

نسبت ارتفاع به ضخامت ورق جان در تیرهای خمیده که دارای یک سخت کننده طولی در ناحیه تنش فشاری هستند، نباید از مقدار تعیین شده از رابطه زیر بزرگتر باشد.

$$\frac{D}{t_w} = 21.2 \sqrt{\frac{E}{F_b}} \times \left[1 - 2.9 \left(\frac{d_o}{R} \right) + 2.2 d_o/R \right] \leq 340 \quad (14-14)$$

 D = ارتفاع آزاد جان بین بال و سخت کننده طولی

۱۴-۳-۵- سخت کننده های عرضی میانی

در تیرهای خمیده، ممان اینرسی سخت کننده های 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 سخت کننده عرضی میانی (سانتیمتر به توان ۴) d_o = فاصله ی موجود بین سخت کننده های عرضی (سانتیمتر) t_w = ضخامت ورق جان (سانتیمتر) J = نسبت سختی مورد نیاز برای یک سخت کننده عرضی به ورق جان که از رابطه زیر بدست می آید.

$$J = 0.01 D^2 - 20 \quad X \quad (16-14)$$

به طوری که:

D = ارتفاع جان (سانتیمتر)

X = ضریبی است که به شرح زیر تعیین می‌گردد.

الف: هنگامی که $\frac{d}{D} \leq 0.78$ باشد:

$$X = 1.0 \quad (14-17)$$

ب: هنگامی که $0.78 \leq \frac{d}{D} \leq 1.0$ و $0 \leq Z \leq 10$ باشد:

$$X = 1.0 + \frac{[\frac{d}{D} - 0.78] Z^4}{1775} \quad (14-18)$$

در روابط فوق:

d = فاصله مورد نیاز بین سخت‌کننده‌های عرضی (سانتیمتر)

Z = ضریبی است که طبق رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$Z = 242 \frac{d^3}{R \cdot t_w} \quad (14-19)$$

به طوری که:

R = شعاع انحنای جان تیروورق (سانتیمتر)

d و t_w مطابق تعریف قبل می‌باشند.

۱۴-۳-۶- ضخامت ورق سخت‌کننده‌های عرضی

نسبت عرض به ضخامت ورق این سخت‌کننده‌ها نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر بزرگتر باشد:

$$\frac{b'}{t_s} = 0.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (14-20)$$

که در آن:

t_s = ضخامت ورق سخت‌کننده عرضی

b' = طول قسمت برجسته ورق سخت‌کننده

F_y = تنش تسلیم فولاد

۱۴-۳-۷- سخت‌کننده‌های طولی

علاوه بر مقررات مربوط به سخت‌کننده‌های طولی، شعاع ژیراسیون سخت‌کننده‌های جان تیرهای خمیده، نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$r = 0.1 \sqrt{\frac{F_y}{E}} d_o \quad (۱۴-۲۱)$$

که در رابطه فوق d_o و F_y مطابق تعاریف قبلی می‌باشند.

۱۴-۴- تیرهای خمیده مختلط با مقطع I شکل

۱۴-۴-۱- کلیات

مطالب این بخش شامل دستورالعمل‌های مربوط به طراحی تیرهای مختلط با مقطع I شکل می‌باشد که توسط اتصالات برشگیر به دال بتنی متصل شده‌اند. علاوه بر مقررات فصل پنجم، دستورالعمل‌های این بخش نیز باید در طراحی مدنظر قرار گیرد.

جهت تعیین عرض موثر دال بتنی مطابق بند ۵-۱-۷ عمل می‌شود.

۱۴-۴-۲- طراحی اتصالات برشگیر

اتصالات برشگیر بر مبنای خستگی محاسبه شده و برای مقاومت نهایی کنترل می‌گردد.

۱۴-۴-۲-۱- طراحی اتصالات برشگیر برای خستگی

طراحی اتصالات برشگیر برای خستگی باید مطابق بند ۵-۲-۲-۷ انجام شود.

۱۴-۴-۲-۲- طراحی اتصالات برشگیر برای مقاومت نهایی

تعداد اتصالات برشگیر لازم بین نقاط لنگر مثبت حداکثر و تکیه‌گاه‌های انتهایی یا نقاط عطف بار مرده باید در رابطه زیر صدق کند.

$$P_c \leq \phi S_u \quad (۱۴-۲۲)$$

که در آن:

ϕ = ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۸۵

S_u = مقاومت نهایی یک اتصال برشگیر مطابق بند ۵-۲-۲-۸

P_c = نیروی برشی افقی که باید انتقال داده شود و بشرح زیر تعیین می‌گردد.

$$P_c = \sqrt{\bar{P}^2 + F^2 + 2\bar{P}F \cdot \sin \frac{\theta}{2}} \quad (۲۳-۱۴)$$

$$\bar{P} = \frac{P}{N} \quad (۲۴-۱۴)$$

الف: مقدار P در نقاط لنگر حداکثر مثبت کوچکترین دو مقدار زیر می‌باشد.

$$P_1 = 0.85f'_c b t_s \quad (۲۵-۱۴)$$

$$P_2 = A_s F_y \quad (۲۶-۱۴)$$

ب: مقدار P در نقاط لنگر حداکثر منفی با رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$P = A_{sr} F_{yT} \quad (۲۷-۱۴)$$

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 دال بتنی 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_{yT} = 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 ۴-۲-۹ 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:

$$R = 1 - \frac{\beta \psi \frac{1 - \alpha'^2}{6 + \beta \psi} \frac{3 - \psi + \psi \alpha'}{3 - \psi}}{6 + \beta \psi} \quad (14-28)$$

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

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

$$\alpha' = \alpha \left(1 + \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_t \right) \quad (14-29)$$

$\left| \frac{f_w}{f_b} \right|_t$ = 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 محدوده‌ی 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 (۱۴-۲۸) و مقادیر α' تعریف شده به شرح زیر تعیین گردد:

الف: وقتی که $\left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c \leq \frac{2\psi - 1}{1 - \psi}$ باشد:

$$\alpha' = \alpha \quad (۳۰-۱۴)$$

ب: وقتی که $\frac{2\psi - 1}{1 - \psi} < \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c < \frac{\psi}{\alpha(1 - \psi)}$ باشد:

$$\alpha' = \alpha \left[1 + \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c \frac{1 - \psi}{\psi} \right] \quad (۳۱-۱۴)$$

در روابط فوق α و ψ مطابق تعریف قبل می‌باشند.

$\left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c =$ قدر مطلق نسبت تنش فشاری گوشه بال ناشی از پیچش تابیدگی به تنش خمشی بال فشاری.

اگر $\frac{\psi}{\alpha(1 - \psi)} \geq \left| \frac{f_w}{f_b} \right|_c$ باشد، $R = 1$ خواهد بود.

در ارتباط با مقادیر R به شکل‌های ۱-۱۴ و ۲-۱۴ رجوع شود.

۱۴-۵-۳- برش

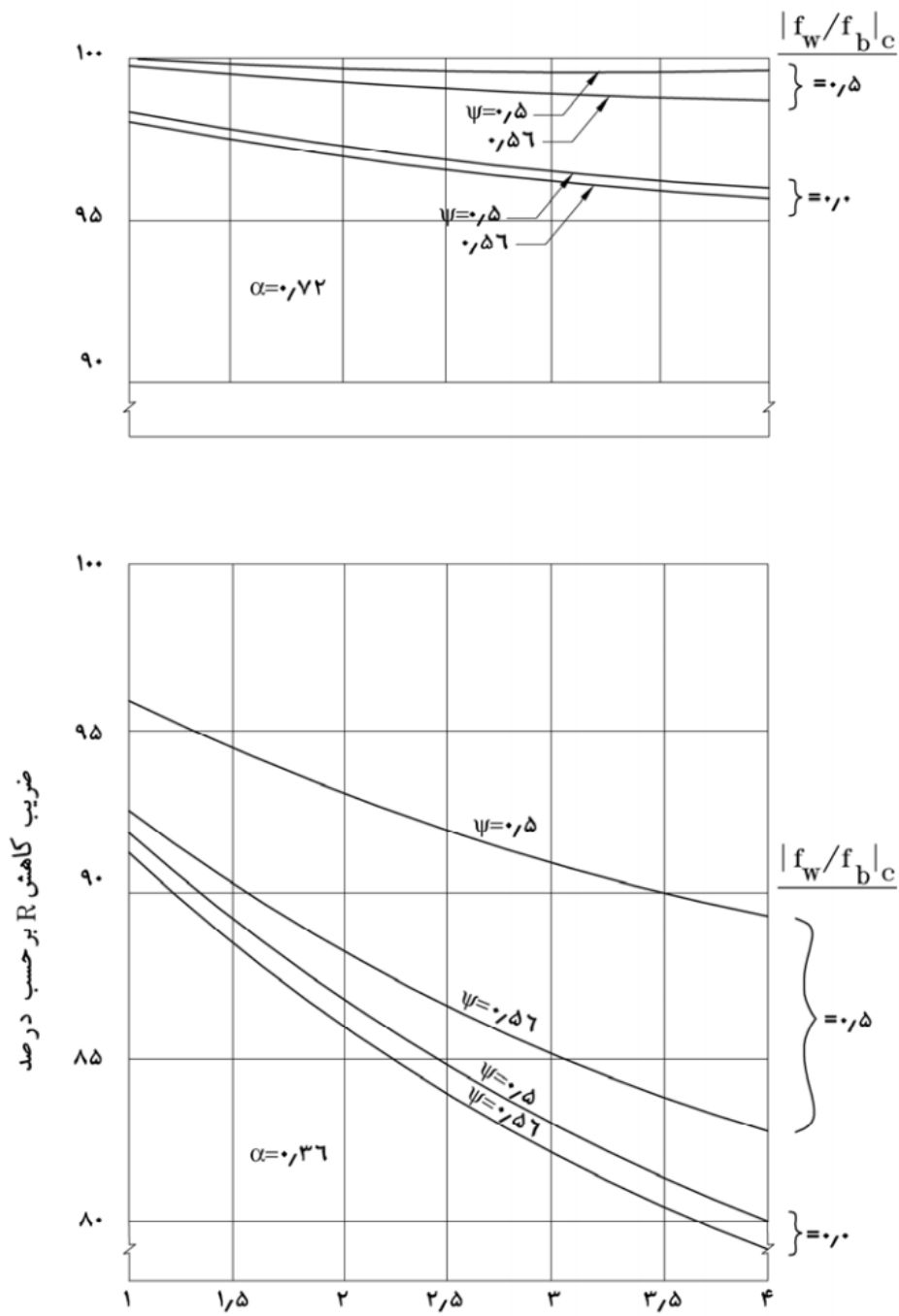
تنش برشی در جان نباید از تنش برشی مجاز برای فولاد جان تجاوز کند.

۱۴-۵-۴- خستگی

طراحی برای خستگی باید مطابق مقررات فصل یازدهم باشد.

۱۴-۵-۵- نسبت‌های عرض به ضخامت

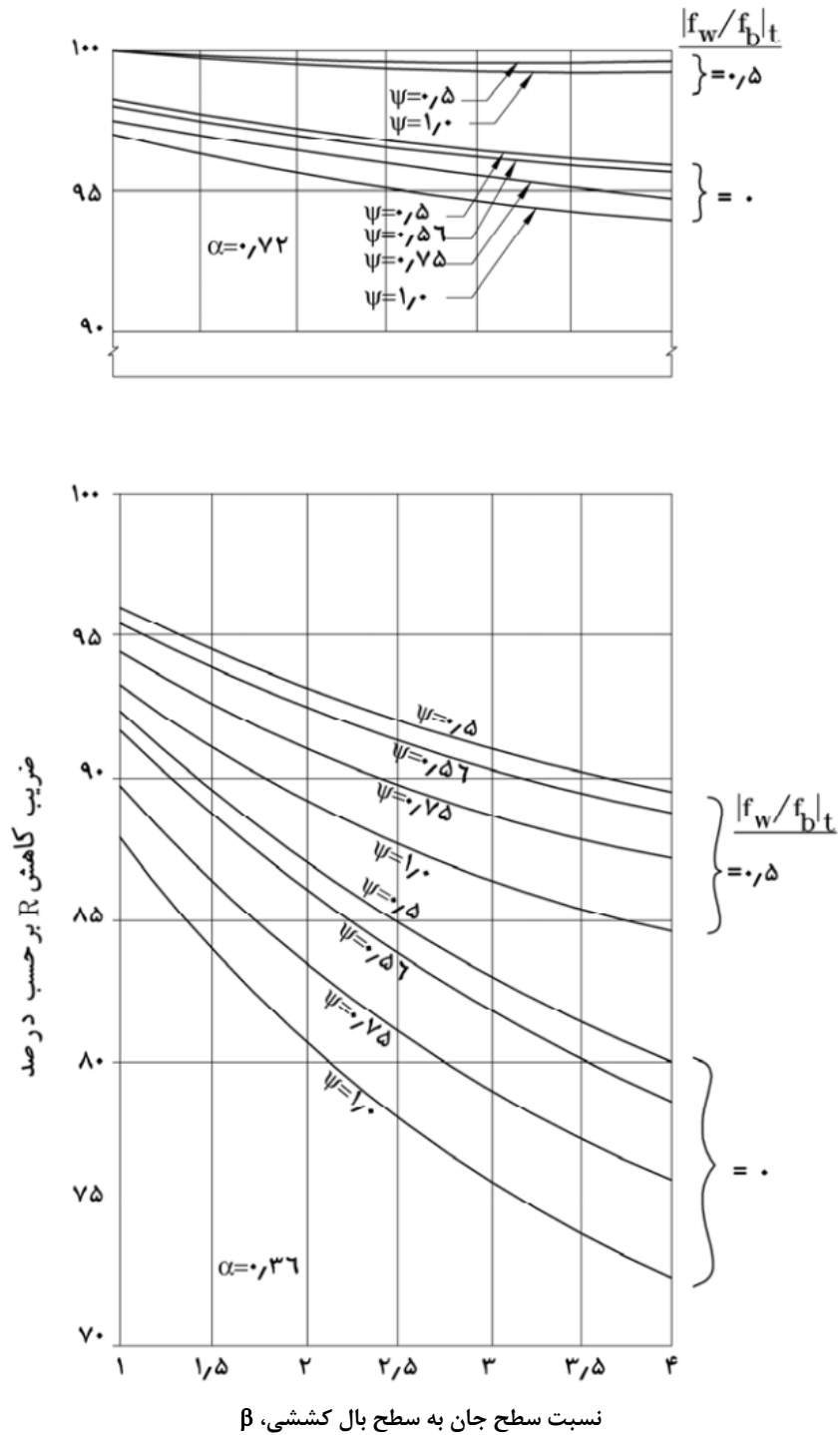
در محاسبه نسبت‌های عرض به ضخامت مجاز برای جان و بال، f_b ‌های موجود در روابط باید بر R تقسیم گردد.



نسبت سطح جان به سطح بال کششی، β

ضرایب کاهش R تیرهای دوگانه در ناحیه لنگر منفی شاه تیرهای مختلف

شکل ۱۴-۱- نمودار ضریب کاهش R در تیرهای دوگانه



ضرایب کاهش R تیرهای دوگانه در شاه تیرهای غیرمختلط و ناحیه لنگر مثبت شاه تیرهای مختلط

شکل ۱۴-۲- نمودار ضریب کاهش R در تیرهای دوگانه

۱۴-۶- تیرهای جعبه‌ای خمیده‌ی 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 خمیده‌ی 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 باید مطابق فصل دوم با حداکثر برون‌محوری نسبت به مرکز انحنا 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
واکنش‌های تکیه‌گاهی	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
تغییر شکل‌ها	۱/۳۰

تبصره: ضرایب ضربه ارائه شده در محدوده تعیین شده زیر قابل اعمال می‌باشد.

متر $90 \leq \text{طول دهانه} \leq 30$

متر $300 \leq \text{شعاع انحنای محور میانی عرشه پل} \leq 90$

کیلومتر در ساعت $110 \leq \text{سرعت خودرو}$

$3 \leq \text{تعداد شاه‌تیرهای جعبه‌ای}$

$2 \leq \text{تعداد دهانه‌های یکسره}$

$0.3 \leq \text{نسبت وزن خودرو به وزن پل}$

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 مختلط، اگر ورق‌های جان توسط ورق فولادی بال تحتانی با سیستم مهاربندی بین دو بال 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 غیر این صورت مقاطع باید به صورت مقطع باز مورد بررسی قرار گیرند (شکل ۶-۱-۲).

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 توام با لنگر خمشی، V_v و نیروی برشی توام با لنگر پیچشی، V_t در مقطع موردنظر، تعیین گردد.

برای شاه‌تیرهای با جان مورب، مولفه نیروی برشی طراحی توام با لنگر خمشی باید از رابطه زیر محاسبه گردد.

$$V_w = \frac{V_v}{\cos \theta} \quad (۱۴-۳۲)$$

در آن:

V_v = نیروی برشی قائم توام با لنگر خمشی

θ = زاویه بین ورق جان و محور قائم

نیروی برشی پیچشی باید بسته به جهت پیچش داخلی، به برش خمشی هر جان اضافه و یا از آن کسر گردد.

اگر سخت‌کننده‌های عرضی جان مورد نیاز 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 تحتانی

۱۴-۶-۵-۱- بال تحتانی کششی

علاوه بر ضوابط بند ۶-۲-۳ این آیین نامه، نقطه نظرات زیر نیز باید اعمال گردد.
تنش طولی مجاز در بال کششی باید به مقدار زیر محدود گردد.

$$F_b = 0.55F_y \sqrt{1 - 9.2 f_v/F_y}^2 \quad (۱۴-۳۳)$$

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- بال تحتانی فشاری بدون سخت کننده

(الف) در بال تحتانی فشاری سخت نشده، هر گاه نسبت عرض به ضخامت مساوی یا کمتر از مقدار بدست آمده از رابطه زیر باشد، تنش مجاز طولی همان تنش مجاز طولی بال کششی خواهد بود.

$$\frac{b}{t} = 1.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} X \quad (۱۴-۳۴)$$

به طوری که:

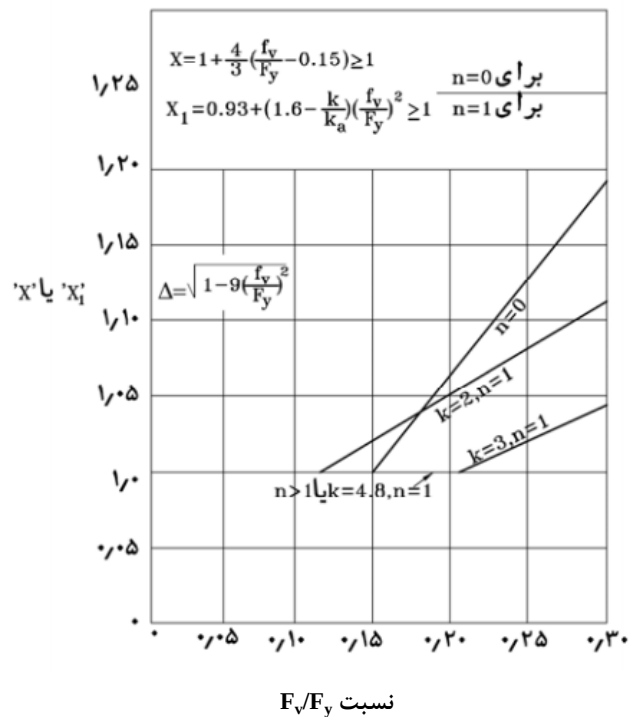
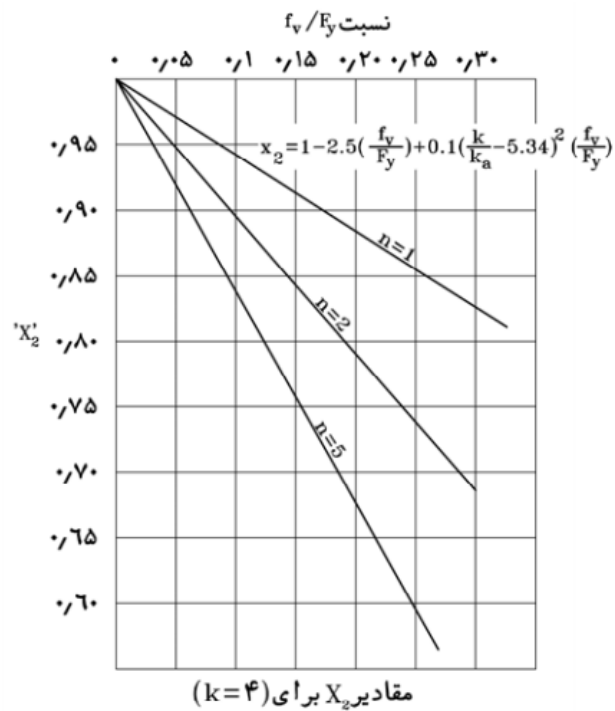
$$b = \text{عرض بال بین جانها}$$

$$t = \text{ضخامت بال}$$

$$X = 1 + \frac{4}{3} \left(\frac{f_v}{F_y} - 0.15 \right) \geq 1 \quad (۱۴-۳۵)$$

$$f_v = \text{تنش برشی پیچشی در بال}$$

برای تعیین مقادیر X به شکل ۱۴-۳ رجوع شود. بطور محافظه کارانه X را می توان مساوی واحد فرض نمود. توصیه می شود با رعایت رابطه ی ۱۴-۳۴ وارد قسمت های ب و پ نشویم.



مقادیر X برای بال سخت نشده

مقادیر X_1 برای بال سخت شده

شکل ۱۴-۳- نمودار تعیین مقدار X و X_1 و X_2

(ب) هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد.

$$1.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} X < \frac{b}{t} < 2.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۱۴-۳۶)$$

تنش طولی در بال فشاری تحتانی سخت نشده، نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر بیشتر باشد.

$$F_b = \left[0.326 F_y + 0.224 F_y \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{3510 - 1450 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}}}{3510 - 1620 X} \right) \right) \right] \times \Delta \quad (۱۴-۳۷)$$

به طوری که:

$$\Delta = \sqrt{1 - 9.0 \frac{f_v}{F_y}}^2 \quad (۱۴-۳۸)$$

(پ) هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد،

$$\frac{b}{t} > 2.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۱۴-۳۹)$$

تنش طولی در بال نباید از کوچکترین دو مقدار زیر بیشتر شود.

$$F_b = 5.76 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 \times \Delta \quad (۱۴-۴۰)$$

$$F_b = 5.76 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \times 10^6 - \frac{f_v^2}{113.4 \frac{t}{b}^2 \times 10^6} \quad (۱۴-۴۱)$$

در روابط ۱۴-۴۰ و ۴۱، F_b و f_v برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشند.

Δ مطابق تعریف قبل می‌باشد.

(ت) تنش برشی پیچشی f_v در ورق بال نباید از $\frac{1}{3} F_y$ تجاوز کند و موارد مذکور در بندهای ۶-۲-۳-۲-۴ و ۵ در مورد تیرهای خمیده نیز باید رعایت گردد.

۱۴-۶-۵-۳- ورق بال تحتانی در فشار، با سخت‌کننده طولی

الف: تامین سخت‌کننده‌های طولی باید مطابق دستورالعمل بند ۶-۲-۳ صورت گیرد.

ب: در صورت استفاده از سخت‌کننده‌های طولی در بال تحتانی فشاری، برای تنش مجاز طولی، نظیر بال کششی، نسبت

$\frac{w}{t}$ نباید از مقدار بدست آمده از رابطه زیر تجاوز کند.

$$\frac{w}{t} = 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \sqrt{k} X_1 \quad (۱۴-۴۲)$$

به طوری که:

برای $n > 1$

$$X_1 = 1 \quad (۴۳-۱۴)$$

برای $n = 1$

$$X_1 = 0.93 + \left(1.6 - \frac{k}{k_s}\right) \left(\frac{f_v}{F_y}\right) \geq 1 \quad (۴۴-۱۴)$$

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \sqrt[3]{I_s/Wt^3}}{n+1} \leq 5.34 \quad (۴۵-۱۴)$$

k = ضریب کمناش (معمولاً مساوی ۴)

پ: در مورد مقادیر بزرگتر $\frac{w}{t}$ (کمتر از ۶۰ یا $1.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \sqrt{k} X_2$ هر کدام که کوچکتر باشد)، تنش طولی در بال تحتانی فشاری دارای سخت‌کننده‌های طولی باید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$F_b = \left[0.326 F_y + 0.224 F_y \times \sin \left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{1755 \sqrt{k} X_2 - 1450 \frac{w}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}}}{1755 \sqrt{k} X_2 - 810 \sqrt{k} X_1} \right) \right) \right] \Delta \quad (۴۶-۱۴)$$

به طوری که:

$$\Delta = \sqrt{1 - 9.0 \left(\frac{f_v}{F_y}\right)^2} \quad (۴۷-۱۴)$$

$$X_2 = 1 - 2.13 \left(\frac{f_v}{F_y}\right) + 0.1 \left[\left(\frac{k}{k_s}\right) - 5.34 \right]^2 \left(\frac{f_v}{F_y}\right) \quad (۴۸-۱۴)$$

ت: برای مقادیر $\frac{w}{t}$ بزرگتر از $1.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \sqrt{k} X_2$ و کمتر از ۶۰، تنش طولی در بال تحتانی فشاری دارای سخت‌کننده، نباید از کوچکترین دو مقدار زیر تجاوز کند.

$$F_b = 14.4k \left(\frac{t}{w}\right)^2 \times \Delta \times 10^6 \quad (۴۹-۱۴)$$

$$F_b = 14.4k \left(\frac{t}{w}\right)^2 \times \Delta \times 10^6 - \frac{f_v^2 k}{14.4 \times k_s^2 \frac{t}{w} \times 10^6} \quad (۵۰-۱۴)$$

در روابط ۴۹-۱۴ و ۵۰-۱۴، F_b و f_v بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشند.

که Δ و k_s مطابق روابط قبل می‌باشند.

توصیه می‌شود با رعایت نسبت ۴۲-۱۴، وارد قسمت‌های پ و ت نشویم.

فصل ۱۵

ساخت، نصب و کنترل کیفیت

۱۵-۱- مقدمه

این فصل اختصاص به روش‌های تهیه مصالح، برشکاری، مونتاژ، جوشکاری، حمل، پیش‌مونتاژ، نصب و محکم کردن پیچ‌ها، دارد.

۱۵-۲- 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 ساخت که جزئیات اجرای عملیات آهنگری در کارگاه را مشخص سازند در هماهنگی با نقشه‌های محاسباتی 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 کار در محل کارگاه ساخت.
- حمل قطعات ساخته شده به محل نصب.
- ایجاد امکانات لازم برای انبارکردن قطعات فولادی در محل.
- مونتاژ قطعات طبق نقشه‌ها در محل کار.

۱۵-۳- مشخصات فولاد مصرفی

کلیه فولادهای مصرفی اعم از ورق، تیرآهن، ناودانی، نبشی، تسمه و غیره باید 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 ستون‌ها و شاهتیرها باید حتی‌الامکان یکپارچه بوده و از وصله کردن قطعات کوتاه خودداری گردد، مگر محل وصله در نقشه‌های اجرایی مشخص شده باشد یا موافقت مهندس طراح با کروکی تهیه شده برای اتصال موردنظر 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 در مورد آنها تقاضا نماید:

- آزمایش مقاومت کششی با اندازه‌گیری تغییرشکل نسبی

- آزمایش خمش سرد
- آزمایش خمش بر اثر ضربه
- آزمایش متالورگرافی و تعیین ترکیب شیمیایی

۱۵-۴- ساخت قطعات فولادی

۱۵-۴-۱- کلیات

کارفرما نقشه‌های محاسباتی فولادی را در اختیار پیمانکار قرار می‌دهد. پیمانکار موظف است براساس نقشه‌های مذکور ابتدا نقشه‌های ساخت^۱ را تهیه و به تصویب مهندس مشاور برساند. نقشه‌های ساخت باید کلیه اطلاعات و جزئیات لازم برای برش و ساخت قطعات اعم از ابعاد و اندازه‌ها، آماده‌سازی لبه‌ها برای جوشکاری، جزئیات جوش و اندازه پیچ‌ها و سوراخ‌های آنها را شامل شود. قبل از شروع به ساختن و نصب قطعات باید اندازه‌های مندرج در نقشه‌ها بمنظور تطبیق کامل و جلوگیری از بروز هرگونه اشکال در موقع ساخت و نصب به دقت کنترل گردد. هر قطعه پس از آنکه به اندازه و شکل مشخص شده در نقشه‌ها ساخته شد، باید شماره و علامت‌گذاری شود. مونتاژ، جوشکاری و متصل کردن قطعات به یکدیگر باید در کارگاه سرپوشیده و مجهز ساخت اسکلت‌های فولادی توسط استادکاران و کارگران ماهر و زیر نظر متخصص فن انجام گردد.

۱۵-۴-۲- بریدن و سوراخ کردن

ابتدا قطعات باید به ابعاد و اشکال لازم به دقت بریده شده و در محل‌های لازم سوراخ گردد. برش ورق‌هایی که در ساختن قطعات فولادی مصرف می‌گردد باید توسط دستگاه برش شعله ریلی انجام گیرد. برش ورق با دستگاه گیوتین تا ضخامت ۱۵ میلیمتر مجاز می‌باشد. برای برش حرارتی ورق‌ها با ضخامت بیش از ۴۰ میلیمتر نیاز به پیش‌گرمایش تا دمای ۶۵ درجه سلسیوس می‌باشد. برش نیمرخ‌های فولادی (تیرآهن، ناودانی و نبشی) که برای ساخت مهارها، نرده‌ها و اتصال آن مصرف می‌شوند در صورت موافقت مهندس مشاور با دستگاه نظارت می‌تواند با اره یا برش حرارتی دستی انجام گیرد. در هر صورت کلیه ناصافی‌های بیش از ۰/۵ میلیمتر که بر اثر برش بوجود می‌آید باید با سنگ‌زدن برطرف شود.

سوراخ‌های نهایی ورق‌ها به ضخامت بیش از ۱۵ میلیمتر باید به کمک مته دوار انجام پذیرد. برای سوراخ‌های با قطر زیاد می‌توان ابتدا با قطر کوچکتر سوراخی توسط منگنه ایجاد نمود و بعد با مته سوراخ را به قطر دلخواه رساند. سوراخکاری

ورق‌ها با ضخامت مساوی یا کمتر از ۱۵ میلیمتر به کمک دستگاه منگنه مجاز می‌باشد. قطعاتی که با پیچ به هم متصل می‌گردند در صورت امکان باید همه به هم خال‌جوش شده با هم سوراخ‌کاری شوند.

هم‌راستایی

به کارگیری روش‌های گرم کردن موضعی و یا مکانیکی (نورد کردن) برای ایجاد انحنا یا راست کردن قطعات با تأیید دستگاه نظارت مجاز می‌باشد، ولی دمای موضع گرم شده نباید از ۶۵۰ درجه سلسیوس بیشتر شود. این دما باید به کمک گچ‌های رنگی مخصوص که در دمای حدود ۶۰۰ درجه تغییر رنگ می‌دهند، مورد کنترل قرار گیرد.

۱۵-۴-۳- ساخت و آماده کردن قطعات قبل از مونتاژ

قطعات فولادی باید طوری ساخته شوند که هیچ نوع تغییرشکلی غیر از آنچه در نقشه مشخص شده در آنها بوجود نیاید. انحنا و تغییرشکل‌هایی که طبق نقشه و یا دستور دستگاه نظارت لازم باشد هنگام ساختن قطعات ایجاد می‌شود. قطعاتی که در نقشه یکپارچه (بدون وصله) مشخص شده‌اند نباید از اتصال دو یا چند قطعه ساخته شوند مگر با موافقت دستگاه نظارت. در این حالت نحوه وصله‌کردن و ابعاد صفحات اتصال باید طبق نقشه‌ها و یا دستورکار دستگاه نظارت مشخص شده و به پیمانکار ابلاغ شود. از وصله نمودن بیش از حد باید خودداری گردد. سرهم کردن ورق‌ها (تسمه‌سازی) با استفاده از جوش‌های شیار تمام نفوذی برای ساخت قطعات مجاز است، لیکن باید درزهای جوش بال و جان حداقل ۲۵۰ میلیمتر با هم فاصله داشته باشند.

پخ‌زنی و آماده کردن لبه قطعات برای جوشکاری باید هنگام برش شعله، با زاویه دادن به سرمشعل یا با سنگ‌زنی‌های بعدی انجام پذیرد. استفاده از دستگاه‌های پخ زن ضربه‌ای مجاز نمی‌باشد. پخ‌زنی و آماده کردن لبه‌ها باید مطابق جزئیات اجرایی جوش باشد، که مطابق بند ۱۵-۴-۴ این مشخصات قبلاً به تأیید دستگاه نظارت رسیده است.

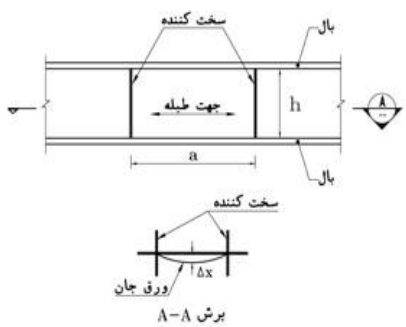
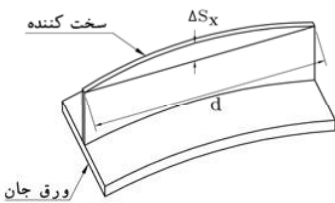
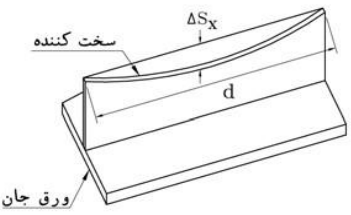
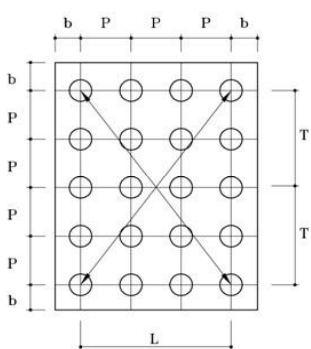
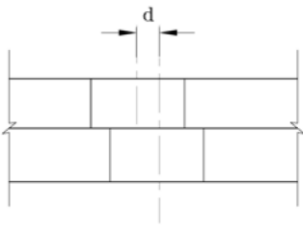
۱۵-۴-۴- جوشکاری

برای انجام عملیات جوشکاری، رعایت مشخصات مندرج در آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی (نشریه ۲۲۸ دفتر تحقیقات و استانداردهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) لازم است. موارد زیر جهت تکمیل و تأیید بعضی مفاد نشریات فوق عنوان می‌گردند:

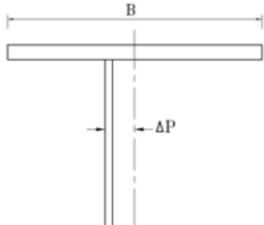
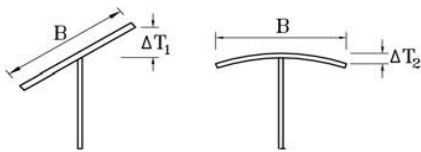
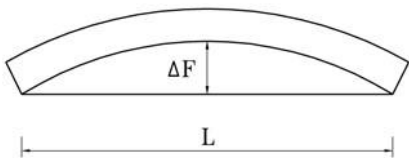
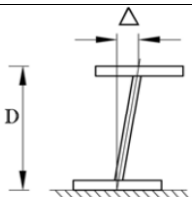
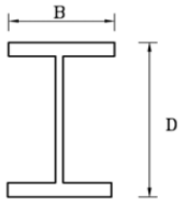
الف- پیمانکار باید برای یکایک جوش‌ها قبل از شروع جوشکاری نوع الکتروود مصرفی و قطر آن، شدت جریان و ولتاژ، تعداد پاس‌ها، نحوه آماده‌سازی لبه‌ها و تمام اطلاعات اجرایی دیگر را توسط مهندس یا کاردان ارشد جوشکاری بر روی

- برگه‌های «دستورالعمل جوشکاری»^۱ ثبت نموده و در تمام مدت جوشکاری در اختیار جوشکار، سرپرست کارگاه جوشکاری و ناظرین قرار دهد. برگه‌های «دستورالعمل جوشکاری» باید قبلاً به تایید دستگاه نظارت رسیده باشند.
- ب- جوشکاری باید طبق نقشه و کاملاً مطابق با ابعاد مشخص شده بوسیله طراح، توسط جوشکاران ماهر و 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.
- پ- قبل از جوشکاری باید سطوح موردنظر از مواد زاید (گردوخاک، زنگ‌زدگی، رنگ و غیره) کاملاً پاک شود.
- ت- جوشکاری بطور کلی در دمای زیر صفر درجه سلسیوس، در جریان باد و در دمای کمتر از پیش‌گرمایش ممنوع است. در صورتی که بتوان سطوح مجاور درز جوشکاری را به عرض حداقل ۱۰ سانتیمتر با وسائل مناسب تا دمای لازم پیش‌گرم نمود و این دما در تمام مدت جوشکاری در اطراف درز 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 پاک‌کردن آن با بررسی سیمی، نباید پاس بعد شروع شود.
- ح- بین قطعاتی که مستقیماً بطریق جوش گوشه بهم جوش می‌شوند 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 ۱۵-۱ 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 ۱۵-۲ الف میزان آزمایش‌های غیرمخرب جوش ارائه شده است. نتیجه تمام این آزمون‌ها باید در پرونده‌های مخصوص ثبت شده در اختیار دستگاه نظارت قرار گیرند. تفسیر دستگاه نظارت از نتایج آزمایش قطعی محسوب می‌گردد.
- دستگاه نظارت می‌تواند 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 جوش‌های کارگاهی لازم به حداقل برسد. بطوری که ساخت قطعات با جوش در کارخانه انجام شده و اتصال در کارگاه توسط پیچ پرمقاومت برقرار شود.

جدول شماره ۱۵-۱- حداکثر انحراف مجاز در ساخت تیروورق‌های فولادی (روداری‌های ساخت)

شرح انحراف	روداری	مثال
طبله ورق جان عمود بر صفحه که به موازات ضلع بزرگتر اندازه‌گیری شده است.	$\Delta x = \frac{G}{100} \text{ یا } 3\text{mm}$ هر کدام که بزرگترند $G = \text{بعد حداقل چشمه}$ $G = \min(a \text{ یا } h)$	
تاب برداشتن سخت کننده در جهت عمود بر ورق سخت شده	$\Delta S_x = \frac{d}{500} \text{ یا } 3\text{mm}$ هر کدام که بزرگترند	
تاب برداشتن سخت کننده به موازات ورق سخت شده	$\Delta S_y = \frac{d}{250} \text{ یا } 3\text{mm}$ هر کدام که بزرگترند	
روداری سوراخ پیچ‌ها	$\Delta P = \pm 2$ $\Delta b = \pm 3$ $\Delta L = \pm 3$ $\Delta T = \pm 3$ $ a - b \leq 3\text{mm}$	
جابه‌جایی سوراخ	$d < 2\text{mm}$	

جدول شماره ۱۵-۱- حداکثر انحراف مجاز در ساخت تیروورق‌های فولادی (روداری‌های ساخت) (ادامه)

شرح انحراف	روداری	مثال
جابجایی مرکز بال نسبت به جان	$\Delta p = \frac{B}{100} < 6\text{mm}$ یا 3mm	
کجی یا تحدب بال	$\Delta T = \frac{B}{100}$ یا 3mm هر کدام که بزرگ‌ترند	 $\Delta T = \Delta T_1 = \Delta T_2$
ریسمانی بودن بال یا جان در طول قطعه	$\Delta F = \frac{L}{1000}$ یا 3mm هر کدام که بزرگ‌ترند $L =$ طول قطعه‌ای از تیر یا تمام طول تیر	
انحراف نسبی یک بال نسبت به بال دیگر	$\Delta T = \frac{D}{300}$ یا 3mm هر کدام که بزرگ‌ترند	
روداری ابعادی اجزای مقطع	$\pm 4\text{mm}$	

جدول ۱۵-۲- الف- 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 لب‌به‌لب عرضی بال‌های کششی، اعضای کششی خراب‌ها، ۱/۶ عمق جان تیرها در مجاورت بال کششی*
پرتونگاری یا فراصوت	۳- ده درصد جوش‌های لب‌به‌لب طولی بال‌های کششی و اعضای کششی خراب‌ها
پرتونگاری یا فراصوت	۴- بیست درصد جوش‌های لب‌به‌لب عرضی و طولی در بال‌های فشاری و اعضای فشاری خراب‌ها
پرتونگاری یا فراصوت	۵- بیست درصد جوش‌های لب‌به‌لب عرضی جان تیرها که شامل بند ۲ فوق نمی‌باشد و جوش‌های لب‌به‌لب طولی جان تیرها
براده مغناطیسی یا رنگ نافذ	۶- ده درصد جوش گوشه بال به جان

* در صورت حصول نتایج مثبت، مهندس مشاور می‌تواند دستور تقلیل آزمایشات را تا سقف ۵۰ درصد صادر نماید.

۱۵-۴-۵- پیش مونتاژ

در صورتی که دستگاه نظارت لازم بداند، پیمانکار موظف است تیرها و ستون‌های فولادی را در محل کارگاه ساخت پیش‌مونتاژ نماید. هدف از پیش‌مونتاژ تیرها و ستون‌ها حصول اطمینان از دقت ساخت و کیفیت جفت‌وجور شدن قطعات در هنگام نصب می‌باشد. همچنین در هنگام پیش‌مونتاژ، خیز شاهتیر تحت بار خود آن اندازه‌گیری شده و با خیز تئوریک مقایسه خواهد شد. جفت‌وجور شدن قطعات مهاربندها با بستن تعدادی از آنها مورد کنترل قرار خواهد گرفت. به هنگام پیش‌مونتاژ باید حداقل ۵۰ درصد از پیچ‌های هر اتصال بسته شوند. پیچ‌های پیش‌مونتاژ می‌تواند از نوع پیچ‌های معمولی انتخاب گردد. از این پیچ‌ها بعداً به عنوان پیچ‌های اصلی نباید استفاده نمود. قطعات پیش‌مونتاژ شده بعد از علامت‌گذاری باز شده به همراه صفحات اتصال برای حمل به کارگاه نصب، انبار خواهند شد.

۱۵-۴-۶- 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 صورتی که 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 علامت‌گذاری 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.

۱۵-۴-۷- اتصال قطعات

۱۵-۴-۷-۱- اصلاح سوراخ‌ها

برای مونتاژ نهایی قطعات، بعد از آنکه قطعات علامت‌گذاری شده بر روی خرک چیده شدند و ورق‌های اتصال بر روی سوراخ‌ها قرار گرفت، قطعات بوسیله سمبه‌هایی که از سوراخ‌های اتصال می‌گذرند 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 دقت‌های ساخت کاملاً منطبق نباشد. در چنین حالتی باید این سوراخ‌ها را با گذراندن یک پیچ امتحانی پیدا کرده بوسیله برق‌زدن آنها را اصلاح نمود. حداکثر قطر برق‌وی مصرفی ۳ میلیمتر بزرگتر از قطر پیچ می‌باشد.

۱۵-۴-۷-۲- بستن و محکم کردن پیچ‌ها

محکم کردن پیچ‌های هر اتصال در دو مرحله انجام می‌گیرد. اول، تعدادی از پیچ‌ها تا حد سفتی کامل محکم می‌شوند، تا اطمینان حاصل شود که سطوح تماس کاملاً به هم چسبیده‌اند، سپس تمام پیچ‌ها در سوارخ قرار گرفته کاملاً سفت می‌شوند. در مرحله دوم، با چرخاندن اضافی مهره، پیچ‌ها پیش‌تنیده می‌گردند. در هر یک از مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید از قسمتی که اتصال صلب‌تر است و ورق‌ها تغییر شکل کمتری می‌دهند شروع به بستن پیچ‌ها کرد. در وصله‌ها، قسمت صلب اتصال، وسط ورق اتصال می‌باشند. بعد از محکم کردن پیچ‌های وسط با حفظ تقارن و ترتیب، پیچ‌های کناری تا لبه آزاد ورق اتصال محکم می‌شوند. سپس می‌توان به پیچ‌های وسط پرداخت تا اطمینان حاصل شود سفت کردن پیچ‌های کناری آنها را از حالت کاملاً سفت خارج نکرده است. در تمام مراحل محکم کردن پیچ‌ها باید دقت کرد از چرخیدن پیچ و مهره با هم جلوگیری بعمل آید.

سفتی کامل پیچ را به حالتی می‌گویند که یک نفر کارگر زورمند با یک آچار معمولی بدون آنکه با وزن خود به دسته آچار ضربه وارد کند، با بکارگیری آخرین زور خود نتواند پیچ را از آن محکم‌تر نماید. برای پیش‌تنیده کردن چنین پیچی باید مهره آنرا به اندازه مقداری که در جدول شماره ۱۵-۲-ب مشخص شده، اضافه چرخاند. این چرخش اضافی را می‌توان به کمک آچار دسته بلند، یا بوسیله آچار ضربه‌ای بادی و یا برقی تأمین نمود.

جدول شماره ۱۵-۲-ب- چرخش اضافی لازم برای پیش‌تنیده کردن پیچ‌های کاملاً سفت (d_b قطر اسمی پیچ است)

طول پیچ (L)	دو سطح اتصال عمود بر محور پیچ	پیچ و سطح دیگر شیب‌دار با شیب کمتر از ۱:۲۰	دو سطح اتصال شیب‌دار با شیب کمتر از ۱:۲۰ نسبت به محور پیچ
$L \leq 4d_b$	دور $\frac{1}{3}$	دور $\frac{1}{2}$	دور $\frac{2}{3}$
$4d_b < L \leq 8d_b$	دور $\frac{1}{2}$	دور $\frac{2}{3}$	دور $\frac{5}{6}$
$8d_b < L \leq 12d_b$	دور $\frac{2}{3}$	دور $\frac{5}{6}$	دور ۱

d_b = قطر اسمی پیچ

اگر در چرخاندن پیچ‌ها از آچار بادی استفاده شود، باید فشار باد را طوری تنظیم کرد که در یک مرحله مهره‌ها را بدون چرخیدن پیچ تا مرحله سفتی کامل برساند و در مرحله بعد با ازدیاد فشار باد یا با دست به روشی که در بالا گفته شد، با چرخش اضافی پیچ‌ها را پیش‌تنیده کرد. تنظیم باد کمپرسور متضمن استفاده از آچار مدرج (تورک‌متر) یا آزمون و خطاهای متوالی می‌باشد و باید در آن دقت کامل بعمل آید. استفاده از پیچ‌های کشش- کنترل (TC BOLT) و یا واشرهای DTI روش دیگری برای اطمینان از حصول پیش‌تنیدگی است.

باز کردن پیچ‌هایی که به حد پیش‌تنیدگی رسیده‌اند و استفاده مجدد از آنها مجاز نمی‌باشد. در جدول ۱۵-۳ مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها و در جدول ۱۵-۴ میزان نیرو و لنگر پیش‌تنیدگی مطابق استاندارد DIN ارائه شده است.

۱۵-۴-۷-۳- کنترل پیش‌تنییدگی پیچ‌ها

پیمانکار موظف است کنترل کیفیت دقیقی بر عملیات بستن پیچ و مهره‌ها 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 پیش‌تنییدگی پیچ‌ها را کنترل نماید. در هر صورت تصمیم دستگاه نظارت در مورد کفایت پیش‌تنییدگی پیچ‌ها قطعی خواهد بود.

برای پیچ‌های پرمقاومت بکار گرفته شده در طرح، نیروی پیش‌تنییدگی لازم برای سفت کردن پیچ‌ها برابر ۵۵ درصد مقاومت نهایی پیچ می‌باشد. لازم به تذکر است که با پیچاندن اضافی مهره‌ها ممکن است کشش پیچ بطور قابل ملاحظه‌ای از مقدار فوق‌الذکر بیشتر شوند ولی این موضوع اشکالی دربر ندارد.

در پیچ‌هایی که وسیله چرخاندن اضافه مهره پیش‌تنیده می‌شوند، بعد از آنکه پیچ‌ها کاملاً سفت شدند، بوسیله علامتگذار رنگی نقطه‌ای از پیچ و مهره را که روبروی هم قراردارند، علامت‌گذاری کرده بعداً کنترل می‌گردد که چرخش اضافی مطابق جدول شماره ۱۵-۲-ب بمیزان کافی انجام شده باشد. برای کنترل پیش‌تنییدگی پیچ‌ها باید از تورک‌متر مناسب که قبلاً در یک آزمایشگاه مورد قبول دستگاه نظارت کالیبره شده است، استفاده بعمل آورد.

جدول ۱۵-۳- مشخصات مکانیکی پرچ‌ها و پیچ‌ها

توضیح	نام تجاری پیچ یا پرچ		تنش تسلیم F_y (kg/cm ²)	تنش نهایی F_u (kg/cm ²)
	DIN	ASTM		
پرچ	UST 36		2050	3300
	UST 38		2250	3700
		A502 و Gr1	1900	
		A502 و Gr2	2600	
پیچ معمولی	4.6		2400	4000
	5.6		3000	5000
		A307		4200
پیچ پرمقاومت	8.8		6400	8000
	10.9		9000	10000
		A325	*5900-6400 ⁺	8250 و (d25mm) ≤
			*5100-5600 ⁺	7250 و (d25mm) ≤
		A490	*8250-9000 ⁺	10000

+ روش تصویر

* نظیر کرنش ۰/۵ درصد

جدول ۱۵-۴- نیروی پیش‌تنیدگی و لنگر پیچشی پیش‌تنیدگی طبق استاندارد DIN

پیچ	نیروی پیش‌تنیدگی (Ton)		لنگر پیچشی لازم (ton.m)	
			گریسکاری با Mos ₂ (مولیبدین سولفات)	
	8.8	10.9	8.8	10.9
M12	5.0	6.1	0.0100	0.0125
M16	10.0	11.4	0.0250	0.031
M20	16.0	17.8	0.0450	0.054
M22	19.0	22	0.0650	0.081
M24	22.0	26	0.0800	0.1
M27	29.0	33	0.1250	0.156
M30	35.0	40	0.1650	0.21
M36	51.0	60	0.2800	0.35

* برای پیچ‌های نو و بدون پوشش لنگر پیچشی ذکر شده در ضریب ۱/۴ ضرب می‌شود.

۱۵-۴-۸- آزمایش‌های پیچ و مهره و واشر

لیست آزمایش‌های پیچ، مهره و واشر براساس استاندارد ISO 898 مطابق جدول ۱۵-۵ است که باید توسط آزمایشگاه ذیصلاح و با توجه به شرایط استاندارد انجام پذیرد.

جدول ۱۵-۵- آزمایش‌های مورد نیاز پیچ و مهره و واشر مطابق ISO 898

(الف) پیچ‌ها

استاندارد	مشخصات
EN 14399-3 , 4	ابعاد و رواداری‌ها
EN ISO 898-1	ترکیب شیمیایی
EN ISO 898-1	درصد ازدیاد طول گسیختگی
EN ISO 898-1	حداقل مقاومت کششی
EN ISO 898-1	تنش نظیر ازدیاد طول 0.2%
EN ISO 898-1	تنش تحت بار گوه
EN ISO 898-1	مقاومت تحت بار گوه‌ای
EN ISO 898-1	سختی
EN 14399-3 , 4	مقاومت در برابر ضربه
EN ISO 898-1	سالم بودن کلگی
EN ISO 898-1	حداکثر سختی سطح
EN ISO 898-1	آزمایش پخت مجدد
EN ISO 898-1	یکپارچگی سطح
EN ISO 898-1	تعیین عمق کربن‌دهی یا دکربنیزه شدن

(ب) مهره‌ها

استاندارد	مشخصات
EN 14399-3 , 4	ابعاد و رواداری‌ها
EN ISO 898-2	ترکیب شیمیایی
HR برای EN 14399-3 HV برای EN 20898-2	تنش تحت بار گواه
HR برای EN 14399-3 HV برای EN 20898-2	سختی

جدول ۱۵-۵- (ادامه) - آزمایش‌های مورد نیاز پیچ و مهره و واشر مطابق ISO 898

(پ) واشرها

مشخصات	استاندارد
ابعاد و رواداری‌ها	EN 14399-5 , 6
ترکیب شیمیایی	EN ISO 898-3
سختی	EN 14399-6 و EN 14399-5

تعداد نمونه‌های لازم برای انجام بازرسی و آزمایش‌های پیچ‌ها، برحسب تعداد پیچ‌های مورد ارزیابی مشابه که از یک منبع تامین شده‌اند، مطابق جدول ۱۵-۶ است. در مواردی که تعداد پیچ و مهره‌ی مورد ارزیابی زیاد باشد و در نتیجه هزینه‌ی آزمایش‌ها زیاد شود، می‌توان از استاندارد مربوط به نمونه‌برداری پیچ و مهره ISO 2859-1 استفاده نمود. ارائه‌ی گواهی انطباق توسط سازنده‌ی معتبر به معنی انجام آزمایش‌های ارزیابی به تعداد کافی در کارخانه و موجود بودن اسناد آن جهت بررسی بوده و استفاده کننده را از انجام آزمون‌های کامل جدول ۱۵-۵ معاف می‌سازد.

جدول ۱۵-۶- حداقل تعداد پیچ جهت بازرسی

تعداد پیچ‌ها	تعداد نمونه‌ها
۱۵۰ و کمتر	1
۱۵۱ تا ۲۰۰	2
۲۰۱ تا ۵۰۰	3
۵۰۱ تا ۱۲۰۰	5
۱۲۰۱ تا ۳۲۰۰	8
۳۲۰۱ تا ۱۰۰۰۰	13
۱۰۰۰۱ و بیشتر	20

۱۵-۴-۹- مشخصات مصالح پیچ و مهره و پوشش آن‌ها

انتخاب مصالح جهت ساخت پیچ و مهره و واشر باید به نحوی انجام شود که در نهایت مشخصات شیمیایی و مکانیکی موردنیاز در استانداردهای مربوطه برآورده شود.

فرآیند تولید پیچ و مهره از رده‌ی 10.9 باید به نحوی تحت کنترل باشد که احتمال تردی هیدروژنی به خصوص در اثر فرآیند پوشش ضدزنگ به حداقل برسد. رزوه‌ی پیچ رده‌ی 10.9 باید به روش نورد انجام شود. پوشش همه‌ی اجزای پیچ و مهره باید سازگار باشد و باید مقاومت در برابر خوردگی مشابه داشته باشند. در صورتی که لازم باشد از پیچ و مهره با پوشش گالوانیزه گرم استفاده شود، باید الزامات استاندارد ISO 10684 رعایت شود. گالوانیزه‌ی گرم پیچ و مهره‌ها باید تحت کنترل تولیدکننده‌ی پیچ و مهره باشد. استفاده از پوشش گالوانیزه‌ی گرم برای پیچ‌های با رده‌ی 10.9 و بالاتر توصیه نمی‌شود.

فصل ۱۶

بالشتک‌های الاستومری

۱۶-۱- کلیات

پیمانکار موظف است کلیه مشخصات مربوط به بالشتک‌های الاستومری از جمله ابعاد، خواص مصالح، رده الاستومر و نوع لایه‌های مصرفی را به انضمام کاتالوگ کارخانه سازنده به موقع تهیه و به تایید دستگاه نظارت و کارفرما برساند. بالشتک باید در ابعاد مندرج در نقشه‌های اجرایی سفارش داده شود و هر نوع برش کاری روی بالشتک غیرمجاز می‌باشد. بالشتک‌ها باید در محل دقیق خود مطابق نقشه‌های اجرایی نصب شوند. در شکل ۱۶-۱ جزئیات پیشنهادی برای نصب بالشتک ارائه شده است.

۱۶-۲- حمل و نگهداری

بالشتک‌ها باید قبل از حمل و نقل، بسته‌بندی شده بطوری که مصون از هرگونه آسیب باشند. انبارداری آنها باید در اتاق‌های سربسته و عاری از نور و صدمات محیطی و فیزیکی باشد.

۱۶-۳- مشخصات فیزیکی الاستومر

الاستومر می‌تواند از نوع نئوپرن (پلی کلروپرن) و یا لاستیک طبیعی (پلی ایزوپرن) باشد. الاستومرها به ۵ رده کلی ۰، ۲، ۳، ۴ و ۵ تقسیم می‌شوند. رده‌های فوق با توجه به مندرجات جدول‌های ۱۶-۱ و ۱۶-۲ مشخص می‌شوند. در بالشتک‌ها می‌توان از الاستومر با رده بالاتر به جای رده پایین‌تر استفاده کرد. درمورد الاستومرها باید آزمایشات زیر انجام شود. (جدول‌های ۱۶-۱ 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

ه- تردشکنی در دمای کم

همه آزمایش‌ها باید در دمای 23 ± 2 درجه سلسیوس انجام شوند، مگر در مواردی که ذکر شده باشد.

۱۶-۴- ورق‌های فولادی مسلح‌کننده‌ی نئوپرن

ورق‌های فولادی از فولاد ST-52 می‌باشند. سطح ورق‌های فولادی باید کاملاً آماده شده و به کمک چسباننده‌های مناسب پیوستگی کامل با نئوپرن داشته باشند. روی سطح ورق‌های فولادی حداقل باید با $2/5$ میلیمتر نئوپرن پوشیده شده باشد.

۱۶-۵- رواداری‌های ساخت

رواداری‌های ساخت براساس جدول ۱۶-۳ می‌باشند.

جدول ۱۶-۱- آزمایش‌های کنترل کیفیت نئوپرن

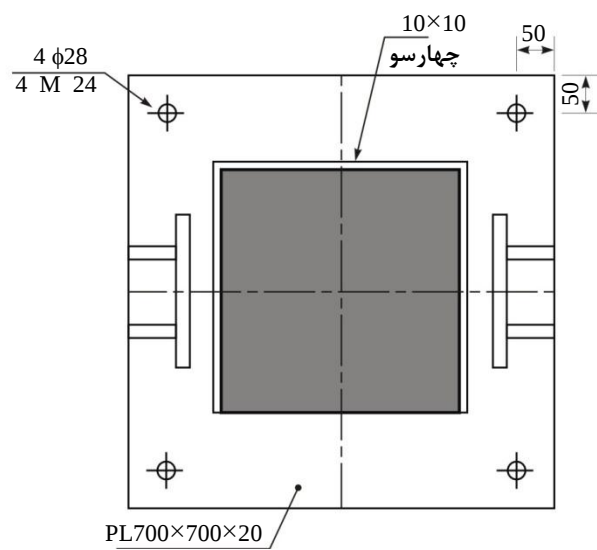
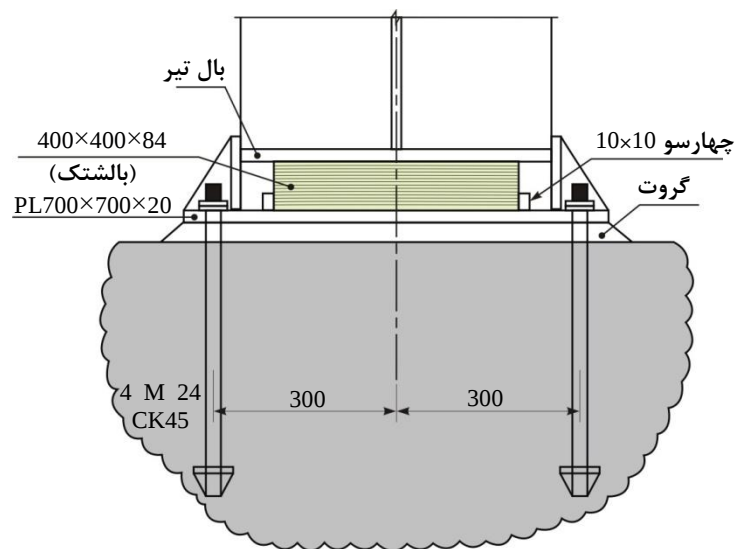
مشخصات فیزیکی			
۷۰±۵	۶۰±۵	۵۰±۵	سختی درومتر (Shore A)
۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	۱۵۷/۵	حداقل استحکام کششی (kg/cm ²)
۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	حداقل ازدیاد طول نهایی (%)
زمانبندی حرارتی			
۱۵	۱۵	۱۵	تغییرات در سختی درومتر (Shore A)
-۱۵	-۱۵	-۱۵	حداکثر تغییرات در مقاومت کششی (%)
-۴۰	-۴۰	-۴۰	حداکثر ازدیاد طول نهایی (%)
مانایی فشاری			
۳۵	۳۵	۳۵	۲۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، (حداکثر %)
مقاومت ازنی			
بدون ترک	بدون ترک	بدون ترک	غلظت 100PPhm ازنی، ۲۰٪ کرنش، (۳۸±۱) درجه سلسیوس به مدت ۱۰۰ ساعت ماندگاری طبق روال D518، روش A
شکنندگی در دمای کم			
			رده ۰ و ۲ بدون نیاز به آزمایش
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۳- شکنندگی در -۴۰ درجه سلسیوس
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۴- شکنندگی در -۴۸ درجه سلسیوس
عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی	رده ۵- شکنندگی در -۵۷ درجه سلسیوس
سفتی حرارتی آنی			
سختی در دمای زمان آزمایش نباید بیشتر از ۴ برابر سختی اندازه گیری شده در دمای ۲۳ درجه سلسیوس باشد.		رده ۰ و ۲- آزمایش در دمای -۳۲ درجه سلسیوس	D1043
		رده ۳- آزمایش در دمای -۴۰ درجه سلسیوس	
		رده ۴- آزمایش در دمای -۴۶ درجه سلسیوس	
		رده ۵- آزمایش در دمای -۵۴ درجه سلسیوس	

جدول ۱۶-۲- آزمایش‌های کنترل کیفیت لاستیک طبیعی

مشخصات فیزیکی			
D2240 D412	سختی درومتر (Shore A)	۵۰±۵	۶۰±۵
	حداقل استحکام کششی (kg/cm ²)	۱۵۷/۵	۱۵۷/۵
	حداقل ازدیاد طول نهایی (%)	۴۵۰	۴۰۰
زمانبندی حرارتی			
D573 ۷۰ ساعت در دمای 70°C	تغییرات در سختی درومتر (Shore A)	۱۰	۱۰
	حداکثر تغییرات در مقاومت کششی (%)	-۲۵	-۲۵
	حداکثر ازدیاد طول نهایی (%)	-۲۵	-۲۵
مانایی فشاری			
D395 روش B	۲۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، حداکثر	۲۵	۲۵
مقاومت ازنی			
D1149	غلظت 25PPhm ازن، ۲۰٪ کرنش، (۳۸±۱) درجه سلسیوس و ۴۸ ساعت ماندگاری طبق روال D518، روش A	بدون ترک	بدون ترک
شکندگی در دمای پایین			
D746 روش B	رده ۰ و ۲ بدون نیاز به آزمایش		
	رده ۳- شکندگی در دمای ۴۰- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی
	رده ۴- شکندگی در دمای ۴۸- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی
	رده ۵- شکندگی در دمای ۵۷- درجه سلسیوس	عدم گسیختگی	عدم گسیختگی
سفتی حرارتی آنی			
D1043	رده ۰ و ۲- آزمایش در دمای ۳۲- درجه سلسیوس	سختی در دمای زمان آزمایش نباید بیشتر از ۴ برابر سختی اندازه‌گیری شده در دمای ۲۳ درجه سلسیوس باشد.	
	رده ۳- آزمایش در دمای ۴۰- درجه سلسیوس		
	رده ۴- آزمایش در دمای ۴۶- درجه سلسیوس		
	رده ۵- آزمایش در دمای ۵۴- درجه سلسیوس		

جدول ۱۶-۳- روداری‌های ساخت

۱- ارتفاع کلی	
ضخامت طراحی ۳۲ میلیمتر یا کمتر	(+3mm و -0)
ضخامت طراحی بیشتر از ۳۲ میلیمتر	(+6mm و -0)
۲- بعد افقی کل	
۹۰۰ میلیمتر یا کمتر	(+6mm و -0)
بیشتر از ۹۰۰ میلیمتر	(+12mm و -0)
۳- ضخامت هر لایه	
ضخامت الاستومر در هر نقطه‌ای در داخل تکیه‌گاه	$\pm 20\%$ مقدار طراحی، اما کمتر از ($\pm 3\text{mm}$)
۴- توازی سطوح مخالف	
بالا و پایین	۰/۰۰۵ رادیان
لبه‌ها	۰/۰۲ رادیان
۵- وضعیت ظاهری	
سوراخ‌ها، شیارها یا مغزی‌ها	($\pm 3\text{mm}$)
۶- پوشش لبه	
لایه‌های مدفون یا اعضای اتصال	($\pm 3\text{mm}$)
۷- ضخامت	
پوشش لایه‌ی بالا و پایین (در صورت نیاز)	۰- و کوچک‌ترین از $1/5 +$ میلیمتر و $20\% +$ ضخامت اسمی لایه پوشش
۸- اندازه	
سوراخ‌ها، شیارها یا مغزی‌ها	($\pm 3\text{mm}$)



شکل ۱۶-۱ جزئیات نصب بالستک نئوپرن

فصل ۱۷

رنگ آمیزی و گالوانیزه کردن

قسمت‌های فلزی

قسمت‌های فلزی باید در مقابل خوردگی محافظت شوند که برای این منظور باید سطوح آنها رنگ شود.

۱۷-۱- مواد مورد استفاده

رنگ‌های مورد استفاده جهت قسمت‌های 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 آنها منوط به تصویب دستگاه نظارت می‌باشد. تمام موارد مورد استفاده جهت آماده‌سازی سطح و رنگ‌آمیزی آن باید دارای بهترین کیفیت ممکن بوده و باید مطابقت کامل با استانداردهای کارخانه‌ی سازنده داشته و مورد تصویب دستگاه نظارت قرار گیرند، در هر صورت حصول به کیفیت نهایی مطلوب برعهده پیمانکار خواهد بود.

۱۷-۲- آماده‌سازی سطوح

تمیزکاری با پاشش مواد ساینده بهترین روش برای از بین بردن رنگ، اکسیدهای حاصل از نور، رنگ‌های قدیمی با چسبندگی کم می‌باشد. کلاً در مورد آماده‌سازی سطح با پاشش مواد ساینده موارد زیر حائز اهمیت می‌باشند: یکی از مطالب مهم در پاشش مواد ساینده، اطمینان از فشار مؤثر باد می‌باشد. مقدار صحیح فشار باد در آماده‌سازی با مواد ساینده، تقریباً 7kg/cm^2 می‌باشد. اگر فشار باد تا 5kg/cm^2 کاهش یابد، برای به دست آوردن نتایجی مشابه، تقریباً دو برابر از مواد ساینده استفاده می‌شود. بدین منظور بعد از آماده‌سازی سطح با مواد ساینده، باید بلافاصله سطح را با آستری مناسب پوشش داد. البته قبل از اعمال آستری باید گرد و خاک بر روی سطح را با هوای فشرده (بدون آب و روغن) و یا جاروی برقی صنعتی کاملاً تمیز کرد. اگر مقدار زنگ و رنگ‌ها، با چسبندگی کم بر روی سطح زیاد باشد، بهتر است که ابتدا با تراشیدن، حجم مواد زاید را کم کرده و سپس عملیات آماده‌سازی با پاشش مواد ساینده را آغاز نمود. سطوح آلومینیومی آماده‌سازی نشده و یا سایر فلزات سبک و آهن گالوانیزه شده، سطوح مشکلی برای رنگ‌آمیزی می‌باشند، زیرا چسبندگی لایه پرایمر به سطوح فوق بسیار کم می‌باشد. در این شرایط موارد زیر توصیه می‌شوند. ابتدا باید سطح را با یک حلال قوی کاملاً چربی‌زدایی کرد. سپس یک لایه واش پرایمر^۱ بر روی سطح اعمال نموده و آنگاه سیستم رنگ ارایه شده را بر روی آن اعمال نمود.

۱۷-۲-۱- درجه‌های مختلف کیفیت آماده‌سازی

آماده‌سازی سطوح فولادی قبل از اعمال آستری‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود. درجه‌های آماده‌سازی که در زیر آورده می‌شوند، بیانگر تمیزی سطح آهن می‌باشند که باید از کثافات و چربی‌ها پاک شده و همچنین لایه‌های ضخیم زنگ از روی سطح آن برداشته شده باشند.

Sa 1: تمیز کردن به صورت ماسه‌پاشی خفیف

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی و به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی، کثیفی و نیز لایه اکسید حاصل از نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد و زنگ و پوشش‌های رنگی و مواد خارجی باشد.

Sa 2: تمیز کردن به صورت ماسه‌پاشی عمیق

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز بیشترین مقدار لایه اکسید حاصل از نورد، زنگ و پوشش‌های 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 ماسه‌پاشی عمیق‌تر

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، به هنگام بازرسی بدون استفاده از ذره‌بین باید عاری از روغن، چربی و کثیفی باشد و نیز باید لایه اکسید حاصل از نورد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. هرگونه اثر به جامانده از مواد آلاینده، فقط به صورت لکه‌های جزئی به شکل خال‌ها و نوارها به نظر خواهد آمد.

Sa 3: تمیز کردن بصورت ماسه‌پاشی تا درجه‌ای که تمیزی فولاد با چشم دیده شود و سطح فولاد نقره‌ای گردد.

سطح فولاد پس از ماسه‌پاشی، 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، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشند. اینچنین سطحی باید دارای نمای فلزی یکنواختی باشد.

۱۷-۳- رنگ آمیزی

۱۷-۳-۱- برای حفاظت سازه‌های فلزی در مقابل خوردگی باید کلیه سطوح رنگ آمیزی شوند، مگر در مواردی که عدم رنگ آمیزی از سوی مشاور تصریح شوند.

۱۷-۳-۲- قبل از شروع عملیات رنگ آمیزی باید تمام سطوح را کاملاً تمیز، خشک و آماده نمود به قسمتی 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.

۱۷-۳-۳- رنگ مصرفی باید کاملاً سطح موردنظر 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 بدون هوا باشد. تنها برای لکه‌گیری‌ها استفاده از قلم مجاز است.

۱۷-۳-۴- رنگ آمیزی باید در محیط مناسب و سر بسته و رطوبت و دمای مناسب انجام شود.

۱۷-۳-۵- قطعاتی که تازه رنگ شده‌اند باید از گرد و خاک محافظت شده و سطح رنگ آمیزی تا زمان تحویل موقت حفاظت شوند.

۱۷-۳-۶- رنگ آمیزی باید در شرایط آب و هوای منطبق با کاتالوگ معتبر کارخانه سازنده رنگ صورت گیرد

۱۷-۳-۷- 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.

۱۷-۳-۸- در سطوح و لبه‌هایی از سازه فلزی که پس از رنگ آمیزی جوش خواهند شد، باید رنگ آمیزی تا فاصله پنج سانتیمتر از لبه متوقف شود.

۱۷-۳-۹- 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.

۱۷-۳-۱۰- در تمام سطوحی که طبله کردن، وجود ترک‌ها 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.

۱۷-۳-۱۱- 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 تمیز بودن سطوح از گرد و غبار.

۱۷-۳-۱۲- 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 لایه‌های 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 حالتی که اختلاف دمای محیط و نقشه شب‌نم کمتر از ۵ درجه باشد، رنگ آمیزی ممنوع می‌باشد.

۱۷-۴- ضخامت رنگ

۱۷-۴-۱- رنگ‌آمیزی باید با توجه 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، رنگ‌آمیزی باید مجدداً تکرار شود تا حداقل ضخامت مورد لزوم به دست آید.

۱۷-۴-۲- کلیه قطعات فولادی باید با یکدست لایه‌ی اول با چسبندگی خوب به فلز پایه، یکدست لایه‌ی میانی و یکدست رویه مقاوم در مقابل تابش آفتاب (اشعه‌ی ماورای بنفش UV)، رنگ‌آمیزی شوند.

جدول ۱۷-۱- حداقل ضخامت رنگ‌آمیزی قطعات فولادی پل در شرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی	آماده‌سازی سطح فولاد	نوع و ضخامت رنگ	
		قطعه فولادی بصورت روباز لیکن درون محیط بسته	قطعه فولادی در معرض شرایط جوی (پل‌ها)
معتدل ^(۱)	Sa 2	۴۰ میکرون آستر الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی	۴۰ میکرون آستر ضدزنگ الکیدی ۴۰ میکرون لایه میانی الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی مقاوم در مقابل UV
سخت ^(۲)	Sa 2.5	۴۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی MIO ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی‌یورتان مقاوم در مقابل UV
بسیار سخت و ساحلی ^(۳)	Sa 3	۶۰ میکرون آستر اپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی‌یورتان	نواحی مانند ناحیه‌ی جزرومدی که نیاز به مطالعه و دستورالعمل خاص دارد. (در سایر موارد حداقل سه لایه رنگ اپوکسی به ضخامت کل ۲۴۰ میکرون)

- (۱) شرایط معتدل، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط کمتر از ۵۰٪
- (۲) شرایط سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی بیش از ۵۰٪ و کمتر یا مساوی ۸۰٪
- (۳) شرایط بسیار سخت، شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ همراه با بخار کلر یا نظایر آن
- (۴) در صورتی‌که دستورالعمل رنگ‌آمیزی توسط کارشناس ذیصلاح تهیه شود، می‌توان از شرایط جدول فوق عدول نمود.
- (۵) صفحاتی که قرار است در اتصال اصطکاکی رویهم قرار گیرند، نباید رنگ شوند، فقط به لایه‌ای در حد ۲۰ میکرون به عنوان رنگ انبارداری نیاز می‌باشد.

(۶) میکرون $\frac{1}{1000}$ میلیمتر است.

۱۷-۴-۳- سطوح غیرقابل دسترس

بجز سطوح تماس بقیه سطوحی که بعد از ساخت، قابل دسترس نخواهد بود باید قبل از جمع کردن کار، تمیز و رنگ‌آمیزی شود، البته در صورتی که در مدارک طرح و محاسبه این عمل خواسته شده باشد.

۱۷-۴-۴- 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.

۱۷-۴-۵- سطوح صاف و آماده شده

سطوحی که با ماشین کردن آماده می‌شوند باید در مقابل خوردگی محافظت شوند. بدین‌منظور از یک لایه مصالح ضدزنگ که بتوان آن را قبل از نصب به آسانی برطرف کرد یا مصالح مخصوصی که احتیاج به برطرف کردن نداشته باشد، می‌توان استفاده کرد.

۱۷-۴-۶- سطوح مجاور جوش کارگاهی

بجز حالت‌هایی 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 می‌گیرند، باید از موادی که به جوشکاری صدمه می‌زند و یا در حین جوشکاری گازهای سمی و مضر تولید می‌کند، کاملاً پاک شود.

۱۷-۵- انبارداری رنگ

مواد مورد استفاده جهت آماده‌سازی باید مطابقت کامل با توصیه‌های کارخانه سازنده داشته باشد و لازم است مواد مورد مصرف در مکانی انبار شوند که دمای محیط حداقل برابر ۱۸ و حداکثر ۳۵ درجه باشند.

۱۷-۶- تعمیر رنگ

در صورت نیاز مراحل ترمیم رنگ‌های آستر در محل‌های خاص به شرح زیر می‌باشد.

- ۱- در کلیه سطوحی که آستری آن شره، طبله و یا هر نوع معایب دیگر رنگ را دارد تا حذف کامل عیب و ایجاد سطح کاملاً صاف و پرداخت شده جهت رنگ‌آمیزی، پوستاب‌زنی شده و سپس با دستمال هرگونه گرد و غبار و زائده‌های رنگ از روی سطح حذف و خشک گردد و بعد یک لایه آستری در محل فوق اعمال گردد.
- ۲- در صورتی که رنگ آستری خراب شده، بصورت گسترده باشد ترمیم رنگ می‌بایست پس از آماده‌سازی سطح بصورت اسپری انجام گردد.
- ۳- در صورتی که مساحت رنگ آستری خراب شده، کم باشد و ترمیم آن قابل اجرا بصورت اسپری نباشد از قلم‌مو استفاده گردد.

۱۷-۷- گالوانیزه کردن

عملیات گالوانیزه کردن باید با شیوه غوطه‌وری داغ 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. درمورد 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 نشده‌اند مطابق آنچه در بخش رنگ‌آمیزی آورده شده است مورد عملیات ترمیم قرار خواهند گرفت.

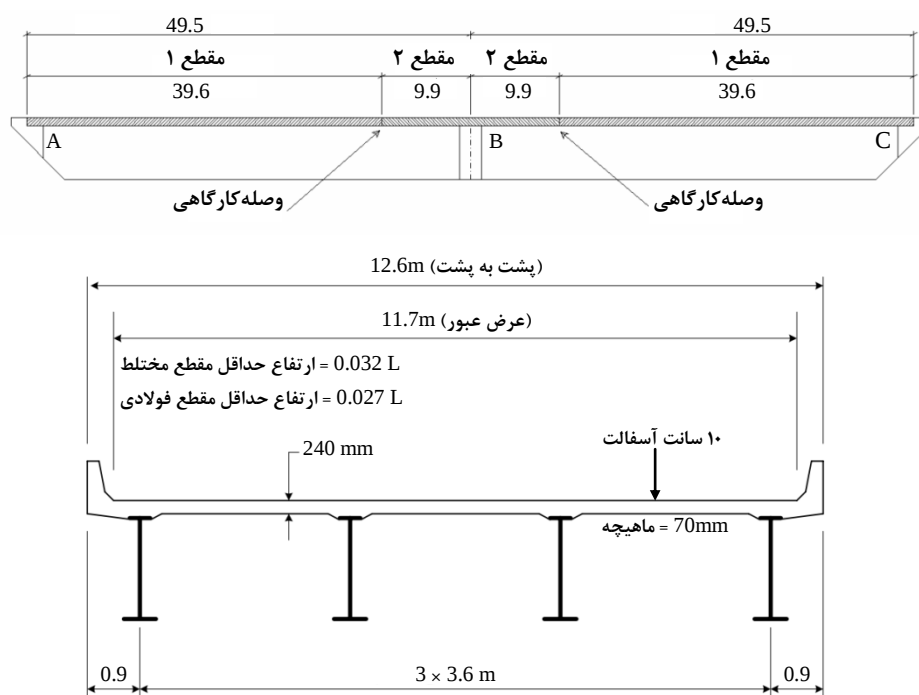
پیوست

طراحی نمونه عرشه فولادی به روش

LRFD

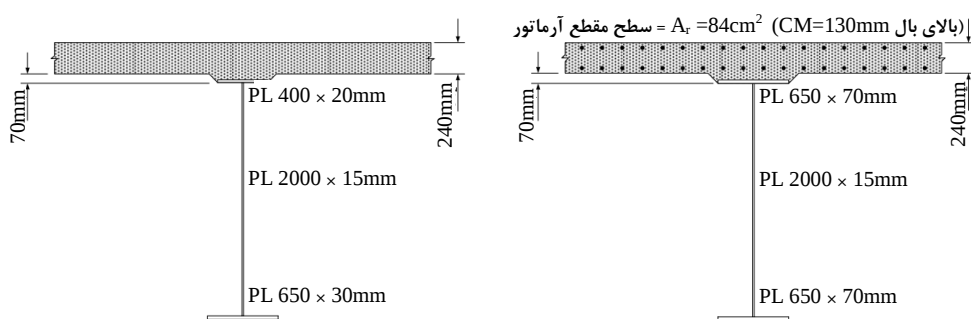
مثال

مطلوبست طراحی پل دو دهانه‌ی یکسره با نما و مقطع نشان داده شده در شکل ۱ به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD). فولاد شاهتیرها از نوع ST52 با $F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ و بتن از نوع C32 ($f'_c = 320 \text{ kg/cm}^2$) با ضریب تبدیل $n = E_s/E_c = 8$ می‌باشد.



شکل ۱- هندسه‌ی پل شامل نما و مقطع

۱- مشخصات هندسی مقطع پل



مقطع ۱- لنگر خمشی مثبت

مقطع ۲- لنگر خمشی منفی

شکل ۲- مقطع شاهتیرها

عرض موثر بال b_{eff} برای مقطع ۱ (لنگر مثبت)

برای شاهتیر داخلی b_{eff} کمترین سه مقدار زیر است:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \frac{L_{eff}}{4} = \frac{3960}{4} = 990 \text{ cm} \\ \bullet 12t_s + \frac{b_f}{2} = (12)(24) + \frac{40}{2} = 308 \text{ (حاکم است)} \\ \bullet S = 360 \text{ cm} \end{array} \right.$$

برای شاهتیر خارجی:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \frac{L_{eff}}{4} = \frac{3960}{4} = 990 \text{ cm} \\ \bullet 12t_s + \frac{b_f}{2} = (12)(24) + \frac{40}{2} = 308 \text{ cm} \\ \bullet \frac{S}{2} + d_e = \left(\frac{360}{2} + 90 \right) = 270 \text{ cm (حاکم است)} \end{array} \right.$$

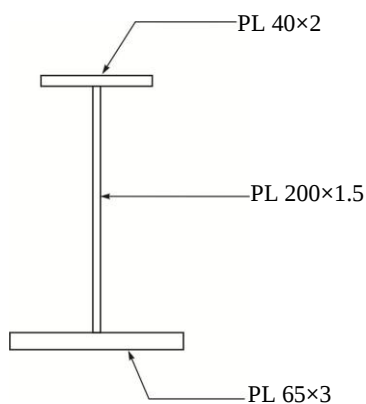
L_{eff} = در تیر سراسری فاصله بین تکیه‌گاه با نقطه عطف لنگر خمشی بار مرده است.

در محاسبات مقطع ۱ از اثر آرماتورهای فشاری دال صرف‌نظر می‌شود.

در مقطع ۲، دال بتنی در ناحیه کششی است و فقط آرماتورهای طولی دال با سطح مقطع $A_r = 84 \text{ cm}^2$ که مرکز آنها در ۱۳۰ میلیمتری از سطح بال (بال فوقانی فولادی در محدوده‌ی عرض موثر) قرار دارند، عمل می‌کنند.

مقطع ۱- برای لنگر مثبت

برای بار مرده‌ی گروه ۱



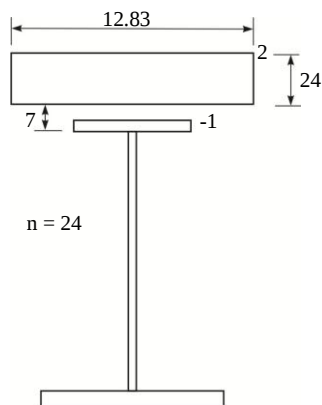
$$A = 575 \text{ cm}^2$$

$$I = 3,586,613 \text{ cm}^4$$

$$C_b = 82.63 \text{ cm} \quad S_b = 43405 \text{ cm}^3$$

$$C_t = 122.37 \text{ cm} \quad S_t = 29310 \text{ cm}^3$$

برای بار مرده ی گروه ۲ (n = 24)



$$A = 883$$

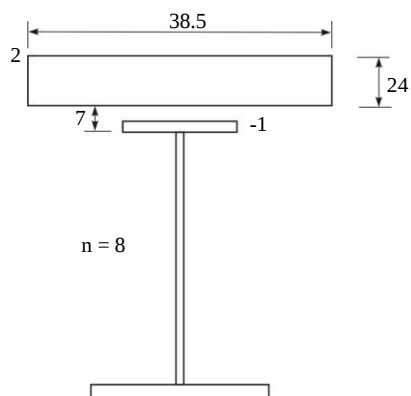
$$I = 7,496,508$$

$$C_b = 131.24 \text{ cm} \quad S_b = 57122 \text{ cm}^3$$

$$C_{t1} = 73.76 \text{ cm} \quad S_{t1} = 101628 \text{ cm}^3$$

$$C_{t2} = 102.76 \text{ cm} \quad S_{t2} = 72949 \text{ cm}^3$$

برای بار زنده (n = 8)



$$A = 1499$$

$$I = 10,515,492 \text{ cm}^4$$

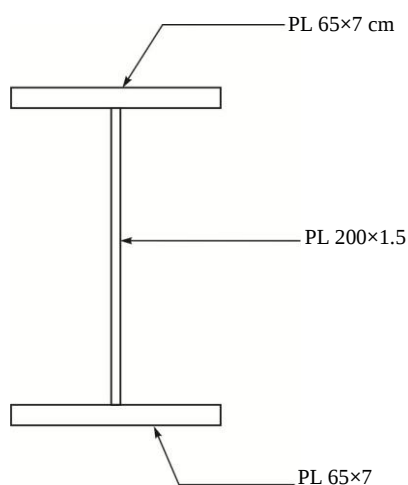
$$C_b = 168.54 \quad S_b = 62392$$

$$C_{t1} = 36.46 \quad S_{t1} = 288407$$

$$C_{t2} = 65.46 \quad S_{t2} = 160638$$

مقطع ۲- برای لنگر منفی

مقطع فولادی تنها



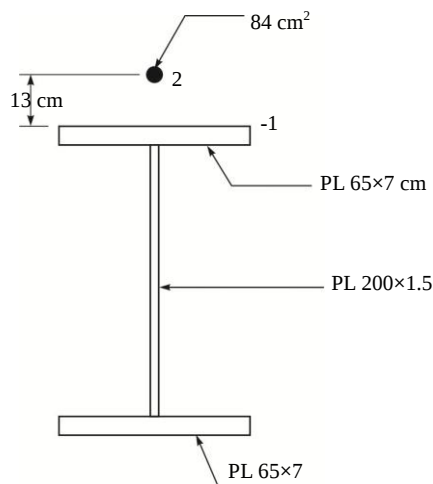
$$A = 1210 \text{ cm}^2$$

$$I = 1,075,863 \text{ cm}^4$$

$$C_b = 107 \text{ cm} \quad S_b = 100485 \text{ cm}^3$$

$$C_t = 107 \text{ cm} \quad S_t = 100485 \text{ cm}^3$$

مقطع فولادی با آرماتور منفی



$$A = 1294 \text{ cm}^2$$

$$I = 11,882,970 \text{ cm}^4$$

$$C_b = 114.79 \text{ cm} \quad S_b = 103519 \text{ cm}^3$$

$$C_{t1} = 99.21 \quad S_{t1} = 119776$$

$$C_{t2} = 101.21 \quad S_{t2} = 117409$$

ملاحظه می‌شود منظور کردن میلگردهای طولی دال تاثیر چندانی بر مشخصات هندسی مقطع ندارد.

۲- محاسبه بارها

۲-۱- بارهای مرده

بار مرده‌ی گروه ۱:

- وزن تیر فولادی
- وزن دال بتنی
- وزن ماهیچه‌ها

بار مرده‌ی گروه ۲:

- وزن جان‌پناه و پیاده‌روی طرفین
- وزن پوشش آسفالتی

بارهای مرده گروه ۱ بر تیر فولادی تنها و بارهای مرده‌ی گروه ۲ بر مقطع مختلط با ضریب تبدیل $3n$ اعمال می‌شود. بار زنده نیز بر مقطع مختلط با ضریب تبدیل n وارد می‌گردد.

۲-۱- محاسبات بار مرده‌ی گروه ۱

وزن تیر فولادی (با ۱۵ درصد افزایش به علت وزن سخت‌کننده و قطعات الحاقی) (DC1)

(الف) مقطع ۱ (لنگر مثبت):

$$A = 40 \times 2 + 200 \times 1.5 + 65 \times 3 = 575 \text{ cm}^2$$

$$W = 575 \times 0.785 \times 1.15 = 519 \text{ kg/m}$$

(ب) مقطع ۲ (لنگر منفی):

$$A = 65 \times 7 \times 2 + 200 \times 1.5 = 1210 \text{ cm}^2$$

$$W = 1210 \times 0.785 \times 1.15 = 1092 \text{ kg/m}$$

$$W = (519 \times 39.6 + 1092 \times 9.9) / 49.5 \approx 635 \text{ kg/m}$$

وزن دال برای شاهتیر داخلی:

$$W_{\text{deck}} = 3.6 \times 0.24 \times 2.5 = 2.16 \text{ ton/m}$$

وزن ماهیچه:

$$W_{\text{haunch}} = 0.08 \text{ ton/m}$$

$$q_{d1} = 1 \text{ بار مرده ی گروه } = 0.635 + 2.16 + 0.08 = 2.9 \text{ ton/m}$$

وزن پیاده‌رو و جان‌پناه (بطور مساوی بین ۴ شاهتیر تقسیم می‌شود):

$$W_{\text{barriers}} = 0.55 \text{ ton/m}$$

وزن آسفالت:

$$W_{\text{fws}} = 3.6 \times 0.1 \times 2.2 = 0.8 \text{ ton/m}$$

$$q_{d2} = 2 \text{ بار مرده ی گروه } = 0.55 + 0.8 = 1.35 \text{ ton/m}$$

در روش LRFD ضریب بار پیاده‌رو و جان‌پناه ۱/۲۵ و ضریب بار سطوح روکشی ۱/۵ است. در این مثال در جهت اطمینان برای هر دو بار از ضریب ۱/۵ استفاده خواهد شد.

بار مرده ی شاهتیر خارجی در حدود ارقام فوق است.

۳-۲- بار زنده

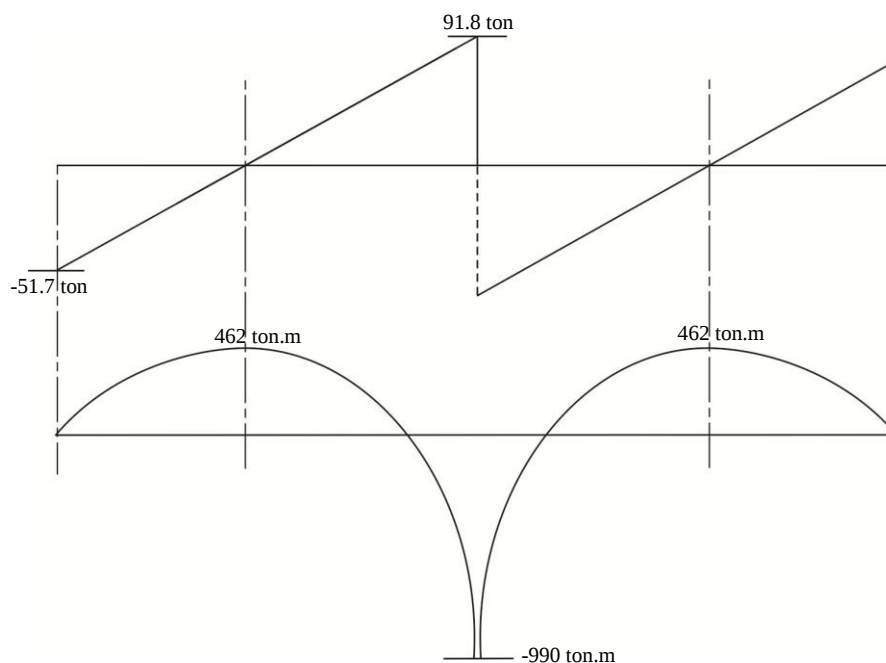
بار زنده طبق نشریه ۱۳۶ سازمان مدیریت و برنامه ریزی متشکل از کامیون ۴۰ تن همراه با بار گسترده ی ۱/۵ تن بر متر همراه با ضریب ضربه و یا بار بوژی ۹۰ تن هر کدام که بحرانی‌تر باشند، منظور می‌شود. بار زنده بر مقطع مختلط با ضریب تبدیل n اعمال می‌شود.

۳- تحلیل

۳-۱- تحلیل تیر داخلی برای بار مرده ی گروه ۱ ($q_{d1} = 2.9 \text{ ton/m}$)

برای ناحیه ی لنگر مثبت و منفی به ترتیب از مشخصات هندسی تیر فولادی مقطع‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود.

نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بار مرده ی گروه ۱ پس از تحلیل به صورت زیر در می‌آید:

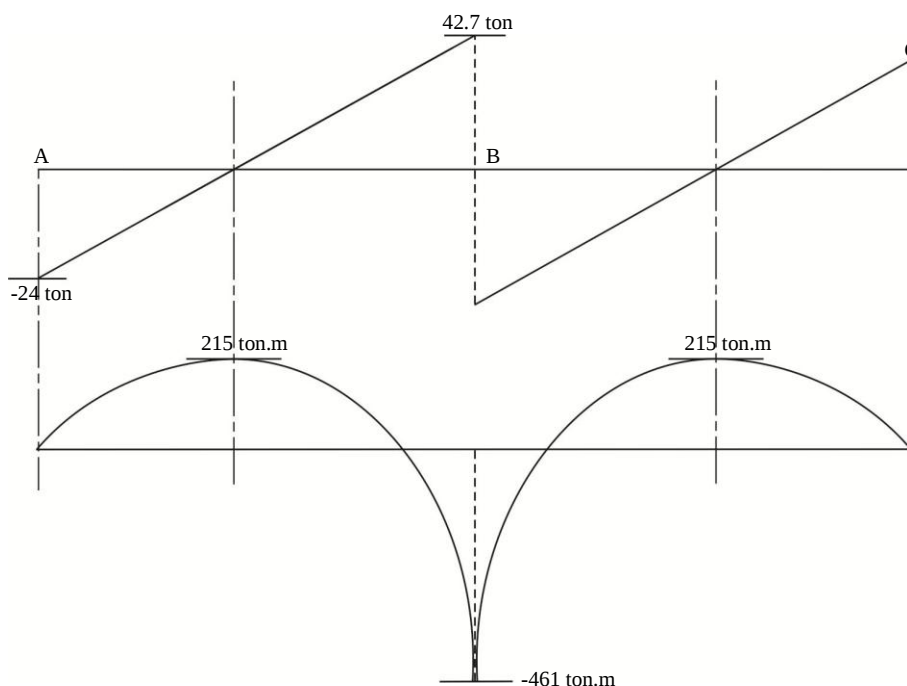


شکل ۳- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بار مرده‌ی گروه ۱

۳-۲- تحلیل تیر داخلی برای بار مرده‌ی گروه ۲ ($q_{d2} = 1.35 \text{ ton/m}$)

برای ناحیه‌ی لنگر مثبت از مشخصات تیر مختلط با ضریب تبدیل $3n$ (مقطع ۱) و برای ناحیه‌ی لنگر منفی از مشخصات تیر فولادی (مقطع ۲) تنها استفاده می‌شود.

نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی پس از تحلیل به صورت زیر در می‌آید:



شکل ۴- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بار مرده‌ی گروه ۲

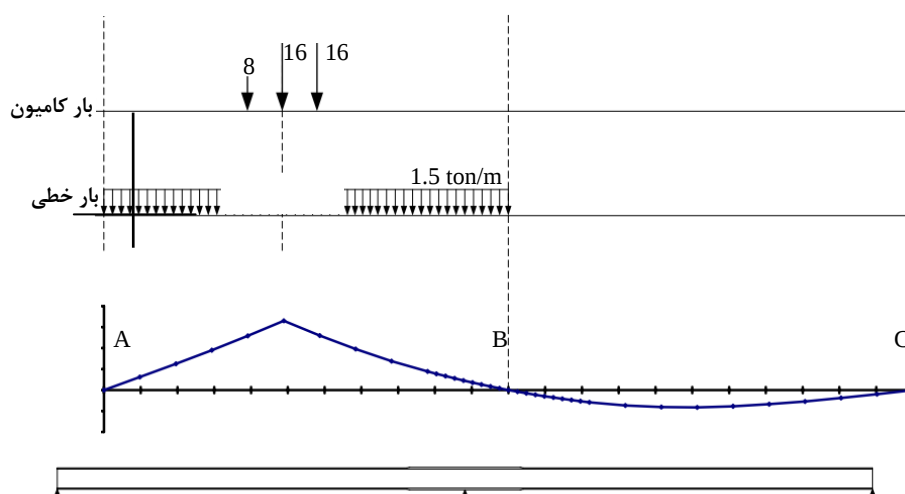
نتایج تحلیل برای بارهای مرده ی گروه ۱ و گروه ۲ مطابق جدول زیر خلاصه می شود.

جدول ۱- نتایج تحلیل برای بارهای مرده			
	واحد	بار مرده ی گروه ۱	بار مرده ی گروه ۲
$V_A = R_A$	ton	51.7	24
$V_{0.4}$	ton	0	0
V_B	ton	91.8	42.7
R_B	ton	183.6	85.4
$M_{0.4}^+$	ton.m	462	215
M_B^-	ton.m	990	461

۳-۳- تحلیل برای بار زنده

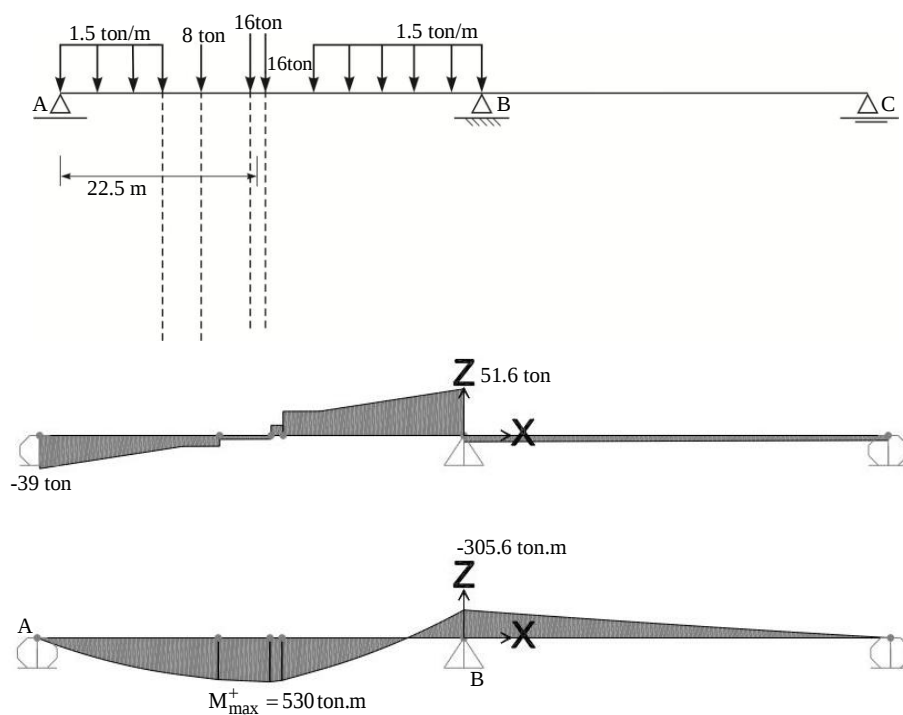
لنگر حداکثر و حداقل ناشی از بار زنده ی کامیون ۴۰ تن و بار گسترده ی ۱/۵ تن بر متر

لنگر مثبت در نقطه ی ۰/۴ دهانه:

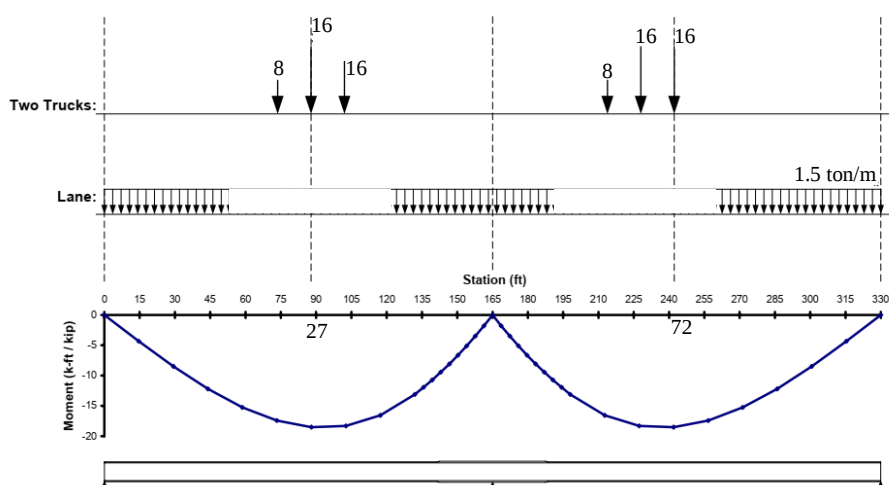


شکل ۵- خط تاثیر لنگر خمشی مثبت در نقطه ۰/۴ دهانه

موقعیت بحرانی بار کامیون جهت تعیین لنگر مثبت حداکثر در داخل دهانه‌ی AB

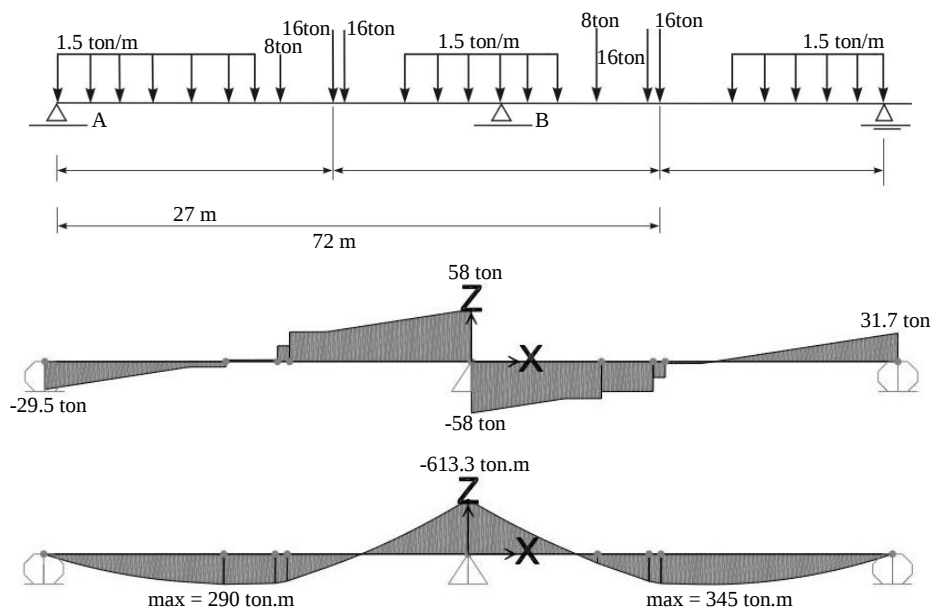


شکل ۶- موقعیت بحرانی بار زنده برای لنگر خمشی مثبت در نقطه‌ی ۰/۴ دهانه و نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی



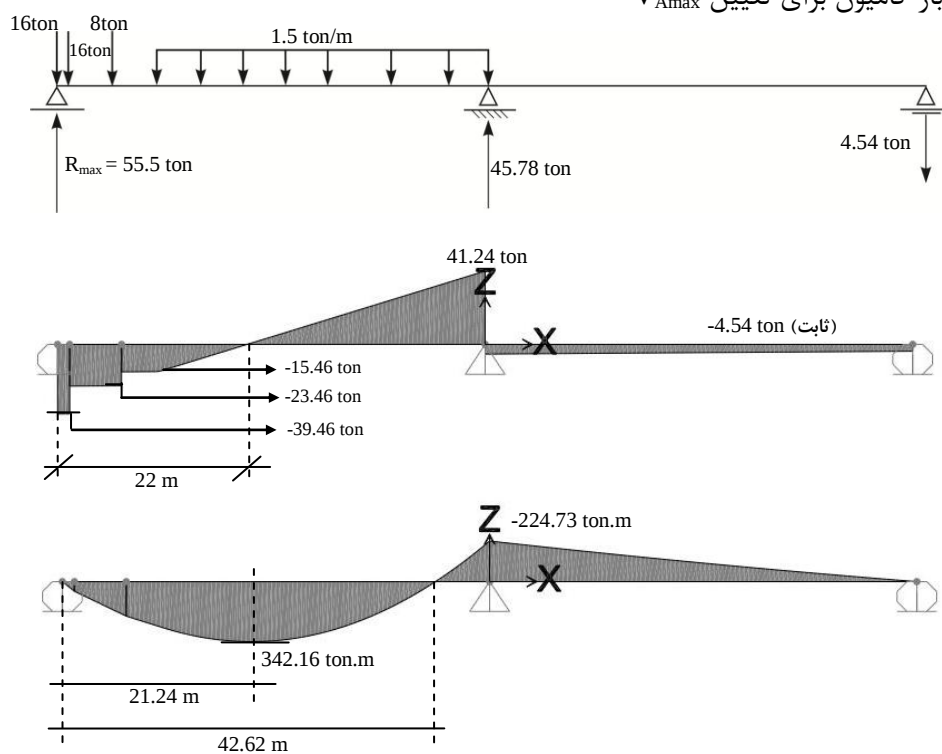
شکل ۷- خط تاثیر لنگر خمشی منفی روی تکیه‌گاه

موقعیت بحرانی دوبار کامیون برای تعیین $M_{B_{min}}$ (حداکثر لنگر منفی)



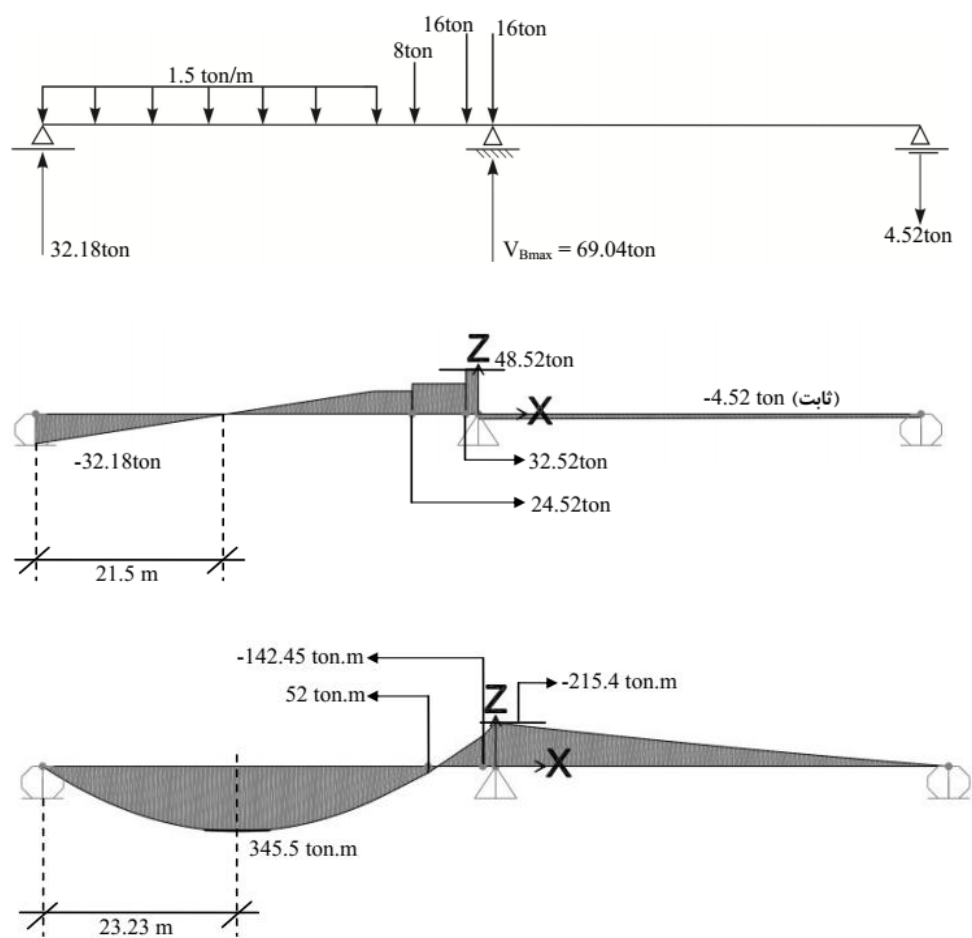
شکل ۸- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی منفی حداکثر

موقعیت بحرانی بار کامیون برای تعیین $V_{A_{max}}$



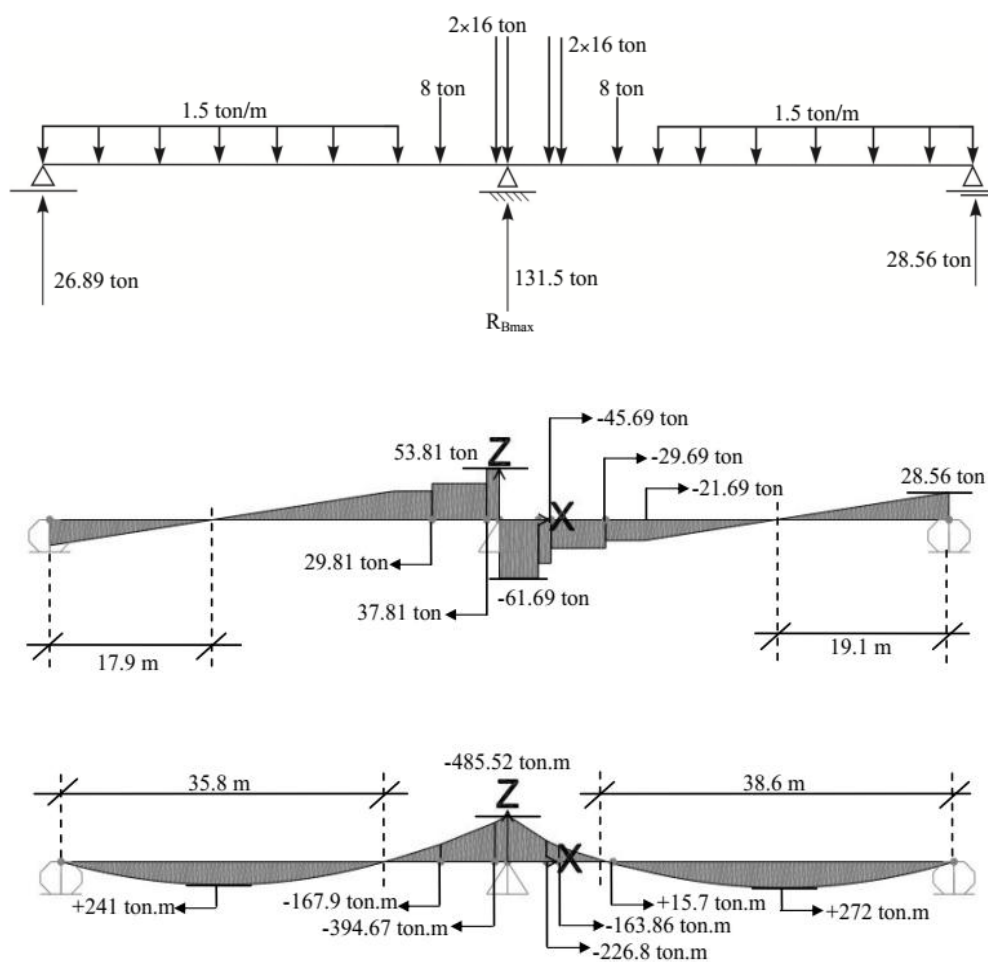
شکل ۹- نیروی برشی حداکثر V_A در اثر بار کامیون

موقعیت بحرانی یک بار کامیون برای تعیین V_{Bmax}



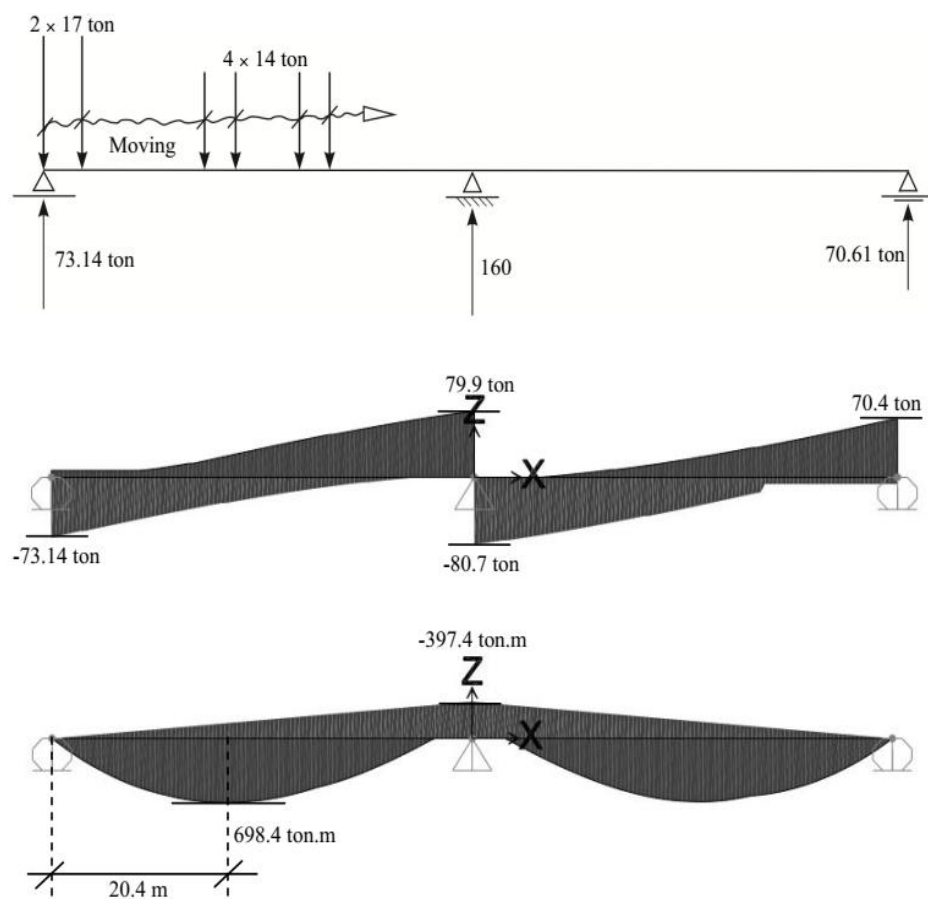
شکل ۱۰- نیروی برشی حداکثر V_B در اثر بار کامیون

موقعیت بحرانی دوبار کامیون برای تعیین واکنش میانی حداکثر (R_{Bmax})



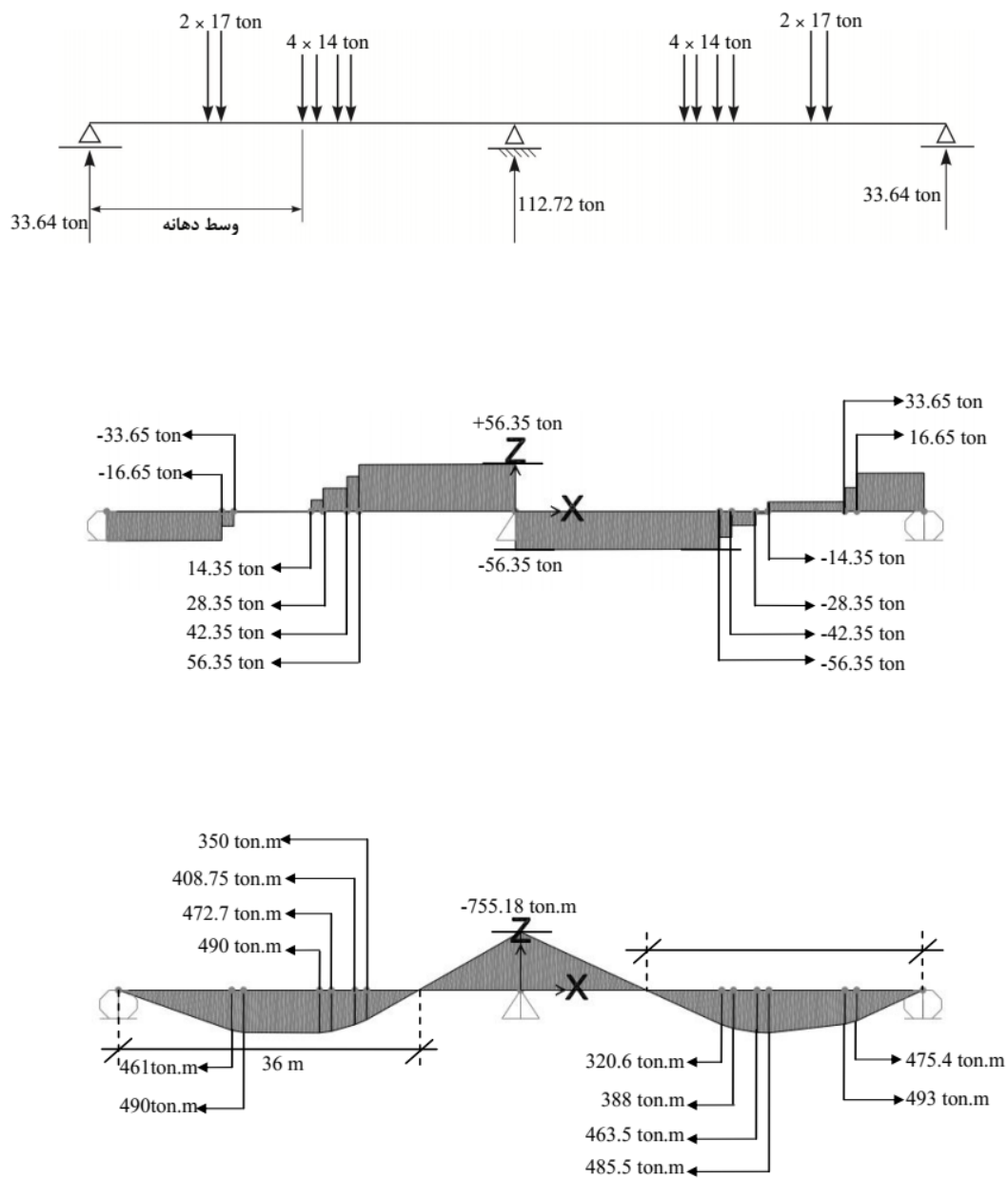
شکل ۱۱- دوبار کامیون در دو دهانه‌ی مجاور

عبور بار تریلی ۹۰ تن بصورت متحرک روی پل



شکل ۱۲- پوش نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بار بوژی متحرک

لنگر خمشی حداکثر منفی در اثر دو تریلی ۹۰ تن در دو دهانه‌ی مجاور



شکل ۱۳- لنگر منفی حداکثر روی تکیه‌گاه

جدول ۲- نیروهای داخلی ناشی از بار زنده (یک خط عبور)			
	واحد	بار کامیون ۴۰ تن	بار بوژی ۹۰ تن
$V_A = R_A$	ton	55.5	73.14
$V_{0.4}$	ton	19	40
V_B	ton	69	80.7
R_B	ton	131.5	160
$M_{0.4}^+$	ton.m	530	698.4
M_B^-	ton.m	613.30	755.2

نیروهای فوق برای یک خط عبور محاسبه شده‌اند. بزرگ بودن اعداد مربوط به بوژی ۹۰ تن لزوماً به معنای بحرانی بودن آن نیست، زیرا در عرض پل فقط یک بوژی ۹۰ تن وجود دارد، ولی تعداد بار کامیون می‌تواند ۲ و بیشتر باشد. در ضمن به بار بوژی ضریب ضربه اعمال نمی‌شود. این موضوع در قسمت‌های بعدی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۴- ضرایب توزیع برای لنگر

۴-۱- ناحیه ی لنگر خمشی مثبت

تیر داخلی

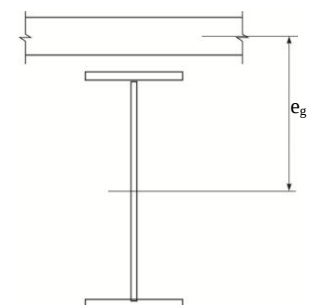
یک خط عبور

$$DF_{M1,int+} = 0.06 + \left(\frac{S}{4.2}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

$$K_g = n(I + Ae_g^2)$$

$$K_g = 8(3.59 \times 10^6) + (575 \times 139.37^2) = 118 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$DF_{M1,int+} = 0.06 + \left(\frac{3.6}{4.3}\right)^{0.4} \left(\frac{3.6}{49.5}\right)^{0.3} \left(\frac{118 \times 10^6}{4950 \times 24^3}\right) = 0.06 + 0.93 \times 0.46 \times 1.056 = 0.51$$

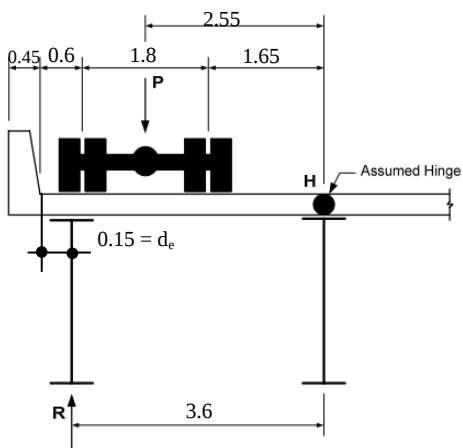


دو یا چند خط عبور

$$DF_{M2,int+} = 0.075 + \left(\frac{S}{2.85}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

$$DF_{M2,int+} = 0.075 + \left(\frac{3.6}{2.9}\right)^{0.6} \left(\frac{3.6}{49.5}\right)^{0.2} \left(\frac{118 \times 10^6}{4950 \times 24^3}\right) = 0.075 + 1.14 \times 0.59 \times 1.056 = 0.79$$

تیر خارجی (روش اهرم)
یک خط عبور



$$\begin{aligned} DF_{M1.Ext+} &= \frac{2.55}{3.6} = 0.71 \\ DF_{M1.Ext+} &= (1.2)(0.71) = 0.8500 \end{aligned}$$

شکل ۱۴

دو یا چند خط عبور

$$DF_{M2,Ext+} = e DF_{M2,Ext+}$$

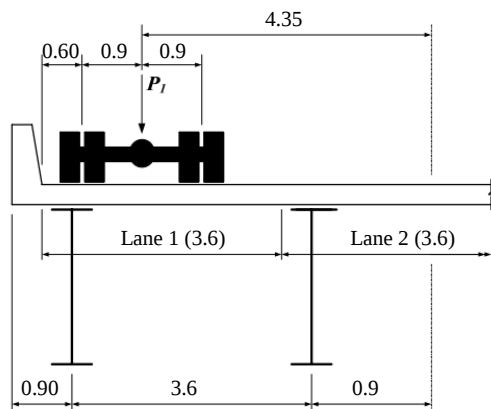
$$e = 0.77 + \frac{d_e}{2.8}$$
$$= 0.77 + \frac{0.45}{2.8} = 0.93$$

$$DF_{M2,Ext+} = (0.93)(0.79) = 0.73$$

۴- حداقل ضریب توزیع تیر خارجی

$$DF_{\text{Ext,Min}} = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{\text{Ext}} \sum_{i=1}^{N_i} e}{\sum_{b=1}^{N_b} x^2}$$

یک خط عبور

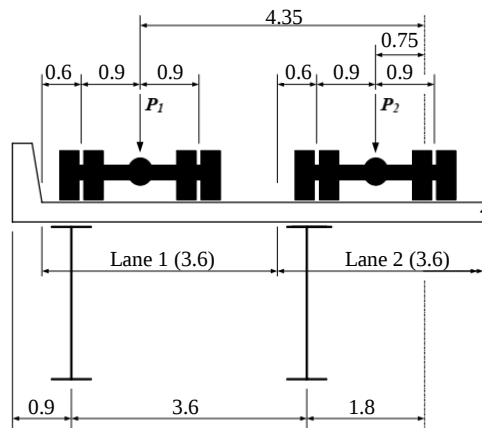


$$DF_{M\ell, \text{Ext}, \text{Min}} = \frac{1}{4} + \frac{(5.4)(4.35)}{2(5.4^2 + 1.8^2)} = 0.6125$$

اعمال ضریب رخداد:

$$DF_{M2, \text{Ext}, \text{Min}} = (1.2)(0.6125) = 0.7350$$

شکل ۱۵



$$DF_{M2,Ext,Min} = \frac{2}{4} + \frac{(5.4)(4.35 + 0.75)}{(2)[(5.4)^2 + (1.8)^2]} = 0.9250$$

اعمال ضریب رخداد:

$$DF_{M2,Ext,Min} = (1.0)(0.9250) = 0.9250$$

شکل ۱۶

۴-۴ خلاصه ضرایب توزیع برای لنگر خمشی

ضرایب توزیع لنگر خمشی بهره‌برداری و مقاومت در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳- ضرایب توزیع لنگر خمشی بهره‌برداری و مقاومت		
	داخلی	خارجی
یک خط عبور	0.51	$0.8500 \geq 0.7350$
دو یا چند خط عبور	0.79	$0.7274 \geq 0.9250$

۵- ضرایب توزیع برای برش

تیر داخلی

یک خط عبور

$$\begin{aligned} DF_{V1,int} &= 0.36 + \frac{S}{7.6} \\ &= 0.36 + \frac{3.6}{7.6} = 0.84 \end{aligned}$$

دو یا چند خط عبور

$$\begin{aligned} DF_{V2,int} &= 0.2 + \frac{S}{3.6} - \left(\frac{S}{10.7} \right)^2 \\ &= 0.2 + \frac{3.6}{3.6} - \left(\frac{3.6}{10.7} \right)^2 = 1.09 \end{aligned}$$

تیر خارجی

یک خط عبور:

$$DF_{V1,Ext} = 0.8500 \text{ (قانون اهرم (مشابه خمش))}$$

دو یا چند خط عبور

$$DF_{V2,Ext} = e D_{FV2,int}$$

$$e = 0.60 + \frac{d_e}{3}$$

$$= 0.60 + \frac{0.45}{3} = 0.7500$$

$$DF_{V2,Ext} = (0.7500)(1.09) = 0.82$$

حداقل ضریب توزیع برش

مشابه ضرایب خمشی می‌باشد.

$$DF_{V1,Ext,Min} = 0.7350$$

$$DF_{V2,Ext,Min} = 0.9250$$

خلاصه ضرایب توزیع برش

جدول ۴- ضرایب توزیع برش		
	داخلی	خارجی
یک خط عبور	0.8400	$0.8500 \geq 0.7350$
دو یا چند خط عبور	1.082	$0.6300 \geq 0.9250$

اکنون با هدف‌گذاری طراحی مقطع یکسان برای تیر داخلی و تیر خارجی، مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی حاصل برای یک خط عبوری بار کامیون و بار بوژی در ضرایب توزیع حداکثر مربوطه ضرب می‌شوند، تا سهم تیر داخلی از بار زنده حاصل گردد. توجه شود که برای ضریب توزیع بار کامیون از حالت دو یا چند خط عبور استفاده می‌شود و برای بار بوژی از حالت یک خط عبور. به مقادیر مربوط به بار کامیون ضریب ضربه‌ی ۱/۰۵۲۵ نیز اعمال می‌شود.

جدول ۵- نیروهای داخلی ناشی از بار زنده برای شاهتیر داخلی با اعمال ضریب ضربه و توزیع			
	واحد	بار کامیون ۴۰ تن	بار بوژی ۹۰ تن
$V_A = R_A$	ton	$55.5 \times 1.0525 \times 0.925 = 54$	$73.14 \times 0.85 = \underline{62.2}$
$V_{0.4}$	ton	$19 \times 1.0525 \times 0.925 = 18.5$	$40 \times 0.85 = \underline{34}$
V_B	ton	$69 \times 1.0525 \times 0.925 = 67.2$	$80.7 \times 0.85 = \underline{68.6}$
R_B	ton	$131.5 \times 1.0525 \times 0.925 = 128$	$160 \times 0.85 = \underline{136}$
$M_{0.4}^+$	ton.m	$530 \times 1.0525 \times 0.925 = 516$	$698.4 \times 0.85 = \underline{594}$
M_B^-	ton.m	$613.30 \times 1.0525 \times 0.925 = 597$	$755.2 \times 0.85 = \underline{642}$

زیر اعداد بحرانی یک خط تیر کشیده شده است.

جمع‌بندی نیروهای داخلی

جدول ۶- جمع‌بندی نیروهای داخلی بدون ضریب				
	واحد	بار مرده‌ی گروه ۱	بار مرده‌ی گروه ۲	بار زنده
$V_A = R_A$	ton	51.7	24	62.2
$V_{0.4}$	ton	0	0	34
V_B	ton	91.8	42.7	68.6
R_B	ton	183.6	85.4	136
$M_{0.4}^+$	ton.m	462	215	594
M_B^-	ton.m	990	461	642

۶- پوش نیروی برشی و لنگر خمشی ضریب‌دار

طبق آیین‌نامه، ترکیب‌های بار زیر باید در طراحی عرشه مورد توجه قرار گیرد:

$$I = (\text{روکش آسفالت}) 1.50 + (\text{جان‌پناه}) 1.25 + (\text{گروه ۱}) 1.25 + (\text{زنده و ضربه}) 1.75 : \text{مقاومت}$$

$$(\text{مرده گروه ۲}) 1.5 \times + (\text{مرده گروه ۱}) 1.25 \times + (\text{مرده و زنده}) 1.75$$

$$IV : \text{مقاومت} (\text{در این مثال حاکم نیست و در دهانه‌های بلند حاکم می‌شود.}) (\text{بار مرده گروه ۱ و ۲}) 1.5 :$$

$$II : \text{بهره‌برداری} (\text{بار مرده گروه ۱ و ۲}) 1.0 + (\text{زنده و ضربه}) 1.3 :$$

$$(\text{زنده و ضربه}) 0.75 : \text{خستگی}$$

در ترکیب بار I، در جهت اطمینان ضریب بار مرده جان پناه و پیاده‌رو ۱/۵ منظور می‌شود و آثار بار مرده‌ی گروه ۲ در ۱/۵ ضرب می‌گردد.

ترکیب مقاومت II، لازم نیست، چون برای بارگذاری‌های خاص است. ترکیب مقاومت III و V مورد توجه نیست، زیرا آثار باد را در نظر می‌گیرد و برای طراحی پایه‌ها حاکم است و برای عرشه بطور جداگانه منظور خواهد شد. ترکیب مقاومت IV آثار بار مرده را در دهانه‌های بلند در نظر می‌گیرد و به نظر نمی‌رسد برای این دهانه بحرانی باشد. ترکیب‌های رخداد حدی (Extreme event) در این مثال مورد توجه قرار نمی‌گیرد، چون خارج از قلمرو این مثال می‌باشند. ترکیب بهره‌برداری I چون اثر نیروی باد را در نظر می‌گیرد، مورد توجه نیستند (مگر برای محاسبات تغییرشکل). ترکیب بار بهره‌برداری III و IV مربوط به کنترل کشش در بتن پیش‌تنیده می‌باشد که مشمول این مثال نیستند.

علاوه بر ضرایب بار فوق، لازمست ضریب اصلاح بار η طبق رابطه‌ی زیر اعمال شود:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i$$

$$\eta = \eta_D \times \eta_R \times \eta_I \geq 0.95$$

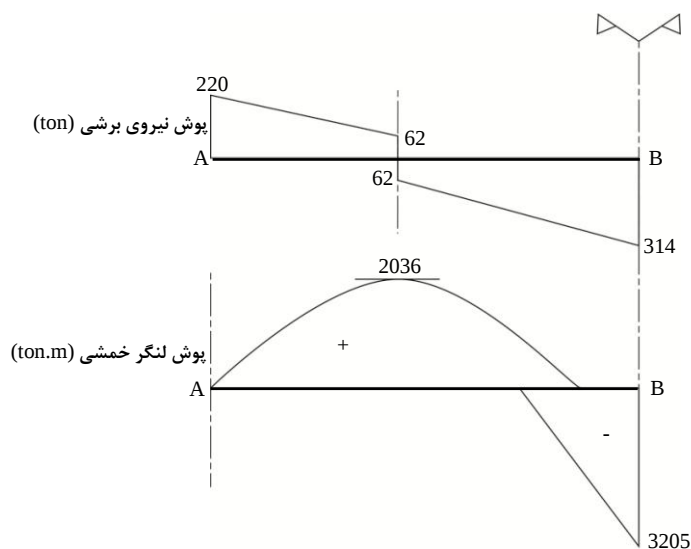
(پل دارای ۴ شاهتیر با فواصل مساوی یا بزرگتر از ۳/۶ متر است) $\eta_R = 1.05$, $\eta_D = \eta_I = 1$: در این مثال

با استفاده از ترکیب‌های بارگذاری، نمودار پوش نیروی برشی و لنگر خمشی در اشکال بعد ارائه شده است. برای محاسبات خستگی برش و لنگر ۱ مساوی ۱ منظور شده و ضریب توزیع برای یک خط عبوری منظور شده و ضریب همزمانی مساوی ۱ منظور می‌شود.

تشکیل ترکیب بار مقاومت I

$$(زنده+ضربه) 1.75 + (بارمرده گروه ۲) 1.5 + (بارمرده گروه ۱) 1.25 = \text{مقاومت ۱}$$

جدول ۷- ترکیب بار مقاومت I			
	واحد		
$V_A = R_A$	ton	$1.05 (1.25 \times 51.7 + 1.5 \times 24 + 1.75 \times 62.2)$	220
$V_{0.4}$	ton	$1.05 (0 + 0 + 1.75 \times 34)$	62
V_B	ton	$1.05 (1.25 \times 91.8 + 1.5 \times 42.7 + 1.75 \times 68.6)$	314
R_B	ton	$1.05 (1.25 \times 183.6 + 1.5 \times 85.4 + 1.75 \times 136)$	625
$M_{0.4}^+$	ton.m	$1.05 (1.25 \times 462 + 1.5 \times 215 + 1.75 \times 594)$	2036
M_B^-	ton.m	$1.05 (1.25 \times 990 + 1.5 \times 461 + 1.75 \times 642)$	3205



شکل ۱۷

۷- کنترل تناسب‌های مقطع فولادی

تناسب‌های جان

$$\bullet \frac{D}{t_w} \leq 150 \quad \frac{2000}{15} = 133 \leq 150 \quad \text{O.K.}$$

تناسب‌های بال

$$\bullet \frac{b_f}{2t_f} \leq 12 \quad \frac{40}{(2)(2)} = 10.00 \leq 12 \quad \text{O.K.} \quad (\text{بال فوقانی})$$

$$\bullet \frac{b_f}{2t_f} \leq 12 \quad \frac{65}{(2)(3)} = 10.8 \leq 12 \quad \text{O.K.} \quad (\text{بال تحتانی})$$

$$\bullet \frac{b_f}{2t_f} \leq 12 \quad \frac{65}{(2)(7)} = 4.64 \leq 12 \quad \text{O.K.} \quad (\text{بال تحتانی})$$

کنترل معیار فشردگی (ODOT) برای عرض بال:

$$b_f \geq \left(\frac{D}{6} + 6.35 \right) \geq 300 \text{ mm} \rightarrow \left(\frac{200}{6} + 6.35 \right) = 39.7 \text{ cm} \quad \text{O.K.}$$

$$\bullet b_{f,\min} = \frac{D}{6} = \frac{200}{6} = 33.3 \text{ cm} \quad \text{O.K.}$$

$$\bullet t_{f,\min} = 1.1t_w = (1.1)(1.5) = 1.65 \quad \text{O.K.}$$

$$\bullet 0.1 \leq \frac{I_{yc}}{I_{yt}} \leq 10 \quad 0.1 \leq \frac{2 \times 40^3}{3 \times 65^3} = 0.16 \leq 10 \quad \text{O.K.} \quad (\text{ناحیه‌ی لنگر مثبت})$$

$$\bullet 0.1 \leq \frac{I_{yc}}{I_{yt}} \leq 10 \quad 0.1 \leq \frac{7 \times 65^3}{7 \times 65^3} = 1.0 \leq 10 \quad \text{O.K.} \quad (\text{ناحیه‌ی لنگر منفی})$$

۸- کنترل حالت‌های حدی مقاومت

۸-۱- مقطع ۱: خمش مثبت

در جدول‌های ۸ و ۹ روابط لازم برای محاسبه‌ی لنگر پلاستیک مقطع مختلط در ناحیه‌ی لنگر مثبت و لنگر منفی ارائه شده است. در این روابط اثر میلگردهای طولی نیز ارائه شده است که با حذف آنها روابط بسیار ساده می‌شوند.

طبقه‌بندی مقطع

کنترل تسلیم ناحیه فشاری جان

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 3.76 \sqrt{\frac{3500}{2.1 \times 10^6}} = 92$$

ارتفاع ناحیه فشاری جان = D_{cp}

تعیین ارتفاع تار خنثای پلاستیک

$$P_t = F_{yt} b_t t_t = 3500 \times 65 \times 3 \times 10^{-3} = 682 \text{ ton}$$

$$P_w = F_{yw} D t_w = 3500 \times 200 \times 1.5 \times 10^{-3} = 1050 \text{ ton}$$

$$P_c = F_{yc} b_c t_c = 3500 \times 40 \times 2 \times 10^{-3} = 280 \text{ ton}$$

$$\Sigma = 2012 \text{ ton}$$

$$P_s = 0.85 f'_c b_s t_s = 0.85 \times 320 \times 308 \times 24 \times 10^{-3} = 2012 \text{ ton}$$

تار خنثی در لبه‌ی بال فشاری است $P_t + P_w + P_c < P_s \rightarrow 2012 = 2012 \text{ ton} \Rightarrow$

$$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_c + P_w + P_t}{P_s} \right] = 24 \left(\frac{2012}{2012} \right) = 24 \text{ cm}$$

$D_{cp} = 0 \Rightarrow$ جان فشرده است

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_u \Rightarrow M_u = 1936 \text{ ton.m} \quad (f_\ell = 0 \text{ با فرض})$$

محاسبه‌ی M_n :

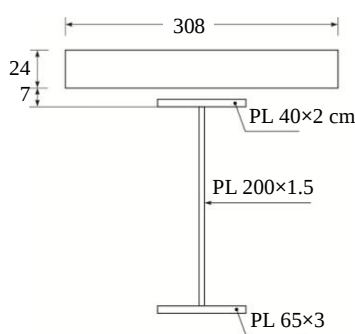
$$D_t = 3 + 200 + 7 + 24 = 234 \text{ cm} \Rightarrow 0.1t = 23.4 \text{ cm}$$

$$D_p = 24 > 0.1D_t = 23.4 \text{ cm} \Rightarrow M_n = M_p \left(1.07 - 0.7 \frac{D_p}{D_t} \right)$$

$$M_p = \left(2011 \times \frac{24}{2} + 682 \times 108.5 + 1050 \times 107 + 280 \times 6 \right) 10^{-2} = 2122 \text{ ton.m}$$

$$M_n = 2122 \left[1.07 - (0.7) \left(\frac{24}{234} \right) \right] = 2118 \text{ ton.m}$$

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_n \Rightarrow 2036 + 0 \leq 1 \times 2118 \quad \text{OK}$$



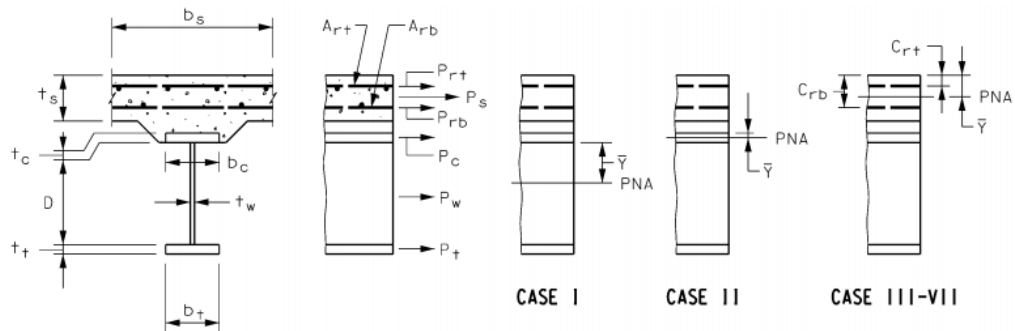
شکل ۱۸

کنترل ضابطه‌ی شکل‌پذیری به منظور جلوگیری از شکست ترد دال:

$$D_p \leq 0.42 D_t \rightarrow 24 \leq (0.42)(234) = 98.3 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

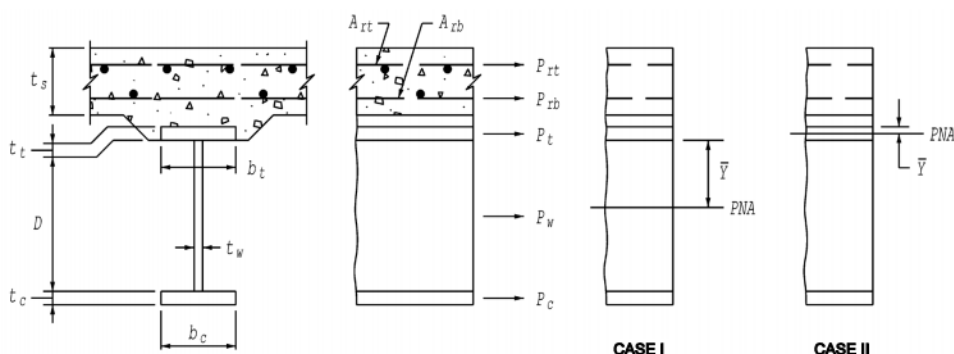
جدول ۸- محاسبه $\bar{Y}$ و M_p در ناحیه‌ی لنگر خمشی مثبت

Case	PNA	شرط	$\bar{Y}$ در M_p
I	In Web	$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_n$	$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2} \right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_n - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_n d_n + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t]$
II	In Top Flange	$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_n$	$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2} \right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_n - P_{rb}}{P_c} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_c}{2t_c} \left[\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_n d_n + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_t d_t]$
III	Concrete Deck, Below P_{rb}	$P_t + P_w + P_c \geq \left(\frac{c_{rb}}{t_s} \right) P_s + P_{rb} + P_n$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_c + P_w + P_t - P_n - P_{rb}}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_n d_n + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
IV	Concrete Deck, at P_{rb}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} \geq \left(\frac{c_{rb}}{t_s} \right) P_s + P_n$	$\bar{Y} = c_{rb}$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_n d_n + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
V	Concrete Deck, Above P_{rb} Below P_n	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} \geq \left(\frac{c_n}{t_s} \right) P_s + P_n$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t - P_n}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_n d_n + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
VI	Concrete Deck, at P_n	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} + P_n \geq \left(\frac{c_n}{t_s} \right) P_s$	$\bar{Y} = c_n$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
VII	Concrete Deck, Above P_n	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} + P_n < \left(\frac{c_n}{t_s} \right) P_s$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t + P_n}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2 P_s}{2t_s} \right) + [P_n d_n + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$



جدول ۹- محاسبه $\bar{Y}$ و M_p در ناحیه ی لنگر خمشی منفی

Case	PNA	شرایط	$\bar{Y}$ در M_p
I	در جان	$P_c + P_w \geq P_t + P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_c - P_t - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt}d_{rt} + P_{rb}d_{rb} + P_t d_t + P_c d_c]$
II	در بال فوقانی	$P_c + P_w + P_t \geq P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{t_t}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_c - P_{rt} - P_{rb}}{P_t} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_t}{2t_t} \left[\bar{Y}^2 + (t_t - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt}d_{rt} + P_{rb}d_{rb} + P_w d_w + P_c d_c]$



که در آن:

$$P_{rt} = F_{yt} A_{rt}$$

$$P_s = 0.85f'_c b_s t_s$$

$$P_{rb} = F_{ytb} A_{rb}$$

$$P_c = F_{yc} b_c t_c$$

$$P_w = F_{yw} D t_w$$

$$P_t = F_{yt} D t_t$$

۸-۲- کنترل مقطع در ناحیه ی لنگر خمشی منفی

در مقطع لنگر حداکثر منفی، دال بتن آرمه در کشش می باشد و در مقاومت خمشی مقطع مشارکت ندارد. از آرماتورهای طولی دال می توان استفاده نمود، لیکن از مشارکت آنها صرف نظر شده و فقط از مقاومت مقطع فولادی استفاده می شود. فرض می شود بال فشاری (بال تحتانی) دارای مهاربندی کافی است.

بال فشاری باید رابطه ی زیر را برآورده نمود:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_t \leq \phi_f F_{nc}$$

$$f_{bu} = \frac{1.05 \times 1.25 M_{D1}}{S_b} + \frac{1.05 \times 1.5 M_{D2}}{S_b} + \frac{1.05 \times 1.75 M_{L+I}}{S_b}$$

$$S_b = S_t = 100485 \text{ cm}^3$$

$$f_{bu} = 1.05 \times 1.25 \times \frac{990 \times 10^5}{100485} + 1.05 \times 1.5 \times \frac{461 \times 10^5}{100485} + 1.05 \times 1.75 \times \frac{642 \times 10^5}{100485}$$

$$f_{bu} = 1293 + 723 + 1174 = 3190 < \phi_f F_{nc} = 1 \times 3500 = 3500 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل کمانش موضعی

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5.7 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{3500}} = 140$$

$$D_c = 100$$

$$\frac{2 \times 100}{1.5} = 133 < 140 \quad \text{OK}$$

۸-۳- ظرفیت برش قائم جان

در ترکیب بار مقاومت ۱ باید رابطه‌ی زیر اقباع شود:

$$V_u \leq \phi V_n$$

برای جان بدون سخت کننده داریم:

$$V_n = V_{cr} = CV_p$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{200}{1.5} = 133$$

$k = 5 \Rightarrow$ چون جان فاقد سخت کننده است.

$$1.12 \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(5)}{(3500)}} = 61$$

$$1.40 \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(5)}{(3500)}} = 76$$

چون $\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$ است، کمانش الاستیک جان کنترل می‌کند.

$$C = \frac{1.57 \left(\frac{kE}{F_{yw}} \right)}{\left(\frac{D}{t_w} \right)^2} = \frac{1.57 \left(\frac{(5)(2.1 \times 10^6)}{(3500)} \right)}{(133)^2} = 0.27$$

$$V_p = 0.58 F_{yw} D t_w = 0.58 \times 3500 \times 200 \times 1.5 \times 10^{-3} = 609 \text{ ton}$$

$$V_n = CV_p = 0.27 \times 609 = 164 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = (1.00)(164) = 164 \text{ ton} < 299$$

مقاومت فوق در حد فاصل ۵ تا ۳۰ متر و قرینه‌ی آن کافی است. در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها ضعف مقاومت برشی داریم. تصمیم می‌گیریم در فواصل $d_0 = 200 \text{ cm}$ سخت‌کننده قرار دهیم. اولین سخت در محل تکیه‌گاه قرار می‌گیرد که به آن سخت‌کننده‌ی فشاری می‌گوییم.

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{200}{200}\right)^2} = 10$$

$$\frac{D}{t_w} = 133, 1.12 \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(10)}{(3500)}} = 86.8, 1.40 \sqrt{\frac{(2.1 \times 10^6)(10)}{(3500)}} = 108.4$$

چون $\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$ است، کمانش الاستیک جان کنترل می‌کند.

$$C = \frac{1.57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{kE}{F_{yw}}\right) = \frac{1.57}{(133)^2} \left(\frac{(2.1 \times 10^6)(10)}{(3500)}\right) = 0.53$$

$$\phi V_n = \phi C V_p = (1.00)(0.53)(609) = 322 \text{ ton} < 299 \quad \text{O.K.}$$

ظرفیت برشی کافی است.

در صورت نیاز می‌توان از اثر میدان کششی (TFA) استفاده نمود که روابط آن به قرار زیر است:

$$\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} = \frac{(2)(200)(1.5)}{((40)(2) + (65)(3))} = 2.18 \leq 2.5$$

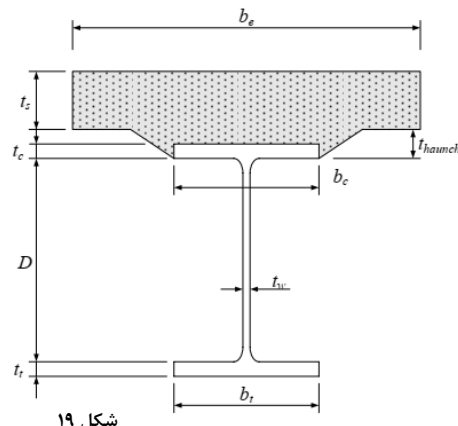
$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] = (609) \left[0.53 + \frac{(0.87)(1-0.53)}{\sqrt{1 + \left(\frac{200}{200}\right)^2}} \right]$$

$$V_n = (609)(0.82) = 499 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = (1.00)(499) = 499 \text{ ton} \quad \text{O.K.}$$

۹- طراحی برشگیرها

برشگیرها عامل انتقال برش از تیر فولادی به دال و در نتیجه یکپارچگی آنها می‌شوند. در این مثال از برشگیر گلمیخی به قطر ۲۲ میلیمتر استفاده می‌شود. ارتفاع گل میخ باید طوری باشد که تا وسط ضخامت دال ادامه داشته باشد:



$$h = \frac{t_s}{2} + t_{\text{haunch}} - t_{\text{flange}} = \frac{24}{2} + 7 - 2 = 17 \text{ cm}$$

از گل‌میخ ۲۲ میلیمتر به ارتفاع ۱۷۰ میلیمتر استفاده می‌شود.

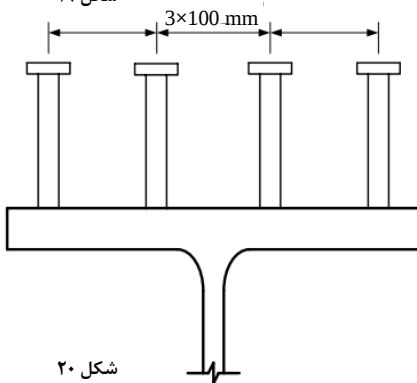
کنترل نسبت تناسب آشتو:

$$\frac{h}{d} \geq 4.0$$

$$\frac{170}{22} = 7.73 \geq 4.0 \quad \text{OK}$$

فاصله مرکز به مرکز عرضی گلمیخ‌ها مساوی 4d و فاصله خالص لبه ۲۵ میلیمتر می‌باشد.

با توجه به عرض بال در هر ردیف از چهار گلمیخ استفاده می‌شود.



طراحی گلمیخ‌ها برای حالت حدی خستگی

گام طولی گلمیخ‌ها بر مبنای معیار خستگی برابر است با:

$$p \leq \frac{nZ_r}{V_{sr}} \quad V_{sr} = \frac{V_f Q}{I}$$

که در آن:

n = تعداد گلمیخ‌ها در هر ردیف

Z_r = مقاومت خستگی یک گلمیخ

V_{sr} = برش خستگی افقی بر واحد طول

V_f = برش قائم تحت بار خستگی

Q = لنگر استاتیک مقطع تبدیل یافته‌ی بال بتنی حول تار خنثی در مقطع تبدیل یافته‌ی کوتاه‌مدت با ضریب تبدیل n

I = ممان اینرسی مقطع تبدیل یافته‌ی کوتاه‌مدت با ضریب تبدیل n

داریم:

$$Z_r = \alpha d^2 \geq \frac{5.5d^2}{2}$$

$$\alpha = 34.5 - 4.28 \text{Log}(N)$$

$$\alpha = 2.42 - 0.3 \times \log(55.84 \times 10^6) = 0.096 \text{ ton/cm}^2$$

$$Z_r = (0.096)(2.2)^2 \geq \left(\frac{0.4}{2}\right)(2.2)^2$$

$$= 0.47 \text{ ton} \geq 0.96 \text{ ton} \rightarrow Z_r = 0.96 \text{ ton}$$

با استفاده از مشخصات هندسی مقطع ۱ داریم:

$$Q = A_{tc} d_c$$

$$Q_{\text{Section 1}} = [38.5 \times 24](65.46 - 12) = 49,397 \text{ cm}^3$$

$$Q_{\text{Section 2}} = [38.5 \times 24](79.47 - 12) = 62,342 \text{ cm}^3$$

$$I_{\text{Section 1}} = 10.5 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

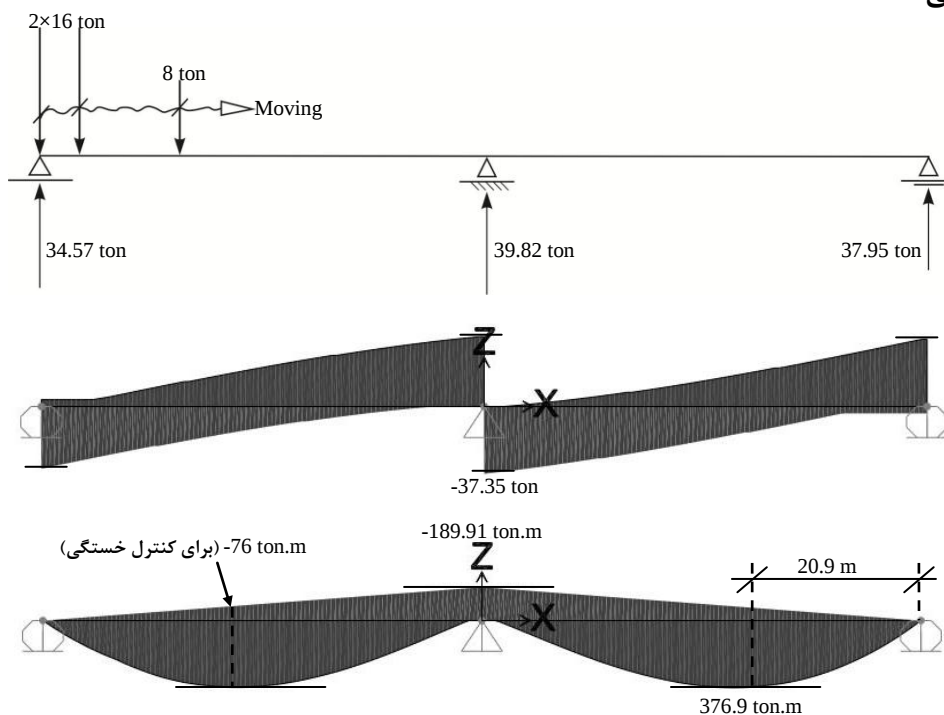
$$I_{\text{Section 2}} = 18.2 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$\text{در محل تکیه‌گاه } V_f = 37.85 \text{ ton}$$

$$V_{sr} = 0.75 \times 0.925 \times \frac{37.85 \times 10^3 \times 49397}{10.5 \times 10^6} = 123.5 \text{ kg/cm}$$

$$p = \frac{4 \times 960}{123.5} = 31 \text{ cm} \Rightarrow p = 300 \text{ mm}$$

تحلیل خستگی



شکل ۲۱- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی حاصل از عبور کامیون ۴۰ تن بدون بار گسترده و اثر ضربه (بار خستگی)

(برای منظور کردن ضریب توزیع، مقادیر نیروهای داخلی فوق باید در ۰/۹۲۵ ضرب شوند و ضریب بار ۰/۷۵ نیز بر آن اعمال می‌شود.)

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n \quad \phi_{sc} = 0.85$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u$$

$$A_{sc} = \left(\frac{\pi}{4} \right) (2.2)^2 = 3.80 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = 320 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 8 \Rightarrow E_c = \frac{E_s}{n} = \frac{2.1 \times 10^6}{8} = 0.26 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_n = (0.5)(3.8) \sqrt{(320)(0.26 \times 10^6)} 10^{-3} \leq (3.8)(4200) 10^{-3}$$

حاکم است. گل‌میخ / **15.96 ton** ≤ گل‌میخ / 17.33 ton

$$\phi_{sc} Q_n = 0.85 \times 15.96 = 13.6 \text{ ton}$$

ناحیه‌ی لنگر مثبت با مقطع ۱ با طولی مساوی ۰/۷ طول دهانه:

$$P_p = \text{Min}(P_{\text{Concrete}}, P_{\text{Steel}})$$

$$P_{\text{Concrete}} = 0.85 f'_c b_e t_s = 0.85 \times 320 \times 308 \times 24 \times 10^{-3} = 2010 \text{ ton}$$

$$P_{\text{Steel}} = F_{yw} D t_w + F_{ft} b_{ft} t_{ft} + F_{fc} b_{fc} t_{fc} = 3500 \times 575 \times 10^{-3} = 2012 \text{ ton}$$

$$P_p = 2010 \text{ ton}$$

$$n^+ = \frac{P_p}{Q_r} = \frac{2010}{13.6} = 148 \text{ عدد}$$

$$\text{فاصله } p = (0.5 \times 0.7 \times 4950) / \left(\frac{148}{4} \right) = 46.8 \text{ cm} \gg 30 \text{ (حالت خستگی)}$$

ناحیه‌ی لنگر منفی با مقطع ۲ با طول مساوی 0.3L در هر طرف تکیه‌گاه:

$$P_n = \text{Min}(P_{\text{Steel}}, P_{\text{Crack}})$$

$$P_{\text{Crack}} = 0.45 f'_c b_e t_s = 0.45 \times 320 \times 308 \times 24 \times 10^{-3} = 1064 \text{ ton (ترک‌خورده)}$$

$$P_{\text{Steel}} = F_{yw} D t_w + F_{ft} b_{ft} t_{ft} + F_{fc} b_{fc} t_{fc} = 3500 \times 1210 \times 10^{-3} = 4235 \text{ ton}$$

$$P_n = 1064 \text{ ton}$$

$$n^- = \frac{1064}{13.6} = 78 \text{ عدد}$$

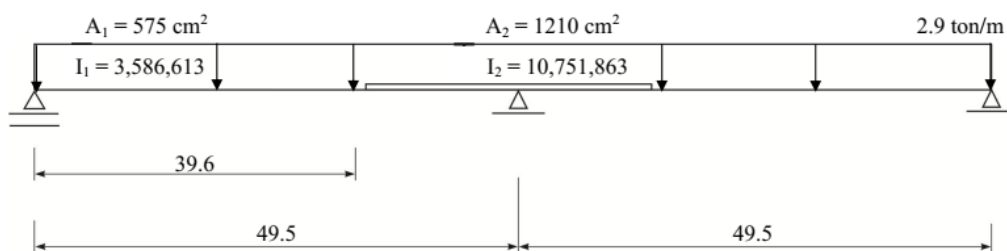
$$\text{فاصله } p = (0.3 \times 4950) / \left(\frac{78}{4} \right) = 76 \text{ cm} \gg 30 \text{ cm}$$

پس با معیار کنترل خستگی، فاصله ردیف چهارتایی در تمام طول دهانه، ۳۰۰ میلیمتر منظور می‌شود.

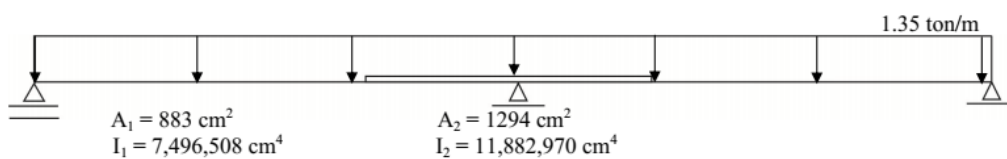
۱۰- کنترل محدودیت‌های حالت‌های حدی بهره‌برداری

برای محاسبه‌ی تغییرشکل، تیر سراسری پل برای بار مرده گروه ۱ با فرض مقطع فولادی تنها، بار مرده‌ی گروه ۲ با مقطع مرکب با ضریب تبدیل $3n$ و بار زنده با مقطع مرکب با ضریب تبدیل n تحلیل می‌شود:

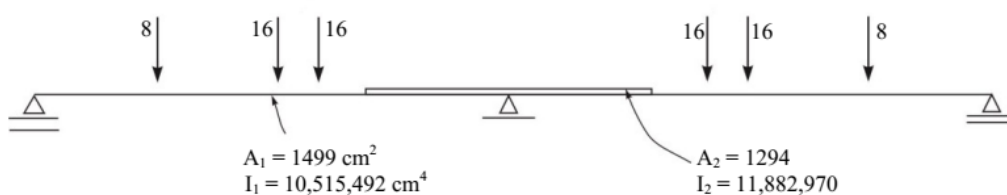
کنترل تغییرشکل



بار مرده گروه ۱



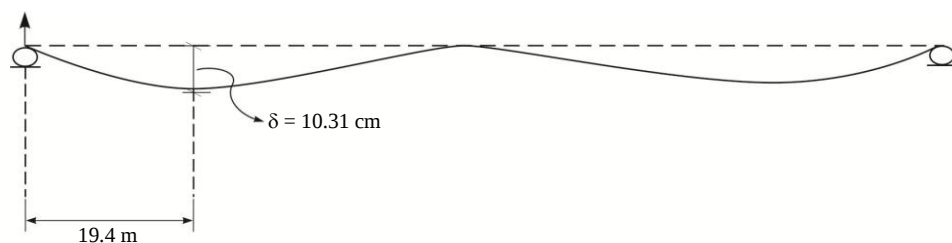
بار مرده گروه ۲



بار زنده

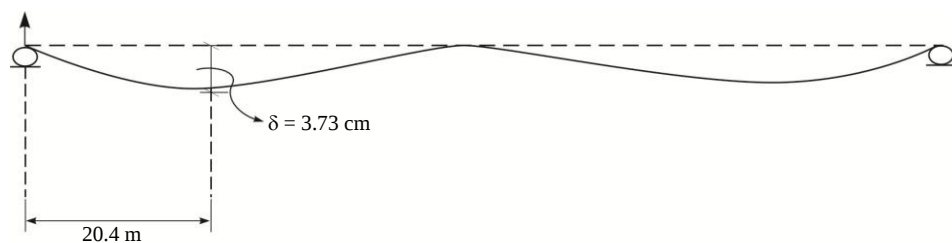
شکل ۲۲- محاسبه تغییرشکل قائم

$$W_{Dead1} = 2.9 \text{ ton/m}$$



شکل ۲۳- تغییر شکل ناشی از بار مرده گروه ۱

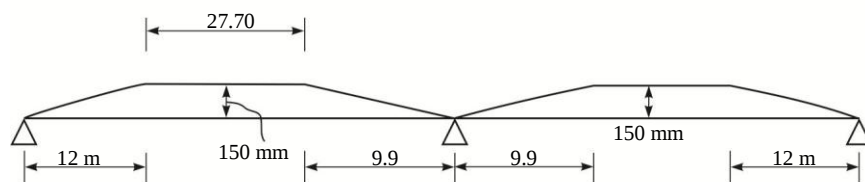
$$W_{Dead2} = 1.35 \text{ ton/m}$$



شکل ۲۴- تغییر شکل ناشی از بار مرده گروه ۲

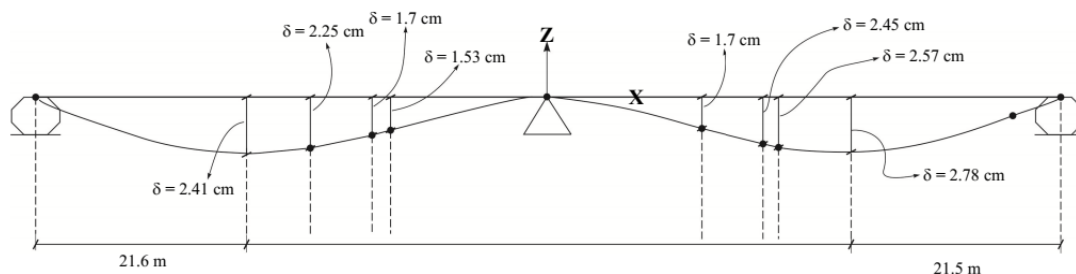
$$\Delta = 10.31 + 3.73 = 14.04 \text{ cm} \quad \frac{\Delta_d}{L} = \frac{14.04}{4950} = \frac{1}{352}$$

برای کنترل تغییر شکل فوق، پیش خیزی مساوی 150mm به تیر پل اعمال می‌شود.



شکل ۲۵- پیش خیز اعمال شده به پل

کنترل تغییر شکل بار زنده:



شکل ۲۶- تغییر شکل ناشی از بار زنده

(۰/۹۲۵ ضریب توزیع بار است) $\Delta = 0.925 \times 1.0525 \times 2.41 = 2.35 \text{ cm}$ واقعی

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{2.35}{4950} = \frac{1}{2106} < \frac{1}{800}$$

کنترل نسبت ارتفاع تیر به دهانه

در دهانه‌های پیوسته باید نسبت‌های زیر برقرار باشد:

$$\text{ارتفاع حداقل تیر مختلط} = 0.032L = 0.032 \times 4960 = 159 \text{ cm} < 234 \quad \text{OK}$$

$$\text{ارتفاع حداقل تیر فولادی} = 0.027L = 0.027 \times 4960 = 134 \text{ cm} < 205 \quad \text{OK}$$

۱۱- کنترل خستگی

اطلاعات ترافیکی

$$ADTT = 2400. \quad (ADTT)_{SL} = (0.80)(2,400) = 1,920 \quad (\text{با توجه به سه خطه بودن}),$$

$$N = (ADTT)_{SL} (365)(75)_n = (1,920)(365)(75)(1) = 52.56 \times 10^6 \quad \text{سیکل}$$

کنترل خستگی در جوش بال فوقانی

کنترل خستگی وقتی لازم است که تنش فشاری ناشی از بارهای دائمی بدون ضریب، کوچکتر از دو برابر تنش کششی ناشی از بار خستگی باشد.

$$f_{\text{comp,DL}} \leq 2f_{\text{Fat}}^?$$

$$M_{DC1} = 462 \text{ ton.m} \quad f_{DC1} = \frac{462 \times 10^5 (122.37 - 2)}{3.59 \times 10^6} = 1549 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{DC2} = 215 \text{ ton.m} \quad f_{DC2} = \frac{215 \times 10^5 (73.76 - 2)}{7.5 \times 10^6} = 206 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{comp,DL}} = 1549 + 206 = 1755 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\text{Fat,Neg}} = 0.925 \times 76 \quad f_{\text{Fat}} = \frac{0.75 \times 0.925 \times 76 \times 10^5 (36.42 - 2)}{10.5 \times 10^6} = 17.3 \text{ kg/cm}^2$$

۰/۷۵ ضریب بار خستگی است.

$$\text{Check } f_{\text{comp,DL}} \stackrel{?}{\leq} 2f_{\text{Fat}} \rightarrow 1755 > (2)(17.3)$$

پس کنترل برای خستگی لازم نیست. (بدون کنترل تنش نیز می‌توانستیم به این نتیجه برسیم).

کنترل خستگی در جوش بال تحتانی در نقطه ۰/۴ دهانه

با توجه به اینکه بارهای دائمی در جوش بال تحتانی ایجاد کشش می‌نماید، کنترل خستگی الزامی است.

$$\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n$$

$$\text{خستگی مجاز } (\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{(\Delta F)_{\text{TH}}}{2}$$

$$\gamma = \text{ضریب بار خستگی مساوی } ۰/۷۵$$

$$\gamma(\Delta f) = \frac{0.75 \times 0.925 \times 376.9 \times 10^5 (168.54 - 3)}{10.5 \times 10^6} = 412 \text{ kg/cm}^2$$

جزئیات در طبقه C قرار می‌گیرد:

$$A = 15 \times 10^{14} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ و } (\Delta F)_{\text{TH}} = A = 840 \text{ kg/cm}^2 \text{ (حد دوام)}$$

$$\frac{(\Delta F)_{\text{TH}}}{2} = \frac{840}{2} = 420 \text{ kg/cm}^2 > 412$$

$$\left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{15 \times 10^{14}}{52.56 \times 10^6}\right)^{\frac{1}{3}} = 306 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} = 306 < \frac{(\Delta F)_{\text{TH}}}{2} = 420 \text{ kg/cm}^2$$

عمر بی‌نهایت (حد دوام) حاکم است:

$$(\Delta F)_{\text{TH}} = 420$$

$$\gamma(\Delta f) = 412 < \frac{(\Delta F)_{\text{TH}}}{2} = 420 \text{ kg/cm}^2$$

جزئیات رضایت‌بخش است.

محاسبه‌ی عمر

هر چند که دامنه خستگی از نصف حد دوام کمتر است و نیازی به محاسبه عمر نداریم، لیکن اقدام به آن می‌شود:

$$\gamma(\Delta f) \leq \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow N \leq \frac{A}{\gamma(\Delta f)^3} = \frac{15 \times 10^{14}}{(412)^3} = 21.5 \times 10^6 \text{ سیکل}$$

$$\frac{21.5 \times 10^6}{1,920} = 11198 \text{ روز}$$

$$\frac{11198}{365} = 30.7 \text{ سال}$$

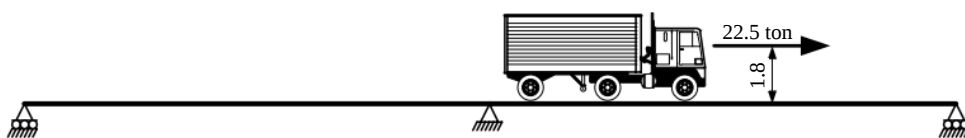
۲-۳- نیروی ترمز

الف) ۲۵ درصد وزن کامیون ۴۰ تن

$$BR_{\text{Single Lane}} = 0.25 \times 40 = 10 \text{ ton}$$

با توجه به سه خط ترافیکی و اثر همزمانی ۰/۷۵

$$BR_{\text{Net}} = 10 \times 3 \times 0.75 = 22.5 \text{ ton}$$



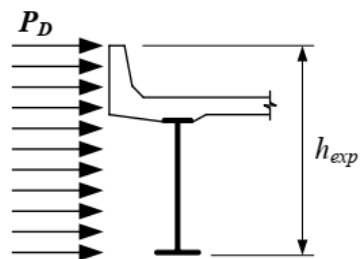
شکل ۲۷- نیروی ترمز

۲-۴- نیروی باد

$$P_D = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$h_{\text{exp}} = 3.2 \text{ m}$$

$$W = 275 \times 3.2 = 880 \text{ kg/m} = 0.88 \text{ ton/m}$$



شکل ۲۸- نیروی باد

$$WS_{H, \text{Total}} = 0.88 \times 2 \times 49.5 = 87.12 \text{ ton}$$

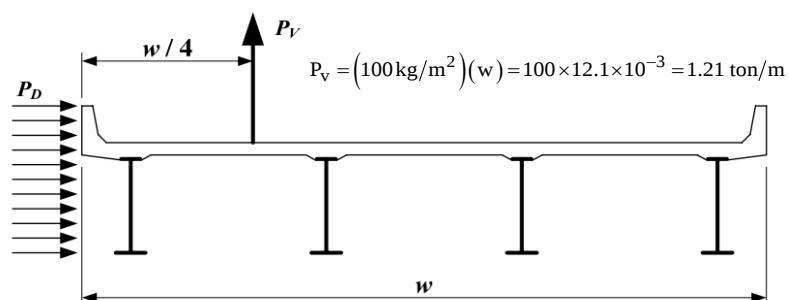
$$WS_{H, \text{Abt}} = 0.88 \times \frac{1}{2} \times 49.5 = 21.8 \text{ ton}$$

(کوله)

$$WS_{H, \text{pier}} = 0.88 \times 49.5 = 43.56 \text{ ton}$$

سهم پایه میانی

بار باد برکنش



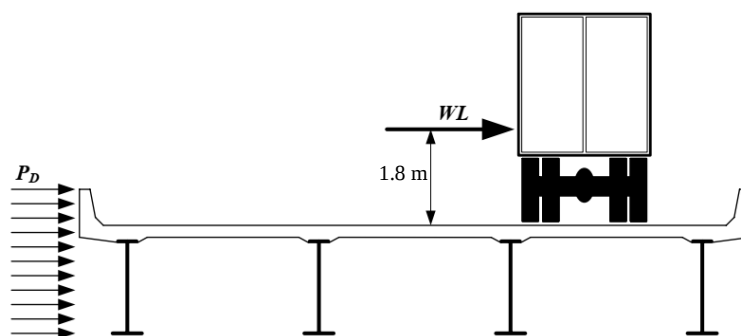
شکل ۲۹

نیروی برکنش کل $= 1.21 \times 2 \times 49.5 = 120 \text{ ton}$

نیروی برکنش کوله $= 1.21 \times 0.5 \times 49.5 = 30 \text{ ton}$

نیروی برکنش پایه میانی $= 1.21 \times 49.5 = 60 \text{ ton}$

بار باد روی بار زنده



شکل ۳۰

فهرست مآخذ

- 1- AASHTO- standard specification for highway bridges- 17th Ed 2002- Section 10
- 2- AASHTO LRFD Bridge Design Specification, 9th Ed 2020- Section 6
- 3- B55400: Part 3: 1982
Code of Practice for design of steel bridges.
- 4- AASHTO-design criteria for horizontally curved steel bridges.
- 5- DIN 4114- steel structure stability.
- 6- DIN 18800- structural steel work.

۷- مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران- مبحث دهم: طرح و اجرای سازه‌های فولادی.

۸- مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری- معیارهای طراحی پل‌های خمیده فولادی- فرخ فروتن

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. گزارش حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشرشده در سال های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می باشد.

Project Manager: Rahyab Melal Consulting Engineers

Borhan Rostami	Civil Engineer (Project manager)
Mozaffar Biglar	Civil Engineer
Robabeh Ghadiri	Civil Engineer
Alireza Mohammadi Rad	MSc of civil engineering
Omid Rahmati	MSc of civil engineering

Project Consultant and Author:

Shapour Tahouni	Amir Kabir University of Technology
-----------------	-------------------------------------

Guidance and Steering Group Members:

Alireza Tootoonchi	Deputy for Technical and Executive Affairs, Organization for Planning and Budget
Taher Fathollahi Marnani	Head of Technical and Executive Affairs, Organization for Planning and Budget
Sajjad Heidari Hasanklou	Expert of Department of Technical and Executive Affairs, Organization for Planning and Budget
Borhan Rostami	Chairman of the Board of Rahyab Melal Consulting Engineers

Islamic Republic of Iran
Planning and Budget Organization

Iranian Highways Manual (IHM)

STEEL BRIDGE DESIGN (LRFD And ASD)

IR-Code 800-395

1th Revision

Last Edition: 04.21.2025

Deputy of Technical, Infrastructure and Production
Department of Technical & Executive Affairs

[**Nezamfanni.ir**](http://Nezamfanni.ir)

2025

این ضابطه

با عنوان « آیین نامه راه های ایران (آرا) – آیین نامه پل های فولادی » پس از ارائه مقررات، در قالب ۱۷ فصل به تفصیل ضوابط کلی و سپس دستورالعمل های طراحی به روش تنش مجاز و سپس دستورالعمل های طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت می پردازد.