WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

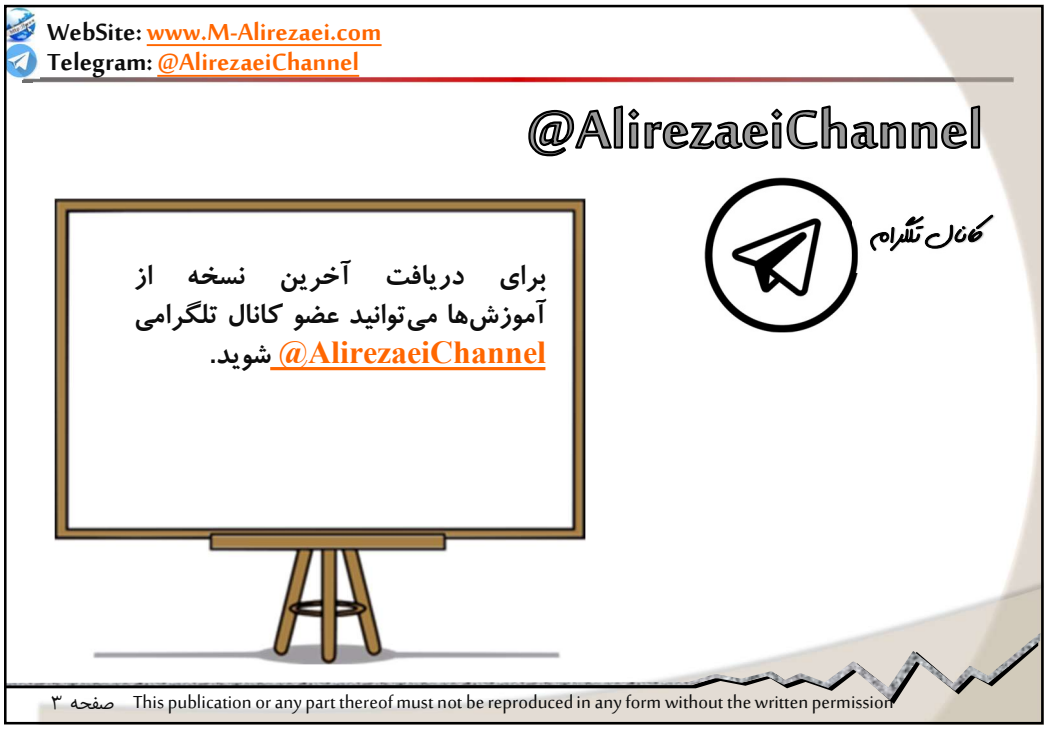
نسخه انتشار: تابستان ۱۴۰۲ **Version 2**

- این جزوه برای استفاده در کلاس‌های طراحی ساختمان‌های فولادی با تاکید بر ضوابط غیرلرزه‌ای و مباحث مرتبط تهیه شده است و استفاده تنها از آن، ممکن است چندان گویا نباشد.
- این جزوه به مرور تکمیل و مباحث نرم‌افزاری به آن اضافه خواهد شد.
- سعی شده در این جزوه مباحث مهم در ارتباط با طراحی براساس ساختمان‌های فولادی با تاکید بر ضوابط غیرلرزه‌ای بحث شود. در صورت وجود خطا در این نوشتار، لطفاً با اطلاع رسانی، بنده را در بهبود کیفیت آموزشی آن همراهی نمایید.

انتشار غیرتجاری این جزوه با ذکر منبع بلامانع است.

برای دریافت آخرین نسخه از این جزوه و سایر آموزش‌ها می‌توانید عضو کانال تلگرامی @AlirezaeiChannel شوید.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission


WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
@AlirezaeiChannel
کانال تلگرام
برای دریافت آخرین نسخه از آموزش‌ها می‌توانید عضو کانال تلگرامی @AlirezaeiChannel شوید.
صفحه ۳
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
m-alirezaei.com
Translate Page
Edit Frontpage (Advanced Layout Builder)
mehdi alirezaei
خانه
سوابق
سوالات متداول سازه‌ای
دروس
فروشگاه
آموزش
Email: M.Alirezaei@iiees.ac.ir
Telegram ID: @MehdiAlirezaei
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
Instagram ID: @Mehdi_Alirezaei
Web: www.M-Alirezaei.com
مهدی علیرضایی
Assistant Professor of Earthquake Engineering
www.M-Alirezaei.com
معرفی
دکترای مهندسی عمران – گرایش زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله 1395
کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش زلزله – دانشگاه تربیت مدرس تهران 1388
کارشناسی مهندسی عمران – ساختمان از دانشگاه شهید چمران اهواز 1385
ناظر عالی پروژه های ساختمانی و صنعتی
بیش از 15 سال سابقه کار مداوم
زمینه‌های تحقیقاتی: مطالعات آزمایشگاهی سازه‌ها، مهندسی زلزله، تحلیل‌های کامپیوتری، سازه‌های فولادی و بتنی و اتصالات تحت بارهای لرزه‌ای، تحلیل‌های غیرخطی
صفحه ۴
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فهرست مطالب

1 ⇦ مقدمه‌ای بر سازه‌های فولادی و الزامات عمومی؛
2 ⇦ الزامات تحلیل و طراحی برای تامین پایداری؛
3 ⇦ الزامات مقاطع اعضای فولادی؛
4 ⇦ طراحی اعضای کششی؛
5 ⇦ طراحی اعضای فشاری؛
6 ⇦ طراحی اعضای خمشی؛
7 ⇦ طراحی برای برش؛
8 ⇦ طراحی برای ترکیب نیروها؛
9 ⇦ طراحی مقاطع مختلط؛
10 ⇦ طراحی اتصالات؛
11 ⇦ طراحی برای سرویس‌دهی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

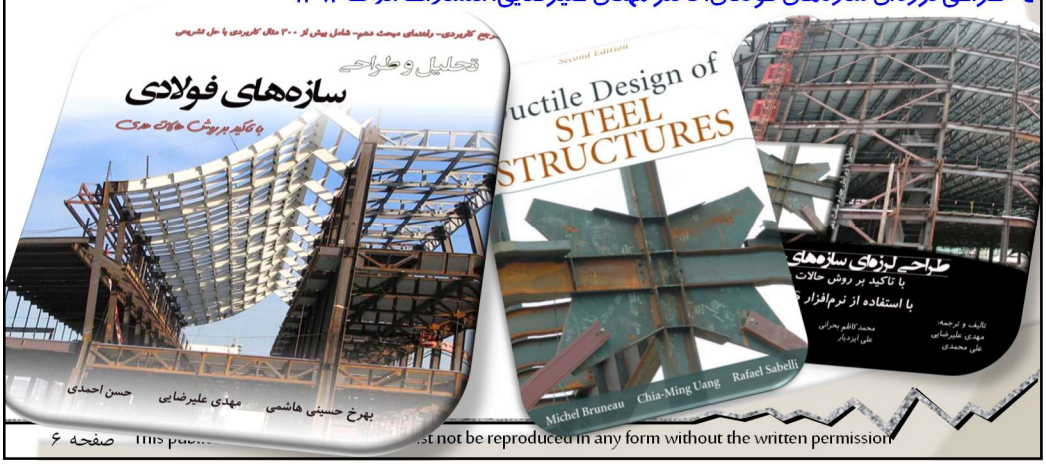
مراجع پیشنهادی:

۱- تحلیل و طراحی سازه های فولادی، دکتر مهدی علیرضایی، دکتر بهرخ حسینی هاشمی؛ انتشارات اترک ۱۳۹۵

2- Bruneau, Uang, and Sabelli, A., Ductile Design of Steel Structures, 2nd edition, McGraw Hill, New York, NY, 2011

۳- شرحی بر مبحث دهم، دکتر بهرخ حسینی هاشمی و مهدی علیرضایی، انتشارات اترک

٤- طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی، دکتر مهدی علیرضایی؛ انتشارات اترک ۱۳۹۲



 This pub... ...st not be reproduced in any form without the written permission

آیین‌نامه‌های طراحی مورد استفاده

* مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان؛ ویرایش پنجم، ۱۴۰۱

* استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم؛ ۱۳۹۳

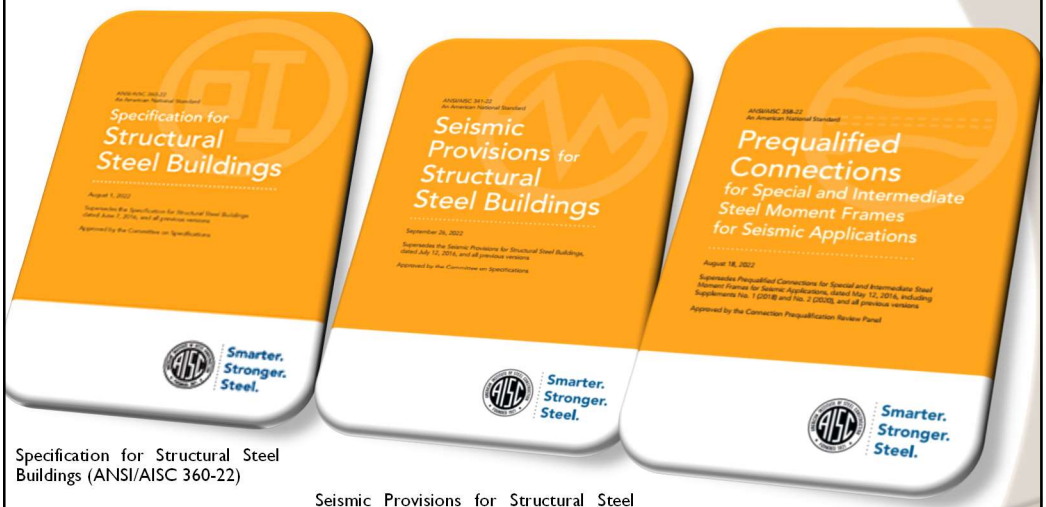
* Specifications for Structural Steel Buildings; AISC 360-xx

* Seismic Provisions for Structural Steel Buildings; AISC 341-xx

* Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications; ANSI/AISC 358-xx

* Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures; SEI/ASCE 7-xx

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission



Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-22)

Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-22)

Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (ANSI/AISC 358-22)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
ویرایش ۱۴۰۱
ویرایش ۱۳۹۲
ویرایش ۱۳۸۷
ویرایش ۱۳۸۴
ویرایش ۱۳۶۸
مقررات ملّی ساختمان
مبحث دهم
طرح و اجرای ساختمانهای فولادی
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission
صفحه ۹

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
دروس و اطلاعات پیش نیاز برای فهم مطالب:
۱- مقاومت مصالح در حد مقطع کارشناسی
۲- تحلیل سازه ها در حد مقطع کارشناسی
۳- طراحی سازه‌های فولادی در حد فولاد ۱ و ۲ مقطع کارشناسی
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission
صفحه ۱۰

فصل اول

مقدمه‌ای بر سازه‌های فولادی و الزامات عمومی

DESIGN REQUIREMENTS

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

تعاریف مهم مبحث دهم:

اتصال اتکایی: اتصالی که در آن انتقال نیروی برشی از طریق اتکای بدنهٔ پیچ به جدارهٔ سوراخ صورت می‌گیرد و از مقاومت اتصال در برابر لغزش صرف نظر می‌شود.

اتصال پیش‌تنیده: اتصالی که در آن انتقال نیروی برشی از طریق اتکای بدنهٔ پیچ به جدارهٔ سوراخ صورت می‌گیرد و از مقاومت اتصال در برابر لغزش صرفنظر می‌شود. بااین وجود در اجرا و هنگام نصب، پیچ‌های این نوع اتصالات باید پیش‌تنیده شوند.

اتصال ساده (مفصلی): اتصالی است که از نظر دوران، انعطاف پذیر بوده و لنگری را به تکیه‌گاه انتقال نمی‌دهد.

اتصال کف‌ستون: اتصالی است که از ورق کف ستون، اجزای اتصال دهنده (شامل سخت کننده‌های قائم، افقی و لچکی) و وسایل اتصال (شامل میل مهارها، پیچ و جوش) تشکیل شده و وظیفهٔ آن انتقال نیروهای ایجادشده در پای ستون به شالوده است.

اتصال گیردار پیش تأیید شدهٔ تیر به ستون: اتصال گیرداری است که دارای توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی غیر الاستیک به میزان موردنظر، بدون کاهش قابل توجه مقاومت است. الزامات این نوع اتصالات در بخش ۱۰-۳-۷ مبحث دهم ارائه شده است.

اتصال گیردار تأییدشدهٔ تیر به ستون: اتصال گیرداری است که عملکرد آن مطابق الزامات بخش ۱۰-۳-۸ تأیید می‌شود.

اتصال گیردار تیر به ستون: اتصالی است که در آن زاویهٔ بین تیر و ستون پس از تغییرشکل حاصل از کلیهٔ بارها، تقریباً بدون تغییر مانده و لنگر خمشی تیر قابل انتقال به ستون است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال لغزش بحرانی: اتصالی که در آن هیچگونه لغزشی بین سطوح تماس مجاز نبوده و انتقال نیروی برشی در اتصال از طریق نیروی اصطکاک بین سطوح در تماس اتصال انجام می‌پذیرد.

آثار$P-\delta$: به آثار اضافی ناشی از بارها گفته می‌شود که به علت وجود تغییرشکل در طول اعضا به وجود می‌آید.

آثار$P-\Delta$: به آثار اضافی بارها به علت تغییرمکان جانبی نسبی کل سیستم سازه‌ای گفته می‌شود و به علت برون محوری ناشی از تغییرمکان جانبی دو انتهای اعضا نسبت به یکدیگر به وجود می‌آید.

اجزای با دو لبه مقید: ورق‌های تحت فشار تشکیل دهندهٔ مقطع یک عضو سازه‌ای که دو لبهٔ آن در راستای بارگذاری به اجزای دیگر مقطع متصل باشند.

اجزای با یک لبه مقید: ورق‌های تحت فشار تشکیل دهندهٔ مقطع یک عضو سازه‌ای که فقط یک لبهٔ آن در راستای بارگذاری به اجزای دیگر مقطع متصل باشد.

آزمایش طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی: آزمایش دینامیکی که بر روی نمونهٔ شیار داده شدهٔ استاندارد فولادی تحت اثر یک ضربهٔ استاندارد صورت می‌گیرد و میزان طاقت (جذب انرژی) نمونهٔ فولادی را در مقابل ترد شکنی مشخص می‌نماید.

آزمون غیر مخرب: آزمایشی که در آن بر عضو سازه‌ای آسیبی وارد نگردد و پیوستگی مصالح فولادی سازه و اجزای مقطع آن به هم نخورد.

انحنای ساده: منحنی تغییرشکل یافتهٔ عضو حاصل از لنگر خمشی که هیچ نقطهٔ عطفی در طول دهانه وجود نداشته باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انحنای مضاعف: منحنی تغییرشکل یافتهٔ عضو حاصل از لنگر خمشی که در طول دهانه دارای نقطهٔ عطف باشد.

بار ثقلی: نیروهای ناشی از شتاب ثقل که به صورت قائم و از بالا به پایین به سازه وارد می‌گردد. (نظیر وزن مصالح تشکیل دهندهٔ ساختمان یا وزن‌های ناشی از کاربری)

بار جانبی: نیروهایی که به صورت افقی به سازه وارد می‌شوند (نظیر نیروی باد یا زلزله).

بار جانبی فرضی: نیروی افقی فرضی برای منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه در اعضای باربر ثقلی است که در محل اثر بارهای ثقلی در نظر گرفته می‌شود.

بازرس تضمین کیفیت: به شخص حقیقی یا حقوقی مستقلی اطلاق می‌گردد که قبل و حین اجرا، بازرسی‌های تضمین کیفیت را سازماندهی و اجرا می‌نماید.

بازرس کنترل کیفیت: به شخصی حقیقی یا حقوقی اطلاق می‌گردد که بازرسی کنترل کیفیت را در حین اجرا و بر روی عملیات اجراشده انجام می‌دهد.

برش افقی در تیرهای با مقطع مختلط: نیروی برشی افقی بین تیر فولادی و دال بتنی متکی بر آن با عرشهٔ فولادی یا بدون آنکه در اثر عملکرد خمشی مختلط ایجاد می‌شود.

برش قالبی: به گسیختگی کششی نواحی تأثیرپذیر اعضا و اجزای اتصال دهنده در راستای عمود بر نیروی کششی همراه با تسلیم یا گسیختگی برشی در راستای موازی نیروی کششی اطلاق می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برگشت جوش: به طولی کوتاه از جوش گوشه گفته می‌شود که برای اجتناب از قطع ناگهانی زنجیرهٔ جوش، در انتهای یک ضلع روی ضلع دیگر متقاطع با آن برگشت داده می‌شود.

برنامه تضمین کیفیت: به برنامه‌ای اطلاق می‌شود که شرکت عامل یا بازرس تضمین کیفیت به منظور انطباق کار اجراشده با الزامات تعیین شده در مدارک فنی تأییدشدهٔ ساخت و استانداردهای مرجع پیاده سازی می‌کند.

برنامه کنترل کیفیت: به برنامه‌ای اطلاق می‌شود که در آن سازنده و نصاب در حین اجرا، الزامات و روش‌های انجام کار اجراشده را با مشخصات فنی مطابقت داده و بازرسی می‌نمایند.

بست: ورق، نبشی، ناودانی یا پروفیل‌های دیگر که به صورت موازی یا مورب، دو یا چند نیمرخ را در اعضای ساخته شده، در فواصلی به یکدیگر متصل می‌نماید.

پایداری: شرایطی که در آن در اثر ایجاد تغییر کمی در بارهای وارده یا هندسهٔ سازه، در هیچ بخشی از سازه تغییرمکان بزرگ ایجاد نشود.

پهنای مؤثر: پهنای کاهش یافتهٔ ورق در مقاطع فولادی یا دال بتنی در مقاطع مختلط که رفتار ناشی از توزیع یکنواخت تنش در آن، معادل رفتار ناشی از توزیع غیریکنواخت تنش یا عدم وجود آن در کل پهنا است.

پیش‌خیز: به انحنای ایجادشده در یک تیر یا خرپا قبل از بارگذاری برای جبران تغییرمکان‌های حاصل از بارگذاری ثقلی اطلاق می‌گردد.

تأخیر برشی: به آثار ناشی از توزیع غیریکنواخت تنش کششی در یک عضو یا جزء اتصال دهنده در ناحیهٔ اتصال اطلاق می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تحلیل الاستیک: تحلیل سازه براساس فرض کشسان مصالح که در آن پس از برداشتن و حذف بار، سازه به حالت اولیهٔ هندسی خود برمی‌گردد.

تحلیل الاستیک مرتبه اول: تحلیل سازه‌ای که تحت اثر ترکیبات بارگذاری، تغییرشکل‌های سازه کوچک فرض شده و رفتار مصالح اعضا در محدودهٔ الاستیک (ارتجاعی) باشد.

تحلیل الاستیک مرتبه دوم: تحلیل سازه‌ای که در آن معادلات تعادل در وضعیت سازهٔ تغییرشکل یافته فرمول‌بندی شده و در آن آثار $P\text{-}\delta$ و $P\text{-}\Delta$ منظور شده باشد.

تحلیل سازه: به تعیین آثار نیروهای خارجی بر روی سازه و به دست آوردن نیروهای داخلی و تغییرشکل‌ها در اعضا، اجزاء و اتصالات بر مبنای اصول مکانیک سازه‌ها اطلاق می‌گردد.

تحلیل غیر الاستیک: تحلیل سازه‌ای که در آن رفتار مصالح کلیه یا برخی از اعضا و اجزای سازه به صورت غیر ارتجاعی در نظر می‌شود و این تغییر رفتار، در تحلیل سازه مورد توجه قرار گیرد.

ترکیبات بارگذاری ASD: ترکیبات بارگذاری مشخص شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان که در طراحی به روش ASD به کار می‌رود.

ترکیبات بارگذاری LRFD: ترکیبات بارگذاری مشخص شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان که در طراحی به روش LRFDبه کار می‌رود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترکیبات بارگذاری شامل زلزلهٔ تشدیدیافته: ترکیبات بارگذاری که در آن زلزلهٔ تشدید یافته جایگزین زلزله طرح می‌شود.

ترکیبات بارگذاری متعارف: ترکیبات بارگذاری که در آن کلیهٔ بارهای وارد بر سازه با ضرایب مشخص شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان برای طراحی به روش LRFD یا طراحی به روش ASD در نظر گرفته می‌شود.

تسلیم موضعی: به تسلیم ناحیهٔ محدودی از مقطع یا طول عضو گفته می‌شود.

تضمین کیفیت: به برنامه‌ریزی‌ها، اقدامات مدیریتی، دستورالعمل‌ها و کنترل‌هایی اطلاق می‌شود که نشان دهد مصالح به‌کاررفته و کار انجام شده توسط سازنده و نصاب، الزامات و مدارک تأییدشدهٔ ساخت و استانداردهای مرجع را تأمین می‌نماید.

تنش تسلیم مشخصه: به حد پایین تنش تسلیم مصالح فولادی گفته می‌شود که از نظر آماری تنها ۵ درصد احتمال نقض آن وجود دارد.

تنش تسلیم مورد انتظار (R_yF_y): به حاصلضرب تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد (F_y) در ضریب تنوع تولید در F_y فولاد (R_y) اطلاق می‌گردد و بیانگر بیشترین تنش تسلیم کششی محتمل مصالح فولادی است.

تنش کششی نهایی: به حد پایین تنش کششی نهایی مصالح فولادی گفته می‌شود که از نظر آماری نمونه‌های ناقض به درصد پایینی محدود شده است

صفحه ۱۷ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تنش کششی نهایی مورد انتظار (R_tF_u): به حاصلضرب تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد (F_u) در ضریب تنوع تولید F_u فولاد (R_t) اطلاق می‌گردد و بیانگر بیشترین تنش کششی نهایی محتمل مصالح فولادی است.

تنش مجاز: به مقاومت مجاز عضو یا جزء سازه‌ای تقسیم بر مشخصات هندسی متناظر مقطع (اساس مقطع الاستیک، سطح مقطع کل، سطح مقطع مؤثر یا سطح مقطع جان) گفته می‌شود.

تیر: عضو سازه‌ای است که عملکرد اصلی آن تحمل خمش حاصل از نیروهای وارده و انتقال آثار نیروهای وارده به اتصال دو انتهای خود است.

تیر پیوند: در قاب‌های مهاربندی شدهٔ فولادی واگرا، تیر پیوند به بخشی از تیر اطلاق می‌گردد که در ناحیهٔ حد فاصل محل تقاطع دو عضو مهاربندی با تیر یا در ناحیهٔ حدفاصل محل تقاطع عضو مهاربندی با تیر تا وجه ستون قرار دارد.

تیر مختلط محاط در بتن: تیر مختلط فولادی- بتنی است که بخش فولادی مقطع به طور کامل در بخش بتنی مقطع مختلط مدفون گردیده و بخش فولادی و بتنی به صورت مشترک در تحمل لنگرهای خمشی عمل می‌نماید. درصورتیکه بتن اطراف مقطع فولادی با دال بتنی کف به صورت همزمان اجرا شده باشد، تیر مختلط محاط در بتن با دال بتنی کف به طور مشترک در تحمل لنگرهای خمشی عمل می‌نمایند.

تیرستون: عضو سازه‌ای است که عملکرد اصلی آن تحمل همزمان لنگر یا لنگرهای خمشی و نیروی محوری حاصل از نیروهای وارده است.

صفحه ۱۸ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تیر مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن: تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن با برشگیر، با یا بدون عرشهٔ فولادی که در تحمل لنگرهای خمشی بهصورت مختلط عمل می‌نماید.

تیر مختلط پرشده با بتن: عضو خمشی مختلط فولادی-بتنی است که بخش بتنی مقطع بهطور کامل داخل بخش فولادی آن قرار گرفته و در تحمل لنگرهای خمشی به صورت مختلط عمل می‌نمایند.

تیرهای با مقطع کاهش یافته: تیرهایی که در آنها در یک ناحیه با طول مشخص، پهنای دو بال آن نسبت به سایر نواحی طول تیر کاهش داده می‌شود، به طوریکه مفصل پلاستیک احتمالی به طور مطمئن در این ناحیه تشکیل گردد (تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی به طور مطمئن در این ناحیه صورت گیرد) و در طراحی برای ظرفیت، تقاضای نیرویی کمتری برای خارج از این ناحیه، اتصالات تیر به ستون، چشمهٔ اتصال و ستون فراهم گردد.

تیر همبند: تیر فولادی یا مختلط که دو دیوار برشی بتن‌آرمه را به یکدیگر متصل نموده تا در برابر بارهای جانبی لرزه‌ای به صورت توأم عمل نمایند.

جزء مرزی افقی (HBE): به تیرهای متصل به لبه‌های افقی ورق دیوار برشی فولادی اطلاق می‌گردد.

جزء مرزی قائم (VBE): به ستون‌های متصل به لبه‌های قائم ورق دیوار برشی فولادی اطلاق می‌گردد.

جوش انگشتانه: به جوش به کاررفته در داخل سوراخ دایره‌ای شکل داخل یک ورق گفته می‌شود که آن را به سطح قطعهٔ فلزی دیگری متصل می‌نماید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوش کام: به جوش به کاررفته در داخل سوراخ لوبیایی شکل داخل یک ورق گفته می‌شود که آن را به سطح قطعهٔ فلزی دیگری متصل می‌نماید.

جوش بحرانی لرزه‌ای: به جوش‌های مشخص شده در فصل ۱۰-۳ این مبحث اطلاق می‌گردد که در آنها فلز جوش باید از مشخصات ویژه‌ای برخوردار باشد.

جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP): به جوش‌هایی گفته می‌شود که در آنها فلز جوش در کل ضخامت ورق متصل شده نفوذ می‌نماید.

جوش شیاری با نفوذ نسبی یا ناقص (PJP): به جوش‌هایی گفته می‌شود که در آنها فلز جوش در بخشی از ضخامت ورق متصل شده نفوذ می‌نماید.

جوش گوشه: جوش‌هایی که شکل آنها عموماً مثلثی بوده و بر روی سطوح دو ورق (اتصال T) سطح یک ورق و لبهٔ ورق دیگر (اتصال رویهم) یا ضخامت دو ورق (اتصال L) را به یکدیگر متصل می‌نماید.

جوش گوشهٔ تقویتی: جوش گوشه‌ای که در محل درز جوش بر روی جوش شیاری یا در زیر آن اضافه می‌شود.

چروکیدگی جان: به گسیختگی موضعی ورق جان عضو تحت اثر بار متمرکز فشاری یا عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی در مجاورت محل اثر بار، گفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چشمهٔ اتصال: به ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون، محصور بین بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی یا امتداد ورق‌های بال تیر یا امتداد ورق‌های روسری و زیرسری در گرهٔ اتصال گیردار تیر به ستون اطلاق می‌شود. وظیفهٔ اصلی این ناحیه انتقال لنگر خمشی تیر به ستون بوده و متحمل تنش‌های برشی زیادی علاوه بر تنش‌های محوری و خمشی خواهد بود.

حالت حدی: به شرایطی اطلاق می‌گردد که اگر تمام یا بخشی از سازه به آن حالت برسد، دیگر قادر به انجام وظایف خود نبوده و قابلیت استفاده را از دست می‌دهد.

حالت حدی بهره‌برداری: حالتی که سازه شامل اعضا و اتصالات آن، با وقوع آن نظیر تغییرشکل، لرزش و ...، قابلیت نگهداری، شرایط ظاهری، دوام یا کارایی خود را از دست می‌دهد و دیگر قادر به انجام وظایف و تأمین آسایش بهره‌برداران نخواهد بود.

خردشدگی بتن: به حالت حدی گسیختگی فشاری در بتن اطلاق می‌گردد که در آن بتن به کرنش نهایی خود می‌رسد.

خمش موضعی بال ستون: به حالت حدی وقوع تغییرشکل غیرارتجاعی بزرگ در بال ستون اطلاق می‌گردد که تحت اثر بار متمرکز عرضی بال کششی تیر ایجاد می‌گردد.

دوران تیر پیوند: به تغییرمکان نسبی دو انتهای تیر پیوند، که عمود بر محور طولی تیر پیوند به وقوع می‌پیوندد، تقسیم بر طول تیر پیوند، دوران تیر پیوند گفته می‌شود. دوران تیر پیوند شامل دوران‌های الاستیک و غیر الاستیک آن است

دیافراگم کف: دیافراگم کف یک صفحهٔ افقی صلب یا انعطاف پذیر بوده که وظیفهٔ اصلی آن تحمل نیروهای جانبی ناشی از بارگذاری جانبی و انتقال آن به سیستم‌های باربر جانبی است. این دیافراگم عموماً از طریق برشگیرهای تعبیه شده روی تیرهای فولادی و مدفون در دیافراگم کف، نیروهای جانبی را از طریق جمع کننده‌ها به سیستم باربر جانبی منتقل می‌نماید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

دیوار برشی: دیواری که مقاومت و سختی لازم برای تحمل نیروهای جانبی که در صفحهٔ دیوار وارد می‌شود را فراهم نموده و پایداری سیستم سازه را تأمین می‌نماید.

دیوار برشی فولادی ویژه: سیستمی متشکل از ورق‌های فولادی تقویت نشدهٔ محصور بین اجزای مرزی فولادی افقی در تراز طبقات و اجزای مرزی فولادی قائم در دو طرف ورق است. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی زیاد بوده که از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی کششی ورق فولادی در ارتفاع دیوار، تغییرشکل خمشی فرا ارتجاعی در دو انتهای اجزای مرزی افقی و تغییرشکل خمشی فرا ارتجاعی در پای اجزای مرزی فولادی قائم تأمین می‌گردد.

دیوار برشی مختلط ویژه: این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای متشکل از دیوار برشی بتن آرمهٔ همبسته با تیرهای فولادی یا مختلط همبند و اجزای مرزی قائم بتن‌آرمه، فولادی یا مختلط است. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی زیاد بوده و از طریق تغییرشکل‌های فراارتجاعی خمشی و برشی دیوار بتن‌آرمه و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری کششی و فشاری اجزای مرزی قائم و همچنین تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی خمشی یا برشی تیرهای همبند فولادی یا مختلط تأمین می‌گردد.

روش توزیع تنش پلاستیک: روش تعیین مقاومت خمشی اسمی در اعضای مختلط است که در آن در مقطع عضو، بخش فولادی به طور کامل پلاستیک در نظر گرفته شده و فرض می‌شود دورترین تار فشاری بخش بتنی در آستانهٔ کرنش نهایی قرار دارد.

روش سازگاری کرنش: روش تعیین مقادیر مقاومت خمشی اسمی در اعضای مختلط که بر مبنای روابط تنش-کرنش مصالح بتنی و فولادی و در نظر گرفتن توزیع خطی کرنش در عمق مقطع و محدود نمودن حداکثر کرنش فشاری بتن به 0.003 استوار است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD): طراحی و تناسب‌بندی اعضا، اجزاء و اتصالات به نحوی که مقاومت طراحی (حاصل ضرب مقاومت اسمی در ضریب کاهش مقاومت) آنها بزرگتر یا مساوی مقاومت موردنیاز آنها تحت اثر ترکیبات بارگذاری مربوط به این روش طراحی باشد.

روش مقاومت مجاز (ASD): طراحی و تناسب بندی اعضا، اجزاء و اتصالات به نحوی که مقاومت مجاز (مقاومت اسمی تقسیم بر ضریب اطمینان) آنها بزرگتر یا مساوی مقاومت مورد نیاز آنها تحت اثر ترکیبات بارگذاری مربوط به این روش طراحی باشد.

زاویهٔ تغییرمکان نسبی طبقه: زاویه‌ای که از تقسیم تغییرمکان جانبی نسبی هر طبقه بر ارتفاع طبقه محاسبه می‌گردد.

زلزلهٔ تشدید یافته (E_{mh}): به نیروهای به دست آمده از حاصلضرب نیروی جانبی ناشی از زلزلهٔ طرح در ضریب اضافه مقاومت (Ω_0) اطلاق می‌شود. مقدار ضریب اضافه مقاومت (Ω_0) به پارامترهای متعددی نظیر درجات نامعینی سازه، میزان ظرفیت اضافی موجود در سازه، جزئیات‌بندی اعضا، اثرات اجزای غیرسازه‌ای و ... بستگی دارد و مقدار آن برای سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر زلزله در استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است.

زلزلهٔ محدود به ظرفیت (E_{cl}): این نیرو معادل نیروی زلزلهٔ افقی است که مقدار آن محدود به ظرفیت اعضای شکل‌پذیر سیستم بوده و ملاک طراحی اعضای غیر شکل‌پذیر قرار می‌گیرد.

سازه‌های شکل‌پذیر: به سازه‌های باربر جانبی لرزه‌ای اطلاق می‌شوند که بتوانند در نواحی خاصی از اعضای خود تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی را پذیرا بوده و این ویژگی را در بارگذاری‌های رفت و برگشتی بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت، حفظ نمایند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ستون: به عضو سازه‌ای معمولاً به صورت قائم اطلاق می‌شود که عملکرد اصلی آن تحمل نیروی محوری فشاری وارده در راستای محور طولی خود است.

ستون متکی: ستون‌های متکی به ستون‌هایی گفته می‌شود که سختی جانبی آنها به واسطهٔ اتصال مفصلی تیرها ناچیز بوده و فقط برای بارهای ثقلی طراحی می‌شوند.

ستون مختلط: به عضو متشکل از مقطع فولادی محاط در بتن یا پرشده با بتن اطلاق می‌شود که به عنوان ستون در سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی به کار می‌رود.

سخت کننده: به یک جزء سازه‌ای نظیر ورق یا نبشی گفته می‌شود که به یک عضو سازه‌ای متصل می‌گردد تا سختی آن را افزایش داده و توزیع بار را هموارتر نماید.

سخت کنندهٔ عرضی: به سخت کننده‌های تعبیه شده در جان اعضا اطلاق می‌شود که عمود بر بال‌های آنها بوده و عملکرد اصلی آن افزایش مقاومت کمانش برشی جان اعضا است. در محل بارهای متمرکز نیز برای جلوگیری از تسلیم، گسیختگی و کمانش موضعی از سخت کننده‌های عرضی استفاده می‌شود.

سختی: نسبت نیروی وارده به تغییرمکان حاصله را سختی انتقالی و نسبت لنگر وارده به دوران حاصله را سختی دورانی می‌گویند.

سطح مقطع خالص: به سطح مقطع کل عضو یا جزء سازه‌ای فولادی منهای سطح تصویر سوراخ‌ها یا شکاف‌های آن اطلاق می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سطح مقطع خالص مؤثر: به سطح مقطع خالصی گفته می‌شود که مقدار آن با ضریب تأخیر برش (U) کاهش داده می‌شود. ضریب تأخیر برش (U) معرف توزیع غیریکنواخت تنش کششی در اثر اتصال عضو کششی از طریق بخشی از اجزای عضو و نه تمامی اجزای آن است.

سطح مقطع کلی عضو: به مساحت مقطع عمود بر محور طولی عضو اطلاق می‌شود که از مجموع حاصلضرب پهنا در ضخامت اجزای عضو به دست می‌آید.

سیستم باربر جانبی لرزه‌ای (SFRS): سیستم باربر جانبی لرزه‌ای به بخشی از سیستم سازه‌ای اطلاق می‌گردد که وظیفهٔ اصلی آن تأمین مقاومت جانبی، سختی جانبی و شکل‌پذیری در برابر نیروهای جانبی زلزله وارد بر سیستم سازه‌ای است.

سیستم سازه‌ای: به مجموعه‌ای از اعضا و اجزای سازه‌ای و اتصالات اطلاق می‌شود که قابلیت تحمل بار داشته و از طریق اتصال به یکدیگر، تشکیل یک سیستم به هم پیوستهٔ باربر را می‌دهند.

سیستم کنسولی فولادی ویژه: این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، یک نوع قاب متشکل از ستون‌های کنسولی فولادی است که شکل‌پذیری مورد انتظار در آن محدود بوده و از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی خمشی در پای ستون‌ها تأمین می‌گردد.

سیستم مهاربندهای چند ردیفی در یک طبقه: یک سیستم قاب مهاربندی‌شده است که در حدفاصل دیافراگم دو کف مجاور یا دو تراز مهارشده، از دو یا چند ردیف مهاربند تشکیل می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب R_y: عبارت است از نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد (F_y) که به منظور در نظر گرفتن مقاومت‌های مورد انتظار اعضای شکل‌پذیر سیستم سازه‌ای برای طراحی ظرفیتی اتصالات و سایر اعضای غیر شکل‌پذیر آن به کار می‌رود.

ضریب R_t: عبارت است از نسبت تنش کششی نهایی مورد انتظار به تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد (F_u) که برای انواع تولیدات فولاد متفاوت بوده و به عوامل متعددی نظیر شکل مقاطع و افزودنی‌های به کاررفته در طی روند تولید فولاد در کارخانه‌ها بستگی دارد.

ضریب اضافه مقاومت (Ω_0): ضریبی که به عوامل متعددی نظیر درجات نامعینی سازه، میزان ظرفیت اضافی موجود در سازه، جزئیات‌بندی اعضا و آثار اجزای غیر سازه‌ای بستگی دارد و در محاسبهٔ نیروی زلزلهٔ تشدیدیافته به کار گرفته می‌شود.

ضریب اطمینان (Ω): ضریبی که در طراحی به روش ASD کاربرد دارد و در برگیرندهٔ میزان انحراف مقاومت واقعی از مقاومت اسمی، میزان انحراف بارهای واقعی از بارهای اسمی، عدم قطعیت‌های تحلیل و نحوهٔ خرابی اعضا و پیامدهای ناشی از آن بوده و در تعیین مقاومت مجاز اعضا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ضریب طول مؤثر (K): به نسبت طول مؤثر کمانش عضو به طول مهارنشدهٔ آن اطلاق می‌گردد.

ضریب کاهش مقاومت (ϕ): ضریبی که در طراحی به روش LRFD کاربرد دارد و در برگیرندهٔ میزان انحراف مقاومت واقعی از مقاومت اسمی، عدم قطعیت‌های تحلیل و نحوهٔ خرابی اعضا و پیامدهای ناشی از آن بوده و در تعیین مقاومت طراحی اعضا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی: فرایندی است که براساس آن مشخصات فیزیکی، هندسی و مادی اعضا، اجزاء و اتصالات سازه برای فراهم شدن معیارهایی نظیر مقاومت‌های موردنیاز، شرایط بهره‌برداری، دوام، قابلیت ساخت، الزامات صرفه جویی در مصالح، تعیین می‌گردد.

طول مؤثر عضو: به طول حد فاصل دو نقطهٔ عطف متوالی در مُد کمانشی غالب عضو محوری فشاری اطلاق می‌شود.

عرشهٔ فولادی: ورق‌های نازکی هستند که با نورد سرد به صورت یک صفحهٔ کنگره‌دار فولادی شکل داده شده و به عنوان قالب ماندگار در اجرای گروهی از تیرهای مختلط به کار می‌روند. چنانچه سطوح عرشهٔ فولادی دارای برجستگی باشد، می‌تواند به‌عنوان بخشی از فولاد کششی دال بتنی عمل نماید.

عضو جمع‌کننده: به عضوی اطلاق می‌شود که نیروهای حاصل از بار جانبی از طریق دیافراگم کف به این عضو منتقل شده و از طریق آن به اعضای سیستم باربر جانبی منتقل می‌شود.

عضو محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن: به عضو محوری اطلاق می‌شود که بخش بتنی مقطع آن، داخل بخش فولادی آن قرار گرفته و در آن بتن و فولاد در تحمل نیروی محوری مشارکت می‌نماید.

عضو محوری با مقطع مختلط محاط در بتن: به عضو محوری اطلاق می‌شود که بخش فولادی مقطع آن، به طور کامل در بخش بتنی آن محاط شده و در آن بتن و فولاد در تحمل نیروی محوری مشارکت می‌نماید.

عضو مختلط: عضوی است که در آن بخش فولادی و بخش بتنی عضو به صورت اجزای یک مقطع یکپارچه، نیروهای وارده را تحمل می‌نمایند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

عضو مهاربندی: عضو سازه‌ای مورب که با رفتار غالب محوری، نیروهای جانبی ناشی از زلزله را تحمل و در بارهای ثقلی به پایداری سازه کمک می‌نماید. این اعضا می‌توانند به صورت قطری ضربدری، ۷ و ۸ شکل باشند

عضو مهاربندی کمانش‌تاب: به عضو مهاربندی اطلاق می‌گردد که از یک هستهٔ فولادی باربر و یک غلاف بیرونی تشکیل شده است. هستهٔ فولادی وظیفهٔ تحمل نیروهای کششی و فشاری حاصل از زلزله و تأمین شکل‌پذیری مورد نیاز را دارد. غلاف بیرونی، بدون مشارکت در باربری محوری، وظیفهٔ مهار جانبی هستهٔ فولادی در برابر کمانش را بر عهده دارد.

عضو مهاربندی مختلط: به عضو متشکل از مقطع فولادی پرشده با بتن اطلاق می‌گردد که به صورت مهاربندی مورب وظیفهٔ تأمین سختی، مقاومت و شکل‌پذیری را در سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای مربوطه، بر عهده دارد.

عمل اهرمی: به افزایش نیروی کششی پیچ گفته می‌شود که در اثر اتکای لبهٔ ورق اتصال انتهایی به سطح تکیه‌گاه آن ایجاد می‌گردد و ممکن است موجب گسیختگی پیچ‌ها شود. در ورق‌های اتصال انتهایی انعطاف پذیر، توجه به این موضوع ضروری است.

عمل میدان کششی: در یک چشمه از جان یک تیرورق که بین بال‌ها و سخت کننده‌های عرضی محصور است، تحت اثر برش، تنش‌های کششی در راستای یک قطر و تنش‌های فشاری در راستای قطر دیگر آن ایجاد می‌شود. در این چشمه به توسعهٔ نیروی کششی در جان پس از کمانش قطری و برقراری تعادل نیروها از طریق نیروهای فشاری ایجادشده در سخت کننده‌های عرضی، عمل میدان کششی گفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب خمشی خرپایی ویژه: در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، تیرها به صورت خرپای فولادی با ابعاد محدود و ستون‌ها به صورت فولادی هستند. شکل پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های خمشی، برشی و محوری فرا ارتجاعی ناحیهٔ ویژهٔ خرپای فولادی که در نیمهٔ میانی آن قرار دارد، تأمین می‌شود. ستون‌ها، اعضای واقع در قسمت‌های خارج از ناحیهٔ ویژهٔ خرپا محسوب شده و اتصالات سیستم باید برای نیروهای زلزلهٔ محدود به ظرفیت ناحیهٔ ویژه طراحی شوند.

قاب خمشی فولادی: به سیستم سازه‌ای اطلاق می‌گردد که سختی، مقاومت و شکل‌پذیری آن از طریق مقاومت خمشی، برشی و محوری اعضایی که دارای اتصال گیردار هستند، تأمین می‌شود.

قاب خمشی معمولی: در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، تیرها و ستون‌ها باید فولادی باشند. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم حداقل بوده و از طریق تغییرشکل‌های دورانی فراارتجاعی کم در انتهای تیرها و ستون‌ها و تسلیم برشی کم در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال تأمین می‌شود.

قاب خمشی متوسط: در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، تیرها و ستون‌ها باید فولادی باشند. در تحمل بارهای ثقلی با رعایت الزامات اتصالات گیردار پیش‌تأییدشده، می‌توان از عملکرد بین تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی محدود بوده و از طریق تغییرشکل‌های دورانی فرا ارتجاعی محدود در انتهای تیرها یا انتهای ستون‌ها و تسلیم برشی محدود در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال تأمین می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب خمشی ویژه: در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، تیرها و ستون‌ها باید فولادی باشند. در تحمل بارهای ثقلی، با رعایت الزامات اتصالات گیردار پیش تأییدشده، می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های دورانی فرا ارتجاعی زیاد در انتهای تیرها، تسلیم برشی کم در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی دورانی در ستون‌ها در تراز پایه تأمین می‌شود.

قاب خمشی مختلط ویژه: در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، ستون‌ها به صورت مقطع مختلط محاط در بتن یا پرشده با بتن یا مقطع بتن آرمه و تیرها به صورت فولادی تنها یا تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن یا تیر فولادی محاط در بتن هستند. اتصالات تیرها به ستون‌ها به صورت گیردار هستند. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های دورانی فرا ارتجاعی زیاد در انتهای تیرها، تسلیم برشی کم در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی دورانی در ستون‌ها در تراز پایه تأمین می‌شود.

قاب مهاربندی‌شده: یک سیستم خرپایی قائم بوده که برای تأمین سختی، مقاومت و پایداری در برابر بارهای جانبی و نیز تأمین پایداری در برابر بارهای ثقلی به کار می‌رود. در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، تأمین شکل‌پذیری موردنیاز بر عهدهٔ این قاب‌ها است.

قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی: در قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی، محورهای اعضای مهاربندی، تیرها یا ستون‌های متصل به گره باید همگرا باشند. در این سیستم باربر جانبی، کلیهٔ اعضا شامل تیرها، ستون و اعضای مهاربندی باید فولادی باشند. رفتار غالب اعضای این سیستم تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای به صورت محوری است. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی و دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم حداقل بوده و از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی کم در اعضا و اتصالات فراهم می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای ویژه: در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه، محورهای اعضای مهاربندی، تیرها یا ستون‌های متصل به گره باید همگرا باشند. در این سیستم باربر جانبی، کلیهٔ اعضا شامل تیرها، ستون و اعضای مهاربندی باید فولادی باشند. رفتار غالب اعضای این سیستم باربر تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای به صورت محوری است. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی و دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق ایجاد تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی ناشی از کمانش غیر الاستیک مهاربند فشاری و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری حاصل از تسلیم کششی مهاربند کششی صورت می‌گیرد.

قاب مهاربندی شدهٔ واگرا: قاب‌های مهاربندی‌شده‌ای هستند که در یک انتهای عضو مهاربندی محورهای تیر، ستون و مهاربند همگرا بوده و در انتهای دیگر محورهای مهاربند و تیر واگرا است. در این سیستم باربر جانبی، ستون‌ها، تیرها و اعضای مهاربندی باید فولادی باشند. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی با دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای قابل ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های فراارتجاعی خمشی یا برشی در تیر پیوند تأمین می‌شود.

قاب مهاربندی‌شدهٔ کمانش‌تاب: یک سیستم قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای ویژه است که از تیر و ستون فولادی و نیز اعضای مورب کمانش‌تاب تشکیل می‌گردد. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل‌ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری در مهاربندهای کمانش‌تاب فراهم می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای مختلط ویژه: در قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای مختلط ویژه، محورهای تیرها، ستون‌ها و اعضای مهاربندی متصل به گره‌ها همگرا هستند. در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، ستون‌ها به صورت مختلط با مقطع فولادی محاط در بتن یا پرشده با بتن، تیرها به صورت فولادی تنها یا فولادی با دال بتنی متکی بر آنها و مهاربندها به صورت فولادی تنها یا مختلط با مقطع فولادی پرشده با بتن هستند. شکل‌پذیری این نوع قاب‌ها قابل‌ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری مهاربند کششی و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی ناشی از کمانش غیر ارتجاعی مهاربندهای فشاری تأمین می‌گردد.

قاب مهاربندیشدهٔ واگرای مختلط: در قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ واگرای مختلط، در یک انتهای عضو مهاربندی محورهای تیر، ستون و مهاربند همگرا بوده و در انتهای دیگر محورهای مهاربند و تیر واگرا است. در این سیستم، ستون‌ها به صورت مختلط با مقطع فولادی پرشده با بتن، تیر پیوند به صورت فولادی تنها، تیر خارج از ناحیهٔ پیوند به صورت فولادی یا مختلط با دال بتنی متکی بر آن و اعضای مهاربندی به صورت فولادی تنها یا مختلط پرشده با بتن هستند. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی لرزه‌ای قابل ملاحظه بوده و از طریق تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی خمشی یا برشی در تیر پیوند تأمین می‌شود.

کمانش: به تغییر ناگهانی در هندسهٔ یک سازه یا اجزای آن تحت اثر تنش فشاری اطلاق می‌گردد.

کمانش برشی: به کمانش قطری ناشی از تنش اصلی فشاری اطلاق می‌گردد که در آن تحت اثر برش در یک ورق فولادی نظیر جان تیرورق‌ها، تغییرشکل ناگهانی خارج از صفحه رخ دهد.

کمانش پیچشی: به کمانش عضو تحت اثر بار محوری فشاری حول محور طولی و مار بر مرکز برش مقطع بدون تغییرشکل خمشی حول محورهای اصلی آن، گفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کمانش جانبی- پیچشی: کمانشی که بال فشاری عضو خمشی در خارج از صفحهٔ خمش، تغییرشکل جانبی داده و همزمان با آن مقطع تیر حول محور طولی ماربر مرکز برش دوران نماید.

کمانش خمشی: به کمانشی گفته می‌شود که در آن عضو محوری فشاری به صورت جانبی حول محورهای اصلی مقطع، بدون پیچش و هرگونه تغییر در شکل مقطع، تغییرشکل دهد

کمانش خمشی-پیچشی: کمانشی که در آن عضو محوری فشاری به صورت جانبی حول یکی از محورهای اصلی یا هر دو محور اصلی مقطع تغییرشکل داده و همزمان حول محور طولی مار بر مرکز برش مقطع، دوران می‌نماید.

کمانش موضعی: کمانشی که در اثر آن یک جزء فشاری از عضو محوری فشاری یا عضو خمشی در طول محدودی ناپایدار گردد.

کنترل کیفیت: به کنترل‌ها و بازرسی توسط سازنده و نصاب به منظور رعایت الزامات مدارک فنی تأیید و ابلاغ شده و استانداردهای مرجع اطلاق می‌گردد.

مشخصات فنی عمومی: به مشخصات موردنظر این مبحث و سایر مباحث مقررات ملی ساختمان جهت ساخت و نصب سازه‌های فولادی اطلاق می‌گردد و در غیاب مشخصات فنی خصوصی لازم‌الاجرا محسوب می‌شود.

مشخصات فنی خصوصی: به مشخصات فنی موردنظر طراح یا کارفرما اطلاق می‌گردد که در تکمیل مدارک مشخصات فنی عمومی و مقررات حاکم با درج در نقشه‌های اجرایی یا ابلاغ به صورت مجزا در زمان عقد قرارداد جزء اسناد پیمان قرار میگیرد و رعایت آنها توسط سازنده یا نصاب ضروری است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مفصل پلاستیک: به ناحیه‌ای از طول عضو گفته می‌شود که در آن مقدار لنگر خمشی برابر لنگر پلاستیک مقطع باشد.

مقاطع ساخته‌شده: به مقاطعی اطلاق می‌گردد که از چندین ورق جوش شده به یکدیگر تشکیل می‌شوند. مقاطعی که از دو یا چند نیمرخ یا از دو یا چند نیمرخ به همراه ورق‌های سراسری که به وسیلهٔ بست‌های موازی یا مورب یا به صورت مستقیم با اتصالات جوشی یا پیچی به یکدیگر متصل شده‌اند، نیز در ردیف مقاطع ساخته شده قرار می‌گیرند.

مقاومت اتکایی: به تسلیم فشاری موضعی مصالح فلزی یا خرد شدن مصالح غیرفلزی اطلاق می‌گردد که در اثر تماس یا اتکای یک عضو به عضو دیگر ایجاد می‌شود.

مقاومت اسمی: به مقاومت یک جزء سازه‌ای یا یک عضو سازه‌ای در برابر بارهای وارده بدون در نظر گرفتن ضرایب کاهش مقاومت در LRFD و ضرایب اطمینان در ASD، مقاومت اسمی گفته می‌شود.

مقاومت خمشی اسمی مثبت: به مقاومت خمشی اسمی یک عضو فولادی یا مقاومت خمشی اسمی یک تیر مختلط در نواحی که تارهای فوقانی مقطع در فشار باشند، گفته می‌شود.

مقاومت خمشی اسمی منفی: مقاومت خمشی اسمی یک عضو فولادی یا مقاومت خمشی اسمی یک تیر مختلط در نواحی که تارهای فوقانی مقطع در کشش باشند، گفته می‌شود.

مقاومت طراحی: در طراحی به روش LRFD کاربرد دارد و از حاصلضرب مقاومت اسمی عضو یا اتصال در ضریب کاهش مقاومت به دست می‌آید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت کمانشی اسمی: به مقاومت عضو در برابر کمانش گفته می‌شود که می‌تواند براساس یکی از حالت‌های حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی یا کمانش خمشی-پیچشی به دست آید.

مقاومت گسیختگی اسمی: به مقاومت عضو ناشی از شکست ترد یا پارگی اعضا یا اجزای اتصال گفته می‌شود.

مقاومت مجاز: در طراحی به روش ASD کاربرد دارد و از تقسیم مقاومت اسمی عضو یا اتصال بر ضریب اطمینان به دست می‌آید.

مقاومت موجود: در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) مقاومت موجود همان مقاومت طراحی است که از حاصلضرب مقاومت اسمی در ضریب کاهش مقاومت به دست می‌آید. در طراحی به روش مقاومت مجاز (ASD) مقاومت موجود همان مقاومت مجاز است که از حاصل تقسیم مقاومت اسمی بر ضریب اطمینان به دست می‌آید.

مقاومت موردنیاز: همان نیروهای داخلی اعضا، اجزاء و اتصالات است که براساس ترکیبات بارگذاری مختلف متناظر با روش طراحی تعیین می‌شود.

مقطع با اجزای غیر لاغر: مقطعی که نسبت پهنا به ضخامت اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن طوری است که در محدودهٔ رفتار الاستیک، در هیچیک از اجزای مقطع کمانش موضعی رخ ندهد.

مقطع با اجزای لاغر: مقطعی که نسبت پهنا به ضخامت حداقل یک جزء تشکیل دهندهٔ آن طوری است که در محدودهٔ رفتار الاستیک، در آن جزء کمانش موضعی رخ دهد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقطع تبدیل یافته: در اعضای با مقطع مختلط به مقطعی گفته می‌شود که در آن پهنای مؤثر دال بتنی بر $n=E_s/E_c$ تقسیم می‌گردد و به این ترتیب مقطع مختلط به یک مقطع فولادی معادل تبدیل می‌شود.

مقطع جعبه‌ای: مقطع توخالی مربعی یا مربع مستطیلی شکلی که از چهار ورق تشکیل شده و در لبه‌های طولی به یکدیگر جوش می‌شوند.

مقطع غیر فشرده: مقطعی است که کلیهٔ اجزای تشکیل دهندهٔ آن دارای چنان نسبت پهنا به ضخامتی باشند که تا رسیدن تنش در کلیهٔ اجزای فشاری مقطع به آستانهٔ تنش تسلیم، در هیچیک از اجزای مقطع، کمانش موضعی رخ ندهد.

مقطع فشرده: مقطعی است که اجزای تشکیلدهندهٔ آن دارای چنان نسبت پهنا به ضخامتی باشند که تا توسعهٔ کامل تنش تسلیم در کلیهٔ اجزای آن تا حد لنگر خمشی پلاستیک مقطع، در هیچ یک از اجزای مقطع کمانش موضعی رخ ندهد.

مقطع فشردهٔ لرزه‌ای: مقطعی است که کلیهٔ اجزای تشکیل دهندهٔ آن دارای چنان نسبت پهنا به ضخامتی باشند که تا توسعهٔ کامل تنش تسلیم در کلیهٔ اجزای آن و ایجاد کرنش فرا ارتجاعی به میزان کافی برای پلاستیک شدن مقطع به صورت مفصل پلاستیک با چرخش پلاستیک موردنظر، در هیچیک از اجزای مقطع کمانش موضعی رخ ندهد.

مقطع قوطی شکل (HSS): مقطع توخالی مربعی یا مربع مستطیلی شکل است که از ورق با ضخامت ثابت و به صورت تاشده تشکیل شده و از طریق جوش طولی به صورت یک مقطع بسته در می‌آید.

مهار پیچشی: مهاری است که عمود بر مقطع عضو تعبیه می‌شود و از دوران عضو حول محور طولی آن جلوگیری می‌نماید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مهار جانبی: عضو سازه‌ای که با سختی و مقاومت خود از جابجایی خارج از محور یا خارج از صفحهٔ عضو دیگر در محل نقطهٔ مهارشده جلوگیری می‌کند.

ناظر کارفرما: نمایندهٔ فنی کارفرما در کارگاه ساخت و نصب است که هماهنگی و پیاده سازی برنامهٔ تضمین کیفیت را بر عهده دارد.

ناپایداری: به شرایطی اطلاق می‌شود که در اثر ایجاد تغییر کمی در بارهای وارده یا هندسهٔ سازه، در عضو سازه‌ای یا کل سازه، تغییرمکان‌های بزرگ ایجاد می‌گردد.

ناحیهٔ حفاظت شده: به ناحیه‌ای از طول عضو اطلاق می‌شود که انتظار می‌رود در این ناحیه تغییرشکل‌های فراارتجاعی خمشی، کششی و برشی تشکیل شود. نظر به اهمیت ناحیهٔ حفاظت شده و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این ناحیه باید عاری از هرگونه عملیاتی باشد که موجب مخدوش شدن عملکرد شکل‌پذیر عضو در این ناحیه می‌شود. موقعیت و طول ناحیهٔ حفاظت شده در هر یک از سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای در فصل ۱۰-۳ معرفی شده است.

ناحیهٔ انتقال بار: ناحیهٔ انتقال بار در واقع ارتفاع کل اتصال تیر به ستون است که نیروهای خارجی از طریق این ناحیه به عضو با مقطع مختلط منتقل می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

نقشه‌های طراحی: به اسناد و مدارک گرافیکی متشکل از تصاویر و نوشته‌ها اطلاق می‌گردد که دربرگیرندهٔ جزئیات و هندسهٔ طراحی سازه باشد. این نقشه‌ها باید اطلاعات کامل مقاطع، محل قرار گرفتن اعضای سازه نسبت به یکدیگر، تراز کف‌های ساختمانی، محورهای مار بر مرکز ستون‌ها، پیش‌آمدگی‌ها و پس‌رفتگی‌ها با اندازه‌ها و اطلاعات مربوط به اتصالات و وصله‌ها را شامل باشد، به طوریکه با مراجعهٔ به آنها پیمانکار بتواند نقشه‌های اجرایی کارگاهی را تهیه نماید.

نواحی مرزی: به بخشی از دو انتهای مقطع دیوار یا دو بخش خارجی دیافراگم کف که با استفاده از مقاطع فولادی یا آرماتورهای طولی و عرضی تقویت شده باشند، نواحی مرزی گفته می‌شود.

نیروی عضو: برآیند نیروهای حاصل از بارگذاری خارجی است که در اجزای مقطع عضو ایجاد می‌گردد. این برآیند می‌تواند به صورت نیروی محوری، نیروی برشی، لنگر خمشی، لنگر پیچشی یا ترکیبی از آنها باشد.

ورق اتصال مهاربندی (ورق گاست): به ورق اتصال اعضای خرپا در گره‌های اتصال و ورق اتصال عضو مهاربندی به تیر یا به گره اتصال تیر-ستون و یا به گره پای ستون اطلاق می‌گردد.

ورق پرکننده: به ورق به‌کاررفته در نواحی وصله‌ها که فاصلهٔ بین مقطع وصله شونده و ورق‌های وصله را پر نموده و امکان اجرای ورق پوششی وصله بین مقاطع وصله شونده را فراهم نماید، گفته می‌شود.

ورق پوششی: به ورق تقویتی که بر روی ورق‌های بال تیرها یا ستون‌ها جوش یا پیچ می‌شوند و موجب افزایش سطح مقطع، اساس مقطع، ممان اینرسی و ... می‌گردد، گفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ورق دیافراگمی: به ورق‌های دارای سختی و مقاومت داخل صفحه‌ای برشی اطلاق می‌گردد که برای انتقال نیروهای داخل صفحه‌ای به اجزای تکیه‌گاهی به کار می‌روند.

ورق پیوستگی: به ورق‌های تقویتی که در راستای بال‌ها یا ورق‌های اتصال بال تیر به وجه ستون در چشمهٔ اتصال تعبیه شده و به بال‌ها و جان (یا جان‌های) ستون متصل می‌شوند، اطلاق می‌شود.

ورق مضاعف: به ورق‌های اضافی گفته می‌شود که موازی جان تیرها یا ستون‌ها در ناحیهٔ چشمهٔ اتصال در مقابل نیروهای متمرکز تعبیه می‌شود و موجب افزایش مقاومت برشی چشمهٔ اتصال می‌شود.

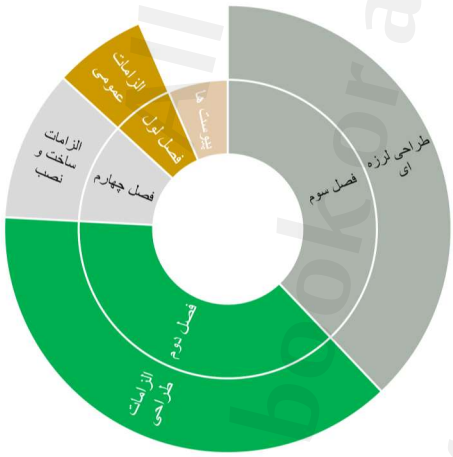
وصله: به اتصال بین دو عضو سازه‌ای در راستای تنش‌های وارد بر عضو اطلاق می‌گردد که یک عضو سازه‌ای با طول بزرگتر تشکیل دهد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصول مبحث دهم:

طبق بند ۱۰-۱-۱-۱، هدف این مبحث تعیین حداقل ضوابط و مقرراتی است که باید در تحلیل، طراحی و اجرای ساختمان‌های فولادی جهت تأمین شرایط ایمنی و امکان بهره‌برداری مناسب مورد استفاده قرار گیرد. این مبحث دارای چهار فصل شامل فصل‌های ۱۰-۱ (الزامات عمومی)، ۱۰-۲ (الزامات طراحی)، ۱۰-۳ (الزامات طراحی لرزه‌ای) و ۱۰-۴ (الزامات ساخت، نصب و کنترل) است. همچنین این مبحث دارای ۶ پیوست است که پیوست ۱ به معرفی استانداردهای معتبر مصالح سازه‌های فولادی موردتائید این مبحث، پیوست ۲ به ضریب طول مؤثر اعضای فشاری، پیوست ۳ به تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته، پیوست ۴ به الزامات اعضای کششی با تسمهٔ لولاشده با خار مغزی یا تسمهٔ سرپهن، پیوست ۵ به ضوابط طراحی تیرهای با جان باز و پیوست ۶ به حفاظت در برابر آتش می‌پردازد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق بند ۱۰-۱-۱-۲، محدودهٔ کاربرد این مبحث ساختمان‌های فولادی با کاربری‌های مندرج در قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان و آیین‌نامه‌های اجرایی آن است. سازه‌های خاص از قبیل پل‌های فولادی، مخازن هوایی و زمینی، دکل‌های مخابراتی و انتقال نیرو و سایر سازه‌های فولادی که برای تحلیل، طراحی و اجرای آنها مقررات و ضوابط ویژه‌ای موردنیاز است، مشمول ضوابط این مبحث نمی‌شوند.

۱۰-۱-۱-۳، همراه با این مبحث باید ضوابط سایر مباحث مقررات ملی ساختمان رعایت شوند.

۱۰-۱-۱-۴، در مواردی که ضوابط این مبحث دارای ابهام یا مسکوت بوده و موضوع با قضاوت صحیح مهندسی یا رجوع به مدارک فنی معتبر باز از ابهام برخوردار است یا مورد اختلاف قرار دارد، پاسخ استعلام از دبیرخانهٔ شورای تدوین مقررات ملی ساختمان ملاک عمل خواهد بود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

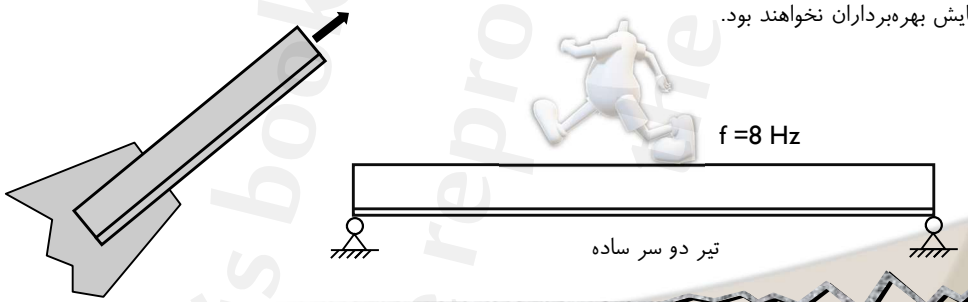
حالت‌های حدی مبحث دهم:

الف) حالت‌های حدی مقاومت

حالت‌های حدی مقاومت، حالت‌هایی هستند که سازه شامل اعضاء، اجزاء و اتصالات آن پس از رسیدن به آن حالت‌ها، تحت اثر هر یک از ترکیب‌های بارگذاری با وقوع خرابی‌هایی نظیر تسلیم، گسیختگی، کمانش و غیره، مقاومت و شکل‌پذیری موردنیاز خود را از دست می‌دهند.

ب) حالت‌های حدی بهره‌برداری

حالت‌های حدی بهره‌برداری، حالت‌هایی هستند که سازه شامل اعضاء و اتصالات آن، با وقوع آنها نظیر تغییرشکل، لرزش و ... قابلیت نگهداری، شرایط ظاهری، دوام و کارایی خود را از دست می‌دهند و دیگر قادر به انجام وظایف و تأمین آسایش بهره‌برداران نخواهند بود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

طبق بند ۱۰-۱-۲-۲-۱ مبحث دهم جدید، برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت، استفاده از روش ضرایب بار و مقاومت یا روش مقاومت مجاز قابل قبول بوده، لیکن در یک سازهٔ فولادی، به کارگیری همزمان دو روش مورد اشاره قابل قبول نیست.

در ویرایش ۹۲ مبحث دهم، تنها روش ضرایب بار و مقاومت موجود بود.

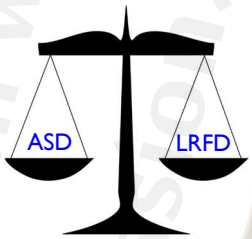
روش‌های مجاز طراحی در مبحث دهم ویرایش پنجم

روش مقاومت مجاز (به اختصار ASD)

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq [R_a = \Sigma \gamma_i Q_i]$$

روش ضرایب بار و مقاومت (به اختصار LRFD)

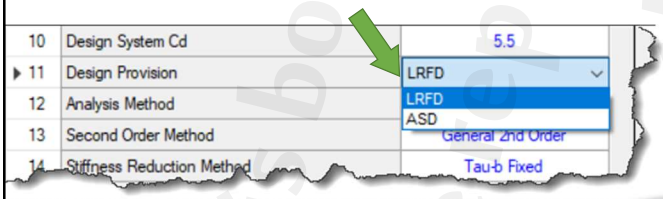
$$\varphi R_n \geq [R_u = \Sigma \gamma_i Q_i]$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

روش تنش مجاز که صرفاً به دلیل مشابهت حروف اختصاری در زبان انگلیسی از آن نیز تحت عنوان ASD یاد می‌شود، از قدیمی‌ترین روش‌های طراحی سازه‌ها می‌باشد. در این روش تنش‌های ناشی از بارهای بهره‌برداری (بدون ضریب) در مقاطع به کمک اصول مکانیک جامدات در حوزه رفتار خطی، محاسبه شده و با مقادیر "تنش مجاز" مقایسه می‌گردد. در دهه ۵۰ میلادی این روش برای سازه‌های بتن مسلح نیز استفاده می‌شده است که در نهایت با مشخص شدن اشکالات و محدودیت‌ها، با روش‌های طراحی حالات حدی جایگزین گردیده است. از مهم‌ترین دلایل کنار گذاشته شدن روش تنش مجاز، استفاده از ضریب اطمینان یکسان برای تمامی عامل‌های خارجی (بارها) با عدم قطعیت‌های مختلف بوده است.

به نظر می‌رسد روش مقاومت مجاز (ASD) ویرایش جدید مبحث دهم، به عنوان پلی میان طراحان انس گرفته با ویرایش‌های قدیمی و مباحث جدید آیین‌نامه‌ای ایجاد شده باشد. در این روش اگرچه بار و تقاضا به صورت بدون ضریب - مشابه با روش قدیمی تنش مجاز - حضور دارند اما نحوه محاسبه ظرفیت اسمی مقاطع دقیقاً مشابه روش حالات حدی بوده و تفاوت در ضرایب اطمینان و نحوه اعمال آن‌ها است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در رابطه مقاومت مجاز، مقدار Ω که همان ضریب اطمینان است، برابر ۱/۶۵ در نظر گرفته شده است. روش تعیین این ضریب اطمینان به صورت زیر است: در صورتی که ΔQ اضافه سربار، Q بار طراحی، R مقاومت در نظر گرفته شده و ΔR، کمبود مقاومت (در اثر عوامل مختلف مانند اجرای بد) برای یک سازه باشد،

$$R_n - \Delta R_n = Q + \Delta Q \quad \Rightarrow \quad R_n\left(1 - \frac{\Delta R_n}{R_n}\right) = Q\left(1 + \frac{\Delta Q}{Q}\right)$$

$$\Omega = \frac{R_n}{Q} = \left(1 + \frac{\Delta Q}{Q}\right) \div \left(1 - \frac{\Delta R_n}{R_n}\right)$$

در صورتی که در رابطه (۳) اثر اضافه بار ($\Delta Q/Q$) برابر ۴۰٪ مقدار اسمی، و کمبود مقاومت ($\Delta R/R$) را برابر ۱۵٪ مقدار اسمی آن در نظر بگیریم؛

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

در آیین نامه AISC-ASD و مبحث دهم (روش تنش مجاز)، مقدار ضریب اطمینان (F.S) برابر ۱/۶۷ در نظر گرفته شده است. در روش حالات حدی، بارهای طراحی توسط ضرایب بزرگتر از واحد افزایش و مقاومت سازه توسط ضرائب کمتر از واحد تقلیل می یابد، این ضرایب تقلیل بسته به نوع بار مقادیر مختلفی دارند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقادیر ضریب اطمینان و ضریب کاهش مقاومت برای روش طراحی ASD و LRFD برای تلاش‌های مختلف:

کاربرد	ضریب کاهش مقاومت ϕ در روش LRFD	ضریب اطمینان در روش ASD
برای اتکایی روی بتن	ϕ_B=0.65	Ω_B=2.31
برای خمش اعضای فولادی	ϕ_b=0.9	Ω_b=1.67
برای فشار محوری	ϕ_c=0.9	Ω_c=1.67
برای فشار محوری ستون‌های مرکب	ϕ_c=0.75	Ω_c=2.0
برای برش در مسیر گسیختگی	ϕ_{sf}=0.75	Ω_{sf}=2.0
برای پیچش اعضا	ϕ_T=0.9	Ω_T=1.67
برای کشش اعضا	ϕ_t=0.9	Ω_t=1.67
برای گسیختگی کششی	ϕ_t=0.75	Ω_t=2.0
گل‌میخ در کشش	ϕ_t=0.75	Ω_t=2.0
برای برش	ϕ_v=0.9-1.0	Ω_v=1.67-1.5
گل‌میخ در برش	ϕ_v=0.65	Ω_v=2.31

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

This book is copyright. All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ویرایش سوم مبحث دهم (۱۳۸۷)

بند ۱۰-۰-۱:

در حال حاضر به هر دو روش تنش مجاز و روش حالات حدی مجاز است، لیکن ترکیب این دو روش و فصل‌های مربوطه به هیچ‌وجه مجاز نمی‌باشد. پس از طی دوره گذر، طراحی به روش حالات حدی، روش اصلی مقررات خواهد شد.

ویرایش چهارم مبحث دهم (۱۳۹۲)

تنها روش طراحی در این ویرایش، روش حالات حدی موسوم به «روش ضرایب بار و مقاومت» است.

ویرایش پنجم مبحث دهم (۱۴۰۱)

ارائهٔ الزامات حالت‌های حدی مقاومت به دو روش، ضرایب بار و مقاومت (LRFD) و مقاومت مجاز (ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی براساس حالت‌های حدی بهره‌برداری

طبق بند ۱۰-۱-۲-۳، حالت‌های حدی بهره‌برداری نظیر تغییرشکل، ارتعاش، پیش‌خیز و ... باید مطابق ضوابط بخش ۱۰-۲-۱۰ مورد کنترل قرار گیرند.

حفاظت در برابر آتش

طبق بند ۱۰-۱-۲-۴، مقاومت سازه در برابر آتش باید با پیش‌بینی تمهیدات خاص تأمین شود. در این مورد رعایت ضوابط مبحث سوم مقررات ملی ساختمان و ضوابط پیوست ۶ این مبحث الزامی است.

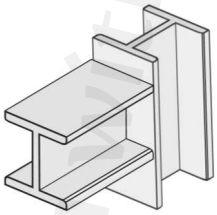
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

ترکیب بارهای طراحی سازه فولادی

طراحی سازه بر اساس مقاومت مجاز: در این روش از ترکیب بارهای حد سرویس استفاده شده و مقاومت مجاز اعضاء از تقسیم مقاومت نهایی اعضا بر یک ضریب اطمینان بزرگتر از یک حاصل می‌شود. ترکیبات بارگذاری برای طراحی براساس مقاومت مجاز طبق ASCE7-16 به صورت زیر است:

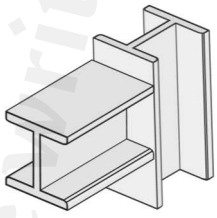
1. D
2. D + L
3. D+ (L_r or S or R)
4. D + 0.75L + 0.75(L_r or S or R)
5. D + (0.6W)
6. D + 0.75L + 0.75(0.6W) + 0.75(L_r or S or R)
7. 0.6D + 0.6W
8. 1.0D + 0.7E_v + 0.7E_h
9. 1.0D + 0.525E_v + 0.525E_h + 0.75L + 0.75S
10. 0.6D − 0.7E_v + 0.7E_h



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

طراحی سازه بر اساس حالات حدی: در این روش از ترکیب بارهای حد نهایی استفاده شده و مقاومت نهایی اعضاء که با یک ضریب کاهشی کم شده باشد با نیروهای در سطح نهایی مقایسه می‌شود. ترکیبات بارگذاری برای طراحی براساس حالات حدی طبق ASCE7-16 به صورت زیر است:

1. 1.4D
2. 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r or S or R)
3. 1.2D + 1.6(Lr or S or R)+(L or 0.5W)
4. 1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r or S or R)
5. 0.9D + 1.0W
6. 1.2D + E_v + E_h + L + 0.2S
7. 0.9D − E_v + E_h



در ترکیب بارهای ۳، ۴ و ۶ فوق، به شرطی که حداقل بار گسترده یکنواخت زنده L_0 کمتر از 4.78 kN/m^2 باشد (به استثناء کف پارکینگ‌ها یا محل‌های اجتماع عمومی)، می‌توان ضریب بار زنده را 0.5 در نظر گرفت. در ترکیب بارهای فوق، E_v نیروی قائم زلزله و E_h نیروی افقی زلزله است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

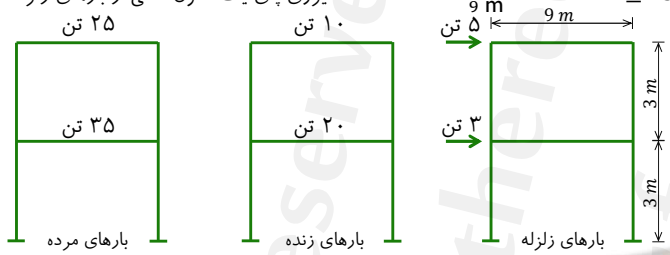
مثال) برای سازه نشان داده شده در شکل زیر، مقدار نیروهای پای ستون‌ها را با استفاده از ترکیب بارهای مبحث ششم، تعیین نمایید. ضریب نامعینی سازه یک فرض شود.

نیروی پای یک ستون ناشی از بارهای مرده $D = \frac{25\ \text{ton} + 3\ \text{ton}}{2} = 30\ \text{ton}$

نیروی پای یک ستون ناشی از بارهای زنده طبقات $L = \frac{20\ \text{ton}}{2} = 10\ \text{ton}$

نیروی پای یک ستون ناشی از بارهای زنده بام $L_r = \frac{10\ \text{ton}}{2} = 5\ \text{ton}$

نیروی پای یک ستون ناشی از بارهای زلزله $E = \frac{5\ \text{ton} \times 6\ \text{m} + 3\ \text{ton} \times 3\ \text{m}}{9\ \text{m}} = \pm 4.33\ \text{ton}$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با مراجعه به مبحث ششم، داریم:

برای ترکیب بار شماره ۵ $F_c = 1.2D + E + 0.5L = 1.2 \times 30 + 4.33 + 0.5 \times 10 = 45.33\ \text{ton}$

برای ترکیب بار شماره ۲ $F_c = 1.2D + 1.6L + 0.5L_r = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 10 + 0.5 \times 5 = 54.5\ \text{ton}$

برای ترکیب بار شماره ۷ $F_c = 0.9D + E = 0.9 \times 30 - 4.33 = 22.67\ \text{ton}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش‌های تحلیل سازه:

هدف از تحلیل سازه‌ها، تعیین مقاومت موردنیاز یا نیروهای داخلی اعضا، اجزاء و اتصالات مختلف سازه و تعیین تغییرشکل‌ها و تغییرمکان‌های سازه تحت ترکیبات بارگذاری موردنظر به لحاظ مشخصات هندسی و مکانیکی آنها است. در این مبحث روش‌های تحلیل الاستیک با رعایت الزامات بخش ۱۰-۲-۱ (الزامات پایداری) موردپذیرش هستند.

در مواردی که براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران از روش‌های تحلیل غیرالاستیک (غیرخطی مصالح) در ترکیبات بارگذاری شامل نیروی زلزله استفاده شود، کلیهٔ ضوابط آن مبحث برای سختی، مقاومت و ظرفیت شکل‌پذیری اعضا، اجزاء و اتصالات به همراه در نظر گرفتن آثار مرتبه دوم (P-δ و P-Δ) باید رعایت شود.

برای کنترل معیارهای طراحی در حالت‌های حدی بهره‌برداری، تنها استفاده از روش‌های تحلیل الاستیک با رعایت الزامات بخش ۱۰-۲-۱ مورد پذیرش است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فولادهای سازه‌ها

فولاد سازه‌ای باید دارای مقاومت و شکل‌پذیری مناسب بوده و کاملاً 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 مورداشاره، در صورت نیاز باید در نقشه‌های اجرائی و مدارک فنی طرح معرفی گردیده یا به استانداردی که مشخصه‌های موردنظر را محدود نموده است، ارجاع داده شود.

در این مبحث، مقدار مدول الاستیسیتهٔ (ضریب ارتجاعی) مصالح فولادی (E) مساوی 2×10^5 مگاپاسکال و مقدار نسبت پواسون مصالح فولادی (ν) مساوی 0.3 در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطابق این مبحث، تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد سازه‌ای (F_y) نباید از ۴۶۰ مگاپاسکال بیشتر باشد.

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

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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

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

ب) ردهٔ J0: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی آن حداقل ۲۷ ژول در دمای صفر درجه سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی، شرایط پذیرش این رده آسانتر از شرایط پذیرش ردهٔ J2 اما سختگیرانه‌تر از شرایط پذیرش ردهٔ JR است.

پ) ردهٔ J2: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی آن حداقل ۲۷ ژول در دمای -20 درجه سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی، شرایط پذیرش این رده هم از شرایط پذیرش ردهٔ JR و هم از شرایط پذیرش ردهٔ J0 سختگیرانه‌تر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۱-۱*: نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی مطابق استانداردهای ISIRI 14262 (جدید ایران)، ISIRI 1600 (قدیم ایران)، EN 10025 (اتحادیه اروپا) و ISO 630-2 (بین‌المللی)

**نام ردهٔ فولاد مطابق استاندارد جدید ایران، EN و ISO	نام ردهٔ فولاد مطابق استاندارد قدیم ایران	ضخامت (mm)	تنش مشخصه (F_y) (MPa)	تنش کششی نهایی (MPa)	کرنش نهایی (ε_u)%
-	St-34	t≤16 16<t≤40	205 195	330-410	28
S235	St-37	t≤16 16<t≤40 40<t≤100	235 225 215	360-510	22-26
S275	St-44	t≤16 16<t≤40 40<t≤63 63<t≤80 80<t≤100	275 265 255 245 235	410-560	19-23
-	St-50	t≤16 16<t≤40 40<t≤63	295 285 275	490-610	20
S355	St-52	t≤16 16<t≤40 40<t≤63 63<t≤80 80<t≤100	355 345 325 315	470-630	18-22
S450	-	t≤16 16<t≤40 40<t≤63 63<t≤80 80<t≤100	450 430 410 390 380	550-720	17
S460	-	t≤16 16<t≤40 40<t≤63 63<t≤80 80<t≤100	460 440 430 410 400	540-730	17

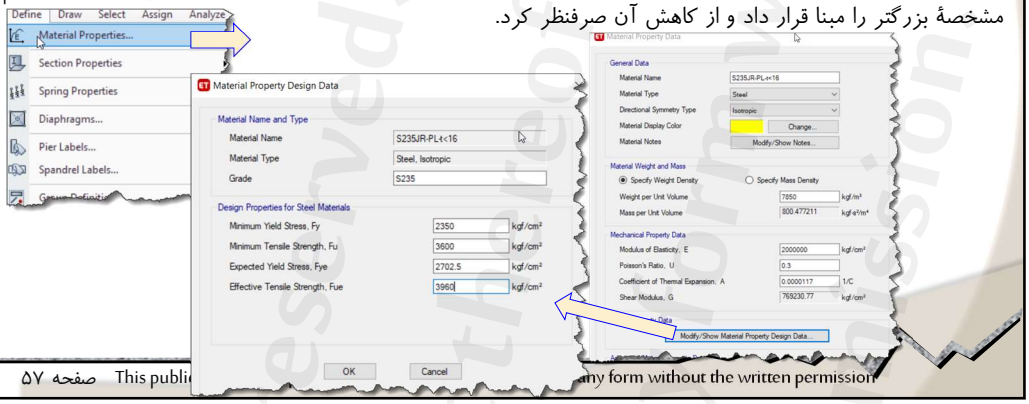
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

توضیحات جدول ۱۰-۱-۱ مبحث دهم:

* در صورت استفاده از رده‌های فولاد این جدول برای شرایط لرزه‌ای، تأمین کلیهٔ الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است.

** برای رده‌های فولاد این جدول، تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد (F_u) باید برابر حد پایین تنش کششی نهایی در نظر گرفته شود. همچنین در تحلیل و طراحی، برای ضخامت‌های مساوی یا کوچکتر از ۴۰ میلیمتر می‌توان تنش تسلیم مشخصهٔ بزرگتر را مبنا قرار داد و از کاهش آن صرفنظر کرد.



 This publi... ...my form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۱-۲*: نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی بهبودیافته برای شرایط لرزه‌ای مطابق استانداردهای ISIRI 12065 و ISO 24314

کرنش نهایی ٪ (ε_u)	نسبت تنش تسلیم به تنش کششی نهایی (٪)	تنش کششی نهایی (MPa)	تنش تسلیم (F_y) (MPa)	ضخامت (mm)	نام ردهٔ فولاد** مطابق استاندارد ISIRI 12065 و ISO 24314
21	-- ≤80 ≤80 ≤80	400-510	235 - 355 235 - 355 235 - 355 215 - 335	6 ≤ t < 12 12 ≤ t < 16 16 ≤ t < 40 40 ≤ t ≤ 125	S235S
20	-- ≤80 ≤80 ≤80	490 - 610	325 – 445 325 – 445 325 – 445 295 – 415	6 ≤ t < 12 12 ≤ t < 16 16 ≤ t < 40 40 ≤ t ≤ 125	S325S
19	≤85 ≤85 ≤85 ≤85	≥ 450	345 – 450 345 – 450 345 – 450 345 – 450	6 ≤ t < 12 12 ≤ t < 16 16 ≤ t < 40 40 ≤ t ≤ 125	S345S

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

توضیحات جدول ۱۰-۱-۲ مبحث دهم:

* برای رده‌های S235S و S325S الزامات لرزه‌ای مصالح مقررشده در فصل ۱۰-۳ برای حداکثر نسبت تنش تسلیم به تنش کششی نهایی و حداقل طاقت نمونهٔ شیار داده شدهٔ شارپی، مطابق استاندارد این دو رده فولاد تضمین می‌شوند، لیکن رعایت سایر الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است.

برای ردهٔ S345S، در صورت استفاده در سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای معمولی که از اعضای آنها انتظار رفتار فرا ارتجاعی حداقل می‌رود، الزامات لرزه‌ای مقررشده در فصل ۱۰-۳ برای حداکثر نسبت تنش تسلیم به تنش کششی نهایی و حداقل طاقت نمونهٔ شیار دادهشدهٔ شارپی، مطابق استاندارد این رده فولاد تضمین می‌شوند، اما رعایت سایر الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است. در صورت استفاده از این رده در سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای متوسط یا ویژه که از اعضای آنها انتظار رفتار فرا ارتجاعی محدود یا قابل ملاحظه می‌رود، تأمین کلیهٔ الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است.

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

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۱-۳*: نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی مطابق انجمن مصالح آمریکا

نام ردهٔ فولاد مطابق استاندارد ASTM **	**ضخامت (mm)**	**تنش مشخصه (F_y) (MPa)**	**تنش کششی نهایی (MPa)**	**کرنش نهایی (ε_u)%**
ASTM A36	t≤200 t>200	250 220	550-400	21
ASTM A572 Grade 42 Grade 50 Grade 55 Grade60 Grade65	تمام ضخامت‌ها	290 345 380 415 450	415 450 485 520 550	24 21 20 18
ASTM A588 Grade B Grade C	تمام ضخامت‌ها	345 345	485 485	21 21
ASTM A709 Grade 36 Grade50 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

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

توضیحات جدول ۱۰-۱-۳ مبحث دهم:

* در صورت استفاده از رده‌های فولاد این جدول برای شرایط لرزه‌ای، تأمین کلیهٔ الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است.

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

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۱-۴*: نام و مشخصات مکانیکی انواع فولادهای ساختمانی JIS G 3136 ژاپن

نام ردهٔ فولاد مطابق استاندارد **JIS G 3136**	**ضخامت (mm)**	**تنش مشخصه (MPa) (F_y)**	**تنش کششی نهایی (MPa)**	**نسبت تنش تسلیم به تنش کششی نهایی (%)**	**کرنش نهایی %(ε_u)**
SN400A	6≤ t<12	235	400 – 510	-	17
	12≤t<16	235		-	17
	16	235		-	21
	16<t≤40	235		-	21
	40<t≤100	215		-	2
SN400B	6≤ t<12	235	400 – 510	-	18
	12≤t<16	235 - 355		≤80	18
	16	235 - 355		≤80	22
	16<t≤40	235 - 355		≤80	22
	40<t≤100	215 - 335		≤80	24
SN400C	6≤ t<12	-	400 – 510	-	18
	12≤t<16	-		-	18
	16	235 - 355		≤80	22
	16<t≤40	235 - 355		≤80	22
	40<t≤100	215 - 335		≤80	24
SN490B	6≤ t<12	325	490 – 610	-	17
	12≤t<16	325 – 445		≤80	17
	16	325 – 445		≤80	21
	16<t≤40	325 – 445		≤80	21
	40<t≤100	295 – 415		≤80	23
SN490C	6≤ t<12	-	490 – 610	-	17
	12≤t<16	-		-	17
	16	325 – 445		≤80	21
	16<t≤40	325 – 445		≤80	21
	40<t≤100	295 – 415		≤80	23

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

توضیحات جدول ۱۰-۱-۴ مبحث دهم:

* در صورت استفاده از رده‌های فولاد این جدول برای شرایط لرزه‌ای، تأمین کلیهٔ الزامات لرزه‌ای مصالح، مطابق بخش‌های ۱۰-۳-۲ (الزامات عمومی لرزه‌ای)، ۱۰-۳-۷ (اتصالات از پیش تایید شده) و ۱۰-۴-۹ (کنترل و تضمین کیفیت اجرا) این مبحث ضروری است.

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

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پیچ و مهره و واشر

مشخصات مکانیکی انواع پیچ، مهره و واشر باید مطابق استانداردهای معرفی شده در پیوست ۱ باشد. مشخصات مکانیکی انواع مختلف پیچ‌ها در جدول ۱۰-۱-۵ ارائه شده است. مشخصهٔ موردنیاز برای واشرها، هندسه و سختی آنها است. شرایط کاربردی مهره‌ها و واشرها باید سازگار با پیچ‌ها و مطابق الزامات بخش ۱۰-۴-۵ باشد

نوع پیچ	ISIRI 2874 EN-ISO 898	ASTM	تنش مشخصه (MPa) (F_y)	تنش کششی نهایی (MPa)	کرنش نهایی $\%(\varepsilon_u)$
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	کاربرد ندارد	800	12
	10.9	A490 F2280	کاربرد ندارد	1000	9
	12.9	-	کاربرد ندارد	1200	9

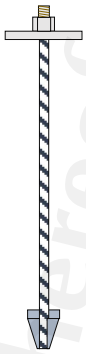
در اتصالات پیش‌تنیده و لغزش بحرانی فقط از پیچ‌های پرمقاومتی می‌توان استفاده کرد که مطابق استاندارد مربوطه، دارای قابلیت پیش‌تنیدگی باشند. پیچ‌هایی دارای قابلیت پیش‌تنیدگی هستند که پیچ، مهره و واشر مطابق استاندارد معتبر نظیر EN ISO 14399 تولید شده باشند

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

میله‌های دندانه‌شده و میل مهارها

در سازه‌های فولادی، میله‌های دندانه‌شدهٔ دو سر رزوه و میل‌مهار کف‌ستون‌ها می‌تواند از نوع پیچ‌ها مطابق با الزامات بند ۱۰-۱-۴-۳ باشد. برای میل‌مهارها استفاده از میلگرد ساده و آجدار مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان مجاز است. همچنین برای میل‌مهارها استفاده از میلگرد سادهٔ پرمقاومت از نوع CK45 با مشخصات مکانیکی F_u =600 MPa، F_y =400 Mpa و ε_u=25% مطابق با استانداردهای معتبر مجاز است



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

معرفی مصالح مصرفی جوشکاری

مصالح مصرفی جوشکاری شامل انواع الکترود، سیم جوشکاری، پودر و گاز می‌شود. استانداردهای معتبر مورد قبول این مبحث در زمینهٔ مصالح فوق، در پیوست ۱ آمده است. همچنین در جدول ۱۰-۱-۶ مشخصات مکانیکی فولاد مغزه الکترودهای جوشکاری قوس الکتریکی خود حفاظ معرفی شده است. سایر مشخصات الکترود نظیر جنس روکش، قطبیت و مناسب بودن برای وضعیت‌های مختلف جوشکاری در استانداردهای معتبر مورد قبول این مبحث، به صورت شناسه‌های عددی پس از تنش کششی نهایی مشخصهٔ الکترود برحسب ksi ذکر شده است.

جدول ۱۰-۱-۶ مشخصات مکانیکی فولاد مغزهٔ رده‌های اصلی الکترود جوشکاری براساس استانداردهای موردقبول این مبحث

کرنش نهایی $\%(\varepsilon_u)$	تنش کششی نهایی مغزه الکترود (F_{ue}) (MPa)	AWS A5.1M	AWS A5.1	EN-ISO 2560	ISIRI 871
25	430	-	-	-	E-1
22	430	E43	E60	E43	E-2
18	490	E49	E70	E49	E-3
18	510	-	-	-	E-4
22	550	E55	E80	E55	E-5

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پس از طراحی و محاسبهٔ سازه توسط مهندس محاسب، تهیهٔ مدارک فنی شامل مدارک طراحی (فایل‌های محاسباتی و جزئیات طراحی اجزاء و اتصالات)، نقشه‌های طراحی اعضا، اجزاء و اتصالات با جزئیات کامل، مشخصات فنی عمومی و خصوصی، علائم و یادداشت‌های فنی و اطلاعات تکمیلی موردنیاز نظیر میزان پیش‌خیز در ساخت قطعات، الزامی است. در مدارک فنی موارد زیر نیز باید رعایت شوند:

الف) نقشه‌های طراحی باید اطلاعات کامل مقاطع، محل قرار گرفتن اعضای سازه نسبت به یکدیگر، تراز کف‌های ساختمانی، محورهای مار بر مرکز ستون‌ها، پیش‌آمدگی‌ها و پس‌رفتگی‌ها با اندازه‌ها و اطلاعات مربوط به اتصالات و وصله‌ها را شامل باشد، به‌طوریکه با مراجعهٔ به آنها پیمانکار بتواند نقشه‌های اجرایی کارگاهی را تهیه نماید.

ب) در مدارک فنی باید سیستم سازه‌ای مقاوم در برابر بارهای ثقلی و نیروهای جانبی (مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان) معرفی شود. همچنین این مدارک باید حاوی اطلاعات کلی در مورد مقادیر بارهای وارده باشد؛ به‌طوریکه با مراجعه به آنها بتوان نقشه‌های طراحی را کنترل کرد.

پ) در مدارک فنی باید از حروف و علائمی که به‌طور استاندارد از طرف مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شود، استفاده شود. در صورت ناکافی بودن آنها، استفاده از علائم دیگر به همراه توضیحات کافی به‌منظور جلوگیری از هرگونه اشتباه و سوءتعبیر احتمالی مجاز است.

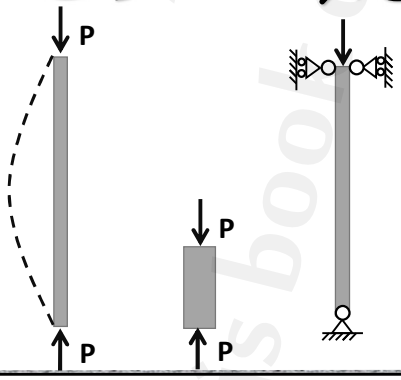
یادداشت‌های فنی برای تفهیم روش کار یا نتایج موردنظر باید روشن و واضح باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل دوم

الزامات تحلیل و طراحی برای تامین پایداری



DESIGN FOR STABILITY

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

در بخش ۱۰-۲-۱ مبحث دهم به این مهم پرداخته شده است. در این راستا آثار مرتبه دوم P-δ و P-Δ از اهمیت بسزایی برخوردار است. وقتی یک سازه تحت بارهای جانبی قرار گیرد، به سبب لنگرهای مضاعف ایجاد شده در سازه بخاطر جابجایی جانبی آن، میزان لنگرها و نیروهای بدست آمده ثانویه، بیشتر از حالتی است که تحلیل مرتبه اول انجام شده باشد. این اثرات مرتبه دوم در اثر جابجایی کلی قاب و همچنین انحنای اعضاء در اثر خمش ایجاد شده در آنها، بوجود می‌آید.

AISC360-22

C1. GENERAL STABILITY REQUIREMENTS

Stability shall be provided for the structure as a whole and for each of its elements. The effects of all of the following on the stability of the structure and its elements shall be considered: (a) flexural, shear, and axial member deformations, and all other component and connection deformations that contribute to the displacements of the structure; (b) second-order effects (including P-Δ and P-δ effects); (c) geometric imperfections; (d) stiffness reductions due to inelasticity, including the effect of partial yielding of the cross section which may be accentuated by the presence of residual stresses; and (e) uncertainty in system, member, and connection strength and stiffness. All load-dependent effects shall be calculated at a level of loading corresponding to LRFD load combinations or 1.6 times ASD load combinations.

صفحه ۶۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۱-۱ این بخش، پایداری کل سازه و تمامی اجزای آن در صورتی تأمین می‌شود که آثار ذکرشده در زیر به نحو مؤثری در تحلیل و طراحی آنها لحاظ شده باشند.

۱) تغییرشکل‌های محوری، خمشی و برشی اعضای سازه و تغییرشکل‌های سایر اجزاء (نظیر اتصالات) که در جابجایی سازه مؤثرند.

۲) آثار مرتبه دوم (شامل آثار P-δ و P-Δ)

۳) نواقص هندسی (شامل کجی و ناشاقولی)

۴) کاهش سختی اعضا ناشی از رفتار غیرالاستیک و اثر تنش‌های پسماند

۵) عدم قطعیت در برآورد سختی و مقاومت

روش تحلیل مورد استفاده باید تمامی آثار فوق را لحاظ نماید. به منظور حصول اطمینان از این اهداف، استفاده از دو روش «تحلیل مستقیم» و «طول مؤثر» در طراحی برای تأمین پایداری سازه‌های فولادی و مختلط مجاز است.

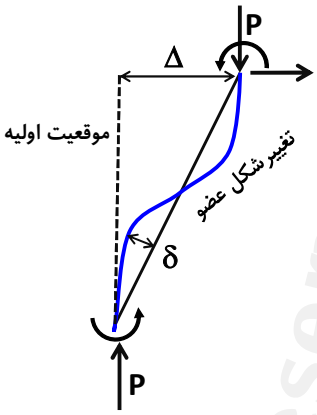
صفحه ۷۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

آثار مرتبه دوم P-δ و P-Δ

مطابق بند ۱۰-۲-۱-۱، در اعضای فولادی مقاومت‌های موردنیاز که از تحلیل سازه به دست می‌آیند، باید شامل آثار مرتبه دوم باشند. این آثار شامل موارد زیر است:

الف) آثار مرتبه دوم P-δ: آثار P-δ به آثار اضافی ناشی از بارها گفته می‌شود که به علت وجود تغییرشکل در فاصلهٔ دو انتهای هر یک از اعضا به وجود می‌آید.



ب) آثار مرتبه دوم P-Δ: آثار P-Δ به آثار اضافی بارها به علت تغییرمکان جانبی نسبی کل سیستم سازه‌ای مربوط می‌شود و سبب ایجاد نیروهای اضافی داخلی در اعضا می‌شوند که به علت برون محوری ناشی از تغییرمکان جانبی یک انتهای عضو نسبت به انتهای دیگر آن به وجود می‌آیند. تغییرمکان جانبی نسبی دو انتهای عضو ممکن است به علت بارهای قائم یا بارهای جانبی یا ترکیبی از آنها باشد.

AISC360-22

P-δ effect. Effect of loads acting on the deflected shape of a member between joints or nodes.

P-Δ effect. Effect of loads acting on the displaced location of joints or nodes in a structure. In tiered building structures, this is the effect of loads acting on the laterally displaced location of floors and roofs.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

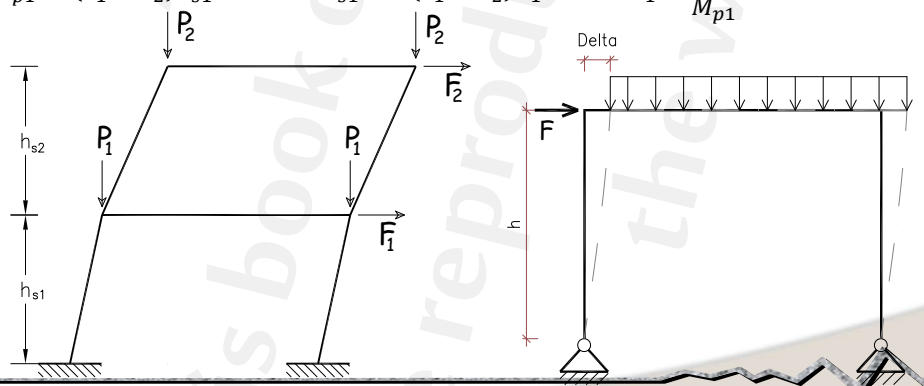
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بعنوان یک شاخص، نسبت لنگر ثانویه (PΔ) به لنگر اولیه (Fh) را شاخص پایداری می‌نامند و با نماد θ نمایش داده می‌شود.

$$\theta = \frac{P\Delta}{Fh}$$

$$M_{p2} = F_2 h_{s2} \qquad M_{s2} = 2P_2\Delta_2 \quad \Rightarrow \quad \theta_2 = \frac{M_{s2}}{M_{p2}}$$

$$M_{p1} = (F_1 + F_2)h_{s1} \qquad M_{s1} = 2(P_1 + P_2)\Delta_1 \quad \Rightarrow \quad \theta_1 = \frac{M_{s1}}{M_{p1}}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

معمولاً از روش تکرار برای تعیین اثرات پی دلتا استفاده می‌شود. در هر سیکل، برش طبقه به صورت زیر اصلاح می‌شود.

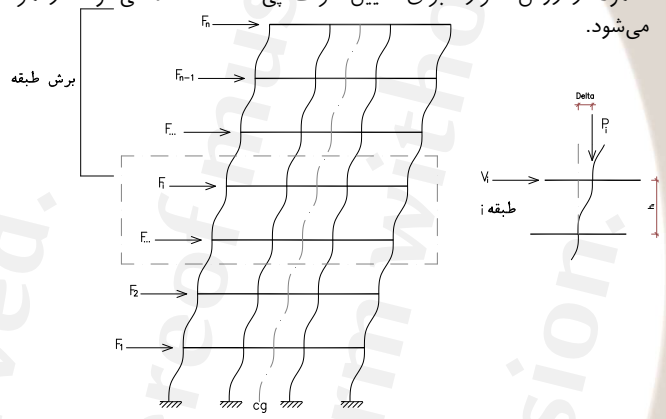
$$\Sigma V_i = \Sigma V_1 + \frac{(\Sigma P)\Delta_{i-1}}{h}$$

$$M_i = V_i h_i$$

$$\Delta M_i = P_i \Delta_i$$

$$\theta_i = \frac{\Delta M_i}{M_i} = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i}$$

$$\Delta V_i = \frac{\Delta M_i}{h_i} = \frac{P_i \Delta_i}{h_i} = \theta_i V_i$$



در این روش بعد از تحلیل مرتبه اول، جابجایی طبقات بدست آمده و برش ثانویه حاصل از جابجایی طبقه با برش حاصل از گام قبل جمع شده تا برش طبقه در گام جدید بدست آید. بدین صورت نیروی جانبی طبقات اصلاح شده و جابجایی‌های جدید تعیین می‌شوند. روند تکرار تا رسیدن به همگرایی مناسب در تغییرشکل‌های نسبی ادامه می‌یابد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که حاصل این برش اضافی یک تغییرمکان اضافی برابر با $\theta_i\Delta_i$ را در پی خواهد داشت. مجدداً تغییرمکان $\theta_i\Delta_i$ لنگر ثانویه جزئی‌تری برابر $P_i\theta_i\Delta_i$ تولید می‌نماید که حاصل آن برش $\theta^2_i V_i$ و تغییرمکان نسبی $\theta^2_i\Delta_i$ خواهد بود. با ادامه این روند، $M_{i\Delta}$ لنگر نهایی چنین خواهد بود:

$$M_{i\Delta} = M_i\left(1 + \theta_i + \theta_i^2 + \theta_i^3 + \ldots\right)$$

که یک تصاعد هندسی با قدر نسبت کمتر از یک است و حد آن بصورت زیر خواهد بود:

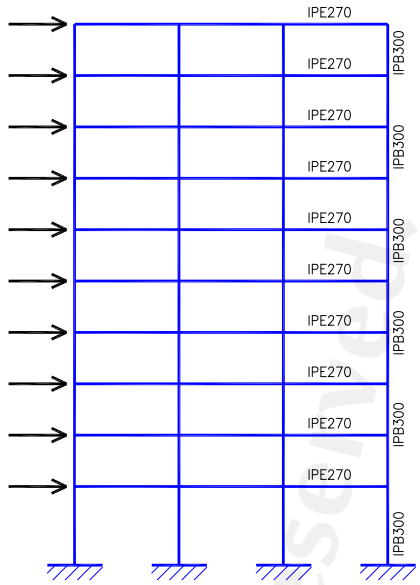
$$M_{i\Delta} = \frac{M_i}{1-\theta_i}$$

برش و جابجایی نهایی طبقه i، نیز بصورت مشابه بصورت زیر خواهد بود:

$$\bar{\Delta}_i = \frac{\Delta_i}{1-\theta_i} \qquad V_{i\Delta} = \frac{V_i}{1-\theta_i}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



مثال) تحلیل P-Delta برای یک قاب فولادی؛ برای یک سازه ۱۰ طبقه بصورت قاب خمشی فولادی، با استفاده از روش تکرار، نتایج حاصل از تحلیل مرتبه اول را اصلاح نمایید. ارتفاع تمام طبقات بجز طبقه اول، **3.66** متر و طبقه اول **4.57** متر است. بار ثقلی و نیروی جانبی هر طبقه داده شده است

تراز	ارتفاع طبقه	نیروهای ثقلی ΣP	نیروی جانبی V(ton)	برش طبقه ΣV_1 (ton)	جابجایی جانبی (cm)	جابجایی نسبی Δ_1
10	3.66	81.65	13.71	13.71	20.31	1.31
9	3.66	179.62	9.95	23.66	19.00	1.87
8	3.66	277.60	8.88	32.54	17.13	1.99
7	3.66	375.57	7.80	40.34	15.13	2.30
6	3.66	473.55	6.73	47.06	12.83	2.28
5	3.66	571.53	5.65	52.71	10.55	2.32
4	3.66	669.50	4.57	57.29	8.22	2.13
3	3.66	767.48	3.50	60.79	6.10	2.20
2	3.66	865.45	2.42	63.20	3.89	1.95
1	4.57	963.43	1.35	64.55	1.94	1.94

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثلا برای طبقه هشتم داریم:

$$\frac{(\sum P)\Delta_1}{h} = \frac{277.6 \times 1.99}{366} = 1.51\ ton$$

بنابراین برش اصلاح شده در این طبقه برابر است با:

$$\sum V_2 = \sum V_1 + \frac{(\sum P)\Delta_1}{h} = 32.54 + 1.51 = 34.05\ ton$$

در جدول زیر نتایج حاصل از تکرار اول نشان داده شده است. در تکرار دوم، نتایج همگرا شده و جواب مطلوب حاصل می‌شود.

نتایج تکـــــرار اول					
تراز	$\Sigma P\Delta_1/h$	$\Sigma V_1+\Sigma P\Delta_1/h$	نیروی جانبی اصلاح شده(ton) V_2	جابجایی جانبی اصلاح شده(cm) D_2	جابجایی نسبی Δ_2
10	0.29	14.00	14.00	21.53	1.35
9	0.92	24.58	10.58	20.18	1.95
8	1.51	34.05	9.47	18.23	2.09
7	2.37	42.70	8.65	16.14	2.44
6	2.96	50.02	7.32	13.71	2.43
5	3.63	56.34	6.32	11.28	2.48
4	3.90	61.18	4.85	8.80	2.28
3	4.62	65.41	4.22	6.52	2.36
2	4.62	67.82	2.41	4.16	2.09
1	4.09	68.65	0.83	2.07	2.07

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

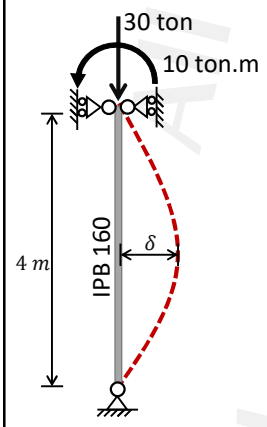
نتایج تکـــــرار دوم

تراز	$\Sigma P\Delta_2/h$	$\Sigma V_2+\Sigma P\Delta_2/h$	نیروی جانبی اصلاح شده V_3 (ton)	جابجایی جانبی اصلاح شده D_3 (cm)	جابجایی نسبی Δ_3
10	0.29	14.29	14.29	21.61	1.35
9	0.92	25.50	11.21	20.26	1.95
8	1.51	35.57	10.07	18.31	2.10
7	2.37	45.07	9.50	16.21	2.45
6	2.96	52.98	7.91	13.76	2.43
5	3.63	59.97	6.99	11.33	2.49
4	3.90	65.08	5.11	8.84	2.29
3	4.62	70.03	4.95	6.55	2.37
2	4.62	72.44	2.41	4.18	2.10
1	4.09	72.74	0.30	2.08	2.08

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در سازه نشان داده شده در شکل زیر، اثرات مرتبه دوم را بررسی نمایید.



برای سعی اولیه داریم:

$$\delta_{1st} = \frac{Ml^2}{8EI} = \frac{(10 \times 10^5) \times 400^2}{8 \times 2 \times 10^6 \times 2490} = 4\ cm$$

$$M_{2nd} = 30 \times \frac{4}{100} = 1.2\ ton.m$$

$$M_r = 10 + 1.2 = 11.2\ ton.m$$

$$Amplifaction\ Factor = \frac{11.2}{10} = 1.12$$

برای تکرار دوم داریم:

$$\delta_{2nd} = \frac{Ml^2}{8EI} = \frac{(1.2 \times 10^5) \times 400^2}{8 \times 2 \times 10^6 \times 2490} = 0.48\ cm$$

$$M_{3th} = 30 \times \frac{0.48}{100} = 0.144\ ton.m$$

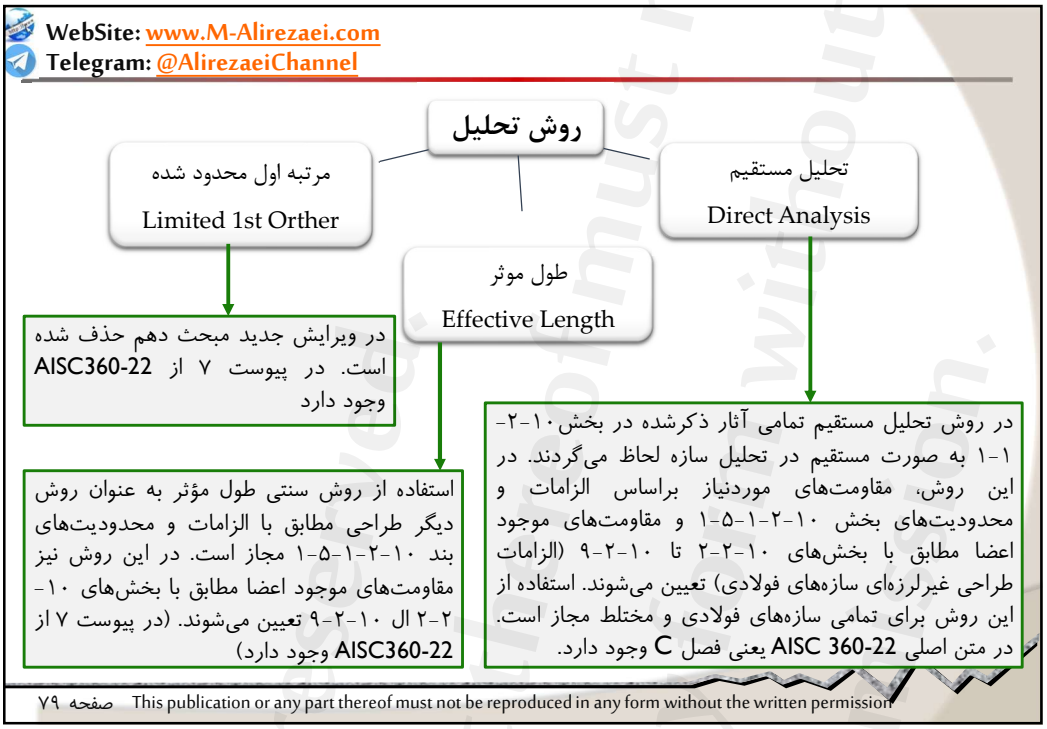
$$M_r = 10 + 1.2 + 0.144 = 11.34\ ton.m$$

$$Amplifaction\ Factor = \frac{11.34}{10} = 1.13$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۷۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش تحلیل مستقیم

در ویرایش جدید AISC (ویرایش ۲۰۰۵ به بعد) روش جدیدی تحت عنوان روش تحلیل و طراحی مستقیم در کنار روش‌های طراحی تنش مجاز و حالات حدی ارائه شده است. در این روش اثرهای ثانویه، تنش‌های پسماند و خطاهای هندسی بطور مستقیم در تحلیل لحاظ می‌شوند.

طبق بند ۱۰-۲-۱-۳-الف در روش تحلیل مستقیم تمامی آثار ذکرشده در بند ۱۰-۲-۱-۱ (الزامات عمومی پایداری) به صورت مستقیم در تحلیل سازه لحاظ می‌گردند. در این روش، مقاومت‌های موردنیاز براساس الزامات و محدودیت‌های بخش ۱۰-۲-۱-۵-۱ (الزامات و محدودیت‌های روش تحلیل مستقیم) و مقاومت‌های موجود اعضا مطابق با بخش‌های ۱۰-۲-۲ تا ۱۰-۲-۹ (تمام ضوابط غیرلرزه‌ای مبحث دهم به غیر از بخش پایداری) تعیین می‌شوند. استفاده از این روش برای تمامی سازه‌های فولادی و مختلط مجاز است.

محدودیت‌ها و الزامات روش تحلیل مستقیم

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز اعضا و طراحی آنها و تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم، باید محدودیت‌ها و الزامات زیر تأمین شوند:

الف- محدودیت‌ها

در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم هیچگونه محدودیتی وجود ندارد.

صفحه ۸۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب- الزامات

۱) تحلیل سازه مطابق بند ۱۰-۲-۱-۴ (روش تحلیل مرتبه دوم) براساس یکی از روش‌های تحلیلی مرتبه دوم باشد.

۲) مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ آثار نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی) در تحلیل مرتبه دوم منظور شود.

۳) مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۲ تحلیل مرتبه دوم براساس سختی کاهش‌یافته اعضا صورت گیرد.

۴) مقاومت موجود کلیهٔ اعضای دارای بار محوری فشاری با ضریب طول مؤثر یک K=1 تعیین شود.

ملاحظات نواقص هندسی اولیه

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ در روش تحلیل مستقیم، آثار نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی اعضا) باید از طریق مدل کردن این نواقص در تحلیل مرتبهٔ دوم سازه انجام پذیرد. در سازه‌هایی که بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل می‌شوند، به جای در نظر گرفتن نواقص هندسی اولیه در مدلسازی، می‌توان به شرح زیر یک بار جانبی فرضی در طبقات ساختمان اعمال نمود:

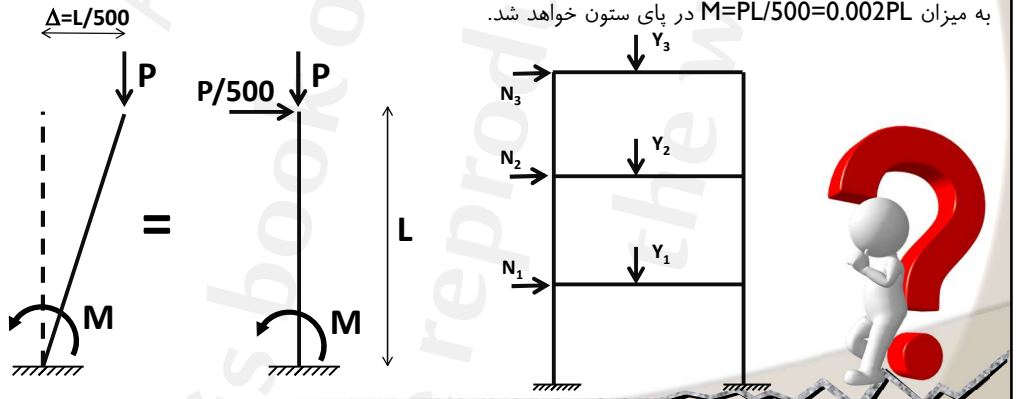
$$N_i = 0.002\alpha Y_i$$

در رابطه فوق، α=1.6 (ASD) α=1.0 (LRFD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن، مقدار N_i بار جانبی فرضی در طبقهٔ iام، Y_i بار ثقلی در طبقهٔ iام متناسب با ضرایب بار به‌کاررفته در ترکیبات مختلف بارگذاری در هنگام اعمال بار جانبی فرضی (N_i) به طبقات ساختمان، است. اگر در سازه‌ای بارهای جانبی حاکم باشند، بارهای فرضی تاثیر محسوسی در عملیات طراحی نخواهند داشت. بارهای فرضی بایستی مانند بارهای زلزله بصورت رفت و برگشتی معرفی شوند. مطابق شکل زیر، در صورتی که به این میزان خروج از مرکزیت برای ستون در نظر گرفته شود، لنگر $M=P\Delta=PL/500$ در اثر این خروج از مرکزیت ایجاد خواهد شد. برای در نظر گرفتن این اثر، آیین‌نامه در تحلیل سازه، یک نیروی خیالی به میزان P/500 در بالای ستون در نظر می‌گیرد که باعث ایجاد یک لنگر به میزان $M=PL/500=0.002PL$ در پای ستون خواهد شد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این ارتباط توجه به نکات زیر ضروری است:

۱) توزیع بار جانبی فرضی در کف هر طبقه باید مشابه توزیع بارهای ثقلی در کف همان طبقه در نظر گرفته شود.

۲) بار جانبی فرضی (N_i) باید به کلیهٔ ترکیبات بارگذاری اضافه شود. در مواردی که نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه اول تحت اثر ترکیبات بارگذاری LRFD یا 1.6 برابر ترکیبات بارگذاری ASD (یا به طور تقریبی مقدار ضریب تشدید B_2 در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته) با احتساب سختی کاهش یافتهٔ اعضا (مطابق تنظیمات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۲) در کلیهٔ طبقات کوچکتر یا مساوی 1.7 باشد، می‌توان بارهای جانبی فرضی (N_i) را فقط در ترکیبات بارگذاری ثقلی منظور نمود و از اثر آنها در ترکیبات بارگذاری شامل بارهای جانبی صرفنظر نمود.

۳) بارهای جانبی فرضی باید در راستایی به سازه اعمال شود که بیشترین اثر ناپایداری را داشته باشد. در ترکیبات بارگذاری ثقلی، بارهای جانبی فرضی باید به طور مجزا در دو راستای متعامد و به صورت رفت و برگشت در نظر گرفته شود.

تبصره: کاربرد ملاحظات نواقص هندسی اولیه فقط برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز اعضا محدود می‌گردد و برای سایر مقاصد طراحی (نظیر کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، کنترل خیز تیرها، کنترل ارتعاش اعضا و کف‌ها و محاسبهٔ زمان تناوب اصلی ساختمان) در نظر گرفتن آثار نواقص هندسی اولیه ضروری نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کاهش سختی اعضا

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۲ در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز در تحلیل مرتبه دوم، باید به شرح زیر از ضرایب کاهش سختی استفاده شود:

۱) ضریب کاهش 0.8 برای کلیهٔ سختی‌هایی که در پایداری سازه مؤثرند. اعمال این ضریب کاهش برای کلیهٔ سختی‌های تمامی اعضا، حتی اگر در پایداری سازه نقشی نداشته باشند، نیز مجاز است.

۲) علاوه بر ضریب کاهش 0.8 یک ضریب کاهش اضافی τ_b نیز به شرح زیر در سختی خمشی اعضایی که در پایداری سازه مؤثر هستند:

که در آن $(EI)^*$ صلبیت خمشی کاهش‌یافتهٔ عضو، E مدول الاستیسیتهٔ فولاد، I ممان اینرسی مقطع عضو حول محور خمش، τ_b ضریب کاهش اضافی سختی خمشی مطابق رابطهٔ زیر:

$$(EI)^* = 0.8\tau_b EI \quad , \quad \tau_b = \begin{cases} 1.0 & \frac{\alpha P_r}{P_y} \le 0.5 \\ 4\frac{\alpha P_r}{P_y}\left(1 - \frac{\alpha P_r}{P_y}\right) & \frac{\alpha P_r}{P_y} > 0.5 \end{cases}$$

در رابطه فوق، α=1.6 (ASD) α=1.0 (LRFD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

همچنین P_r مقاومت محوری فشاری موردنیاز و P_y مقاومت تسلیم محوری عضو $P_y=A_gF_y$ است. درصورتی‌که عضو فشاری لاغر باشد، در تعیین مقاومت تسلیم محوری باید از مساحت مؤثر مقطع (A_e) استفاده شود.

استثناء: در اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن یا محاط در بتن، مقدار τ_b باید برابر 0.8 در نظر گرفته شود.

۳) وقتی از روش بار جانبی فرضی برای مدلسازی نواقص هندسی اولیه استفاده شده است، به جای استفاده از τ_b متغیر در رابطهٔ اخیر به منظور کاهش اضافی سختی خمشی اعضا، می‌توان مقدار τ_b را برای کلیهٔ نسبت‌های P_r/P_y برابر یک فرض کرد، مشروط بر اینکه یک بار جانبی فرضی اضافی برابر $0.001\alpha Y_i$ به کلیهٔ طبقات ساختمان اعمال شود. این بار جانبی فرضی اضافی باید در کلیهٔ ترکیبات بارگذاری به همراه بارهای جانبی و بارهای جانبی فرضی در اثر نواقص هندسی اولیه در نظر گرفته شود. مورد ۲ از بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ شامل این بار جانبی اضافی نمی‌شود.

۴) چنانچه در یک سیستم سازه‌ای برای تأمین پایداری آن از اعضایی با مصالح دیگری به جزء فولاد استفاده شده باشد و مقررات سازه‌ای مربوط به نوع مصالح ضریب کاهش سختی کوچکتری (کاهش سختی بیشتری) را الزام کرده باشد، برای آن نوع اعضا باید ضریب کاهش سختی کوچکتر مورد استفاده قرار گیرد.

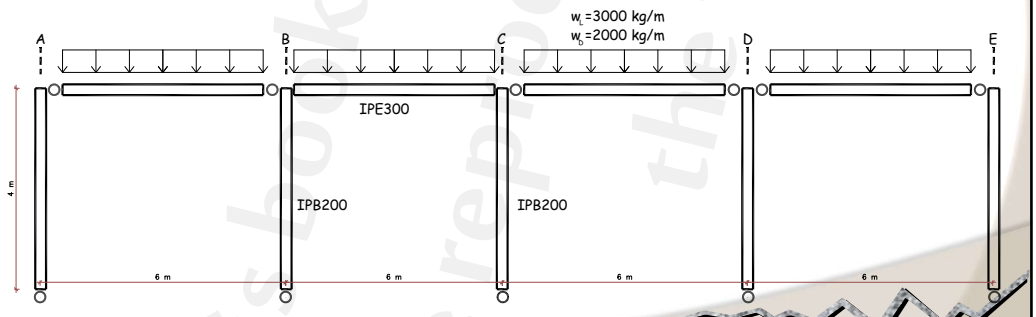
تبصره: در روش تحلیل مستقیم کاربرد سختی کاهش یافته فقط در تحلیل مرتبه دوم و برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز اعضا محدود می‌گردد و برای سایر مقاصد طراحی (نظیر کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، کنترل خیز تیرها، کنترل ارتعاش اعضا و کف‌ها و محاسبهٔ زمان تناوب اصلی ساختمان) نباید از ضرایب کاهش سختی استفاده شود.

صفحه ۸۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) با استفاده از روش تحلیل مستقیم، مقاومت مورد نیاز و ضریب طول موثر ستون‌ها را در قاب خمشی نشان داده شده در شکل زیر برای حداکثر ترکیب بار ثقلی را تعیین نمایید. ستون‌ها بین پی و سقف مهار نشده و پای آنها مفصلی فرض شود.

تیرهای بین محور A تا B، C تا D و D تا E مفصلی بوده و مشارکتی در بار جانبی ندارند. بنابراین طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ به عنوان قاب ثقلی تلقی شده و برای آنها K=1 می‌باشد. طول تمام دهانه‌ها ۶ و ارتفاع سازه ۴ متر است. قاب بین B تا C گیردار بوده و جزئی از سیستم لرزه‌بر سازه می‌باشد. اگرچه ستون‌های روی محور A، D و E در پایداری جانبی مشارکتی ندارند لیکن بارهای روی آنها بایستی در نظر گرفته شوند.



صفحه ۸۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق مبحث ششم داریم:

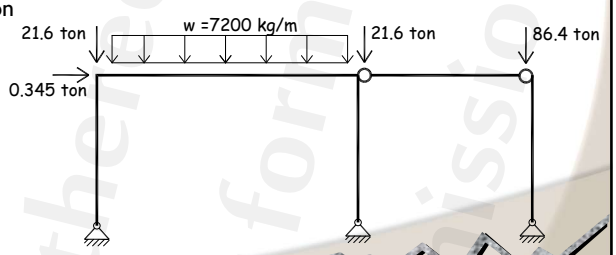
$$w_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(2000) + 1.6(3000) = 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

بنابراین بار متمرکز ناشی از نصف سطح بارگیر تیرهای بین محور AB و CD، که روی ستون روی محور B و C مستقیم اعمال می‌شود، برابر است با:

$$P'_u = 3\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 21.6\ \text{ton}$$

کل قاب نشان داده شده در شکل قبل را می‌توان توسط قاب معادل شکل بعدی فرض نمود. همچنین بار متمرکز ناشی از قاب‌ها ساده که در پایداری سیستم لرزه‌بر دخیل هستند بصورت زیر می‌باشد:

$$P'_{uL} = 12\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 86.4\ \text{ton}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

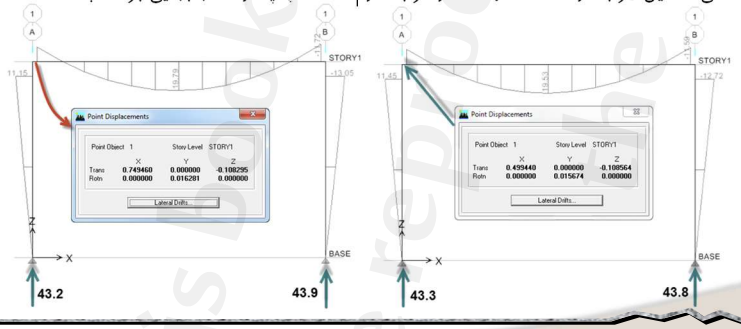
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ مبحث دهم، بایستی یک بار فرضی بصورت زیر در نظر گرفته شود:

$$Y_i = 24\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 172.8\ \text{ton} \quad \Rightarrow \quad N_i = 0.002Y_i = 0.002 \times 172.8\ \text{ton} = 0.345\ \text{ton}$$

خلاصه نحوه اعمال بارهای محاسبه شده در فوق در شکل قبل نشان داده شده است. با تحلیل قاب معادل در برنامه ETABS نتایج بصورت شکل زیر می‌باشد. جابجایی قاب در دو حالت تحلیل مرتبه اول و دوم (به ترتیب شکل‌های سمت راست و چپ) بر روی شکل نشان داده شده است. واحد لنگر خمشی نشان داده بر روی شکل تن-متر، عکس‌العمل تکیه‌گاهی تن و جابجایی بر حسب cm می‌باشد.

نتایج (نمودار لنگر خمشی) تحلیل مرتبه اول (سمت راست) و مرتبه دوم (سمت چپ) واحد جابجایی برحسب cm است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق مبحث دهم دو ضریب کاهش سختی بایستی بر ستون‌ها اعمال شود. یکی ضریب 0.8 و دیگری ضریب کاهش τ_b، که مقدار آن بصورت زیر تعیین می‌شود. با توجه به شکل قبلی، حداکثر نیروی محوری ستون برابر 43.9 تن بدست می‌آید. همچنین تغییرات لنگر در حالت تحلیل مرتبه اول به دوم چندان زیاد نیست. سطح مقطع IPB200 برابر 78.1 سانتیمتر مربع می‌باشد.

$$P_y = F_y A_g = 2400 \times 78.1 \times 10^{-3} = 187.4 \text{ ton} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_u}{P_y} = \frac{43.9}{187.4} = 0.23 < 0.5$$

بنابراین مقدار ضریب کاهش τ_b، برابر ۱ می‌باشد. همچنین طول موثر ستون‌ها برابر $KL_x=KL_y=4$ m است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در سازه زیر، برای هر دو روش طراحی ASD و LRFD، مقدار بار جانبی فرضی را برای طبقه دوم تعیین نمایید. فقط تحت ترکیب بار 1.2D+1.6L در روش LRFD و D+L در روش ASD بررسی صورت گیرد.

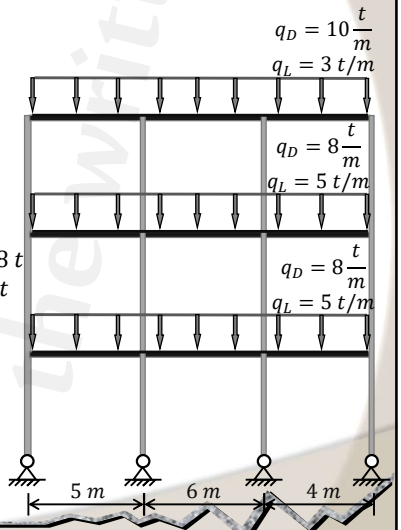
$$N_i = 0.002\alpha Y_i$$

در رابطه فوق، α=1.6 (ASD) α=1.0 (LRFD)

$$LRFD: w_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 8 + 1.6 \times 5 = 17.6 \frac{t}{m}$$

$$ASD: w_u = D + L = 8 + 5 = 13 \frac{t}{m}$$

$$LRFD \Rightarrow N_2 = 0.002\alpha Y_2 = 0.002 \times 1.0 \times (17.6 \times 15) = 0.528\ t$$
$$ASD \Rightarrow N_2 = 0.002\alpha Y_2 = 0.002 \times 1.6 \times (17.6 \times 15) = 0.845\ t$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش طول مؤثر

استفاده از روش سنتی طول مؤثر به عنوان روش دیگر طراحی مطابق با الزامات و محدودیت‌های بند ۱۰-۲-۱-۵-۲ مجاز است. در این روش نیز مقاومت‌های موجود اعضا مطابق با بخش‌های ۱۰-۲-۲ تا ۱۰-۲-۹ (تمام ضوابط غیرلرزه‌ای مبحث دهم به غیر از بخش پایداری) تعیین می‌شوند.

محدودیت‌ها و الزامات روش طول مؤثر

برای تعیین مقاومت‌های موردنیاز اعضا و طراحی آنها در تحلیل و طراحی به روش طول مؤثر محدودیت‌ها و الزامات زیر باید تأمین شوند:

الف- محدودیت‌ها

۱) بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل شوند.

۲) نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول یا به طور تقریبی مقدار ضریب تشدید B_2 در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته، در کلیهٔ طبقات کوچکتر یا مساوی 1.5 باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب- الزامات

۱) تحلیل سازه مطابق بند ۱۰-۲-۱-۴ براساس یکی از روش‌های تحلیلی مرتبه دوم و بدون در نظر گرفتن هرگونه کاهش سختی باشد.

۲) آثار نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی اعضا) مطابق ملاحظات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ در تحلیل مرتبه دوم منظور گردد.

۳) مقاومت موجود کلیهٔ اعضای دارای بار محوری فشاری براساس ضریب طول مؤثر (K) تعیین شود. ضریب طول مؤثر اعضا (K) متناسب با نوع سیستم باربر باید براساس پیوست ۲ تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

روش‌های تحلیل مرتبه دوم

در این مبحث استفاده از روش‌های تحلیلی زیر به عنوان روش‌های تحلیل مرتبه دوم مجاز دانسته شده است

الف) تحلیل الاستیک مرتبهٔ دوم: تحلیل الاستیک مرتبهٔ دوم به تحلیل‌هایی گفته می‌شود که در آنها روش تحلیل سیستم سازه‌ای الاستیک بوده، لیکن در حین انجام تحلیل، آثار مرتبهٔ دوم (شامل آثار P-δ و P-Δ) در آن لحاظ می‌گردد.

ب) تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول تشدیدیافته: در این مبحث استفاده از روش تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول تشدید یافته به عنوان یک روش تحلیل مرتبه دوم مجاز دانسته شده است. الزامات این نوع روش تحلیل مرتبه دوم در پیوست ۳ این مبحث ارائه شده است.

نحوه لحاظ آثار مرتبه دوم

تحلیل عمومی مرتبه دوم	مرتبه اول تشدید یافته
General 2nd Order	Amplified 1st Order

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

تبصره ۱: در طراحی به روش LRFD تحلیل مرتبه دوم باید تحت اثر ترکیبات بارگذاری متناظر با این روش طراحی (شامل بار جانبی فرضی مطابق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱) صورت گیرد. در طراحی به روش ASD تحلیل مرتبه دوم باید ابتدا تحت اثر 1.6 برابر ترکیبات بارگذاری متناظر با این روش (شامل بار جانبی فرضی مطابق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱) صورت گرفته و سپس کلیهٔ نتایج حاصله بر عدد 1.6 تقسیم شوند، تا مقاومت‌های موردنیاز به دست آیند.

تبصره۲: در روش تحلیل الاستیک مرتبهٔ دوم (ذکرشده در بند ۱۰-۲-۱-۴-الف) با ارضاء محدودیت‌های زیر می‌توان از آثار P-δ صرفنظر نمود، مشروط بر اینکه لنگرهای خمشی به دست آمده از روش‌های تحلیلی مذکور در اعضای تحت اثر توأم نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی با ضریب (B_1) مطابق پیوست ۳ تشدید شده باشند:

۱) بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل شوند.

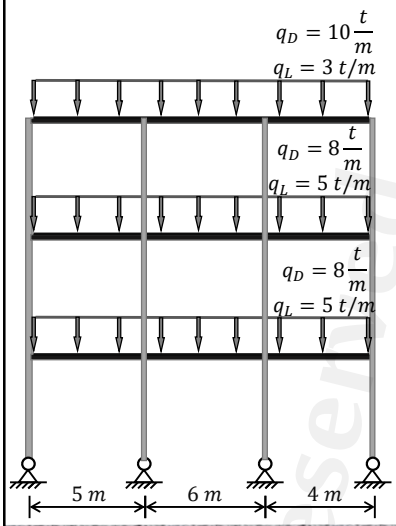
۲) نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبهٔ دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبهٔ اول یا به طور تقریبی مقدار ضریب B_2 در تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول تشدیدیافته در تمام طبقات و در راستای موردنظر کوچکتر یا مساوی 1.7 باشد.

۳) حداکثر یک سوم بارهای ثقلی کل سازه توسط ستون‌های قاب‌های خمشی تحمل گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در قاب خمشی فولادی نشان داده شده در شکل زیر، آیا می‌توان از اثرات P-δ صرف نظر کرد؟ تمام اتصالات گیردار در نظر گرفته شوند. فرض کنید ضریب B_2 در تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول تشدیدیافته در تمام طبقات و در راستای موردنظر کوچکتر یا مساوی 1.7 باشد.



پاسخ: خیر. با توجه به تبصره ۲ بند ۱۰-۲-۱-۴ تنها در صورتی می‌توان از اثرات P-δ صرف نظر کرد که حداکثر یک سوم بارهای ثقلی کل سازه توسط ستون‌های قاب‌های خمشی تحمل گردد. در این مثال، تمام بارهای ثقلی توسط ستون‌های قاب‌های خمشی تحمل می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک قاب خمشی فولادی، یک طبقه، اگر جابجایی جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول Δ_{1st}=0.8 cm باشد، در چه شرایطی میتوان از تحلیل روش طول موثر برای آن استفاده کرد؟

الف) $\Delta_{2nd} \le$ 1.5 cm باشد.

ب) $\Delta_{2nd} \le$ 1.2 cm باشد.

ج) $\Delta_{2nd} \le$ 1.0 cm باشد.

د)گزینه (ب) و (ج)

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۲-ب، نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول یا به طور تقریبی مقدار ضریب تشدید B_2 در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته، در کلیهٔ طبقات کوچکتر یا مساوی 1.5 باشد. بنابراین گزینه (د) صحیح است.

1.2/0.8=1.5 ok

1.0/0.8=1.25 ok

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

روش تحلیل مستقیم

نوع تحلیل	کاهش سختی	محدودیت	الزامات
تحلیل الاستیک مرتبه دوم	کاهش سختی با ضریب τ متغییر	ندارد	انجام تحلیل مرتبه دوم - اعمال کاهش سختی $(EI)^* = 0.8\tau_b EI \quad \& \quad (EA)^* = 0.8EA$ $\tau_b = \begin{cases} 1.0 & \frac{\alpha P_r}{P_y} \le 0.5 \\ 4\frac{\alpha P_r}{P_y}\left(1-\frac{\alpha P_r}{P_y}\right) & \frac{\alpha P_r}{P_y} > 0.5 \end{cases}$ در رابطه فوق، α=1.6 (ASD) α=1.0 (LRFD) ضرایب B_1 و B_2 استفاده نمی‌شود. K=1 (برای محاسبه P_n) اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $\Delta_{2nd}/\Delta_{1st} \le 1.7$ باشد. بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای ثقلی اعمال شوند.
	کاهش سختی با ضریب τ ثابت	ندارد	انجام تحلیل مرتبه دوم - اعمال کاهش سختی $(EI)^* = 0.8\tau_b EI \quad \& \quad (EA)^* = 0.8EA$ $\tau_b = 1.0$ ضرایب B_1 و B_2 استفاده نمی‌شود. K=1 (برای محاسبه P_n) اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $\Delta_{2nd}/\Delta_{1st} \le 1.7$ باشد. بخش 0.002 بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای ثقلی وارد می‌شود ولی بخش 0.001 ناشی از τ_b ثابت، در کلیه ترکیب بارهاگذاری وارد می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

روش تحلیل مستقیم

نوع تحلیل	کاهش سختی	محدودیت	الزامات
تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته	کاهش سختی با ضریب τ متغییر	ندارد	انجام تحلیل مرتبه اول - اعمال کاهش سختی $(EI)^* = 0.8\tau_b EI \quad \& \quad (EA)^* = 0.8EA$ $\tau_b = \begin{cases} 1.0 & \frac{\alpha P_r}{P_y} \le 0.5 \\ 4\frac{\alpha P_r}{P_y}\left(1-\frac{\alpha P_r}{P_y}\right) & \frac{\alpha P_r}{P_y} > 0.5 \end{cases}$ در رابطه فوق، α=1.6 (ASD) α=1.0 (LRFD) K_1=1.0 برای تعیین B_1 و K_2=1.0 برای تعیین P_n و B_2 اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $B_2 \le 1.7$ باشد. بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای ثقلی اعمال شوند.
	کاهش سختی با ضریب τ ثابت	ندارد	انجام تحلیل مرتبه اول - اعمال کاهش سختی $(EI)^* = 0.8\tau_b EI \quad \& \quad (EA)^* = 0.8EA$ $\tau_b = 1.0$ ضرایب B_1 و B_2 استفاده نمی‌شود. K_2=1 (برای محاسبه P_n) اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $B_2 \le 1.7$ باشد. بخش 0.002 بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای ثقلی وارد می‌شود ولی بخش 0.001 ناشی از τ_b ثابت، در کلیه ترکیب بارهاگذاری وارد می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش تحلیل طول موثر

نوع تحلیل	محدودیت	الزامات
تحلیل الاستیک مرتبه دوم	$\Delta_{2nd}/\Delta_{1st}\leq 1.5$ (برای تمامی طبقات)	انجام تحلیل مرتبه دوم - عدم کاهش سختی $K=K_2\geq 1.0$ (برای تعیین P_n) اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $B_2\leq 1.7$ باشد. اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $\Delta_{2nd}/\Delta_{1st}\leq 1.7$ باشد. بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای بارگذاری ثقلی وارد شوند.
تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته	$\Delta_{2nd}/\Delta_{1st}\leq 1.5$ (برای تمامی طبقات)	انجام تحلیل مرتبه اول - عدم کاهش سختی محاسبه B_1 برای $K_1=1.0$ محاسبه B_2 برای $K_2\geq 1.0$ $K=K_2\geq 1.0$ (برای تعیین P_n) اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $B_2\leq 1.7$ باشد. اعمال بارهای جانبی فرضی در کلیه ترکیب بارها. اگر $\Delta_{2nd}/\Delta_{1st}\leq 1.7$ باشد. بارهای جانبی فرضی فقط در ترکیب بارهای بارگذاری ثقلی وارد شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش تحلیل مرتبه اول محدود شده

این روش دارای محدودیت‌های زیادی است. بارهای ثقلی باید عمدتاً توسط دیوارها، ستون‌ها یا قاب‌های قائم متحمل شود. مقدار نیروی محوری مورد نیاز در اعضای افقی و در قاب خمشی از رابطه زیر بیشتر شود:

$$\alpha P_r \leq 0.08 P_e$$

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

نسبت تغییرمکان مرتبه دوم به تغییرمکان مرتبه اول در کلیه طبقات کمتر از 1.5 باشد. همچنین مقاومت فشاری مورد نیاز P_r تمامی اعضایی که سختی خمشی آنها در پایداری جانبی سازه موثرند از $0.5P_{ns}$ تجاوز نکند.

$$\alpha P_r \leq 0.5 P_{ns}$$

$$P_{ns} = F_y A_g$$

در صورتی که مقطع دارای اجزای لاغر باشد، به جای A_g باید از A_e استفاده شود.

یادداشت: این روش در مبحث دهم مقررات ملی حذف شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این روش مقاومت اعضا براساس تحلیل مرتبه اول تشدید نیافته تعیین می‌شود. همچنین باید به کلیه ترکیب بارها یک بار جانبی اضافی N_i در تراز هر طبقه به شرح زیر اضافه شود:

$$N_i = 2.1\alpha\left(\frac{\Delta}{L}\right)Y_i \geq 0.0042Y_i$$

که در آن α=1.6 در روش ASD و α=1.0 در روش LRFD؛ همچنین Y_i بار ثقلی ضریبدار در تراز طبقه iام؛ نسبت Δ/L نسبت حداکثر جابجایی نسبی طبقه به ارتفاع طبقه است. همچنین Δ تغییرمکان نسبی طبقه iام در ترکیبات مختلف بارگذاری بر پایه تحلیل مرتبه اول است و L ارتفاع طبقه iام است. در این روش، لنگر خمشی اعضا دارای نیروی محوری فشاری با ضریب تشدید B_1 در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته تشدید شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب طول مؤثر اعضای فشاری (پیوست دوم مبحث دهم)

درصورتیکه برای تأمین الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری از روش طول مؤثر استفاده شود، مقاومت موجود کلیهٔ اعضای دارای بار محوری فشاری باید براساس ضریب طول مؤثر (K) تعیین شود. ضریب طول مؤثر اعضا (K) متناسب با نوع سیستم باربر باید براساس این پیوست تعیین گردد. در روش طول مؤثر، برای محاسبهٔ ضریب طول مؤثر اعضای فشاری، سیستم‌های باربر به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند:

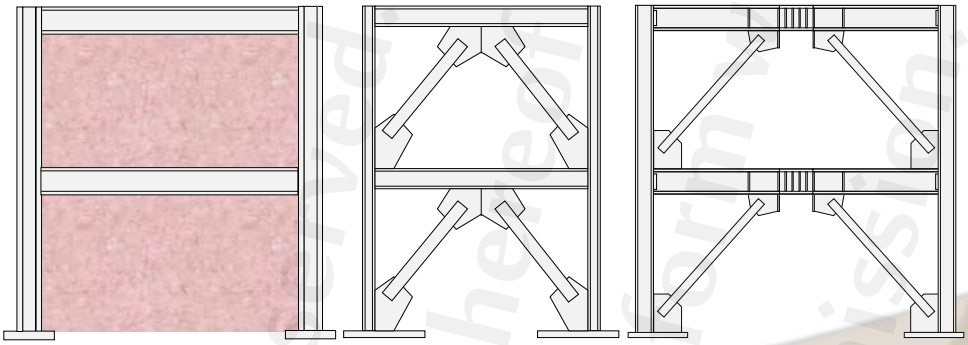
- قاب‌های مهارشده
- قاب‌های مهارنشده
- ستون‌های متکی به قاب‌های باربر جانبی
- ستون‌های با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب‌های مهارشده و طول مؤثر کمانشی اعضاء

قاب‌های مهارشده به قاب‌هایی گفته می‌شود که در آنها پایداری جانبی و مقاومت در برابر بارهای جانبی به سختی خمشی ستون‌ها وابسته نبوده و در آنها حرکت جانبی قاب با تکیه‌کردن بر مهاربندهای مورب، دیوارهای برشی یا به شیوه‌های مشابه مقید می‌شود. در اینگونه قاب‌ها، ضریب طول مؤثر (K) برای اعضای فشاری به طور محافظه کارانه باید برابر 1.0 در نظر گرفته شود. (برای قاب‌های مهارشده، ضریب طول موثر بین یک تا 0.5 می‌باشد.)



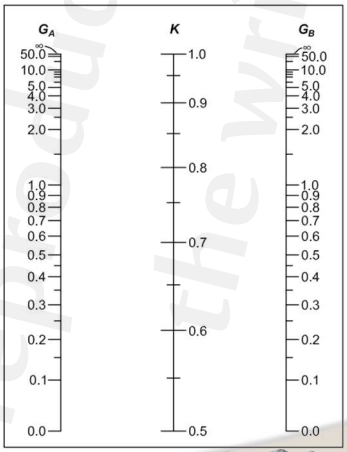
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

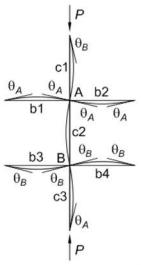
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای قاب‌های مهاربندی شده، ضریب طول موثر را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود. این رابطه در مبحث دهم ویرایش پنجم وجود ندارد. در واقع گراف زیر براساس این رابطه تنظیم شده است. (این رابطه در AISC 360 است.)

$$\frac{G_A G_B}{4}\left(\frac{\pi}{K}\right)^2 + \left(\frac{G_A G_B}{2}\right)\left[1 - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)}\right] + \frac{2\tan(2\pi/K)}{(\pi/K)} - 1 = 0$$

برای تعیین ضریب طول موثر اعضای فشاری می‌توان از گراف‌هایی که برای این منظور ترسیم شده‌اند نیز استفاده نمود.



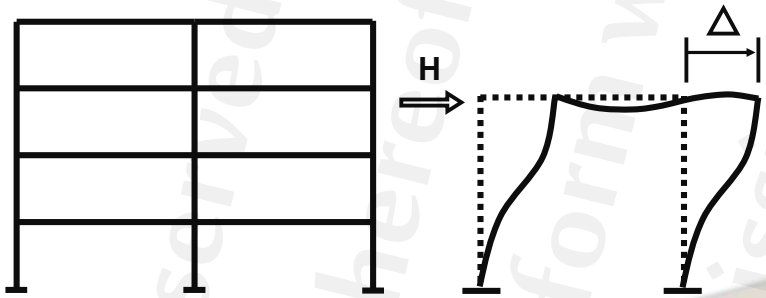


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قاب‌های مهارنشده و طول مؤثر کمانشی اعضاء

قاب‌های مهارنشده به قاب‌هایی گفته می‌شود که در آنها فقط سختی جانبی قاب‌ها در پایداری جانبی مؤثر هستند و قاب به دیوار برشی یا مهاربندی متکی نیست. در این نوع قاب‌ها ضریب طول مؤثر (K) باید با استفاده از تحلیل کمانشی و الزامات بند ۱۰-۲-۱-۱ (الزامات عمومی پایداری) تعیین شود و هیچگاه نباید کوچکتر از 1.0 در نظر گرفته شود. همچنین حداکثر مقدار ضریب طول موثر برابر ۲۰ می‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

همچنین می‌توان مقدار ضریب طول مؤثر (K) اعضای فشاری قاب‌های مهارنشده را از یکی از دو رابطه زیر و یا نموگراف نیز محاسبه نمود.

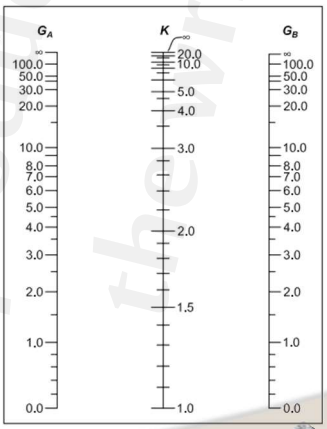
رابطه دقیق

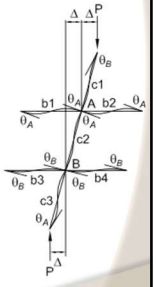
$$\frac{[G_A G_B(\pi/K)^2 - 36]}{6(G_A + G_B)} - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)} = 0$$

رابطه تقریبی

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \geq 1.0$$

برای تعیین ضریب طول موثر اعضای فشاری می‌توان از گراف‌هایی که برای این منظور ترسیم شده‌اند نیز استفاده نمود.





 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تعیین پارامترهای G_A، G_B برای تعیین ضریب طول موثر:

ابتدا نسبت سختی دو انتهای ستون با رابطه زیر تعیین شود.

$$G=\Sigma(E_cI_c/L_c)/\ \Sigma(E_gI_g/L_g)$$

که در آن $\Sigma(E_cI_c/L_c)$، مجموع سختی خمشی ستون‌های متصل به گره و $\Sigma(E_gI_g/L_g)$، مجموع سختی خمشی تیرهای متصل به آن گره می‌باشد. این نسبت سختی برای هر دو انتهای عضو بدست آمده و با G_A و G_B نشان داده می‌شود. با متصل نمودن این دو مقدار، ضریب طول موثر تعیین می‌شود. یادداشت: برای محاسبه G_A و G_B از روابط فوق ملاحظات زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

۱) برای انتهای گیردار ستون که ضریب G به صورت نظری صفر است، برابر یک فرض شود.

۲) برای انتهای مفصلی ستون که ضریب G به صورت نظری بینهایت است، برابر ۱۰ فرض شود.

۳) هرگاه تیر متصل به عضو فشاری، طره‌ای باشد، EI/L آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته شود.

۴) هرگاه انتهای نزدیک تیر، مفصلی باشد، EI/L آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۵) در قاب مهار نشده، هرگاه انتهای دور تیر، مفصلی باشد، EI/L آن تیر باید در ضریب 0.5 ضرب شود. در قاب مهار شده، اگر انتهای دور تیر متصل به عضو فشاری مفصل باشد، EI/L آن تیر در ضریب 1.5 ضرب می‌شود

۶) در قاب مهار نشده، هرگاه دوران انتهای دور تیر، کاملاً مقید باشد، EI/L آن تیر باید در ضریب 2/3 ضرب شود. در قاب مهار شده، هرگاه دوران انتهای دور تیر، کاملاً مقید باشد EI/L آن تیر باید در ضریب 2 بایستی ضرب شود.

همچنین برای قاب مهار نشده، طبق آیین‌نامه AISC360، طول تیر بایستی طبق رابطه زیر اصلاح شود:

$$L'_g = L_g(2 - M_F/M_N)$$

که در آن M_F لنگر انتهای دور تیر، M_N لنگر انتهای نزدیک تیر (تحت تحلیل مرتبه اول) است. نسبت دو لنگر در رابطه اخیر بشرط انحنا مضاعف، مثبت در نظر گرفته می‌شود.

توجه شود، در حالت سه بعدی، بایستی ضریب طول موثر برای ستون‌ها در هر دو جهت تعیین شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره: هرگاه نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر حاصل از تحلیل مرتبهٔ دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر ناشی از تحلیل مرتبهٔ اول یا به طور تقریب مقدار ضریب B_2 در تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول تشدید یافته، برای تمام طبقات هر نوع سیستم سازه‌ای کمتر یا مساوی ۱.۱ باشد، کلیهٔ قاب‌های آن سیستم سازه‌ای را می‌توان به‌عنوان قاب‌های مهارشده تلقی نمود و در نتیجه مطابق بند ۱۰-پ۲-۱ ضریب طول مؤثر (K) برای اعضای فشاری کلیهٔ قاب‌های این نوع سیستم‌های سازه‌ای را برابر یک در نظر گرفت.

مثال) در یک قاب خمشی فولادی، یک طبقه، اگر جابجایی جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول $\Delta_{1st}=0.8$ cm باشد، در چه شرایطی می‌توان بدون محاسبات خاصی، ضریب طول موثر ستون‌ها را برابر یک در نظر گرفت؟

الف) $\Delta_{2nd}\leq 1.5$ cm باشد.

ب) $\Delta_{2nd}\leq 1.2$ cm باشد.

ج) $\Delta_{2nd}\leq 1.0$ cm باشد.

د) هیچکدام

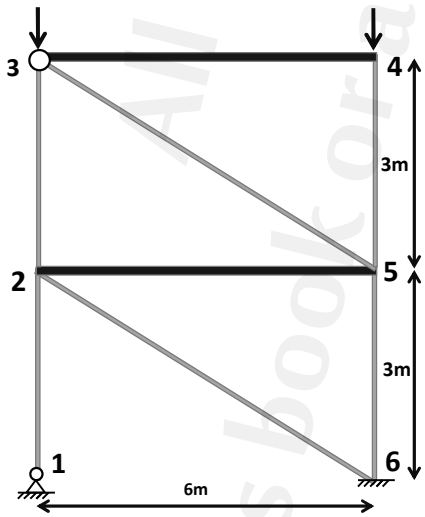
طبق شرایط گرفته شده، گزینه (د) صحیح است.

$1.1\times 0.8=0.88$ cm

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب طول موثر برای ستون‌های ۴۵ و ۵۶ از قاب زیر را تعیین نمایید. فرض نمایید که ممان اینرسی تیرها دو برابر ممان اینرسی ستون‌ها باشد.



پاسخ: برای تکیه‌گاه 6 که بصورت گیردار می‌باشد، طبق ضوابط مبحث دهم، مقدار $G_6=1.0$ است. برای گره 5 داریم:

$G_5=\Sigma(E_cI_c/L_c)/\ \Sigma(E_gI_g/L_g)=(2\times 1/3)/(2/6)=2.0$

با استفاده از گراف، مقدار ضریب طول موثر برابر $K_{56}=0.82$ بدست می‌آید. در گره 4 با توجه به آنکه گره دور آن (یعنی گره 3) مفصلی است، داریم:

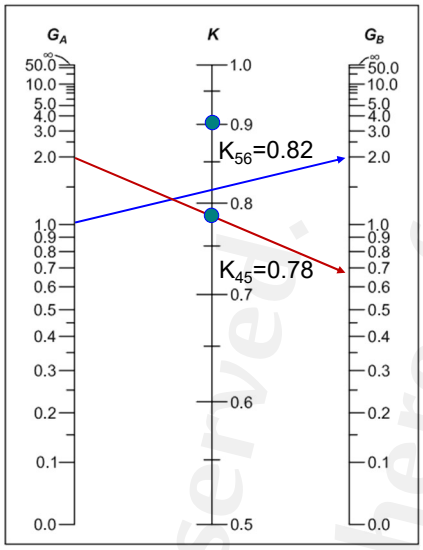
$G_4=\Sigma(E_cI_c/L_c)/\ \Sigma(E_gI_g/L_g)=(1/3)/1.5\times(2/6)=0.67$

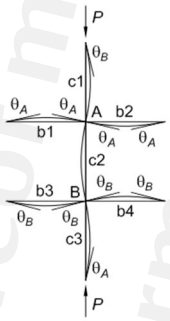
با استفاده از گراف مقدار $K_{45}=0.78$ می‌باشد.

نکته: طبق ضوابط مبحث دهم، مقدار ضریب طول موثر هر دو ستون باید برابر ۱ در نظر گرفته شود. (قاب مهار شده)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

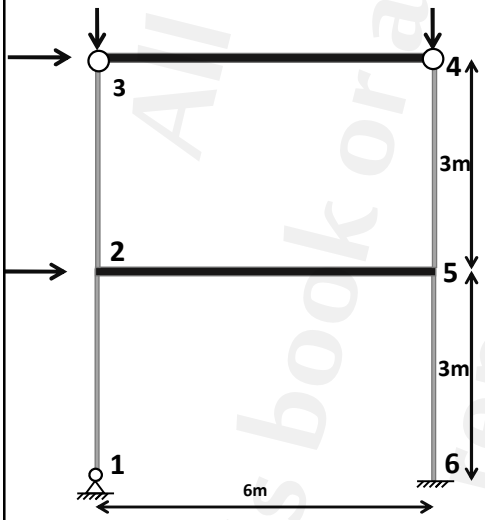




 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب طول موثر برای ستون‌های ۴۵ و ۵۶ از قاب زیر را تعیین نمایید. فرض نمایید که ممان اینرسی تیرها دو برابر ممان اینرسی ستون‌ها باشد.



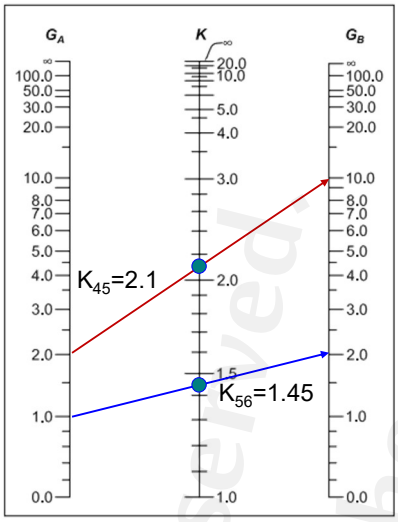
پاسخ: برای تکیه‌گاه 6 که بصورت گیردار می‌باشد، طبق ضوابط مبحث دهم، مقدار G_6=1.0 است. برای گره 5 با توجه به بارگذاری و سازه متقارن، تیرها دارای انحنای مضاعف می‌باشند. با $M_{25}=M_{52}$ داریم:

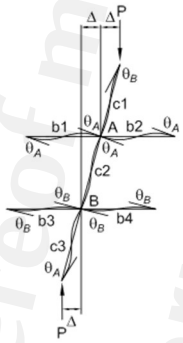
$$G_5=\Sigma(E_cI_c/L_c)/\ \Sigma(E_gI_g/L_g)=(2\times1/3)/(2/6)=2.0$$

با استفاده از گراف نشان داده شده مقدار ضریب طول موثر برابر K_{56}=1.45 بدست می‌آید. در گره 4 با توجه به آنکه مفصل است، طبق ضوابط مقدار G_4=10 فرض می‌شود. با استفاده از گراف، مقدار ضریب طول موثر برابر K_{45}=2.1 بدست می‌آید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



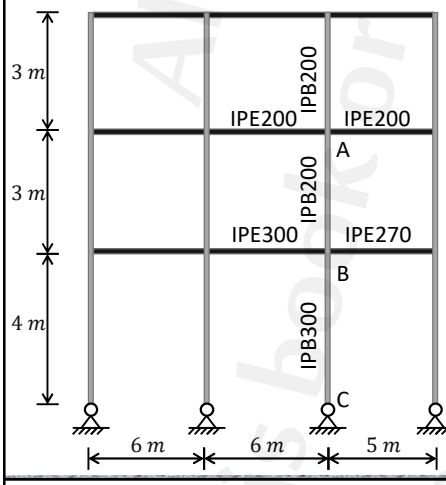


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای قاب نشان داده شده در زیر، ضریب طول موثر ستون‌های AB و BC را تعیین نمایید

IPE200 → I=1940 cm⁴
IPE270 → I=5790 cm⁴
IPE300 → I=8360 cm⁴
IPB200 → I=5700 cm⁴
IPB300 → I=25170 cm⁴



پاسخ: برای ستون AB: با توجه به اینکه مصالح تیر و ستون یکسان می‌باشند، در رابطه مقدار E از صورت و مخرج حذف می‌شود.

$$G_A = \frac{\frac{5700}{300}+\frac{5700}{300}}{\frac{1940}{600}+\frac{1940}{500}} = 5.3 \qquad G_B = \frac{\frac{25170}{400}+\frac{5700}{300}}{\frac{5790}{500}+\frac{8360}{600}} = 3.21$$

$$K_{AB} = \sqrt{\frac{1.6G_AG_B + 4(G_A+G_B)+7.5}{G_A+G_B+7.5}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.6\times 5.3\times 3.21 + 4(5.3+3.21)+7.5}{5.3+3.21+7.5}} = 2.07$$

برای ستون BC:

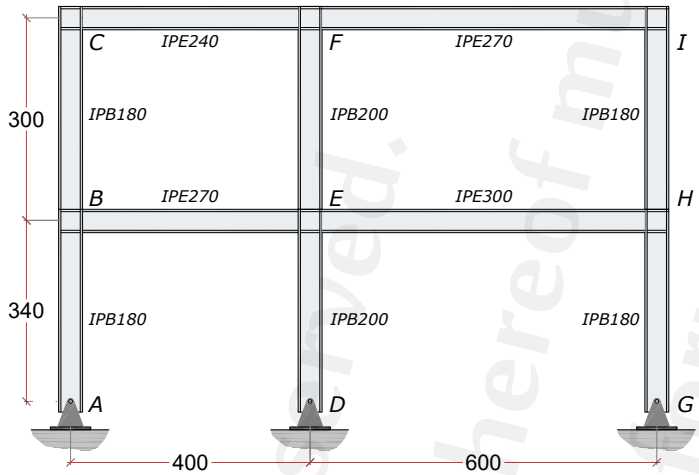
$$G_A = \frac{\frac{25170}{400}+\frac{5700}{300}}{\frac{5790}{500}+\frac{8360}{600}} = 3.21 \qquad G_B = 10$$

$$K_{AB} = \sqrt{\frac{1.6\times 3.21\times 10 + 4(10+3.21)+7.5}{10+3.21+7.5}} = 2.32$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای قاب نشان داده شده در زیر، ضریب طول موثر ستون‌های کل سازه را تعیین نمایید. ضریب ارتجاعی برابر $E=2\times10^6\ kg/cm^2$ فرض شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ:

	عضو	مقطع	$I\ (cm^4)$	L (cm)	نسبت I/L
ستون‌ها	AB	IPB180	3830	340	11.3
	BC	IPB180	3830	300	12.8
	DE	IPB200	5700	340	16.8
	EF	IPB200	5700	300	19.0
	GH	IPB180	3830	340	11.3
	HI	IPB180	3830	300	12.8
تیرها	BE	IPE270	5790	400	14.5
	CF	IPE240	3890	400	9.7
	EH	IPE300	8360	600	13.9
	FI	IPE270	5790	600	9.7

برای تعیین G گره‌ها داریم:

گره	$\frac{\sum(I/L)_c}{\sum(I/L)_g}$	G
A	مفصلی، G=10	10.0
B	$\frac{11.3+12.8}{14.5}$	1.662
C	$\frac{12.8}{9.7}$	1.32
D	مفصلی، G=10	10.0
E	$\frac{16.8+19}{14.5+13.9}$	1.26
F	$\frac{19}{9.7+9.7}$	0.98
G	مفصلی، G=10	10.0
H	$\frac{11.3+12.8}{13.9}$	1.734
I	$\frac{12.8}{9.7}$	1.32

بنابراین ضریب طول موثر برابر است با:

ستون	G_A	G_B	K
AB	10	1.662	2.05
BC	1.662	1.32	1.48
DE	10	1.26	1.97
EF	1.26	0.98	1.38
GH	10	1.734	2.07
HI	1.734	1.32	1.49

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ستون‌های متکی به قاب‌های باربر جانبی

در یک قاب ساختمانی ستون‌های متکی، به ستون‌هایی گفته می‌شود که سختی جانبی آنها در مقایسه با سختی جانبی سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی بسیار ناچیز بوده و فقط برای بارهای ثقلی طراحی می‌شوند. این ستون‌ها باید براساس طول واقعی ستون (K=I) طراحی شوند. پایداری جانبی این ستون‌ها باید از طریق قاب‌های خمشی، قاب‌های مهاربندی‌شده، دیوارهای برشی یا سایر سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی، تأمین شود. آثار P-Δ ناشی از بار وارده بر ستون‌های متکی باید به سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی منتقل شده و در تعیین مقاومت‌های موردنیاز و طراحی اعضای سیستم‌های باربر جانبی مورد توجه قرار گیرند. آثار P-Δ ناشی از بار وارده بر ستون‌های قاب‌های ثقلی باید به اعضای سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی منتقل شده و در محاسبات مقاومت‌های طراحی اعضای فشاری سیستم‌های باربر جانبی مورد توجه قرار گیرند. در سیستم‌های سازه‌ای دارای قاب‌های مهارشده (نظیر قاب‌های مهاربندی شده یا قاب‌های دارای دیوار برشی) این آثار قابل توجه نبوده و در طراحی اعضاء فشاری قاب‌های مهارشده می‌توان از آن چشم پوشی کرد. لیکن در سیستم‌های سازه‌ای از نوع قاب خمشی که در آن برخی از قاب‌ها فقط دارای عملکرد ثقلی هستند، تأثیر انتقال آثار P-Δ ناشی از بارهای وارده بر ستون‌های قاب‌های ثقلی به ستون‌های قاب‌های خمشی قابل ملاحظه بوده و باید در طراحی اعضاء فشاری قاب‌های خمشی لحاظ شوند. برای در نظر گرفتن تأثیر انتقال آثار P-Δ قاب‌های ثقلی به اعضاء فشاری قاب‌های خمشی کافی است ضریب طول مؤثر اعضاء فشاری قاب‌های خمشی به شرح زیر محاسبه شود:

$$K_2 = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{\frac{L^2}{P_r}\left[\frac{P_{story}}{\sum \frac{\pi^2 EI}{(K_{n2}L)^2}}\right]}} \geq \left(\sqrt{\frac{5}{8}}K_{n2} \text{ و } 1.0\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

K_2 ضریب طول مؤثر ستون قاب خمشی با لحاظ تأثیر ستون‌های متکی،

K_{n2} ضریب طول مؤثر ستون باربر جانبی مدنظر از نمودار تعیین ضریب طول موثر بدست آید. (نمودار ۱۰-پ۲-۱)

P_{story}: مجموع بارهای قائم کلیهٔ ستون‌های باربر جانبی و ثقلی طبقه‌ای که این ستون‌ها در آن قرار دارند. در روش LRFD منظور از P_{stroy} همان $\sum P_u$ طبقه بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود. در روش ASD منظور از P_{stroy} همان $\sum P_a$ طبقه بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود.

P_r: بار قائم ستون موردنظر در سیستم باربر جانبی. در روش LRFD منظور از P_r همان P_u ستون موردنظر بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود. در روش ASD منظور از P_r همان P_a ستون موردنظر بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب طول مؤثر ستون‌هایی با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل

طول مؤثر در واقع فاصلهٔ بین نقاط عطف شکل کمانش یافتهٔ عضو فشاری است. در ادامه به نقل از مبحث دهم، تعدادی ستون با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل همراه با ضرایب طول مؤثر نظری آنها نشان داده شده است. با توجه به اینکه ایجاد شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل در عمل امکانپذیر نیست، از این رو در این بخش برای ضرایب طول مؤثر این‌گونه ستون‌ها باید از مقادیر پیشنهادی این جدول استفاده شود.

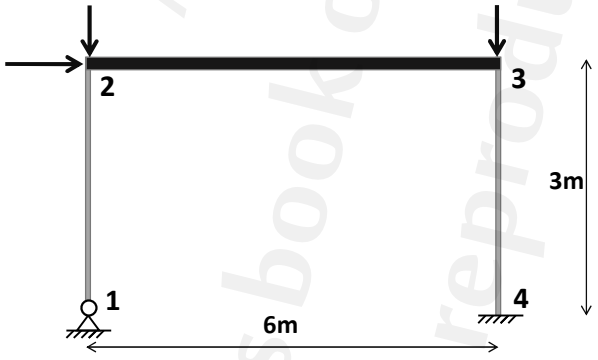
شکل کمانش عضو فشاری						
مقدار نظری K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
مقدار پیشنهادی K	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای قاب نشان داده شده در زیر، در صورتی که بتوان تیر را با به صورت صلب در نظر گرفت و ستون‌ها نیز در جهت عرضی دارای مهار کافی باشند، برای ستون‌های قاب، مقدار ضریب طول موثر را تعیین نمایید.

پاسخ: با توجه به جدول مربوط حالات ایده آل، برای ستون ۱۲، که در یک انتها مفصل و در انتهای دیگر گیردار (ولی با حرکت جانبی) است، مقدار ضریب طول موثر برابر 2.0 و برای ستون و برای ستون ۳۴ که بصورت دو سر گیردار (ولی با حرکت جانبی) است، مقدار ضریب طول موثر برابر 1.2 خواهد بود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته(پیوست سوم مبحث دهم)

این بخش الزامات روش تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل مرتبه اول تشدیدیافته را بیان می‌کند. مطابق این مبحث استفاده از روش تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدیدیافته به عنوان جایگزین روش تحلیل مرتبه دوم مجاز است. مطابق الزامات این پیوست، نیروهای محوری فشاری و لنگرهای خمشی به دست آمده از تحلیل مرتبه اول، ابتدا باید تشدید شوند و سپس مبنای طراحی اعضا، اجزاء و اتصالات قرار گیرند.

روش ضرایب تشدید لنگر مستلزم محاسبه حداکثر لنگر خمشی حاصل از بارهای جانبی و لنگرهای انتهای اعضا است. در این روش، تحلیل مرتبه اول کافی بوده و اثرات ثانویه ایجاد شده، توسط این ضرایب به کلیه پاسخ‌های سازه اعمال می‌شود.

مطالب این پیوست تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

۱۰-پ-۳-۱ محدودیت تحلیل

۱۰-پ-۳-۲ نحوهٔ محاسبهٔ مقاومت‌های موردنیاز

۱۰-پ-۳-۱ محدودیت تحلیل

استفاده از این روش تحلیل برای لحاظ نمودن آثار P-Δ فقط به سازه‌هایی که در آنها بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌های قائم، دیوارهای قائم یا قاب‌های قائم تحمل می‌شوند، محدود می‌گردد. اما استفاده از این روش تحلیل برای لحاظ نمودن آثار P-δ برای انواع مختلف سازه‌ها مجاز است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

۱۰-پ-۳-۲ نحوهٔ محاسبهٔ مقاومت‌های موردنیاز

در این روش تحلیل، مقاومت‌های خمشی مرتبه دوم موردنیاز (M_r) و مقاومت‌های محوری مرتبه دوم موردنیاز (P_r) برای تمامی اعضای سازه‌ای باید از طریق روابط زیر تعیین گردند.

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

در روابط فوق:

B_1: ضریب تشدید برای در نظر گرفتن اثر P-δ است. این ضریب باید برای هر عضوی که تحت اثر توأم نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی است، در هر راستای خمشی عضو مطابق بخش ۱۰-پ-۳-۲-۱ به طور جداگانه محاسبه گردد. برای اعضایی که در معرض نیروی محوری فشاری قرار ندارند، این ضریب باید برابر یک منظور گردد.

B_2: ضریب تشدید برای در نظر گرفتن اثر P-Δ است. این ضریب باید برای هر طبقه ساختمان و در هر راستای تغییرمکان جانبی طبقه مطابق بخش ۱۰-پ-۳-۲-۲ به طور جداگانه محاسبه گردد. مقاومت‌های محوری و خمشی موردنیاز کلیهٔ اعضای باربر جانبی طبقه باید با این ضریب تشدید گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

M_r: مقاومت خمشی مورد نیاز مرتبه دوم که در روش LRFD بیانگر M_u و در روش ASD بیانگر M_a است.

M_{nt}: لنگر خمشی مرتبه اول متناسب با نوع روش طراحی (LRFD یا ASD) برای حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده باشد و براساس بند ۱۰-پ-۳-۲-۳ تعیین می‌گردد.

M_{lt}: لنگر خمشی مرتبه اول متناسب با نوع روش طراحی (LRFD یا ASD) فقط به علت انتقال جانبی که براساس بند ۱۰-پ-۳-۲-۳ تعیین می‌شود.

P_r: مقاومت محوری موردنیاز مرتبه دوم که در روش LRFD بیانگر P_u و در روش ASD بیانگر P_a است.

P_{nt}: نیروی محوری مرتبه اول متناسب با نوع روش طراحی (LRFD یا ASD) برای حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده باشد و براساس بند ۱۰-پ-۳-۲-۳ تعیین می‌گردد.

P_{lt}: نیروی محوری مرتبه اول متناسب با نوع روش طراحی (LRFD یا ASD) فقط به علت انتقال جانبی که مقدار آن براساس بند ۱۰-پ-۳-۲-۳ تعیین می‌شود.

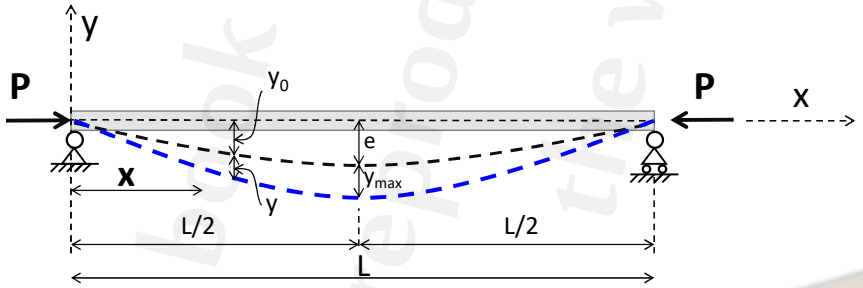
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

۱۰-پ-۳-۲-۱ ضریب تشدید B_1 (برای محاسبه اثرات P-δ)

تیر دو سر ساده نشان داده شده در شکل زیر را که تحت بار محوری P و خروج از مرکزیت اولیه e است را در نظر بگیرید. مقدار انحنای اولیه تیر را می‌توان بصورت تقریبی برابر با مقدار زیر در نظر گرفت:

$$y_0 = e \sin\frac{\pi x}{L}$$

که در رابطه فوق، e مقدار حداکثر خروج از مرکزیت اولیه در وسط تیر است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

همچنین رابطه لنگر-انحناء برای تیر را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

در واقع M مقدار لنگر ایجاد شده توسط بار محوری P به سبب خروج از مرکزیت ناشی از خیز تیر نسبت به محور آن است. مقدار خروج از مرکزیت نهایی برای تیر شامل مجموع خیز تیر به سبب اعمال نیروی محوری و خیز تیر به سبب جابجایی اولیه آن است و در هر نقطه از آن می‌توان رابطه زیر را بیان نمود:

$$M = P(y_0 + y)$$

با جایگذاری روابط فوق داریم:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI}\left(e\sin\frac{\pi x}{L} + y\right) \quad \rightarrow \quad \frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI}y = -\frac{P}{EI}e\sin\frac{\pi x}{L}$$

رابطه اخیر یک معادله دیفرانسیلی معمولی غیر همگن می‌باشد. برای حل این معادله دیفرانسیل نیاز به اعمال شرایط مرزی است. برای اعمال این شرایط مرزی داریم:

در $x = 0$ و $y = 0$ در $x = L$ و $y = 0$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار جابجایی در دو انتهای تیر برابر صفر است. یکی از توابعی که می‌تواند شرایط مرزی فوق را اقناع نماید، عبارت است از:

$$y = B\sin\frac{\pi x}{L}$$

که در آن B عدد ثابت است. با قرار دادن رابطه فوق در معادله دیفرانسیل داریم:

$$-\frac{\pi^2}{L^2}B\sin\frac{\pi x}{L} + \frac{P}{EI}B\sin\frac{\pi x}{L} = -\frac{P}{EI}e\sin\frac{\pi x}{L}$$

$$\rightarrow \qquad B = \frac{-\frac{Pe}{EI}}{\frac{P}{EI} - \frac{\pi^2}{L^2}} = \frac{-e}{1 - \frac{\pi^2 EI}{PL^2}} = \frac{e}{\frac{P_e}{P} - 1}$$

که در آن P_e بار کمانش اویلر بوده و برابر است با:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

بنابراین داریم:

$$y = B\sin\frac{\pi x}{L} = \left[\frac{e}{\frac{P_e}{P} - 1}\right]\sin\frac{\pi x}{L}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

و همچنین:

$$M = P(y_0 + y) = P\left(e\sin\frac{\pi x}{L} + \left[\frac{e}{\frac{P_e}{P}-1}\right]\sin\frac{\pi x}{L}\right)$$

حداکثر لنگر در وسط تیر (x=L/2) ایجاد خواهد شد و برابر است با:

$$M_{max} = P\left[e + \frac{e}{\frac{P_e}{P}-1}\right] = Pe\left[\frac{\frac{P_e}{P}-1+1}{\frac{P_e}{P}-1}\right] = M_0\left[\frac{1}{1-\frac{P}{P_e}}\right]$$

که در آن M_0 لنگر خمشی تشدید نیافته است. ضریب تشدید لنگر برابر خواهد بود با:

$$Moment\ Amplification\ Factor = \frac{1}{1-\frac{P}{P_e}}$$

مقدار ضریب تشدید لنگر در حالت طراحی به روش حالات حدی را می‌توان بصورت زیر بازنویسی نمود:

$$Moment\ Amplification\ Factor\ (LRFD) = \frac{1}{1-\frac{P_u}{P_e}}$$

که در آن P_u نیروی محوری حاصل از ترکیب بارهای ضریبدار است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

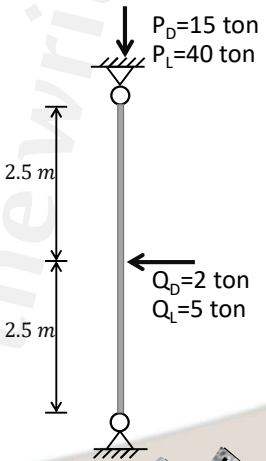
مثال) تیر ستون نشان داده شده در شکل زیر با مقطع IPB240 که تحت بارهای نشان داده شده قرار دارد را در نظر بگیرید. مقدار لنگر تشدید یافته برای آن را تعیین نمایید. با توجه به اینکه دو سر عضو بصورت مفصلی می‌باشد، بنابراین ضریب طول موثر قطعه برابر یک است. برای IPB240 داریم:

A_g=106 cm^2

I_x=11260 cm^4

r_x=10.3 cm

r_y=6.08 cm



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ:

بار کمانش اویلر برابر است با:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6 \times 11260}{(1 \times 500)^2} \times 10^{-3} = 889\ ton$$

بارهای ضریبدار:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 15 + 1.6 \times 40 = 82\ ton$$

$$Moment\ Amplification\ Factor\ (LRFD) = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_e}} = \frac{1}{1 - \frac{82}{889}} = 1.10$$

همانطور که دیده می‌شود، ۱۰٪ به مقدار لنگر اضافه خواهد شد. حداکثر لنگر خمشی در وسط ستون ایجاد می‌شود:

$$M_u = \frac{(1.2 \times 2 + 1.6 \times 5) \times 5}{4} = 13\ ton.m$$

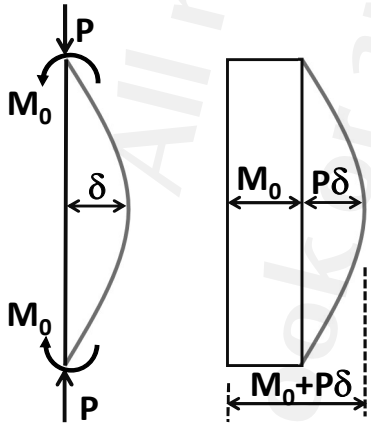
بنابراین لنگر تشدید یافته در سطح حالات حدی برابر است با:

$$1.10 \times M_u = 1.10 \times 13 = 14.3\ ton.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضا در قاب مهارشده:

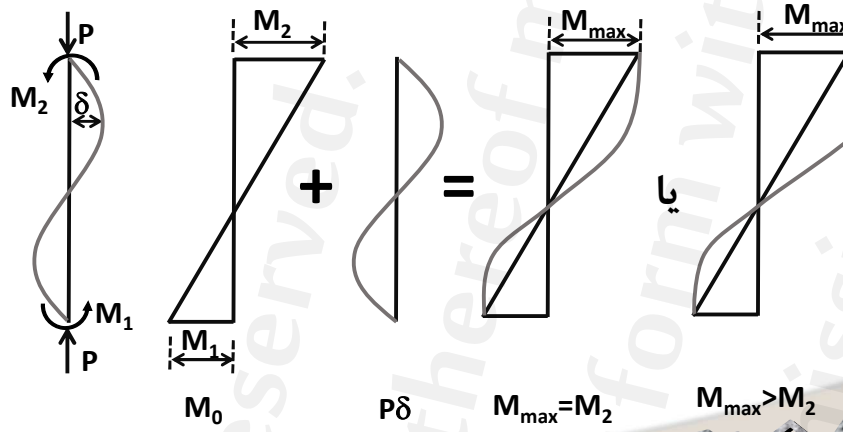


که تحت نیروی محوری و لنگر خمشی در دو انتهای خود قرار دارد. لنگر خمشی متمرکز M_0 بشکلی اعمال می‌شود که در عضو تولید خمش ساده می‌نماید بطوریکه یک انحناء در عضو ایجاد شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر عضوی تحت بار محوری و لنگرهای هم جهت در دو انتها نشان داده شده است که باعث ایجاد خمش مضاعف در عضو می‌شود. حداکثر لنگر ایجاد شده تحت لنگرهای اعمالی در یکی از دو انتهای آن و حداکثر ضریب تشدید لنگر در بین دو انتهای آن ایجاد می‌شود. بسته به میزان بار محوری P، ضریب تشدید لنگر می‌تواند کوچکتر یا بزرگتر از لنگرهای انتهایی عضو باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار حداکثر لنگر در یک تیر-ستون به توزیع لنگر خمشی در آن بستگی دارد. این توزیع توسط ضریب C_m بیان می‌شود. طبق بند ۱۰-پ-۳-۲-۱ برای اعضایی که تحت اثر نیروی محوری فشاری قرار دارند، مقدار ضریب تشدید B_1 از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)} \geq 1.0$$

که در آن C_m ضریبی است که باید براساس حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری می‌شود، تعیین گردد. مقدار این ضریب باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

۱) برای اعضای فاقد هر نوع بار جانبی در بین دو انتهای عضو در صفحهٔ خمش:

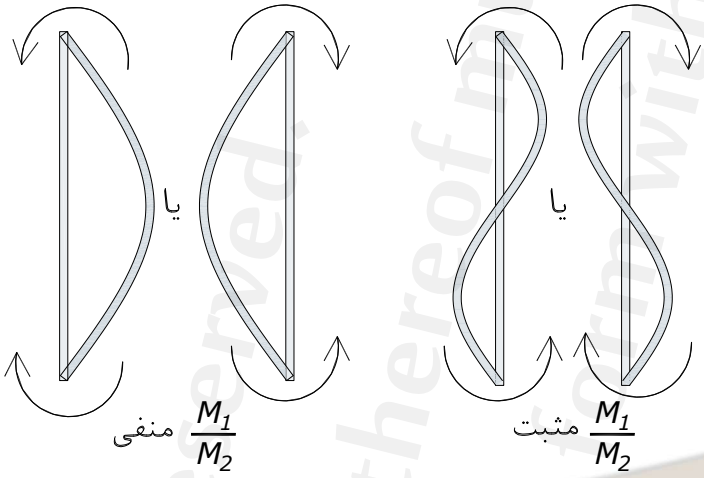
$$C_m = 0.6 - 0.4\left(\frac{M_{r1}}{M_{r2}}\right)$$

که در آن M_{r1} و M_{r2} لنگرهای خمشی مرتبه اول (متناسب با نوع روش طراحی، LRFD یا ASD) دو انتهای ناحیهٔ مهارنشدهٔ عضو موردنظر در صفحهٔ خمش بوده و $|M_{r1}| \leq |M_{r2}|$ است. در رابطهٔ فوق، درصورتیکه انحنای عضو به علت لنگرهای M_{r1} و M_{r2} ساده باشد، نسبت $\left(\frac{M_{r1}}{M_{r2}}\right)$ منفی و درصورتیکه انحنای عضو به علت لنگرهای M_{r1} و M_{r2} مضاعف باشد، نسبت $\left(\frac{M_{r1}}{M_{r2}}\right)$ مثبت است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پارامترهای M_1 و M_2 لنگرهای خمشی مرتبه اول دو انتهای ناحیه مهار نشده عضو مورد نظر در صفحه خمش بوده و $|M_1| \leq |M_2|$ می‌باشد. در رابطه فوق اگر انحنای عضو بصورت ساده باشد، نسبت M_1/M_2 منفی و در صورت انحنای مضاعف، این نسبت مثبت است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲) برای اعضایی که در تحت اثر بار جانبی در بین دو انتهای عضو در صفحهٔ خمش قرار دارند، مقدار C_m را می‌توان به طور محافظه کارانه برابر یک فرض نمود، مگر آنکه تحلیل دقیق مقدار کمتری را نشان دهد.

P_{el}: مقاومت کمانش بحرانی الاستیک عضو مورد نظر در صفحه خمش بوده و با فرض عدم انتقال جانبی قاب از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد:

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 (EI)^*}{(K_1 L)^2}$$

که در آن:

$(EI)^*$: صلبیت خمشی کاهش یافتهٔ عضو موردنظر برای حالتی که برای تأمین الزامات طراحی از روش تحلیل مستقیم استفاده می‌شود $((EI)^* = 0.8\tau_b EI)$ و صلبیت خمشی کاهش نیافته برای حالتی که برای تأمین الزامات طراحی از روش طول مؤثر استفاده می‌شود(EI).

E: مدول الاستیسیتهٔ فولاد

I: ممان اینرسی مقطع عضو موردنظر در صفحهٔ خمش

L: طول عضو موردنظر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

K_1: ضریب طول مؤثر عضو در صفحهٔ خمش و مقدار آن برای اعضای مورد نظر کلیهٔ سیستم‌های سازه‌ای باید برابر یک در نظر گرفته شود.

P_r: مقاومت محوری موردنیاز مرتبه دوم که در روش LRFD بیانگر P_u و در روش ASD بیانگر P_a است. در رابطهٔ B_1 برای محاسبهٔ B_1 براساس تخمین اولیه مقدار P_r را می‌توان از رابطهٔ $P_r = P_{nt} + P_{lt}$ تعیین نمود.

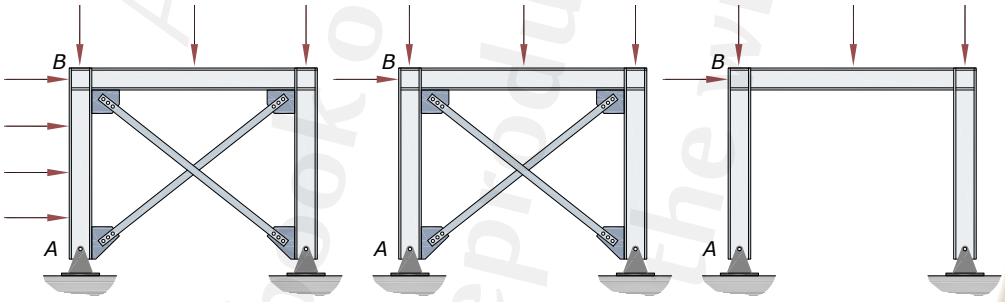
α: ضریبی که مقدار آن در روش LRFD برابر با 1.0 و در روش ASD برابر 1.6 است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تعیین ضریب C_m (ضریب توزیع لنگر)

ضریب توزیع لنگر C_m تنها در حالتی که قاب مهارشده باشد، اعمال می‌شود. در این حالت، این اعضا را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: الف) برای تیر-ستون‌هایی که فاقد هر نوع بار جانبی در بین دو انتهای خود در صفحه خمش هستند. ب) تیر-ستون‌هایی که در معرض بار جانبی در بین دو انتهای خود هستند.



الف) قاب مهارنشده ب) قاب مهارشده بدون بار جانبی پ)قاب مهارشده با بار جانبی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

همانطور که قبلا گفته شد، در صورتی که تیر ستون در معرض بار جانبی بین دو انتهای خود باشد، مقدار C_m را می‌توان بطور محافظه کارانه برابر یک فرض نمود. روش دیگر برای تعیین این مقدار در تفسیر آیین‌نامه AISC360 بصورت زیر پیشنهاد شده است:

$$C_m = 1 + \Psi\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$$

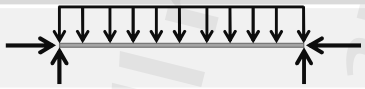
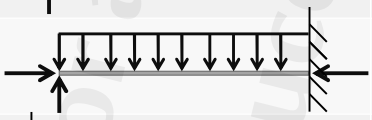
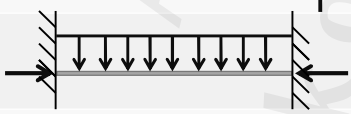
که در رابطه اخیر، در روش طراحی تنش مجاز برابر α=1.6 و در روش طراحی براساس حالات حدی α=1.0 می‌باشد. همچنین ضریب Ψ طبق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\Psi = \frac{\pi^2 \delta_0 EI}{M_0 L^2} - 1$$

که در آن δ_0 حداکثر جابجایی به سبب بارهای جانبی M_0 حداکثر لنگر مرتبه اول عضو به سبب بارهای جانبی می‌باشد. برای شرایطی که دو انتهای عضو مقید شده باشد، مقادیر این ضریب در جدول بعدی داده شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

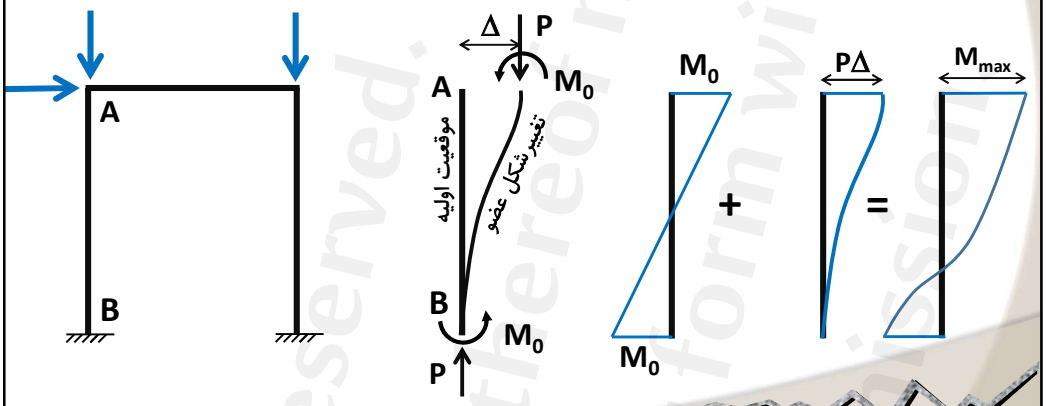
حالت	Ψ	C_m
	0	1.0
	−0.4	$1 - 0.4\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$
	−0.4	$1 - 0.4\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$
	−0.2	$1 - 0.2\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$
	−0.3	$1 - 0.3\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$
	−0.2	$1 - 0.2\left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب C_m برای اعضا در قاب مهارنشده:

در تیر-ستون‌هایی که در آنها، دو انتهای عضو در برابر حرکت جانبی آزاد می‌باشد، حداکثر لنگر اولیه ناشی از انتقال جانبی همیشه در دو انتهای آن ایجاد می‌شود. به عنوان یک نتیجه کلی، به سبب آنکه لنگرهای ناشی از اثرات اولیه و ثانویه با هم جمع می‌شوند، نیازی به اعمال C_m نیست و به عبارتی می‌توان C_m=1.0 در نظر گرفت.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-پ-۳-۲-۲ ضریب تشدید B_2 (برای محاسبه اثرات P-Δ)

ضریب B_2 به هر دو نیروهای محوری و لنگر اعمال می‌شود. ضریب تشدید B_2 برای هر طبقه ساختمان و در هر راستای جابجایی جانبی محاسبه می‌شود و مقاومت‌های محوری و خمشی موردنیاز کلیهٔ اعضای باربر جانبی طبقه باید با این ضریب تشدید شوند. مقدار این ضریب از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e\ story}}} \geq 1.0$$

که در آن:

P_{story}: مجموع بارهای قائم کلیهٔ ستون‌های باربر جانبی و ثقلی (ستون‌های متکی) طبقه. در روش LRFD منظور از P_{stroy} همان $\sum P_u$ طبقه بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود. در روش ASD منظور از P_{stroy} همان $\sum P_a$ طبقه بوده که باید براساس ترکیبات بارگذاری نظیر این روش محاسبه شود.

$P_{e\ story}$: مقاومت کمانش بحرانی الاستیک طبقه در راستای جابجایی جانبی مورد بررسی بوده و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$P_{e\ story} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} = \left(1 - 0.15 \frac{P_{mf}}{P_{story}}\right) \frac{HL}{\Delta_H}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

P_{mf}: مجموع نیروی قائم کلیهٔ ستون‌های قاب خمشی در امتداد مورد نظر و با رعایت ضرایب بار به کاررفته در ترکیب بارگذاری مورد نظر که باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

۱) چنانچه در امتداد مورد مطالعه، سیستم باربر جانبی از نوع قاب ساختمانی ساده توأم با مهاربندی یا دیوار برشی باشد، در این صورت P_{mf} باید برابر صفر در نظر گرفته شود.

$$P_{mf} = 0 \quad \text{و} \quad R_M = 1.0$$

۲) چنانچه در امتداد موردمطالعه، سیستم باربر جانبی از نوع قاب خمشی یا دوگانه (ترکیبی از قاب خمشی و مهاربندی یا دیوار برشی) بوده و در آن کلیهٔ اتصالات گیردار باشند، در این صورت P_{mf} باید برابر با مجموع نیروی قائم کلیهٔ ستون‌های طبقه در نظر گرفته شود.

$$P_{mf} = P_{story} \quad \text{و} \quad R_M = 0.85$$

۳) چنانچه در امتداد موردمطالعه، سیستم باربر جانبی از نوع قاب خمشی یا دوگانه (ترکیبی از قاب خمشی و مهاربندی یا دیوار برشی) بوده، لیکن در آن برخی از قاب‌ها (یا ستون‌ها) به صورت ثقلی طراحی شده باشند، در این صورت P_{mf} باید برابر با مجموع نیروی قائم ستون‌های قاب‌های خمشی در نظر گرفته شود.

$$P_{mf} = P_{story} - P_{leaning} \quad \text{و} \quad 0.85 < R_M < 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

Δ_H: تغییرمکان جانبی نسبی طبقهٔ موردبررسی تحت اثر نیروهای جانبی بر پایهٔ تحلیل مرتبه اول و صلبیت خمشی $(EI)^*$. مقدار $(EI)^*$ پارامتری است که در رابطهٔ P_{el} تعریف شده است. در مواردی که مقدار Δ_H برای قاب‌های مختلف در پلان طبقه متفاوت باشد، این مقدار باید برابر متوسط وزنی تغییرمکان جانبی نسبی قاب‌های مختلف (که نسبت به بارهای قائم قاب‌های مختلف سنجیده می‌شود) یا به طور محافظه کارانه برابر تغییرمکان جانبی حداکثر طبقه در نظر گرفته شود.

H: برش طبقه ناشی از بارهای جانبی که مقدار Δ_H براساس آنها محاسبه شده است.

L: ارتفاع طبقه

تبصره: در رابطهٔ B_2 مقدار $P_{e\,story}$ را می‌توان از رابطهٔ زیر نیز تعیین نمود:

$$P_{e\,story} = \frac{\pi^2 EI}{(K_2 L)^2}$$

که در آن مطابق پیوست ۲ مقدار K_2 برای قاب‌های خمشی بدون ستون‌های متکی، از طریق روابط تعیین K (به صورت دقیق یا تقریبی) و یا از طریق نموگراف و برای قاب‌های خمشی توأم با ستون‌های متکی از طریق رابطهٔ ۱۰-پ۲-۵ تعیین می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-پ۳-۲-۳ محاسبه P_{nt}، M_{nt}، P_{lt} و M_{lt}

در قاب‌های نسبتاً متقارن و با بارگذاری نسبتاً متقارن، P_{nt} و M_{nt} را می‌توان از تحلیل مرتبه اول قاب در اثر بارهای ثقلی ضریبدار) متناسب با ضرایب بار روش طراحی موردنظر) P_{lt} و M_{lt} را از تحلیل مرتبه اول قاب در اثر بارهای جانبی (متناسب با ضرایب بار روش طراحی موردنظر) به دست آورد. باید توجه داشت که در هر دو مرحله، ضرایب بار باید متناسب با ضرایب به کاررفته در ترکیب بارگذاری نظیر راستای تغییرمکان جانبی موردبررسی، انتخاب شود.

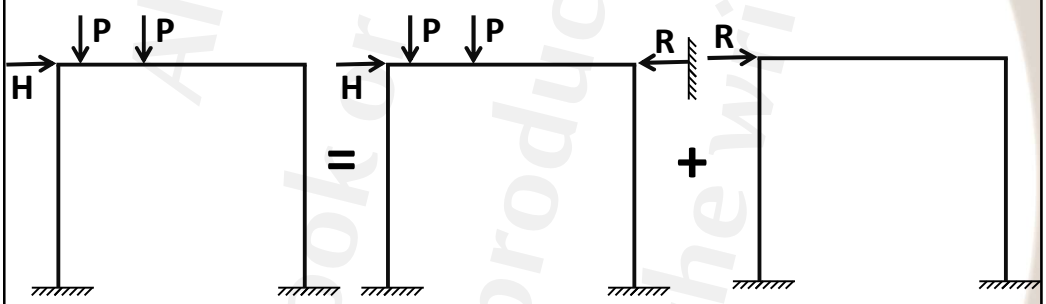
در قاب‌های با هندسه یا با بارگذاری نامتقارن، چون در هنگام تحلیل برای بارهای قائم امکان انتقال جانبی برای قاب وجود دارد، از این رو در این‌گونه قاب‌ها، تحلیل باید به شرح زیر در دو مرحله صورت گیرد:

۱) مطابق شکل ۱۰-پ۳-۱الف تحلیل قاب برای بارهای قائم با فرض عدم انتقال جانبی در قاب. در این حالت بارهای ضریبدار بر سازه اعمال شده و قاب بدون حرکت جانبی در نظر گرفته می‌شود. این کار با بستن جابجایی طبقات انجام خواهد شد. مقدار لنگرهای M_{nt} محاسبه شده و میزان عکس‌العمل‌های تکیه‌های فرضی R نیز تعیین می‌شود.

۲) مطابق شکل ۱۰-پ۳-۱-ب تحلیل قاب برای بارهای جانبی به همراه واکنش‌های تکیه‌گاهی به دست آمده از مرحلهٔ (۱) بالا. در این حالت، سازه برای عکس نیروی لازم برای جلوگیری از حرکت جانبی تحلیل شده و لنگرهای M_{lt} تعیین می‌شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

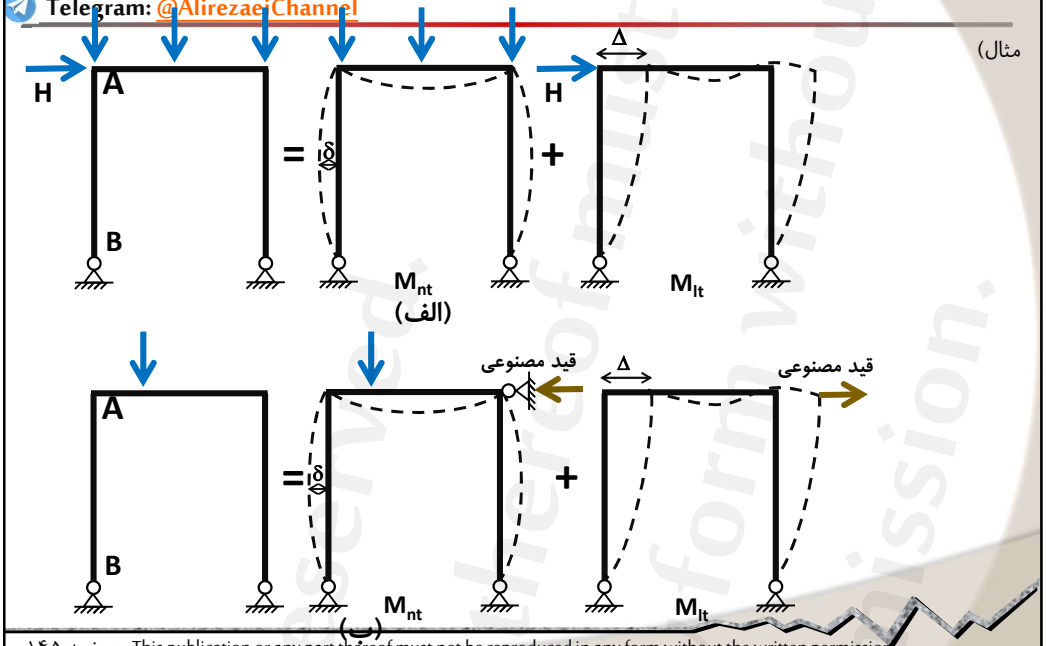
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال)



صفحه ۱۴۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

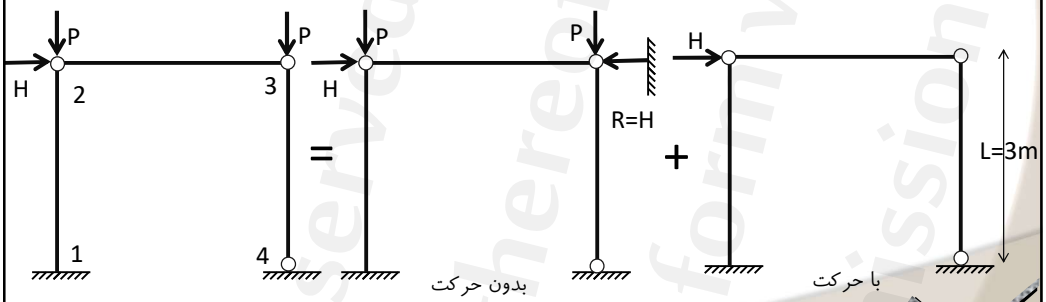
در شکل الف، یک قاب مهارنشده تحت بارهای ثقلی و جانبی نشان داده شده است. برای عضو AB مقدار لنگر ایجاد شده در آن تحت بارهای ثقلی بدست آمده و با M_{nt} نشان می‌دهیم. به سبب تقارن قاب، نیازی به نگهداشتن قاب بصورت جانبی و مهار آن نیست. این لنگر با استفاده از ضریب بزرگنمایی B_1 افزایش یافته تا اثرات Pδ در نظر گرفته شود. همچنین لنگرهای M_{lt} که ناشی از جابجایی جانبی قاب توسط نیروی جانبی می‌باشند نیز توسط ضریب بزرگنمایی B_2 افزایش می‌یابد. این ضریب برای در نظر گرفتن اثرات PΔ است.

در شکل ب، یک قاب مهارنشده تحت یک بار ثقلی نشان داده شده است. به سبب آنکه قاب دارای تقارن نیست، سیستم تحت بارگذاری نشان داده شده مقداری دارای حرکت جانبی خواهد بود. برای جلوگیری از این مورد، حرکت قاب توسط یک قید مصنوعی گرفته می‌شود و لنگرهای ایجاد شده در آن تعیین می‌شوند. برای تعیین لنگرهای قاب در اثر جابجایی آن، بایستی این قید از سیستم حذف شده و یک نیرو معادل با همین عکس‌العمل تکیه‌گاهی به جای آن قرار داده شود. جهت اعمال این نیرو بایستی خلاف عکس‌العمل تکیه‌گاهی مصنوعی باشد. مقدار لنگرهای M_{lt} ایجاد شده در این حالت معمولاً ناچیز بوده و می‌توان از آنها صرف نظر نمود. بنابراین بطور کلی دو سازه جداگانه را می‌توان در این حالت مورد بررسی قرار داد. سازه اول را بصورت مهارشده و لنگرهای M_{nt} محاسبه می‌شوند. همچنین در سازه دوم بایستی قاب بصورت مهارنشده تحلیل و مقدار لنگرهای M_{lt} تعیین شوند.

صفحه ۱۴۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) قاب نشان داده شده در شکل زیر، را با استفاده از روش تحلیل مستقیم و روش تحلیل مرتبه دوم تشدید یافته، تحلیل نمایید. مقطع تمام اعضا، از IPB300 با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. از وزن قاب می‌توان صرف نظر نمود. ستون‌ها حول هر دو محور مهار جانبی ندارند. سازه تحت بار مرده D=20 ton، زنده L=30 ton و باد W=22 ton قرار دارد. برای ستون ۱۲ اثرات بارهای مرتبه دوم را بررسی نمایید. ستون ۱۲ در بالای خود دارای مهار جانبی بوده در در پای خود حول محور y مفصلی در نظر گرفته شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مشخصات IPB300 بصورت زیر است:

$A = 149\ \text{cm}^2 \quad , \quad I = 25170\ \text{cm}^4$

طبق مبحث ششم، ترکیب بارهای طراحی برای این حالت را بصورت زیر در نظر می‌گیریم:

$1.2D + 0.5L + 1.6W \quad \Rightarrow \quad P = 1.2 \times 20 + 0.5 \times 30 = 39\ \text{ton} \quad , \quad H = 1.6W = 35\ \text{ton}$

کل بارهای ثقلی اعمال شده بر قاب برابر $Y_I=2P$ می‌باشد. طبق مبحث دهم، بارهای خیالی برابر $N_i=0.002\times 2P$ هستند. با فرض آنکه $B_2<1.7$ باشد، بارهای خیالی نیازی نیست به بارهای جانبی اضافه شوند. برای ستون 12، در حالتی که از جابجایی قاب جلوگیری شده باشد، $P=P_{nt}$ و $M_{nt}=0$ و نیازی به محاسبه B_1 نیست. برای عضو 12 در حالت، حرکت جانبی قاب، $P_{lt}=0$ و $M_{lt}=3H$ است. از آنجایی که $P_{lt}=0$ می‌باشد، بار محوری مرتبه دوم در ستون 12 برابر $P_u=P_{nt}=P$ خواهد بود. برای قاب P_{story} که برابر مجموع بارهای قائم طبقه ناشی از ترکیب بارهای نظیر راستای جابجایی جانبی مورد مطالعه است برابر $P+P=2P$ خواهد بود. همچنین P_{mf} که مجموع بارهای قائم ستون‌های قاب‌های خمشی ناشی از ترکیب بارهای بارگذاری نظیر راستای جابجایی جانبی مورد مطالعه در طبقه مورد نظر نیز برابر P است. زیرا ستون سمت راست، بخشی از قاب خمشی نیست. نیروی تسلیم محوری ستون برابر $P_y=AF_y=149\times 2400\times 10^3=357.6\ \text{ton}$ خواهد بود.

$P_u/P_y = 39\ \text{ton}/357.6\ \text{ton} = 0.11 < 0.5 \quad \Rightarrow \quad \tau_b = 1.0$

$EI^* = 0.8\tau_b EI = 0.8 \times 1.0 \times 2 \times 10^6 \times 25170 = 4.027 \times 10^{10}\ \text{kg.cm}^2$

$\Delta_H/L = HL^2/3EI^* = 35000 \times 300^2/(3 \times 4.027 \times 10^{10}) = 0.026$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای محاسبه B_2 داریم:

$$P_{story} = 2P = 2 \times 39 = 78 \text{ ton}$$
$$R_m = 1 - 0.15\left(P_{mf}/P_{story}\right) = 1 - 0.15/2 = 0.925$$
$$\Rightarrow \quad P_{e\ story} = R_m HL/\Delta_H = 0.925 \times \frac{35}{0.026} = 1245 \text{ ton}$$
$$B_2 = \frac{1}{1 - \left(P_{story}/P_{e\ story}\right)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{78}{1245}\right)} = 1.06$$

محاسبه نیروهای مرتبه دوم:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = B_2 M_{lt} = 1.06 \times 3 \times 35 = 111.3 \text{ ton.m}$$
$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} = P_{nt} = 39 \text{ ton}$$

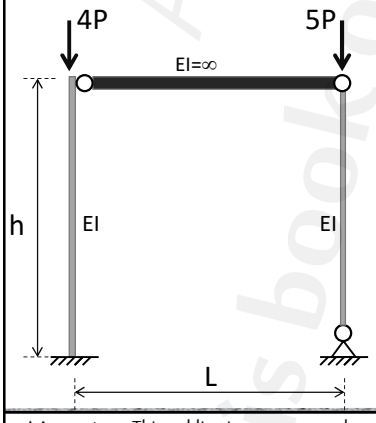
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در قاب شکل زیر، براساس روش طول مؤثر، طول مؤثر ستون AB با در نظر گرفتن تاثیر انتقال آثار P-Δ ناشی از بار وارد بر ستون CD به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (کمانش در داخل صفحه مد نظر است) برای پاسخ از روال رایج برای قاب‌های خمشی استفاده کنید. (شهریور ۱۴۰۱)

الف) 3h ب) 1.0h ج) 2.1h د) 2.69h

پاسخ:



$$K_2 = \sqrt{\frac{\frac{\pi^2 EI}{L^2}}{P_r}\left[\frac{P_{story}}{\sum \frac{\pi^2 EI}{(K_{n2}L)^2}}\right]} = \sqrt{\frac{\frac{\pi^2 EI}{h^2}}{4P}\left[\frac{9P}{\frac{\pi^2 EI}{(2h)^2}}\right]}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{9 \times 2^2}{4}\right)} = 3$$
$$\geq \left(\sqrt{\frac{5}{8}} K_i \text{ و } 1.0\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

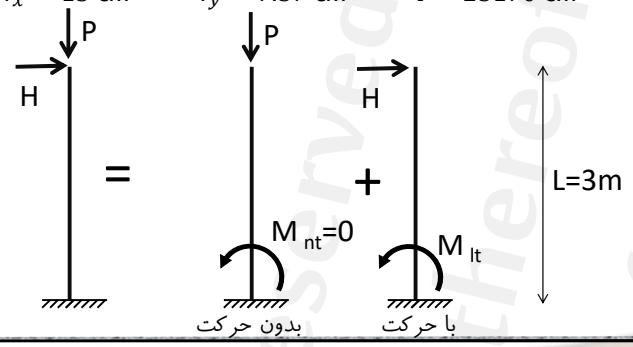
مثال) یک ستون کنسولی با مقطع IPB300 با طول مهار نشده ۳ متر حول هر دو محور و تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود. ستون در بالا و پایین، حول محور y مفصلی و بارهای مرده D=20 ton، زنده L=30 ton و بار باد به میزان W=26 ton در نظر گرفته شود. اثرات مرتبه دوم برای ستون را بررسی نمایید.

پاسخ: طبق مبحث ششم، ترکیب بارهای طراحی برای این حالت را بصورت زیر در نظر می‌گیریم:

$1.2D + 0.5L + 1.6W \quad \Rightarrow \quad P = 1.2 \times 20 + 0.5 \times 30 = 39 \text{ ton} \quad , \quad H = 1.6W = 42 \text{ ton}$

مشخصات IPB300 بصورت زیر است:

$r_x = 13 \text{ cm} \quad , \quad r_y = 7.57 \text{ cm} \quad , \quad I = 25170 \text{ cm}^4$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

بنابراین طول موثر ستون برابر است با:

$$\frac{KL_y}{r_y} = \frac{300 \text{ cm}}{7.57 \text{ cm}} = 39.6 \quad , \quad \frac{KL_x}{r_x} = \frac{300 \text{ cm} \times 2.1}{13 \text{ cm}} = 48.4$$

بنابراین لاغری حول محور x حاکم است. مطابق شکل قبل برای حالت بدون حرکت جانبی، $P=P_{nt}$ و $M_{nt}=0$ است. بنابراین محاسبه B_1 نیازی نیست. همچنین $P_{story}=P_{nt}$ و $P_m=P_{nt}$ است. برای حالت با حرکت جانبی، $P_{lt}=0$ و $M_{lt}=3H$ است. برای محاسبه B_2 داریم:

$\Delta_H/L = HL^2/3EI = 42000 \times 300^2/(3 \times 2 \times 10^6 \times 25170) = 0.025$

$P_{story} = P_{mf} = P_{nt} = 39 \text{ ton}$

$R_m = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{story}) = 0.85 \quad \Rightarrow \quad P_{e\ story} = R_m HL/\Delta_H = 0.85 \times 42/0.025 = 1428 \text{ ton}$

$$B_2 = \frac{1}{1 - (P_{story}/P_{e\ story})} = \frac{1}{1 - (39/1428)} = 1.03$$

محاسبه نیروهای مرتبه دوم:

$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = B_2 M_{lt} = 1.03 \times 3 \times 42 = 129.78 \text{ ton.m}$

$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} = P_{nt} = 39 \text{ ton}$

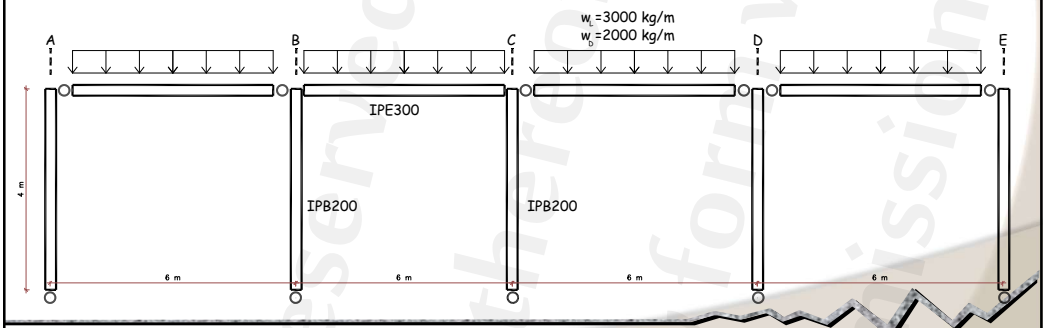
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) با استفاده از روش طول موثر، مقاومت مورد نیاز و ضریب طول موثر ستون‌ها را در قاب خمشی نشان داده شده در شکل زیر برای حداکثر ترکیب بار ثقلی تعیین نمایید. ستون‌ها در طول خود مهار نشده و پای آنها مفصلی فرض شود. طول تمام دهانه‌ها ۶ و ارتفاع سازه ۴ متر است.

تیرهای بین محور A تا B، C تا D و D تا E مفصلی بوده و مشارکتی در بار جانبی ندارند. بنابراین طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ به عنوان قاب ثقلی تلقی شده و برای آنها K=1 می‌باشد. طول تمام دهانه‌ها ۶ و ارتفاع سازه ۴ متر است. قاب بین B تا C گیردار بوده و جزئی از سیستم لرزه‌بر سازه می‌باشد. اگرچه ستون‌های روی محور A، D و E در پایداری جانبی مشارکتی ندارند لیکن بارهای روی آنها بایستی در نظر گرفته شوند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق مبحث دهم، در صورتی می‌توان از روش طول موثر استفاده نمود که نسبت جابجایی نسبی مرتبه دوم به جابجایی نسبی مرتبه اول از 1.5 فراتر نرود. طبق مبحث ششم، حداکثر بار ثقلی بصورت زیر تعیین می‌شود:

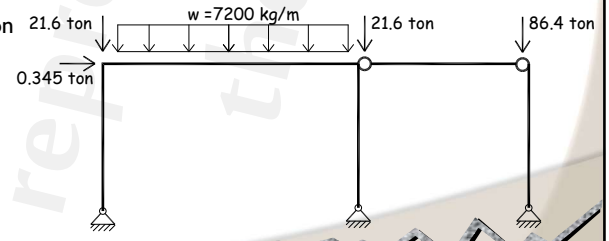
$$w_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(2000) + 1.6(3000) = 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

بنابراین بار متمرکز ناشی از نصف سطح بارگیر تیرهای بین محور AB و CD، که روی ستون روی محور B و C مستقیم اعمال می‌شود، برابر است با:

$$P'_u = 3\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 21.6\ \text{ton}$$

کل قاب نشان داده شده در شکل قبل را می‌توان توسط قاب معادل شکل بعدی فرض نمود. همچنین بار متمرکز ناشی از قاب‌ها ساده که در پایداری سیستم لرزه‌بر دخیل هستند بصورت زیر می‌باشد:

$$P'_{uL} = 12\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 86.4\ \text{ton}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین بار متمرکز ناشی از نصف سطح بارگیر تیرهای بین محور AB و CD، که روی ستون روی محور B و C مستقیم اعمال می‌شود، برابر است با:

$$P'_u = 3\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 21.6\ \text{ton}$$

کل قاب نشان داده شده در شکل قبل را می‌توان توسط قاب معادل شکل بعدی فرض نمود. همچنین بار متمرکز ناشی از قاب‌ها ساده که در پایداری سیستم لرزه‌بر دخیل هستند بصورت زیر می‌باشد:

$$P'_{uL} = 6\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 43.2\ \text{ton}$$

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۱ مبحث دهم، بایستی یک بار فرضی بصورت زیر در نظر گرفته شود:

$$Y_i = 24\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 172.8\ \text{ton} \quad \Rightarrow \quad N_i = 0.002 Y_i = 0.002 \times 172.8\ \text{ton} = 0.345\ \text{ton}$$

با تحلیل قاب معادل در برنامه ETABS نتایج بصورت شکل بعدی می‌باشد. طبق مبحث دهم در این روش نیازی به در نظر گرفتن سختی کاهش یافته نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جابجایی قاب در دو حالت تحلیل مرتبه اول و دوم (به ترتیب شکل‌های سمت راست و چپ) بر روی شکل نشان داده شده است. واحد لنگر خمشی نشان داده بر روی شکل تن-متر، عکس‌العمل تکیه‌گاهی تن و جابجایی بر حسب cm می‌باشد. طبق بخش C2.1 آیین‌نامه AISC، اثرات P-δ بایستی در نظر گرفته شود. در این حالت در صورتی که از ETABS یا SAP استفاده می‌نمایید بایستی ستون را در طول خود تقسیم نمایید. با توجه به شکل، داریم:

$$\frac{\Delta_{2n}}{\Delta_{1st}} = \frac{0.749}{0.5} = 1.49$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار فوق کمتر از 1.5 بوده و استفاده از روش طول موثر اجازه داده می‌شود. برای تعیین $K_2=K_x$ درون صفحه، از روش سختی طبقه که در پیوست ۷ تفسیر AISC (رابطه C-A-7-5) آمده استفاده می‌شود.

$$K_x = K_2 = \sqrt{\frac{P_{story}}{R_M P_r}\left(\frac{\pi^2 EI}{L^2}\right)\left(\frac{\Delta_H}{\Sigma HL}\right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2}\left(\frac{\Delta_H}{1.7 H_{col} L}\right)}$$

حداکثر بار ثقلی ضریبدار طبقه:

$$P_{story} = 7200 \times 24 \times 10^{-3} = 172.8 \text{ ton}$$
$$P_{mf} = 43.9 + 43.2 = 87.1 \text{ ton}$$
$$R_m = 1 - 0.15\left(\frac{P_{mf}}{P_{story}}\right) = 1 - 0.15\left(\frac{87.1}{172.8}\right) = 0.925$$

محاسبه مقاومت کمانش اویلر برای هر یک از ستون‌ها:

$$\frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times (2 \times 10^6) \times 5696}{400^2} = 702.7 \text{ ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین

$$K_x = K_2 = \sqrt{\frac{P_{story}}{R_M P_r}\left(\frac{\pi^2 EI}{L^2}\right)\left(\frac{\Delta_H}{\Sigma HL}\right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2}\left(\frac{\Delta_H}{1.7 H_{col} L}\right)}$$

$$K_x = K_2 = \sqrt{\frac{172.8}{0.925 \times 43.9}(702.7)\left(\frac{0.5}{0.345 \times 400}\right)} = \underline{3.29} \geq \sqrt{702.7\left(\frac{0.5}{1.7\frac{13.05}{4} \times 400}\right)}$$

$$= 0.39$$

در رابطه فوق H_{col} نیروی برشی ستون مورد نظر می‌باشد که از بارهای جانبی بدست آمده است.برای بدست آوردن آن لنگر بالای ستون بر ارتفاع طبقه تقسیم شده است.

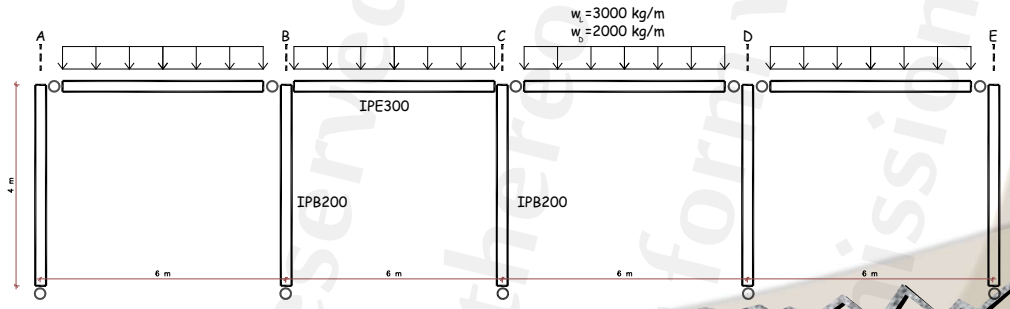
Use $K_x L_x = 3.29 \times 400 = 1316$ cm

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) با استفاده از روش تحلیل مرتبه اول محدود شده، مقاومت مورد نیاز و ضریب طول موثر ستون‌ها را در قاب خمشی نشان داده شده در شکل زیر، برای حداکثر ترکیب بار ثقلی تعیین نمایید. ستون‌ها در طول خود مهار نشده و پای آنها مفصلی فرض شود. طول تمام دهانه‌ها ۶ و ارتفاع سازه ۴ متر است.

تیرهای بین محور A تا B، C تا D و D تا E مفصلی بوده و مشارکتی در بار جانبی ندارند. بنابراین طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ به عنوان قاب ثقلی تلقی شده و برای آنها K=1 می‌باشد. طول تمام دهانه‌ها ۶ و ارتفاع سازه ۴ متر است. قاب بین B تا C گیردار بوده و جزئی از سیستم لرزه‌بر سازه می‌باشد. اگرچه ستون‌های روی محور A، D و E در پایداری جانبی مشارکتی ندارند لیکن بارهای روی آنها بایستی در نظر گرفته شوند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۳ مبحث دهم، در این روش، بارهای ثقلی بایستی توسط ستون‌ها، دیوارها و یا قاب‌های قائم تحمل شوند. همچنین تغییرمکان حاصل از تحلیل مرتبه دوم به مرتبه اول در کلیه طبقات از 1.5 فراتر نرود و مقاومت محوری مورد نیاز در تمامی اعضایی که سختی خمشی آنها در پایداری جانبی سازه موثراند، از $0.5P_y$ بیشتر نشود. طبق مبحث ششم، حداکثر بار ثقلی بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$w_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(2000) + 1.6(3000) = 7200 \ \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

بنابراین بار متمرکز ناشی از نصف سطح بارگیر تیرهای بین محور AB و CD، که روی ستون روی محور B و C مستقیم اعمال می‌شود، برابر است با:

$$P'_u = 3\ \text{m} \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 21.6\ \text{ton}$$

بارهای فرضی برابرند با: (با توجه به اینکه در این ترکیب بار، قاب دارای جابجایی نیست)

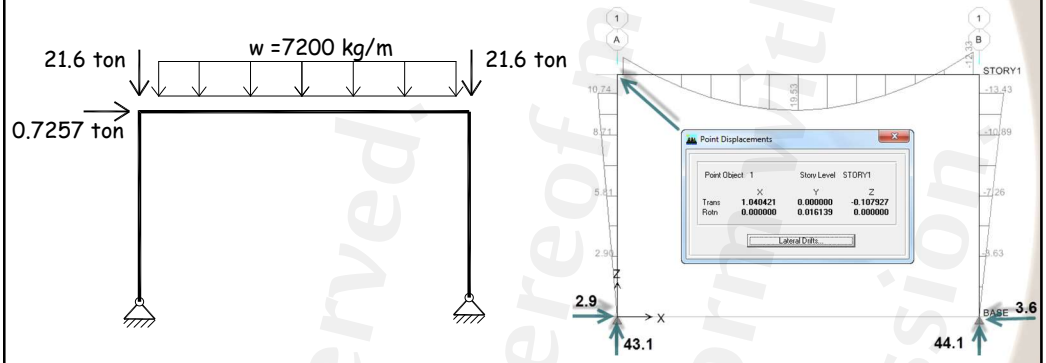
$$Y_i = (24\ \text{m}) \times 7200\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 10^{-3} = 172.8\ \text{ton} \quad , \quad \Delta = 0 \quad , \quad L = 400\ \text{cm}$$

$$N_i = 2.1\left(\frac{\Delta}{L}\right)Y_i = 2.1\left(\frac{0}{400}\right)172.8 \geq 0.0042 \times 172.8 = 0.7257\ \text{ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

خلاصه نحوه اعمال بارهای محاسبه شده در فوق در شکل زیر نشان داده شده است. با تحلیل قاب معادل در برنامه ETABS نتایج بصورت شکل بعدی می‌باشد. جابجایی قاب در حالت تحلیل مرتبه اول بر روی شکل نشان داده شده است. واحد لنگر خمشی نشان داده بر روی شکل تن-متر، عکس‌العمل تکیه‌گاهی تن و جابجایی بر حسب cm می‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار B_2 با استفاده از نتایج تحلیل مرتبه اول بدست می‌آید. طبق رابطه پ-۲-۸ مبحث دهم داریم:

$$P_{mf} = 43.1 + 44.1 = 87.2 \text{ ton} \quad , \quad P_{story} = 172.8 \text{ ton}$$

$$R_M = 1 - 0.15 \times \frac{P_{mf}}{P_{story}} = 1 - 0.15 \times \frac{87.2 \text{ ton}}{172.8 \text{ ton}} = 0.92$$

$$\Delta_H = 1.04 \quad , \quad L = 400 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad P_{e\,\text{story}} = R_M \times \frac{HL}{\Delta_H} = 0.92 \times \frac{0.7257 \times 400}{1.04} = 257 \text{ ton}$$

$$B_2 = \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{\text{story}}}{P_{e\ \text{story}}}\right)} = \frac{1}{1 - \frac{172.8}{257}} = 3.02$$

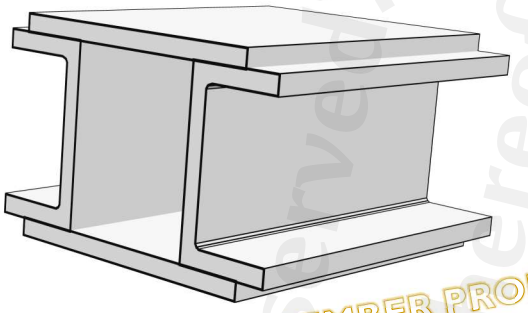
مقدار B_2 بزرگتر از 1.5 بوده و نمی‌توان از این روش استفاده نمود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل سوم

الزامات مقاطع اعضای فولادی



MEMBER PROPERTIES

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

این بخش به الزامات کمانش موضعی اجزای فشاری اعضای سازه و طبقه‌بندی آنها و نیز به تعاریف برخی دیگر از مشخصات مقاطع اعضا می‌پردازد. مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۲-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۲-۲ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی
- ۱۰-۲-۲-۳ پهنای آزاد اجزای با یک لبه مقید
- ۱۰-۲-۲-۴ پهنای آزاد اجزای با دو لبه مقید
- ۱۰-۲-۲-۵ تعیین سطح مقطع کل و خالص در اعضای سازه

الزامات عمومی

تأمین پایداری کل سازه و تمامی اعضا و نیز تمامی اجزای تشکیل دهندهٔ مقاطع اعضا، از الزامات تحلیل و طراحی است. پایداری اجزای تشکیل دهندهٔ مقاطع اعضا در صورتی تأمین می‌شود که الزامات این بخش به نحو مؤثری در تحلیل و طراحی آنها لحاظ شده باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-۲-۲-۱ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری

برای فشار محوری، مقاطع فولادی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

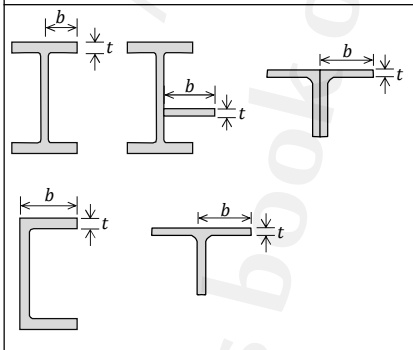
* مقاطع با اجزای غیرلاغر
* مقاطع با اجزای لاغر

مقاطع با اجزای غیر لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهندهٔ مقطع عضو از λ_r مشخص‌شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ بیشتر نباشد. چنانچه نسبت پهنا به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهندهٔ مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ بیشتر باشد، در این صورت مقطع با اجزای لاغر محسوب می‌شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

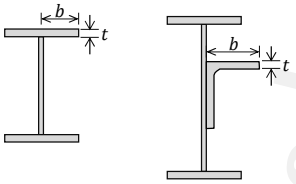
جدول ۱۰-۲-۲-۱ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با یک لبه مقید در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۱	بال‌های مقاطع I شکل نوردشده، ورق‌های بیرون‌زده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های بیرون‌زدهٔ جفت نبشی با اتصال پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سپری	b/t	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [1]	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

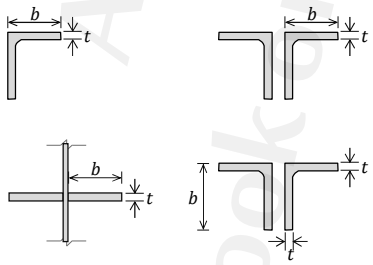
All rights reserved. This book or any part there of must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۲	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق، ورق‌ها یا ساق‌های نبشی بیرون‌زده از مقاطع I شکل ساخته شده از ورق	b/t	$0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [2]	

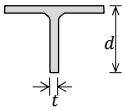
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۳	ساق‌های نبشی‌های تک، ساق‌های نبشی‌های جفت دارای جداکننده (لقمه) و سایر اجزای تقویت نشده	b/t	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

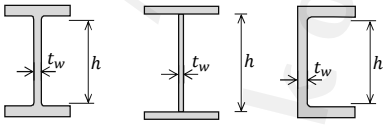
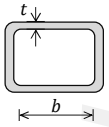
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۴	تیغه جان مقاطع سپری	d/t	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

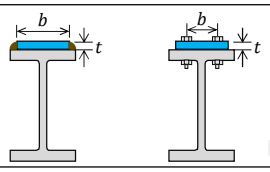
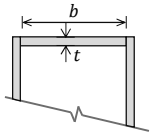
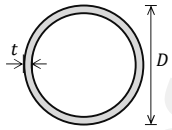
جدول ۱۰-۲-۲-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با دو لبه مقید در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۶	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS)	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه
۷	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حدفاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۸	بال‌ها و جان‌های مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق و سایر اجزای فشاری	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۹	مقاطع دایره‌ای توخالی	D/t	$0.11\frac{E}{F_y}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-۲-۲-۲-۲ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای لنگر خمشی

برای لنگر خمشی، مقاطع فولادی به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

* مقاطع فشرده
* مقاطع غیرفشرده
* مقاطع با اجزای لاغر

الف) مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها اولاً بال‌ها به‌طور سراسری و پیوسته به جان یا جان‌ها متصل باشند، ثانیاً نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل‌دهندهٔ مقطع عضو از λ_p مشخص شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ بیشتر نباشد.

ب) مقاطع غیرفشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء فشاری از مقطع عضو از λ_p مشخص‌شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ بیشتر بوده، اما از λ_r مشخص شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ کمتر باشد.

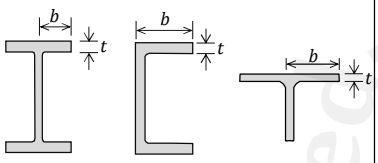
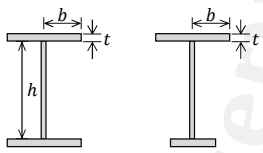
پ) مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای فشاری تشکیل دهندهٔ مقطع عضو از λ_r مشخص شده در جدول‌های ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ بیشتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

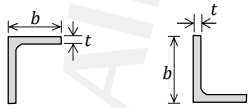
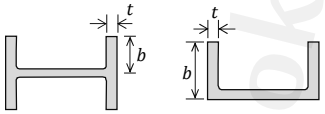
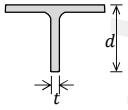
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۲-۳ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با یک لبه مقید در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: (مرز فشرده و غیرفشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: (مرز غیرفشرده و لاغر) λ_r	مثال نمونه
۱۰	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۱	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95\sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [2] و [3]	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

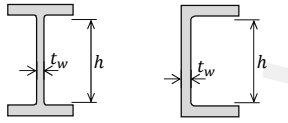
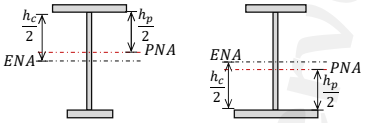
حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: (مرز فشرده و غیرفشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت: (مرز غیرفشرده و لاغر) λ_r	مثال نمونه
۱۲	ساق‌های نبشی‌های تک	b/t	$0.54\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۳	بال‌های کلیه مقاطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۴	تیغه جان مقاطع سپری	d/t	$0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.52\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

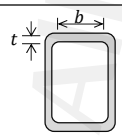
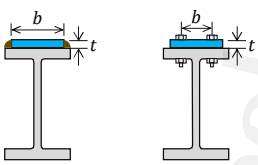
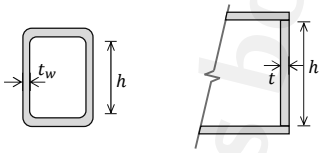
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۲-۴ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری با دو لبه مقید در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز فشرده و غیرفشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز غیرفشرده و لاغر) λ_r	مثال نمونه
۱۵	بال‌های مقاطع Iشکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	h/t_w	$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۶	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{(0.54\frac{M_p}{M_y}-0.09)^2} \le \lambda_r$ [4]	$5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

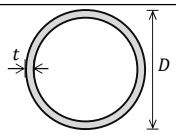
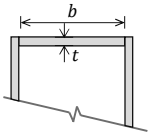
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز فشرده و غیرفشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز غیرفشرده و لاغر) λ_r	مثال نمونه
۱۷	بال‌های مقاطع قوطی شکل(HSS)	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۸	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حدفاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۹	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) و جعبه‌ای	h/t	$2.42\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز فشرده و غیرفشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز غیرفشرده و لاغر) λ_r	مثال نمونه
۲۰	مقاطع دایره‌ای توخالی	D/t	$0.07\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	
۲۱	بال‌های مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق	b/t	$1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

یادداشت‌های جداول اخیر:

[۱] E: مدول الاستیسیتهٔ فولاد و F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

[۲] مقدار k_c از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$0.35 \le k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \le 0.76$$

[۳] برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده مقدار F_L از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$F_L = 0.7F_y \qquad for \ \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge 0.7$$

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}}F_y \ge 05F_y \qquad for \ \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$$

که در آن: S_{xt} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی و S_{xc} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

[۴] M_y لنگر تسلیم نظیر دورترین تار مقطع و M_p لنگر خمشی پلاستیک مقطع

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-۲-۲-۳ تعریف پهنای آزاد اجزای با یک لبه مقید

مطابق الزامات این بخش، اجزای با یک لبه مقید به اجزایی گفته می‌شود که فقط در یک لبه در امتدادی به موازات نیروی فشاری به جزء یا اجزاء دیگر متصل شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین شود:

الف) برای بال‌های نیمرخ‌های I و نیمرخ‌های سپری (T) پهنای آزاد (b) برابر نصف پهنای کل بال (b_f) است.

ب) برای ساق‌های نیمرخ‌های نبشی (L) بال‌های نیمرخ‌های ناودانی (U) و نیمرخ‌های Z شکل، پهنای آزاد (b) معادل کل بعد اسمی بال است.

پ) برای مقطع ساخته شده از ورق، پهنای آزاد (b) برابر فاصلهٔ بین لبهٔ آزاد تا اولین ردیف پیچ یا خط جوش است.

ت) برای تیغهٔ (جان) نیمرخ‌های سپری (T) پهنای آزاد (d) برابر ارتفاع کل مقطع سپری است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-۲-۲-۴ تعریف پهنای آزاد اجزای با دو لبه مقید

مطابق الزامات این بخش، اجزای با دو لبه مقید به اجزایی گفته می‌شود که در هر دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری به جزء یا اجزاء دیگر متصل شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین شود:

الف) برای جان مقاطع نوردشده، h عبارت است از فاصلهٔ بین نقاط شروع گردی ریشهٔ اتصال جان به بال.

ب) برای جان مقاطع ساخته شده از ورق، h عبارت است از فاصلهٔ بین نزدیکترین دو ردیف پیچ و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، h برابر فاصلهٔ خالص بین دو بال است. برای مقاطع با بال‌های نامساوی، h_c عبارت است از دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا رویهٔ داخلی بال فشاری. همچنین برای مقاطعی با بال‌های نامساوی h_p عبارت است از دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت پلاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت پلاستیک تا رویهٔ داخلی بال فشاری.

پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق، پهنای b و h عبارت از فاصلهٔ بین دو خط جوش است.

ت) برای ورق‌های پوششی (تقویتی) در بال تیرها و ورق‌های دیافراگم در مقاطع ساخته شده از ورق، پهنای b عبارت است از فاصلهٔ بین دو ردیف پیچ یا دو خط جوش است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ث) برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) پهنای b عبارت است از فاصلهٔ آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشهٔ داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) عبارت است از فاصلهٔ آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشهٔ داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر b و h را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر ضخامت در نظر گرفت.

ج) برای مقاطع توخالی دایره‌ای شکل، D عبارت است از قطر خارجی مقطع دایره‌ای

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱۰-۲-۲-۵ سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص اعضا

الف) سطح مقطع کل عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن و سطح مقطع هر جزء برابر با حاصل ضرب پهنای کل در ضخامت آن است. برای نیمرخ نبشی، پهنای کل عبارت است از مجموع پهناهای دو بال منهای ضخامت بال.

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

۱- عرض سوراخ پیچ باید به اندازهٔ دو میلیمتر بزرگتر از ابعاد اسمی سوراخ منظور شود. ابعاد اسمی سوراخ در بخش ۱۰-۲-۹ تعریف شده است.

۲- اگر سوراخ‌های متعددی به شکل زنجیره (به صورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند، برای محاسبهٔ پهنای خالص باید از پهنای کل موردبررسی، مجموع قطر سوراخ‌های مسیر زنجیره را کم و به آن برای هر ردیف گام مورب در زنجیره، یک مرتبه جملهٔ $s^2/4g$ را اضافه کرد که در آن، در زنجیرهٔ موردنظر:

S: فاصلهٔ مرکزتامرکز هر دو سوراخ متوالی در امتداد طولی (راستای نیرو)

g: فاصلهٔ مرکز تا مرکز هر دو سوراخ متوالی در امتداد عرضی (راستای عمود بر امتداد نیرو)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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

تبصره ۱: مقطع خالص بحرانی، مقطعی است که در آن نسبت مقاومت کششی موردنیاز به مقاومت کششی موجود حداکثر باشد.

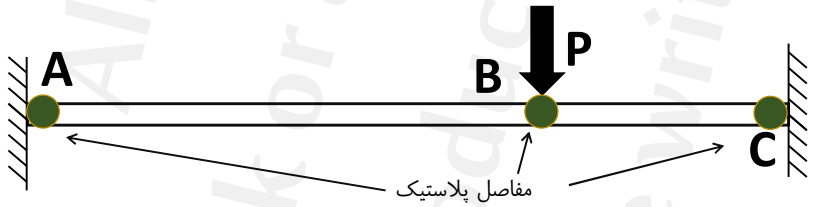
تبصره ۲: در مواردی که در یک اتصال جوشی، سوراخ یا سوراخ‌هایی تعبیه شده باشد (نظیر تعبیهٔ سوراخ جهت استفاده از جوش انگشتانه یا کام)، سطح مقطع خالص عضو باید از مقطعی که از محل سوراخ یا سوراخ‌ها می‌گذرد، موردمحاسبه قرار گیرد. به عبارت دیگر، در مقطعی که یک جوش انگشتانه یا کام قطع شود، فلز جوش نباید در محاسبهٔ سطح مقطع خالص عضو منظور شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مفصل پلاستیک در مقاطع فولادی

در حالتی که عضو فولادی تحت نیروهایی بیش از ظرفیت خود قرار گیرد، مصالح مقطع وارد ناحیه غیرارتجاعی می‌شوند. با جاری شدن مقطع، سختی آن کم می‌شود. به عنوان مثال، وقتی یک تیر فولادی جاری شود و جاری شدن آن به کل مقطع سرایت نماید، در آن مقطع، تیر تقریباً مشابه یک مفصل واقعی شده و دیگر قادر به پذیرش لنگرهای بیشتر نیست.

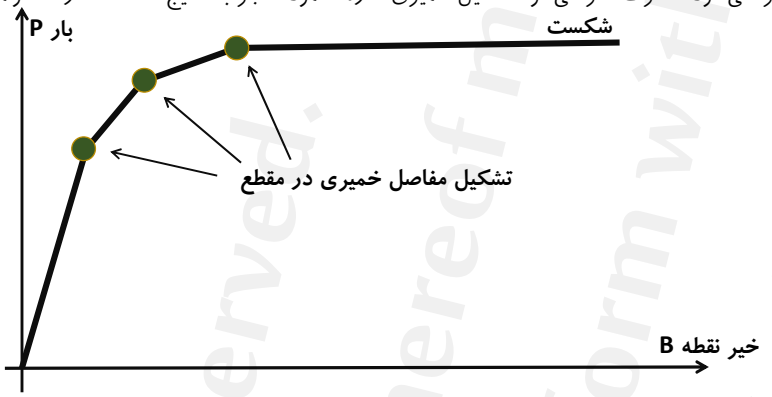


در صورتیکه سازه نامعین باشد، با تشکیل اولین مفصل سازه، لزوماً ناپایدار نمی‌شود. در شکل فوق دایره‌های توپر نشان دهنده این هستند که در آن مقطع، لنگر خمشی تیر به لنگر پلاستیک رسیده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر، نمودار تغییرات جابجایی در گره B در برابر بار وارده برای تیر فوق، نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، در حین افزایش بار و تشکیل مفاصل خمیری در سازه، سختی (شیب منحنی نیرو- جابجایی) کاهش یافته و بعد از تشکیل سه مفصل، سازه ناپایدار شده و قادر به تحمل بار اضافی نیست. با توجه به اینکه در اغلب تحلیل‌ها از سخت شوندگی کرنشی فولاد صرف نظر می‌شود، تحلیل خمیری سازه معمولاً منجر به نتایج محافظه کارانه خواهد شد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت خمشی خالص مقطع با دو محورتقارن

مشخصات هندسی مقاطع و ظرفیت خمیری آنها با توجه به شکل مقطع آنها قابل تعیین است. شکل مقطع در تحلیل خمیری بسیار موثر است. تحلیل خمیری عموماً برای تعیین ظرفیت نهایی اجزای سازه‌ای و پتانسیل خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر مصالح به مانند فولاد قبل از حوزه خمیری، دارای یک ناحیه ارتجاعی هستند. فرضیات مورد نظر برای تعیین ظرفیت خمشی خالص مقاطع بصورت زیر می‌باشند:

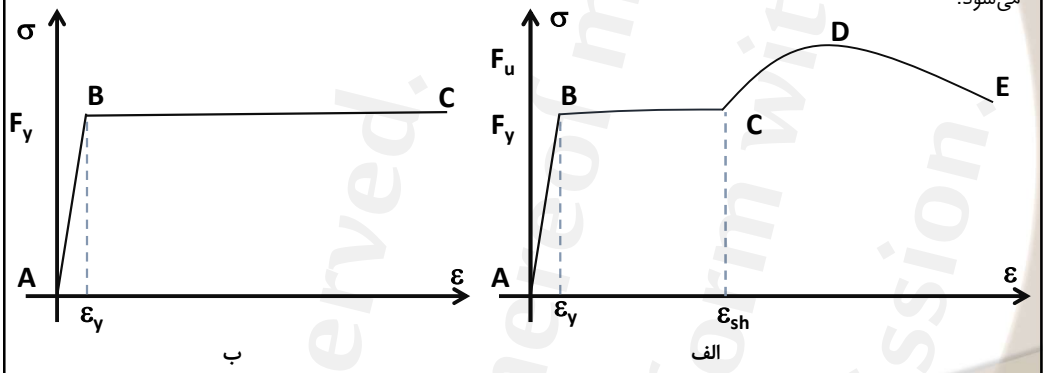
- مقطع تحت خمش بعد از خمیری، صفحه باقی می‌ماند.
- اعضای سازه‌ای بایستی منشوری بوده و بارگذاری در راستای محور تقارن صورت گیرد.
- محور خنثی عمود بر محور تقارن می‌باشد.
- از تغییرشکل‌های برشی صرف نظر می‌شود. (تیر برنولی)
- از کماش‌های موضعی، کمانش‌های جان و کمانش‌های جانبی پیچشی جلوگیری شده است.
- اعضای سازه‌ای تحت بارهای محوری، برشی و پیچشی نیستند.

* معمولاً برای انجام تحلیل‌های دستی از مدل رفتاری الاستو پلاستیک کامل استفاده می‌شود. این مدل رفتاری توسط بسیاری از ضوابط عملی پذیرفته شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

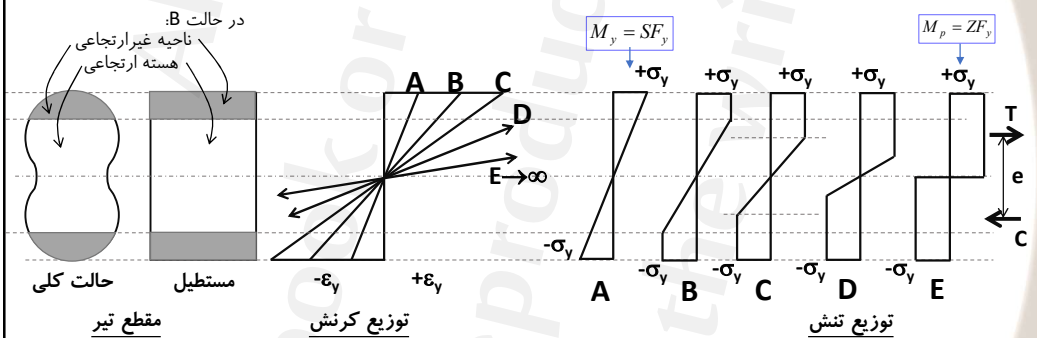
در شکل (الف) رفتار واقعی فولاد بعد از مرحله تسلیم، دارای سخت شوندگی کرنشی بوده نشان داده شده است. لیکن در بسیاری از کارهای عملی می‌توان با دقت مطلوب، نمودار تنش کرنش فولاد را مطابق شکل (ب) بصورت ارتجاعی-خمیری کامل در نظر گرفت و از بخش سخت شوندگی کرنشی آن صرف نظر نمود (بخصوص درتحلیل‌های دستی). بعد از وارد شدن مصالح به ناحیه غیرارتجاعی و در باربرداری، شیب منحنی باربرداری موازی شیب اولیه در نظر گرفته می‌شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاطع با تقارن دوبل، به لحاظ مطالعات در باب تحلیل‌های خمیری راحت‌تر از بقیه مقاطع هستند. زیرا که وجود دو محور تقارن در این مقاطع منجر به آن می‌شود که همیشه تار خنثی مقطع در محل مرکز سطح هندسی آن قرار گیرد. با استفاده از یک مدل الاستوپلاستیک، برای یک مقطع دلخواه مانند شکل زیر می‌توان مقدار تنش را بررسی نمود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

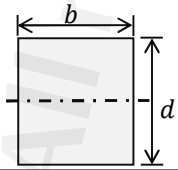
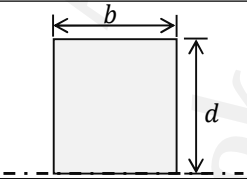
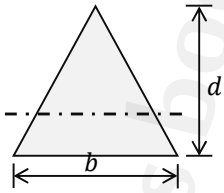
لنگر حد تسلیم اولین تار با M_y و لنگر تسلیم کل مقطع (لنگر پلاستیک) با M_p بر روی شکل، نشان داده شده است. همچنین مقدار S اساس مقطع الاستیک و Z اساس مقطع پلاستیک بوده که با روابط زیر تعیین می‌شوند. اساس مقطع الاستیک از تقسیم ممان اینرسی مقطع تیر بر دورترین تار و اساس مقطع پلاستیک از گرفتن لنگر اول سطح مقطع بدست می‌آید.

$$S = \frac{I}{c} \qquad Z = \sum A_i y_i$$

گام نخست برای تحلیل یک مقطع، تعیین مشخصات آن از جمله مرکز هندسی، ممان اینرسی و اساس مقطع آن می‌باشد. گشتاور دوم سطح یا ممان اینرسی سطح خاصیتی از یک مقطع است که با بهره گیری از آن می‌توان رفتار یک تیر را در برابر خمش و تغییر شکل حول محورهای آن بدست آورد. میزان تنش و تغییر شکل خمشی یک تیر هم به میزان بار وارده و هم به شکل هندسی مقطع مورد نظر بستگی دارد، هر چه ممان اینرسی یک مقطع بیشتر باشد میزان تنش و تغییر شکل خمشی آن مقطع کمتر است، به همین دلیل است که تیرهایی با ممان اینرسی بزرگتر، مانند مقاطع I شکل، در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. برای تعیین روابط مربوط به این کمیت‌ها به کتاب‌های استاتیک و مقاومت مصالح مراجعه نمایید.

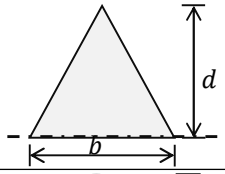
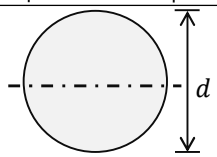
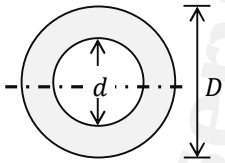
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقطع	ممان اینرسی I	مدول مقطع S	شعاع ژیراسیون r
	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^2}{6}$	$\frac{d}{\sqrt{12}}$
	$\frac{bd^3}{3}$	$\frac{bd^2}{3}$	$\frac{d}{\sqrt{3}}$
	$\frac{bd^3}{36}$	$\frac{bd^2}{24}$	$\frac{d}{\sqrt{18}}$

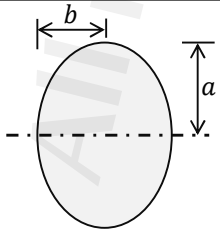
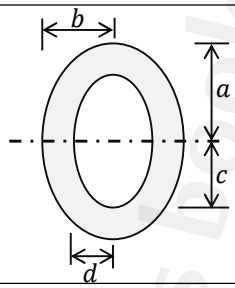
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقطع	ممان اینرسی I	مدول مقطع S	شعاع ژیراسیون r
	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^2}{12}$	$\frac{d}{\sqrt{6}}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$	$\frac{d}{4}$
	$\frac{\pi}{64}(D^4-d^4)$	$\frac{\pi}{32}\frac{(D^4-d^4)}{D}$	$\frac{\sqrt{D^2+d^2}}{4}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

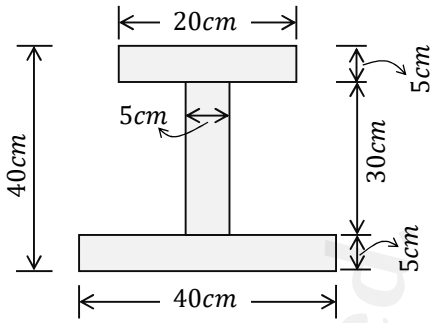
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقطع	ممان اینرسی I	مدول مقطع S	شعاع ژیراسیون r
	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$\frac{\pi a^2 b}{4}$	$\frac{a}{2}$
	$\frac{\pi}{4}(a^3b-c^3d)$	$\frac{\pi(a^3b-c^3d)}{4a}$	$\frac{1}{a}\sqrt{\frac{a^3b-c^3d}{ab-cd}}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ممان اینرسی مقطع زیر را تعیین نمایید.



پاسخ: با توجه به تقارن سازه نسبت به محور y، مقدار $\bar{x} = 20\ cm$ می‌باشد. برای مقدار $\bar{y}$ داریم:

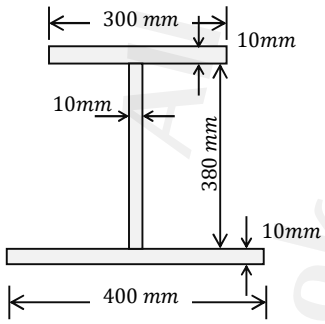
$$\bar{y} = \frac{40 \times 5 \times 2.5 + 30 \times 5 \times 20 + 5 \times 20 \times 37.5}{40 \times 5 + 30 \times 5 + 5 \times 20} = 16.11\ cm$$

$$I = \frac{40 \times 5^3}{12} + (40 \times 5 \times (16.11 - 2.5)^2) + \frac{5 \times 30^3}{12} + (30 \times 5 \times (16.11 - 20)^2) + \frac{20 \times 5^3}{12} + (20 \times 5 \times (16.11 - 37.5)^2) = 96944\ cm^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای تیر با مقطع زیر از فولاد ST37 (F_y=240 MPa & F_u=370 MPa) با اتصال جوش جان به بال ساخته شده و تحت خمش مثبت قرار دارد. نسبت M_p/M_y به کدامیک از مقادیر نزدیکتر است؟(خرداد ۹۳)



الف) 1.15

ب) 1.21

ج) 1.3

د) 1.08

پاسخ: ابتدا باید محل تار خمثی برای تعیین اساس مقطع الاستیک تعیین شود:

$$\bar{y} = \frac{400 \times 10 \times 5 + 380 \times 10 \times 200 + 300 \times 10 \times 395}{400 \times 10 + 380 \times 10 + 300 \times 10} = 182\ \text{mm}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین

$$S = \frac{I}{c} = \frac{\left(300 \times \frac{10^3}{12} + 300 \times 10 \times 213^2\right) + \left(10 \times \frac{380^3}{12} + 380 \times 10 \times 18^2\right) + \left(400 \times \frac{10^3}{12} + 400 \times 10 \times 177^2\right)}{218}$$

$$= 1414858.7 \text{ mm}^3$$

محاسبه محل تار خنثی پلاستیک

$$400 \times 10 + (x) \times 10 = 300 \times 10 + (390 - x) \times 10 \quad \Rightarrow \quad x = 140\ mm$$

$$Z = 400 \times 10 \times 145 + 140 \times 10 \times 70 + 240 \times 10 \times 120 + 300 \times 10 \times 245$$

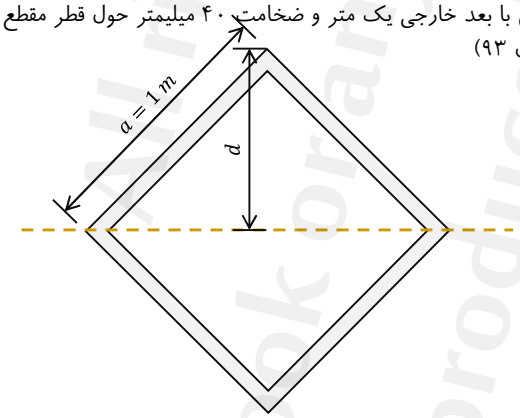
$$= 1701000\ mm^3$$

$$\frac{M_p}{M_y} = \frac{ZF_y}{SF_y} \times \frac{1701000}{1414858.7} = 1.2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) اساس مقطع پلاستیک مقطع مربعی فولادی شکل با بعد خارجی یک متر و ضخامت ۴۰ میلیمتر حول قطر مقطع بر حسب متر مکعب به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟ (آبان ۹۳)



الف) 0.018

ب) 0.026

ج) 0.052

د) 0.021

پاسخ: داریم $d = \frac{\sqrt{2}}{2} a$

$$Z = 4(0.96 \times 0.04) \times \frac{1}{2}\frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.96 = 0.0521\ m^3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

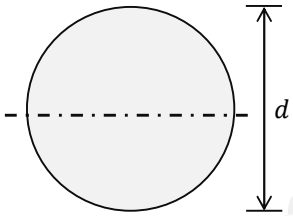
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب شکل:

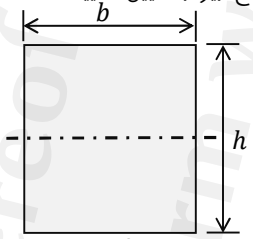
به نسبت حداکثر ظرفیت خمشی به ظرفیت حد تسلیم مقطع، ضریب شکل گفته می‌شود:

$$\text{Shape Factor} = k = \frac{M_p}{M_y} = \frac{ZF_y}{SF_y} = \frac{Z}{S}$$

مثال: ضریب شکل برای مقاطع زیر را تعیین نمایید.



$$\frac{Z}{S} = \frac{\left(\frac{\pi d^2}{8} \times \frac{2d}{3\pi}\right) \times 2}{\frac{\pi d^4}{64} \times \frac{2}{d}} = \frac{0.1666}{0.0981} = 1.7$$

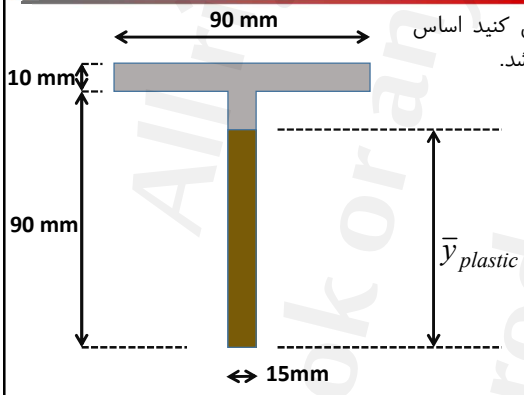


$$\frac{Z}{S} = \frac{\frac{bh^2}{4}}{\frac{bh^2}{6}} = 1.5$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال: ضریب شکل برای مقطع زیر را تعیین نمایید. فرض کنید اساس مقطع ارتجاعی مقطع برابر $S_{xx} = 34.9 \times 10^3\ mm^3$ باشد.



$$A = (90 \times 10) + (90 \times 15) = 2250\ mm^2$$

$$\bar{y}_{plastic} \times 15 = 1125\ \text{mm}^2 \Rightarrow \bar{y}_{plastic} = 75\ mm$$

$$Z_{xx} = (90 \times 10) \times 20 + (15 \times 15) \times 7.5 + (75 \times 15) \times 37.5 = 61.87 \times 10^3\ \text{mm}^3$$

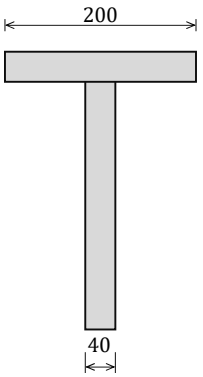
$$k = \frac{Z_{xx}}{S_{xx}} = \frac{61.87 \times 10^3}{34.9 \times 10^3} = 1.77$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای تیر با مقطع سپری نشان داده شده در شکل زیر، در صورتی که الف) تنش تسلیم برای کل مقطع برابر F_y=320 Mpa باشد و ب) تنش تسلیم بال برابر F_y=320 Mpa و تنش تسلیم جان برابر F_y=250 Mpa باشد.



پاسخ: الف) در حالتی که تنش تسلیم کل مقطع یکسان باشد، برای سطح مقطع بالا و پایین تار خنثی در حالت پلاستیک برابر است.

$$A_{total} = (200 \times 40) + (400 \times 40) = 24000\ mm^2$$

$$(40 \times y) = \frac{24000}{2} \quad \Rightarrow \quad y = 300\ mm$$

$$Z = (200 \times 40 \times 120) + (100 \times 40 \times 50) + (300 \times 40 \times 150)$$
$$= 2960 \times 10^3\ mm^3$$

$$M_p = ZF_y = 2960 \times 10^3 \times 320 \times 10^{-6} = 947.2\ kN.m$$

ب) با توجه به تعریف، در حالتی که مقطع به لنگر پلاستیک می‌رسد، مجموع نیروهای بالا و پایین تار خنثی بایستی با هم برابر شوند.

$$F_{total} = (200 \times 40) \times 320 + (400 \times 40) \times 250 = 6560\ kN$$

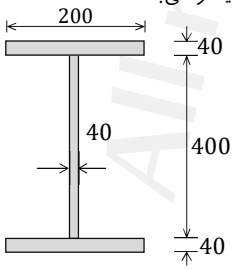
$$(40 \times y) \times 250 = \frac{6560000}{2} \quad \Rightarrow \quad y = 328\ mm$$

$$M_p = ZF_y$$
$$= 320 \times (200 \times 40 \times 92) + 250 \times (72 \times 40 \times 36) + 250 \times (328 \times 40 \times 164) = 799\ kN.m$$

صفحه ۱۹۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای تیر نشان داده شده در شکل زیر ضریب شکل را تعیین نمایید. ابعاد بر حسب میلیمتر می‌باشند.



پاسخ: نحوه محاسبه Z به خواننده واگذار می‌شود:

$$Z = 5.12 \times 10^6\ mm^3$$

$$I = \frac{40 \times 400^3}{12} + 2(200 \times 40 \times 220^2) = 987.73 \times 10^6\ mm^4$$

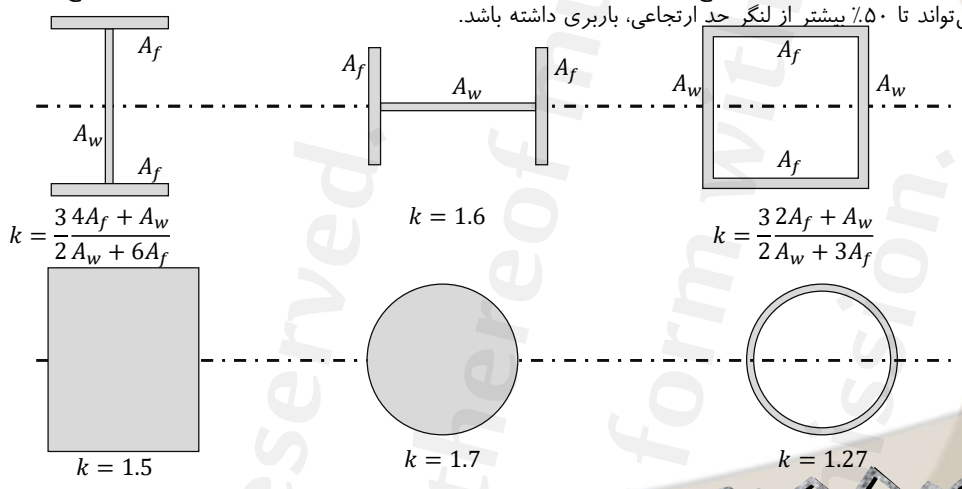
$$S = \frac{I}{c} = \frac{987.73 \times 10^6}{240} = 4.115 \times 10^6\ mm^3$$

$$k = \frac{Z}{S} = \frac{5.12 \times 10^6\ mm^3}{4.115 \times 10^6\ mm^3} = 1.24$$

صفحه ۲۰۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

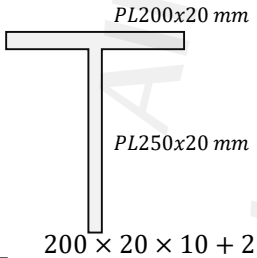
همچنین در شکل زیر مقدار ضریب شکل، برای چند مقطع مختلف نشان داده شده است. این ضریب نشان دهنده میزان ظرفیت مقطع بعد از تسلیم دورترین تار می‌باشد. برای مقاطع نورد شده I شکل، (مثل مقاطع IPE) این ضریب در حدود 1.12 تا 1.14 است. برای مقطع مستطیل که این ضریب برابر 1.5 می‌باشد، به این معنا است که مقطع مستطیل می‌تواند تا ۵۰٪ بیشتر از لنگر حد ارتجاعی، باربری داشته باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فاصله بین محورهای خنثای الاستیک و پلاستیک حول محور قوی و نیز مقدار لنگر پلاستیک حول همان محور برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (شهریور ۹۵)



الف) 65 mm و 180 kN.m

ب) 65 mm و 157 kN.m

ج) 40 mm و 157 kN.m

د) 40 mm و 180 kN.m

پاسخ: محل تار خنثی الاستیک (محور مبنا، تار بالایی ورق بالایی):

$$\bar{y} = \frac{200 \times 20 \times 10 + 250 \times 20 \times 145}{200 \times 20 + 250 \times 20} = 85\ \text{mm}$$

محل تار خنثی پلاستیک:

$$200 \times 20 + (x) \times 20 = (250 - x) \times 20 \quad \Rightarrow \quad x = 25\ mm$$

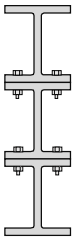
$$Z = 200 \times 20 \times 35 + 25 \times 20 \times 12.5 + 225 \times 20 \times 112.5 = 652500\ mm^3$$

$$M_p = 652500 \times 240 \times 10^{-6} = 156.6\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل زیر مقطع یک عضو خمشی از سه نیمرخ IPB200 که به یکدیگر پیچ شده‌اند، تشکیل شده است. چنانچه F_y=240 MPa باشد، لنگر پلاستیک مقطع مرکب نسبت به محور قوی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید اجزای مقطع مرکب دارای عملکرد مشترک هستند. (مهر ۹۶)



الف) 460 kN.m

ب) 900 kN.m

ج) 600 kN.m

د) 529 kN.m

پاسخ: اساس مقطع پلاستیک مقطع برابر است با:

$$Z = Z_{IPB200} + 2(A_{IPB200} \times 200) = 643000 + 2(7810 \times 200) = 3767000\ \text{mm}^3$$

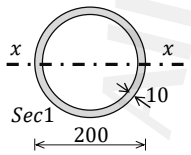
بنابراین

$$M_p = 3767000 \times 240 \times 10^{-6} = 904\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در خصوص ممان اینرسی، اساس مقطع الاستیک و اساس مقطع پلاستیک مقاطع نشان داده شده در شکل زیر نسبت به محور x کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟ (ابعاد مقاطع به میلی‌متر است). (اردیبهشت۹۷)

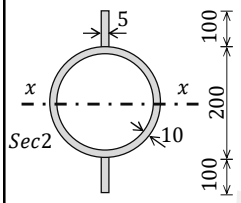


الف) اساس مقطع الاستیک مقطع (۲) بزرگ‌تر از اساس مقطع الاستیک مقطع (۱) است.

ب) اساس مقطع الاستیک مقطع (۲) کوچک‌تر از اساس مقطع الاستیک مقطع (۱) است.

ج) اساس مقطع پلاستیک مقطع (۲) بزرگ‌تر از اساس مقطع الاستیک مقطع (۱) است.

د) ممان اینرسی مقطع (۲) بزرگ‌تر از ممان اینرسی مقطع (۱) است.



$$S_1 = \frac{\pi\left(R_{out}^4 - R_{in}^4\right)}{4} = \frac{\pi(100^4 - 90^4)}{4 \times 100} = 270099.4\ mm^3$$

$$S_2 = \frac{\pi\left(R_{out}^4 - R_{in}^4\right) + 2\left[\frac{5 \times 100^3}{12} + 5 \times 100\left(100 + \frac{100}{2}\right)^2\right]}{100 + 100} = 251715.9\ mm^3$$

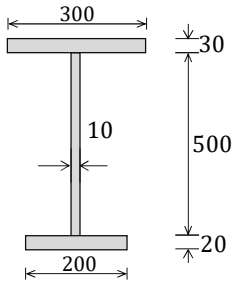
گزینه (ج) صحیح است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) نسبت لنگر پلاستیک مقطع شکل زیر حول محور قوی به لنگر پلاستیک آن حول محور ضعیف به کدام از یک مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (در شکل اندازه‌ها به میلی‌متر است). (مهر ۹۸)



الف) 2.85

ب) 5.82

ج) 3.86

د) 6.83

$$200 \times 20 + (y_p - 20) \times 10 = 300 \times 30 + (520 - y_p) \times 10 \quad \Rightarrow \quad y_p = 520\ mm$$

$$Z_x = 300 \times 30 \times 15 + 500 \times 10 \times 250 + 200 \times 20 \times 510 = 3425000\ mm^3$$

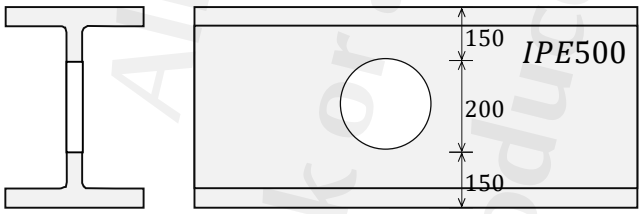
$$Z_y = \frac{30 \times 300^2}{4} + \frac{500 \times 10^2}{4} + \frac{20 \times 200^2}{4} = 887500$$

$$\frac{Z_x}{Z_y} = 3.85$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید در وسط طول یک عضو خمشی دو سر مفصل با مقطع IPE500 به دلیل نیاز تاسیسات یک عدد سوراخ دایره‌ای شکل به قطر ۲۰۰ میلیمتر ایجاد شده است. در مقطعی که از محل سوراخ عبور می‌کند اساس مقطع پلاستیک مقطع حول محور قوی نسبت به حالتی که سوراخ وجود ندارد، حدودا چند درصد کاهش پیدا می‌کند؟ در شکل ابعاد به میلیمتر است. (مهر ۹۹)



الف) 7.5%

ب) 1.5%

ج) 5%

د) 2.5%

$$Z_{IPE500} = 2194\ cm^4 \qquad t_w = 1.02\ cm$$

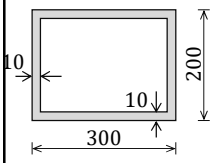
$$Z_{Total} = 2194 - \frac{1.02 \times 20^2}{4} = 2092\ cm^4$$

$$\frac{Z_{Total}}{Z_{IPE500}} = 0.954$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در مقطع قوطی شکل زیر نسبت اساس مقطع پلاستیک حول محور قوی به اساس مقطع پلاستیک حول محور ضعیف به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (شهریور ۱۴۰۱)



الف) 2.1

ب) 1.33

ج) 1.55

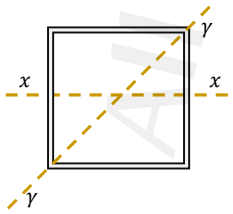
د) 1.78

$$Z_x = 2 \times (30 \times 1 \times 9.5) + 4(9 \times 1 \times 4.5) = 732\ cm^3$$
$$Z_y = 2 \times (20 \times 1 \times 14.5) + 4(14 \times 1 \times 7) = 972\ cm^3$$
$$\frac{Z_y}{Z_x} = 1.33$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در مقطع مربعی شکل توخالی جدار نازک شکل زیر، نسبت اساس مقطع پلاستیک حول محور $\gamma-\gamma$ به اساس مقطع پلاستیک حول محور $x-x$ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ضخامت جدارها نسبت به ابعاد مقطع بسیار کوچک فرض شود(دی ۱۴۰۱)



الف) 0.71

ب) 1.0

ج) 1.25

د) 0.94

$$Z_x = 2at \times \frac{a}{2} + 4 \times \frac{a}{2}t \times \frac{a}{4} = a^2t + \frac{a^2}{2}t = \frac{3}{2}a^2t$$
$$Z_\gamma = 4 \times at \times \frac{1}{2}\frac{\sqrt{2}}{2} \times a = \sqrt{2}a^2t$$
$$\frac{Z_\gamma}{Z_x} = \frac{\sqrt{2}a^2t}{\frac{3}{2}a^2t} = 0.94$$

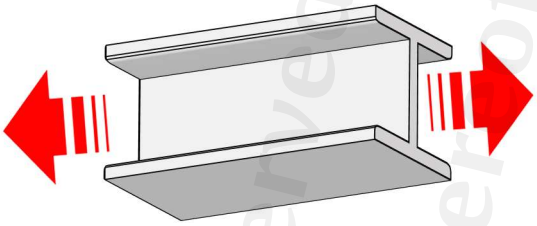
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل چهارم

طراحی اعضای کششی



DESIGN OF MEMBERS FOR TENSION

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

این بخش (بند ۱۰-۲-۳) به الزامات طراحی اعضا تحت اثر نیروی محوری کششی می‌پردازد که در امتداد محور طولی عضو بارگذاری شده‌اند. علاوه بر الزامات این بخش، در طراحی اعضای کششی که تحت اثر پدیدهٔ خستگی یا تمرکز تنش به علت تغییر ناگهانی مقطع قرار می‌گیرند، باید آثار این پدیده‌ها نیز به نحو مؤثری لحاظ شود.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌شود:

- ۱۰-۲-۳-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۳-۲ محدودیت لاغری در اعضا کششی
- ۱۰-۲-۳-۳ تعیین سطح مقطع خالص و مؤثر اعضای کششی
- ۱۰-۲-۳-۴ مقاومت کششی
- ۱۰-۲-۳-۵ اعضای کششی ساخته‌شده (مرکب) از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق

تبصره۱: الزامات اعضای کششی با تسمهٔ لولاشده با خار مغزی و نیز اعضای کششی با تسمهٔ سرپهن در پیوست ۴ این مبحث ارائه شده است.

تبصره۲: برای بررسی الزامات اعضای تحت اثر توأم نیروی کششی و لنگر خمشی به بخش ۱۰-۲-۷ مراجعه شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره۳: برای بررسی الزامات میل مهارها به بخش ۱۰-۲-۹ مراجعه شود.

تبصره ۴: برای بررسی الزامات وسایل اتصال و قطعات اتصال دهنده در برابر نیروی کششی به بخش ۱۰-۲-۹ مراجعه شود.

تبصره ۵: در انتهای اعضای کششی، برای بررسی مقاومت گسیختگی قالبی به بخش ۱۰-۲-۹ مراجعه شود.

الزامات عمومی

طبق بند ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، برای طراحی اعضای کششی تنها معیار مقاومت به عنوان ضابطهٔ اصلی طراحی در نظر گرفته شده است و کنترل معیار لاغری صرفاً به خاطر شرایط بهره‌برداری ارائه شده است.

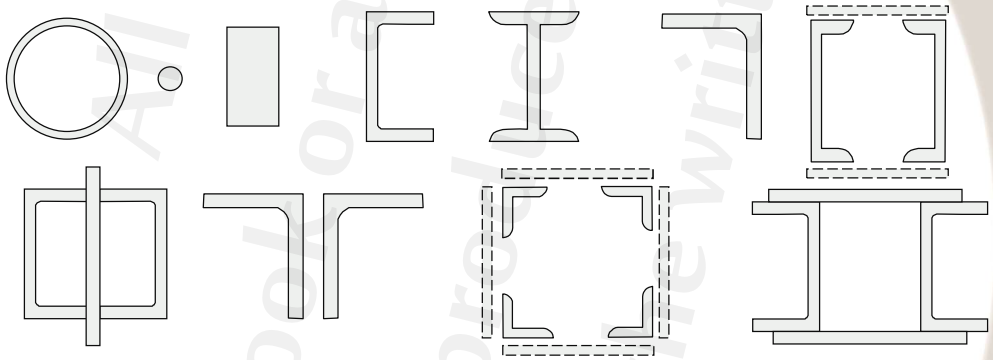
در طراحی اعضای کششی بایستی تلاش کرد تا شکل عضو و اتصالات آن به گونه‌ای تنظیم شود که عضو تنها به کشش کار کند و خمش در آنها ایجاد نشود. در غیر این صورت باید به برون محوری موجود در طرح و آثار آن در محاسبه توجه شود.

الزامات مربوط به طراحی مقاطع فولادی، برای کشش خالص مورد بررسی قرار می‌گیرد. طراحی اعضای کششی جزو ساده‌ترین موارد طراحی در سازه‌های فولادی است. در این اعضا، نیرو عمده برای طراحی، نیروهای کششی هستند. به سبب آنکه در تعیین مقاومت کششی، تنها سطح مقطع اعضا مهم می‌باشد، برای این اعضا، هر شکلی را می‌توان مورد استفاده قرار داد. میلگرد و نبشی از پرکاربردترین مقاطع کششی هستند. یکی از جاهایی که اعضای کششی زیاد استفاده می‌شود، خرپاهای فولادی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

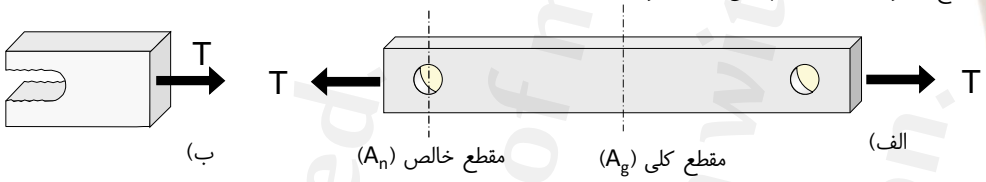
از مقاطع ساخته شده از ورق و مقاطع نورد شده نیز می‌توان برای اعضای کششی استفاده نمود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در صورتی که سطح مقطع عضو متغیر باشد، تنش ایجاد شده در آن نیز تابعی از مقطع آن خواهد بود. همچنین در صورتی که محل اعمال بار در مرکز سطح مقطع نباشد، توزیع تنش در مقطع یکنواخت نخواهد بود. در صورتی که مقطع تحت کشش دارای سوراخ باشد، از مقطع کاسته شده و کمترین مساحت قطعه را مقطع خالص می‌گویند. در شکل زیر مقطع خالص و مقطع کلی برای یک ورق تحت کشش محوری نشان داده شده است. در مقطع خالص (کمترین سطح مقطع عضو) امکان ایجاد پارگی ورق وجود دارد.



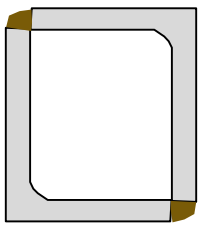
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محدودیت لاغری در اعضای کششی

طبق بند ۱۰-۲-۳-۲ نسبت لاغری حداکثر اعضای کششی $(L/r)_{max}$ نباید از ۳۰۰ بیشتر باشد. برای قلاب‌ها و میل‌مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به میزان کافی باشند، به طوریکه پس از ایجاد کشش اولیه، عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت لاغری الزامی نیست.

مثال) حداکثر طول آزاد قابل قبول عضو کششی با مقطع شکل مقابل بر حسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (این دو نبشی در سرتاسر طول با جوش به هم متصل شده‌اند) (اسفند ۹۵)



پاسخ:

$$\frac{L}{r} \le 300 \Rightarrow L \le 300\sqrt{\frac{\left(\frac{80^4}{12}-\frac{64^4}{12}\right)}{80^2-64^2}} \Rightarrow L \le 8872\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سطح مقطع خالص مؤثر در محل اتصالات و وصله‌های اعضای کششی

طبق بند ۱۰-۲-۳-۳ در محل اتصالات و وصله‌های اعضای کششی، سطح مقطع خالص مؤثر به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$A_e = UA_n$$

در رابطهٔ فوق:

A_n: سطح مقطع خالص عضو (سطح مقطع کل منهای سطح مقطع سوراخ‌ها یا شکاف‌ها). اگر سوراخ‌های متعددی به شکل زنجیره (به صورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند، برای محاسبهٔ پهنای خالص باید از پهنای کل موردبررسی، مجموع قطر سوراخ‌های مسیر زنجیره را کم و به آن برای هر ردیف گام مورب در زنجیره، یک مرتبه جملهٔ $s^2/4g$ را اضافه کرد.

A_e: سطح مقطع خالص مؤثر عضو

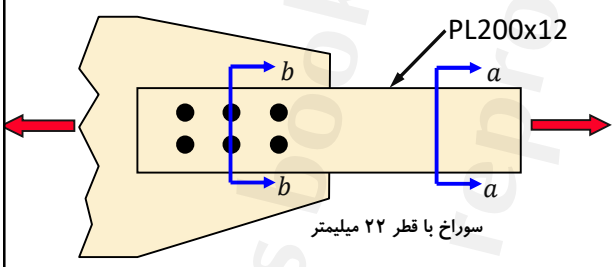
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

U: ضریب تأخیر برش مطابق جدول ۱۰-۲-۳-۱

در مقاطع باز (نظیر مقاطع I، L، U، T و ...) مقدار ضریب تأخیر برش لازم نیست از نسبت سطح مقطع قسمت‌های اتصال یافته به سطح مقطع کل کمتر در نظر گرفته شود. این الزام در مورد مقاطع بسته (نظیر مقاطع قوطی شکل نوردشده و مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق) کاربرد ندارد.

وجود سوارخ در مقطع تحت کشش نیز سبب غیریکنواخت شدن و تمرکز تنش در برخی نقاط خواهد شد و سطح مقطع عضو نیز کاهش می‌یابد. معمولاً برای انتقال کششی از یک عضو به عضو دیگر از جوش و یا از پیچ و مهره استفاده می‌شود. مطابق شکل زیر، یک ورق ۱۲×۲۰۰ میلیمتری به یک ورق اتصال، متصل شده و بارهای وارده را منتقل می‌نماید.



سوراخ با قطر ۲۲ میلیمتر

سطح مقطع ورق در مقطع a-a برابر $20\times1.2=24\ cm^2$ بوده در حالی که سطح مقطع b-b برابر $24-(2\times1.2\times2.2)=18.72\ cm^2$ است. به این سطح مقطع کاهش یافته، سطح موثر یا مقطع موثر و به سطح مقطع کاهش نیافته سطح مقطع کل گفته می‌شود.

Net area
Net section
Gross area

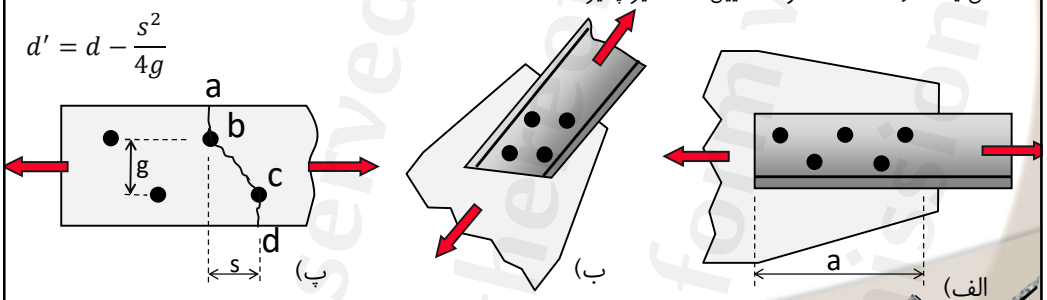
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

آرایش پیچ‌ها بصورت شطرنجی

در صورتی که از یک ردیف پیچ استفاده شود، سطح مقطع موثر به حداکثر مقدار خواهد رسید. در برخی مواقع طراح با محدودیت‌های ابعادی مواجه می‌شود به مانند کم بودن طول a در شکل (الف). در برخی اوقات نیز هندسه اتصال باعث چیدمان شطرنجی پیچ‌ها می‌شود، مانند (ب). مطابق شکل (پ)، هر مسیری که دارای طول کمتری باشد، می‌تواند مستعد گسیختگی باشد. به عنوان مثال، مسیر abcd نشان داده شده در این شکل که از دو سوراخ می‌گذرد. توجه شود که در این مسیر و در بخش bc مقطع صاف نبوده و در این مسیر هم تنش عمودی و هم تنش برشی وجود دارد. روش‌های مختلفی برای در نظر گرفتن مسیرهای مایل پیشنهاد شده است. Cochrane در سال ۱۹۹۲، رابطه زیر را برای قطر کاهش یافته ارائه داده که توسط آیین‌نامه‌ها نیز پذیرفته شده است.

$$d' = d - \frac{s^2}{4g}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

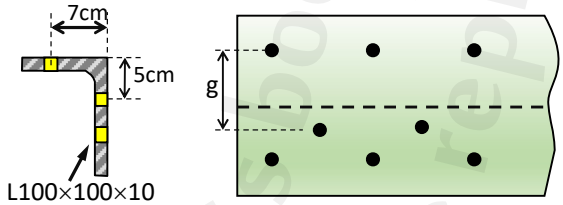
در رابطه فوق، d قطر سوراخ و s فاصله پیچ‌ها در امتداد نیرو و g فاصله آنها عمود بر مسیر نیرو است. مبحث دهم نیز از این رابطه به شکلی دیگر استفاده می‌نماید. طبق مبحث دهم، عرض موثر ورق سوارخکاری شده بصورت شطرنجی برابر است با:

$$w_n = w_g - \sum d' = w_g - \sum\left(d - \frac{s^2}{4g}\right) = w_g - \sum d + \sum \frac{s^2}{4g}$$

که در رابطه اخیر، w_g برابر با عرض کلی ورق و w_n عرض موثر ورق می‌باشند. جمله دوم اثر وجود سوراخ‌ها از عرض کل کم شده و در جمله سوم، اثر مسیرهای مورب به عرض کل اضافه می‌شود.

✍ در یک اتصال، بایستی تمام مسیرهای محتمل برای بررسی خرابی و کوتاه‌ترین مسیر در نظر گرفته شود.

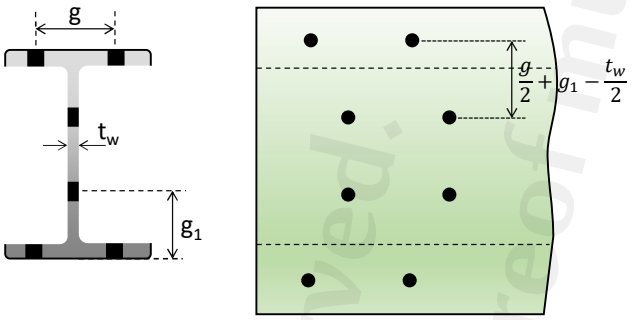
برای حالتی که مقطع کششی بصورت نورده شده باشد، گام عرض (g) برای سوراخ‌های واقع روی دو بال متعامد، عبارت است از جمع فواصل سوراخ‌ها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن. به عنوان مثال برای شکل زیر، مقدار g=7+5-1=11 cm خواهد بود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

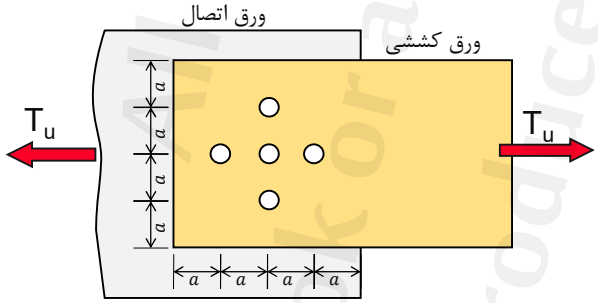
در حالاتی که آرایش شطرنجی سوراخ‌ها در مقاطعی غیر از مقطع نبشی وناودانی وجود داشته باشد، مقطع را می‌توان بصورت یک ورق تصور نمود، حتی اگر بصورت I شکل باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال شکل زیر، چنانچه قطر محاسباتی سوراخ‌ها برابر a/5 فرض شود، مقدار تنش کششی نهایی در مقطع گسیختگی محتمل در ورق کششی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (اسفند ۹۵)



الف) $\frac{T_u}{4at}$

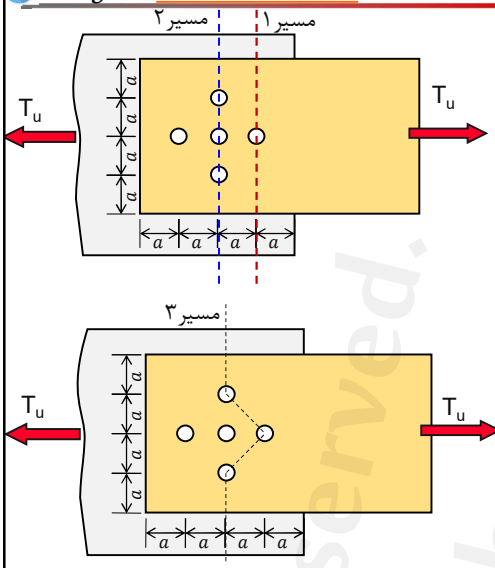
ب) $\frac{T_u}{3.9at}$

ج) $\frac{T_u}{3.4at}$

د) $\frac{T_u}{3.8at}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



پاسخ: ابتدا مسیر ۱:

$$A_{n1} = A_g - dt = 4at - \frac{a}{5}t = 3.8at$$

$$\sigma_1 = \frac{T_u}{A_{n1}} = \frac{T_u}{3.8at}$$

مسیر ۲:

$$A_{n2} = A_g - 3dt = 4at - 3\frac{a}{5}t = 3.4at$$

$$\sigma_2 = \frac{\frac{4}{5}T_u}{A_{n2}} = \frac{\frac{4}{5}T_u}{3.4at} = \frac{T_u}{4.25at}$$

مسیر ۳:

$$A_{n3} = A_g - 3dt + \sum \frac{s^2}{4g}t = 4at - 3\frac{a}{5}t + 2\frac{a^2}{4a}t = 3.9at$$

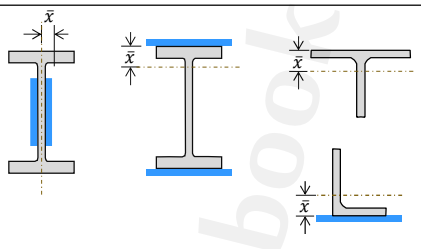
$$\sigma_3 = \frac{T_u}{A_{n3}} = \frac{T_u}{3.9at}$$

$$\sigma = \max(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = \sigma_1 = \frac{T_u}{3.8at}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

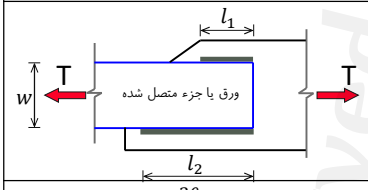
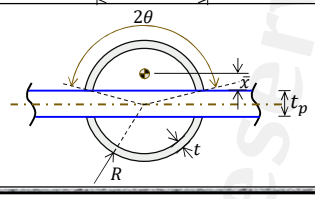
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) در محل اتصالات و وصله‌های اعضای کششی

حالت	شرح اجزاء	ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۱	کلیهٔ اعضای کششی که در آنها بار به وسیلهٔ پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیهٔ اجزای مقطع منتقل گردد (به غیراز حالت‌های ۴،۵ و۶)	$U = 1.0$	
۲	کلیهٔ اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیلهٔ 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 بال پهن، استفاده از مقادیر حالت ۷ این جدول نیز مجاز است. همچنین برای نبشی‌ها استفاده از حالت ۸ این جدول نیز مجاز است.	[1] $U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	

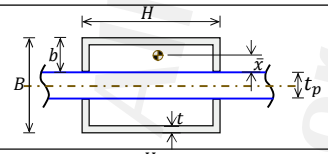
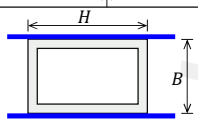
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء	ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار به وسیلهٔ فقط جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1.0$ A_n= 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 لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) منتقل می‌شود.	[1] , [2] $U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2}\left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$ مقدار $\bar{x}$ براساس حالت ۲ این جدول تعیین شود.	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$U = \left(1 + (\frac{\bar{x}}{l})^{3.2}\right)^{-1}$ θ بر حسب رادیان $\bar{x} = \frac{R.\sin\theta}{\theta} - \frac{1}{2}t_p$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت		شرح اجزاء	ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۶	در مقاطع قوطی شکل	چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = b - \frac{2b^2 + tH - 2t^2}{2H + 4b - 4t}$	
		چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه مقابل صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H$ $U = (\frac{3l^2}{3l^2 + H^2})(1 - \frac{\bar{x}}{l})$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء		ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۷	در نیمرخ‌های I نوردشده و سپری T بریده شده از آنها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ این جدول مجاز است (بزرگترین مقدار به دست آمده از حالت ۲ و این حالت به عنوان مقدار U در نظر گرفته می‌شود.	در اتصالات پیچی درصورتیکه اتصال از طریق بال‌ها برقرارشده و حداقل سه وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$b_f \geq \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.9$ $b_f < \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.85$	
		در اتصالات پیچی درصورتیکه اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = 0.7$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	شرح اجزاء		ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۸	در نیمرخ‌های نبشی تک و دوبل درصورتیکه توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز است. (بزرگترین مقدار به دست آمده از حالت ۲ و این حالت به عنوان مقدار U در نظر گرفته می‌شود.	چنانچه حداقل چهار وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد	$U = 0.8$	
		چنانچه سه وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد. اگر تعداد وسیلهٔ اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر 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 فاصلهٔ اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی
[۱] $\bar{x}$ خروج از مرکزیت اتصال (فاصلهٔ عمودی مرکز اتصال تا مرکز هندسی بخشی از عضو که نیروی آن توسط این اتصال منتقل می‌گردد)
[۲] $l = \frac{l_1+l_2}{2}$ که در آن l_1 و l_2 نباید از ۴ برابر بعد جوش کمتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

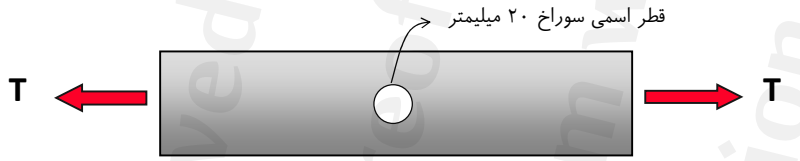
All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای ورق نشان داده شده در شکل زیر مقدار سطح مقطع خالص را تعیین نمایید. عرض ورق ۱۰۰ و ضخامت آن ۸ میلیمتر است.

پاسخ:

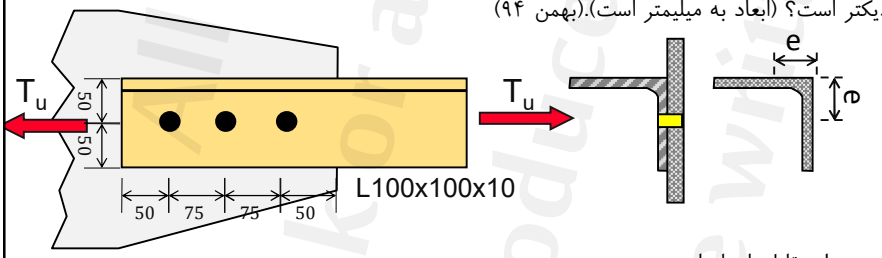
$$A_g = 10 \times 0.8 = 8\ cm^2$$
$$A_n = A_g - (2 + 0.2) \times 0.8 = 6.24\ cm^2$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در محل اتصال نبشی L100×100×10 سه سوراخ با قطر اسمی 18 mm در یک بال و در راستای نیرو با جزئیات شکل زیر اجرا شده است. مقدار سطح مقطع خالص مؤثر عضو در محل اتصال پیچی بر حسب میلیمتر مربع به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد به میلیمتر است).(بهمن ۹۴)



الف) ۱۰۳۰

ب) ۱۱۵۰

ج) ۱۳۹۵

د) ۱۶۴۰

پاسخ: با استفاده از جدول مقاطع استاندارد:

$$e = 28.2\ mm \qquad A_g = 1920\ mm^2$$
$$A_n = A_g - dt = 1920 - (18 + 2) \times 10 = 1720\ \text{mm}^2$$
$$U = \max \begin{cases} 0.6 \\ 1 - \dfrac{\bar{x}}{l} = 1 - \dfrac{28.2}{150} = 0.812 \end{cases}$$
$$A_e = UA_n = 0.812 \times 1720 = 1396\ mm^2$$

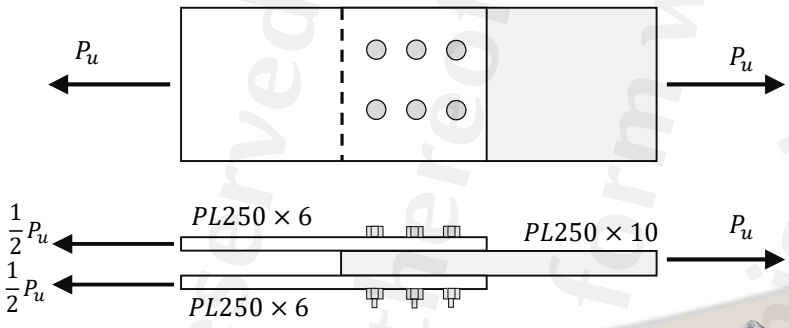
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) سطح مقطع خالص برای ورق PL250×10 mm را که توسط دو ردیف خط پیچ با قطر اسمی سوراخ برابر ۱۶ میلیمتر، مطابق شکل، به دو ورق دیگر متصل شده است را تعیین نمایید.

پاسخ:

$$A_n = (25 \times 1.0) - 2(1.6 + 0.2) \times 1.0 = 21.4\ cm^2$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار سطح مقطع بحرانی خالص برای ورق تحت کشش با ضخامت ۱۲ میلیمتر، مطابق شکل را تعیین نمایید. قطر اسمی سوراخ ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

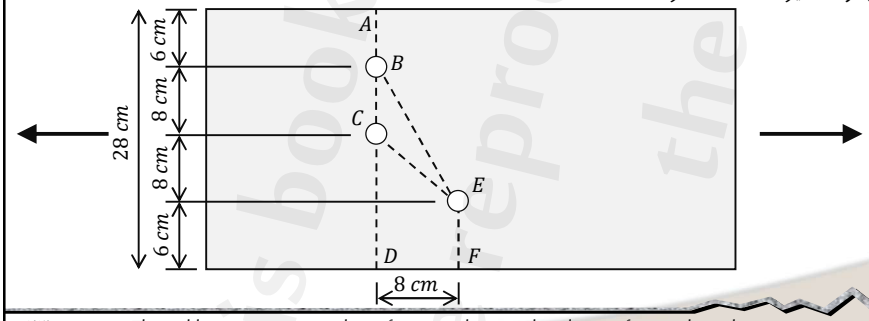
پاسخ: مقطع خالص بحرانی در مسیرهای ABCD، ABCEF و ABEF مورد بررسی قرار می‌گیرند.

$$ABCD \rightarrow (28 \times 1.2) - 2(2 + 0.2) \times 1.2 = 28.32\ cm^2$$

$$ABCEF \rightarrow (28 \times 1.2) - 3(2 + 0.2) \times 1.2 + \frac{8^2}{4 \times 8} \times 1.2 = 28.08\ cm^2 \leftarrow$$

$$ABEF \rightarrow (28 \times 1.2) - 2(2 + 0.2) \times 1.2 + \frac{8^2}{4 \times 16} \times 1.2 = 29.52\ cm^2$$

همانطور که دیده می‌شود، مسیر ABCEF کنترل کننده است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

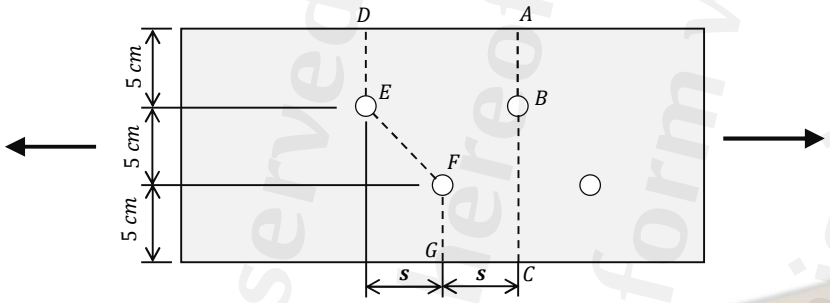
مثال) در ورق تحت کشش نشان داده شده در شکل، فاصله افقی پیچ‌ها از هم (s) را طوری تعیین نمایید که مسیر شکست DEFG با مسیر شکست ABC برابر گردد. قطر اسمی سوراخ ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

پاسخ:

$$ABC \rightarrow 15 - 1(2 + 0.2) = 12.8\ cm$$

$$DEFG \rightarrow 15 - 2(2 + 0.2) + \frac{s^2}{4 \times 5} = 10.6\ cm + 0.05s^2\ cm$$

$$ABC = DEFG \Rightarrow \quad 12.8 = 10.6 + 0.05s^2 \quad \rightarrow \quad s = 6.63\ cm$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

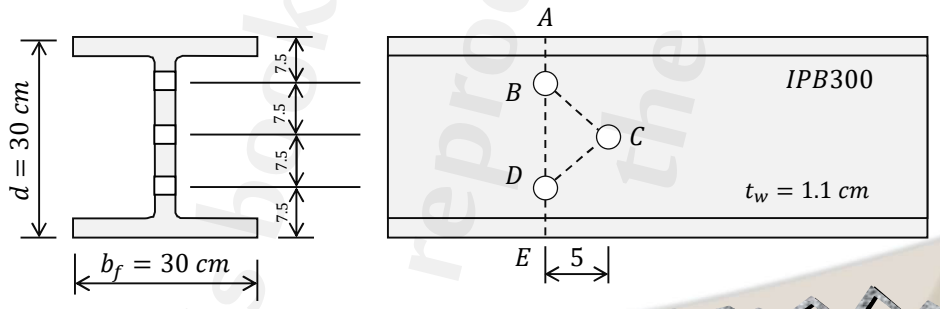
مثال) سطح مقطع خالص برای پروفیل نورد شده IPB300 با سطح مقطع A_g=149 cm^2 که در شکل نشان داده شده است را تعیین نمایید. قطر اسمی سوراخ ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

پاسخ: مقطع خالص بحرانی در مسیرهای ABDE و ABCDE مورد بررسی قرار می‌گیرند.

$$ABDE \rightarrow 149 - 2(2 + 0.2) \times 1.1 = 144.16\ cm^2$$

$$ABCDE \rightarrow 149 - 3(2 + 0.2) \times 1.1 + 2 \times \frac{5^2}{4 \times 7.5} \times 1.1 = 143.57\ cm^2 \leftarrow$$

همانطور که دیده می‌شود، مسیر ABCDE کنترل کننده است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت کششی

طبق بند ۱۰-۲-۳-۴، در اعضای کششی، مقاومت کششی طراحی ($\phi_t P_n$) و مقاومت کششی مجاز (P_n/Ω_t) باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم کششی در مقطع کل(A_g) و گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو (A_e) در خارج از ناحیهٔ اتصال و نیز مقطع خالص مؤثر (A_e) در محل اتصال در نظر گرفته شود:

الف) براساس تسلیم کششی در مقطع کلی عضو

$$P_n = F_y A_g \qquad \phi_t = 0.9\ (LRFD) \quad و \quad \Omega_t = 1.67\ (ASD)$$

ب) براساس گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو و در خارج از ناحیه اتصال عضو کششی:

$$P_n = F_u A_n \qquad \phi_t = 0.75\ (LRFD) \quad و \quad \Omega_t = 2.00\ (ASD)$$

پ) براساس گسیختگی کششی در مقطع خالص مؤثر عضو در محل اتصال عضو کششی:

$$P_n = F_u A_e \qquad \phi_t = 0.75\ (LRFD) \quad و \quad \Omega_t = 2.00\ (ASD)$$

در روابط فوق:

A_g سطح مقطع کل، A_n سطح مقطع خالص، A_e سطح مقطع خالص مؤثر، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، F_u تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تسمه‌ای به طول آزاد یک متر تحت اثر نیروی کششی 70 kN قرار دارد. اگر پهنای تسمه 50 mm و تنش تسلیم فولاد 240 MPa باشد، در طراحی به روش حد نهایی، حداقل ضخامت لازم برای تسمه به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (آذر ۹۲)

الف) ۱۵ میلیمتر ب) ۱۲ میلیمتر ج) ۱۰ میلیمتر د) ۸ میلیمتر

پاسخ: دو معیار مقاومت و لاغری بررسی شوند:

$$T_u \le 0.9 F_y A_g = 0.9 \times 240 \times 50 \times t = 70000\ \text{N} \quad \rightarrow \quad t \ge 6.48\ \text{mm}$$

$$\frac{L}{r} \le 300 \quad \Rightarrow \quad \frac{1000}{r} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{\frac{50 \times t^3}{12}}{50 \times t}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{50 \times t^2}{600}}} = \frac{1000}{\frac{t}{\sqrt{12}}} \le 300 \quad \Rightarrow \quad t \ge 11.55\ mm$$

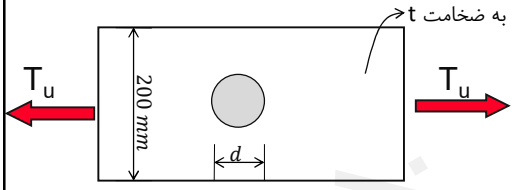
گزینه (ب) صحیح است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تسمه کششی شکل زیر حداکثر قطر اسمی سوراخ، که برای عبور تأسیسات تعبیه شده است، برای آنکه در تعیین مقاومت کششی طراحی تسمه بتوان از وجود سوراخ در تسمه چشم پوشی کرد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa , F_u=370 MPa) (مهر ۹۶)



الف) d=42 mm

ب) d=27 mm

ج) d=30 mm

د) d=60 mm

پاسخ: صرف نظر کردن از اثر سوراخ‌ها به این معنی است که حالت حدی گسیختگی در اتصال رخ نداده و ظرفیت تسلیم مقطع کنترل کننده باشد:

$$0.9F_yA_g \le 0.75F_uA_e \quad \Rightarrow \quad A_e \ge \frac{0.9F_yA_g}{0.75F_u} = \frac{0.9\times 240\times 200\times t}{0.75\times 370} = 155.68t\ mm^2$$

$$U = 1 \Rightarrow \quad A_e = A_n > 155.68t \quad \Rightarrow A_n - A_g - dt = 200t - dt > 155.68t$$

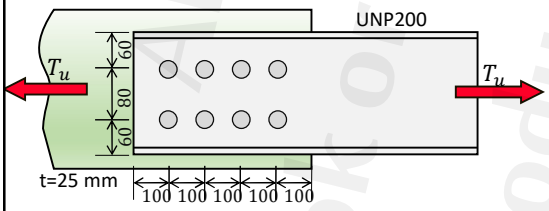
$$D < 44.32\ mm$$

توجه داریم که قطر بدست آمده از فرمول‌های فوق، قطر محاسباتی است. برای تعیین حداکثر قطر اسمی، ۲ میلیمتر از قطر محاسباتی کسر می‌شود. بنابراین قطر باید ۴۲ میلیمتر محدود شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در عضو کششی شکل زیر حداکثر قطر اسمی سوراخ استاندارد برای آنکه بتوان از حضور سوراخ در عضو کششی صرف نظر نمود، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید فاصله از لبه و فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌ها رعایت شده‌اند و فقط کنترل حالت‌های حدی تسلیم کششی و گسیختگی کششی عضو ناودانی مدنظر است. همچنین فرض کنید در شکل ابعاد به میلیمتر است.(فولاد مصرفی F_y=240 MPa و F_u=372 MPa) (بهمن ۹۷)



الف) 24 mm

ب) 27 mm

ج) 30 mm

د) 33 mm

پاسخ: صرف نظر کردن از اثر سوراخ‌ها به این معنی است که حالت حدی گسیختگی در اتصال رخ نداده و ظرفیت تسلیم مقطع کنترل کننده باشد:

$$0.9F_yA_g \le 0.75F_uA_e \quad \Rightarrow \quad A_e \ge \frac{0.9F_yA_g}{0.75F_u} = \frac{0.9\times 240\times 3220}{0.75\times 372} = 2493\ mm^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{20.1}{3\times 100} = 0.933 \quad \Rightarrow A_e = UA_n \Rightarrow A_n > \frac{2493}{0.933} = 2671\ mm^2$$

$$2671 > 3220 - 2(d+2)\times 8.5 \quad \Rightarrow d = 30.2\ mm$$

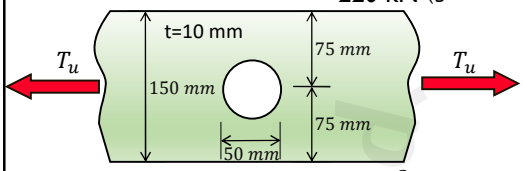
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) حداکثر نیروی کششی نهایی قابل تحمل T_u توسط تسمه کششی سوراخ‌دار نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید طول تسمه نسبتاً زیاد بوده و فولاد مصرفی F_y=240 MPa و F_u=370 MPa). (مرداد ۹۴)

الف) 360 kN ب) 320 kN ج) 270 kN د) 220 kN



پاسخ:

$A_n = (150 - 52) \times 10 = 980\ mm^2 \Rightarrow T_u < 0.75 \times F_u A_n = 0.75 \times 980 \times 370 \times 10^{-3} = 271$ kN

$A_g = 150 \times 10 = 1500\ \text{mm}^2 \Rightarrow T_u < 0.9 \times F_y A_g = 0.9 \times 1500 \times 240 \times 10^{-3} = 324$ kN

$T_u = \min(271,324) = 271$

گزینه (ج) صحیح است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

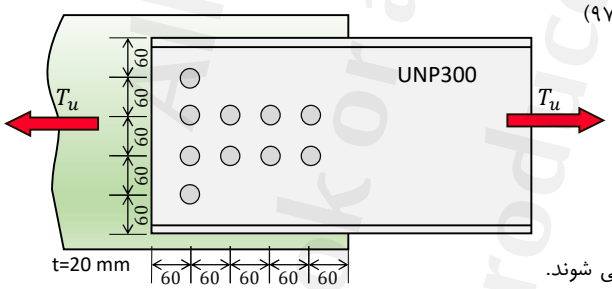
مثال) در اتصال ناودانی تک UNP300 به ورق اتصال، سوراخ‌ها استاندارد بوده و برای عبور پیچ‌های از نوع M20 پیش‌بینی شده‌اند. مقدار مقاومت کششی طراحی عضو با مقطع ناودانی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فقط حالت‌های حدی تسلیم کششی و گسیختگی کششی را در نظر بگیرید.) ابعاد در شکل به میلیمتر است (فولاد مصرفی F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (اردیبهشت ۹۷)

الف) 1160 kN

ب) 1270 kN

ج) 1390 kN

د) 1500 kN



پاسخ: معیارهای تسلیم و گسیختگی کششی بررسی شوند.

$T_u \le 0.9 F_y A_g \Rightarrow T_u \le 0.9 \times 240 \times 5880 \times 10^{-3} = 1270\ kN$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{27}{3 \times 60} = 0.85$

$\Rightarrow A_n = A_g - 2dt = 5880 - 2 \times 24 \times 10 = 5400\ mm^2$

$T_u \le 0.75 F_u A_e \Rightarrow T_u \le 0.75 \times 370 \times (0.85 \times 5400) \times 10^{-3} = 1273.7\ kN$

$T_u = \min(1273.7,1270) = 1270\ kN$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک عضو کششی فولادی به طول ۶ متر تحت اثر نیروی کششی نهایی P_u=200 kN قرار دارد. اگربرای مقطع این عضو کششی از یک عدد نیمرخ نبشی دو طرف مساوی استفاده شود و در طراحی آن پدیده تاخیر برشی مطرح نباشد. کدامیک از مقاطع زیر، حداقل مقطع قابل قبول برای این عضو کششی خواهد بود؟(F_y=240 MPa , F_u=370 MPa) (مهر ۹۹)

الف) L 80×80×10

ب) L 120×120×10

ج) L 80×80×8

د) L 80×80×6

پاسخ: مقطع باید هم برای مقدار نیروی کششی و هم برای حداکثر مقدار لاغری کنترل شود:

$$T_u \le \phi F_y A_g \Rightarrow 200\times10^3 = 0.9\times240(A_g) \Rightarrow A_g \ge 925\ mm^2$$

$$USE\ \ L80\times80\times6$$

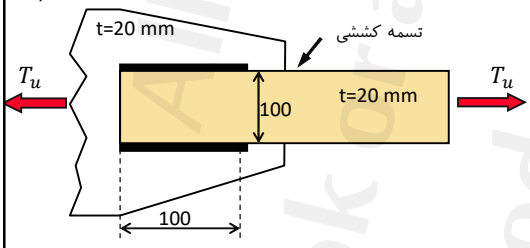
$$\frac{6000}{r_{max}} \le 300 \Rightarrow r_{max} > 20\ mm \quad USE\ L120\times120\times10$$

پس لاغری عضو تعیین کننده می‌باشد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فقط بر اساس کنترل مقاومت طراحی تسمهٔ کششی، حداقل بار نهایی (T_u) قشابل تحمل توسط تسمهٔ کششی با که با استفاده از جوش‌های گوشهٔ یک طرفه به ورق اتصال جوش شده است. به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. ضخامت تسمهٔ کششی و ورق اتصال برابر ۲۰ میلیمتر است (F_y=235 MPa , F_u=360 MPa) (مرداد ۱۴۰۰)



الف) 560 kN

ب) 420 kN

ج) 360 kN

د) 405 kN

پاسخ: براساس حالت حدی تسلیم در مقطع کلی:

$$0.9\times20\times100\times235\times10^{-3} = 423\ kN$$

براساس حالت حدی گسیختگی در محل اتصال (ردیف ۴ جدول ۱۰-۲-۳-۱ ملاحظه شود)

$$U = \frac{3l^2}{3l^2+w^2}\left(1-\frac{\bar{x}}{l}\right) = \frac{3\times100^2}{3\times100^2+100^2}\left(1-\frac{10}{100}\right) = 0.675$$

$$T_u \le 0.75A_eF_u = 0.75(0.675\times100\times20)\times360\times10^{-3} = 364.5\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل زیر، یک ورق به عرض 12 و ضخامت 1.2 سانتیمتر به یک ورق اتصال، توسط چهار سوراخ به قطر ۱۶ میلیمتر متصل شده است. با فرض فولاد ST37 و $A_n=A_e$، (در حالت کلی این فرض اشتباه است) میزان مقاومت کششی اتصال را تعیین نمایید.

پاسخ: با تعیین مقاومت نهایی براساس حالت حدی تسلیم و مقاومت نهایی براساس حالت حدی گسیختگی، کمترین آنها را ملاک مقاومت کششی اتصال قرار خواهیم داد.

سطح مقطع کل برای حالت حدی تسلیم $A_g = 12 \times 1.2 = 14.4\ cm^2$

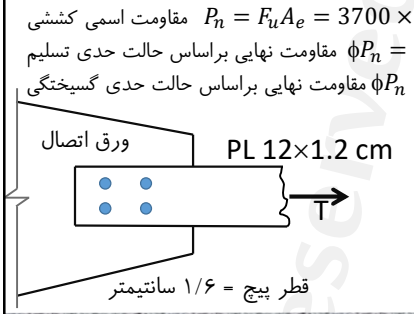
مقاومت اسمی کششی $P_n = F_y A_g = 2400 \times 14.4 = 34560\ kg$

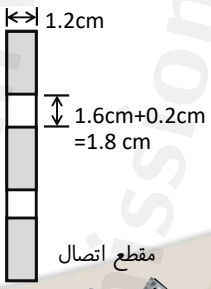
سطح مقطع خالص برای حالت حدی گسیختگی $A_n = A_g - A_{hole} = 14.4 - 1.8 \times 1.2 \times 2 = 10.08\ cm^2$

مقاومت اسمی کششی $P_n = F_u A_e = 3700 \times 10.08 = 37296\ kg$

مقاومت نهایی براساس حالت حدی تسلیم $\phi P_n = 0.9 \times 34560 = 31100\ kg$

مقاومت نهایی براساس حالت حدی گسیختگی $\phi P_n = 0.75 \times 37296 = 27972\ kg$





 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت نهایی برای یک مقطع IPB300 با دو خط پیچ بر روی هر یک از بال‌های آن را تعیین نمایید. قطر اسمی سوراخ‌ها برابر ۲۰ میلیمتر، F_y=2400 kg/cm^2، F_u=3700 kg/cm^2 و تعداد پیچ‌ها در هر ردیف ۳ عدد با فاصله مرکز به مرکز پیچ‌ها از هم برابر ۱۰ سانتیمتر است.

برای مقطع IPB300 داریم:

$IPB300 \rightarrow d = 30\ cm \quad b_f = 30\ cm \quad t_f = 1.9\ cm \quad t_w = 1.1\ cm \quad A_g = 149\ cm^2$

مقاومت محوری مقطع بر اساس تسلیم عضو، برابر است با:

$P_n = F_y A_g = 2400 \times 149 \times 10^{-3} = 357.6\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.9 \times 357.6 = 321.84\ ton$

مقاومت محوری مقطع بر اساس گسیختگی کششی عضو، برابر است با:

$A_n = 149 - 4(2 + 0.2)1.9 = 132.28\ cm^2$

با توجه به ردیف هفتم از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم داریم:

$b_f = 30 > \frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 30 = 20\ cm \quad \rightarrow \quad U = 0.9$

$A_e = UA_n = 0.9 \times 132.28 = 119\ cm^2$

$P_n = F_u A_e = 3700 \times 119 \times 10^{-3} = 440\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.75 \times 440 = 330\ ton$

بنابراین ظرفیت عضو 330 ton می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای دو ورق نشان داده شده در شکل زیر، که توسط جوش گوشه به یکدیگر متصل شده‌اند، مقدار حداکثر نیروی طراحی را تعیین نمایید. مقدار F_y=2400 kg/cm^2 و F_u=3700 kg/cm^2 در نظر گرفته شود.

پاسخ: با توجه به متصل شدن دو ورق به یکدیگر، مقدار ظرفیت حداقل آنها که مربوط به ورق با ابعاد کمتر (PL15×1.2) می‌باشد را تعیین می‌نماییم. مقاومت محوری مقطع بر اساس تسلیم عضو، برابر است با:

$$P_n = F_y A_g = 2400 \times 15 \times 1.2 \times 10^{-3} = 43.2\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.9 \times 43.2 = 38.88\ ton$$

بنابراین طبق ردیف ۴ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، مقدار U=0.81 می‌باشد.

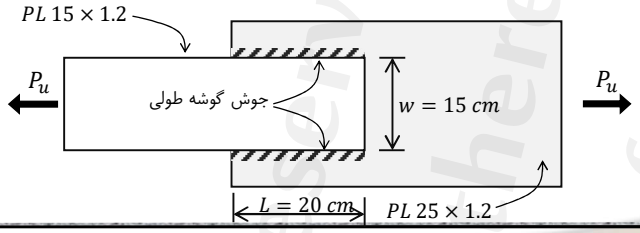
$$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2}\left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right) = \frac{3 \times 20^2}{3 \times 20^2 + 15^2}\left(1 - \frac{0.6}{20}\right) = 0.81$$

مقاومت محوری مقطع بر اساس گسیختگی کششی عضو، برابر است با:

$$A_e = UA_n = 0.81 \times (15 \times 1.2) = 14.5\ cm^2$$

$$P_n = F_u A_e = 3700 \times 14.5 \times 10^{-3} = 53.6\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.75 \times 53.6 = 40.2\ ton$$

بنابراین ظرفیت عضو 40.2 ton می‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای نبشی 150×100×10 متصل شده به ورق توسط جوش‌های طولی و عرضی مطابق شکل زیر، نیروی طراحی را تعیین نمایید. مقدار F_y=2400 kg/cm^2 و F_u=3700 kg/cm^2 در نظر گرفته شود.

پاسخ: سطح مقطع نبشی 150×100×10 برابر A_g=24.2 cm^2 می‌باشد. مقاومت محوری مقطع بر اساس تسلیم عضو، برابر است با:

$$P_n = F_y A_g = 2400 \times 24.2 \times 10^{-3} = 58.08\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.9 \times 58.08 = 52.27\ ton$$

با توجه به ردیف ۲ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، مقاومت محوری مقطع بر اساس گسیختگی کششی عضو، برابر است با:

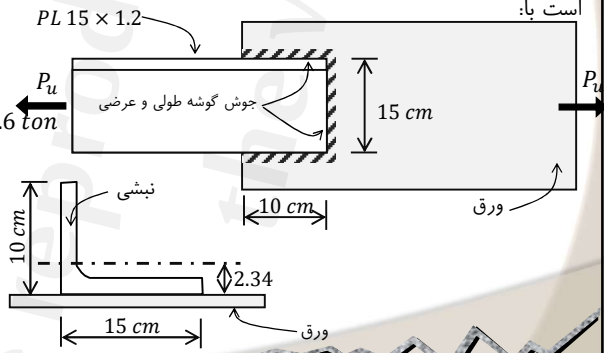
$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{2.34}{10} = 0.766$$

$$A_e = UA_g = 0.766 \times 24.2 = 18.53\ cm^2$$

$$P_n = F_u A_e = 3700 \times 18.53 \times 10^{-3} = 68.6\ ton$$

$$\rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.75 \times 68.6 = 51.4\ ton$$

بنابراین ظرفیت عضو 51.4 ton می‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) حداکثر نیروی قابل حمل برای ورق‌های متصل شده به تیر با مقطع IPB300 مطابق شکل زیر را تعیین نمایید. قطر اسمی سوراخ برابر ۳۰ میلیمتر، F_y=2400 kg/cm^2 و F_u=3700 kg/cm^2 در نظر گرفته شود.

$IPB300 \rightarrow d = 30\ cm \quad b_f = 30\ cm \quad t_f = 1.9\ cm \quad t_w = 1.1\ cm \quad A_g = 149\ cm^2$

مقاومت محوری مقطع بر اساس تسلیم ورق‌ها، برابر است با:

$$P_n = F_y A_g = 2400 \times 2 \times 40 \times 1.2 \times 10^{-3} = 230.4\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.9 \times 230.4 = 207.36\ ton$$

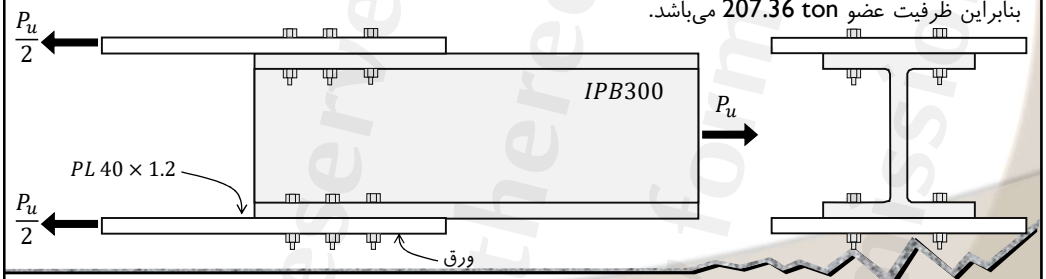
مقاومت محوری مقطع بر اساس گسیختگی کششی عضو، برابر است با:

$$A_n = 2[(40 \times 1.2) - 2(3.0 + 0.2) \times 1.2] = 80.64\ cm^2 \leftarrow$$

$$A_e = A_n = 80.64\ cm^2$$

$$P_n = F_u A_e = 3700 \times 80.64 \times 10^{-3} = 298\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.75 \times 298 = 223\ ton$$

بنابراین ظرفیت عضو 207.36 ton می‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

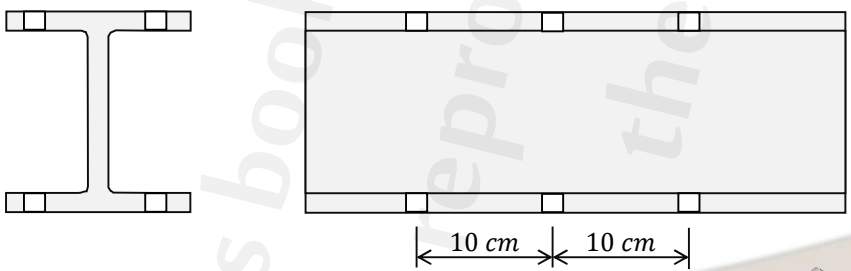
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای عضو کششی نشان داده شده در شکل زیر با طول ۸ متر که تحت یک بار مرده به میزان ۴۰ تن و یک بار زنده به میزان ۲۰ تن می‌باشد، یک مقطع مناسب I شکل، انتخاب نمایید. مقطع در بال‌ها دارای دو ردیف خط پیچ با قطر سوراخ اسمی ۲۰ میلیمتر است. مقدار F_y=2400 kg/cm^2 و F_u=3700 kg/cm^2 در نظر گرفته شود.

پاسخ: طبق مبحث ششم، ترکیب بارهای طراحی، برای در نظر گرفتن بدترین حالت ممکن عبارت است از:

$$P_u = 1.4D = 1.4 \times 40 = 56\ ton$$

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 40 + 1.6 \times 20 = 80\ ton$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

حداقل سطح مقطع مورد نیاز A_g، عبارت است از:

$$\min A_g = \frac{P_u}{\phi_t F_y} = \frac{80 \times 10^3}{0.9 \times 2400} = 37\ cm^2$$

$$\min A_g = \frac{P_u}{\phi_t F_u U} + (\text{سطح مقطع سوراخ‌ها})$$

با فرض U=0.85 (با توجه به ردیف ۷ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم) و همچنین با فرض آنکه ضخامت بال تیر برابر ۱ سانتیمتر باشد،

$$\min A_g = \frac{80 \times 10^3}{0.75 \times 3700 \times 0.85} + 4(2 + 0.2) \times 1.0 = 44\ cm^2 \quad \leftarrow$$

کنترل لاغری عضو:

$$\min r = \frac{L}{300} = \frac{800}{300} = 2.66\ cm$$

از مقطع IPE270 به عنوان سعی اولیه استفاده می‌شود. برای IPE270 داریم:

$$IPE270 \rightarrow d = 27\ cm \quad b_f = 13.5\ cm \quad t_f = 1.02\ cm \quad r_y = 3.02\ cm \quad A_g = 45.9\ cm^2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

مقاومت محوری مقطع بر اساس تسلیم مقطع، برابر است با:

$$P_n = F_y A_g = 2400 \times 45.9 \times 10^{-3} = 110\ ton \quad \rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.9 \times 110 = 99\ ton > 80\ ton$$

با توجه به ردیف ۷ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، مقاومت محوری مقطع بر اساس گسیختگی کششی عضو، برابر است با:

$$b_f = 13.5 < \frac{2}{3} d = \frac{2}{3} \times 27 = 18\ cm \quad \rightarrow \quad U = 0.85$$

$$A_n = 45.9 - 4(2.0 + 0.2) \times 1.02 = 37\ cm^2$$

$$A_e = UA_n = 0.85 \times 37 = 31.3\ cm^2$$

$$P_n = F_u A_e = 3700 \times 31.3 \times 10^{-3} = 114.8\ ton$$

$$\rightarrow \quad \phi_t P_n = 0.75 \times 114.8 = 86.13\ ton > 80\ ton$$

کنترل لاغری:

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{800}{3.02} = 265 < 300 \quad Ok$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای ورق نشان داده شده در شکل زیر، سطح مقطع خالص را تعیین نمایید. قطر اسمی سوراخ ۲ سانتیمتر است.

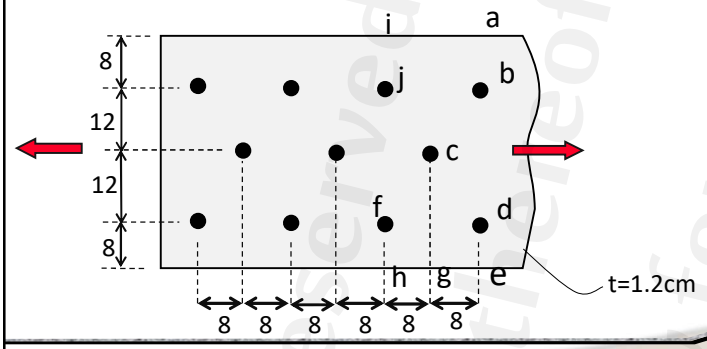
پاسخ:

abde $\quad w_n = (2\times 8 + 2\times 12) - 2(2 + 0.2) = 35.6\ \text{cm}$

abcde $\quad w_n = (2\times 8 + 2\times 12) - 3(2 + 0.2) + 2\times\dfrac{8^2}{4\times 12} = 36\ \text{cm}$

مسیر اول بحرانی بوده و سطح مقطع موثر ورق برابر است با:

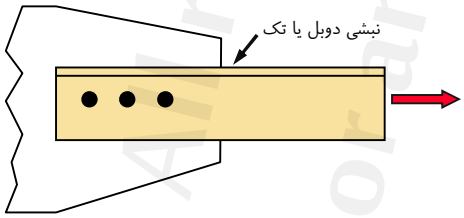
$$A_n = t \times w_n = 1.2 \times 35.6 = 42.72\ cm^2$$



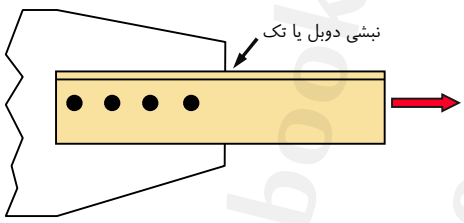
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب تاخیر برش برای اتصالات زیر را تعیین نمایید:



پاسخ: از ردیف ۸ جدول ۱۰-۲-۳-۱، U=0.6 خواهد بود.



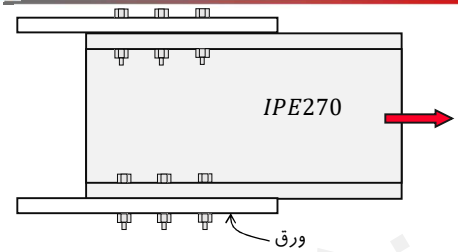
پاسخ: از ردیف ۸ جدول ۱۰-۲-۳-۱، U=0.8 خواهد بود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

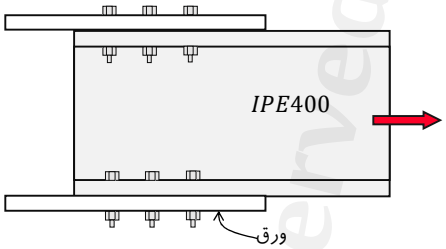
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب تاخیر برش برای اتصالات زیر را تعیین نمایید:



پاسخ: از ردیف ۷ جدول ۱۰-۲-۳-۱، U=0.85 خواهد بود.

$$\frac{b_f}{d} = \frac{135}{270} = 0.5 < \frac{2}{3} = 0.667 \Rightarrow U = 0.85$$



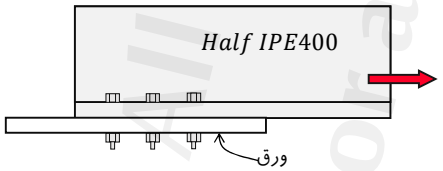
پاسخ: از ردیف ۷ جدول ۱۰-۲-۳-۱، U=0.9 خواهد بود.

$$\frac{b_f}{d} = \frac{180}{400} = 0.45 > \frac{2}{3} = 0.667 \Rightarrow U = 0.9$$

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

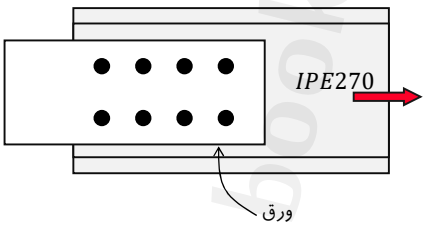
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب تاخیر برش برای اتصالات زیر را تعیین نمایید:



پاسخ: از ردیف ۷ جدول ۱۰۲-۳-۱، U=0.9 خواهد بود.

$$\frac{b_f}{d} = \frac{180}{200} = 0.9 > \frac{2}{3} = 0.667 \Rightarrow U = 0.9$$

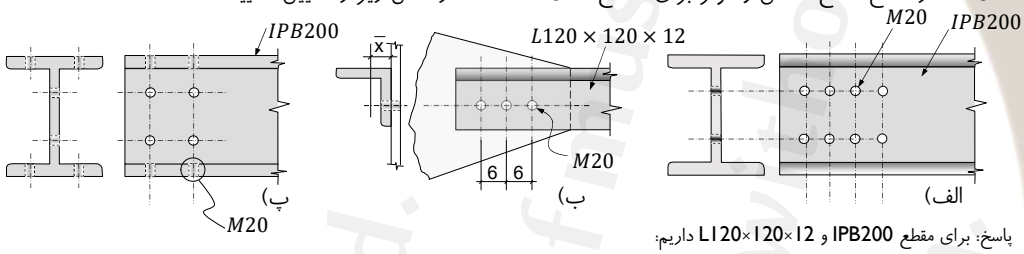


پاسخ: از ردیف ۷ جدول ۱۰-۲-۳-۱، U=0.7 خواهد بود.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار سطح مقطع خالص و موثر برای مقاطع نشان داده شده در شکل زیر را تعیین نمایید.



پاسخ: برای مقطع IPB200 و L120×120×12 داریم:

$IPB200 \rightarrow d = 20\ cm \quad b_f = 20\ cm \quad t_w = 0.9\ cm \quad t_f = 1.5\ cm \quad A_g = 78.1\ cm^2$

$L120 \times 120 \times 12 \rightarrow \quad \bar{x} = 3.4\ cm \quad A_g = 27.5\ cm^2$

الف) با توجه به ردیف ۷ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، اتصال از طریق جان صورت گرفته، داریم:

$A_n = 78.1 - 2(2.2 + 0.2) \times 0.9 = 73.78\ cm^2 \quad \rightarrow \quad A_e = UA_n = 0.7 \times 73.78 = 51.6\ cm^2$

ب) با توجه به ردیف ۲ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، داریم:

$A_n = 27.5 - 1(2.2 + 0.2) \times 1.2 = 25.1\ cm^2$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{3.4}{12} = 0.716 \quad \rightarrow \quad A_e = UA_n = 0.716 \times 25.1 = 17.9\ cm^2$

پ) با توجه به ردیف ۱ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ مبحث دهم، داریم:

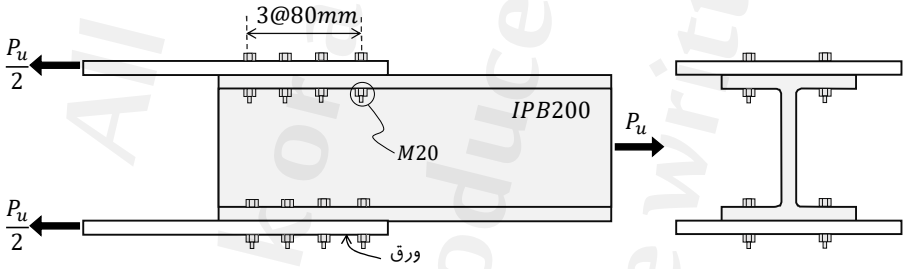
$A_n = 78.1 - 4(2.2 + 0.2) \times 1.5 - 2(2.2 + 0.2) \times 0.9 = 59.38\ cm^2$

$A_e = UA_n = 1.0 \times 59.38 = 59.38\ cm^2$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار ضریب تاخیر برش برای مقاطع نشان داده شده در شکل زیر را تعیین نمایید.



پاسخ: طبق مبحث دهم، مقدار U ممکن است براساس چند معیار محاسبه شود و در بین آنها می‌توان بیشترین مقدار را در نظر گرفت. این مثال، براساس سه حالت مختلف، قابل تعیین است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ: برای مقطع IPB200 داریم:

$$IPB200 \rightarrow d = 20\ cm \quad b_f = 20\ cm \quad t_w = 0.9\ cm \quad t_f = 1.5\ cm \quad A_g = 78.1\ cm^2$$

طبق بند ۱۰-۲-۳-۳ مبحث دهم، در مقاطع باز (نظیر مقاطع I، L، U، T و ...) مقدار ضریب تأخیر برش لازم نیست از نسبت سطح مقطع قسمت‌های اتصال یافته به سطح مقطع کل کمتر در نظر گرفته شود. این الزام در مورد مقاطع بسته (نظیر مقاطع قوطی شکل نوردشده و مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق) کاربرد ندارد. بنابراین:

$$U = \frac{2b_f t_f}{A_g} = \frac{2 \times 20 \times 1.5}{78.1} = 0.768$$

ابتدا محل مرکز سطح مقطع T تعیین شود:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{[20 \times 1.5] \times 1.5 \times 0.5 + [0.5 \times (20 - 2 \times 1.5) \times 0.9] \times \left(1.5 + 0.5 \times 0.5 \times (20 - 2 \times 1.5)\right)}{20 \times 1.5 + 0.5 \times (20 - 2 \times 1.5) \times 0.9}$$
$$= 1.72 \text{ cm}$$

براساس حالت ۲ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ برای مقطع سپری ساخته شده از مقطع IPB200 داریم:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{1.72}{3 \times 8} = 0.93$$

همچنین با توجه به ردیف ۷ از جدول ۱۰-۲-۳-۱ داریم:

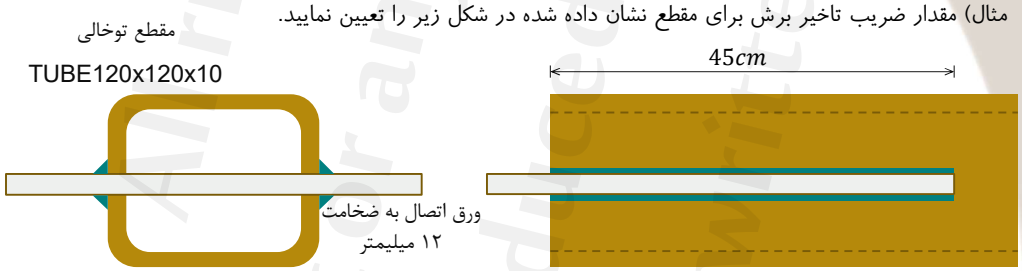
$$\frac{b_f}{d} = \frac{20}{20} = 1 > \frac{2}{3} = 0.667 \Rightarrow U = 0.9$$

بنابراین مقدار حداکثر یعنی U=0.93 در نظر گرفته خواهد شد.

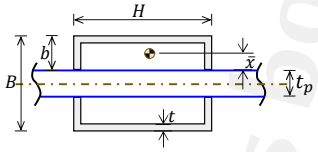
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار ضریب تاخیر برش برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر را تعیین نمایید.



پاسخ: این مورد باید از حالت ۶ جدول ۱۰-۲-۳-۱مبحث دهم تعیین شود. در این مثال B=H=12 cm و t=1 cm و b=5.4 cm است.

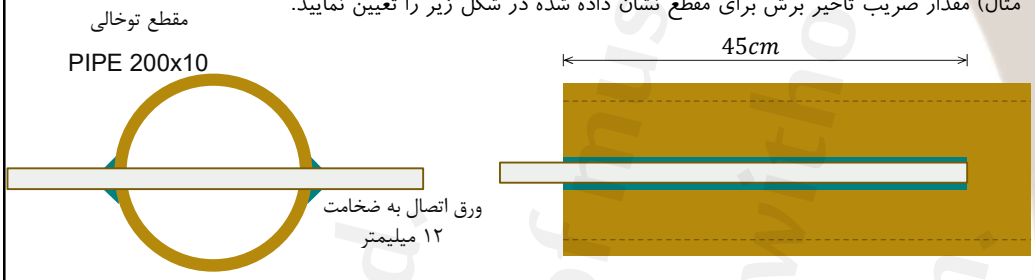


$$\bar{x} = b - \frac{2b^2 + tH - 2t^2}{2H + 4b - 4t}$$
$$= 5.4 - \frac{2(5.4)^2 + 1 \times 12 - 2(1)^2}{2 \times 12 + 4 \times 5.4 - 4 \times 1} = 3.75$$
$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{3.75}{45} = 0.91$$

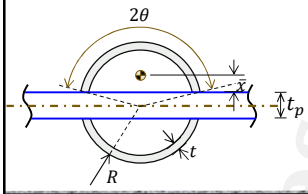
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار ضریب تاخیر برش برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر را تعیین نمایید.



پاسخ: این مورد باید از حالت ۵ جدول ۱۰-۲-۳-۱مبحث دهم تعیین شود. در این مثال به طور تقریبی $\theta \approx \frac{\pi}{2}$



$$\bar{x} = \frac{R.\sin\theta}{\theta} - \frac{1}{2}t_p = \frac{100.\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\frac{\pi}{2}} - \frac{1}{2} \times 12 = 57.6\ mm$$

$$U = \left(1 + (\frac{\bar{x}}{l})^{3.2}\right)^{-1} = \left(1 + (\frac{57.6}{450})^{3.2}\right)^{-1} = 0.98$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای کششی ساخته شده از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق (اعضای مرکب)

طبق بند ۱۰-۲-۳-۵ در طراحی اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق الزامات زیر باید تأمین شوند:

الف) چنانچه در یک مقطع مرکب تحت کشش، ورق‌های متصل به یک نیمرخ فولادی یا به یک ورق دیگر توسط نوارهای جوش منقطع به یکدیگر متصل شوند، فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی عضو نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

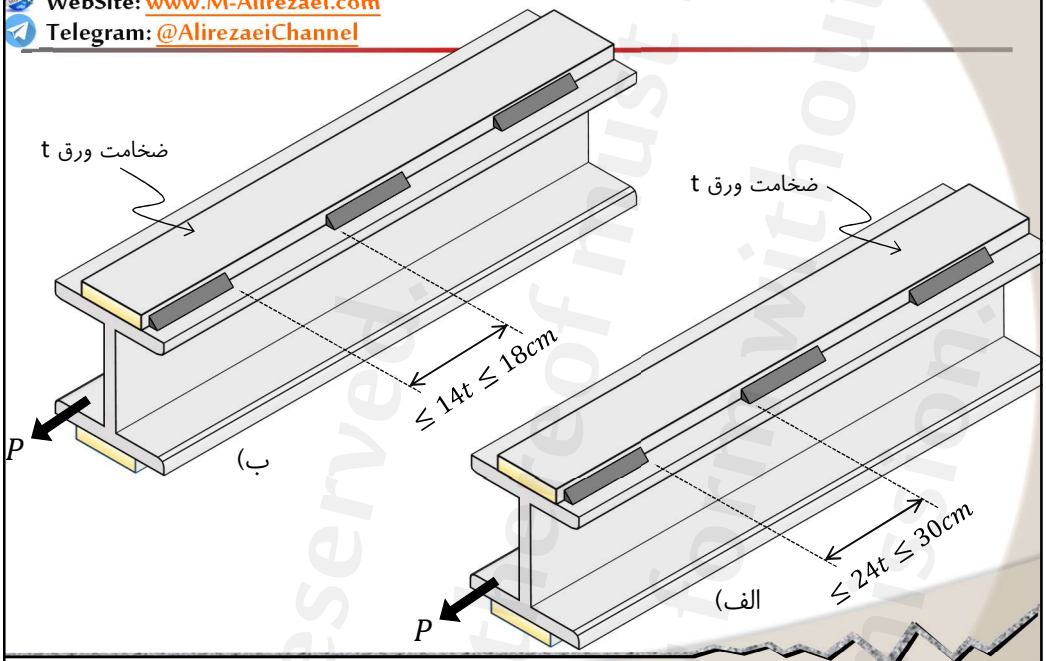
❊ در قطعات رنگ شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلیمتر. (شکل الف اسلاید بعدی)

❊ در قطعات رنگ نشده‌ای که تحت اثر خوردگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۱۸۰ میلیمتر. (شکل ب اسلاید بعدی)

ب) چنانچه در یک مقطع مرکب تحت کشش، ورق‌های متصل به یک نیمرخ فولادی یا به یک ورق دیگر توسط پیچ به یکدیگر متصل شوند، حداقل و حداکثر فاصلهٔ مرکز سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات متصل شونده و نیز حداقل و حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز سوراخ‌ها باید الزامات بخش ۱۰-۲-۹ را تأمین نمایند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

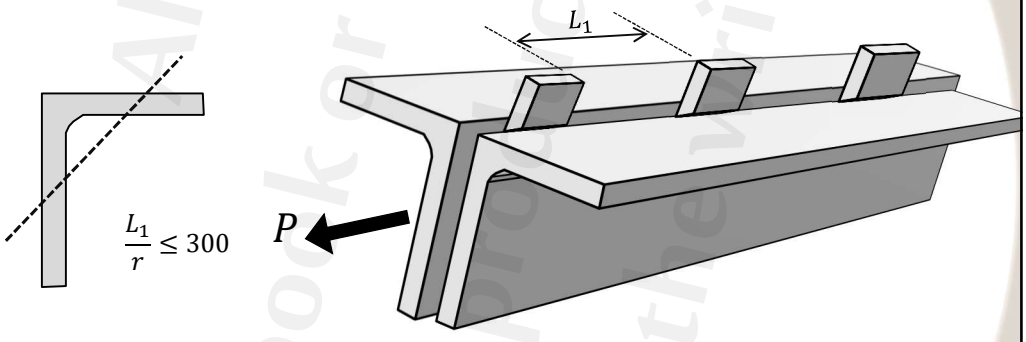
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

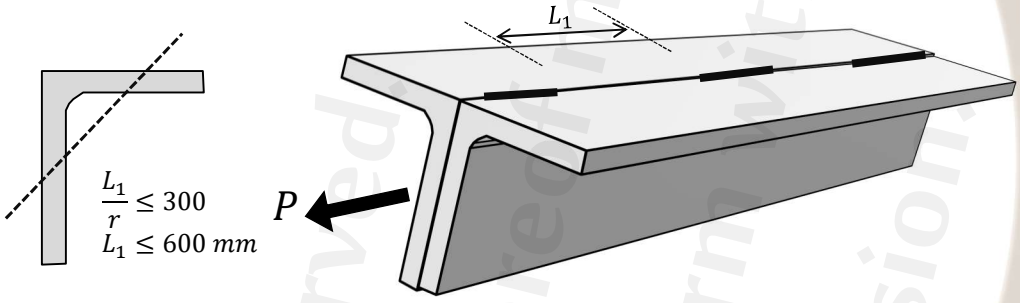
پ) در اعضای کششی که از دو یا تعداد بیشتری نیمرخ یا ورق تشکیل می‌شوند و بین آنها به فواصلی قطعات لقمه قرار گرفته و در این نقاط به یکدیگر متصل می‌شوند، فاصلهٔ بین لقمه‌ها باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ بیشتر نباشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

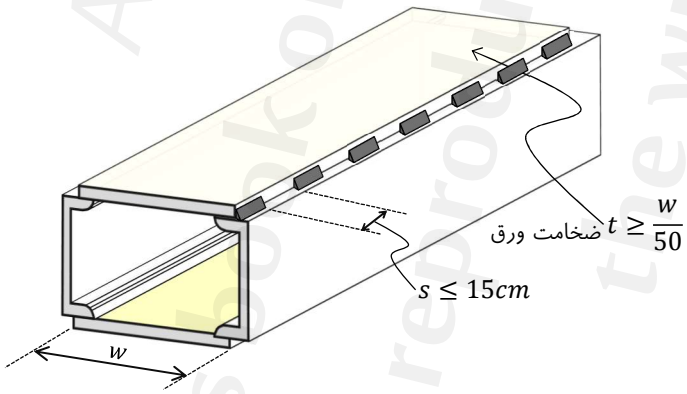
ت) در اعضای کششی که از دو یا تعداد بیشتری نیمرخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند، فاصلهٔ مرکز تا مرکز پیچ‌ها یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هر یک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در فاصلهٔ آزاد از ۳۰۰ بیشتر نباشد. بعلاوه، فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از ۶۰۰ میلیمتر بیشتر باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

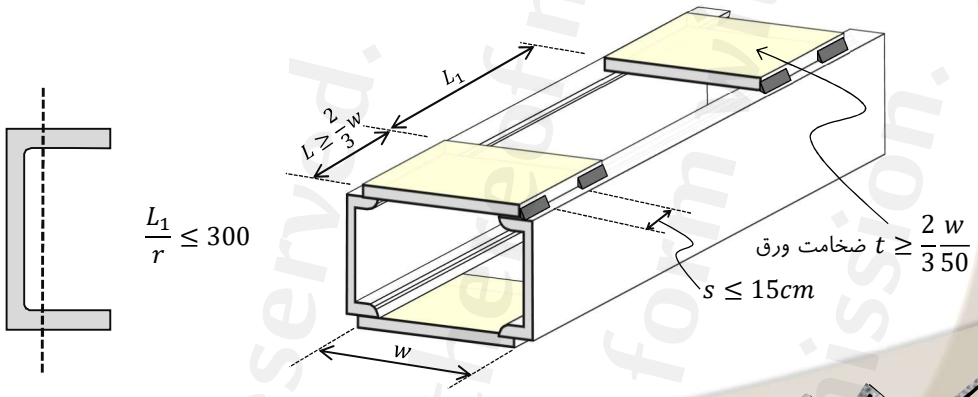
ث) در اعضای کششی مرکب، به کار بردن ورق‌های پوششی مشبک در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. ضخامت ورق‌های پوششی مشبک نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصلهٔ بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می‌کند. فاصلهٔ مرکز تا مرکز وسایل اتصال یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع در امتداد طولی ورق مشبک نباید از ۱۵۰ میلیمتر بیشتر باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ج) در اعضای کششی مرکب، به کار بردن بست‌های موازی در وجوه باز نیمرخ مرکب مجاز است. پهنای بست‌های موازی در امتداد طولی عضو باید حداقل به اندازهٔ $\frac{2}{3}$ فاصلهٔ بین خطوط جوش یا قیدهایی باشد که آنها را به اجزای عضو متصل می‌کند. ضخامت بست‌های موازی نباید کمتر از $\frac{1}{50}$ فاصلهٔ مذکور باشد. فاصلهٔ مرکز تا مرکز بست‌های موازی باید طوری انتخاب شود که نسبت لاغری هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ عضو در این فاصله از ۳۰۰ بیشتر نباشد.

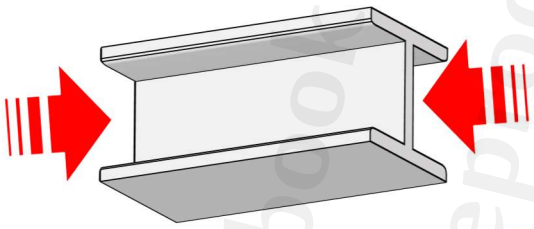


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل پنجم

طراحی اعضای فشاری



DESIGN OF MEMBERS FOR COMPRESSION

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند ۱۰-۲-۴ به الزامات طراحی اعضای منشوری می‌پردازد که تحت اثر نیروی محوری فشاری در امتداد محور طولی عضو قرار دارند. در مبحث دهم، مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۴-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۴-۲ نسبت لاغری
- ۱۰-۲-۴-۳ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش خمشی در مقاطع بدون اجزای لاغر
- ۱۰-۲-۴-۴ مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی در مقاطع بدون اجزای لاغر
- ۱۰-۲-۴-۵ اعضای با مقطع نبشی تک
- ۱۰-۲-۴-۶ اعضای فشاری ساخته‌شده (مرکب)
- ۱۰-۲-۴-۷ اعضای فشاری دارای اجزای لاغر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات عمومی

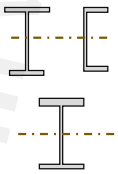
طبق بند ۱۰-۲-۴-۱، اعضای فشاری می‌توانند از نیمرخ تک، نیمرخ‌های مرکب و نیمرخ‌های ساخته شده از ورق یا ترکیبی از ورق و نیمرخ باشند. در روش LRFD مقاومت فشاری طراحی اعضا برابر $\phi_c P_n$ و در روش ASD مقاومت فشاری مجاز اعضا برابر P_n/Ω_c است. مقدار P_n مقاومت فشاری اسمی است که باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی- پیچشی (حسب مورد) در نظر گرفته شود. در طراحی اعضای فشاری مقدار ϕ_c برابر 0.9 و مقدار Ω_c برابر 1.67 است.

حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری براساس شکل مقطع، مطابق جدول ۱۰-۲-۴-۱ انتخاب می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

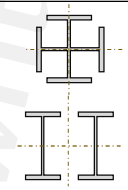
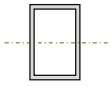
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۴-۱ حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی اعضای فشاری برای مقاطع مختلف

حالت	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای 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 محورهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۳ ۱۰-۲-۴-۴	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر یک از محورهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷
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	۱۰-۲-۴-۳ ۱۰-۲-۴-۴	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی-پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷

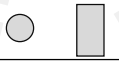
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای مقاطع بدون اجزای لاغر	بند مربوطه	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای مقاطع دارای اجزای لاغر	بند مربوطه
۳	مقاطع صلیبی یا ساخته‌شده (مرکب) دارای دو محور تقارن		- کمانش خمشی حول هر یک از محورهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۳ ۱۰-۲-۴-۴ ۱۰-۲-۴-۶	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر یک از محورهای اصلی مقطع - کمانش پیچشی حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷ ۱۰-۲-۴-۶
۴	مقاطع توخالی مستطیلی شکل		- کمانش خمشی حول محورهای اصلی مقطع	۱۰-۲-۴-۳	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محورهای اصلی مقطع	۱۰-۲-۴-۷
۵	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل		- کمانش خمشی حول هر محور دلخواه مقطع	۱۰-۲-۴-۳	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول هر محور دلخواه مقطع	۱۰-۲-۴-۷

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

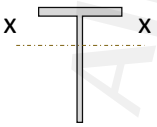
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالت	نوع مقطع	شکل مقطع	حالت یا حالت‌های حدی حاکم بر طراحی برای 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	۱۰-۲-۴-۳ ۱۰-۲-۴-۴	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع -کمانش خمشی-پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷
۷	مقاطع مرکب از دو نیمرخ نبشی پشت به پشت		- کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع - کمانش خمشی- پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۳ ۱۰-۲-۴-۴ ۱۰-۲-۴-۶	- کمانش موضعی - کمانش خمشی حول محور عمود بر محورتقارن مقطع -کمانش خمشی-پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷ ۱۰-۲-۴-۶
۸	مقاطع نبشی تک		- کمانش خمشی - کمانش خمشی-پیچشی	۱۰-۲-۴-۵	- کمانش موضعی - کمانش خمشی -کمانش خمشی-پیچشی	۱۰-۲-۴-۷
۹	مقاطع توپر		- کمانش خمشی حول محورهای اصلی	۱۰-۲-۴-۳	موضوعیت ندارد	-
۱۰	مقاطع بدون محور تقارن غیر از نبشی‌های تک		- کمانش خمشی- پیچشی حول محورهای اصلی مقطع و حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۴	- کمانش موضعی -کمانش خمشی-پیچشی حول محورهای اصلی مقطع و حول محور طولی عضو	۱۰-۲-۴-۷

صفحه ۲۶۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت فشاری طراحی یک عضو محوری با مقطع سپری (مطابق شکل زیر) باید براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از کدامیک از حالت‌های حدی زیر تعیین شود؟ (اردیبهشت ۹۷)



الف) کمانش خمشی- پیچشی حول محورهای x و y و z

ب) کمانش خمشی حول محور y و کمانش خمشی- پیچشی حول محورهای x و z

ج) کمانش خمشی حول محور x ، کمانش خمشی حول محور y و کمانش پیچشی حول محور z

د) کمانش خمشی حول محور x و کمانش خمشی- پیچشی حول محورهای y و z

پاسخ: طبق جدول ۱۰-۲-۴-۱ (حالت ۶) ارائه شده در آیین نامه حالت‌های حدی زیر باید کنترل شود:

کمانش خمشی حول محور عمود بر محور تقارن مقطع، کمانش خمشی پیچشی حول محور تقارن مقطع و محور طولی عضو

بنابراین گزینه (د) صحیح است.

صفحه ۲۷۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

نسبت لاغری

ضریب طول مؤثر (K) برای محاسبهٔ نسبت لاغری اعضا ($\frac{KL}{r}$) و محاسبهٔ مقاومت اسمی آنها، باید مطابق با ضوابط بخش ۱۰-۲-۱ (الزامات مربوط به پایداری) این مبحث تعیین شود که در آن:

L: طول مهارنشدهٔ عضو حول محور کمانش موردنظر

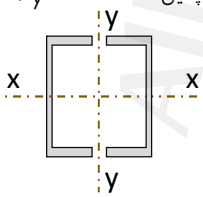
r: شعاع ژیراسیون مقطع عضو حول محور کمانش موردنظر

نسبت لاغری ($\frac{KL}{r}$) اعضایی که برای تحمل نیروی محوری فشاری طراحی می‌شوند، نباید از ۲۰۰ بیشتر شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در صورتیکه طول اعضاء مهاربند ضربدری در یک سیستم مهاربندی همگرای ویژه برابر ۶ متر باشد، مقطع مرکب نشان داده شده در شکل زیر باید حداقل دارای چه شعاع ژیراسیونی باشد؟ (محور x عمود بر صفحه مهاربند، ضریب طول موثر برای کمانش خارج از صفحه را ۰/۷و برای داخل صفحه ۰/۵در نظر بگیرید و همچنین F_y=240 MPa) (آذر ۹۲)



الف) r_x>2.4 و r_y>3.4

ب) r_x>3.4 و r_y>3.4

ج) r_x>2.1 و r_y>2.1

د) r_x>1.5 و r_y>2.1

طبق مبحث دهم، نسبت لاغری ($\frac{KL}{r}$) اعضایی که برای تحمل نیروی محوری فشاری طراحی می‌شوند، نباید از ۲۰۰ بیشتر شود. در مهاربندهای همگرای ویژه هم کران بالای لاغری همین مقدار است.

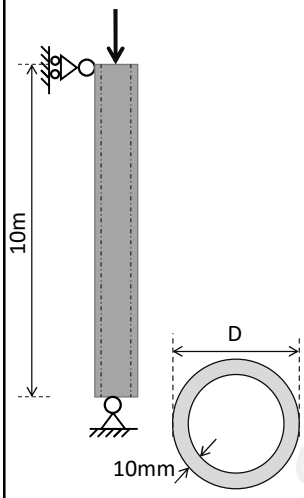
$$\frac{K_x L}{r_x} \le 200 \quad \Rightarrow \quad \frac{0.5 \times 600}{r_x} \le 200 \quad \Rightarrow \quad r_x \ge 1.5$$

$$\frac{K_y L}{r_y} \le 200 \quad \Rightarrow \quad \frac{0.7 \times 600}{r_y} \le 200 \quad \Rightarrow \quad r_y \ge 2.1$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در عضو فشاری غیربابرلرزه‌ای شکل زیر بدون توجه به میزان بار وارده، حداکثر قطر و حداقل قطر قابل قبول برای مقطع به ترتیب به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید مقطع باید شرایط غیرلاغر بودن را باید داشته باشد) (بهمن ۹۷)



الف) ۱۰۰۰ میلیمتر و ۲۰۰ میلیمتر

ب) ۱۰۰۰ میلیمتر و ۱۶۰ میلیمتر

ج) ۹۰۰ میلیمتر و ۲۰۰ میلیمتر

د) ۹۰۰ میلیمتر و ۱۶۰ میلیمتر

پاسخ: چون طول عضو معلوم است باید حداکثر لاغری عضو تعیین شود و همچنین برای جلوگیری از کمانش موضعی نسبت فشردگی مقطع کنترل شود. لاغری حداکثر عضو فشاری ۲۰۰ می‌باشد که در این صورت حداقل قطر عضو برابر خواهد بود با:

$$\lambda \le 200 \quad \Rightarrow \frac{KL}{r} \le 200 \Rightarrow r \ge 50\ mm$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{I}{A}} \ge 50 \Rightarrow \sqrt{\frac{\frac{\pi D^3 t}{8}}{\pi D t}} = \sqrt{\frac{D^2}{8}} \ge 50 \Rightarrow D \ge 141\ mm$$

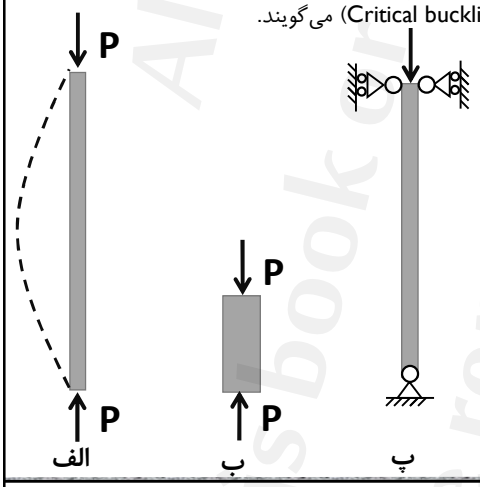
$$\frac{D}{t} \le \frac{0.11E}{F_y} = 91.67 \Rightarrow D \le 916.7$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تئوری ستون‌ها

شکل (الف) زیر را در نظر بگیرید که در آن نیروی P بصورت آهسته بر عضو اعمال می‌شود. در صورت افزایش بار P عضو شروع به کمانش نموده و به سمت ناپایداری حرکت می‌کند. این وضعیت با خط چین نشان داده شده است. به باری که منجر به کمانش عضو شود، بار بحرانی کمانش (Critical buckling load) می‌گویند.



در صورتی که عضو به مانند شکل (ب)، چاق باشد، نیروی مورد نیاز برای به کمانش در آوردن عضو، بسیار زیاد خواهد بود و عضو براحتی دچار کمانش نمی‌شود و حتی ممکن است قبل از اینکه کمانشی برای آن ایجاد شود، عضو در فشار محوری تسلیم گردد. میزان بار مورد نیاز برای به کمانش در آوردن عضو تابعی از لاغری آن عضو است و برای اعضایی که لاغری بالایی داشته باشند، این بار می‌تواند به میزان زیادی ناچیز باشد. برای یک عضو لاغر، بار بحرانی کمانش ارتجاعی بصورت زیر قابل بیان است:

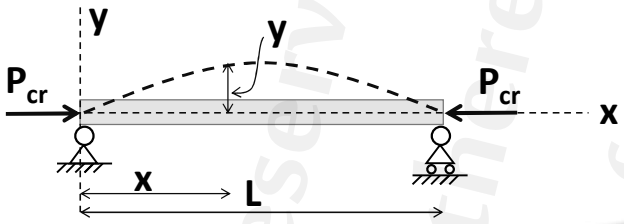
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در رابطه اخیر، E ضریب ارتجاعی فولاد، I ممان اینرسی مقطع حول محور ضعیف قطعه و L طول عضو بین نقاط تکیه‌گاهی است. در رابطه فوق، دو انتهای عضو مفصلی بوده و فقط در برابر حرکت جانبی مقید هستند. شرایط رابطه اخیر در شکل (پ) نشان داده شده است. این رابطه برای اولین بار در سال ۱۷۵۹ و توسط یک ریاضیدان سویسی به نام لئوناردو اویلر ارائه شد. بار بحرانی برخی اوقات تحت عنوان بار اویلر یا بار کمانشی اویلر نیز شناخته می‌شود. برای راحتی، امتداد نیروی محوری در عضو فشاری را مانند شکل زیر در امتداد محور x در نظر می‌گیریم.

فرض نمایید که بار P که بصورت محوری بر عضو اثر می‌کند، بطور فزاینده‌ای زیاد شود. حال شرایطی را در نظر بگیرید که بار P از بار بحرانی کمتر باشد. در این شرایط، اگر یک بار گذرا بصورت عرضی بر تیر اعمال شود، سبب ایجاد کمانشی مطابق با خط چین نشان داده شده در شکل خواهد شد و در صورت حذف این بار، تیر به شرایط اولیه خود باز خواهد گشت. بار بحرانی کمانشی P_{cr} به باری اطلاق می‌شود که اگر بار عرضی گذار را از روی سیستم حذف نماییم، شکل تیر به حالت اولیه خود بر نگردد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

معادله دیفرانسیل حاکم بر عضو تحت خمش که بصورت ارتجاعی رفتار نماید بصورت زیر است:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

که x مختصه مکانی یک نقطه دلخواه از تیر در امتداد محور طولی آن، y و M به ترتیب مقدار خیز و لنگر تیر در آن نقطه می‌باشند. در صورتی که مقدار لنگر ایجاد شده در مقطعی به فاصله x از انتهای قطعه برابر $M=P_{cr}y$ در نظر گرفته شود، رابطه اخیر بصورت زیر در خواهد آمد:

$$y'' + \frac{P_{cr}}{EI}y = 0$$

رابطه اخیر یک رابطه دیفرانسیلی مرتبه دوم خطی و نسبت به x بوده که حل آن بصورت زیر است:

$$y = A\cos(cx) + B\sin(cx) \qquad c = \sqrt{\frac{P_{cr}}{EI}}$$

در رابطه فوق، A و B ثابت‌های انتگرال‌گیری بوده که از شرایط مرزی مسئله بدست می‌آیند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

داریم:

$$x = 0, y = 0 \quad \rightarrow \quad 0 = A\cos(0) + B\sin(0) \quad \Rightarrow \quad A = 0$$
$$x = L, y = 0 \quad \rightarrow \quad 0 = B\sin(cL)$$

در شرایط مرزی اخیر، در صورتی که B مخالف صفر باشد، مقدار (cL) بایستی برابر صفر باشد. برای sin(cL)=0 داریم:

$$cL = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \ldots = n\pi \qquad n = 0,1,2,3,\ldots$$

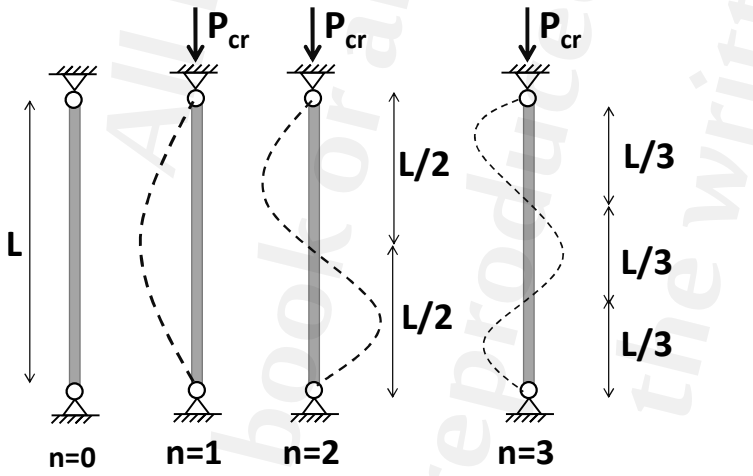
بنابراین:

$$c = \sqrt{\frac{P_{cr}}{EI}} \quad \Rightarrow \quad cL = L\left(\sqrt{\frac{P_{cr}}{EI}}\right) = n\pi \quad \Rightarrow \quad \frac{P_{cr}}{EI}L^2 = n^2\pi^2 \quad \Rightarrow \quad P_{cr} = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2}$$

که در آن n مود متناظر با کمانش عضو می‌باشد. مثلاً در صورتی که n=1 باشد، یعنی کمانش در مود اول رخ داده است. مودهای مختلف کمانشی یک عضو فشاری در شکل بعدی نشان داده شده است.در حالتی n=0 باشد، کمانشی رخ نداده و همچنین لازمه ایجاد مودهای بالاتر کمانش، مقید بودن ستون در برخی نواحی وسط آن است تا آن شکل کمانشی بتواند بسیج شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با حل معادله دیفرانسیل بصورت زیر خواهد شد:

$$y = B \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

که ضریب B تعیین نشد. برای یک حالت ساده که عضو فشاری دارای هیچ قیدی بین دو انتهای خود نباشد، به عبارتی برای n=1 رابطه اویلر بصورت زیر خواهد شد:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 EAr^2}{L^2} = \frac{\pi^2 EA}{(L/r)^2}$$

که در رابطه اخیر A سطح مقطع و r شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور کمانش می‌باشد. به عبارت L/r نسبت لاغری گفته می‌شود. با تقسیم نیروی بحرانی کمانش بر سطح مقطع عضو، تنش بحرانی بصورت زیر حاصل می‌شود:

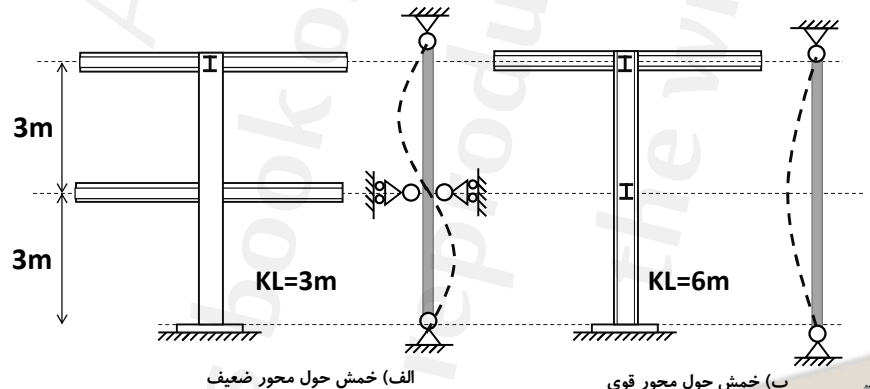
$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EA}{(L/r)^2 A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

برای ستون‌های با شرایط مرزی مختلف نیز می‌توان روابط مشابهی را استخراج نمود. برای راحتی در نوشتار، از ضریبی تحت عنوان ضریب طول موثر، جهت بیان شرایط مرزی عضو استفاده می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل الف، ستون در هر طبقه دارای یک تیر می‌باشد که حرکت ستون را در تراز طبقات محدود می‌نمایند. در این حالت طول موثر ستون برابر ارتفاع هر یک از طبقات و برابر ۳ متر است. در جهت عمود بر این وضعیت که در شکل ب، نشان داده شده، ستون در تراز طبقه اول دارای تیر نبوده وکمانش ستون در این جهت در سراسر طول آن اتفاق خواهد افتاد. بنابراین طول کمانشی ستون در این وضعیت برابر ۶ متر است.



الف) خمش حول محور ضعیف ب) خمش حول محور قوی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

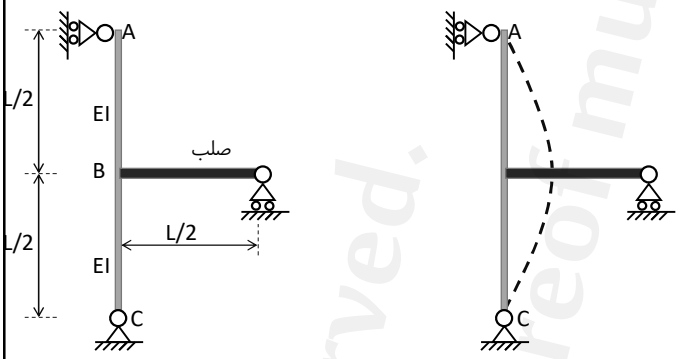
مثال)در سازه نشان داده شده در شکل، ضریب طول مؤثر ستون AB به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (آذر۹۲

الف) 4.0

ب) 1.0

ج) 2.0

د) 0.5



ستون AB را می‌توان به صورت یک ستون یک سر مفصل و یک سر هدایت شونده فرض کرد. از جدول ۱۰-پ۲-۱ ضریب طول موثر آن برابر ۲ است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش خمشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر

طبق بند ۱۰-۲-۴-۳، 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 رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$(a)\ When\ \frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}\quad or\quad \frac{F_y}{F_e} \le 2.25 \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$$

$$(b)\ When\ \frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}\quad or\quad \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

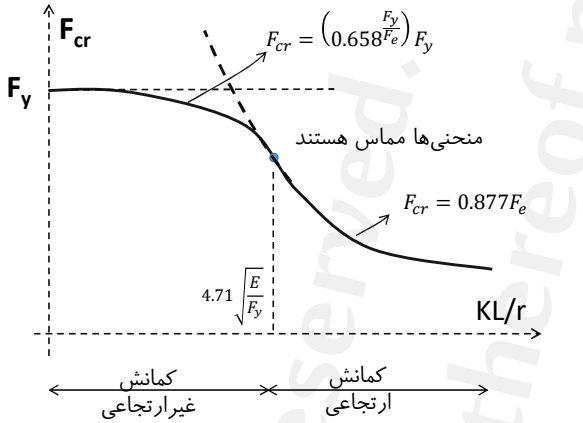
$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

در روابط فوق، $\frac{KL}{r}$ نسبت لاغری عضو حول محور کمانش موردنظر، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، E مدول الاستیسیتهٔ فولاد، K ضریب طول مؤثر حول محور کمانش موردنظر مطابق ضوابط بخش ۱۰-۲-۱، L طول مهارنشدهٔ عضو حول محور کمانش موردنظر و r شعاع ژیراسیون مقطع عضو حول محور کمانش موردنظر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با استفاده از رابطه اخیر می‌توان بطور مستقیم تنش بحرانی در کمانش غیرارتجاعی ستون را بدست آورد. در ناحیه بین این دو رابطه مقدار تنش بحرانی F_{cr} حاصل از هر دو رابطه با هم برابر هستند. این نقطه در حالتی ایجاد می‌شود که مقدار لاغری عضو بطور تقریبی برابر $4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه لاغری حداکثر یک عضو فشاری از λ_c به $0.5\lambda_c$ تقلیل یابد در طراحی به روش ضرایب بار نیروی محوری فشاری قابل تحمل توسط عضو مذکور حدودا چند برابر خواهد بود؟ λ_c لاغری مرزی بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی است. (F_y=240 MPa) (آذر ۹۲)

الف) تغییر نمیکند. ب) 1.5 ج) 2.0 د) 1.8

پاسخ: طبق مبحث دهم، مرز بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی $\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ است.

$$\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^5}{240}} = 136$$

$$F_{e2} = \frac{\pi^2 E}{(136/2)^2} = 426\ MPa \qquad F_{e1} = \frac{\pi^2 E}{(136)^2} = 106\ MPa$$

$$\frac{P_{n2}}{P_{n1}} = \frac{F_{cr2}A_g}{F_{cr1}A_g} = \frac{\left(0.658^{\frac{F_y}{F_{e2}}}\right)F_y}{\left(0.658^{\frac{F_y}{F_{e1}}}\right)F_y} = \frac{189}{93} \approx 2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ضریب لاغری یک عضو فشاری با مقطع IPE220 از فولاد نوع ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) برابر ۱۰۰ فرض می‌شود. اگر ضریب لاغری این عضو نصف شود، نسبت افزایش مقاومت فشاری طراحی آن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر می‌شود؟ (فرض کنید طول آزاد مهار نشده در برابر پیچش در هر دو حالت کمتر از طول مهار نشده در برابر خمش است. (خرداد ۹۳)

الف) 1.45 ب) 4.0 ج) 1.35 د) 2

پاسخ: طبق مبحث دهم، مرز بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی $\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ است.

$$\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^5}{240}} = 136 > 100$$

$$F_{e2} = \frac{\pi^2 E}{(100/2)^2} = 789\ MPa \qquad F_{e1} = \frac{\pi^2 E}{(100)^2} = 197\ MPa$$

$$\frac{P_{n2}}{P_{n1}} = \frac{F_{cr2}A_g}{F_{cr}\ A_g} = \frac{\left(0.658^{\frac{F_y}{F_{e2}}}\right)F_y}{\left(0.658^{\frac{F_y}{F_{e1}}}\right)F_y} = \frac{0.88}{0.6} \approx 1.46$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای ستون فولادی نسبت مقاومت فشاری اسمی نظیر حالت حدی کمانش خمشی ستونی با $\left(\frac{KL}{r}\right)_{max} = 180$ به ستونی با $\left(\frac{KL}{r}\right)_{max} = 90$ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=300 MPa) (اسفند ۹۵)

الف) 0.67 ب) 0.3 ج) 0.5 د) 0.75

پاسخ: طبق مبحث دهم، مرز بین کمانش ارتجاعی و غیرارتجاعی $\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ است.

$$\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^5}{300}} = 121$$

$$F_{e1} = \frac{\pi^2 E}{(180)^2} = 60.9\ MPa \qquad F_{e2} = \frac{\pi^2 E}{(90)^2} = 243\ MPa$$

$$\lambda_1 = 180 > 121 \quad \Rightarrow \quad F_{cr1} = 0.877F_{e1} = 53.4\ MPa$$

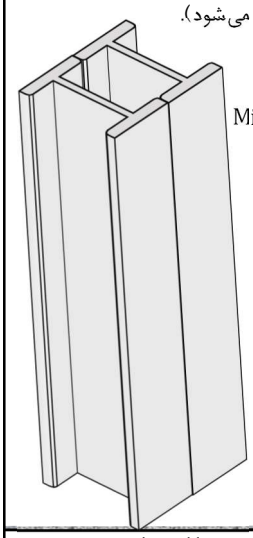
$$\lambda_2 = 90 < 121 \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_{e2}}}\right)F_y = 179\ MPa$$

$$\frac{F_{cr}}{F_{cr2}} = \frac{53.4}{179} = 0.3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون با مقطع دوبل 2IPE160 (بهم چسبیده) با طول ۴ متر و فولاد ST37، حداکثر ظرفیت فشاری نهایی را تعیین نمایید. این ستون بصورت دو سر مفصل و بدون قید میانی در طول خود در نظر گرفته شود. برای مقطع دوبل IPE160 مشخصات هندسی مورد نیاز بصورت زیر است (محاسبه جزئیات به خواننده واگذار می‌شود).



$$A = 40.2\ \text{cm}^2 \quad , \quad r_x = 6.57\ \text{cm} \quad , \quad r_y = 4.49\ \text{cm}$$

$$\text{Minimum } r = r_y = 4.49\ \text{cm} \quad \Rightarrow \quad \text{Maximum } \frac{L}{r} = \frac{400\ \text{cm}}{4.49\ \text{cm}} = 89.08$$

$$\frac{KL}{r} = 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}} = 136 > 89.08$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 2\times 10^6}{(89.08)^2} = 2487\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{2400}{2487}}\right)2400 \approx 1600\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \quad \varphi_c P_n = 0.9 \times 1600 \times 40.2 \times 10^{-3} \approx 58\ \text{ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستون قوطی نورد شده با ابعاد 100x100x5 میلیمتر به صورت دو سر ساده مفروض است. اگر تنش فشاری اسمی ناشی از کمانش خمشی این ستون برابر ۳۵ درصد تنش تسلیم باشد، طول ستون برحسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (بهمن ۹۴)

$$F_y = 240\ MPa \quad E = 2\times 10^5 MPa \quad A_g = 1870\ mm^2 \quad r_x = r_y = 38.6\ mm$$

الف) 6.0 ب) 4.5 ج) 5.0 د) 5.5

$$\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^5}{240}} = 136$$

$$F_{cr} = 0.35F_y = 84\ MPa \qquad F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{1\times L}{38.6}\right)^2} = \frac{2.94\times 10^9}{L^2}$$

$$When\ \frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y = 84 \quad \Rightarrow L = 5423\ mm$$

$$When\ \frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = 0.877F_e = 84 \quad \Rightarrow \quad L = 5541\ mmm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) حداکثر بارمحوری نهایی قابل تحمل توسط یک ستون با مقطع IPE220 تک و دارای طول ۴ متر و واقع در ساختمانی که در هر دو راستای اصلی آن از مهاربند استفاده شده است، فقط از منظر کمانش خمشی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ نوع فولاد ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (شهریور ۹۵)

الف) 250 kN　　ب) 200kN　　ج) 150kN　　د) 100kN

پاسخ: ابتدا باید مقدار لاغری برای طراحی عضو تعیین شود. با توجه به وجود مهاربند در هر دو راستا ضریب طول موثر برابر یک خواهد بود.

$$\frac{KL}{r}=\frac{400}{2.48}=161.3>4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}=4.71\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}}=136$$

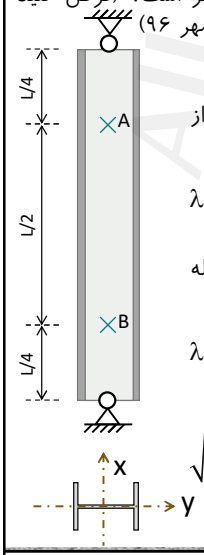
$$F_e=\frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}=\frac{\pi^2E}{(161.3)^2}=75.8\,MPa \quad \Rightarrow \quad F_{cr}=0.877F_e=66.5\,MPa$$

$$\phi P_n=0.9\times F_{cr}A_g=0.9\times66.5\times3340\times10^{-3}\approx200\,kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستون دو سر مفصل نمایش داده شده در شکل زیر دو تکیه گاه جانبی عمود بر جان در نقاط A و B دارد. حداقل مقدار I_x برای آنکه کمانش حول محور x تعیین کننده نباشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید کمانش پیچشی ستون در طراحی کنترل کننده نبوده و استفاده از نتایج تحلیل دقیق مدنظر نیست. (مهر ۹۶)



الف) $4I_y$　　ب) $0.5I_y$　　ج) I_y　　د) $2I_y$

پاسخ: باید لاغری را حول محورهای x و y به دست آوریم و لاغری حول محور x باید کمتر از لاغری حول محور y باشد تا کمانش حول این محور رخ ندهد.

$$\lambda_x=\frac{K_xL}{r_x}<\lambda_y=\frac{K_yL}{r_y}$$

طول مؤثر کمانشی حول محور x برابر کل طول ستون است ولی طول مؤثر حول محور y برابر فاصله دو مهار جانبی است که بیشترین طول موثر، بین نقطه A و B است و این طول برابر 0.5L می‌باشد.

$$\lambda_x=\frac{K_xL}{r_x}=\frac{1\times L}{r_x}<\lambda_y=\frac{0.5L}{r_y} \quad \Rightarrow \quad r_x>2r_y$$

$$\sqrt{\frac{I_x}{A}}>2\sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad \Rightarrow \quad I_x>4I_y$$

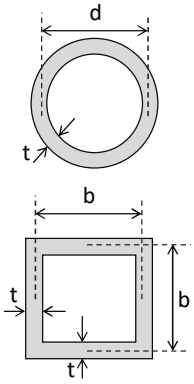
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید در یک ستون دو سر مفصل فولادی به طول L حالت حدی کمانش خمشی الاستیک تعیین کننده مقاومت محوری فشاری طراحی آن است. به ازای کدامیک از مقادیر زیر مقاومت محوری فشاری طراحی عضو مذکور برای هر دو مقطع جدار نازک نشان داده شده در شکل زیر حدوداً یکسان است؟ (فرض کنید هر دو مقطع دارای اجزای غیر لاغر بوده و F_y=240 MPa است. (مهر ۹۶)

الف) d=1.44b ب) d=1.2b ج) d=1.27b د) d=1.33b

پاسخ: داریم:



$$\lambda > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 136$$

$$P_{n1} = P_{n2} = F_{cr1}A_{g1} = F_{cr2}A_{g2}$$

$$F_{cr1} = 0.877F_{e1} \quad \text{و} \quad F_{cr2} = 0.877F_{e2}$$

$$r = \sqrt{I/A_g} \Rightarrow I = r^2A_g$$

$$\Rightarrow \frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r_1}\right)^2}A_{g1} = \frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r_2}\right)^2}A_{g2} = \frac{A_{g1}}{\left(\frac{KL}{r_1}\right)^2} = \frac{A_{g2}}{\left(\frac{KL}{r_2}\right)^2} = \frac{I_1}{(KL)^2} = \frac{I_2}{(KL)^2}$$

$$\Rightarrow I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{\pi d^3}{8} = \frac{2}{3}b^3t \Rightarrow d = 1.19b$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار مقاومت فشاری طراحی اعضای فشاری با مقطع بدون اجزای لاغر، در مرز کمانش خمشی غیرالاستیک و الاستیک ($4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مهر ۹۸)

الف) $0.35A_gF_y$ ب) $0.39A_gF_y$ ج) $0.44A_gF_y$ د) $0.877A_gF_y$

پاسخ: داریم:

$$\lambda = 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 136$$

$$F_e = \frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 0.4444F_y \quad \Rightarrow F_{cr} = 0.877F_e = 0.389F_y$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 0.389F_y \times A_g = 0.35F_yA_g$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

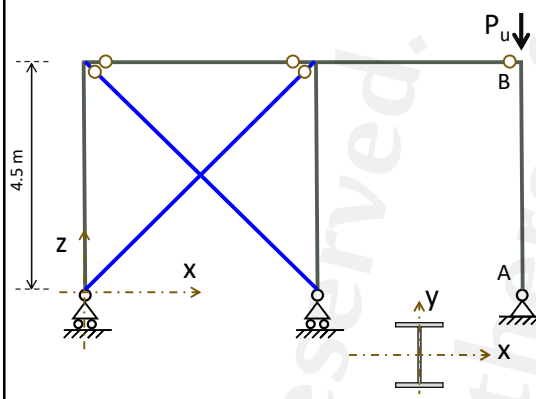
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در قاب شکل زیر، مقدار حداکثر P_u وارد بر ستون AB با توجه به کمانش خمشی در صفحه قاب برحسب کیلو نیوتن به کدامیک از مقادیر زیرنزدیکتر است؟ (اردیبهشت ۹۷)

$F_y = 240\ MPa \quad A = 6400\ mm^2 \quad r_x = 180\ mm \quad r_y = 30\ mm \quad K_x = K_y = 1.0$

الف) ۵۴۷ ب) ۴۹۲ ج) ۴۴۳ د) ۴۰۳

پاسخ: داریم:



$$\lambda = \frac{1 \times 4500}{30} = 150 > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 136$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{(150)^2} = 87.7\ MPa$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 76.9\ MPa$$

$$P_u = 0.9 \times 76.9 \times 6400 \times 10^{-3} = 443\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستون فولادی با مقطع جعبه‌ای مربع شکل با ضخامت یکنواخت به طول ۶ متر که شرایط تکیه‌گاهی آن دو سر مفصل است تحت اثر بار نهایی 800 kN قرار دارد. با فرض اینکه پهنای کلی مقطع 300 mm بوده و از فولاد S235 (F_y=235 MPa) در ساخت آن استفاده شود، حداقل ضخامت لازم برای مقطع تحت اثر بار وارده بر حسب میلیمتر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (این ستون جزئی از سیستم قاب مهاربند همگرای معمولی فولادی است.)(مهر ۹۸)

الف) ۴ میلیمتر ب) ۶ میلیمتر ج) ۸ میلیمتر د) ۱۰ میلیمتر

پاسخ: اگر مقطع را جدار نازک در نظر بگیریم با فرض a به عنوان بعد متوسط مقطع و با فرض ضخامت ۸ میلیمتر برای سعی اولیه:

$$I = \frac{2}{3}a^3 t \quad \Rightarrow \quad a = 300 - 8 = 292 \quad \Rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}} \approx \sqrt{\frac{\frac{2}{3}a^3 t}{4at}} = \frac{a}{\sqrt{6}} = \frac{292}{\sqrt{6}} = 119$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{(50.4)^2} = 776 \quad \Rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{235}{776}}\right)235 = 207\ MPa$$

$$\phi P_{nc} = 0.9 \times 207 \times (4 \times 292t) = 217598t \leq 800000 \quad \Rightarrow t \geq 3.6\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با کنترل فشردگی:

$$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 40.8 \quad \Rightarrow \quad \frac{300-2t}{t} < 40.8 \quad \Rightarrow \quad t > 7\ mm$$

گزینه سوم درست است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی یک عضو فشاری با مقطع دارای دو محور تقارن و نیز دارای نسبت لاغری یکسان نسبت به هردو محور اصلی برابر $0.25F_y$ محاسبه شده است. اگر مقدار نسبت لاغری (KL/r) این عضو فشاری نسبت به هردو محور اصلی نصف شود، تنش فشاری ناشی از کمانش خمشی این عضو به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر خواهد بود؟($E=2\times10^5$ MPa و $F_y=240$ MPa) (مهر ۹۹)

الف) $0.46F_y$ ب) $0.5F_y$ ج) $0.69F_y$ د) $0.877F_y$

پاسخ:

$$F_{cr} = 0.25F_y = 0.25 \times 240 = 60\ MPa$$

$$\lambda = 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 136$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(\lambda)^2} = \frac{\pi^2 E}{(\lambda)^2} \quad \Rightarrow \quad F_{cr} = 0.877\frac{\pi^2 E}{(\lambda)^2} = 60\ MPa \quad \Rightarrow \square = 171 \quad \Rightarrow \lambda_2 = 85.5 < 136$$

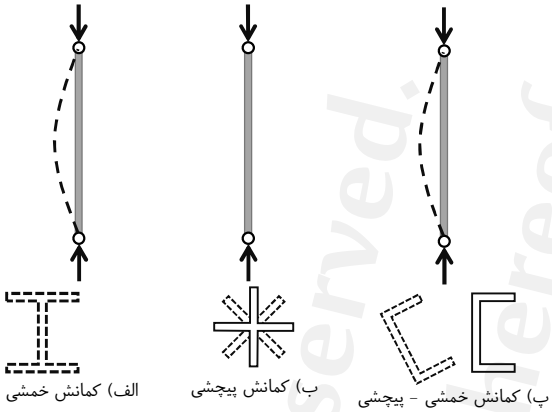
$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y = \left(0.658^{\frac{240}{270}}\right)F_y = 0.68F_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کمانش پیچشی و کمانشی خمشی- پیچشی

در حالتی که یک عضو فشاری دچار ناپایداری کلی شود (از کمانش‌های موضعی جلوگیری شده باشد)، مطابق شکل زیر سه حالت کلی ممکن است ایجاد شود.



۱) کمانش خمشی: در این حالت کمانش کلی مطابق شکل الف، حول محور ضعیف عضو ایجاد می‌شود.

۲) کمانش پیچشی: این حالت کمانشی، در وضعیتی که مقاومت پیچشی مقطع با تقارن دوبل، حول محور طولی آن ناچیز باشد، رخ می‌دهد. مقاطع گرم نورد شده موجود معمولاً در معرض این حالت کمانشی نیستند. لیکن مقاطع ساخته شده از ورق (مخصوصاً در حالتی که ضخامت ورق‌ها ناچیز باشد) بایستی برای این حالت کمانشی کنترل شوند.

۳) کمانش خمشی- پیچشی: این حالت کمانش در واقعی ترکیبی از دو حالت قبل است که به مانند شکل (پ)، عضو علاوه بر کمانش کلی و خمش حول محور ضعیف خود، حول محور طولی خودش نیز دچار کمانش می‌شود. مقاطع با یک محور تقارن، مانند نبشی‌ها، سپری‌ها و ناودانی‌ها در معرض این حالت کمانشی قرار دارند.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت فشاری اسمی براساس کمانش پیچشی و کمانش خمشی-پیچشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر

طبق بند ۱۰-۲-۴-۴، همانطور که در جدول ۱۰-۲-۴-۱ 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 ۱۰-۲-۴-۲ و ۱۰-۲-۴-۳ (دو رابطه مربوط به حالت تسلیم) ولی براساس تنش‌های کمانش پیچشی الاستیک 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:

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right)\frac{1}{I_x + I_y}$$

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:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right]$$

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 ریشهٔ معادلهٔ درجه سوم زیر:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_0}{\bar{r}_0}\right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_0}{\bar{r}_0}\right)^2 = 0$$

در روابط فوق: C_w ثابت تابیدگی، K_z ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی، مقدار این ضریب به طور محافظه کارانه 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 مقطع در انتها در طولی حداقل برابر بزرگترین بعد مقطع ستون انجام شود. J ثابت پیچشی، G مدول الاستیسیتهٔ برشی G=E/2.6 با فرض (ν = 0.3)، x_o و y_o مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح در راستای محورهای اصلی x و y، r_x و r_y شعاع ژیراسیون حول محورهای اصلی x و y و همچنین $\bar{r}_0$ شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

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

A_g سطح مقطع کلی عضو

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

H ضریبی است که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

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

مقادیر F_{ex}، F_{ey} و F_{ez} از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right)\frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$$

I_x و I_y ممان اینرسی حول محورهای اصلی

L_x، L_y و L_z طول مهارنشدهٔ عضو به ترتیب حول محورهای کمانش x، y و z

K_x و K_y ضریب طول مؤثر برای کمانش خمشی حول محورهای اصلی x و y

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 فاصلهٔ 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 b ،t_f ،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 محاسبهٔ F_{ez} می‌توان از جملات حاوی C_w صرفنظر کرد و x_0 را مساوی صفر در نظر گرفت.

همچنین مقدار J برای مقاطع باز از رابطه زیر تعیین شود:

For open cross sections, the general formula is given by Galambos (1968):

$$J = \sum\left(\frac{b't^3}{3}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

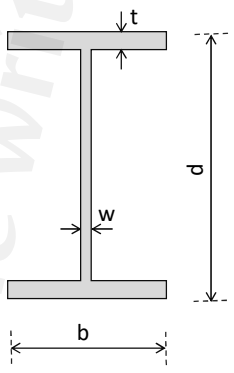
چند فرمول برای مشخصات پیچشی و محل مرکز برش مقاطع:

$$J = \frac{2bt^3 + d'w^3}{3}$$

$$C_w = \frac{(d')^2 b^3 t}{24}$$

$$d' = d - t$$

۱- مقطع H:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲- مقطع ناودانی

$$J = \frac{2b't^3 + d'w^3}{3}$$

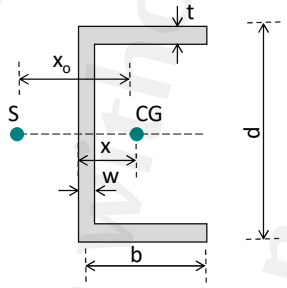
$$C_w = (d')^2(b')^3 t\left[\frac{1-3\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{2}\left(1 + \frac{d'w}{6b't}\right)\right]$$

$$\alpha = \frac{1}{2 + \frac{d'w}{3b't}}$$

$$d' = d - t$$

$$b' = b - \frac{w}{2}$$

$$x_o = x + b'\alpha - \frac{w}{2}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

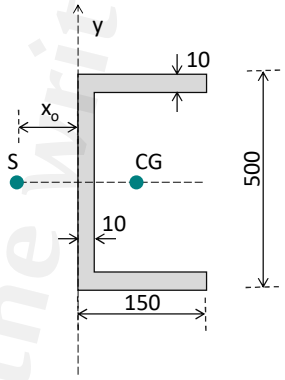
مثال) فاصله مرکز برش مقطع زیر را نسبت به محور **y** تعیین نمایید. ابعاد بر حسب میلیمتر هستند.

$$b' = b - \frac{w}{2} = 150 - \frac{10}{2} = 145$$

$$d' = d - t = 500 - 10 = 490$$

$$\alpha = \frac{1}{2 + \frac{d'w}{3b't}} = \frac{1}{2 + \frac{490 \times 10}{3 \times 145 \times 10}} = 0.319$$

$$x_o = x + b'\alpha - \frac{w}{2} = 0 + 145 \times 0.319 - \frac{10}{2} = 46.37$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

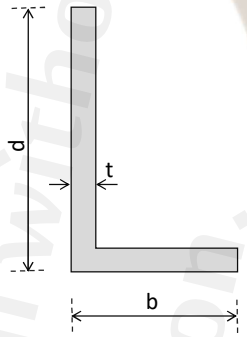
۳- نبشی تک:

$$J = \frac{(d' + b')t^3}{3}$$

$$C_w = \frac{t^3}{36}[(d')^3(b')^3]$$

$$d' = d - \frac{t}{2}$$

$$b' = b - \frac{t}{2}$$



The warping constant of angles is small and often neglected. For double angles, the values of J and C_w can be taken equal to twice the value for single angles.

The shear centre (x_O, y_O) is located at the intersection of the angle leg axes.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

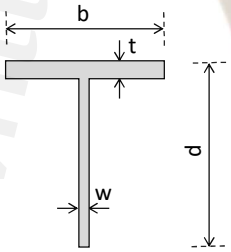
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۴- مقطع سپری

$$J = \frac{bt^3 + d'w^3}{3}$$

$$C_w = \frac{b^3t^3}{144} + \frac{(d')^3w^3}{36}$$

$$d' = d - \frac{t}{2}$$



The warping constant of T-sections is small and often neglected

The shear centre is located at the intersection of the flange and stem plate axes.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

۵- مقطع بال پهن نامتقارن

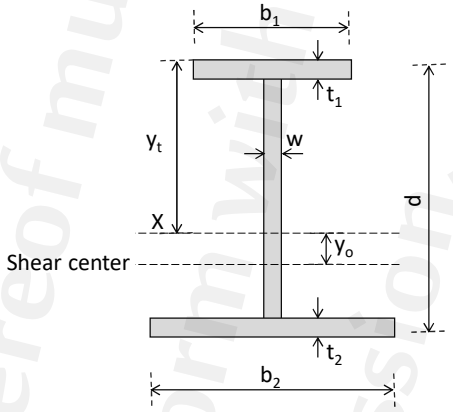
$$J = \frac{b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + d' w^3}{3}$$

$$C_w = \frac{(d')^2 b_1^3 t_1 \alpha}{12}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 \left(\frac{t_1}{t_2}\right)}$$

$$d' = d - \frac{(t_1 + t_2)}{2}$$

$$y_o = y_t - \frac{t_1}{2} - \alpha d'$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

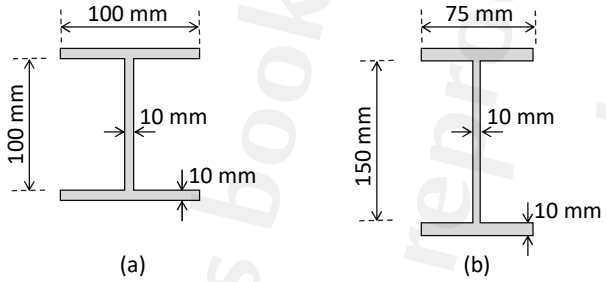
مثال) برای یک ستون دو سر ساده به طول L و بدون تکیه‌گاه جانبی در طول، که فقط تحت اثر بار محوری فشاری قرار دارد، مقاطع (a) و (b) پیشنهاد شده است. در خصوص این ستون کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟ (آذر ۹۲)

الف) با اطلاعات مسئله نمی‌توان میزان ظرفیت محوری فشاری ستون‌های با مقاطع (a) و (b) را با هم مقایسه نمود.

ب) ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (a) کمتر از ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (b) است.

ج) ظرفیت محوری فشاری هر دو مقطع یکسان است.

د) ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (a) بیش از ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (b) است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق جدول ۱۰-۲-۴-۱ مبحث دهم، مقاطع I شکل با دو محور تقارن برای کمانش خمشی و کمانش پیچشی طراحی می‌شوند و هر کدام از این حالت‌ها بحرانی باشد ملاک طراحی ستون قرار می‌گیرند. از نظر کمانش خمشی:

$$A_{g(b)} = 75 \times 10 \times 2 + 150 \times 10 = 3000\ mm^2$$
$$A_{g(a)} = 100 \times 10 \times 3 = 3000\ mm^2$$

با توجه به برابر بودن مساحت‌ها، ظرفیت فشاری مقطع به لاغری عضو بستگی دارد:

$$I_{\min(a)} = \frac{2 \times (1 \times 10^3)}{12} + \frac{10 \times 1^3}{12} = 167.5\ cm^4$$
$$I_{\min(b)} = \frac{2 \times (1 \times 7.5^3)}{12} + \frac{15 \times 1^3}{12} = 71.56\ cm^4$$

ممان اینرسی مقطع a از مقطع b بزرگتر است. لذا شعاع ژیراسیون مقطع a نیز بزرگتر است. طبق فرمول ضریب لاغری، مقدار KL/r برای ستون b مقدار بزرگتری بدست خواهد آمد. در واقع ستون b لاغرتر از ستون a بوده و ظرفیت فشاری آن کمتر خواهد بود. حال از منظر مقاومت پیچشی بررسی خواهد شد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

براساس معیار پیچش:

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$$

$$C_{w(a)} = \frac{167.5 \times 11^2}{4} = 5066.88\ cm^6 \quad , \quad C_{w(b)} = \frac{71.56 \times 16^2}{4} = 4579.84\ cm^6$$

$$J = \sum \left(\frac{b' t^3}{3} \right)$$

$$J_{(a)} = 2\frac{10 \times 1^3}{3} + \frac{10 \times 1^3}{3} = 10\ cm^4$$
$$J_{(b)} = 2\frac{7.5 \times 1^3}{3} + \frac{15 \times 1^3}{3} = 7.5\ cm^4$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین داریم:

$$I_{x(a)} = \frac{1 \times 10^3}{12} + 2\frac{10 \times 1^3}{12} + 2(10 \times 1 \times 5.5^2) = 690\ cm^4$$

$$I_{x(b)} = \frac{1 \times 15^3}{12} + 2\frac{7.5 \times 1^3}{12} + 2(7.5 \times 1 \times 8^2) = 1242.5\ cm^4$$

$$F_{e(a)} = \left(\frac{\pi^2 E \times 5066.88}{(K_z L_z)^2} + 10G\right)\frac{1}{690 + 167.5}$$

$$F_{e(b)} = \left(\frac{\pi^2 E \times 4579.84}{(K_z L_z)^2} + 7.5G\right)\frac{1}{1242.5 + 71.56}$$

با مقایسه $F_{e(a)}$ و $F_{e(b)}$ دیده می‌شود که $\frac{1}{I_x+I_y}$ مقطع a بیشتر است. همچنین مقدار $\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ$ مقطع a بیشتر است. بنابراین مقطع b ضعیف‌تر از مقطع a است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روش دوم حل مثال اخیر:

مقاومت ستون به لاغری آن $\frac{KL}{r}$ بستگی دارد. در این مثال L وK برای هر دو ستون ثابت است. بنابراین تنها معیار r است.

$$I_{\min(a)} = \frac{2 \times (1 \times 10^3)}{12} + \frac{10 \times 1^3}{12} = 167.5\ cm^4$$

$$I_{\min(b)} = \frac{2 \times (1 \times 7.5^3)}{12} + \frac{15 \times 1^3}{12} = 71.56\ cm^4$$

$$I_{\min(a)} > I_{\min(b)} \quad \Rightarrow r_a > r_b \quad \Rightarrow \left(\frac{KL}{r}\right)_a < \left(\frac{KL}{r}\right)_b$$

بنابراین ستون b چون لاغرتر است، بنابراین ضعیفتر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک عضو محوری فشاری با مقطع دارای دو محور تقارن، تنش فشاری ناشی از کمانش پیچشی برابر $F_{cr}=0.6F_y$ محاسبه شده است. مقدار تنش کمانشی پیچشی الاستیک (F_e) این عضو به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

الف) $F_e=0.44F_y$ ب) $F_e=0.73F_y$ ج) $F_e=0.64F_y$ د) $F_e=0.82F_y$

پاسخ: با فرض $\frac{F_y}{F_e}>2.25$، داریم:

$$F_{cr}=0.877F_e=0.6F_y \Rightarrow F_e=\frac{0.6F_y}{0.877}=0.684F_y \Rightarrow \frac{F_y}{F_e}=\frac{1}{0.684}=1.46<2.25$$

بنابراین فرض اولیه اشتباه است و با دانستن اینکه $\frac{F_y}{F_e}\le 2.25$، داریم:

$$0.6F_y=\left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y \Rightarrow \frac{F_y}{F_e}=1.22<2.25 \Rightarrow F_e=\frac{F_y}{1.22}=0.82F_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت فشاری اسمی یک ستون فولادی به طول 3.2 متر از ناودانی UNP300 براساس حالت حدی کمانش خمشی- پیچشی برحسب KN به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ضریب طول مؤثر این ستون برای کمانش حول محور تقارن مقطع آن برابر 1.8 و عمود بر محور تقارن مقطع برابر 1.0 و حول محور طولی عضو برابر 1.0 می‌باشد) (بهمن ۹۷)

الف) ۱۰۷۵ ب) ۹۶۸ ج) ۷۶۰ د) ۶۸۵

پاسخ: در این سوال نوع فولاد یا F_y آن داده نشده است. نمی‌توان آن را حل کرد. با فرض $F_y=240\ MPa$ و با توجه به اینکه مقطع نورد شده می‌باشد، می‌توان مشخصات آن را از جدول مقاطع استخراج کرد.

$$C_{w-UNP300}=68970\times10^6\ mm^6 \quad A_g=5880\ mm^2 \quad y_0=54.1\ mm \quad x_0=0$$
$$r_x=117\ mm \quad r_y=29\ mm \quad I_x=495\times10^4\ mm^4 \quad I_y=8030\times10^4\ mm^4$$
$$J=38.7\times10^4\ mm^4$$

$$\tilde{r}_0^2=x_0^2+y_0^2+\frac{I_x+I_y}{A_g}=54.1^2+0+\frac{495\times10^4+8030\times10^4}{5880}=17425\ mm^2$$

$$H=1-\frac{x_0^2+y_0^2}{\tilde{r}_0^2}=1-\frac{54.1^2+0}{17425^2}=0.83$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین

$$G = \frac{E}{2(1+\vartheta)} = \frac{2\times10^5}{2(1+0.3)} = 76923\ MPa$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x/r_x)^2} = \frac{\pi^2 E}{(1.8\times3200/117)^2} = 814\ MPa$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y/r_y)^2} = \frac{\pi^2 E}{(1\times3200/29)^2} = 162\ MPa$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right)\frac{1}{A_g \bar{r}_0^2}$$

$$= \left(\frac{\pi^2\times2\times10^5\times68970\times10^6}{(1\times3200)^2} + 76923\times38.7\times10^4\right)\frac{1}{5880\times17425} = 420\ MPa$$

$$F_e = \left(\frac{F_{ey}+F_{ez}}{2H}\right)\left[1-\sqrt{1-\frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey}+F_{ez})^2}}\right] = \left(\frac{162+420}{2\times0.83}\right)\left[1-\sqrt{1-\frac{4\times162\times420\times0.83}{(162+420)^2}}\right]$$

$$= 148\ MPa$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{148} = 1.62 < 2.25 \quad \Rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y = \left(0.658^{\frac{240}{148}}\right)240 = 121\ MPa$$

$$P_n = F_{cr}A_g = 121\times5880\times10^{-3} = 715\ kN$$

به هیچ یک از جواب‌ها نزدیک نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک ستون فولادی با مقطع قوطی شکل (HSS) و دارای اجزاء غیرلاغر، به ازای چه مقدار KL/r، مقاومت فشاری اسمی مقطع ناشی از کمانش خمشی حدودا نصف مقاومت فشاری تسلیم خواهد بود؟ (نزدیکترین گزینه به جواب مدنظر است. (F_y=235 MPa , E=2×10^{5}MPa) (شهریور ۱۴۰۱)

الف) 142 ب) 105 ج) 117 د) 136

پاسخ:

$$F_{cr} = 0.5F_y = 0.5 \times 235 = 117.5\ MPa$$

$$\Rightarrow \lambda = 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2\times 10^5}{235}} = 137$$

با فرض کمانش غیر الاستیک:

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right)F_y = 0.5F_y \Rightarrow \frac{F_y}{F_e} = 1.65 < 2.25 \quad ok$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{F_y}{1.65} \quad \Rightarrow \lambda = 117$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای با مقطع نبشی تک

طبق بند ۱۰-۲-۴-۵ مقاومت فشاری اسمی (P_n)، اعضای فشاری با مقطع نبشی تک باید براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی کمانش خمشی مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۴-۳ (چنانچه دارای اجزای لاغر نباشند) یا مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۴-۷ (چنانچه دارای اجزای لاغر باشند) و حالت حدی کمانش خمشی- پیچشی مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۴-۷ 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 برون محور بارگذاری می‌شوند، درصورتیکه شرایط زیر برقرار باشند، در طراحی می‌توان از برون محوری 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.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 بخش ۱۰-۲-۷ 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 خرپاهای صفحه‌ای که با اعضای مجاور خود به یک سمت ورق اتصال یا یال خرپا متصل شده‌اند، لاغری اصلاح شده با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید:

برای $\frac{L}{r_a} \le 80$:

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0.75\frac{L}{r_a}$$

برای $\frac{L}{r_a} > 80$:

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1.25\frac{L}{r_a} \le 200$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای نبشی با ساق نامساوی با نسبت ساق بزرگ به ساق کوچک، کمتر از 1.7 که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، باید به $\frac{KL}{r}$ بدست آمده از روابط ۱۰-۲-۴-۱۳ و ۱۰-۲-۴-۱۴ (دو رابطه اخیر) جملهٔ $4\left(\left(\frac{b_l}{b_s}\right)^2 - 1\right)$ 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 خرپای جعبه‌ای 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:

برای $\frac{L}{r_a} \le 75$:

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.8\frac{L}{r_a}$$

برای $\frac{L}{r_a} > 75$:

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_a} \le 200$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای نبشی با ساق نامساوی با نسبت ساق بزرگ به ساق کوچک، کمتر از 1.7 که از طریق ساق کوچکتر متصل شده‌اند، باید به $\frac{KL}{r}$ بدست آمده از روابط ۱۰-۲-۴-۱۵ و ۱۰-۲-۴-۱۶ (دو رابطه اخیر) جملهٔ $6((\frac{b_l}{b_s})^2 - 1)$ 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

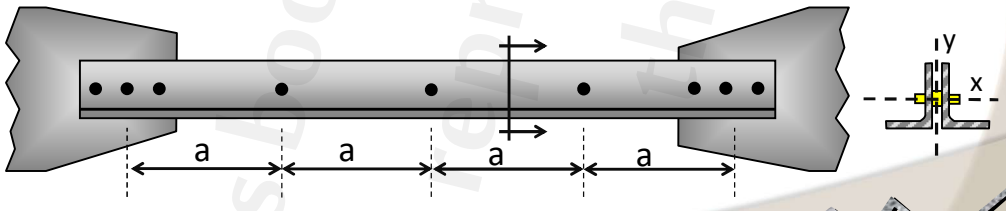
r_z شعاع ژیراسیون حول محور اصلی ضعیف نبشی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای فشاری ساخته شده (مرکب)

طبق بند ۱۰-۲-۴-۶ مقاطع ساخته شده مورد بحث در این بخش مقاطعی هستند که از دو یا چند نیمرخ با قطعات لقمه بین آنها یا از دو یا چند نیمرخ به همراه ورق سراسری یا بست‌های موازی یا مورب و یا از دو نیمرخ که با پیچ یا جوش به هم متصل شده‌اند، ساخته می‌شوند. مقاومت فشاری اسمی و محدودیت‌های ابعادی اینگونه مقاطع مطابق با الزامات بندهای ۱۰-۲-۴-۶-۱ و ۱۰-۲-۴-۶-۲ است. تعیین مقاومت اسمی اعضای ساخته شده از چند نیمرخ به مانند روابط قبل می‌باشد، با این تفاوت که بایستی لاغری این اعضا اصلاح شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت فشاری اسمی

طبق بند ۱۰-۲-۴-۶-۱ مقاومت فشاری اسمی مقاطع ساخته شده باید براساس الزامات بندهای ۱۰-۲-۴-۳ (ظرفیت فشاری براساس معیار تسلیم) و ۱۰-۲-۴-۴ (ظرفیت فشاری براساس معیار پیچش یا کمانش جانبی- پیچشی) یا ۱۰-۲-۴-۷ (اعضای فشاری با اجزای لاغر) و با اصلاحات لاغری ارائه شده در حالت‌های (الف) و (ب) این بند تعیین شود:

الف) در اعضای فشاری ساخته شده که در آنها اتصال قطعات متصل کنندهٔ میانی به اجزای مختلف مقطع به صورت پیچی و با عملکرد اتکائی است، نسبت لاغری نسبت به محور عمود بر صفحهٔ بست (محور بدون مصالح مقطع ساخته شده) باید از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

که در رابطه فوق، $(KL/r)_0$ ضریب لاغری مقطع ساخته شده نسبت به محور بدون مصالح است. $(KL/r)_m$ نسبت لاغری اصلاح شدهٔ عضو فشاری نسبت به محور بدون مصالح مقطع ساخته شده، a فاصلهٔ بین متصل کننده‌ها و r_i شعاع ژیراسیون حداقل هر یک از نیمرخ‌ها است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) در اعضای فشاری ساخته شده که در آنها اتصال قطعات میانی متصل کنندهٔ نیمرخ‌های مختلف مقطع به صورت جوشی یا پیچی پیش‌تنیده یا لغزش بحرانی است، نسبت لاغری نسبت به محور عمود بر صفحهٔ بست (محور بدون مصالح مقطع ساخته‌شده) باید از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$\frac{a}{r_i} \le 40 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_0$$

$$\frac{a}{r_i} > 40 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2}$$

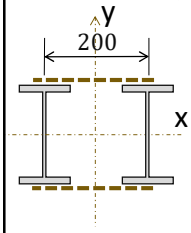
که در آن K_i برای مقطع نبشی پشت به پشت برابر 0.5، برای مقطع ناودانی پشت به پشت برابر 0.75 و برای سایر مقاطع برابر 0.86 می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستونی از 2IPE300 که به فاصله 200 mm از یکدیگر قرار دارند، با بست‌های موازی (که با جوش به ستون متصل شده‌اند) با فاصله‌های محور به محور 1.4 m از هم ساخته شده است. طول ستون 5.5 متر بوده و در دو جهت مهار شده است. برای تعیین مقاومت فشاری اسمی ستون ناشی از حالت حدی کمانش خمشی، مقدار نسبت لاغری طراحی ستون به کدام گزینه نزدیکتر می‌باشد؟ (فرض کنید کلیه ضوابط طراحی بست‌ها رعایت می‌شوند.) (بهمن ۹۷)

الف) ۳۶ ب) ۴۴ ج) ۵۲ د) ۶۳



پاسخ: ابتدا لاغری ستون حول دو محور محاسبه می‌شود و سپس به جهت بست دار بودن، لاغری حول محور y آن اصلاح می‌شود. مشخصات مقطع تک :

$$A_g = 5380\ mm^2 \quad r_x = 125\ mm \quad r_y = 33.5\ mm$$
$$I_x = 8360 \times 10^4\ mm^4 \quad I_y = 604 \times 10^4\ mm^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

شعاع ژیراسیون مقطع دوبل حول محور x با مقطع تک یکسان است ولی شعاع ژیراسیون حول محور y باید محاسبه شود:

$$(r_y)_o = \sqrt{\frac{2(I_y + Ad^2)}{2A}} = \sqrt{\frac{2(604 \times 10^4 + 5380 \times 100^2)}{2 \times 5380}} = 105.5\ mm$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1 \times 5500}{125} = 44 \qquad \left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{1 \times 5500}{105.5} = 52.13$$

$$\frac{a}{r_i} = \frac{1400}{33.5} = 41.8 > 40 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2}$$
$$= \sqrt{(52.13)^2 + (0.86 \times 41.8)^2} = 63.3$$

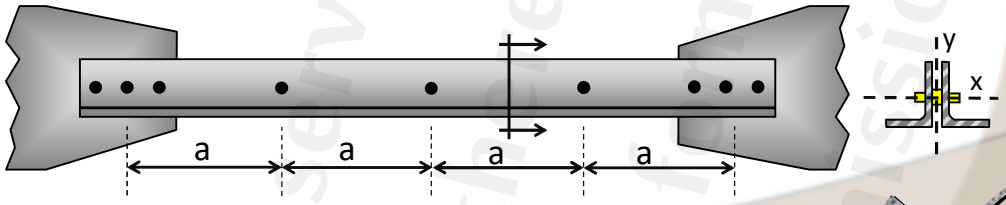
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در صورتی که مطابق شکل زیر از دو نبشی 2L100×100×10 به عنوان یک عضو فشاری با طول موثر ۴۰۰ سانتیمتری استفاده شده باشد و این دو نبشی با فاصله یک سانتیمتری بصورت پشت به پشت نسبت به هم قرار گرفته باشند، ظرفیت اسمی فشاری مقطع را تعیین نمایید. مقطع دو نبشی توسط لقمه‌هایی که کل طول عضو را به چهار قسمت تقسیم کرده‌اند، بصورت جوشی به هم متصل شده‌اند.

مشخصات هندسی مورد نیاز (مقطع دوبل) بصورت زیر می‌باشد (از ذکر جزئیات محاسبه صرف نظر شده).

$A = 38.3\ \text{cm}^2$ ، $r_x = 3.03\ \text{cm}$ ، $r_y = 4.5\ \text{cm}$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محاسبه مقاومت کمانش خمشی حول محور x:

$$\frac{K_x L}{r_x} = \frac{400\ \text{cm}}{3.03\ \text{cm}} = 132 \quad \Rightarrow \quad F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(132)^2} = 1132\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 136 > 132 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{2400}{1132}}\right)2400 \approx 988\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \Rightarrow \quad P_n = F_{cr} A_g = 988 \times 38.3 \times 10^{-3} = 37.8\ \text{ton}$$

محاسبه مقاومت کمانش خمشی- پیچشی حول محور y با استفاده از نسبت لاغری اصلاح شده بر اساس فاصله لقمه‌ها:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_0 = \left(\frac{KL}{r_y}\right) = \frac{400\ \text{cm}}{4.5\ \text{cm}} = 88$$

$$\frac{Ka}{r_i} = \frac{Ka}{r_z} = \frac{100\ \text{cm}}{1.95\ \text{cm}} = 51.3 < 0.75 \times 88 = 66$$

$$\frac{K_i a}{r_i} = \frac{0.5 \times 100\ \text{cm}}{1.95\ \text{cm}} = 25.6$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$\frac{a}{r_i}=\frac{100}{1.95}=51>40 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{KL}{r}\right)_m=\sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2+\left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2}=\sqrt{(88)^2+(25.6)^2}=91.6$$

بنابراین بایستی از مقدار فوق به جای KL/r_y در تعیین F_{cry} استفاده نمود:

$$F_{ey}=\frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}=\frac{\pi^2\times 2\times 10^6}{(91.6)^2}=2352\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{KL}{r}<4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}=4.71\sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}}=136$$

$$\Rightarrow F_{cry}=\left(0.658^{\frac{2400}{2352}}\right)2400\approx 1566\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

براساس معیار کمانش پیچشی، مقدار $x_0=0$ بوده و مقدار y_0 برابر است با:

$$y_0=2.82-0.5=2.32\ \text{cm}$$

$$\bar{r}_0^2=0+2.32^2+\frac{353.4+776}{38.3}=34.8$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$F_{ez}=\frac{GJ}{A_g\bar{r}_0^2}=\frac{(2\times 10^6/2.6)\times 12.7}{38.3\times 34.8}=7316\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{H}=1-\frac{x_0^2+y_0^2}{\bar{r}_0^2}=1-\frac{0+2.32^2}{34.8}=0.84$$

$$F_e=\frac{2352+7316}{2\times 0.84}\left(1-\sqrt{1-\frac{4\times 2352\times 7316\times 0.84}{(2352+7316)^2}}\right)=2200\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{F_y}{F_e}=\frac{2400}{2200}=1.091<2.25\Rightarrow F_{cr}=\left(0.658^{\frac{2400}{2200}}\right)2400\approx 1520\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_n=F_{cr}A_g=1520\ \frac{kg}{cm^2}\times 38.3\ cm^2\times 10^{-3}=58.2\ ton$$

بنابراین معیار کمانش خمشی حاکم می‌باشد.

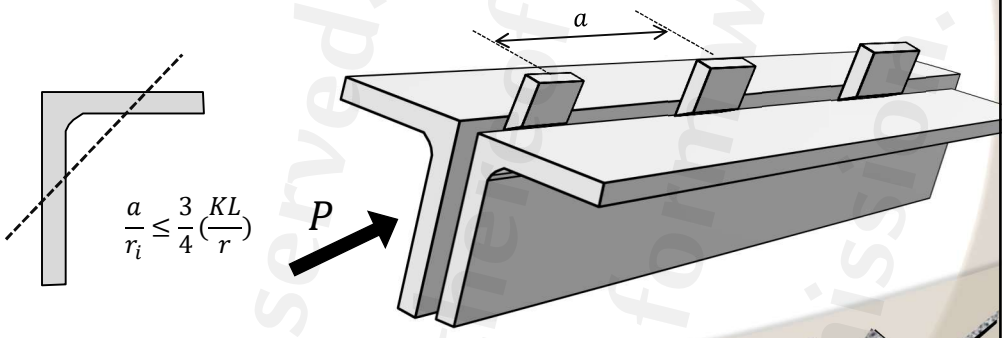
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محدودیت‌های ابعادی

طبق بند ۱۰-۲-۶-۲ محدودیت‌های ابعادی نیمرخ‌های اعضای فشاری ساخته شده به شرح زیر هستند:

الف) هر یک از نیمرخ‌های اعضای فشاری ساخته شده (مرکب) باید در فاصلهٔ **a** به یکدیگر متصل باشند، به نحوی که ضریب لاغری مؤثر هر یک از نیمرخ‌ها (a/r_i) در این فاصله از **3/4** نسبت لاغری تعیین کنندهٔ کل عضو ساخته شده بیشتر نشود. در این محاسبه، r_i شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

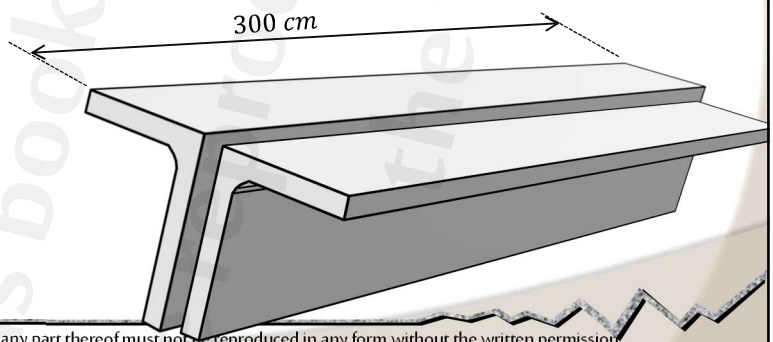
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در دوبل نبشی **100x100x10** با فاصله **10** میلیمتر از یکدیگر به طول ۳ متر، به عنوان یک عضو فشاری، در صورتی که دو لقمه میانی برای آن استفاده شود، آیا کافی است؟ دو انتهای عضو مفصلی در نظر گرفته شود.

پاسخ: برای این مقطع دوبل داریم:

برای مقطع تک: $r_x = r_y = 30.4\ mm \quad r_z = 19.5\ mm$

برای مقطع دوبل: $r_x = 30.4 \qquad r_y = 45\ mm$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با توجه به دو لقمه، فاصله بین لقمه‌ها برابر است با:

$$a = distance\ between\ connectors = \frac{3000}{3} = 1000\ mm$$

طبق مبحث دهم، ضریب لاغری مؤثر هر یک از نیمرخ‌ها (a/r_i) در این فاصله از **3/4** نسبت لاغری تعیین کنندهٔ کل عضو ساخته شده بیشتر نشود. بنابراین:

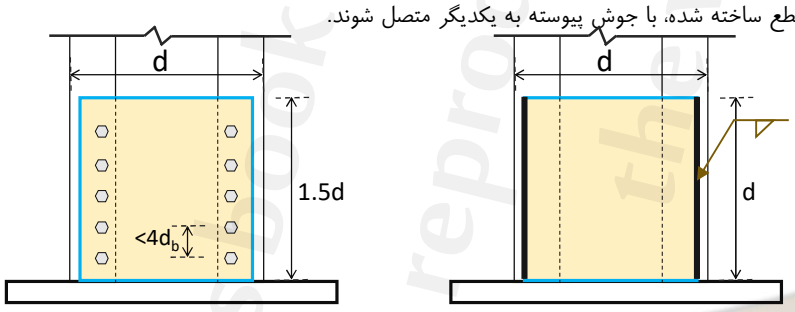
$$\frac{a}{r_i} \le \frac{3}{4}\left(\frac{KL}{r}\right)_{max} \Rightarrow a = 1000 < \frac{3}{4} r_i \left(\frac{KL}{r}\right)_{max} = \frac{3}{4} \times 19.5 \left(\frac{1 \times 3000}{30.4}\right) = 1443\ \ Ok$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) اتصالات متصل کننده‌های میانی می‌توانند از نوع جوشی یا پیچی با عملکرد اتکائی، پیش‌تنیده یا لغزش بحرانی باشند، لیکن اتصالات متصل کننده‌های انتهایی باید از نوع جوشی یا پیچی پیش‌تنیده یا لغزش بحرانی با وضعیت سطحی کلاس A یا B باشند.

پ) در انتهای اعضای فشاری ساخته شده، در محل فشار مستقیم بر کف‌ستون‌ها یا در محل سطوح صاف و تنظیم شده در درز وصله‌ها و نیز ناحیهٔ اتصالات تیر به ستون‌های ساخته شده، تمامی نیمرخ‌های اعضای ساخته‌شده باید در فاصلهٔ 1.5 برابر بعد حداکثر مقطع ساخته شده با پیچ‌هایی که فاصلهٔ محور به محور آنها از یکدیگر حداکثر ۴ برابر قطرشان باشد، به یکدیگر متصل شوند. اگر وسیلهٔ اتصال جوش باشد، تمامی نیمرخ‌های متصل به یکدیگر باید در طولی بزرگتر یا مساوی بعد حداکثر مقطع ساخته شده، با جوش پیوسته به یکدیگر متصل شوند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

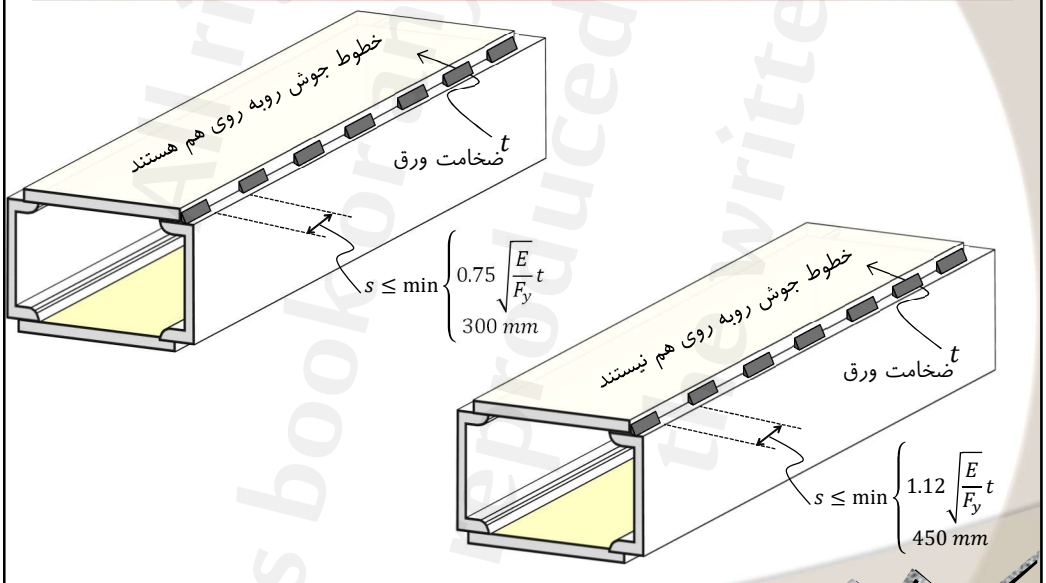
ت) چنانچه عضو فشاری ساخته شده، از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری تشکیل شده باشد، در ناحیهٔ میانی فواصل طولی محور به محور بین پیچ‌ها یا فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید به نحوی انتخاب شود که مقاومت لازم تأمین گردد. حداقل و حداکثر فاصلهٔ مرکز سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات متصل شونده و نیز حداقل و حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز سوراخ‌ها باید الزامات بخش ۱۰-۲-۹ را تأمین نماید. همچنین حداکثر فاصلهٔ خالص بین جوش‌های منقطع و فاصلهٔ مرکز تا مرکز سوراخ‌ها نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

۱) $0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۳۰۰ میلیمتر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور در حالت پس‌وپیش نباشند (روبروی هم باشند).

۲) $1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۴۵۰ میلیمتر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور به حالت پس‌وپیش قرار گیرند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

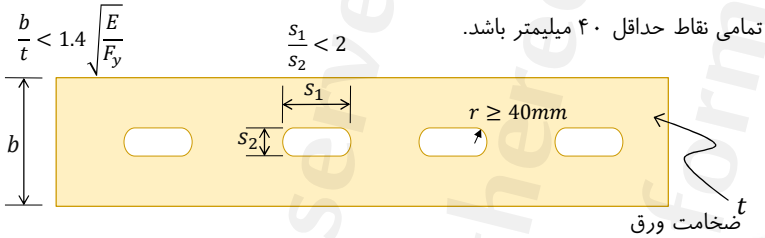
ث) چنانچه عضو فشاری از نیمرخ‌ها و ورق‌های سوراخ‌دار تشکیل شده باشند، درصورتیکه ضوابط زیر رعایت شده باشند، بخشی از پهنای این ورق‌ها (پهنای کلی ورق سوراخدار منهای عرض سوراخ) به همراه سطح مقطع نیمرخ‌ها می‌تواند به عنوان سطح مقطع خالص جهت کمک به تأمین مقاومت موجود در نظر گرفته شود:

۱) نسبت پهنای کلی ورق سوراخ‌دار به ضخامت آن از کمتر $1.4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد

۲) نسبت طول سوراخ (در راستای تنش) به عرض سوراخ از ۲ بیشتر نباشد.

۳) فاصلهٔ خالص بین سوراخ‌ها در راستای تنش از فاصلهٔ عرضی متصل کننده‌ها کمتر نباشد.

۴) شعاع پیرامون سوراخ‌ها در تمامی نقاط حداقل ۴۰ میلیمتر باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ج) چنانچه عضو فشاری از نیمرخ‌ها و بست‌های مورب تشکیل شده باشد، ضوابط زیر باید رعایت شوند:

۱) بست‌های مورب در انتهای عضو فشاری باید به ورق بست انتهایی ختم شوند. در قسمت‌های میانی عضو درصورتیکه نظم بست‌های مورب به هم خورده باشد، باید ورق‌های اتصال به تیر تعبیه گردد. طول ورق‌های بست انتهایی (در امتداد طولی عضو) باید حداقل برابر فاصلهٔ مراکز هندسی نیمرخ‌های تشکیل دهندهٔ عضو فشاری باشد و طول ورق‌های اتصال به تیر باید فضای کافی برای برقراری اتصال را داشته باشد. ضخامت ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال به تیر باید طوری انتخاب شوند که مقاومت کافی در برابر نیروهای منتقل شده از طرف عضو فشاری به کف ستون و از طرف تیر و مهاربندی به ستون را دارا باشند. در هرحال ضخامت ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال به تیر نباید از b/50 کمتر باشد؛ که در آن b برابر پهنای ورق انتهایی و ورق اتصال در اتصالات جوشی و برابر فاصلهٔ عرضی وسایل اتصال در اتصالات پیچی است. پهنای ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال باید حداقل برابر فاصلهٔ بین مراکز هندسی نیمرخ‌های تشکیل دهندهٔ عضو فشاری باشد. چنانچه اتصال این ورق‌ها به نیمرخ‌های عضو فشاری از نوع پیچی باشد، فاصلهٔ عرضی (عمود بر محور طولی عضو فشاری) وسایل اتصال باید حداقل برابر فاصلهٔ بین مراکز هندسی نیمرخ‌های تشکیل دهندهٔ عضو فشاری باشد. اگر وسایل اتصال ورق‌های انتهایی و ورقهای اتصال به تیر از نوع پیچی باشد، فاصلهٔ این وسایل از یکدیگر در امتداد طولی عضو فشاری (امتداد تنش) نباید از ۶ برابر قطر آنها بیشتر شود. در هر ورق انتهایی و ورق اتصال به تیر باید حداقل ۳ عدد پیچ تعبیه شود. درهرحال، تعداد و قطر پیچها باید طوری انتخاب شوند که مقاومت کافی در برابر نیروی منتقل شده از طرف عضو فشاری به کف ستون و از طرف تیر و مهاربندی به ستون را دارا باشند. اگر وسیلهٔ اتصال ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال به تیر از نوع جوشی باشد، دورتادور این ورق‌ها باید به عضو فشاری جوش شود. ضخامت جوش اتصال به عضو فشاری باید طوری انتخاب شود که مقاومت کافی در برابر نیروی منتقل شده به عضو فشاری را دارا باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲) بست‌های مورب را می‌توان از تسمه، نبشی، ناودانی یا مقطع مناسب دیگر انتخاب کرد. همانند نیمرخ‌های کلیهٔ اعضای فشاری ساخته شده، بست‌های مورب را باید طوری قرار داد که نسبت لاغری مؤثر هر یک از نیمرخ‌های عضو فشاری در فاصلهٔ بین اتصال بست‌های مورب به عضو فشاری، الزامات بند (الف) از محدودیت‌های ابعادی اعضای فشاری ساخته شده (مرکب) را تأمین نماید.

۳) مشخصات هندسی بست‌های مورب شامل طول، مقطع و وسایل اتصال دو انتهای آنها به عضو فشاری، باید به گونه‌ای انتخاب شوند که منجر به تأمین مقاومت برشی لازم گردد. مقاومت برشی لازم برابر نیروی برشی عضو فشاری در اثر نیروهای خارجی بعلاوه معادل ۲ درصد مقاومت فشاری موجود عضو در نظر گرفته می‌شود.

۴) طول کمانش برای محاسبهٔ نسبت لاغری بستهای مورب، در بست‌های تکی برابر فاصلهٔ بین مرکز هندسی اتصالات (پیچ یا جوش) دو انتهای آنها به عضو فشاری و در بست‌های مورب ضربدری ۷۰ درصد این فاصله به حساب می‌آید.

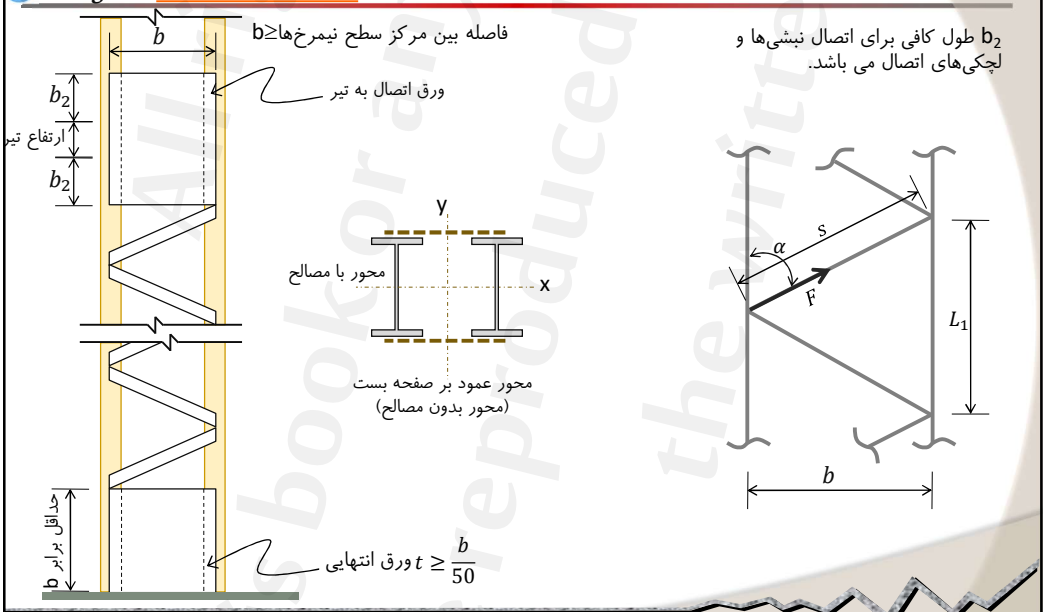
۵) نسبت لاغری بست‌های مورب تک نباید از ۱۴۰ و نسبت لاغری بست‌های مورب ضربدری نباید از ۲۰۰ بیشتر شود.

۶) زاویهٔ محور طولی بست‌های مورب نسبت به محور طولی عضو فشاری مرکب (α) نباید کمتر از ۴۵ درجه برای بست‌های مورب ضربدری و کمتر از ۶۰ درجه برای بست‌های مورب تکی باشد.

۷) اگر فاصلهٔ بین مرکز هندسی اتصالات دو انتهای بست بیش از ۴۰۰ میلیمتر باشد، ارجح است که بست‌ها به صورت ضربدری در نظر گرفته شوند یا از نیمرخ مناسب (مانند نبشی یا ناودانی) طراحی شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چ) چنانچه عضو فشاری ساخته شده، از نیمرخ‌ها و بست‌های موازی تشکیل شده باشد، ضوابط زیر باید رعایت شوند:

۱) همانند اجزای کلیهٔ اعضای فشاری، فاصلهٔ بست‌ها از یکدیگر باید به اندازه‌ای باشد که نسبت لاغری مؤثر هر یک از نیمرخ‌های عضو فشاری ساخته شده در فاصلهٔ بین مرکز تا مرکز دو بست متوالی، الزامات بند (الف) از محدودیت‌های ابعادی اعضای فشاری ساخته شده را تأمین نماید.

۲) استفاده از تسمه، نبشی یا هر مقطع مناسب دیگر به عنوان بست مجاز است، مشروط بر آن که کلیهٔ محدودیت‌های عنوان شده در موردهای (۱) تا (۵) از بند (ج) همین قسمت در آنها رعایت شده باشد.

۳) مشخصات هندسی بست‌های موازی شامل طول، مقطع و وسایل اتصال دو انتهای آنها به عضو فشاری، باید به گونه‌ای انتخاب شود که منجر به تأمین مقاومت برشی لازم گردد.

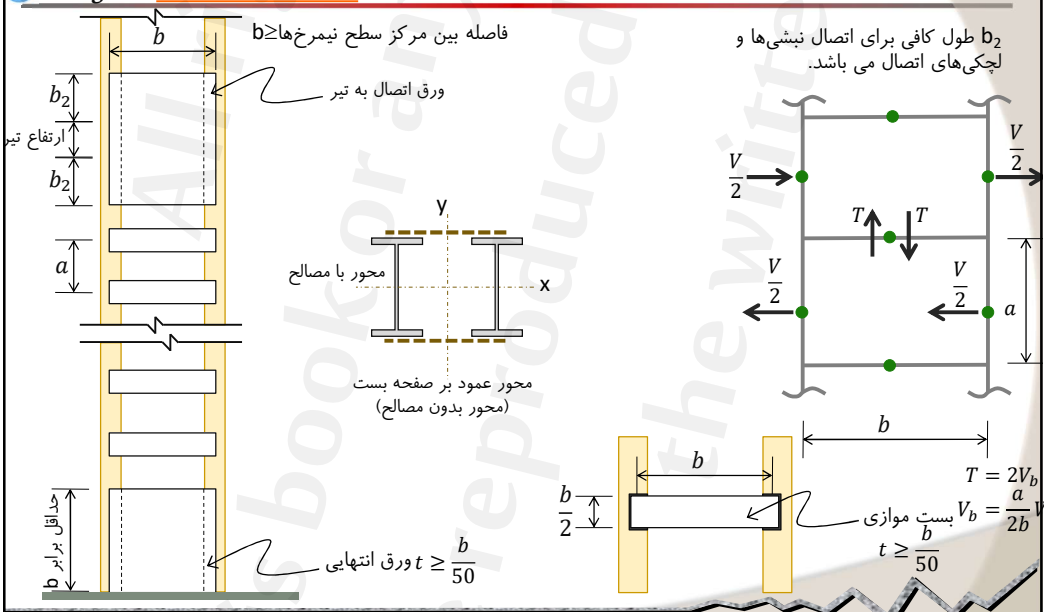
مقاومت برشی لازم باید برابر نیروی برشی عضو فشاری در اثر نیروهای خارجی بعلاوه ۲ درصد مقاومت فشاری موجود عضو در نظر گرفته شود

۴) بست‌های موازی در انتهای عضو فشاری مورب و نیز در محل اتصال تیر به ستون باید محدودیت‌های عنوان شده در مورد (۱) از بند (ج) در خصوص ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال را تأمین نماید.

۵) طول بست‌های میانی نباید از b/2 کمتر باشد.

صفحه ۳۴۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

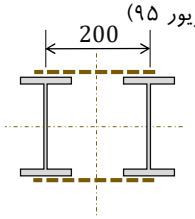
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۳۴۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون فولادی با مقطع دوبل تیرآهن IPE200 به فاصله ۲۰۰ میلیمتر از یکدیگر مفروض است. نیروی محوری نهایی ستون 800kN و نیروی برشی نهایی ستون در امتداد محور با مصالح برابر 320 kN می‌باشد. در صورتی که فاصله مرکز به مرکز ورق بست‌های موازی ۴۰۰ میلیمتر و فاصله مراکز جوش دو طرف ورق بست ۲۰۰ میلیمتر باشد، نیروی برشی نهایی وارد بر هر بست برای طراحی ورق بر حسب kN به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مقاومت فشاری موجود ستون و نیروی محوری نهایی ستون یکسان بوده و برابر 800kN فرض شود) (شهریور ۹۵)



الف) ۱۶

ب) ۳۲

۳) ۴۸

۴) ۹۶

$$V = 0.02P + 320 = 336\ kN$$

$$V_b = \frac{400 \times 336}{2 \times 200} = 336$$

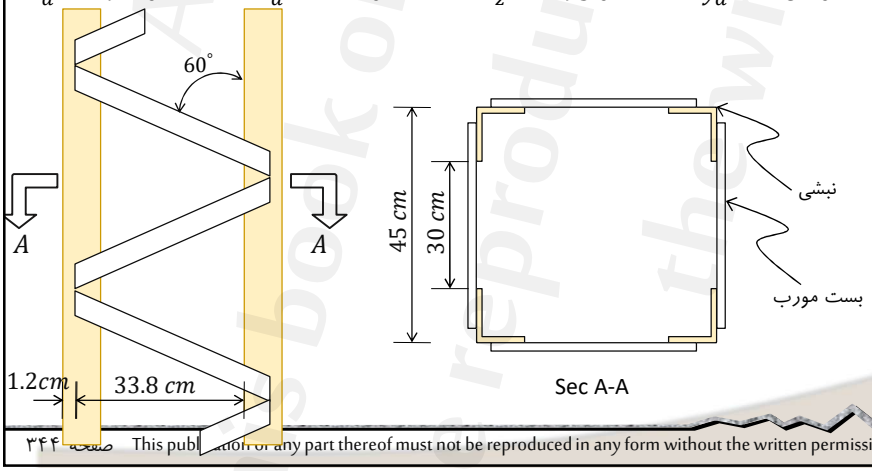
پاسخ: هیچکدام

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون به طول ۹ متر توسط چهار نبشی L100×100×10 و بست‌های مورب ساخته شده است. تنش تسلیم فولاد ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و دو سر ستون بصورت مفصلی در نظر گرفته شود. بست‌های مورب از ورق‌هایی به عرض ۵ و ضخامت ۱ سانتیمتر ساخته شده است. فاصله پشت به پشت نبشی‌ها برابر ۴۵ سانتیمتر در نظر گرفته شود. مشخصات هندسی یک نبشی L100×100×10 بصورت زیر است:

$A_a = 19.2\ \text{cm}^2$ ، $I_a = 177\ \text{cm}^4$ ، $r_z = 1.95\ \text{cm}$ ، $\bar{y}_a = 2.82\ \text{cm}$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای مقطع ستون ساخته شده داریم:

$$\sum A = 4A_a = 4 \times 19.2 = 76.8\ cm^2$$

$$\sum I = 4I_a + \sum A\left(\frac{d}{2} - \bar{y}_a\right)^2 = 4 \times 177 + 76.8\,(22.5 - 2.82)^2 = 30452\ cm^4$$

$$r = \left(\frac{\sum I}{\sum A}\right)^{0.5} = \left(\frac{30452}{76.8}\right)^{0.5} = 19.9\ cm$$

نسبت لاغری ستون برابر است با:

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1.0 \times 900)}{19.9} = 45 < 200$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(45)^2} = 9747\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 136 > 45$$

$$\rightarrow\ F_{cr} = \left(0.658^{\left(\frac{2400}{9747}\right)}\right)2400 \approx 2165\ \frac{kg}{cm^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$\rightarrow\ P_n = F_{cr}A_g = 2165 \times 76.8 \times 10^{-3} = 166\ ton$$

$$\rightarrow\ \phi_c P_n = 0.9 \times 166 \approx 150\ ton$$

فاصله آزاد نبشی‌ها مابین دو بست مورب در جهت قائم:

$$L_a = 2 \times 33.8 \tan 30^\circ = 39\ cm \quad \rightarrow \quad \frac{L_a}{r_z} = \frac{39}{1.95} = 20 < 0.75 \times 45 = 33.7$$

طول و شعاع ژیراسیون بست مورب بین نبشی‌ها:

$$L_b = \frac{30}{\cos 30^\circ} = 34.6\ cm \quad \rightarrow \quad r_b = \frac{t_b}{\sqrt{12}} = \frac{1}{3.46} = 0.289$$

$$\frac{L_b}{r_b} = \frac{34.6}{0.289} = 119 < 140$$

بنابراین مورد قبول است. حال برای ظرفیت فشاری بست داریم:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(119)^2} = 1394\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 136 > 119$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$\rightarrow (F_{cr})_{bar} = \left(0.658^{\left(\frac{2400}{1394}\right)}\right)2400 \approx 1167 \ \frac{kg}{cm^2}$

$\rightarrow (P_n)_{bar} = (F_{cr})_{bar} A_g = 1167 \times 1 \times 5 \times 10^{-3} = 5.835 \ ton$

$\rightarrow (\phi_c P_n)_{bar} = 0.9 \times 5.835 = 5.2 \ ton$

مقاومت برشی مورد نیاز بست مورب در هر سمت ستون:

$$V_u = 0.02 \times \frac{\phi_c P_n}{2} = 0.02 \times \frac{150}{2} = 1.5 \ ton$$

نیروی محوری در یک بست:

$$P_u = \frac{V_u}{cos\,30^\circ} = \frac{1.5 \ ton}{cos\,30^\circ} = 1.73 \ ton < (\phi_c P_n)_{bar} = 5.2 \ ton \ Ok$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

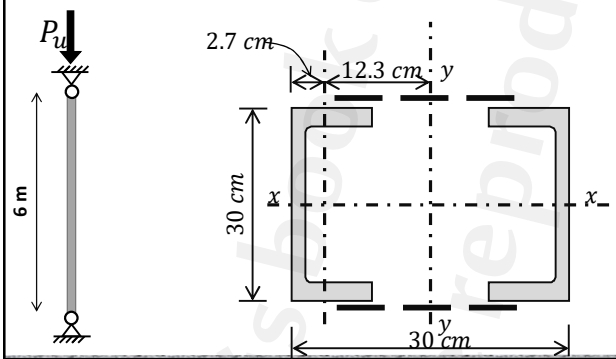
مثال) ظرفیت فشاری ستونی ساخته شده از دو ناودانی ۳۰۰ را مطابق شکل زیر تعیین نمایید. مقدار Fy=2400 kg/cm^2 در نظر گرفته شود.

پاسخ:

برای ناودانی تک UNP300 داریم:

$UNP300 \rightarrow A_g = 58.8 \ cm^2 \quad I_x = 8030 \ cm^4 \quad I_y = 495 \ cm^4 \quad \bar{x} = 2.7 \ cm$

$t_f = 1.6 \ cm \quad t_w = 1.0 \ cm \quad k = 3.4 \ cm \quad r_y = 2.9 \ cm \quad b_f = 10 \ cm$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای حالت دوبل داریم:

$$I_x = 2 \times 8030 = 16060\ cm^4$$
$$I_y = 2 \times 495 + 2 \times 58.8 \times 12.3^2 = 18781\ cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{16060}{2 \times 58.8}} = 11.68\ cm \quad \leftarrow$$

$$r_y = \sqrt{\frac{18781}{2 \times 58.8}} = 12.63\ cm$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{max} = \frac{1.0 \times 600}{11.68} = 51.37 \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 136$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\left(\frac{KL}{r}\right)_{max}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(51.37)^2} \approx 7480\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{7480}}\right] 2400 = 2098\ \frac{kg}{cm^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$P_n = F_{cr} A_g = 2098 \times 2 \times 58.8 \times 10^{-3} = 246.7\ ton$$
$$\phi_c P_n = 0.9 \times 246.7 = 222\ ton$$

کنترل نسبت پهنا به ضخامت برای مقطع:

برای بال، مطابق حالت ۱ از جدول ۱-۲-۲-۱۰ داریم:

$$\frac{b}{t} = \frac{10}{1.6} = 6.25 < 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 16.1 \quad Ok$$

برای جان، مطابق حالت ۵ از جدول ۱-۲-۲-۱۰ داریم:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{30 - 2 \times 3.4}{1.0} = 23.2 < 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 43 \quad Ok$$

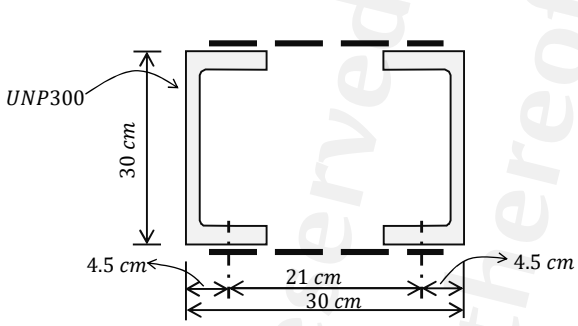
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

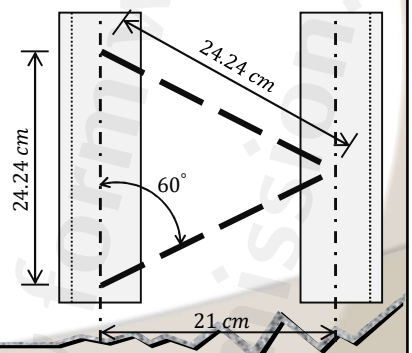
All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستون با بست مورب مطابق شکل زیر را با استفاده از پیچ به قطر ۲۰ میلیمتر، طراحی نمایید.

پاسخ: طبق مبحث دهم، اگر فاصله بین مرکز هندسی اتصالات دو انتهای بست بیش از ۴۰ سانتیمتر باشد، ارجح است که بست‌ها بصورت ضربدری در نظر گرفته شوند. در مثال حاضر، این فاصله برابر 21 cm<40 cm بوده و استفاده از بست تکی امکان‌پذیر است. با توجه به مثال قبل، لاغری کل مقطع KL/r=51.37 بدست آمد. طول ناودانی‌های بین بست‌ها برابر 24.24 cm و لاغری تک ناودانی مابین دو بست Ka/r_i=24.24/2.9=8.35<0.75×51.37=38.5 است.
نیروی ایجاد شده در بست با توجه به مثال قبل که $\phi_c P_n = 222\ ton$ بدست آمد، برابر است با:





 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

نیروی ایجاد شده در بست با توجه به مثال قبل که $\phi_c P_n = 222\ ton$ بدست آمد، برابر است با:

$$V_u = 0.02 \times \phi_c P_n = 0.02 \times 222 = 4.44\ ton$$

نیروی برشی در هر تسمه:

$$\frac{1}{2} V_u = 2.22\ ton$$

با توجه به شکل ستون:

$$\left(\frac{24.24}{21}\right) \times 2.22 = 2.56\ ton$$

مشخصات تسمه:

$$I = \frac{1}{12} bt^3 \qquad A = bt \qquad r = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} bt^3}{bt}} = 0.289t$$

طراحی تسمه: با فرض لاغری تسمه برابر با مقدار حداکثر ۱۴۰ داریم:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.0 \times 24.24}{0.289t} = 140 \quad \rightarrow \quad t = 0.6\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با فرض ضخامت ۸ میلیمتر برای تسمه داریم:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.0 \times 24.24}{0.289 \times 0.8} = 104.8$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(104.8)^2} = 1795 \ \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{1795}}\right] 2400 = 1371 \ \frac{kg}{cm^2}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 1371 A_g$$

$$\phi_c P_n = 0.9 \times 1371 A_g = 2.56 \times 10^3 \qquad A_g = 2.07 \ cm^2$$

$$A_g = 2.07 = t \times b = 0.8 \times b \quad \rightarrow \quad b = 2.58$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$P_n = F_{cr} A_{ec}$$

A_{ec}: مجموع سطح مقطع مؤثر اجزای عضو در فشار که با توجه بعد مؤثر کاهش یافته b_e یا d_e و یا h_e جزء با استفاده از روابط ۱۰-۲-۴-۲۱ و ۱۰-۲-۴-۲۲ محاسبه می‌شود یا مستقیماً براساس روابط ۱۰-۲-۴-۲۴ و ۱۰-۲-۴-۲۵ به دست می‌آید.

F_{cr}: تنش بحرانی که براساس حالت‌های کمانش از روابط بخش‌های ۱۰-۲-۴-۳ و ۱۰-۲-۴-۴ به دست می‌آید. در مورد مقاطع نبشی تک فقط باید از ضوابط بخش ۱۰-۲-۴-۳ برای محاسبهٔ این تنش استفاده شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای دارای اجزای لاغر به استثنای مقاطع توخالی دایره‌ای

پهنای مؤثر کاهش یافته (b_e) در اجزای این مقاطع از روابط زیر محاسبه می‌شود. این روابط برای محاسبهٔ ارتفاع مؤثر جان اجزای لاغر (h_e) یا عمق مؤثر تیغهٔ مقاطع سپری (d_e) نیز قابل استفاده هستند.

الف) اگر $\lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ باشد:

$$b_e = b$$

ب) اگر $\lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$ باشد:

$$b_e = b\left(1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right)\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در روابط فوق،

b پهنای جزء (در محاسبهٔ h_e یا d_e از پارامترهای h یا d که به ترتیب ارتفاع جان یا عمق تیغه هستند، استفاده شود)

c_1 ضرایب تأثیر نقص اولیه که از جدول ۱۰-۲-۴-۲ به دست می‌آید.

λ نسبت پهنا به ضخامت جزء

λ_r حداکثر نسبت پهنا به ضخامت جزء که از جدول ۱۰-۲-۲-۱ به دست می‌آید.

F_{el} تنش کمانش الاستیک موضعی که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{el} = \left(c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y$$

c_2 ضرایب تأثیر نقص اولیه که از جدول ۱۰-۲-۴-۲ به دست می‌آید. همچنین از رابطه زیر:

$$c_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4c_1}}{2c_1}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضرایب تأثیر نقص اولیه در محاسبهٔ بعد مؤثر 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	0.2	1.38
۳	سایر اجزا	0.22	1.49

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک مقطع جعبه‌ای مطابق شکل زیر با طول موثر ۴۵۰ سانتیمتر و نوع فولاد ST37، ظرفیت فشاری مقطع را تعیین نمایید.

پاسخ: برای مقطع فوق، مشخصات هندسی مورد نیاز بصورت زیر می‌باشد (از ذکر جزئیات محاسبه صرف نظر شده).

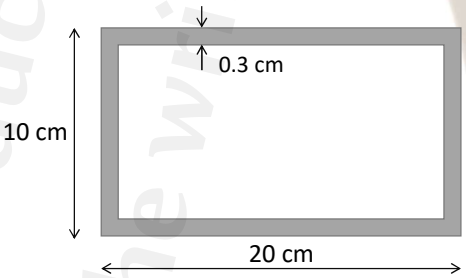
$A = 17.6\ \text{cm}^2$ ، $r_x = 4.28\ \text{cm}$ ، $r_y = 7.33\ \text{cm}$

$$\text{Maximum } \frac{KL}{r} = \frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 450\ \text{cm}}{4.28\ \text{cm}} = 105 < 200$$

$$4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 136 > 105 \quad \Rightarrow$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{(105)^2} \approx 1790\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\Rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{2400}{1790}}\right)2400 \approx 1370\ \frac{kg}{cm^2} \quad \Rightarrow \quad P_n = 1370 \times 17.6 \times 10^{-3} \approx 24.1\ ton$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب 0.93 در روابط فوق طبق ضوابط AISC360 (بخش B4.2) بوده و بایستی ضخامت مقاطع جعبه‌ای، با این ضریب کاهش یابد. با استفاده از جدول ۱۰-۲-۲-۱ مبحث دهم، حد بالا برای این نسبت‌ها برابر است با:

$$\lambda_r = 1.4\sqrt{E/F_y} = 1.4\sqrt{2\times10^6/2400} = 40.4$$

کنترل فشردگی ضلع بزرگتر $h/t = \frac{20-2\times0.3}{0.3\times0.93} = 69$

کنترل فشردگی ضلع کوچکتر $b/t = \frac{10-2\times0.3}{0.3\times0.93} = 33$

بنابراین نسبت حداکثر از مقدار نسبت‌های عرض به ضخامت مقطع برای ضلع بزرگتر مقطع، کمتر بوده و بایستی اثر لاغری در کاهش ظرفیت محوری ستون در نظر گرفته شود. مقطع بصورت جعبه‌ای بوده و هیچ ورق با یک لبه متکی (سخت نشده) ندارد.

با توجه به جدول ۱۰-۲-۴-۲ (حالت ۲) داریم: c_2=1.38 c_1=0.2

$$F_{el} = \left(c_2\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1.38\frac{40.4}{69}\right)^2 \times 2400 = 1566\frac{kg}{cm^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای h_e داریم:

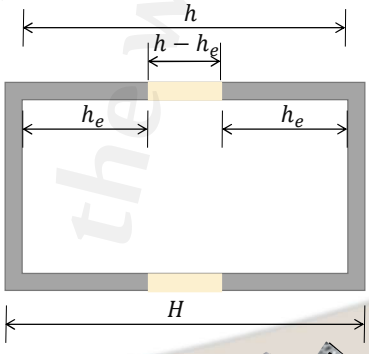
$$h_e = h\left(1-c_1\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right)\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = (20-2\times0.3)\left(1-0.2\sqrt{\frac{1566}{1370}}\right)\sqrt{\frac{1566}{1370}} = 16.3\ cm$$

در شکل زیر سطح مقطع موثر نشان داده شده است.

$$A_e = A - 2(h-h_e)t = 17.6 - 2\big((20-2\times0.3)-16.3\big)\times0.3 = 15.74\ cm^2$$

$$\Rightarrow P_n = F_{cr}A_e = 1370\times15.74\times10^{-3} = 21.5\ \text{ton}$$

$$\Rightarrow \phi_c P_n = 0.9\times21.5 = 19.4\ \text{ton}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاطع توخالی دایره‌ای لاغر

در این مقاطع، سطح مقطع مؤثر (A_{ec}) از روابط زیر محاسبه می‌شود:

الف) اگر $\frac{D}{t} \le 0.11\frac{E}{F_y}$ باشد:

$$A_{ec} = A_g$$

ب) اگر $0.11\frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45\frac{E}{F_y}$ باشد:

$$A_{ec} = \left[\frac{0.038E}{F_y(\frac{D}{t})} + \frac{2}{3}\right]A_g$$

در روابط فوق:

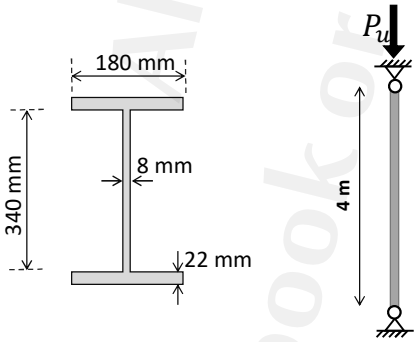
D قطر خارجی مقطع توخالی دایره‌ای

t ضخامت دیوارهٔ مقطع توخالی دایره‌ای و A_g سطح مقطع کلی عضو

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت فشاری یک ستون با مقطع نشان داده شده در شکل زیر که از ورق ایجاد شده، را با دو انتها مفصل و که تحت بار محوری فشاری مرده ۲۰ تنی و بار زنده ۷۰ تنی قرار دارد را کنترل نمایید. طول ستون برابر ۴ متر می‌باشد. (F_y=2400 kg/cm^2 , E=2×10^{6}kg/cm^2) .



پاسخ: برای مقطع ساخته شده از ورق داریم:

$$d = 34 + 2.2 \times 2 = 38.4\ cm \qquad b_f = 18\ cm \qquad t_f = 2.2\ cm$$
$$h = 34\ cm \qquad t_w = 0.8\ cm$$

محاسبه مقاومت مورد نیاز:

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 20 + 1.6 \times 70 = 136\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مشخصات هندسی برای ستون ساخته شده از ورق را با صرف نظر نمودن از بعد جوش تعیین می‌نماییم:

$$A = 2 \times 2.2 \times 18 + 0.8 \times 34 = 106.4 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{2 \times 2.2 \times 18^3}{12} + \frac{34 \times 0.8^3}{12} = 2138.4 + 0.612 = 2139 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2139}{106.4}} = 4.48 \text{ cm}$$

$$I_x = \Sigma I_x + \Sigma A d^2 = \frac{0.8 \times 34^3}{12} + 2\left(\frac{18 \times 2.2^3}{12} + (18 \times 2.2) \times \left(\frac{34}{2} + \frac{2.2}{2}\right)^2\right)$$

$$= 28600 \text{ cm}^4$$

برای ستون با دو انتها مفصل، K=1 می‌باشد. لاغری را تعیین می‌نماییم. ضریب طول موثر برای دو جهت ثابت می‌باشد، بنابراین لاغری بزرگتر حول محوری رخ خواهد داد که دارای ممان‌اینرسی کمتری باشد. همانطور که دیده می‌شود، ممان‌اینرسی ستون حول y کمترین است.

$$\lambda_y = \frac{KL_y}{r_y} = \frac{1 \times 400}{4.48} = 89$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{89^2} = 2476 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

ضریب ثابت تابیدگی C_w طبق مبحث دهم، برای مقاطع I شکل متقارن با تقارن دو محوره می‌توان برابر $\frac{I_y h_0^2}{4}$ در نظر گرفت که در آن h_0 فاصله بین مرکز به مرکز بال‌ها می‌باشد. برای مقاطع سپری و نبشی زوج، ثابت تابیدگی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{2139 \times 36.2^2}{4} = 700757 \text{ cm}^6$$

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{2 \times 18 \times 2.2^3 + 34 \times 0.8^3}{3} = 133 \text{ cm}^4$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 \times E \times C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left[\frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6 \times 700757}{(400)^2} + 807692 \times 133\right] \frac{1}{28600 + 2139} = 6300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 2476 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

بنابراین معیار کمانش خمشی حاکم است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

نسبت پهنا به ضخامت را برای مقطع فوق را کنترل می‌نماییم.

طبق جدول ۱۰-۲-۲-۱، ردیف‌های ۲ و ۵ داریم:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{34}{0.8}}} = 0.61$$

که این مقدار بایستی بین **0.76** تا **0.35** باشد. طبق ردیف ۲ جدول ۱۰-۲-۲-۱:

$$\rightarrow \quad \frac{b}{t} = \frac{9}{2.2} = 4.1 < 0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}} = 14.8$$

بنابراین بال مقطع لاغیر نیست. طبق ردیف ۵ جدول ۱۰-۲-۲-۱:

$$\rightarrow \quad \frac{h}{t} = \frac{34}{0.8} = 42.5 < 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 44$$

بنابراین جان لاغر نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

بنابراین:

$$\lambda \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 89 \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 139$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{2476}}\right]2400 = 1600 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

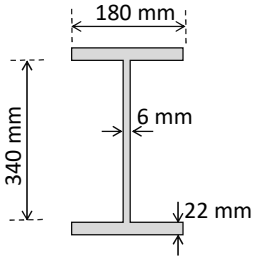
$$P_n = F_{cr}A_g = 1600 \times 106.4 \times 10^{-3} = 170 \text{ ton}$$

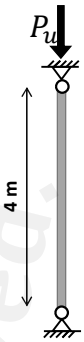
$$\varphi_c = 0.9 \quad \Rightarrow \quad \varphi_c P_n = 0.9 \times 170 = 153 \text{ ton} > 136 \text{ ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) همان مثال قبل را در نظر بگیرید، با این تفاوت که ضخامت جان آن از ۸ میلیمتر به ۶ میلیمتر تبدیل شود.





پاسخ: وجود جان با ضخامت ناچیز، احتمالا باعث ایجاد جزء لاغر در مقطع خواهد شد. لاغری جان بررسی می‌شود:

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{34}{0.6} = 56 > \lambda_r = 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 44$$

بنابراین جان مقطع لاغر است. از مثال قبل داریم:

$$\lambda_r\sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 44\sqrt{\frac{2400}{1600}} = 53.8$$

بنابراین چون $\lambda = 56 > \lambda_r\sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 53.8$ است، داریم:

c_2=1.31 c_1=0.18

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

F_{el} تنش کمانش الاستیک موضعی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{el} = \left(c_2\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1.31\times\frac{44}{56}\right)^2 2400 = 2542\,\frac{kg}{cm^2}$$

بنابراین:

$$h_e = h\left(1 - c_1\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right)\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 34\left(1 - 0.18\sqrt{\frac{2542}{1600}}\right)\sqrt{\frac{2542}{1600}} = 32.9\ cm$$

$$A_e = A_g - (h - h_e)t_w = 99.6 - (34 - 32.9)\times 0.6 = 98.94\ cm^2$$

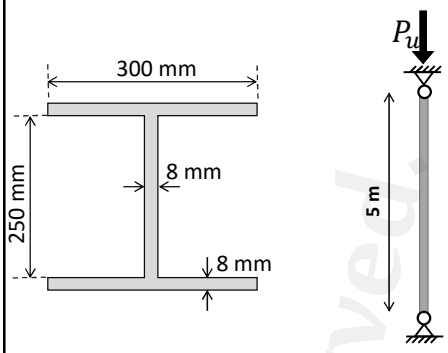
$$P_n = F_{cr}A_e = 1600\times 98.94\times 10^{-3} = 158\ \text{ton}$$

$$\varphi_c = 0.9 \quad \Rightarrow \quad \varphi_c P_n = 0.9\times 158 = 142\ \text{ton} > 136\ \text{ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت فشاری یک ستون با مقطع نشان داده شده در شکل زیر که از ورق ایجاد شده، را با دو انتها مفصل و که تحت بار محوری فشاری مرده ۲۰ تنی و بار زنده ۷۰ تنی قرار دارد را کنترل نمایید. طول ستون برابر ۵ متر می‌باشد.
(F_y=2400 kg/cm^2 , E=2×10^{6}kg/cm^2)



پاسخ: برای مقطع ساخته شده از ورق داریم:

$$d = 25 + 0.8 \times 2 = 26.6\ cm$$
$$b_f = 30\ cm \qquad t_f = 0.8\ cm$$
$$h = 25\ cm \qquad t_w = 0.8\ cm$$

محاسبه مقاومت مورد نیاز:

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 20 + 1.6 \times 70 = 136\ ton$$

با صرف نظر از جوش گوشه اتصال بال به جان داریم:

$$A_g = 2(30 \times 0.8) + (25 \times 0.8) = 68 cm^2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با توجه به اینکه طول مهار نشده حول هر دو محور برابر است، محور ضعیف حاکم است.

$$I_y = \frac{2 \times 0.8 \times 30^3}{12} + \frac{25 \times 0.8^3}{12} = 3600 + 1.06 = 3601\ \text{cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3601}{68}} = 7.2\ \text{cm}$$

$$I_x = \Sigma I_x + \Sigma A d^2 = \frac{0.8 \times 25^3}{12} + 2\left(\frac{30 \times 0.8^3}{12} + (30 \times 0.8) \times \left(\frac{25}{2} + \frac{0.8}{2}\right)^2\right) = 9031\ \text{cm}^4$$

برای ستون با دو انتها مفصل، K=1 می‌باشد. لاغری را تعیین می‌نماییم. ضریب طول موثر برای دو جهت ثابت می‌باشد، بنابراین لاغری بزرگتر حول محوری رخ خواهد داد که دارای ممان‌اینرسی کمتری باشد. همانطور که دیده می‌شود، ممان‌اینرسی ستون حول y کمترین است.

$$\lambda_y = \frac{KL_y}{r_y} = \frac{1 \times 500}{7.2} = 69$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

لاغری جان بررسی می‌شود:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{25}{0.8} = 31 < \lambda_r = 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 44$$

بنابراین جان مقطع لاغر نیست. لاغری بال کنترل می‌شود:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{25}{0.8}}} = 0.71$$

که این مقدار بایستی بین **0.76** تا **0.35** باشد. طبق ردیف ۲ جدول ۱۰-۲-۲-۱:

$$\rightarrow \quad \lambda = \frac{b}{t} = \frac{15}{0.8} = 18.75 > \lambda_r = 0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}} = 15.5$$

بنابراین بال مقطع لاغر می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{69^2} = 4146 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

ضریب ثابت تابیدگی C_w طبق مبحث دهم، برای مقاطع I شکل متقارن با تقارن دو محوره می‌توان برابر $\frac{I_y h_0^2}{4}$ در نظر گرفت که در آن h_0 فاصله بین مرکز به مرکز بال‌ها می‌باشد. برای مقاطع سپری و نبشی زوج، ثابت تابیدگی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{3601 \times 35.8^2}{4} = 600000 \ \text{cm}^6$$

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{2 \times 30 \times 0.8^3 + 25 \times 0.8^3}{3} = 14.5 \ \text{cm}^4$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 \times E \times C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ\right]\frac{1}{I_x + I_y}$$

$$= \left[\frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6 \times 600000}{(500)^2} + 807692 \times 14.5\right]\frac{1}{9031 + 3601} = 4677 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 4146 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

بنابراین معیار کمانش خمشی حاکم است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$\lambda \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 69 \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 139$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{4146}}\right]2400 = 1883\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_r\sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 15.5\sqrt{\frac{2400}{1883}} = 17.5$$

بنابراین چون $\lambda = 18.75 > \lambda_r\sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = 17.5$ است، داریم:

c_1=0.22 c_2=1.49

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

F_{el} تنش کمانش الاستیک موضعی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{el} = \left(c_2\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y = \left(1.49 \times \frac{15.5}{18.75}\right)^2 2400 = 3641\frac{kg}{cm^2}$$

بنابراین:

$$b_e = b\left(1 - c_1\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right)\sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} = 15\left(1 - 0.22\sqrt{\frac{3641}{1883}}\right)\sqrt{\frac{3641}{1883}} = 14.5\ cm$$

$$A_e = A_g - (b - b_e)t_f = 68 - (15 - 14.5) \times 0.8 = 67.6\ cm^2$$

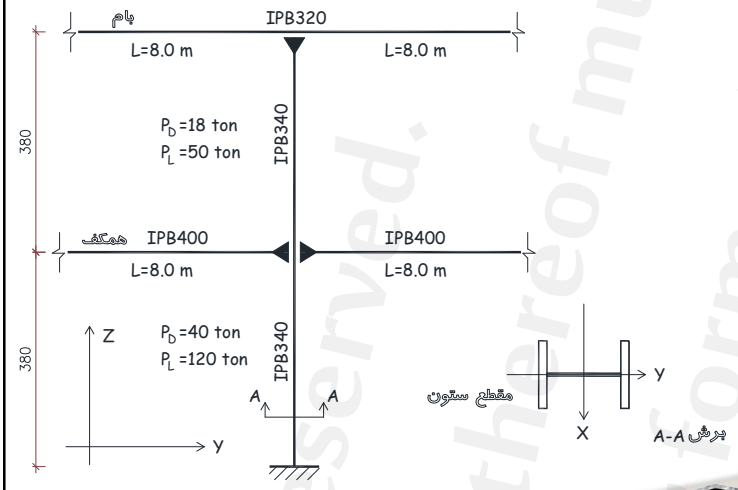
$$P_n = F_{cr}A_e = 1883 \times 67.6 \times 10^{-3} = 127.2\ \text{ton}$$

$$\varphi_c = 0.9 \quad \Rightarrow \quad \varphi_c P_n = 0.9 \times 127.2 = 114\ \text{ton} < 136\ \text{ton}$$ Not Ok

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) قسمتی از یک قاب خمشی به همراه بارهای ایجاد شده در ستون هر طبقه در شکل زیر نشان داده شده است. طول ستون هر طبقه برابر 3.8 متر و ستون در تکیه‌گاه خود گیردار و در جهت y مهارشده می‌باشد. کفایت ستون را برای بارهای نشان داده شده کنترل نمایید. اتصال تمام تیرها در انتهای دور بصورت گیردار و محور قوی ستون را عمود بر صفحه خمش در نظر بگیرید.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محاسبه مقاومت مورد نیاز برای ستون بین بام و همکف:

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 18 + 1.6 \times 50 = 101.6 \text{ ton}$$

مشخصات هندسی برای ستون و تیرهای مدل، با استفاده از جدول مقاطع به صورت زیر است:

$IPB400 \rightarrow I_x = 57680 \text{ cm}^4$
$IPB320 \rightarrow I_x = 30820 \text{ cm}^4$
$IPB340 \rightarrow I_x = 36660 \text{ cm}^4$
$IPB340 \rightarrow A_g = 171 \text{ cm}^2 \quad r_x = 14.64 \text{ cm} \quad r_y = 7.53 \text{ cm}$

روش ضریب طول موثر (Effective Length Factor):

برای محاسبه ضریب کاهش سختی τ_b ستون‌ها داریم:

$$\frac{P_u}{P_y} = \frac{101.6}{171 \times 2400 \times 10^{-3}} = 0.247 < 0.5$$

بنابراین طبق مبحث دهم، مقدار τ_b=1.0 در نظر گرفته می‌شود و به کاهش سختی نیاز نیست.

طبق مبحث دهم، مقدار ضریب طول موثر برای قاب‌های مهارشده برابر یک می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق مبحث دهم ضریب طول موثر برای قاب‌های مهارنشده (قاب‌های خمشی که در آنها ستون به مهاربند و یا دیوار برشی متکی نیست) بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$G = \frac{\sum \frac{EI_c}{L_c}}{\sum \frac{EI_b}{L_b}}$$

بنابراین:

$$G_A = \tau_b \frac{\sum \frac{EI_c}{L_c}}{\sum \frac{EI_b}{L_b}} = 1.0 \times \frac{\frac{36660}{380}}{2 \times \frac{30820}{800}} = 1.25$$

$$G_B = \tau_b \frac{\sum \frac{EI_c}{L_c}}{\sum \frac{EI_b}{L_b}} = 1.0 \times \frac{2 \times \frac{36660}{380}}{2 \times \frac{57680}{800}} = 1.33$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_AG_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} = \sqrt{\frac{1.6 \times 1.25 \times 1.33 + 4(1.25 + 1.33) + 7.5}{1.25 + 1.33 + 7.5}}$$

$$= 1.42 > 1$$

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x} = \frac{1.42 \times 380}{14.64} = 36.85 \qquad \lambda_y = \frac{KL}{r_y} = \frac{1.0 \times 380}{7.53} = 50.46$$

$$\lambda_{\max} = 50.46 \le 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 139 \quad \Rightarrow \mathrm{F_{cr}} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] \mathrm{F_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{50.46^2} = 8140 \ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \quad F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{8140}}\right] \times 2400 = 2121 \ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \quad P_n = 2121 \times 171 = 362 \text{ ton}$$

$$\varphi_c P_n = 0.9 \times 362 = 325.8 \text{ ton} > 101.6 \text{ ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

محاسبه مقاومت مورد نیاز برای ستون بین همکف و پی:

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 40 + 1.6 \times 120 = 240 \text{ ton}$$

$$\frac{P_u}{P_y} = \frac{240}{171 \times 2400 \times 10^{-3}} = 0.58 > 0.5 \quad \Rightarrow \quad \tau_b = 4\frac{P_u}{P_y}\left(1 - \frac{P_u}{P_y}\right) = 0.97$$

$$G_A = \tau_b \frac{\sum \frac{EI_c}{L_c}}{\sum \frac{EI_b}{L_b}} = 0.97 \times \frac{2 \times \frac{36660}{380}}{2 \times \frac{57680}{800}} = 1.30 \quad , \quad G_B = 1$$

طبق مبحث دهم، مقدار G برای انتهای گیردار برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین:

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_AG_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} = \sqrt{\frac{1.6 \times 1.30 \times 1.0 + 4(1.30 + 1.0) + 7.5}{1.30 + 1.0 + 7.5}} = 1.38 > 1$$

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x} = \frac{1.38 \times 380}{14.64} = 35.8 \qquad \lambda_y = \frac{KL}{r_y} = \frac{1.0 \times 380}{7.53} = 50.46$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

داریم:

$$\lambda_{\max} = 50.46 \le 4.71\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 139 \quad \Rightarrow \mathrm{F_{cr}} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]\mathrm{F_y}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^6}{50.46^2} = 8140 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \quad F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{8140}}\right] \times 2400 = 2121 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \quad P_n = 2121 \times 171 = 362 \text{ ton}$$

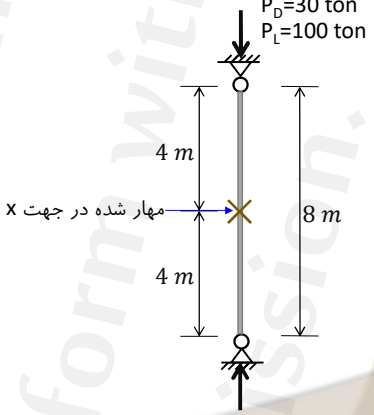
$$\varphi_c P_n = 0.9 \times 362 = 325.8 \text{ ton} > 240 \text{ ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ستون نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که تحت بار محوری فشاری مرده ۳۰ تنی و بار زنده ۱۰۰ تنی قرار دارد. طول ستون برابر ۸ متر می‌باشد. شرایط دو انتهای ستون بصورت مفصلی است لیکن وسط ستون در جهت x (حول محور y-y) و بصورت پیچشی مهار شده است (جهت x را در امتداد محور قوی مقطع ستون در نظر بگیرید) از وزن ستون صرف نظر نمایید و مقطع آن را به روش LRFD تعیین نمایید.



محاسبه مقاومت مورد نیاز:

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 100 = 196 \text{ ton}$$

با استفاده از جدول مقاطع، یک مقطع را انتخاب می‌نماییم. برای ستون با دو انتها مفصل، K=1 می‌باشد. در جهتی که ستون دارای مهار جانبی است، طول موثر نصف می‌شود. پروفیل IPB260 انتخاب می‌شود. مشخصات این پروفیل به صورت زیر است:

$$A_g = 118 \text{ cm}^2 \qquad r_x = 11.24 \text{ cm} \qquad r_y = 6.59 \text{ cm}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 800}{11.24} = 71$$

$$\lambda_y = \frac{KL}{r_y} = \frac{0.5 \times 800}{6.59} = 60.7$$

لاغری حداکثر برابر ۷۱ می‌باشد، برای طراحی به روش حالات حدی، با استفاده از بند ۱۰-۲-۴-۳ مبحث دهم، داریم:

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 800}{11.24} = 71 \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} = 139$$

بنابراین:

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \qquad \rightarrow \qquad F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{71^2} = 4111 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{2400}{4111}}\right] \times 2400 = 1879 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow P_n = F_{cr} A_g = 1879 \times 118 \times 10^{-3} = 221 \text{ ton}$$

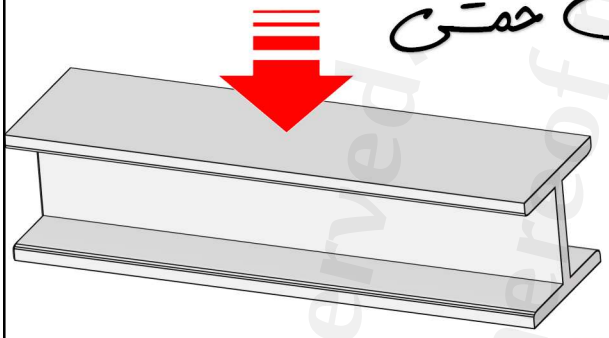
$$\varphi_c P_n = 0.9 \times 221 = 199 \text{ ton} > 196 \text{ ton}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل ششم

طراحی اعضای خمشی



DESIGN OF MEMBERS FOR FLEXURE

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند ۱۰-۲-۵ به الزامات طراحی اعضایی می‌پردازد که تحت اثر خمش ساده حول هر یک از محورهای اصلی مقطع قرار دارند. در حالت خمش ساده عضو در صفحه‌ای به موازات محورهای اصلی و مار بر مرکز برش مقطع بارگذاری شده یا در محل اعمال بار و در تکیه‌گاه‌ها در مقابل پیچش نگهداری شده باشد.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۵-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۵-۲ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی
- ۱۰-۲-۵-۳ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با دو محور تقارن با بال‌های غیرفشرده یا لاغر و جان فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی
- ۱۰-۲-۵-۴ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده یا غیرفشرده یا لاغر و جان فشرده یا غیرفشرده تحت اثر خمش حول محور قوی
- ۱۰-۲-۵-۵ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده یا غیرفشرده یا لاغر و جان لاغر تحت اثر خمش حول محور قوی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

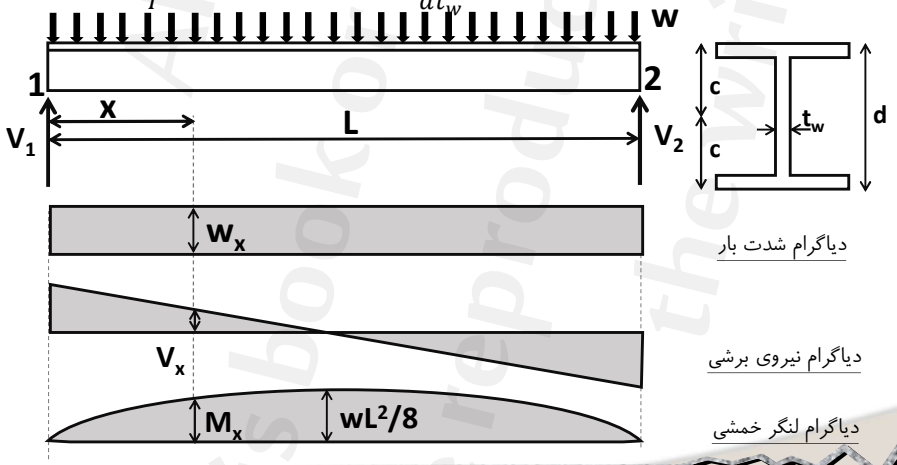
- ۱۰-۲-۵-۶ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف
- ۱۰-۲-۵-۷ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل تحت اثر خمش حول محورهای قوی و ضعیف
- ۱۰-۲-۵-۸ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای توخالی
- ۱۰-۲-۵-۹ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت با بارگذاری در صفحهٔ تقارن
- ۱۰-۲-۵-۱۰ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نبشی تک
- ۱۰-۲-۵-۱۱ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای و چهارگوش توپر
- ۱۰-۲-۵-۱۲ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نامتقارن
- ۱۰-۲-۵-۱۳ تناسبات ابعادی مقطع اعضای خمشی
- ۱۰-۲-۵-۱۴ ملاحظات مربوط به بازشو در جان تیرها

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعمال بار عمود بر محور طولی تیر سبب تولید نیروی برشی V_x و لنگر خمشی M_x در فاصله‌ای به میزان x از انتهای سمت چپ تیر می‌شود.

$$f_c = f_t = \frac{M_x c}{I} \qquad f_v = \frac{V_x}{dt_w}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

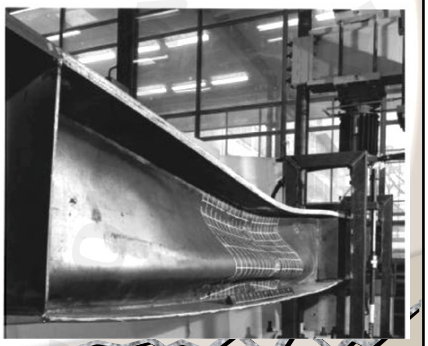
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حالات حدی تیر تحت خمش:

تسلیم مصالح و ایجاد مفاصل پلاستیک در تیر و در نهایت مکانیزم شدن تیر.

کمانش جانبی- پیچشی تیر .

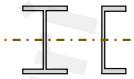
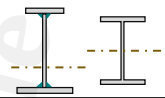
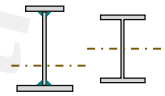
کمانش موضعی بال و یا جان تیر در صورتی که فشرده نباشند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

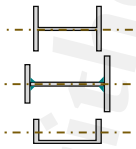
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۵-۱ انتخاب بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی

بند مربوطه	شکل مقطع	لاغری بال	لاغری جان	حالت حدی
۱۰-۵-۲-۲		فشرده	فشرده	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی
۱۰-۵-۲-۳		غیرفشرده لاغر	فشرده	کمانش جانبی – پیچشی کمانش موضعی بال
۱۰-۵-۲-۴		فشرده غیرفشرده لاغر	فشرده غیرفشرده	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی کمانش موضعی بال تسلیم کششی بال
۱۰-۵-۲-۵		فشرده غیرفشرده لاغر	لاغر	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی کمانش موضعی بال تسلیم کششی بال

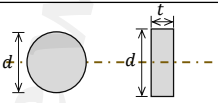
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند مربوطه	شکل مقطع	لاغری بال	لاغری جان	حالت حدی
۱۰-۵-۲-۶		فشرده غیرفشرده لاغر	کاربرد ندارد	تسلیم کمانش موضعی بال
۱۰-۵-۲-۷		فشرده غیرفشرده لاغر	فشرده غیرفشرده لاغر	تسلیم کمانش موضعی بال کمانش موضعی جان کمانش جانبی – پیچشی
۱۰-۵-۲-۸		کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	تسلیم کمانش موضعی
۱۰-۵-۲-۹		فشرده غیرفشرده لاغر	کاربرد ندارد	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی کمانش موضعی بال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند مربوطه	شکل مقطع	لاغری بال	لاغری جان	حالت حدی
۱۰-۵-۲-۱۰		کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی کمانش موضعی ساق
۱۰-۵-۲-۱۱		کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	تسلیم کمانش جانبی – پیچشی
۱۰-۵-۲-۱۲	مقاطع نامتقارن به غیر از نبشی تک	کاربرد ندارد	کاربرد ندارد	تمام حالات حدی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات عمومی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱ در روش LRFD مقاومت خمشی طراحی مساوی $\phi_b M_n$ و در روش ASD مقاومت خمشی مجاز مساوی M_n/Ω_b است که در آن، ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برابر با 0.9 و Ω_b، ضریب اطمینان برابر 1.67 و M_n مقاومت خمشی اسمی بوده که باید مطابق الزامات بندهای ۱۰-۵-۲-۱۰۲ تا ۱۰-۲-۵-۱۲ تعیین شود.

تبصره۱: دامنهٔ کاربرد این بخش مربوط به تیرهای با جان پر بوده و برای طراحی تیرهای با جان باز (تیرهای لانه‌زنبوری) به پیوست شماره ۵ رجوع شود.

تبصره۲: انتخاب بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای خمشی برای مقاطع مختلف می‌تواند مطابق جدول ۱۰-۲-۵-۱ انتخاب شود.

۱۰-۲-۵-۱-۲ تمامی الزامات این بخش بر این فرض استوار هستند که از پیچش مقطع حول محور طولی عضو در نقاط تکیه‌گاهی اعضای خمشی جلوگیری شده است.

۱۰-۲-۵-۱-۳ برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای ساده و خمش حول محور قوی و برای کلیهٔ اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن، ضریب اصلاح کمانش جانبی-پیچشی (C_b) در نمودار لنگر خمشی غیریکنواخت در حدفاصل دو مقطع مهارشده از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد و مقدار آن نباید بزرگتر از 3.0 در نظر گرفته شود.

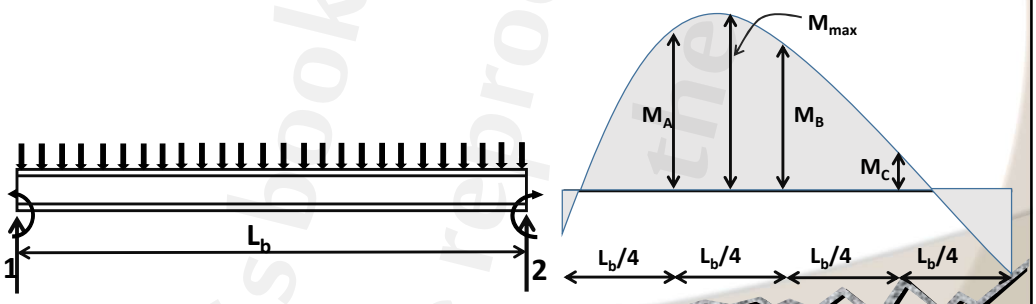
$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

این ضریب براساس شکل زیر قابل تعیین است. که در این رابطه، M_{max} قدر مطلق حداکثر لنگر خمشی در طول مهار نشده (بین دو نقطه مهار شده)، M_A قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه 0.25 طول مهار نشده، M_B قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه 0.5 طول مهار نشده، M_C قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه 0.75 طول مهار نشده می‌باشد. برای تمام حالات می‌توان مقدار C_b را بطور محافظه‌کارانه برابر یک در نظر گرفت.

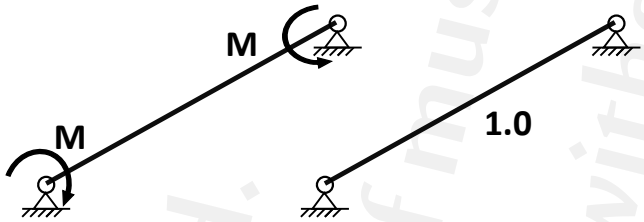
برای تیرهای طره‌ای که در تکیه‌گاه آنها از تابیدگی مقطع جلوگیری شده و انتهای آزاد آنها فاقد مهار جانبی باشد، C_b=1.0 است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای یک تیر دارای خمش خالص (لنگر یکنواخت) که در آن $M_A=M_B=M_C=M_{max}$ باشد، مقدار $C_b=1.0$ است.



برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای مضاعف ضریب اصلاح کمانش جانبی-پیچشی (C_b) باید براساس یک تحلیل مستدل محاسبه گردد. برای مقاطع I شکل دارای یک محور تقارن (محور y) به عنوان یک روش تقریبی حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی باید به طور مجزا برای لنگرهای خمشی مثبت و منفی کنترل شوند. در این محاسبات ضریب C_b به دست آمده از رابطهٔ ۱۰-۲-۵-۱ (رابطه اخیر) را می‌توان در ضرایب اصلاحی R_m^+ برای لنگر خمشی مثبت و R_m^- (برای لنگر خمشی منفی) ضرب کرد، مشروط بر آنکه مقدار به دست آمده بزرگتر از 3.0 در نظر گرفته نشود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$R_m^+ = 0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}^+}{I_y}\right)^2 \quad \text{و} \quad R_m^- = 0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}^-}{I_y}\right)^2$$

که در آن:

I_y ممان اینرسی مقطع حول محور اصلی y

I_{yc}^+ ممان اینرسی بال تحت فشار مقطع حول محور اصلی y برای ناحیهٔ لنگر خمشی مثبت

I_{yc}^- ممان اینرسی بال تحت فشار مقطع حول محور اصلی y برای ناحیهٔ لنگر خمشی منفی

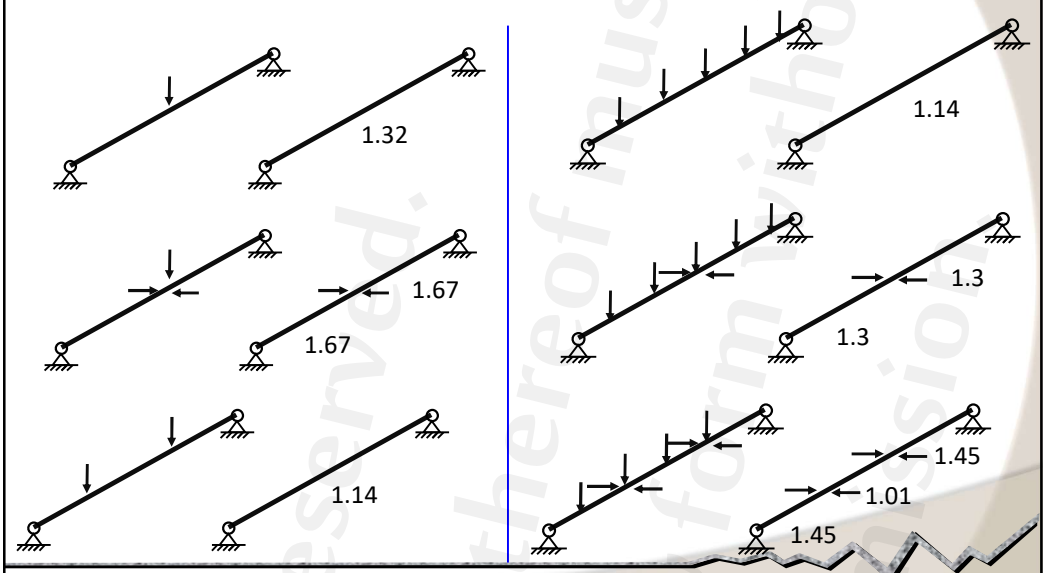
برای اعضای خمشی با مقطع نامتقارن، C_b را می‌توان به‌طور محافظه کارانه مساوی 1.0 در نظر گرفت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

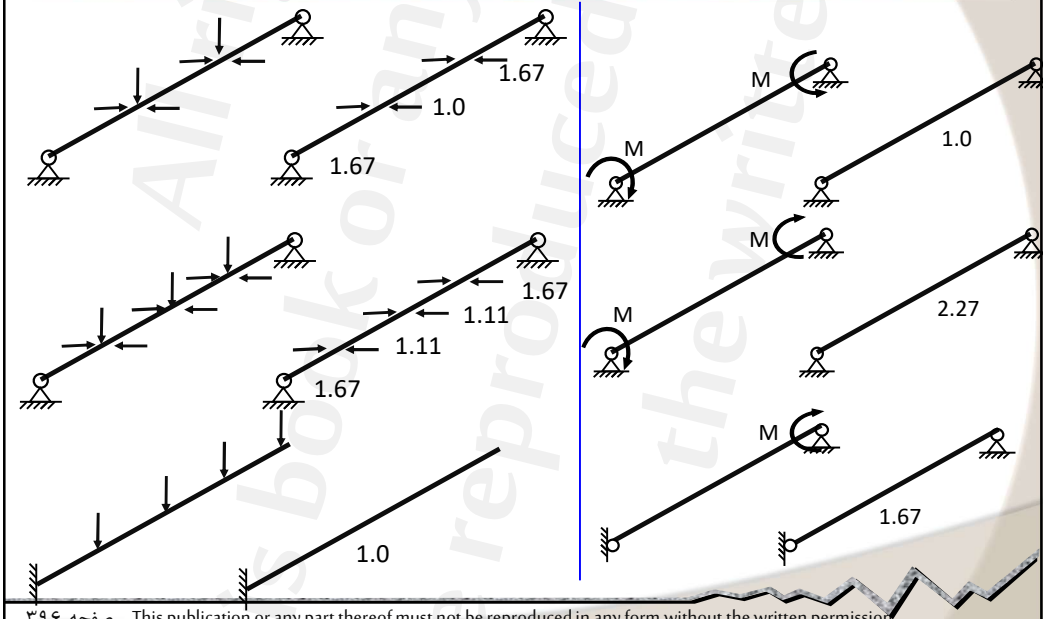
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل های زیر، مقادیر C_b برای تیرهای با شرایط مختلف نشان داده شده است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



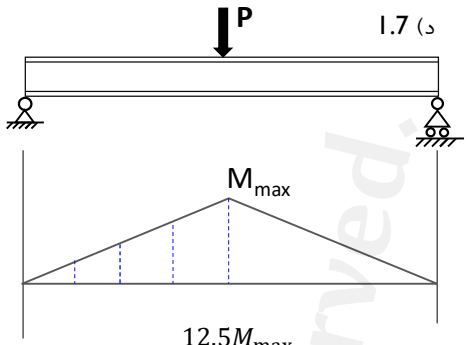
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار C_b (ضریب اصلاح کمانش پیچشی-جانبی) محاسبه شده برای یک تیر دو سر ساده با بار متمرکز در وسط دهانه که در تکیه‌گاه‌ها و وسط دهانه مهار شده است، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (خمش حول محور قوی و مقطع دارای دومحور تقارن فرض شود. (خرداد ۹۳)

الف) 1.9 ب) 1.5 ج) 2.0 د) 1.7



پاسخ:

$$M_A = \frac{1}{4}M_{max} \qquad M_B = \frac{1}{2}M_{max}$$
$$M_C = \frac{3}{4}M_{max}$$

بنابراین

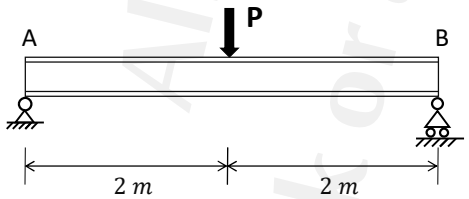
$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3(\frac{1}{4}M_{max}) + 4(\frac{1}{2}M_{max}) + 3(\frac{3}{4}M_{max})}$$
$$= 1.67 \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه تیر دو سر ساده AB (شکل زیر) در تکیه‌گاه‌ها و وسط دهانه دارای مهار جانبی باشد، ضریب اصلاح کمانش پیچشی- جانبی (C_b) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (از اثر وزن تیر صرفنظر شود) (مرداد ۹۴)

الف) 1.0 ب) 1.32 ج) 1.67 د) 2.33



پاسخ: مشابه مثال قبل قابل حل است.

$$M_A = \frac{1}{4}M_{max} \qquad M_B = \frac{1}{2}M_{max} \qquad M_C = \frac{3}{4}M_{max}$$

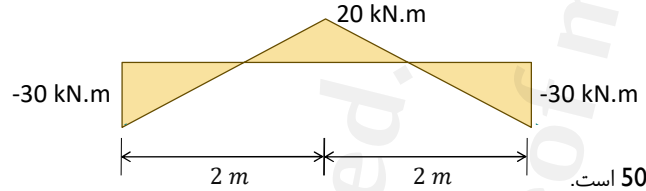
$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3(\frac{1}{4}M_{max}) + 4(\frac{1}{2}M_{max}) + 3(\frac{3}{4}M_{max})}$$
$$= 1.67 \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) نمودار لنگرخمشی یک تیر فولادی IPE300 به طول ۴ متربه صورت زیر می‌باشد. در صورتیکه تیر در تکیه‌گاه‌ها و در وسط دهانه دارای مهار جانبی باشد، ضریب اصلاح کمانش پیچشی-جانبی (C_b) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (آبان ۹۳)

الف) 3.0 ب) 1.2 ج) 2.0 د) 2.2



پاسخ:

شیب خط دیاگرام لنگر خمشی برابر 50/2=25 است.

$$M_A = 25 \times \frac{1}{4} \times 2 - 30 = -17.5 \qquad M_B = 25 \times \frac{2}{4} \times 2 - 30 = -5$$

$$M_C = 25 \times \frac{3}{4} \times 2 - 30 = 7.5$$

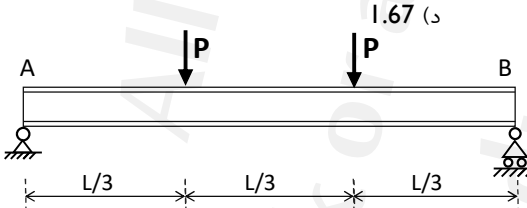
$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5 \times 30}{2.5 \times 30 + 3 \times 17.5 + 4 \times 5 + 3 \times 7.5} = 2.2 \le 3.0$$

صفحه ۳۹۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

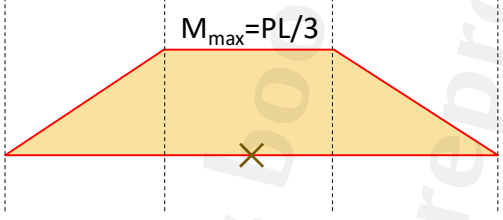
مثال) چنانچه مقطع تیر فولادی نشان داده شده در شکل زیر دارای دو محور تقارن بوده و تیر در تکیه‌گاه و در وسط دهانه دارای مهارجانبی باشد، مقدار ضریب C_b به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (بهمن ۹۴)

الف) 1.0 ب) 1.14 ج) 1.30 د) 1.67



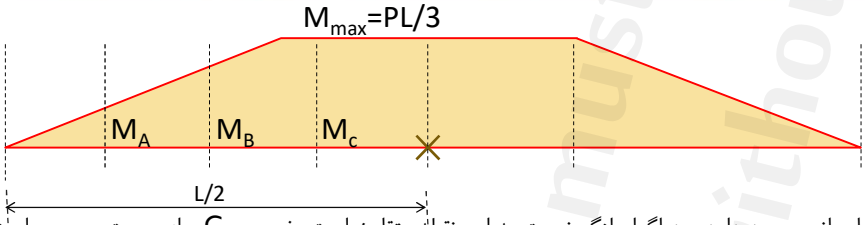
پاسخ:

ابتدا باید دیاگرام لنگر ترسیم شود و در نقاط مورد نظر مقدار لنگر محاسبه شود:



صفحه ۴۰۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



چون در وسط مهارجانبی وجود دارد و دیاگرام لنگر نسبت به این نقطه متقارن است، ضریب C_b برای سمت چپ و راست مهارجانبی یکسان خواهد بود. معادله خط دیاگرام لنگر از نقطه لنگرخمشی صفر تا فاصله L/3 از چپ:

$$M(x) = Px \quad \Rightarrow \quad M_A = P\left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{PL}{8}$$

$$M_B = P\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{PL}{4}$$

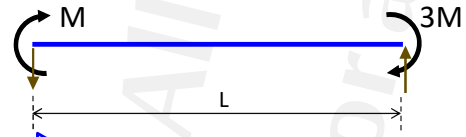
$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5 \times (\frac{PL}{3})}{2.5 \times (\frac{PL}{3}) + 3 \times (\frac{PL}{8}) + 4 \times (\frac{PL}{4}) + 3 \times (\frac{PL}{3})}$$

$$= 1.3 \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

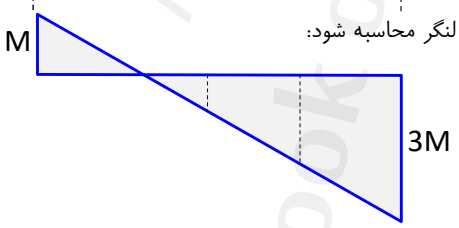
مثال) در عضو خمشی نشان داده شده در شکل زیر که در دو انتهای خود دارای مهارجانبی بوده و در طول خود فاقد بار خارجی است، مقدار ضریب اصلاح کمانش پیچشی – جانبی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مقطع عضو دارای دو محور تقارن است) (شهریور ۹۵)



الف) 2.14 ب) 1.6

ج) 1.36 د) 1.0

پاسخ: ابتدا باید دیاگرام لنگر ترسیم شود و در نقاط مورد نظر مقدار لنگر محاسبه شود:



$$M_{max} = 3M \quad M_{0.25} = 0 \quad M_{0.5L} = M \quad M_{0.75} = 2M$$

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5 \times 3M}{2.5 \times 3M + 3 \times 0 + 4 \times M + 3 \times 2M} = 2.14 \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

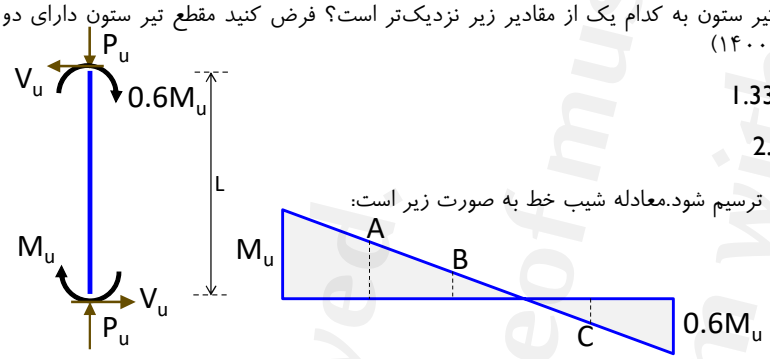
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر ستون فولادی شکل زیر فرض کنید تکیه گاه‌های جانبی فقط در ابتدا و انتهای آن قرار دارند. ضریب اصلاح کمانش پیچی – جانبی این تیر ستون به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فرض کنید مقطع تیر ستون دارای دو محور متقارن است.) (مرداد ۱۴۰۰)

الف) 1.25 ب) 1.33

ج) 1.67 د) 2.2

پاسخ: ابتدا باید دیاگرام لنگر ترسیم شود.معادله شیب خط به صورت زیر است:



$$a = -\frac{1.6M_u}{L} \qquad b = M_u \quad \Rightarrow \quad y = ax + b \quad \Rightarrow \quad y = -\frac{1.6M_u}{L}x + M_u$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$x = \frac{L}{4} \quad \Rightarrow \quad M_A = -\frac{1.6M_u}{L}\left(\frac{L}{4}\right) + M_u = 0.6M_u$$

$$x = \frac{L}{2} \quad \Rightarrow \quad M_B = -\frac{1.6M_u}{L}\left(\frac{L}{2}\right) + M_u = 0.2M_u$$

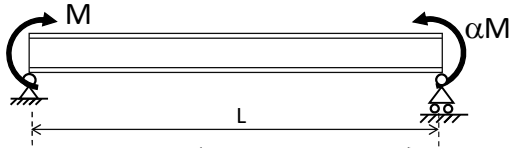
$$x = \frac{3L}{4} \quad \Rightarrow \quad M_C = -\frac{1.6M_u}{L}\left(\frac{3L}{4}\right) + M_u = -0.2M_u$$

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5M_u}{2.5M_u + 3 \times 0.6M_u + 4 \times 0.2M_u + 3 \times 0.2M_u}$$
$$= 2.19 \leq 3.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر فولادی دوسر ساده شکل زیر، در حالت کلی به ازای چه مقداری از α، مقاومت خمشی اسمی ناشی از کمانش پیچشی-جانبی دارای کمترین مقدار خواهد بود؟ (فرض کنید مهارهای جانبی فقط در ابتدا و انتهای تیر قرار دارد و تیر در طول خود فاقد بار است) (شهریور ۹۵)



الف) 2 ب) 1

ج) 0.5 د) 0

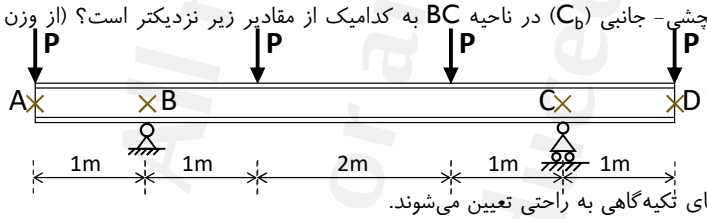
پاسخ: کمترین مقاومت زمانی حاصل می‌شود که در سراسر تیر مقدار لنگر ثابت باشد. بنابراین اگر ضریب α برابر یک باشد، احتمال کمانش پیچشی جانبی افزایش یافته و تیر کم ترین مقاومت ممکن را خواهد داشت

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5M}{2.5M + 3M + 4M + 3M} = 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر با مقطع IPE180 شکل زیر، فرض کنید در نقاطی که با علامت × مشخص شده است، مهارهای جانبی وجود دارد. مقدار ضریب اصلاح کمانش پیچشی- جانبی (C_b) در ناحیه BC به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (از وزن واحد تیر صرف نظر شود. (مهر ۹۶)



الف) 5 ب) 1

ج) 1.67 د) 3

پاسخ: با توجه به تقارن، عکس العمل‌های تکیه‌گاهی به راحتی تعیین می‌شوند.

$$R_B = R_C = 2P$$

با ترسیم دیاگرام خمش در طول تیر، می‌دانیم که در فاصله نقاط B تا C (بین محل اعمال دو نیرو) مقدار قدر مطلق لنگر در یک چهارم ابتدایی، یک دوم میانی و سه چهارم طول تیر برابر با صفر است و بنابراین داریم:

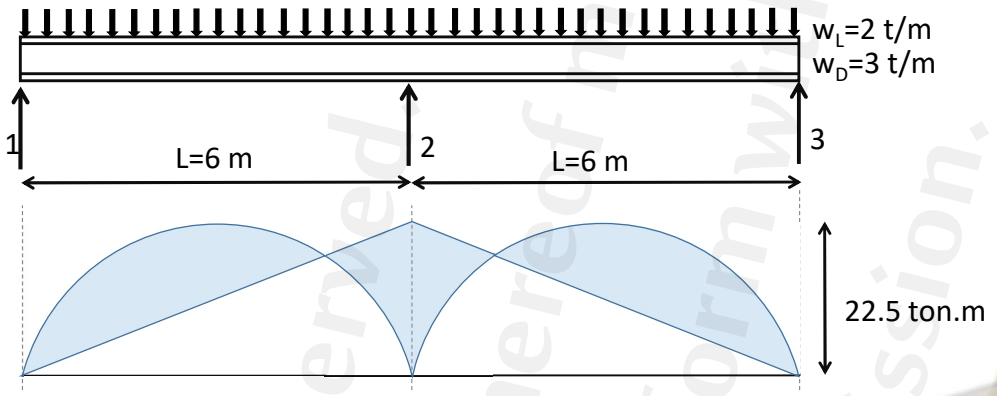
$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3\times 0 + 4\times 0 + 3\times 0} = 5 > 3$$
$$\Rightarrow C_b = 3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part there of must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای تیر نشان داده شده در شکل زیر، مقدار ضریب تغییرات لنگر C_b را تعیین نمایید. تیر فقط در محل تکیه‌گاه‌ها دارای مهار جانبی است. شدت بارهای وارده بر تیر بر روی آن نشان داده شده است



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار کل بار روی تیر برابر است با:

$$w = w_L + w_D = 5 \text{ ton/m}$$

لنگر حالت دو سر مفصل در بین 12 $M = wL^2/8 = 5 \times 6^2/8 = 22.5$ ton.m

لنگر گیرداری در تکیه‌گاه 2 $M_2 = wL^2/8 = 5 \times 6^2/8 = 22.5$ ton.m

با توجه دیاگرام لنگر نشان داده شده در شکل قبل، برای دهانه 12 داریم:

$M_A = 0.75M - 0.25M_2 = 0.75 \times 22.5 \text{ ton.m} - 0.25 \times 22.5 \text{ ton.m} = 11.25 \text{ ton.m}$

$M_B = M - 0.5M_2 = 22.5 \text{ ton.m} - 0.5 \times 22.5 \text{ ton.m} = 11.25 \text{ ton.m}$

$M_C = 0.75M - 0.75M_2 = 0.75 \times 22.5 \text{ ton.m} - 0.75 \times 22.5 \text{ ton.m} = 0 \text{ ton.m}$

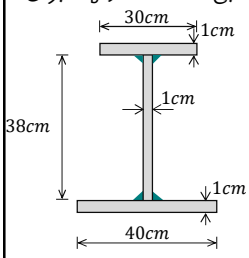
$M_{\text{Max}} = 0.07\text{wL}^2 = 0.07 \times 5 \times 6^2 = 12.6 \text{ ton.m}$

$$C_b = \frac{12.5 \times 12.6}{2.5 \times 12.6 + 3 \times 11.25 + 4 \times 11.25 + 3 \times 0} = 1.43$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

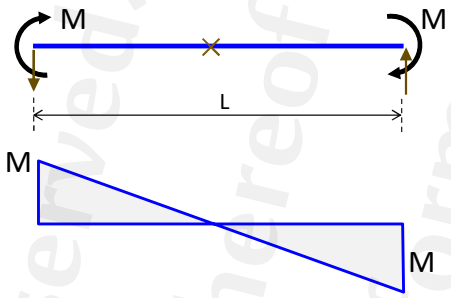
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر ورقی با مقطع مقابل از فولاد ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) با اتصال جوش جان به بال ساخته شده است و تحت انحنای مضاعف قرار دارد. طول تیر ۴ متر و در میانه خود دارای مهار جانبی است. مقدار C_b برای لنگر منفی را تعیین نمایید. دیاگرام لنگر مقطع در شکل زیر نشان داده شده است.



الف) 2.5 ب) 3

ج) 1.0 د) با اطلاعات داده شده قابل بررسی نمی‌باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ: با عنایت به تبصره ۲ بند ۱۰-۲-۵-۱-۱، میتوان از ضرایب اصلاح R_m^+ استفاده کرد.

$$R_m^+ C_b = 0.5 + 2\left(\frac{I_{yc}^+}{I_y}\right)^2 \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$I_y = \frac{1\times 40^3}{12} + \frac{1\times 30^3}{12} + \frac{38\times 1^3}{12} = 7584\ cm^4 \qquad I_{yc}^+ = \frac{1\times 40^3}{12} = 5333$$

$$R_m^+ C_b = 0.5 + 2\left(\frac{5333}{7584}\right)^2 \frac{12.5M}{2.5M + \frac{3M}{4} + \frac{4M}{2} + \frac{3\times 3M}{4}} =$$

$$= 1.48 \times 1.67 = 2.47 < 3\ ok$$

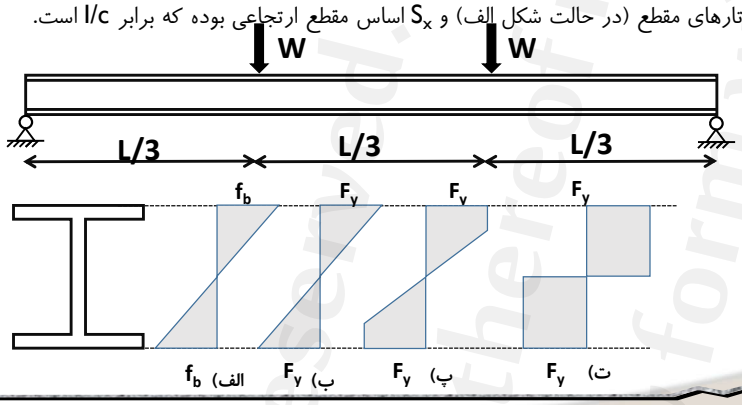
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

لنگر خمیری مقطع

تیر نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از کمانش جانبی آن جلوگیری شده است. در این حالت تیر قابلیت جاری شدن و تشکیل مفصل پلاستیک را دارا است. مقدار لنگر حداکثر ایجاد شده در بخش میانی تیر برابر است با:

$$M = WL/3 = f_b S_x$$

که در آن f_b تنش در دورترین تارهای مقطع (در حالت شکل الف) و S_x اساس مقطع ارتجاعی بوده که برابر I/c است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

در صورتی که مقدار بارهای اعمال شده بر تیر بصورت فزاینده افزایش یابند، تنش در تارهای تیر بالا رفته و مطابق شکل (ب)، دورترین تار آن جاری می‌شود. (بدون در نظر گرفتن تنش‌های پسماند در حین ساخت) مقدار لنگر برابر است با:

$$M_y = F_y S_x$$

با افزایش بار، تارهای بیشتری جاری شده و دامنه آن به سمت مرکز مقطع پیشروی می‌نماید (شکل پ). در نهایت مطابق شکل (ت)، کل مقطع جاری شده و مقطع به ظرفیت نهایی خود می‌رسد. در این حالت ظرفیت نهایی مقطع برابر است با:

$$M_n = M_p = Z_x F_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

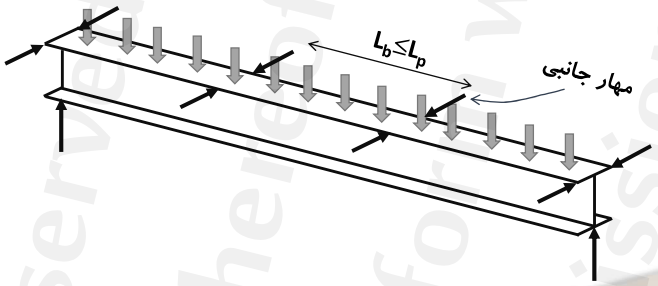
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مهار جانبی تیرها:

در صورتی که برای تیرهای با مقطع فشرده، بارهای اعمالی بصورت فزاینده باشند، سه حالت مختلف شکست ممکن است ایجاد شود:

الف) مفاصل پلاستیک در تیر ایجاد شود. این حالت وقتی ایجاد می‌شود که تیر دارای مهارهای جانبی کافی باشد. در صورتی که فاصله بین مهارهای جانبی تیر از L_p کمتر باشد، این حالت حدی ایجاد شده و مفصل پلاستیک در نقطه با لنگر حداکثر ایجاد می‌شود. مقدار لنگر ایجاد شده در تیر برای این حالت برابر است با:

$$M_n = M_p$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

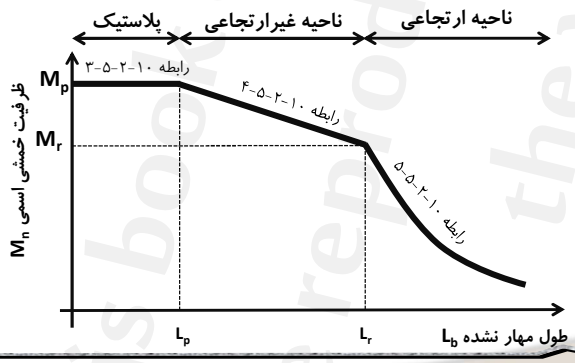
ب) در صورتی که فاصله بین مهارهای جانبی تیر از مقدار L_p بیشتر ولی کمتر از L_r باشد، ممکن است، حالت حدی کمانش جانبی پیچشی، قبل از ایجاد مفصل پلاستیک در تیر ایجاد شود. در حالتی که $L_b=L_r$ باشد، ظرفیت خمشی اسمی تیر برابر است با:

$$M_n = M_r$$

پ) در صورتی که فواصل مهارهای جانبی از L_r فراتر رود، کمانش ارتجاعی پیچشی – جانبی برای تیر رخ خواهد داد و ظرفیت خمشی اسمی تیر برابر خواهد بود با:

$$M_n = M_{cr}$$

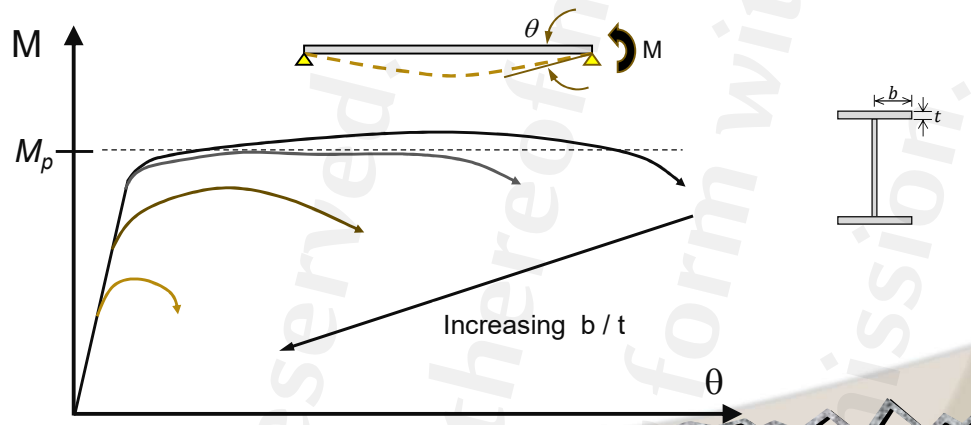
سه حالت حدی ذکر شده در فوق:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت خمشی تیرها به میزان زیادی به فشردگی آنها وابسته است. در صورتی که از مقاطع غیر فشرده استفاده شوند، میزان ظرفیت نهایی تیر به شدت کاهش خواهد یافت. در شکل زیر اثر افزایش عرض به ضخامت مقاطع نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش عرض به ضخامت، ظرفیت مقطع افت کرده و در لنگرهایی به مراتب کمتر از لنگر خمیری، باربری خود را از دست می‌دهد.

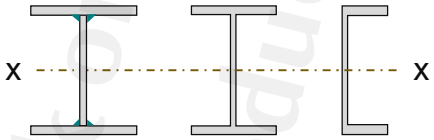


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت اثر خمش حول محور قوی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۲ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم و کمانش جانبی-پیچشی در نظر گرفته شود

الف) حالت حدی تسلیم

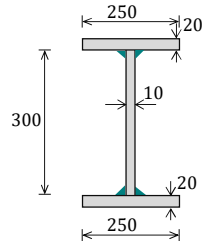
$$M_n = M_p = Z_x F_y$$

در رابطهٔ فوق، M_p لنگر پلاستیک مقطع، F_y تنش تسلیم مشخصه فولاد و Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور x (محورقوی)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه فولاد بال‌های تیر I شکل زیر با F_y=240 MPa و فولاد جان آن با F_y=360 MPa باشد، لنگر پلاستیک مقطع تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد روی شکل به میلیمتر است)(اسفند ۹۵)



الف) 657 kN.m ب) 465 kN.m

ج) 630 kN.m د) 438 kN.m

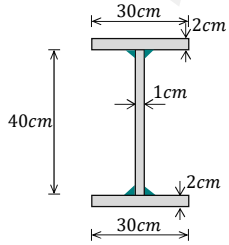
پاسخ: با فرض اینکه لنگر پلاستیک حول محور قوی مد نظر است داریم:

$$M_p = 2 \times (20 \times 250 \times 160 \times 240) + 2 \times (10 \times 150 \times 75 \times 360) \times 10^{-6} = 465\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در کنترل کننده‌ترین مقطع، (مطابق شکل) از یک تیر فولادی، براساس تحلیل سازه، لنگرهای حاصل از بارهای مرده، زنده و زلزله به ترتیب 150kN.m، 100kN.m و 250kN.m است. این بارها بدون ضریب بار بوده و محاسبات زلزله براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام گرفته است. حداکثر نسبت مقاومت خمشی مورد نیاز به مقاومت خمشی طراحی این مقطع به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ مقطع با دومحور تقارن، تمام شرایط فشردگی را دارد و حالت حد کمانش پیچشی-جانبی حاکم نمی‌باشد. فولاد ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) است (آبان ۹۳)



الف) 0.8 ب) 1.15

ج) 1.0 د) 0.85

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ: چون مقطع فشرده بوده و دارای مهارجانبی کافی است پس مقاومت خمشی آن تنها از حالت حدی تسلیم به دست می‌آید:

$$M_{u1} = 1.4D = 1.4 \times 150 = 210\ kN.m$$
$$M_{u2} = 1.2D + 1.6L = 1.2 \times 150 + 1.6 \times 100 = 340\ kN.m$$
$$M_{u3} = 1.2D + L + E = 1.2 \times 150 + 100 + 250 = 530\ kN.m$$
$$M_n = M_p = Z_x F_y = 2(300 \times 20 \times 210 + 200 \times 10 \times 100) \times 240 \times 10^{-6} = 700\ kN.m$$
$$\phi M_n = 0.9 \times 700 = 630\ kN.m$$
$$\frac{M_{u3}}{\phi M_n} = \frac{530}{630} = 0.84$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) بر روی یک تیر دو سر ساده با شیب بسیار کم (فرض کنید افقی) به دهانه ۱۲ متر، مربوط به یک بام با پوشش سبک، بار مرده 1.8 kN/m، بار زنده 3 kN/m، بار برف 3 kN/m و بار باد 7.86 kN/m محاسبه شده است. اگر این تیر شرایط فشردگی مقطع را داشته باشد و دارای مهارجانبی کافی برای ممانعت از کمانش پیچشی-جانبی باشد، حداقل اساس مقطع پلاستیک لازم حول محور قوی به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ مقطع تیر I شکل با تقارن دو محوره و خمش حول محور قوی است. سایر بارگذاری‌ها و ترکیب مربوط به آنها حاکم بر طرح نیست. بارها بدون ضریب می‌باشند. (براساس حالت حدی مقاومت حل شود) فولاد ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) است (آبان ۹۳)

الف) $785 \times 10^3\ mm^3$ ب) $830 \times 10^3\ mm^3$

ج) $670 \times 10^3\ mm^3$ د) $980 \times 10^3\ mm^3$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ: چون هم نیروی مکشی داریم و هم نیروی رو به پایین، باید بیشترین نیرو براساس لنگرخمشی مثبت و منفی وارده محاسبه شود. برای لنگرخمشی مثبت و منفی حداکثر داریم:

$$q_{u1} = 1.4D = 1.4 \times 1.8 = 2.52\ kN/m$$
$$q_{u2} = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r\ or\ S\ or\ R) = 1.2 \times 1.8 + 1.6 \times 0 + 0.5 \times 3 = 3.66\ kN/m$$
$$q_{u3} = 1.2D + 1.6(L_r\ or\ S\ or\ R) + (L\ or\ 0.5(1.6W))$$
$$= 1.2 \times 1.8 + 1.6 \times 3 + \max(0\ or\ 0.5 \times (-1.6 \times 7.86) = 6.96\ kN/m$$
$$q_{u4} = 0.9D + 1.6W = 0.9 \times 1.8 + (-1.6 \times 7.86) = -10.9\frac{kN}{m}$$

پس طراحی برای بیشترین نیروی مکشی (لنگرمنفی) صورت میگیرد (چون مقدار بزرگتری دارد)

$$\mathrm{M_u} = \frac{10.9 \times 12^2}{8} \le 0.9ZF_y \quad \Rightarrow \quad Z \ge 908000\ \mathrm{mm^3}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) براساس تحلیل سازه، لنگرخمشی منفی هر دو انتهای تیری از قاب خمشی مهارشده برای ترکیب بارهای مرده و زنده ضریبدار (با ضرایب مربوط به ترکیب بار مرده به اضافه بار زنده) در حدود 225 kN.m به دست آمده است. طول آزاد تیر برابر ۸ متر و بار گسترده یکنواخت مرده و زنده طراحی آن به ترتیب برابر 30 kN/m و 15 kN/m می‌باشد. با فرض وجود مهار جانبی کافی برای تیر، برای ترکیب بار مرده و زنده و فقط براساس کنترل مقاومت خمشی تیر، کدام مقطع دارای ایمنی کافی و در عین حال اقتصادی‌تر است؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa) است (مهر ۹۶)

الف) IPB240 ب) IPE400

ج) IPE360 د) IPB260

تیرها برای لنگر خمشی حداکثر طراحی می‌شوند و بنابراین حداکثر لنگر در تیر باید محاسبه شود و بر مبنای آن تیر طراحی گردد. چون از مقاطع نورد شده فشرده قرار هست استفاده شود و همچنین تیر دارای مهارجانبی کافی است فقط حالت حدی تسلیم حاکم بر طراحی خواهد بود بنابراین:

$$q_u = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 15 = 60\ kN/m$$
$$|M^-| + |M^+| = \frac{q_u L^2}{8} \Rightarrow 225 + |M^+| = \frac{60 \times 8^2}{8} \Rightarrow |M^+| = 255\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چون از مقاطع نورد شده فشرده قرار هست استفاده شود و همچنین تیر دارای مهارجانبی کافی است فقط حالت حدی تسلیم حاکم بر طراحی خواهد بود بنابراین:

$$M_u \le \phi F_y Z \quad \Rightarrow 255 \times 10^6 = 0.9 \times 240 \times Z \quad \Rightarrow \quad Z \ge 1180555\ mm^3$$

از جدول مقاطع داریم:

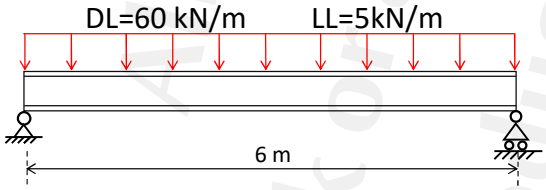
$$Z = \begin{cases} IPB\ 240 = 1053000\ mm^3 \\ IPE\ 400 = 1307000\ mm^3 \\ IPE\ 360 = 1019000\ mm^3 \\ IPB\ 260 = 1283000\ mm^3 \end{cases}$$

دو مقطع IPE 400 و IPB 260 جوابگوی لنگر وارده هستند ولی چون می‌خواهیم اقتصادی باشد باید مقطعی را استفاده کنیم که وزن آن کمتر باشد، بنابراین باید سطح مقطع این دو مقطع نیز مقایسه شود و هر کدام که سطح مقطع کمتری داشته باشد اقتصادی‌تر خواهد بود. به دلیل آنکه A_{IPB260}=118 cm^2 و A_{IPE400}=84.5 cm^2 است، بنابراین IPE400 اقتصادی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر فولادی شکل زیر با مقطع IPE 450 و در طراحی به روش LRFD حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ از وزن تیر صرف نظر شود و تیر در طول خود دارای مهارجانبی کافی است. از مولفه قائم زلزله صرف نظر می‌شود. فولاد ST37 (F_y=240 MPa و E=2×10^5 MPa) (بهمن ۹۷)



الف) 378 kN.m
ب) 360kN.m
ج) 293 kN.m
د) 408 kN.m

پاسخ:

$$1.4D = 1.4 \times 60 = 84\ \frac{kN}{m}$$

$$1.2D + 1.6L = 1.2 \times 60 + 1.6 \times 5 = 80\ \frac{kN}{m}$$

$$M_u = \frac{qL^2}{8} = \frac{84 \times 6^2}{8} = 378\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) (حالت پلاستیک) اگر $L_b \le L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست. یعنی در صورتی که L_b از L_p فراتر نرود، امکان تشکیل مفصل پلاستیک کامل در تیر وجود دارد.

ب-۲) (حالت غیرارتجاعی) در صورتی که $L_p < L_b \le L_r$ باشد:

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0.7S_xF_y\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p$$

ب-۳) (حالت ارتجاعی) در صورتی که $L_b > L_r$ باشد: در این حالت امکان جاری شدن تیر وجود نداشته و کمانش جانبی ارتجاعی برای تیر رخ خواهد داد. حداکثر ظرفیت خمشی برای این حالت طبق مبحث دهم بصورت زیر داده شده است:

$$M_n = F_{cr}S_x \le M_p$$

در روابط فوق:

L_b: فاصلهٔ بین دو مقطع از طول عضو که در آن مقاطع، از تغییرمکان جانبی بال فشاری یا از پیچش کل مقطع جلوگیری شده است. در این بخش برای اختصار و سادگی، فاصلهٔ بین دو تکیه‌گاه جانبی متوالی به عنوان طول مهارنشدهٔ عضو نامیده می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

L_p: طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی غیرالاستیک را مشخص می‌کند.

$$L_p = 1.76r_y\left(E/F_y\right)^{0.5}$$

L_r: طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی کمانش جانبی- پیچشی غیرالاستیک و الاستیک را مشخص می‌کند.

$$L_r = 1.95r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_xh_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_xh_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

F_{cr}: تنش بحرانی کمانش الاستیک جانبی-پیچشی مطابق رابطه زیر:

$$F_{cr} = \frac{C_b\pi^2E}{\left(\frac{L_p}{r_{ts}}\right)^2}\sqrt{1 + 0.078\frac{Jc}{S_xh_0}\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \Rightarrow 1.0$$

تبصره: در عبارت فوق زیر رادیکال را می‌توان به طور محافظه کارانه مساوی واحد در نظر گرفت.

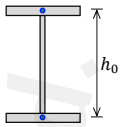
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

E: مدول الاستیسیتهٔ فولاد

J: ثابت پیچشی که مقدار آن را به طور تقریبی می‌توان از طریق رابطهٔ $\frac{1}{3}\sum bt^3$ تعیین نمود که در آن b پهنا و t ضخامت اجزاء مقطع است.

S_x: اساس مقطع الاستیک حول محور x (محور قوی)



h_0: فاصلهٔ مرکز تا مرکز بال‌ها

r_{ts}: شعاع ژیراسیون مؤثر طبق رابطهٔ زیر:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

c: ضریبی است طبق روابط زیر:

- برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن $c = 1.0$

- برای مقاطع ناودانی $c = 0.5h_0\sqrt{I_y/C_w}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

C_w: ثابت تابیدگی

I_y: ممان اینرسی مقطع حول محور (y محور ضعیف)

تبصره ۱: برای مقاطع I شکل دارای دو محور تقارن با بال مستطیلی، $C_w = I_y \frac{h_0^2}{4}$ بوده و در نتیجه برای این نوع مقاطع، رابطهٔ قبلی به صورت زیر ساده می‌شود:

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_0}{2S_x}$$

همچنین r_{ts} را می‌توان مطابق با رابطهٔ زیر به طور محافظه کارانه برابر شعاع ژیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و یک ششم جان حول محور ماربر جان در نظر گرفت:

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1 + \frac{ht_w}{6b_f t_f}\right)}}$$

که t_f و b_f به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع و t_w و h به ترتیب ضخامت و پهنای جان مقطع است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره ۲: 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 b، t_f، h و t_w به ترتیب عرض بال، ارتفاع و ضخامت جان ناودانی هستند.

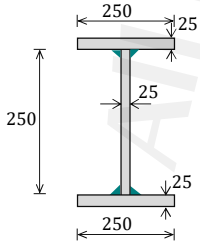
برای سادگی با فرض F_y=240 MPa، پارامترهای مهم برای مقاطع IPE در جدول زیر ذکر شده است.

IPE	$C_w \times 10^6$ mm^6	r_{ts} (mm)	L_p (mm)	L_r (mm)	$J \times 10^3$ (mm4)
100	353	15.8	630	3222	11.53
120	895	17.1	737	3162	16.89
140	1989	19.4	838	3357	24.01
160	3976	21.8	935	3645	35.3
180	7470	24.2	1042	3879	47.23
200	13019	26.6	1138	4239	68.46
220	22774	29.3	1260	4544	89.82
240	376	32.1	1367	4983	127.4
270	70871	36.0	1534	5284	157.1
300	126379	39.8	1702	5645	197.5
330	199841	42.4	1804	6005	275.9
360	313605	45.1	1926	6337	370.8
400	492961	47.5	2007	6602	504.1
450	796207	49.8	2093	6758	660.5
500	1253270	52.1	2190	6984	886.2
550	1894871	54.5	2261	7276	1217
600	2860829	56.9	2368	7580	1646

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) ثابت پیچش تابیدگی مقطع نشان داده شده در شکل زیر، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد مقطع بر حسب میلیمتر است) (اسفند ۹۵)



الف) $1230000\times10^6\ mm^6$ ب) $1850000\times10^6\ mm^6$

ج) $650000\times10^6\ mm^6$ د) $2420000\times10^6\ mm^6$

پاسخ: با فرض اینکه لنگر پلاستیک حول محور قوی مد نظر است داریم:

$$C_w = I_y \frac{h_0^2}{4}$$

$$I_y = 2\times\left(\frac{25\times250^3}{12}\right)+\left(\frac{250\times25^3}{12}\right) = 65\times10^6\ mm^4$$

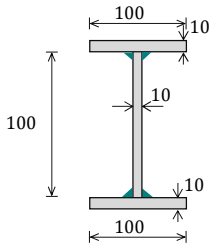
$$h_0 = 250+25 = 275\ mm$$

$$C_w = 65\times10^6\times\frac{275^2}{4} = 1.23\times10^{12}\ mm^6$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار پارامتر ثابت تابیدگی C_w مقطع I شکل زیر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ در شکل ابعاد به میلیمتر است. (دی ۱۴۰۱)



الف) $6000\times10^6\ mm^6$ ب) $3000\times10^6\ mm^6$

ج) $4000\times10^6\ mm^6$ د) $5000\times10^6\ mm^6$

پاسخ: با فرض اینکه لنگر پلاستیک حول محور قوی مد نظر است داریم:

$$C_w = I_y \frac{h_0^2}{4}$$

$$I_y = 2\times\left(\frac{10\times100^3}{12}\right)+\left(\frac{100\times10^3}{12}\right) = 1.675\times10^6\ mm^4$$

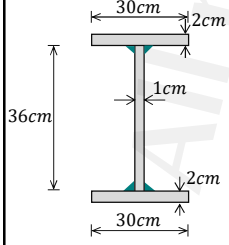
$$h_0 = 100+10 = 110\ mm$$

$$C_w = 1.675\times10^6\times\frac{110^2}{4} = 5067\times10^6\ mm^6$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع مقابل تحت خمش حول محور قوی است. مقدار شعاع ژیراسیون موثر (r_{ts}) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 است. (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (خرداد ۹۳)



الف) 25 mm ب) 50 mm

ج) 85 mm د) 100 mm

پاسخ:

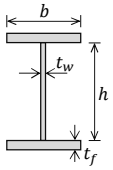
طبق مبحث نهم، (رابطه ۱۰-۲-۵-۱۱) داریم:

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{ht_w}{6b_ft_f}\right)}} = \frac{30}{\sqrt{12\left(1+\frac{36\times1}{6\times30\times2}\right)}} = 8.26$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید یک تیر فولادی با مقطع نشان داده شده در شکل زیر تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارد و $\frac{h}{t_w} = 64$ است. حداکثر مقدار b برای آنکه بال مقطع لاغر محسوب نشود، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (شهریور ۱۴۰۱)



الف) $1.9\sqrt{E/F_y}t$ ب) $1.6\sqrt{E/F_y}t$

ج) $0.95\sqrt{E/F_y}t$ د) $0.8\sqrt{E/F_y}t$

پاسخ:

$$\frac{b}{2t} \le 0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}} \quad , \quad K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{64}} = 0.5$$

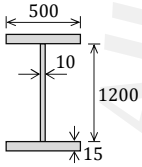
مقطع متقارن $\Rightarrow \frac{S_{xt}}{S_{xc}} = 1.0 \ge 0.7 \quad \Rightarrow F_L = 0.7F_y$

$$\frac{b}{2t} \le 0.95\sqrt{\frac{0.5E}{0.7F_y}} \Rightarrow b \le 1.6\sqrt{E/F_y}t$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر ورق شکل زیر تحت خمش حول محور قوی قرار دارد. بال‌های این ورق به طور سرتاسری و پیوسته توسط جوش گوشه با بعد ۱۰ میلیمتر به جان متصل می‌باشند. در خصوص طبقه‌بندی مقطع تیر از منظر کمانش موضعی، کدام گزینه صحیح است؟ مقدار F_y=240 MPa و واحدها در شکل به میلیمتر می‌باشد. (آبان ۹۳)



الف) مقطع با بال فشرده و جان لاغر

ب) غیرفشرده (مقطع با بال و جان غیرفشرده)

ج) فشرده (مقطع با بال و جان فشرده)

د) مقطع با اجزای لاغر (مقطع با بال غیرفشرده و جان لاغر)

پاسخ: ابتدا کنترل بال از منظر کمانش موضعی: با توجه به تقارن مقطع، $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} = 1.0$ و بنابراین F_L=0.7F_y است.

$$\lambda = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{250}{15} = 16.6 \quad \lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.9 \quad \lambda_{rf} = 0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{1200}{10}}} = 0.36 \le 0.76 \quad \Rightarrow \quad \lambda_{rf} = 0.95\sqrt{\frac{0.36 \times 2 \times 10^5}{0.7 \times 240}} = 19.6$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین بال غیرفشرده است:

$$\lambda_{pf} < \lambda < \lambda_{rf}$$

کنترل جان از منظر کمانش موضعی:

$$\lambda_w = \frac{1200}{10} = 120 \qquad \lambda_{pw} = 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \qquad \lambda_{rw} = 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 164.5$$

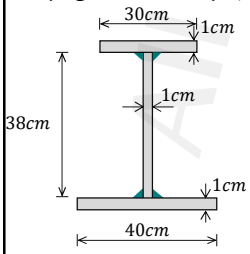
بنابراین جان غیر فشرده است:

$$\lambda_{pw} < \lambda_w < \lambda_{rw}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر ورقی با مقطع مقابل از فولاد با ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) با اتصال جوش جان به بال ساخته شده است و تحت لنگر خمشی مثبت قرار دارد. بال فشاری این مقطع از نظر کمانش موضعی چگونه طبقه‌بندی می‌شود؟ (خرداد ۹۳)



الف) لاغر ب) فشرده

ج) غیرفشرده د) با اطلاعات داده شده قابل بررسی نمی‌باشد.

پاسخ: طبق ردیف ۱۱ جدول ۱۰-۲-۲-۳ داریم:

$$\lambda_r = 0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}} \quad \Rightarrow \quad 0.35 \le k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{38}{1}}} = 0.65 \le 0.76$$

$$Y = \frac{300\times 10\times 395 + 380\times 10\times 200 + 400\times 10\times 5}{300\times 10 + 380\times 10 + 400\times 10} = 182\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق مبحث دهم، برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده مقدار F_L از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$F_L = 0.7F_y \qquad for \quad \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7$$

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}}F_y \geq 05F_y \qquad for \quad \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$$

که در آن: S_{xt} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی و S_{xc} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} = \frac{I/182}{I/(400-182)} = 0.835 \quad \Rightarrow \quad F_L = 0.7F_y = 168\ MPa$$

$$\lambda_r = 0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}} = 0.95\sqrt{\frac{0.65 \times 2 \times 10^5}{168}} = 27.8 > \square = \frac{150}{10} = 15$$

$$\lambda_p = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 10.9 < \square = \frac{150}{10} = 15$$

بنابراین مقطع غیر فشرده است ولی لاغر نیست

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیرخمشی با مقطع IPE270 تحت خمش یکنواخت حول محور قوی قرار دارد. در صورتیکه دهانه تیر ۶ متر و فواصل تکیه‌گاه‌های جانبی بال فشاری ۳ متر باشد، مقاومت خمشی اسمی این عضو به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتراست؟ M_p لنگر پلاستیک بوده و $Z_x=1.12S_x$ فرض شود؟ (آبان ۹۳)

الف) $0.75M_p$ ب) M_p ج) $0.9M_p$ د) $0.85M_p$

پاسخ: مقدار تنش تسلیم در صورت سوال داده نشده است. آن را ۲۴۰ مگاپاسکال فرض می‌کنیم.

$$L_b = 3000\ mm$$

$$L_p = 1.76r_y(E/F_y)^{0.5} = 1.76 \times 30.2(2 \times 10^5/240)^{0.5} = 1534\ mm$$

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{ht_w}{6b_f t_f}\right)}} = \frac{135}{\sqrt{12\left(1+\frac{(270-2\times10.2)\times6.6}{6\times135\times10.2}\right)}} = 35.58$$

$$J = \frac{2 \times 135 \times 10.2^3 + (270-2\times10.2)\times6.6^3}{3} = 119428$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1.95 \times 35.58 \frac{2\times 10^5}{0.7\times 240}\sqrt{\frac{119428\times 1}{62222\times(270-10.2)} + \sqrt{\left(\frac{119428\times 1}{62222\times(270-10.2)}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7\times 240}{2\times 10^5}\right)^2}}$$

$$= 4900\ mm$$

با توجه به آنکه $L_p<L_b\le L_r$ است. همچنین با توجه به خمش یکنواخت $C_b=1.0$ است:

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7S_xF_y)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p$$

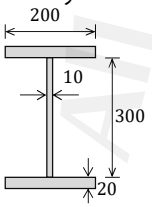
$$M_n = 1.0\left[M_p - (M_p - 0.7\times 0.89 Z_x F_y)\left(\frac{3000-1534}{4900-1534}\right)\right]$$

$$= \left[M_p - (M_p - 0.623M_p)\times 0.43\right] = 0.83M_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه مقطع یک تیر مطابق شکل مقابل باشد، طول مهار نشده آن که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد ST37 ($E=2\times10^5$ MPa و $F_y=240$ MPa) (مرداد ۹۴)



الف) 3 m ب) 2.5 m

ج) 2 m د) 1.5 m

پاسخ:

$$L_p = 1.76 r_y (E/F_y)^{0.5}$$

$$I_y = \frac{1}{12}[2\times 20\times 200^3 + 300\times 10^3] = 26.69\times 10^6\ mm^4$$

$$A = 2\times 20\times 200 + 300\times 10 = 11000\ mm^2$$

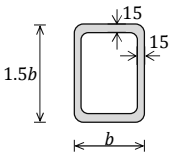
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{26.69\times 10^6}{11000}} = 49\ mm \quad \Rightarrow \quad L_p = 1.76\times 49(2\times 10^5/240)^{0.5}$$

$$= 2489\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع نشان داده شده در شکل زیر، تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی دومحوره نسبت به محورهای اصلی مقطع قرار دارد. حداکثر مقدار b حدودا چقدر می‌تواند باشد تا اجزاء مقطع از منظر کمانش موضعی در برابر نیروی محوری فشاری غیر لاغر و در برابر لنگرهای خمشی فشرده باشند؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa و $E=2\times10^5$ MPa) (بهمن ۹۴)



الف) 650 mm　　ب) 530 mm

ج) 430 mm　　د) 350 mm

پاسخ:شرط غیر لاغر بودن برای نیروی محوری فشاری (جدول ۱۰-۲-۲-۲):

$$\frac{1.5b-3\times15}{15}\le1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}\Rightarrow b\le434\ mm$$

چون خمش دو محوره است پس ضلع بزرگتر مبنای محاسبات قرار میگیرد. شرط فشرده بودن برای لنگر خمشی

$$\frac{1.5b-3\times15}{15}\le1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}\Rightarrow b\le353\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) کدامیک از عبارت‌های زیر در سازه‌های فولادی صحیح است؟ (بهمن ۹۴)

الف) تنش فشاری بحرانی ستون‌های با فولادهای پرمقاومت همواره کوچکتر از تنش فشاری بحرانی ستون‌های با فولادهای کم مقاومت است.

ب) مقاومت خمشی طراحی اعضای خمشی برای تمامی مقاطع I شکل، همواره متناسب با تنش تسلیم نوع فولاد می‌باشد.

ج) تنش فشاری بحرانی ستون‌های با فولادهای پرمقاومت همواره بزرگتر از تنش فشاری بحرانی ستون‌های با فولادهای کم مقاومت است.

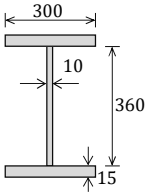
د) مقاومت خمشی طراحی اعضای خمشی برای برخی مقاطع I شکل، ممکن است متناسب با تنش تسلیم نوع فولاد نباشد.

پاسخ: در صورتی که $L_b>L_r$ باشد، مقاومت خمشی مستقل از نوع فولاد خواهد بود و همچنین در صورتی که $\lambda<\lambda c$ مقاومت فشاری مقطع به دلیل کمانش الاستیک مستقل از نوع فولاد خواهد بود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه مقطع یک تیر مطابق شکل مقابل باشد، طول مهار نشده آن که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد ST37 ($E=2\times10^5$ MPa و $F_y=240$ MPa) (شهریور۹۵)



الف) 1.72 ب) 4.72

ج) 2.72 د) 3.72

پاسخ: باید مقدار $L_b=L_p$ باشد، تا حالت حدی تسلیم خمشی و حالت حدی کمانش پیچشی جانبی غیر ارتجاعی به طور همزمان حاکم بر طرح شوند.

$$L_p = 1.76 r_y (E/F_y)^{0.5}$$

$$I_y = 2\left[\frac{1.5\times30^3}{12}\right] + \frac{36\times1^3}{12} = 6753\ cm^4 \quad \Rightarrow \quad A = 2\times1.5\times30 + 36 = 126\ cm^2$$

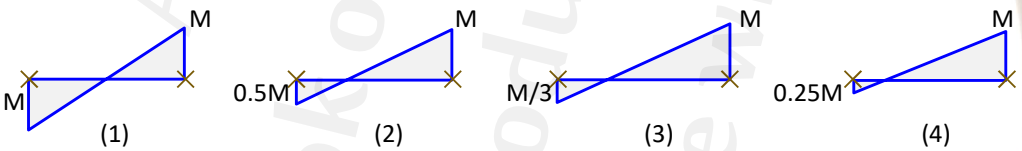
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6753}{126}} = 7.32 \quad \Rightarrow \quad L_p = 1.76\times7.32(2\times10^5/240)^{0.5} = 372\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل‌های زیر نمودار لنگر خمشی چند تیر فولادی به طول L که در آنها مهار جانبی فقط در ابتدا و انتهای تیر قرار دارند، نشان داده شده است. کدامیک از تیرهای زیر به لحاظ کمانش جانبی-پیچشی از شرایط بحرانی‌تری برخوردار است؟ (بهمن ۹۷)

الف) تیر (۱) ب) تیر (۲) ج) تیر (۳) د) تیر (۴)

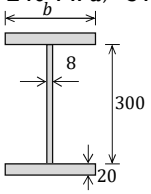


پاسخ: با توجه به اینکه در تیر شماره ۴ طول بیشتری از قسمت بال فوقانی تحت فشار است و این نمودار نزدیک به حالت یکنواخت است، وضعیت تیر از نظر کمانش جانبی-پیچشی بحرانی‌تر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر فولادی با مقطع شکل زیر چنانچه فاصله مهارهای جانبی برابر ۳ متر باشد، آنگاه بدون توجه به نمودار لنگرخمشی تیر، حداقل پهنای بال مقطع (b) برای آنکه حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی حاکم بر مقاومت خمشی اسمی تیر نشود، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد به میلیمتر است)؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa و $E=2\times10^5$ MPa) (بهمن ۹۷)



الف) 200 mm　　ب) 230 mm

ج) 260 mm　　د) 300 mm

پاسخ: باید $L_b \le L_p$ باشد، تا حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی حاکم بر مقاومت خمشی اسمی تیر نشود :

$$L_p = 1.76 r_y (E/F_y)^{0.5} = 1.76 \times r_y (2\times10^5/240)^{0.5} = 3000 \quad \Rightarrow r_y \ge 59\ mm$$

$$I_y = 2\times\frac{20\times b^3}{12} + \frac{300\times 8^3}{12} = \frac{10}{3}b^3 + 12800\ mm^4$$

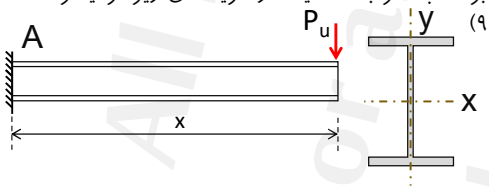
$$A = 2\times 20b + 300\times 8 = 40b + 2400\ mm^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{\frac{10}{3}b^3 + 12800}{40b + 2400}} \ge 59 \quad \Rightarrow b \ge 229\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل زیر، تیر فقط در نقطه A تکیه‌گاه جانبی دارد. اگر مقطع تیر IPE 220 بوده و مقاومت خمشی اسمی آن حول محور x برابر $0.8M_p$ تیر باشد، حداکثر طول مجاز تیر برحسب متر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa و $E=2\times10^5$ MPa) (بهمن ۹۷)



الف) 3　　ب) 2.5

ج) 2　　د) 1.5

پاسخ: چون مقاومت خمشی اسمی از M_p کمتر است یعنی $L>L_p$ است. ابتدا فرض می‌کنیم $L<L_r$ باشد. چون تیر طره است، بنابراین C_b=1.0 خواهد بود. از جدول آماده داده شده برای این مقطع، r_{st}=29.3 mm و L_r=4544 mm و L_p=1260 mm خواهد شد.

$$M_p = Z_x F_y = 285000\times 240\times 10^{-6} = 68.4\ kN.m$$

$$S_x = 252000\ mm^3 \quad \Rightarrow 0.7F_yS_x\times10^{-6} = 42.34\ kN.m$$

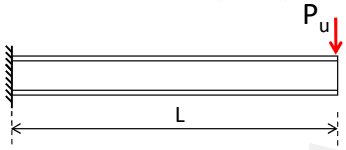
$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7S_xF_y)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] = 0.8\times 68.4$$

$$= \left[68.4 - (68.4 - 42.34)\left(\frac{L_b - 1260}{4544 - 1260}\right)\right] \quad \Rightarrow L_b = 3000\ mm < L_r$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک عضو طره‌ای که انتهای آزاد آن فاقد مهارجانبی بوده و تحت اثر بار متمرکز P_u در انتهای آزاد قرار دارد، دارای مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن بوده و تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارد. اگر در این تیر $L_p=0.5L$ و $L_r=1.5L$ محاسبه شده باشد و $Z_x=1.25S_x$ باشد، مقدار مقاومت خمشی طراحی آن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (اردیبهشت ۹۷)



الف) $0.9M_p$ ب) $0.78M_p$

ج) $0.7M_p$ د) $0.56M_p$

پاسخ: چون تیر طره است، بنابراین $C_b=1.0$ خواهد بود. با توجه به اینکه $L_p<L_b\leq L_r$ است، داریم:

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7S_xF_y)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 1.0\left[M_p - \left(M_p - \frac{0.7M_p}{1.25}\right)\left(\frac{L - 0.5L}{1.5L - 0.5L}\right)\right] = 0.702M_p \leq 0.9M_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر دوسر ساده تحت اثر بار گسترده یکنواخت که مقطع آن نیمرخ IPE 270 است، در صورتی که مقدار تنش تسلیم فولاد مصرفی برابر $F_y=275$ MPa باشد، طول مهارنشده عضو در مرز بین حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی برحسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ تیر IPE 270 تحت اثر لنگرخمشی حول محور قوی قرار دارد. (مهر ۹۹)

الف) 1.41 ب) 3.25

ج) 4.75 د) 5.55

پاسخ: باید مقدار طول L_r تعیین شود. از جدول آماده شده، $r_{ts}=36$ mm و $J=157000$ mm^4 است.

$$L_r = 1.95r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_xh_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_xh_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1.95$$

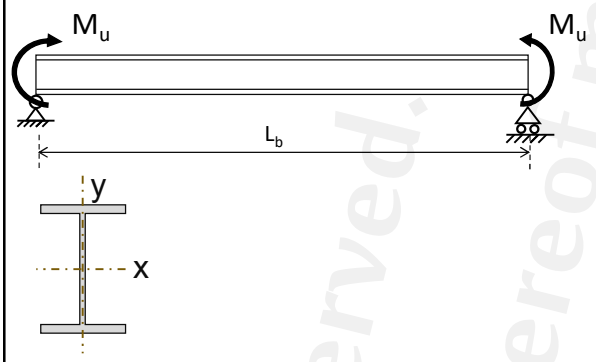
$$\times 36\frac{2 \times 10^5}{0.7 \times 275}\sqrt{\frac{157000 \times 1}{428800 \times (270 - 10.2)} + \sqrt{\left(\frac{157000 \times 1}{428888 \times (270 - 10.2)}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7 \times 275}{2 \times 10^5}\right)^2}}$$

$$= 4740\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر دو سر ساده شکل زیر دارای مقطع فشرده، اگرمهارهای جانبی بال فشاری فقط در ابتدا و انتهای تیر بوده و $L_b=2L_p=L_r/2$ باشد، مقدار M_n تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فرض کنید مقطع تیر متقارن است. (شهریور ۱۴۰۱)



الف) $\frac{1}{3}(2M_p+0.7M_y)$

ب) $\frac{2}{3}(M_p+0.3M_y)$

ج) $\frac{2}{3}(M_p+0.7M_y)$

د) $\frac{1}{3}(M_p+0.7M_y)$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

داریم $L_p<L_b\leq L_r$ و نمودار لنگر خمشی به صورت یکنواخت است. بنابراین $C_b=1.0$ است.

$$M_n=C_b\left[M_p-(M_p-0.7S_xF_y)\left(\frac{L_b-L_p}{L_r-L_p}\right)\right]\leq M_p$$

$$M_n=1.0\left[M_p-(M_p-0.7M_y)\left(\frac{2L_p-L_p}{4L_p-L_p}\right)\right]=M_p-\frac{1}{3}M_p+\frac{1}{3}\times 0.7M_y$$

$$=\frac{1}{3}(2M_p+0.7M_y)$$

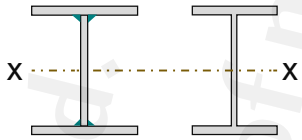
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن با بال‌های غیرفشرده و یا لاغر و جان فشرده حول محور قوی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۳ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با دو محور تقارن با بال‌های غیر فشرده یا لاغر و جان فشرده که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی کمانش جانبی-پیچشی و کمانش موضعی بال فشاری در نظر گرفته شود

الف) حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی

الزامات این بخش عینا شبیه بند ۱۰-۲-۵-۲-ب است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری

ب-۱) برای مقطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_yS_x)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$

ب-۱) برای مقطع با بال‌های لاغر:

$$M_n = \frac{0.9Ek_cS_x}{\lambda_f^2}$$

که در آن $\lambda_f = b_f/2t_f$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

t_f و b_f به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع، S_x اساس مقطع الاستیک حول محور x

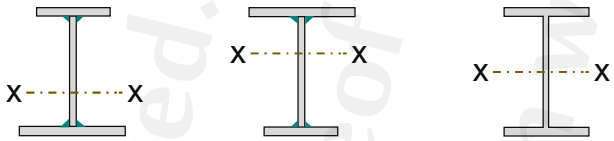
همچنین k_c برابر با $4/\sqrt{h/t_w}$ که نباید از 0.35 کمتر و از 0.76 بیشتر باشد. t_w و h به ترتیب ضخامت و پهنای ورق جان مقطع براساس تعریف بند ۱۰-۲-۲-۴ است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی سایر اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده یا غیر فشرده یا لاغر و جان فشرده یا غیرفشرده تحت اثر خمش حول محور قوی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۴ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی سایر اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن که جان به وسط ورق بال متصل شده و دارای بال‌های فشرده یا غیرفشرده یا لاغر و جان فشرده یا غیرفشرده هستند که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم بال فشاری، کمانش جانبی- پیچشی، کمانش موضعی بال فشاری و تسلیم بال کششی در نظر گرفته شود.

تبصره: مقاومت خمشی اسمی این نوع اعضا را به طور محافظه کارانه می‌توان براساس ضوابط بند ۱۰-۲-۵-۵ (بند بعدی) نیز تعیین نمود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الف) تسلیم بال فشاری

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc}$$

که در آن:

F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، S_{xc}: اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری حول محور x، M_{yc}: لنگر تسلیم نسبت به بال فشاری و برابر با $F_y S_{xc}$، R_{pc}: ضریب پلاستیک جان مقطع براساس حالت حدی تسلیم بال فشاری مطابق روابط زیر:

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$ و $\lambda_w \le \lambda_{pw}$ باشد: $R_{pc} = M_p / M_{yc}$

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$ و $\lambda_w > \lambda_{pw}$ باشد: $R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1\right)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right) \le \frac{M_p}{M_{yc}}$

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} \le 0.23$ باشد: $R_{pc} = 1$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

I_y: ممان اینرسی مقطع حول محور y، I_{yc}: ممان اینرسی بال فشاری مقطع حول محور y، $M_p=Z_xF_y$ لنگر پلاستیک مقطع حول محور x که نباید بیشتر از $1.6F_yS_x$ در نظر گرفته شود.

Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور x و S_x اساس مقطع الاستیک حول محور x است. همچنین $\lambda_w = h_c/t_w$

$\lambda_p = \lambda_{pw}$ حد لاغری برای جان فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۴

$\lambda_r = \lambda_{rw}$ حد لاغری برای جان غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۴

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی الاستیک تا آغاز گردی ریشهٔ اتصال جان به بال، برای مقاطع نوردشده

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا نزدیکترین خط وسایل اتصال در ناحیهٔ فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با وسایل اتصال غیر از جوش

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا وجه داخلی بال فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جوشی بال به جان

t_w ضخامت جان است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) اگر $L_b \le L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۲) در صورتی که $L_p < L_b \le L_r$ باشد:

$$M_n = C_b\left[R_{pc}M_{yc} - \left(R_{pc}M_p - F_L S_{xc}\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le R_{pc}M_{yc}$$

ب-۳) در صورتی که $L_b > L_r$ باشد:

$$M_n = F_{cr}S_{xc} \le R_{pc}M_{yc}$$

در روابط فوق:

C_b : ضریب اصلاح کمانش جانبی-پیچشی مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۵-۱-۳

R_{pc} و M_{yc} و S_{xc} مشابه تعاریف قسمت (الف) از بند ۱۰-۲-۵-۴

L_b : طول مهار نشده عضو

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

L_p طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی غیرالاستیک را مشخص می‌کند

$$L_p = 1.1 r_t \left(E/F_y\right)^{0.5}$$

L_r طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی کمانش جانبی- پیچشی غیرالاستیک و الاستیک را مشخص می‌کند:

$$L_r = 1.95 r_t \frac{E}{F_L}\sqrt{\frac{J}{S_{xc}h_o}+\sqrt{\left(\frac{J}{S_{xc}h_o}\right)^2+6.76\left(\frac{F_L}{E}\right)^2}}$$

F_{cr}: تنش بحرانی کمانش الاستیک جانبی-پیچشی، مطابق رابطهٔ زیر:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_p}{r_t}\right)^2}\sqrt{1+0.078\frac{J}{S_{xc}h_0}\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

E: مدول الاستیسیتهٔ فولاد

J: ثابت پیچشی در حالتی $I_{yc}/I_y \le 0.23$ باشد، مقدار آن برابر صفر در نظر گرفته میشود.

h_0: فاصلهٔ مرکز تا مرکز بال‌ها

F_L تنش اسمی بال فشاری که مرز کمانش الاستیک و غیر الاستیک را نشان می‌دهد و از طریق روابط زیر تعیین می‌شود:

اگر $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge 0.7$ باشد: $F_L = 0.7F_y$

اگر $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$ باشد: $F_L = 0.7\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge 0.5F_y$

S_{xt} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی حول محور x

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

r_t شعاع ژیراسیون مؤثر برای کمانش جانبی-پیچشی مطابق روابط زیر:

- برای مقاطع I شکل با بال فشاری مستطیلی به طور محافظه کارانه:

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6}a_w \frac{h^2}{h_o d}\right)}}$$

یا به طور محافظه‌کارانه‌تر:

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1 + \frac{1}{6}a_w\right)}}$$

برای مقاطع I شکل با بال فشاری غیرمستطیلی نظیر بال‌های تقویت شده با ورق یا ناودانی، r_t برابر با شعاع ژیراسیون قسمتی از مقطع شامل مجموع بال فشاری و اجزای تقویت کنندهٔ آن به همراه یک سوم ناحیهٔ فشاری جان حول محور ماربر جان تیر (محور y) که در آن:

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

t_{fc} و b_{fc} به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع

t_w و h_c مطابق تعاریف بند ۱۰-۲-۵-۴-الف

h_0 فاصله مراکز دو بال

d ارتفاع کل مقطع

h ارتفاع جان برابر فاصله خالص بین دو بال است.

پ) کمانش موضعی بال فشاری

پ-۱) برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال فشاری نیست.

پ-۲) برای مقاطع با بال فشاری غیرفشرده:

$$M_n = R_{pc}M_{yc} - \left(R_{pc}M_p - F_L S_{xc}\right)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ-۳) برای مقاطع با بال فشاری لاغر:

$$M_n = \frac{0.9Ek_cS_{xc}}{\lambda_f^2}$$

F_L مطابق تعاریف بند ۱۰-۲-۵-۴-ب

R_{pc} و M_{yc} مطابق تعاریف بند ۱۰-۲-۵-۴-الف

همچنین $\lambda_f = b_{fc}/2t_{fc}$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

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

همچنین k_c برابر با $4/\sqrt{h/t_w}$ که نباید از 0.35 کمتر و از 0.76 بیشتر باشد. t_w و h به ترتیب ضخامت و ارتفاع ورق جان مقطع براساس تعریف بند ۱۰-۲-۲-۴ است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) تسلیم بال کششی

ت-۱) چنانچه $S_{xt} \geq S_{xc}$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن تسلیم بال کششی نیست.

ت-۲) درصورتیکه $S_{xt} < S_{xc}$ باشد:

$$M_n = R_{pt}M_{yt}$$

که در آن:

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

S_{xt} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی حول محور x

M_{yt} لنگر تسلیم نسبت به بال کششی و برابر با F_yS_{xt}

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

R_{pt} ضریب پلاستیک جان مقطع براساس حالت حدی تسلیم بال کششی مطابق روابط زیر:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$ و $\lambda_w \leq \lambda_{pw}$ باشد: $R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}}$

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$ و $\lambda_w > \lambda_{pw}$ باشد: $R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1\right)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)$

اگر $\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$ باشد: $R_{pt} = 1.0$

که در آن:

I_y ممان اینرسی مقطع حول محور y

I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری مقطع حول محور y

$M_p=Z_xF_y$ لنگر پلاستیک مقطع حول محور x که نباید بیشتر از $1.6F_yS_x$ در نظر گرفته شود.

Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور x و S_x اساس مقطع الاستیک حول محور x است. همچنین $\lambda_w = h_c/t_w$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$\lambda_p = \lambda_{pw}$ حد لاغری برای جان فشرده مطابق جدول ۴-۲-۲-۱۰

$\lambda_r = \lambda_{rw}$ حد لاغری برای جان غیرفشرده مطابق جدول ۴-۲-۲-۱۰

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی الاستیک تا آغاز گردی ریشهٔ اتصال جان به بال، برای مقاطع نوردشده

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا نزدیکترین خط وسایل اتصال در ناحیهٔ فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با وسایل اتصال غیر از جوش

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا وجه داخلی بال فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جوشی بال به جان

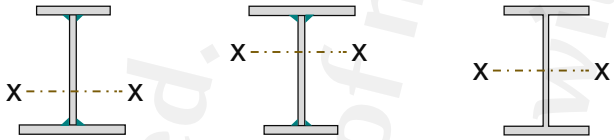
t_w ضخامت جان است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده و غیرفشرده یا لاغر و جان لاغر تحت اثر خمش حول محور قوی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۵ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده و غیرفشرده یا لاغر و جان لاغر که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم بال فشاری، کمانش جانبی- پیچشی، کمانش موضعی بال فشاری و تسلیم بال کششی در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الف) تسلیم بال فشاری

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc}$$

که در آن:

F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، S_{xc}: اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری حول محور x

R_{pg}: ضریب تقلیل مقاومت خمشی برای جان لاغر مطابق رابطهٔ زیر:

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) \le 1.0$$

که در آن: E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی الاستیک تا آغاز گردی ریشهٔ اتصال جان به بال، برای مقاطع نوردشده

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا نزدیکترین خط وسایل اتصال در ناحیهٔ فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با وسایل اتصال غیر از جوش

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

h_c = دو برابر فاصلهٔ محور خنثی در حالت الاستیک تا وجه داخلی بال فشاری، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جوشی بال به جان

t_w ضخامت جان

a_w نسبت دو برابر مساحت جان تحت فشار به مساحت بال فشاری مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۵-۲۷ که نباید بزرگتر از ۱۰ در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) اگر $L_b \leq L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۲) در صورتی که $L_b > L_p$ باشد:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

R_{pg} ضریب تقلیل مقاومت خمشی مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۵-۳۵

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

F_{cr} تنش کمانشی مطابق روابط زیر:

$$\begin{cases} F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y)\left(\dfrac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq F_y & \Rightarrow \quad L_p < L_b \leq L_r \\ F_{cr} = \dfrac{C_b \pi^2 E}{(L_b/r_t)^2} \leq F_y & \Rightarrow \quad L_r < L_b \end{cases}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

L_b فاصلهٔ بین مهارهای جانبی متوالی

مقادیر L_p و L_r از طریق روابط زیر تعیین می‌شوند

$$L_p = 1.1 r_t \left(E/F_y\right)^{0.5}$$
$$L_r = \pi r_t \left(E/0.7F_y\right)^{0.5}$$

پ) کمانش موضعی بال فشاری

پ-۱) برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال فشاری نیست.

پ-۲) برای مقاطع با بال فشاری غیرفشرده و لاغر:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc}$$

R_{pg} ضریب تقلیل مقاومت خمشی مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۵-۳۵

S_{xc} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

F_{cr} تنش کمانشی مطابق روابط زیر:

* برای مقاطع با بال فشاری غیرفشرده:

$$F_{cr} = F_y - (0.3F_y)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$

* برای مقاطع با بال فشاری لاغر:

$$F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\lambda_f^2}$$

همچنین $\lambda_f = b_{fc}/2t_{fc}$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

S_{xc} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری حول محور x. همچنین k_c برابر با $4/\sqrt{h/t_w}$ که نباید از 0.35 کمتر و از 0.76 بیشتر باشد. t_w و h به ترتیب ضخامت و ارتفاع ورق جان مقطع براساس تعریف بند ۱۰-۲-۲-۴ است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) تسلیم بال کششی

ت-۱) چنانچه $S_{xt} \geq S_{xc}$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن تسلیم بال کششی نیست.

ت-۲) درصورتیکه $S_{xt} < S_{xc}$ باشد:

$$M_n = F_y S_{xt}$$

که در آن:

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

S_{xt} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی حول محور x

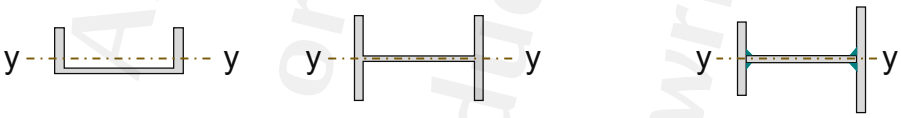
F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف

طبق بند ۱۰-۲-۵-۶ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی که تحت اثر خمش حول محور ضعیف قرار دارند.



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت حدی تسلیم و کمانش موضعی بال در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

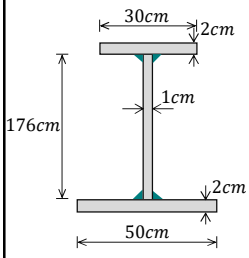
$$M_n = M_P = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

که در آن F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، S_y اساس مقطع الاستیک حول محور ضعیف (محور y) نسبت به دورترین تار، Z_y اساس مقطع پلاستیک حول محور ضعیف (محور y)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) براساس حالت حدی تسلیم، مقاومت خمشی اسمی مقطع تیرورق مقابل، حول محور ضعیف به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (آذر ۹۲)



الف) 610 kN.m　　ب) 230 kN.m

ج) 420 kN.m　　د) 390 kN.m

پاسخ:طبق بند ۱۰-۲-۵-۶ داریم:

$$M_n = M_P = F_y Z_y \le 1.6 F_y S_y$$

$$I_y = \frac{2\times 50^3}{12} + \frac{2\times 30^3}{12} + \frac{176\times 1^3}{12} = 25348\ cm^4$$

$$S_y = \frac{I_y}{c} = \frac{25348}{25} = 1013.92\ cm^3$$

$$Z_y = 2\times(2\times 25\times 12.5 + 2\times 15\times 7.5 + 176\times 0.5\times 0.25) = 1744\ cm^3$$

$$M_n = \min(2400\times 1744\times 10^{-4} \& 1.6\times 2400\times 1013.92\times 10^{-4}) = 389.34\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب)کمانش موضعی بال

ب-۱) برای مقاطع با بال‌های فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال نیست.

ب-۲) برای مقاطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_yS_y)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$

ب-۳) برای مقاطع با بال‌های لاغر:

$$M_n = \frac{0.7ES_y}{\lambda_f^2}$$

که در آن S_y، اساس مقطع الاستیک حول محور ضعیف (محور y) نسبت به دورترین تار و همچنین $\lambda_f = b/t_f$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

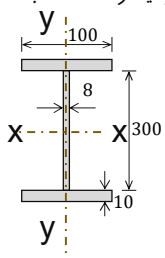
$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

t_f ضخامت بال مقطع و b برای مقطع I شکل برابر با نصف پهنای بال، برای مقطع ناودانی برابر با پهنای بال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت خمشی حول محورهای قوی و ضعیف تیرورق I شکل زیر از جنس S235 به طول ۶ متر با فرض تامین تکیه‌گاه جانبی کافی در سرتاسر طول تیر، برحسب کیلونیوتن-متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد به میلیمتر است)؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa و E=2×10^5 MPa) (بهمن ۹۷)



الف) ۱۰۴ و ۱۱ ب) ۱۰۴ و ۹

ج) ۸۷ و ۹ د) ۸۷ و ۱۱

$$Z_x = 490000\ mm^3$$
$$Z_y = 54800\ mm^3$$
$$S_x = 412917\ mm^3$$
$$S_y = 33589\ mm^3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کنترل مقطع از منظر کمانش موضعی:

$$\lambda_f = \frac{\frac{100-8}{2}}{10} = 4.6 \le \lambda_{fp} = 0.38\sqrt{\frac{200000}{235}} = 11$$

بال فشرده است.

$$\lambda_w = \frac{300}{8} = 37.5 \le \lambda_{pw} = 3.76\sqrt{\frac{200000}{235}} = 109$$

جان هم فشرده است. مقطع فشرده با تکیه‌گاه جانبی کافی است و فقط حالت حدی تسلیم بررسی می‌شود:

برای خمش حول محور قوی:

$$\phi M_p = 0.9 Z_x F_y = 0.9 \times 490000 \times 235 \times 10^{-6} = 103.6\ kN.m$$

مقاومت خمشی حول محور ضعیف:

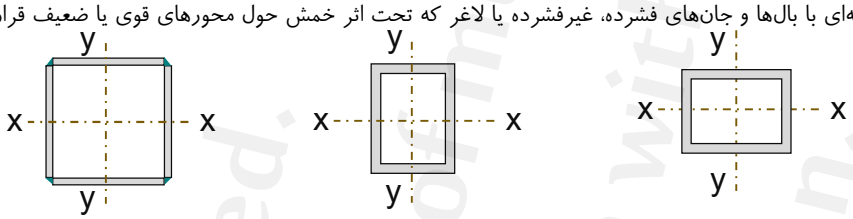
$$\phi M_p = \phi \times \min(F_y Z_y \& 1.6 F_y S_y) = 0.9 \times 235 \times \min(54800 \& 1.6 \times 33589)\ 10^{-6}$$
$$= 11.37\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای تحت اثر خمش حول محورهای قوی و ضعیف

طبق بند ۱۰-۲-۵-۷ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با بال‌ها و جان‌های فشرده، غیرفشرده یا لاغر که تحت اثر خمش حول محورهای قوی یا ضعیف قرار دارند



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش موضعی بال، کمانش موضعی جان و کمانش جانبی- پیچشی در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_P = F_y Z$$

که در آن F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، Z اساس مقطع پلاستیک حول محور خمش است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) کمانش موضعی بال

ب-۱) برای مقاطع با بال‌های فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال نیست.

ب-۲) برای مقاطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)$$

ب-۳) برای مقاطع با بال‌های لاغر:

$$M_n = F_y S_e$$

که در آن S اساس مقطع الاستیک حول محور خمش و همچنین $\lambda_f = b/t_f$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

b پهنای بال مقطع مطابق تعریف به کاررفته در بخش ۱۰-۲-۲ و t_f ضخامت بال مقطع، S_e اساس مقطع الاستیک مؤثر که بر مبنای پهنای مؤثر بال فشاری b_e محاسبه می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

b_e پهنای مؤثر بال فشاری مقاطع قوطی شکل و جعبه‌ای براساس روابط زیر:

- در مقاطع قوطی شکل (HSS):

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{0.38}{\lambda_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq b$$

- در مقاطع جعبه‌ای:

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{0.34}{\lambda_f} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq b$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) کمانش موضعی جان

پ-۱) برای مقاطع با جان‌های فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی جان نیست.

پ-۲) برای مقاطع با جان‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \leq M_p$$

پ-۳) برای مقاطع با جان‌های لاغر:

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S$$

که در آن:

$$F_{cr} = \frac{3.6E}{\lambda_f^2} \leq F_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) کمانش جانبی-پیچشی

ت-۱) اگر $L_b \leq L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ت-۲) در صورتی که $L_p < L_b \leq L_r$ باشد:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7SF_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

ت-۳) در صورتی که $L_b > L_r$ باشد:

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JA_g}}{L_b/r_y} \leq M_p$$

در روابط فوق:

C_b : ضریب اصلاح کمانش جانبی-پیچشی مطابق ۱۰-۲-۵-۱

S: اساس مقطع الاستیک حول محور خمش (محور قوی)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

L_p طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی غیرالاستیک را مشخص می‌کند

$$L_p = 0.13Er_y \frac{\sqrt{JA_g}}{M_p}$$

L_r طول مهارنشدهٔ عضو مطابق رابطهٔ زیر که مرز بین حالت حدی کمانش جانبی- پیچشی غیرالاستیک و الاستیک را مشخص می‌کند:

$$L_r = 2Er_y \frac{\sqrt{JA_g}}{0.7F_yS}$$

E: مدول الاستیسیتهٔ فولاد، J ثابت پیچشی مقطع، A_g مساحت ناخالص مقطع، r_y شعاع ژیراسیون مقطع حول محور عمود بر محور خمش (محور ضعیف)

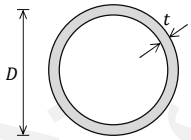
یادداشت: حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی در مقاطع قوطی مربعی و مقاطع تحت خمش حول محور ضعیف حاکم نیست. روابط فوق عمدتاً برای مقاطع با نسبت عمق به پهنا و طول مهارنشدهٔ زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای توخالی

طبق بند ۱۰-۲-۵-۸ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای توخالی که در آنها $D/t<0.45E/F_y$ است.



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش موضعی بال، کمانش موضعی در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z$$

که در آن F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، Z اساس مقطع پلاستیک حول محور خمش است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) کمانش موضعی

ب-۱) برای مقاطع فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی نیست.

ب-۲) برای مقاطع غیرفشرده:

$$M_n = \left(\frac{0.021E}{\frac{D}{t}} + F_y\right) S$$

ب-۳) برای مقاطع لاغر:

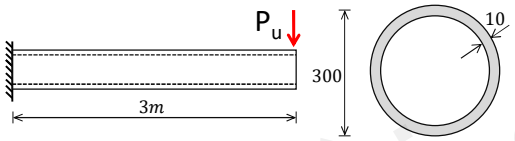
$$M_n = \left(\frac{0.33E}{\frac{D}{t}}\right) S$$

که در آن S اساس مقطع الاستیک حول محور، D قطر خارجی مقطع و t ضخامت جداره مقطع است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) اگر از وزن واحد طول تیر طره‌ای شکل زیر صرف نظر شود و تیر در انتهای آزاد خود فاقد مهارجانبی باشد، آنگاه براساس کنترل مقاومت خمشی، حداکثر مقدار P_u قابل تحمل توسط تیر برحسب kN به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ مقدار $F_y=240\ MPa$ و $E=2\times10^5\ MPa$ واحدها در شکل به میلیمتر می‌باشد. (اردیبهشت ۹۷)



الف) 70 ب) 40

ج) 50 د) 60

پاسخ: کنترل مقطع از منظر کمانش موضعی:

$$\frac{D}{t}=\frac{300}{10}=30\le\frac{0.07E}{F_y}=58.3$$

پس مقطع فشرده می‌باشد و لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی نیست.

$$Z=\frac{(D_2^3-D_1^3)}{6}=\frac{(300^3-280^3)}{6}=841333\ mm^3$$

$$\phi M_n=\phi F_y Z=0.9\times240\times841333\times10^{-6}=181\ kN.m$$

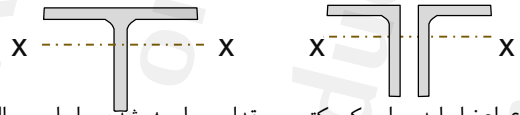
$$M_u=P_uL=3P_u\le181\quad\Rightarrow\quad P_u\le60\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت با بارگذاری در صفحهٔ تقارن

طبق بند ۱۰-۲-۵-۹ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت که در صفحهٔ تقارن بارگذاری شده‌اند(خمش حول محور x).



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش جانبی-پیچشی، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

الف-۱) درصورتیکه بال مقطع سپری یا نبشی جفت، فشاری باشد:

$$M_n=M_p=F_yZ_x\le1.6M_y$$

که در آن F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور خمش (محورx) است. همچنین M_y لنگر تسلیم مقطع و برابر F_yS_x است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

الف-۲) درصورتیکه بال مقطع سپری، کششی باشد:

$$M_n = M_y$$

الف-۳) درصورتیکه بال مقطع نبشی جفت، کششی باشد:

$$M_n = 1.5M_y \le M_p$$

ب) کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) درصورتیکه بال مقطع سپری یا نبشی جفت فشاری باشد

ب-۱-۱) اگر $L_b \le L_p$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۱-۲) در صورتی که $L_p < L_b \le L_r$ باشد:

$$M_n = M_p - (M_p - M_y)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)$$

ب-۱-۳) برای $L_b > L_r$:

$$M_n = M_{cr}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

L_b طول مهارنشدهٔ عضو است.

$$L_p = 1.76 r_y \left(E/F_y\right)^{0.5}$$

$$L_r = 1.95\frac{E}{F_y}\left(\frac{\sqrt{I_y J}}{S_x}\right)\sqrt{2.36\left(\frac{F_y}{E}\right)\frac{S_x d}{J} + 1}$$

$$M_{cr} = \frac{1.95E}{L_b}\sqrt{I_y J}\left(B + \sqrt{1 + B^2}\right)$$

M_p:لنگر پلاستیک مقطع و برابر $F_y Z_x$، همچنین M_y لنگر تسلیم مقطع متناظر با تسلیم دورترین تار مقطع و برابر $F_y S_x$ و E مدول الاستیسیته فولاد است.

F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، r_y: شعاع ژیراسیون مقطع حول محور عمود بر محور خمش، I_y: ممان اینرسی مقطع حول محور عمود بر محور خمش، J ثابت پیچشی مقطع، S_x: اساس مقطع الاستیک حول محور خمش (محور x) نسبت به دورترین تار مقطع، d عمق جان مقطع سپری یا پهنای بال نبشی جفت در کشش

$$B = 2.3\left(\frac{d}{L_b}\right)\sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

ب-۲) درصورتیکه بال مقطع سپری یا نبشی جفت کششی باشد:

برای تمام مقادیر طول مهارنشده L_b:

ب-۲-۱) در مقاطع سپری:

$$M_n = M_{cr} \le M_y$$

ب-۲-۲) در مقاطع نبشی جفت:

$$\begin{cases} M_n = \left(1.95 - 1.17\sqrt{\dfrac{M_y}{M_{cr}}}\right) M_y \le \min(1.5M_y, M_p) & : \dfrac{M_y}{M_{cr}} \le 1.0 \\ M_n = \left(0.92 - \dfrac{0.17M_{cr}}{M_y}\right) M_{cr} & : \dfrac{M_y}{M_{cr}} > 1.0 \end{cases}$$

که در آن تمام کمیت‌ها به جزء M_{cr} مطابق تعاریف بخش ۱۰-۲-۵-۹-ب-۱ است.

$$M_{cr} = \frac{1.95E}{L_b}\sqrt{I_y J}\left(-B + \sqrt{1 + B^2}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

پ) کمانش موضعی بال

حالت حدی کمانش موضعی بال برای مقاطعی که بال آنها تحت فشار است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ- ۱) برای مقاطع سپری

پ-۱-۱) برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش موضعی بال نیست.

پ-۱-۲) برای مقاطع با بال فشاری غیر فشرده

$$M_n = M_p - \left(M_p - 0.7F_y S_{xc}\right)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right) \le 1.6M_y$$

پ-۱-۳) برای مقاطع با بال فشاری لاغر:

$$M_n = \frac{0.7ES_{xc}}{\lambda_f^2}$$

که در آن $\lambda_f = b_f/2t_f$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$\lambda_p = \lambda_{pf}$ حد لاغری برای بال فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rf}$ حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

S_{xc} اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری حول محور x، t_w و b_f به ترتیب ضخامت و پهنای بال مقطع براساس تعریف بند ۱۰-۲-۲. است. M_p:لنگر پلاستیک مقطع و برابر F_yZ_x، همچنین M_y لنگر تسلیم مقطع متناظر با تسلیم دورترین تار مقطع و برابر F_yS_{xc} و E مدول الاستیسیته فولاد و F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد است.

پ-۲) برای مقاطع نبشی جفت:

مقاومت خمشی اسمی (M_n)، براساس روابط بخش ۱۰-۲-۵-۱۰-پ (کمانش موضعی ساق مقاطع نبشی تک) محاسبه می‌شود که در آنها S_c نسبت به بال فشاری محاسبه می‌شود.

ت) کمانش موضعی جان

حالت حدی کمانش موضعی جان برای سپری‌هایی که بال آنها تحت کشش است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت- ۱) برای مقاطع سپری:

ت-۱-۱) برای مقاطع با جان فشرده لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش موضعی بال نیست.

ت-۱-۲) برای مقاطع با جان غیر فشرده:

$$M_n = M_y - (0.35M_y)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)$$

ت-۱-۳) برای مقاطع با جان لاغر:

$$M_n = \frac{1.52ES_x}{\lambda_w^2}$$

که در آن: S_x اساس مقطع الاستیک حول محور x نسبت به دورترین تار است. همچنین $\lambda_w = d/t_w$

$\lambda_p = \lambda_{pw}$ حد لاغری برای جان فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_r = \lambda_{rw}$ حد لاغری برای جان غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۲-۳

t_w ضخامت جان و d عمق کلی مقطع مطابق تعریف به کاررفته در بخش ۱۰-۲-۲ است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت-۲) برای مقاطع نبشی جفت:

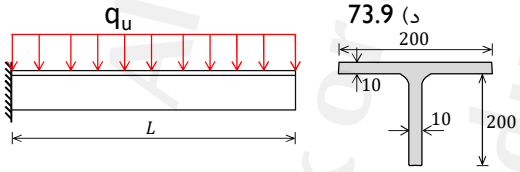
مقاومت خمشی اسمی (M_n)، براساس روابط بخش ۱۰-۲-۵-۱۰-پ (کمانش موضعی ساق مقاطع نبشی تک) محاسبه می‌شود که در آنها S_c اساس مقطع الاستیک حول محور خمش نسبت به دورترین تار فشاری است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه تیر طره‌ای با مقطع سپری شکل زیر از تکیه‌گاه جانبی کافی برخوردار باشد، براساس حالت حدی تسلیم، مقاومت خمشی اسمی تیر برحسب کیلونیوتن متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟مقدار F_y=240 MPa و $E=2\times10^5$ MPa واحدها در شکل به میلیمتر می‌باشد. (بهمن ۹۴)

الف) 27.9 ب) 44.6 ج) 50.4 د) 73.9



پاسخ: با توجه به اینکه بال در کشش است، داریم:

$$M = M_y \quad \Rightarrow \quad \bar{y} = \frac{200\times10\times5 + 200\times10\times110}{200\times10 + 200\times10} = 57.5\ mm$$

$$C_t = 57.5 \qquad C_c = 210 - 57.5 = 152.5\ mm$$

$$I_x = \frac{200\times10^3}{12} + 200\times10\times(57.5-5)^2 + \frac{10\times200^3}{12} + 200\times10\times(110-57.5)^2$$

$$= 1770\times10^4\ mm^4$$

$$S_{min} = \frac{1770\times10^4}{152.5} = 116120\ mm^3 \quad \Rightarrow \quad M_y = 116120\times240\times10^{-6}$$

$$= 27.86\ kN.m$$

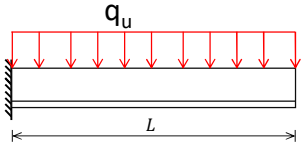
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

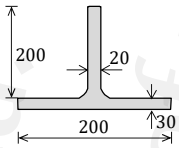
All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک عضو خمشی طره‌ای با مقطع شکل زیر نسبت لنگر پلاستیک مقطع به لنگر تسلیم آن نسبت به دورترین تارکششی مقطع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ مقدار $F_y=240\ MPa$ و $E=2\times10^5\ MPa$ واحدها در شکل به میلیمتر می‌باشد. (بهمن ۹۷)

الف) 1.35 ب) 1.65 ج) 1.8 د) 2.4





پاسخ: محاسبه فاصله تارخنثی پلاستیک از بال پایینی (پایینترین تار فشاری و با فرض آنکه در در بال باشد):

$$200x = 200(30 - x) + 20 \times 200 \Rightarrow \quad x = 25\ mm$$

$$Z_x = 200 \times 20 \times 105 + 5 \times 200 \times 2.5 + 200 \times 25 \times \frac{25}{2} = 485000\ mm^3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محاسبه فاصله تارخنثی الاستیک از بال پایینی (پایینترین تار فشاری):

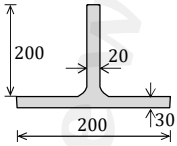
$$\bar{y} = C_c = \frac{200 \times 30 \times 15 + 200 \times 20 \times 130}{200 \times 20 + 200 \times 30} = 61\ mm$$

$$I_x = \frac{20 \times (230 - 61)^3}{3} + \frac{20 \times (61 - 30)^3}{3} + \frac{200 \times 30^3}{12} + (200 \times 30 \times (61 - 15)^2$$

$$= 45520000\ mm^4$$

$$S_t = \frac{45520000}{169} = 269000\ mm^3$$

$$\frac{M_p}{M_{yt}} = \frac{Z_x}{S_t} = \frac{485000}{269000} = 1.8$$



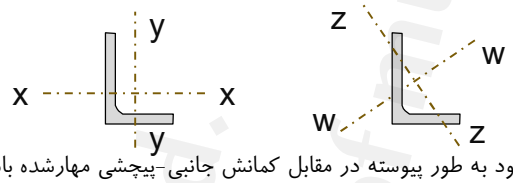
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission. All rights reserved.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نبشی تک

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۰ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نبشی تک که تحت اثر لنگر خمشی قرار دارد.



در نبشی‌های تک که در تمام طول خود به طور پیوسته در مقابل کمانش جانبی-پیچشی مهارشده باشند، طراحی براساس مشخصات هندسی محورهای x و y مجاز است. اما در نبشی‌هایی که در تمام طول خود فاقد مهار کافی در مقابل کمانش جانبی-پیچشی هستند باید براساس مشخصات هندسی محورهای اصلی نبشی w و z طراحی شوند.

مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش جانبی-پیچشی، کمانش موضعی ساق نبشی در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الف) تسلیم

$$M_n = 1.5M_y$$

که در آن F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، M_y لنگر تسلیم مقطع و برابر F_yS و S اساس مقطع الاستیک حول محور خمش است.

ب) کمانش جانبی-پیچشی

برای نبشی‌هایی که تحت اثر خمش حول محور اصلی ضعیف مقطع (محور z) باشند یا سایر حالاتی که در آن مقطع دارای مهار جانبی کافی در مقابل کمانش جانبی- پیچشی در تمام طول خود هستند لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی نبشی‌های فاقد مهار جانبی کافی باید به شرح زیر تعیین شود

برای حالتی که $M_y \le M_{cr}$ باشد:

$$M_n = \left(1.92 - 1.17\sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}}\right) M_y \le 1.5M_y$$

برای حالتی که $M_y > M_{cr}$ باشد:

$$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17M_{cr}}{M_y}\right) M_{cr}$$

در روابط فوق، M_{cr} لنگر خمشی کمانش جانبی-پیچشی بوده و از روابط زیر تعیین می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب-۱) هرگاه خمش حول محور اصلی قوی نبشی (محور **w**) باشد:

$$M_{cr} = \frac{9EA_g r_z t C_b}{8L_b}\left(\sqrt{1 + \left(4.4\frac{\beta_w r_z}{L_b t}\right)^2} + 4.4\frac{\beta_w r_z}{L_b t}\right)$$

C_b: ضریب اصلاح کمانش جانبی- پیچشی مطابق رابطهٔ ۱-۵-۲-۱۰ که مقدار آن نباید بیشتر از **1.5** در نظر گرفته شود. **E** مدول الاستیسیتهٔ فولاد، A_g مساحت مقطع نبشی، r_z شعاع ژیراسیون حول محور اصلی ضعیف، **t** ضخامت ساق نبشی، L_b طول مهارنشدهٔ عضو، β_w مشخصهٔ هندسی مقطع نبشی برای در نظر گرفتن اثرات ساق‌های نامساوی. برای حالتی که هر دو ساق نبشی برابر باشند مقدار β_w برابر صفر منظور می‌شود. برای حالتی که ساق کوتاه در فشار است، β_w مثبت و برای حالتی که ساق بلند در فشار است β_w منفی است (شکل ۱-۵-۲-۱۰) β_w را می‌توان براساس رابطهٔ زیر محاسبه نمود.

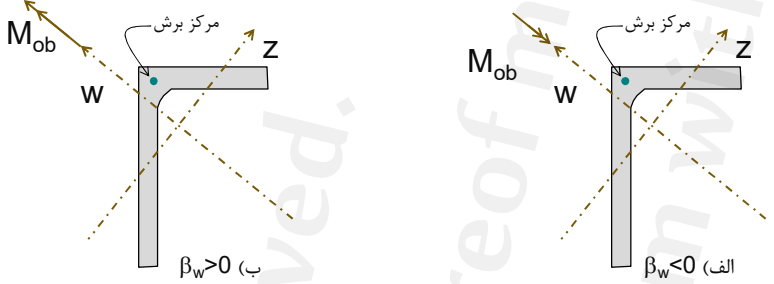
$$\beta_w = \frac{1}{I_w}\int_A z(w^2 + z^2)dA - 2z_0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

I_w ممان اینرسی مقطع حول محور اصلی قوی، z_o فاصلهٔ مرکز برش تا مرکز سطح نبشی در راستای محور اصلی ضعیف مقطع، z و w مختصات نقاط مقطع براساس محورهای قوی و ضعیف براساس شکل زیر:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب-۲) هرگاه خمش حول محور یکی از محورهای هندسی مقطع (محور x یا y) نبشی با دو ساق مساوی باشد و نیروی محوری به آن اعمال نشود:

ب-۲-۱) اگر نبشی فاقد مهار جانبی در مقابل کمانش جانبی-پیچشی در تمام طول خود باشد:

- برای حالت فشار حداکثر در لبهٔ آزاد ساق نبشی (پنجهٔ نبشی):

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2}\left(\sqrt{1+0.88\left(\frac{L_bt}{b^2}\right)^2}-1.0\right)$$

- برای حالت کشش حداکثر در لبهٔ آزاد ساق نبشی (پنجهٔ نبشی):

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4tC_b}{L_b^2}\left(\sqrt{1+0.88\left(\frac{L_bt}{b^2}\right)^2}+1.0\right)$$

در این حالت M_y باید برابر با 0.8 مقدار لنگر تسلیم مقطع منظور شود. در روابط فوق، b پهنای کلی ساق نبشی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب-۲-۲) اگر نبشی فقط در محل لنگر خمشی حداکثر دارای مهار جانبی در مقابل کمانش جانبی- پیچشی باشد، در این حالت M_{cr} باید 1.25 برابر مقدار به دست آمده از روابط ۱۰-۲-۵-۸۳ یا ۸۴ و M_y باید برابر با مقدار لنگر تسلیم مقطع منظور شود.

پ) کمانش موضعی ساق نبشی

حالت حدی کمانش موضعی ساق نبشی در حالتی کاربرد دارد که لبهٔ آزاد ساق نبشی (پنجهٔ نبشی) در فشار باشد.

پ-۱) برای مقاطع فشرده لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش موضعی ساق نیست.

پ-۲) برای مقاطعی با ساق غیرفشرده:

$$M_{cr} = F_y S_c \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)$$

پ-۳) برای مقاطعی با ساق لاغر:

$$M_n = \frac{0.71 E S_c}{\left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

b پهنای کلی ساق فشاری نبشی

t ضخامت ساق فشاری نبشی

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

S_c اساس مقطع الاستیک حول محور خمش نسبت به پنجهٔ تحت فشار نبشی است و برای نبشی‌های دو ساق مساوی که تحت اثر خمش حول یکی از محورهای x و y قرار دارند و در تمام طول خود فاقد مهار جانبی هستند، S_c برابر 0.8 اساس مقطع الاستیک حول محورهای x و y نسبت به دورترین تار فشاری مقطع در نظر گرفته می‌شود.

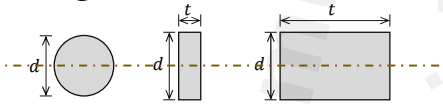
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای و چهارگوش توپر

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۱ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع چهارگوش توپر که تحت اثر خمش حول یکی از محورهای اصلی قرار دارند و نیز اعضای با مقطع دایرهای توپر است



مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم و کمانش جانبی-پیچشی در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

برای مقاطع چهارگوش:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1.5 F_y S_x$$

برای مقاطع دایره‌ای:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1.6 F_y S_x$$

که در آن، M_n لنگر پلاستیک مقطع، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور خمش، S_x اساس مقطع الاستیک حول محور خمش

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) کمانش جانبی-پیچشی

ب-۱) برای مقاطع چهارگوش توپر تحت اثر خمش حول محور ضعیف و مقاطع دایره‌ای توپر لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۲) برای مقاطع چهارگوش توپر تحت اثر خمش حول محور قوی

ب-۲-۱) برای حالتی که $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08}{F_y}$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی نیست.

ب-۲-۲) برای حالتی که $\frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y}$ باشد،

$$M_n = C_b \left(1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2}\right) \frac{F_y}{E}\right) M_y \leq M_p$$

ب-۲-۳) برای حالتی که $\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y}$ باشد،

$$M_n = \frac{1.9E C_b S_x}{\frac{L_b d}{t^2}} \leq M_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

که در آن:

S_x اساس مقطع الاستیک حول محور خمش

$M_y=F_yS_x$ لنگر تسلیم مقطع

L_b طول مهارنشده عضو

d عمق مقطع عمود بر محور خمش

t پهنای مقطع موازی با محور خمش

C_b ضریب اصلاح کمانش جانبی- پیچشی مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۵-۱ که نباید از 1.5 بزرگتر در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

مثال) برای تیر با مقطع مستطیلی فولادی توپر و خمش حول محور قوی، مقدار مقاومت خمشی طراحی در مرز حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرالاستیک به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مقدار C_b برابر واحد فرض شود و M_y لنگر تسلیم مقطع است) (اسفند ۹۵)

الف) $1.35M_y$ ب) $0.9M_y$ ج) $1.5M_y$ د) $1.6M_y$

پاسخ: داریم:

$$Z = 2b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4} = \frac{bh^2}{4} \qquad I = \frac{bh^3}{12} \qquad S = \frac{I}{c} = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}$$

$$\frac{Z}{S} = \frac{\frac{bh^2}{4}}{\frac{bh^2}{6}} = 1.5 \qquad \Rightarrow M_y = F_yS \qquad \Rightarrow \ M_n = 0.9F_yZ = 0.9F_y \times 1.5S = 1.35M_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نامتقارن

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۲ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نامتقارن به غیر از نبشی که تحت اثر لنگر خمشی قرار دارد. مقاومت خمشی اسمی (M_n) این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش جانبی-پیچشی، کمانش موضعی در نظر گرفته شود.

$$M_n = F_n S_{min}$$

S_{min}: کوچکترین اساس مقطع الاستیک حول محور خمش، F_n تنش اسمی مقطع نامتقارن که چنین تعیین می‌شود:

الف) تسلیم:

$$F_n = F_y$$

ب) کمانش جانبی- پیچشی:

$$F_n = F_{cr} \leq F_y$$

که در آن:F_{cr} تنش نظیر کمانش جانبی-پیچشی مقطع که از طریق تحلیل به دست می‌آید.

تبصره: برای اعضای با مقطع Z شکل، F_{cr} نظیر کمانش جانبی- پیچشی را می‌توان معادل نصف F_{cr} مقاطع ناودانی با مشخصات بال و جان مشابه در نظر گرفت.

پ) کمانش موضعی:

$$F_n = F_{cr} \leq F_y$$

F_{cr} تنش نظیر کمانش موضعی مقطع که از طریق تحلیل به دست می‌آید

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تناسبات ابعادی مقطع اعضای خمشی

الف) اعضای با مقاطع دارای بال کششی سوراخ‌دار

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۳ این بند مربوط است به اعضای با مقاطع نوردشده و ساخته شده از ورق که مقطع آنها دارای سوراخ بوده و مقاومت خمشی اسمی آنها بر مبنای سطح مقطع کلی محاسبه شده است. در اینگونه اعضا در صورت وجود سوراخ در بال یا بال‌ها، در محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی (M_n)، در محدودهٔ سوراخ باید محدودیت‌های گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود.

الف-۱) درصورتیکه $F_u A_{fn} \geq 1.2 Y_t F_y A_{fg}$ باشد، هیچگونه محدودیتی در محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی به خاطر وجود سوراخ در بال کششی در نظر گرفته نمی‌شود.

الف-۲) درصورتیکه $F_u A_{fn} < 1.2 Y_t F_y A_{fg}$ باشد، در محدودهٔ سوراخ بال کششی، مقاومت خمشی اسمی نباید بزرگتر از مقدار زیر در نظر گرفته شود:

$$M_n = \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

A_{fg} سطح مقطع کلی بال کششی

A_{fn} سطح مقطع خالص بال کششی که براساس الزامات بخش ۱۰-۲-۳ محاسبه می‌شود.

F_u: تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد

F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

Y_t: ضریب تأثیر سوراخ که برای حالت $F_y/F_u \leq 0.8$ برابر 1.0 و برای سایر حالت‌ها باید برابر 1.1 در نظر گرفته شود.

S_x: اساس مقطع الاستیک حول محور خمش نسبت به دورترین تار مقطع

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر IPE300 با مهارجانبی کافی بال فشاری، در محل اتصال خمشی با ستون در هریک از بال‌های بالا و پایین دارای دو سوراخ (در هر طرف جان یک سوراخ) با قطر 20 mm می‌باشد. دوسوراخ بال پایین و دو سوراخ بال بالا همگی در یک مقطع عرضی از تیر قرار دارند و فواصل آنها از لبه به درستی تنظیم شده است. در صورتیکه فولاد از نوع ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) باشد، مقدار مقاومت خمشی اسمی مقطع برحسب kN.m در محدوده سوراخ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (خرداد ۹۳)

الف) ۱۷۰ ب) ۱۵۰ ج) ۱۳۵ د) ۱۱۰

پاسخ: چون در بال دو سوراخ وجود دارد در محاسبه مقاومت خمشی اسمی (M_n)، در محدوده سوراخ باید محدودیت‌های گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود. درصورتیکه $F_uA_{fn} \geq 1.2Y_tF_yA_{fg}$ باشد، هیچگونه محدودیتی در محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی به خاطر وجود سوراخ در بال کششی در نظر گرفته نمی‌شود.

$$A_{fn} = A_{fg} - nDt_f = (150 \times 10.7) - (2 \times 22 \times 10.7) = 1134\ mm^2$$

$$F_uA_{fn} = 370 \times 1134 \times 10^{-3} = 419.6\ kN$$

$$1.2Y_tF_yA_{fg} = 1.2 \times 1 \times 240 \times (150 \times 10.7) \times 10^{-3} = 462.2\ kN$$

$$F_uA_{fn} < 1.2Y_tF_yA_{fg} \Rightarrow M_n = \frac{F_uA_{fn}}{A_{fg}}S_x = \frac{370 \times 1134}{(150 \times 10.7)} \times 557000 \times 10^{-6}$$

$$= 145.6\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چون مقطع فشرده است و دارای مهارجانبی کافی است مقاومت خمشی اسمی آن براساس حالت حدی تسلیم تعیین می‌شود. اگر تیر مهارجانبی کافی نداشت باید مقاومت براساس حالت حدی کمانش جانبی – پیچشی نیز محاسبه می‌شد.

$$M_n = ZF_y = 628000 \times 240 \times 10^{-6} = 150\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) اعضای با مقطع I شکل

ب- ۱) اعضای با مقطع I شکل دارای یک محور تقارن باید محدودیت زیر را برآورده سازند:

$$0.1 \le \frac{I_{yc}}{I_y} \le 0.9$$

که در آن:

I_y ممان اینرسی کل مقطع حول محور y

I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری در حالت انحنای ساده و ممان اینرسی بال کوچکتر در حالت انحنای مضاعف حول محور y

ب-۲) در اعضای با مقطع I شکل با جان لاغر باید محدودیت‌های زیر نیز رعایت شوند.

برای $\frac{a}{h} \le 1.5$

$$\frac{h}{t_w} \le 12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای $\frac{a}{h} > 1.5$

$$\frac{h}{t_w} \leq 0.4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

که در آن، a فاصلهٔ آزاد بین سخت‌کننده‌های عرضی

h فاصلهٔ بین شروع گردی ریشهٔ جان به بال، برای نیمرخ‌های نورد شده یا فاصلهٔ آزاد بین دو بال، برای مقاطع ساخته شده از ورق

t_w ضخامت جان

E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

ب- ۳) در اعضای بدون سخت کننده‌های عرضی نسبت h/t_w نباید از ۲۶۰ و نسبت دو برابر مساحت ناحیهٔ تحت فشار جان به مساحت بال فشاری نباید از ۱۰ بیشتر شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) ملاحظات ورق‌های پوششی در بال مقاطع اعضای خمشی

پ-۱) تقویت بال‌ها

بال مقاطع تیرهای نوردشده و تیرهای ساخته شده از ورق را می‌توان به کمک ورق‌های پوششی بال، تقویت نمود. در مواردی که اتصال ورق پوششی بال به بال مقاطع تیرها از نوع پیچی یا جوشی باشد، در هر بال مجموع سطح مقطع‌های ورق‌های پوششی نباید از ۷۰ درصد سطح مقطع کل بال (شامل ورق‌های پوششی) تجاوز نماید.

پ-۲) اتصال ورق‌های پوششی به بال

اتصال ورق‌های پوششی به بال تیر باید از نوع جوشی یا پیچی با پیچ‌های پرمقاومت و با عملکرد لغزش بحرانی باشد و بر مبنای برش افقی ناشی از تغییرات لنگر خمشی تیر طراحی شوند. توزیع طولی پیچ‌ها و جوش‌های منقطع باید متناسب با شدت برش باشد، لیکن فاصلهٔ آنها نباید از مقادیر ارائه شده در بند ۱۰-۲-۳-۵ برای بال کششی و مقادیر ارائه شده در بند ۱۰-۲-۴-۶-۲ برای بال فشاری بیشتر شود. در صورت استفاده از جوش گوشه، در هرحال بعد جوش نباید از بعد حداقل آن کمتر شود. در ضمن این پیچ‌ها یا جوش‌ها باید برای انتقال هر نیرویی که مستقیماً از طریق بال به جان منتقل می‌شود، طراحی گردند؛ مگر اینکه این نیرو به طریقی دیگر به جان انتقال یابد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ-۳) قطع ورق‌های پوششی بال‌ها

ورق‌های پوششی که در تمام طول دهانه ادامه ندارند، باید بعد از نقطهٔ قطع محاسباتی به طول مشخصی ادامه یافته و در این طول به وسیلهٔ پیچ‌های پرمقاومت با عملکرد لغزش بحرانی یا جوش گوشه به بال متصل شوند. این طول، طول گیرایی نامیده می‌شود. طول گیرایی باید به اندازه‌ای باشد که اتصال ورق پوششی در این طول قادر به انتقال برش افقی ناشی از مقاومت خمشی سهم ورق پوششی از مقاومت خمشی موردنیاز تیر در نقطهٔ قطع محاسباتی ورق یا به طور محافظه کارانه قادر به انتقال برش افقی برابر حاصلضرب مساحت ورق پوششی در تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد باشد.

حداقل طول گیرایی (a) که از انتهای ورق پوششی اندازه‌گیری می‌شود، باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

۱) برابر پهنای ورق پوششی، در حالتی که جوش اتصال ورق پوششی به تیر در طول a پیوسته و بعد ساق آن حداقل سه چهارم ضخامت ورق پوششی بوده و در دو لبهٔ کناری و لبهٔ انتهایی ورق پوششی اجرا شود.

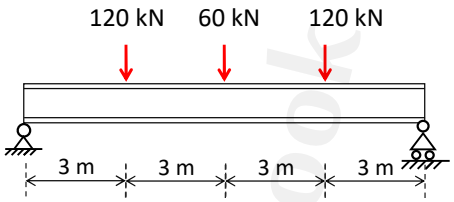
۲) یک و نیم برابر پهنای ورق پوششی، در حالتی که بعد جوش پیوسته به طول a در دو لبهٔ کناری ورق پوششی و در انتهای آن کمتر از سه چهارم ضخامت ورق تقویتی باشد.

۳) دو برابر پهنای ورق پوششی، در حالتی که جوش پیوسته به طول a فقط در دو لبهٔ کناری ورق وجود دارد و در لبهٔ انتهایی جوش اجرا نمی‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر نشان داده شده در شکل، مقطع I شکل ثابت در طول دهانه داشته و مقاومت خمشی طراحی آن (حالت حدی تسلیم) ۸۰ درصد مقاومت خمشی مورد نیاز تحت بارهای ضریبدار وارده است. چنانچه برای جبران این ضعف از ورق‌های تقویتی بال با پهنای 125 mm و ضخامت 8mm استفاده شده و جوشکاری آنها با رعایت دقیق ضوابط با استفاده از حداکثر بعد مجاز برای ساق جوش، فقط در دولبه کناری ورق انجام شود، حداقل طول قابل قبول برای ورق‌های تقویتی به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر خواهد بود؟ از نظر محاسباتی در هر انتهای ورق نیازی به طول گیرایی بیش از ۱۵۰ میلیمتر نیست، فقط حالت حدی تسلیم در نظر گرفته شود. (شهریور ۱۴۰۱)



الف) 6 m

ب) 7.5 m

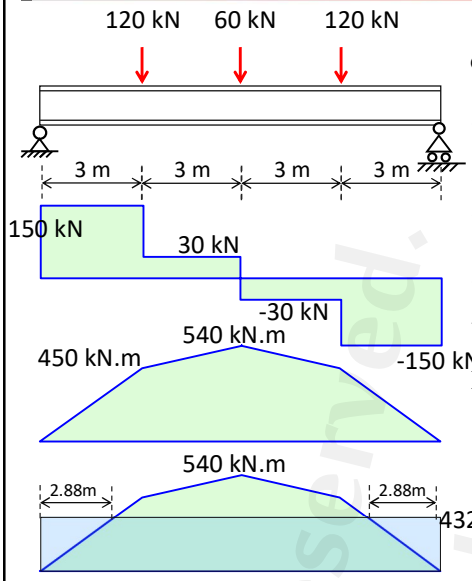
ج) 6.75m

د) 6.25 m

پاسخ: با توجه به تقارن بارگذاری عکس العمل هر تکیه‌گاه برابر نصف مجموع بارها بوده و دیاگرام برش و خمش به صورت زیر خواهد بود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



با ترسیم دیاگرام برش و لنگر تیر داریم:

$$\phi M_n = 0.8M_u = 0.8 \times 540 = 432\ kN.m$$

حال باید طول محاسباتی ورق تقویتی را پیدا کنیم. مقاومت خمشی طراحی خود تیر برابر **432 kN.m** است.

$$150x = 432 \Rightarrow x = 2.88\ m$$

$$12 - 2(2.88) = 6.24\ m$$

پس از نظر محاسباتی به طول **6.24 m** به ورق تقویتی نیاز است. چون فقط در دولبه کناری ورق جوشکاری صورت میگیرد در هر طرف تیر به اندازه **2w** طول گیرایی نیاز است پس:

$$L = 6.24 + 2(2 \times 0.125) = 6.74\ m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) اعضای ساخته شده از چند نیمرخ

هنگامیکه از دو یا چند نیمرخ برای ساخت مقطع یک عضو خمشی با عملکرد مشترک استفاده شود، اتصال آنها باید براساس ضوابط بخش۱۰-۲-۹ انجام گیرد. برای انتقال بار از یک نیمرخ به نیمرخ یا نیمرخ‌های دیگر یا توزیع آن بین نیمرخ‌ها، باید دیافراگم‌هایی در امتداد عمود بر محور طولی عضو با سختی کافی از طریق پیچ یا جوش به نیمرخ‌ها متصل شود

ث) اتصال جان به بال اعضای ساخته شده از ورق

اتصال جان به بال مقاطع ساخته شده از ورق باید از نوع جوشی بوده و بر مبنای برش افقی ناشی از تغییرات لنگر خمشی تیر و متناسب با شدت برش طراحی شوند. در صورت استفاده از جوش‌های منقطع، توزیع طولی آنها باید متناسب با شدت برش باشد، لیکن فاصلهٔ آنها نباید از حداقل مقادیر ارائه شده در بند ۱۰-۲-۳-۵ برای بال کششی و مقادیر ارائه شده در بند ۱۰-۲-۴-۶-۲ برای بال فشاری بیشتر شود. در هرحال بعد جوش گوشه نباید از بعد حداقل کمتر در نظر گرفته شود. در ضمن این جوش‌ها باید برای انتقال هر نیرویی که مستقیماً از طریق بال به جان منتقل می‌شود، طراحی گردند؛ مگر اینکه این نیرو به طریقی دیگر به جان انتقال یابد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

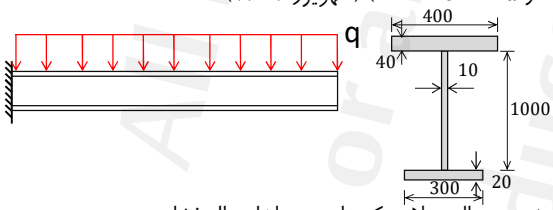
ملاحظات مربوط به بازشو در جان تیرها

طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۴، در تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع فولادی، تأثیر بازشوهای موجود در جان باید به نحو مناسبی در نظر گرفته شود. الزامات مربوط به تیرهای دارای بازشوهای متوالی در جان (تیرهای لانه زنبوری) در پیوست ۵ ارائه شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر طره‌ای شکل زیر برای کنترل فشرده یا غیرفشرده بودن مقطع، مقدار پارامتر h_p به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد به میلیمتر است). (F_y=235 MPa و $E=2\times10^5$ MPa) (شهریور ۱۴۰۱)



الف) 720 mm ب) 2000 mm

ج) 1720 mm د) 1500 mm

پاسخ: پارامتر h_p عبارت است از دوبرابر فاصله محور خنثی در حالت پلاستیک تا رویه داخلی بال فشاری

محاسبه محور خنثی پلاستیک:

$$400\times40+(1000-x)\times10=x\times10+300\times20 \quad \Rightarrow \quad x=1000\,mm$$

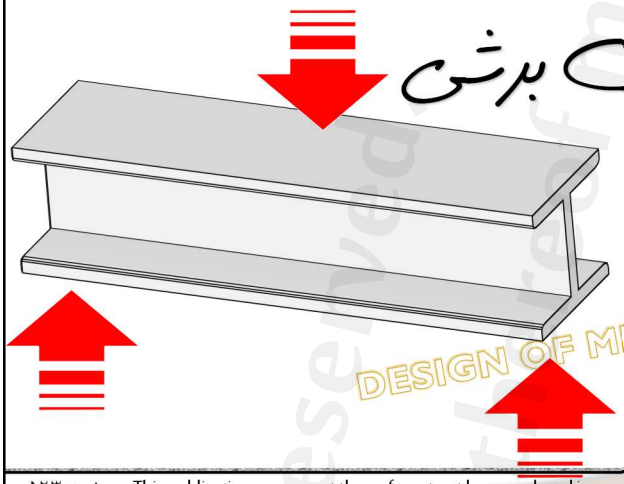
$$h_p=2\times1000=2000\,mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل هفتم

طراحی اعضای برشی



DESIGN OF MEMBERS FOR SHEAR

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند ۱۰-۲-۶ به الزامات طراحی اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر برش در صفحهٔ جان، اعضای با مقطع نبشی تک، اعضای با مقطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای، اعضای با مقطع تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف می‌پردازد.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۶-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۶-۲ مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی تحت اثر برش در صفحهٔ جان
- ۱۰-۲-۶-۳ مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع سپری تحت اثر برش در صفحهٔ تقارن و نبشی تک
- ۱۰-۲-۶-۴ مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل (HSS) جعبه‌ای و سایر مقاطع دارای یک یا دو محور تقارن
- ۱۰-۲-۶-۵ مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع دایره‌ای شکل توخالی
- ۱۰-۲-۶-۶ مقاومت برشی اسمی اعضای دارای یک یا دو محور تقارن که تحت اثر برش در راستای عمود بر محور ضعیف مقطع
- ۱۰-۲-۶-۷ ملاحظات مربوط به بازشو در جان تیرها و شاهتیرها

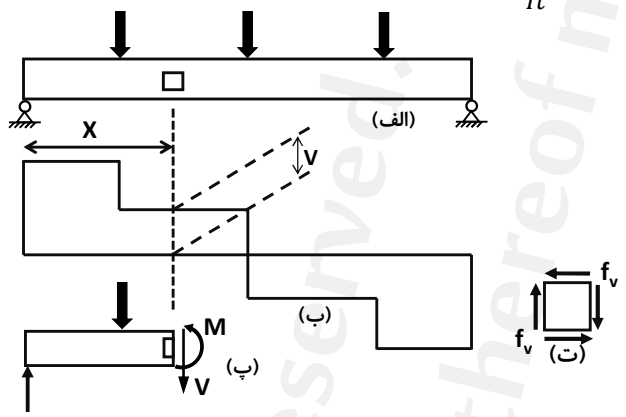
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تغییرات لنگر خمشی در تیر، باعث ایجاد برش در آن می‌شود. یک المان از تیر به فاصله x از بر تکیه‌گاه سمت چپ نیز در این شکل مشخص شده است. در محل این المان نیروی برشی برابر V می‌باشد. در صورتی که این المان در تار خنثی تیر در نظر گرفته شود، مقدار لنگر در آن صفر و تحت برش خالص خواهد بود. با استفاده از اصول مقاومت مصالح:

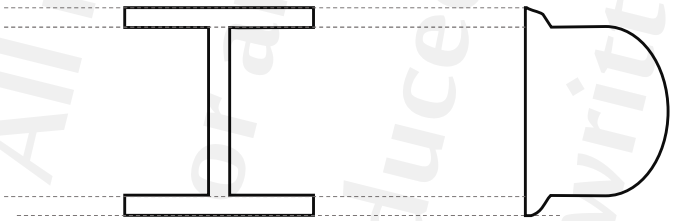
$$f_v = \frac{VQ}{It}$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

نمودار تغییرات برش در مقطع یک تیر I شکل ترسیم شده است:



حداکثر برش در تیر در محل تار خنثی ایجاد شده است. همانطور که دیده می‌شود، جان تیر، بیشترین سهم در تحمل برش دارند و سهم ناچیزی از این برش توسط بال تحمل می‌شود. در رابطه اخیر فرض بر آن بوده که نیروی برشی در عرض تیر ثابت می‌باشد. در اکثر موارد می‌توان با دقت مناسب فرض کنیم، تمام برش توسط جان تحمل می‌شود:

$$f_v = V/A_w$$

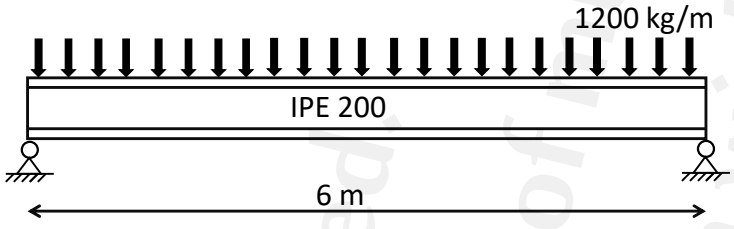
بسته به میزان لاغری جان، سه حالت مختلف خرابی ممکن است برای تیر در برش ایجاد شود:

- جاری شدن پلاستیک جان تیر با جان فشرده.
- کمانش غیرارتجاعی جان تیر با جان غیرفشرده.
- کمانش ارتجاعی جان تیر با جان لاغر.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر دو سر مفصل با مقطع IPB200 که یک بار گسترده خطی به شدت 1200 kg/m (شامل بارهای وارده به همراه وزن خود تیر) را تحمل می‌کند، را در نظر بگیرید. طول تیر ۶ متر و بطور جانبی دارای مهار جانبی کافی است. برش حداکثر و برش میانگین تیر را تعیین نمایید.



برش حداکثر در یک تیر دو سر ساده، در تکیه‌گاه‌ها و در محل تار خنثی ایجاد می‌شود. مقدار برش حداکثر برابر است با:

$$V = 1200 \times 6/2 = 3600 \text{ kg}$$

برای نصف مقطع IPB200 داریم:

$$A = 39.05 \text{ cm}^2 \quad , \quad d = 10 \text{ cm} \quad , \quad y = 1.77 \text{ cm}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که مقدار y فاصله مرکز سطح مقطع سپری (نصف مقطع) تا لبه بالایی تیر است.

$$Q = A(d - y) = 39.05 \text{ cm}^2 \times (10 \text{ cm} - 1.77 \text{ cm}) = 321.38 \text{ cm}^3$$

برای مقطع IPB200 داریم:

$$I = 5696 \text{ cm}^4 \quad , \quad t_w = 0.9 \text{ cm}$$

بنابراین برش حداکثر برابر است با:

$$f_v = \frac{VQ}{It_w} = \frac{3600 \times 321.38}{5696 \times 0.9} = 225 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

برش میانگین تیر برابر است با:

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{3600}{20 \times 0.9} = 200 \ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات عمومی

طبق بند ۱۰-۲-۶-۱ در روش LRFD مقاومت برشی طراحی مساوی $\phi_v V_n$ و در روش ASD مقاومت خمشی مجاز مساوی V_n/Ω_v است که در آن، ϕ_v ضریب کاهش مقاومت برشی برابر با 0.9 است، به جز در مورد بند ۱۰-۲-۶-۲-۱-الف که مقدار آن باید برابر 1.0 در نظر گرفته شود. همچنین Ω_v، ضریب اطمینان مقاومت برشی بوده و برای کلیهٔ الزامات این بخش برابر 1.67 به جز در مورد بند ۱۰-۲-۶-۲-۱-الف که مقدار آن باید برابر 1.5 در نظر گرفته شود. V_n مقاومت برشی اسمی اعضا بوده که مطابق الزامات بندهای ۱۰-۲-۶-۲ تا ۱۰-۲-۶-۷ باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های تسلیم برشی و کمانش برشی در نظر گرفته شود.

مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی تحت اثر برش در صفحهٔ جان

طبق بند ۱۰-۲-۶-۲ الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع I شکل نوردشده یا ساخته شده از ورق دارای یک یا دو محور تقارن و ناودانی که تحت اثر برش در صفحهٔ جان قرار دارند. در این بند برای تعیین مقاومت برشی اسمی اعضایی با این نوع مقاطع دو روش ارائه گردیده است. در روش اول برای محاسبهٔ مقاومت برشی اسمی اعضا مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۶-۲-۱ از عمل میدان کششی استفاده نمی‌شود؛ اما در روش دوم برای تعیین مقاومت برشی اسمی اعضا مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۶-۲-۲ از عمل میدان کششی استفاده می‌شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اسمی بدون در نظر گرفتن عمل میدان کششی

طبق بند ۱۰-۲-۶-۲-۱، مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1}$$

که در آن:

F_y: تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان

$A_w = dt_w$ مساحت جان که برابر است با حاصلضرب عمق کلی مقطع در ضخامت جان

C_{v1} ضریب مقاومت برشی جان به شرح زیر:

الف) برای جان مقاطع I شکل نورد شده که $\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$ باشد:

$$C_{v1} = 1$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک تیر با مقطع IPE270، بصورت دو سر ساده به طول ۵ متر با شدت بار مرده w_D=1200 kg/m و شدت بار زنده w_L=900 kg/m، ظرفیت برشی تیر را بررسی نمایید. تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع فرض شود.

برای مقطع IPE270 داریم:

$$d = 27\ cm \quad , \quad t_w = 0.66\ cm \quad , \quad t_f = 1.02\ cm \quad , \quad h = d - 2c = 21.9\ cm$$

$$h/t_w = 21.9\ cm/0.66\ cm = 33.18 < 2.24\left(E/F_y\right)^{0.5} = 64.6 \quad \Rightarrow \quad \varphi_v = 1.0$$

$$\varphi V_n = 1.0 \times \left(0.6 F_y A_w\right) = 1.0 \times (0.6 \times 2400 \times 27 \times 0.66) \times 10^{-3} = 25.6\ ton$$

$$w_u = 1.2 w_D + 1.6 w_L = 1.2 \times 1200 + 1.6 \times 900 = 2880\ kg/m$$

$$V_u = w_u L/2 = 2880 \times 5/2 \times 10^{-3} = 7.2\ ton < \varphi_v V_n = 25.6\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) برای جان سایر مقاطع I شکل و ناودانی:

ب- ۱) برای $\frac{h}{t_w} \le 1.1\sqrt{k_v E/F_y}$

$$C_{v1} = 1$$

ب- ۱) برای $\frac{h}{t_w} > 1.1\sqrt{k_v E/F_y}$

$$C_{v1} = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

در روابط فوق، k_v ضریب کمانش برشی ورق جان بوده و به شرح زیر تعیین می‌شود:

- برای جان مقاطع بدون سخت کننده:

$$k_v = 5.34$$

- برای جان مقاطع دارای سخت کننده و a/h≤3.0:

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای جان مقاطع دارای سخت کننده و a/h>3.0

$k_v = 5.34$

در روابط فوق:

t_w ضخامت جان مقطع

a فاصلهٔ آزاد بین سخت کننده‌های عرضی جان

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال منهای گردی محل اتصال جان به بال، برای تیرهای نورد شده

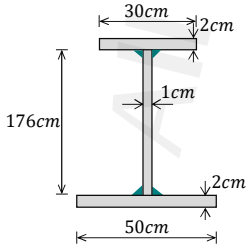
h فاصلهٔ آزاد بین دو بال، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ جوش

h فاصلهٔ بین خطوط پیچ، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ پیچ

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیرورق مقابل در یک دهانه ساده ۸ متری استفاده شده است. در صورتیکه هیچ سخت‌کننده‌ای در جان تیرورق غیر از محل تکیه‌گاه‌ها قرار داده نشده باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت طراحی برشی مقطع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (آذر ۹۲)



الف) 970 kN

ب) 540 kN

ج) 485kN

د) 740 kN

چون مقطع بدون سخت کننده عرضی می‌باشد پس k_v=5.34 می‌باشد.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{176}{1} = 176 > 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5.34 \times 2 \times 10^5}{240}} = 73.3$$

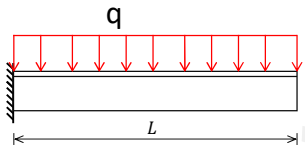
$$\Rightarrow C_{v1} = \frac{1.1}{(\frac{h}{t_w})}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{73.3}{176} = 0.417 \quad \Rightarrow \quad \phi_v V_n = \phi_v 0.6 F_y A_w C_{v1}$$

$$\phi_v V_n = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times (1800 \times 10) \times 0.417 \times 10^{-3} = 972.7\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر طره با مقطع I شکل نورد شده به طول دهانه L تحت اثر بار یکنواخت q با مقطع فشرده و دارای تکیه‌گاه جانبی کافی، چنانچه مدول پلاستیک مقطع برابر Z و سطح مقطع جان (حاصلضرب ارتفاع کلی مقطع در ضخامت جان) برابر A_w و $h/t_w<50$ باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، به ازای کدامیک از روابط زیر تاثیر معیارهای طراحی خمش و برش دقیقا باهم برابر است؟



الف) $L = 2\frac{z}{A_w}$

ب) $L = 3\frac{z}{A_w}$

ج) $L = \frac{2}{3}\frac{z}{A_w}$

د) $L = \frac{3}{2}\frac{z}{A_w}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چون مقطع فشرده است و دارای مهارجانبی هست فقط معیار حالت حدی تسلیم حاکم بر طرح خواهد شد

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{V_u}{\phi V_n} \quad , \quad M_u = \frac{qL^2}{2} \qquad V_u = qL$$

$$\phi M_n = 0.9F_yZ$$

$$\frac{h}{t_w} = 50 \le 1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5.34\times 2\times 10^5}{240}} = 73.3 \quad \Rightarrow \quad C_{v1} = 1$$

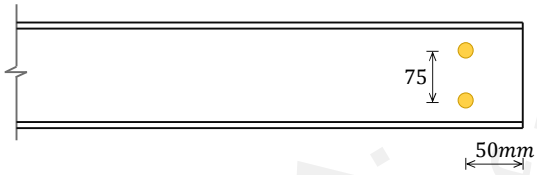
$$\phi V_n = 0.6F_yA_w$$

$$\frac{\frac{qL^2}{2}}{0.9F_yZ} = \frac{qL}{0.6F_yA_w} \Rightarrow \frac{L}{2\times 0.9Z} = \frac{1}{0.6A_w} \Rightarrow L = \frac{1.8Z}{0.6A_w} = \frac{3Z}{A_w}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت برشی طراحی تیرآهن IPE 200 در ناحیه انتها (مجاورت ناحیه اتصال) بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 و قطر سوراخ 20 mm می‌باشد. واحدها در شکل به میلیمتر است (F_y=240 MPa) (خرداد ۹۳)



الف) 200 kN

ب) 160 kN

ج) 150 kN

د) 120 kN

پاسخ: براساس حالت حدی تسلیم برشی در مقطع کلی:

$$\phi R_{n1} = 0.6 F_y A_{gv} = 0.6 \times 240 \times 200 \times 5.6 \times 10^{-3} = 161\ kN$$

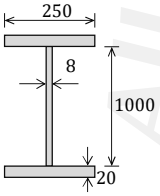
براساس حالت حدی گسیختگی برشی در مقطع خالص:

$$A_{nv} = 200 \times 5.6 - (2 \times 22 \times 5.6) = 873\ mm^2$$
$$\phi R_{n2} = 0.6 F_u A_{nv} = 0.75 \times 0.6 \times 370 \times 873 \times 10^{-3} = 145\ kN$$
$$R_{vD} = \min(161\ , 145) = 145\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیرورق با مقطع نشان داده شده در شکل مقابل، مقدار C_v لازم برای تامین مقاومت برشی مورد نیاز برابر 0.6 به دست آمده است. حداکثر فاصله مجاز سخت کننده‌های عرضی در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (مرداد ۹۴)



الف) ۱۴۰۰ میلیمتر

ب) ۲۸۰۰ میلیمتر

ج) ۷۰۰ میلیمتر

د) ۲۱۰۰ میلیمتر

پاسخ: با فرض اینکه در این چشمه‌ها عمل میدان کششی به طور کامل توسعه نمی‌یابد داریم:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1000}{8} = 125 \quad \Rightarrow \quad C_{v1} = \frac{1.1}{(\frac{h}{t_w})}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 0.6 = \frac{1.1}{125}\sqrt{\frac{k_v \times 2 \times 10^5}{240}} \quad \Rightarrow k_v = 5.58$$

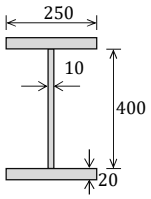
برای جان مقاطع دارای سخت کننده و a/h≤3.0:

$$k_v = 5 + \frac{5}{(\frac{a}{h})^2} = 5.58 = 5 + \frac{5}{(\frac{a}{1000})^2} \quad \Rightarrow \quad a \le 2936\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع یک تیر دوسر ساده دارای تکیه‌گاه جانبی پیوسته و به طول ۵ متر، تحت بار گسترده یکنواخت در صفحه جان (خمش حول محور قوی) مطابق شکل زیر است. براساس مقاومت خمشی و برشی طراحی تیر، اتصال این تیر حداقل برای چه مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاهی نهایی باید طراحی شود تا اتصال زودتر از تیر خراب نشود (نزدیکترین جواب مد نظر است) (F_y=240 MPa) (مرداد ۹۴)



الف) 435 kN

ب) 235 kN

ج) 335 kN

د) 635 kN

پاسخ: می‌دانیم تیرها برای لنگر خمشی و نیروی برشی طراحی می‌شوند و برای بهره‌برداری (کنترل خیز و..). کنترل میشوند که در اینجا کنترل حالت‌های حدی بهره برداری مد نظر نیست. پس ما باید ۲ کنترل خمش و برش را انجام دهیم و هر کدام از این حالت‌ها کوچکتر باشد بدین معنا خواهد بود که تیر از این معیار دچار خرابی شده است:

کنترل برای خمش:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کنترل مقطع از منظر کمانش خمشی

$$\frac{12}{2}=6\le 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}=11 \qquad \frac{40}{1}=40\le 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}=108.8$$

پس مقطع فشرده است و چون دارای مهارجانبی پیوسته هست فقط معیار تسلیم کنترل کننده خواهد بود:

$$Z_x=2\times 20\times 250\times 210+2\times 200\times 10\times 100=2500\ mm^3$$
$$\phi M_n=0.9\times 240\times 2500\times 10^{-6}=540\ kN.m$$

چون تیر دوسر مفصل هست لنگر ماکزیمم در وسط دهانه می‌باشد و مقدار آن به صورت زیر است:

$$\frac{q_u L^2}{8}\le \phi M_n \quad\Rightarrow\quad \frac{q_u\times 5^2}{8}\le 540 \quad\Rightarrow q_u\le 172.8\ kN/m$$

و برش ناشی از این بار برابر است با:

$$V_u=\frac{q_u\times L}{2}=\frac{172.8\times 5}{2}=432\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کنترل برای برش:

$$\frac{h}{t_w}=\frac{400}{10}=40\le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{5.34\times 2\times 10^5}{240}}=73.4 \quad \Rightarrow \quad C_{v1}=1.0$$

$$\phi V_n=0.9\times 0.6\times 240\times 440\times 10\times 10^{-3}=570.2\ kN$$

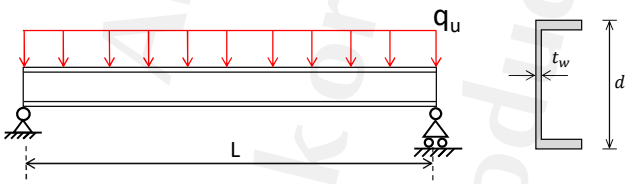
بار گستردهای که منجر به این مقدار برش خواهد بود نیز به صورت زیر قابل محاسبه هست:

$$\frac{q_u L}{2}=570.2 \quad \Rightarrow \quad q_u=228\frac{kN}{m}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر دو سر ساده مطابق شکل زیر با طول L و عمق مقطع d و ضخامت جان t_w و اساس مقطع پلاستیک نسبت به محور قوی برابر Z_x، به ازای چه مقدار طول L، معیارهای حالت حدی تسلیم خمشی و تسلیم برشی به طور همزمان حاکم بر طراحی تیر می‌شوند؟ فرض کنید تیر در سرتاسر طول خود دارای مهارجانبی پیچشی بوده و عمق مقطع تیر کوچکتر از ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت جان آن بزرگتر از ۵ میلیمتر است. همچنین بال‌های مقطع را فشرده فرض کنید(F_y=240 MPa) (بهمن ۹۴)



الف) $L=6\frac{Z_x}{dt_w}$

ب) $L=\frac{20}{3}\frac{Z_x}{dt_w}$

ج) $L=3\frac{Z_x}{dt_w}$

د) $L=\frac{10}{3}\frac{Z_x}{dt_w}$

پاسخ:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$\frac{M_u}{\phi M_n}=\frac{V_u}{\phi V_n}\quad,\quad M_u=\frac{q_uL^2}{8}\qquad V_u=\frac{q_uL}{2}$$

کنترل مقطع از منظر کمانش موضعی:

طبق صورت سوال بال‌ها فشرده هستند و برای جان می‌توان فشردگی را کنترل کرد:

$$\frac{h}{t_w}<\frac{30}{0.5}=60\le 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}=3.76\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}}=108$$

جان فشرده است و چون دارای مهارجانبی کافی است فقط معیار تسلیم حاکم بر طرح خواهد بود

$$\phi M_n=0.9F_yZ$$

$$\frac{h}{t_w}<\frac{30}{0.5}=60\le 1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{5.34\times2\times10^5}{240}}=73.3\quad\Rightarrow\quad C_{v1}=1$$

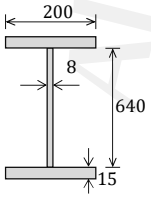
$$\phi V_n=\phi 0.6F_yA_wC_{v1}$$

$$\frac{\frac{q_uL^2}{8}}{0.9F_yZ}=\frac{\frac{q_uL}{2}}{0.9\times0.6F_yA_w}\Rightarrow\frac{L}{8Z}=\frac{1}{2\times0.6dt_w}\quad\Rightarrow\quad L=\frac{8Z}{1.2dt_w}=\frac{20Z}{3dt_w}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر با تکیه‌گاه‌های ساده و مقطع ساخته شده (شکل مقابل) دارای سخت کننده‌های عرضی در محل تکیه‌گاه‌ها و نیز سخت کننده‌های عرضی میانی به فواصل آزاد ۱۶۰۰ میلیمتر مفروض است. اتصال جان به بال‌ها جوشی می‌باشد. مقاومت برشی طراحی چشمه انتهای تیر برحسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (بهمن ۹۴)



الف) 664 kN

ب) 695 kN

ج) 738 kN

د) 772 kN

پاسخ: چون در انتهای تیر با توجه به اینکه اتصال مفصلی است عمل میدان کششی توسعه نمی‌یابد نمی‌توان از عمل میدان کششی استفاده کرد بنابراین داریم:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{64}{0.8} = 80 \qquad \frac{a}{h} = \frac{160}{64} = 2.5 < 3$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{(2.5)^2} = 5.8$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{64}{0.8} = 80 > 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5.8 \times 2 \times 10^5}{240}} = 76.47$$

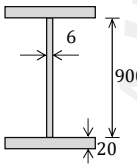
$$\Rightarrow C_{v1} = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{1.1}{80}\sqrt{\frac{5.8 \times 2 \times 10^5}{240}} = 0.956$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1} = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 670 \times 8 \times 0.956 \times 10^{-3} = 664\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر فولادی دوسر ساده با مقطع شکل مقابل، چنانچه مقاومت برشی مورد نیاز آن در دو انتها برابر V_u=600 kN باشد، حداکثر فاصله سخت کننده عرضی در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها برای تامین مقاومت برشی مورد نیاز به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (ابعاد روی شکل برحسب میلیمتر است و F_y=240 MPa) (اسفند ۹۵)



الف) ۱۳۵۰ میلیمتر ب) ۴۵۰ میلیمتر

ج) ۶۳۰ میلیمتر د) ۹۰۰ میلیمتر

پاسخ: با توجه به اینکه در چشمه ابتدایی و انتهایی تیر دوسر مفصل، عمل میدان کششی توسعه نمی‌یابد بنابراین در این چشمه‌ها مجاز به استفاده از عمل میدان کششی نیستیم پس:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{90}{0.6} = 150$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1} \geq V_u \quad \Rightarrow \quad 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 940 \times 6 \times C_{v1} \times 10^{-3} \geq 600$$

$$C_{v1} \geq 0.82 \qquad \Rightarrow 0.82 = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{1.1}{150}\sqrt{\frac{k_v \times 2 \times 10^5}{240}} \quad \Rightarrow k_v \geq 15$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{(a/900)^2} = 15 \quad \Rightarrow \quad a \leq 636\ mm$$

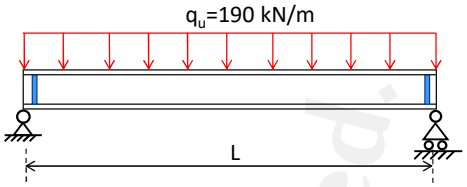
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

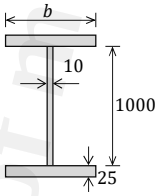
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل زیر سخت کننده‌های عرضی فقط در محل تکیه‌گاه‌ها تعبیه شده‌اند. بدون توجه به لزوم تعبیه سخت کننده‌های عرضی در طول تیر و فقط براساس کنترل برش، حداکثر طول مجاز تیر بر حسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فرض کنید وزن واحد طول تیر در q_u لحاظ شده است. (ابعاد روی شکل برحسب میلیمتر است و F_y=240 MPa) (اردیبهشت ۹۷)

الف) ۱۴ ب) ۸

ج) ۹ د) ۱۰





پاسخ: فرض میکنیم طول تیر به قدری باشد که a/h>3 باشد: (در این حالت مجاز به استفاده از عمل میدان کششی نیستیم)

$$V_u = \frac{190 \times L}{2} = 95L$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$k_v = 5.34$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1000}{10} = 100 > 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5.34 \times 2 \times 10^5}{240}} = 73.4$$

$$C_{v1} = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{1.1}{100}\sqrt{\frac{5.34 \times 2 \times 10^5}{240}} = 0.734$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1} = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 1050 \times 10 \times 0.734 \times 10^{-3} = 998.8\ kN$$

$$V_u \le \phi V_n \Rightarrow 95L \le 998.8 \Rightarrow L \le 10.5\ m$$

کنترل فرض:

$$\frac{10500}{1000} = 10.5 > 3\ \ ok$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید مقاومت برشی اسمی یک مقطع I شکل ساخته شده از ورق با $h/t_w=50$ برابر V_n است. اگر ضخامت جان این مقطع نصف شود، مقدار مقاومت برشی اسمی این مقطع حدودا چقدر خواهد بود؟ فرض کنید مقاومت برشی اسمی در امتداد جان مقطع مد نظر است. همچنین فرض کنید عضو در طول خود فاقد سخت کننده‌های عرضی بوده و استفاده از آثار عمل میدان کشش مد نظر نیست. ($F_y=240$ MPa) (مهر ۹۹)

الف) $0.63V_n$ ب) $0.5V_n$ ج) $0.42V_n$ د) $0.36V_n$

پاسخ: دو حالت با ضخامت اولیه و حالتی که ضخامت مقطع نصف شود را مقایسه کنیم:

$$\frac{h}{t_w}=50<1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{5.34\times2\times10^5}{240}}=73.4 \quad \Rightarrow C_{v1}=1.0$$

$$V_{n1}=0.6F_yA_wC_{v1}=0.6F_yA_w\times1$$

$$\frac{h}{t_w}=100>1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{5.34\times2\times10^5}{240}}=73.4 \quad \Rightarrow C_{v1}=\frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}}$$

$$=\frac{1.1}{100}\sqrt{\frac{5.34\times2\times10^5}{240}}=0.734 \quad \Rightarrow V_{n2}=0.6F_y\times0.5A_w\times0.734=0.22F_yA_w$$

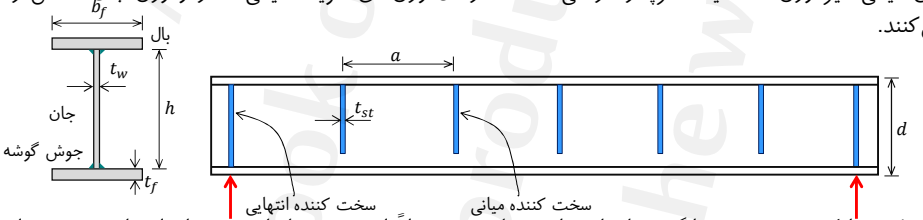
$$\frac{V_{n2}}{V_{n1}}=\frac{0.22F_yA_w}{0.6F_yA_w}=0.367$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اسمی با توجه به عمل میدان کشش

مطابق شکل زیر، پانل‌های بین سخت کننده‌های عرضی، از بالا به بال‌های تیر و از جوانب به سخت کننده‌هایی محدود می‌شوند. افزایش ظرفیت باربری جان تیرورق‌ها در محدوده الاستیک و برای نسبت‌های بزرگ h/t_w به دلیل عملکرد میدان کشش ورق جان محصور بین تقویت‌های میانی است. تنش‌های برشی موجود در هر پانل، (محدوده بین تقویت‌های میانی) بسته به جهت آن‌ها به تنش‌های کششی و فشاری در امتدادهای مایل تبدیل می‌شوند. به عبارتی با وجود تقویت‌های میانی، تیر ورق مانند یک خرپا رفتار می‌کند که در آن ورق‌های تقویت میانی فشار و ورق جان کشش را تحمل می‌کنند.

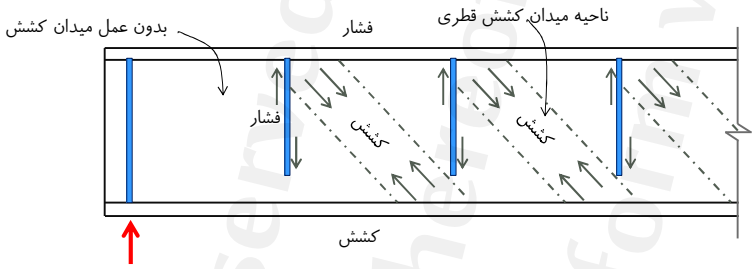


در حالاتی که مقاطع نورد شده جوابگوی بارهای وارده نباشند، معمولاً از تیرورق‌ها با عمق زیاد استفاده می‌شود. از تیرورق‌ها برای پوشش دهانه‌های زیاد در ساختمان‌های مسکونی یا اداری و همچنین تیرهای جرثقیل‌ها در ساختمان‌های صنعتی و یا در پل‌ها استفاده می‌شود. برای اقتصادی شدن طرح، از تیرورق‌هایی با نسبت عمق به دهانه ۱/۱۰ تا ۱/۱۲ استفاده می‌شود. با افزایش عمق تیرورق، ممان اینرسی آن افزایش یافته و در نهایت خیز تیر کمتر می‌شود. همچنین می‌توان فولاد استفاده شده در جان تیرورق را از فولادهای با مقاومت پایین‌تر انتخاب نمود. اگرچه این مورد چندان متداول نیست، ولیکن در طرح‌های بزرگ می‌تواند به اقتصاد طرح کمک زیادی نماید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مطابق شکل زیر پانل‌های بین سخت کننده‌های عرضی، از بالا به بال‌های تیر و از جوانب به سخت کننده‌هایی محدود می‌شوند. افزایش ظرفیت باربری جان تیرورق‌ها در محدوده الاستیک و برای نسبت‌های بزرگ h/t_w به دلیل عملکرد میدان کشش ورق جان محصور بین تقویت‌های میانی است. تنش‌های برشی موجود در هر پانل، (محدوده بین تقویت‌های میانی) بسته به جهت آن‌ها به تنش‌های کششی و فشاری در امتدادهای مایل تبدیل می‌شوند. به عبارتی با وجود تقویت‌های میانی، تیر ورق مانند یک خرپا رفتار می‌کند که در آن ورق‌های تقویت میانی فشار و ورق جان کشش را تحمل می‌کنند. کشش ایجاد شده در امتداد مایل هر پانل باعث افزایش قابل ملاحظه در ظرفیت باربری ورق جان می‌شود. افزایش ظرفیت باربری ورق که در محدوده مقاومت پس از کمانش ورق رخ می‌دهد به عملکرد حوزه کشش موسوم است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

استفاده از عمل میدان کششی برای حالت‌های زیر مجاز نمی‌باشد:

- در چشمه‌های دو انتهای تمامی اعضای دارای سخت کننده‌های عرضی.
- در اعضایی که در آن نسبت $a/h>3$ باشد.
- در اعضایی که در آن نسبت $a/h>[260/(h/t_w)]^2$ می‌باشد.
- در اعضایی که $[2A_w/(A_{fc}+A_{ft})]>2.5$ می‌باشد.
- در اعضایی که $(h/b_{ft})>6$ یا $(h/b_{fc})>6$ می‌باشد.

که در آن‌ها a، h و t_w به ترتیب، فاصله آزاد بین دو سخت کننده، فاصله آزاد بین دو بال و ضخامت جان می‌باشد. همچنین A_{fc} و A_{ft} به ترتیب سطح مقطع بال فشاری و کششی، b_{fc} و b_{ft} به ترتیب پهنای بال فشاری و کششی می‌باشند.

به طور کلی برای طراحی برشی تیرورق‌ها، سه روش وجود دارد:

طراحی با استفاده از جان سخت نشده،

طراحی با استفاده از سخت کننده‌های عرضی بدون توجه به میدان کشش،

طراحی با استفاده از سخت کننده‌های عرضی با توجه به میدان کشش،

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق بند ۱۰-۲-۶-۲-۲، در مواردی که قطعات سخت کننده عرضی با a/h≤3 در جان تیر تعبیه شود، در چشمه‌های داخلی فاقد بازشو در جان می‌توان برای تعیین مقاومت برشی اسمی اعضا از عمل میدان کششی استفاده نمود. در این حالت مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از روابط زیر تعیین می‌شود:

الف) برای $\frac{h}{t_w} \le 1.1\sqrt{k_v E/F_y}$

$$V_n = 0.6F_yA_w$$

ب- ۱) برای $\frac{h}{t_w} > 1.1\sqrt{k_v E/F_y}$

ب-۱) در صورت برقراری هر سه شرط $\frac{2A_w}{A_{fc}+A_{ft}} \le 2.5$ و $\frac{h}{b_{fc}} \le 6$ و $\frac{h}{b_{ft}} \le 6$ داریم:

$$V_n = 0.6F_yA_w\left(C_{v2} + \frac{1-C_{v2}}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب-۲) در غیر این صورت:

$$V_n = 0.6F_yA_w\left(C_{v2} + \frac{1-C_{v2}}{1.15\left(\left(\frac{a}{h}\right)+\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right)}\right)$$

در روابط فوق:

A_{fc} مساحت بال فشاری

A_{ft} مساحت بال کششی

b_{fc} پهنای بال فشاری

b_{ft} پهنای بال کششی

تعریف سایر پارامترها در بند ۱۰-۲-۶-۲-۱ آمده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب کمانش برشی جان به شرح زیر: C_{v2}

برای $\frac{h}{t_w} \le 1.1\sqrt{k_v E/F_y}$

$$C_{v2} = 1$$

برای $1.1\sqrt{k_v E/F_y} < \frac{h}{t_w} \le 1.37\sqrt{k_v E/F_y}$

$$C_{v2} = \frac{1.1}{(\frac{h}{t_w})}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

برای $\frac{h}{t_w} > 1.37\sqrt{k_v E/F_y}$

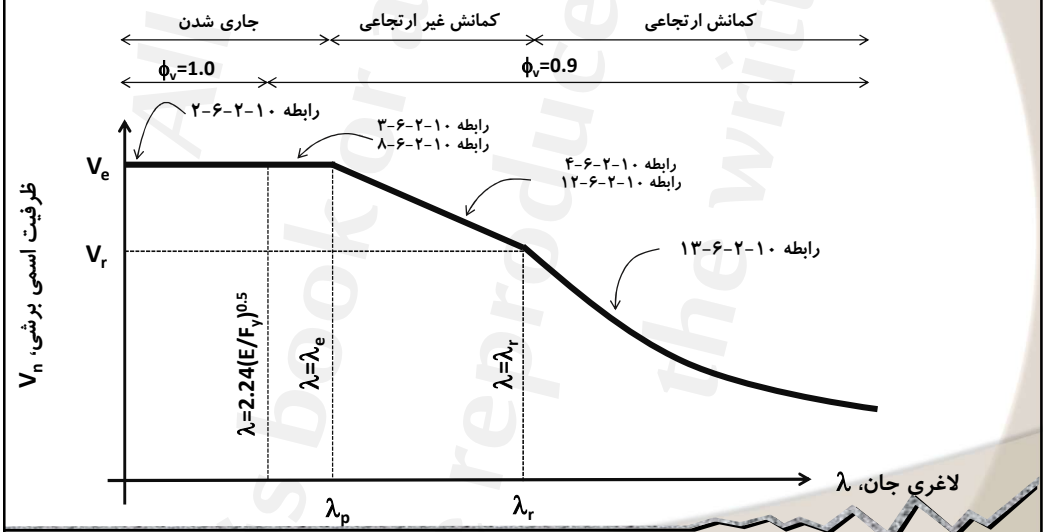
$$C_{v2} = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y}$$

تبصره: درصورتیکه مقاومت برشی اسمی به دست آمده با توجه به عمل میدان کششی کوچکتر از مقاومت برشی حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۶-۲-۱ باشد، مقاومت برشی اسمی را می‌توان بدون توجه به عمل میدان کششی محاسبه نمود.

صفحه ۵۵۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر ارتباط بین لاغری جان و ظرفیت اسمی برشی تیر نشان داده شده است



صفحه ۵۵۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

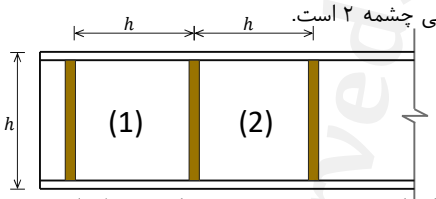
مثال) در شکل زیر دو چشمه ابتدایی یک تیرورق با تکیه‌گاه‌های انتهایی ساده و سخت کننده‌های عرضی به کار رفته در آن نشان داده شده است. با احتساب عمل میدان کششی، کدامیک از عبارت‌های زیر صحیح است؟ (شهریور ۹۵)

الف) مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ همواره بزرگتر یا مساوی مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ است.

ب) مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ همواره بزرگتر از مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ است.

ج) مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ همواره بزرگتر یا مساوی مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ است.

د) مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ همواره بزرگتر از مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ است.

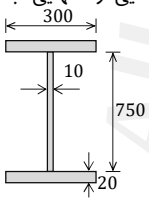


پاسخ: به دلیل اینکه اطلاعاتی در مورد نسبت جان به ضخامت آن را نداریم در صورتی که نسبت لاغری جان از حدی کمتر باشد در این صورت مقاومت برشی چشمه ۱ با چشمه ۲ برابر خواهد بود. در صورتی که مقدار لاغری از یک حد مشخص بیشتر باشد مقاومت برشی می‌تواند با توجه به عمل میدان کششی محاسبه شود و با توجه به اینکه در چشمه انتهایی عمل میدان کششی، به طور کامل توسعه نمی‌یابد ممکن است مقاومت برشی چشمه ۱ در این حالت از چشمه ۲ کوچکتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع یک تیر به طول ۱۰ متر با تکیه‌گاه‌های ساده مطابق شکل زیر است. اگر فواصل آزاد سخت کننده‌ها در جان تیرورق برابر با یک متر باشد، مقاومت برشی طراحی این تیر ورق بر حسب kN در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (شهریور ۹۵)



الف) 1020 kN ب) 1138 kN

ج) 645 kN د) 715 kN

پاسخ: با توجه به اینکه در چشمه ابتدایی و انتهایی تیر دوسر مفصل عمل میدان کششی توسعه نمی‌یابد بنابراین در این چشمه‌ها مجاز به استفاده از عمل میدان کششی نیستیم پس:

$$\frac{h}{t_w}=\frac{75}{1}=75 \qquad \frac{a}{h}=\frac{100}{75}=1.33<3 \quad \Rightarrow k_v=5+\frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}=5+\frac{5}{(1.33)^2}=7.8$$

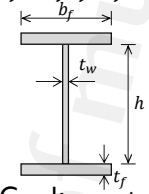
$$\frac{h}{t_w}=\frac{75}{1}=75<1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{7.8\times 2\times 10^5}{240}}=88.8 \quad \Rightarrow C_{v1}=1.0$$

$$\phi V_n=\phi 0.6F_yA_wC_{v1}=0.9\times 0.6\times 240\times 790\times 10\times 1\times 10^{-3}=1023\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر I شکل فولادی ساخته شده از ورق در یکی از چشمه‌ها مقدار ضریب k_v برابر ۱۰ محاسبه شده است. حداکثر مقدار h/t_w برای آنکه در این چشمه تعبیه سخت کننده‌های عرضی اضافی عملا نتواند مقدار مقاومت برشی اسمی مقطع را افزایش دهد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (بهمن ۹۷)



الف) ۱۰۰ ب) ۷۰

ج) ۶۴ د) ۱۲۳

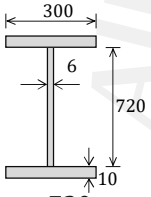
پاسخ: سخت کننده‌های عرضی باعث افزایش ضریب k_v و C_v می‌شوند. اگر فاصله سخت کننده‌های عرضی کمتر باشد مقدار ضریب k_v افزایش می‌یابد و در این صورت می‌توان جان مقطع را لاغرتر انتخاب نمود. کاهش فاصله سخت کننده‌های عرضی نهایتا منجر می‌شود که ضریب C_v به حداکثر مقدار خود یعنی ۱ برسد و بعد از آن افزایش تعداد سخت کننده و کاهش فواصل آن هیچ تاثیر مثبتی روی مقاومت برشی مقطع نخواهد داشت. همچنین اگر ضریب C_v برابر ۱ باشد مقاومت برشی مقطع با یا بدون استفاده از عمل میدان کششی یکسان خواهد بود.

$$C_{v(max)} = 1.0 \quad if \quad \frac{h}{t_w} < 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{10 \times 2 \times 10^5}{240}} = 100$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر فولادی ساخته شده از ورق با مقطع شکل مقابل، فاصله آزاد بین سخت کننده‌های عرضی در یک چشمه برابر 1500 mm است. در صورتیکه استفاده از عمل میدان کششی در این چشمه مجاز باشد، نسبت مقاومت برشی اسمی مقطع با توجه به عمل میدان کششی به مقاومت آن بدون توجه به عمل میدان کشش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ در شکل ابعاد به میلیمتر است. (F_y=235 MPa) (مهر ۹۹)



الف) 1.0 ب) 1.1

ج) 1.2 د) 1.3

پاسخ: مقاومت برشی بدون توجه به عمل میدان کششی:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{720}{6} = 120 \qquad \frac{a}{h} = \frac{1500}{720} = 2.08 < 3 \quad \Rightarrow k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{(2.08)^2} = 6.16$$

$$\frac{h}{t_w} = 120 > 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{6.16 \times 2 \times 10^5}{240}} = 79$$

$$C_{v1} = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{1.1}{120}\sqrt{\frac{6.16 \times 2 \times 10^5}{240}} = 0.664$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین:

$$V_{n1} = 0.6F_yA_wC_{v1} = 0.6F_yA_w \times 0.664$$

مقاومت برشی با توجه به عمل میدان کششی:

$$\frac{h}{t_w} = 120 > 1.37\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}} = 98 \quad \Rightarrow C_{v2} = \frac{1.51k_vE}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = 0.55$$

$$\frac{h}{b_{ft}} = \frac{h}{b_{fc}} = \frac{720}{300} = 2.6 < 6 \quad \text{و} \quad \frac{2A_w}{A_{fc}+A_{ft}} = \frac{2\times(740\times 6)}{2\times(300\times 10)} = 1.48 \le 2.5$$

چون ۳ شرط فوق برقرار است پس:

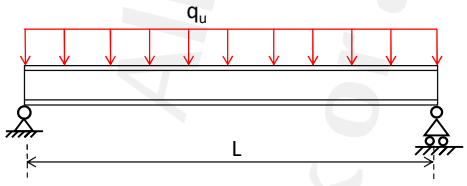
$$V_{n2} = 0.6F_yA_w\left(C_{v2} + \frac{1-C_{v2}}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right) = 0.6F_yA_w\left(0.55 + \frac{1-0.55}{1.15\sqrt{1+(2.08)^2}}\right) = 0.6F_yA_w \times 0.72$$

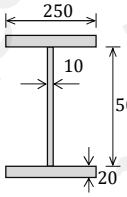
$$\frac{V_{n2}}{V_{n1}} = \frac{0.6F_yA_w \times 0.72}{0.6F_yA_w \times 0.664} = 1.08$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید تیر نشان داده شده در شکل زیر بدون سخت کننده‌های عرضی از مقاومت برشی اسمی کافی برخوردار نیست. از طریق سخت کننده‌های عرضی در جان تیر با فاصله آزاد ۵۰۰ میلیمتر از یکدیگر حدودا می‌توان چند درصد مقاومت برشی اسمی این تیر را افزایش داد؟ در شکل ابعاد به میلیمتر است. (F_y=240 MPa) (مرداد ۱۴۰۰)





الف) 22 ب) 12.5

ج) 10 د) 0

پاسخ: مقاومت برشی بدون توجه به عمل میدان کششی:

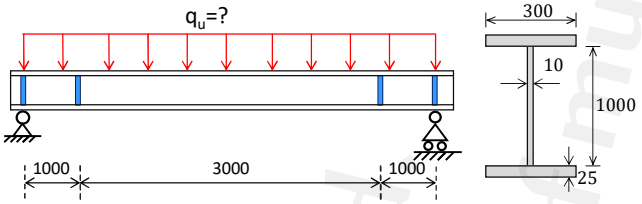
$$\frac{h}{t_w} = \frac{500}{10} < 1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5.34\times 2\times 10^5}{240}} = 73 \quad \Rightarrow C_{v1} = 1.0$$

بدون استفاده از سخت کننده مقدار ضریب C_{v1} برابر ۱ می‌باشد و اجرا یا افزایش سخت کننده فقط روی ضریب C_{v1} تاثیر خواهد داشت که مقدار حداکثر آن برابر ۱ است. پس اگر از سخت کننده نیز استفاده کنیم هیچ افزایش مقاومت برشی نخواهیم داشت و تنها راه حل افزایش مقاومت برشی مقطع، افزایش سطم مقطع جان می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فقط براساس کنترل برش در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی، حداکثر مقدار q_u قابل تحمل توسط تیر شکل زیر به کدامیک از گزینه‌ها نزدیکتر است؟ (ابعاد روی شکل برحسب میلیمتر است) (F_y=240MPa) (دی ۱۴۰۱)



الف) 350 kN/m ب) 605 kN/m

ج) 540 kN/m د) 1360 kN/m

پاسخ: داریم

$$\frac{h}{t_w}=\frac{1000}{10}=100 \qquad \frac{a}{h}=1<3 \quad \Rightarrow \quad k_v=5+\frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}=5+\frac{5}{(1)^2}=10$$

$$\frac{h}{t_w}=100\le 1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}}=1.1\sqrt{\frac{10\times 2\times 10^5}{240}}=100 \quad \Rightarrow \quad C_{v1}=1$$

$$\frac{q_u\times 5}{2}\le 0.9\times 0.6\times 240\times 10\times 1050 \quad \Rightarrow \quad q_u\le 544\ kN/m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سخت کننده‌های عرضی

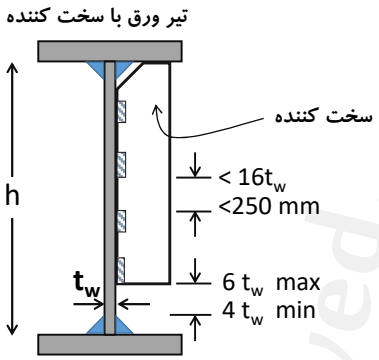
طبق بند ۱۰-۲-۶-۲-۳، در مواردی که $\frac{h}{t_w}\le 2.54\sqrt{k_vE/F_y}$ باشد، تعبیهٔ سخت کننده‌های عرضی ضروری نیست. درصورتیکه $\frac{h}{t_w}>2.54\sqrt{k_vE/F_y}$ بوده و برای تأمین مقاومت برشی اسمی استفاده از سخت کننده‌های عرضی مد نظر باشد، محدودیت‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

الف) درصورتیکه به عمل تماسی مستقیم بین قطعه سخت کننده و بال تیر، برای انتقال بارهای متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی نیاز نباشد، می‌توان سخت کنندهٔ عرضی را به بال کششی جوش نداده یا حتی می‌توان قطعهٔ سخت کننده را نرسیده به بال کششی قطع کرد. در صورت عدم جوشکاری سخت کننده به بال کششی، جوش‌هایی که قطعهٔ سخت کننده را به جان تیر متصل می‌کنند باید در فاصله‌ای نه کمتر از ۴ برابر و نه بیشتر از ۶ برابر ضخامت جان از بر جوش اتصال سخت‌کننده به جان و بال کششی ختم شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تفسیر بند قبل مبحث دهم در شکل روبرو نشان داده شده است:



ب) سخت‌کننده‌های عرضی باید به بال فشاری متصل گردند تا از بلند شدن بال در اثر پیچش جلوگیری به عمل آید.

پ) فاصلهٔ مرکز تا مرکز پیچ‌هایی که سخت کننده‌ها را به جان تیر متصل می‌کنند، نباید از ۳۰۰ میلیمتر بیشتر باشد. چنانچه برای اتصال سخت کننده‌ها به جان تیر از جوش‌های گوشه منقطع استفاده شود، نباید فاصلهٔ آزاد بین جوش‌های منقطع از ۱۶ برابر ضخامت جان و ۲۵۰ میلیمتر بیشتر شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) کمانش موضعی ورق‌های تشکیل دهندهٔ قطعات سخت کننده باید کنترل شود:

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{st} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

که در آن:

$(b/t)_{st}$ نسبت پهنا به ضخامت ورق‌های سخت کننده

E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

F_{yst} تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد قطعات سخت کننده

ث) ممان اینرسی (I_{st}) قطعات سخت کننده باید محدودیت زیر را براساس مشخصات هر دو چشمهٔ مجاور آن به صورت جداگانه تأمین نماید:

$$I_{st} \geq I_{st} + (I_{st} - I_{st})\rho_w$$

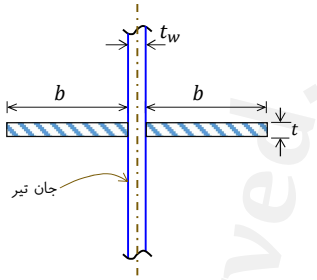
I_{st1} حداقل ممان اینرسی مورد نیاز بدون توجه به عمل میدان کشش و همچنین I_{st2} حداقل ممان اینرسی مورد نیاز با توجه به عمل میدان کششی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

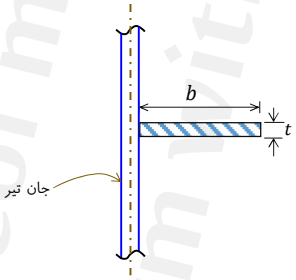
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در رابطهٔ فوق:

I_{st} ممان اینرسی قطعات سخت کننده حول محور مرکزی جان، برای قطعات سخت کنندهٔ جفت و یا ممان اینرسی قطعات سخت کننده حول محل تماس سخت کننده با ورق جان، برای قطعات سخت کنندهٔ تک



$$I_{st} = \frac{1}{12}\left((2b + t_w)^3 - t_w^3\right)t$$



$$I_{st} = \frac{1}{3}b^3 t$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ρ_w نسبت نیروهای برشی در چشمهٔ مجاور براساس رابطهٔ زیر که نباید کوچکتر از صفر در نظر گرفته شود

$$\rho_w = \left(\frac{V_r - V_{c2}}{V_{c1} - V_{c2}}\right) \geq 0$$

V_r مقاومت برشی موردنیاز در چشمهٔ موردنظر

V_{c1} برابر $\phi_v V_n$ در روش LRFD، و V_n/Ω در ASD است که در آن مقدار V_n در چشمه مورد نظر از روابط ۱۰-۲-۶-۱ یا ۱۰-۲-۶-۹ و یا ۱۰-۲-۶-۱۰ تعیین می‌گردد.

V_{c2} برابر $\phi_v V_n$ در روش LRFD، و V_n/Ω در ASD است که در آن مقدار V_n در چشمه مورد نظر از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2}$$

ϕ_v=0.9 و Ω_v=1.67

C_{v2}: ضریب کمانش برشی جان مطابق روابط ۱۰-۲-۶-۱۱ تا ۱۳

A_w=dt$_w$ مساحت جان مقطع که برابر است با حاصل ضرب عمق کلی مقطع در ضخامت جان

$$I_{st} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3}}{40}\left(\frac{F_{yw}}{E}\right)^{1.5}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$I_{st2} = \left[\frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2\right] b_p t_w^3 \geq 0.5 b_p t_w^3$$

t_w ضخامت جان مقطع

a فاصلهٔ آزاد بین سخت کننده‌های عرضی جان در چشمهٔ موردنظر

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال منهای گردی محل اتصال جان به بال، برای تیرهای نورد شده

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ جوش

h فاصلهٔ بین خطوط پیچ، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ پیچ

b_p کوچکترین مقدار a و h

ρ_{st} بزرگترین مقدار (F_{yw}/F_{yst}) و 1.0

F_{yw} تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان

تبصره: به منظور تأمین حداقل ممان اینرسی لازم برای سخت‌کننده‌ها، به جای رابطهٔ ۱۰-۲-۶-۱۵ به طور محافظه کارانه می‌توان از رابطهٔ $I_{st} \geq I_{st1}$ استفاده کرد.

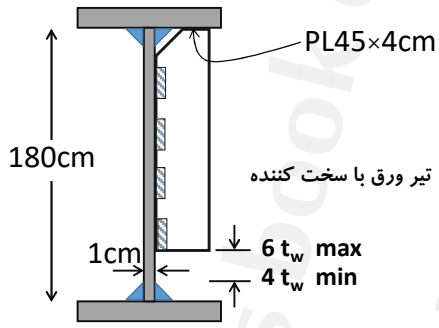
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) با توجه به تیر ورق نشان داده شده در شکل زیر، سخت کننده را فقط براساس معیار حداقل ممان اینرسی آن طراحی نمایید. فرض کنید بعد جوش گوشه آن ۶ میلیمتر است. فواصل سخت کننده‌ها از یکدیگر برابر ۲۰۰ سانتیمتر و تنها در یک سمت جان قرار می‌گیرند. حداکثر برش مورد نیاز در چشمه‌های مجاور تحت ترکیب بارهای ضریبدار حالات حدی برابر ۲۰۰ تن فرض شود

پاسخ:با توجه به داده‌های مسئله داریم:

a=200 cm h=180 cm a/h=1.11 tw=1.0 cm h/t_w=180



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ابتدا V_{c1} تعیین شود:

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{(1.11)^2} = 9.06$$

$$\frac{h}{t_w} = 180 > 1.11\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 96 \quad \Rightarrow C_{v1} = \frac{1.1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)}\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = \frac{1.1}{180}\sqrt{\frac{9.06 \times 2 \times 10^6}{2400}} = 0.535$$

$$\Rightarrow V_{c1} = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1} = 0.9 \times 0.6 F_y A_w \times 0.535 = 136\ ton$$

حال V_{c2} تعیین شود:

$$\frac{h}{t_w} = 180 > 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 119 \quad \Rightarrow C_{v2} = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = 0.35$$

$$\Rightarrow V_{c2} = \phi 0.6 F_y A_w C_{v2} = 0.9 \times 0.6 F_y A_w \times 0.35 = 85\ ton$$

بنابراین:

$$F_{yw}/F_{yst} = 1.0 = \rho_{st}$$

$$\rho_w = \left(\frac{V_r - V_{c2}}{V_{c1} - V_{c2}}\right) = \left(\frac{200 - 85}{136 - 85}\right) = 2.25 \geq 0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$I_{st1} = \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3}}{40}\left(\frac{F_{yw}}{E}\right)^{1.5} = \frac{180^4 \times 1^{1.3}}{40}\left(\frac{2400}{2 \times 10^6}\right)^{1.5} = 1090 cm^4$$

$$I_{st2} = \left[\frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2\right] b_p t_w^3 \geq 0.5 b_p t_w^3$$

$$\frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 = \frac{2.5}{(1.11)^2} - 2 = 0.03 \quad b_p = \min(a, h) = 180\ cm$$

$$\Rightarrow I_{st2} = [0.03] \times 180 \times 1^3 = 5.4\ cm^4 < 0.5 \times 180 \times 1^3 = 90\ cm^4 \Rightarrow I_{st2} = 90\ cm^4$$

$$I_{st} \geq I_{st} + (I_{st1} - I_{st2})\rho_w = 90 + (1090 - 90) \times 2.25 = 2340\ cm^4$$

با انتخاب یک ورق 200 در 12 میلیمتر، به عنوان سخت کننده، ممان اینرسی آن برابر است با:

$$I_{st} = \frac{t_{st} b_{st}^3}{3} = \frac{1.2 \times 20^3}{3} = 3200\ cm^4 > 2340\ cm^4$$

باید محدودیت زیر نیز تامین شود:

$$\left(\frac{b_{st}}{t_{st}}\right) = \frac{20}{1.2} = 16.7 > 0.56\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} = 0.56\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 16.1$$

بنابراین ضخامت سخت کننده کافی نبوده و بایستی از ضخامت بیشتری استفاده شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع سپری تحت اثر برش در صفحهٔ تقارن و نبشی تک تحت اثر برش در امتداد یکی از ساق‌ها

طبق بند ۱۰-۲-۶-۳، مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$V_n = 0.6F_y btC_{v2}$$

که در آن:

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان

b عمق مقطع سپری یا پهنای ساق نبشی مقاوم در برابر نیروی برشی

t ضخامت جان سپری یا نبشی مقاوم در برابر نیروی برشی

C_{v2} ضریب برشی جان مطابق روابط ۱۰-۲-۶-۱۰ تا ۱۱-۲-۶-۱۰ با فرض $h/t_w=b/t$ و $k_v=1.2$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اعضای با مقطع قوطی شکل (HSS) جعبه‌ای و سایر مقاطع دارای یک یا دو محور تقارن

طبق بند ۱۰-۲-۶-۴، مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2}$$

که در آن:

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

الف) برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای

$A_w=2ht$ و t ضخامت جدارهٔ مقطع قوطی شکل و ضخامت جان‌ها در مقاطع جعبه‌ای

h پهنای جان مقطع مقاوم در برابر نیروی برشی

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال منهای گردی محل اتصال جان به بال، برای مقاطع نورد شده

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال، برای مقاطع ساخته شده از ورق

h بعد بیرونی (کلی) منهای سه برابر ضخامت بال، در صورت مشخص نبودن شعاع گردی اتصال جان‌ها به بال‌ها

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

C_{v2}: ضریب برشی جان مطابق روابط ۱۰-۲-۶-۱۱ تا ۱۰-۲-۶-۱۳ با فرض $h/t_w=h/t$ و $k_v=5$

ب) برای سایر مقاطع دارای یک یا دو محور تقارن:

A_w مساحت جان یا جان‌های مقاوم مقطع در برابر نیروی برشی

t ضخامت جان مقاوم در برابر نیروی برشی

h پهنای جان مقطع مقاوم در برابر نیروی برشی

h فاصلهٔ آزاد بین دو بال، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ جوش

h فاصلهٔ بین خطوط پیچ، برای مقاطع ساخته شده از ورق با اتصال جان به بال‌ها به وسیلهٔ پیچ

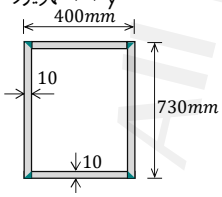
C_{v2} ضریب برشی جان مطابق روابط ۱۰-۲-۶-۱۱ تا ۱۳ با فرض $h/t_w=h/t$ و $k_v=5$

تبصره: در مقاطع صلیبی متشکل از دو نیمرخ I شکل عمود بر هم، مقادیر t، A_w و h باید براساس فقط جان موازی با امتداد نیروی برشی تعیین گردیده و از مقاومت برشی اسمی بال‌ها صرفنظر شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) شکل مقابل یک مقطع قوطی ساخته شده با جوش قوس الکتریکی را نشان می‌دهد. مقاومت برشی طراحی این مقطع در امتداد محور ضعیف بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_y=240 MPa) (شهریور ۹۵)



الف) 1590 kN ب) 1765 kN

ج) 1840 kN د) 2045 kN

پاسخ:

$$h = 730 - 2 \times 10 = 710\ mm \qquad k_v = 5$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{710}{10} = 71 \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{5 \times 2 \times 10^5}{240}} = 71 \quad \Rightarrow C_{v2} = 1.0$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v2} = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 2 \times 710 \times 10 \times 1 \times 10^{-3} = 1840\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اعضای با مقطع دایره‌ای شکل توخالی

طبق بند ۱۰-۲-۶-۵، مقاومت برشی اسمی (V_n)، براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$V_n = 0.5F_{cr}A_g$$

که در آن:

$$F_{cr} = \max\left(\frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{1.25}} \text{ و } \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{1.5}}\right) \le 0.6F_y$$

در روابط فوق، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، E مدول الاستیسیتهٔ فولاد، A_g سطح مقطع کلی مقطع، D قطر خارجی مقطع

t ضخامت طراحی مقطع لوله‌ای معادل 0.93 برابر ضخامت اسمی مقطع برای مقاطع ساخته شده با جوش قوس الکتریکی و معادل ضخامت اسمی مقطع برای مقاطع ساخته شده با جوش زیرپودری

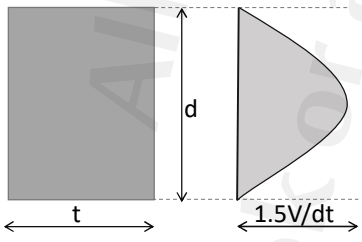
L_v فاصلهٔ بین محل نیروی برشی حداکثر تا محل نیروی برشی صفر در طول عضو

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی اسمی اعضای دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر برش در راستای عمود بر محور ضعیف مقطع

برای مقاطع با یک یا دو محور تقارن، که برش عمود بر محور ضعیف آن‌ها باشد، بال‌های مقطع مشابه مستطیل عمل نموده و توزیع برش در آنها مشابه شکل زیر است:



حداکثر برش در تار خنثی مقطع تیر ایجاد شده و برابر است با:

$$f_v = \frac{VQ}{It}$$

که در رابطه اخیر، Q ممان اول سطح مقطع حول محور تحت خمش برابر $(td/2)\times d/4$ است، I ممان اینرسی مقطع و برابر $td^3/12$ و t عرض مقطع تیر می‌باشد. با قرار دادن مقادیر در رابطه اخیر داریم:

$$f_v = \frac{V(td^2/8)}{(td^3/12)t} = 1.5\frac{V}{td}$$

مقدار تنش متوسط برابر $f_v=V/td$ است. همانطور که دیده می‌شود، مقدارتنش برشی حداکثر، 1.5 برابر تنش متوسط برشی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبق بند ۱۰-۲-۶-۶، در صورتیکه این نوع اعضا تحت اثر پیچش قرار نداشته باشند، مقاومت برشی اسمی (V_n) هر یک از اجزای مقاوم در برابر برش باید از رابطهٔ زیر به دست آید:

$$V_n = 0.6F_y b_f t_f C_{v2}$$

که در آن:

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد،

t_f ضخامت جزء مقاوم در مقابل برش

b_f پهنای جزء مقاوم در مقابل برش

C_{v2} ضریب کمانش برشی جان مطابق روابط ۱۰-۲-۶-۱۱ تا ۱۳ با فرض $h/t_w=b_f/2t_f$ برای مقاطع I شکل و سپری و $h/t_w=b_f/t_f$ برای مقطع ناودانی و $k_v=1.2$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت برشی اسمی مقطع IPE 300 تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر می‌باشد؟ مقطع تحت اثر پیچش قرار نداشته و فولاد ST37 است. (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (خرداد ۹۳)

الف) 231 kN

ب) 306 kN

ج) 462 kN

د) 768 kN

پاسخ: براساس حالت حدی تسلیم برشی در مقطع کلی:

$$V_n = 0.6F_y b_f t_f C_{v2}$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{15}{2\times 1.07} = 7 \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{1.2\times 2\times 10^5}{240}} = 34 \quad \Rightarrow \quad C_{v2}=1$$

$$A_w = 2\times 10.7\times 150 = 3210\ mm^2$$

$$V_n = 0.6\times 240\times 3210\times 1\times 10^{-3} = 462\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت برشی طراحی ناودانی UNP300 در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع برحسب kN به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ عضو تحت پیچش قرار ندارد و هیچ سخت کننده عرضی وجود ندارد (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (خرداد ۹۳)

الف) 207 kN

ب) 388 kN

ج) 414 kN

د) 461 kN

پاسخ: محور ضعیف ناودانی همان محوری است که موازی جان ناودانی است و امتداد عمود بر آن، محور موازی بال‌های آن است:

$$V_n = 0.6F_y b_f t_f C_{v2}$$

$$\frac{b_f}{t_f} = \frac{10}{1.6} = 6.25 \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{1.2 \times 2 \times 10^5}{240}} = 34 \quad \Rightarrow \quad C_{v2} = 1$$

$$V_D = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 2 \times 100 \times 16 \times 10^{-3} = 414\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک عضو فولادی با مقطع IPE160 نسبت مقاومت برشی طراحی در صفحه جان مقطع به مقاومت برشی طراحی در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع به کدامیک از مقادیر نزدیکتر است؟(F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (خرداد ۹۳)

الف) 0.66 ب) 0.73 ج) 1.37 د) 1.46

پاسخ: مقاومت برشی طراحی در صفحه جان مقطع:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{127}{5} = 25.4 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 64 \quad \Rightarrow C_{v1} = 1.0$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_{v1} = 1.0 \times 0.6 \times 240 \times 160 \times 5 \times 1.0 \times 10^{-3} = 115.2\ kN$$

مقاومت برشی طراحی در امتداد عمود بر محور ضعیف:

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{82}{2 \times 7.4} = 5.5 \le 1.1\sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1.1\sqrt{\frac{1.2 \times 2 \times 10^5}{240}} = 34.8 \quad \Rightarrow C_{v2} = 1.0$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 F_y b_f t_f C_{v2} = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 2 \times 82 \times 7.4 \times 1.0 \times 10^{-3} = 157\ kN$$

$$\frac{115}{157} = 0.73$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ملاحظات مربوط به بازشو در جان تیرها

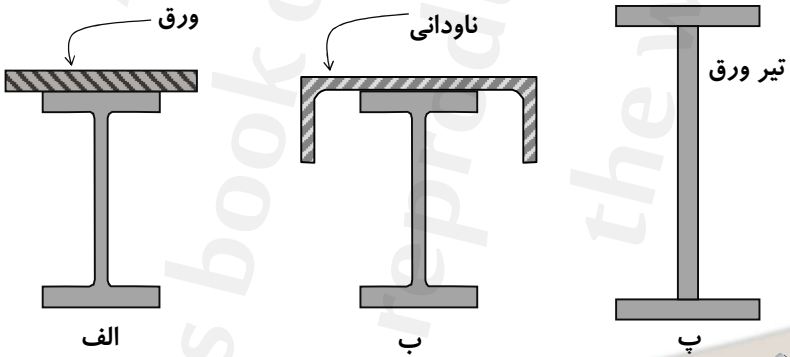
تأثیر تمامی بازشوهای موجود در جان در تعیین مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع فولادی و اعضای با مقطع مختلط باید در نظر گرفته شود. در مواردی که مقاومت برشی مورد نیاز در محل بازشو از مقاومت برشی موجود بیشتر باشد، تأمین مقاومت برشی موردنیاز از طریق تقویت مقطع در محل بازشو به شرطی مجاز است که ورق یا ورق‌های تقویتی به بال مقطع تیر نیز متصل شده باشد. الزامات مربوط به مقاومت برشی موجود تیرهای دارای بازشوهای متوالی در جان (تیرهای لانه زنبوری) در پیوست ۵ این مبحث ارائه شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برش طولی در مقاطع ساخته شده از ورق

مطابق شکل (الف)، مقطع فولادی نورد شده توسط ورق تقویت شده است. همچنین در شکل (ب۹، یک مقطع فولادی توسط یک ناودانی جهت حرکت جرثقیل بر روی آن پیش‌بینی شده است. در شکل (پ)، نیز از یک مقطع تیر ورق که دارای ممان اینرسی بیشتر نسبت به مقاطع نورد شده معمولی است، جهت مقابله با بارهای وارده استفاده شده است. برای هر یک از مقاطع نامبرده شده، جهت طراحی اجزای مقطع متصل به هم، بایستی جوش این اتصالات را بر حسب میزان جریان برش طولی که در سطح بین دو قطعه وجود دارد، طراحی نمود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

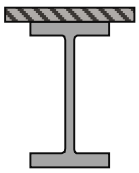
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض نمایید، تیر نشان داده شده در شکل زیر، مقطع IPE270 توسط یک ورق به عرض ۲۰ و ضخامت ۱ سانتیمتر در بالای خود تقویت شده است. مقدار برش در محل تکیه‌گاه‌ها، تحت بار مرده برابر ۴ تن و تحت بار زنده برابر ۶ تن است. مقدار برش طولی بین پروفیل فولادی و ورق متصل شده را تعیین نمایید.

برای مقطع IPE270 داریم:

$d = 27\ \text{cm}$ ، $t_w = 0.66\ \text{cm}$ ، $t_f = 1.02\ \text{cm}$ ، $A = 45.9\ \text{cm}^2$ ، $I = 5790\ \text{cm}^4$

مشخصات ورق:



$A_p = 20\ \text{cm}^2$ ، $I_p = 1.66\ \text{cm}^4$

بخش	A	y	I	A×y	A×y²
ورق	20	27.5	1.66	550	15125
تیر	45.9	13.5	5790	619.65	8365
جمع	65.9		5791.66	1169.65	23490

مرکز سطح کل شکل و ممان اینرسی مقطع، برابر است با:

$$y' = \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A} = \frac{1169.65}{65.9} = 17.74\ \text{cm}$$

$$I = \Sigma I + \Sigma A(y - y')^2 = 5791.66 + 20 \times 9.76^2 + 45.9 \times 4.24^2 = 8522\ \text{cm}^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$Q = A_p(y - y')^2 = 20 \times 9.76 = 195.2\ \text{cm}^3$$

$$V_u = 1.2V_D + 1.6V_L = 1.2 \times 4 + 1.6 \times 6 = 14.4\ \text{ton}$$

$$q = \frac{VQ}{I} = \frac{14.4 \times 195.2}{8522} = 0.33\ \frac{\text{ton}}{\text{cm}}$$

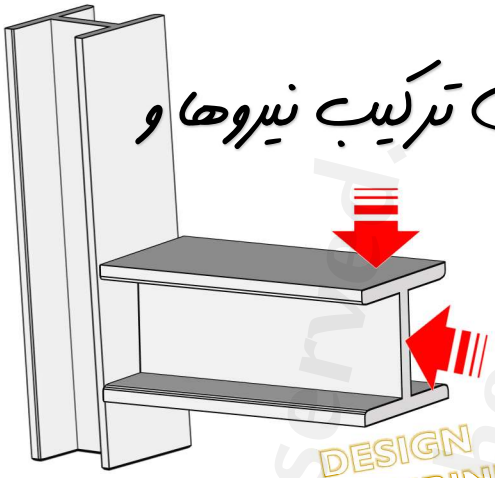
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل هشتم

طراحی اعضا برای ترکیب نیروها و پیچش



DESIGN OF MEMBERS FOR COMBINED FORCES AND TORSION

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند ۱۰-۲-۷ به الزامات طراحی اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی حول یکی از محورها یا هر دو محور با یا بدون لنگر پیچشی و نیز اعضای تحت اثر پیچش خالص می‌پردازد.

الزامات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

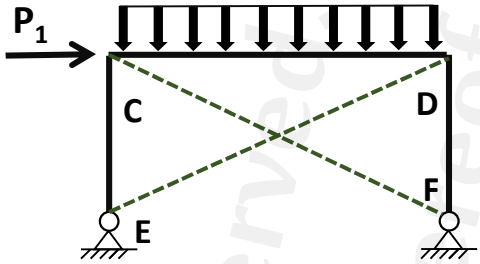
- ۱۰-۲-۷-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۷-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی
- ۱۰-۲-۷-۳ اعضای با مقطع نامتقارن و سایر اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی
- ۱۰-۲-۷-۴ مقاومت پیچشی مقاطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای
- ۱۰-۲-۷-۵ اعضای تحت اثر ترکیب پیچش، خمش، برش و نیروی محوری با مقطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای
- ۱۰-۲-۷-۶ ترکیب تنش‌ها در سایر مقاطع (مقاطع باز)
- ۱۰-۲-۷-۷ گسیختگی بال های دارای سوراخ تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ستون‌های یک سازه به ندرت تحت بارهای محوری خالص حاصل قرار دارند و معمولاً به سبب خروج از مرکزیت‌های اعمال بار و بارهای جانبی اعمال شده بر قاب، تحت ترکیبی از نیروها قرار می‌گیرند. این مورد در حالتی که سازه دارای درجات نامعینی زیاد باشد (مانند قاب‌های خمشی)، بیشتر دیده می‌شود. در برخی مقاطع می‌توان از وجود اثر لنگر خمشی در آنها صرف نظر نمود و آنها را به مانند اعضای فشاری خالص طراحی نمود. معمولاً به اعضایی که تحت لنگر خمشی خالص باشند، تیر و به اعضایی که تحت نیروی محوری خالص باشند، ستون گفته می‌شود. به اعضایی که اثر نیروی محوری و لنگر خمشی در آنها قابل توجه باشد تیر-ستون گفته می‌شود.



الزامات عمومی

طراحی این گونه اعضا بر اصولی استوار است که در بخش‌های قبلی ارائه شد. به عبارت دیگر، مباحث مطرح شده در بخش‌های قبلی برای طراحی اعضا در برابر نیروی کششی، نیروی فشاری، لنگر خمشی و نیروی برشی و نیز الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری و الزامات کمانش موضعی، در طراحی اینگونه اعضا مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روابط اندرکنشی بین لنگر و نیروی محوری

بطور کلی می‌توان رابطه زیر را بین نیروی مورد نیاز و ظرفیت موجود بیان نمود:

$$\frac{\text{مقاومت مورد نیاز}}{\text{مقاومت موجود}} \leq 1.0$$

به عبارتی دیگر، صورت رابطه فوق، بیانگر نیاز عضو و مخرج رابطه بیانگر ظرفیت عضو می‌باشند. برای اعضای فشاری، مقاومت‌ها بصورت محوری می‌باشند. به عنوان مثال برای طراحی به روش حالات حدی داریم:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 1.0$$

همچنین برای طراحی به روش مقاومت مجاز برابر است با:

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega_c} \leq 1.0$$

این بیان از نسبت مقاومت مورد نیاز به مقاومت موجود را می‌توان به شکل زیر بازنویسی نمود. در ادامه تنها روش حالات حدی مورد بحث قرار خواهد گرفت:

$$\frac{P_r}{P_c} \leq 1.0$$

که در آن P_r مقاومت محوری مورد نیاز و P_c مقاومت محوری موجود و یا ظرفیت محوری عضو است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در صورت حضور نیروهای بیشتر در یک عضو، رابطه فوق را می‌توان به شکل روابط اندرکنشی بین نیروها نوشت. برای مثال، در صورت وجود نیروی محوری و لنگر خمشی در یک عضو، رابطه اندرکنشی آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\frac{P_r}{P_c}+\frac{M_r}{M_c}\leq 1.0$$

که در رابطه اخیر، M_r لنگر خمشی مورد نیاز بوده و برابر M_u لنگر حاصل از ترکیب بارهای ضریبدار است و M_c برابر ظرفیت خمشی موجود که در روش حالات حدی برابر $\phi_b M_n$ است. در صورت انجام یک تحلیل ارتجاعی و برقراری قانون اصل جمع آثار قوا، تنش نهایی حاصل از اعمال بارهای محوری و تنش‌های ناشی از خمش حول محورهای x و y را می‌توان بصورت $f_{combined}=f_a+f_{bx}+f_{by}$ بیان نمود. حال در صورتی خمش عضو حول دو محور x و y باشد، رابطه اندرکنشی بین لنگر و نیرو را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{P_r}{P_c}+\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}}+\frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right)\leq 1.0$$

که در رابطه اخیر، زیرنویس x و y بیانگر خمش حول محور x و y عضو می‌باشد. رابطه فوق در مبحث دهم به عنوان رابطه اصلی برای حالت ترکیب تنش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در مبحث دهم، دو رابطه برای در نظر گرفتن این اثر اندرکنشی داده شده است. یک رابطه برای حالتی که نیروی محوری زیاد باشد و رابطه دوم برای حالتی که نیروی محوری کم باشد، در نظر گرفته شده است.

صفحه ۵۹۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

الف) اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری

طبق بند ۱۰-۲-۷-۲-۱، اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن که تحت اثر خمش حول محور **x** یا **y** یا حول هر دو محور **x** و **y** قرار دارند، به شرح زیر تعیین می‌گردد:

۱) برای حالتی که $\frac{P_r}{P_c}\geq 0.2$ باشد:

$$\frac{P_r}{P_c}+\frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}}+\frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right)\leq 1.0$$

۲) برای حالتی که $\frac{P_r}{P_c}<0.2$ باشد:

$$\frac{P_r}{2P_c}+\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}}+\frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right)\leq 1.0$$

صفحه ۵۹۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

که در آن:

P_r مقاومت فشاری موردنیاز (P_u در LRFD و P_a در ASD)

P_c مقاومت فشاری موجود ($\phi_c P_n$ در LRFD و P_n/Ω_c در ASD)

ϕ_c ضریب کاهش مقاومت فشاری مساوی 0.9 در LRFD

Ω_c ضریب اطمینان مقاومت فشاری مساوی 1.67 در ASD

M_{rx} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور قوی x (M_{ux} در LRFD و M_{ax} در ASD)

M_{ry} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور ضعیف y (M_{uy} در LRFD و M_{ay} در ASD)

M_{cx} مقاومت خمشی موجود نسبت به محور قوی x ($\phi_b M_{nx}$ در LRFD و M_{nx}/Ω_b در ASD)

M_{cy} مقاومت خمشی موجود نسبت به محور ضعیف y ($\phi_b M_{ny}$ در LRFD و M_{ny}/Ω_b در ASD)

ϕ_b ضریب کاهش مقاومت خمشی مساوی 0.9 در LRFD

Ω_b ضریب اطمینان مقاومت خمشی مساوی 1.67 در ASD

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

ب) اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی

طبق بند ۱۰-۲-۷-۲-۲ اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری کششی در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن که تحت اثر لنگر خمشی حول محور x یا y یا هر دو محور x و y قرار دارند، به شرح زیر تعیین می‌شود.

۱) برای حالتی که $\frac{P_r}{P_t} \geq 0.2$ باشد:

$$\frac{P_r}{P_t} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0$$

۲) برای حالتی که $\frac{P_r}{P_t} < 0.2$ باشد:

$$\frac{P_r}{2P_t} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

P_r مقاومت کششی موردنیاز (P_u در LRFD و P_a در ASD)

P_t مقاومت کششی موجود ($\phi_t P_n$ در LRFD و P_n/Ω_t در ASD)

ϕ_t ضریب کاهش مقاومت کششی در LRFD (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳ و بستگی به حالت حدی آن دارد)

Ω_t ضریب اطمینان مقاومت کششی در ASD (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳ و بستگی به حالت حدی آن دارد)

M_{rx} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور قوی x (M_{ux} در LRFD و M_{ax} در ASD)

M_{ry} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور ضعیف y (M_{uy} در LRFD و M_{ay} در ASD)

M_{cx} مقاومت خمشی موجود نسبت به محور قوی x ($\phi_b M_{nx}$ در LRFD و M_{nx}/Ω_b در ASD)

M_{cy} مقاومت خمشی موجود نسبت به محور ضعیف y ($\phi_b M_{ny}$ در LRFD و M_{ny}/Ω_b در ASD)

ϕ_b ضریب کاهش مقاومت خمشی مساوی 0.9 در LRFD

Ω_b ضریب اطمینان مقاومت خمشی مساوی 1.67 در ASD

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره: برای اعضای دارای دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی، در بخش ۱۰-۲-۵ ضریب اصلاح کمانش جانبی- پیچشی (C_b) می‌تواند با ضریب $\sqrt{1+\frac{\alpha P_r}{P_{ey}}}$ افزایش یابد که در آن P_{ey} از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_b^2}$$

که در آن:

E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

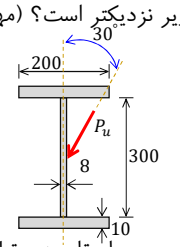
I_y ممان اینرسی حول محور ضعیف y

L_b فاصلهٔ بین دو مقطع از طول عضو که در آن مقاطع از تغییرمکان جانبی بال فشاری یا از پیچش کل مقطع جلوگیری شده است (فاصلهٔ دو تکیه‌گاه جانبی متوالی).

α برابر 1.0 در LRFD و برابر 1.6 در ASD

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

مثال) تیرساخته شده از ورق فولادی با تنش تسلیم F_y=240 MPa با دهانه ۴ متر و تکیه‌گاه‌های ساده، در وسط دهانه تحت اثر بار P_u با زاویه ۳۰ درجه مطابق شکل قرار گرفته است. اگر از اثر وزن تیر صرف نظر شده و از کمانش جانبی آن ممانعت شود، حداکثر P_u (بارمتمرکز ضریبدار) قابل تحمل توسط تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مهر ۹۸)



الف) 49kN　　ب) 61 kN　　ج) 79kN　　د) 92kN

پاسخ: ابتدا باید نیرو را به دو مولفه x و y تجزیه کنیم و خمش ناشی از آنها را محاسبه کنیم و سپس با مقاومت مقطع مقایسه کنیم

$$P_{ux} = P_u \sin 30^\circ = \frac{1}{2}P_u \quad \text{و} \quad P_{uy} = P_u \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}P_u$$

$$M_{rx} = \frac{P_{uy}L}{4} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}P_u \times 4}{4} = \frac{\sqrt{3}}{2}P_u \quad \text{و} \quad M_{ry} = \frac{P_{ux}L}{4} = \frac{\frac{1}{2}P_u \times 4}{4} = \frac{1}{2}P_u$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چون نیروی محوری در تیر برابر صفر است، برای حالتی که $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ باشد:

$$P_r = 0 \quad \Rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1.0 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1.0$$

حال باید مقاومت خمشی حول محور x و y را محاسبه کنیم. کنترل فشردگی مقطع:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{300}{8} = 37.5 \le 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 108 \quad Compact$$

$$\frac{b}{t} = \frac{95}{10} = 9.5 \le 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38\sqrt{\frac{2\times10^5}{240}} = 10.9 \quad Compact$$

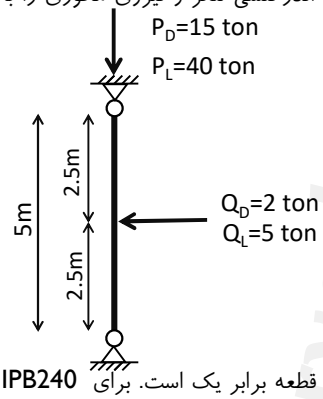
$$Z_x = 2[200\times10\times155 + 150\times8\times75] = 802400\ mm^3$$
$$Z_y = 4[100\times10\times50] + 2[300\times4\times2] = 204800\ mm^3$$
$$M_{cx} = \phi M_{nx} = 0.9\times802400\times240\times10^{-6} = 173\ kN.m$$
$$M_{cy} = \phi M_{ny} = 0.9\times204800\times240\times10^{-6} = 44.2\ kN.m$$

$$\Rightarrow \quad \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) = \left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}P_u}{173} + \frac{\frac{1}{2}P_u}{44.2}\right) \le 1.0 \quad \Rightarrow \quad P_u \le 61\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر ستون نشان داده شده در شکل زیر با مقطع IPB240 که تحت بارهای نشان داده شده قرار دارد را در نظر بگیرید. خمش ایجاد شده حول محور قوی می‌باشد. ضوابط مبحث دهم برای اثر اندرکنشی لنگر و نیروی محوری را با فرض تنش تسلیم فولاد برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، بررسی نمایید.



با توجه به اینکه دو سر عضو بصورت مفصلی می‌باشد، بنابراین ضریب طول موثر قطعه برابر یک است. برای IPB240 داریم:

$A_g=106\ cm^2$ $I_x=11260\ cm^4$ $r_x=10.3\ cm$ $r_y=6.08\ cm$
$I_y=3920\ cm^4$ $S_x=938\ cm^3$ $S_y=324\ cm^3$ $Z_x=1053\ cm^3$
$t_f=1.7\ cm$ $t_w=1.0\ cm$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بنابراین داریم:

$$\frac{KL}{r}=\frac{500}{6.08}=82.2<4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}=136 \quad \Rightarrow \quad F_{cr}=\left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

$$F_e=\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}=\frac{\pi^2\times 2\times 10^6}{(82.2)^2}=2921.3\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{cr}=\left[0.658^{\frac{2400}{2921.3}}\right]2400=1700\ \frac{kg}{cm^2} \quad \Rightarrow \quad P_n=F_{cr}A_g=1700\times 106\times 10^{-3}=180\ ton$$

$$\phi_c P_n=0.9\times 180=162\ ton$$

برای تعیین ظرفیت خمشی حول محور قوی، با فرض $C_b=1.0$ داریم:

$$L_p=1.76r_y\sqrt{\frac{E}{F_y}}=309\ cm<L_b<L_r$$

مقدار L_r برابر است با:

$$L_r=1.95r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_xh_0}+\sqrt{\left(\frac{Jc}{S_xh_0}\right)^2+6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. The book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب ثابت تابیدگی C_w طبق مبحث دهم، برای مقاطع I شکل متقارن با تقارن دو محوره برابر است با:

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{3920 \times (24 - 1.7)^2}{4} = 487344\ cm^6$$

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{2 \times 24 \times 1.7^3 + (24 - 2 \times 1.7) \times 1.0^3}{3} = 85\ cm^4$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} = \frac{\sqrt{3920 \times 487344}}{938} = 46.6\ cm^2$$

مقدار h_0 برای مقطع IPB240 برابر 24-1.7=22.3 cm می‌باشد.

$$L_r = 1.95 \times \sqrt{46.6} \frac{2 \times 10^6}{0.7 \times 2400} \sqrt{\frac{85 \times 1.0}{938 \times 22.3} + \sqrt{\left(\frac{85 \times 1.0}{938 \times 22.3}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7 \times 2400}{2 \times 10^6}\right)^2}}$$

$$= 1476\ cm$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$M_p = ZF_y = 1053 \times 2400 = 2527200\ kg.cm$$

$$M_n = 1.0\left[2527200 - (2527200 - 0.7 \times 2400 \times 938)\left(\frac{5 - 3.09}{14.74 - 3.09}\right)\right]$$

$$= 2371200\ kg.cm \leq M_p$$

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 2371200 \times 10^{-5} = 21.3\ ton.m$$

بارهای ضریبدار:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 15 + 1.6 \times 40 = 82\ ton$$

$$Q_u = 1.2Q_D + 1.6Q_L = 1.2 \times 2 + 1.6 \times 5 = 10.4\ ton$$

حداکثر لنگر خمشی در وسط ستون ایجاد می‌شود:

$$M_u = \frac{10.4 \times 5}{4} = 13\ ton.m$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{82}{162} = 0.5 > 0.2$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) = 0.5 + \frac{8}{9}\left(\frac{13}{21.3} + 0\right) = 1.04 > 1.0$$

با اندکی چشم پوشی می‌توان ۴٪ افزایش مقدار نسبت اندرکنشی را نادیده گرفت و مقطع را قبول نمود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای با مقطع نوردشدهٔ فشرده دارای دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی زیاد حول محور قوی ($M_{ry}/M_{cy}<0.05$)

طبق بند ۱۰-۲-۷-۲-۳ برای اعضای با مقطع نوردشدهٔ فشرده دارای دو محور تقارن با $(KL)_z \leq (KL)_y$ که در آن $(KL)_y$ طول مؤثر برای کمانش خمشی حول محور ضعیف y و $(KL)_z$ طول مؤثر برای کمانش پیچشی است، تحت اثر همزمان نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی حول یک محور، به جای الزامات ارائه شده در بند ۱۰-۲-۷-۲-۱ می‌توان حالت‌های حدی کمانش در صفحهٔ خمش و کمانش خارج از صفحه (کمانش جانبی-پیچشی) را به شرح زیر به طور جداگانه مورد بررسی قرار داد:

الف) برای حالت‌های حدی کمانش در صفحهٔ خمش، کنترل مناسب بودن مقطع، براساس روابط ۱۰-۲-۷-۱ و ۱۰-۲-۷-۲ با فرض محاسبهٔ P_{cx} (مقاومت فشاری موجود براساس حالت حدی کمانش خمشی حول محورx) M_{ux} و M_{cx} در صفحهٔ خمش، صورت می‌گیرد.

ب) برای حالت‌های حدی کمانش در خارج صفحهٔ خمش:

$$\frac{P_r}{P_{cy}}\left[1.5-0.5\frac{P_r}{P_{cy}}\right]+\left(\frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}}\right)^2 \leq 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

P_{cy} مقاومت فشاری موجود براساس حالت حدی کمانش خمشی حول محور y یا کمانش پیچشی حول محور طولی عضو، هرکدام کوچکتر باشد.

C_b ضریب اصلاح کمانش جانبی-پیچشی مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۵

M_{cx} مقاومت خمشی موجود نظیر حالت حدی کمانش جانبی- پیچشی برای خمش حول محور قوی x مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۵ با فرض $C_b = 1$

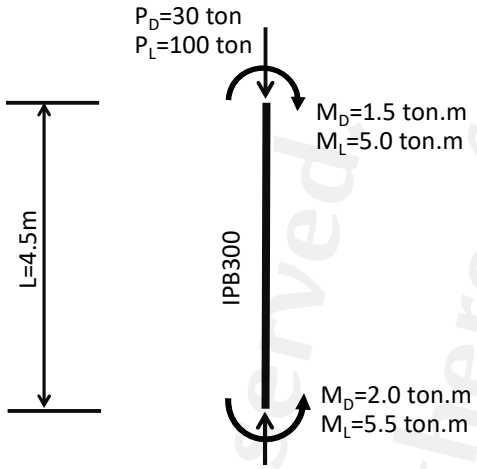
M_{rx} مقاومت خمشی موردنیاز (M_{ux} در LRFD و M_{ax} در ASD)

P_r مقاومت فشاری موردنیاز (P_u در LRFD و P_a در ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) عضو نشان داده شده در شکل زیر بخشی از یک قاب مهار شده است. برای تحلیل آن از روش طول موثر استفاده شده است، بنابراین به کاهش سختی خمشی EI نیازی نیست. در صورتی که فولاد استفاده شده از نوع ST37 باشد، آیا مقطع عضو، کفایت می‌نماید؟ مقدار $K_x=K_y=1.0$ در نظر گرفته شود.



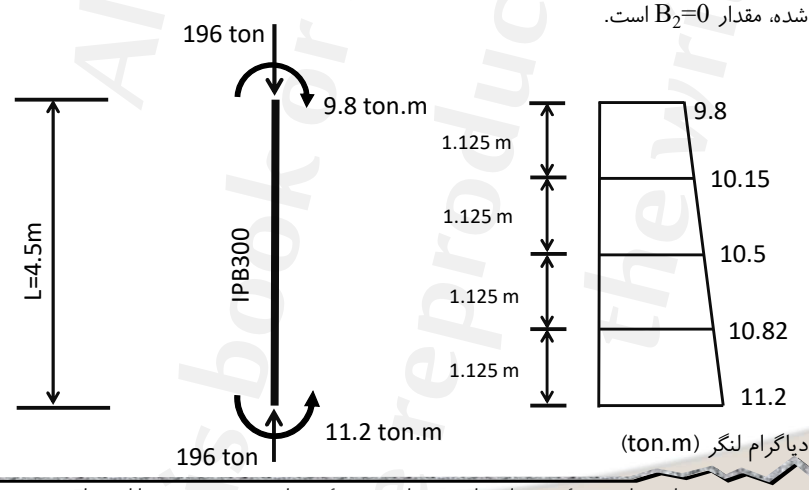
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بارهای ضریبدار موثر بر عضو، در زیر، مطابق با ترکیب بار 1.2D+1.6L نشان داده شده است. مقاومت محوری مورد نیاز برابر است با:

$$P_r = P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} = 196 + 0 = 196\ ton$$

در قاب مهاربندی شده، مقدار $B_2=0$ است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای IPB300 داریم:

$$A_g = 149\ cm^2 \qquad r_x = 13\ cm \qquad r_y = 7.58\ cm \qquad I_x = 25170\ cm^4$$

برای لاغری KL=1.0×450=450 cm مقاومت محوری فشاری برابر است با:

$$\frac{KL}{r} = \frac{450}{7.58} = 59.4 < 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 136$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{59.4^2} = 5594\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{2400}{5594}}\right] 2400 = 2005$$

$$\rightarrow \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.9 \times 2005 \times 149 \times 10^{-3} = 268.9\ ton$$

$$\rightarrow \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{196}{268.9} = 0.728 > 0.2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای خمش داخل صفحه داریم:

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6 \times 25170}{(1.0 \times 450)^2} \times 10^{-3} = 2453\ ton$$

$$C_m = 0.6 - 0.4\left(\frac{M_1}{M_2}\right) = 0.6 - 0.4\left(-\frac{9.8}{11.2}\right) = 0.95$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}} = \frac{0.95}{1 - \frac{196}{2453}} = 1.032$$

با توجه به اشکال فصل آخر مقدار ظرفیت خمشی مقطع IPB300 برای طول مهارنشده ۴۵۰ سانتیمتری برابر $M_n=4.2\times10^6$ kg.cm می‌باشد. در تعیین این مقدار $C_b=1.0$ در نظر گرفته شده است. برای تعیین مقدار واقعی ظرفیت خمشی، ضریب C_b بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \frac{12.5 \times 11.2}{2.5 \times 11.2 + 3 \times 10.15 + 4 \times 10.5 + 3 \times 10.82} = 1.053$$

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 1.053 \times 42 = 39.8\ ton.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

لنگرهای ضریبدار برابرند با:

$$M_{nt} = 11.2\ ton.m \qquad M_{lt} = 0$$

مقاومت مورد نیاز برابر است با:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = 1.053 \times 11.2 + 0 = 11.8\ ton.m = M_{ux}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) = 0.728 + \frac{8}{9}\left(\frac{11.8}{39.8} + 0\right) = 0.99 < 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای با مقطع نامتقارن و سایر اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

طبق بند ۱۰-۲-۷-۳، الزامات این بند مربوط به اثر توأم نیروی محوری و لنگر خمشی اعضایی است که مشمول الزامات بند ۱۰-۲-۷-۲ نمی‌شوند. در این مقاطع رعایت رابطه زیر الزامی است:

$$\left|\frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}}\right| \le 1.0$$

f_{ra} تنش محوری موردنیاز در نقطهٔ موردنظر (f_{ua} در LRFD و f_{aa} در ASD)

F_{ca} تنش محوری موجود (تنش محوری طراحی در LRFD و تنش محوری مجاز در ASD) مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳ برای اعضای کششی و بخش ۱۰-۲-۴ برای اعضای فشاری

f_{rbw} تنش‌های خمشی موردنیاز در نقطهٔ موردنظر ناشی از M_{rw} (F_{ubw} در LRFD و f_{abw} در ASD)

f_{rbz} تنش‌های خمشی موردنیاز در نقطهٔ موردنظر ناشی از M_{rz} (F_{ubz} در LRFD و f_{abz} در ASD)

F_{cbw} تنش‌های خمشی موجود حول محور اصلی قوی (محور w) که براساس تحلیل کمانشی یا تسلیم، هرکدام بحرانی‌تر باشد، به دست می‌آید (برابر $\phi_b M_{nw}/S_w$ در LRFD و $M_{nw}/\Omega_b S_w$ در ASD)

F_{cbz} تنش‌های خمشی موجود حول محور اصلی ضعیف (محور z) که براساس تحلیل کمانشی یا تسلیم، هرکدام بحرانی‌تر باشد، به دست می‌آید (برابر $\phi_b M_{nz}/S_z$ در LRFD و $M_{nz}/\Omega_b S_z$ در ASD)

w زیرنویس مربوط به خمش حول محور اصلی قوی و z زیرنویس مربوط به خمش حول محور اصلی ضعیف

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت پیچشی مقاطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای

طبق بند ۱۰-۲-۷-۴، مقاومت پیچشی موجود اعضای با مقطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای مساوی $\phi_T T_n$ در LRFD و T_n/Ω_T در ASD بوده که در آن ϕ_T ضریب کاهش مقاومت پیچشی برابر 0.9 و Ω_T ضریب اطمینان مقاومت پیچشی برابر 1.67 و T_n مقاومت پیچشی اسمی است که براساس حالت‌های حدی تسلیم پیچشی و کمانش پیچشی با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$T_n = F_{cr} C$$

که در آن، C ثابت پیچشی مقطع و F_{cr} تنش کمانشی مقطع هستند و به شرح زیر تعیین می‌شوند:

الف) مقاطع دایره‌ای شکل توخالی

برای این نوع مقاطع، F_{cr} باید از طریق رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$F_{cr} = \max\left(\frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{1.25}} \quad , \quad \frac{0.6E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{1.5}}\right) \le 0.6F_y$$

C ثابت پیچشی مقطع است که برای مقاطع دایره‌ای شکل توخالی به طور محافظه کارانه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در روابط فوق، L طول عضو، D قطر خارجی مقطع، t ضخامت جدار لوله

ب) مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای:

برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای، F_{cr} حسب مورد از روابط زیر به دست می‌آید:

برای $\frac{h}{t} \le 2.45\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = 0.6F_y$$

برای $2.45\sqrt{E/F_y} < \frac{h}{t} \le 3.07\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})}{h/t}$$

برای $3.07\sqrt{E/F_y} < \frac{h}{t} \le 260$

$$F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

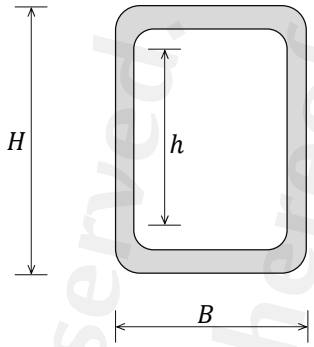
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

C ثابت پیچشی مقطع است که برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای به طور محافظه کارانه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$$

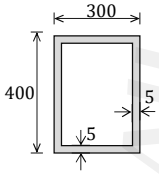
پارامترهای به کاررفته در روابط فوق مطابق شکل زیر است:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت پیچشی طراحی مقطع نشان داده شده در شکل مقابل، بر حسب kN.m به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد ST37 (F_y=240 MPa و E=2×10^5 MPa) (شهریور ۹۵)



الف) ۱۶۷ ب) ۱۵۲

ج) ۱۵۰ د) ۱۳۶

پاسخ: داریم:

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3 = 2(300-5)(400-5)\times 5 - 4.5(4-\pi)\times 5^3$$
$$= 1164767\ mm^3$$

$$\frac{h}{t} = \frac{400-3\times 5}{5} = 77 \Rightarrow \quad 2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 70.7 \qquad 3.07\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 88.6$$

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y\left(2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)}{h/t} = \frac{0.6\times 240(70.7)}{77} = 132.2\ MPa$$

$$\phi_T T_n = \phi_T F_{cr} C = 0.9\times 132.2\times 1164767\times 10^{-6} = 138\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ثابت پیچشی برای برخی مقاطع قوطی شکل:

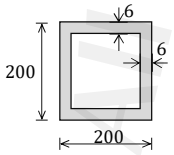
ابعاد (mm)	ضخامت (mm)	سطح مقطع	C
50 x 30	2.9	4.23	7.31
50 x 30	4	5.62	9.32
60 x 40	2.9	5.39	12.19
60 x 40	4	7.22	15.88
70 x 40	2.9	5.97	14.34
70 x 40	4	8.02	18.76
80 x 40	2.9	6.55	16.50
80 x 40	4	8.82	21.64
80 x 40	5	10.8	25.77
90 x 50	3.2	8.46	25.87
90 x 50	4	10.4	31.40
90 x 50	5	12.8	37.77
100 x 50	3.6	10.2	32.03
100 x 50	4.5	12.5	38.76
100 x 50	5.6	15.3	46.26
100 x 60	3.6	10.9	38.97
100 x 60	4.5	13.4	47.35
100 x 60	5.6	16.4	56.84
120 x 60	4	13.5	51.72
120 x 60	5	16.6	62.77
120 x 60	6.3	20.5	75.97

ابعاد (mm)	ضخامت (mm)	سطح مقطع	C
140 x 80	4	16.7	82.44
140 x 80	5	20.6	100.77
140 x 80	6.3	25.5	123.19
160 x 90	4.5	21.2	119.31
160 x 90	5.6	25.9	145.27
160 x 90	7.1	32.2	178.61
180 x 100	5.6	29.3	183.71
180 x 100	7.1	36.4	226.70
180 x 100	8.8	44.2	272.16
200 x 120	6.3	37.7	276.53
200 x 120	8	47	342.09
200 x 120	10	57.4	414.14
220 x 120	6.3	40.2	305.19
220 x 120	8	50.2	377.93
220 x 120	10	61.4	458.14
260 x 140	6.3	47.8	426.42
260 x 140	8	59.8	530.25
260 x 180	10	73.4	846.14
260 x 140	6.3	52.8	426.42
260 x 140	8	66.2	530.25
260 x 180	10	81.4	846.14

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت پیچشی طراحی تیر با مقطع نشان داده شده در شکل زیر، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (طول تیر برابر ۵ متر و ضخامت جدار مقطع یکنواخت فرض شود. فولاد ST37 (F_y=240 MPa و $E=2\times10^5$ MPa) (مرداد ۹۴)



الف) 48 kN.m ب) 58 kN.m

ج) 68 kN.m د) 78 kN.m

پاسخ: داریم:

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3 = 2(200-6)(200-6)\times 6 - 4.5(4-\pi)\times 6^3 = 450000\ mm^3$$

$$\frac{h}{t} = \frac{200-3\times 6}{6} = 30 < 2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 70.7$$

$$F_{cr} = 0.6F_y = 0.6\times 240 = 144\ MPa$$

$$\phi_T T_n = \phi_T F_{cr} C = 0.9\times 144\times 450000\times 10^{-6} = 58.3\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای تحت اثر ترکیب پیچش، خمش، برش و نیروی محوری با مقطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای

طبق بند ۱۰-۲-۷-۵، هرگاه مقاومت پیچشی موردنیاز (T_r) کمتر یا مساوی ۲۰ درصد مقاومت پیچشی موجود (T_c) باشد، در این صورت پیچش در ترکیب با خمش، برش و نیروی محوری قابل صرفنظر بوده و اثر توأم خمش و نیروی محوری براساس الزامات بند ۱۰-۲-۷-۲ تعیین می‌شود. اما اگر مقاومت پیچشی موردنیاز (T_r) بیش از ۲۰ درصد مقاومت پیچشی موجود (T_c) باشد، در این صورت اثر توأم پیچش، خمش، برش و نیروی محوری از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد.

$$\left[\frac{P_r}{P_c}+\frac{M_r}{M_c}\right]+\left[\frac{V_r}{V_c}+\frac{T_r}{T_c}\right]^2 \le 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

P_r مقاومت محوری مورد نیاز (P_u در LRFD و P_a در ASD)

P_c مقاومت محوری موجود (ϕP_n در LRFD و P_n/Ω در ASD)

M_r مقاومت خمشی موردنیاز (M_u در LRFD و M_a در ASD)

M_c مقاومت خمشی موجود ($\phi_b M_n$ در LRFD و M_n/Ω_b در ASD)

V_r مقاومت برشی موردنیاز (V_u در LRFD و V_a در ASD)

V_c مقاومت برشی موجود ($\phi_v V_n$ در LRFD و V_n/Ω_v در ASD)

T_r مقاومت پیچشی مورد نیاز (T_u در LRFD و T_a در ASD)

T_c مقاومت پیچشی موجود ($\phi_T T_n$ در LRFD و T_n/Ω_T در ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

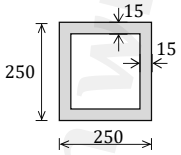
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک عضو فولادی با مقطع قوطی شکل زیر، تحت اثر همزمان نیروهای محوری خمشی، برشی و پیچشی قرار دارد. در صورتیکه نسبت مقاومت‌های مورد نیاز به مقاومت‌های طراحی برای نیروی محوری، لنگر خمشی و نیروی برشی برابر با مقادیر $\frac{V_u}{V_e}=0.2$، $\frac{M_u}{M_e}=0.5$ و باشد، $\frac{P_u}{P_e}=0.2$ حداکثر مقدار مقاومت پیچشی مورد نیاز برای آنکه مقطع قابل قبول تلقی شود، به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ مصالح فولادی S235 است (شهریور ۱۴۰۱)

الف) $T_u=0$ ب) $T_u=73$ kN.m ج) $T_u=46$ kN.m د) $T_u=233$ kN.m

$$\left[\frac{P_r}{P_c}+\frac{M_r}{M_c}\right]+\left[\frac{V_r}{V_c}+\frac{T_r}{T_c}\right]^2\le 1.0$$

$$[0.2+0.5]+\left[0.2+\frac{T_r}{T_c}\right]^2\le 1.0 \quad\Rightarrow\quad \frac{T_r}{T_c}=0.348$$



محاسبه مقاومت پیچشی طراحی:

$$\frac{h}{t}=\frac{250-3\times 15}{15}=13.6\le 2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}=2.45\sqrt{\frac{2\times 10^5}{235}}=71 \quad\Rightarrow F_{cr}=0.6F_y$$

$$C=2(250-15)(250-15)15-4.5(4-\pi)15^3=1.64\times 10^6\ mm^3$$

$$\phi_T T_n=0.9F_{cr}C=0.9\times 0.6F_y\times C=0.9\times 0.6\times 235\times 1.64\times 10^6\times 10^{-6}=208\ kN.m$$

$$T_r\le 0.348\times\phi_T T_n=72.5\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترکیب تنش‌ها در سایر مقاطع (مقاطع باز)

طبق بند ۱۰-۲-۷-۶، تنش اسمی این نوع مقاطع که براساس تحلیل کمانشی یا تسلیم به دست می‌آید، باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم تحت اثر تنش نرمال، تسلیم تحت اثر تنش برشی و کمانش در نظر گرفته شود، که در آن

الف) حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش نرمال:

$$F_n=F_y$$

ب) حالت حدی تسلیم تحت اثر تنش برشی:

$$F_n=0.6F_y$$

پ) حالت حدی کمانش:

$$F_n=F_{cr}$$

که در آن:

F_{cr} تنش کمانشی که از طریق تحلیل کمانشی تعیین می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

گسیختگی بال‌های دارای سوراخ تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

طبق بند ۱۰-۲-۷-۷، در محل سوراخ پیچ‌ها در بال‌های تحت اثر تنش کششی ناشی از اثر توأم نیروی محوری (کششی یا فشاری) و لنگر خمشی حول محور قوی، گسیختگی بال کششی باید از طریق رابطهٔ زیر کنترل گردد:

$$\frac{P_r}{P_c}+\frac{M_{rx}}{M_{cx}} \le 1.0$$

که در آن:

P_r مقاومت محوری مورد نیاز (P_u در LRFD و P_a در ASD)

P_c مقاومت محوری موجود با توجه به وجود سوراخ در بال‌های مقطع (ϕP_n در LRFD و P_n/Ω در ASD)

M_{rx} مقاومت خمشی موردنیاز (M_{ux} در LRFD و M_{ax} در ASD)

M_{cx} مقاومت خمشی موجود با رعایت الزامات بند ۱۰-۲-۵-۱۳-الف ($\phi_b M_{nx}$ در LRFD و M_{nx}/Ω_b در ASD)

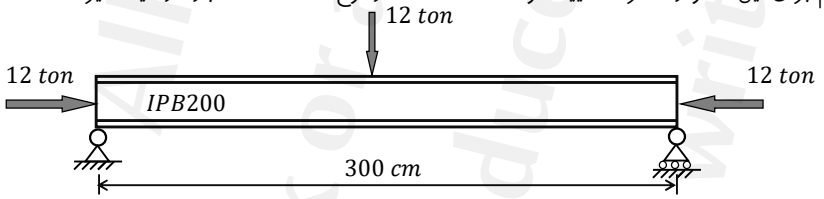
ϕ_b ضریب کاهش مقاومت خمشی مساوی 0.9 در LRFD و Ω_b ضریب اطمینان مقاومت خمشی مساوی 1.67 در ASD

ϕ_t ضریب کاهش مقاومت گسیختگی مساوی 0.75 در LRFD و Ω_t ضریب اطمینان مقاومت گسیختگی مساوی 2.0 در ASD

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر-ستون نشان داده شده در شکل زیر تحت بارهای سرویس زنده مطابق شکل قرار دارد. این عضو بصورت جانبی در دو انتهای خود دارای مهار جانبی است. در صورتی که خمش حول محور x صورت گیرد و $K_x=K_y=1.0$ الزامات مبحث دهم برای این عضو را کنترل نمایید. فولاد استفاده شده از نوع ST37 است. بار در میانه تیر اعمال شده است.



برای IPB200 داریم:

$I_x = 5700\ cm^4 \quad A_g = 78.1\ cm^2$

بار محوری ضریبدار برابر است با:

$P_u = 1.6 \times 12 = 19.2\ ton$

بارها و لنگرهای عرضی ضریبدار برای عضو برابر است با:

$Q_u = 1.6 \times 12 = 19.2\ ton$

$w_u = 1.2 \times 61.3 = 73.56\ kg/m$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

عدد 61.3 در رابطه فوق، وزن واحد طول مقطع IPB200 می‌باشد که جزو بارهای مرده در نظر گرفته شده است.

$$M_u = \frac{19.2 \times 10^3 \times 3}{4} + \frac{73.56 \times 3^2}{8} = 14483\ kg.m$$

با توجه به اینکه عضو در برابر حرکت جانبی مقید است، $M_{lt}=0$ می‌باشد. طبق مبحث دهم، برای تیر-ستون‌هایی که در معرض بار جانبی در بین دو انتهای آنها در صفحه خمش قرار دارند، مقدار C_m را می‌توان بطور محافظه کارانه برابر یک فرض نمود. مگر آنکه از یک تحلیل دقیق تعیین شود. برای خمش حول محور مقطع داریم:

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6 \times 5700}{(1.0 \times 300)^2} \times 10^{-3} = 1250\ ton$$

بنابراین ضریب بزرگنمایی برابر است با:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_u}{P_{e1}}} = \frac{1.0}{1 - 1.0 \times \frac{19.2}{1250}} = 1.012$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

لنگر خمشی بزرگنمایی شده برابر است با:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = 1.012 \times 14483 + 0 = 14656.8\ kg.m$$

با توجه به مقادیر جدولی داده شده در فصل آخر همین کتاب، برای طول مهارنشده ۳متری، ظرفیت خمشی تیر IPB200 برابر M_n=14.67 ton.m می‌باشد. این مقدار با فرض C_b=1.0 بدست آمده است. مقدار C_b برای شرایط مرزی این مسئله برابر 1.32 است. بنابراین:

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 14.67 \times 1.32 = 17.4\ ton.m$$

با توجه به مقادیر جدول‌بندی شده در فصل آخر این کتاب، مقدار ظرفیت فشاری مقطع IPB200 با طول ۳ متر برابر P_n=156.8 ton می‌باشد:

$$\rightarrow \phi_c P_n = 0.9 \times 156.8 = 141.12\ ton$$

$$\rightarrow \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{19.2}{141.12} = 0.136 < 0.2$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}}\right) = \frac{0.136}{2} + \left(\frac{14.483}{17.4} + 0\right) = 0.9 \leq 1.0$$

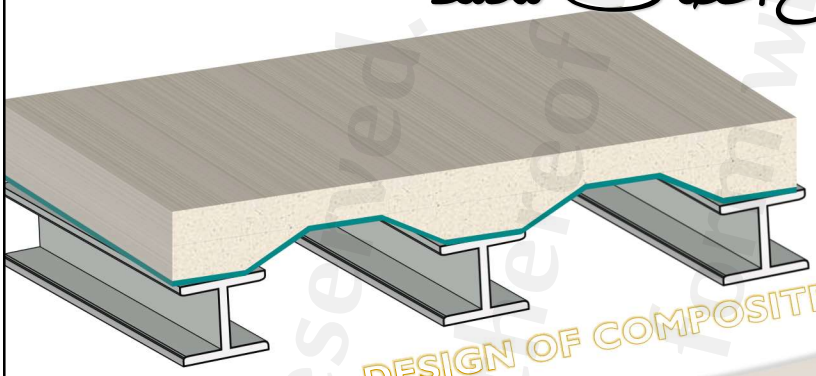
بنابراین مقطع فوق جوابگو است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل نهم

طراحی اعضای مختلط



DESIGN OF COMPOSITE MEMBERS

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بند ۱۰-۲-۸ به الزامات طراحی اعضای مختلط متشکل از نیمرخ فولادی نوردشده یا ساخته شده از ورق محاط در بتن یا دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای پرشده با بتن می‌پردازد که به واسطهٔ برشگیرهای متصل به فولاد و مدفون در بتن یا به واسطهٔ چسبندگی با یکدیگر به طور توأم در تحمل بار عمل می‌کنند. همچنین به الزامات طراحی تیرهای خمشی فولادی با دال بتنی متکی بر آن می‌پردازد که توسط برشگیرهای فولادی به هم اتصال یافته‌اند. علاوه بر موارد فوق، این بخش به الزامات طراحی تیرهای خمشی با دهانه‌های ساده یا پیوسته با دال بتنی متکی بر آن همراه با برشگیرهای فولادی، تیرهای خمشی فولادی محاط در بتن یا پرشده با بتن می‌پردازد که با یا بدون استفاده از پایه‌های موقت اجرا می‌شوند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۸-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۸-۲ اعضای محوری فشاری و کششی با مقطع مختلط
- ۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط
- ۱۰-۲-۸-۴ مقاومت برشی موجود اعضای با مقطع مختلط
- ۱۰-۲-۸-۵ ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی در اعضای مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن
- ۱۰-۲-۸-۶ انتقال بار در اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن
- ۱۰-۲-۸-۷ دیافراگم‌های مختلط
- ۱۰-۲-۸-۸ برشگیرها در تیرهای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن
- ۱۰-۲-۸-۹ برشگیرها در ستون‌ها و سایر اعضای مختلط
- ۱۰-۲-۸-۱۰ فشار هیدرواستاتیک در مقاطع مستطیلی پر شده با بتن

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات عمومی

طبق بند ۱۰-۲-۸-۱، در تعیین آثار بار در اعضا و اتصالات سازه‌هایی که دارای اعضای با مقطع مختلط هستند، لازم است توجه کافی به میزان مؤثر بودن بخش‌های مختلف مقطع عضو، در هر مرحله از افزایش بارگذاری مبذول گردد. الزامات مربوط به پوشش بتن روی میلگردها، وصلهٔ میلگردها، فواصل میلگردها، خم میلگردها و مقاومت برشی اجزای بخش بتنی باید با توجه به الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه) تعیین گردند، مگر آنکه در این بخش الزامات خاصی برای آنها مقرر شده باشد.

مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط

مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط براساس یکی از روش‌های زیر تعیین می‌گردد:

- روش توزیع تنش پلاستیک
- روش سازگاری کرنش
- روش توزیع تنش الاستیک
- روش تنش-کرنش مؤثر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در محاسبهٔ مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط، از مقاومت کششی بتن صرفنظر می‌شود. آثار کمانش موضعی اجزای بخش فولادی در محاسبهٔ مقاومت اسمی اعضای مختلط با مقطع فولادی پرشده با بتن باید مطابق ضوابط این بخش در نظر گرفته شود. در اعضای مختلط با مقطع مختلط محاط در بتن، لزومی به در نظر گرفتن آثار کمانش موضعی نیست.

الف) روش توزیع تنش پلاستیک

در این روش مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط براساس فرضیات زیر محاسبه می‌شود:

۱- تنش در اجزای بخش فولادی و میلگردها، هم در ناحیهٔ فشاری و هم در ناحیهٔ کششی به تنش یکنواخت F_y می‌رسد که در آن F_y تنش تسلیم اجزای بخش فولادی و میلگردها است.

۲- تنش در اجزای بخش بتنی در ناحیهٔ فشاری به تنش یکنواخت $0.85f'_c$ می‌رسد که در آن f'_c تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن است. برای اعضای با مقطع مختلط دایره‌ای شکل توخالی که با بتن پرشده باشند، به دلیل محصورشدگی بتن توسط مقطع فولادی می‌توان تنش بتن در ناحیهٔ فشاری را $0.95f'_c$ در نظر گرفت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) روش سازگاری کرنش

در این روش مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط با این فرض صورت می‌گیرد که تغییرات کرنش در مقطع مختلط به صورت خطی بوده بطوریکه مقدار حداکثر کرنش در ناحیهٔ فشاری اجزای بتنی برابر 0.003 باشد. روابط تنش- کرنش مصالح فولادی، میلگردها و بتن باید براساس نتایج آزمایش تعیین گردد یا برای تعیین آنها به نتایج منتشرشده برای مصالح توسط مدارک معتبر رجوع شود. روش سازگاری کرنش عموماً در تعیین مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط نامنظم و نیز در حالت‌هایی که اجزای فولادی مقطع دارای رفتار الاستو پلاستیک نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ) روش توزیع تنش الاستیک

در این روش مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط با در نظر گرفتن جمع آثار تنش‌های الاستیک برای حالت حدی آستانهٔ تسلیم اجزای فولادی یا خردشدگی اجزای بتنی محاسبه می‌شود.

ت) روش تنش- کرنش مؤثر

در این روش مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط با در نظر گرفتن سازگاری کرنش و رابطهٔ تنش- کرنش مؤثر برای اجزای بتنی و فولادی متأثر از آثار کمانش موضعی، تسلیم، اندرکنش و محصورشدگی محاسبه می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط

طبق بند ۱۰-۲-۸-۱-۲، مشخصات مصالح بتنی، میلگرد و بخش فولادی اعضای با مقطع مختلط باید دارای شرایط زیر باشند:

۱- برای محاسبهٔ مقاومت موجود اعضای با مقطع مختلط، تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن f'_c برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی نباید از 20 MPa کمتر و از 70 MPa بیشتر و برای بتن‌های با وزن مخصوص سبک نباید از 20 MPa کمتر و از 40 MPa بیشتر باشد. مصالح بتنی با مقاومت بیشتر را می‌توان برای استفادهٔ آنها در سختی اعضا به کار برد، لیکن در محاسبهٔ 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 محاسبهٔ مقاومت موجود اعضای با مقطع مختلط، تنش تسلیم مشخصهٔ بخش فولادی و میلگردها به ترتیب نباید بیشتر از ۴۶۰ و ۵۵۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شوند

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 کلیهٔ اجزای تشکیل دهندهٔ مقطع فولادی از λ_p مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۱ 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 ۱۰-۲-۸-۱ بیشتر بوده اما از λ_r مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۱ 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 ۱۰-۲-۸-۱ بزرگتر باشد؛ اما نسبت پهنا به ضخامت هیچیک از آنها از حداکثر نسبت پهنا به ضخامت مجاز مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۱ بزرگتر نباشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

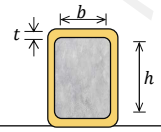
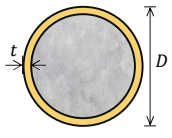
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای لنگر خمشی، مقاطع با اجزای فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری بال و جان مقطع فولادی از λ_p مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ بیشتر نباشد. مقاطع با اجزای غیرفشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء فشاری بال و جان مقطع فولادی از λ_p مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ بیشتر بوده اما از λ_r مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ کوچکتر باشد. مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای فشاری بال و جان مقطع فولادی از λ_r مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ بزرگ‌تر باشد؛ اما نسبت پهنا به ضخامت هیچیک از آنها از حداکثر نسبت پهنا به ضخامت مجاز مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۸-۲ بزرگ‌تر نباشد. برای تعاریف h، d، b و t مشخص شده در جدول‌های ۱۰-۲-۸-۱ و ۱۰-۲-۸-۲ به بخش ۱۰-۲-۲ مراجعه شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۸-۱ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فولادی مقطع مختلط پرشده با بتن در اعضای تحت اثر نیروی محوری فشاری

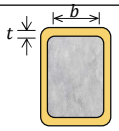
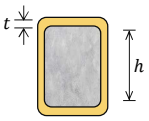
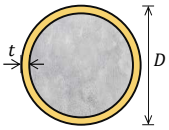
حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (غیرفشرده/فشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (لاغر/غیرفشرده) λ_r	حداکثر نسبت مجاز	مثال نمونه
۱	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t و h/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	مقاطع دایره‌ای شکل	D/t	$0.15\frac{E}{F_y}$	$0.19\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

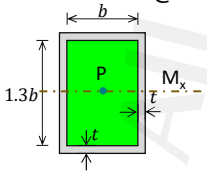
جدول ۱۰-۲-۸-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فولادی مقطع مختلط پرشده با بتن در اعضای تحت لنگر خمشی

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (غیرفشرده/فشرده) λ_p	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (لاغر/غیرفشرده) λ_r	حداکثر نسبت مجاز	مثال نمونه
۱	بال‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	h/t	$3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۳	مقاطع دایره‌ای شکل	D/t	$0.09\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	$0.31\frac{E}{F_y}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل زیر یک مقطع مختلط مستطیلی پرشده با بتن و دارای ضخامت یکنواخت نشان داده شده است. فرض کنید مقطع مذکور در برابر لنگر خمشی حول محور x فشرده است. در خصوص شرایط این مقطع در برابر نیروی محوری فشاری (P)، کدامیک از عبارت‌های زیر صحیح است؟



الف) به مقدار b/t بستگی دارد و ممکن است فشرده یا غیر فشرده باشد.

ب) قطعا فشرده خواهد بود.

ج) قطعا غیر فشرده خواهد بود.

د) قطعا لاغر خواهد بود

پاسخ: شرط فشرده بودن بال و جان برای لنگر خمشی:

برای بال و جان:

$$\frac{b}{t} \le 2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \frac{1.3b}{t} \le 3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

شرط فشرده بودن برای نیروی محوری:

برای بال و جان:

$$\frac{b}{t} \le 2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \frac{1.3b}{t} \le 2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

مقطع مورد نظر برای لنگر خمشی فشرده می‌باشد (هم بال و هم جان)، برای کنترل نیروی محوری فشاری بال شرط لازم را دارد ولی در مورد جان چون نمیدانیم مقدار $\frac{1.3b}{t} \le 2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ برقرار هست یا نه نمی‌توان اظهار نظر کرد و وابسته به مقدار b/t است. بنابراین گزینه (الف) صحیح است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک عضو فشاری فولادی با مقطع توخالی دایره‌ای با قطر بیرونی ۴۷۵ میلیمتر موجود است. اگر داخل این عضو را با بتن پرکنیم، حداقل ضخامت لازم جدار مقطع فولادی بر حسب میلیمتر برای اینکه مقطع این عضو در برابر نیروی محوری فشاری لاغر نباشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟(F_u=370 MPa و F_y=240 MPa) (بهمن ۹۴)

الف) ۶ ب) ۵ ج) ۴ د) ۳

پاسخ: براساس ردیف ۲ از جدول ۱۰-۲-۸-۱ داریم:

$$\frac{D}{t} \le \frac{0.19E}{F_y} \Rightarrow \frac{475}{t} \le 0.19\frac{2\times10^5}{240} \Rightarrow t \ge 3\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سختی اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن و محاط در بتن و تعیین مقاومت‌های موردنیاز

در تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری، مقاومت‌های موردنیاز اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن یا محاط در بتن، باید با توجه به الزامات مندرج در بخش ۱۰-۲-۱ و موارد زیر محاسبه شوند:

- صلبیت خمشی اسمی اعضای تحت اثر بار محوری فشاری خالص باید برابر $(EI)_{eff}$ که در بند ۱۰-۲-۸-۲ ارائه شده است، در نظر گرفته شود.

- سختی محوری اسمی اعضای تحت اثر بار محوری فشاری خالص باید برابر مجموع سختی محوری بخش‌های فولادی و بتنی مقطع مختلط در نظر گرفته شود.

- سختی محوری اعضای تحت اثر بار محوری کششی خالص باید برابر سختی محوری بخش فولادی مقطع مختلط در نظر گرفته شود.

تبصره: در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم مقدار τ_b باید برابر 0.8 در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

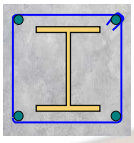
اعضای محوری با مقطع مختلط

اعضای محوری با مقطع مختلط به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن که در آن مقطع فولادی نوردشده یا ساخته شده از ورق در بتن سازه‌ای محاط است (شکل الف)

ب) اعضای محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن که در آن مقطع فولادی نوردشده یا ساخته شده از ورق و مقطع دایره‌ای شکل توخالی یا مقطع قوطی شکل (HSS) با بتن سازه‌ای پرشده است (شکل ب و پ)

در حالتی که ستون توسط بتن پر شود، ستون فولادی نقش قالب بتن را نیز بازی خواهد نمود. در این حالت بتن و فولاد با هم بارهای وارده را تحمل می‌نمایند و ظرفیت مقطع و همچنین مقاومت در برابر کمانش موضعی ستون افزایش خواهد یافت. یکی از مزایای این مقاطع، هزینه پایین بتن در برابر فولاد است. در حالتی که مقطع فولادی توسط بتن محصور شود، می‌تواند محافظت خوبی را در برابر آتش سوزی برای ستون ایجاد نماید.



(الف) عضو محوری مختلط محاط در بتن

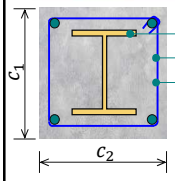
(ب) عضو محوری مختلط جعبه‌ای

(پ) عضو محوری مختلط با مقطع دایره‌ای

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن



الف) محدودیت‌ها

اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن باید محدودیت‌های زیر را برآورده نمایند:

۱- سطح مقطع هستهٔ فولادی باید حداقل یک درصد مساحت کلی مقطع مختلط باشد.

۲- پوشش بتنی هستهٔ 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 فاصلهٔ 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 فاصلهٔ مرکز تا مرکز تنگ‌ها ۴۰۰ میلیمتر است. در هر حال حداکثر فاصلهٔ 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 **0.004** باشد.

$$\rho_s = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0.004$$

که در آن، A_g سطح مقطع کل مقطع مختلط و A_{sr} مجموع سطح مقطع آرماتورهای طولی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) مقاومت فشاری موجود

برای مقاطع مختلط محاط در بتن و دارای دو محور تقارن، مقاومت فشاری موجود در روش LRFD برابر $\phi_c P_n$ و در روش ASD برابر P_n/Ω_c است 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:

ϕ_c=0.75 (LRFD) و Ω_c=2.0 (ASD)

۱) برای $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$

$$P_n = P_{no}\left(0.658^{\frac{P_{no}}{P_e}}\right)$$

۲) برای $\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$

$$P_n = 0.877P_e$$

همچنین:

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c$$

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

که در آن:

A_c سطح مقطع بخش بتنی، A_s سطح مقطع بخش فولادی

$(EI)_{eff}$ صلبیت خمشی مؤثر مقطع مختلط مطابق رابطهٔ زیر:

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

E_c مدول الاستیسیتهٔ بتن. در این بخش می‌توان از رابطهٔ $E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'}$ محاسبه نمود که در آن w_c جرم مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، f_c' مقاومت مشخصهٔ فشاری نمونهٔ استوانه‌ای بتن برحسب مگاپاسکال و E_c برحسب مگاپاسکال است.

که در آن C_1 ضریبی است که برای تعیین سختی مؤثر عضو فشاری با مقطع مختلط محاط در بتن از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود

$$C_1 = 0.25 + 3\left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g}\right] \leq 0.7$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

E_s مدول الاستیسیتهٔ فولاد

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

F_{ysr} تنش تسلیم مشخصهٔ میلگردهای فولادی

I_c ممان اینرسی بخش بتنی نسبت به محور خنثی الاستیک مقطع مختلط

I_{sr} ممان اینرسی میلگردها نسبت به محور خنثی الاستیک مقطع مختلط

K ضریب طول مؤثر عضو محوری فشاری مختلط

L طول مهارنشدهٔ عضو محوری فشاری مختلط

w_c جرم مخصوص بتن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب با محدودیت:

- برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی $2300\ kg/m^3 < w_c \leq 2500\ kg/m^3$
- برای بتن‌های با وزن مخصوص سبک $1400\ kg/m^3 \leq w_c \leq 2300\ kg/m^3$

تبصره: مقاومت فشاری موجود اعضای مختلط محاط در بتن لزومی ندارد کمتر از مقاومت فشاری مقطع فولادی تنها در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون مختلط با طول ۶ متر، بصورت دو سر مفصل که در آن یک مقطع IPB240 در بتن با ابعاد ۴۵ در ۴۵ سانتیمتر محصور شده است در نظر بگیرید. از چهار میلگرد با قطر ۲۵ میلیمتر در گوشه‌های ستون با فاصله ۳۵ سانتیمتر از هم استفاده شده است. میلگردهای استفاده شده از نوع AIII، فولاد مقطع از نوع ST37 و مقاومت مشخصه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود. با فرض محصورشدگی مناسب و اعمال بار بر مقطع فولادی بطور مستقیم، مقاومت محوری فشاری موجود ستون را تعیین نمایید.

پاسخ: سطح مقطع مختلط برابر است با:

$$A_g = 45 \times 45 = 2025\ cm^2$$

$$0.01A_g = 20.25\ cm^2 \qquad 0.004A_g = 8.1\ cm^2$$

با توجه به جدول مقاطع نورد شده داریم:

$$A_s = 106\ cm^2 > 20.25\ cm^2$$

$$I_s = 3920\ cm^4$$

$$A_{sr} = 4 \times \frac{\pi \times 2.5^2}{4} = 19.6\ cm^2 > 8.1\ cm^2$$

فاصله بین آرماتورهای طولی برابر ۳۵ سانتیمتر است. بنابراین ممان اینرسی آرماتورهای طولی برابر است با:

$$I_{sr} = \frac{4\pi d_b^4}{64} + A_{sr}(y/2)^2 = 4 \times 3.14 \times \frac{2.5^4}{64} + 19.6 \times \left(\frac{35}{2}\right)^2 = 6000\ cm^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سطح مقطع بتن برابر است با:

$$A_c = A_g - A_s - A_{sr} = 2025 - 106 - 19.6 = 1900\ cm^2$$

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_c A_c$$

$$= (2400 \times 106 + 4000 \times 19.6 + 0.85 \times 300 \times 1900) \times 10^{-3} = 817.3\ ton$$

ضریب تقلیل مقاومت بتن، C_1 برابر است با:

$$C_1 = 0.25 + 3\left[\frac{A_s + A_{sr}}{A_g}\right] = 0.25 + 3\left[\frac{106 + 19.6}{2025}\right] = 0.43 < 0.7$$

ممان اینرسی مقطع بتنی برابر است با:

$$I_c = I_g - I_s - I_{sr} = \frac{45^4}{12} - 3920 - 6000 = 331798\ cm^4$$

مدول الاستیسیته بتن:

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c} = 0.043 \times 2500^{1.5} \sqrt{30} = 29400\ MPa = 294000\ \frac{kg}{cm^2}$$

صلبیت موثر برابر است با:

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

$$= 2 \times 10^6 \times 3920 + 2 \times 10^6 \times 6000 + 0.43 \times 294000 \times 331798 = 6.17 \times 10^{10}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تنش بحرانی اویلر برابر است با:

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2} = \pi^2 \frac{6.17 \times 10^{10}}{(1 \times 600)^2} \times 10^{-3} = 1693\ ton$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{817.3\ ton}{1693\ ton} = 0.48 \leq 2.25$$

$$P_n = 817.3\ ton\left[0.658^{\frac{817.3\ ton}{1693\ ton}}\right] = 667\ ton \Rightarrow \phi_c P_n = 0.75 \times 667 = 500\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) مقاومت کششی

مقاومت کششی موجود اعضای محوری کششی با مقطع مختلط محاط در بتن در روش LRFD برابر $\phi_t P_n$ و در روش ASD برابر P_n/Ω_t است که در آن P_n مقاومت کششی اسمی بوده و باید براساس حالت حدی تسلیم کششی از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr}$$

که در آن، F_y، A_{sr}، A_s و F_{ysr} در بند قبل تعریف شده‌اند.

ت) انتقال بار

الزامات انتقال بار برای اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن باید با توجه به الزامات بند ۶-۸-۲-۱۰ تعیین گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ث) جزئیات‌بندی اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن

۱- الزامات مربوط به پوشش بتن روی میلگردها، وصلهٔ میلگردها، فواصل میلگردها از یکدیگر و خم میلگردها باید با توجه به الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین گردد.

۲- فاصلهٔ آزاد بین میلگردها و مقطع فولادی باید از 1.5 برابر قطر میلگرد طولی و 40 میلیمتر بزرگتر باشد.

۳- به طور کلی در اعضای فشاری با مقطع مختلط محاط در بتن لزومی به در نظر گرفتن الزامات کمانش موضعی برای اجزای فولادی نیست، لیکن درصورتیکه مقطع فولادی از دو یا تعداد بیشتری مقطع فولادی تشکیل شده باشد، مقاطع فولادی باید توسط بست که می‌تواند 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.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن

الف) محدودیت‌ها

اعضای محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن باید محدودیت‌های 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 الزامات بند ۱۰-۲-۸-۱-۳ تعیین شود.

۳- در اعضای محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن، لزومی به تأمین حداقل میلگرد طولی نبوده و در صورت استفاده از میلگردهای طولی نیازی به تنگهای عرضی برای تأمین مقاومت نیست.

ب) مقاومت فشاری موجود

مقاومت فشاری موجود اعضای فشاری با مقطع مختلط پرشده با بتن دارای دو محور تقارن باید براساس الزامات بند ۱۰-۲-۸-۲-۱-ب و با اصلاحات زیر تعیین شود:

۱- برای مقاطع با اجزای فشرده:

$$P_{n0} = P_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$$

C_2 برابر 0.85 برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای و 0.95 برای مقاطع دایره‌ای شکل توخالی

۲- برای مقاطع با اجزای غیرفشرده:

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (P_p - P_y)$$

که مقدار P_p از رابطه قبل، تعیین شود. همچنین:

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$$

λ نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع فولادی

λ_p حد لاغری برای اجزای فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۸-۱

λ_r حد لاغری برای اجزای غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۸-۱

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۳- برای مقاطع با اجزای لاغر:

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right)$$

$$F_{cr} = \begin{cases} \dfrac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} & \text{برای مقاطع قوطی شکل و جعبه ای} \\ \dfrac{0.72F_y}{\left[\left(\frac{D}{t}\right)\frac{F_y}{E_s}\right]^{0.2}} & \text{برای دایره‌ای شکل} \end{cases}$$

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$$

که در آن، C_3 ضریبی است که مقدار آن برای تعیین سختی مؤثر عضو فشاری با مقطع مختلط پرشده با بتن از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$C_3 = 0.45 + 3 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \le 0.9$$

تبصره: مقاومت فشاری موجود اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن لزومی ندارد کمتر از مقاومت فشاری مقطع فولادی تنها در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت محوری موجود برای یک پروفیل مربعی با مقطع 120×120×8 میلیمتر و تنش تسلیم F_y=2400 kg/cm^2 که توسط بتن با وزن مخصوص ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع پر شده است را تعیین نمایید. طول ستون برابر ۶ متر و در دو انتها بصورت مفصلی است.

طبق جدول پروفیل‌های نورد شده، برای مقطع توخالی 120×120×8 داریم:

$$A_s = 35.2\ cm^2 \qquad I_s = 726\ cm^4 \qquad t = 0.93 \times 0.8 = 0.744\ cm$$

$$\frac{b}{t} = \frac{12 - 3 \times 0.8}{0.8} = 12 < \lambda_p = 2.26\sqrt{E/F_y} = 65$$

بنابراین مقطع فشرده می‌باشد. با صرف نظر از شعاع گردشدگی داریم:

$$A_c = (b - 2t)^2 = (12 - 2 \times 0.8)^2 = 108.16\ cm^2$$

$$A_s + A_c = 35.2 + 108.16 = 143.36\ cm^2$$

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} = \frac{35.2}{143.36} = 0.245 > 0.01$$

بنابراین درصد مساحت مقطع فولادی بیشتر از ۱٪ مساحت مقطع مرکب است. با صرف نظر از شعاع گردشدگی داریم:

$$I_c = (b - 2t)^4/12 = (12 - 2 \times 0.8)^4/12 = 974\ cm^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت فشاری در حالت خمیری کامل، بدون در نظر گرفتن اثر لاغری عضو، برابر است با:

$$P_p = P_{no} = F_y A_s + C_2\left(A_c + A_{sr}\frac{E_s}{E_c}\right)f_c = (2400 \times 35.2 + 0.85 \times 108.16 \times 300) \times 10^{-3}$$

$$= 112\ ton$$

$$C_3 = 0.45 + 3\left[\frac{A_s}{A_c + A_s}\right] = 0.45 + 3 \times 0.245 = 1.19 > 0.9 \Rightarrow C_3 = 0.9$$

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5}\sqrt{f_c} = 0.043 \times 2500^{1.5}\sqrt{30} = 29400\ MPa = 294000\ \frac{kg}{cm^2}$$

سختی موثر مقطع مرکب برابر است با:

$$(EI)_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c = 2 \times 10^6 \times 726 + 0 + 0.9 \times 294000 \times 974$$

$$= 1.7 \times 10^9\ kg.cm^2$$

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_{eff}}{(KL)^2} = \pi^2 \frac{1.7 \times 10^9}{(1 \times 600)^2} \times 10^{-3} = 46.8\ ton$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{112}{46.8} = 2.4 > 2.25$$

$$P_n = 0.877 P_e = 0.877 \times 46.8 = 41\ ton \quad \Rightarrow \quad \phi_c P_n = 0.75 \times 41 = 30\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) مقاومت کششی موجود

مقاومت کششی موجود اعضای محوری کششی با مقطع مختلط پرشده با بتن، در روش LRFD مساوی $\phi_t P_n$ و در روش ASD برابر P_n/Ω_t است که در آن P_n مقاومت کششی اسمی بوده و مقدار آن باید براساس حالت حدی تسلیم کششی از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$P_n = A_s F_y + A_{sr} F_{ysr}$$

ϕ_t=0.9 (LRFD) Ω_t=1.67 (ASD)

که در آن: F_y، A_{sr}، A_s و F_{ysr} در بند ۱۰-۲-۸-۲-۱-ب تعریف شده‌اند.

ت) انتقال بار

برای اعضای محوری با مقطع مختلط پرشده با بتن، الزامات انتقال بار باید براساس ضوابط بند ۱۰-۲-۸-۶ تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اعضای خمشی با مقطع مختلط

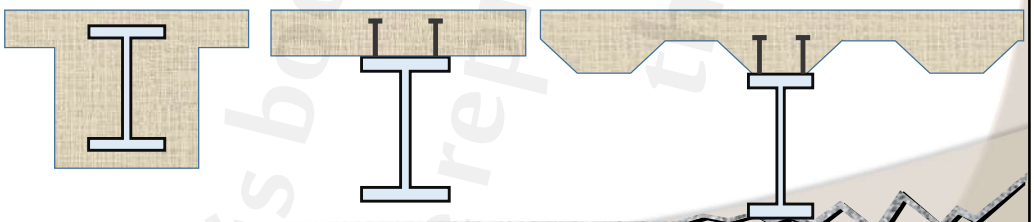
طبق بند ۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه برشگیر

ب) اعضای خمشی با مقطع مختلط محاط در بتن

پ) اعضای خمشی با مقطع مختلط پرشده با بتن

در شکل زیر چند نمونه از تیرهای مرکب نشان داده شده است. در حالتی که از مقطع مرکب برای اعضای خمشی استفاده می‌شود، ظرفیت خمشی عضو به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و منجر به یک طرح اقتصادی با مقاطع کوچکتر خواهد شد. لیکن بایستی به یک نکته توجه داشت و آن هم استفاده از تیرهای مرکب در دهانه‌ها بلند می‌باشد، که با کاهش وزن ممکن است ارتعاش آنها قابل توجه شود. در تیرهای مرکب، می‌توان به حالت‌های زیر، طراحی و اجرا نمود:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پهنای مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی

الف) پهنای مؤثر

پهنای مؤثر دال بتنی برابر با مجموع پهناهای مؤثر در هر طرف محور مقطع فولادی بوده و با تیر فولادی به کمک برش‌گیرها به صورت مختلط عمل می‌نماید. پهنای مؤثر دال بتنی در هر طرف تیر نباید از کوچکترین مقادیر زیر بزرگتر در نظر گرفته شود:

۱- یک هشتم طول دهانهٔ تیر (مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌های تیر)

۲- نصف فاصلهٔ محور تیر تا محور تیر مجاور برای تیرهای مختلط میانی

۳- فاصلهٔ محور تیر تا لبهٔ آزاد دال بتنی برای تیرهای مختلط کناری

ب) حداقل ضخامت دال بتنی

حداقل ضخامت دال بتنی در حالت بدون استفاده از ورق‌های عرشه که با مقطع فولادی به صورت مختلط عمل می‌نماید، برابر ۸۰ میلیمتر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت در برابر بارهای حین اجرا

طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۲، درصورتیکه در اعضای خمشی با مقطع مختلط، در هنگام بتن‌ریزی دال بتنی در زیر تیر فولادی از پایهٔ موقت استفاده نشود، عضو فولادی تا قبل از رسیدن بتن به ۷۵ درصد تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای (f'_c) باید به تنهایی دارای مقاومت کافی برای تحمل وزن بتن‌تر و بارهای حین اجرا (نظیر بارهای ناشی از قالب‌بندی) و وزن خود باشد. مقاومت خمشی عضو فولادی تنها باید براساسِ الزامات بخش ۱۰-۲-۵ تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن

الف) در نواحی لنگر خمشی مثبت

در نواحی لنگر خمشی مثبت، مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن با عملکرد مختلط کامل در روش LRFD برابر $\phi_b M_n^+$ و در روش ASD برابر M_n^+/Ω_b است که باید براساس حالت حدی تسلیم به شرح زیر تعیین شود:

ϕ_b=0.9 (LRFD) و Ω_b=1.67 (ASD)

الف-۱) درصورتیکه $\frac{h}{t_w} \le 3.76\sqrt{E/F_y}$ باشد، M_n^+ مطابق شکل زیر باید براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع مختلط تعیین شود.

که در آن:

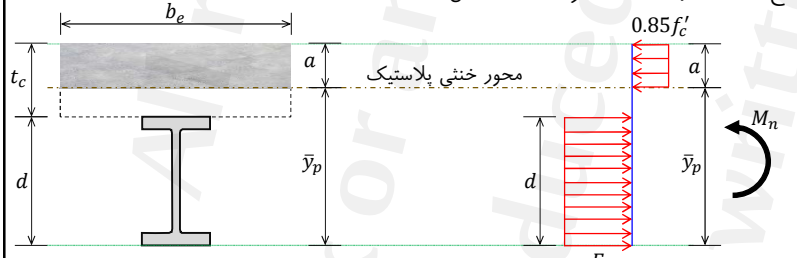
t_w ضخامت جان تیر فولادی

h فاصلهٔ بین شروع گردی ریشهٔ جان به بال برای نیمرخ‌های نوردشده و فاصلهٔ آزاد بین دو بال برای مقاطع ساخته شده از ورق

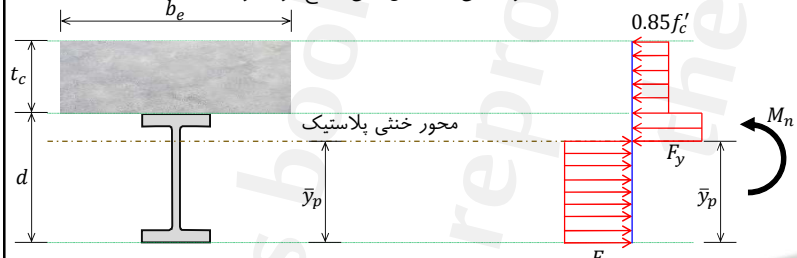
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

توزیع تنش پلاستیک در مقطع مختلط در حالت عملکرد مختلط کامل



الف) محور خنثی در بخش بتنی مقطع قرار گرفته است

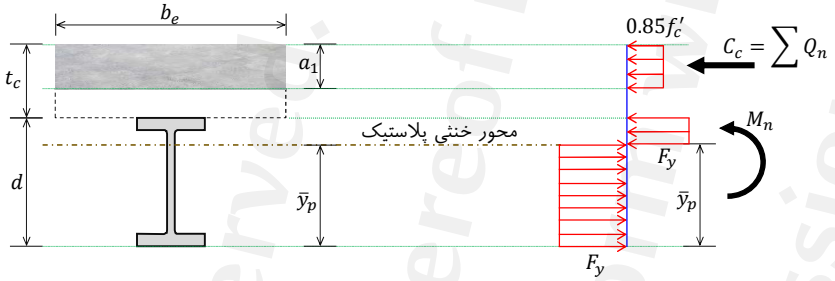


ب) محور خنثی در بخش فولادی مقطع قرار گرفته است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

درصورتیکه مقاومت برش‌گیرهای به‌صورت گل‌میخ یا ناودانی به‌کاررفته در حد فاصل حداکثر لنگر خمشی مثبت و لنگر خمشی صفر ($\sum Q_n$)، از کوچکترین دو مقدار $A_s F_y$ و $0.85 f'_c A_c$ کمتر باشد، در این صورت تیر دارای عملکرد مختلط ناقص خواهد بود. در این حالت برای محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی موجود، ابتدا باید یک بلوک فشاری فرضی به ارتفاع a_1 از بالاترین تار مقطع جایگزین بخش بتن شود، سپس مقدار a_1 از رابطهٔ $a_1 = \sum Q_n / 0.85 f'_c b_{eff}$ محاسبه شده و پس از آن از طریق تعادل استاتیکی، مقدار لنگر خمشی اسمی تیر تعیین شود (شکل زیر)



توزیع تنش پلاستیک در مقطع مختلط در حالت عملکرد مختلط ناقص

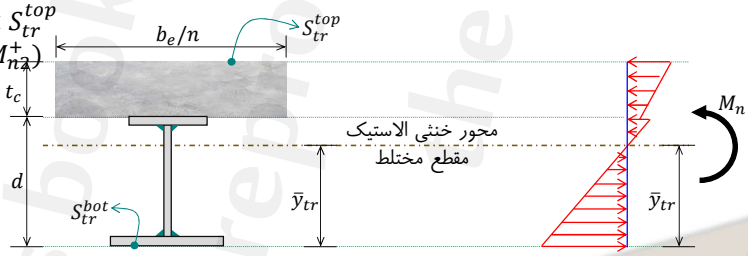
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الف-۲) درصورتیکه $\frac{h}{t_w} > 3.76\sqrt{E/F_y}$ مقدار M_n^+ باید براساس روی هم گذاری تنش‌های الاستیک و با فرض مقطع تبدیل یافته، براساس تنش‌های حاصل از بارهای قبل از سفت شدن بتن روی دورترین تار مقطع فولادی و بارهای پس از سفت شدن بتن در دورترین تارهای مقطع مختلط تعیین شود. در این حالت مقدار M_n^+ برابر کوچکترین دو مقدار به دست آمدهٔ از M_{n1}^+ و M_{n2}^+ خواهد بود که در آن، M_{n1}^+ لنگر خمشی نظیر تنش F_y در دورترین تار تحتانی مقطع مختلط و M_{n2}^+ لنگر خمشی نظیر تنش $0.7f'_c$ در دورترین تار فوقانی مقطع مختلط بوده و به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

- در صورت استفاده از پایه‌های موقت (مطابق شکل زیر):

$$M_{n1}^+ = F_y \times S_{tr}^{bot}$$
$$M_{n2}^+ = 0.7f'_c \times n \times S_{tr}^{top}$$
$$M_n^+ = \min(M_{n1}^+ \text{ و } M_{n2}^+)$$



توزیع الاستیک تنش در مقطع مختلط تبدیل یافته در صورت استفاده از پایه‌های موقت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

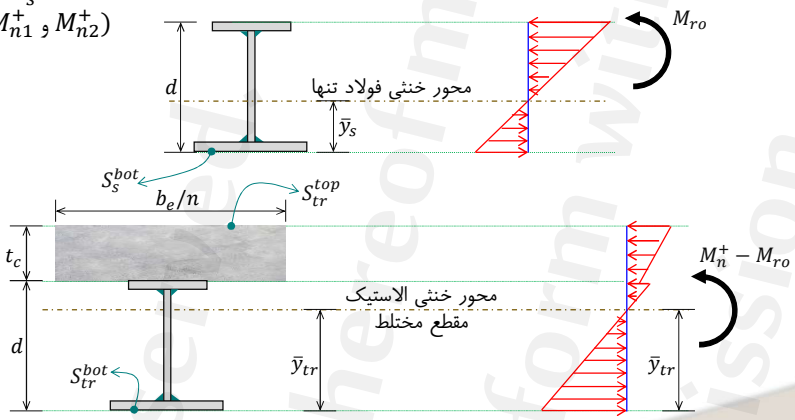
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

- در صورت عدم استفاده از پایه‌های موقت (مطابق شکل‌های زیر)

$$M_{n2}^{+} = 0.7f_c' \times n \times S_{tr}^{top} + M_{r0}$$

$$\frac{M_{n1}^{+} - M_{r0}}{S_{tr}^{bot}} + \frac{M_{r0}}{S_s^{bot}} = F_y \quad \Rightarrow \quad M_{n1}^{+} = \cdots$$

$$M_n^{+} = \min(M_{n1}^{+}\text{ و }M_{n2}^{+})$$



توزیع الاستیک تنش در مقطع مختلط تبدیل یافته در صورت عدم استفاده از پایه‌های موقت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که M_{r0} لنگر ناشی از بارهای قبل از سفت شدن بتن است که مقدار آن در روش LRFD برابر M_{u0}/ϕ و در روش ASD برابر ΩM_{a0} است.

تبصره: درصورتیکه مقاومت برشگیرهای به صورت گل‌میخ یا ناودانی به کاررفته در حد فاصل حداکثر لنگر مثبت و لنگر صفر ($\sum Q_n$)، از کوچکترین دو مقدار $A_s F_y$ و $0.85f_c' A_c$ کمتر باشد، در این حالت برای محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی موجود، اساس مقطع مؤثر متناظر با تار تحتانی مقطع مختلط باید برابر $S_{eff}^{bot} = S_s^{bot} + \sqrt{\left(\frac{\sum Q_n}{C_f}\right)}\left(S_{tr}^{bot} - S_s^{bot}\right)$ و اساس مقطع مؤثر متناظر با تار فوقانی مقطع مختلط باید برابر $S_{eff}^{top} = S_{tr}^{top}\left(S_{eff}^{bot}/S_{tr}^{bot}\right)$ در نظر گرفته شود که در آن S_{tr}^{bot} اساس مقطع الاستیک مقطع تبدیل یافته نسبت به دورترین تار تحتانی مقطع، S_{tr}^{top} اساس مقطع الاستیک مقطع تبدیل یافته نسبت به دورترین تار فوقانی مقطع و S_s^{bot} اساس مقطع الاستیک مقطع فولادی تنها نسبت به دورترین تار تحتانی آن است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) در نواحی لنگر خمشی منفی

در نواحی لنگر خمشی منفی، مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط و دال بتنی متکی بر آن با عملکرد مختلط کامل، در روش LRFD برابر $\phi_b M_n^-$ و در روش ASD برابر M_n^-/Ω_b بوده که در آن ϕ_b برابر 0.9، Ω_b برابر 1.67 و M_n^- را می‌توان به طور محافظه‌کارانه برابر مقاومت خمشی اسمی منفی مقطع فولادی تنها براساس ضوابط بخش ۱۰-۲-۵ در نظر گرفت. در صورت اقناع شرایط زیر مقاومت خمشی اسمی منفی مقطع مختلط را می‌توان براساس توزیع تنش پلاستیک و با منظور کردن میلگردهای موجود در دال بتنی در محدودهٔ پهنای مؤثر تیر محاسبه نمود:

۱- اجزای مقطع فولادی فشرده و دارای اتکای جانبی کافی مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۵ باشد.

۲- در ناحیهٔ لنگر خمشی منفی، دال بتنی به کمک برشگیرهای کافی به تیر فولادی وصل شده باشد.

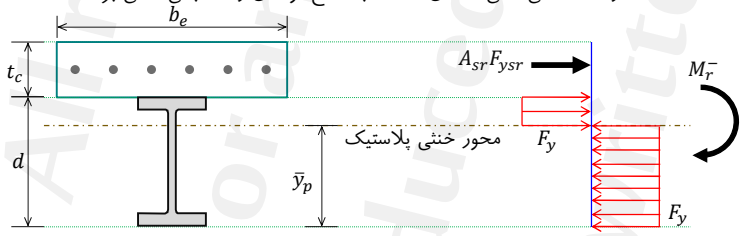
۳- در محدودهٔ عرض مؤثر دال بتنی، میلگردهای موازی با محور تیر به طور کامل الزامات مربوط به چسبندگی و طول مهاری را مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برآورده نمایند.

درصورتیکه $\sum Q_n \geq A_{sr}F_{yr}$ باشد، در ناحیهٔ لنگر خمشی منفی عملکرد مختلط کامل بوده و مقدار M_n^- می‌تواند مطابق شکل (الف) بعدی، براساس توزیع تنش پلاستیک تعیین شود. اما اگر $\sum Q_n < A_{sr}F_{yr}$ باشد، در ناحیهٔ لنگر خمشی منفی عملکرد مختلط ناقص بوده و مقدار M_n^- می‌تواند مطابق شکل (ب) تعیین گردد. درهرحال، در ناحیهٔ لنگر خمشی منفی در صورتی می‌توان از عملکرد مختلط ناقص استفاده کرد که $\frac{\sum Q_n}{A_{sr}F_{yr}}$ کمتر از 0.25 نباشد

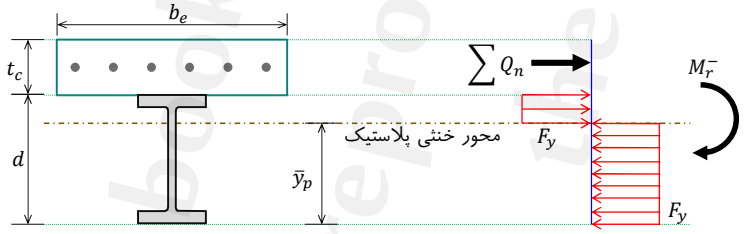
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی منفی اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن



(الف) عملکرد مختلط کامل



(ب) عملکرد مختلط ناقص

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

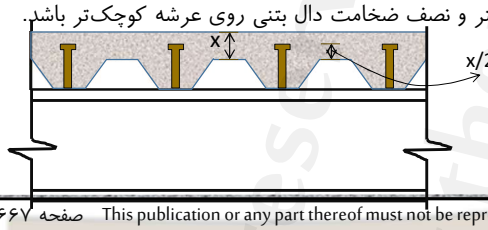
پ) مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه عرشهٔ فولادی

مقاومت خمشی موجود اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه عرشهٔ فولادی باید براساس الزامات بند ۱۰-۲-۸-۳-۳-الف برای مقاومت خمشی موجود مثبت و براساس الزامات بند ۱۰-۲-۸-۳-۳-ب برای مقاومت خمشی موجود منفی و با رعایت الزامات زیر تعیین گردد:

پ-۱) ملاحظات و محدودیت‌ها

۱- ارتفاع اسمی عرشهٔ فولادی (h_r) نباید از ۷۵ میلیمتر بیشتر باشد. پهنای متوسط کنگره‌های پرشده با بتن (w) نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر باشد، لیکن در محاسبات نباید بزرگتر از حداقل پهنای آزاد (خالص) در نزدیکی سطح فوقانی عرشهٔ فولادی در نظر گرفته شود.

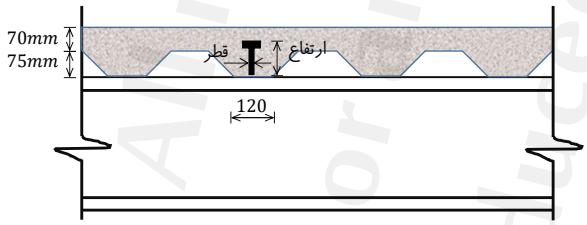
۲- دال بتنی باید به وسیلهٔ برشگیرهای از نوع گل‌میخ با قطر حداکثر ۲۰ میلیمتر به مقطع فولادی متصل شوند. گل‌میخ‌ها باید از طریق عرشهٔ فولادی یا به طور مستقیم به مقطع فولادی جوش شوند. پس از نصب، ارتفاع گل‌میخ‌ها که از بالای عرشهٔ فولادی اندازه‌گیری می‌شود، نباید از ۴۰ میلیمتر و نصف ضخامت دال بتنی روی عرشه کوچک‌تر باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل زیر بخشی از یک سقف مرکب با ورق فولادی شکل داده شده، نشان داده شده است. استفاده از کدام گل‌میخ در این سقف قابل قبول است؟ (آبان ۹۳)



الف) قطر ۱۶ و ارتفاع ۷۵ میلیمتر

ب) قطر ۱۹ و ارتفاع ۱۲۰ میلیمتر

ج) قطر ۱۶ و ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر

د) قطر ۲۲ و ارتفاع ۱۲۰ میلیمتر

پاسخ: دال بتنی باید به وسیله برشگیرهای از نوع گلمیخ با قطر حداکثر ۲۰ میلیمتر به مقطع فولادی متصل شوند. بنابراین گزینه (د) غلط است. پس از نصب، ارتفاع گلمیخ‌ها که از بالای عرشه فولادی اندازه‌گیری می‌شود، نباید از ۴۰ میلیمتر و نصف ضخامت دال بتنی روی عرشه کوچکتر باشد.

$$\max(70 \times 0.5 \& 40) = 40\ mm$$

بنابراین حداقل ارتفاع گلمیخ باید برابر باشد با:

$$75 + 40 = 115\ mm$$

بنابراین تنها گزینه (ب) می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

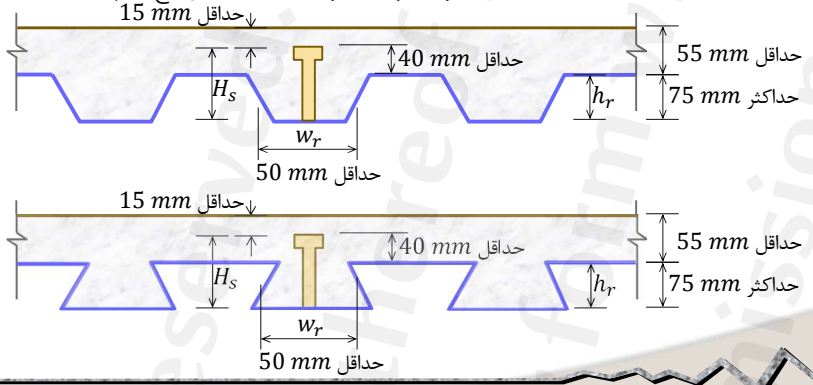
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۳- پوشش بتن روی گل‌میخ‌ها نباید از ۱۵ میلیمتر کمتر باشد.

۴- ضخامت دال بتنی در قسمت فوقانی عرشهٔ فولادی نباید کمتر از ۵۵ میلیمتر باشد.

۵- عرشهٔ فولادی باید در فواصلی حداکثر ۴۵۰ میلیمتر به مقطع فولادی و سایر اعضای تکیه‌گاهی مهار شوند. این مهارها می‌توانند برشگیرهای از نوع گل‌میخ، ترکیبی از گل‌میخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای یا هر راهکار فنی دیگر باشد.

ملاحظات و محدودیت‌های عرشهٔ فولادی برای حالت یک گل‌میخ در پهنا



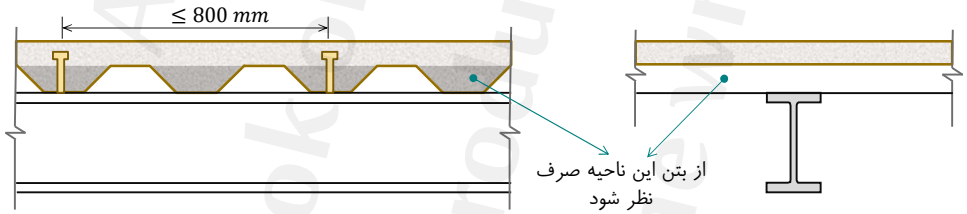
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ-۲) عرشهٔ فولادی که کنگره‌های آنها عمود بر محور طولی تیر است

در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبهٔ A_c باید از بتن موجود در زیر سطح فوقانی عرشهٔ فولادی صرفنظر شود (شکل زیر)

عرشهٔ فولادی که کنگره‌های آن عمود بر محور طولی تیر است

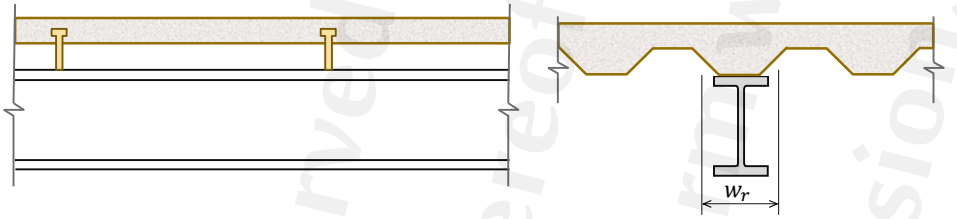


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ-۳) عرشهٔ فولادی که کنگره‌های آنها موازی با محور طولی تیر است

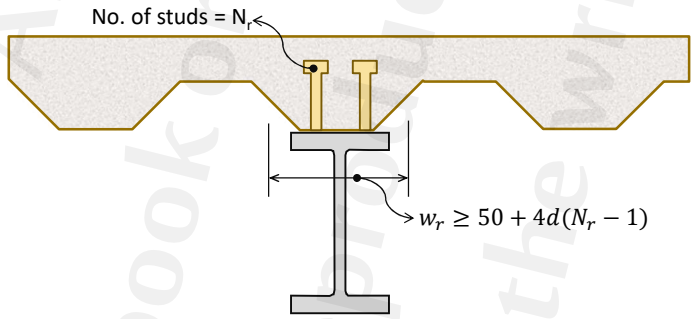
در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبهٔ سطح مقطع بخش بتنی (A_c) می‌توان از بتن موجود در داخل کنگره‌های عرشهٔ فولادی استفاده نمود. همچنین عرشهٔ فولادی را می‌توان در روی تیر فولادی تکیه‌گاهی از هم جدا کرد به‌طوریکه در روی بال مقطع فولادی یک ماهیچهٔ بتنی تشکیل شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چنانچه ارتفاع اسمی عرشهٔ فولادی (h_r) برابر ۴۰ میلیمتر یا بزرگ‌تر باشد، پهنای متوسط کنگره‌های پرشده با بتن در روی تیر تکیه‌گاهی نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر برای حالت یک گل‌میخ در پهنا باشد. این پهنای حداقل برای هر گل‌میخ اضافی در پهنا، باید به اندازهٔ ۴ برابر قطر گل‌میخ افزایش یابد.



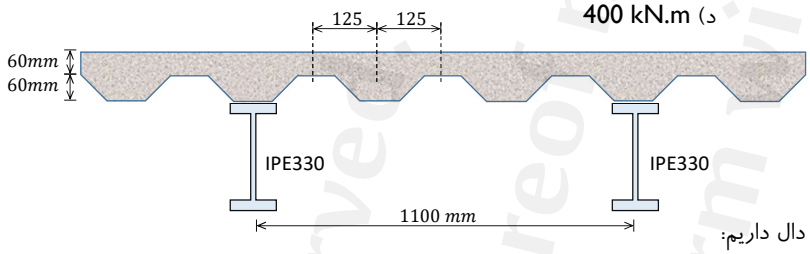
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) براساس توزیع پلاستیک تنش، مقاومت اسمی خمشی مثبت (M_n) در تیر با مقطع مختلط و با عملکرد مختلط کامل نشان داده شده به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ بتن دال دارای f_c=25 MPa و F_y=235 MPa است. طول تیرها ۸ متر و فواصل آنها ۱/۱ متر در نظر گرفته شود. (شهریور ۱۴۰۱)

الف) 450 kN.m　　ب) 320 kN.m

ج) 370 kN.m　　د) 400 kN.m



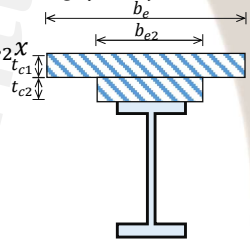
پاسخ: برای عرض موثر دال داریم:

$$b_e = 2\min\left(\frac{1100}{2}, \frac{8000}{8}\right) = 1100\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کنگره موازی محور تیر می‌باشد و طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۳-پ۳، می‌توان از بتن موجود داخل کنگره‌های عرشه فولادی استفاده نمود. با فرض اینکه تارخنثی پلاستیک داخل کنگره باشد:



$$F_y A_s = b_e t_{c1} \times 0.85 f_c' + b_{e2} x \times 0.85 f_c' \ \Rightarrow A_s \times \frac{F_y}{0.85 f_c'} = b_e t_{c1} + b_{e2} x$$

$$m = \frac{F_y}{0.85 f_c'} = \frac{235}{0.85 \times 25} = 11$$

$$b_{e2} = \frac{1}{2} b_e = 550\ mm$$

$$m A_s = b_e t_{c1} + b_{e2} x \ \Rightarrow \ A_s = \frac{b_e}{m}\left(t_{c1} + \frac{1}{2} x\right) \Rightarrow x = 5.9\ mm \le t_{c2}$$

با لنگرگیری حول محور خنثی پلاستیک مقدار لنگر اسمی مقاوم بدست می‌آید:

$$M_n$$

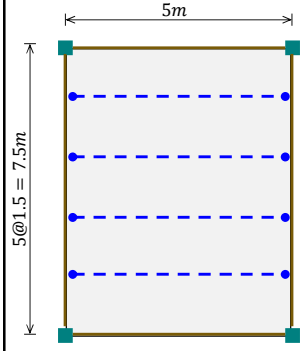
$$= 6260 \times 235 \times \left(\frac{330}{2} + 60 - 5.9\right) + 0.85 \times 25 \times 1100 \times 60 \times (30 + 5.9) + 0.85 \times 25$$

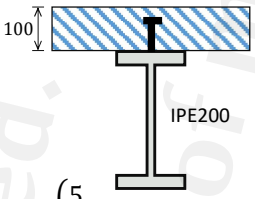
$$\times \frac{1100}{2} \times 5.9 \times \left(\frac{5.9}{2}\right) = 372.9\ \text{kN. m}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در شکل زیر پلان یک ساختمان فولادی با تیرچه‌های مختلط نشان داده شده است. اگر ضخامت دال بتنی تخت برابر ۱۰۰ میلیمتر و مقطع تیرچه‌های مختلط از IPE 200 باشد و تیرچه‌ها دارای عملکرد مختلط کامل باشند، آنگاه براساس روش توزیع پلاستیک تنش، مقاومت خمشی طراحی تیرچه‌های مختلط برحسب kN.m به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است. بتن دال دارای f_c=25 MPa و W_c=2500 kg/m^3 و F_y=240 MPa فرض شود. (اردیبهشت ۹۷)





الف) ۱۲۸ ب) ۴۸

ج) ۹۶ د) ۱۱۵

پاسخ: برای عرض موثر طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۱:

$$b_e = \min\begin{cases}\frac{5}{4} = 1.25 \\ 1.5\ m\end{cases} = 1.25\ m$$

$$a = \frac{F_y A_s}{0.85 f_c' b_e} = \frac{240 \times 2850}{0.85 \times 25 \times 1250} = 25.7\ mm < t_c = 100$$

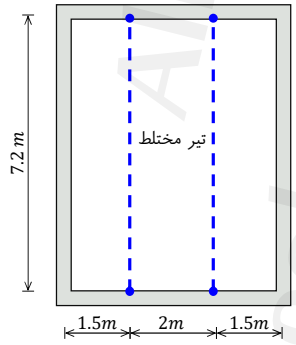
$$\phi M_n = 0.9 \times 2850 \times 240\left(100 + 100 - \frac{25.7}{2}\right) \times 10^{-6}$$

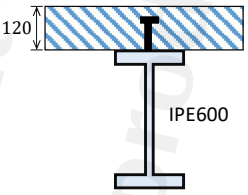
$$= 115\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای پوشش یک سقف از دو تیر دو سر ساده با مقطع مختلط به دهانه 7.2 متر و با عملکرد مختلط کامل استفاده شده است. مقاومت خمشی مثبت اسمی این تیرها به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ بتن دال دارای f_c=30 MPa و F_y=240 MPa فرض شود. (دی ۱۴۰۱)





الف) 1600 kN.m ب) 1800 kN.m

ج) 1200 kN.m د) 1400 kN.m

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ: برای عرض موثر طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۱:

$$b_e = \min\left(\frac{L}{8}, \frac{2000}{2}\right) + \min\left(\frac{L}{8}, \frac{1500}{2}\right) = 900 + 750 = 1650\ mm$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 \le 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$$

تعیین موقعیت تار خنثی پلاستیک:

$$a = \frac{F_y A_s}{0.85 f_c' b_e} = \frac{240 \times 15600}{0.85 \times 30 \times 1650} = 89\ mm < t_c = 120$$

$$M_n = A_s F_y \left(\frac{d}{2} + t_c - \frac{a}{2}\right) = 15600 \times 240 \times \left(\frac{600}{2} + 120 - \frac{89}{2}\right) \times 10^{-6} = 1405\ kN.m$$

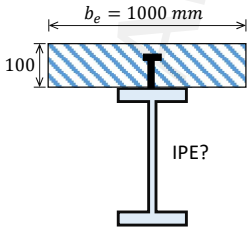
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه تیر مختلط نشان داده شده در شکل زیر دارای عملکرد مختلط کامل باشد، آنگاه حداقل شماره نیمرخ قابل قبول از نوع IPE برای آنکه فاصله محور خنثی پلاستیک مقطع از بالای بتن، بیش از نصف ضخامت دال بتن باشد، به کدامیک از نیمرخ‌های زیر نزدیکتر است؟ بتن دال دارای f_c=25 MPa و W_c=2500 kg/m^3 و F_y=240 MPa فرض شود. (بهمن ۹۷)

الف) IPE180 ب) IPE220

ج) IPE270 د) IPE330



پاسخ:

$$a = \frac{F_y A_s}{0.85 f_c' b_e} \Rightarrow 50 < \frac{240 \times A_s}{0.85 \times 25 \times 1000}$$

$$\Rightarrow A_s > 4427\ mm^2$$

$$USE\ IPE270\ \ A_s = 4590\ mm^2$$

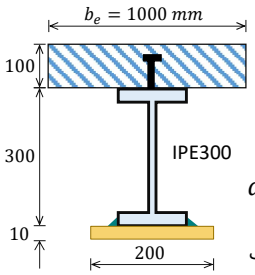
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) براساس روش توزیع پلاستیک تنش، مقاومت خمشی مثبت اسمی (M_n) مقطع مختلط شکل زیر حدودا چقدر است؟ فرض نمائید تیر دارای عملکرد مختلط کامل بوده و سایر اطلاعات به شرح زیر هستند. بتن دال دارای f'_c=25 MPa و W_c=2500 kg/m^3 و F_y=240 MPa فرض شود. (مرداد ۱۴۰۰)

الف) 660 kN.m　　ب) 550 kN.m

ج) 440 kN.m　　د) 330 kN.m



پاسخ:

$$a=\frac{F_yA_s+F_yA_{PL}}{0.85f'_cb_e}=\frac{240\times5380+240\times(200\times10)}{0.85\times25\times1000}=83.4\ mm$$

پس تار خنثی در داخل بتن است و با لنگرگیری حول محور خنثی پلاستیک، لنگر پلاستیک مقطع بدست می‌آید:

$$M_p=(5380\times240\times166.6+(200\times10\times240\times321.6)+0.85\times83.4\times1000\times25\times41.7)\times10^{-6}=443.3\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در سقف مختلط با بتن از رده C25 و تیرآهن‌های IPE200 (با سطح مقطع 2850 mm^2) از فولاد با تنش تسلیم 240MPa ضخامت دال 80 mm و عرض موثر دال بتنی هر تیر، یک متر می‌باشد. مقاومت خمشی اسمی (M_n) مثبت هر تیر مختلط حدودا چند kN.m می‌باشد؟ (مرداد ۹۴)

الف) 132　　ب) 112　　ج) 96　　د) 84

پاسخ: تار خنثی در بتن قرار دارد. زیرا

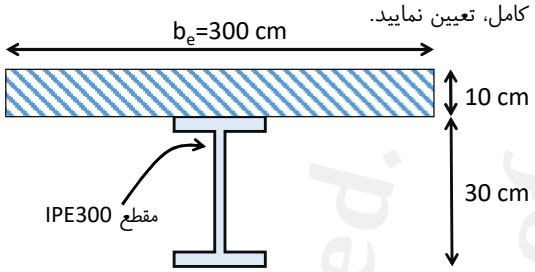
$$a=\frac{2850\times240}{0.85\times25\times1000}=32.2\ mm\le t_c=80\ mm$$

$$M_n=A_sF_y\left(\frac{d}{2}+t_c-\frac{a}{2}\right)=2850\times240\left(\frac{200}{2}+80-\frac{32.2}{2}\right)\times10^{-6}=112.1\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع مرکب نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از مقطع تیر IPE300 و یک دال بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تشکیل شده است. عرض موثر تیر برابر ۳ متر در نظر گرفته شود. ظرفیت نهایی مقطع را با فرض مقطع مرکب کامل، تعیین نمایید.



مشخصات مقطع فولادی IPE300برابر است با:

$$A_s = 53.8\ cm^2 \qquad d = 30\ cm$$

مساحت موثر دال بتنی برابر است با:

$$A_c = bt_c = 300 \times 10 = 3000\ cm^2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت نهایی بتن برابر است با:

$$0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 300 \times 3000 \times 10^{-3} = 765\ ton$$

ظرفیت نهایی مقطع فولادی، با فرض جاری شدن کامل آن برابر است با:

$$T = F_y A_s = 2400 \times 53.8 \times 10^{-3} = 129\ ton < 0.85 f_c' A_c$$

بنابراین تار خنثی در دال بتنی قرار دارد.

$$T = C_{con} = 129\ ton$$

عمق بلوک تنش فشاری در دال بتنی برابر است با:

$$a = \frac{C_{con}}{0.85 f_c' b} = \frac{129 \times 10^3}{0.85 \times 300 \times 300} = 1.68\ cm$$

فاصله بین بالای مقطع فولادی تا نیروی برآیند فشاری دال بتنی برابر است با:

$$Y_2 = Y_{con} - \frac{a}{2} = 10 - \frac{1.68}{2} = 9.15\ cm$$

بازوی لنگر بین نیروی برآیند کششی و فشاری برابر است با:

$$y = Y_2 + \frac{d}{2} = 9.15 + \frac{30}{2} = 24.15\ cm$$

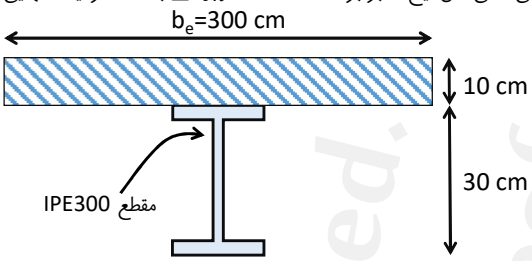
ظرفیت خمشی برابر است با:

$$\phi_b M_n = \phi_b T y = 0.9 \times 129\ ton \times 24.15\ cm = 2800\ ton.cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع مرکب نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از مقطع تیر IPE300 و یک دال بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تشکیل شده است. عرض موثر تیر برابر ۳ متر در نظر گرفته شود. (مثال قبل) در صورتی که ظرفیت نیروی برشی افقی گل‌میخ‌ها برابر $\sum Q_n = 90\ ton$ باشد، ظرفیت نهایی مقطع مرکب را، تعیین نمایید.



پاسخ: مشخصات مقطع فولادی IPE300برابر است با:

$$A_s = 53.8\ cm^2 \qquad d = 30\ cm \qquad t_f = 1.07\ cm \qquad b_f = 15\ cm$$

ظرفیت نهایی مقطع فولادی، با فرض جاری شدن کامل آن برابر است با:

$$T = F_y A_s = 2400 \times 53.8 \times 10^{-3} = 129\ ton > 90\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

از آنجایی که کل ظرفیت مقطع فولادی توسط برشگیرها قابل انتقال نیست، عمق بلوک تنش فشاری در بتن برابر است با:

$$a = \frac{C_{con}}{0.85 f'_c b} = \frac{90 \times 10^3}{0.85 \times 300 \times 300} = 1.18\ cm$$

فاصله بین بالای مقطع فولادی تا نیروی برآیند فشاری دال بتنی برابر است با:

$$Y_2 = Y_{con} - \frac{a}{2} = 10 - \frac{1.18}{2} = 9.41\ cm$$

با فرض آنکه محور خنثی در بال بالایی تیر قرار داشته باشد، مطابق شکل فاصله بین بالای بال مقطع فولادی و نیروی فشاری ایجاد شده در قسمت فشاری بال مقطع فولادی (C_s) برابر Y_1 در نظر گرفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با برابر قرار دادن نیروهای کششی و فشاری در مقطع مرکب داریم:

$$T = C_{con} + 2C_s$$

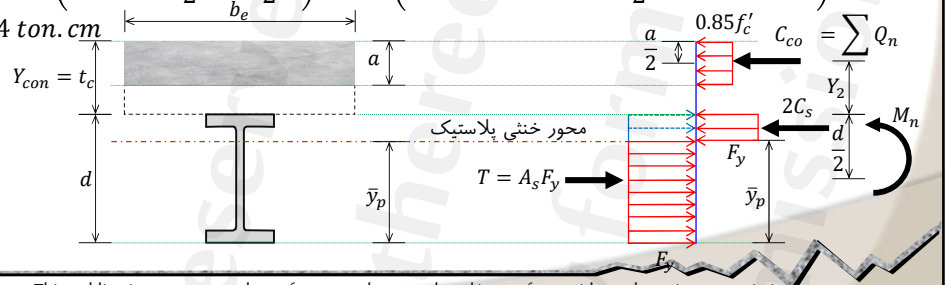
$$C_s = \frac{(129 - 90)}{2} = 19.2\ ton$$

$$Y_1 = \frac{C_s}{F_y b_f} = \frac{19.2 \times 10^3}{2400 \times 15} = 0.54\ cm < t_f = 1.07\ cm$$

بنابراین تار خنثی در بال قرار دارد. ظرفیت خمشی برابر است با:

$$\phi_b M_n = \phi_b \left(C_{con} Y_2 + \frac{Td}{2} - \frac{2C_s Y_1}{2} \right) = 0.9 \left(90 \times 9.41 + 129 \times \frac{30}{2} - 19.2 \times 0.54 \right)$$

$$= 2494\ ton.cm$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) مقاومت برشی موردنیاز بین تیر فولادی و دال بتنی

ت-۱) در نواحی لنگر خمشی مثبت

برش افقی موردنیاز کل (V_h) بین تیر فولادی و دال بتنی در فاصلهٔ نقطهٔ حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطهٔ لنگر خمشی صفر در حالت عملکرد مختلط کامل باید برابر کوچکترین دو مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی زیر در نظر گرفته شود:

۱- خردشدگی بتن مطابق رابطهٔ زیر:

$$V_h = 0.85 f'_c A_c$$

۲- تسلیم کششی مقطع فولادی مطابق رابطهٔ زیر:

$$V_h = F_y A_s$$

تبصره: در ناحیهٔ لنگر خمشی مثبت (فاصلهٔ بین نقطهٔ حداکثر لنگر خمشی مثبت و نقطهٔ لنگر خمشی صفر (چنانچه مقدار $\sum Q_n$ مساوی یا بیش از V_h باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_h و مساوی یا بیشتر از $0.25V_h$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25V_h$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

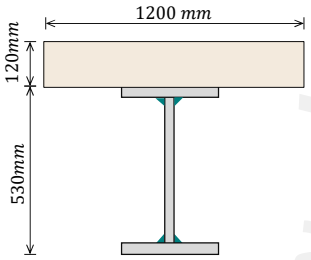
در روابط فوق، A_c سطح مقطع دال بتنی در محدودهٔ پهنای مؤثر، A_s مساحت مقطع فولادی و $\sum Q_n$ مقاومت اسمی برش‌گیرهای تعبیه شده در فاصلهٔ بین نقطهٔ لنگر خمشی صفر و نقطهٔ با حداکثر لنگر خمشی مثبت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر دوسر ساده با مقطع مختلط خمشی تشکیل شده است از یک تیر ورق I شکل با جان PL500x10 mm و بال‌های PL200x15 mm ضخامت دال 120 mm و عرض موثر آن در هر طرف تیر 600mm است. میلگرد دال S340 و رده بتن C25 و فولاد تیر ورق ST37 (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) فرض می‌شود. برای عملکرد مختلط کامل این تیر، مقاومت برشی افقی مورد نیاز به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (خرداد ۹۳)



الف) 3060 kN ب) 2640 kN

ج) 1530 kN د) 1320 kN

پاسخ:

$V_h = \min(A_s F_y \& 0.85 f_c' A_c) \quad A_s F_y = 240(500 \times 10 + 2 \times 200 \times 15) \times 10^{-3} = 2640\ kN$

$0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 25 \times (1200 \times 120) \times 10^{-3} = 3060\ kN$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر دو سرساده با مقطع مختلط و با عملکرد مختلط کامل شامل دال بتنی به ضخامت ۱۲۰ میلیمتر و تیرهای فولادی IPE220 (A=33.4 cm^2) به فواصل 2.5 متر و طول ۶ متر مفروض است. در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، برشگیرهای واقع در حد فاصل نقطه حداکثر لنگرخمشی و تکیه‌گاه باید حدودا برای چه نیروی برشی افقی طراحی شوند؟ فرض کنید بتن از رده C25 و فولاد از نوع St 37 است؟ (آذر ۹۲)

الف) 3200 kN ب) 1915kN

ج) 800 kN د) 400 kN

پاسخ: برای عرض موثر طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۱:

$$b_e = \min \begin{cases} 2 \times \dfrac{600}{8} = 150\ cm \\ 250\ cm \end{cases}$$

$$V_h = \min \begin{cases} 0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 250 \times (150 \times 12) \times 10^{-2} = 3825\ kN \\ F_y A_s = 2400 \times 33.4 \times 10^{-2} = 801.6\ kN \end{cases}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت-۲) در نواحی لنگر خمشی منفی

در تیرهای پیوسته و خمشی که در آن میلگردهای طولی در نواحی لنگر خمشی منفی به صورت مختلط با مقطع فولادی عمل می‌نمایند، برش افقی موردنیاز کل (V_h^-) بین دال بتنی و تیر فولادی در فاصلهٔ نقطهٔ حداکثر لنگر خمشی منفی و نقطهٔ لنگر خمشی صفر باید براساس حالت حدی تسلیم میلگردهای داخل بتن در پهنای مؤثر دال بتنی از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$V_h^- = F_{ysr} A_{sr}$$

که در آن:

A_{sr} سطح مقطع میلگردهای طولی تعبیه شده در عرض مؤثر دال

F_{yr} تنش تسلیم مشخصهٔ میلگردها

تبصره: در ناحیهٔ لنگر خمشی منفی (فاصلهٔ بین نقطهٔ حداکثر لنگر خمشی منفی و نقطهٔ لنگر خمشی صفر) چنانچه مقدار $\sum Q_n$ مساوی یا بیش از V_h^- باشد تیر دارای عملکرد مختلط کامل، کمتر از V_h^- و مساوی یا بیش از $0.25V_h^-$ باشد تیر دارای عملکرد مختلط ناقص و کمتر از $0.25V_h^-$ باشد تیر بدون عملکرد مختلط در نظر گرفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تغییرشکل‌های قائم و تغییرمکان‌های جانبی اعضای خمشی مختلط

طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۴ برای محاسبهٔ تغییرشکل‌های قائم و تغییرمکان‌های جانبی در تحلیل الاستیک سیستم‌های شامل اعضای با مقطع مختلط، ممان اینرسی مؤثر اعضای با مقطع مختلط می‌تواند براساس رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$I_{equivalent} = 0.75(\alpha I_{pos} + \beta I_{neg})$$

که در آن:

I_{pos} ممان اینرسی مؤثر عضو خمشی مختلط در ناحیهٔ خمشی مثبت براساس مقطع تبدیل یافته در حالت عملکرد مختلط کامل

I_{neg} ممان اینرسی مؤثر عضو خمشی مختلط در ناحیهٔ خمشی منفی براساس مقطع تبدیل یافته در حالت عملکرد مختلط کامل

α و β ضرایب وزنی مورد استفاده در محاسبهٔ ممان اینرسی مؤثر مقطع مختلط عضو خمشی که باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

- برای تیرهای دو سر ساده، مقدار α برابر 1.0 و مقدار β برابر صفر
- برای تیرهای پیوسته تحت بارهای ثقلی، مقدار α برابر 0.6 و مقدار β برابر 0.4

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

- برای تیرهای خمشی مختلط واقع در قاب‌های خمشی تحت اثر بارهای ثقلی، مقدار α برابر0.6 و مقدار β برابر 0.4

- برای تیرهای خمشی مختلط واقع در قاب‌های خمشی تحت اثر بارهای جانبی، مقدار هر دو ضریب α و β برابر 0.5

چنانچه عملکرد مختلط بین بخش بتنی و فولادی مطابق بند ۱۰-۲-۸-۳-۳-ت به صورت ناقص باشد، در رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۲۳ برای مقادیر I_{pos} و I_{neg} باید مطابق روابط زیر از مقادیر مؤثر آنها استفاده شود:

$$I_{pos,eff} = 0.7\left(I_s + \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}}\left(I_{pos} - I_s\right)\right)$$

$$I_{neg,eff} = 0.7\left(I_s + \sqrt{\frac{\sum Q_n}{A_{sr}F_{yr}}}\left(I_{neg} - I_s\right)\right)$$

که در آن $\sum Q_n$ مقدار مقاومت برشی اسمی برش‌گیرهای به صورت گل‌میخ یا ناودانی تعبیه شده در حدفاصل لنگر حداکثر مثبت و لنگر صفر در رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۲۴ و مقدار مقاومت برشی اسمی برشگیرهای به صورت گلمیخ یا ناودانی تعبیه شده در حدفاصل لنگر حداکثر منفی و لنگر صفر در رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۲۵ است. C_f حداقل دو مقدار F_yA_s و $0.85f'_cA_c$ و I_s ممان اینرسی مقطع تیر فولادی تنها

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط محاط در بتن

طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۵ مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط محاط در بتن، مساوی ϕ_bM_n در روش LRFD و مساوی M_n/Ω_b در روش ASD است که در آن:

ϕ_b=0.9 (LRFD) Ω_b=1.67 (ASD)

و مقاومت خمشی اسمی(M_n)، باید براساس یکی از روش‌های زیر تعیین شود:

۱- در صورت تعبیهٔ برشگیرهای کافی در سرتاسر طول عضو مختلط، براساس یکی از روش‌های توزیع تنش پلاستیک شکل (۱۰-۲-۸-۱۰) یا سازگاری کرنش‌ها بر روی مقطع مختلط

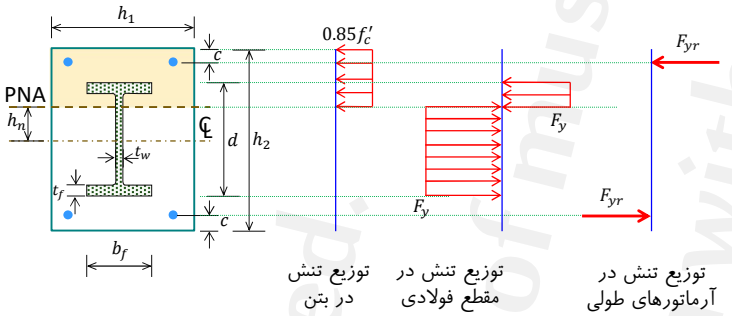
۲- براساس روی هم گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل یافته برای حالت حدی اولین نقطهٔ تسلیم در مقطع مختلط (مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۱) در حالت بدون استفاده از پایه‌های موقت و مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۲ در حالت استفاده از پایه‌های موقت)

۳- براساس توزیع تنش پلاستیک بر روی مقطع فولادی تنها (M_p)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

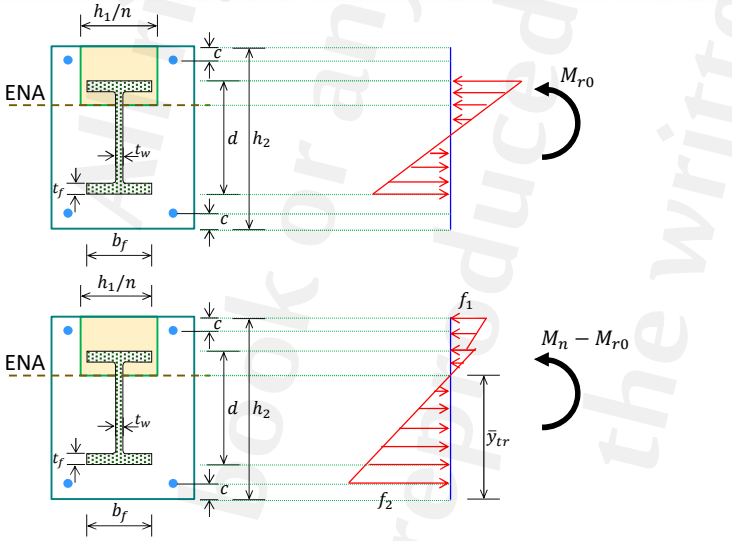
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



شکل ۱۰-۲-۸-۱۰: مقاومت خمشی مقاطع مختلط محاط در بتن براساس روش توزیع تنش پلاستیک

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

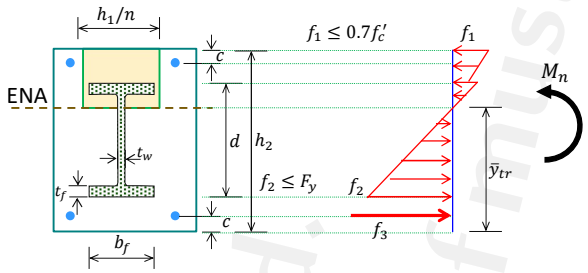


شکل ۱۰-۲-۸-۱۱: مقاومت خمشی مقاطع مختلط محاط در بتن براساس روی هم‌گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل یافته در حالت بدون استفاده از پایه‌های موقت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

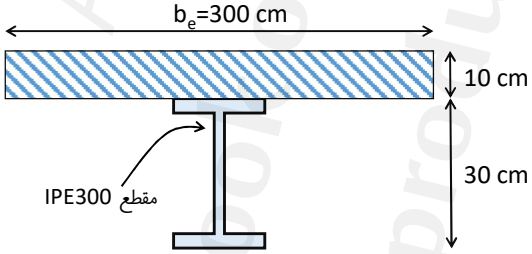


شکل ۱۰-۲-۸-۱۲: مقاومت خمشی مقاطع مختلط محاط در بتن براساس روی هم‌گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل یافته در حالت استفاده از پایه‌های موقت

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) تیر مرکب نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از مقطع تیر IPE300 و یک دال بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تشکیل شده است. عرض موثر تیر برابر ۳ متر در نظر گرفته شود. در صورتی که بارهای در حین ساخت برابر ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع، سربار مرده ۷۰ کیلوگرم بر متر مربع و سربار زنده برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شوند، کفایت مقطع تیر را تعیین نمایید. وزن واحد حجم بتن برابر ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد و در تیرهای مرکب از مهاری جانبی کافی استفاده شده است. همچنین اجرا بدون شمع بندی است. فاصله بین تیرهای فولادی ۳۵۰ سانتیمتر و دهانه تیر ۷ متر است.



در حین اجرا، بارهای وارده بر تیر برابر است با

وزن تیر فولادی	42.2 kg/m
وزن دال بتنی	$2500 \times 3.5 \times 0.1 = 875\ kg/m$
وزن کل مرده w_D	$917.2\ kg/m$
بار زنده در حین ساخت w_L	$100 \times 3.5 = 350\ kg/m$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با استفاده از ترکیب بارهای مبحث ششم از مقررات ملی داریم:

$$w_u = 1.2w_D + 1.6w_L = 1.2 \times 917.2 + 1.6 \times 350 = 1660\ kg/m$$

لنگر خمشی موجود:

$$M_u = \frac{1660 \times 7^2}{8} = 10167\ kg.m$$

با توجه به اینکه تیر فشرده بوده و دارای مهارهای جانبی مناسب است، داریم:

$$\phi_b M_n = 0.9 \times ZF_y = 0.9 \times 2400 \times 628 \times 10^{-2} = 13560\ kg.m > 10167\ kg.m$$

نیروی برشی برابر است با:

$$V_u = \frac{1660 \times 7}{2} = 5810\ kg$$

$$\phi_v V_n = 1.0 \times 0.6F_y A_w = 1.0 \times 0.6 \times 2400 \times 30 \times 0.71 = 30670\ kg > 5810\ kg$$

خیز تیر به سبب وزن خودش و دال بتنی:

$$\delta = \frac{5 \times w_D \times L^4}{384EI} = \frac{5 \times 917.2 \times 10^{-2} \times 700^4}{384 \times 2 \times 10^6 \times 8360} = 1.7\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در حین عملکرد مرکب، بارهای وارده بر تیر برابر است با:

وزن تیر فولادی	42.2 kg/m
وزن دال بتنی	$2500 \times 3.5 \times 0.1 = 875\ kg/m$
سربار مرده	$70 \times 3.5 = 245\ kg/m$
وزن کل مرده w_D	$1162\ kg/m$
سربار زنده w_L	$200 \times 3.5 = 700\ kg/m$

با استفاده از ترکیب بارهای مبحث ششم از مقررات ملی داریم:

$$w_u = 1.2w_D + 1.6w_L = 1.2 \times 1162 + 1.6 \times 700 = 2514\ kg/m$$

لنگر خمشی موجود:

$$M_u = \frac{2514 \times 7^2}{8} = 15400\ kg.m$$

با توجه به مثال حل شده در قبل، داریم:

$$\phi_b M_n = 2800\ ton.cm = 28000\ kg.m > 15400\ kg.m$$

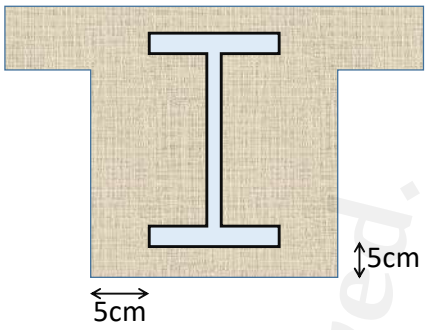
نیروی برشی برابر است با:

$$V_u = \frac{2514 \times 7}{2} = 8800\ kg < \phi_v V_n = 30670\ kg$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع تیر IPE270 که بطور کامل توسط بتن محصور شده است را بدون برشگیر در نظر بگیرید. مقدار حداکثر ظرفیت خمشی تیر را تعیین نمایید.



مقدار مدول پلاستیک مقطع IPE270 برابر ۴۸۴ سانتیمتر به توان سه می‌باشد. بنابراین:

$$\phi_b M_n = \phi_b Z F_y = 0.9 \times 484 \times 2400 \times 10^{-5}$$
$$= 10.45\ ton.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط پر شده با بتن

طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۶ مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط پر شده با بتن، مساوی $\phi_b M_n$ در روش LRFD و مساوی M_n/Ω_b در روش ASD است که در آن:

ϕ_b=0.9 (LRFD) Ω_b=1.67 (ASD)

و (M_n)، مقاومت خمشی اسمی مقطع مختلط است که باید با توجه به شرایط اجزای مقطع از منظر کمانش موضعی، به شرح زیر تعیین شود:

۱- برای مقاطع فشرده

در این مقاطع مقاومت خمشی اسمی (M_n)، از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$M_n = M_p$$

M_p لنگر خمشی پلاستیک مقطع مختلط. مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۳ لنگر خمشی متناظر با توزیع تنشی که در آن مقطع فولادی در کشش و فشار به تسلیم کامل رسیده و تنش در ناحیهٔ فشاری بتن برابر با $0.85f'_c$ است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط پر شده با بتن

طبق بند ۱۰-۲-۸-۳-۶ مقاومت خمشی موجود مقاطع مختلط پر شده با بتن، مساوی $\phi_b M_n$ در روش LRFD و مساوی M_n/Ω_b در روش ASD است که در آن:

ϕ_b=0.9 (LRFD) Ω_b=1.67 (ASD)

و (M_n)، مقاومت خمشی اسمی مقطع مختلط است که باید با توجه به شرایط اجزای مقطع از منظر کمانش موضعی، به شرح زیر تعیین شود:

۱- برای مقاطع فشرده

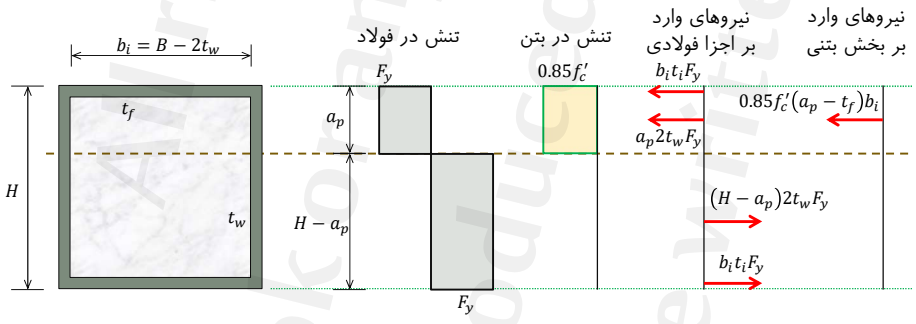
در این مقاطع مقاومت خمشی اسمی (M_n)، از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$M_n = M_p$$

M_p لنگر خمشی پلاستیک مقطع مختلط. مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۳ لنگر خمشی متناظر با توزیع تنشی که در آن مقطع فولادی در کشش و فشار به تسلیم کامل رسیده و تنش در ناحیهٔ فشاری بتن برابر با $0.85f_c'$ است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



عمق محورخنثی از دورترین تار فشاری مقطع مختلط $a_p = \dfrac{2F_y H t_w + 0.85f_c' b_i t_f}{4t_w F_y + 0.85f_c' b_i}$

شکل ۱۰-۲-۸-۱۳: محاسبهٔ لنگر خمشی پلاستیک مقطع مختلط پرشده با بتن برای مقاطع فشرده

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲- برای مقاطع غیرفشرده

در این مقاطع مقاومت خمشی اسمی (M_n)، از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$M_n = M_p - (M_p - M_y)\left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)$$

که در آن:

λ نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع فولادی (هرکدام شرایط بحرانی‌تری ایجاد نماید)

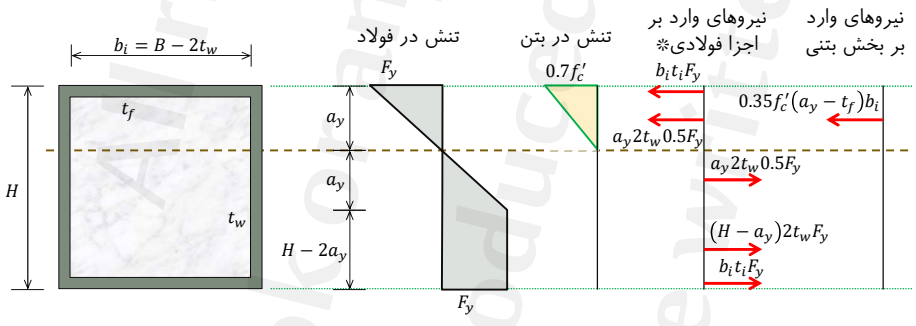
λ_p حد لاغری برای بال و جان فشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۸-۲

λ_r حد لاغری برای بال و جان غیرفشرده مطابق جدول ۱۰-۲-۸-۲

M_p لنگر پلاستیک مقطع مختلط و M_y لنگر تسلیم مقطع مختلط. مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۴ لنگر متناظر با تسلیم کامل بال کششی و بخشی از جان کششی و شروع تسلیم در تار فشاری بخش فولادی و همچنین توزیع خطی تنش با حداکثر مقدار $0.7f'_c$ در دورترین تار فشاری، در ناحیهٔ فشاری بخش بتنی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



عمق محورخنثی از دورترین تار فشاری مقطع مختلط $a_y = \dfrac{2F_y H t_w + 0.35f'_c b_i t_f}{4t_w F_y + 0.35f'_c b_i}$

* از تغییرات تنش در ضخامت بال فشاری بخش فولادی در حدفاصل دو جان صرفنظر شده است

شکل ۱۰-۲-۸-۱۴: محاسبهٔ لنگر خمشی تسلیم مقطع مختلط پرشده با بتن برای مقاطع غیرفشرده

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

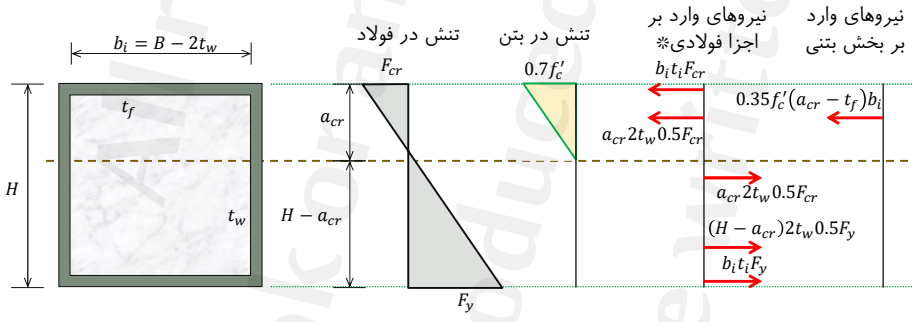
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۳- برای مقاطع با اجزای لاغر

مطابق شکل ۱۰-۲-۸-۱۵ در اینگونه مقاطع M_n باید براساس توزیع خطی تنش بر روی مقطع مختلط با حداکثر مقادیر تنش F_{cr} مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۱۴ در دورترین تار فشاری بخش فولادی و تنش F_y در دورترین تار کششی بخش فولادی (با توزیع خطی تنش) و همچنین توزیع خطی تنش با حداکثر مقدار $0.7f'_c$ در دورترین تار فشاری بخش بتنی و مقدار صفر در محل محور خنثی، تعیین گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



عمق محورخنثی از دورترین تار فشاری مقطع مختلط $a_{cr} = \dfrac{F_y H t_w + (0.35f'_c + F_y - F_{cr})b_i t_f}{t_w(F_{cr} + F_y) + 0.35f'_c b_i}$

* از تغییرات تنش در ضخامت بال فشاری بخش فولادی در حدفاصل دو جان صرفنظر شده است

شکل ۱۰-۲-۸-۱۵: محاسبهٔ لنگر خمشی مقطع مختلط درصورتیکه مقطع فولادی دارای اجزای لاغر باشد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی موجود اعضای با مقطع مختلط

مقاومت برشی موجود اعضای با مقطع مختلط به شرح زیر تعیین می‌گردد:

الف) اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن

در اعضای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن، با و بدون عرشه‌های فولادی، مقاومت برشی موجود برابر $\phi_v V_n$ در روش LRFD و برابر V_n/Ω_v در روش ASD است که در آن مقاومت برشی اسمی (V_n) باید براساس مقطع فولادی تنها و مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۶ تعیین شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) اعضای مختلط محاط در بتن

در اعضای مختلط محاط در بتن، مقاومت برشی موجود برابر $\phi_v V_n$ در روش LRFD و برابر V_n/Ω_v در روش ASD است و می‌تواند براساس یکی از روش‌های زیر محاسبه شود:

۱- براساس مقاومت برشی موجود مقطع فولادی تنها بر مبنای الزامات بخش ۱۰-۲-۶

۲- براساس مقاومت برشی موجود بخش بتنی مقطع مختلط (بتن و میلگردهای عرضی) مطابق الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان با منظور نمودن $\phi_v = 0.75$ و $\Omega_v = 2$

۳- براساس مقاومت برشی اسمی مقطع فولادی تنها بر مبنای الزامات بخش ۱۰-۲-۶ بعلاوه مقاومت برشی اسمی میلگردهای عرضی مطابق الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان با منظور نمودن $\phi_v = 0.75$ و $\Omega_v = 2$ برای هر دو بخش مقطع فولادی و میلگردهای عرضی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) اعضای مختلط پرشده با بتن

در اعضای مختلط پرشده با بتن، مقاومت برشی موجود برابر $\phi_v V_n$ در روش LRFD و برابر V_n/Ω_v در روش ASD است که در آن ϕ_v برابر 0.9 و Ω_v برابر 1.67 بوده و V_n از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$V_n = 0.6A_vF_y + 0.06K_cA_c\sqrt{f'_c}$$

که در آن:

A_v سطح مقطع مؤثر برشی بخش فولادی مقطع مختلط پرشده با بتن که مقدار آن برای مقاطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای ساخته شده از ورق باید برابر مجموع مساحت دو جان (مطابق بخش ۱۰-۲-۶) و برای مقاطع دایره‌ای شکل باید برابر $2A_s/\pi$ در نظر گرفته شود.

A_c مساحت بخش بتنی مقطع مختلط، A_s مساحت بخش فولادی مقطع مختلط و K_c برای کلیهٔ مقاطع چنانچه $M_r/V_rd \geq 0.7$ باشد باید برابر یک، برای مقاطع مختلط قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای ساخته شده از ورق با مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۱۰ برای مقاطع مختلط دایره‌ای شکل با مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۹ و برای مقاطع غیرفشرده و لاغر باید برابر یک در نظر گرفته شود. برای مقاطع فشرده با شرایط $0.5 \leq M_r/V_rd < 0.7$ می‌توان از درونیابی خطی استفاده نمود

d عمق کلی مقطع در راستای برش، M_r مقاومت خمشی موردنیاز ستون، V_r مقاومت برشی موردنیاز ستون و f'_c تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن برحسب مگاپاسکال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی در اعضای با مقطع مختلط

طبق بند ۱۰-۲-۸-۵، اثر همزمان نیروی محوری و لنگرهای خمشی در اعضای با مقطع مختلط باید با رعایت الزامات زیر در نظر گرفته شود:

(۱) اثر همزمان نیروی محوری و لنگرهای خمشی در اعضای با مقطع مختلط باید با در نظر گرفتن الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۱ صورت گیرد.

(۲) مقاومت محوری و خمشی موجود باید بر مبنای الزامات بندهای ۱۰-۲-۸-۲ و ۱۰-۲-۸-۳ تعیین شوند.

(۳) برای اعضای مختلط محاط در بتن و اعضای مختلط پرشده با بتن با اجزای فولادی فشرده، اثر همزمان نیروی محوری و لنگرهای خمشی می‌تواند براساس الزامات بخش ۱۰-۲-۷-۲ یا براساس یکی از روش‌های قیدشده در بند ۱۰-۲-۸-۱-۱ در نظر گرفته شود.

(۴) برای اعضای مختلط پرشده با بتن با اجزای فولادی غیرفشرده یا لاغر، اثر همزمان نیروی محوری و لنگرهای خمشی باید براساس الزامات بخش ۱۰-۲-۷-۲ یا براساس روش تنش-کرنش مؤثر معرفی شده در بند ۱۰-۲-۸-۱-۱-ت و یا از طریق روابط زیر تعیین شود:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

- برای حالتی که $\frac{P_r}{P_c} \geq c_p$ باشد:

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{1 - c_p}{c_m}\left(\frac{M_r}{M_c}\right) \leq 1.0$$

- برای حالتی که $\frac{P_r}{P_c} < c_p$ باشد:

$$\frac{1 - c_p}{c_m}\left(\frac{P_r}{P_c}\right) + \left(\frac{M_r}{M_c}\right) \leq 1.0$$

که در آن، P_r مقاومت محوری موردنیاز عضو با مقطع مختلط، P_c مقاومت محوری موجود عضو با مقطع مختلط، M_r مقاومت خمشی موردنیاز عضو با مقطع مختلط، M_c مقاومت خمشی موجود عضو با مقطع مختلط

c_p و c_m ضرایبی هستند که براساس جدول ۱۰-۲-۸-۳ و مقدار c_{sr} تعیین می‌شوند. در این محاسبات مقدار c_{sr} از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$c_{sr} = \frac{(A_s F_y + A_{sr} F_{yr})}{A_c f'_c}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

جدول ۱۰-۲-۸-۳ : ضرایب c_p و c_m

نوع شکل مقطع مختلط پر شده با بتن	ضریب c_p	ضریب c_m	
		$c_{sr} \geq 0.5$	$c_{sr} < 0.5$
مستطیلی شکل	$c_p = \frac{0.17}{c_{sr}^{0.4}}$	$c_m = \frac{1.06}{c_{sr}^{0.11}} \geq 1.0$	$c_m = \frac{0.9}{c_{sr}^{0.36}} \leq 1.67$
دایره‌ای شکل	$c_p = \frac{0.27}{c_{sr}^{0.4}}$	$c_m = \frac{1.1}{c_{sr}^{0.08}} \geq 1.0$	$c_m = \frac{0.95}{c_{sr}^{0.32}} \leq 1.67$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انتقال بار در اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن

الزامات عمومی

طبق بند ۱۰-۲-۸-۶-۱، هنگامیکه اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن یا پرشده با بتن تحت اثر نیروی محوری خارجی قرار می‌گیرند، در مرز بخش بتنی و فولادی، برش طولی موردنیاز (V_r')، متناسب با نحوهٔ انتقال بار به مقطع مختلط، براساس الزامات بند ۱۰-۲-۸-۶-۲ تعیین می‌گردد. مقاومت برش طولی موجود، در روش LRFD برابر ϕR_n و در روش ASD برابر R_n/Ω است و براساس نوع مکانیزم انتقال نیرو، مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۸-۶-۳ تعیین می‌شود. مقاومت برش طولی موجود باید بزرگتر یا مساوی مقاومت برش طول موردنیاز (V_r') باشد.

مقاومت برش طولی موردنیاز در مقاطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن

مقاومت برشی طولی موردنیاز (V_r') در مقاطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف) هنگامیکه نیروی خارجی مستقیماً به مقطع فولادی وارد می‌شود

در این حالت مقاومت برش طولی موردنیاز که باید به بخش بتنی انتقال یابد (V_r')، از رابطهٔ محاسبه می‌شود:

$$V_r' = P_r' \left(1 - \frac{F_y A_s}{P_{no}}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن:

A_s مساحت بخش فولادی مقطع مختلط

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ مصالح مقطع فولادی

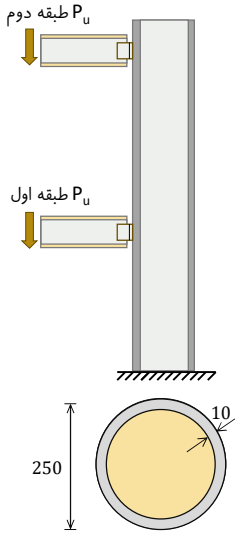
P_{no} مقاومت محوری فشاری اسمی مقطع مختلط بدون در نظر گرفتن آثار طول مؤثر، مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۴ برای مقاطع مختلط محاط در بتن و روابط ۱۰-۲-۸-۹ و ۱۰-۲-۸-۱۱ برای مقاطع مختلط پرشده با بتن دارای اجزای فولادی فشرده و غیرفشره (حسب مورد)

P_r' نیروی خارجی وارد بر مقطع، براساس ترکیبات بارگذاری LRFD و ASD در تراز طبقات

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برش طولی مورد نیاز در تراز طبقه اول ستون با مقطع مختلط شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مهر ۹۸)



$$F_y = 240\ MPa$$
$$E_s = 2 \times 10^5 MPa$$
$$f_c = 30MPa$$
$$E_c = 2.9 \times 10^4 MPa$$

الف) $0.4P_u$

ب) $0.6P_u$

ج) $0.8P_u$

د) P_u

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ:

$$V_r' = P_r'\left(1 - \frac{A_s F_y}{P_{no}}\right)$$
$$A_s = \frac{\pi}{4}(25^2 - 23^2) = 75.4\ cm^2$$

کنترل فشردگی مقطع:

$$\frac{D}{t} = \frac{25}{1} \le \frac{0.15E}{F_y} = 125 \ \Rightarrow \ P_{no} = A_s F_y + C_2 f_c'\left(A_c + A_{sr}\frac{E_s}{E_c}\right)$$
$$P_{no} = 75.4 \times 2400 + 0.95 \times 300\left(\frac{\pi \times 23^2}{4}\right) = 299370\ kg$$
$$V_r' = P_r'\left(1 - \frac{75.4 \times 2400}{299370}\right) \approx 0.4P_u$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) هنگامیکه نیروی خارجی مستقیماً به بتن وارد می‌شود

در این حالت مقاومت برش طولی مورد نیاز که باید به بخش فولادی منتقل گردد (V_r')، از روابط زیر تعیین می‌گردد:

۱- برای مقاطع مختلط محاط در بتن و مقاطع پرشده با بتنی که اجزای فولادی مقطع، فشرده و غیرفشرده هستند:

$$V_r' = P_r' \left(\frac{F_y A_s}{P_{no}} \right)$$

۲- برای مقاطع مختلط پرشده با بتن با اجزای فولادی لاغر

$$V_r' = P_r' \left(\frac{F_{cr} A_s}{P_{no}} \right)$$

که در آن:

F_{cr} تنش کمانشی بحرانی اجزای لاغر بخش فولادی در مقطع مختلط مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۱۴

P_{no} مقاومت محوری فشاری اسمی مقطع مختلط بدون در نظر گرفتن آثار طول مؤثر، مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۴ برای مقاطع مختلط محاط در بتن و رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۹ برای مقاطع مختلط پرشده با بتن.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) هنگامیکه نیروی خارجی به طور همزمان به بخش فولادی و بخش بتنی وارد شود

در این حالت مقاومت برش طولی موردنیاز (V_r')، از طریق تعادل نیروها در مقطع مختلط تعیین می‌گردد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برش طولی موجود در مقاطع مختلط محاط در بتن و پرشده با بتن

طبق بند ۱۰-۲-۸-۶-۳ مقاومت برش طولی موجود اعضای با مقطع مختلط محاط در بتن براساس یکی از مکانیزم‌های انتقال نیرو شامل برش‌گیرهای تعبیه شده و اتکای مستقیم و مقاومت برش طولی موجود اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن براساس یکی از مکانیزم‌های انتقال نیرو شامل چسبندگی بین بتن و فولاد، برش‌گیرهای تعبیه شده و اتکای مستقیم، براساس الزامات این بند تعیین می‌گردد. به کارگیری همزمان مکانیزم‌های انتقال نیرو مجاز نیست.

الف) مقاومت برش طولی موجود براساس مکانیزم چسبندگی بین بتن و فولاد

هنگامیکه در مقطع مختلط پرشده با بتن مقاومت برش طولی موردنیاز از طریق مکانیزم چسبندگی بین بتن و فولاد انتقال می‌یابد، مقاومت برش طولی موجود در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده و به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$R_n = P_b L_{in} F_{in}$$

ϕ=0.5 (LRFD) Ω=3.0 (ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

F_{in} تنش اسمی پیوستگی برحسب مگاپاسکال که برابر است با:

برای مقاطع توخالی جعبه‌ای مستطیلی:

$$F_{in} = \frac{2100t}{H^2} \leq 0.7$$

برای مقاطع لوله‌ای شکل

$$F_{in} = \frac{5300t}{D^2} \leq 1.4$$

D قطر خارجی مقاطع لوله‌ای برحسب میلیمتر

H حداکثر بعد عرضی مقطع توخالی جعبه‌ای برحسب میلیمتر

L_{in} طول مقرر بار که انتقال برش از طریق آن صورت می‌گیرد، شامل عمق اتصال تیر به ستون بعلاوه ۲ برابر حداقل بعد ستون در پایین و بالای ناحیهٔ اتصال برحسب میلیمتر

R_n مقاومت اسمی پیوستگی

P_b محیط فصل مشترک پیوستگی بتن و فولاد مقطع مختلط برحسب میلیمتر و t ضخامت مقطع توخالی فولادی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) مقاومت برش طولی موجود براساس مکانیزم برش‌گیرهای تعبیه شده

هنگامیکه در مقطع مختلط محاط در بتن یا پرشده با بتن مقاومت برش طولی موردنیاز از طریق مکانیزم برشگیرهای تعبیه شده انتقال می‌یابد، مقاومت برش طولی موجود مساوی مقاومت برشی موجود گل‌میخ‌های فولادی یا ناودانی شکل بوده و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$R_c = \sum Q_{cv}$$

که $\sum Q_{cv}$ جمع مقاومت برشی موجود برش‌گیرهای به صورت گلمیخ یا ناودانی در طول مقرر بار که در روش LRFD برابر $\sum \phi Q_{cv}$ و در روش ASD برابر $\sum Q_{cv}/\Omega$ بوده و مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۸-۹ تعیین می‌گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) مقاومت برش طولی موجود براساس مکانیزم اتکای مستقیم

هنگامیکه در مقطع مختلط محاط در بتن یا پرشده با بتن مقاومت برش طولی موردنیاز از طریق مکانیزم اتکای مستقیم در محدودهٔ عمق اتصال یا زیر آن و در داخل محدودهٔ طول مقرر بار انتقال می‌یابد، مقاومت برش طولی موجود مساوی مقاومت اتکایی موجود بتن بوده و در روش LRFD مساوی $\phi_B R_n$ و در روش ASD مساوی R_n/Ω_B است که براساس حالت حدی خردشدگی بتن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$R_n = 1.7 f'_c A_l$$

ϕ_B=0.65 (LRFD) Ω_B=2.31 (ASD)

که در آن، A_l سطح بارگذاری شده بتن است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جزئیات‌بندی

الف) اعضای مختلط محاط در بتن

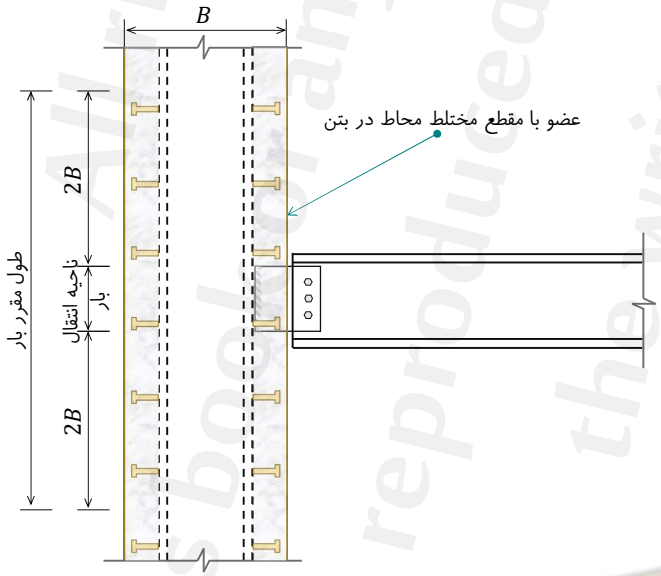
مکانیزم انتقال بار باید در طول ناحیه‌ای که انتقال برش از طریق آن صورت می‌گیرد، توزیع گردد. این طول به عنوان طول مقرر بار نامگذاری شده و نباید از ارتفاع اتصال تیر به ستون بعلاوه دو برابر حداقل بعد عرضی مقطع محاط شده در بالا و پایین این ناحیهٔ اتصال بیشتر گردد. برشگیرهایی که برای انتقال برش طولی در طول مقرر بار به کار می‌روند، باید حداقل در دو وجه مقطع فولادی به صورت متقارن نسبت به محور مقطع فولادی تعبیه شوند. فواصل برشگیرها در محدودهٔ داخل و خارج طول مقرر بار باید الزامات بند ۱۰-۲-۸-۹-ج را برآورده نماید

ب) اعضای با مقطع مختلط پرشده با بتن

مکانیزم انتقال بار باید در طول ناحیه‌ای که انتقال برش از طریق آن صورت می‌گیرد، توزیع گردد. این طول به عنوان طول مقرر بار نامگذاری شده و نباید از ارتفاع اتصال تیر به ستون بعلاوه دو برابر حداقل بعد عرضی مقطع مستطیلی فولادی توخالی یا دو برابر قطر مقطع فولادی دایره‌ای شکل در بالا و پایین این ناحیهٔ اتصال بیشتر گردد. فواصل برشگیرها در محدودهٔ داخل و خارج طول مقرر بار باید الزامات بند ۱۰-۲-۸-۹-ج را برآورده نماید.

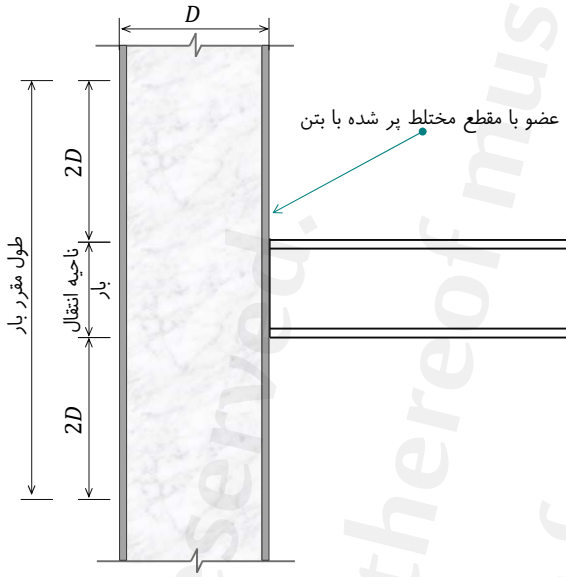
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۷۲۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

دیافراگم‌های مختلط

دیافراگم‌های کف و اجزای مرزی در بخش خارجی آن باید براساس ترکیبات بارگذاری متعارف مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و الزامات فصل ۱۰-۳ این مبحث طراحی شوند. همچنین کلیهٔ دیافراگم‌ها باید الزامات زیر را تأمین نمایند:

۱- برای انتقال بار بین دیافراگم‌ها و اعضای مرزی، اجزای جمع کننده و اعضای افقی سیستم باربر جانبی، پیش‌بینی جزئیات مناسب الزامی است.

۲- در دال‌های بتنی متکی بر تیر فولادی، مقاومت برشی اسمی دیافراگم در داخل صفحه، برای حالت بدون استفاده از عرشهٔ فولادی باید براساس کل ضخامت دال بتنی و برای حالت استفاده از عرشهٔ فولادی براساس ضخامت دال بتنی در روی کنگرهٔ ورق عرشه (بدون در نظر گرفتن بتن داخل کنگره‌ها) تعیین شود.

صفحه ۷۲۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برشگیرها در تیرهای مختلط با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن

الف) الزامات عمومی

۱- در تیرها، برشگیرهای موردنیاز در هر یک از طرفین نقطهٔ لنگر حداکثر مثبت یا منفی را می‌توان بین آن نقطه و نقاط مجاوری که دارای لنگر صفر هستند، به طور یکنواخت توزیع نمود. لیکن مقدار برشگیر موجود بین هر بار متمرکز و نزدیکترین نقطهٔ دارای لنگر صفر، باید جهت حصول لنگر حداکثر موردنیاز در نقطهٔ اعمال بار کافی باشد. (در حالتی که تیر تحت بار متمرکز قرار داشته باشد، تعداد برشگیرهای موجود بین نقطه تحت بار متمرکز و تکیه‌گاه‌ها، بایستی قادر به تحمل لنگر در محل بار متمرکز باشد)

۲- در تیرهای مختلط قطر برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ باید مساوی یا کوچکتر از ۲۰ میلیمتر باشد. فقط برای انتقال نیروهای برشی دیافراگم‌هایی از نوع دال بتنی توپر به تیر می‌توان از برشگیرهای از نوع گلمیخ تا قطر ۲۵ میلیمتر استفاده نمود. همچنین قطر گل‌میخ‌ها نباید از **2.5** برابر ضخامت فلز پایه‌ای که گل‌میخ به آن جوش می‌شود، بیشتر شود، مگر اینکه گلمیخ درست در امتداد جان مقطع فولادی قرار گیرد.

۳- طول برشگیرهای از نوع گل‌میخ نباید از چهار برابر قطر آن کوچکتر باشد.

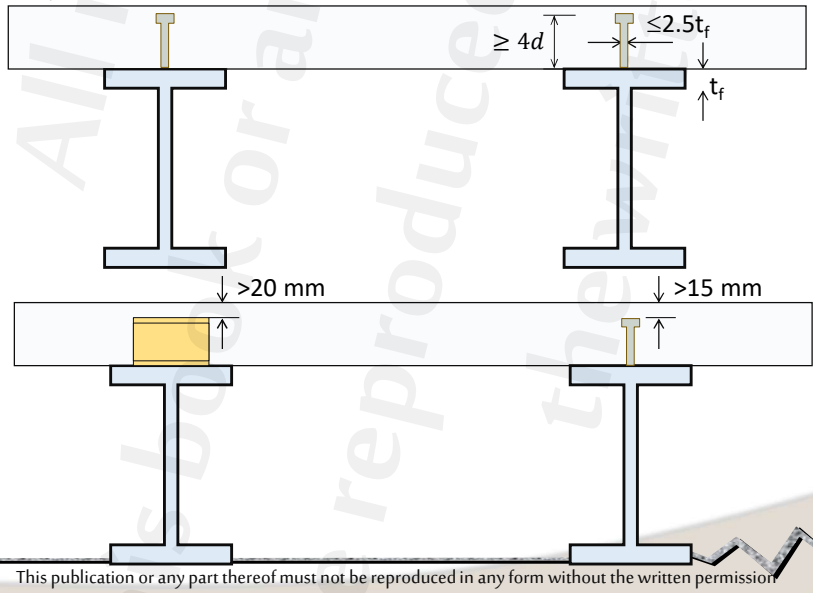
۴- در اعضای مختلط با مقاطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن، پوشش بتن روی برش‌گیرهای از نوع گلمیخ نباید از ۱۵ میلیمتر و روی برشگیرهای از نوع ناودانی از ۲۰ میلیمتر کوچکتر باشد

۵- در دال‌های بتنی توپر متکی بر تیر فولادی ارتفاع برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ و ناودانی نباید از نصف ضخامت دال بتنی کوچکتر در نظر گرفته شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

قطر گل میخ حداکثر ۲۵ میلیمتر فقط برای انتقال نیروهای برشی دیافراگم



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) مقاومت برشی اسمی برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ کلاهک‌دار

مقاومت برشی اسمی برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u$$

که در آن:

A_{sa} سطح مقطع گل‌میخ

E_c مدول الاستیسیتهٔ بتن

f'_c تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن

F_u تنش کششی نهایی مصالح گل‌میخ

R_p و R_g ضرایب اصلاحی مطابق جدول ۱۰-۲-۸-۴

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۸-۴: مقادیر R_g و R_p

حالت			R_g	R_p
۱. مقاطع مرکب بدون استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده شده			1.0	0.75
۲. مقاطع مرکب با استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده شده (عرشه فولاد)	کنگره‌ها موازی با محور تیر فولادی	$W_r/h_r \geq 1.5$	1.0	0.75
		$W_r/h_r < 1.5$	0.85**	0.75
	کنگره‌ها عمود بر محور تیر فولادی	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۱	1.0	0.6*
		تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۲	0.85	0.6*
		تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی یا بزرگتر از ۳	0.7	0.6*

در جدول فوق، h_r ارتفاع اسمی کنگرهٔ ورق عرشه، w_r پهنای متوسط بتن داخل کنگرهٔ فولادی

* درصورتیکه فاصلهٔ بین لبهٔ بدنهٔ گل‌میخ تا نصف ارتفاع عرشهٔ فولادی بیشتر از ۵۰ میلیمتر باشد، این مقدار می‌تواند تا 0.75 افزایش یابد.

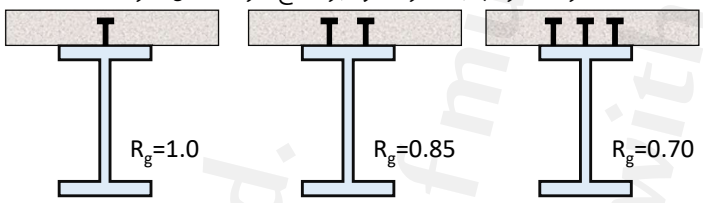
** برای گل‌میخ تکی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

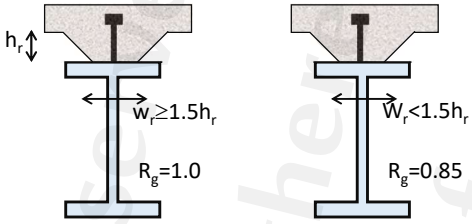
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب گروهی گل‌میخ‌ها یا R_g

این ضریب برای حالت‌های مختلف تیرهای مرکب با کنگره عمود بر مقطع تیر در شکل زیر نشان داده شده است.



در شکل زیر برای حالت کنگره موازی تیر نشان داده شده است.

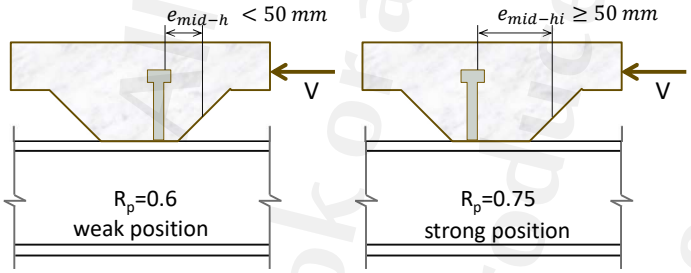


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

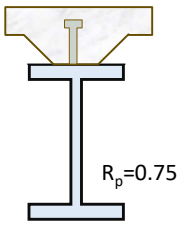
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ضریب موقعیت گل‌میخ‌ها یا R_p

این ضریب برای حالت‌های مختلف تیرهای مختلط (کنگره عمود بر تیر) در شکل زیر نشان داده شده است.



همچنین در شکل روبه رو برای حالت کنگره موازی با تیر نشان داده شده است.

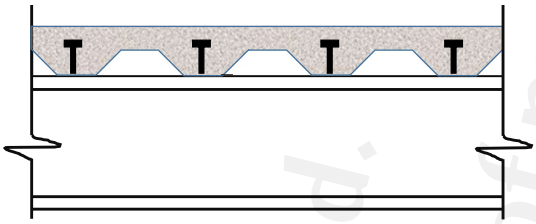


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission. All rights reserved.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مشخصات بتن مصرفی و گل میخ $\phi 19$ در سقف مختلط با عرشه فولادی به صورت زیر نشان داده شده است. مقاومت برشی اسمی گلمیخ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ رده بتن C25، F_u=400 MPa و $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ فرض شود. (مرداد ۱۴۰۰)



الف) 58 kN

ب) 68 kN

ج) 85kN

د) 108 kN

پاسخ: طبق بند ۱۰-۲-۸-۸ داریم:

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} \le R_g R_p A_{sa} F_u$$

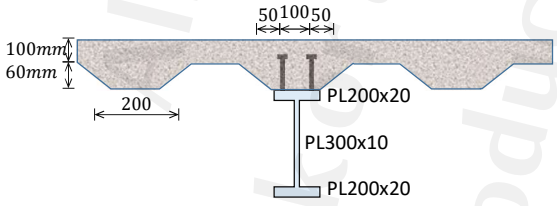
$$0.5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} = 0.5 \times \frac{\pi \times 19^2}{4}\sqrt{25 \times 4700\sqrt{25}} \times 10^{-3} = 108.6\ kN$$

$$R_g R_p A_{sa} F_u = 1 \times 0.6 \times \frac{\pi^2 \times 19}{4} \times 400 \times 10^{-3} = 68\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در تیر با مقطع مختلط شکل زیر مقاومت برشی اسمی هر یک از گلمیخ‌ها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ بتن معمولی و از رده C30 فولاد مقطع تیر از نوع S235 تنش کششی نهایی گل میخ‌ها 500 MPa جرم مخصوص بتن 2500 kg/m^3 و قطر گلمیخ‌ها ۱۹ میلیمتر فرض شود. در شکل ابعاد به میلیمتر است. (دی ۱۴۰۱)



الف) 75 kN.m

ب) 133 kN.m

ج) 150 kN.m

د) 106 kN.m

پاسخ: کنگره موازی با محور تیر می‌باشد:

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} \le R_g R_p A_{sa} F_u$$

$$w_r = 200\ mm \quad h_r = 60\ mm \Rightarrow \frac{w_r}{h_r} = \frac{200}{60} = 3.3 \ge 1.5 \Rightarrow R_p = 0.75 \quad R_g = 1$$

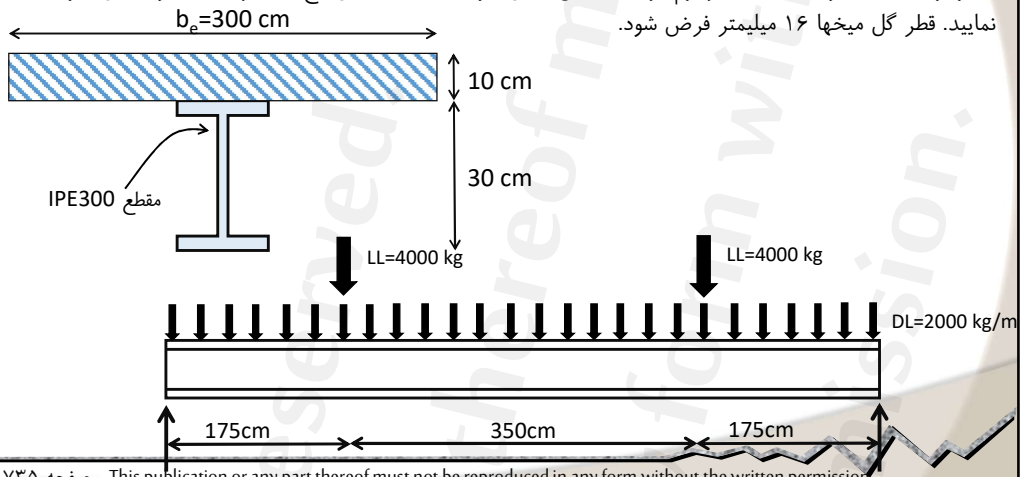
$$E_c = 4700\sqrt{30} = 25743\ MPa$$

$$Q_n = 0.5\frac{\pi \times 19^2}{4}\sqrt{30 \times 25743} \times 10^{-3} = 124\ kN > 0.75 \times 1 \times \frac{\pi \times 19^2}{4} \times 5000 \times 10^{-2} = 106.32\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع مرکب نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از مقطع تیر IPE300 و یک دال بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تشکیل شده است. عرض موثر تیر برابر ۳ متر و طول تیر برابر ۷ متر در نظر گرفته شود. در صورتی که بار مرده گسترده روی تیر برابر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر بوده و دو بار متمرکز زنده به میزان ۴۰۰۰ کیلوگرم بر آن مطابق شکل اثر نماید، تعداد گل‌میخ‌های مورد نیاز برای این تیر را تعیین نمایید. قطر گل میخها ۱۶ میلیمتر فرض شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

بارهای وارده به صورت زیر است:

وزن تیر فولادی	$42.2\ kg/m$
وزن دال بتنی	$2500 \times 3.5 \times 0.1 = 875\ kg/m$
سربار مرده	$2000\ kg/m$
وزن کل مرده w_D	$2917.2\ kg/m$

با استفاده از ترکیب بارهای مبحث ششم از مقررات ملی برای بارهای گسترده و متمرکز ضریبدار داریم:

$$w_u = 1.2w_D = 1.2 \times 2917.2 = 3500\ kg/m$$
$$W_u = 1.6w_L = 1.6 \times 4000 = 6400\ kg$$

لنگر خمشی در محل بار متمرکز برابر است با:

$$M_u = 3500\left(\frac{7}{2} \times 1.75 - \frac{1.75^2}{2}\right) \times 10^{-3} + 6400 \times 1.75 \times 10^{-3} = 27.2\ ton.m$$

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f_cE_c} = 0.5 \times 2 \times \sqrt{300 \times 294000} = 9390\ kg > R_gR_pA_{sa}F_u$$
$$= 1.0 \times 0.75 \times 2 \times 5000 = 7500\ kg$$

با قرار دادن ۸ گل‌میخ در فاصله بین تکیه‌گاه تا محل نیروی متمرکز داریم:

$$\sum Q_n = nQ_n = 8 \times 7500 = 60000\ kg = 0.85f_cab$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$a = \frac{60000}{(0.85 \times 300 \times 300)} = 0.78\ cm$$

$$Y_2 = t_c - \frac{a}{2} = 10 - \frac{0.78}{2} = 9.61\ cm$$

بازوی لنگر بین نیروی برآیند کششی و فشاری برابر است با:

$$y = Y_2 + \frac{d}{2} = 9.61 + \frac{30}{2} = 24.61\ cm$$

ظرفیت خمشی برابر است با:

$$\phi_b M_n = \phi_b T y = 0.9 \times 129\ ton \times 24.61\ cm = 2850\ ton.cm$$

بنابراین:

$$\phi_b M_n = 2850\ ton.cm > 27.2\ ton.m = 2720\ ton.cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، بدون توجه به جهت قرارگیری ناودانی در طول تیر از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

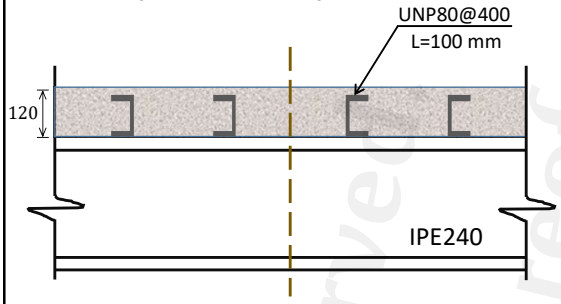
$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)l_a\sqrt{f'_c E_c}$$

که در آن t_f ضخامت بال ناودانی، t_w ضخامت جان ناودانی، l_a طول ناودانی، f'_c مقاومت مشخصه بتن در سن ۲۸ روزگی برای نمونه استوانه‌ای شکل و E_c مدول الاستیسیته بتن که می‌توان از رابطه $\left[E_c = 0.043 w_c^{1.5}\sqrt{f_c}\right]$ محاسبه نمود که در آن w_c وزن مخصوص بتن بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و E_c بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت برشی افقی اسمی (V_{hn}) تیر با مقطع مختلط نشان داده شده که متکی بر دال بتنی می‌باشد، بر حسب کیلونیوتن به کدام مقدار زیر نزدیکتر است؟ تیر مختلط به صورت تیر دو سر ساده به طول ۶ متر بوده و تحت بار گسترده یکنواخت قرار دارد. همچنین تعداد کل ناودانی‌ها در طول تیر ۱۶ عدد می‌باشد. ناودانی‌ها دارای طول 100 mm، ضخامت جان 6 mm و ضخامت بال 8 mm می‌باشد. بتن دال دارای f_c=25 MPa و E_c=25000 MPa است. فاصله ناودانی‌ها از یکدیگر ۴۰۰ میلیمتر است. (بهمن ۹۴)



الف) ۲۶۰۹ ب) ۲۰۸۷

ج) ۱۳۰۴ د) ۵۲۱

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)l_a\sqrt{f'_c E_c} = 0.3(8 + 0.5 \times 6) \times 100\sqrt{25 \times 25000} \times 10^{-3}$$
$$= 260.89\ kN$$

$$V_{hn} = \sum Q_n = 8 \times 260.89 = 2087\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر دو سر ساده با مقطع و عملکرد مختلط با دهانه ۶ متر موجود است. اگر ضخامت دال بتنی 100 mm تیرچه فولادی IPE200 (A=2820 mm^2) به فاصله ۲ متر و عرض موثر دال بتنی هر تیرچه 1.5 m باشد و در صورتیکه از ناودانی UNP60 به طول ۶۰ میلیمتر با فواصل مساوی از یکدیگر به عنوان برشگیر استفاده شود، حداکثر فاصله ناودانی‌ها (برحسب میلیمتر) حدودا چقدر است؟ (رده بتن C30 با E_c=30000 MPa، فولاد با F_y=240 MPa و ضخامت جان ناودانی برابر ۶ میلیمتر و ضخامت بال نیز ۶ میلیمتر بوده و تیر تحت بار گسترده یکنواخت است) (مرداد ۹۴)

الف) ۲۰۰ ب) ۸۰۰ ج) ۴۰۰ د) ۶۰۰

پاسخ:

$$V_h = \min\begin{cases} 0.85f'_c A_c = 0.85 \times 30 \times (1500 \times 100) \times 10^{-3} = 3825\ kN \\ F_y A_s = 240 \times 2820 \times 10^{-3} = 676.8\ kN \end{cases}$$

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)l_a\sqrt{f'_c E_c} = 0.3(6 + 0.5 \times 6) \times 60 \times \sqrt{30 \times 30000} = 153.6\ kN$$

$$n \geq \frac{V_h}{Q_n} = \frac{676.8}{153.6} = 4.4 \quad \Rightarrow n = 5$$

$$S \leq \frac{6000 \times 0.5}{5} = 600\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون مختلط با طول ۶ متر، بصورت دو سر مفصل که در آن یک مقطع IPB240 در بتن با ابعاد ۴۵ در ۴۵ سانتیمتر محصور شده است در نظر بگیرید. از چهار میلگرد با قطر ۲۵ میلیمتر در گوشه‌های ستون با فاصله ۳۵ سانتیمتر از هم استفاده شده است. میلگردهای استفاده شده از نوع AIII، فولاد مقطع از نوع ST37 و مقاومت مشخصه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود. دو تیر با عمق ۳۰ سانتیمتر، مقابل هم به بال‌های ستون متصل هستند و یک بار مرده ۴۰۰ تنی (حاصل از ترکیب بارهای حالات حدی) را بطور مستقیم به مقطع فولادی منتقل می‌نمایند. برش‌گیرها را از مقطع ناودانی ۱۲ طراحی نمایید.

پاسخ: با توجه به پاسخ در مثال‌های قبل:

$A_s = 106\ cm^2$ $\quad F_y = 2400\ \frac{kg}{cm^2}$ $\quad B =$ عرض ستون $= 45\ cm$

$P_{no} = 817.3\ ton$

با توجه به آنکه بار بطور مستقیم به مقطع فولادی منتقل می‌شود، داریم:

$V'_u = P_u\left(1 - F_y A_s / P_{no}\right) = 400(1 - 2400 \times 106 \times 10^{-3}/817.3) = 275\ ton$

طبق مبحث دهم، فاصله برشگیرهای تعبیه شده در بالا و پایین ناحیه انتقال برش طولی نباید از ۲ برابر کوچکترین بعد مقطع که در اینجا برابر ۹۰ سانتیمتر میباشد، بیشتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در صورتی که از ناودانی ۱۲ به طول ۱۵ سانتیمتر، هر ۲۵ سانتیمتر بر روی بال‌های ستون، استفاده شود، داریم:

$E_c = 0.043 w_c^{1.5}\sqrt{f_c} = 0.043 \times 2500^{1.5}\sqrt{30} = 29400\ MPa = 294000\ \frac{kg}{cm^2}$

$Q_n = 0.3\left(t_f + 0.5 t_w\right) L_a \sqrt{f_c E_c} = 0.3(0.9 + 0.5 \times 0.7)15 \times \sqrt{300 \times 294000} \times 10^{-3}$
$\approx 52\ ton$

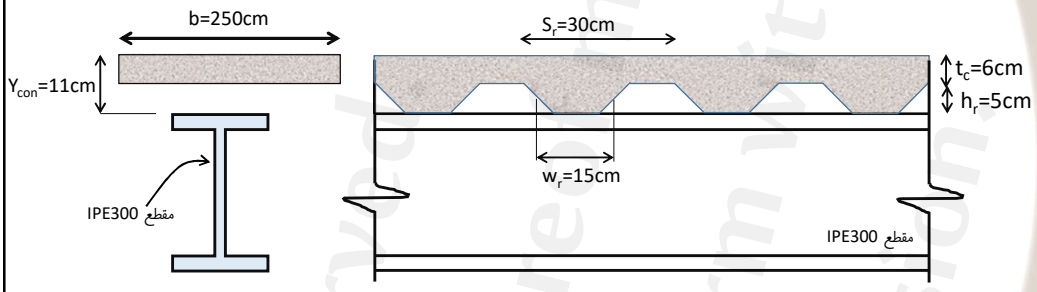
با توجه به استفاده از ۴ ناودانی در هر طرف از ستون، داریم:

$8 \times \square \times Q_n = 8 \times 0.75 \times 52 = 312 > V'_u = 275\ ton$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر بتنی به همراه ورق کنگره‌ای با طول دهانه ۷ متر که تیرهای فرعی به فواصل ۲۵۰ سانتیمتری از یکدیگر قرار دارند را در نظر بگیرید. عرض موثر دال بتنی برابر ۲۵۰ سانتیمتر و جهت کنگره‌ها عمود بر مقطع تیر در نظر گرفته شود. بقیه مشخصات به مانند شکل می‌باشد. با فرض عملکرد مرکب کامل، مشخصات مقطع را تعیین نمایید. مقاومت مشخصه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و نوع فولاد مقطع را ST37 در نظر بگیرید.



مشخصات مقطع فولادی IPE300برابر است با:

$$A_s = 53.8\ cm^2 \qquad d = 30\ cm$$

مساحت موثر دال بتنی برابر است با:

$$A_c = bt_c = 250 \times 6 = 1500\ cm^2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار نیروی برشی افقی موجود در گل‌میخ‌ها برابر با کمترین دو مقدار ظرفیت نهایی بتن و ظرفیت مقطع فولادی است:

$$V_r' = 0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 300 \times 1500 \times 10^{-3} = 382.5\ ton$$

ظرفیت نهایی مقطع فولادی، با فرض جاری شدن کامل آن برابر است با:

$$V_r' = F_y A_s = 2400 \times 53.8 \times 10^{-3} = 129\ ton < 0.85 f_c' A_c$$

بنابراین ظرفیت مقطع فولادی حاکم می‌باشد. عمق بلوک تنش در یک مقطع با عملکرد مرکب کامل برابر است با:

$$a = \frac{F_y A_s}{0.85 f_c b} = \frac{129000}{0.85 \times 300 \times 250} = 2\ cm$$

$$Y_2 = Y_{con} - \frac{a}{2} = 11 - \frac{2}{2} = 10\ cm$$

$$\sum Q_n = F_y A_s = 129000\ kg$$

بازوی لنگر بین نیروی برآیند کششی و فشاری برابر است با:

$$y = Y_2 + \frac{d}{2} = 10 + \frac{30}{2} = 25\ cm$$

ظرفیت خمشی برابر است با:

$$\phi_b M_n = \phi_b T y = 0.9 \times 129\ ton \times 25\ cm = 2900\ ton.cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

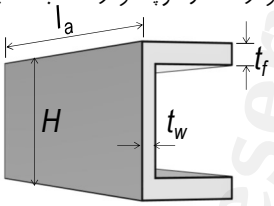
مقاومت حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۳۶ (رابطه قبل) از طریق جوش ناودانی به بال تیر با در نظر گرفتن برون‌محوری ناودانی تأمین می‌گردد. در صورت تأمین کلیهٔ محدودیت‌های زیر، طراحی جوش اتصال ناودانی به بال تیر می‌تواند بدون در نظر گرفتن اثر برون‌محوری ناودانی انجام پذیرد:

۱- نسبت ضخامت بال به جان ناودانی بزرگتر از ۱ و کوچکتر از **5.5** باشد. یعنی $1.0 \le \frac{t_f}{t_w} \le 5.5$

۲- نسبت ارتفاع ناودانی به ضخامت جان از ۸ بزرگتر باشد. یعنی $\frac{H}{t_w} \ge 8$

۳- نسبت طول ناودانی به ضخامت بال آن از ۶ بزرگتر باشد. یعنی $\frac{l_a}{t_f} \ge 6.0$

۴- نسبت شعاع ناحیهٔ اتصال بین بال و جان ناودانی به ضخامت جان ناودانی بزرگتر از **0.5** و کوچکتر از **1.6** باشد. یعنی $0.5 \le \frac{R}{t_w} \le 1.6$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) تعداد برشگیرهای موردنیاز

تعداد برشگیرهای موردنیاز در حدفاصل مقطع با لنگر خمشی حداکثر مثبت یا منفی و مقطع مجاور با لنگر صفر، از تقسیم برش افقی به دست آمده از رابطهٔ بندهای ۱۰-۲-۸-۳-۳-ت-۱ و ۱۰-۲-۸-۳-۳-ت-۲ بر مقاومت برشی اسمی یک برشگیر به دست آمده از روابط ۱۰-۲-۸-۳۶ یا ۱۰-۲-۸-۳۷ (حسب مورد) محاسبه می‌گردد. در حدفاصل یک بار متمرکز و نقطهٔ مجاور با لنگر خمشی صفر باید به تعداد کافی برشگیر تعبیه شود تا ظرفیت خمشی لازم برای تحمل خمش حداکثر در محل بار متمرکز فراهم گردد.

ث) جزئیات‌بندی

۱- تعداد برشگیرهای موردنیاز در هر طرف نقطهٔ با لنگر خمشی حداکثر مثبت یا منفی، باید به صورت یکنواخت با فواصل مساوی تا نقطهٔ با لنگر خمشی صفر توزیع شوند، مگر اینکه توسط مهندس طراح راهکار دیگری با مستندات کافی ارائه شده باشد.

۲- در راستای عمود بر محور طولی تیر برشگیرها باید حداقل ۲۵ میلیمتر پوشش جانبی از بتن داشته باشند.

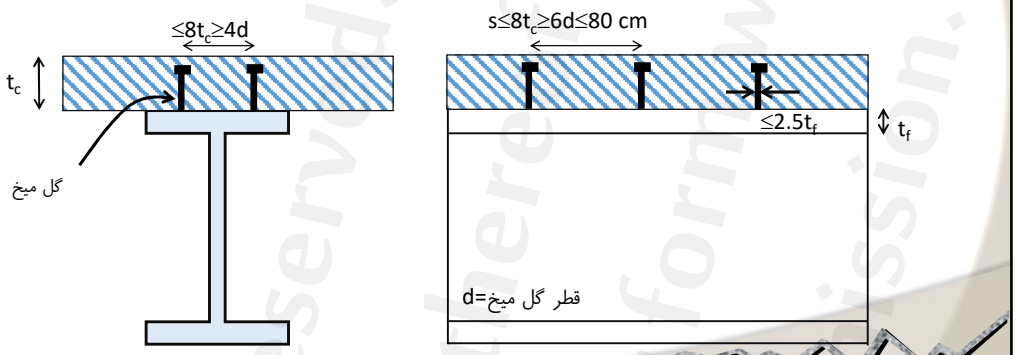
۳- در امتداد محور طولی تیر، فاصلهٔ برشگیرها تا لبهٔ بتن برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی نباید کوچکتر از ۲۰۰ میلیمتر و برای بتن‌های سبک کوچکتر از ۲۵۰ میلیمتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۴- فاصلهٔ مرکز تا مرکز برشگیرهای از نوع گل‌میخ در راستای طولی تیر نباید کوچکتر از ۶ برابر قطر آنها و در برشگیرهای از نوع ناودانی کوچکتر از ۴ برابر پهنای بال ناودانی در نظر گرفته شود. همچنین فاصلهٔ مرکز تا مرکز بین برشگیرهای از نوع گلمیخ در امتداد عمود بر محور طولی تیر نباید کوچکتر از ۴ برابر قطر آنها در نظر گرفته شود.

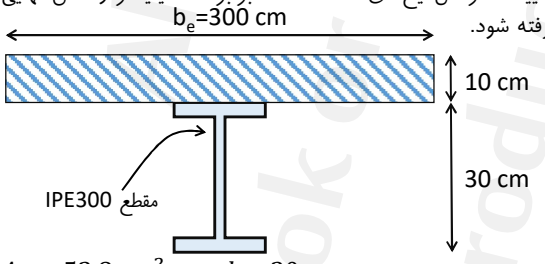
۵- حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز برش‌گیرها نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال بتنی یا ۹۰۰ میلیمتر بیشتر باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقطع مرکب نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید که از مقطع تیر IPE300 و یک دال بتنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و مقاومت مشخصه ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تشکیل شده است. عرض موثر تیر برابر ۳ متر و طول تیر برابر ۷ متر در نظر گرفته شود. در صورتی که بار روی تیر بصورت یکنواخت توزیع شده باشد، تعداد برشگیرهای مورد نیاز برای ایجاد عملکرد مرکب کامل را تعیین نمایید. قطر گل‌میخ‌های استفاده شده برابر ۱۶ میلیمتر و تنش نهایی نهایی آنها ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود.



پاسخ: مشخصات مقطع فولادی IPE300برابر است با:

$A_s = 53.8\ cm^2 \qquad d = 30\ cm$

مساحت موثر دال بتنی برابر است با:

$$A_c = bt_c = 300 \times 10 = 3000\ cm^2$$

مقدار نیروی برشی افقی موجود در گل‌میخ‌ها برابر با کمترین دو مقدار ظرفیت نهایی بتن و ظرفیت مقطع فولادی است:

$$V_r' = 0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 300 \times 3000 \times 10^{-3} = 765\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت نهایی مقطع فولادی، با فرض جاری شدن کامل آن برابر است با:

$$V_r' = F_y A_s = 2400 \times 53.8 \times 10^{-3} = 129\ ton < 0.85 f_c' A_c$$

بنابراین ظرفیت مقطع فولادی حاکم می‌باشد. برای تعیین ضریب ارتجاعی بتن داریم:

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c} = 0.043 \times 2500^{1.5} \sqrt{30} = 29400\ MPa = 294000\ \frac{kg}{cm^2}$$

در صورتی که از گل‌میخ‌هایی به قطر ۱۶ میلیمتر استفاده شود، مساحت مقطع یک گل‌میخ برابر با A_{sc}=2 cm^2 می‌باشد. مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده برابر است با:

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_c E_c} = 0.5 \times 2\sqrt{300 \times 294000} = 9390\ kg > R_g R_p A_{sa} F_u = 1.0 \times 0.75 \times 2 \times 5000 = 7500\ kg$$

برای عملکرد مرکب کامل، تعداد گل‌میخ‌های مورد نیاز برابر است با:

$$2n = \frac{2V_r'}{Q_n} = \frac{(2 \times 129000)}{7500} = 34.4$$

در صورتی که فاصله اولین و آخرین گل‌میخ از ابتدا و انتهای تیر برابر ۲۰ سانتیمتر و از ۳۶ گل‌میخ استفاده شود، فاصله بین گل‌میخ‌ها برابر است با:

$$s = \frac{700 - 2 \times 20}{36 - 1} = 18.8\ cm$$

حداقل فاصله بین گل‌میخ‌ها:

$$s = 6d = 6 \times 2 = 12\ cm < 18.8\ cm$$

حداکثر فاصله بین گل‌میخ‌ها:

$$s = 8t_c = 8 \times 10 = 80\ cm > 18.8\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برشگیرها در ستون‌ها و سایر اعضای مختلط

الف) الزامات عمومی

الزامات مندرج در این بند برای محاسبهٔ مقاومت اسمی برش‌گیرهای به‌کاررفته در طول مقرر بار ستون‌ها و تیرستون‌های با مقطع مختلط، تیرهای با مقطع مختلط محاط در بتن یا پرشده با بتن، تیرهای همبند با مقطع مختلط و دیوارهای برشی با مقطع مختلط بوده که در آنها اجزای بتنی و فولادی به واسطهٔ عملکرد مختلط در طول عضو با یکدیگر کار می‌کنند. ضوابط این بند برای سازه‌های مرکب از اعضای بتنی و فولادی که در آنها بتن و فولاد با یکدیگر کار نمی‌کنند، قابل کاربرد نیست.

محاسبات مربوط به مقاومت برش‌گیرهای مدفون در دال بتنی یا در دال بتنی واقع بر عرشهٔ فولادی در بند ۱۰-۲-۸-۸ ارائه گردیده است. حالت‌های حدی مرتبط با گسیختگی برشگیر و گسیختگی قالبی بتن در این بخش ارائه می‌گردد. علاوه بر این، ضوابط مرتبط با فاصله گذاری و محدودیت‌های هندسی برشگیرها مندرج در این بخش، از قلوه‌کن شدن بتن در تماس با برشگیر تحت اثر بارهای برشی و همچنین گسیختگی قالبی بتن در تماس با برشگیر تحت اثر بارهای کششی جلوگیری می‌کنند.

در اعضای با مقطع مختلط، قطر برشگیرهای از نوع گلمیخ باید مساوی یا کوچکتر از ۲۰ میلیمتر باشد. همچنین قطر گل‌میخ‌ها نباید از 2.5 برابر ضخامت فلز پایه‌ای که گلمیخ به آن جوش می‌شود، بیشتر شود، مگر اینکه گلمیخ درست در امتداد جان مقطع فولادی قرار گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در بتن‌های با وزن مخصوص معمولی، چنانچه برشگیر از نوع گل‌میخ تنها تحت اثر برش قرار گیرد، ارتفاع برشگیر از نوع گل‌میخ پس از نصب نباید از ۵ برابر قطر گل‌میخ کمتر باشد. چنانچه گل‌میخ تحت اثر کشش یا ترکیبی از کشش و برش قرار گیرد، ارتفاع گل‌میخ نباید از ۸ برابر قطر آن کوچکتر باشد. در بتن‌های با وزن مخصوص سبک، چنانچه گل‌میخ تنها تحت اثر برش قرار گیرد، ارتفاع گلمیخ پس از نصب نباید از ۷ برابر قطر آن و چنانچه گل‌میخ تحت اثر کشش قرار گیرد، ارتفاع گلمیخ نباید از ۱۰ برابر قطر آن کوچکتر باشد.

مقاومت اسمی برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ مدفون در بتن با وزن مخصوص سبک که تحت اثر ترکیبی از بارهای کششی و برشی قرار می‌گیرند، باید براساس ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین شوند. در این نوع اعضا مشخصات هندسی برشگیرها در جدول ۱۰-۲-۸-۵ نیز ارائه شده است. قطر کلاهک برش‌گیرهای از نوع گلمیخ که تحت اثر کشش یا ترکیبی از کشش و برش قرار می‌گیرند، باید از 1.6 برابر قطر بدنهٔ گل‌میخ بزرگتر باشد.

جدول ۱۰-۲-۸-۵: حداقل نسبت ارتفاع گلمیخ به قطر آن در ستون‌ها و تیرستون‌ها

نوع بار وارده بر گل‌میخ	بتن با وزن مخصوص معمولی	بتن سبک
برش	h/d≥5	h/d≥7
کشش	h/d≥8	h/d≥10
برش و کشش بطور همزمان	h/d≥8	کاربرد ندارد
که h ارتفاع و d قطر گل‌میخ می‌باشد.		

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) مقاومت برشی موجود برش‌گیرهای از نوع گل‌میخ کلاهک‌دار

در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به عنوان یک حالت حدی محسوب نشود، مقاومت برشی موجود گل‌میخ‌ها در روش LRFD برابر $\phi_v Q_{nv}$ و در روش ASD برابر Q_{nv}/Ω_v بوده که در آن:

$$Q_{nv} = F_u A_{sa}$$

ϕ_v=0.65 (LRFD) Ω_v=2.31 (ASD)

که رابطه فوق، F_u تنش کششی نهایی حداقل مصالح گل‌میخ و A_{sa} سطح مقطع گل‌میخ می‌باشد.

چنانچه گسیختگی قالبی بتن در برش به عنوان یک حالت حدی محسوب شود، مقاومت برشی طراحی یک برشگیر گلمیخ باید براساس یکی از حالات زیر تعیین شود:

۱- چنانچه براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، میلگرد لازم در دو طرف ناحیهٔ گسیختگی در بتن کار گذاشته شود، کوچکترین مقدار به دست آمده از معادلهٔ ۱۰-۲-۸-۳۸ و مقاومت اسمی میلگرد، باید به عنوان مقاومت برشی اسمی گلمیخ (Q_{nv}) محسوب شود.

۲- براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) مقاومت کششی موجود برشگیرهای از نوع گل‌میخ

در مواردی که فاصلهٔ مرکز گل‌میخ تا لبهٔ آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ بزرگتر از 1.5 برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصلهٔ مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر یا مساوی ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی موجود گل‌میخ‌ها در روش LRFD مساوی $\phi_t Q_{nt}$ و در روش ASD برابر Q_{nt}/Ω_t است، که در آن:

$$Q_{nt} = F_u A_{sa}$$

ϕ_t=0.75 (LRFD) Ω_t=2.0 (ASD)

که رابطه فوق، F_u تنش کششی نهایی حداقل مصالح گل‌میخ و A_{sa} سطح مقطع گل‌میخ می‌باشد.

تبصره: در مواردی که فاصلهٔ مرکز گلمیخ تا لبهٔ آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ کوچکتر از 1.5 برابر ارتفاع گل‌میخ یا فاصلهٔ مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها کوچکتر از ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها باید براساس یکی از حالات زیر تعیین گردد:

۱- چنانچه براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، میلگرد لازم در دو طرف ناحیهٔ گسیختگی در بتن کار گذاشته شود، کوچکترین مقدار به دست آمده از معادلهٔ ۱۰-۲-۸-۳۹ و مقاومت اسمی میلگرد باید به عنوان مقاومت برشی اسمی گلمیخ (Q_{nt}) محسوب شود.

۲- براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) اثر همزمان برش و کشش در گل‌میخ‌ها

در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به عنوان یک حالت حدی محسوب نشود و نیز فاصلهٔ مرکز گل‌میخ تا لبهٔ آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گلمیخ بزرگتر از 1.5 برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصلهٔ مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر یا مساوی ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، اثر توأم برش و کشش در گلمیخ باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

$$\left[\frac{Q_{ut}}{\phi_t Q_{nt}}\right]^{\frac{5}{3}} + \left[\frac{Q_{uv}}{\phi_v Q_{nv}}\right]^{\frac{5}{3}} \le 1.0$$

$$\left[\frac{Q_{at}}{Q_{nt}/\Omega_t}\right]^{\frac{5}{3}} + \left[\frac{Q_{av}}{Q_{nv}/\Omega_v}\right]^{\frac{5}{3}} \le 1.0$$

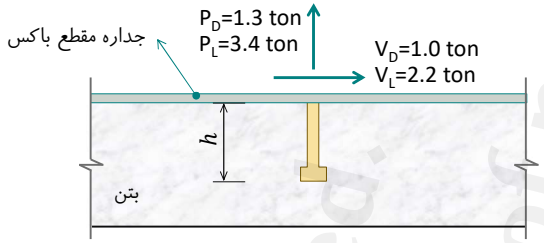
در روابط فوق:

Q_{ut} مقاومت کششی موردنیاز گلمیخ در LRFD، Q_{at} مقاومت کششی موردنیاز گلمیخ در ASD، Q_{uv} مقاومت برشی موردنیاز گلمیخ در LRFD، Q_{av} مقاومت برشی موردنیاز گلمیخ در ASD، Q_{nt} مقاومت کششی اسمی گلمیخ، Q_{nv} مقاومت برشی اسمی گلمیخ، ϕ_t ضریب کاهش مقاومت کششی گلمیخ مساوی 0.75، ϕ_v ضریب کاهش مقاومت برشی گلمیخ مساوی 0.65، Ω_t ضریب اطمینان مقاومت کششی گلمیخ مساوی 2.0، Ω_v ضریب کاهش مقاومت برشی گلمیخ مساوی 2.31

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) گلمیخ شکل زیر، را طراحی نمایید. مقاومت مشخصه بتن 300 kg/cm^2 و وزن بتن معمولی است. فاصله گلمیخ‌ها از یکدیگر برابر ۶۰ سانتیمتر فرض شود. قطر گلمیخ ۱۹ میلیمتر و F_u=4570 kg/cm^2 فرض کنید.



پاسخ: حداقل طول گل‌میخ: جدول ۱۰-۲-۸-۵ مبحث دهم، مقدار حداقل نسبت ارتفاع به قطر گل‌میخ را برای بتن‌های معمولی و سبک ارائه می‌دهد. طبق این جدول، در صورتی که گل‌میخ تحت برش کشش همزمان باشد، داریم:

$$h \geq 8d = 8 \times 1.9 = 15.2\ cm$$

این فاصله بایستی برابر با سطح پایه گل‌میخ تا سر آن بعد از نصب در نظر گرفته شود. معمولاً در حین اجرا به سبب سوختن بخشی از فلز گل‌میخ ارتفاع آن کمتر خواهد شد. این میزان کاهش معمولاً ۵ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در صورتی که یک گل‌میخ با ارتفاع 15.7 cm انتخاب شود، الزامات این بند رعایت خواهد شد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت کششی و برشی مورد نیاز: طبق الزامات مبحث ششم، ترکیب بار حاکم برای اندرکنش برابر است با

$$Q_{uv} = 1.2 \times 1.0 + 1.6 \times 2.2 = 4.72\ \text{ton}$$
$$Q_{ut} = 1.2 \times 1.3 + 1.6 \times 3.4 = 7.0\ \text{ton}$$

مقاومت برشی موجود: طبق بند ۱۰-۲-۸-۹-ب مبحث دهم داریم:

$$Q_{nv} = F_u A_{sa} \quad , \quad A_{sa} = \frac{\pi \times 1.9^2}{4} = 2.83\ cm^2$$
$$\Rightarrow Q_{nv} = 4570 \times 2.83 \times 10^{-3} \approx 13\ ton$$
$$\varphi_v Q_{nv} = 0.65 \times 13\ ton = 8.42\ ton$$

مقاومت کششی موجود: طبق بند ۱۰-۲-۸-۹-پ مبحث دهم، در مواردی که فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ از 1.5 برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز به مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر از ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراح گل‌میخ برابر $\phi_t Q_{nt}$ می‌باشد که در آن ϕ_t=0.75 است. همچنین مقدار Q_{nt} از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q_{nt} = F_u A_{sa}$$

۱) حداقل فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد:

$$1.5h = 1.5 \times 15.2 = 22.8\ \text{cm}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مطابق شکل، هیچ لبه‌ای در امتداد عمود بر گل‌میخ وجود ندارد. بنابراین این ضابطه اعمال نمی‌شود.

۲) فاصله مرکز گل‌میخ‌های مجاور از هم:

$$3h = 3 \times 15.2 = 45 \text{ cm} < 60 \text{ cm}$$

بنابراین طبق رابطه ۱۰-۲-۸-۳۹ مبحث دهم داریم:

$$\Rightarrow Q_{nt} = 4570 \times 2.83 \times 10^{-3} \approx 13 \text{ ton}$$
$$\varphi_t Q_{nt} = 0.75 \times 13 \text{ ton} = 9.75 \text{ ton}$$

اندرکنش برش و کشش: طبق الزامات بند ۱۰-۲-۸-۹-ت مبحث دهم، برای در نظر گرفتن اندرکنش برش و کشش، در مواردی که گسیختگی قالبی در بتن به عنوان یک حالت حدی محسوب نشود و فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ از 1.5 برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز به مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر از ۳ برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، اثر توام برش و کشش در گل‌میخ بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\left[\frac{Q_{ut}}{\phi_t Q_{nt}}\right]^{\frac{5}{3}} + \left[\frac{Q_{uv}}{\phi_v Q_{nv}}\right]^{\frac{5}{3}} \le 1.0 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{7 \text{ ton}}{9.75 \text{ ton}}\right)^{\frac{5}{3}} + \left(\frac{4.72 \text{ ton}}{8.42 \text{ ton}}\right)^{\frac{5}{3}} = 0.95 < 1.0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ث) مقاومت برشی موجود برش‌گیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی موجود برش‌گیرهای از نوع ناودانی در روش LRFD مساوی $\phi_v Q_{nv}$ و در روش ASD مساوی Q_{nv}/Ω_v است، که در آن:

ϕ_v=0.75 (LRFD) Ω_v=2.0 (ASD)

و Q_{nv} مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی بوده که باید براساس رابطهٔ ۱۰-۲-۸-۳۷ تعیین شود.

ج) جزئیات‌بندی

۱- برشگیرها باید حداقل ۲۵ میلیمتر پوشش جانبی از بتن داشته باشند.

۲- حداقل فاصلهٔ مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها در هر امتداد ۴ برابر قطر گلمیخ است.

۳- حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها ۳۲ برابر قطر گل‌میخ است.

۴- حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز برش‌گیرهای از نوع ناودانی ۶۰۰ میلیمتر است.

چ) حالت‌های خاص

هنگامیکه عضو با مقطع مختلط منطبق بر مقررات این بند نباشد، مقاومت اسمی برشگیرها و جزئیات اجرایی آنها، باید براساس یک برنامهٔ آزمایشی مناسب تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کنترل فشار هیدرواستاتیک در مقاطع مستطیلی پرشده با بتن

طبق بند ۱۰-۲-۸-۱۰، در صورتیکه در هنگام ریختن بتن به داخل مقاطع مستطیلی شکل فشار هیدرواستاتیکی بزرگی به دیوارهٔ مقطع فولادی (به جدارهای مقطع مستطیلی شکل) وارد شود، ممکن است دیوارهٔ مقطع دچار تغییرشکل بزرگی شود. این مسئله علاوه بر ایجاد ظاهر نامناسب در مقطع، ممکن است موجب فراهم شدن شرایطی برای شروع کمانش موضعی جدارهای مقطع مستطیلی شکل شود. برای کنترل اینگونه تغییرشکل‌ها می‌توان از روابط زیر استفاده کرد:

$$\sigma_{max} = \max \begin{bmatrix} \left(\frac{2h_c}{b_c + 4h_c}\right)\frac{ph_c^2}{t^2} \\ \frac{1}{3}\left(\frac{3b_c + 4h_c}{b_c + 4h_c}\right)\frac{ph_c^2}{t^2} \end{bmatrix} \leq 0.5F_y$$

$$\delta_{max} = \frac{1}{32}\left(\frac{5b_c + 4h_c}{b_c + 4h_c}\right)\frac{ph_c^2}{E_s t^3} \leq \frac{L}{2000}$$

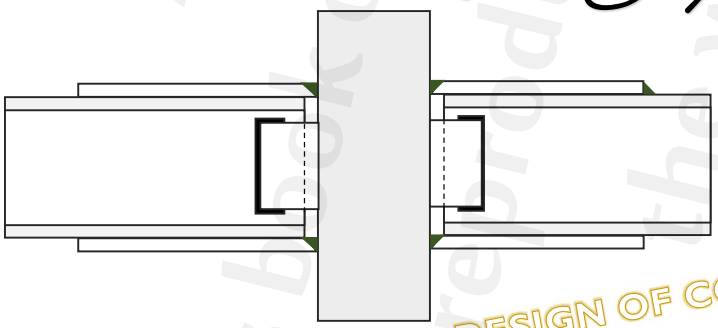
در روابط فوق، σ_{max} تنش عمودی حداکثر در جدار مقطع مستطیلی شکل ناشی از فشار هیدرواستاتیک، δ_{max} تغییرشکل حداکثر در جدار مقطع مستطیلی شکل ناشی از فشار هیدرواستاتیک، h بعد بزرگ مقطع مستطیلی شکل و h_c=h-2t بعد کوچک مقطع مستطیلی شکل و b_c=b-2t ضخامت دیوارهٔ مقطع مستطیلی شکل، p فشار هیدرواستاتیک، L طول فشار هیدرواستاتیک، E_s مدول الاستیسیتهٔ فولاد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل دهم

الزامات طراحی اتصالات



DESIGN OF CONNECTIONS

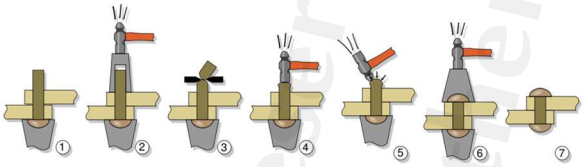
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال، ترکیبی از پیوندها است که برای انتقال نیرو بین دو یا چند عضو به کار برده می‌شود. اتصالات بر حسب نوع نیرویی که منتقل می‌کنند (لنگر، برش و نیروی محوری) و سختی مورد نظر برای آنها (صلب، نیمه صلب و ساده)، طبقه‌بندی می‌شوند.

انواع اتصال بر حسب فن اتصال

پرچ: یکی از وسایل قدیمی برای اتصالات سازه‌های فولادی پرچ است. پرچ‌ها با قطرهای ۱ تا ۴ سانتیمتر تولید می‌شوند. پرچ‌ها در اتصالات دائمی که نیازی به باز و بسته شدن نداشته باشند استفاده می‌شوند. برخی از انواع میخ‌پرچ‌ها را می‌توان در جاهایی که تنها به یک طرف کار دسترسی داریم استفاده کرد. هنگام انتخاب میخ‌پرچ‌ها باید به نیروهای کششی و برشی وارد بر قطعه کار توجه کرد و متناسب با آن‌ها میخ‌پرچ‌هایی با قطر، جنس و در فاصله‌های مناسب انتخاب نمود. توصیه شده است که جنس میخ‌پرچ و قطعه‌کار مشابه هم باشند، مثلاً برای اتصال ورق‌های مسی بهتر است از میخ‌پرچ‌های مسی استفاده کنیم؛ برای اتصال قطعات فلزی میخ‌پرچ آلمینیومی معمولاً مناسب و رایج است. یکی از عوامل بیرون‌زدگی میخ از قطعه‌کار و در نتیجه اتصال نامناسب ضعیف‌بودن قطعه آخر است که برای رفع این مشکل از ورق‌های فلزی یا واشر در پشت کار استفاده می‌کنند.



صفحه ۷۶۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

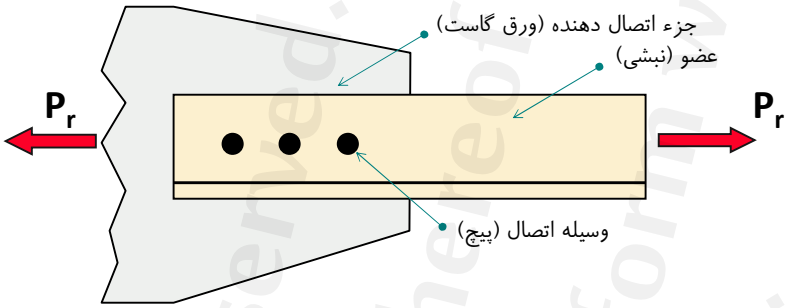
پیچ: نوعی از وسایل اتصال، پیچ است که به صورت استوانه‌ای رزوه شده می‌باشد که معمولاً از جنس فولادی می‌باشد. بطور کلی در دو رده معمولی و پرمقاومت ساخته می‌شوند که در ادامه بطور مفصل به آنها پرداخته شده است.

جوش: یک اتصال دائمی بین دو قطعه می‌باشد. جوشکاری یا فن فلزات از دیر باز مورد توجه بشر بوده است و در ابتدا ظروف آشپزخانه و جواهرات و امروزه در صنایع کشتی سازی و هوا فضا کاربرد بسیاری دارد. طبق مدارکی که در کتاب ها و استانداردها آمده است جوشکاری ۸۲۰۰ سال قدمت دارد. در ادامه بطور مفصل به آنها پرداخته شده است

صفحه ۷۶۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

این بخش به الزامات طراحی اتصالات، شامل اجزای اتصال‌دهنده (ورق‌ها، قطعات تقویتی، ورق‌های سخت کننده در محل اتصالات اعضا به یکدیگر، نبشی‌ها و لچکی‌های اتصال) و وسایل اتصال (جوش، پیچ و میله‌های دندانه شده) می‌پردازد که تحت آثار ناشی از خستگی قرار ندارند (شکل زیر) به الزامات طراحی عضو در بخش‌های قبلی پرداخته شد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

- ۱۰-۲-۹-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۹-۲ جوش‌ها
- ۱۰-۲-۹-۳ پیچ‌ها و میله‌های دندانه‌شده
- ۱۰-۲-۹-۴ مقاومت موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تأثیر پذیر اعضا
- ۱۰-۲-۹-۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)
- ۱۰-۲-۹-۶ وصله‌ها
- ۱۰-۲-۹-۷ مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم
- ۱۰-۲-۹-۸ کف‌ستون‌ها ورق‌های نشیمن و فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی
- ۱۰-۲-۹-۹ میل‌مهارها و اقلام مدفون
- ۱۰-۲-۹-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات عمومی

مبانی طراحی

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱-۱، مقاومت موجود یک اتصال در روش LRFD برابر ϕR_n و در روش ASD برابر R_n/Ω بوده و مطابق الزامات این بخش، براساس کوچکترین مقدار از بین مقاومت اجزای اتصال و وسایل اتصال، تعیین می‌شود.

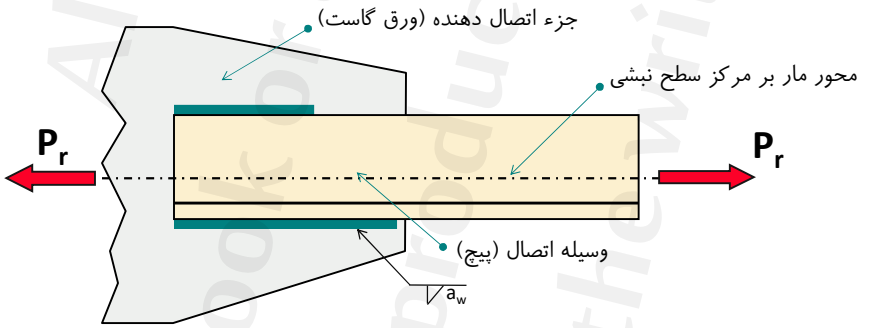
مقاومت مورد نیاز یک اتصال (R_r) باید بر مبنای تحلیل سازه برای ترکیبات بارگذاری متناظر با روش طراحی یا متناسب با ظرفیت باربری (مقاومت موجود) اجزای متصل‌شده، چنانچه در مبحث دهم، مشخص شده باشد، تعیین گردد.

تبصره: در اتصال اعضای با نیروی محوری باید سعی شود که محورهای مار بر مرکز ثقل اعضا در یک نقطه در داخل صفحهٔ اتصال با همدیگر تلاقی کنند. در اتصالات پیچی از برون‌محوری‌های ناچیز می‌توان صرفنظر کرد. در اتصالات جوشی نیز، چنانچه بار استاتیکی باشد، می‌توان از اثر برون‌محوری‌های کوچک صرفنظر کرد. در غیر این صورت، به ویژه در بارگذاری‌های سیکلی و خستگی‌آور، آثار ناشی از برون‌محوری در داخل صفحهٔ اتصال باید در تحلیل و طراحی لحاظ گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر اتصال یک نبشی به ورق اتصال (ورق گاست) را نشان داده شده است که از جوش متوازن جهت حذف برون محوری داخل صفحه استفاده شده است



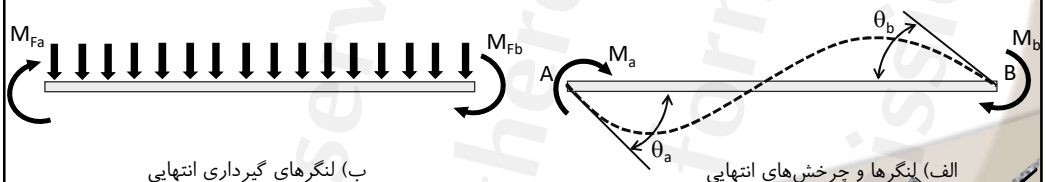
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

خط تیر

برای درک مناسب‌تر از تفاوت‌های موجود بین انواع اتصالات بر حسب صلبیت آنها، Batho و Rowan روشی ابداع نمودند که توسط Sourocknikoff توسعه یافته و به نام خط تیر نامیده شد. مطابق شکل زیر، تیر AB که تحت تاثیر لنگرهای خمشی M_a و M_b در انتهای خود قرار دارد را در نظر بگیرید. مقدار زاویه دوران دو انتهای این تیر برابر θ_a و θ_b می‌باشد. معادلات شیب – افت برای تیر AB به صورت زیر است:

$$\begin{cases} M_a = M_{Fa} + \frac{4EI}{L}\theta_a + \frac{2EI}{L}\theta_b \\ M_b = M_{Fb} + \frac{2EI}{L}\theta_a + \frac{4EI}{L}\theta_b \end{cases}$$



ب) لنگرهای گیرداری انتهایی

الف) لنگرها و چرخش‌های انتهایی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با حل رابطه اخیر بر حسب θ_a و θ_b داریم:

$$\begin{cases} \frac{6EI}{L}\theta_a = 2(M_a + M_{Fa}) - (M_b - M_{Fb}) \\ \frac{6EI}{L}\theta_b = 2(M_b + M_{Fb}) - (M_a - M_{Fa}) \end{cases}$$

با تفریق رابطه دوم از رابطه اول داریم:

$$\frac{6EI}{L}(\theta_a - \theta_b) = 3(M_a - M_b) - 3(M_{Fa} - M_{Fb})$$

در صورتی که بارگذاری بصورت متقارن باشد، داریم:

$$M_b = -M_a \quad \text{و} \quad \theta_b = -\theta_a \quad \text{و} \quad M_{Fb} = -M_{Fa}$$

در این حالت داریم:

$$\frac{2EI}{L}\theta_a = M_a - M_{Fa} \quad \rightarrow \quad M_a = M_{Fa} + \frac{2EI}{L}\theta_a$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

رابطه اخیر را معادله خط تیر می‌نامند. برای گیرداری کامل، $\theta_a=0$، لنگر انتهایی $M_a=M_{Fa}$ خواهد بود و در حالت انتهای مفصلی ($M_a=0$)، شیب انتهای A برابر $\theta_a = -\frac{M_{Fa}L}{2EI}$ خواهد بود. چنانچه بار گسترده یکنواخت با شدت W بر تیر اعمال شود، آنگاه $M_{Fa} = -\frac{WL^2}{12}$ و برای انتهای مفصلی $\theta_a = \frac{WL^3}{24EI}$ بدست می‌آید. در شکل بعدی، معادله خط تیر بصورت شماتیک ترسیم شده است.

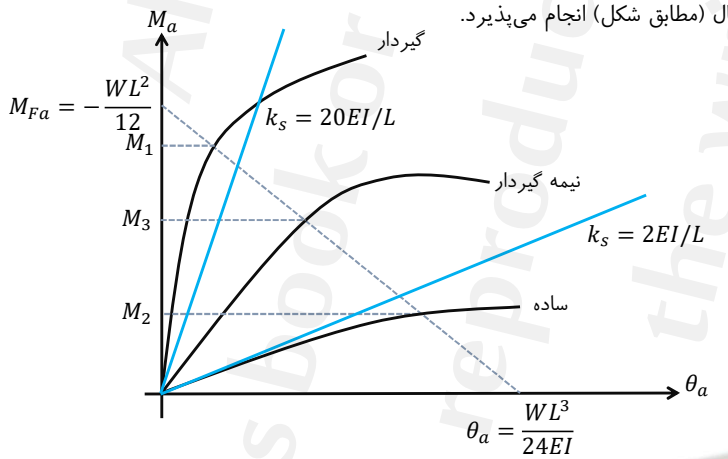
مطابق شکل، اتصال گیردار (صلب) باید، M_1 حداقل معادل ۹۰٪ لنگر گیرداری M_{Fa} را انتقال دهد. برای یک اتصال نیمه گیردار (نیمه صلب) انتظار می‌رود، M_3 لنگری معادل حدود ۵۰٪ لنگر گیرداری را انتقال دهد. یک اتصال ساده M_2، حداکثر لنگری معادل ۲۰٪ لنگر گیرداری M_{Fa} را انتقال می‌دهد. سختی سکانتی اتصال را می‌توان با $K_s=M_s/\theta_s$ بیان نمود. در صورتی که $K_s>20EI/L$ باشد، اتصال را می‌توان بصورت گیردار در نظر گرفت. در اتصالات ساده مقدار $K_s<2EI/L$ است. برای اتصالات با سختی مابین این دو مقدار نیز می‌توان آن اتصال را بصورت نیمه گیردار در نظر گرفت.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع اتصالات سازه‌ای

به طورکلی اتصالات تیر به ستون در قاب‌های ساختمانی به سه دستهٔ ساده (S) گیردار (FR) و نیمه گیردار (PR) تقسیم بندی می‌شوند. در اتصالات سازه‌ای، این تقسیم‌بندی براساس جزئیات استاندارد شده و آزمایشات فیزیکی بر روی آنها و با توجه به منحنی لنگر-دوران اتصال (مطابق شکل) انجام می‌پذیرد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الف) اتصالات ساده: اتصالات سادهٔ استاندارد به اتصالی گفته می‌شوند که از نظر دوران انعطاف‌پذیر بوده و لنگری به تکیه‌گاه انتقال نمی‌دهند و در نتیجه می‌توان آنها را فقط در برابر برش (عکس‌العمل تکیه‌گاه) و آثار ناشی از آن طراحی نمود. در صورت وجود نیروی محوری، آثار آن نیز باید در طراحی اتصال لحاظ شود. اتصالات ساده باید شرایط آزادی دوران در انتهای اعضا را با جزئیات مناسب تأمین نمایند. معمولاً اتصالات ساده تحت اثر بارهای بهره‌برداری دارای سختی (K_s) مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۳) کمتر از دو برابر سختی خمشی سکانتی تیر ($2EI/L$) هستند. در یک اتصال مقدار K_s برابر لنگر خمشی تقسیم بر دوران متناظرش تحت اثر بارهای بهره‌برداری است. اتصالات ساده را می‌توان به‌صورت ایده‌آل مدل کرد.

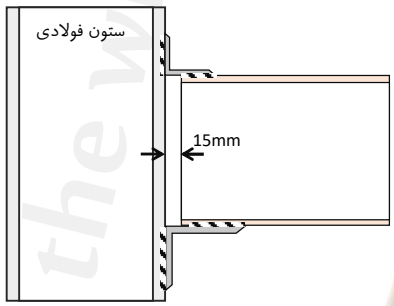
ب) اتصالات گیردار: اتصالات گیردار به اتصالاتی گفته می‌شوند که در آن چرخش نسبی بین اعضای متصل شده به یکدیگر ناچیز بوده و معمولاً تحت اثر بارهای بهره‌برداری دارای سختی بیش از بیست برابر سختی خمشی سکانتی تیر ($20EI/L$) هستند. اتصالات گیردار را می‌توان به صورت ایده‌آل مدل کرد.

پ) اتصالات نیمه گیردار: اتصالات نیمه گیردار به اتصالاتی گفته می‌شوند که مقدار سختی آنها بین دو حالت قبلی است. در تحلیل سازه، برای مدلسازی این نوع اتصالات باید از سختی به دست آمده از منحنی لنگر- دوران اتصال استفاده شود. منحنی لنگر- دوران اتصال نیمه گیردار باید به شیوهٔ تحلیلی یا براساس نتایج آزمایشگاهی معتبر تعیین شود. اتصالات نیمه گیردار باید از مقاومت، سختی و ظرفیت تغییرشکل کافی برخوردار باشند.

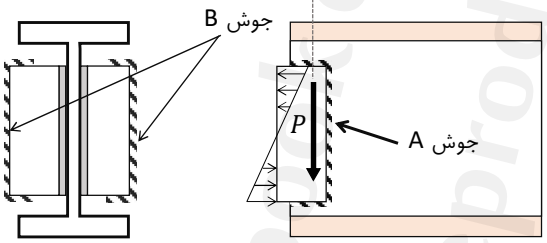
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره: هرگونه مغایرت جزئیات اتصالات با جزئیات استاندارد باعث تغییر در منحنی لنگر- دوران شده و به عنوان نمونه، با یک جوشکاری اضافی ممکن است اتصالی را از حالت ساده به حالت نیمه‌گیردار یا گیردار تبدیل کند. ازاین‌رو استفاده از جزئیات استاندارد برای هر نوع اتصال اکیداً توصیه می‌شود. شکل‌های ۱۰-۲-۹-۴ و ۱۰-۲-۹-۵ جزئیات دو نمونه از اتصالات سادهٔ متعارف و شکل ۱۰-۲-۹-۶ جزئیات یک نوع اتصال گیردار را نشان می‌دهند



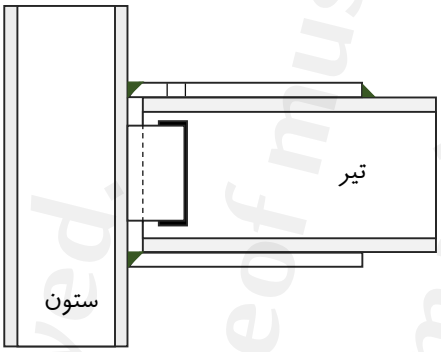
شکل ۱۰-۲-۹-۴ جزئیات اتصال نبشی نشیمن جوشی



شکل ۱۰-۲-۹-۵ جزئیات اتصال جوشی با استفاده از نبشی جفت در جان

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



شکل ۱۰-۲-۹-۶ جزئیات یک نمونه از اتصال گیردار
تیر به ستون با ورق جوش شده

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سطوح فشاری در تماس با یکدیگر

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱-۳، ستون‌هایی که انتقال بار آنها از طریق اتکاء و تماس سطوح فولادی صورت می‌پذیرد و در آنها تمهیدات لازم از طریق آماده سازی سطوح در تماس به عمل آمده باشد، باید دارای وسایل اتصال کافی برای نگهداشتن کل قسمت‌ها در جای خود باشند.

در سایر اعضای فشاری که در آنها انتقال نیرو از طریق اتکاء مجاز باشد، مقاومت موردنیاز وصله و وسایل اتصال آنها نباید از هر یک از مقاومت‌های موردنیاز زیر به طور مجزا کوچکتر باشد:

۱) مقاومت کششی محوری موردنیاز برابر ۵۰ درصد مقاومت فشاری مورد نیاز عضو

۲) مقاومت خمشی و برشی مورد نیاز که بر اثر اعمال یک بار عرضی برابر ۲ درصد مقاومت فشاری موردنیاز عضو به دست آید. بار عرضی باید در محل وصله بدون در نظر گرفتن بارهای دیگری که بر عضو عمل می‌کنند، در نظر گرفته شود. برای تعیین مقدار برش و لنگر در محل وصله، انتهای عضو، مفصلی در نظر گرفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

سوراخ‌های دسترسی برای جوشکاری و برش بال‌های تیر در محل اتصال

کلیهٔ سوراخ‌هایی که به منظور دسترسی و تسهیل جوشکاری تعبیه آنها الزامی است، برای قرار دادن مصالح جوش در موضع موردنظر، باید فضای کافی برای دسترسی داشته باشند. این سوراخ‌ها و نیز قسمت‌های برش دادهٔ بال در انتهای تیرها باید به صورتی کاملاً یکنواخت، با انحنای ملایم و بدون گوشه‌های تیز، تعبیه شوند.

طول سوراخ‌های دسترسی (فاصلهٔ l_1 نشان داده شده در شکل‌های ۱۰-۲-۹-۷-الف و ب) نباید کمتر از ۴۰ میلیمتر و کمتر از $1.5\,l$ برابر ضخامت ورقی گردد که سوراخ دسترسی در آن ایجاد می‌شود.

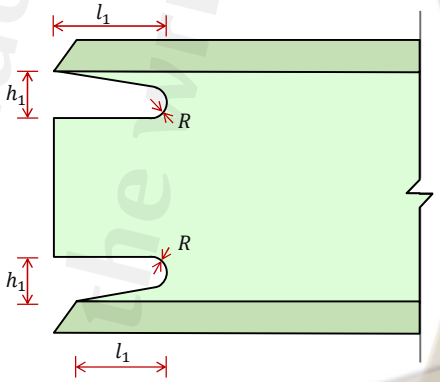
ارتفاع سوراخ دسترسی (h_1) نباید از ۲۰ میلیمتر و از ضخامت ورقی که سوراخ دسترسی در آن ایجاد می‌شود کوچکتر و از ۵۰ میلیمتر بزرگتر در نظر گرفته شود. مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۷ شعاع قوس‌های سوراخ دسترسی جوش نباید کوچکتر از ۱۰ میلیمتر انتخاب شود.

در مقاطع نوردشده و ساخته شده از ورق که در آنها ایجاد سوراخ دسترسی پس از اتمام جوشکاری بال‌ها به جان صورت می‌گیرد، لبهٔ جان باید از سطح بال تا سطح تو رفتگی سوراخ دسترسی به صورت شیبدار، کاملاً یکنواخت و بدون گوشه‌های تیز باشد. در مقاطع ساخته شده از ورق که در آنها ایجاد سوراخ دسترسی قبل از تکمیل جوشکاری بال‌ها به جان صورت می‌گیرد، انتهای سوراخ دسترسی می‌تواند عمود بر بال باشد؛ مشروط بر آنکه انتهای جوش به اندازهٔ بعد جوش از سوراخ دسترسی فاصله داشته باشد

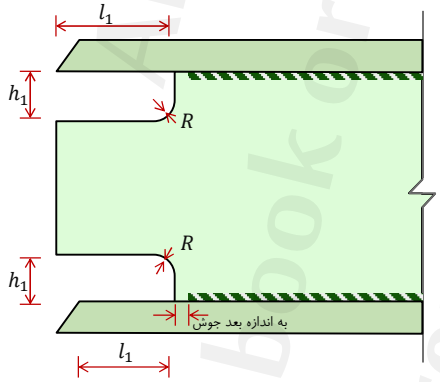
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در نیمرخ‌های سنگین و مقاطع ساخته شده از ورق که از ورق‌هایی به ضخامت بیش از ۴۰ میلیمتر ساخته می‌شوند، لبه‌های برش دادهٔ تیر یا سوراخ‌های دسترسی که توسط شعله بریده شده باشند را باید با سنگ‌زدن به صورت فلز صاف و براق در آورد. اگر قسمت‌های منحنی بریده شده در محل سوراخ دسترسی توسط عمل مته کردن یا برقوزدن صورت گرفته باشد، نیازی به سنگزدن و صافکردن نخواهد بود.



الف) مقاطع نوردشده و ساخته شده از ورق که در آنها ایجاد سوراخ دسترسی پس از انجام جوشکاری بال‌ها به جان صورت می‌گیرد



ب) مقاطع ساخته شده از ورق که در آنها ایجاد سوراخ دسترسی قبل از تکمیل جوشکاری بال‌ها به جان صورت می‌گیرد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

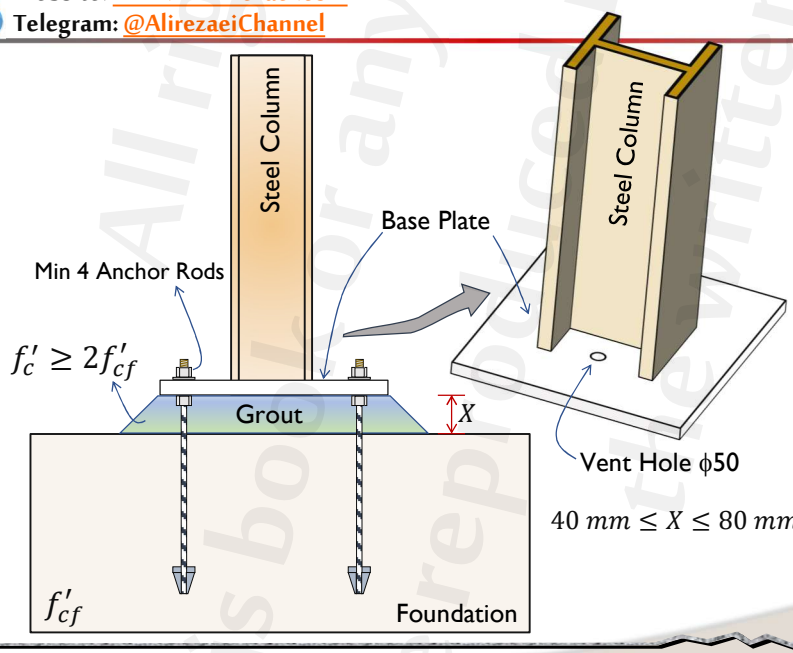
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال ستون به ورق کف‌ستون

اتصال ستون به ورق کف‌ستون متناسب با نوع اتصال (ساده یا گیردار) باید برای انتقال نیروهای موجود در پای ستون طراحی گردد. شایان ذکر است که در نوع گیردار اتصال کف‌ستون، هرگونه خطا در ساخت یا محاسبات می‌تواند موجب افزایش چشمگیر گریز افقی ساختمان در طبقات شود. در بارگذاری‌های شدید لرزه‌ای، ممکن است کف‌ستون از نوع مدفون در بتن برای جلوگیری از دوران لازم باشد. در هنگام ساخت، باید انتهای ستون‌ها تراز شده و سطح تماس کف‌ستون نیز برای انتقال نیروی فشاری صاف و آماده شده باشد. بر این اساس درصورتیکه نیروی پای ستون فشاری تنها و پای ستون کاملاً صاف، صیقلی و گونیا باشد، طراحی پای ستون می‌تواند با رعایت الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱-۳ از طریق اتکا صورت پذیرد. در غیر این صورت محاسبات انتقال نیرو نباید از طریق فشار مستقیم تماسی بین ستون و کف‌ستون انجام شود، بلکه تمامی نیروها باید از طریق اجزاء و وسایل اتصال به کف‌ستون انتقال یابد. برای تراز نمودن کف‌ستون معمولاً در زیر آن از گروت استفاده می‌شود. در این صورت مقاومت فشاری گروت باید حداقل دو برابر مقاومت فشاری بتن پی باشد و ضخامت آن از ۴۰ میلیمتر کمتر و از ۸۰ میلیمتر بیشتر نشود. برای کف‌ستون‌های با ابعاد بزرگتر از ۵۰۰ میلیمتر استفاده از سوراخی به قطر حداقل ۵۰ میلیمتر در نواحی وسط ورق برای تخلیهٔ هوای گروت توصیه می‌گردد. استفاده از حداقل چهار میل‌مهار مناسب برای اتصال ورق کف‌ستون به پی توصیه می‌شود. این میل مهارها باید به نحو مناسب در بتن پی مهار شوند. مقاومت موجود میل‌مهار در بتن براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌گردد.

صفحه ۷۷۷ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۷۷۸ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترکیب جوش و پیچ

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱-۶، به طورکلی وقتی در یک اتصال از ترکیب جوش و پیچ استفاده می‌شود پیچ را نمی‌توان در تحمل بار با جوش سهیم دانست. اما در صورت رعایت شرایط زیر، در تعیین مقاومت موجود اتصال متشکل از پیچ‌های پرمقاومت و جوش‌های گوشهٔ طولی، مقاومت اسمی آن را می‌توان برابر مجموع مقاومت لغزشی اسمی پیچ‌ها و مقاومت اسمی جوش‌های گوشهٔ طولی در نظر گرفت:

الف) پیچ‌ها از نوع پرمقاومت بوده و به صورت لغزش بحرانی طراحی شده باشند.

ب) در طراحی به روش LRFD ضریب کاهش مقاومت برابر $\phi = 0.75$ و در طراحی به روش ASD ضریب اطمینان برابر $\Omega = 2.00$ در نظر گرفته شود.

پ) اگر پیچ‌های پرمقاومت با استفاده از روش چرخاندن اضافی مهره‌ها مطابق الزامات فصل ۱۰-۴ پیش‌تنیده شوند، مقاومت موجود جوش‌های گوشه طولی از ۵۰ درصد مقاومت مورد نیاز اتصال کمتر نباشد.

ت) اگر پیچ‌های پرمقاومت با استفاده از هر روشی به جز روش چرخاندن اضافی مهره‌ها مطابق الزامات فصل ۱۰-۴ پیش‌تنیده شوند، مقاومت موجود جوش‌های گوشه طولی از ۷۰ درصد مقاومت موردنیاز اتصال کمتر نباشد.

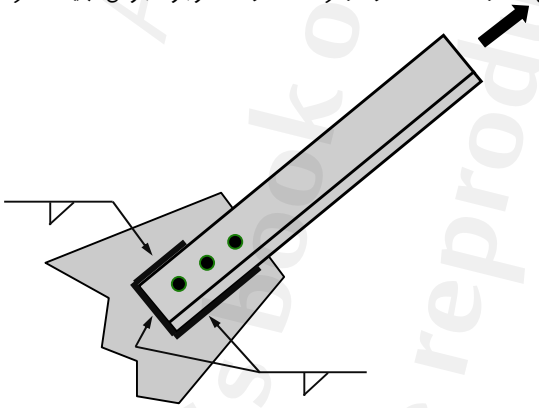
ث) مقاومت موجود پیچ‌های پرمقاومت از ۳۳ درصد مقاومت موردنیاز اتصال کمتر نباشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره ۱: در اتصالات ترکیبی (ترکیب پیچ و جوش‌های طولی) مقاومت موجود اتصال لزومی ندارد کمتر از مقاومت پیچ‌ها به تنهایی و مقاومت جوش‌ها به تنهایی در نظر گرفته شود.

تبصره ۲: در خصوص ساختمان‌های موجودی که اتصالات آنها از نوع پیچی است، تقویت اتصال از طریق جوش، به شرطی مجاز است که پیچ‌های موجود از نوع پرمقاومت و با عملکرد لغزش بحرانی طراحی و اجرا شده باشند. در اینگونه موارد جوش باید نیروهای مازاد بر آنچه پیچ تحمل می‌کند را انتقال دهد و درهرحال مقاومت موجود جوش نباید کمتر از ۲۵ درصد مقاومت موردنیاز اتصال باشد



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوش‌ها

چند تعریف مهم در ارتباط با جوش

جوشکاری (Welding): فرآیند اتصال دادن، با حرارت دادن مواد یا بدون حرارت دادن، با اعمال فشار یا بدون اعمال فشار، با استفاده از فلز پرکننده یا بدون فلز پرکننده، به نحوی ذوب و انجماد مداوم در امتداد درز اتصال صورت می‌گیرد و یا اتصال لبه‌ها، از طریق له شدن در هم انجام می‌شود را جوشکاری گویند.

جوش (Weld): اتصال موضعی فلز، که در آن اتصال با حرارت دادن به میزان مناسب، با کاربرد فشار یا بدون کاربرد فشار، با استفاده از مواد پرکننده یا بدون مواد پرکننده، صورت می‌گیرد را جوش گویند. (فلز پرکننده دارای نقطه ذوبی معادل همان فلزات پایه است.)

حوضچهٔ جوش (Weld Pool): حجم موضعی فلز مذاب در یک جوش، قبل از انجماد فلز تازهٔ جوش داده شده را حوضچهٔ جوش گویند.

فلز پایه (Base Metal): فلزی است که باید جوشکاری، لحیم کاری، لحیم کاری سخت یا بریده شود را فلز پایه گویند.

فلز جوش (Weld Metal): در جوش ذوبی شامل آن قسمت از فلز پایه و فلز پرکننده است که در جریان جوشکاری ذوب شده است.

منطقهٔ متاثر از جوش (Heat Affected Zone – HAZ): قسمتی از فلز پایه که ریز ساختار و خواص مکانیکی آن توسط حرارت جوشکاری، لحیم کاری سخت، لحیم کاری یا برشکاری حرارتی تغییر پیدا کرده است را منطقه متاثر از جوش می‌نامند.

صفحه ۷۸۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الکترود (Electrode): جزئی از مدار الکتریکی که در ایجاد قوس نقش داشته و اگر مصرفی باشد به گل جوش و فلز جوش تبدیل می‌شود.

American Welding Society (AWS): عبارت AWSمخفف انجمن جوشکاران آمریکا است که در واقع یکی از معتبرترین جامعهٔ جوشکاری بوده و این انجمن بزرگترین و معتبرترین استانداردها، طبقه بندی‌ها و مشخصات فنی را در زمینه‌های مختلف جوشکاری ارائه نموده است.

راهنمای مشخصات فنی رویهٔ جوشکاری(Welding Procedure Specification-WPS): سندی که متغیرهای مورد لزوم جوشکاری برای کاربردی خاص را تأمین می‌کند و برای هر جوشکار آموزش دیدهٔ ماهر و هر اپراتور جوشکار تکرار پذیر است. این سند حاوی کلیهٔ دستورات لازم جهت تولید جوش، کیفیت جوشکاری، صلاحیت جوشکاری، کدها در مورد فولاد، دیگ بخار و مخازن فشاری است.

صفحه ۷۸۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع جوشکاری

فرآیند جوشکاری را می‌توان براساس چندین نقطه نظر به چندین روش تقسیم بندی کرد. اساس تقسیم بندی روش‌های جوشکاری به قرار زیر است:

- حالت ماده در حین جوشکاری (حالت جامد - مایع)
- میزان استفاده از حرارت خارجی و فشار
- استفاده از مواد پرکننده (Filler Metal)

تقسیم بندی روش‌های جوشکاری بر اساس حالت ماده در حین جوشکاری به صورت زیر می‌باشد:

- جوشکاری حالت جامد یا غیر ذوبی (Solid State)
- جوشکاری حالت مایع یا ذوبی (Fusion Welding)
- جوشکاری حالت مایع - جامد (Liquid Solid State)

- جوشکاری حالت جامد یا غیر ذوبی (Solid State): در این گروه از جوشکاری، اتصال بدون ذوب شدن قطعه کار بوجود می‌آید و هیچگونه ذوبی در حین جوشکاری بوجود نمی‌آید و درجه حرارت در این گروه از جوشکاری‌ها کمتر از حد ذوب فلز پایه است. مکانیزم جوشکاری در این روش جوشکاری حالت جامد بدین شرح است که اگر سطوح جوشکاری شونده تمیز و عاری از آلودگی باشد و در حد اندازه‌های اتمی به یکدیگر نزدیک شوند (توسط فشار کافی) و در غیاب لایه اکسیدی و دیگر آلودگی‌های سطحی، پیوند بین اتم‌ها سبب بوجود آوردن اتصال قوی و مستحکم می‌شود. البته حرارت و حرکت نسبی سطوح، تغییر فرم پلاستیک ناشی ازفشار (مثلاً در روش جوشکاری فورجینگ، جوشکاری سرد یا جوشکاری نوردی) سبب بهبود استحکام جوش می‌شود. جوشکاری‌های اصطکاکی و انفجاری نمونه‌هایی از جوشکاری حالت جامد هستند.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوشکاری حالت مایع یا ذوبی (Fusion Welding): در این روش جوشکاری، عمل اتصال در نتیجه ذوب موضعی دو قطعه، تداخل آن‌ها و بالاخره انجماد حاصل می‌شود. در صورت وجود فیلرمتال، فیلرمتال نیز ذوب شده و به حوضچه جوش افزوده می‌شود. البته ترکیب شیمیایی فیلرمتال نقش اساسی در خواص متالوژیکی و فلز جوش دارد و با تغییر آن می‌توان خواص جوش را تحت کنترل درآورد که این امر جزء مزایای مهم روش‌های جوشکاری ذوبی است. جوشکاری قوسی، جوشکاری شعله‌ای، جوشکاری ترمیت، جوشکاری با پرتو لیزر و جوشکاری مقاومتی نمونه‌هایی از جوشکاری حالت مایع می‌باشند.

جوشکاری حالت مایع - جامد (Liquid Solid State): این نوع فرآیندها اخیراً در طیف جوشکاری قرار نگرفته و شامل انواع لحیم کاری می‌باشد. روش‌های لحیم کاری سخت، لحیم کاری نرم و اتصالات چسبی نمونه‌هایی از این نوع فرآیند می‌باشد

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فرایندهای جوشکاری

از میان فرآیندهای جوشکاری، چهار فرآیند جوشکاری قوسی که برای جوشکاری سازه‌های فلزی ساختمان‌های مسکونی و صنعتی متداول است، انتخاب شده است که عبارتند از:

۱- جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش‌دار (SMAW)

۲- جوشکاری قوسی فلزی تحت پوشش گاز محافظ با الکترود مصرفی (GMAW)

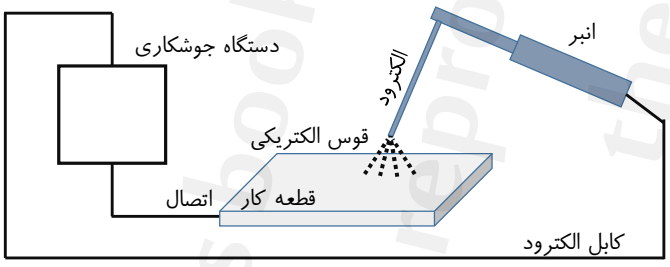
۳- جوشکاری قوسی زیر پودری (SAW)

صفحه ۷۸۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوشکاری قوسی با الکترود روکش دار (SMAW)

این فرآیند جوشکاری، فرآیند جوشکاری قوسی است که در آن، قوس بین یک الکترود روپوش‌دار و قطعه کار، زده می‌شود و حرارت لازم برای ذوب کردن فلز پایه و الکترود تأمین می‌شود. در این فرآیند از مکانیزم فشار استفاده نمی‌شود. کار محافظت از حوضچهٔ مذاب در این فرآیند بر عهدهٔ پوشش الکترود می‌باشد که این پوشش در هنگام جوشکاری در اثر حرارت تجزیه شده و به صورت سرباره و گاز از فلز جوش محافظت می‌کند. سرباره نقش پوشش حرارتی داشته و از سرد شدن سریع جوش جلوگیری کرده و کیفیت جوش را اصلاح می‌کند. همچنین سرباره دارای ترکیباتی می باشد که به فلز جوش اضافه شده و به این ترتیب عناصر از دست رفتهٔ منطقهٔ جوش در حین جوشکاری جایگزین می‌شود.

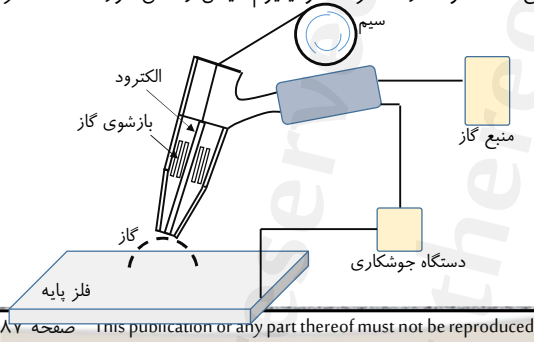


صفحه ۷۸۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکترود مصرفی (GMAW)

فرآیند جوشکاری است که در آن، با ذوب کردن اتصال توسط یک قوس الکتریکی بین یک الکترود یکسرهٔ فلزی پرکنندهٔ مصرف شدنی و قطعه کار و حفاظت توسط یک گاز (مثلاً گاز آرگون یا گاز کربنیک) و یا مخلوطی از گازها، احتمالاً محتوی یک گاز خنثی، یا مخلوطی از یک گاز و یک سرباره و بدون کاربرد فشار صورت می‌گیرد. این فرآیند گاهی جوشکاری MIG، MAG یا CO_2نامیده می‌شود. تغذیهٔ الکترود مداوم است. الکترود (سیم جوش) لخت می‌باشد. این فرآیند جوشکاری را می‌توان با ماشین نیمه خودکار یا روش‌های خودکار انجام داد. در فرآیند MIGبرای محافظت از فلز جوش و مذاب معمولاً از گازهای آرگون و هلیوم و مخلوطی از این گازها و گازهای بی اثر (Inert) و غیره استفاده می‌شود. فرآیند جوشکاری MIGبرای جوشکاری فلزاتی مانند فولاد زنگ نزن، آلومینیوم، نیکل و مس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

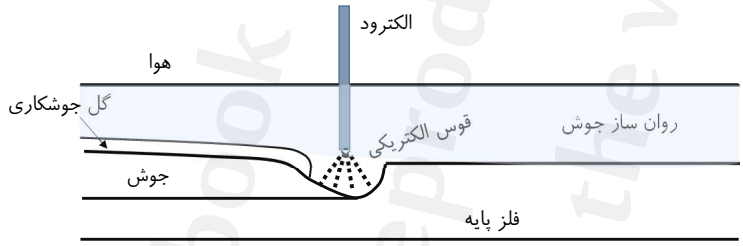


This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوشکاری زیرپودری (SAW)

فرآیند جوشکاری قوسی که یک یا چند قوس بین الکترود فلزی لخت یا الکترودها (سیم جوش توپر) و حوضچهٔ جوش بکار می‌برد. قوس و فلز مذاب توسط بستری از روان ساز دانه یا پودر جوش روی قطعات کار محافظت می‌شوند. فرآیند بدون فشار و فلز پرکننده تولیدی توسط الکترود (سیم جوش) و گاهی از منبعی ضمیمه (سیم جوش، روان ساز یا دانه‌های فلزی) تأمین می‌شود. از آنجایی که قوس الکتریکی در این فرآیند جوشکاری زیر پودرجوش مخفی می‌باشد گاهی به این فرآیند جوشکاری، جوشکاری قوس مخفی نیز می‌گویند.



This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

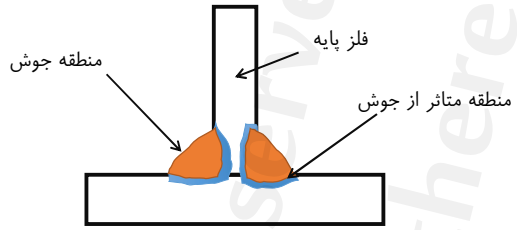
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوشکاری و ترد شدگی فولاد در اثر جوشکاری

جوشکاری می‌تواند سبب تردی ناحیه جوشکاری شده شود. این مشکل در حالتی که ضخامت ورق زیاد باشد، تشدید می‌شود. اولین گام جهت جلوگیری از شکست ترد ناحیه جوش شده آن است که به جوش به عنوان یک ماده پیچیده نگاه شود، نه یک چسب. در شکل زیر

سه ناحیه مهم در جوشکاری نشان داده شده است:

- فلز پایه (Base Metal) : فلزی است که باید جوشکاری شود را فلز پایه گویند.
- منطقهٔ متاثر از جوش (Heat Affected Zone – HAZ): قسمتی از فلز پایه که ریز ساختار و خواص مکانیکی آن توسط حرارت جوشکاری تغییر پیدا کرده است را منطقهٔ متاثر از جوش می نامند.
- منطقه جوش (Fusion zone): حجم موضعی فلز مذاب در یک جوش، قبل از انجماد فلز تازهٔ جوش داده شده را گویند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طبقه بندی الکترودهای روپوش دار بر اساس استاندارد AWS

این انجمن قواعدی را در مورد شناسایی و طبقه بندی الکترودها وضع کرده که مورد تأیید اغلب انجمن‌های مهندسی و فنی آمریکا و دیگر کشورهای صنعتی جهان نیز قرار گرفته است. در طبقه بندی AWS، هر الکترود با یک حرف (E) و یک عدد چهار یا پنج رقمی مشخص می‌شود: E XXXX یا E XXXXX

الف) حرف سمت چپ (E) معرف الکترود روکش دار است.

ب) دو رقم سمت چپ از عددهای چهار رقمی (یا سه رقم سمت چپ از عددهای پنج رقمی) معرف حداقل استحکام کششی فلز جوش بر حسب هزار پوند بر اینچ مربع یا KSI است. به طور مثال، الکترود E6010 که دو رقم سمت چپ آن ۶۰ است، دارای 60KSI یا 60000PSI استحکام کششی است.

پ) دومین رقم از سمت راست، وضعیت جوشکاری (Position) را نشان می‌دهد.

EXX1X : برای تمامی وضعیت‌ها

EXX2X : وضعیت‌های تخت و افقی

EXX3X : تخت

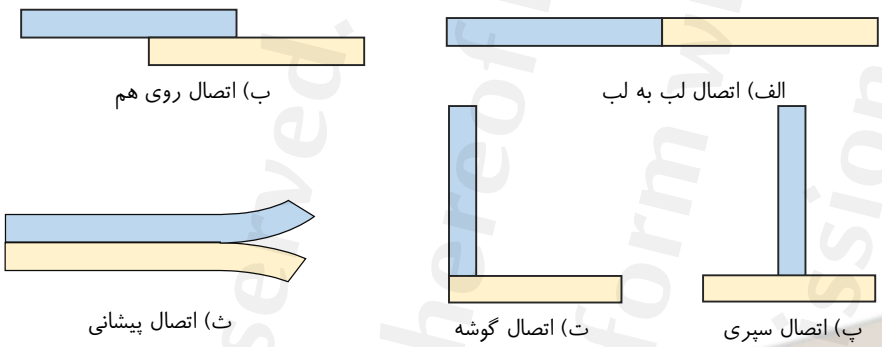
EXX4X : تخت، سقفی، افقی، عمودی سرازیر

ت) رقم اول از سمت راست نشان دهندهٔ نوع جریان، پلاریته، نوع روکش و مقدار نفوذ قوس الکتریکی است. برای تبدیل واحد ksi به کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، کافی است آن را در ۷۰ ضرب نماییم. به عنوان مثال حداکثر مقاومت کششی الکترود E60XX برابر ۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر و برای الکترود E70XX برابر ۴۹۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

انواع اتصالات جوشی از منظر وضعیت قرارگیری ورق‌ها

نوع اتصال به عواملی نظیر اندازه و شکل اعضایی که در یک اتصال به هم وصل می‌شوند، نوع بارگذاری اندازه درزی که برای جوشکاری قابل استفاده است و هزینه‌های نسبی انواع مختلف جوش بستگی دارد. با اینکه در عمل تغییرات و ترکیبات مختلفی یافت می‌شود، پنج نوع اصلی اتصال جوش عبارتند از: لب به لب، رویهم، سپری، گونیا (گوشه) و پیشانی



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

اتصال لب به لب: برای اتصال ورق‌های مسطح با ضخامت‌های تقریباً یکسان از این اتصال استفاده می‌شود. در صورت استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل، در اتصال لب به لب، اندازه این اتصال حداقل بوده و ظاهر مطلوبی دارد. از دیگر مزایای این اتصال، عدم خروج از مرکزیت است که در اتصالات روی‌هم وجود دارد.

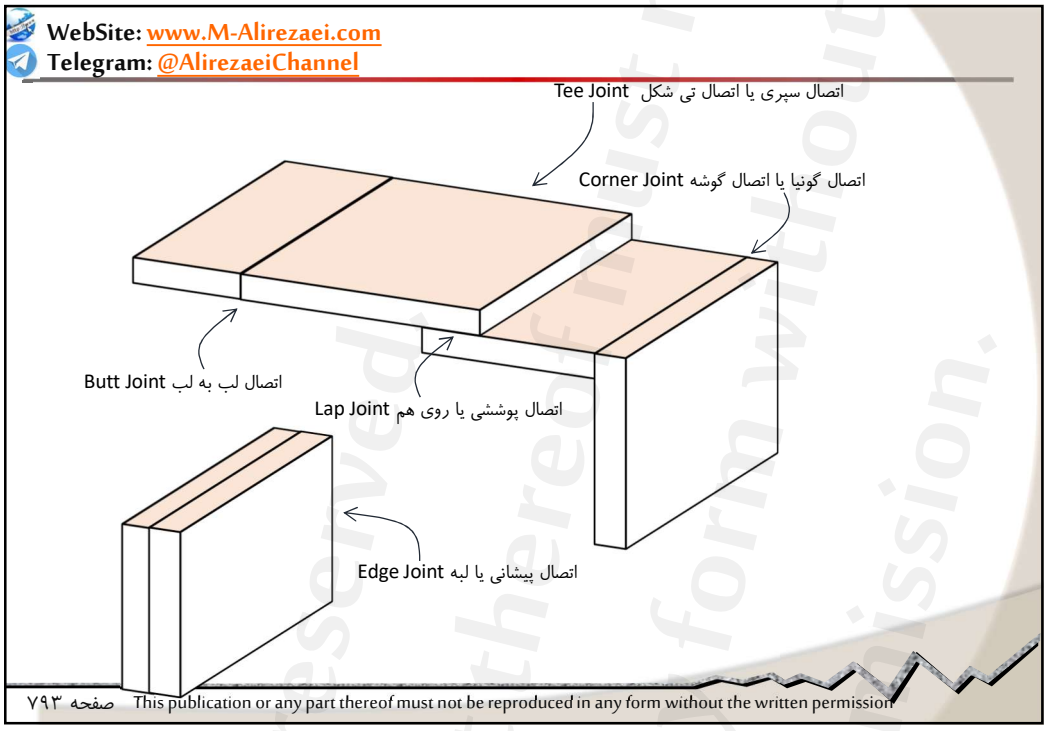
اتصال روی‌هم: ساده‌ترین و معمول‌ترین نوع اتصال، اتصال روی‌هم می‌باشد. مزایای عمده اتصال روی‌هم سادگی اجرا است که در آن به آسانی و بدون نیاز به دقت زیاد می‌توان اعضای مورد نظر را روی هم قرار داد. با جابجا کردن قطعات روی هم حتی می‌توان خطاهای کوچک ساخت را مرتفع نمود و تنظیمات طولی مورد نظر را اعمال نمود. در این روش، نیاز به آماده سازی خاصی در لبه‌ها وجود ندارد. جوش بکار رفته در این روش معمولاً بصورت گوشه است. از دیگر مزایای این اتصال، امکان اتصال ورق‌ها با ضخامت‌های مختلف است.

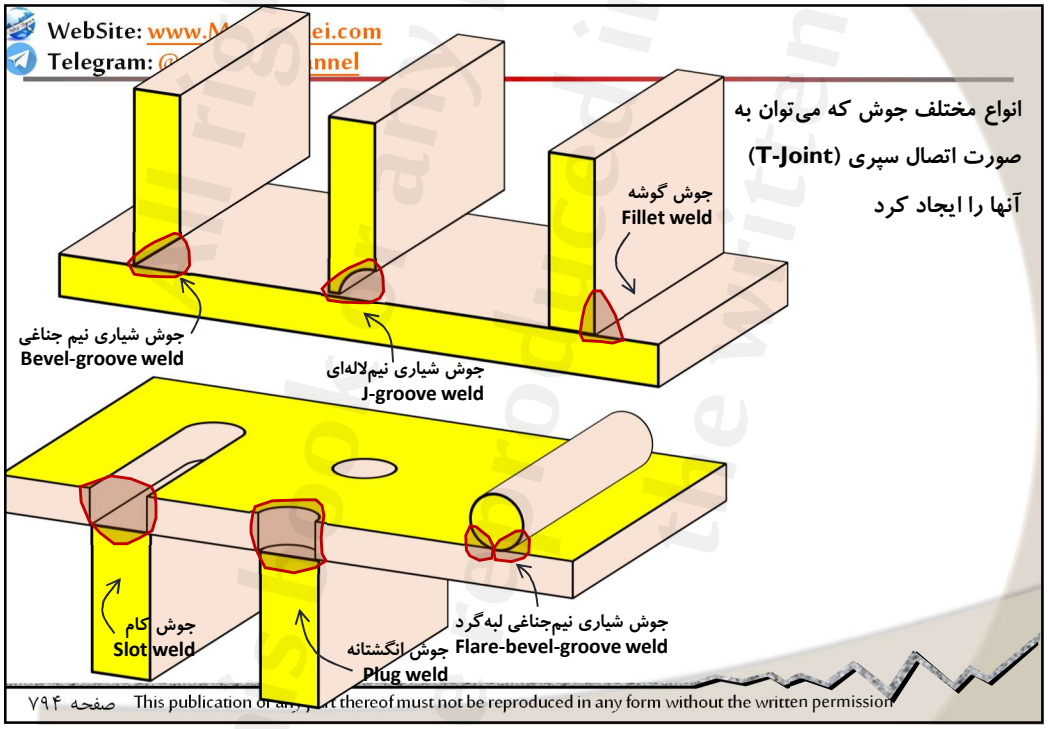
اتصال سپری: برای ساخت مقاطع I و T در تیرورق‌ها، اتصال سخت کننده‌ها، نشیمنگاه تیرهای فولادی از این نوع اتصال استفاده می‌شود. در این اتصال امکان استفاده از جوش‌های شیاری و گوشه فراهم است.

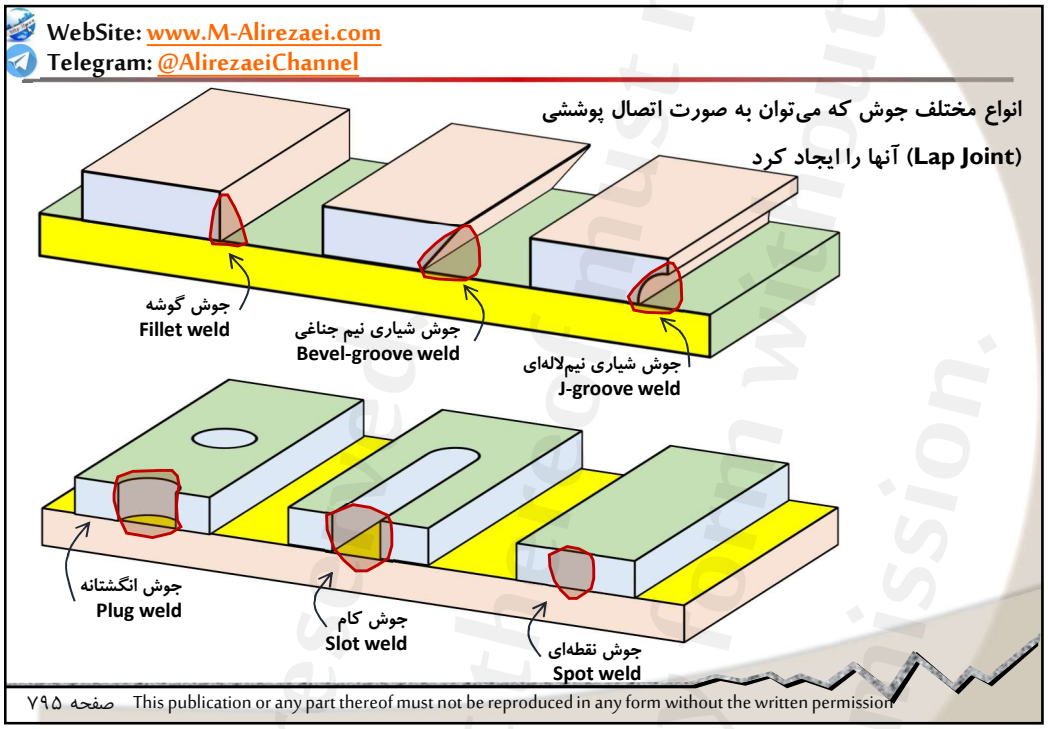
اتصال گونیا: برای ساخت مقاطع قوطی شکل که دارای صلبیت و مقاومت مناسب در برابر لنگر پیچشی موجود در تیرها وستون‌ها هستند استفاده از اتصال گونیا (گوشه) مورد نیاز است.

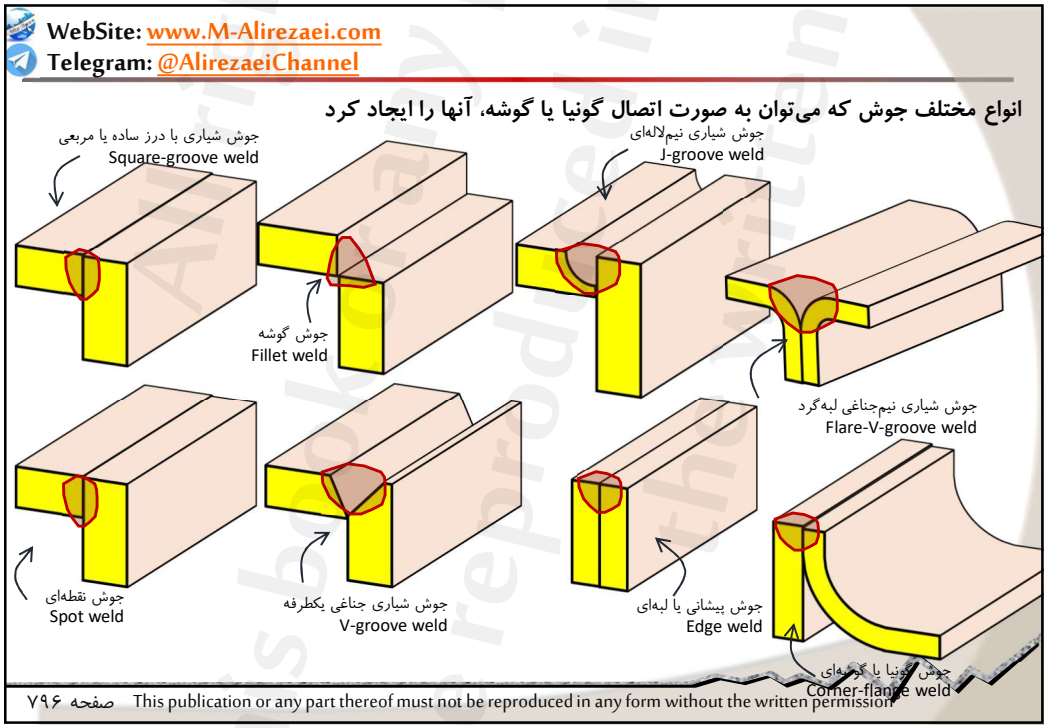
اتصال پیشانی: مورد استفاده این نوع اتصال به صورت خاص نگهداری دو یا چند ورق در یک سطح است. غالباً این نوع اتصال نقش سازه‌ای ندارد. در هر حال در سازه‌ها مواردی پدید می‌آید که استفاده از این نوع اتصال ضروری است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission


WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
Tee Joint اتصال سپری یا اتصال تی شکل
Corner Joint اتصال گوشیا یا اتصال گوشه
Butt Joint اتصال لب به لب
Lap Joint اتصال پوششی یا روی هم
Edge Joint اتصال پیشانی یا لبه
صفحه ۷۹۳
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

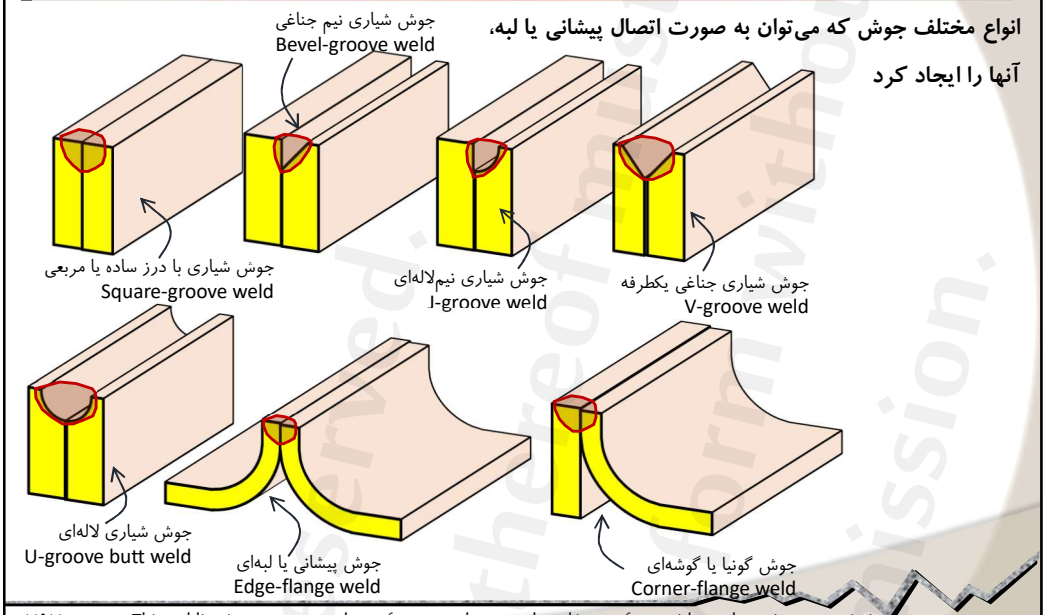

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
انواع مختلف جوش که می‌توان به صورت اتصال سپری (T-Joint) آنها را ایجاد کرد
جوش گوشه
Fillet weld
جوش شیاری نیم جناغی
Bevel-groove weld
جوش شیاری نیم‌لاله‌ای
J-groove weld
جوش کام
Slot weld
جوش انگشتانه
Plug weld
جوش شیاری نیم‌جناغی لبه‌گرد
Flare-bevel-groove weld
صفحه ۷۹۴
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission


WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
انواع مختلف جوش که می‌توان به صورت اتصال پوششی (Lap Joint) آنها را ایجاد کرد
جوش گوشه
Fillet weld
جوش شیاری نیم جناغی
Bevel-groove weld
جوش شیاری نیم‌لاله‌ای
J-groove weld
جوش انگشتانه
Plug weld
جوش کام
Slot weld
جوش نقطه‌ای
Spot weld
صفحه ۷۹۵
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission


WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel
انواع مختلف جوش که می‌توان به صورت اتصال گونیا یا گوشه، آنها را ایجاد کرد
جوش شیاری با درز ساده یا مربعی
Square-groove weld
جوش گوشه
Fillet weld
جوش شیاری نیم‌لاله‌ای
J-groove weld
جوش شیاری نیم‌جناغی لبه‌گرد
Flare-V-groove weld
جوش نقطه‌ای
Spot weld
جوش شیاری جناغی یکطرفه
V-groove weld
جوش پیشانی یا لبه‌ای
Edge weld
جوش گونیا یا گوشه‌ای
Corner-flange weld
صفحه ۷۹۶
This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

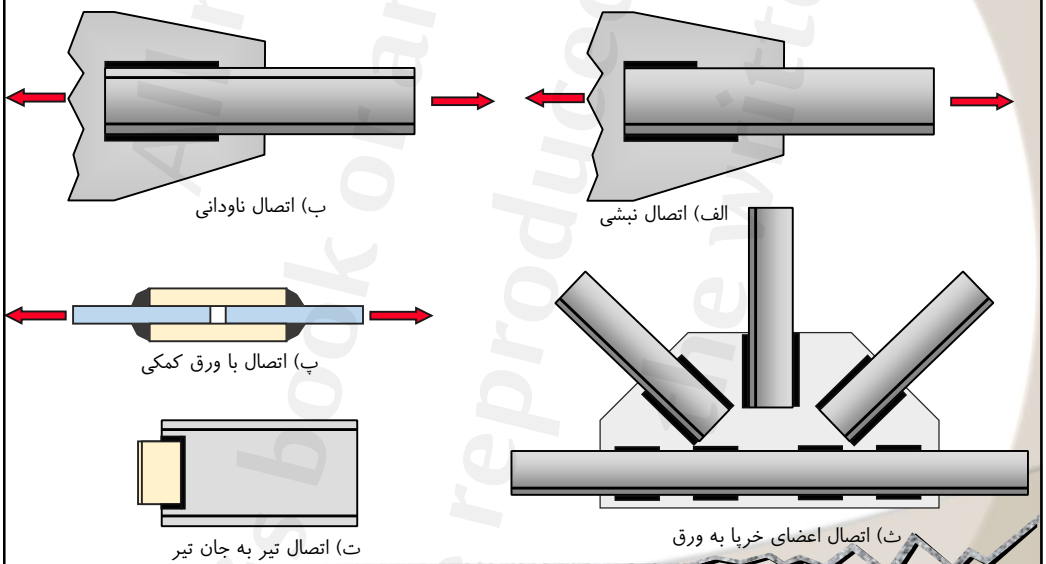
انواع مختلف جوش که می‌توان به صورت اتصال پیشانی یا لبه، آنها را ایجاد کرد



صفحه ۷۹۷ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر، نمونه‌هایی از کاربردهای اتصال روی‌هم نشان داده شده است

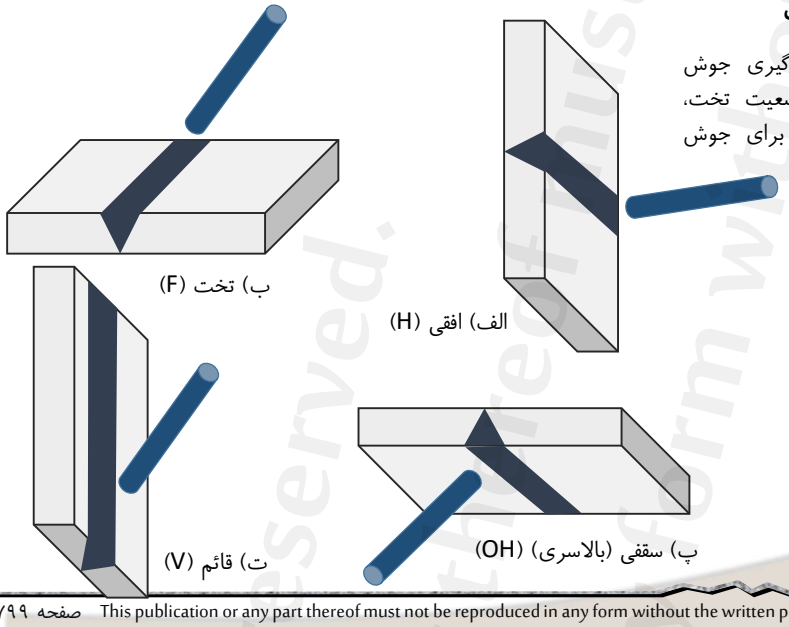


صفحه ۷۹۸ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع وضعیت جوشکاری

با توجه به نحوه قراگیری جوش نسبت به جوشکار، وضعیت تخت، افقی، قائم و بالاسری برای جوش متصور است.



ب) تخت (F)

الف) افقی (H)

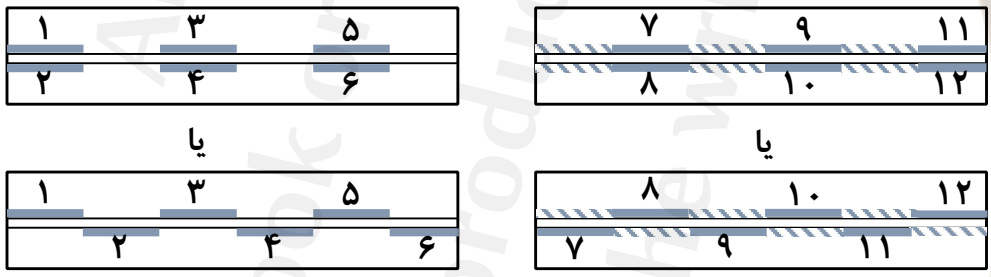
ت) قائم (V)

پ) سقفی (بالاسری) (OH)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترتیب صحیح جوشکاری ورق‌ها



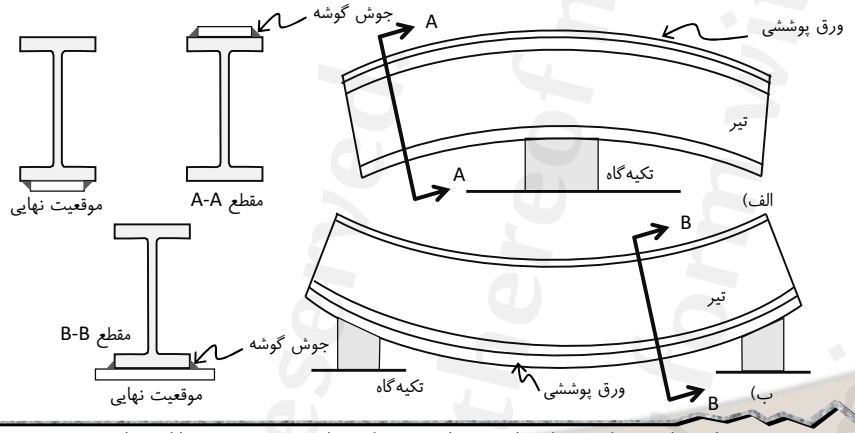
الف) ابتدا

ب) انتها

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در تیرهای مرکب، استفاده از ورق‌های پوششی در یک سمت پروفیل فولادی معمولی می‌باشد. در این حالت، احتمال ایجاد اعوجاج در قطعه زیاد می‌شود. جهت جلوگیری از ایجاد اعوجاج در برای اینگونه تیرها، مطابق شکل (الف)، در صورتی که عرض ورق از عرض بال تیر کمتر باشد، در هنگام جوشکاری، می‌توان وسط تیر را بر روی یک تکیه‌گاه قرار داد و عملیات جوشکاری را انجام داد. همچنین در حالتی که عرض ورق از عرض بال تیر بیشتر باشد، می‌توان مطابق شکل (ب)، از دو تکیه‌گاه در ابتدا و انتهای تیر استفاده نمود

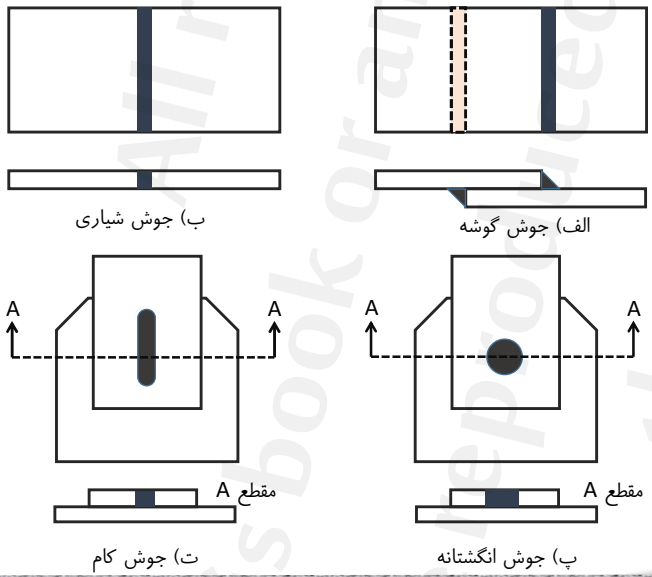


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع جوش

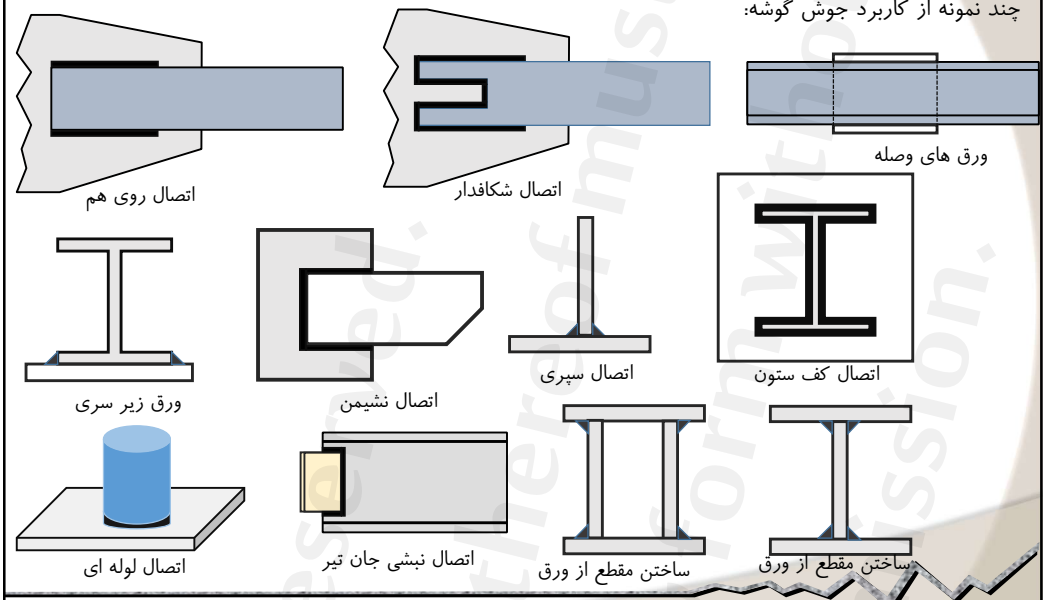
چهار نوع جوش وجود دارد که عبارتند از: جوش شیاری با نفوذ کامل ، جوش شیاری با نفوذ ناقص ، جوش کام، جوش گوشه و جوش انگشتانه. در سازه‌های فولادی بیشتر اتصالات بصورت گوشه بوده و جوش شیاری با وجود عملکرد مناسب کمتر از جوش گوشه استفاده می‌شود. استفاده از جوش‌های کام و انگشتانه نیز در رتبه‌های بعدی می‌باشد. استفاده از جوش گوشه به لحاظ سهولت در اجرا و اقتصادی بودن و امکان استفاده در اغلب اتصالات بیشتر مورد توجه طراحان است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چند نمونه از کاربرد جوش گوشه:

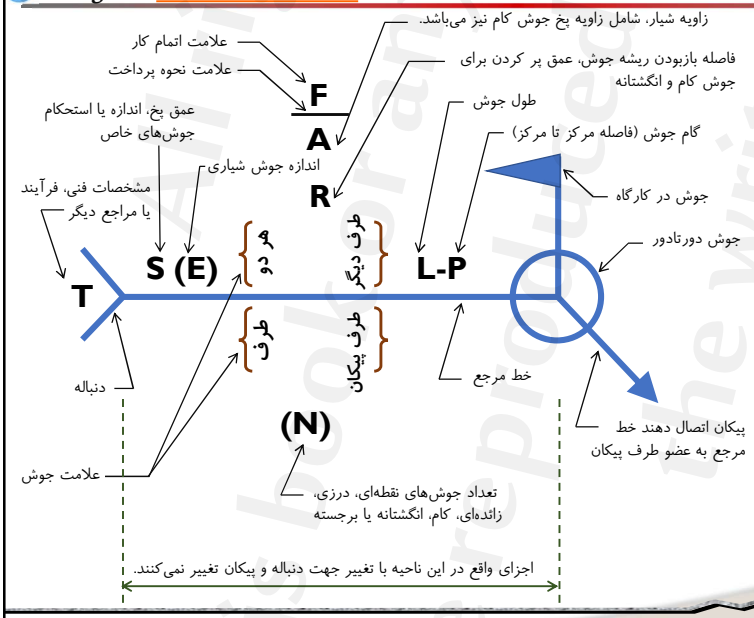


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

محل قراگیری اجزای یک علامت جوشکاری

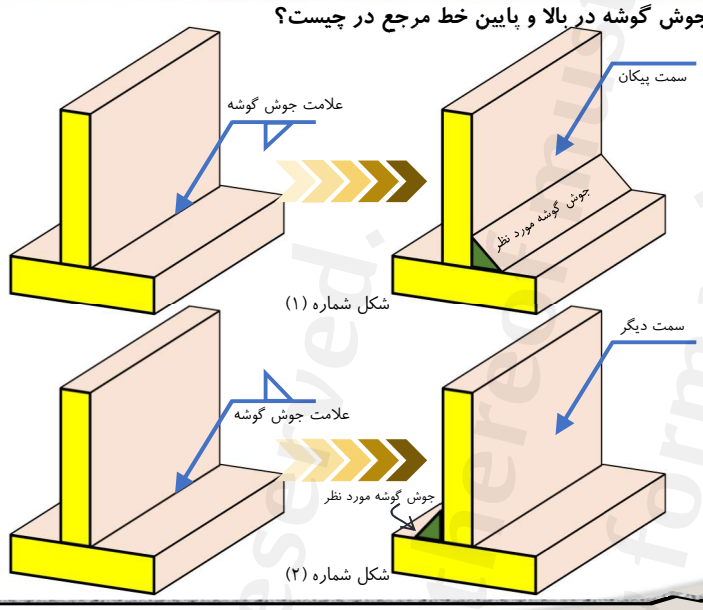
برای اینکه طراح سازه قادر به انتقال منظور خود مانند ابعاد، نوع و طول جوش مورد نظر باشد لازم است به ساده‌ترین شکل ممکن، علائم جوشکاری به سازنده اعلام شود. معمولاً در این زمینه از علائم تعریف شده توسط AWS استفاده می‌شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تفاوت محل قرار گیری علامت جوش گوشه در بالا و پایین خط مرجع در چیست؟

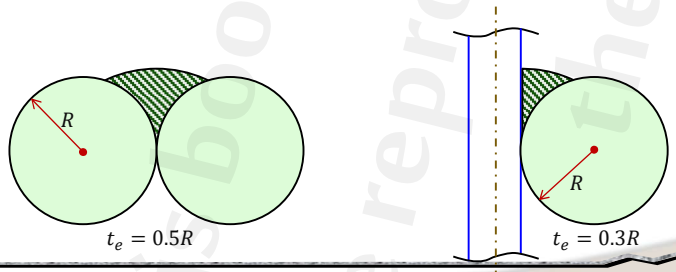


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

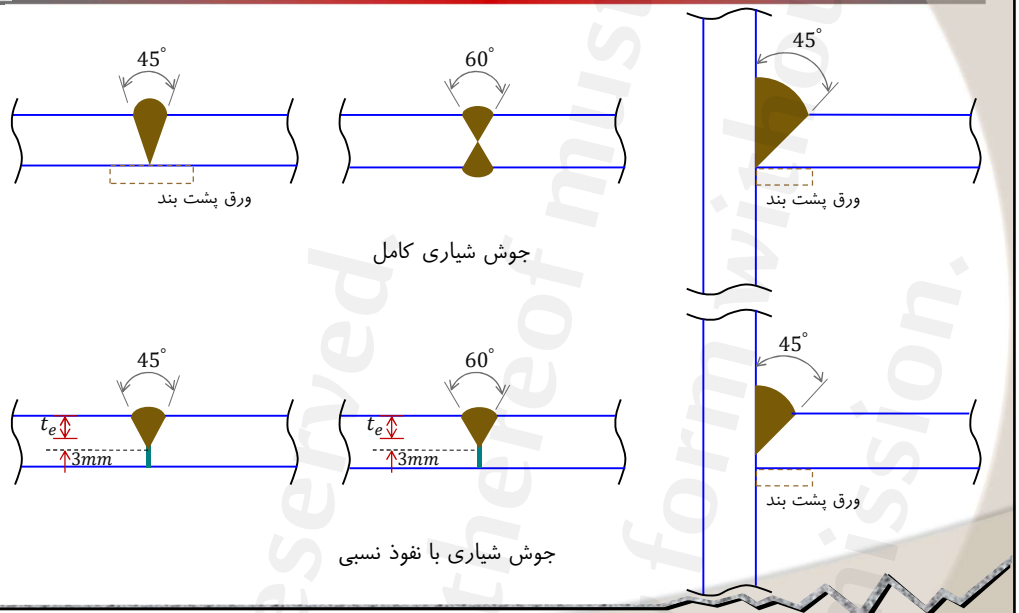
جوش‌های شیاری

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوش‌های شیاری عبارت است از حاصل‌ضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر جوش. طول مؤثر جوش برابر با طول جوش شده و ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ کامل برابر با ضخامت قطعهٔ نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعهٔ جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت مؤثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی (ناقص) در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد، مجاز نیست. ضخامت مؤثر جوش شیاری که بین دو لبهٔ گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) یا بین یک لبهٔ گرد و لبهٔ تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، باید مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۸ در نظر گرفته شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) محدودیت: ضخامت مؤثر در جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقدار موردنیاز محاسباتی و همچنین از مقادیر مندرج در جدول زیر کوچکتر باشد. حداقل ضخامت مؤثر با توجه به ضخامت قطعهٔ نازکتر تعیین می‌شود. در اتصال لب به لب قطعات، ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل شونده بزرگتر باشد.

حداقل ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی با یک بار عبور

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت موثر
تا ۶ میلیمتر	۳ میلیمتر
بیش از ۶ میلیمتر تا ۱۲ میلیمتر	۵ میلیمتر
بیش از ۱۲ میلیمتر تا ۲۰ میلیمتر	۶ میلیمتر
بیش از ۲۰ میلیمتر تا ۴۰ میلیمتر	۸ میلیمتر

درصورتیکه نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک بار عبور تأمین نمود، باید از پیش‌گرمایش یا فرآیندهای کم هیدروژن استفاده کرد.

برای قطعات با ضخامت بزرگتر از ۴۰ میلیمتر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعهٔ خاص مورد بررسی قرار گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

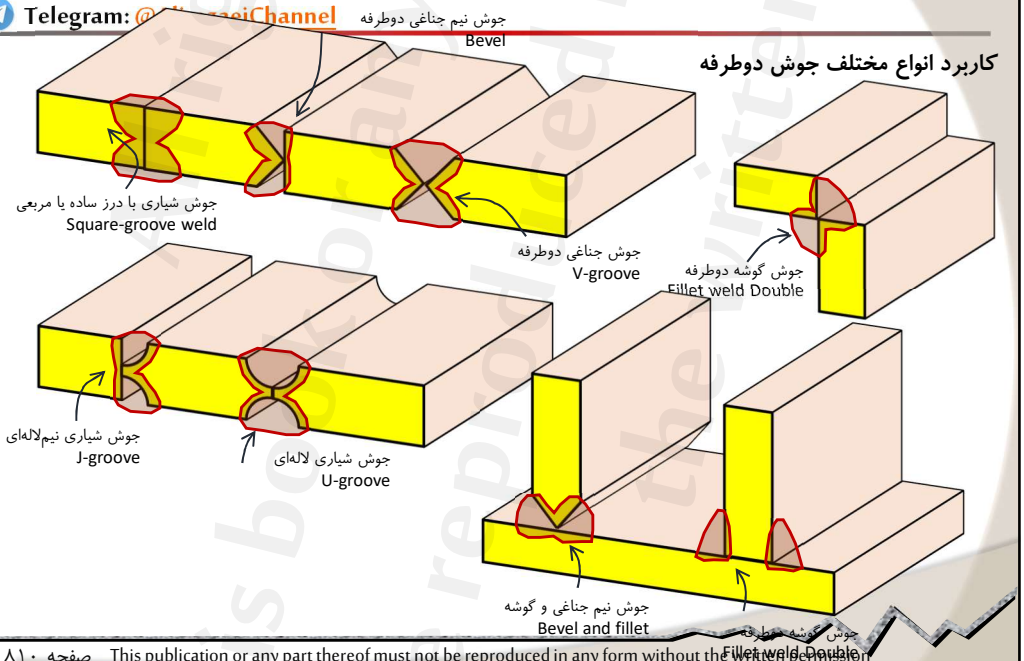
انواع آماده سازی لبه در جوش شیاری:

استفاده عمده از جوش شیاری در اتصالات لب به لب است. در این اتصال، اجرای جوش شیاری با و بدون ورق پشت بند انجام می‌شود. معمولاً بنا به صلاحدید طراح گاهی از پشت بند در جوشکاری استفاده می‌شود که این ممکن است به دلایلی چون جلوگیری از اکسید شدن پشت ریشه جوش، عدم ریزش مذاب از ریشه جوش، افزایش یا کاهش سرعت انجماد، اطمینان از خالی نبودن یا ایجاد زبر شدن در قسمت پشتی جوش و غیره از تسمه‌هایی که ممکن است از جنس قطعه کار یا فلزات و غیر فلزات دیگر می‌باشند، استفاده می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

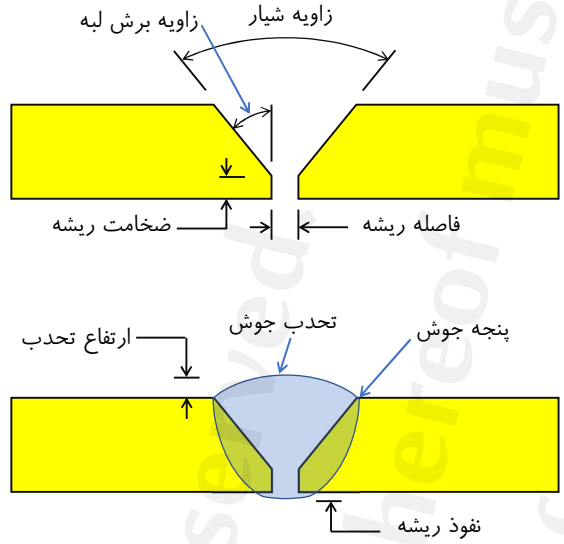
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کاربرد انواع مختلف جوش دوطرفه



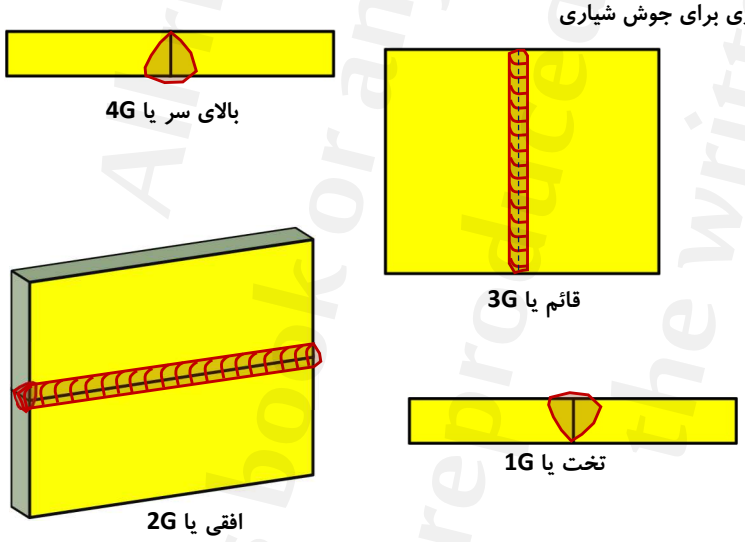
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

برخی از علائم متداول جوشکاری شیاری



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

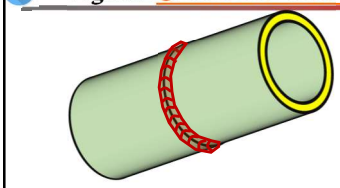
وضعیت‌های مختلف جوشکاری برای جوش شیاری



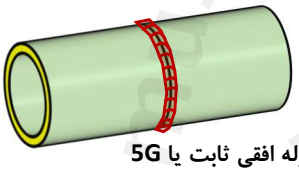
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

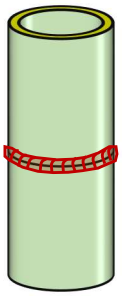
وضعیت‌های مختلف جوشکاری برای جوش شیاری لوله



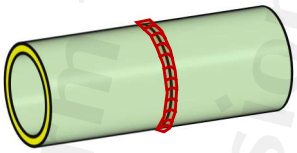
لوله به صورت ۴۵ درجه ثابت یا 6G



لوله افقی ثابت یا 5G



افقی یا 2G

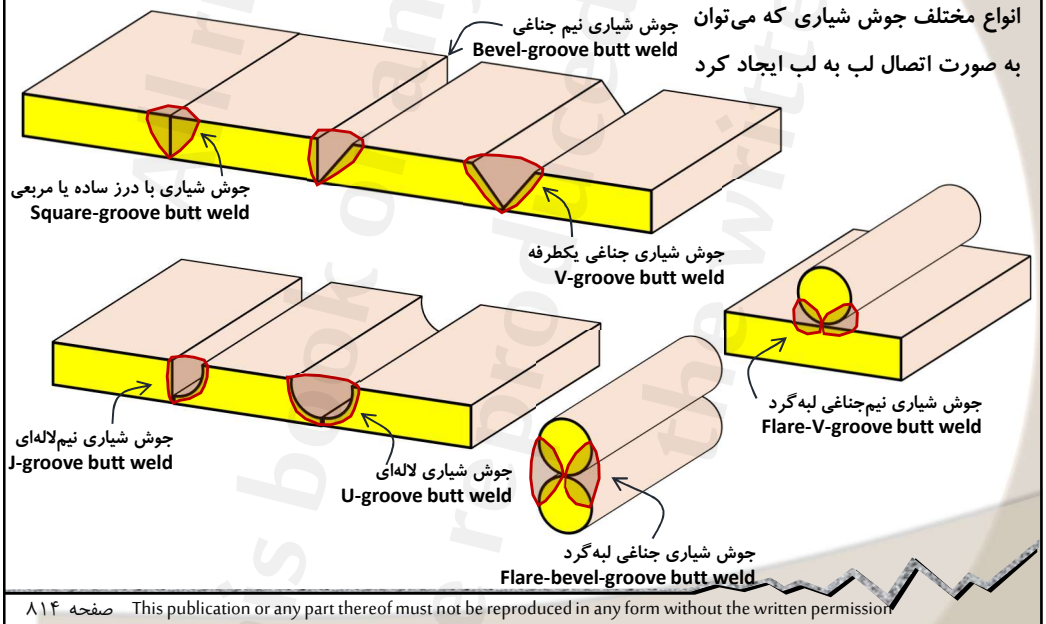


تخت یا 1G

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع مختلف جوش شیاری که می‌توان به صورت اتصال لب به لب ایجاد کرد

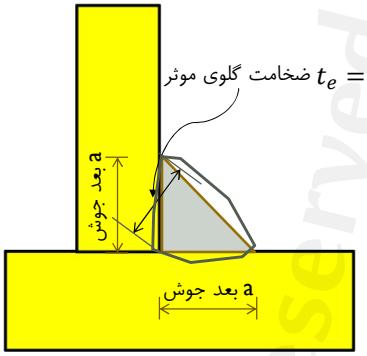


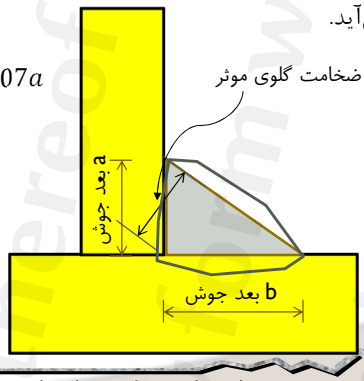
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوش‌های گوشه

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصلضرب طول مؤثر در ضخامت گلوگاه مؤثر در نظر گرفته می‌شود. طول مؤثر جوش گوشه (به جز جوش‌های گوشه‌ای که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت خورده (درصورتیکه طول برگشت کوچکتر از چهار برابر بعد جوش نباشد) است. بعد جوش گوشه برابر اندازه ساق مقطع جوش است. مطابق شکل زیر ضخامت گلوگاه مؤثر (t_e) در جوش گوشه برابر کوتاه‌ترین فاصله بین ریشهٔ مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می‌آید.





 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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

ب) محدودیت‌ها:

۱- حداقل بعد جوش‌های گوشه نباید از بعد موردنیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و اندازه‌های نشان داده شده در جدول زیر کوچکتر انتخاب شود. حداقل بعد جوش با یک بار عبور تابع ضخامت قطعهٔ نازکتر بوده و در هر حال نباید از ضخامت قطعهٔ نازکتر بیشتر باشد.

۲- حداکثر بعد جوش‌های گوشه در لبهٔ 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 قطعه منهای ۲ میلیمتر است.

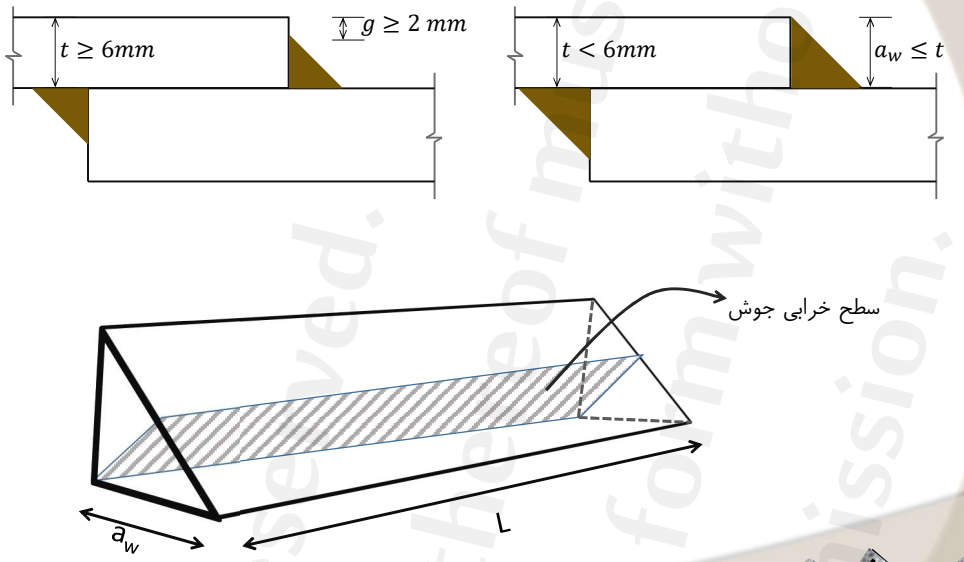
ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۶ میلیمتر	۳ میلیمتر
از ۶ تا ۱۲ میلیمتر	۵ میلیمتر
از ۱۲ تا ۲۰ میلیمتر	۶ میلیمتر
بیش از ۲۰ میلیمتر	۸ میلیمتر

• درصورتیکه نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک بار عبور تأمین نمود، باید از پیش‌گرمایش یا فرآیندهای کم هیدروژن استفاده کرد.

• در سازه‌های تحت بار دینامیکی با تکرار زیاد حداقل بعد جوش گوشه برابر ۵ میلیمتر است. بارهای ناشی از باد و زلزله در ردیف بارهای دینامیکی با تکرار زیاد قرار می‌گیرند.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۸۱۷ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۳- طول مؤثر جوش‌های گوشهٔ محاسباتی نباید از ۴ برابر بعد جوش کوچکتر باشد. به عبارت دیگر، بعد جوش نباید از یک‌چهارم طول آن بزرگتر باشد.

۴- در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول مؤثر 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 مؤثر آن باید به شرح زیر با ضریب β کاهش داده شود:

$$L_e = \beta L$$

$$0.6 \leq \beta = 1.2 - 0.002\left(\frac{L}{a}\right) \leq 1.0$$

در رابطهٔ فوق

L_e طول مؤثر هر خط جوش

L طول واقعی هر خط جوشی که در قسمت انتهایی اتصال به صورت طولی بارگذاری شده است.

a بعد جوش گوشه

β ضریب کاهش طول واقعی هر خط جوش

صفحه ۸۱۸ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای اتصال انتهایی یک تسمه کششی که به صورت محوری بارگذاری شده است، در امتداد طول تسمه از دو ردیف جوش گوشه هر یک به طول ۷۵۰ میلیمتر و بعد ۵ میلیمتر استفاده شده است. طول موثر هر ردیف جوش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مرداد ۹۴)

الف) ۷۵۰ میلیمتر　　ب) ۷۲۵ میلیمتر　　ج) ۶۷۵ میلیمتر　　د) ۵۳۵ میلیمتر

پاسخ:

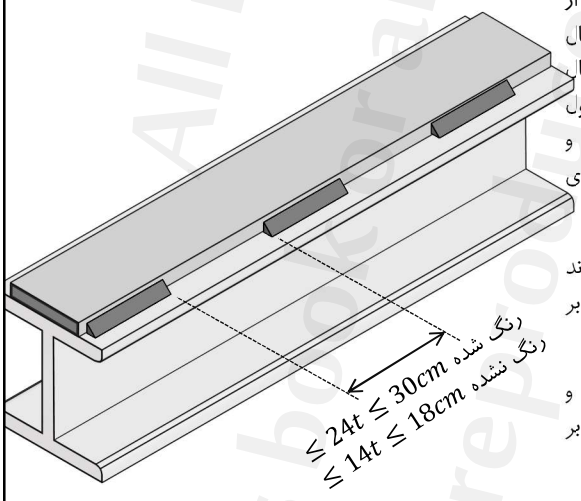
$$L_e = \beta L$$

$$0.6 \le \beta = 1.2 - 0.002\left(\frac{L}{a}\right) = 1.2 - 0.002\left(\frac{750}{5}\right) = 0.9 \le 1.0$$

$$\Rightarrow\ L_e = 0.9 \times 750 = 675\ mm$$

صفحه ۸۱۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



۵- استفاده از جوش‌های گوشهٔ منقطع برای انتقال نیروها در اتصال جان به بال تیرهای ساخته شده از ورق (تیرورق‌ها)، اتصال ورق‌های تقویتی بال، اتصال قطعات سخت کننده به جان تیرورق و برای اتصال اجزای اعضای ساخته شده از ورق مجاز است. طول مؤثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلیمتر کمتر باشد. فاصلهٔ آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

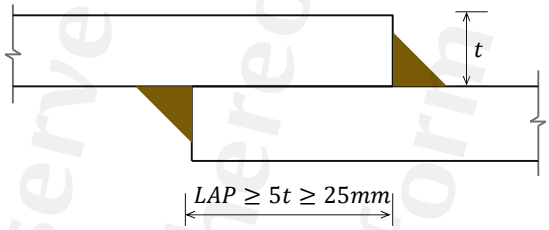
- در قطعات رنگ شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلیمتر
- در قطعات رنگ نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازکترین ورق یا ۱۸۰ میلیمتر

صفحه ۸۲۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۶- در اتصالات پوششی (رویهم) دو قطعه که تحت اثر تنش‌های محوری قرار دارند، اگر فقط از جوش گوشهٔ عرضی استفاده شده باشد، باید انتهای هر دو قطعه به یکدیگر جوش شود و مطابق شکل طول همپوشانی دو قطعه نباید از ۵ برابر ضخامت قطعهٔ نازکتر و ۲۵ میلیمتر کوچکتر باشد.

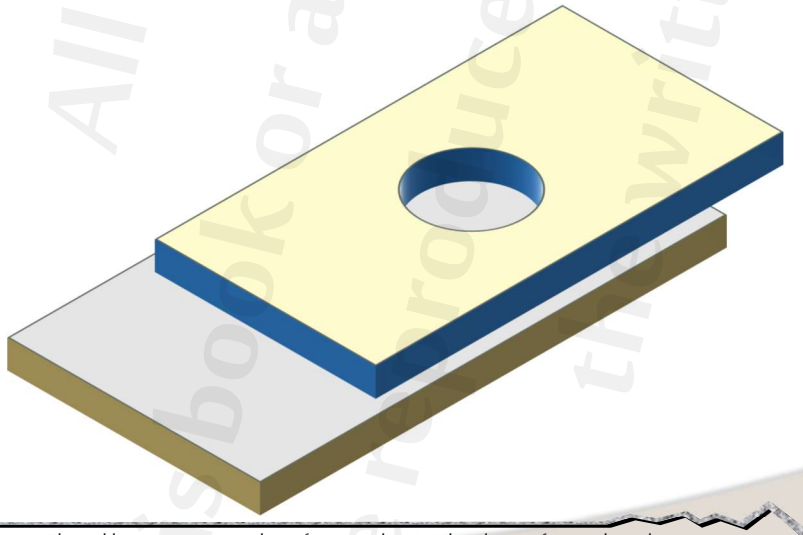
در وضعیتی که اتصال به اندازه کافی مقید شده باشد یا از طریق حداقل دو ردیف طولی جوش انگشتانه یا کام و یا دو یا چند خط جوش گوشهٔ طولی از تغییرشکل ناحیهٔ همپوشانی و در نتیجه از باز شدن اتصال تحت اثر بار محوری جلوگیری شود، می‌توان از جوش گوشهٔ عرضی فقط از یک طرف اتصال استفاده کرد و در این حالت نیازی به تأمین حداقل طول همپوشانی نیست.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۷- استفاده از جوش گوشه در لبهٔ سوراخ و شکاف در اتصالات رویهم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش یا جدایی قسمت‌های متصل شونده مجاز است. جوش‌های گوشه در سوراخ‌ها و شکاف‌ها به عنوان جوش کام یا انگشتانه تلقی نمی‌شوند.

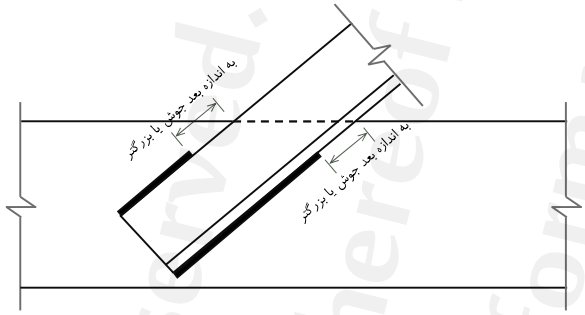


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

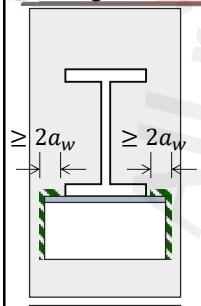
۸- جوش‌های گوشه می‌توانند به انتهای ناحیهٔ اتصال منتهی شده یا قبل از رسیدن به انتهای ناحیهٔ اتصال قطع شوند و یا حتی می‌توان آنها را طوری جوش داد تا به شکل قوطی یا ناودانی در بیاید. مگر در مواردی به شرح زیر که محدودیتی برای آنها وضع شده است:

• در اتصالات پوششی (رویهم) که یکی از قطعه‌های اتصالی تا پشت لبهٔ 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 زیر)



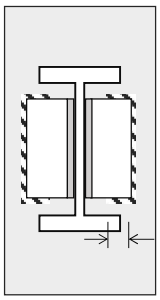
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



• در اتصالات مفصلی با نبشی نشیمن طول برگشت جوش گوشه در قسمت فوقانی اتصال نبشی نباید از دو برابر بعد جوش گوشه کوچکتر باشد.

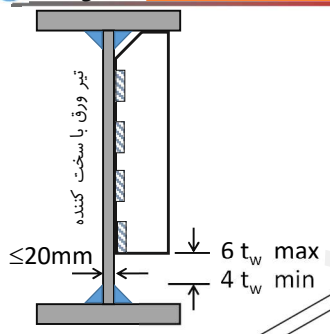
• در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان که انعطاف‌پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال نبشی‌ها است، طول برگشت جوش گوشه در قسمت فوقانی اتصال نبشی به تکیه‌گاه نباید از دو برابر بعد جوش گوشه کوچکتر و از چهار برابر بعد جوش و نیز نصف پهنای بال نبشی بزرگتر باشد. در این نوع اتصالات برگشت جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود.



$2a_w \leq$ طول برگشت $\leq 4a_w$ و نصف بال نبشی

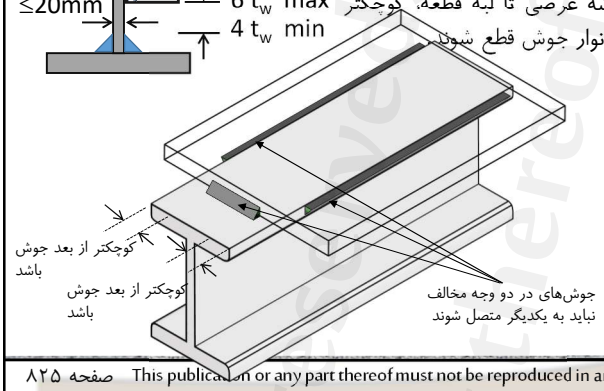
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



• ورق‌های سخت‌کنندهٔ عرضی باید به بال‌های تیر جوش شود. در مواردی که در اتصال، کنترل خستگی مدنظر باشد انتهای جوش گوشهٔ ورق‌های سخت کنندهٔ عرضی به جان تیرهای با ضخامت جان کوچکتر از ۲۰ میلیمتر، باید حداقل چهار برابر و حداکثر شش برابر ضخامت جان از پنجهٔ جوش گوشهٔ جان به بال کششی بارگذاری نشده، فاصله داشته باشد.

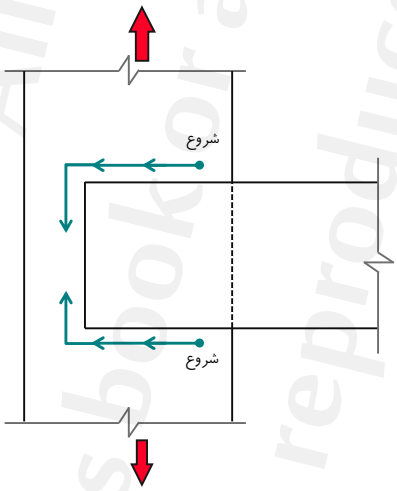
• جوش‌های گوشه‌ای که در دو وجه مخالف یک صفحهٔ مشترک ایجاد می‌شوند، درصورتیکه مطابق شکل، فاصلهٔ انتهای جوش گوشهٔ عرضی تا لبهٔ قطعه، کوچکتر از بعد جوش باشد، باید در گوشهٔ مشترک بین دو نوار جوش قطع شوند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

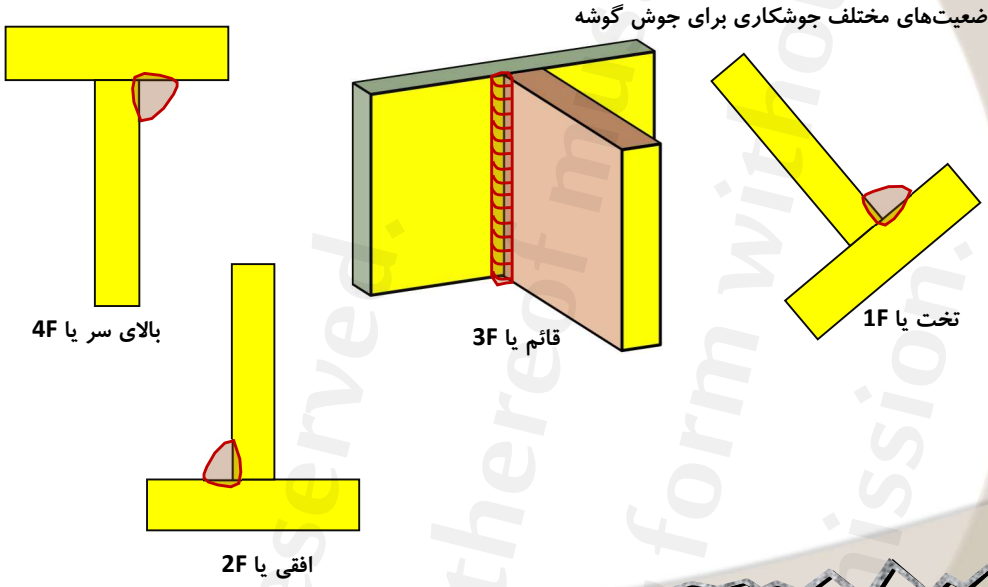
• در اتصالات پوششی (اتصالات رویهم) وقتی عضو زیری در کشش است، برای جلوگیری از زخم در لبه و ترد شکنی در جوش، انتخاب محل شروع و پایان مسیر جوشکاری باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین لازم است شروع خط جوش به اندازهٔ حداقل بعد جوش از لبهٔ عضو، فاصله داشته باشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

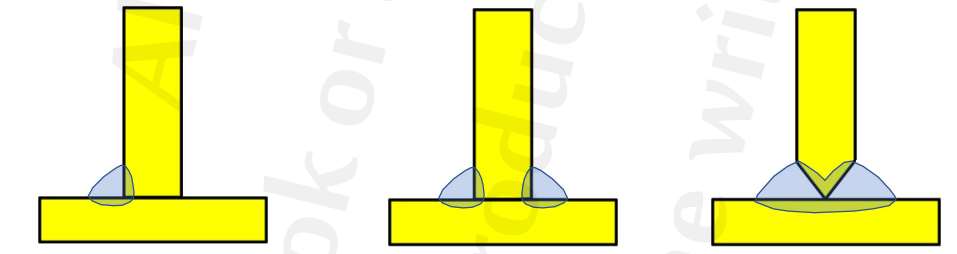
وضعیت‌های مختلف جوشکاری برای جوش گوشه



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انواع مختلف اتصال جوشی سپری یا T



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

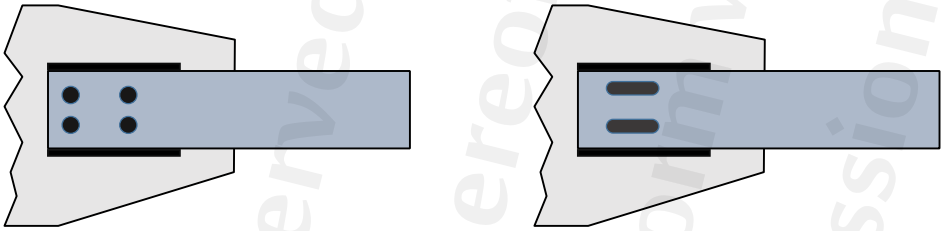
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جوش‌های انگشتانه و کام

الف) سطح مقطع مؤثر: برای جوش انگشتانه و کام، سطح مقطع مؤثر در برش مساوی سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحهٔ 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 روی‌هم‌آمده در اعضای ساخته شده، مجاز است.



الف) جوش گوشه به همراه جوش کام

ب) جوش گوشه به همراه جوش انگشتانه

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲- قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعهٔ سوراخ‌شده به‌اضافهٔ ۸ میلیمتر کمتر باشد. همچنین قطر مورد اشاره نباید از قطر حداقل به‌اضافه ۳ میلیمتر یا **2.25** برابر ضخامت جوش بزرگتر شود. بنابراین

$t \le 8$ mm → $d_{max}=t+11$ mm

$t > 9$ mm → $d_{max}=2.25a_w$

۳- حداقل فاصلهٔ 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 قطعهٔ بریده‌شده 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 قطعهٔ حاوی شکاف) می‌شود؛ مگر اینکه انتهای شکاف به لبهٔ قطعه منتهی شده باشد.

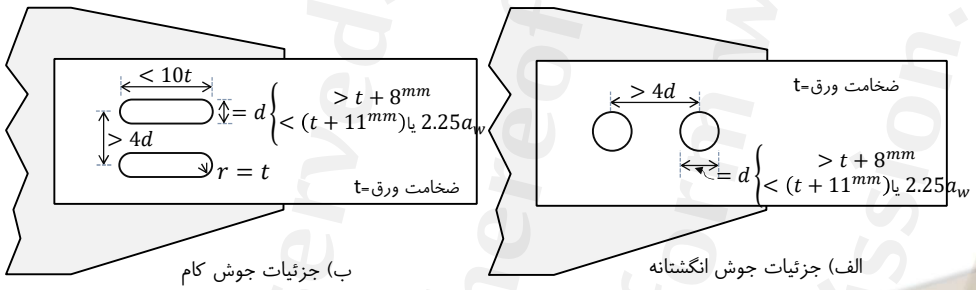
۷- حداقل فاصلهٔ مرکز تا مرکز شکاف‌ها در امتداد عمود بر طول، چهار برابر پهنای شکاف و حداقل فاصلهٔ مرکز تا مرکز شکاف‌ها در امتداد طول، دو برابر طول شکاف است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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.



ب) جزئیات جوش کام

الف) جزئیات جوش انگشتانه

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت موجود جوش‌ها

مقاومت موجود جوش در طراحی به روش LRFD مساوی ϕR_n و در طراحی به روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن مقادیر ϕ و Ω مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۳ تعیین می‌شوند و R_n مقاومت اسمی جوش است و 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

$$R_n = F_{nBM} A_{BM}$$

ب) براساس مصالح فلز جوش

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

که در آن:

F_{nBm} تنش اسمی فلز پایه مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۳، F_{nw} تنش اسمی فلز جوش مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۳

A_{BM} سطح مقطع فلز پایه، A_{we} سطح مقطع مؤثر جوش

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در جوش‌های گوشه به غیر از جوش‌هایی که تحت اثر نیروهای محوری کششی یا فشاری موازی با محور جوش قرار دارند، کلیهٔ تنش‌ها می‌تواند به صورت برشی بر روی سطح مقطع مؤثر جوش در نظر گرفته شود. درصورتیکه جوش تحت اثر ترکیبی از لنگر خمشی، پیچشی، نیروی برشی و نیروی محوری قرار داشته باشد، تنش‌های مورد اشاره برآیند (به صورت برداری) تنش‌های ناشی از این نیروها خواهد بود که باید کمتر از مقاومت موجود جوش مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۳ باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۳: 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) یا افزایش مقاومت مجاز (Ω)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبهٔ 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	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می‌گردد.		

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ) یا افزایش مقاومت مجاز (Ω)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش شیاری با نفوذ نسبی	کششی در امتداد عمود بر محور جوش	براساس فلز پایه	ϕ=0.75 Ω=2.0	$F_{nBM}=F_u$ *
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.8 Ω=1.88	$F_{nw}=0.6F_{ue}$ *
	فشاری- ستون بر کف‌ستون و وصله‌های ستون مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱-۳-الف		طراحی ندارد	
	فشاری– در اعضای با سطوح در تماس با هم (به غیراز ستون‌ها و مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱-۳-ب)	براساس فلز پایه	ϕ=0.9 Ω=1.67	$F_{nBM}=F_y$ *
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.8 Ω=1.88	$F_{nw}=0.6F_{ue}$
	فشاری– اتصالات اعضای بدون سطوح در تماس با هم	براساس فلز پایه	ϕ=0.9 Ω=1.67	$F_{nBM}=F_y$
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.8 Ω=1.88	$F_{nw}=0.9F_{ue}$
	کششی یا فشاری موازی با محور جوش		طراحی ندارد	
	برشی	براساس فلز پایه	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴	
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.75 Ω=2.0	$F_{nw}=0.6F_{ue}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ) یا افزایش مقاومت مجاز (Ω)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش گوشه	برشی	براساس فلز پایه	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.75 Ω=2.0	$F_{nw}=0.6F_{ue}$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	طراحی ندارد		
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	براساس فلز پایه	مطابق بند ۱۰-۲-۹-۴	
		براساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	ϕ=0.75 Ω=2.0	$F_{nw}=0.6F_{ue}$

یادداشت‌های جدول ۱۰-۲-۹-۳

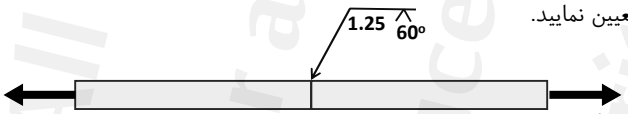
* F_y تنش تسلیم فلز پایه، F_u تنش کششی نهایی فلز پایه، F_{ue} تنش کششی نهایی فلز جوش

** فلز جوش باید مطابق بند ۱۰-۲-۹-۶ سازگار با مصالح فلز پایه باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل زیر، دو ورق به ابعاد 2.5×10 سانتیمتر، توسط جوش شیاری با نفوذ نسبی برابر با 1.25 سانتیمتر به یکدیگر متصل شده‌اند. فلز پایه از نوع ST37 و الکترود استفاده شده از نوع E70XX است. ظرفیت طراحی جوش این اتصال را به روش حالات حدی تعیین نمایید.



سطح مقطع موثر جوش برابر است با:

$$A_{we} = (1.25 - 0.3) \times 10 = 9.5\ cm^2$$
$$A_{BM} = 1.25 \times 10 = 12.5\ cm^2$$

بنابراین طبق جدول ۱۰-۲-۹-۳ مبحث دهم، مقدار ظرفیت کششی در امتداد عمود بر مقطع موثر برابر است با:

$$\min \begin{cases} \phi R_n = \phi F_{nBM} A_{BM} = 0.75 \times 3700 \times 12.5 \times 10^{-3} = 34.7\ ton \\ \phi R_n = \phi F_{nw} A_{we} = 0.8 \times 0.6 \times 4900 \times 9.5 \times 10^{-3} = 22.3\ ton \end{cases} = 22.3\ ton$$

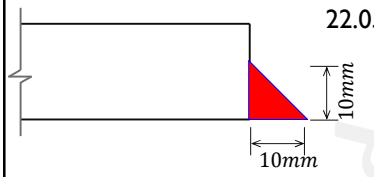
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت اسمی جوش گوشه نشان داده شده در شکل برای ۱۰ میلیمتر طول جوش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فرض کنید جوشکاری در محل بوده و جوش توسط بازرس جوش بازرسی چشمی می‌شود. همچنین فرض کنید الکترود مصرفی از نوع E70 می‌باشد. (آذر ۹۲)

الف) 13.4 kN ب) 15.6 kN ج) 20.8 kN د) 22.05kN



پاسخ:

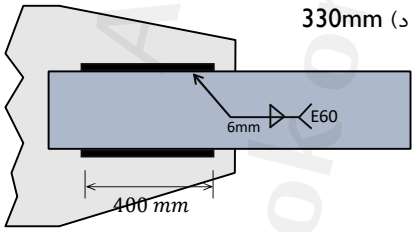
$$t_e = 0.707a_w = 0.707 \times 10 = 7.07\ mm$$
$$R_n = F_{nw}A_{we} = 0.6 \times 490 \times 7.07 \times 10 \times 10^{-3} = 20.7\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای اتصال یک عضو کششی، با فرض انجام جوش در محل و بازرسی چشمی توسط بازرس ذیصلاح جوش، جزئیات زیر ارائه شده است. در صورتیکه جوش در کارخانه و با استفاده از الکترود E70 انجام شود (و سایر مشخصات بدون تغییر بماند) به جای L=400mm برای هر خط جوش، حداقل طولی که می‌توان درنظر گرفت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید سایر محدودیت‌ها حاکم بر طراحی نمی‌باشد) (خرداد ۹۳)

الف) 300mm ب) 260mm ج) 350mm د) 330mm



پاسخ:

$$\frac{L}{a_w} = \frac{400}{6} = 66.7 < 100$$
$$R_{n1} = R_{n2} \Rightarrow 0.707 \times 0.6 \times 0.6 \times 4200 \times (2 \times 40) = 0.707 \times 0.6 \times 0.6 \times 4900 \times (2x)$$
$$\Rightarrow x = 34\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 زاویهٔ θ باشد، به‌عنوان یک گزینهٔ دیگر طراحی، مقاومت اسمی فلز جوش گوشه را می‌توان از طریق رابطهٔ زیر نیز تعیین نمود (در صورتی که نیرو با زوایه به جوش اعمال شود، مقاومت جوش گوشه را می‌توان توسط رابطه تشدید زیر، بیشتر در نظر گرفت):

$$R_n = F_{nw}A_{we}$$
$$F_{nw} = 0.6F_{ue}(1.0 + 0.5\sin^{1.5}\theta)$$

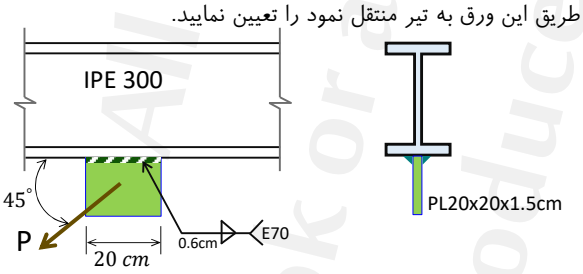
ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

θ زاویهٔ بین امتداد نیروی وارد بر مرکز ثقل جوش‌ها نسبت به خطوط طولی جوش‌ها است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل، یک تیر با مقطع IPE300، تحت نیروی از طرف یک ورق که با جوش دو طرفه به آن متصل شده است، قرار دارد. در صورتی که زاویه نیرو ۴۵ درجه و نوع الکترود مصرفی E70XX و بعد جوش گوشه استفاده شده برابر ۶ میلیمتر باشد، حداکثر باری که می‌توان از طریق این ورق به تیر منتقل نمود را تعیین نمایید.



ضخامت بال IPE300 برابر 1.07 cm است. چون این ضخامت از ضخامت ورق کمتر است، ضخامت بال تیر ملاک تعیین بعد موثر جوش می‌باشد. بنابراین طبق جدول ۱۰-۲-۹-۲ حداقل بعد جوش گوشه برابر ۵ میلیمتر می‌باشد که در اینجا از جوش ۶ میلیمتری استفاده شده است. زاویه اعمال نیرو در این اتصال برابر ۴۵ درجه نسبت به محور جوش‌ها می‌باشد.

$$\phi R_n = \phi F_{nw}A_{we} = \phi 0.6F_{ue}(1.0 + 0.5\sin^{1.5}\theta)A_{we}$$
$$= 2 \times 0.75 \times 0.6 \times 4900 \times (1.0 + 0.5\sin^{1.5}45) \times 20 \times 0.707 \times 0.6 \times 10^{-3} = 48\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره ۲: برای گروه جوش گوشه که متشکل از جوش‌های گوشهٔ طولی و عرضی (عمود بر محور جوش‌های گوشهٔ طولی) بوده و نیروی وارد بر مرکز ثقل گروه جوش‌ها در امتداد جوش‌های گوشهٔ طولی باشد، به عنوان یک گزینهٔ دیگر طراحی، مقاومت اسمی گروه جوش گوشه را می‌توان مطابق روابط زیر، بزرگترین دو مقدار R_{n1} و R_{n2} در نظر گرفت

$$R_{n1} = R_{nwl} + R_{nwt}$$
$$R_{n2} = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt}$$

R_{nwl} مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به صورت طولی که با توجه به جدول ۱۰-۲-۹-۳ تعیین می‌شود.

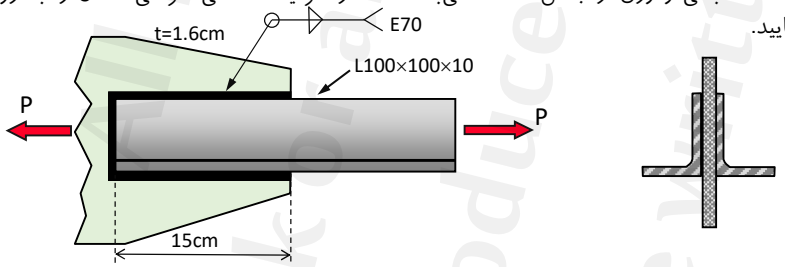
R_{nwt} مقاومت اسمی کل برای جوش گوشه، بارگذاری شده به صورت عرضی که با توجه به جدول ۱۰-۲-۹-۳ و بدون در نظر گرفتن افزایش تبصرهٔ (۱) بالا تعیین می‌شود.

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 موردنیاز گروه جوش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل، دو نبشی L100×100×10 به یک ورق با ضخامت 1.6 cm و با الکترود E70XX با جوش گوشه با بعد ۶ میلیمتر متصل است. نبشی و ورق از جنس ST37 می‌باشند. مقدار ظرفیت کششی طراحی اتصال را به روش حالات حدی تعیین نمایید.



طول کل جوش طولی برای دو نبشی برابر l_{wl}=4×15=60 cm و طول کل جوش عرضی برای دو نبشی برابر l_{wt}=2×10=20 cm است. مقاومت اسمی جوش برای یک سانتیمتر طول آن با بُعد ۶ میلیمتر برابر است با:

$$F_{nw}A_{we} = 0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 0.6 = 1247\ kg/cm$$
$$R_{n1} = R_{nwl} + R_{nwt} = (60 \times 1247 + 20 \times 1247) \times 10^{-3} = 99.7\ ton$$
$$R_{n2} = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} = (0.85 \times 60 \times 1247 + 1.5 \times 20 \times 1247) \times 10^{-3} = 101\ ton$$
$$\phi R_n = 0.75 \times 101 = 75.7\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترکیب انواع جوش‌ها

طبق بند ۱۰-۲-۹-۲-۵ 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 هریک از جوش‌ها را جداگانه نسبت به محور مجموعهٔ جوش محاسبه و سپس مقاومت موجود مجموعه را از مجموع مقاومت‌های موجود تک تک جوش‌ها تعیین نمود.

الکترود (فلز پرکنندهٔ) سازگار با فلز پایه

طبق بند ۱۰-۲-۹-۲-۶ الکترود (فلز پرکنندهٔ جوش) سازگار با فلز پایه مطابق جدول زیر تعریف می‌شود:

تنش تسلیم مشخصهٔ مصالح فلز پایه (F_y)	نوع الکترود سازگار
تا 300 MPa و $t \le 20$ mm (t ضخامت فلز پایه)	E60 یا معادل آن
	E70 یا معادل آن
تا 300 MPa و $t > 20$ mm	E70 یا معادل آن
از 300 MPa تا 380 MPa	E70 یا معادل آن
از 380 MPa تا 460 MPa	E80 یا معادل آن

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فلز پرکنندهٔ جوش (نوع الکترود مصرفی) برای انواع مختلف جوش‌ها باید الزامات زیر را تأمین 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 ۱۰-۲-۹-۴ از فلز پرکنندهٔ سازگار یا حداکثر یک رده بالاتر از فلز پرکنندهٔ 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 پرکنندهٔ سازگار مجاز است

۳- برای جوش‌های گوشه، انگشتانه و کام رعایت فلز پرکنندهٔ سازگار الزامی نبوده، لیکن در هر حال استفاده از فلز پرکننده دارای مقاومتی بیش از یک رده بالاتر از مقاومت فلز پرکنندهٔ سازگار مجاز نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فلز جوش مختلط

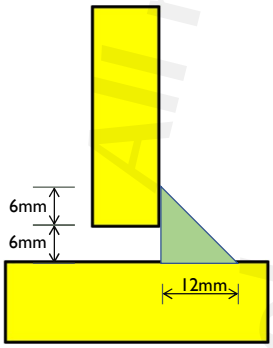
هرگاه طاقت نمونه زخم‌دار (آزمایش شارپی) به عنوان شرطی برای مصالح جوش تعیین شده باشد، مصالح و روش جوشکاری برای فلز تمام جوش‌ها اعم از خال‌جوش، عبور جوش در عمق و ریشه اتصال یا عبورهای بعدی که جوش تکمیلی را در اتصال ایجاد می‌کند، باید سازگاری لازم را داشته باشد تا طاقت نمونه زخمدار برای فلز جوش مختلط محرز شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) به لحاظ محاسباتی، ضخامت گلوگاه موثر جوش گوشه نشان داده شده در شکل زیر بر حسب میلیمتر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (اردیبهشت ۹۷)

الف) 8.5 ب) 4.2 ج) 5.4 د) 6.0



پاسخ:

به دلیل اینکه ورق بالایی با فاصله از ورق زیری قرار گرفته است نمی‌توان بعد موثر را با بعد جوش 12 میلیمتر محاسبه کرد و باید بعد موثر با بعد جوش 6 میلیمتر محاسبه شود.

$$t_e = 0.707 a_w = 0.707 \times 6 = 4.2\ m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

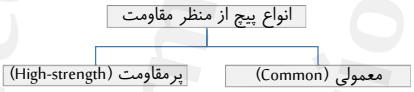
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پیچ‌ها و میله‌های دندانه شده

انواع پیچ‌ها

ردهٔ مکانیکی و مشخصات انواع متداول پیچ‌های مورد استفاده در سازه‌های فولادی برای پیچ‌های معمولی و پرمقاومت در جدول ۱۰-۱-۵ ارائه شده است. برای میله‌های دندانه شده استفاده از کلیهٔ فولادهای مجاز ساختمانی معرفی شده در بخش ۱۰-۱ بلامانع است. برای هر پیچ باید واشر و مهرهٔ سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

اتصالات پیچی از لحاظ نحوهٔ اجرای پیچ‌ها (سفت کردن آنها) و مقاومت موجود آنها به شرح زیر به سه دستهٔ «اتکایی»، «پیش‌تنیده» و «لغزش بحرانی» تقسیم بندی می‌شوند:



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 تنهٔ پیچ (قلم پیچ) به جدارهٔ سوراخ انتقال می‌دهند و از مقاومت لغزشی موجود بین سطوح تماس اتصال صرف نظر می‌شود.

سفتی کامل نحوهٔ 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 احراز گردد. 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 مواردی که در بخش (ب) و (پ) همین بند و نیز در اتصالات اعضای فشاری ساخته شده مطابق بند ۱۰-۲-۴-۶-۲ قید شده است، استفاده از اتصالات اتکایی با پیچ‌های معمولی یا پرمقاومت مجاز است. مقاومت موجود پیچ‌ها در اتصالات اتکایی براساس بندهای ۱۰-۲-۹-۳-۳ و ۱۰-۲-۹-۳-۴ و جدول ۱۰-۲-۹-۹ به دست می‌آید. همچنین، مقاومت اتکایی و پارگی موجود باید مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۳-۷ و ۱۰-۲-۹-۳-۸ کنترل گردد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) اتصالات پیش‌تنیده: اتصالات پیش‌تنیده اتصالاتی هستند که اولاً پیچ‌های آن از جنس فولاد پرمقاومت باشد و ثانیاً به لحاظ مشخصات هندسی قابلیت پیش‌تنیدگی داشته باشند و ثالثاً 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. در فصل ۱۰-۴ در مورد این روش‌ها توضیحات بیشتری ارائه شده است. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در این پیچ‌ها باید مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۵ باشد. مقاومت برشی و اتکایی موجود این نوع اتصالات مطابق اتصالات اتکایی تعیین می‌گردد و در آنها از مقاومت لغزشی موجود سطوح تماس اتصال صرف نظر می‌شود. در اتصالات پیش‌تنیده به غیراز اتصالاتی که ملاک طراحی آنها نیروهای ناشی از زلزله بوده و باید الزامات فصل ۱۰-۳ مبحث دهم برای سطوح تماس آنها تأمین شود، رعایت شرایط اضافی الزامی نیست. استفاده از این نوع اتصالات علاوه بر مواردی که در این مبحث ذکر شده، در شرایط زیر الزامی است:

- در اتصالات اعضای فشاری ساخته شده مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۴

- در اتصالاتی که تحت اثر ارتعاش احتمال شُل شدگی پیچ‌ها وجود داشته باشد.

- در مواقعی که اتصال تحت اثر نیروهای رفت و برگشتی قابل ملاحظه قرار دارد.

- در مواقعی که اتصال تحت اثر بارهای خستگی آور بدون برگشت جهت بار قرار دارد.

- کلیهٔ پیچ‌ها در رده مقاومتی A490 مطابق استاندارد ASTM و 10.9 مطابق استانداردهای EN و ISIRI و بالاتر که تحت اثر نیروی کششی همراه با نیروی برشی یا بدون آن و یا بدون اثر خستگی قرار دارند.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 مطابق بند ۱۰-۲-۹-۳-۵ باشند. در سطوح در تماس این نوع اتصالات نباید لغزش رخ دهد و پیچ به جدارهٔ سوراخ اتکاء نمی‌یابد. با این وجود، مقاومت اتکایی و پارگی موجود باید مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۳-۷ و ۱۰-۲-۹-۳-۸ کنترل شود. مقاومت موجود این پیچ‌ها مطابق بند ۱۰-۲-۹-۳-۵ و ۱۰-۲-۹-۳-۶ انجام می‌پذیرد.

استفاده از اتصالات لغزش بحرانی علاوه بر مواردی که در سایر بخش‌های این مبحث ذکر شده در شرایط زیر الزامی است:

- در کلیهٔ 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. مطابق این مبحث، 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 مبحث مجاز شمرده شده باشد.

- در اتصال انتهای ورق‌های پوششی بال‌های تیر مطابق بند ۱۰-۲-۵-۱۳

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۹-۵ : حداقل نیروی پیش‌تنیدگی (T_b) در اتصالات پیش‌تنیده و لغزش بحرانی

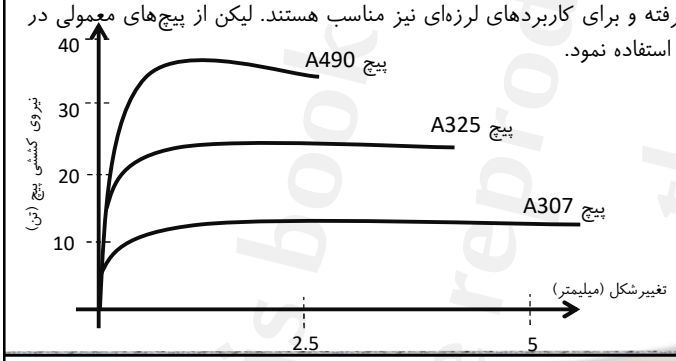
قطر اسمی پیچ (بر حسب میلیمتر)	پیچ‌های نوع A325 مطابق استاندارد ASTM و 8.8 مطابق استانداردهای EN و ISIRI	پیچ‌های نوع A490 مطابق استاندارد ASTM و 10.9 مطابق استانداردهای EN و ISIRI
M16	91 kN	114 kN
M20	142 kN	179 kN
M22	176 kN	221 kN
M24	205 kN	257 kN
M27	267 kN	334 kN
M30	326 kN	408 kN
M36	475 kN	595 kN

تبصره: در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۹-۵ 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 پیچ، A_{eb} سطح مقطع پیچ در محل دندانه‌ها و F_u تنش کشش نهایی مصالح پیچ است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

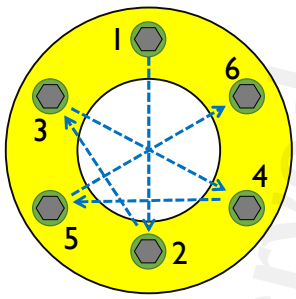
پیچ‌های معمولی به مانند پیچ‌های کلاس A307 با کربن کم، دارای تنش کششی نهایی حداقل ۴۰۰ مگاپاسکال می‌باشند. پیچ‌های پرمقاومت، به مانند پیچ‌های کلاس A325 دارای تنش کششی نهایی حداقل ۸۰۰ مگاپاسکال و پیچ‌های کلاس A490 دارای تنش کششی نهایی ۱۰۰۰ مگاپاسکال هستند. در کشور ما برای تولید پیچ از استاندارد اروپایی ISO استفاده می‌شود. مزایای اتصال پیچی عبارتند از: ۱- سرعت نصب و مونتاژ بالا، ۲- امکان بازنمودن سازه و استفاده مجدد، ۳- محدودیت در تامین وسایل جوشکاری، ۴- عدم نیاز به کارگر ماهر، ۵- بی سر و صدا بودن هنگام نصب. نمودار نیرو در برابر جابجایی برای دو نوع پیچ پرمقاومت A490 و A325 و پیچ معمولی A307 نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، پیچ‌های پرمقاومت قادر به تحمل بار زیادی هستند، ولیکن شکل‌پذیری پیچ معمولی بیشتر است. پیچ‌های پرمقاومت در رده پیچ‌های سازه‌ای قرار گرفته و برای کاربردهای لرزه‌ای نیز مناسب هستند. لیکن از پیچ‌های معمولی در مواقعی که انتظار خستگی می‌رود، نبایستی استفاده نمود.



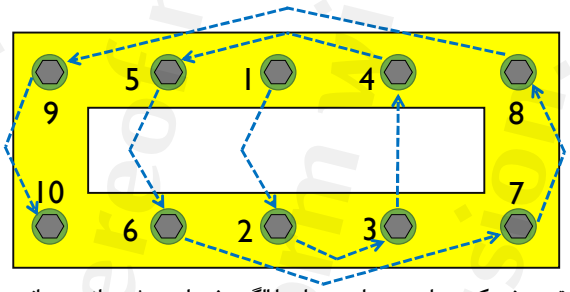
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ترتیب سفت کردن پیچ با الگوهای مختلف



ترتیب سفت کردن ضربدری برای پیچ‌های با الگوی دایره



ترتیب سفت کردن ماریپیچی برای پیچ‌های با الگوی غیردایره و شروع از پیچ میانی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 جدارهٔ سوراخ و رعایت فواصل سوراخ‌ها از لبهٔ قطعه و نیز از یکدیگر نقش مهمی در میزان مقاومت و باربری اتصالات پیچی ایفا می‌کند ازاین‌رو، باید به شرح زیر الزامات بندهای (الف) تا (ج) در طراحی و محاسبه رعایت گردند.

الف) انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

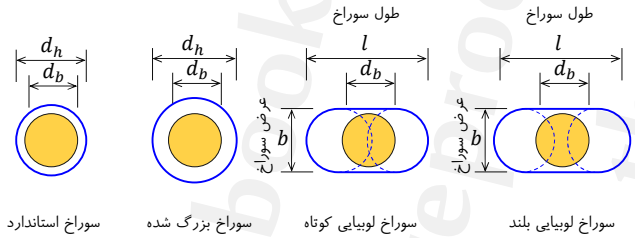
مطابق شکل زیر در اتصالات پیچی سوراخ‌ها باید یکی از انواع زیر باشند:

۱- سوراخ استاندارد

۲- سوراخ بزرگ‌شده

۳- سوراخ لوبیایی کوتاه

۴- سوراخ لوبیایی بلند



سوراخ استاندارد — سوراخ بزرگ شده — سوراخ لوبیایی کوتاه — سوراخ لوبیایی بلند

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) محدودیت ابعاد اسمی سوراخ‌ها و دامنهٔ کاربرد آنها

۱- ابعاد حداکثر سوراخ پیچ‌ها باید مطابق جدول زیر باشند.

d_b قطر اسمی پیچ

قطر پیچ (mm)	ابعاد اسمی سوراخ (mm)			
	سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ شده	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	سوراخ لوبیایی بلند (طول × عرض)
M16	18	20	18×22	18×40
M20	22	24	22×26	22×50
M22	24	28	24×30	24×55
M24	27	30	27×32	27×60
M27	30	35	30×37	30×67
M30	33	38	33×40	33×75
≥M36	d_b+3	d_b+8	$(d_b+3)\times(d_b+10)$	$(d_b+3)\times2.5d_b$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲- سوراخ‌های بزرگ‌شده 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.

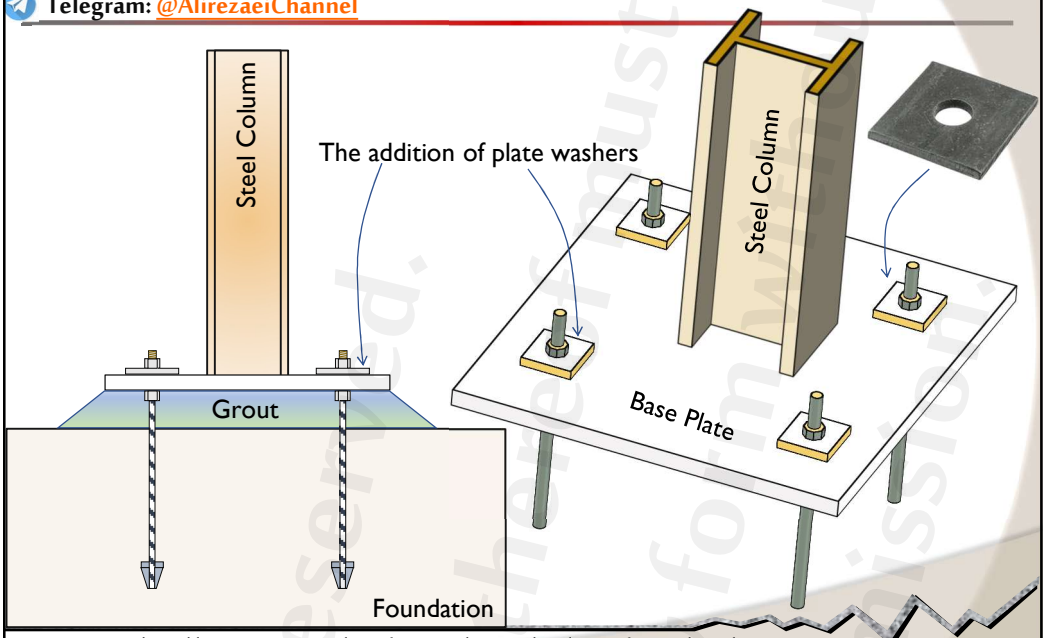
۴- سوراخ لوبیایی بلند در تمام امتدادها در اتصالات لغزش بحرانی مجاز است اما در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده استفاده از آنها زمانی مجاز است که امتداد طولی سوراخ عمود بر امتداد نیرو باشد. لیکن در هر سه نوع اتصال، سوراخ لوبیایی بلند باید فقط در یکی از ورق‌های اتصال تعبیه شود.

۵- در ورق کف‌ستون‌ها برای عبور میل‌مهارها، استفاده از سوراخ استاندارد بدون استفاده از واشر تنظیم‌کنندهٔ اضافی در روی ورق کف‌ستون در محل سوراخ، مجاز است. درصورتیکه برای نصب سازه نیاز به تعبیهٔ سوراخ‌های با قطر بزرگتر از سوراخ‌های استاندارد باشد، در این صورت لازم است بر روی ورق کف‌ستون در محل سوراخ، از واشر تنظیم‌کنندهٔ اضافی با ابعادی بزرگتر از ابعاد سوراخ کف‌ستون و دارای سوراخ استاندارد که به نحو مناسبی به ورق کف‌ستون جوش می‌شود، استفاده شود. این واشر باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر اتکا و اتصال آن به ورق کف‌ستون دارای مقاومت برشی موجود کافی در برابر برش میل‌مهار باشد. درهرحال قطر سوراخ‌های تعبیه‌شده در ورق کف‌ستون نباید از قطر سوراخ‌های بزرگ‌شده به اضافهٔ دو میلیمتر بزرگتر باشد.

۶- در صورت استفاده از پیچ‌هایی با قطر اسمی به غیر از آنچه در جدول ۱۰-۲-۶-۹ آمده است، ابعاد، اسمی سوراخ‌های متناظر با آنها از طریق درونیابی مقادیر مندرج در این جدول به دست می‌آید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) حداقل فاصلهٔ سوراخ‌ها تا لبه

فاصلهٔ مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبهٔ قطعهٔ متصل‌شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۱۰-۲-۹-۷ کوچکتر باشد. برای سوراخ‌های بزرگ شده و لوبیایی فاصلهٔ مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه برای سوراخ استاندارد تعیین شده به‌اضافه مقدار C مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۸ کوچکتر باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۷ : حداقل فاصلهٔ مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نورد شده ورق- نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
$2d_b$	$1.5d_b$

جدول ۱۰-۲-۹-۸ : مقادیر افزایش حداقل فاصلهٔ سوراخ تا لبه (C)

سوراخ بزرگ شده (mm)	سوراخ لوبیایی (mm)		
	عمود بر امتداد لبه		موازی با لبه
	لوبیایی کوتاه	لوبیایی بلند	
3 mm	5 mm	$0.75d_b$	0

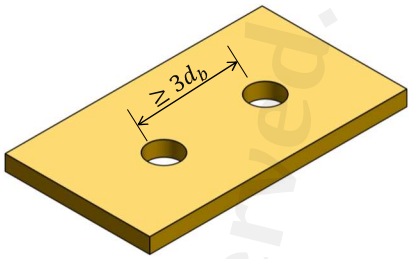
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) حداقل فواصل سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ‌های لوبیایی نباید از $2\,^2/_3$ برابر (2.67 برابر) قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر باشد. به هر حال فاصله خالص بین سوراخ پیچ‌ها نباید از قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر باشد.

توصیه: بهتر است فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ‌های لوبیایی از ۳ برابر قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر نباشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ث) حداکثر فاصلهٔ مرکز سوراخ تا لبه

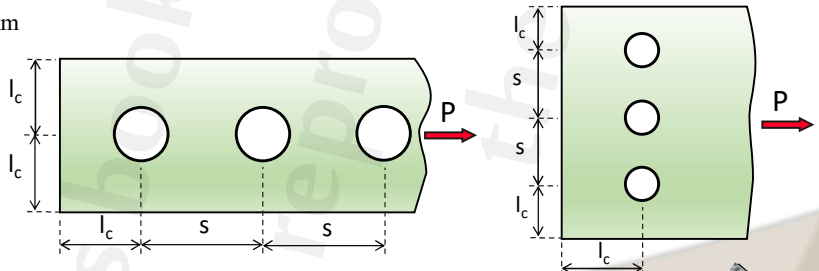
حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا نزدیکترین لبهٔ قطعه در هر راستا به شرح زیر است:

۱- برای قطعات رنگ شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، فاصله از مرکز هر سوراخ تا نزدیکترین لبهٔ قطعه در هر راستا نباید از ۱۲ برابر ضخامت نازکترین قطعه و ۱۵۰ میلیمتر بیشتر شود.

$l_{c,max}=12t\leq 150$ mm

۲- برای قطعات رنگ نشده‌ای که تحت اثر خوردگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر سوراخ تا نزدیکترین لبه قطعهٔ در هر راستا نباید از هشت برابر ضخامت نازکترین قطعه و ۱۲۵ میلیمتر بیشتر شود.

$l_{c,max}=8t\leq 125$ mm



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ج) حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

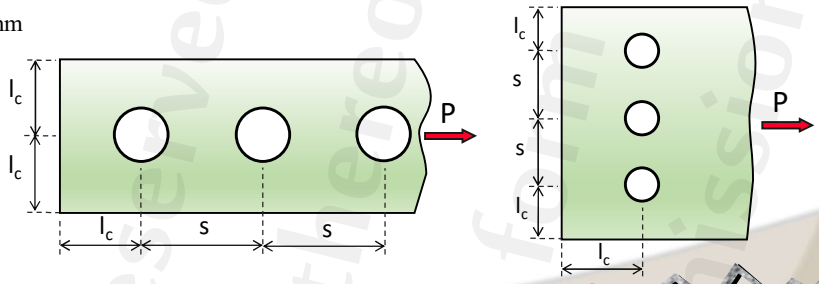
حداکثر فاصلهٔ مرکز تا مرکز سوراخ‌ها در اتصالات پیچی در هر راستا به شرح زیر است:

۱- در قطعات رنگ‌شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، فاصلهٔ بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل شونده و ۳۰۰ میلیمتر بیشتر شود.

$s_{max}=24t\leq 300$ mm

۲- در قطعات رنگ نشده‌ای که تحت اثر خوردگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصلهٔ بین مرکز سوراخ‌ها نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل شونده و ۱۸۰ میلیمتر بیشتر شود.

$s_{max}=14t\leq 180$ mm



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت کششی و برشی موجود پیچ‌ها و میله‌های دندانه شده در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده

در تعیین مقاومت‌های موجود پیچ‌ها و میله‌های دندانه شده، سطح مقطع اسمی پیچ‌ها (خارج از ناحیهٔ دندانه شده) و میله‌های دندانه شده (خارج از ناحیهٔ دندانه شده) ملاک است. همچنین در مواردی که میله‌های دندانه شده از میلگرد آجدار ساخته می‌شوند، در تعیین مقاومت‌های موجود آنها، سطح مقطع ناحیهٔ تراشکاری‌شده (خارج از ناحیهٔ دندانه شده)، که عموماً کوچکتر از قطر زمینهٔ میلگرد است، ملاک محاسبه خواهد بود. در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده، در طراحی به روش LRFD مقاومت کششی و برشی طراحی مساوی ϕR_n و در طراحی به روش ASD مقاومت کششی و برشی مجاز مساوی R_n/Ω بوده که در آن مقدار R_n برای پیچ‌های معمولی، پیچ‌های پرمقاومت و میله‌های دندانه شده باید براساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و برشی از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$R_n = F_n A_b$$

$\phi=0.75$ (LRFD) و $\Omega=2.0$ (ASD)

در روابط فوق:

A_b سطح مقطع اسمی پیچ یا میلهٔ دندانه شده

F_n تنش کششی اسمی (F_{nt}) یا تنش برشی اسمی (F_{nv}) مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۹

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

جدول ۱۰-۲-۹-۹ : تنش اسمی پیچ و میله‌های دندانه شده

نوع وسیله اتصال	تنش کششی اسمی [۱] (F_{nt})	تنش برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده [۲]
پیچ‌های معمولی در حالتی که سطح برش در داخل یا خارج ناحیهٔ دندانه‌شده قرار دارد.	$0.75F_u$ [3]	$0.45F_u$ [4]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش در داخل ناحیهٔ دندانه‌شده قرار دارد.	$0.75F_u$	$0.45F_u$ [4]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش خارج ناحیهٔ دندانه شده قرار دارد.	$0.75F_u$	$0.55F_u$ [4]
میلهٔ دندانه شده در حالتی که سطح برش در داخل ناحیهٔ دندانه شده قرار دارد.	$0.75F_u$	$0.45F_u$
میلهٔ دندانه شده در حالتی که سطح برش خارج ناحیهٔ دندانه شده قرار دارد.	$0.75F_u$	$0.55F_u$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

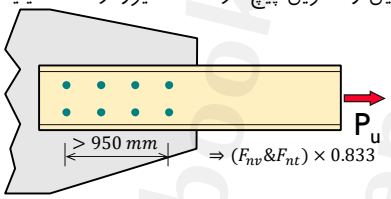
یادداشت‌ها:

[۱] برای تنش کششی اسمی پیچ‌های پرمقاومت تحت اثر تنش کششی ناشی از خستگی به آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی رجوع شود.

[۲] درصورتیکه در محل اتصال از ورق پرکننده استفاده شود، رعایت ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۵-ت الزامی است.

[۳] در پیچ‌های معمولی که طول گیرهٔ آنها از پنج برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به ازای هر ۲ میلیمتر طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۴] در اتصالات انتهایی اعضای با بار محوری، وقتیکه فاصلهٔ اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۹۵۰ میلیمتر تجاوز کند، این مقادیر را باید 16.7 درصد کاهش داد.



[۵] در جدول فوق F_u تنش کششی نهایی پیچ است.

تبصره: در اتصالات پیچی تحت اثر کشش خالص یا کشش ناشی از خمش، هنگامیکه لبهٔ قطعهٔ پیچ شده به لبهٔ قطعهٔ دیگر اتکا می‌کند، در تعیین مقاومت موردنیاز پیچ‌ها باید آثار ناشی از عمل اهرمی نیز در نظر گرفته شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک اتصال پیچی با عملکرد اتکایی و با شش عدد پیچ M27 و از نوع 10.9 حداکثر نیروی نهایی قابل تحمل توسط اتصال فقط از منظر برش در پیچ‌ها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید سطح برش پیچ‌ها از ناحیه دندانه شده نمی‌گذرد، عملکرد پیچ‌ها یک برشه فرض شود، فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو برابر ۵۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شود) (شهریور ۹۵)

الف) 2800 kN　　ب) 2100 kN　　ج) 1400 kN　　د) 700 kN

پاسخ:

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.55 F_u A_b) = 0.75 \times \left(0.55 \times 1000 \times 6 \times \pi \times \frac{27^2}{4}\right) \times 10^{-3} = 1417\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده

در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده، در مواردی که تنش کششی یا برشی موردنیاز کمتر از ۳۰ درصد تنش موجود متناظر باشد، لزومی به در نظر گرفتن اثر مشترک کشش و برش نیست. در غیر این صورت 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 و Ω به شرح زیر تعیین شوند:

$R_{nt} = F'_{nt} A_b$　　و　　$R_{nv} = F'_{nv} A_b$

ϕ=0.75 (LRFD)　　و　　Ω=2.0 (ASD)

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}\right] \quad \text{و} \quad F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}}\right] \quad (LRFD)$$

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{\Omega f_{av}}{F_{nv}}\right] \quad \text{و} \quad F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \frac{\Omega f_{at}}{F_{nt}}\right] \quad (ASD)$$

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 مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۹، F_{nv} مقاومت برشی اسمی مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۹، f_{ut} تنش کششی موردنیاز در طراحی به روش LRFD، f_{uv} تنش برشی موردنیاز در طراحی به روش LRFD، f_{at} تنش کششی موردنیاز در طراحی به روش ASD، f_{av} تنش برشی موردنیاز در طراحی به روش ASD و A_b سطح مقطع اسمی پیچ

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه در یک اتصال پیچی از نوع اتکایی، تنش برشی ناشی از بارهای ضریبدار ۴۰ درصد تنش برشی اسمی پیچ باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، حداکثر تنش کششی اسمی پیچ حدودا چقدر می‌تواند در نظر گرفته شود؟ فرض کنید پیچ‌ها از نوع پرمقاومت با تنش کششی نهایی F_u و تنش تسلیم F_y و سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد. (آذر ۹۲)

الف) $0.75F_u$ ب) $0.6F_u$ ج) $0.7F_u$ د) $0.78F_u$

پاسخ:

$$\frac{f_{uv}}{F_{nv}} = 0.4 \quad \Rightarrow \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} = \frac{0.4}{0.75} = 0.533 > 0.3$$

چون میخواهیم از حداکثر ظرفیت برشی و کششی استفاده کنیم و با توجه به اینکه مقدار $\frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}$ بزرگتر از 0.3 است پس می‌توان گفت در نظر گرفتن اندرکنش الزامی خواهد بود:

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}\right] = 0.75F_u[1.3 - 0.533] = 0.575F_u \leq F_{nt} = 0.75F_u$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) چنانچه در اتصال پیچی از نوع اتکایی تحت اثر مشترک کشش و برش، تنش کششی مورد نیاز یک پیچ برابر 0.35 مقاومت کششی اسمی آن پیچ (وقتی که نیروی کششی به تنهایی عمل کند) باشد، مقاومت برشی اسمی پیچ چند درصد نسبت به حالتیکه نیروی برشی به تنهایی بر روی پیچ عمل می‌کند، کاهش می‌یابد؟ (مرداد ۹۴)

الف) ۹۵ ب) ۸۳ ج) ۱۷ د) ۵

پاسخ:

$$\frac{f_{ut}}{F_{nt}} = 0.35 \quad \Rightarrow \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} = \frac{0.35}{0.75} = 0.467 > 0.3$$

با توجه به اینکه مقدار $\frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}$ بزرگتر از 0.3 است پس می‌توان گفت در نظر گرفتن اندرکنش الزامی خواهد بود:

$$F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}}\right] = F_{nv}[1.3 - 0.467] = 0.83F_{uv} \leq F_{nv}$$

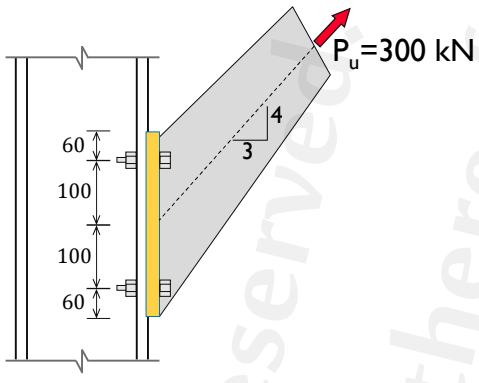
یعنی ۱۷٪ کاهش یافته است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال اتکایی شکل مقابل، قطر پیچ‌ها برابر ۲۰ میلیمتر و پیچ‌ها از نوع ۸/۸ هستند. مقاومت کششی طراحی هر یک از پیچ‌ها بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فرض کنید سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندانه شده می‌گذرد (ابعاد به میلیمتر است). (بهمن ۹۴)

الف) 83.7 ب) 111.6 ج) 141.3 د) 188.4



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پاسخ:

$$\cos\theta = \frac{3}{5} = 0.6 \quad , \quad \sin\theta = \frac{4}{5} = 0.8$$

$$T_u = 300\cos\theta = 300 \times 0.6 = 180\ kN$$

$$V_u = 300\sin\theta = 300 \times 0.8 = 240\ kN$$

$$\frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} = \frac{T_u}{4A} \times \frac{1}{\phi F_{nt}} = \frac{180000}{4 \times \pi \times \frac{20^2}{4}} \times \frac{1}{0.75 \times 0.75 \times 800} = 0.318 > 0.3$$

$$\frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} = \frac{V_u}{4A} \times \frac{1}{\phi F_{nv}} = \frac{240000}{4 \times \pi \times \frac{20^2}{4}} \times \frac{1}{0.75 \times 0.45 \times 800} = 0.7 > 0.3$$

با توجه به اینکه مقدار $\frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}$ و $\frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}}$ بزرگتر از 0.3 است پس می‌توان گفت در نظر گرفتن اندرکنش الزامی خواهد بود:

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}}\right] = 0.75F_u[1.3 - 0.7] = 0.44F_u = 352\ MPa$$

$$\phi F'_{nt}A_b = 0.75 \times 352 \times \pi \times \frac{20^2}{4} \times 10^{-3} = 82.9\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت کششی و برشی موجود در اتصالات لغزش بحرانی

طبق بند ۱۰-۲-۹-۳-۵ مقاومت کششی موجود پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات لغزش بحرانی عیناً مشابه مقاومت کششی موجود آنها در اتصالات اتکایی و پیش‌تنیده بوده و براساس الزامات بند ۱۰-۲-۹-۳-۳ تعیین می‌شود. مقاومت برشی موجود پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات لغزش بحرانی براساس حالت حدی لغزش مساوی ϕR_{nv} در طراحی به روش LRFD و مساوی R_{nv}/Ω در طراحی به روش ASD بوده که در آن، ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_{nv} (مقاومت برشی اسمی) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s$$

- برای سوراخ‌های استاندارد و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو

ϕ=1.0 (LRFD) و Ω=1.5 (ASD)

- برای سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد موازی با راستای نیرو

ϕ=0.85 (LRFD) و Ω=1.76 (ASD)

- برای سوراخ‌های لوبیایی بلند

ϕ=0.70 (LRFD) و Ω=2.14 (ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

μ ضریب اصطکاک به شرح زیر:

- برای وضعیت سطحی کلاس A: μ=0.3

این وضعیت سطحی باید دارای یکی از شرایط زیر باشد:

۱- سطح تمیزشدهٔ فلس‌دار حداقل با درجهٔ St 2 مطابق فصل ۱۰-۴ و رنگ‌نشدهٔ کاملاً محافظت شده

۲- سطح تمیزشده و ماسه پاشی شدهٔ فلس‌دار حداقل با درجهٔ Sa I مطابق فصل ۱۰-۴ با پوشش تاییدشدهٔ این کلاس مطابق استانداردهای معتبر

۳- سطح گالوانیزه شده به روش حوضچهٔ داغ و زبرشده

- برای وضعیت سطحی کلاس B: μ=0.5

این وضعیت سطحی باید دارای یکی از شرایط زیر باشد:

۱- سطح تمیزشده و ماسه پاشی شده حداقل با درجهٔ Sa 2.5 مطابق فصل ۱۰-۴- و رنگ نشدهٔ کاملاً محافظت شده

۲- سطح تمیزشده و ماسه پاشی شده حداقل با درجهٔ Sa 2.5 با پوشش تاییدشدهٔ این کلاس مطابق استانداردهای معتبر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

D_u=1.13 که معرف نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل اسمی پیچ‌ها است

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 0.85

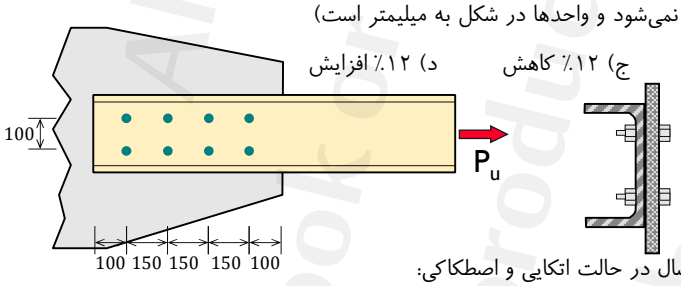
T_b حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۵

n_s تعداد صفحات لغزش

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

مثال) ناودانی شکل زیر تحت کشش قرار دارد. پیچ‌ها از نوع پرمقاومت A490 با قطر 20 میلیمتر می‌باشند و سطح برش از محل دندانه شده نمی‌گذرد. در صورتیکه اتصال در حالت اتکایی و با سفت کردن پیچ‌ها به حالت اصطکاکی در آوریم، مقاومت برشی طراحی اتصال حدودا چقدر تغییر می‌یابد؟ (فرض کنید فقط مقاومت برشی طراحی اتصال براساس مقاومت برشی طراحی پیچ و اصطکاک صفحات حساب میشود. سوراخ‌ها از نوع استاندارد و وضعیت سطحی اتصال کلاس B است. از ورق پر کننده استفاده نمی‌شود و واحدها در شکل به میلیمتر است)

الف) ۲۲٪ افزایش ب) ۲۲٪ کاهش ج) ۱۲٪ کاهش د) ۱۲٪ افزایش



پاسخ: محاسبه مقاومت برشی طراحی اتصال در حالت اتکایی و اصطکاکی:

$$\phi R_n = \phi F_{nv} = 0.75 \times (0.55 F_u A_b) = 0.75 \times (0.55 \times 1000 \times 314) = 129\ kN$$

$$\phi R_{nv} = \phi \mu D_u h_f T_b n_s = 1 \times 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 179 \times 1 = 101.1\ kN$$

$$1 - \frac{101.1}{129.5} = 0.21$$

بنابراین ۲۲٪ افت مقاومت داریم

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 واردشده باعث کاهش پیش‌فشردگی اتصال می‌شود) مطابق رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۱۱ باید به شرح زیر در ضریب کاهش k_{sc} ضرب گردد.

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \geq 0 \quad (LRFD)$$

$$k_{sc} = 1 - \frac{1.5T_a}{D_u T_b n_b} \geq 0 \quad (ASD)$$

که در آن:

T_u نیروی کششی موردنیاز کل اتصال با استفاده از ترکیبات بارگذاری LRFD

T_a نیروی کششی موردنیاز کل اتصال با استفاده از ترکیبات بارگذاری ASD

D_u نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل پیچ‌ها و مساوی 1.13

T_b حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۵

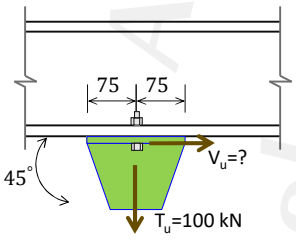
n_b تعداد پیچ‌هایی که نیروی کششی واردشده را تحمل می‌کنند.

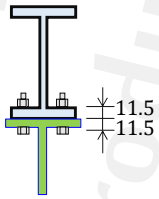
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال پیچی اصطکاکی (لغزش بحرانی) نشان داده شده در شکل، مقدار ظرفیت برشی طراحی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 (F_y=240 MPa , F_u=370 MPa) پیچ‌ها M20 و از نوع A325 و سوراخ‌ها استاندارد می‌باشد و فواصل سوراخ‌ها از لبه‌ها به درستی تنظیم شده است. وضعیت سطحی اتصال، کلاس A فرض شود. (خرداد ۹۳)

الف) 48 kN ب) 96 kN ج) 33 kN د) 66 kN





پاسخ:

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} = 1 - \frac{100}{1.13 \times 142 \times 2} = 0.688$$

$$\phi R_{nv} = \phi k_{sc} \mu D_u h_f T_b n_s = 2[1 \times 0.688 \times 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 142 \times 1] = 66\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای انتقال فقط برش از یک قطعه به قطعه دیگر، یک اتصال پیچ و مهره‌ای اصطکاکی طراحی شده است. اگر در عمل پیچ‌ها پیش‌تنیده نشده و به صورت اتکایی عمل کنند، کدامیک از گزینه‌های زیر را می‌توان با اطمینان کامل صحیح دانست؟ (قطر سوراخ استاندارد، وضعیت سطحی کلاس A و اتصال بدون ورق پرکننده می‌باشد. همچنین فرض کنید استفاده از اتصال اتکایی در این اتصال مجاز می‌باشد).

الف) مقاومت اتکایی در جدار سوراخ کاهش خواهد یافت

ب) همواره مقاومت اتصال افزایش خواهد یافت.

ج) مقاومت اتصال کاهش نخواهد یافت.

د) مقاومت برش قالبی کاهش خواهد یافت.

پاسخ: حداکثر مقدار مقاومت اتصال اصطکاکی برای یک پیچ:

$$R_{n1} = \mu D_u h_f T_b n_s = 0.5 \times 1.13 \times T_b = 0.565 T_b = 0.565 \times 0.55 F_u A_b = 0.31 F_u A_b$$

حداقل مقدار مقاومت اتصال اتکایی با فرض یک پیچ برابر است با:

$$R_{n2} = 0.75 \times 0.45 \times F_u A_b = 0.337 F_u A_b$$

پس حداقل مقدار مقاومت اتصال اتکایی از حداکثر مقدار مقاومت اتصال اصطکاکی بیشتر است. مقاومت یک اتصال شامل چندین حالت حدی زیر است:

۱) گسیختگی در محل اتصال ۲) برش قالبی ۳)مقاومت اتکایی ۴) مقاومت پارگی ۵) مقاومت برشی پیچ یا لغزش بین صفحات

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۴ مورد اول با توجه به اینکه سایز و موقعیت پیچ‌ها عوض نمی‌شود تغییری نمی‌کند و فقط مورد ۵ می‌تواند تغییر کند. چون که نمیدانیم مقاومت اتصال را کدام یک از موارد بالا تعیین می‌کند (مقاومت کمتری دارد) نمی‌توان در مورد آن قضاوت کرد ولی چون مقاومت برشی اتصال اتکایی بزرگتر از مقاومت برشی اتصال اصطکاکی است لذا می‌توانیم بگوییم مقاومت اتصال کاهش نمی‌یابد. برای مثال فرض کنید مقاومت گسیختگی، برش قالبی، مقاومت اتکایی، مقاومت پارگی، مقاومت برشی پیچ و لغزش بین صفحات در حالت اتصال اصطکاکی به ترتیب برابر:۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۲۰ باشد. در این حالت چون گسیختگی غالب است پس مقاومت اتصال تغییری نکرده و کاهش نیافته است. ولی اگر مقاومت گسیختگی، برش قالبی، مقاومت اتکایی، مقاومت پارگی، مقاومت برشی پیچ و لغزش بین صفحات در حالت اتصال اصطکاکی به ترتیب برابر:۱۰۰، ۱۱۰، ۱۳۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۹۰ باشد، دراین صورت چون مقاومت اتصال را لغزش صفحات تعیین می‌کرد و اتصال به صورت اتکایی اجرا شده است مقاومت اتصال افزایش پیدا کرده است. پس به قطعیت نمی‌توان گفت که مقاومت اتصال افزایش یافته است ولی می‌توان گفت مقاومت اتصال کاهش نیافته است. بنابراین گزینه (ج) صحیح است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

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 و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت اتکایی اسمی) براساس حالت‌های حدی اتکایی، در حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شوند:

ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

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):

$$R_n = 2.4 d_b t F_u$$

۲- برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = 2.0 d_b t F_u$$

۳- برای اتصالاتی که با عبور کامل پیچ‌ها در بدنهٔ مقاطع قوطی‌شکل (HSS) و مقاطع جعبه‌ای ساخته شده‌اند، مقدار R_n از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۲۳ تعیین می‌شود.

در روابط فوق، d_b قطر اسمی پیچ، F_u تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال و t ضخامت قطعهٔ اتصال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت پارگی موجود در حد فاصل بین سوراخ‌ها و نیز در فاصلهٔ بین سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات

طبق بند ۱۰-۲-۹-۳-۸ مقاومت پارگی موجود در حدفاصل بین سوراخ‌ها و نیز در فاصلهٔ بین سوراخ‌ها تا لبهٔ قطعات در اتصالات اتکایی، پیش‌تنیده و لغزش بحرانی در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت پارگی اسمی) براساس حالت‌های حدی پارگی، در حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌شوند:

ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

۱- برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ‌شده، سوراخ لوبیایی کوتاه (مستقل از راستای نیرو) و سوراخ لوبیایی بلند (در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد):

$$R_n = 1.2 l_c t F_u$$

۲- برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = 1.0 l_c t F_u$$

در روابط فوق، F_u تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال، t ضخامت قطعهٔ اتصال، l_c فاصلهٔ خالص در راستای نیرو، بین لبهٔ سوراخ‌ها برای سوراخ‌های میانی و برابر فاصلهٔ خالص در راستای نیرو، بین لبهٔ سوراخ انتهایی تا لبه آزاد ورق اتصال برای سوراخ‌های انتهایی. در تعیین مقدار l_c می‌توان از قطر اسمی سوراخ‌ها مطابق جدول ۱۰-۲-۹-۶ استفاده کرد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت‌های موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا

طبق بند ۱۰-۲-۹-۴، الزامات این بند به کنترل اجزای اتصال دهنده (نظیر ورق‌ها، سخت کننده‌ها، گاست‌ها و براکت‌ها) و نواحی تأثیرپذیر اعضا در ناحیهٔ اتصال (نظیر جان زبانه شده در تیرها، اثر سوراخ پیچ‌ها و جوش‌ها در اعضا) مربوط می‌شود.

مقاومت کششی موجود اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا

مقاومت کششی موجود اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت کششی اسمی اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا) براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم و گسیختگی کششی به شرح زیر تعیین می‌شوند:

الف) حالت حدی تسلیم کششی در مقطع کلی

$$R_n = F_y A_g$$

ϕ=0.9 (LRFD) و Ω=1.67 (ASD)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) حالت حدی گسیختگی کششی در مقطع خالص مؤثر

$$R_n = F_u A_e$$

ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

که در آن:

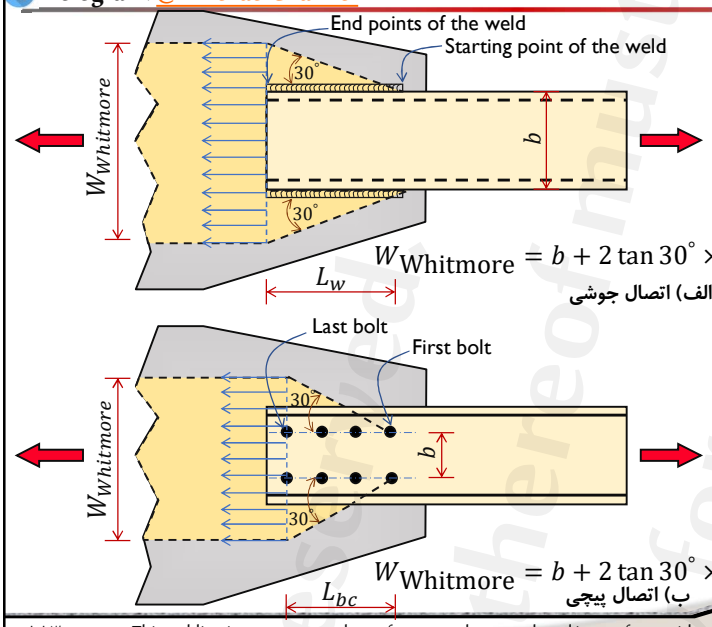
A_g و A_e به ترتیب سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص مؤثر (مطابق ضوابط بخش ۱۰-۲-۳)

F_y و F_u به ترتیب تنش تسلیم مشخصه و تنش کششی نهایی مشخصهٔ فولاد

تبصره: در تعیین سطح مقطع‌های فوق، پهنای مقطع جزء اتصال نباید از پهنای ویتمور مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۱۶ بزرگتر در نظر گرفته شود. اگر پهنای ویتمور خارج از پهنای ورق اتصال قرار گیرد، پهنای ورق اتصال ملاک محاسبه خواهد بود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۸۸۳ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا

مقاومت برشی موجود اجزای اتصال دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت برشی اسمی اجزای اتصال دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا) براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم و گسیختگی برشی، به شرح زیر تعیین می‌شوند:

الف) حالت حدی تسلیم برشی در مقطع کلی

$$R_n = 0.6F_yA_{gv}$$

ϕ=1.0 (LRFD) و Ω=1.5 (ASD)

ب) حالت حدی گسیختگی برشی در مقطع خالص

$$R_n = 0.6F_uA_{nv}$$

ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

در روابط فوق، A_{gv} سطح مقطع کلی تحت اثر برش، A_{nv} سطح مقطع خالص تحت اثر برش مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۳-۳ 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 مشخصهٔ فولاد

صفحه ۸۸۴ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برش قالبی موجود

طبق بند ۱۰-۲-۹-۴-۳، مقاومت برش قالبی موجود در اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر 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 ناحیهٔ تأثیرپذیر اعضا می‌گذرد و یا مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۱۷-الف، و ب به علت اثر ترکیبی برش و کشش در دو سطح متعامد در آنها خرابی اتفاق افتد، در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت برش قالبی اسمی) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

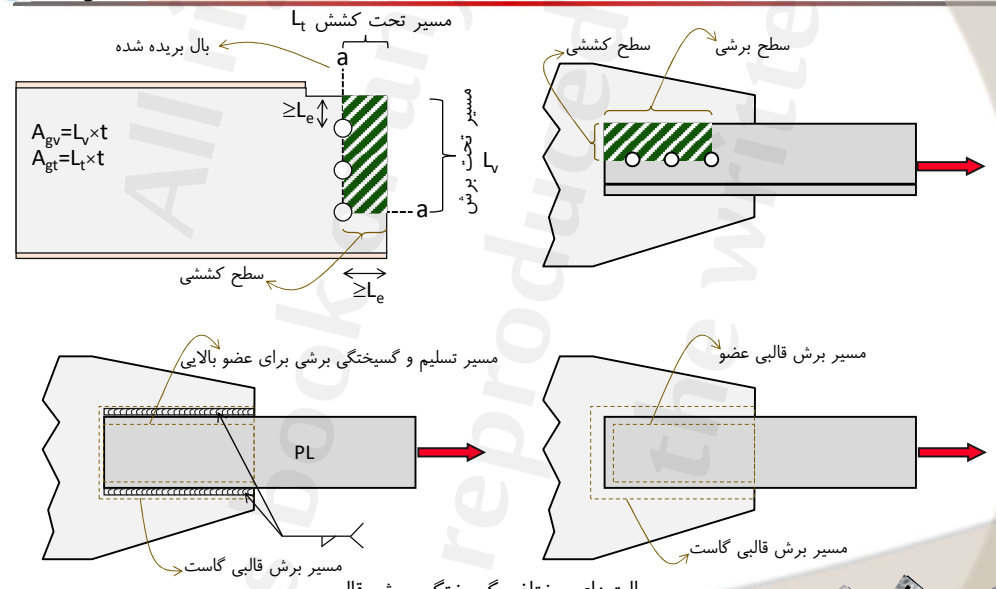
$$R_n = 0.6F_uA_{nv} + U_{bs}F_uA_{nt} \le 0.6F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt}$$

ϕ=0.75 (LRFD) و Ω=2.0 (ASD)

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 نیروی وارده، A_{nv} سطح مقطع خالص تحت اثر برش در راستای نیروی وارده، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، F_u تنش کششی نهایی مشخصهٔ 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 ۱۰-۲-۹-۱۸)

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

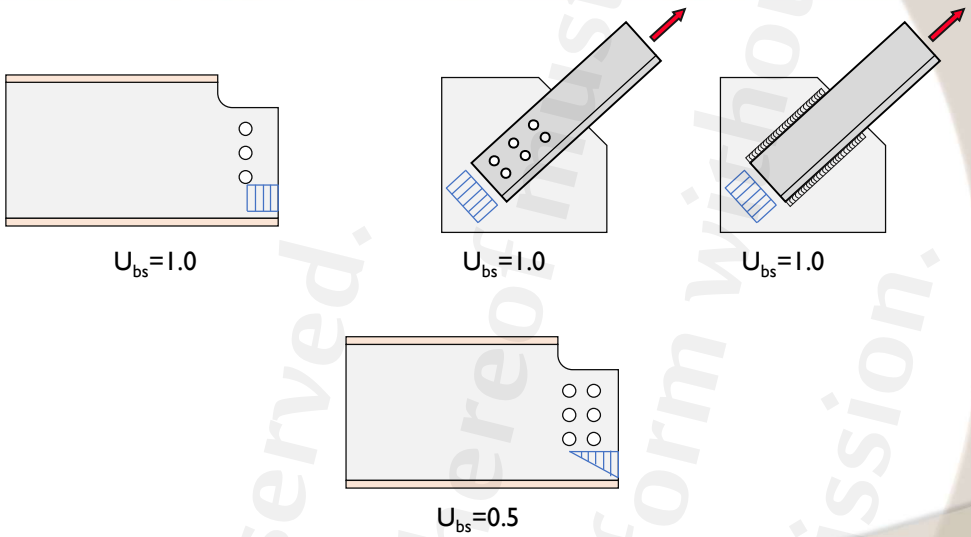
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



حالت‌های مختلف گسیختگی برش قالبی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

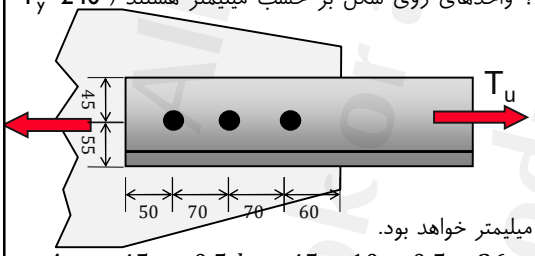


ضریب U_{bs} در حالت‌های مختلف

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال یک عضو کششی به ورق اتصال از سه پیچ M22 استفاده شده است. عضو کششی از نبشی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰ و سوراخ‌ها استاندارد هستند. ضخامت ورق اتصال ۱۵ میلیمتر است. مقاومت طراحی برش قالبی بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ واحدهای روی شکل بر حسب میلیمتر هستند (F_y=240 MPa و F_u=370 MPa) (آبان ۹۳)



الف) 295 kN

ب) 400 kN

ج) 392 kN

د) 310 kN

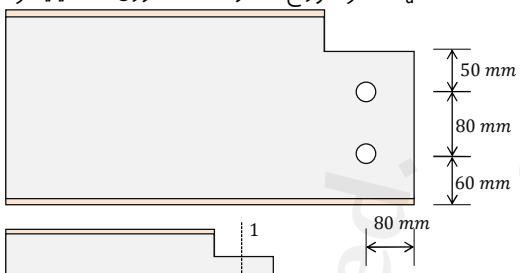
قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲۶ میلیمتر خواهد بود.

$$A_{nt} = 45t - 0.5dt = 45 \times 10 - 0.5 \times 26 \times 10 = 320\ mm^2$$
$$A_{nv} = 190t - 2.5dt = 190 \times 10 - 2.5 \times 26 \times 10 = 1250\ mm^2$$
$$A_{gv} = 190 \times 10 = 1900\ mm^2$$
$$\phi R_n = 0.75 \times \min \begin{cases} 0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \\ 0.6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \end{cases}$$
$$\phi R_n = 0.75 \times \min \begin{cases} 0.6 \times 370 \times 1250 + 1 \times 370 \times 320 \\ 0.6 \times 240 \times 1900 + 1 \times 370 \times 320 \end{cases} = 294\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقاومت طراحی برش قالبی تیر نشان داده شده در شکل زیر در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (F_u=370 MPa و F_y=240 MPa) قطر سوراخ ۲۰ و ضخامت ورق ۱۰ میلیمتر فرض شود. (آذر ۹۲)



الف) 335 kN

ب) 395 kN

ج) 525 kN

د) 295 kN

قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲۲ میلیمتر خواهد بود.

$$A_{nt} = 80t - 0.5dt = 80 \times 10 - 0.5 \times 22 \times 10 = 690\ mm^2$$
$$A_{nv} = 130t - 1.5dt = 130 \times 10 - 1.5 \times 22 \times 10 = 970\ mm^2$$
$$A_{gv} = 130 \times 10 = 1300\ mm^2$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$\phi R_n = 0.75 \min \begin{cases} 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \\ 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt} \end{cases}$$

$$\phi R_n = 0.75 \min \begin{cases} 0.6 \times 370 \times 970 + 1 \times 370 \times 360 \\ 0.6 \times 240 \times 1300 + 1 \times 370 \times 690 \end{cases} = 331.88\ kN$$

به عنوان تمرین، ظرفیت برش قالبی برای مسیر شماره ۲ را محاسبه نمایید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت فشاری موجود اجزای اتصال دهنده

مقاومت فشاری موجود اجزای اتصال دهنده در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت فشاری اسمی اجزای اتصال‌دهنده) براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم و کمانش به شرح زیر تعیین می‌شوند:

الف) درصورتیکه $KL/r \leq 25$ باشد:

$$R_n = F_y A_g$$

ϕ=0.9 (LRFD) و Ω=1.67 (ASD)

که در آن، A_g سطح مقطع کلی اجزای اتصال‌دهنده، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، K ضریب طول مؤثر اجزای اتصال‌دهنده که عموماً مقدار آن برابر واحد در نظر گرفته می‌شود. همچنین L طول مهارنشدهٔ اجزای اتصال‌دهنده 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.

صفحه ۸۹۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) برای حالتی که $KL/r>25$ است، مقاومت فشاری اجزای اتصال دهنده باید براساس الزامات بخش ۱۰-۲-۴ تعیین شود.

تبصره: سطح مقطع کلی اجزای اتصال دهنده، باید مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۱۶ براساس پهنای ویتمور در نظر گرفته شود.

مقاومت خمشی موجود اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا

مقاومت خمشی موجود اجزای اتصال‌دهنده و نواحی تأثیرپذیر اعضا باید براساس کوچکترین مقدار به دست آمده از حالت‌های حدی تسلیم خمشی، گسیختگی خمشی، کمانش موضعی و کمانش جانبی-پیچشی، مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۵ تعیین شود.

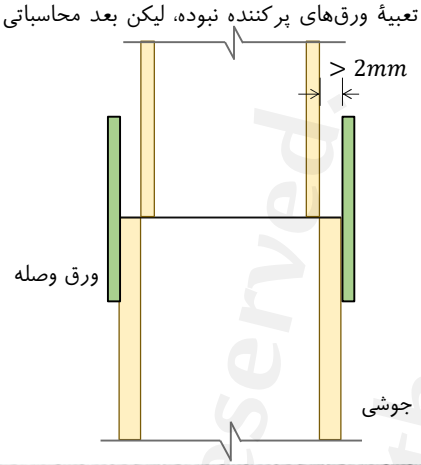
صفحه ۸۹۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ورق‌های پرکننده

طبق بند ۱۰-۲-۹-۵ در محل وصلهٔ اعضا، ورق‌های پرکننده باید الزامات عمومی زیر را تأمین نمایند:

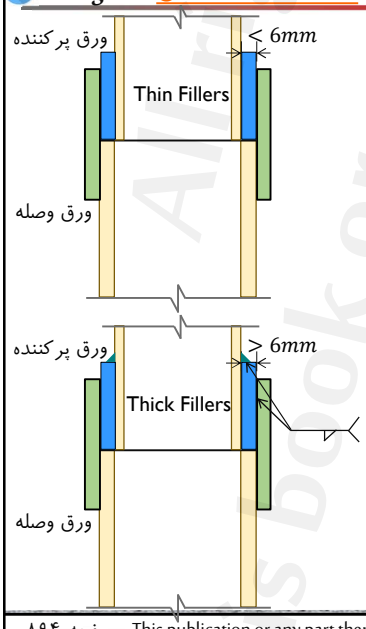
الف) در اتصالات جوشی، درصورتیکه مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۱۹ فاصلهٔ بین وجه داخلی ورق وصله و وجه خارجی قطعهٔ با ابعاد کوچکتر، مساوی یا کمتر از ۲ میلیمتر باشد، نیازی به تعبیهٔ ورق‌های پرکننده نبوده، لیکن بعد محاسباتی جوش باید به اندازهٔ فاصلهٔ خالی افزایش یابد.



نیاز به ورق پرکننده در اتصالات جوشی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



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 اندازهٔ 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.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) در اتصالات پیچی اتکایی و پیش‌تنیده، درصورتیکه ضخامت ورق‌های پرکننده مساوی یا کوچکتر از ۶ میلیمتر باشد، هیچ‌گونه کاهشی بر روی مقاومت برشی موجود پیچ‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. در غیر این صورت، باید یکی از الزامات زیر به کار گرفته شود:

۱- مقاومت برشی موجود پیچ‌ها با ضریب $0.85 \geq [1-0.0154(t-6)]$ کاهش داده شود، که در آن **t** ضخامت کل ورق‌های پرکننده به میلیمتر است.

۲- لبه‌های ورق پرکننده به اندازهٔ کافی ادامه یافته و به منظور توزیع یکنواخت نیروی کلی در محل وصله، با پیچ‌های اضافی به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، پیچ شود. در این حالت، اندازهٔ محل اتصال باید به منظور سازگاری با تعداد کل پیچ‌ها افزایش یابد.

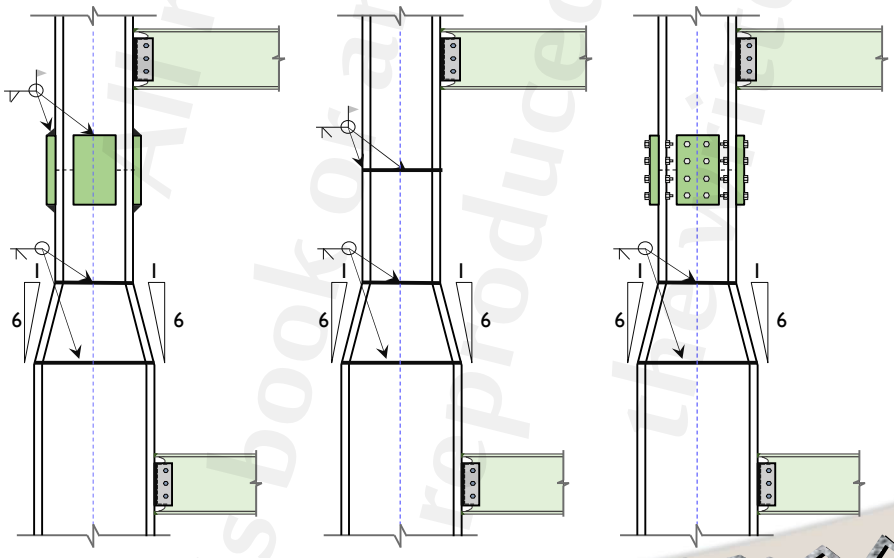
۳- لبه‌های ورق‌های پرکننده از طریق جوش گوشه به قطعهٔ با ابعاد کوچکتر وصله شونده، متصل شود. درهرحال برای این جوش‌ها رعایت محدودیت‌های مربوط به بعد حداقل و حداکثر جوش گوشه الزامی است.

ث) در اتصالات پیچی لغزش بحرانی در صورت وجود ورق‌های پرکننده در محل وصله، علاوه بر الزامات بند ۱۰-۲-۹-۳-۵ رعایت ضابطهٔ اضافی دیگری الزامی نیست.

تبصره: درصورتیکه ابعاد مقاطع وصله شونده اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته و در محل وصله نیازمند تعبیهٔ ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت بزرگ باشند، در این صورت همانند شکل ۱۰-۲-۹-۲۰ توصیه می‌شود ستون‌ها قبل از محل وصلهٔ کارگاهی، در کارخانه هم‌اندازه شده و از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل به یکدیگر متصل شوند تا در هنگام نصب نیازی به تعبیهٔ ورق‌های پرکننده نباشد.

صفحه ۸۹۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



صفحه ۸۹۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرض کنید برای اتصال ورقهای وصله یک عضو فولادی از اتصال پیچی و به صورت برشی و با عملکرد اتکایی استفاده شده است. اگر در این اتصال ضخامت ورق‌های پر کننده برابر ۲۰ میلیمتر باشد، برای آنکه نیازی به ادامه دادن ورق‌های پرکننده از اطراف ورق اتصال نباشد، مقدار مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها حدودا چقدر باید در نظر گرفته شود؟ (فرض کنید سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد و پیچ‌ها از نوع پرمقاومت هستند (شهریور ۹۵)

الف) $0.35F_uA_{nb}$ ب) $0.38F_uA_{nb}$ ج) $0.45F_uA_{nb}$ د) $0.29F_uA_{nb}$

پاسخ:

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.45F_uA_b) = 0.3375F_uA_{nb}$$

طبق مورد ت از بند ۱۰-۲-۹-۵ مقاومت برشی پیچ‌ها برای ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آنها بیشتر از ۶ میلیمتر است و به اندازه کافی ادامه داده نمی‌شود باید با ضریب $[1-0.0154(t-6)] \geq 0.85$ کاهش داده شود.

$$x = [1 - 0.0154(t-6)] = [1 - 0.0154(20-6)] = 0.78 < 0.85$$
$$\Rightarrow \phi R_n x = 0.3375F_uA_{nb} \times 0.85 = 0.29F_uA_{nb}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

وصله‌ها

وصله‌ها باید الزامات زیر را تأمین کنند:

۱- در صورت استفاده از وصلهٔ مستقیم با جوش شیاری، مقاومت موردنیاز وصله نباید کمتر از مقاومت موجود مقطع کوچکتر وصله شونده در نظر گرفته شود.

۲- برای انواع دیگر وصله‌ها، مقاومت موردنیاز وصله نباید کمتر از نیروهای حاصل از ترکیبات مختلف بارگذاری(متناظر با روش طراحی) در محل وصله و ۵۰ درصد مقاومت موجود عضو با مقطع کوچکتر وصله شونده، در نظر گرفته شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت اتکایی موجود سطوح متکی به هم

مقاومت اتکایی موجود سطوح متکی به هم در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت اتکایی اسمی سطوح متکی به هم) براساس حالت حدی اتکایی (تسلیم فشاری موضعی) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$\phi=0.75$ (LRFD) و $\Omega=2.0$ (ASD)

الف) برای سطوح صاف و آماده شده، جدار سوراخ‌های ایجادشده برای پین‌ها و انتهای سخت کننده‌های کاملاً جفت شده در تماس با جزء فولادی:

$$R_n = 1.8F_yA_{pb}$$

که در آن:

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، A_{pb} تصویر سطح اتکاء

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

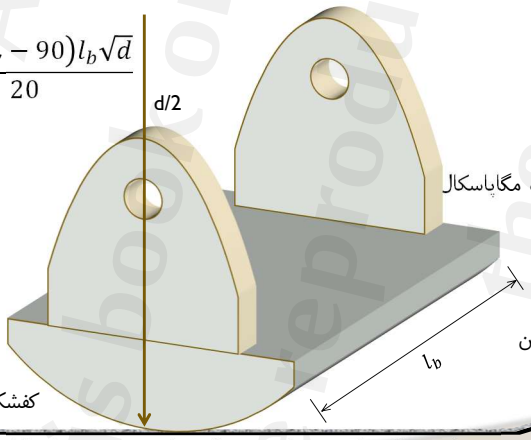
ب) برای کفشک‌های تکیه‌گاهی:

۱- درصورتیکه $d \le 630$ mm باشد:

$$R_n = \frac{1.2(F_y - 90)l_b d}{20}$$

۲- درصورتیکه $d > 630$ mm باشد:

$$R_n = \frac{30.2(F_y - 90)l_b \sqrt{d}}{20}$$



کفشک‌های تکیه‌گاهی

در روابط فوق:

F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد برحسب مگاپاسکال

d قطر کفشک برحسب میلیمتر

L_b طول اتکاء برحسب میلیمتر

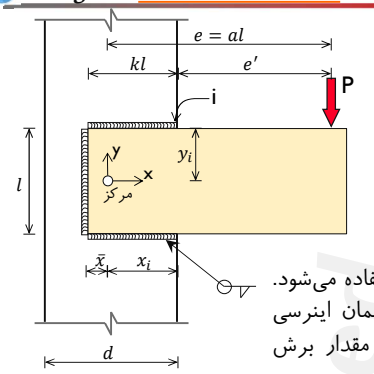
R_n مقاومت اتکایی اسمی برحسب نیوتن

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

گروه جوش گوشه تحت بارهای با خروج از مرکزیت

در شکل زیر مثالی از این مورد نشان داده شده است:



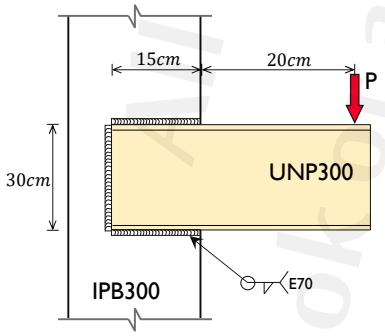
معمولاً برای طراحی جوش در این حالت از روش تحلیل بردار ارتجاعی استفاده می‌شود. در این روش ممان اینرسی قطبی مجموعه جوش بصورت حاصل جمع ممان اینرسی جوش‌ها حول محور x و y بدست می‌آید. برای شکل نشان داده شده، مقدار برش مستقیم و برش ناشی از پیچش بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$I_o = I_x + I_y$$
$$V_p = P/L$$
$$V_e = Pex_i/I_o$$
$$H_e = Pey_i/I_o$$
$$R = \sqrt{(V_p + V_e)^2 + (H_e)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مطابق شکل زیر، یک ناودانی ۳۰۰ به یک ستون توسط جوش گوشه با الکترود E70XX متصل شده است. در صورتی که بازرسی جوش بصورت چشمی و در کارگاه و بار P شامل یک بار مرده ۲ تنی و یک بار زنده ۶ تنی باشد، بعد جوش مورد نیاز برای آن را طرحی نمایید.



پاسخ: مقدار بار نهایی برای طراحی اتصال برابر است با:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 12 \text{ ton}$$

با فرض بُعد واحد برای جوش، طول کل خط جوش برابر L=30+2×15=60 cm خواهد بود.

$$\bar{x} = 2(kl)^2/2L = 15^2/60 = 3.75 \text{ cm}$$
$$I_x = l^3/12 + 2(kl)(l/2)^2 = 30^3/12 + 2 \times 15 \times 15^2$$
$$= 9000 \text{ cm}^4$$
$$I_y = 2(kl)^3/12 + 2(kl)(kl/2 - \bar{x})^2 + l\bar{x}^2$$
$$= 2 \times 15^3/12 + 2 \times 15 \times (3.75)^2 + 30 \times 3.75^2$$
$$= 1406 \text{ cm}^4$$
$$I_o = I_x + I_y = 9000 + 1406 = 10406 \text{ cm}^4$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار خروج از مرکزیت بار نسبت به مرکز سطح جوش برابر است با:

$$e = e' + kl - \bar{x} = 20 + 15 - 3.75 = 31.25 \text{ cm}$$

جوش بالا سمت راست بدترین شرایط را دارا است:

$$y_i = l/2 = 15 \text{ cm} \quad , \quad x_i = kl - \bar{x} = 15 - 3.75 = 11.25 \text{ cm}$$

نیروهای قائم به سبب اعمال مستقیم بار و همچنین بار با خروج از مرکزیت برابر است با:

$$V_p = P_u/L = 12000/60 = 200 \text{ kg/cm}$$
$$V_e = P_u e x_i/I_o = 12000 \times 31.25 \times 11.25/10406 = 405 \text{ kg/cm}$$

نیروی افقی به سبب اعمال بار با خروج از مرکزیت برابر است با:

$$H_e = P_u e y_i/I_o = 12000 \times 31.25 \times 15/10406 = 540 \text{ kg/cm}$$

برآیند نیروها:

$$R = \sqrt{(V_p + V_e)^2 + (H_e)^2} = \sqrt{(200 + 405)^2 + (540)^2} = 810 \text{ kg/cm}$$

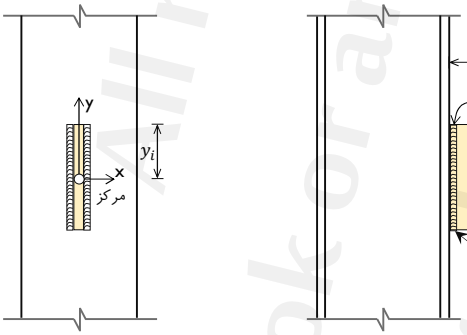
$$t_e = \frac{R}{\varphi R_n} = \frac{810}{0.75 \times 0.6 \times 4900} = 0.37 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad a_w = \frac{0.37}{0.707} = 0.52$$

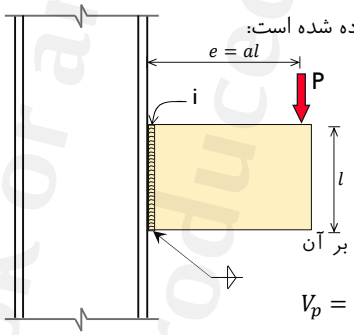
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

گروه جوش گوشه تحت بارهای با خروج از مرکزیت عمود بر صفحه

در شکل زیر مثالی از این مورد نشان داده شده است:





مقدار نیروی برشی کل که بصورت مستقیم بر آن اثر می‌نماید برابر است با:

$$V_p = P/L = P/2l$$

ممان اینرسی جوش حول محور **x** و **y** برابر است با:

$$I_x = 2l^3/12 = l^3/6$$

نیروی افقی در نقطه **i** به سبب خروج از مرکزیت بار برابر است با:

$$H_e = Pey_i/I_x = 3Pe/l^2$$

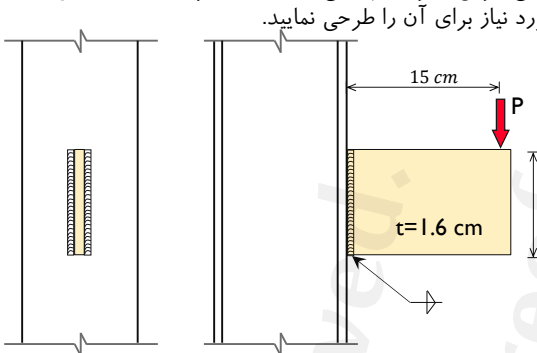
در نهایت برآیند بارهای وارده برابر است با:

$$R = \sqrt{(V_p)^2 + (H_e)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) اتصال یک ورق به ستون با خروج از مرکزیت خارج از صفحه در نظر گرفته شود. اتصال توسط جوش گوشه با الکترود E70XX متصل شده است. در صورتی که بازرسی جوش بصورت چشمی و در کارگاه بوده و بار P شامل یک بار مرده ۳ تنی و یک بار زنده ۹ تنی باشد، بعد جوش مورد نیاز برای آن را طرحی نمایید.



پاسخ: مقدار بار نهایی برای طراحی اتصال برابر است با:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 3 + 1.6 \times 9 = 18 \text{ ton}$$

با فرض بُعد واحد برای جوش، طول کل خط جوش برابر L=30×2=60 cm خواهد بود.

$$I_x = 2l^3/12 = l^3/6 = 30^3/6 = 4500 \text{ cm}^2$$

$$V_p = P_u/L = 18000/60 = 300 \text{ kg/cm}$$

$$H_e = Pey_i/I_x = 3Pe/l^2 = 3 \times 18000 \times 15/30^2 = 900 \text{ kg/cm}$$

$$R = \sqrt{(V_p)^2 + (H_e)^2} = \sqrt{(300)^2 + (900)^2} = 948 \text{ kg/cm}$$

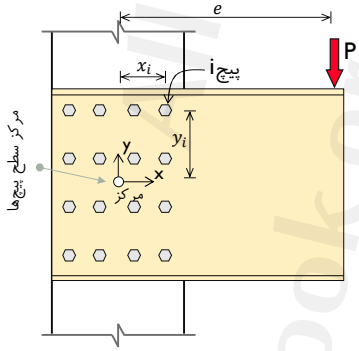
$$t_e = \frac{R}{\varphi R_n} = \frac{948}{0.75 \times 0.6 \times 4900} = 0.43 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad w = \frac{0.43}{0.707} = 0.6$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

گروه پیچ‌ها در اتصالات دارای خروج از مرکزیت

در شکل زیر را در نظر بگیرید که تحت نیروی درون صفحه ولی دارای خروج از مرکزیت قرار دارد. یکی از روش‌های ساده برای حل این مسائل، استفاده از روش ارتجاعی سطح است



در این روش ابتدا ممان اینرسی حول محور x و y و همچنین ممان اینرسی قطبی پیچ‌ها تعیین می‌شود:

$$I_x = \Sigma y^2 \quad , \quad I_y = \Sigma x^2 \quad , \quad I_o = I_x + I_y$$

نیروی قائم اعمال شده به پیچ iام ناشی از اثر مستقیم بار برابر است با:

$$V_p = P/n$$

همچنین نیروی قائم اعمال شده به پیچ iام ناشی از لنگر پیچشی برابر است با:

$$V_e = Pex_i/I_o$$

همچنین نیروی افقی اعمال شده به پیچ iام ناشی از لنگر پیچشی برابر است با:

$$H_e = Pey_i/I_o$$

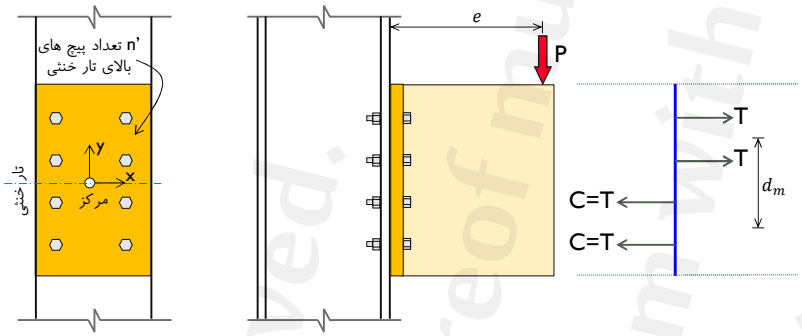
برآیند نیروهای بدست آمده برابر خواهند بود:

$$R = \sqrt{(V_p + V_e)^2 + (H_e)^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

حال در صورتی که مطابق شکل زیر اتصال دارای خروج از مرکزیت بار عمود بر صفحه باشد، پیچ‌ها تحت برش و خمش خواهند بود. پیچ‌های بالای تارخنثی مطابق این شکل، به کشش و پیچ‌های پایین تارخنثی به فشار می‌افتند.



مقدار نیروی کششی در هر پیچ بالای تار خنثی برابر است با:

$$T = Pe/n'd_m$$

در این حالت بایستی اثر توام کشش و برش برای اتصال دیده شود.

$$V_r = P/n$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کف‌ستون‌ها، ورق‌های نشیمن و فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی

مقاومت اتکایی موجود برای مصالح مختلف تکیه‌گاهی در روش LRFD مساوی $\phi_c P_p$ و در روش ASD مساوی P_p/Ω_c بوده که در آن ϕ_c (ضریب کاهش مقاومت)، Ω_c (ضریب اطمینان) و P_p (مقاومت اتکایی اسمی) براساس حالت حدی خردشدگی مصالح تکیه‌گاهی به شرح زیر تعیین می‌شوند.

ϕ=0.65 (LRFD) و Ω=2.31 (ASD)

الف) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی یا سنگ آهکی یا ماسه سنگ متراکم و ماسه سیمان:

$$P_p = F_p A_p$$

که در آن:

A_p سطح اتکاء در تماس با تکیه‌گاه برحسب میلیمتر مربع، F_p تنش اتکایی اسمی و مساوی ۶ مگاپاسکال

ب) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه سیمان:

$$P_p = F_p A_p$$

که در آن:

A_p سطح اتکاء در تماس با تکیه‌گاه برحسب میلیمتر مربع، F_p تنش اتکایی اسمی و مساوی ۴ مگاپاسکال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

پ) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$P_p = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 f_c' A_1$$

که در آن:

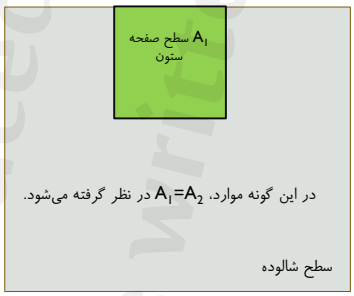
f_c' تنش فشاری مشخصهٔ نمونهٔ استوانه‌ای بتن،

A_1 سطح ورق کف ستون یا ورق نشیمن در تماس با تکیه‌گاه بتنی

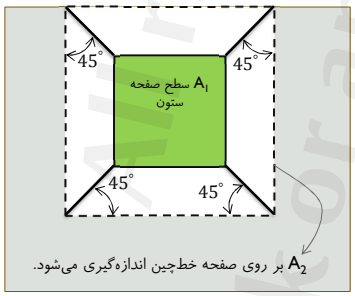
A_2 حداکثر سطحی از تکیه‌گاه بتنی هم‌مرکز با ورق کف‌ستون یا ورق نشیمن که در پلان و عمق تکیه‌گاه بتنی مطابق شکل محدود می‌شود. این سطح قاعدهٔ تحتانی یک هرم ناقص را تشکیل می‌دهد که قاعدهٔ فوقانی آن همان ورق کفستون یا ورق نشیمن بوده و یال هرم دارای شیب یک به دو در صفحهٔ قائم است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

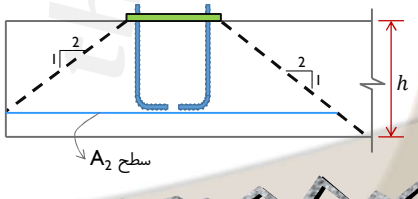
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

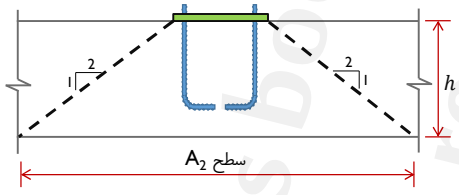


(الف) کف‌ستون‌هایی که حداقل یکی از لبه‌های آن با لبه شالوده هم‌باد است.



(ب) کف‌ستون‌هایی که لبه‌های آن از لبه شالوده فاصله دارد.



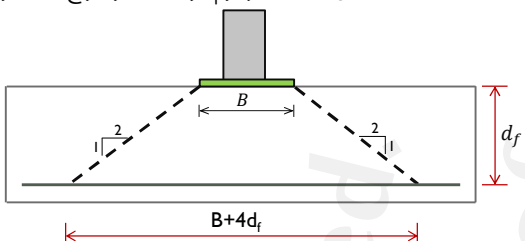


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک ستون با مقطع IPB200 بر روی یک صفحه ستون مربعی با طول ضلع ۳۰ سانتیمتری به مانند شکل زیر، قرار گرفته است. نیروی محوری ستون شامل یک بار محوری مرده ۳۰ تنی و یک بار زنده ۶۰ تنی است. پی بصورت مربعی و با ابعاد ۳ متر در ۳ متر و عمق موثر ۶۰ سانتیمتر است. مقاومت مشخصه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود. کفایت اتصال را تعیین نمایید.



$$A_2 = (B + 4d_f) = (30 + 4 \times 60)^2 = 72900\ cm^2$$
$$\sqrt{A_2} = \sqrt{72900\ cm^2} = 270\ cm < 300\ cm$$

بنابراین توزیع بار از ستون بر پی به محدوده پی ختم می‌شود.

$$P_p = 0.85 \times 300 \times 30^2 (72900/30^2)^{0.5} \times 10^{-3} = 2065\ ton > 1.7 \times 300 \times 30^2 \times 10^{-3} = 460\ ton$$
$$\varphi_c P_p = 0.65 \times 460 = 298\ ton$$
$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 30 + 1.6 \times 60 = 132\ ton < \varphi_c P_p = 298\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

میل‌مهارهای کف‌ستون و اقلام مدفون

الف) میل‌مهارهای کف‌ستون

میل‌مهارها از نظر کشش، برش و آثار توأم آنها باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر نیروهای حاصل از ترکیبات مختلف بارگذاری (متناظر با روش طراحی) باشند. مقاومت کششی و برشی موجود میل‌مهارها مطابق ضوابط میله‌های دندانه شده (الزامات بند ۱۰-۲-۹-۳-۳) تعیین می‌شود.

طراحی میل‌مهارها برای برش می‌تواند به صورت اتکایی و با شرایط سفتی کامل صورت گیرد، مگر در مورد ماشین‌آلات و ادوات تحت لرزش و خستگی که در آنها طراحی و اجرای میل‌مهارها باید به صورت لغزش بحرانی انجام پذیرد. درصورتیکه میل‌مهارهای کف‌ستون‌ها از میلگردهای آجدار ساخته شوند، در تعیین مقاومت‌های موجود آنها باید قطر اسمی ناحیه دندانه شده، ملاک محاسبه قرار گیرد

ب) اقلام مدفون

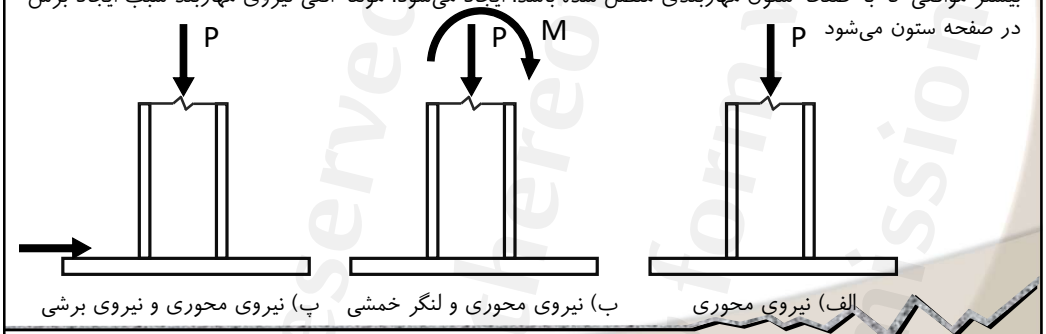
اجزای بتنی سازه باید طوری طراحی شود که به طور ایمن نیروهای حاصل از اقلام مدفون را با حاشیهٔ اطمینان کافی و با رعایت جزئیات خاص و مصالح مناسب تحمل نماید؛ به نحویکه اطمینان حاصل گردد که مقاومت اقلام مدفون در اثر گسیختگی‌ها در سازهٔ بتنی کاهش پیدا نکند. مقاومت‌های موجود اجزای بتنی سازه باید براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و مقاومت‌های موجود اجزای فولادی باید براساس الزامات این مبحث تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در طراحی یک صفحه ستون، یکی از سه حالت نشان داده شده در شکل زیر ممکن است ایجاد شود. در حالت (الف)، نیروی محوری بر صفحه ستون اثر نموده و جهت اعمال بار نیز عمود بر صفحه ستون است. این حالت در مواقعی که پای صفحه ستون بصورت مفصلی در نظر گرفته شده باشد، ایجاد می‌شود. بولت‌های موجود در صفحه ستون باعث پایداری آن در حین اجرای ستون می‌شوند. در حالت (ب) نیروی محوری و لنگر خمشی با هم بر صفحه ستون اثر می‌کنند. این حالت در قاب‌های خمشی و یا در حالاتی که بار محوری ستون با خروج از مرکزیت بر آن اعمال شود، ایجاد می‌شود. در صورتی که لنگر خمشی ناچیز باشد، نیازی به حضور بولت‌های صفحه ستون نیست ولیکن جهت اجرای ستون به آن‌ها نیاز است. در حالتی که لنگر ایجاد شده در صفحه ستون سبب ایجاد کشش در آن شود، نیاز به تعدادی بولت برای مقابله با این کشش ایجاد شده است. در حالت (پ) نیروی محوری و برش بر صفحه ستون اعمال می‌شوند. این حالت در بیشتر مواقعی که به صفحه ستون مهاربندی متصل شده باشد، ایجاد می‌شود. مولفه افقی نیروی مهاربند سبب ایجاد برش در صفحه ستون می‌شود

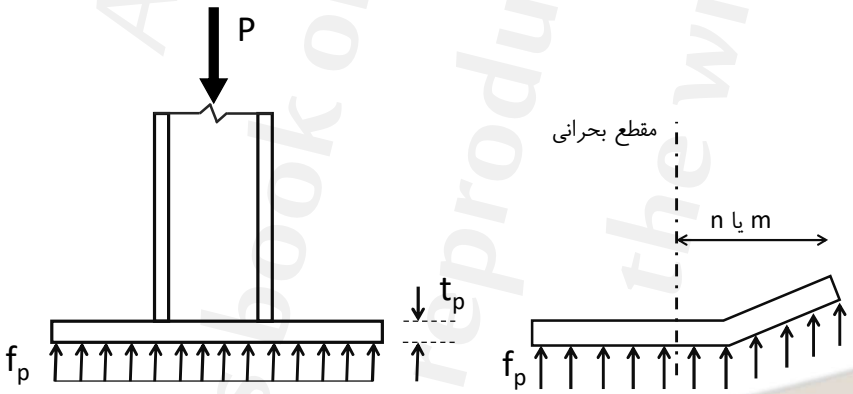


الف) نیروی محوری ب) نیروی محوری و لنگر خمشی پ) نیروی محوری و نیروی برشی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

شکل زیر توزیع تنش زیر صفحه ستون در این حالت را نشان می‌دهد. اگرچه توزیع این تنش در واقعیت پیچیده بوده ولیکن می‌توان بصورت ساده شده، توزیع آن را در زیر پی بصورت یکنواخت در نظر گرفت.

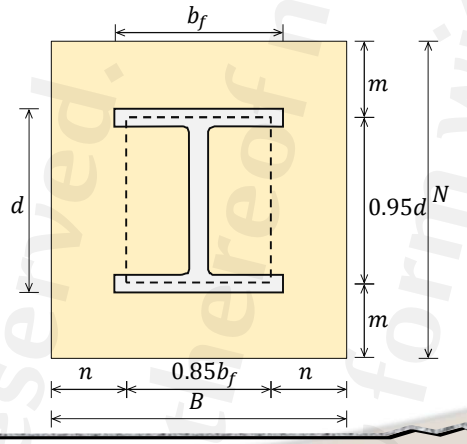


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای طراحی صفحه ستون مطابق شکل زیر فرض می‌شود، لبه‌های صفحه ستون بصورت یک تیر طره با طول‌های m و n می‌باشند. لبه این کنسول در جهت جان ستون از $0.95d$ و در جهت بال از $0.8b_f$ شروع می‌شود. بنابراین طول این لبه‌ها که تنش در زیر آن‌ها را می‌توان بصورت یکنواخت تصور کرد، برابر است با:

$$m = (N - 0.95d)/2$$
$$n = \left(B - 0.85b_f\right)/2$$



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این حالت فرض می‌شود مطابق شکل قبل، خمش ورق حول محور بحرانی آن ایجاد می‌شود. شرایط ایجاد شده برای ورق در این حالت به مانند یک تیر طره تحت بار یکنواخت می‌باشد.

مقطع بحرانی در نزدیکی بال‌ها است. تنش خمشی حاکم بر طراحی، با استفاده از یک تحلیل ارتجاعی و براساس بزرگترین دو مقدار m یا n تعیین می‌شود. در روش تنش مجاز مقدار تنش مجاز ایجاد شده در ورق برابر $0.75F_y$ در نظر گرفته می‌شود. در روش طراحی براساس حالات حدی، ظرفیت پلاستیک مقطع بحرانی برابر ZF_y به عنوان ظرفیت خمشی طراحی در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه Z اساس مقطع پلاستیک ورق تحول محور خمش برابر $t_p^2/4$ برای عرض واحد ورق و ضریب تقلیل مقاومت در این حالت نیز برابر $\phi_b=0.9$ در نظر گرفته می‌شود. طراحی به روش حالات حدی در این حالت منجر به طرح اقتصادی‌تری نسبت به روش تنش مجاز می‌شود.

در صورتی که مقطع ستون روی کف ستون بصورت جعبه‌ای یا دایره‌ای باشد، می‌توان از همان روابط داده شده برای مقاطع I شکل جهت طراحی این مقاطع نیز استفاده نمود. لیکن مقطع بحرانی برای تعیین ضخامت صفحه ستون، در صورتی که جعبه‌ای باشد، برابر 0.95 بُعد خارجی مقطع و در صورتی که مقطع ستون دایره‌ای باشد، برابر 0.80 بُعد خارجی مقطع لوله در نظر گرفته می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی صفحه ستون برای بار محوری فشاری:

۱- مقدار نیروی محوری ضریبدار P_u حاصل از ترکیب بارهای ضریبدار طراحی صفحه ستون تعیین شود.

۲- مساحت کف ستون با استفاده از رابطه زیر تعیین شود:

$$A_1 = \max \begin{cases} \frac{1}{A_2}\left[\frac{P_u}{0.65 \times 0.85 f'_c}\right]^2 \\ \frac{P_u}{0.65 \times 1.7 f'_c} \end{cases}$$

در صورتی که رابطه دوم حاکم باشد، سطح بتن A_2 به سطح کف ستون برابر یا بیشتر از سطح کف ستون A_1 است.

۳- ابعاد ورق N و B بایستی تعیین شود. با فرض m=n داریم:

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta \quad , \quad \Delta = 0.5\left(0.95d - 0.8b_f\right) \quad \Rightarrow \quad B = \frac{A_1}{N}$$

اعداد بدست آمده برای B و N به سمت مضربی از ۵ گرد می‌شوند.

۴- مقادیر m و n تعیین شود.

۵- با استفاده از رابطه زیر مقدار ضخامت صفحه ستون تعیین شود:

$$t_p = (m \text{ or } n)\sqrt{\frac{2P_u}{0.95F_yBN}}$$

۶- مقدار خمش ایجاد شده در ورق تعیین و کنترل شود.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک ستون با مقطع IPB280، (d=b_f=28 cm) تحت یک بار مرده به میزان ۷۲ تن و یک بار زنده به میزان ۱۴۰ تن، ابعاد صفحه ستون را تعیین نمایید. مقدار مقاومت مشخصه بتن ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و F_y=2400 kg/cm^2 و همچنین ابعاد پدستال برابر ۶۵ در ۶۵ سانتیمتر در نظر گرفته شود.

پاسخ: بارهای ضریبدار برابر است با:

$$P_u = 1.2 \times 72 + 1.6 \times 140 \approx 310 \text{ ton}$$

سطح ورق کف ستون مورد نیاز:

$$A_2 = 65 \times 65 = 4225 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = \frac{1}{4225}\left[\frac{310 \times 10^3}{0.65 \times 0.85 \times 250}\right]^2 = 1400 \text{ cm}^2 \leftarrow$$

$$A_1 = \left[\frac{310 \times 10^3}{0.65 \times 1.7 \times 250}\right] = 1215 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = 0.5(0.95 \times 28 - 0.8 \times 28) = 2.1 \text{ cm}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{1400} + 2.1 = 39.5 \text{ cm}$$

مقدار N=40 cm در نظر گرفته می‌شود. بنابراین B=1400/40=35 cm در نظر گرفته می‌شود.

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$m = \frac{(40 - 0.95 \times 28)}{2} = 6.7 \text{ cm} \leftarrow$$

$$n = \frac{(35 - 0.8 \times 28)}{2} = 6.3 \text{ cm}$$

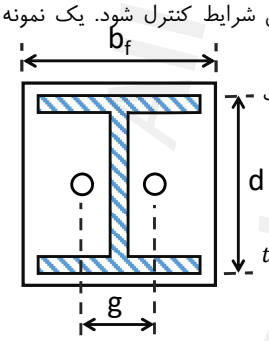
$$t_p = 6.7\sqrt{\frac{2 \times 310 \times 10^3}{0.90 \times 2400 \times 35 \times 40}} = 3.03$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی صفحه ستون برای شرایط نیروی بلندشدگی

تحت برخی ترکیب بارها، ممکن است نیروی کششی در صفحه ستون ایجاد شود. ابعاد صفحه ستون در این حالت تقریباً برابر ابعاد ستون بوده و صفحه ستون بایستی برای خمش ایجاد شده در آن برای این شرایط کنترل شود. یک نمونه صفحه ستون طراحی شده برای تحمل این شرایط در شکل زیر نشان داده شده است.



- در سال ۱۹۸۳، Murray براساس روش خطوط تسلیم روابط زیر را برای تعیین ضخامت صفحه ستون پیشنهاد داد.

- برای حالتی که $\sqrt{2}b_f \leq d$، ضخامت مورد نیاز صفحه ستون برابر است با:

$$t_p = \sqrt{\frac{\sqrt{2}P_u g}{4\phi_b b_f F_y}}$$

- برای حالتی که $\sqrt{2}b_f > d$، ضخامت مورد نیاز صفحه ستون برابر است با:

$$t_p = \sqrt{\frac{P_u g d}{\phi_b F_y (d^2 + 2b_f^2)}}$$

که در رابطه اخیر، مقدار g در شکل نشان داده شده است و ϕ_b=0.9 و همچنین P_u نیروی محوری کششی حاصل از ترکیب بارهای ضریبدار است

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک ستون با مقطع IPB280 ($d=b_f=28$ cm) تحت کشش بار باد به میزان 8.75 تن، ضخامت صفحه ستون را تعیین نمایید. مقدار $F_y=2400$ kg/cm^2 و همچنین $g=10$ cm در نظر گرفته شود.

طبق مبحث ششم، ضریب بار باد برابر 1.6 است. بنابراین نیروی ضریبدار طراحی برابر $P_u=1.6\times8.75=14$ ton است.
برای حالتی که $\sqrt{2}\times 28 = 39\ cm \le 28\ cm$، ضخامت مورد نیاز صفحه ستون برابر است با:

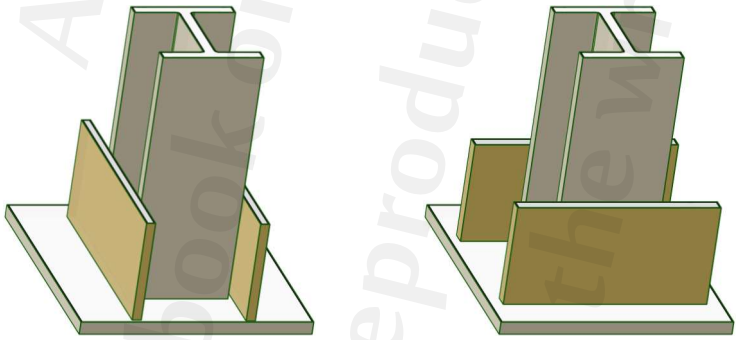
$$t_p = \sqrt{\frac{\sqrt{2}P_u g}{4\phi_b b_f F_y}} = \sqrt{\frac{\sqrt{2}\times14000\times10}{4\times0.9\times28\times2400}} = 0.9\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی صفحه ستون برای بارهای سنگین:

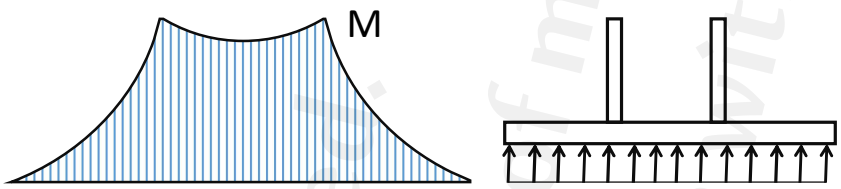
در صورتی که بارهای وارد بر کف ستون زیاد باشد، ضخامت صفحه ستون زیاد شده و در برخی موارد به شدت غیراقتصادی خواهد شد. یک روش مناسب برای این حالت، استفاده از ورق‌های سخت کننده مطابق شکل زیر در پای ستون است.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این حالت، کف ستون به مانند یک تیر پیوسته عمود بر ورق‌های سخت کننده طراحی می‌شود. توزیع تنش زیر صفحه ستون و لنگر خمشی ایجاد شده در شکل زیر نشان داده شده است. بطور کلی حداقل تعداد بولت‌ها برابر ۴ بایستی در نظر گرفته شود.



ب) دیاگرام لنگر خمشی

الف) توزیع تنش زیر کف ستون

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

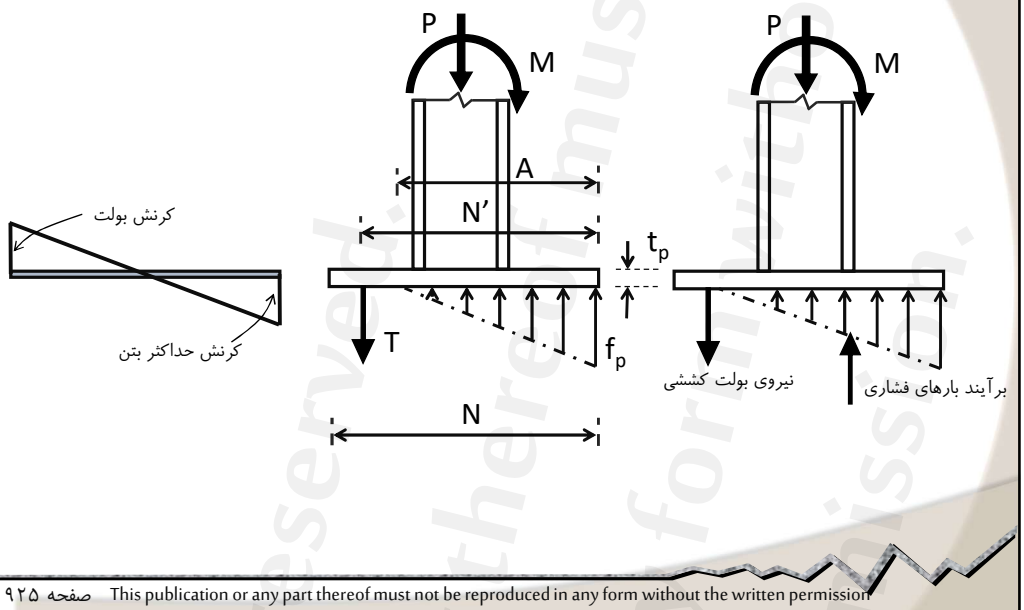
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی صفحه ستون تحت لنگر خمشی و نیروی محوری

بطور کلی دو روش برای طراحی صفحه ستون تحت لنگر خمشی و نیروی محوری وجود دارد. روش اول براساس رفتار ارتجاعی و روش دوم براساس بارهای خرابی می‌باشد. در سال ۱۹۷۸ تحقیقاتی در ارتباط با رفتار صفحه ستون با لنگر خمشی توسط DeWolf و Sarisley صورت گرفت. ایشان دو روش طراحی فوق را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد، روش مبتنی بر رفتار ارتجاعی منجر به طراحی نسبتاً محافظه‌کارانه‌تری نسبت به روش دوم می‌شود. در روش مبتنی بر رفتار ارتجاعی، سه متغیر وجود دارد. در این روش فرض می‌شود، برآیند نیروهای گسترده زیر کف ستون از بال فشاری ستون عبور می‌نماید. همچنین در این روش فرض می‌شود توضیع کرنش و تنش در زیر کف ستون بصورت خطی است. بنابراین در این روش فرض بر صفحه باقی ماندن صفحه بعد از اعمال بارها است که این خود تا حدودی باعث وارد شدن تقریب در این روش می‌شود. این موارد در شکل زیر نشان داده شده است. طول و مقدار توزیع تنش زیر کف ستون به میزان لنگر وارد بر آن بستگی دارد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

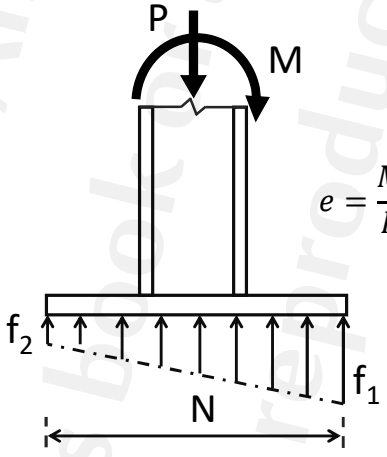


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی برای خروج از مرکزیت‌های کوچک

اگر خروج از مرکزیت معادل، کمتر از N/6 باشد، توزیع تنش فشاری زیر کف ستون در سراسر ورق رخ داده و جداشدگی بین ورق و پی صورت نمی‌گیرد. توزیع تنش این حالت در شکل زیر نشان داده شده است.



$$e = \frac{M}{P} \leq \frac{N}{6}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در صورتی که به ورق به عنوان مقطع یک تیر نگاه شود، مقدار شدت تنش در لبه‌های ورق کف ستون برابر است با:

$$f_{1\&2} = \frac{P}{BN} \pm \frac{Mc}{I}$$

که در آن B و N ابعاد ورق بوده و c=N/2 و همچنین I ممان اینرسی و برابر $BN^3/12$ است. در صورتی که e=N/6 باشد، مقدار f_2=0 خواهد بود. در طراحی به روش حالات حدی، مقدار نیروی محوری و لنگر خمشی بایستی براساس ترکیب بارهای ضریبدار بوده و تنش حداکثر f_1 نبایستی از مقدار زیر بیشتر شود:

$$0.85\phi_c f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7\phi_c f_c$$

در صورتی که مقدار خروج از مرکزیت معادل e بین N/2 و N/6 باشد (شرایط خروج از مرکزیت میانی) تنش فشاری زیر کف ستون مطابق شکل زیر در بخشی از ورق رخ می‌دهد.

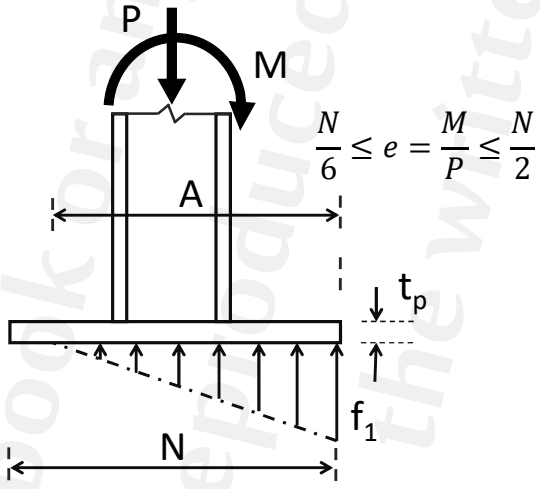
مقدار تنش حداکثر ایجاد شده در این حالت برابر است با:

$$f_1 = \frac{2P}{AB}$$

که در رابطه فوق A طولی از ورق که تحت تنش فشاری است، می‌باشد. این طول برابر A=3(N/2-e) است. حداکثر مقدار A می‌تواند برابر N (در حالتی که e=N/6) باشد. روند طراحی برای این حالت به روش LRFD بصورت زیر است:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



$$\frac{N}{6} \leq e = \frac{M}{P} \leq \frac{N}{2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۱- نیروی محوری و لنگر طراحی ضریبدار تعیین شود.

۲- مقدار حداکثر تنش زیر صفحه ستون با استفاده از رابطه زیر تعیین شود:

$$F_P = 0.85\phi_c f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq \phi_c 1.7 f_c$$

۳- ابعاد فرضی برای سعی اولیه در طراحی ورق در نظر گرفته شوند (یک ورق به ابعاد N در B).

۴- مقدار خروج از مرکزیت معادل e=M/P تعیین شود. سپس مقدار تنش اتکایی حداکثر تعیین شود. در صورتی که مقدار تنش محاسبه شده مورد قبول باشد، به گام بعد رفته در غیر اینصورت به گام ۳ برگردید.

۵- مقدار ضخامت ورق براساس توزیع تنش ارتجاعی در مقطع بحرانی ورق تعیین شود.

$$t_P = \sqrt{\frac{4M_{plu}}{0.9F_y}}$$

که M_{plu} مقدار لنگر خمشی برای یک نوار به عرض ۱ سانتیمتر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک صفحه ستون که تحت یک بار مرده و زنده محوری به ترتیب معادل ۲۲ و ۲۵ تن و یک لنگر خمشی ناشی از بارهای مرده و زنده به ترتیب معادل ۱/۱ و ۲ تن-متر قرار دارد، طراحی را انجام دهید. در ستون روی کف ستون خمش حول محور قوی و عمق مقطع ستون ۲۸ سانتیمتر است. نسبت سطح بتن به صفحه ستون برابر واحد بوده و مقدار F_y=2400 kg/cm^2 و مقاومت مشخصه بتن ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود.

پاسخ:

مقدار بارهای ضریبدار وارد بر کف ستون برابر است با:

$$P_u = 1.2 \times 22 + 1.6 \times 25 = 66.4\ ton$$
$$M_u = 1.2 \times 1.1 + 1.6 \times 2.0 = 4.52\ ton.m$$

حداکثر تنش اتکایی برابر است با:

$$F_P = 0.85 \times 0.65 \times 250\sqrt{1} = 138\ \frac{kg}{cm^2}$$

با فرض N=45 cm و B=30 cm داریم:

$$e = \frac{4.52}{66.4} \times 10^2 = 6.8\ cm < \frac{N}{6} = \frac{45\ cm}{6} = 7.5\ cm$$

بنابراین تنش در سراسر ورق رخ می‌دهد. تنش‌های حداقل و حداکثر ایجاد شده در صفحه ستون برابر است با:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$f_{1\&2} = \frac{66.4 \times 10^3\ kg}{45 \times 30} \pm \frac{(4.52 \times 10^5) \times 22.5}{\left(\frac{30 \times 45^3}{12}\right)} = 49.18 \pm 44.64$$

$$= 93.8\ \frac{kg}{cm^2}\ \ \&\ \ 4.54\ \frac{kg}{cm^2}$$

همانطور که دیده می‌شود، مقدار تنش حداکثر از مقدار تنش مورد قبول کمتر بوده و ابعاد ورق مورد قبول است. مقطع بحرانی در (45-0.95×28)/2=9.2 cm از لبه ورق، ایجاد می‌شود. با توجه به تنش حداکثر و حداقل برابر **93.8** و **4.54** کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، مقدار تنش در مقطع بحرانی ورق با توجه به تشابه مثلثاتی برابر **75.5** کیلوگرم بر سانتیمتر مربع خواهد بود. مقدار لنگر در مقطع بحرانی برابر است با:

$$M_{plu} = \left[\frac{75.5 \times 9.2^2}{2}\right] + \left[\frac{(93.8 - 75.5) \times 9.2^2 \times 0.67}{2}\right] = 3714\ kg.cm/cm$$

$$t_P = \sqrt{\frac{4M_{plu}}{0.9F_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 3714}{0.9 \times 2400}} = 2.62$$

از یک ورق به ضخامت ۳ سانتیمتر استفاده می‌شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی برای خروج از مرکزیت‌های زیاد

در صورتی که میزان خروج از مرکزیت بارهای وارده زیاد باشد، بخشی از ورق از روی پی جدا شده و نیاز به استفاده از یک یا چند بولت برای مقابله با نیروی کششی داریم. با استفاده از معادلات تعادلی نمی‌توان مجهولات را تعیین کرد. بنابراین لازم است علاوه بر معادلات تعادل استاتیکی از معادله همسازی بین تغییرشکل‌ها نیز استفاده شود.

$$T + P = \frac{f_p AB}{2}$$

با نوشتن تعادل لنگر حول محور میل مهارهای تحت کشش داریم:

$$PA' + M = \frac{f_p AB}{2}\left(N' - \frac{A}{3}\right)$$

که در رابطه فوق A'، فاصله بین میل‌مهار کششی و آکس ستون می‌باشد. بنابراین داریم:

$$A = \frac{f' \pm \sqrt{\left[f'^2 - 4\left(\frac{f_p B}{6}\right)(PA' + M)\right]}}{\frac{f_p B}{3}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

که در رابطه فوق $f' = f_p BN'/2$ است. با استفاده رابطه اول داریم

$$T = \frac{f_p AB}{2} - P$$

با جایگذاری مقدار A در رابطه تعادل لنگری بدست آمده در قبل مقدار تنش حداکثر زیر پی برابر است با:

$$f_p = \frac{2P(e + A')}{AB\left(\frac{N}{2} + A' - \frac{A}{3}\right)}$$

روند طراحی این حالت بطور خلاصه بصورت زیر است:

۱- نیروی محوری و لنگر طراحی ضریبدار تعیین شود.

۲- مقدار حداکثر تنش مجاز زیر صفحه ستون با استفاده از رابطه زیر تعیین شود:

$$F_P = 0.85\phi_c f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7\phi_c f_c$$

۳- ابعاد فرضی برای سعی اولیه در طراحی ورق در نظر گرفته شوند (یک ورق به ابعاد N در B).

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

۴- با توجه به شکل و با استفاده از بارهای ضریبدار، مقدار طول A تعیین می‌شود. در صورتی که این مقدار معقول بود به گام بعد رفته در غیراینصورت این مقدار باید به گام قبل رفته و ابعاد ورق بیشتری در نظر گرفته شود.

۵- با استفاده از روابط فوق، مقدار نیروی کششی ایجاد شده در میل‌مهارهای کف ستون تعیین شود. در صورتی که این مقدار معقول بود به گام بعدی رفته در غیراینصورت به گام ۳ برگردید. (طراحی میل‌مهار در بخش بعدی اشاره خواهد شد)

۶- مقدار ضخامت ورق براساس توزیع تنش ارتجاعی در مقطع بحرانی ورق تعیین شود.

$$t_P = \sqrt{\frac{4M_{plu}}{0.9F_y}}$$

که M_{plu} مقدار لنگر خمشی برای یک نوار به عرض ۱ سانتیمتر است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک صفحه ستون که تحت یک بار مرده و زنده محوری به ترتیب معادل 9 و 17 تن و یک لنگر خمشی ناشی از بارهای مرده و زنده به ترتیب معادل 1.9 و 3.5 تن-متر قرار دارد، طراحی را انجام دهید. در ستون روی کف ستون خمش حول محور قوی و عمق مقطع ستون ۲۰ سانتیمتر است. نسبت سطح بتن به صفحه ستون برابر ۴ بوده و مقدار F_y=2400 kg/cm^2 و مقاومت مشخصه بتن ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شود.

مقدار بارهای ضریبدار وارد بر کف ستون برابر است با:

$$P_u = 1.2 \times 9 + 1.6 \times 17 = 38\ ton$$
$$M_u = 1.2 \times 1.9 + 1.6 \times 3.5 = 7.88\ ton.m$$

حداکثر تنش اتکایی برابر است با:

$$F_P = 0.85 \times 0.65 \times 250\sqrt{4} = 276\ \frac{kg}{cm^2}$$

e=7.88/38=0.2 m=20 cm با فرض یک ورق به ابعاد ۳۵ در ۳۵ سانتیمتر، میزان خروج از مرکزیت بار برابر خواهد بود. این خروج از مرکزیت از نصف عرض ورق بیشتر است. بنابراین به میل‌مهارها نیاز است. با فرض فاصله ۴ سانتیمتر از محور میل مهار تا لبه ورق داریم:

$$f' = \frac{255 \times 35 \times (35-4)}{2} = 138337\ kg$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$A = \frac{138337 - \sqrt{\left[138337^2 - 4\left(\frac{255 \times 35}{6}\right)(38000 \times 13.5 + 7.88 \times 10^5)\right]}}{\frac{255 \times 35}{3}} = 10.6\ cm$$

عدد مناسبی است. مقدار نیروی در میل‌مهار برابر است با:

$$T = \frac{f_p AB}{2} - P = \frac{255 \times 10.6 \times 35}{2} \times 10^{-3} - 38 = 9.3\ ton$$

مقطع بحرانی در (35-0.95×20)/2=8 cm از لبه ورق، ایجاد می‌شود. مطابق شکل، مقدار لنگر در مقطع بحرانی برابر است با:

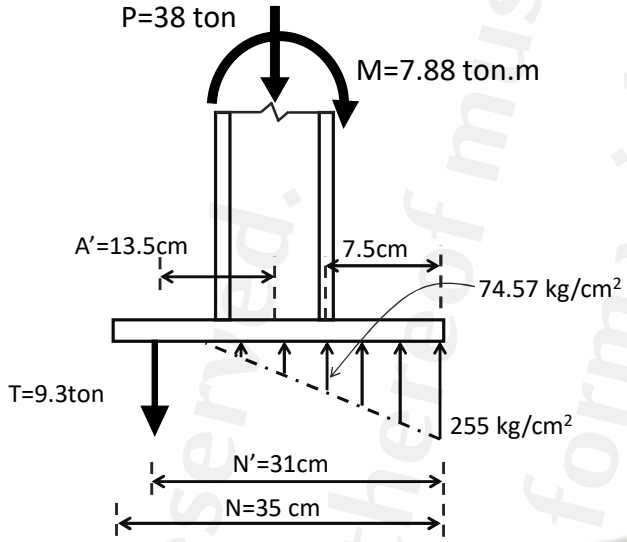
$$M_{plu} = \left[\frac{74.57 \times 7.5^2}{2}\right] + \left[\frac{(255 - 74.57) \times 7.5^2 \times 0.67}{2}\right] = 5497\ kg.cm/cm$$

$$t_P = \sqrt{\frac{4M_{plu}}{0.9F_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 5497}{0.9 \times 2400}} = 3.19$$

از یک ورق به ضخامت 3.2 سانتیمتر استفاده می‌شود

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی بولت برای نیروی کششی:

بطور کلی برای تمام کف ستون‌ها نیاز به میل‌مهار داریم. حداقل کار میل‌مهارها، تضمین عدم واژگونی ستون در حین ساخت است. کارایی دیگر میل‌مهارها مقابله با نیروهای کششی ایجاد شده در پی به سبب لنگرهای خمشی ایجاد شده در آن‌ها است.

روند طراحی این میل‌مهارها به روش حالات حدی بصورت زیر است:

۱- مقدار حداکثر ظرفیت کششی میل‌مهار بصورت زیر تعیین شود:

$$T_u = 0.75\phi_t F_u A_g$$

که در رابطه فوق، ϕ_t=0.75، F_u حداقل مقاومت کششی نهایی مصالح میل‌مهار و همچنین A_g سطح مقطع میل‌مهار است.

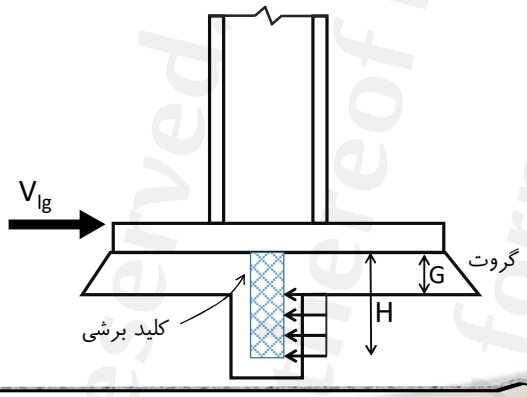
۲- طول قلاب مورد نیاز براساس ضوابط مبحث نهم تعیین شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی صفحه ستون تحت برش

در مواقعی که صفحه ستون در کنار مهاربند واقع شده باشد، نیروی لغزشی در صفحه ستون به سبب مولفه افقی نیروی مهاربند ایجاد می‌شود. روش‌های مختلفی برای مقابله با نیروی برشی وجود دارد. روش‌هایی مانند مدفون نمودن پای ستون در پی، استفاده از کلید برشی و استفاده از میل‌مهارها برای مقابله با نیروی برشی.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

روند طراحی صفحه ستون برای نیروی برشی بصورت زیر است:

۱- ابتدا سهمیه نیروی برشی کف ستون تعیین می‌شود. این مقدار نیروی برشی برابر نیروی برشی ایجاد شده منهای بارهای ثقلی در ضریب اصطکاک μ است.

۲- مقدار سطح اتکای مورد نیاز برای کلید برشی برابر است با:

$$A_{lgu} = \frac{V_{lgu}}{0.85\phi_c f_c}$$

۳- با فرض آنکه سطح اتکای کلید برشی در زیر بتن پی ایجاد شود، ابعاد کلید برشی تعیین شود.

۴- لنگر ضریبدار انتهایی برای کلید برشی M_{lgu} بر واحد طول کلید برشی برابر است با:

$$M_{lgu} = \frac{V_{lgu}}{W} \times \frac{H+G}{2}$$

که در رابطه فوق W عرض کلی افقی کلید برشی، G ضخامت گروت و H ارتفاع کلید برشی است.

۵- مقدار ضخامت کلید برشی برابر است با:

$$t_{lg} = \sqrt{\frac{4M_{lgu}}{0.9F_y}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک کف ستون مربعی به ابعاد 35 سانتیمتر تحت نیروی محوری ناشی از بارهای مرده برابر 50 تن و برش ناشی از بارهای باد به میزان 17.5 تن، با فرض F_y=2400 kg/cm^2 و مقاومت مشخصه بتن ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع کلید برشی را طراحی نمایید.

طبق مبحث ششم، ضریب بار مرده برابر 0.9 و ضریب بار باد برابر 1.6 است. با فرض ضریب اصطکاک μ=0.55 داریم:

$$V_{lgu} = 1.6 \times 17.5 - 0.55 \times 0.9 \times 50 = 3.25\ ton$$

$$A_{lgu} = \frac{V_{lgu}}{0.85\phi_c f_c} = \frac{3250}{0.85 \times 0.65 \times 250} = 23.5\ cm^2$$

با فرض عرض کلید برشی برابر ۲۰ سانتیمتر، ارتفاع سطح اتکای آن برابر است با:

$$H - G = \frac{23.5}{20} = 1.7\ cm$$

با فرض ضخامت گروت برابر 4 سانتیمتر، ارتفاع کلی کلید برشی برابر 1.7+4=5.7 cm می‌باشد که آن را برابر 6 سانتیمتر در نظر می‌گیریم.

$$M_{lgu} = \frac{3.25}{20} \times \frac{6+4}{2} = 0.81\ ton.cm/cm$$

$$t_{lg} = \sqrt{\frac{4M_{lgu}}{0.9F_y}} = \sqrt{\frac{4 \times 810}{0.9 \times 2400}} = 1.5\ cm$$

بنابراین از یک کلید برشی به طول 20 عرض 4 و ضخامت 1.5 سانتیمتری استفاده می‌شود

صفحه ۹۴۱ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات ویژهٔ بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱۰، الزامات این بند مربوط است به بررسی جان و بال (یا بال‌های) مقاطع اعضایی که به یک یا هر دو بال آنها نیروهای متمرکز در امتداد عمود بر صفحهٔ بال و به‌طور متقارن نسبت به جان اثر می‌کند. نیروهای متمرکز می‌توانند به صورت تکی (فشاری یا کششی) یا به صورت زوج نیروی ناشی از لنگر خمشی (یکی کششی و دیگری فشاری) باشند. مقاومت‌های موجود بال (یا بال‌ها) و جان اعضایی که تحت اثر بارهای متمرکز وارد بر بال قرار می‌گیرند، باید براساس حالت‌های حدی زیر تعیین شوند:

۱- خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۱)

۲- تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی یا فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۲)

۳- چروکیدگی موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۳)

۴- کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۴)

۵- کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز متقابل فشاری، که به هر دو بال عضو اثر می‌کند (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۵)

۶- برش در چشمهٔ اتصال (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۶)

صفحه ۹۴۲ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

علاوه بر حالت‌های حدی فوق، رعایت الزامات تکمیلی برای سخت‌کننده‌های عرضی در انتهای تیرها و شاهتیرها (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷)، الزامات تکمیلی برای سخت‌کننده‌های عرضی در مقابل نیروهای متمرکز (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸) و الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) و سخت‌کننده‌های قطری در چشمهٔ اتصال (مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۹ نیز الزامی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

الزامات این بند برای هر دو حالت نیروی متمرکز کششی تکی و مؤلفهٔ کششی زوج نیروی ناشی از لنگر خمشی کاربرد دارد (شکل ۱۰-۲-۹-۲۳). درصورتیکه طول بارگذاری شده در امتداد پهنای بال (b_1) کوچکتر از $0.15b_f$ باشد، لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی خمش موضعی بال مقابل نیروی متمرکز کششی نخواهد بود. در غیر این صورت کنترل خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی ضروری است. مقاومت موجود بال در برابر خمش موضعی ناشی از نیروی متمرکز کششی، در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت اسمی بال در برابر خمش موضعی ناشی از نیروی متمرکز کششی) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$R_n = 6.25F_{yf}t_f^2$$

ϕ=0.9 (LRFD) و Ω=1.67 (ASD)

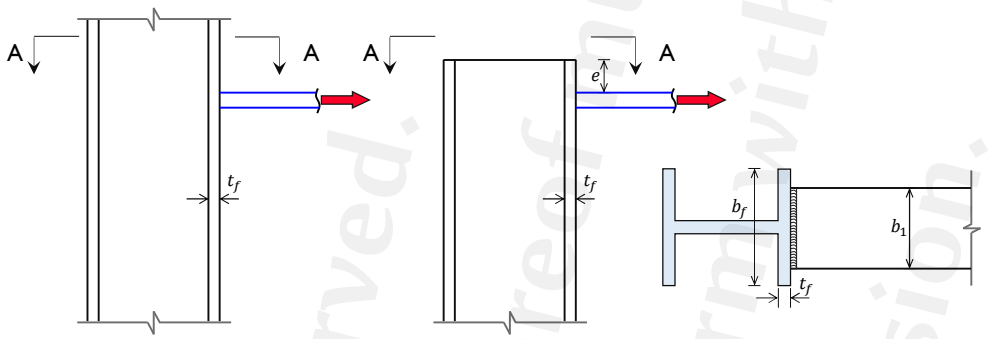
که در آن: t_f ضخامت بال تحت نیروی کششی، F_{yf} تنش تسلیم مشخصهٔ بال

تبصره: درصورتیکه نیروی متمرکز کششی در فاصله‌ای کمتر از $10t_f$ از انتهای عضو اثر نماید، ($e<10t_f$) مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۲۹ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

درصورتیکه نیروی متمرکز کششی از مقاومت موجود بال در برابر خمش موضعی بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ عرضی مطابق با الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ ضروری است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک اتصال تیر IPE270 به یک ستون IPB200 الزوم استفاده از ورق سخت کننده برای بال کششی تیر ناشی از خمشی موضعی بال را بررسی نمایید. تنش تسلیم تیر و ستون برابر 2400 kg/cm^2 می‌باشد. لنگر اعمالی از طرف تیر ناشی از بارهای مرده برابر M_D=3 ton.m و ناشی از بارهای زنده برابر M_L=2 ton.m است.

برای IPE270، مقدار d=27 cm و t_f=1.02 cm است. همچنین برای IPB200، مقدار t_f=1.5 cm است. ظرفیت نهایی بال ستون برابر است با:

$$\phi R_n = 0.9 \times 6.25 F_{yf} t_f^2 = 0.9 \times 6.25 \times 2400 \times 1.5^2 \times 10^{-3} = 30.3\ ton$$

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L = 1.2 \times 3 + 1.6 \times 2 = 6.8\ ton.m$$

$$P_{rf} = \frac{M_u}{d - t_f} = \frac{6.8}{(27 - 1.02) \times 10^{-2}} = 26.17 < 30.3\ ton$$

بنابراین نیازی به سخت کننده ندارد.

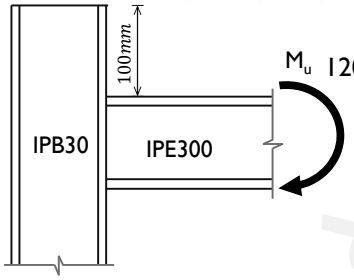
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال شکل مقابل، بدون توجه به الزامات طراحی لرزه‌ای، مقاومت طراحی خمشی موضعی بال ستون در برابر بار متمرکز کششی ناشی از M_u به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

الف) 77 kN　　ب) 480 kN　　ج) 240 kN　　د) 120 kN M_u



طبق تبصره، درصورتیکه نیروی متمرکز کششی در فاصله‌ای کمتر از $10t_f$ از انتهای عضو اثر نماید، ($e<10t_f$) مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۲۹ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

$$e = 100mm < 10t_f = 10 \times 19 = 190\ mm$$

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{1}{2} \times 6.25 F_{yf} t_f^2 = 0.9 \times \frac{1}{2} \times 6.25 \times 240 \times 19^2 \times 10^{-3} = 243\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی یا فشاری

الزامات این بند برای نیروی متمرکز کششی تکی، نیروی متمرکز فشاری تکی و هر دو مؤلفهٔ فشاری و کششی زوج نیروی ناشی از لنگر خمشی کاربرد دارد (شکل ۱۰-۲-۹-۲۴). مقاومت موجود تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی یا فشاری در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت اسمی تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی یا فشاری) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

ϕ=1.0 (LRFD)　　و　　Ω=1.50 (ASD)

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای بزرگتر از d از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (5k + l_b)$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا کوچکتر از d از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (2.5k + l_b)$$

در روابط فوق:

F_{yw} تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان، t_w ضخامت جان، d ارتفاع کلی مقطع تیر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

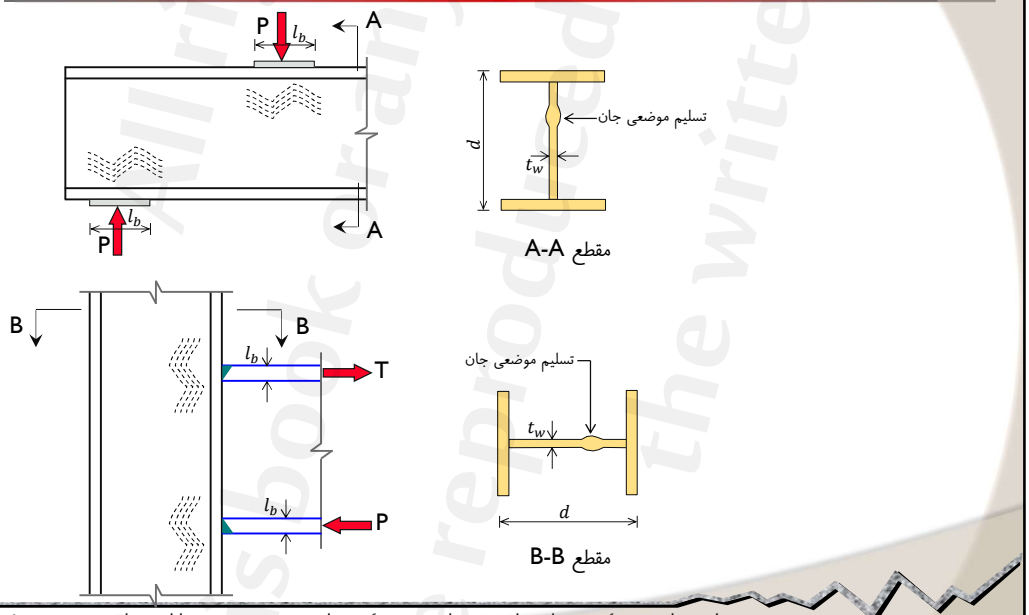
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

k فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق.

l_b طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار l_b نباید کمتر از k در نظر گرفته شود). درصورتیکه نیروی متمرکز کششی یا فشاری از مقاومت موجود تسلیم موضعی جان بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ عرضی مطابق با الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ ضروری است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

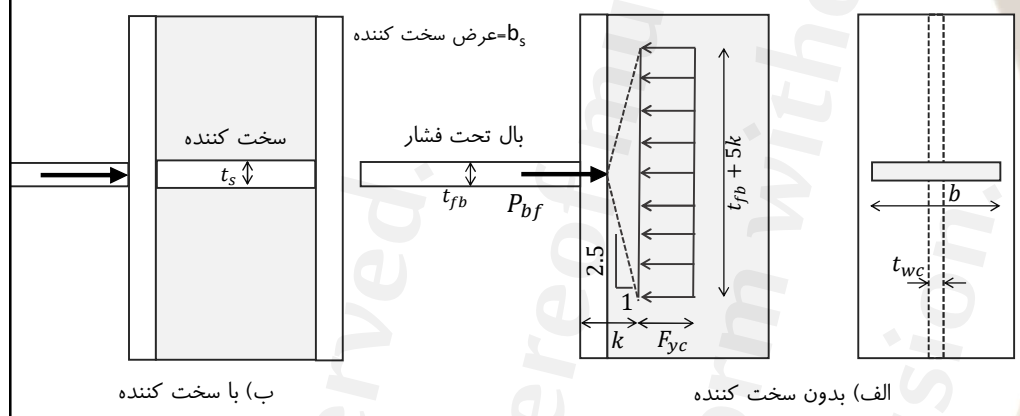
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



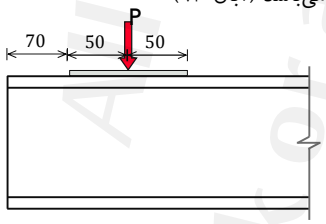
ب) با سخت کننده

الف) بدون سخت کننده

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در صورتیکه نیروی متمرکز مطابق شکل روی صفحه فولادی 100x100x20 در نزدیکی انتهای آزاد تیر طره‌ای فولادی با مقطع IPE200 وارد گردد، مقاومت طراحی در برابر تسلیم موضعی جان به کدامیک مقادیر زیر برحسب کیلونیوتن نزدیکتر است؟ فولاد تیر از نوع ST37 با تنش تسلیم 240MPa می‌باشد (آبان ۹۳)



الف) 270 kN

ب) 180 kN

ج) 200 kN

د) 250 kN

$$s = 120\ mm < d = 200 \Rightarrow \phi R_n = \phi F_{yw} t_w (2.5k + l_b)$$
$$= 1 \times 240 \times 5.6 \times (2.5 \times 20.5 + 100) \times 10^{-3} = 203\ kN$$

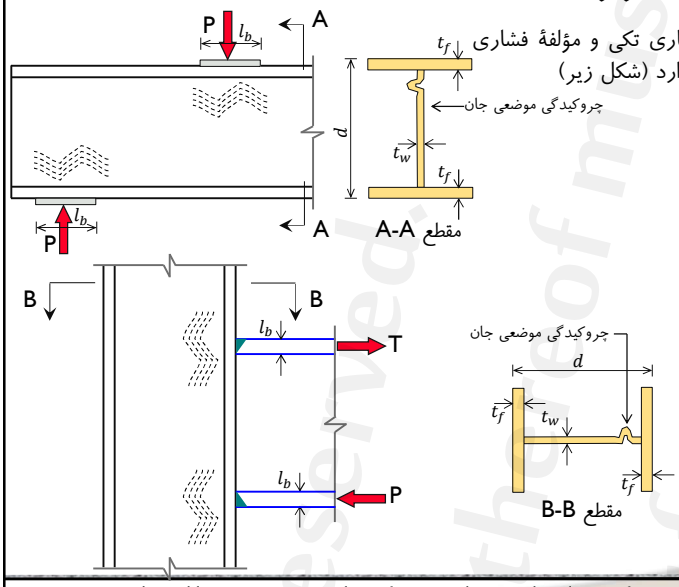
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چروکیدگی موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند برای نیروی متمرکز فشاری تکی و مؤلفهٔ فشاری زوج نیروی ناشی از لنگر خمشی کاربرد دارد (شکل زیر)



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت موجود چروکیدگی موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت) Ω (ضریب اطمینان) و R_n مقاومت اسمی چروکیدگی موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$\phi=0.75$ (LRFD) و $\Omega=2.0$ (ASD)

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا بزرگتر از d/2 از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1+3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای کوچکتر از d/2 از انتهای عضو وارد می‌شود:

- درصورتیکه $l_b/d \le 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.4t_w^2\left[1+3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

- درصورتیکه $l_b/d > 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.4t_w^2\left[1+\left(\frac{4l_b}{d}-0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

در روابط فوق:

d ارتفاع کلی مقطع، t_w ضخامت جان، t_f ضخامت بال تحت بار

l_b طول اتکایی بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار l_b نباید کمتر از k در نظر گرفته شود.

k فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق.

F_{yw} تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان

E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

درصورتیکه نیروی متمرکز فشاری از مقاومت موجود چروکیدگی موضعی جان بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ عرضی مطابق با الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ ضروری است.

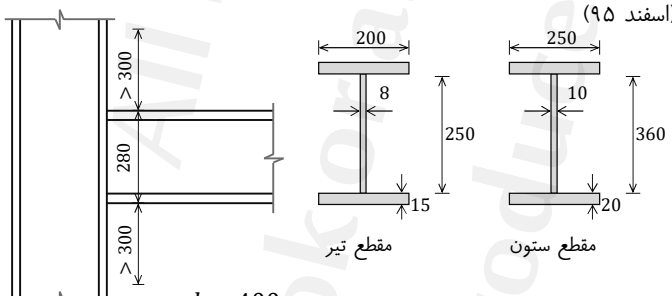
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در اتصال گیردار تقویت نشده جوشی WUF-W شکل زیر، مقاومت طراحی لهیدگی (چروکیدگی) جان ستون در مقابل نیروی متمرکز فشاری وارد از بال تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ اندازه‌ها به میلیمتر بوده و فولاد مصرفی ستون و تیر به شرح زیر است: (اسفند ۹۵)

تیر F_y=355 MPa

ستون F_y=235MPa



$$e > 300\ mm > \frac{d}{2} = \frac{400}{2} = 200\ mm$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.8t_w^2\left[1+3\left(\frac{l_b}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$= 0.75 \times 0.8 \times 10^2\left[1+3\left(\frac{15}{400}\right)\left(\frac{10}{20}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2\times10^5\times235\times20}{10}}\times10^{-3} = 605\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط به حالتی است که مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۶ یک نیروی متمرکز فشاری به عضوی وارد می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل اثر نیروی متمرکز، توسط مهار جانبی جلوگیری نشده است. مقاومت موجود جان در برابر کمانش جانبی ناشی از نیروی متمرکز فشاری در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت اسمی جان در برابر کمانش جانبی ناشی از نیروی متمرکز فشاری) به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$\phi=0.85$ (LRFD) و $\Omega=1.76$ (ASD)

الف) اگر مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۶-الف بال فشاری (بال بارگذاری‌شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده باشد:

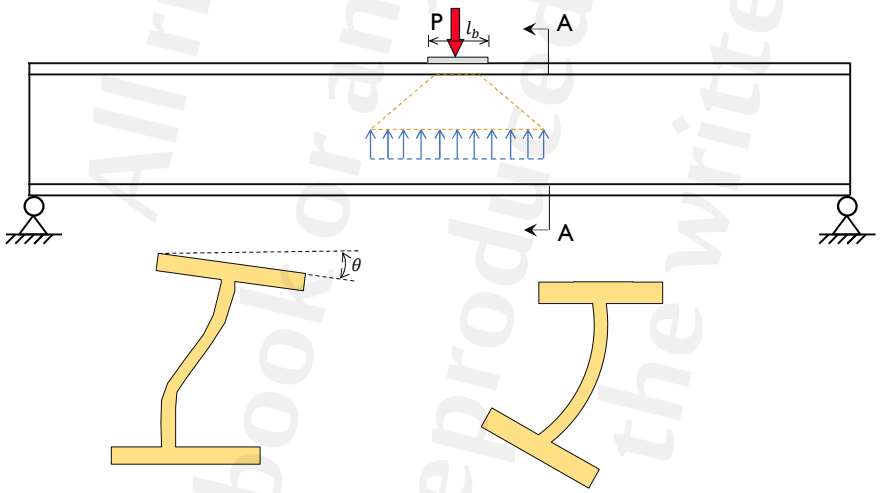
۱- درصورتیکه $(h/t_w)/(L_b/b_f) > 2.3$ باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

۲- درصورتیکه $(h/t_w)/(L_b/b_f) \le 2.3$ باشد

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2}\left[1 + 0.4\left(\frac{h/t_w}{L_b/b_f}\right)^3\right]$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel



(ب) بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است. (مقطع A-A)

(الف) بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است. (مقطع A-A)

کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

درصورتیکه نیروی متمرکز فشاری از مقاومت موجود جان در برابر کمانش جانبی بیشتر باشد، باید بال کششی را مهار نمود. به جای مهار بال کششی می‌توان در زیر بار متمرکز فشاری از یک جفت سختکنندهٔ عرضی مطابق بند ۱۰-۲-۹-۸-۱۰ یا از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۹ استفاده نمود.

ب) اگر مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۶-ب بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد:

۱- درصورتیکه $(h/t_w)/(L_b/b_f) > 1.7$ باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

۲- درصورتیکه $(h/t_w)/(L_b/b_f) \le 1.7$ باشد:

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2}\left[0.4\left(\frac{h/t_w}{L_b/b_f}\right)^3\right]$$

درصورتیکه نیروی متمرکز فشاری از مقاومت موجود جان در برابر کمانش جانبی بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ عرضی مطابق با الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ ضروری است.

در روابط فوق:

b_f پهنای بال کششی

t_f ضخامت بال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

t_w ضخامت جان

L_b بزرگترین طول بدون مهار جانبی هر دو بال در محدودهٔ اعمال بار متمرکز

h ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصلهٔ بین دو بال در مقاطع ساخته شده از ورق)

C_r ضریبی است که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u<M_y$ در روش LRFD و $1.5M_a<M_y$ در روش ASD باشد:

$C_r=6.6\times10^6$ MPa

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u \ge My$ در روش LRFD و $1.5M_a \ge M_u$ در روش ASD باشد:

$C_r=3.3\times10^6$ MPa

که در آن:

M_u مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش LRFD، M_a مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش ASD

M_y لنگر تسلیم

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۵ مربوط به حالتی است که مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۷ یک جفت نیروی متمرکز فشاری تنها یا یک جفت مؤلفهٔ فشاری زوج نیروی ناشی از لنگر خمشی در یک مقطع در جهت مخالف به بال‌های عضو وارد می‌شوند. مقاومت موجود جان در برابر کمانش فشاری ناشی از یک جفت نیروی متمرکز فشاری در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n مقاومت اسمی جان در برابر کمانش فشاری ناشی از یک جفت نیروی متمرکز فشاری (براساس حالت حدی کمانش موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$\phi=0.9$ (LRFD) و $\Omega=1.67$ (ASD)

$$R_n = \frac{24t_w^3\sqrt{EF_{yw}}}{h}$$

که در آن:

t_w ضخامت جان، h ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچهٔ جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصلهٔ بین دو بال در مقاطع ساخته شده از ورق)

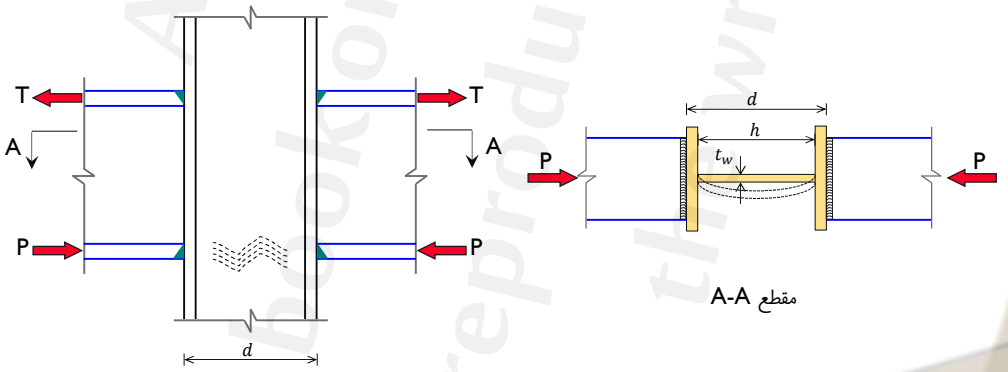
F_{yw} تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد جان، E مدول الاستیسیتهٔ فولاد

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره: درصورتیکه جفت نیروی متمرکز فشاری در فاصله‌ای کمتر از $d/2$ از انتهای عضو اثر نماید، مقدار R_n حاصل از رابطهٔ ۱۰-۲-۹-۳۹ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

درصورتیکه هریک از نیروهای متمرکز فشاری از مقاومت موجود جان در برابر کمانش فشاری بیشتر باشد، تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ عرضی مطابق با الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ ضروری است.



کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) برای یک اتصال تیر IPE270 به یک ستون IPB200 الزوم استفاده از پیوستگی برای کنترل کمانش فشاری جان را بررسی نمایید. تنش تسلیم تیر و ستون برابر 2400 kg/cm^2 می‌باشد. لنگر اعمالی از طرف تیر ناشی از بارهای مرده برابر M_D=3 ton.m و ناشی از بارهای زنده برابر M_L=2 ton.m است.

برای IPB200، مقدار t_f=1.5 cm، t_w=0.9 cm و k=3.3 cm است. بنابراین h= (20-2×3.3) =16.6 خواهد بود.

$$\phi R_n = 0.9 \times \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = 0.9 \times \frac{24 \times 0.9^2 \sqrt{2 \times 10^6 \times 2400}}{16.6} \times 10^{-3} = 73\ ton$$

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L = 1.2 \times 3 + 1.6 \times 2 = 6.8\ ton.m$$

$$P_{rf} = \frac{2M_u}{d - t_f} = \frac{2 \times 6.8}{(27 - 1.02) \times 10^{-2}} = 52 \text{ ton} < 73\ ton$$

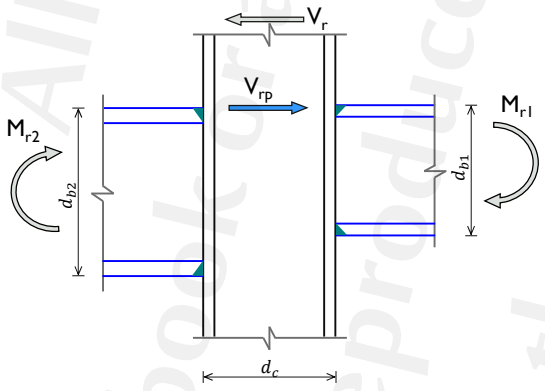
بنابراین به سخت کننده جان نیازی نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برش در چشمهٔ اتصال

الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۶ مربوط به حالتی است که مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۸ یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو اثر می‌کند.

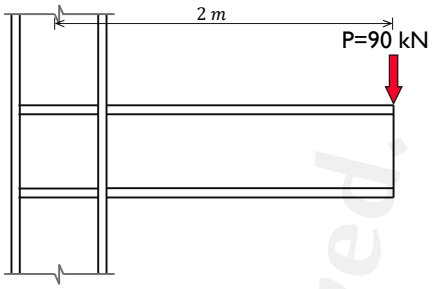


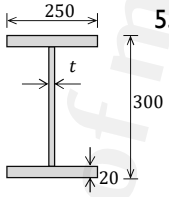
برش در چشمهٔ اتصال

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) بخشی از یک سازه فولادی شامل یک ستون و تیر طره‌ای متصل به آن که برای حمل بار زنده متمرکز 90 kN طراحی شده، در شکل مقابل نشان داده شده است. در طراحی به روش مقاومت مجاز، چشمه اتصال باید برای چه مقدار نیروی برشی مورد کنترل قرار گیرد؟ مشخصات مقطع برای تیر و ستون را یکسان و مطابق شکل در نظر گرفته و از وزن سازه صرف نظر نمائید (آذر ۹۲)





الف) 166 kN　　ب) 555 kN

ج) 45kN　　د) 90 kN

$$M_a = 90 \times \left(2 - \frac{0.3}{2}\right) = 166.5\ kN.m$$

$$V = \frac{M_a}{h_0} = \frac{166.5}{0.3 - 0.02} = 594\ kN$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقاومت برشی موجود چشمهٔ اتصال در روش LRFD مساوی ϕR_n و در روش ASD مساوی R_n/Ω بوده که در آن ϕ (ضریب کاهش مقاومت)، Ω (ضریب اطمینان) و R_n (مقاومت برشی اسمی چشمهٔ اتصال) براساس حالت حدی تسلیم برشی به شرح زیر تعیین می‌شوند:

ϕ=0.9 (LRFD)　　و　　Ω=1.67 (ASD)

الف) در حالتی که آثار تغییرشکل غیرالاستیک چشمهٔ اتصال در تحلیل سازه منظور نشود:

۱- برای حالتی که $\alpha P_r \le 0.4 P_y$ باشد:

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w$$

۲- برای حالتی که $\alpha P_r > 0.4 P_y$ باشد:

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w \left(1.4 - \frac{\alpha P_r}{P_y}\right)$$

ب) در حالتی که آثار تغییرشکل غیر الاستیک چشمهٔ اتصال در تحلیل سازه منظور شود:

۱- برای حالتی که $\alpha P_r \le 0.75 P_y$ باشد:

$$R_n = 0.6 F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_c b_c t_w}\right)$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

۲- برای حالتی که $\alpha P_r > 0.75P_y$ باشد:

$$R_n = 0.6F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf}t_{cf}^2}{d_b d_c t_w}\right)\left(1.9 - \frac{1.2\alpha P_r}{P_y}\right)$$

در روابط فوق:

b_{cf} پهنای بال مقطع ستون، t_{cf} ضخامت بال مقطع ستون، d_c ارتفاع کلی مقطع ستون، d_b ارتفاع کلی مقطع تیر، t_w ضخامت جان مقطع ستون، F_y تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد، P_r مقاومت محوری موردنیاز ستون ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری متناظر با روش طراحی که در روش LRFD با P_u و در روش ASD با P_a نشان داده می‌شود.

P_y مقاومت تسلیم محوری ستون ($P_y = A_g F_y$)

A_g سطح مقطع کلی ستون

α ضریبی که مقدار آن در روش LRFD برابر ۱.۰ و در روش ASD برابر ۱.۶ است.

مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲۸ در چشمهٔ اتصال مقاومت برشی موردنیاز (V_{rp}) از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{rp} = \frac{M_{r1}}{d_{b1}} + \frac{M_{r2}}{d_{b2}} - V_r$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

که در آن، d_{b1} و d_{b2} به ترتیب ارتفاع‌های کل مقاطع تیرهای سمت چپ و راست چشمهٔ اتصال

M_{r1} و M_{r2} به ترتیب لنگرهای خمشی انتهایی تیرهای سمت چپ و راست چشمهٔ اتصال با رعایت جهت لنگرهای وارده ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری متناظر با روش طراحی که در روش LRFD با M_{u1} و M_{u2} و در روش ASD با M_{a1} و M_{a2} نشان داده می‌شوند.

V_r نیروی برشی ستون در بالای چشمهٔ اتصال ناشی از ترکیبات مختلف بارگذاری متناظر با روش طراحی که در روش LRFD با V_u و در روش ASD با V_a نشان داده می‌شود.

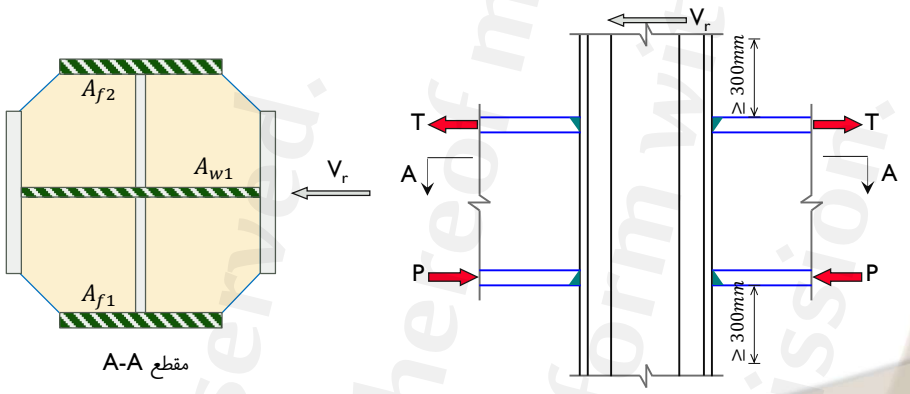
درصورتیکه مقاومت برشی موردنیاز چشمهٔ اتصال از مقاومت برشی موجود آن بیشتر باشد، در چشمهٔ اتصال، تعبیهٔ ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) یا تعبیهٔ یک جفت سخت کنندهٔ قطری دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت موجود چشمهٔ اتصال الزامی است. ورق‌های مضاعف باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۹ را تأمین نمایند.

تبصره ۱: طراحی ستون‌های با مقطع قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای ساخته شده از ورق باید به گونه‌ای باشد که در چشمهٔ اتصال نیازی به تعبیهٔ ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) یا تعبیهٔ سخت کنندهٔ قطری نباشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره ۲: در کنترل برش در چشمهٔ اتصال ستون‌های با مقطع صلیبی، مقاومت برشی موجود چشمهٔ اتصال باید براساس جان موازی با نیروی وارده مقطع محاسبه شود. چنانچه ورق‌های بال در طولی حداقل برابر ۳۰۰ میلیمتر در بالا و پایین تیر با ورق‌های کمربندی به شکل هشت ضلعی درآید، در این صورت می‌توان از مساحت بال‌های موازی با نیروی واردهٔ مقطع نیز استفاده کرد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقررات تکمیلی برای سخت کننده‌ها در انتهای تیرها و شاه تیرها

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۷ در انتهای تیرها و شاه‌تیرهایی که در مقابل دوران حول محور طولی نگهداری نشده‌اند، باید یک جفت سخت کنندهٔ عرضی که در تمام ارتفاع جان ادامه دارد، مطابق ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ تعبیه گردد.

الزامات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز

طبق بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۸ در صورت نیاز به تعبیهٔ سخت کننده‌های عرضی یا قطری در جان عضو، رعایت الزامات تکمیلی زیر ضروری است

الف) درصورتیکه مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰-۱ الی ۱۰-۲-۹-۱۰-۲ نیاز به تعبیهٔ سخت‌کنندهٔ عرضی در مقابل نیروهای متمرکز کششی باشد، لازم است یک جفت سخت کنندهٔ عرضی تمام عمق در مقابل نیروی متمرکز تعبیه شود. سخت کننده‌های عرضی باید به بال بارگذاری شده و جان عضو جوش شوند. این سخت کننده‌های عرضی می‌توانند به بال بارگذاری نشده نیز جوش شود یا با رعایت الزامات بند ۱۰-۲-۹-۲-ب-۸ جوش نشود.

سخت کننده‌ها باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف نیروی متمرکز کششی و مقاومت موجود متناظر با آن، در محل بارهای متمرکز (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۹-۴-۱) باشد. جوش سخت‌کننده‌ها به بال نیز باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف نیروی متمرکز کششی و مقاومت موجود متناظر با آن باشد. جوش سخت کننده‌ها به جان باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف جبری نیروهای کششی در دو انتهای سخت کننده باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) درصورتیکه مطابق بندهای ۱۰-۲-۹-۱۰-۳ الی ۱۰-۲-۹-۱۰-۵ نیاز به تعبیهٔ سخت کننده‌های عرضی در مقابل نیروی متمرکز فشاری باشد، لازم است یک جفت سخت کنندهٔ عرضی تمام عمق در مقابل آن تعبیه شود که باید به هر دو بال و نیز به جان عضو جوش شوند. این سخت کننده‌ها باید به صورت یک ستون فرضی در برابر کل نیروی محوری فشاری، طراحی شوند. ارتفاع مؤثر ستون فرضی برابر $0.75h$ در نظر گرفته می‌شود که در آن h ارتفاع آزاد جان در فاصلهٔ بین دو بال است. مقطع ستون فرضی عبارت است از مقطع جفت سخت کننده به اضافهٔ نواری از جان که پهنای آن برای سخت‌کننده‌های میانی برابر $25t_w$ و برای سخت کننده‌های انتهایی برابر $12t_w$ در نظر گرفته می‌شود (t_w ضخامت جان است). جوش سخت‌کننده‌ها به بال (یا بال‌ها) باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف نیروی متمرکز فشاری و مقاومت موجود متناظر با آن باشند. جوش سخت‌کننده‌ها به جان باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف جبری نیروهای فشاری در دو انتهای سخت کننده باشد. همچنین در سطوح تماس سخت کننده‌ها با بال مقطع عضو، کنترل تنش اتکایی الزامی است.

پ) پهنای سخت کننده‌های عرضی و قطری به اضافه نصف ضخامت جان ستون نباید از یک سوم پهنای بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) ضخامت سخت کننده‌های عرضی و قطری نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ورق اتصال (که بار متمرکز را وارد می‌کند) کمتر باشد. همچنین نسبت عرض به ضخامت سخت‌کننده‌ها نباید از $0.56\sqrt{E/F_y}$ بزرگتر باشد.

ث) ورق‌های سخت‌کنندهٔ عرضی باید تمام عمق باشند. به عبارت دیگر، ارتفاع ورق سخت‌کننده‌های عرضی باید مساوی ارتفاع آزاد جان (فاصلهٔ بین دو بال) باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) و سخت‌کننده‌های قطری در چشمهٔ اتصال

درصورتیکه در چشمهٔ اتصال نیاز به ورق‌های تقویتی جان (ورق‌های مضاعف) یا سخت کننده‌های قطری باشد، رعایت الزامات زیر ضروری است:

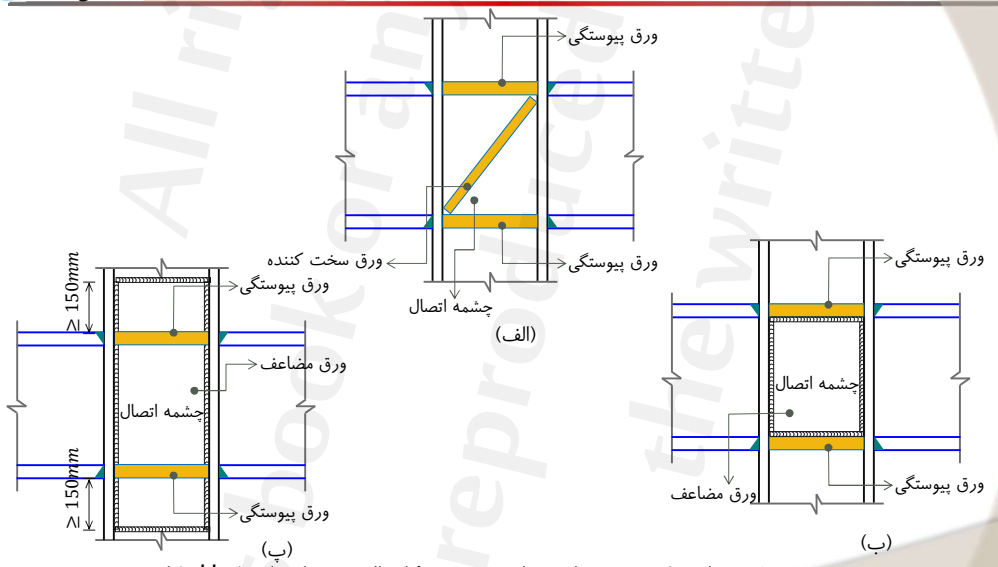
الف) در صورت استفاده از ورق‌های تقویتی جان (ورق‌های مضاعف) در چشمهٔ اتصال، این ورق‌ها و اتصالات آنها باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با اختلاف مقاومت برشی مورد نیاز چشمهٔ اتصال و مقاومت برشی موجود آن مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۶ باشد. جوش ورق‌های مضاعف به بال و جان عضو و نیز به ورق‌های پیوستگی، باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با نیروی سهم ورق مضاعف باشد.

ب) در صورت استفاده از سخت کننده‌های قطری در چشمهٔ اتصال این سخت کننده‌ها باید در هر دو طرف جان تعبیه شده و دارای مقاومت کششی موجود کافی (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳) و مقاومت فشاری موجود کافی (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۴) حداقل برابر با تصویر اختلاف مقاومت موردنیاز چشمهٔ اتصال و مقاومت موجود آن در امتداد سخت کننده‌های قطری باشد. جوش ورق سخت کننده‌های قطری به بال و جان عضو و به ورق‌های پیوستگی، باید دارای مقاومت موجود کافی حداقل برابر با نیروی سهم ورق مضاعف باشد (شکل ۱۰-۲-۹-۲۹-الف).

پ) در صورت تعبیهٔ ورق‌های پیوستگی در جان مقطع عضو، ورق‌های مضاعف می‌توانند در محل ورق‌های پیوستگی قطع شده و به آن و بال‌های ستون جوش شوند. به جای آن، ورق‌های مضاعف می‌توانند از زیر ورق‌های پیوستگی عبور کرده و حداقل ۱۵۰ میلیمتر بعدازآن ادامه یافته و پیرامون آن به جان و بال ستون جوش شوند (شکل‌های ۱۰-۲-۹-۲۹-ب و پ).

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

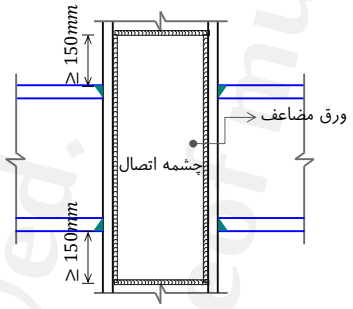


سخت کننده‌های قطری و ورق‌های مضاعف در چشمهٔ اتصال ستون‌های با مقطع H شکل

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ت) در صورت عدم تعبیهٔ ورق‌های پیوستگی در جان مقطع عضو، ورق‌های مضاعف باید حداقل ۱۵۰ میلیمتر در بالا و پایین ناحیهٔ چشمهٔ اتصال ادامه یافته و پیرامون ورق مضاعف به جان و بال ستون جوش شوند.

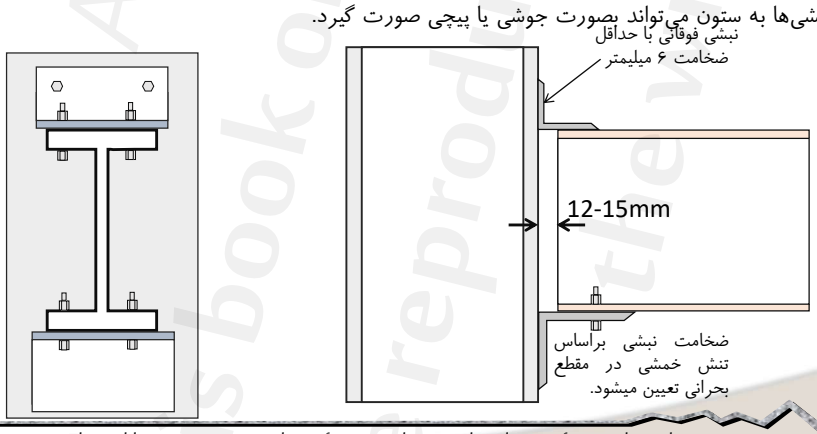


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال ساده نشسته تقویت نشده

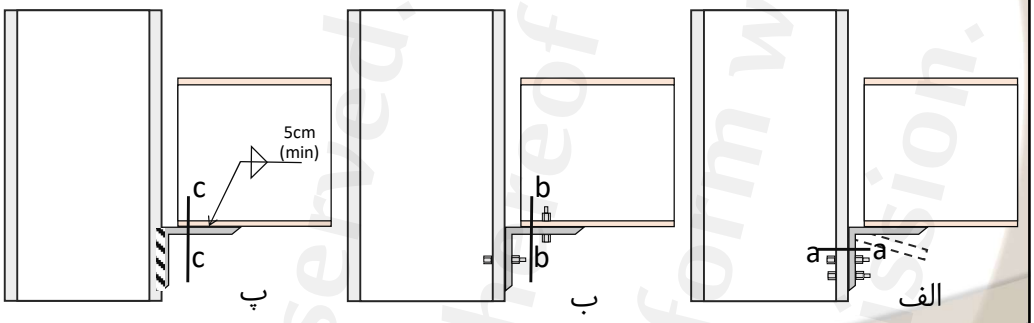
یکی از روش‌های معمول برای انتقال نیروهای تیر به ستون، استفاده از اتصالات ساده نشسته است. در این اتصال تیر بر روی یک نشیمن که می‌توان انعطاف‌پذیر (سخت نشده) یا سخت (تقویت شده) باشد، قرار می‌گیرد. در اتصالات انعطاف‌پذیر معمولاً از نبشی استفاده می‌شود. میزان گیرداری این اتصالات نسبت به اتصالات قاب شده بیشتر است. معمولاً در تمام اتصالات نشسته از یک نبشی فوقانی به عنوان تامین کننده تکیه‌گاه جانبی برای بال فشاری، استفاده می‌شود. اتصال نبشی‌ها به ستون می‌تواند بصورت جوشی یا پیچی صورت گیرد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

انتخاب نبشی فوقانی به بزرگی عکس‌العمل تکیه‌گاهی بستگی دارد. برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی تا ۵ تن از نبشی L60×60×6 و برای واکنش‌های تکیه‌گاهی بیشتر از یک نبشی L80×80×8 توصیه می‌شود.برای تعیین ضخامت نبشی بایستی میزان تنش در مقطع بحرانی آن را مورد بررسی قرار داد. مطابق شکل الف به دلیل عدم اتصال نبشی نشیمن به بال تیر، مقطع بحرانی در محل اتصال ساق نبشی به بال ستون قرار دارد. چون در عمل معمولاً نبشی نشیمن را توسط جوش یا پیچ به بال تیر متصل می‌کنند از این رو وقوع مقطع بحرانی در ساق قائم نبشی به ندرت رخ داده و معمولاً این مقطع را مطابق ب و پ در ساق افقی و در محل آغاز گردی اتصال ساق افقی به قائم نبشی در نظر می‌گیرند



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل قبل، مقطع بحرانی با حروف a، b و c نشان داده شده است. برای تعیین لنگر خمشی در مقطع بحرانی باید واکنش تکیه‌گاهی در فاصله محل اثر آن تا مقطع بحرانی ضرب شود. نکته مهم در اینجا تعیین طولی است که بال زیرین تیر با ساق افقی نبشی در تماس قرار می‌گیرد. اصولا طول تماسی از مسائل پیچیده در مکانیک جامدات است. توزیع تنش تماسی بین بال تیر و نشیمن به میزان سختی ساق افقی نبشی بستگی دارد. چنانچه ساق افقی نبشی از صلبیت خمشی زیادی برخوردار باشد، تنش تماسی در تمام طول نشیمن توزیع می‌شود و تنش حداکثر در لبه آزاد ساق افقی نبشی به وجود می‌آید. در صورتی که ساق افقی نبشی انعطاف پذیر باشد، در این صورت تمام طول ساق با بال تیر در تماس نبوده و تنها بخشی از آن و در نزدیکی محل اتصال به ساق قائم تماس خواهد داشت. آیین‌نامه‌ها و کتب طراحی بر مبنای تحقیقات بلاجت پیشنهاد می‌کنند طول تماسی ساق افقی نبشی با بال تیر از رابطه‌ای که برای جلوگیری از تسلیم موضعی جان ارائه شده است، محاسبه گردد. کنترل طول تماسی زیر واکنش تکیه‌گاهی R توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$N = \frac{P_u}{F_{yw} t_w} - 2.5k$$

که در رابطه فوق، P_u بارهای ضریبدار وارد بر تکیه‌گاه، $\phi=1.0$، k فاصله بین سطح بال تا پایان گردی بال به جان تیر و t_w ضخامت جان تیر است. مقدار N نبایستی کمتر از k در نظر گرفته شود. معیار بعدی برای کنترل طول تماسی تیر با نبشی، کنترل لهیدگی و چروکیدگی موضعی جان می‌باشد که توسط رابطه زیر توسط مبحث دهم پیشنهاد شده است. در صورتی که $N/d \leq 0.2$ باشد:

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$P_u = R_n = \phi \times 0.4 t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

در این حالت ضریب تقلیل مقاومت ϕ=0.75 می‌باشد. در صورتی که N/d>0.2 باشد:

$$P_u = R_n = \phi \times 0.4 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

در روابط فوق، F_{yw} تنش تسلیم جان تیر و t_f ضخامت بال تیر است. مطابق شکل بعدی، لنگر خمشی M_u در مقطع بحرانی a-a (آغاز گردی اتصال ساق افقی به ساق قائم نبشی) بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$M_u = P_u e = P_u\left(\frac{N}{2} + (1.2 \text{ تا } 1.5\ cm) - t_1 - r_1\right)$$

که در رابطه اخیر t_1 ضخامت نبشی است. در صورتی که طول نبشی L باشد، مقدار M_u بدست آمده از رابطه اخیر بایستی با مقدار لنگر پلاستیک مقطع مقایسه شود:

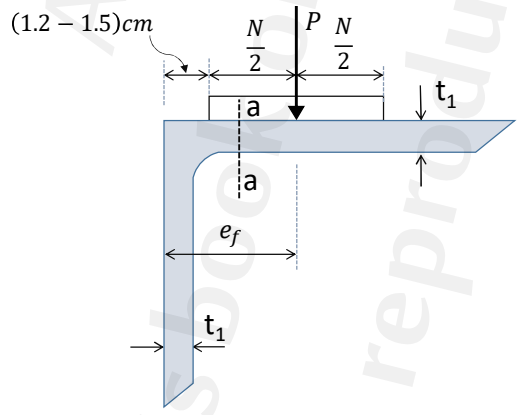
$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = \phi_b Z F_y = \phi_b \frac{L t_1^2}{4} F_y$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$t_1 = \sqrt{\frac{4P_u e}{\phi_b L F_y}}$$

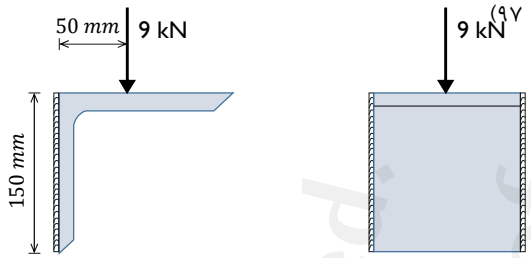
که در رابطه فوق ϕ_b=0.9، F_y تنش تسلیم مصالح نبشی و L طول نشیمن است. جزئیات بیشتر در این ارتباط توسط مثال زیر توضیح داده می‌شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) حداکثر تنش براساس روش الاستیک، برحسب MPa در جوش اتصال ساده با نبشی نشیمن انعطاف پذیر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ (t_e برابر واحد فرض شود. همچنین در محاسبات فقط جوش در نظر گرفته شده و از تاثیر اتکاء نبشی صرف نظر شود.) (اردیبهشت ۹۷)



الف) ۱۳۴ ب) ۶۰

ج) ۶۷ د) ۹۰

$$F_{vy} = \frac{9000}{2 \times 150} = 30\ MPa \quad M = 9000 \times 50 = 450000\ N.mm$$

$$S = \frac{I}{c} = \frac{2 \times 150^3/12}{150/2} = 7500\ mm^3 \quad \Rightarrow f_{vx} = \frac{450000}{7500} = 60\ MPa$$

$$f_r = \sqrt{60^2 + 30^2} = 67\ N/mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) اتصال نشسته‌ای به کمک نبشی نشیمن برای یک تیر با مقطع IPE300 و طول ۶ متر را طراحی نمایید.

در بیشتر مواقع تیرها را برای حداکثر نیروی ناشی از به ظرفیت رسیدن خمشی آن‌ها طراحی می‌کنند. مشخصات هندسی IPE300 بصورت زیر است:

$$d = 30\ cm \quad t_w = 0.71\ cm \quad t_f = 1.07\ cm \quad k = 2.6\ cm \quad Z_x = 628\ cm^3$$

حداکثر ظرفیت طراحی تیر برابر است با:

$$\phi_b M_n = \phi_b M_p = \phi_b Z_x F_y = 0.9 \times 628 \times 2400 \times 10^{-5} = 13.5\ ton.m$$

$$P_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{8\phi_b M_n}{2L} = \frac{8 \times 13.5 \times 10^5}{2 \times 600} \times 10^{-3} = 9\ ton$$

برای کنترل طول تماسی زیر واکنش تکیه‌گاهی R داریم:

$$N = \frac{P_u}{F_{yw} t_w} - 2.5k = \frac{9000}{1.0 \times 2400 \times 0.71} - 2.5 \times 2.6 = -1.2 < k = 2.6 \quad ==> \quad N = 2.6\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

با توجه به اینکه $\frac{N}{d}=\frac{2.6}{30}=0.08<0.2$، بنابراین برای کنترل لهیدگی و چروکیدگی موضعی جان داریم:

$$9000=0.75\times0.4\times0.71^2\left[1+3\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{0.71}{1.07}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2\times10^6\times2400\times1.07}{0.71}}$$

$$9000=12842.8[1+0.054N] \quad ==> \quad N=-5.5 \quad ==> \quad N=2.6\ cm$$

بنابراین مقدار N=2.6 cm در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین ضخامت نبشی با فرض فاصله رواداری بین انتهای تیر و ستون برابر 1.2 سانتیمتر و استفاده از نبشی L100×100×10 به عنوان نشیمن داریم:

$$L100\times100\times10 \quad \rightarrow \quad t_1=1.0\ cm \quad r_1=1.2\ cm$$

$$e=\frac{2.6}{2}+1.2-1-1.2=0.3\ cm$$

$$e_f=\frac{2.6}{2}+1.2=2.5\ cm$$

چنانچه طول نبشی برابر ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شود:

$$t_1=1.0\ cm>\sqrt{\frac{4P_u e}{\phi_b L F_y}}=\sqrt{\frac{4\times9000\times0.3}{0.9\times20\times2400}}=0.5\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طراحی اتصال پیچی به ستون: برای اتصال نبشی به ستون از پیچ‌های M18، از نوع A325 و بصورت اتکایی استفاده می‌نماییم. با فرض عدم قرارگیری دنده در سطح برش، داریم:

برای ظرفیت برش یکطرفه $R_n=0.75\times(0.55\times8000)\times\frac{\pi\times1.8^2}{4}\times10^{-3}=8.3\ ton$

برای مقاومت اتکایی $R_n=0.75\times2.4\times1.8\times1.0\times3700\times10^{-3}=11.9\ ton$

برای ظرفیت کششی $R_n=0.75\times(0.75\times8000)\times\frac{\pi\times1.8^2}{4}\times10^{-3}=11.4\ ton$

چنانچه از ۴ پیچ با فواصل 5.4 سانتیمتری از هم استفاده شود، خصوصیات مجموعه پیچ‌ها برابر است با:

$$A_b=\pi(0.9)^2=2.54\ cm^2$$

$$I=\sum y_i^2=4\times\left(\frac{5.4}{2}\right)^2=29.16\ cm^2$$

مجموعه پیچ‌ها تحت تاثیر برش ۹ تن و لنگر M=9×2.5=22.5 ton.cm قرار دارند. نیروی برشی مستقیم هر پیچ برابر است با:

$$R_v=\frac{P_u}{n}=\frac{9\ ton}{4}=2.25\ ton<8.3\ ton$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

نیروی کششی موجود در پیچ برابر است با:

$$R_t = \frac{P_u e_f y}{I} = \frac{9 \times 2.5 \times 2.7}{29.16} = 2.08\ ton$$

برای در نظر گرفتن اثر اندرکنشی برش و کشش داریم:

مقاومت کششی طراحی $R_{nt} = F'_{nt} A_{nb}$

مقاومت برشی طراحی $R_{nv} = F'_{nv} A_{nb}$

$$F'_{nt} = F_{nt}\left[1.3 - \frac{f_{uv}}{F_{nv}}\right] \le F_{nt}$$

$$F'_{nv} = F_{nv}\left[1.3 - \frac{f_{ut}}{F_{nt}}\right] \le F_{nv}$$

$$F'_{nt} = (0.75 \times 8000)\left[1.3 - \frac{2250/(4 \times 2.54)}{0.75 \times (0.55 \times 8000)}\right] = 7397 > 6000 \rightarrow F'_{nt} = 6000\ \frac{kg}{cm^2}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

$$F'_{nv} = (0.55 \times 8000)\left[1.3 - \frac{2080/(4 \times 2.54)}{0.75 \times (0.75 \times 8000)}\right] = 5519 > 4400 \rightarrow F'_{nv} = 4400\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$R_t = 2.08 < R_{nt} = 0.75 \times 6000 \times 2.54 \times 10^{-3} = 11.43$$

$$R_v = 2.25\ ton < R_{nv} = 0.75 \times 4400 \times 2.54 \times 10^{-3} = 8.38\ ton$$

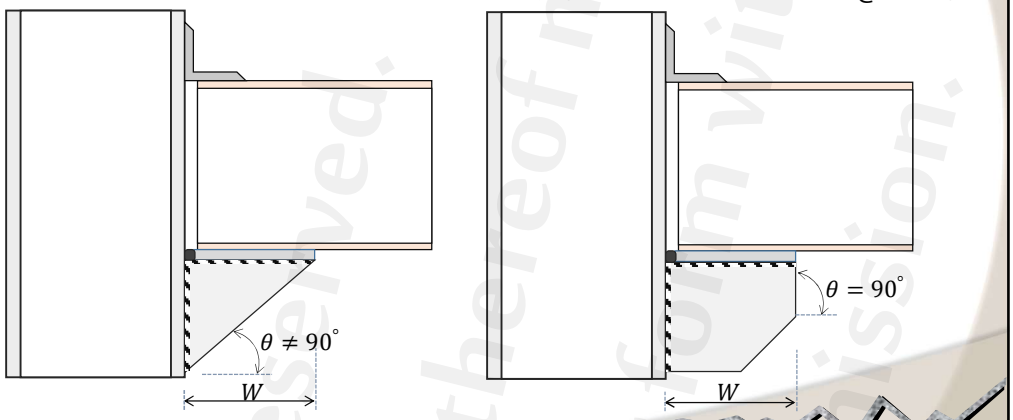
 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال ساده نشسته تقویت شده

در حالتی که عکس‌العمل تکیه‌گاهی در اتصالات زیاد باشد استفاده از اتصالات نشسته اجتناب ناپذیر است. اگر چه در مبحث دهم و AISC محدودیتی برای عکس‌العمل تکیه‌گاهی اتصال نشسته تقویت نشده داده نشده، ولیکن معمولاً در حالتی که عکس‌العمل تکیه‌گاهی بیش از ۱۵ تن شود، استفاده از اتصال ساده تقویت نشده امکان‌پذیر نبوده و معمولاً از لچکی و یا مقطع Tشکل در محل اتصال استفاده می‌شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصالات نشسته تقویت شده هر چند قادر به انتقال عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی بزرگی هستند، ولی برای انتقال لنگر خمشی طراحی نمی‌شوند. بنابراین این اتصالات جزو اتصالات ساده تلقی می‌شوند. در اتصالات نشسته تقویت شده با توجه به صلبیت ورق‌های سخت کننده ورق نشیمن زیر بال تیر خاصیت انعطاف‌پذیری نداشته و معمولاً بال تیر و ورق افقی در تمام طول نشیمن با یکدیگر در تماس خواهند بود. بر خلاف اتصالات نشسته تقویت نشده که در آن‌ها تنها قسمت کوتاهی از نشیمن از لبه داخلی مجاور ستون تحت تنش تماسی قرار می‌گیرند در اتصالات نشسته تقویت شده لبه خارجی نشیمن تحت بیشترین تنش‌ها قرار گرفته و تنش تماسی بین بال تیر ورق و نشیمن افقی تقریباً در تمام طول نشیمن توسعه می‌یابد. در حالتی که لبه ورق با امتداد تیر زاویه ۹۰ درجه ایجاد نماید و در حالتی که ورق تقویتی بصورت مثلثی باشد، رفتار اتصال عوض شده و حالت‌های مختلفی در آن‌ها ایجاد می‌شود.

مراحل طراحی اتصال نشسته تقویت شده با لبه‌های قائم: مراحل طراحی این اتصال بصورت زیر است:

۱- تعیین عرض نشیمن N: این عرض با توجه به روابط ۱۰-۲-۹-۳۱ و ۱۰-۲-۹-۳۳ یا ۱۰-۲-۹-۳۴ تعیین می‌شوند.

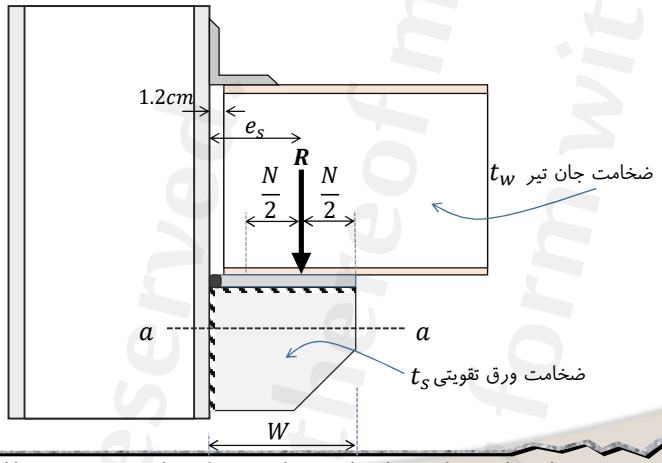
۲- کنترل تنش لهیدگی: مراجع طراحی سازه‌های فولادی تنش‌های لهیدگی را در دو حالت بدون خروج از مرکزیت و نیز منظور نمودن خروج از مرکزیت تعیین و کنترل می‌کنند. چنانچه فاصله آزاد بین تیر و بال ستون ۱۲ میلیمتر و W مطابق شکل قبل برابر عرض ورق تقویتی باشد، ضخامت ورق تقویتی قائم براساس تنش مستقیم لهیدگی بین سطوح نشیمن و تقویت کننده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$t_s \geq \frac{P_u}{(1.8F_y)(W-1.2)}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در رابطه فوق t_s ضخامت ورق تقویتی قائم و ضریب تقلیل مقاومت $\phi=0.75$ می‌باشد. در اتصالات نشسته تقویت شده معمولاً W عرض ورق تقویتی را بزرگتر از N عرض نشیمن در نظر می‌گیرند ($W>N+1.2^{cm}$). بنابراین تنش در مقطعی مانند مقطع a-a در شکل زیر ترکیبی از تنش‌های ناشی از عکس‌العمل تکیه‌گاهی R و نیز لنگر M=R.e ناشی از خروج از مرکزیت بار می‌باشد. با توجه به این شکل، خروج از مرکزیت برابر با $e=e_s-(W/2)$ خواهد بود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این صورت تنش تماسی فشاری (لهیدگی) حداکثر در مقطع a-a برابر خواهد بود با:

$$f_p = \frac{P_u}{W t_S} + \frac{6P_u(e_S - W/2)}{t_S W^2} = \frac{P_u}{t_S W^2}(6e_S - 2W)$$

$$t_S \geq \frac{P_u(6e_S - 2W)}{(1.8F_y)W^2}$$

۳- کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی: برای جلوگیری از کمانش موضعی ورق تقویتی، بایستی رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{W}{t_S} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

۴- محدودیت ضخامت ورق‌های اتصال: محدودیت‌های زیر نیز بایستی در نظر گرفته شوند:

$$t_p \geq t_S \geq t_w$$

که در رابطه اخیر، t_p ضخامت ورق افقی، t_s ضخامت ورق تقویتی و t_w ضخامت جان تیر است.

۵- محدودیت ضخامت جوش ورق تقویتی: ظرفیت برشی در ورق تقویتی قائم بزرگتر از نیروی برشی قابل انتقال در جوش گوشه بین ورق تقویتی و بال ستون باشد. چنانچه a_w ضخامت گلوی جوش باشد، داریم:

$$0.6F_y t_S \geq 2 \times 0.75 \times 0.707 a_w \times 0.6F_{EXX}$$

۶- تعیین ابعاد جوش

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) اتصال نشسته‌ای از ورق تقویتی قائم برای انتقال عکس‌العمل تکیه‌گاهی به میزان ۱۸ تن، از یک نیمرخ IPE300 به یک ستون با مقطع IPB320 طراحی نمایید. نوع فولاد مصرفی ST37 و الکترود مصرفی E60 فرض شود.

پاسخ: مشخصات مقطع IPE300 بصورت زیر است:

$$d = 30\ cm \qquad t_w = 0.71\ cm \qquad t_f = 1.07\ cm \qquad k = 2.6\ cm \qquad Z_x = 628\ cm^3$$

برای تعیین عرض نشیمن N، با توجه به روابط داریم:

$$N = \frac{P_u}{F_{yw} t_w} - 2.5k = \frac{18000}{1.0 \times 2400 \times 0.71} - 2.5 \times 2.6 = 4.06\ cm$$

$$P_u = R_n = \phi \times 0.4 t_w^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$18000 = 0.75 \times 0.4 \times 0.71^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{0.71}{1.07}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 2400 \times 1.07}{0.71}} \rightarrow N = 9\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در این حالت N/d=9/30=0.3>0.2 بنابراین رابطه ۱۰-۲-۹-۳۴ بایستی مورد استفاده قرار گیرد.

$$P_u = R_n = \phi \times 0.4 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$18000 = 0.75 \times 0.4 \times 0.71^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{30} - 0.2\right)\left(\frac{0.71}{1.07}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 2400 \times 1.07}{0.71}}$$

$$\rightarrow \quad N = 7\ cm$$

بنابراین مقدار N=9 cm در نظر گرفته می‌شود. عرض ورق تقویتی W=9+1.2cm=10.2cm بدست می‌آید. با فرض W=12 cm تنش لهیدگی بین سطوح نشیمن و ورق تقویتی قائم را کنترل می‌نماییم.

$$t_S \geq \frac{P_u}{(1.8F_y)(W - 1.2)} = \frac{18000}{0.75 \times 1.8 \times 2400(12 - 1.2)} = 0.51\ cm$$

کنترل حداکثر تنش لهیدگی ناشی از نیروی P_u و خروج از مرکزیت واکنش تکیه‌گاهی:

$$e_S = W - \frac{N}{2} = 12 - \frac{9}{2} = 7.5\ cm$$

$$t_S \geq \frac{P_u(6e_S - 2W)}{(1.8F_y)W^2} = \frac{18000(6 \times 7.5 - 2 \times 12)}{0.75(1.8 \times 2400) \times 12^2} = 0.81\ cm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

چنانچه از ورق تقویتی به ضخامت ۱ سانتیمتر استفاده نماییم، کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی قائم بصورت زیر است:

$$\frac{W}{t_S}=\frac{12}{1.0}=12.0<0.56\sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}}=16$$

چنانچه ضخامت ورق افقی برابر ۱۲ میلیمتر در نظر گرفته شود، داریم:

$$t_p=12\ mm\geq t_S=10\ mm\geq t_w=7.1\ mm$$

برای کنترل جوش ورق تقویتی داریم:

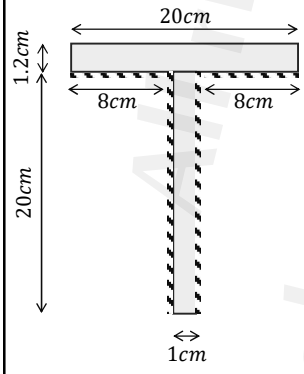
$$0.6F_y t_S\geq 2\times0.75\times0.707a_w\times0.6F_{EXX}$$
$$0.6\times2400\times1.0\geq 2\times0.75\times0.707a_w\times0.6\times4200\quad\rightarrow\quad a_w<0.54\ cm$$

ورق تقویتی قائم توسط جوش گوشه به بال ستون و ورق تقویتی افقی متصل می‌شود. برای تخمین طول ورق (طول جوش) تنش برشی در ورق تقویتی قائم را کنترل می‌نماییم. مطابق شکل بعدی طول جوش گوشه (طول ورق قائم برابر ۲۰ سانتیمتر و طول هر یک از جوش‌های برگشتی برابر ۸ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای تعیین مرکز سطح جوش داریم:



$$\bar{y}=\frac{2\times8\times20+2\times20\times10}{56}=12.85\ cm$$

$$I=2\times8\times7.14^2+\frac{2}{3}(7.14^2+12.85^2)=960\ cm^3$$

لنگر وارد بر جوش برابر است با:

$$M=P_u e_S=18000\times7.5=135000\ kg.cm$$

تنش خمشی ناشی از لنگر خمشی M برابر است با:

$$R_x=\frac{My}{I}=\frac{135000\times12.85}{960}=1807\ kg/cm$$

تنش برش مستقیم در جوش ناشی از واکنش تکیه‌گاهی برابر است با:

$$R_y=\frac{P_u}{A_w}=\frac{18000}{56}=321\ kg/cm$$
$$R=\sqrt{1807^2+321^2}=1835\ kg/cm$$

برای تعیین ضخامت گلوی جوش داریم:

$$R_{nw}=0.75\times0.707a_w\times0.6F_{EXX}=0.75\times0.707a_w\times0.6\times4200$$
$$=1336a_w\ kg/cm$$
$$1835=1336a_w\quad\rightarrow\quad a_w=1.37\ cm$$

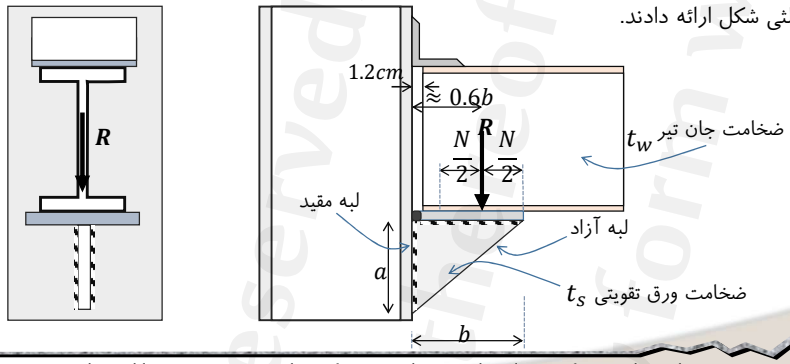
مقدار $a_w=1.37>0.54$ می‌باشد. بنابراین مناسب نیست و بایستی یا طول ورق تقویتی بیشتر در نظر گرفته شود و یا اینکه از دو ورق تقویتی استفاده نماییم.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مراحل طراحی اتصال نشسته تقویت شده با ورق مثلثی: رفتار اتصالات نشسته با ورق مثلثی شکل با حالتی که تقویت بصورت قائم باشد، متفاوت است. صلبیت این اتصال نسبت به حالت ورق قائم بیشتر است. بررسی کمانش موضعی ورق‌های مثلثی شکل در طراحی اتصال نشسته شده با این گونه ورق‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. تحقیقات تجربی و عددی موید این مطلب است که ورق‌های مثلثی شکل از قدرت بعد از کمانش قابل توجهی برخوردار هستند و معمولاً در اینگونه ورق‌ها به علت توزیع محدود تنش‌ها، جاری شدن در لبه آزاد قبل از وقوع کمانش موضعی رخ می‌دهد. بنابراین ظرفیت نهایی ورق‌های مثلثی شکل از بار کمانش اولیه آن‌ها به مراتب بیشتر است.

الف) روش الاستیک دقیق: سالمون و همکاران روش نسبتاً دقیقی مبتنی بر نتایج تجربی و تئوری برای تحلیل و طراحی نشیمن‌های با ورق مثلثی شکل ارائه دادند.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فرضیات این روش به قرار زیر هستند:

۱- ورق افقی فوقانی در سرتاسر طول خود به بال ستون توسط جوش نفوذی متصل است.

۲- واکنش تکیه‌گاهی R به صورت گسترده با محل اثری در حدود 0.6b بر نشیمن اعمال می‌شود.

۳- نسبت b/a که در آن b طول لبه بارگذاری شده و a طول لبه مقید شده به ستون در محدود $0.5 \le b/a \le 2.0$ باشد.

سالمون و همکاران نشان دادند که توزیع تنش در زیر عکس‌العمل R پیچیده بوده و حداکثر تنش در لبه آزاد ورق رخ می‌دهد. این محققین کنترل و تعیین f_{max} تنش حداکثر موجود روی لبه آزاد را توسط رابطه زیر پیشنهاد کردند.

$$f_{max} = \frac{R}{bt_s z} \le F_y$$

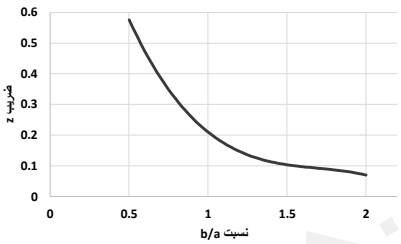
که در رابطه فوق z ضریب کوچکتر از واحد نسبت تنش متوسط به تنش حداکثر ($z=(R/bt_s)/f_{max}$) است که مقدار آن توسط سالمون و همکاران بصورت زیر پیشنهاد شده است:

$$z = 1.39 - 2.2\left(\frac{b}{a}\right) + 1.27\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 0.25\left(\frac{b}{a}\right)^3$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل روبرو تغییرات این ضریب بر حسب b/a نشان داده شده است. در این روش علاوه بر کنترل تنش حداکثر در لبه، پایستی کمانش موضعی ورق مثلثی شکل یا به عبارتی نسبت b/a نیز کنترل شود.



کمانش موضعی ورق‌های مثلثی توسط محققین زیادی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. محدودیت زیر بایستی برای نسبت b/a در نظر گرفته شود:

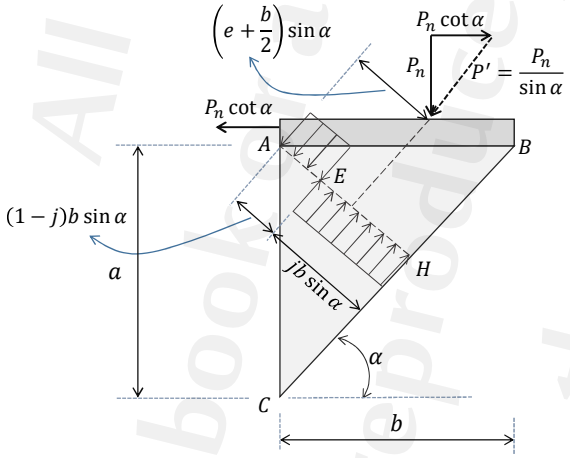
$$\text{برای } 0.5 \le \frac{b}{a} \le 1.0 \qquad \frac{b}{t_s} \le 1.47\sqrt{E/F_y}$$

$$\text{برای } 1.0 \le \frac{b}{a} \le 2.0 \qquad \frac{b}{t_s} \le 1.47\left(\frac{b}{a}\right)\sqrt{E/F_y}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ب) روش پلاستیک: بیدل و همکاران برای تحلیل و طراحی ورق‌های مثلثی شکل در اتصالات نشسته تقویت شده استفاده از مقاومت حد پلاستیک ورق را پیشنهاد می‌کنند



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

طول AH بر BC عمود بوده و به عنوان مقطع بحرانی در نظر گرفته می‌شود. چنانچه فرض شود کلیه نقاط خط AH در حالت حدی به تنش تسلیم F_y رسیده‌اند در این صورت با اعمال شرایط مرزی تعادل نیروها محل محور خنثی (نقطه E) و نیز حداکثر ظرفیت اتصال تعیین می‌شود. با اعمال معادله تعادل در راستای عمود بر سطح AH داریم:

$$\frac{P_n}{\sin\alpha} = (bj\sin\alpha - (1-j)b\sin\alpha)F_y t_s$$

$$j = \frac{P_n}{2bt_sF_y\sin^2\alpha} + \frac{1}{2}$$

با نوشتن معادله تعادل لنگر حول نقطه A داریم:

$$P_n\left(e+\frac{b}{2}\right) = t_sF_y\left[bj\sin\alpha\left(b\sin\alpha - \frac{b}{2}j\sin\alpha\right) - \frac{(1-j)^2b^2\sin^2\alpha}{2}\right]$$

با جایگزینی j و ساده سازی داریم:

$$\frac{P_n^2}{4t_sF_y\sin^2\alpha} + P_ne - \frac{b^2t_sF_y\sin^2\alpha}{4} = 0$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

از حل معادله درجه دوم ظرفیت نهایی به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$P_n = t_sF_y\sin^2\alpha\left(\sqrt{4e^2+b^2} - 2e\right)$$

اصولا در طراحی خمیری لازم است نسبت عرض به ضخامت با مقادیر کمتری از آنچه در حالت طراحی الاستیک ارائه می‌شود مقایسه شوند. بیدل مقادیر لازم را حدود یک سوم ضرایب ارائه شده برای حالت طراحی الاستیک پیشنهاد می‌کند. بنابراین محدودیت زیر بایستی برای نسبت b/a در نظر گرفته شود:

برای $0.5 \le \frac{b}{a} \le 1.0$ $\quad \frac{b}{t_s} \le 0.49\sqrt{E/F_y}$

برای $1.0 \le \frac{b}{a} \le 2.0$ $\quad \frac{b}{t_s} \le 0.49\left(\frac{b}{a}\right)\sqrt{E/F_y}$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) مقدار ضخامت سخت کننده‌ای بصورت مثلثی با ابعاد ۶۰ در ۵۰ سانتیمتر را که بار حاصل از ترکیب بارهای ضریبداری به میزان ۲۵ تن را تحمل می‌نماید را تعیین نمایید. نوع فولاد مصرفی ST37 در نظر گرفته شود.

الف) با استفاده از روش تقریبی، مکان اعمال بار حدود ۶۰٪ از ابتدای ورق است. در این حالت b/a=60/50=1.2 بوده و مقدار z برابر است با:

$$z = 1.39 - 2.2(1.2) + 1.27(1.2)^2 - 0.25(1.2)^3 = 0.1468$$

بنابراین مقاومت مورد نیاز برابر است با:

$$P_u = \phi_c P_n = 0.85 F_y z b t_s = 25\ ton$$

$$t_s \geq \frac{P_u}{0.85 F_y z b} = \frac{25000}{0.85 \times 2400 \times 0.1468 \times 60} = 1.4\ cm$$

در صورتی که از یک ورق با ضخامت ۱۵ میلیمتر استفاده نماییم، برای کنترل کمانش موضعی ورق داریم:

$$\frac{b}{t_s} = \frac{60}{1.5} = 40 \leq 1.47(1.2)\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} = 50.9$$

ب) در صورت استفاده روش پلاستیک داریم:

$$t_s \geq \frac{P_n}{F_y\ sin^2\alpha\left(\sqrt{4e^2 + b^2} - 2e\right)}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مقدار خروج از مرکزیت بار برابر 36-(60/2)=6 cm خواهد شد. بنابراین:

$$t_s \geq \frac{25000}{0.85 \times 2400 \times 0.41\left(\sqrt{4 \times 6^2 + 60^2} - 2 \times 6\right)} = 0.6\ cm$$

لیکن طبق معیار کمانش موضعی ضخامت ورق بصورت زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{60}{t_s} \leq 0.49(1.2)\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.49(1.2)\sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} \rightarrow t_s \geq 3.5\ cm$$

همانطور که دیده شد استفاده از این روش منجر به تعیین ضخامت بالاتری برای ورق شد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

اتصال گیردار تیر به بال ستون

در اتصالات گیردار تیر به ستون، لنگر خمشی انتهای تیر به طور کامل به ستون منتقل می‌شود. در این حالت زاویه چرخش بین تیر و ستون در محل اتصال ثابت باقی می‌ماند. از جمله مزایای این اتصال بصورت زیر است:

۱- لنگر خمشی منفی در محل اتصال موجب کاهش لنگر خمشی مثبت در وسط دهانه می‌شود. به عبارتی دیگر بقیه نقاط تیر نیز در تحمل خمش سهیم می‌شوند که خود موجب کاهش ابعاد مقطع تیر می‌شود.

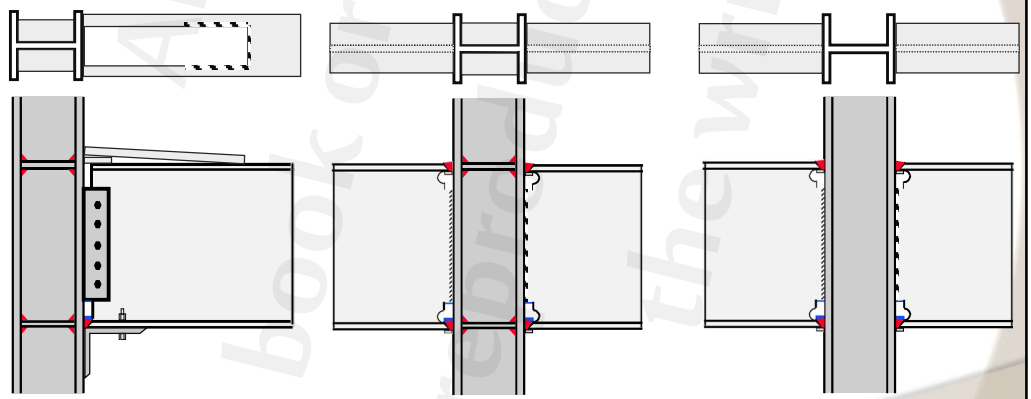
۲- چنانچه تیر از شرایط فشردگی و تکیه‌گاه جانبی کافی برخوردار باشد، باز توزیع لنگر خمشی در تیر امکان‌پذیر بوده و می‌توان لنگر خمشی منفی طراحی را به میزان ۱۰٪ کاهش داد.

با توجه به آنکه عمده خمش موجود در تیر توسط بال‌ها توسعه می‌یابد، از این رو برای فراهم نمودن یک اتصال صلب باید به نحوه مطلوبی بال‌های تیر به ستون متصل گردد. این اتصال می‌تواند بصورت مستقیم و یا توسط قطعات کمکی صورت گیرد. اتصال مستقیم تیر به ستون به دلیل نیاز به پخ‌زنی بال برای جوش شیاری چندان متداول نیست.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر حالت‌های مختلف اتصال گیردار تیر به بال ستون توسط جوش نشان داده شده است

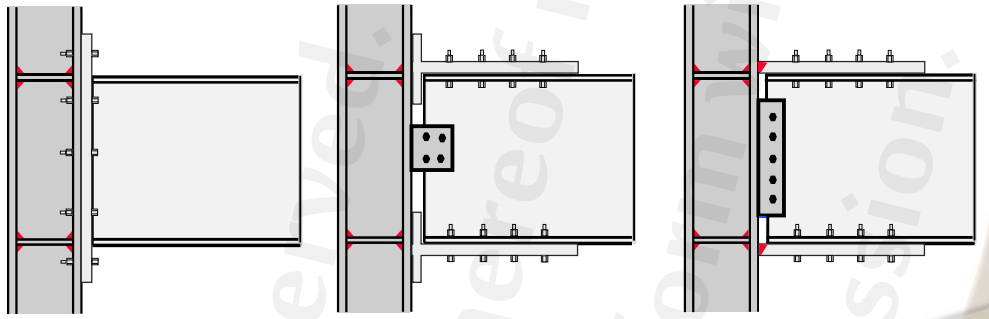


الف) اتصال مستقیم بدون ورق پیوستگی ب) اتصال مستقیم با ورق پیوستگی پ) اتصال گیردار یک بال به ستون

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در شکل زیر حالت‌های مختلف اتصال گیردار تیر به بال ستون توسط پیچ و مهره نشان داده شده است



الف) اتصال با استفاده از ورق های فوقانی و تحتانی

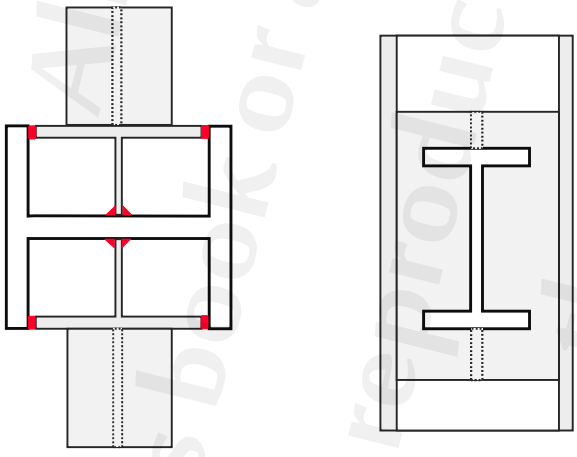
ب) اتصال با استفاده از سپری

پ) اتصال گیردار توسط ورق انتهایی

صفحه ۱۰۰۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

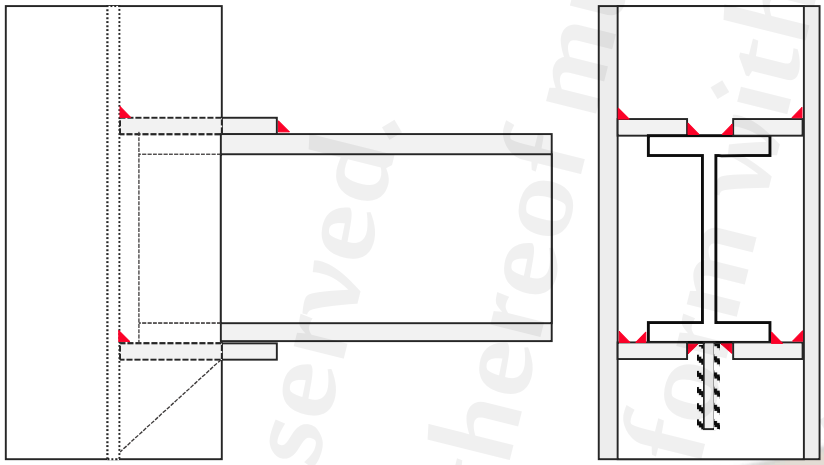
اتصال گیردار تیر به جان ستون به سهولت اتصال آن به بال نیست. در این حالت می‌توان از یک نیمرخ سپری با طول حدود ۲ برابر ارتفاع تیر که بال‌ها و جان آن برای قرار گرفتن مناسب در فاصله بال‌ها و جان ستون بریده شده است استفاده نمود. اتصال سپری به جان ستون توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری انجام می‌شود. (برای مقاصد لرزه‌ای مورد تایید نیست)



صفحه ۱۰۰۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

راهکار دیگر اتصال تیر به جان ستون، استفاده از ورق‌های فوقانی و نشیمن تقویت شده است. این مورد در شکل زیر نشان داده شده است. در این حالت جان ستون به شدت تحت معرض خمش و تنش‌های موضعی قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از روش قبلی مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

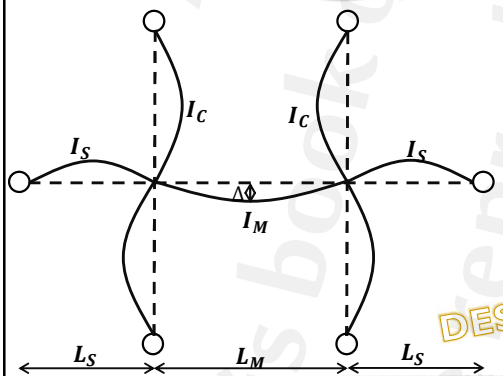


 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

فصل یازدهم

الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری



DESIGN FOR SERVICEABILITY

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

الزامات این بخش به موضوعاتی اختصاص دارد که از نظر اقناع شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبهٔ سازه‌ها مطرح هستند. با رعایت الزامات مربوط به حالت‌های حدی بهره‌برداری، مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن ضمن دارا بودن مقاومت موجود کافی در برابر بارهای خارجی، شرایطی نظیر محدودیت تغییرشکل‌ها و تغییرمکان‌ها، کنترل ارتعاشات، حفظ شکل ظاهری، دوام، آسایش ساکنین و غیره را با توجه به کاربری موردنظر تأمین می‌کند. برای کنترل الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری باید از ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی استفاده شود. الزامات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌شود:

- ۱۰-۲-۱۰-۱ ملاحظات پیش‌خیز
- ۱۰-۲-۱۰-۲ تغییرشکل‌ها
- ۱۰-۲-۱۰-۳ تغییرمکان‌های جانبی
- ۱۰-۲-۱۰-۴ ارتعاش (لرزش)
- ۱۰-۲-۱۰-۵ ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد
- ۱۰-۲-۱۰-۶ آثار تغییر دما و خودکرنشی
- ۱۰-۲-۱۰-۷ لغزش اتصالات پیچی
- ۱۰-۲-۱۰-۸ خوردگی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ملاحظات پیش‌خیز

پیش‌خیز معمولاً در تیرها و خرپاهای افقی با دهانهٔ بزرگ به منظور دستیابی به یک تراز مسطح نسبی، تحت اثر بارهای دائمی در نظر گرفته می‌شود. چنانچه برای حفظ شرایط ظاهری و موقعیت هندسی بعضی از اعضای خمشی ضمن رعایت محدودیت‌های مربوط به تغییرشکل‌های قائم و جانبی، پیش‌خیز معینی لازم باشد، تا اعضا پس از بارگذاری به شکل مقرری درآیند، باید اندازه، جهت و موقعیت پیش‌خیز در مدارک فنی و در نقشه‌های اجرائی به روشنی مشخص شود طراح باید براساس مشخصات فنی عمومی از روش‌های اجرای پیش‌خیز و محدودیت‌های آن آگاهی داشته یا در نقشه‌های اجرائی و مشخصات فنی خصوصی، روش مناسب اجرای آن را مشخص نماید.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تغییرشکل‌های قائم

در تیرهایی که کف‌ها و سقف‌های ساختمانی را تحمل می‌کنند، باید تغییرشکل‌های قائم کنترل شوند. تغییرشکل‌های قائم اعضای سازه‌ای تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری نظیر حالت‌های حدی بهره‌برداری، باید به اندازه‌ای باشند که قابلیت بهره‌برداری مناسب سازه حفظ شود. این تغییرشکل‌ها عموماً از دو عامل زیر ناشی می‌شوند:

- بارهای ثقلی (بار مرده، بار زنده و بار برف)
- اثرات خود کرنشی (تغییرات دما، خزش، افت و غیره)

کلیهٔ تیرهای فولادی و تیرهای مختلطی که در آنها هنگام بتن‌ریزی دال از پایه‌های موقت استفاده شده باشد، باید طوری محاسبه و طراحی شوند که تغییرشکل حداکثر ناشی از مجموع بار مرده و زنده از $l/240$ طول دهانه و تغییرشکل حداکثر ناشی از بار زنده به تنهایی از $l/360$ طول دهانه بیشتر نشود. طراح باید همواره حفظ انسجام اجزای غیرسازه‌ای را مدنظر داشته باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در تیرهای مختلط که در هنگام بتن‌ریزی دال از پایه‌های موقت استفاده نشده باشد، کنترل تغییرشکل‌های قائم این نوع تیرها باید شامل مراحل زیر باشد:

۱- تغییرشکل قائم ناشی از وزن تیر فولادی، دال بتنی و بارهای حین ساخت، براساس مقطع فولادی تنها محاسبه می‌شود.

۲- تغییرشکل قائم ناشی از بارهای مرده‌ای که بعد از گرفتن دال بتنی وارد می‌شوند، نظیر وزن کف‌سازی تیغه‌ها و موارد مشابه براساس مقطع مختلط محاسبه می‌شود.

۳- تغییرشکل قائم ناشی از بارهای زنده براساس مقطع مختلط محاسبه می‌شود.

۴- تغییرشکل محاسبه شده در مرحلهٔ ۱ نباید از $l/360$ طول دهانه بیشتر باشد.

۵- مجموع تغییرشکل‌های محاسبه شده در مراحل ۱، ۲ و ۳ نباید از $l/240$ طول دهانه بیشتر باشد.

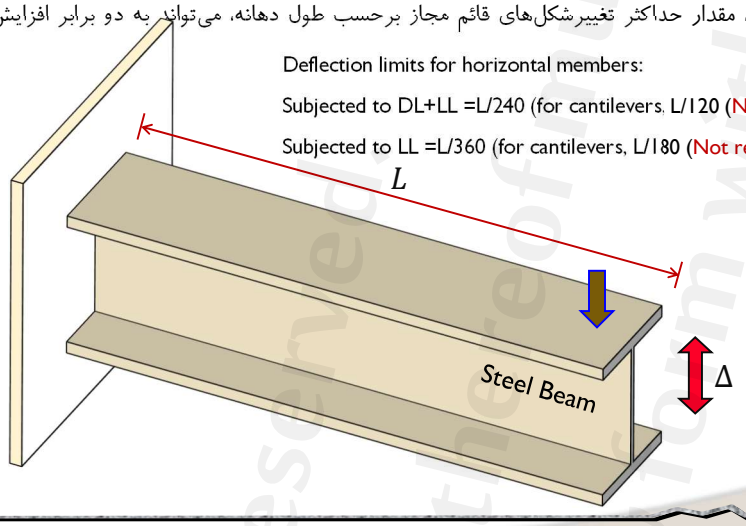
۶- تغییرشکل محاسبه‌شده در مرحلهٔ ۳ نباید از $l/360$ طول دهانه بیشتر باشد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تبصره۱: در محاسبه و کنترل تغییرشکل قائم، در صورت لزوم تغییرشکل‌های اضافی ناشی از خزش و جمع‌شدگی بتن نیز باید در نظر گرفته شود.

تبصره ۲: در تیرهای طره‌ای، مقدار حداکثر تغییرشکل‌های قائم مجاز برحسب طول دهانه، می‌تواند به دو برابر افزایش داده شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

تغییرمکان‌های جانبی

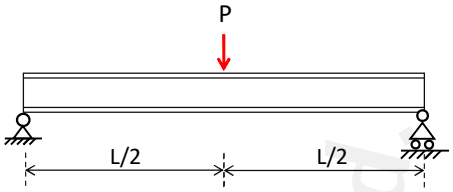
تغییرمکان‌های جانبی در حالت‌های حدی بهره‌برداری باید تحت اثر ترکیبات بارگذاری نظیر حالت‌های حدی بهره‌برداری که در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان مشخص شده است، محاسبه شوند. در مورد اعضای فولادی و مختلط نگهدارنده نماهای در معرض نیروی باد، تغییرمکان‌های جانبی باید به نحوی محدود شوند که از ترک‌خوردگی نازک‌کاری‌ها یا شکست شیشه‌ها (بسته به جزئیات به‌کاررفته در ساخت آنها) جلوگیری به عمل آید. درهرحال تغییرمکان‌های جانبی اعضای فولادی و مختلط نگهدارندهٔ نما تحت اثر نیروی باد نباید از 1/300 طول دهانه (حدفاصل بین تکیه‌گاه‌های نما) بیشتر باشد.

همچنین رعایت سایر محدودیت‌های قیدشده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان برای کنترل تغییرمکان‌های جانبی کلی و نسبی طبقات در برابر بارهای باد و زلزله الزامی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) در یک تیر دوسر ساده با مقطع I شکل به طول دهانه L تحت اثر بار متمرکز P با مقطع فشرده دارای تکیه‌گاه جانبی کافی، چنانچه ارتفاع کلی مقطع تیر برابر h باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت به ازای کدامیک از روابط زیر تاثیر معیار طراحی خمش و کنترل خیز دقیقا با هم برابر است؟ فرض کنید برش تعیین کننده نبوده و P فقط شامل بار زنده است. ($Z_x=1.12S_x$) (آذر ۹۲)



الف) $h=\left(\frac{24F_y}{E}\right)L$

ب) $h=\left(\frac{96F_y}{E}\right)L$

ج) $h=\left(\frac{37.8F_y}{E}\right)L$

د) $h=\left(\frac{48F_y}{E}\right)L$

این دو معیار زمانی باهم اتفاق می‌افتد که نسبت نیرو به ظرفیت هر دو معیار باهم برابر باشد یعنی:

$$\frac{M_u}{\phi M_n}=\frac{\Delta_{\text{موجود}}}{\Delta_{\text{مجاز}}} \quad 0.8M_u=0.8\times 540=432\ kN.m$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای کنترل خیز (بهره برداری) بارها بدون ضریب هستند ولی برای طراحی مقاطع، بارها باید به صورت ضریب دار (ترکیب بار) در نظر گرفته شوند.

$$M_u=\frac{(1.6P)L}{4} \qquad \Delta_{\text{موجود}}=\frac{PL^3}{48EI} \qquad \Delta_{\text{مجاز}}=\frac{L}{360}$$

$$\frac{\frac{(1.6P)L}{4}}{0.9\times F_y\times Z}=\frac{\frac{PL^3}{48EI}}{\frac{L}{360}} \quad \Rightarrow \quad \frac{(1.6P)L}{4\times 0.9\times F_y\times 1.12S_x}=\frac{360PL^3}{48EIL}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{(1.6P)L}{4\times 0.9\times F_y\times 1.12\times \frac{I}{h/2}}=\frac{360PL^3}{48EIL} \quad \Rightarrow h=\left(\frac{37.8F_y}{E}\right)L$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

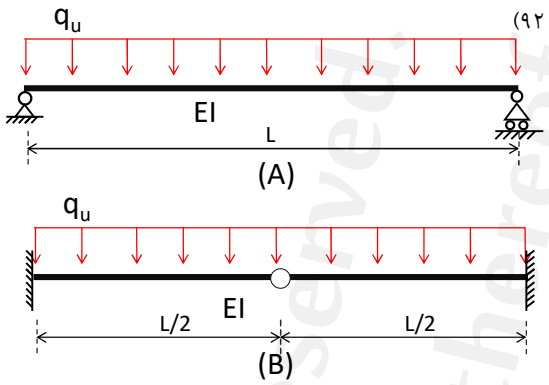
مثال) در خصوص تیرهای نشان داده شده در شکل، کدامیک از عبارات زیر صحیح نمی‌باشد؟

الف) خیز ماکزیمم هر دو تیر یکسان است.

ب) برش ماکزیمم هر دو تیر یکسان است.

ج) لنگر ماکزیمم هردوتیر یکسان است.

د) برش هر دو تیر در محل تکیه‌گاه یکسان است (آذر ۹۲)



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای خیز دو تیر داریم:

$$\Delta_{\max A}=\frac{5qL^4}{384EI} \qquad \Delta_{\max B}=\frac{q(L/2)^4}{8EI}=\frac{qL^4}{128EI}$$

هر دو تیر دارای بارگذاری متقارن و هندسه متقارن هستند و بنابراین عکس العمل تکیهگاهی (برش حداکثر) هر دو تیر برابر است.

در تیر A دوسر ساده لنگر ماکزیمم در وسط تیر می‌باشد و مقدار آن برابر است با:

$$M_{\max A}=\frac{qL^2}{8}$$

در تیر شماره B که در وسط آن مفصل خمشی وجود دارد دو طرف مفصل تیر به صورت طره عمل خواهد کرد و مقدار لنگر برابر است با:

$$M_{\max B}=\frac{q(L/2)^2}{2}=\frac{qL^2}{8}$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ارتعاش (لرزش)

کف‌ها و تیرهایی که سطوح خالی از تیغه بندی‌های ممتد تا سقف (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میرا کنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجه خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (نظیر بارهای ناشی از حرکت افراد، کارکرد ماشین‌آلات، حرکت و توقف آسانسورها و نظایر آنها) طراحی شوند. بدین منظور فرکانس نوسانی کف‌ها (تیرچه‌ها، دال‌ها و تیرها) باید به‌اندازه‌ای باشد که حداقل حساسیت افراد در برابر ارتعاش قائم را ارضا نماید. حداقل فرکانس نوسانی (دوره‌ای) کف‌ها برای کاربری‌های مختلف نباید از مقادیر مشخص شده در جدول ۱۰-۲-۱۰-۱ کمتر باشد.

جدول ۱۰-۲-۱۰-۱: حداقل فرکانس نوسانی (دوره‌ای) کف‌ها

نوع کاربری	حداقل فرکانس نوسانی کف‌ها (f)
ساختمان‌های مسکونی و اداری	f≥5 Hz
ساختمان‌های تجاری- فروشگاه‌ها	f≥4 Hz
سالن‌های اجتماعات با صندلی‌های ثابت	f≥4 Hz
سالن‌های اجتماعات بدون صندلی‌های ثابت	f≥8.5 Hz
تعمیرگاه‌ها، سالن‌های ژیمناستیک و ورزشی	f≥9.5 Hz
پارکینگ‌ها	f≥4 Hz

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برای محاسبهٔ فرکانس نوسانی (f)، می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده نمود:

$$f = 0.18\sqrt{\frac{g}{\Delta_{is}}}$$

که در آن:

f فرکانس نوسانی ارتعاش برحسب هرتز

Δ_{is} تغییرمکان نسبی قائم حداکثر کف برحسب میلیمتر تحت اثر بار مرده و بخشی از بار زنده که دائمی فرض می‌شود.

g شتاب ثقل برابر $9810\ mm/s^2$

تبصره ۱: درصورتیکه به مطالعات جامع‌تر برای ارتعاش کف‌ها نیاز باشد، می‌توان از مدل‌سازی دینامیکی یا مراجع معتبر دیگر به جای رابطهٔ ۱۰-۲-۱۰-۱ و جدول ۱۰-۲-۱۰-۱ استفاده نمود.

تبصره ۲: در محاسبات دقیق‌تر، شتاب لرزش کف را می‌توان به روش‌های دینامیکی تعیین و آن را با شتاب‌های معیار آسایش انسان بر مبنای کاربری کف که در استاندارد ISO 10137 معرفی شده‌اند، مقایسه نمود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) فرکانس دوره‌ای (f) یک تیر فولادی دوسر ساده به طول L و با مقطع IPE 180 تحت اثر بار مرده گسترده یکنواخت q_D برابر ۳ هرتز محاسبه شده است. برای آنکه این تیر از منظر ارتعاش قابل قبول تلقی شود، کدامیک از مقاطع زیر باید به عنوان حداقل شماره مقطع تیر انتخاب شود؟ (از وزن واحد طول تیر صرف نظر نموده و فرض کنید تیر مذکور سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی را تحمل می‌نماید) (اردیبهشت ۹۷)

الف) IPE240 ب) IPE 270 ج) IPE 200 د) IPE 220

$$f = 0.18\sqrt{\frac{g}{\Delta_{is}}} \quad \Rightarrow 3 = 0.18\sqrt{\frac{9810}{\Delta_{is}}} \quad \Rightarrow \Delta_{is} = 35.3\ mm$$

تیر دوسر ساده با بار گسترده یکنواخت است بنابراین:

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \Rightarrow \quad 35.3 = \frac{5qL^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times 1317 \times 10^4} \quad \Rightarrow qL^4 = 7.14 \times 10^{15}$$

با فرض اینکه ساختمانهای مسکونی و اداری است داریم:

$$f \geq 5 \quad \Rightarrow \quad 0.18\sqrt{\frac{g}{\Delta_{is}}} \geq 5\ Hz \qquad \Rightarrow 5 = 0.18\sqrt{\frac{9810}{\Delta_{is}}} \quad \Rightarrow \Delta_{is} = 12.7\ mm$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \Rightarrow \quad 12.71 = \frac{5(7.14 \times 10^{15})}{384 \times 2 \times 10^5 \times I} \quad \Rightarrow I \geq 36680640$$

از جدول مقاطع IPE240 با ممان اینرسی $38920000\ mm^4$ استفاده میشود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مثال) یک تیر دوسر ساده مربوط به یک ساختمان مسکونی به طول دهانه ۵ متر که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی را تحمل می‌نماید، تحت اثر بار مرده گسترده یکنواخت برابر 5 kN/m قرار دارد. فقط براساس کنترل ارتعاش، حداقل مقطع قابل قبول از نوع IPE برای این تیر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ (مهر ۹۹)

الف) IPE180　　ب) IPE 200　　ج) IPE 240　　د) IPE 220

$$f = 0.18\sqrt{\frac{g}{\Delta_{is}}} \quad \Rightarrow 5 = 0.18\sqrt{\frac{9810}{\Delta_{is}}} \quad \Rightarrow \Delta_{is} = 12.7\ mm$$

تیر دوسر ساده با بار گسترده یکنواخت است بنابراین:

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI} \le 12.7 \quad \Rightarrow \quad 12.7 = \frac{5 \times 5 \times 500^4}{384 \times 2 \times 10^5 \times I} \quad \Rightarrow I \ge 16 \times 10^6$$

از جدول مقاطع IPE200 با ممان اینرسی $19400000\ mm^4$ استفاده می‌شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد

به منظور آسایش ساکنین، آثار ناشی از حرکت باد باید به نحو مؤثری در محاسبه و طراحی سازه‌های بلند و پوشش‌های نما موردتوجه قرار گیرد. برای این منظور رعایت ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان الزامی است.

آثار تغییرات دما و خود کرنشی

برای تأمین شرایط بهره‌برداری مناسب، در محاسبه و طراحی سازه باید آثار تغییرات دما به نحو مناسبی موردتوجه قرار گیرد. خرابی پوشش‌های نمای ساختمان می‌تواند عامل نفوذ آب شده و منجر به زنگ‌زدگی شود. در محاسبات تغییرشکل‌های دمائی، ضریب انبساط و انقباض حرارتی فولاد برابر 12×10^{-6} به ازای هر درجهٔ سلسیوس در نظر گرفته می‌شود. خزش و جمع شدگی در اجزای بتنی و تسلیم موضعی در اجزای فولادی، در عناصر سازه‌ای می‌تواند آثاری مشابه وقوع ترک خوردگی و باز شدن درزها داشته باشد. با جانمایی مناسب درزهای حرکتی و طراحی مناسب برای هر درز، می‌توان شرایط مناسب بهره‌برداری را فراهم کرد.

لغزش اتصالات پیچی

در مواردی که لغزش اتصالات پیچی باعث تغییرشکل‌هایی می‌شود که شرایط بهره‌برداری مناسب را به مخاطره می‌اندازد، طراحی اتصال باید به صورت لغزش بحرانی مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۹-۳-۵ صورت گیرد.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

خوردگی

خوردگی به عنوان یک حالت حدی بهره‌برداری به شمار می‌آید و می‌تواند موجب ایجاد لکه‌های زنگاب و ترک خوردن نازک‌کاری‌ها در اثر افزایش حجم فولاد زنگ‌زده شود.

در طراحی باید به جلوگیری از خوردگی و عوامل مسبب آن خصوصاً رطوبت و ترو خشک شدن متوالی توجه ویژه معطوف گردد. جزئیات اعضا و اتصالات باید به نحوی طراحی شوند که امکان جمع‌شدن آب در تماس با سازهٔ فولادی وجود نداشته باشد. در محل‌های مستعد جمع شدن آب، تعبیهٔ شیب‌های مناسب و سوراخ‌های تخلیهٔ آب ضروری است. همچنین اجرای پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی در محل‌های مستعد خوردگی مطابق الزامات فصل ۱۰-۴ الزامی است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

استفاده از مقادیر جدول‌بندی شده در طراحی

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مشخصات پروفیل‌های نورد شده IPE

IPE	mm					Cm^2	Kg/m	Cm^4	Cm^3	Cm	Cm^4	Cm^3	Cm
	d	b	t_f	t_w	k	A_g	G	I_x	S_x	r_x	I_y	S_y	r_y
80	80	46.0	3.8	5.2	10.2	7.64	6	80.1	20	3.24	8.49	3.69	1.05
100	100	55.0	4.1	5.7	12.7	10.3	8.1	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24
120	120	64.0	4.4	6.3	13.3	13.2	10.4	318	53	4.9	27.7	8.65	1.45
140	140	73.0	4.7	6.9	13.9	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65
160	160	82.0	5.0	7.4	16.4	20.1	15.8	869	109	6.58	68.3	16.7	1.84
180	180	91.0	5.3	8	17	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.2	2.05
200	200	100.0	5.6	8.5	20.5	28.5	22.4	1940	194	8.26	142	28.5	2.24
220	220	110.0	5.9	9.2	21.2	33.4	26.2	2770	252	9.11	205	37.3	2.48
240	240	120.0	6.2	9.8	24.8	39.1	30.7	3890	324	9.97	284	47.3	2.69
270	270	135.0	6.6	10.2	25.2	45.9	36.1	5790	429	11.2	420	62.2	3.02
300	300	150.0	7.1	10.7	25.7	53.8	42.2	8360	557	12.5	604	80.5	3.35
330	330	160.0	7.5	11.5	29.5	62.6	49.1	11770	713	13.7	788	98.5	3.55
360	360	170.0	8.0	12.7	30.7	72.7	57.1	16270	904	15	1040	123	3.79
400	400	180.0	8.6	13.5	34.5	84.5	66.3	23130	1160	16.5	1320	146	3.95
450	450	190.0	9.4	14.6	35.6	98.8	77.6	33740	1500	18.5	1680	176	4.12
500	500	200.0	10.2	16	37	116	90.7	48200	1930	20.4	2140	214	4.31
550	550	210.0	11.1	17.2	41.2	134	106	67120	2440	22.3	2670	254	4.45
600	600	220.0	12.0	19	43	156	122	92080	3070	24.3	3390	308	4.66

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مشخصات پروفیل‌های نورد شده IPB

IPB (HEB)	mm					Cm^2	Kg/m	Cm^4	Cm^3	Cm	Cm^4	Cm^3	Cm
	d	b	t_w	t_f	k	A_g	G	I_x	S_x	r_x	I_y	S_y	r_y
100	100	100	6	10	22	26	20.4	450	89.9	4.16	167	33.5	2.53
120	120	120	6.5	11	23	34	26.7	864	144	5.04	318	52.9	3.06
140	140	140	7	12	24	43	33.7	1510	216	5.93	550	78.5	3.58
160	160	160	8	13	28	54.3	42.6	2490	311	6.78	889	111	4.05
180	180	180	8.5	14	29	65.3	51.2	3830	426	7.66	1360	151	4.57
200	200	200	9	15	33	78.1	61.3	5700	570	8.54	2000	200	5.07
220	220	220	9.5	16	34	91	71.5	8090	736	9.43	2840	258	5.59
240	240	240	10	17	38	106	83.2	11260	938	10.3	3920	327	6.08
260	260	260	10	17.5	41.5	118	93	14920	1150	11.2	5130	395	6.58
280	280	280	10.5	18	42	131	103	19270	1380	12.1	6590	471	7.09
300	300	300	11	19	46	149	117	25170	1680	13	8560	571	7.58
320	320	300	11.5	20.5	47.5	161	127	30820	1930	13.8	9240	616	7.57
340	340	300	12	21.5	48.5	171	134	36660	2160	14.6	9690	646	7.53
360	360	300	12.5	22.5	49.5	181	142	43190	2400	15.5	10140	676	7.49
400	400	300	13.5	24	51	198	155	57680	2880	17.1	10820	721	7.4
450	450	300	14	26	53	218	171	79890	3550	19.1	11720	781	7.33
500	500	300	14.5	28	55	239	187	107200	4290	21.2	12620	842	7.27
550	550	300	15	29	56	254	199	136700	4970	23.2	13080	872	7.17
600	600	300	15.5	30	57	270	212	171000	5700	25.2	13530	902	7.08
650	650	300	16	31	58	286	225	210600	6480	27.1	13980	932	6.99
700	700	300	17	32	59	306	241	256900	7340	29	14440	963	6.87
800	800	300	17.5	33	63	334	262	359100	8980	32.8	14900	994	6.68
900	900	300	18.5	35	65	371	291	494100	10980	36.5	15820	1050	6.53
1000	1000	300	19	36	66	400	314	644700	12890	40.1	16280	1090	6.38

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

مشخصات پروفیل‌های نورد شده UNP

UNP	mm					Cm^2	Kg/m	Cm^4	Cm^3	Cm	Cm^4	Cm^3	Cm	Cm
	d	b	t_f	t_w	k	A_g	G	I_x	S_x	r_x	I_y	S_y	r_y	e_x
30x15	30	15	4	4.5	9	2.21	1.74	2.53	1.69	1.07	0.38	0.39	0.42	0.52
30	30	33	5	7	14.5	5.44	4.27	6.39	4.26	1.08	5.33	2.68	0.99	1.31
40x20	40	20	5	5.5	11	3.66	2.87	7.58	3.79	1.44	1.14	0.86	0.56	0.67
40	40	35	5	7	14.5	6.21	4.87	14.1	7.05	1.5	6.68	3.08	4.04	1.33
50x25	50	25	5	6	12.5	4.92	3.86	16.8	6.73	1.85	2.49	1.48	0.71	0.81
50	50	38	5	7	15	7.12	5.59	26.4	10.6	1.92	9.12	3.75	1.13	1.37
60	60	30	6	6	12.5	6.46	5.07	31.6	10.5	2.21	4.51	2.16	1.19	0.91
65	65	42	5.5	7.5	16	9.03	7.09	57.5	17.7	2.52	14.1	5.07	1.25	1.42
80	80	45	6	8	17	11	8.64	106	26.5	3.1	19.4	6.36	1.33	1.45
100	100	50	6	8.5	18	13.5	10.6	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	1.55
120	120	55	7	9	19	17	13.4	364	60.7	4.62	43.2	11.1	1.59	1.6
140	140	60	7	10	21	20.4	16	605	86.4	5.45	62.7	14.8	1.75	1.75
160	160	65	7.5	10.5	22.5	24	18.8	925	116	6.21	85.3	18.3	1.89	1.84
180	180	70	8	11	23.5	28	22	1350	150	6.95	114	22.4	2.02	1.92
200	200	75	8.5	11.5	24.5	32.2	25.3	1910	191	7.7	148	27	2.14	2.01
220	220	80	9	12.5	26.5	37.4	29.4	2690	245	8.48	197	33.6	2.3	2.14
240	240	85	9.5	13	28	42.3	33.2	3600	300	9.22	248	39.6	2.42	2.23
260	260	90	10	14	30	48.3	37.9	4820	371	9.99	317	47.7	2.56	2.36
280	280	95	10	15	32	53.3	41.8	6280	448	10.9	399	57.2	2.74	2.53
300	300	100	10	16	34	58.8	46.2	8030	535	11.7	495	67.8	2.9	2.7
320	320	100	14	17.5	37	75.8	59.5	10870	679	12.1	597	80.6	2.81	2.6
350	350	100	14	16	34	77.3	60.6	12840	734	12.9	570	75	2.72	2.4
380	380	102	13.5	16	33.5	80.4	63.1	15760	829	14	615	78.7	2.77	2.38
400	400	110	14	18	38	91.5	71.8	20350	1020	14.9	846	102	3.04	2.65

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برخی مشخصات دیگر مقاطع نورد شده IPE: در جداول زیر، J ثابت پیچشی، C_w ثابت پیچش تابیدگی، r_{st} شعاع ژیراسیون موثر، $b/2t_f$ و h/t_w به ترتیب نسبت عرض به ضخامت بال و ارتفاع به ضخامت جان برای کنترل فشردگی مقطع و Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور قوی می‌باشد. در محاسبه مقدار اساس مقطع پلاستیک از گردی بخش اتصال بال به جان صرف نظر شده است:

IPE	Cm^4	Cm^6	Cm	Cm	$b/2t_f$	h/t_w	Cm^3
	J	Cw	h_0	r_{ts}			Z_x
80	0.6	119	7.48	1.26	4.42	18.32	22.49
100	0.9	353	9.43	1.48	4.82	21.61	37.61
120	1.4	895	11.37	1.72	5.08	24.41	58.53
140	2.1	1989	13.31	1.97	5.29	26.85	85.76
160	2.9	3976	15.26	2.19	5.54	29.04	118.95
180	4.0	7470	17.2	2.44	5.69	30.94	160.85
200	5.3	13019	19.15	2.65	5.88	32.68	209.66
220	7.2	22774	21.08	2.93	5.98	34.17	273.28
240	9.4	37624	23.02	3.18	6.12	35.55	346.01
270	12.1	70871	25.98	3.57	6.62	37.82	460.54
300	15.8	126379	28.93	3.96	7.01	39.24	602.10
330	20.9	199841	31.85	4.20	6.96	40.93	762.76
360	29.4	313605	34.73	4.47	6.69	41.83	973.74
400	38.0	492961	38.65	4.69	6.67	43.37	1238.32
450	51.9	796207	43.54	4.94	6.51	44.77	1623.92
500	72.3	1253270	48.4	5.18	6.25	45.88	2107.31
550	96.3	1894871	53.28	5.40	6.10	46.45	2662.19
600	135.2	2860829	58.1	5.66	5.79	46.83	3376.11

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

برخی مشخصات دیگر مقاطع نورد شده IPB: در جداول زیر، J ثابت پیچشی، C_w ثابت پیچش تابیدگی، r_{st} شعاع ژیراسیون موثر، $b/2t_f$ و h/t_w به ترتیب نسبت عرض به ضخامت بال و ارتفاع به ضخامت جان برای کنترل فشردگی مقطع و Z_x اساس مقطع پلاستیک حول محور قوی می‌باشد. در محاسبه مقدار اساس مقطع پلاستیک از گردی بخش اتصال بال به جان صرف نظر شده است:

IPB (HEB)	Cm^4 J	Cm^6 Cw	Cm h_0	Cm r_{ts}	$b/2t_f$	h/t_w	Cm^3 Z_x
100	7.4	3382	9	2.89	5.00	13.33	99.60
120	11.7	9445	10.9	3.47	5.45	15.08	159.49
140	17.7	22528	12.8	4.04	5.83	16.57	238.59
160	26.2	48026	14.7	4.58	6.15	16.75	341.67
180	36.6	93690	16.6	5.15	6.43	17.88	467.42
200	49.9	171125	18.5	5.70	6.67	18.89	620.03
220	66.4	295474	20.4	6.27	6.88	19.79	802.02
240	86.6	487344	22.3	6.83	7.06	20.60	1015.93
260	101.6	754190	24.25	7.35	7.43	22.50	1229.94
280	119.7	1130910	26.2	7.91	7.78	23.24	1476.76
300	150.5	1689765	28.1	8.46	7.89	23.82	1790.47
320	188.5	2072076	29.95	8.47	7.32	24.26	2065.72
340	218.4	2457439	31.85	8.45	6.98	24.75	2318.95
360	251.3	2887523	33.75	8.44	6.67	25.20	2588.20
400	309.3	3824221	37.6	8.40	6.25	26.07	3125.38
450	392.7	5267437	42.4	8.37	5.77	28.43	3861.61
500	489.9	7028835	47.2	8.33	5.36	30.62	4679.42
550	549.7	8876121	52.1	8.28	5.17	32.80	5440.44
600	614.5	10989743	57	8.22	5.00	34.84	6259.95
650	684.6	13391477	61.9	8.17	4.84	36.75	7139.68
700	770.0	16108686	66.8	8.11	4.69	37.41	8131.91
800	861.7	21913765	76.7	7.98	4.55	41.94	9950.36
900	1047.4	29592299	86.5	7.89	4.29	44.86	12268.66
1000	1161.8	37822347	96.4	7.80	4.17	48.84	14501.82

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در جداول زیر، ظرفیت خمشی مقاطع مختلف (M_p)، طول مهارنشده عضو که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی است (L_p)، طول مهارنشده عضو که مرز بین حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی است (L_r) و همچنین ظرفیت برشی مقاطع نشان داده شده است

IPE	ton.m M_p	ton.m $\phi_b M_p$	Cm L_p	Cm L_r	ton V_n
80	0.54	0.49	53.3	266.4	4.4
100	0.90	0.81	63.0	274.6	5.9
120	1.40	1.26	73.7	297.7	7.6
140	2.06	1.85	83.8	322.8	9.5
160	2.85	2.57	93.5	341.3	11.5
180	3.86	3.47	104.2	371.1	13.7
200	5.03	4.53	113.8	389.7	16.1
220	6.56	5.90	126.0	426.2	18.7
240	8.30	7.47	136.7	453.9	21.4
270	11.05	9.95	153.4	491.8	25.7
300	14.45	13.01	170.2	534.3	30.7
330	18.31	16.48	180.4	558.5	35.6
360	23.37	21.03	192.6	597.0	41.5
400	29.72	26.75	200.7	614.9	49.5
450	38.97	35.08	209.3	640.1	60.9
500	50.58	45.52	219.0	668.6	73.4
550	63.89	57.50	226.1	691.9	87.9
600	81.03	72.92	236.8	728.4	103.7

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت خمشی، برشی و طول‌های مهارنشده مرزی برای مقاطع IPB

IPB (HEB)	ton.m M_p	ton.m $\phi_b M_p$	Cm L_p	Cm L_r	ton V_n
100	2.39	2.15	128.5	913.3	8.6
120	3.83	3.44	155.5	995.5	11.2
140	5.73	5.15	181.9	1076.1	14.1
160	8.20	7.38	205.8	1158.3	18.4
180	11.22	10.10	232.2	1241.7	22.0
200	14.88	13.39	257.6	1318.3	25.9
220	19.25	17.32	284.0	1408.3	30.1
240	24.38	21.94	308.9	1488.4	34.6
260	29.52	26.57	334.3	1516.4	37.4
280	35.44	31.90	360.2	1566.1	42.3
300	42.97	38.67	385.1	1649.4	47.5
320	49.58	44.62	384.6	1666.3	53.0
340	55.65	50.09	382.6	1644.8	58.8
360	62.12	55.91	380.5	1627.7	64.8
400	75.01	67.51	376.0	1567.1	77.8
450	92.68	83.41	372.4	1505.7	90.7
500	112.31	101.08	369.4	1457.5	104.4
550	130.57	117.51	364.3	1381.9	118.8
600	150.24	135.21	359.7	1320.1	133.9
650	171.35	154.22	355.1	1269.4	149.8
700	195.17	175.65	349.0	1228.3	171.4
800	238.81	214.93	339.4	1136.7	201.6
900	294.45	265.00	331.8	1091.8	239.8
1000	348.04	313.24	324.1	1042.2	273.6

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت خمشی، مقاطع IPE در برابر طول مهارنشده آن‌ها

IPE	طول مهارنشده عضو خمشی بر حسب متر												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
80	0.54	0.54	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.14
100	0.90	0.90	0.85	0.77	0.69	0.61	0.52	0.44	0.38	0.34	0.30	0.27	0.25
120	1.40	1.40	1.34	1.23	1.11	1.00	0.88	0.74	0.64	0.56	0.50	0.45	0.41
140	2.06	2.06	2.01	1.85	1.69	1.53	1.37	1.18	1.01	0.89	0.79	0.71	0.65
160	2.85	2.85	2.83	2.62	2.41	2.21	2.00	1.77	1.51	1.32	1.17	1.05	0.96
180	3.86	3.86	3.86	3.62	3.36	3.09	2.83	2.56	2.23	1.94	1.71	1.53	1.39
200	5.03	5.03	5.03	4.80	4.48	4.16	3.84	3.51	3.15	2.71	2.39	2.13	1.93
220	6.56	6.56	6.56	6.37	5.99	5.60	5.21	4.82	4.44	3.94	3.45	3.07	2.77
240	8.30	8.30	8.30	8.18	7.73	7.28	6.83	6.38	5.93	5.48	4.79	4.24	3.81
270	11.05	11.05	11.05	11.05	10.52	9.96	9.39	8.82	8.25	7.68	7.04	6.19	5.52
300	14.45	14.45	14.45	14.45	14.03	13.33	12.63	11.94	11.24	10.54	9.84	8.97	7.96
330	18.31	18.31	18.31	18.31	17.98	17.14	16.30	15.47	14.63	13.79	12.96	12.12	10.80
360	23.37	23.37	23.37	23.37	23.22	22.21	21.20	20.18	19.17	18.16	17.15	16.14	15.06
400	29.72	29.72	29.72	29.72	29.72	28.50	27.27	26.03	24.80	23.56	22.33	21.09	19.86
450	38.97	38.97	38.97	38.97	38.97	37.67	36.07	34.48	32.88	31.28	29.68	28.08	26.48
500	50.58	50.58	50.58	50.58	50.58	49.32	47.30	45.29	43.27	41.25	39.23	37.21	35.19
550	63.89	63.89	63.89	63.89	63.89	62.72	60.26	57.80	55.34	52.88	50.43	47.97	45.51
600	81.03	81.03	81.03	81.03	81.03	80.23	77.24	74.24	71.25	68.25	65.26	62.26	59.27

ظرفیت خمشی عضو بر حسب تن متر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت خمشی، مقاطع IPB در برابر طول مهارنشده آن‌ها

IPB (HEB)	طول مهارنشده عضو خمشی بر حسب متر												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
100	2.39	2.39	2.39	2.37	2.31	2.25	2.20	2.14	2.09	2.03	1.97	1.92	1.86
120	3.83	3.83	3.83	3.83	3.75	3.67	3.59	3.50	3.42	3.33	3.25	3.17	3.08
140	5.73	5.73	5.73	5.73	5.68	5.57	5.45	5.33	5.21	5.10	4.98	4.86	4.75
160	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.06	7.91	7.75	7.59	7.44	7.28	7.12	6.97
180	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.15	10.95	10.74	10.54	10.34	10.14	9.94	9.74
200	14.88	14.88	14.88	14.88	14.88	14.88	14.67	14.42	14.17	13.92	13.67	13.42	13.17
220	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.15	18.84	18.54	18.23	17.93	17.62	17.31
240	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.08	23.72	23.35	22.99	22.62	22.25
260	29.52	29.52	29.52	29.52	29.52	29.52	29.52	29.38	28.95	28.52	28.09	27.66	27.23
280	35.44	35.44	35.44	35.44	35.44	35.44	35.44	35.44	35.04	34.53	34.02	33.51	33.00
300	42.97	42.97	42.97	42.97	42.97	42.97	42.97	42.97	42.80	42.21	41.63	41.05	40.46
320	49.58	49.58	49.58	49.58	49.58	49.58	49.58	49.58	49.37	48.70	48.03	47.36	46.69
340	55.65	55.65	55.65	55.65	55.65	55.65	55.65	55.65	55.39	54.62	53.85	53.09	52.32
360	62.12	62.12	62.12	62.12	62.12	62.12	62.12	62.12	61.78	60.90	60.03	59.16	58.28
400	75.01	75.01	75.01	75.01	75.01	75.01	75.01	75.01	74.47	73.35	72.24	71.12	70.00
450	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	91.87	90.42	88.96	87.50	86.04
500	112.31	112.31	112.31	112.31	112.31	112.31	112.31	112.31	111.17	109.32	107.48	105.63	103.78
550	130.57	130.57	130.57	130.57	130.57	130.57	130.57	130.57	128.92	126.61	124.29	121.98	119.67
600	150.24	150.24	150.24	150.24	150.24	150.24	150.24	150.24	147.95	145.12	142.28	139.45	136.61
650	171.35	171.35	171.35	171.35	171.35	171.35	171.35	171.35	168.29	164.87	161.45	158.03	154.62
700	195.17	195.17	195.17	195.17	195.17	195.17	195.17	195.09	191.00	186.92	182.83	178.74	174.66
800	238.81	238.81	238.81	238.81	238.81	238.81	238.81	237.64	232.12	226.61	221.09	215.58	210.06
900	294.45	294.45	294.45	294.45	294.45	294.45	294.45	291.81	284.57	277.34	270.10	262.87	255.63
1000	348.04	348.04	348.04	348.04	348.04	348.04	348.04	343.31	334.15	325.00	315.84	306.68	297.53

ظرفیت خمشی عضو بر حسب تن متر

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت فشاری مقاطع IPE با فرض $K_x=K_y=1.0$

IPE	طول مهارنشده عضو فشاری بر حسب متر												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
80	18.3	16.3	11.6	6.5	3.6	2.3	1.6	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4
100	24.7	22.8	17.8	11.7	6.9	4.4	3.0	2.2	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8
120	31.7	29.8	24.9	18.4	12.0	7.7	5.3	3.9	3.0	2.4	1.9	1.6	1.3
140	39.4	37.6	32.6	25.8	18.6	12.4	8.6	6.3	4.8	3.8	3.1	2.6	2.1
160	48.2	46.5	41.5	34.4	26.4	18.9	13.1	9.6	7.4	5.8	4.7	3.9	3.3
180	57.4	55.6	50.8	43.7	35.3	26.9	19.3	14.2	10.9	8.6	7.0	5.7	4.8
200	68.4	66.7	61.8	54.4	45.6	36.3	27.5	20.2	15.5	12.2	9.9	8.2	6.9
220	80.2	78.5	73.8	66.5	57.6	47.8	38.1	29.0	22.2	17.6	14.2	11.8	9.9
240	93.8	92.2	87.5	80.1	70.8	60.5	49.8	39.6	30.6	24.2	19.6	16.2	13.6
270	110.2	108.6	104.2	97.2	88.1	77.7	66.7	55.6	45.1	35.8	29.0	24.0	20.1
300	129.1	127.7	123.4	116.6	107.7	97.3	85.9	74.1	62.5	51.5	41.8	34.6	29.0
330	150.2	148.7	144.3	137.2	127.8	116.7	104.5	91.6	78.7	66.3	54.6	45.1	37.9
360	174.5	172.9	168.4	161.1	151.4	139.8	126.8	113.0	99.0	85.1	72.0	59.8	50.2
400	202.8	201.2	196.3	188.5	178.0	165.4	151.2	136.0	120.3	104.8	89.7	75.4	63.4
450	237.1	235.3	230.1	221.7	210.3	196.6	181.0	164.2	146.8	129.2	112.1	95.7	80.6
500	278.4	276.5	270.9	261.8	249.5	234.6	217.6	199.0	179.6	159.9	140.4	121.6	103.6
550	321.6	319.5	313.4	303.5	290.2	273.9	255.2	234.7	213.2	191.1	169.2	147.8	127.5
600	374.4	372.2	365.7	355.2	340.9	323.4	303.2	281.0	257.3	232.9	208.4	184.3	161.0

ظرفیت فشاری عضو بر حسب تن

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ظرفیت فشاری مقاطع IPB با فرض $K_x=K_y=1.0$

IPB (HEB)	طول مهارنشده عضو فشاری بر حسب متر												
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
100	62.4	61.2	57.6	52.2	45.4	38.0	30.5	23.5	18.0	14.2	11.5	9.5	8.0
120	81.6	80.5	77.3	72.2	65.7	58.1	50.0	41.9	34.2	27.2	22.0	18.2	15.3
140	103.2	102.2	99.2	94.4	88.0	80.5	72.2	63.5	54.7	46.2	38.2	31.5	26.5
160	130.3	129.3	126.3	121.5	115.1	107.3	98.6	89.1	79.3	69.5	60.0	51.0	42.8
180	156.7	155.8	152.9	148.4	142.2	134.6	125.9	116.3	106.1	95.7	85.2	75.0	65.2
200	187.4	186.5	183.8	179.3	173.2	165.6	156.8	147.1	136.6	125.5	114.3	103.0	91.9
220	218.4	217.5	214.9	210.5	204.6	197.3	188.6	178.9	168.3	157.0	145.4	133.4	121.5
240	254.4	253.5	250.9	246.6	240.8	233.4	224.8	214.9	204.1	192.5	180.3	167.7	155.0
260	283.2	282.4	279.9	275.8	270.2	263.1	254.8	245.2	234.6	223.2	211.1	198.5	185.5
280	314.4	313.6	311.2	307.3	301.9	295.1	287.0	277.7	267.4	256.1	244.1	231.5	218.4
300	357.6	356.8	354.4	350.5	345.2	338.3	330.2	320.8	310.4	298.9	286.6	273.6	260.0
320	386.4	385.5	383.0	378.8	372.9	365.5	356.7	346.6	335.2	322.8	309.5	295.4	280.7
340	410.4	409.5	406.7	402.2	395.9	388.0	378.6	367.7	355.5	342.2	327.9	312.8	297.1
360	434.4	433.4	430.5	425.6	418.9	410.5	400.3	388.7	375.7	361.5	346.3	330.2	313.4
400	475.2	474.1	470.8	465.4	457.9	448.4	437.1	424.1	409.5	393.7	376.7	358.7	340.1
450	523.2	522.0	518.3	512.2	503.7	493.1	480.4	465.9	449.6	431.9	412.9	392.9	372.0
500	573.6	572.2	568.1	561.3	551.9	540.1	526.0	509.8	491.7	472.0	450.9	428.7	405.6
550	609.6	608.1	603.6	596.2	585.9	573.0	557.6	540.0	520.3	498.9	476.0	451.9	426.9
600	648.0	646.4	641.5	633.4	622.2	608.2	591.4	572.2	550.8	527.6	502.7	476.7	449.6
650	686.4	684.6	679.3	670.5	658.4	643.1	625.0	604.2	581.0	555.9	529.0	500.9	471.8
700	734.4	732.4	726.5	716.8	703.4	686.5	666.5	643.5	618.0	590.3	560.9	530.0	498.1
800	801.6	799.3	792.5	781.3	765.9	746.5	723.4	697.1	667.9	636.3	602.7	567.7	531.7
900	890.4	887.7	879.8	866.8	848.9	826.4	799.7	769.3	735.6	699.2	660.7	620.6	579.4
1000	960.0	957.0	948.1	933.4	913.2	887.8	857.8	823.7	786.0	745.3	702.3	657.7	612.1

ظرفیت فشاری عضو بر حسب تن

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

ایرادت نگارشی مبحث دهم ویرایش ۱۴۰۱

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در بخش تعاریف، مبحث دهم، صفحه ۱۶ در تعریف قاب مهاربندی همگرای ویژه، کلمه همگرای معمولی باید به همگرای ویژه تغییر یابد.

نادرست ✗

قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای ویژه: در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای **معمولی**، محورهای اعضای مهاربندی، تیرها یا ستون‌های متصل به گره باید همگرا باشند. در این سیستم باربر جانبی، کلیهٔ اعضا شامل تیرها، ستون و اعضای مهاربندی باید فولادی باشند. رفتار غالب اعضای این سیستم باربر تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای به صورت محوری است. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی و دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق ایجاد تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی ناشی از کمانش غیر الاستیک مهاربند فشاری و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری حاصل از تسلیم کششی مهاربند کششی صورت می‌گیرد.

درست ✓

قاب مهاربندی‌شدهٔ همگرای ویژه: در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای **ویژه**، محورهای اعضای مهاربندی، تیرها یا ستون‌های متصل به گره باید همگرا باشند. در این سیستم باربر جانبی، کلیهٔ اعضا شامل تیرها، ستون و اعضای مهاربندی باید فولادی باشند. رفتار غالب اعضای این سیستم باربر تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای به صورت محوری است. در تحمل بارهای ثقلی می‌توان از عملکرد مختلط بین تیر فولادی و دال بتنی متکی بر آن استفاده نمود. شکل‌پذیری مورد انتظار در این سیستم باربر جانبی قابل ملاحظه بوده و از طریق ایجاد تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی ناشی از کمانش غیر الاستیک مهاربند فشاری و تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محوری حاصل از تسلیم کششی مهاربند کششی صورت می‌گیرد.

صفحه ۱۰۳۹ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۵۴۵ بند ۱۰-پ-۳-۲-۱ ضریب تشدید B_1 (برای محاسبه اثرات P-δ) رابطه ۱۰-پ۳-۳ باید به صورت زیر اصلاح شود:

نادرست ✗

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)}$$

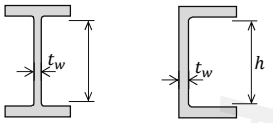
درست ✓

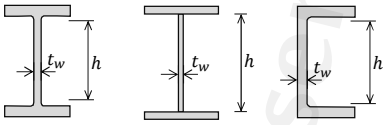
$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{\alpha P_r}{P_{e1}}\right)} \geq 1.0$$

صفحه ۱۰۴۰ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۵۴ جدول ۱۰-۲-۲-۲ ردیف ۵ شکل مربوط به مثال نمونه باید اصلاح شود.

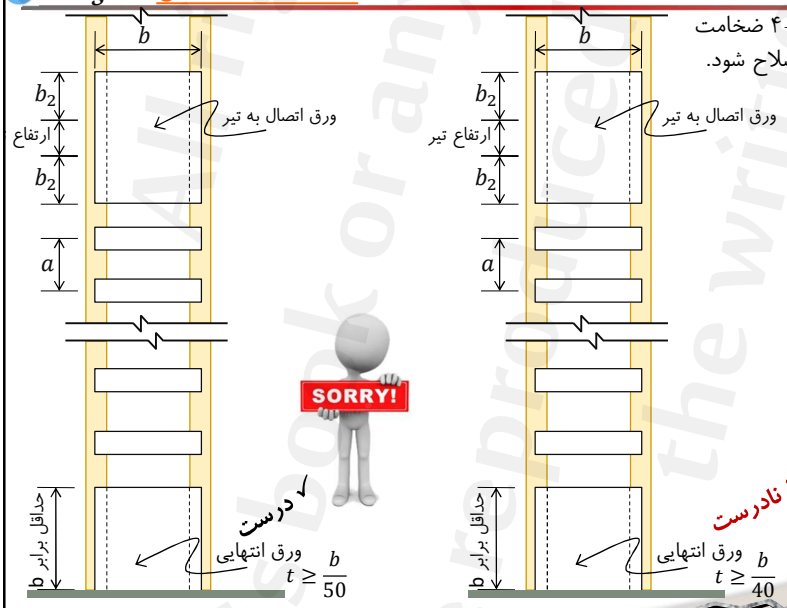
حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه ✗ نادرست
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

حالت	شرح اجزاء	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت (مرز لاغر و غیرلاغر) λ_r	مثال نمونه ✓ درست
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۸۰ شکل ۱۰-۲-۴-۴ ضخامت ورق انتهایی و میانی باید اصلاح شود.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. The book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

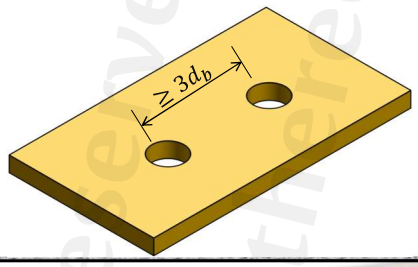
WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۲۱۰، بخش (ت) از بند ۱۰-۲-۹-۳-۲ جا افتاده و باید بعد از بند (پ) اضافه شود.

ت) حداقل فواصل سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ‌های لوبیایی نباید از $2\frac{2}{3}$ برابر (2.67 برابر) قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر باشد. به هر حال فاصله خالص بین سوراخ پیچ‌ها نباید از قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر باشد.

توصیه: بهتر است فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ شده و سوراخ‌های لوبیایی از ۳ برابر قطر وسیلهٔ اتصال (d_b) کمتر نباشد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۹۹، رابطه ۱۰-۲-۵-۳۵ باید به صورت زیر اصلاح شود:

R_{pg}: ضریب تقلیل مقاومت خمشی برای جان لاغر مطابق رابطهٔ زیر:

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)$$ نادرست ×

R_{pg}: ضریب تقلیل مقاومت خمشی برای جان لاغر مطابق رابطهٔ زیر:

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w}\left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right) \le 1.0$$ درست ✓

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۰۵، در بند ۱۰-۲-۵-۷-ت، زیرمجموعه ب-۲ و ب-۳ باید به ت-۲ و ت-۳ تبدیل شوند.

ب-۲) در صورتی که $L_p<L_b\leq L_r$ باشد:

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0.7SF_y\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

ب-۳) در صورتی که $L_b>L_r$ باشد:

$$M_n = 2EC_b\frac{\sum JA_g}{L_b/r_y} \leq M_p$$

ت-۲) در صورتی که $L_p<L_b\leq L_r$ باشد:

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0.7SF_y\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

ت-۳) در صورتی که $L_b>L_r$ باشد:

$$M_n = 2EC_b\frac{\sum JA_g}{L_b/r_y} \leq M_p$$

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۰۵، رابطه ۱۰-۲-۵-۵۲ باید به صورت زیر اصلاح شود:

پ-۲) برای مقاطع با جان‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - \left(M_p - F_yS\right)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)$$ ✗ نادرست

پ-۲) برای مقاطع با جان‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - \left(M_p - F_yS\right)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right) \leq M_p$$ ✓ درست

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در طبق بند ۱۰-۲-۵-۱۱ رابطه تعیین ظرفیت خمشی مقطع براساس معیار تسلیم، باید به صورت زیر اصلاح شود.
(روابط ۱۰-۲-۵-۸۷ و ۱۰-۲-۵-۸۸)

برای مقاطع چهارگوش:

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

✗ نادرست

برای مقاطع دایره‌ای:

$$M_n = 1.6 F_y S_x$$

برای مقاطع چهارگوش:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \le 1.5 F_y S_x$$

برای مقاطع دایره‌ای:

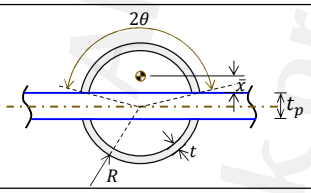
$$M_n = M_p = F_y Z_x \le 1.6 F_y S_x$$

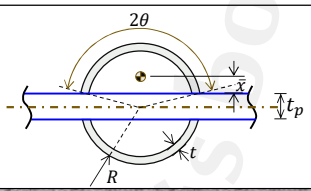
✓ درست

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

در حالت ۵ جدول ۱۰-۲-۳-۱ و در ستون ضریب تاخیر برش، عبارت « θبر حسب رادیان» جا افتاده است.

حالت	شرح اجزاء	ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	✗ نادرست $U = \left(1 + (\frac{\bar{x}}{l})^{3.2}\right)^{-10}$ $\bar{x} = \frac{R.\sin\theta}{\theta} - \frac{1}{2}t_p$	

حالت	شرح اجزاء	ضریب تاخیر برشی U	مثال نمونه
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	✓ درست $U = \left(1 + (\frac{\bar{x}}{l})^{3.2}\right)^{-10}$ θ بر حسب رادیان $\bar{x} = \frac{R.\sin\theta}{\theta} - \frac{1}{2}t_p$	

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۲۹، رابطه ۱۰-۲-۶-۱۶ باید به صورت زیر اصلاح شود:

ρ_w نسبت نیروهای برشی در چشمهٔ مجاور براساس رابطهٔ زیر که نباید کوچکتر از صفر در نظر گرفته شود

$$\rho_w = \left(\frac{V_u - V_{c2}}{V_{c1} - V_{c2}}\right) \geq 0$$ نادرست ✗

V_u مقاومت برشی موردنیاز در چشمهٔ موردنظر

$$\rho_w = \left(\frac{V_r - V_{c2}}{V_{c1} - V_{c2}}\right) \geq 0$$ درست ✓

V_r مقاومت برشی موردنیاز در چشمهٔ موردنظر

پایین صفحه ۱۵۰، پارامتر $KL=L_c$ زیادی است و باید حذف شود. در روابط پارامتر L_c کاربرد ندارد و عملا همان KL جایگزین شده است.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۳۷، رابطه ۱۰-۲-۷-۶ باید به صورت زیر اصلاح شود:

ب) برای حالت‌های حدی کمانش در خارج صفحهٔ خمش:

$$\frac{P_r}{P_{cy}}\left[1.5 - 0.5\frac{P_r}{P_{cy}}\right] + \left(\frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}}\right)^2 = 1.0$$ نادرست ✗

ب) برای حالت‌های حدی کمانش در خارج صفحهٔ خمش:

$$\frac{P_r}{P_{cy}}\left[1.5 - 0.5\frac{P_r}{P_{cy}}\right] + \left(\frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}}\right)^2 \leq 1.0$$ درست ✓

صفحه ۱۳۶، خط ۹ از بالا، تعریف پارامتر M_{ry} باید به صورت زیر اصلاح شود:

M_{ry} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور ضعیف y ($\phi_b M_{ny}$ در LRFD و M_{ny}/Ω_b در ASD) نادرست ✗

M_{ry} مقاومت خمشی موردنیاز نسبت به محور ضعیف y (M_{uy} در LRFD و M_{ay} در ASD) درست ✓

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۳۸ خط ۹، در تعریف F_{cbz}، به جای z باید از S_z استفاده شود.

F_{cbz} تنش‌های خمشی موجود حول محور اصلی ضعیف (محور z) که براساس تحلیل کمانشی یا تسلیم، هرکدام بحرانی‌تر باشد، به دست می‌آید (برابر $\phi_b M_{nz}/z$ در LRFD و $M_{nz}/\Omega_b S_z$ در ASD)

نادرست ✗

F_{cbz} تنش‌های خمشی موجود حول محور اصلی ضعیف (محور z) که براساس تحلیل کمانشی یا تسلیم، هرکدام بحرانی‌تر باشد، به دست می‌آید (برابر $\phi_b M_{nz}/S_z$ در LRFD و $M_{nz}/\Omega_b S_z$ در ASD)

درست ✓

صفحه ۴۴۸ خط ۸، مقدار $\Delta_b=1.5\Delta_{by}$ باید به $\Delta_b=1.5\Delta_{bm}$ تبدیل شود.

صفحه ۱۳۰، پایین رابطه ۱۰-۲-۶-۱۷، مقدار ϕ_v تعریف شده ولی Ω_v تعریف نشده و باید برابر 1.67 داده شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۱۶، پاراگراف ابتدا، باید به صورت زیر اصلاح شود:

نادرست ✗

ب-۲-۲) اگر نبشی فقط در محل لنگر خمشی حداکثر دارای مهار جانبی در مقابل کمانش جانبی-پیچشی باشد، در این حالت M_{cr} باید 1.25 برابر مقدار به دست آمده از روابط ۱۰-۲-۵-۸۱ یا ۸۲ و M_y باید برابر با مقدار لنگر تسلیم مقطع منظور شود.

درست ✓

ب-۲-۲) اگر نبشی فقط در محل لنگر خمشی حداکثر دارای مهار جانبی در مقابل کمانش جانبی-پیچشی باشد، در این حالت M_{cr} باید 1.25 برابر مقدار به دست آمده از روابط ۱۰-۲-۵-۸۳ یا ۸۴ و M_y باید برابر با مقدار لنگر تسلیم مقطع منظور شود.

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission.

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۵۶، خط چهارم از بالا، پارامتر a باید به a_1 تبدیل شود:

در این حالت برای محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی موجود، ابتدا باید یک بلوک فشاری فرضی به ارتفاع a از بالاترین تار مقطع جایگزین بخش بتن شود، سپس مقدار a از رابطهٔ $\sum Q_n / 0.85 f'_c b_{eff}$ محاسبه شده و پس از آن از طریق تعادل استاتیکی، مقدار لنگر خمشی اسمی تیر تعیین شود (شکل ۱۰-۲-۸-۳)

نادرست ✗

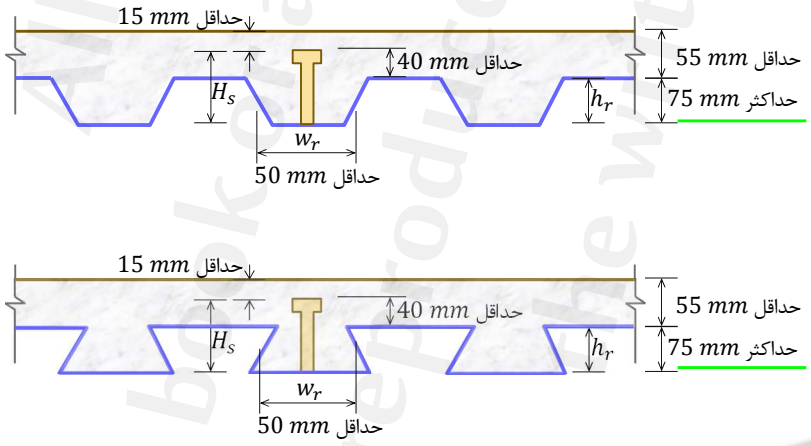
در این حالت برای محاسبهٔ مقاومت خمشی اسمی موجود، ابتدا باید یک بلوک فشاری فرضی به ارتفاع a_1 از بالاترین تار مقطع جایگزین بخش بتن شود، سپس مقدار a_1 از رابطهٔ $\sum Q_n / 0.85 f'_c b_{eff}$ محاسبه شده و پس از آن از طریق تعادل استاتیکی، مقدار لنگر خمشی اسمی تیر تعیین شود (شکل ۱۰-۲-۸-۳)

درست ✓

 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۶۰، شکل ۱۰-۲-۸-۷ باید به صورت زیر اصلاح شود و مقدار h_r در شکل به جای حداقل به حداکثر تبدیل گردد.



 This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

صفحه ۱۶۹، پایین صفحه و در پاراگراف آخر، در تعریف K_c علامت ≤ باید به ≥ تبدیل شود.

K_c برای کلیهٔ مقاطع چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.7$ باشد باید برابر یک، برای مقاطع مختلط قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای ساخته شده از ورق یا مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۱۰ برای مقاطع مختلط دایره‌ای شکل با مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۹ و برای مقاطع غیرفشرده و لاغر باید برابر یک در نظر گرفته شود. برای مقاطع فشرده با شرایط $0.7 \leq M_r/V_rd \leq 0.5$ می‌توان از درونیابی خطی استفاده نمود

نادرست ✗

K_c برای کلیهٔ مقاطع چنانچه $M_r/V_rd \geq 0.7$ باشد باید برابر یک، برای مقاطع مختلط قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای ساخته شده از ورق یا مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۱۰ برای مقاطع مختلط دایره‌ای شکل با مقطع فشرده چنانچه $M_r/V_rd \leq 0.5$ باشد باید برابر ۹ و برای مقاطع غیرفشرده و لاغر باید برابر یک در نظر گرفته شود. برای مقاطع فشرده با شرایط $0.7 \leq M_r/V_rd \leq 0.5$ می‌توان از درونیابی خطی استفاده نمود

درست ✓

صفحه ۱۰۵۵ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

WebSite: www.M-Alirezaei.com
Telegram: @AlirezaeiChannel

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u < M_y$ در روش LRFD و $1.5M_a < M_u$ در روش ASD باشد:

نادرست ✗

$C_r = 3.3 \times 10^6$ MPa

M_a مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش Al_bSD

- اگر در محل اعمال بار متمرکز $M_u \geq M_y$ در روش LRFD و $1.5M_a \geq M_u$ در روش ASD باشد:

درست ✓

$C_r = 3.3 \times 10^6$ MPa

M_a مقاومت خمشی موردنیاز تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری در روش ASD

صفحه ۱۰۵۶ This publication or any part thereof must not be reproduced in any form without the written permission

All rights reserved. This book or any part thereof may not be reproduced in any form without the written permission