به نام یکتا مهندس هستی

سری عمران

سخن مدیر تألیف

سپاس خداوند متعال را که در این سال‌ها لطف خود را از مؤسسه سری عمران دریغ نکرده و به ما انگیزه‌ای دو چندان داده است تا با **تولید کتاب‌ها و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی** و کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز بردارد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در آیین‌نامه‌های رسمی کشور (مقررات ملی ساختمان)، تصمیم گرفتیم که با تلاش شبانه‌روزی، فعالیت‌های مؤسسه سری عمران را در زمینه تولید کتاب و برگزاری کلاس‌های آزمون نظام مهندسی ارتقاء دهیم که خلاصه این فعالیت‌ها به شرح زیر است:

کتاب‌های ویژه آزمون نظام مهندسی

با تألیف **نسل جدید** کتاب‌های نظام مهندسی توسط اساتید برجسته و ممتاز، تلاش کرده‌ایم که مجموعه‌ای کم نقص در اختیار شما قرار گیرد. در این کتاب‌ها، ما به‌دنبال ویژگی‌های زیر بوده‌ایم:

۱- با بیانی ساده و روان، کلیه مفاهیم مورد نیاز را آموزش داده و در کنار آن درک و قضاوت مهندسی شما را افزایش دهیم.

۲- با توجه به ابهامات نسبتاً زیاد در آیین‌نامه‌های جدید، با حساسیت خاصی بندهای آیین‌نامه‌ها را شرح داده و سعی کرده‌ایم که کاربرد این بندها، با ارائه مثال‌های متنوع، کاملاً شفاف و واضح شوند.

۳- در یک فرایند سخت و دشوار، تست‌های آزمون سال‌های گذشته (از سال ۸۰ به بعد) را که بر مبنای آیین‌نامه‌های قدیم بوده است، با کمترین تغییر ممکن بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه‌ها حل کرده و پاسخ تشریحی آنها را نیز با توضیحات کامل آورده‌ایم.

۴- با ارائه فهرست مطالب همراه با جزئیات کامل آن در ابتدای کتاب، عملاً به داوطلبان کمک کرده‌ایم تا در جلسه آزمون، سریعتر مطالب مورد نیاز خود را برای حل سؤالات پیدا کنند. همانطور که می‌دانید این آزمون به‌صورت کتاب باز (open book) برگزار می‌شود و با استفاده از این فهرست، می‌توانید در کوتاهترین زمان ممکن، مطلب مورد نیاز خود در کتاب را پیدا کنید.

کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی

استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی و کارشناسی ارشد مؤسسه سری عمران در سال گذشته و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها، باعث شد تا مؤسسه با بازنگری کلی، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت برگزاری هر چه بهتر کلاس‌های آمادگی آزمون محاسبات و نظارت انجام دهد. شاخص‌ترین ویژگی این کلاس‌ها به شرح زیر است:

۱- تمامی مطالب مورد نیاز جهت آزمون نظام مهندسی، توسط اساتید برجسته کشور، به‌طور کامل تدریس می‌شوند و شیوه تدریس اساتید به‌گونه‌ای است که شما می‌توانید در کمترین زمان ممکن، به مطالب احاطه پیدا کنید.

۲- با آموزش نکات و مفاهیم تستی برای پاسخ‌دهی سریع به سؤالات، عملاً یک گام جلوتر از سایر داوطلبین هستید.

۳- با حل کلیه تست‌های آزمون‌های نظام‌مهندسی سالیان گذشته و همچنین حل تست‌های تألیفی مکمل، دید بسیار خوبی از نحوه طرح سؤال در آزمون پیدا می‌کنید.

قابل ذکر است که جهت کسب اطلاعات بیشتر از کلاس‌ها و کتاب‌های مؤسسه سری عمران می‌توانید به سایت **www.serieomran.com** مراجعه نمایید.

امید است که تلاش مؤسسه سری عمران مورد قبول مهندسان گرامی قرار گیرد. ارائه پیشنهادهای سازنده شما دوستان و همراهان گرامی، مجموعه را بهتر و پربارتر کرده و ما را که به دنبال کیفیت برتر هستیم یاری می‌کند.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید

محمد آهنگر

فهرست مطالب

فصل اول: مبانی طراحی سازه‌های فولادی

قسمت اول: مروری بر مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ۸
A-۱- معرفی مبحث دهم ۸
A-۲- نگاهی سریع به مبحث دهم ۹
A-۳- دسته‌بندی مطالب این کتاب براساس مبحث دهم ۱۰
قسمت دوم: آشنایی با روش‌های طراحی در آیین‌نامه‌ها ۱۲
B-۱- مقدمه ۱۲
B-۲- روش طراحی حالت‌های حدی ۱۳
B-۳-اساس طراحی در حالت‌های حدی مقاومت ۱۴
B-۴- روش طراحی تنش مجاز ۱۴
B-۵-روش طراحی مقاومت مجاز ۱۵
B-۶-روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD) ۱۵
B-۷-مقایسه‌ای بین روش تنش مجاز و LRFD ۱۶
B-۸-ترکیب بارهای طراحی به روش LRFD ۱۸
قسمت سوم: مشخصات مصالح و مقاطع فولادی ۲۰
C-۱-مصالح فولادی ۲۰
C-۲-آشنایی با پروفیل‌های فولادی ۲۱
C-۳- پارامترهای هندسی مقاطع در طراحی ۲۳
C-۴- جداول کاربردی مقاطع ۳۱
C-۵-اصول تبدیل واحدها ۳۶
قسمت چهارم: طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی ۳۸
D-۱-مفهوم کنترل کمانش موضعی ۳۸
D-۲-تعاریف مرتبط با پهنای آزاد اجزای مقطع ۳۹
D-۳-کنترل کمانش موضعی در اعضای تحت نیروی فشاری ۴۱
D-۴-کنترل کمانش موضعی در اعضای تحت لنگر خمشی ۴۳
قسمت پنجم: الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری ۴۸
قسمت ششم: الزامات حالت حدی بهره‌برداری ۵۶
تست‌های فصل اول ۶۲

فصل دوم: طراحی اعضای کششی

قسمت اول: پارامترهای مورد نیاز برای طراحی اعضای کششی ۶۸
A-۱-مفاهیم اولیه طراحی اعضای کششی ۶۸
A-۲- مفهوم سطح مقطع کل و خالص عضو کششی ۶۹
A-۳- اثر سوراخ‌های زیگزاگ در سطح مقطع خالص ۷۰
A-۴-سطح مقطع خالص مؤثر عضو کششی ۷۲
قسمت دوم: محاسبه مقاومت اعضای کششی ۷۵
B-۱- کنترل معیار مقاومت کششی ۷۵
B-۲-کنترل معیار برش قالبی ۷۸
B-۳-کنترل معیار مقاومت اتکایی ۸۰
قسمت سوم: کنترل‌های اعضای کششی خاص ۸۳
C-۱-اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ ۸۳
C-۲- اعضای کششی با تسمه لولا شده (با خار مغزی) ۸۵
C-۳- اعضای کششی با تسمه سر پهن (با خار مغزی) ۸۷
تست‌های فصل دوم ۹۰

فصل سوم: طراحی اعضای فشاری

قسمت اول: مفاهیم اولیه در رابطه با اعضای فشاری ۹۶
A-۱- بار کمانشی ستون‌ها ۹۶
A-۲- ضریب طول مؤثر ستون‌های با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل ۹۷
A-۳- ضریب طول مؤثر ستون‌های داخل قاب ۹۹
A-۴-نسبت لاغری در ستون‌ها ۱۰۴
قسمت دوم: محاسبه مقاومت فشاری اعضای محوری ۱۰۷
B-۱-اصول طراحی ستون‌ها ۱۰۷
B-۲- محاسبه مقاومت فشاری، تنها با معیار کمانش خمشی ۱۰۹
B-۳-محاسبه مقاومت خمشی، با همه معیارهای کمانش ۱۱۶
قسمت سوم: ضوابط اعضای فشاری مرکب از چند نیمرخ ۱۲۱
C-۱-اعضای فشاری مرکب با اتصال سراسری ۱۲۱
C-۲-اعضای فشاری مرکب با بست‌های موازی (افقی) ۱۲۲
C-۳-اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب ۱۲۶
تست‌های فصل سوم ۱۲۹

فصل چهارم: طراحی اعضای خمشی

قسمت اول: پارامترهای اساسی در محاسبات اعضای خمشی ۱۳۶
A-۱-مروری بر مفاهیم اولیه خمش ۱۳۶
A-۲-لنگر تسلیم (M_y) و لنگر پلاستیک (M_p) ۱۳۸
A-۳- ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) ۱۴۲
A-۴- شعاع ژیراسیون مؤثر در کمانش پیچشی - جانبی (r_{ts}) ۱۴۸
قسمت دوم: محاسبه مقاومت خمشی مقاطع I شکل فشرده با دو محور تقارن ۱۵۲
B-۱- موارد تأثیرگذار در طراحی تیرها ۱۵۲
B-۲-اصول طراحی تیرها به روش LRFD ۱۵۳
B-۳- طراحی تیرهای I شکل فشرده با دو محور تقارن بدون اثر کمانش پیچشی - جانبی ۱۵۴
B-۴- طراحی تیرهای I شکل فشرده با دو محور تقارن با اثر کمانش پیچشی - جانبی ۱۵۸
قسمت سوم: محاسبه مقاومت خمشی در انواع مقاطع ۱۶۵
C-۱- تشخیص نوع حالت‌های حدی حاکم بر طراحی عضو خمشی ۱۶۵
C-۲- مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور قوی ۱۶۷
C-۳- مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف ۱۷۳
C-۴- مقاومت خمشی مقاطع قوطی شکل ۱۷۵
C-۵- مقاومت خمشی مقاطع لوله‌ای شکل ۱۷۷
C-۶- مقاومت خمشی مقاطع نبشی جفت و سپری ۱۷۸
C-۷- مقاومت خمشی مقاطع نبشی تک، مقاطع توپر و مقاطع نامتقارن ۱۸۰
قسمت چهارم: تناسبات ابعادی مقاطع اعضای خمشی ۱۸۲
D-۱- اعضای با مقاطع دارای بال کششی سوراخ‌دار ۱۸۲
D-۲- محدودیت ابعادی مقاطع I شکل تحت خمش ۱۸۳
D-۳- ورق‌های تقویتی بال تیرها ۱۸۴
تست‌های فصل چهارم ۱۸۸

فصل پنجم: طراحی اعضاء برای برش، پیچش و اثر همزمان نیروها

قسمت اول: کنترل تیرها برای نیروی برشی - بخش ۱ ۱۹۴
A-۱- معیار کنترل برش در تیرها ۱۹۴
A-۲- مقاومت برشی تیرها بدون عمل میدان کششی ۱۹۵
A-۳- مقاومت برشی تیرها با عمل میدان کششی ۲۰۰
قسمت دوم: کنترل تیرها برای نیروی برشی - بخش ۲ ۲۰۴
B-۱- طراحی ورق‌های سخت‌کننده عرضی جان ۲۰۴
B-۲- مقاومت برشی در امتداد عمود بر محور ضعیف ۲۰۶
B-۳- محاسبه مقاومت برشی مقاطع غیر I شکل ۲۰۷
B-۴- مقاومت برشی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال ۲۱۱
قسمت سوم: طراحی تیرهای تحت اثر لنگر پیچشی ۲۱۲
C-۱- مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای ۲۱۲
C-۲- مقاومت پیچشی مقاطع قوطی شکل ۲۱۳

C-۳- مقاومت پیچشی سایر مقاطع ۲۱۴
قسمت چهارم: طراحی اعضای تحت اثر ترکیب نیروها ۲۱۵
قسمت پنجم: بررسی همزمان معیارهای مختلف طراحی ۲۲۰
تست‌های فصل پنجم ۲۲۳

فصل ششم: طراحی مقاطع مختلط

قسمت اول: مفاهیم اولیه در مورد مقاطع مختلط ۲۲۸
A-۱- مزایای استفاده از مقاطع مختلط ۲۲۸
A-۲- کنترل فشردگی در مقاطع مختلط ۲۳۰
A-۳- عرض مؤثر دال بتنی در تیرهای مختلط ۲۳۲
A-۴- محاسبه خصوصیات تیرهای مختلط در حالت الاستیک ۲۳۳
A-۵- محدودیت‌ها و جزئیات‌بندی مقاطع مختلط ۲۳۴
قسمت دوم: محاسبه مقاومت خمشی تیرهای مختلط ۲۳۸
قسمت سوم: طراحی برشگیرها در تیرهای مختلط ۲۴۴
تست‌های فصل ششم ۲۴۸

فصل هفتم: ضوابط جوش و پیچ

قسمت اول: آشنایی با انواع جوش و محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای آنها ۲۵۲
A-۱- آشنایی با انواع جوش‌ها ۲۵۲
A-۲- جوش گوشه و محدودیت‌های آن ۲۵۳
A-۳- جوش شیاری و محدودیت‌های آن ۲۵۶
A-۴- جوش‌های کام و انگشتانه و محدودیت‌های آنها ۲۵۷
A-۵- مشخصات هندسی نوار جوش ۲۵۸
قسمت دوم: طراحی جوش تحت اثر نیروهای مختلف ۲۶۰
B-۱- مقاومت طراحی جوش و ارزش نهایی جوش ۲۶۰
B-۲- جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی خالص ۲۶۴
B-۳- جوش گوشه تحت اثر توأم لنگر پیچشی و نیروی برشی ۲۶۶
B-۴- جوش گوشه تحت اثر توأم لنگر خمشی و نیروی برشی ۲۶۹
قسمت سوم: آشنایی با انواع پیچ‌ها و نحوه انتقال نیرو در آنها ۲۷۲
C-۱- مشخصات انواع پیچ‌ها ۲۷۲
C-۲- نحوه انتقال نیرو در اتصالات پیچی ۲۷۴
C-۳- آشنایی با اتصالات اتکایی ۲۷۴
C-۴- آشنایی با اتصالات اصطکاکی ۲۷۵
C-۵- انواع سوراخ‌های مورد استفاده در اتصالات پیچی ۲۷۶
قسمت چهارم: طراحی پیچ‌ها تحت اثر نیروهای مختلف ۲۷۸
D-۱- کنترل مقاومت اتکایی و گسیختگی قالبی ۲۷۸
D-۲- مقاومت برشی پیچ‌ها ۲۸۰
D-۳- اتصالات پیچی تحت اثر لنگر پیچشی خالص ۲۸۱
D-۴- طراحی اتصالات پیچی تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی ۲۸۳
D-۵- طراحی اتصالات پیچی تحت اثر نیروی کششی خالص ۲۸۵
D-۶- طراحی اتصالات پیچی تحت اثر نیروی کششی و نیروی برشی ۲۸۶
D-۷- ضوابط طراحی اتصالات اصطکاکی ۲۸۸
تست‌های فصل هفتم ۲۹۱

فصل هشتم: اتصالات فولادی

قسمت اول: الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز ۲۹۸
A-۱- خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی ۲۹۸
A-۲- تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری ۲۹۹
A-۳- لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۳۰۱
A-۴- کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری ۳۰۲
A-۵- کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری ۳۰۴
A-۶- برش در چشمه اتصال ۳۰۶
قسمت دوم: ضوابط کف‌ستون‌ها و مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۳۱۰
B-۱- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری خالص ۳۱۰
B-۲- طراحی کف‌ستون تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی ۳۱۳
B-۳- موارد تکمیلی در رابطه با کف ستون‌ها ۳۱۴
B-۴- مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم ۳۱۵
تست‌های فصل هشتم ۳۱۷

فصل نهم: الزامات طراحی لرزه‌ای - بخش ۱

قسمت اول: مفاهیم مرتبط با طراحی لرزه‌ای ۳۲۴
A-۱- هدف و دامنه کاربرد ۳۲۴
A-۲- حدود شکل‌پذیری سازه‌های فولادی ۳۲۵
A-۳- ناحیه حفاظت شده اعضاء ۳۲۶
A-۴- پارامترهای مرتبط با مصالح و اتصالات (C_{pr}, R_y) ۳۲۸
A-۵- ترکیبات بار زلزله تشدید یافته ۳۲۹
A-۶- الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی ۳۳۰
قسمت دوم: الزامات لرزه‌ای ستون‌ها، وصله ستون‌ها، کف ستون‌ها و وصله تیرها ۳۳۸
B-۱- الزامات طراحی لرزه‌ای ستون‌ها ۳۳۸
B-۲- الزامات طراحی لرزه‌ای وصله ستون‌ها ۳۳۹
B-۳- الزامات طراحی لرزه‌ای کف ستون‌ها ۳۴۲
B-۴- الزامات طراحی لرزه‌ای وصله تیرها ۳۴۶
قسمت سوم: الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی ۳۴۸
C-۱- تحلیل قاب خمشی با توجه به محل مفصل پلاستیک در تیرها ۳۴۸
C-۲- محدودیت تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی ۳۵۱
C-۳- مهار جانبی تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ۳۵۲
C-۴- اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی معمولی ۳۵۴
C-۵- مقاومت مورد نیاز تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ۳۵۵
C-۶- اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ۳۵۷
C-۷- ورق تقویتی چشمه اتصال (ورق مضاعف) ۳۵۹
C-۸- ورق پیوستگی ۳۶۰
C-۹- نسبت لنگر خمشی ستون به تیر در قاب‌های خمشی ویژه ۳۶۳
تست‌های فصل نهم ۳۶۶

فصل دهم: الزامات طراحی لرزه‌ای - بخش ۲

قسمت اول: الزامات لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرا ۳۷۸
A-۱- ضوابط فشردگی اعضاء در قاب‌های مهاربندی شده همگرا ۳۷۸
A-۲- تیر دهانه V و Λ در قاب مهاربندی شده همگرای معمولی ۳۷۹
A-۳- اتصالات مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی ۳۷۹
A-۴- تیرها و ستون‌ها در قاب مهاربندی شده همگرای ویژه ۳۸۰
A-۵- اتصالات مهاربندی‌ها در قاب مهاربندی شده همگرای ویژه ۳۸۱
قسمت دوم: الزامات لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده واگرا ۳۸۳
B-۱- محدودیت‌های اعضاء در قاب‌های مهاربندی واگرا ۳۸۳
B-۲- مقاومت برشی تیر پیوند ۳۸۴
B-۳- طول تیر پیوند ۳۸۶
B-۴- دوران تیر پیوند ۳۸۸
B-۵- طراحی اعضای خارج از ناحیه پیوند ۳۹۰
B-۶- اتصالات تیرهای پیوند به ستون ۳۹۰
B-۷- سخت‌کننده‌های تیرهای پیوند ۳۹۲
قسمت سوم: اتصالات گیردار از پیش تأیید شده ۳۹۵
تست‌های فصل دهم ۴۰۲
آزمون محاسبات سال ۹۴ (بهمن) ۴۰۹

بودجه‌بندی سؤالات آزمون محاسبات

تعداد سؤالات مطرح شده

سال		فصل ۱ (مبانی)	فصل ۲ (کشش)	فصل ۳ (فشار)	فصل ۴ (خمش)	فصل ۵ (برش و پیچش)	فصل ۶ (مختلط)	فصل ۷ (جوش و پیچ)	فصل ۸ (اتصالات)	فصل ۹ (لرزه‌ای ۱)	فصل ۱۰ (لرزه‌ای ۲)	مجموع
۸۳		۱	-	۴	۱	۱	-	۳	۲	۱	۱	۱۴
۸۴		۱	۲	-	۲	۱	-	۱	۴	۱	-	۱۲
۸۶		۳	-	۲	-	-	-	۴	۱	-	-	۱۰
۸۷		-	۱	۲	-	۲	۱	۲	۴	۱	۱	۱۴
۸۹	خرداد	۱	۴	۲	۲	۱	-	۳	-	۱	-	۱۴
۸۹	اسفند	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۳	۱	۱۶
۹۰		۳	۱	۳	۱	۱	۱	۲	۲	۱	-	۱۵
۹۱	شهریور	۱	-	۱	۲	-	۲	۱	۳	۳	۲	۱۵
۹۱	اسفند	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۱۵
۹۲		-	۲	۴	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱۶
۹۳	خرداد	۱	۱	۱	۴	۲	۱	۳	-	۱	۱	۱۵
۹۳	آبان	۲	۱	-	۴	-	۱	-	۲	۲	۳	۱۵
۹۴	مرداد	-	۱	-	۳	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۱۵
۹۴	بهمن	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۱	-	۱	۱۵
مجموع		۱۷	۱۷	۲۵	۲۶	۱۷	۱۳	۳۱	۲۳	۱۸	۱۴	-
توزیع تست‌ها از سال ۹۱		۷٪	۸٪	۹٪	۱۸٪	۱۰٪	۹٪	۱۲٪	۸٪	۹٪	۱۰٪	-

کمی توجه:

همان‌طورکه از جدول فوق مشاهده می‌کنید، سؤالات آزمون نظام مهندسی از هر ۱۰ فصل این کتاب طرح شده است. با توجه به این موضوع، دو روش زیر را دربارهٔ نحوهٔ مطالعهٔ این کتاب به شما مهندسان عزیز پیشنهاد می‌کنیم:

۱ در صورتی‌که زمان کافی (حداقل سه ماه) برای مطالعهٔ آزمون محاسبات دارید، مطالب هیچ‌یک از فصل‌های کتاب را از دست ندهید. فصل اول شامل موضوعات پایه‌ای است که دید خوبی برای مطالعهٔ سایر فصل‌های کتاب در شما ایجاد می‌کند. فصل‌های ۴، ۵ و ۷ از مهمترین فصل‌های کتاب می‌باشند و همواره سؤالات زیادی از آنها طرح می‌شود. فصل‌های ۲، ۳، ۶ و ۸ نسبت به سایر فصول حجم کمتری دارند و مطالعهٔ آنها می‌تواند سریع‌تر انجام گیرد. فصل‌های ۹ و ۱۰ که ضوابط طراحی لرزه‌ای را پوشش می‌دهند، در آزمون‌های سال‌های اخیر مورد توجه بوده‌اند و سؤالات مهمی از آنها طرح شده است. توجه کنید که با مطالعهٔ همهٔ فصول کتاب، شانس خود را برای حل تست‌های بیشتر در آزمون محاسبات افزایش داده و احتمال قبولی خود را بالاتر می‌برید.

۲ در صورتی‌که زمان کمتری برای مطالعهٔ آزمون محاسبات دارید، پیشنهاد می‌کنیم ابتدا قسمت‌های دوم، سوم و چهارم فصل اول را مطالعه کنید. سپس می‌توانید تمرکز خود را بر مطالعهٔ فصول ۴، ۵، ۷، ۹ و ۱۰ بگذارید.

دربارهٔ کاربردهای دیگر این کتاب برای مهندسان و دانشجویان عزیز، به موارد زیر توجه کنید:

۱ این کتاب ویژهٔ آزمون محاسبات نظام مهندسی نگارش شده است و برای مطالعهٔ درس سازه‌های فولادی جهت آمادگی آزمون نظارت به کتاب طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی ویژهٔ نظارت که به تازگی توسط این مؤسسه تألیف و به چاپ رسیده است مراجعه کنید.

۲ تمامی بندهای مطرح شده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان که جنبهٔ محاسباتی دارند، در این کتاب پوشش داده شده و برای اغلب بندهای آیین‌نامه نیز سؤالات مفهومی و محاسباتی طرح شده است.

موفق باشید

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

مقررات ملی ساختمان، مجموعه‌ای از حداقل‌های مورد نیاز و بایدها و نبایدهای ساخت و ساز است که با توجه به شرایط فنی و اجرایی و توان مهندسی کشور و با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای روز ملی و بین‌المللی تهیه و تدوین شده است. در این قسمت از فصل قصد داریم مروری سریع بر مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) داشته باشیم و همچنین دسته‌بندی مطالب کتاب در دست شما را براساس مبحث دهم بیان کنیم.

قسمت اول
- A-۱- معرفی مبحث دهم
- A-۲- نگاهی سریع به مبحث دهم
- A-۳- دسته‌بندی مطالب این کتاب براساس مبحث دهم

A-۱- معرفی مبحث دهم

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، آیین‌نامهٔ رسمی کشور عزیزمان با عنوان «**طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی**» می‌باشد که هدف آن ارائه حداقل ضوابط و مقرراتی است که با رعایت آنها شرایط ایمنی، قابلیت بهره‌برداری و پایداری سازهٔ ساختمان‌های فولادی فراهم شود.

مطابق ضوابط این مبحث تعیین پیکربندی، ابعاد و مشخصات اجزای سازه باید به نحوی باشد که مجموعهٔ سازه، شامل اعضاء و اتصالات آن، تحت شرایط بارگذاری به هیچ‌یک از حالت‌های حدی مقاومت (ایمنی) و بهره‌برداری نرسد. **حالت‌های حدی مقاومت و بهره‌برداری** به شرایطی اطلاق می‌شوند که اگر تمام یا بخشی از سازهٔ ساختمان و نیز قطعات الحاقی آن به هر یک از آن حالت‌ها برسند، ساختمان قادر به انجام وظایف خود نبوده و از حیز انتفاع خارج می‌شود.

تا چند سال پیش، روش تنش مجاز سنتی‌ترین روش طراحی سازه‌های فولادی برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت به شمار می‌رفت و ارائه آن به‌عنوان دستورالعمل در آیین‌نامهٔ فولاد آمریکا (*AISC*) سابقهٔ حدوداً ۱۰۰ ساله دارد. در این روش طراحی، اولاً ضوابط طراحی به‌گونه‌ای تدوین شده بود که بتوان از روش تحلیل الاستیک بهره برد، ثانیاً در این روش آثار کلیهٔ عوامل مؤثر برای تأمین یک حاشیهٔ ایمنی معقول و منطقی، تنها به کمک یک ضریب (به‌نام ضریب اطمینان) و فقط در یک مرحله منظور می‌شد. در سه دههٔ اخیر آئین‌نامه نویسان کشورهای پیشرفته تلاش نموده‌اند آیین‌نامه‌ای تدوین نمایند که در آن از یک طرف برای تحلیل سازه بتوان از روش تحلیل الاستیک استفاده نموده و از طرف دیگر مقاومت اجزای سازه در حالت‌های حدی (نهایی) محاسبه شود. در حال حاضر این شیوه که در طراحی سازه‌های فولادی به روش «**ضرایب بار و مقاومت**»

موسوم است، در اکثر کشورهای پیشرفته رواج پیدا نموده و ویرایش چهارم (ویرایش ۱۳۹۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نیز براساس همین شیوه تهیه و تدوین گردیده است. با توجه به اینکه در این روش طراحی، حاشیهٔ ایمنی لحاظ شده در دو مرحله (اولی افزایش بار به کمک ضرایب بار و دومی تقلیل مقاومت به کمک ضرایب کاهش مقاومت) صورت می‌گیرد، لذا می‌توان گفت که طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت منطقی‌تر و ملموس‌تر از طراحی به روش تنش مجاز بوده و به همین جهت در اکثر کشورهای پیشرفته و به ویژه زلزله خیز، طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت از اقبال عمومی بیشتری برخوردار بوده است.

A-۲- نگاهی سریع به مبحث دهم

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) دارای چهار فصل اصلی می‌باشد که شامل الزامات عمومی (فصل ۱۰-۱)، الزامات طراحی (فصل ۱۰-۲)، الزامات طراحی لرزه‌ای (فصل ۱۰-۳) و همچنین الزامات ساخت، نصب و کنترل (فصل ۱۰-۴) هستند. در ادامه، موضوعات مطرح شده در هر فصل را بررسی می‌کنیم.

۱) **الزامات عمومی:** در این فصل ابتدا مبانی طراحی سازه‌ها توضیح داده شده که براساس روش حالت‌های حدی می‌باشد و خود به دو دستهٔ حالت‌های حدی مقاومت و حالت‌های حدی بهره‌برداری تقسیم می‌شود. در ادامه نیز کلیاتی دربارهٔ اصول تحلیل سازه‌ها، مشخصات مصالح فولادی و ... ذکر شده است.

۲) **الزامات طراحی:** این فصل را می‌توان بدنهٔ اصلی آیین‌نامه دانست، به‌طوری‌که ضوابط آن باید دربارهٔ همهٔ اعضای ساختمان‌های فولادی لحاظ گردد. فصل الزامات طراحی مشتمل بر ۱۰ قسمت می‌باشد که دربارهٔ آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- در قسمت (۱۰-۲-۱) الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری سازه‌های فولادی مطرح شده است که پیوست‌های (۱) و (۲) آیین‌نامه نیز در تکمیل آن می‌باشند.
- در قسمت (۱۰-۲-۲) الزامات مقاطع اعضای فولادی مطرح شده که به بررسی و طبقه‌بندی این مقاطع از منظر کمانش موضعی می‌پردازد. جداول ارائه شده در این فصل، به کنترل نسبت پهنا به ضخامت اجزای یک مقطع فولادی می‌پردازد که براساس آن، اعضای فولادی تحت فشار محوری (عمدتاً ستون‌ها و مهاربندها) به دو دستهٔ مقاطع با اجزای غیرلاغر و مقاطع با اجزای لاغر دسته‌بندی می‌شوند و اعضای فولادی تحت لنگر خمشی (عمدتاً تیرها) به سه دستهٔ مقاطع فشرده، مقاطع غیرفشرده و مقاطع با اجزای لاغر تقسیم می‌شوند.
- در قسمت‌های (۱۰-۲-۳) تا (۱۰-۲-۷) ضوابط طراحی اعضای فولادی برای تلاش‌های ایجاد شده در آنها اعم از نیروی محوری کششی، نیروی محوری فشاری، لنگر خمشی، نیروی برشی و همچنین ترکیب این تلاش‌ها با یکدیگر ارائه شده است.
- در قسمت (۱۰-۲-۸) الزامات طراحی اعضای با مقطع مختلط (نظیر تیرهای سقف کامپوزیت) و در قسمت (۱۰-۲-۹) نیز الزامات طراحی اتصالات مقاطع فولادی به یکدیگر گفته شده است.
- در قسمت (۱۰-۲-۱۰) الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در تحلیل و طراحی سازه‌های فولادی بیان می‌شود که شامل مواردی نظیر کنترل تغییرشکل و ارتعاش تیرها می‌باشد.

۳ **الزامات طراحی لرزه‌ای:** در تکمیل الزامات طراحی فصل دوم آیین‌نامه، لازم است تا اعضای یک ساختمان فولادی در مناطق لرزه‌خیز براساس ضوابط طراحی لرزه‌ای فصل سوم نیز بررسی شوند. ضوابط فصل الزامات طراحی لرزه‌ای در چند بخش اصلی به شرح زیر بیان شده‌اند:

- تعاریف و مفاهیم اولیه که مواردی نظیر حدود شکل‌پذیری سازه‌های فولادی، الزامات لرزه‌ای مشخصات مصالح فولادی و الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی را بیان می‌کند.
- الزامات لرزه‌ای عمومی که به بررسی آن دسته از ضوابط طراحی لرزه‌ای اعضای فولادی می‌پردازد که در هر نوع از سیستم‌های سازه‌ای ممکن است وجود داشته باشند. این ضوابط شامل مواردی نظیر الزامات طراحی لرزه‌ای ستون‌ها، وصله‌ها و مهار جانبی تیرها می‌باشد.
- الزامات لرزه‌ای تکمیلی که به‌طور اختصاصی ضوابط اعضای فولادی در هر یک از سیستم‌های باربر جانبی متداول را عنوان می‌کند. این ضوابط شامل الزامات قاب‌های خمشی (با شکل‌پذیری معمولی، متوسط و ویژه) و قاب‌های مهاربندی شده (همگرای معمولی، همگرای ویژه و واگرا) می‌باشد.
- الزامات اتصالات گیردار از پیش تأیید شده، انواع اتصالات گیردار مورد تأیید برای استفاده در قاب‌های خمشی فولادی را بیان می‌کند.

۴ **الزامات ساخت، نصب و کنترل:** این فصل به روش‌های تهیهٔ مصالح، برشکاری، مونتاژ، جوشکاری، حمل، پیش‌نصب، برپاداشتن، نصب، کارهای تکمیلی جوشکاری و محکم کردن پیچ‌ها اختصاص دارد. ضوابط این فصل اغلب جنبهٔ اجرایی دارند و با منظور کردن آنها عملاً برخی از الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در ساختمان‌های فولادی نیز در نظر گرفته می‌شوند.

A-۳- دسته‌بندی مطالب این کتاب براساس مبحث دهم

در این کتاب برای آموزش مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) از ۱۰ فصل جهت ارائه بهتر مطالب استفاده شده است. در هر یک از فصل‌ها و در جریان درسنامه‌ها، آدرس بندهای آیین‌نامه در حاشیهٔ مطالب کتاب آورده شده است که می‌تواند مورد استفادهٔ دانشجویان و مهندسان عزیز قرار گیرد. در اینجا مطالب مرتبط با هر یک از فصل‌های کتاب را براساس بندهای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) ذکر کرده‌ایم.

فصل اول: مبانی طراحی سازه‌های فولادی

- مشخصات مصالح فولادی: براساس بند (۱۰-۱-۴) صفحات ۶ تا ۸
- طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی: براساس بند (۱۰-۲-۲) صفحات ۲۴ تا ۳۲
- الزامات تحلیل و طراحی برای تأمین پایداری: براساس بند (۱۰-۲-۱) صفحات ۱۳ تا ۲۳
- الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری: براساس بند (۱۰-۲-۱۰) صفحات ۱۹۰ تا ۱۹۳

فصل دوم: طراحی اعضای کششی

- محاسبهٔ مقاومت اعضای کششی: براساس بند (۱۰-۲-۳) صفحات ۳۴ تا ۴۵
- کنترل مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ‌ها: براساس بند (۱۰-۲-۹-۳-۷) صفحهٔ ۱۶۶
- کنترل مقاومت برش قالبی: براساس بند (۱۰-۲-۹-۴-۳) صفحات ۱۶۸ و ۱۶۹

فصل سوم: طراحی اعضای فشاری

- الزامات طراحی اعضاء برای نیروی فشاری: براساس بند (۱۰-۲-۴) صفحات ۴۶ تا ۵۹

فصل چهارم: طراحی اعضای خمشی

- الزامات طراحی اعضاء برای خمش: براساس بند (۱۰-۲-۵) صفحات ۶۰ تا ۹۳

فصل پنجم: طراحی اعضا، برای برش، پیچش و اثر همزمان نیروها

- الزامات طراحی اعضاء برای برش: براساس بند (۱۰-۲-۶) صفحات ۹۴ تا ۱۰۲
- الزامات طراحی اعضاء برای پیچش: براساس بند (۱۰-۲-۷-۴) صفحات ۱۰۷ تا ۱۱۱
- الزامات طراحی اعضاء برای ترکیب نیروها: براساس بند (۱۰-۲-۷) صفحات ۱۰۳ تا ۱۰۷

فصل ششم: طراحی مقاطع مختلط

- الزامات طراحی اعضای با مقطع مختلط: براساس بند (۱۰-۲-۸) صفحات ۱۱۲ تا ۱۳۹

فصل هفتم: ضوابط جوش و پیچ

- الزامات طراحی جوش: براساس بند (۱۰-۲-۹-۲) صفحات ۱۴۵ تا ۱۵۶
- الزامات طراحی پیچ: براساس بند (۱۰-۲-۹-۳) صفحات ۱۵۷ تا ۱۶۶

فصل هشتم: اتصالات فولادی

- الزامات طراحی اتصالات: براساس بند (۱۰-۲-۹) صفحات ۱۷۰ تا ۱۸۹

فصل نهم: الزامات طراحی لرزه‌ای (بخش ۱)

- الزامات طراحی لرزه‌ای: براساس بند (۱۰-۳) صفحات ۱۹۵ تا ۲۲۳

فصل دهم: الزامات طراحی لرزه‌ای (بخش ۲)

- الزامات طراحی لرزه‌ای: براساس بند (۱۰-۳) صفحات ۲۲۴ تا ۲۵۶

ثابت پیچشی (J)

ثابت پیچشی (*Torsional Constant*) با پارامتر J نشان داده شده و دارای بعد طول به توان چهار است (مثلاً mm^4). این پارامتر در واقع بیانگر مقاومت مقطع تحت لنگر پیچشی می‌باشد. محاسبهٔ دقیق این پارامتر از طریق روابط انتگرالی صورت می‌گیرد، ولی در مقاطع متداول مانند مقاطع I شکل که دارای اجزای باریک هستند، می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده نمود:

$$J = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{3} b t^3 \qquad (1-11)$$

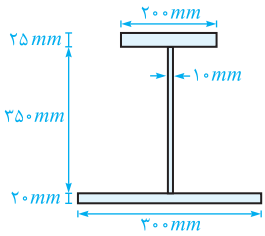
پارامترهای رابطهٔ فوق عبارتند از:

n: تعداد اجزای مستطیل شکل مقطع

b: بُعد بلند هر یک از اجزای مقطع

t: ضخامت هر یک از اجزای مقطع

به‌عنوان مثال، برای محاسبهٔ ثابت پیچشی در مقطع شکل مقابل داریم:



$$J = \sum \frac{1}{3} b t^3 = \frac{1}{3}\left[b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3\right]$$

$$= \frac{1}{3}\left[200\times25^3 + 350\times10^3 + 300\times20^3\right] \simeq 1958333\ mm^4$$

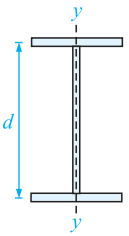
ثابت تابیدگی (C_w)

ثابت تابیدگی (*Warping Constant*) با پارامتر C_w نشان داده شده و دارای بعد طول به توان شش می‌باشد (مثلاً mm^6). این پارامتر بیان می‌کند که مقاومت مقطع در برابر پیچش تابیدگی چقدر است.

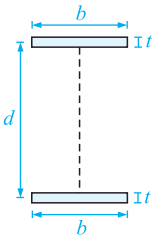
دقت

پارامتر J در مواقعی کاربرد دارد که لنگر پیچشی باعث ایجاد تنش‌های برشی در مقطع شود، اما پارامتر C_w هنگامی کاربرد دارد که لنگر پیچشی باعث ایجاد تنش‌های محوری در مقطع گردد.

محاسبهٔ مقدار C_w بسیار دشوارتر از J است. برای مقاطع با شکل‌های خاص روابطی برای محاسبهٔ C_w پیشنهاد شده است ولی در حالت کلی می‌توان گفت که برای یک مقطع I شکل و همچنین شکل زیر که از دو ورق هم‌اندازه با فاصلهٔ محور تا محور d تشکیل شده است، ثابت پیچشی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

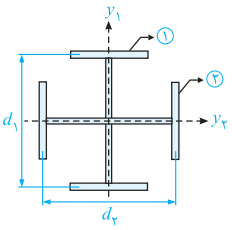


$$C_w = I_y \frac{d^2}{4}$$

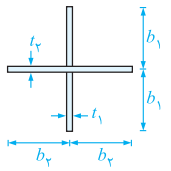


$$C_w = \left(\frac{tb^3}{12}\right) \times \left(\frac{d^2}{2}\right)$$

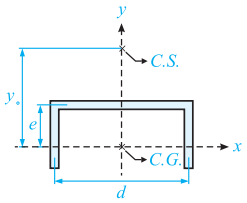
همچنین در شکل‌های زیر، مقدار ثابت تابیدگی برای چند مقطع بیان شده است.



$$C_w = I_{y_1}^{①}\frac{d_1^2}{4} + I_{y_2}^{②}\frac{d_2^2}{4}$$

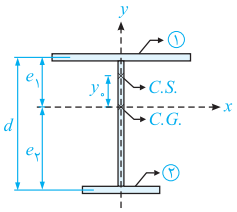


$$C_w = \frac{b_1^3 . t_1^3}{18} + \frac{b_2^3 . t_2^3}{18}$$



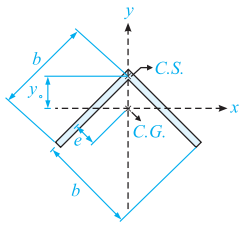
$$y_\circ = \frac{d^2}{4}\cdot\frac{e}{r_y^2} + e$$

$$C_w = \frac{d^2}{4}(I_x - y_\circ eA + 2Ae^2)$$



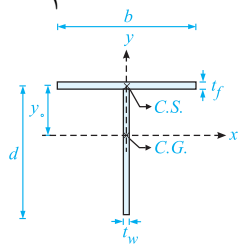
$$y_\circ = \frac{e_1 I_y^{①} - e_2 I_y^{①}}{I_y}$$

$$C_w = \frac{d^2 I_y^{①} I_y^{①}}{I_y}$$



$$y_\circ = \frac{\sqrt{2}}{4} b = \sqrt{2}\, e$$

$$C_w = \frac{A^3}{144}$$

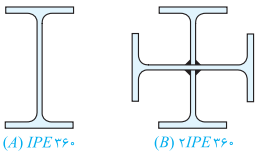


$$y_\circ = \frac{t_w . d^2}{A} \times \frac{1}{2}$$

$$C_w = \frac{(d.t_w)^3}{36} + \frac{(b.t_f)^3}{144}$$

تمرین ۶: در شکل مقابل، یک مقطع I شکل از پروفیل IPE ۳۶۰ و یک مقطع صلیبی شکل از دو پروفیل IPE ۳۶۰ نشان داده شده است. مقدار ثابت تابیدگی مقطع صلیبی شکل چند برابر مقطع I شکل است؟

۱) ۱/۰ ۲) ۱/۵ ۳) ۲/۰ ۴) ۴/۰



حل: مقدار پارامتر C_w به‌صورت مجموع C_w برای قسمت‌های مختلف مقطع می‌باشد. از آنجاکه مقطع (B) از کنار هم قرار گرفتن دو مقطع (A) ایجاد شده است، مقدار C_w آن نیز دو برابر شده است. بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

C-۴- جداول کاربردی مقاطع

در این بخش قصد داریم چند جدول کاربردی را به شما مهندسان عزیز ارائه کنیم که شامل موارد زیر می‌باشد:

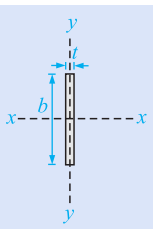
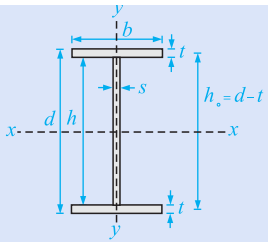
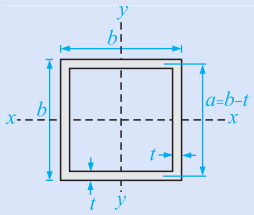
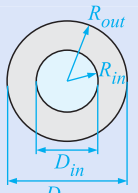
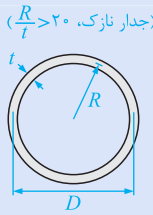
جدول (۱-۱): در این جدول، پنج مقطع پرکاربرد در تست‌ها در نظر گرفته شده و مهمترین پارامترهای هندسی آنها بیان شده است. دقت کنید که روابط ارائه شده برای هر مقطع، برحسب پارامترهای ابعادی آنها می‌باشد.

جدول (۱-۲): مشخصات مقاطع لانه زنبوری (CPE) در این جدول بیان شده است.

جدول (۱-۳): این جدول شامل مشخصات مقاطع IPE و IPB است که به وفور در تست‌ها استفاده می‌شوند. سه ستون آخر این جدول شامل پارامترهای r_{ts}، L_p و L_r هستند که با تعریف آنها و نحوهٔ کاربردشان در فصل چهارم آشنا خواهیم شد.

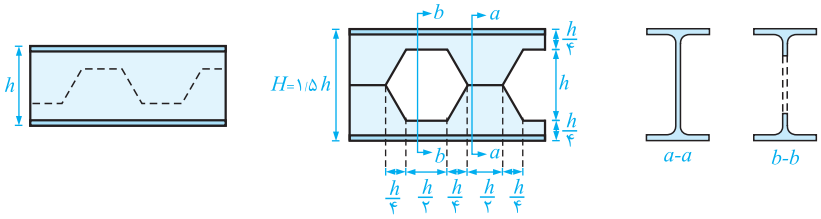
جدول (۱-۴): در این جدول مقطع ناودانی اشتال که UNP نام دارد، بررسی شده است.

جدول ۱-۱: پارامترهای هندسی چند مقطع پرکاربرد

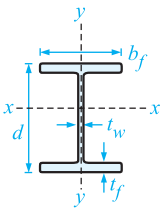
شکل مقطع و پارامترهای هندسی هر یک					 (جدار نازک، $\frac{R}{t}>۲۰$)
سطح مقطع	$A=bt$	$A=۲bt+hs$	$A=۴at$	$A=\pi(R_{out}^{۲}-R_{in}^{۲})$ $A=\frac{\pi}{۴}(D_{out}^{۲}-D_{in}^{۲})$	$A\simeq ۲\pi Rt=\pi Dt$
ممان اینرسی	$I_x=\frac{tb^{۳}}{۱۲}$ $I_y=\frac{bt^{۳}}{۱۲}$	$I_x=\frac{bt^{۳}}{۶}+\frac{bth_{۰}^{۲}}{۲}+\frac{sh^{۳}}{۱۲}$ $I_y=\frac{tb^{۳}}{۶}+\frac{hs^{۳}}{۱۲}$	$I_x=I_y=\frac{b^{۴}}{۱۲}-\frac{(b-۲t)^{۴}}{۱۲}$ $\simeq\frac{۲}{۳}a^{۳}t$	$I=\frac{\pi}{۴}(R_{out}^{۴}-R_{in}^{۴})$ $I=\frac{\pi}{۶۴}(D_{out}^{۴}-D_{in}^{۴})$	$I\simeq\pi R^{۳}t=\frac{\pi}{۸}D^{۳}t$
اساس مقطع الاستیک	$S_x=\frac{tb^{۲}}{۶}$ $S_y=\frac{bt^{۲}}{۶}$	$S_x=\frac{I_x}{(\frac{d}{۲})}$ $S_y=\frac{I_y}{(\frac{b}{۲})}$	$S_x=S_y=\frac{I}{(\frac{b}{۲})}\simeq\frac{۴}{۳}a^{۲}t$	$S=\frac{\pi(R_{out}^{۴}-R_{in}^{۴})}{۴R_{out}}$ $S=\frac{\pi(D_{out}^{۴}-D_{in}^{۴})}{۳۲D_{out}}$	$S\simeq\pi R^{۲}t=\frac{\pi}{۴}D^{۲}t$
اساس مقطع پلاستیک	$Z_x=\frac{tb^{۲}}{۴}$ $Z_y=\frac{bt^{۲}}{۴}$	$Z_x=bth_{۰}+\frac{sh^{۲}}{۴}$ $Z_y=\frac{tb^{۲}}{۲}+\frac{hs^{۲}}{۴}$	$Z_x=Z_y=\frac{b^{۳}}{۴}-\frac{(b-۲t)^{۳}}{۴}$ $\simeq\frac{۳}{۲}a^{۲}t$	$Z=\frac{۴(R_{out}^{۳}-R_{in}^{۳})}{۳}$ $Z=\frac{D_{out}^{۳}-D_{in}^{۳}}{۶}$	$Z\simeq ۴R^{۲}t=D^{۲}t$
ثابت پیچشی	$J\simeq ab^{۳}(\frac{۱}{۳}-۰/۲۱\frac{b}{a}(۱-\frac{b^{۴}}{۱۲a^{۴}}))$	$J=\frac{۲}{۳}bt^{۳}+\frac{۱}{۳}hs^{۳}$	$J=a^{۳}t$	$J=\frac{\pi}{۲}(R_{out}^{۴}-R_{in}^{۴})$	$J\simeq ۲\pi R^{۳}t=\frac{\pi}{۴}D^{۳}t$

جدول ۱-۲: مشخصات مقاطع لانه زنبوری (مقاطع *CPE*) با توجه به شکل زیر

	h (cm)	H (cm)	b_f (cm)	t_w (cm)	t_f (cm)	مشخصات مقطع در $a-a$			مشخصات مقطع در $b-b$		
						A_a (cm^2)	I_{Xa} (cm^4)	S_{Xa} (cm^3)	A_b (cm^2)	I_{Xb} (cm^4)	S_{Xb} (cm^3)
CPE 140	14	21	7.3	0.47	0.69	19.7	1370	131	13.1	1270	121
CPE 160	16	24	8.2	0.50	0.74	24.1	2200	184	16.1	2030	169
CPE 180	18	27	9.1	0.53	0.80	28.7	3330	247	19.1	3070	228
CPE 200	20	30	10.0	0.56	0.85	34.1	4910	327	22.9	4540	302
CPE 220	22	33	11.0	0.59	0.92	39.9	6990	423	26.9	6460	392
CPE 240	24	36	12.0	0.62	0.98	46.5	9790	544	31.7	9070	504
CPE 270	27	40.5	13.5	0.66	0.102	54.8	14550	719	37.0	13470	665
CPE 300	30	45	15.0	0.71	0.107	64.5	21010	934	43.2	19410	863



به منظور تسریع در روند حل سؤالات، جدول صفحهٔ بعد را برای شما مهندسین عزیز آماده کرده‌ایم. در این جدول پارامترهای مختلفی که برای انجام محاسبات خمشی مقاطع *IPE* و *IPB* نیاز دارید، ارائه شده است. این پارامترها عبارتند از:



d: عمق کلی
b_f: عرض بال
t_w: ضخامت جان
t_f: ضخامت بال
A: سطح مقطع
I: ممان اینرسی
S: اساس مقطع الاستیک
r: شعاع ژیراسیون
Z: اساس مقطع پلاستیک
J: ثابت پیچشی
C_w: ثابت تابیدگی
h_o: فاصلهٔ بین مراکز هندسی بال‌ها
r_{ts}: شعاع ژیراسیون مؤثر

L_p: طول مهار نشدهٔ عضو که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی غیر ارتجاعی را مشخص می‌کند.

L_r: طول مهار نشدهٔ عضو که مرز بین حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی غیر ارتجاعی و ارتجاعی را مشخص می‌کند.

توجه: با پارامترهای r_{ts}، L_p و L_r در فصل چهارم آشنا می‌شویم. لازم به ذکر است که در جدول صفحهٔ بعد، برای محاسبهٔ پارامترهای L_p و L_r از مشخصات فولاد $ST\,۳۷$ $(F_y = ۲۴۰\ MPa)$ استفاده شده و در جدول (۴-۲) از فصل چهارم، این پارامترها برای هر دو نوع فولاد $ST\,۳۷$ و $ST\,۵۲$ ارائه شده‌اند.

جدول ۱-۳: مشخصات مقاطع *IPE* و *IPB*

	h (cm)	b_f (cm)	t_w (cm)	t_f (cm)	c (cm)	$h-2c$ (cm)	A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	Z_x (cm^3)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	h_o (cm)	r_{ts} (cm)	L_p (cm)	L_r (cm)
IPE 140	14	7.3	0.47	0.69	1.39	11.2	16.4	541	77.3	5.74	88.3	44.9	12.3	1.65	19.2	2.45	1980	13.31	1.97	84	342
IPE 160	16	8.2	0.5	0.74	1.64	12.7	20.1	869	109	6.58	124	68.3	16.7	1.84	26.1	3.62	3960	15.26	2.19	93	368
IPE 180	18	9.1	0.53	0.8	1.70	14.6	23.9	1320	146	7.42	166	101	22.2	2.05	34.6	4.81	7430	17.2	2.44	104	393
IPE 200	20	10	0.56	0.85	2.05	15.9	28.5	1940	194	8.26	221	142	28.5	2.24	44.6	7.01	12990	19.15	2.65	114	425
IPE 220	22	11	0.59	0.92	2.12	17.7	33.4	2770	252	9.11	285	205	37.3	2.48	58.1	9.1	22670	21.08	2.93	126	455
IPE 240	24	12	0.62	0.98	2.48	19.0	39.1	3890	324	9.97	367	284	47.3	2.69	73.9	12.9	37390	23.02	3.18	137	495
IPE 270	27	13.5	0.66	1.02	2.52	21.9	45.9	5790	429	11.2	484	420	62.2	3.02	97	16	70580	25.98	3.57	153	527
IPE 300	30	15	0.71	1.07	2.57	24.8	53.8	8360	557	12.5	628	604	80.5	3.35	125	20.2	125900	28.93	3.96	170	565
IPE 330	33	16	0.75	1.15	2.95	27.1	62.6	11770	713	13.7	804	788	98.5	3.55	154	28.3	199100	31.85	4.20	180	597
IPE 360	36	17	0.8	1.27	3.07	29.8	72.7	16270	904	15	1019	1040	123	3.79	191	37.5	313600	34.73	4.47	193	630
IPE 400	40	18	0.86	1.35	3.45	33.1	84.5	23130	1160	16.5	1307	1320	146	3.95	229	51.3	490000	38.65	4.69	201	654
IPE 450	45	19	0.94	1.46	3.56	37.8	98.8	33740	1500	18.5	1702	1680	176	4.12	276	67.2	791000	43.54	4.94	209	673
IPE 500	50	20	1.02	1.6	3.70	42.6	116	48200	1930	20.4	2194	2140	214	4.31	336	89.6	1249000	48.4	5.18	219	695
IPB 140	14	14	0.7	1.2	2.4	9.2	43	1510	216	5.93	245	550	78.5	3.58	120	20.1	22480	12.8	4.04	182	1142
IPB 160	16	16	0.8	1.3	2.8	10.4	54.3	2490	311	6.78	354	889	111	4.05	170	31.3	47940	14.7	4.58	206	1260
IPB 180	18	18	0.85	1.4	2.9	12.2	65.3	3830	426	7.66	481	1360	151	4.57	231	42.3	93750	16.6	5.15	232	1328
IPB 200	20	20	0.9	1.5	3.3	13.4	78.1	5700	570	8.54	643	2000	200	5.07	306	59.5	171100	18.5	5.70	258	1430
IPB 220	22	22	0.95	1.6	3.4	15.2	91	8090	736	9.43	827	2840	258	5.59	394	76.8	295400	20.4	6.27	284	1505
IPB 240	24	24	1	1.7	3.8	16.4	106	11260	938	10.3	1053	3920	327	6.08	498	103	486900	22.3	6.83	309	1609
IPB 260	26	26	1	1.75	4.15	17.7	118	14920	1150	11.2	1283	5130	395	6.58	602	124	753700	24.25	7.35	334	1655
IPB 280	28	28	1.05	1.8	4.2	19.6	131	19270	1380	12.1	1534	6590	471	7.09	718	144	1130000	26.2	7.91	360	1695
IPB 300	30	30	1.1	1.9	4.6	20.8	149	25170	1680	13	1869	8560	571	7.58	870	186	1688000	28.1	8.46	385	1805
IPB 320	32	30	1.15	2.05	4.75	22.5	161	30820	1930	13.8	2149	9240	616	7.57	939	226	2069000	29.95	8.47	385	1800
IPB 340	34	30	1.2	2.15	4.85	24.3	171	36660	2160	14.6	2408	9690	646	7.53	986	258	2454000	31.85	8.45	383	1765
IPB 360	36	30	1.25	2.25	4.95	26.1	181	43190	2400	15.5	2683	10140	676	7.49	1032	293	2883000	33.75	8.44	381	1736

B-۳- محاسبهٔ مقاومت خمشی با همهٔ معیارهای کمانش

همان‌طورکه در قسمت (B-۱) درسنامه گفته شد، برای محاسبهٔ مقاومت خمشی اعضای محوری، باید حالت‌های حدی کمانش عضو براساس جدول (۳-۱) و با توجه به شکل مقطع تعیین شود. این حالت‌های حدی شامل کمانش خمشی، کمانش پیچشی و کمانش خمشی - پیچشی می‌باشد. جالب است بدانید که تنها تفاوت بین این حالت‌های حدی، تفاوت رابطهٔ مورد استفاده برای پارامتر F_e می‌باشد. با توجه به این توضیح اولیه، می‌توان از چارت زیر برای تعیین مقاومت فشاری ستون‌ها استفاده کرد:

تعیین حالت‌های حدی کمانش عضو فشاری براساس جدول(۳-۱) ← محاسبهٔ مقدار F_e برای حالت‌های مورد نظر ← محاسبهٔ مقدار F_{cr}:

الف) اگر $\frac{KL}{r} \leq ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ یا $\frac{F_y}{F_e} \leq ۲/۲۵$ باشد:

$$F_{cr} = [۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}}]F_y$$

ب) اگر $\frac{KL}{r} > ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ یا $\frac{F_y}{F_e} > ۲/۲۵$ باشد:

$$F_{cr} = ۰/۸۷۷F_e$$

کوچکترین مقدار F_{cr} بین حالت‌های حدی موردنظر، به‌عنوان حالت بحرانی در نظر گرفته می‌شود. ← $P_n = F_{cr}A_g$ ← مقاومت طراحی : $\phi_c P_n = ۰/۹P_n$ ← $P_u \leq \phi_c P_n$

حال در ادامهٔ بحث، روابط تعیین F_e را برای سه حالت حدی بیان می‌کنیم.

حالت حدی کمانش خمشی

همان‌طورکه در قسمت (B-۲) درسنامه گفتیم، برای بررسی حالت حدی کمانش خمشی از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود. دقت شود که براساس جدول (۳-۱)، این حالت حدی در بسیاری از مقاطع حاکم می‌باشد.

$$\lambda \leq ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{یا} \quad F_e \geq ۰/۴۴F_y \Rightarrow \boxed{F_{cr} = \left[۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y} \qquad \text{(۳-۱۰ تکرار)}$$

$$\lambda > ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{یا} \quad F_e < ۰/۴۴F_y \Rightarrow \boxed{F_{cr} = ۰/۸۷۷F_e} \qquad \text{(۳-۱۱ تکرار)}$$

$$\boxed{F_e = \frac{\pi^۲E}{(\frac{KL}{r})^۲}} \qquad \text{(۳-۱۲ تکرار)}$$

پارامترهای مورد استفاده در این روابط عبارتند از:

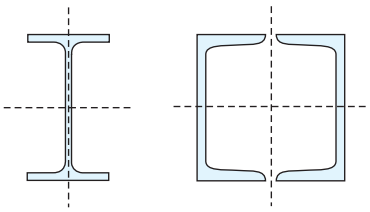
- $\frac{KL}{r}$: نسبت لاغری حداکثر عضو
- F_y: تنش تسلیم فولاد
- E: مدول الاستیسیته فولاد
- K: ضریب طول مؤثر
- L: طول فاقد مهار جانبی عضو
- r: شعاع ژیراسیون مقطع عضو

بند ۱۰-۴-۳ مبحث دهم

حالت حدی کمانش پیچشی

حالت حدی کمانش پیچشی، برای مقاطع دارای دو محور تقارن که در آنها طول آزاد مهار نشده در برابر پیچش از طول آزاد مهار نشده در برابر خمش تجاوز نماید، باید بررسی شود. در این حالت حدی، رابطهٔ زیر برای تعیین مقدار F_e استفاده می‌شود:

$$F_e = [\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ](\frac{1}{I_x + I_y}) \qquad (۱۳-۳)$$



نمونه‌ای از مقاطع دارای دو محور تقارن

پارامترهای جدید مورد استفاده در این رابطه عبارتند از:

J: ثابت پیچشی

C_w: ثابت تابیدگی (برای مقاطع I شکل با تقارن دو محوره، C_w را می‌توان مساوی $I_y h_o^2/4$ در نظر گرفت که در آن h_o فاصلهٔ مرکز به مرکز بال‌ها می‌باشد. برای مقاطع سپری و نبشی جفت در محاسبه F_{ez} می‌توان از جملات حاوی C_w صرف‌نظر نموده و x_o را مساوی صفر در نظر گرفت.)

G: مدول الاستیسیته برشی $G = \frac{1}{2/6} E$ (با فرض $\nu = 0/3$)

I_x, I_y: ممان اینرسی حول محورهای اصلی

K_x, K_y: ضریب طول مؤثر برای کمانش خمشی حول محورهای اصلی x و y

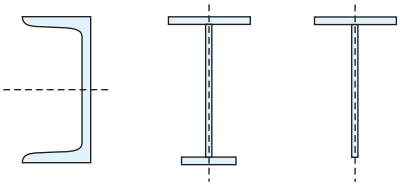
K_z: ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی

ضریب طول مؤثر برای کمانش پیچشی (K_z) می‌تواند به‌طور محافظه‌کارانه برابر ۱/۰ در نظر گرفته شود. اگر هر دو انتهای ستون در برابر کمانش پیچشی مهار شده باشند، $K_z = 0/5$ بوده و اگر تنها یک انتهای ستون مهار شده باشد، $K_z = 0/7$ می‌باشد.

حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی

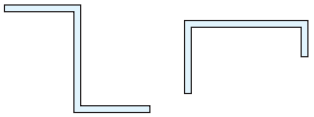
الف) برای مقاطع با یک محور تقارن که محور تقارن آنها با y نامگذاری شده باشد، رابطهٔ تعیین F_e براساس حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$F_e = (\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H})\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right] \qquad (۱۴-۳)$$



نمونه‌ای از مقاطع دارای یک محور تقارن

ب) برای مقاطع نامتقارن باید حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی کنترل شود که برای این منظور باید کوچکترین ریشهٔ معادلهٔ درجهٔ سوم زیر به‌عنوان F_e به‌دست آید:



نمونه‌ای از مقاطع بدون محور تقارن

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey})(\frac{x_o}{r_o})^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex})(\frac{y_o}{r_o})^2 = 0 \qquad (۱۵-۳)$$

بر مبنای بند (۱۰-۴-۵)

پارامترهای جدید مورد استفاده در این روابط عبارتند از:

x_o , y_o: مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح، ($x_o = ۰$ برای نبشی جفت و نیمرخ سپری با محور تقارن y)

r_x , r_y: شعاع ژیراسیون حول محورهای اصلی x و y

$\bar{r}_o$: شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش مطابق رابطهٔ زیر:

$$\bar{r}_o^{۲} = x_o^{۲} + y_o^{۲} + \frac{I_x + I_y}{A_g} \qquad (۳-۱۶)$$

H: ضریبی است که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$H = ۱ - \frac{x_o^{۲} + y_o^{۲}}{\bar{r}_o^{۲}} \qquad (۳-۱۷)$$

F_{ex}: تنش کمانشی خمشی الاستیک حول محور اصلی x که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$F_{ex} = \frac{\pi^{۲} E}{(\frac{K_x L}{r_x})^{۲}} \qquad (۳-۱۸)$$

F_{ey}: تنش کمانشی خمشی الاستیک حول محور اصلی y که از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$F_{ey} = \frac{\pi^{۲} E}{(\frac{K_y L}{r_y})^{۲}} \qquad (۳-۱۹)$$

F_{ez}: تنش کمانشی پیچشی الاستیک طبق رابطهٔ زیر:

$$F_{ez} = [\frac{\pi^{۲} E C_w}{(K_z L)^{۲}} + GJ] \frac{۱}{A_g \bar{r}_o^{۲}} \qquad (۳-۲۰)$$

مبحث دهم (۱۰-۳-۵-۱-۲-۵)

یک حالت خاص

برای اعضای فشاری با مقطع سپری و نبشی جفت، نیازی به محاسبهٔ مقدار F_e نیست و باید مقدار F_{cr} در چهار گام زیر تعیین گردد:

گام اول: برای مقطع سپری، نسبت لاغری به‌صورت $\frac{KL}{r} = (\frac{KL}{r})_y$ یعنی حول محور تقارن y محاسبه شود.

برای مقطع نبشی جفت، نسبت لاغری اصلاح شده به‌صورت $\frac{KL}{r} = (\frac{KL}{r})_m$ از رابطهٔ (۳-۲۳) به‌دست آید.

گام دوم: براساس نسبت لاغری گام قبلی، ابتدا مقدار F_e از رابطهٔ (۳-۱۲) به‌دست آید و سپس مقدار F_{cr} از رابطهٔ (۳-۱۰) یا (۳-۱۱) تعیین شود. این مقدار را F_{cry} می‌نامیم.

گام سوم: مقدار F_{crz} از رابطهٔ زیر تعیین شود.

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^{۲}} \qquad (۳-۲۱)$$

گام چهارم: حال با استفاده از مقادیر به‌دست آمده برای F_{cry} و F_{crz} در گام‌های دوم و سوم، مقدار F_{cr} از رابطهٔ زیر محاسبه شود.

$$F_{cr} = (\frac{F_{cry} + F_{crz}}{۲H}) \left[۱ - \sqrt{۱ - \frac{۴ F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^{۲}}} \right] \qquad (۳-۲۲)$$

مبحث دهم (۱۰-۳-۵-۱-۲-۵-الف)

تمرین ۱۵: برای ستونی به مقطع *IPB* ۳۰۰ به‌طول ۵ متر که دارای مهار جانبی پیچشی در تکیه‌گاه‌ها و همچنین در میانهٔ طول خود است، مقاومت طراحی براساس حالت حدی کمانش پیچشی چند *kN* می‌باشد؟ (فولاد از نوع *ST* ۳۷ است)

۱) ۲۵۵۰ ۲) ۲۸۲۰ ۳) ۳۰۶۰ ۴) ۳۴۰۰

● حل: مشخصات مقطع *IPB*۳۰۰ را از جدول (۱-۲) درسنامه تعیین کرده و داریم:

$$E = ۲\times۱۰^{۶}\ kg/cm^{۲} \quad , \quad G = \frac{E}{۲(۱+\nu)} = \frac{۲\times۱۰^{۶}}{۲(۱+۰/۳)} = \frac{۲\times۱۰^{۶}}{۲/۶} = ۷/۷\times۱۰^{۵}\ kg/cm^{۲}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^{۲}EC_w}{(K_z L)^{۲}} + GJ\right]\left(\frac{۱}{I_x + I_y}\right)$$

$$\Rightarrow\ F_e = \left[\frac{\pi^{۲}\times(۲\times۱۰^{۶})\times۱۶۸۸۰۰۰}{(۱\times۲۵۰)^{۲}} + (۷/۷\times۱۰^{۵})\times۱۸۶\right]\times\frac{۱}{(۲۵۱۷۰+۸۵۶۰)} = ۲۰۰۵۱\ kg/cm^{۲}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{۲۴۰۰}{۲۰۰۵۱} = ۰/۱۲ < ۲/۲۵ \ \Rightarrow\ F_{cr} = (۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}})\,F_y = (۰/۶۵۸^{\frac{۲۴۰۰}{۲۰۰۵۱}})\times۲۴۰۰ = ۲۲۸۳\ kg/cm^{۲}$$

$$P_d = \phi_c P_n = ۰/۹\,F_{cr}\,A_g = ۰/۹\times۲۲۸۳\times۱۴۹ = ۳۰۶۱۵۰\ kgf \simeq ۳۰۶۰\ kN$$

تذکر: در بحث کمانش پیچشی، برای انتخاب رابطهٔ F_{cr}، باید نسبت F_y به F_e با مقدار ۲/۲۵ مقایسه شود و کاری با نسبت لاغری (λ) نداریم.

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۱۶: برای یک مقطع ناودانی از نوع *UNP* ۲۰۰، شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش چند سانتی‌متر است؟

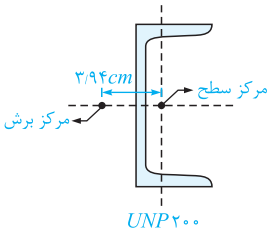
۱) ۹۴/۹۶ ۲) ۷۹/۴۴ ۳) ۹/۷۴ ۴) ۸/۹۱

● حل: در روابط مربوط به کمانش خمشی - پیچشی، پارامتر $\bar{r}_o$ تعریف می‌شود که شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش نام دارد. برای محاسبهٔ این پارامتر، باید پارامترهای مقطع تعیین شوند که در جدول (۱-۴) فصل اول وجود دارند.

$$I_x = ۱۹۱۰\ cm^{۴}\ ,\ I_y = ۱۴۸\ cm^{۴}\ ,\ A_g = ۳۲/۲\ cm^{۲}$$

x_o ، y_o: مختصات مرکز برش نسبت به مرکز سطح

$$\Rightarrow\ x_o = ۳/۹۴\ cm \quad , \quad y_o = ۰$$



حال می‌توان مقدار پارامتر $\bar{r}_o$ را محاسبه نمود:

$$\bar{r}_o^{۲} = x_o^{۲} + y_o^{۲} + \frac{I_x + I_y}{A_g} = ۳/۹۴^{۲} + ۰ + \frac{۱۹۱۰+۱۴۸}{۳۲/۲} = ۷۹/۴۴\ cm^{۲}$$

$$\Rightarrow\ \bar{r}_o = \sqrt{۷۹/۴۴} = ۸/۹۱\ cm$$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

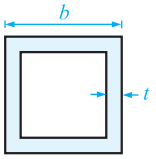
تمرین ۱۷: یک ستون فولادی با مقطع مربع مستطیل توخالی (قوطی شکل) و با ضخامت بال و جان یکسان برابر ۱۵ میلی‌متر تحت اثر نیروی فشاری ضریب‌دار برابر ۱۸۰۰ *kN* قرار دارد. چنانچه نسبت لاغری حداکثر ستون برابر ۱۰۰ فرض شود، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (روش حالات حدی)، حداقل ابعاد بیرونی مقطع قوطی شکل به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ ($E = ۲۰۰۰۰۰\ MPa$ و $F_y = ۲۴۰\ MPa$) (پایه ۳ - اسفند ۹۱)

۱) ۳۵×۳۵ *cm* ۲) ۳۰×۳۰ *cm* ۳) ۲۵×۲۵ *cm* ۴) ۲۰×۲۰ *cm*

سری عمران Serie Omran

● حل:

$$\lambda = ۱۰۰ \le ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۴/۷۱\sqrt{\frac{۲۰۰۰۰۰}{۲۴۰}} \simeq ۱۳۶ \xrightarrow{\text{از جدول (۳-۲)}} F_{cr} = ۱۴۴۳\ kg/cm^۲$$



$$\Rightarrow P_n = ۱۴۴۳ \times A_g \Rightarrow P_u \le \phi_c P_n \Rightarrow \underbrace{۱۸۰۰ \times ۱۰۰}_{\text{برحسب } kg} \le ۰/۹ \times ۱۴۴۳ \times A_g$$

$$\Rightarrow A_g \ge ۱۳۸/۶\ cm^۲$$

$$A_g = b^۲ - (b-۳)^۲ = b^۲ - (b^۲ - ۶b + ۹) = ۶b - ۹$$

$$\Rightarrow ۶b - ۹ \ge ۱۳۸/۶ \Rightarrow b \ge ۲۴/۶\ cm$$

بنابراین می‌توان از مقطع با ضلع $۲۵ \times ۲۵\ cm$ استفاده نمود.

توجه: کنترل کمانش موضعی هم باید برای این مقطع انجام گیرد که البته با عرض $۲۵\ cm$ و ضخامت $۱/۵\ cm$ مشکلی از این جهت وجود ندارد.

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

دو نکتهٔ تکمیلی در بحث مقاومت فشاری

۱) نبشی‌های تک عمدتاً در ساخت خرپاها مانند دکل‌های انتقال برق به‌کار می‌روند. برای این نبشی‌ها درصورتی‌که شرایط زیر برقرار باشد، می‌توان از برون محوری نیروی فشاری در طراحی صرف‌نظر نمود.

- نیروی اعمال شده به نبشی از طریق یک ساق و در انتهای همان ساق اعمال گردد.
- اتصال دو انتهای عضو به کمک جوش و یا حداقل دو پیچ انجام شود.
- هیچگونه بارگذاری عرضی میانی بر عضو اعمال نگردد.

توجه: نحوهٔ طراحی مقاطع نبشی تک تحت بار محوری فشاری، در بند (۶-۴-۲-۱۰) عنوان شده است. در این بند، طراحی نبشی برای دو حالت $\frac{b}{t} \le ۲۰$ و $\frac{b}{t} > ۲۰$ انجام می‌گیرد. دقت شود که برای اغلب نبشی‌های تولیدی در ایران، $\frac{b}{t} = ۱۰$ بوده و حالت اول موضوعیت دارد.

۲) مقاومت فشاری اعضای فولادی در مجاورت ناحیهٔ اتصال، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

الف) اگر $\frac{KL}{r} \le ۲۵$ باشد، حالت حدی تسلیم کنترل‌کننده بوده و داریم:

$$\phi P_n = ۰/۹\, F_y\, A_g$$

F_y: تنش تسلیم فولاد A_g: سطح مقطع کلی عضو

ب) اگر $\frac{KL}{r} > ۲۵$ باشد، حالت حدی کمانش عضو کنترل‌کننده بوده و باید ضوابط بند (B-۳) درسنامه منظور شود.

(۶-۴-۱۰-۱) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

(۶-۴-۵-۱۰) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در این قسمت که بخش ۲ برای بحث نیروی برشی می‌باشد، می‌خواهیم مطالب تکمیلی در ارتباط با برش را بررسی نماییم. بحث‌هایی نظیر نحوهٔ طراحی سخت‌کننده‌های عرضی و مقاومت برشی مقاطع در امتداد عمود بر محور ضعیف از آن جمله هستند.

قسمت دوم:
- B-۱- طراحی ورق‌های سخت‌کنندهٔ عرضی جان
- B-۲-مقاومت برشی در امتداد عمود بر محور ضعیف
- B-۳-محاسبهٔ مقاومت برشی مقاطع غیر I شکل
- B-۴-مقاومت برشی اعضاء در مجاورت ناحیهٔ اتصال

B-۱- طراحی ورق‌های سخت‌کنندهٔ عرضی جان

بر مبنای بند (۱۰-۲-۶-۲-۲)

در مواردی‌که $\sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq ۲/۴۶ \frac{h}{t_w}$ بوده و نیز در مواردی که مقاومت برشی مورد نیاز کوچکتر یا مساوی مقاومت برشی موجود به‌ازای $k_v = ۵$ باشد، نیازی به تعبیهٔ سخت‌کننده‌های عرضی در جان مقاطع نمی‌باشد. درصورت عدم تحقق یکی از شرایط مذکور باید از سخت‌کننده‌های عرضی با رعایت محدودیت‌های زیر استفاده شود.

محدودیت‌های اجرایی سخت‌کننده‌های عرضی

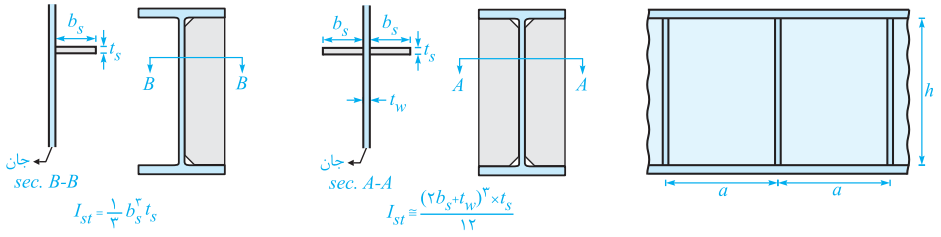
بر مبنای بند (۱۰-۲-۶-۲-۲ ب تا ت)

۱) درصورتی‌که به عمل تماسی مستقیم بین قطعهٔ سخت‌کننده و بال تیر برای انتقال بارهای متمرکز یا عکس‌العمل تکیه‌گاهی، نیاز نباشد، می‌توان سخت‌کنندهٔ عرضی را به بال کششی جوش نداده و یا حتی می‌توان قطعهٔ سخت‌کننده را نرسیده به بال کششی قطع کرد. درصورت عدم جوشکاری سخت‌کننده به بال کششی، جوش‌هایی که قطعه سخت‌کننده 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.

۲) سخت‌کننده‌های عرضی باید به بال فشاری متصل گردند تا از بلند شدن بال در اثر پیچش جلوگیری به عمل آید.

۳) فاصلهٔ مرکز به مرکز پیچهایی که سخت‌کننده‌ها را به جان تیر متصل می‌کنند، نباید از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. چنانچه برای اتصال سخت‌کننده‌ها به جان تیر از جوش‌های گوشه منقطع استفاده شود، نباید فاصله آزاد بین جوش‌های منقطع از ۱۶ برابر ضخامت جان یا ۲۵۰ میلی‌متر، هر کدام کوچکتر است، تجاوز نماید.

ورق‌های سخت‌کنندهٔ عرضی جان، ورق‌هایی هستند که به‌صورت تیغهٔ قائم و در فواصل a در طول تیر قرار دارند. واضح است که این ورق‌ها به‌صورت عمود بر جان تیر در حد فاصل دو بال قرار داده می‌شوند. ورق‌های سخت‌کننده می‌توانند به‌صورت جفت ورق در طرفین جان و یا تک ورق در یک طرف جان به‌کار گرفته شوند.



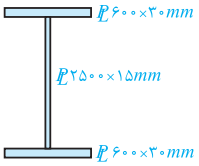
ابعاد ورق‌های تقویتی باید به اندازه‌ای باشد که ممان اینرسی آنها (I_{st} در شکل‌های فوق) در رابطهٔ زیر صدق کند:

$$I_{st}\geq \underbrace{min\,(a\,,h)\times t_w^3 j}_{I_{\text{موردنیاز}}} \qquad (۹-۵)$$

پارامتر j به کمک رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$j=\frac{2/5}{(\frac{a}{h})^2}-2\geq 0/5 \qquad (۱۰-۵)$$

تمرین ۹: در یک تیرورق به شکل زیر، قصد داریم از سخت‌کننده‌های عرضی به فواصل ۵ متری استفاده کنیم. اگر عرض سخت‌کننده‌های مورد استفاده برابر mm ۸۰ بوده و آنها به‌صورت جفت در دو سمت جان تیرورق استفاده شوند، ضخامت سخت‌کننده‌ها حداقل چقدر باید باشد؟



۱) $8\ mm$

۲) $10\ mm$

۳) $12\ mm$

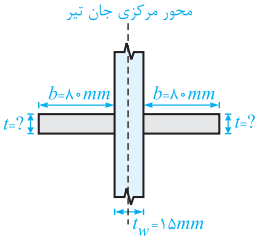
۴) $14\ mm$

حل: برای طراحی سخت‌کننده‌های جفت، باید ابتدا مقدار پارامتر j و سپس ممان اینرسی مورد نیاز آنها تعیین شود.

$$j=\frac{2/5}{(\frac{a}{h})^2}-2=\frac{2/5}{(\frac{5000}{2500})^2}-2=0/625-2=-1/375<0/5 \quad\Rightarrow\quad j=0/5$$

$$I_{\text{موردنیاز}}=min\,(a\,,h)\times t_w^3 j=min\,(5000\,,2500)\times 15^3\times 0/5=2500\times 15^3\times 0/5=4218750\ mm^4$$

از سوی دیگر ممان اینرسی موجود قطعات سخت‌کنندهٔ جفت نسبت به محور مرکزی جان تیر برابر است با:



$$I_{st}=2\left[\frac{tb^3}{12}+tb(\frac{b}{2}+\frac{t_w}{2})^2\right]$$

$$\Rightarrow\quad I_{st}=2\times\left[\frac{t\times 80^3}{12}+(t\times 80)\times(\frac{80}{2}+\frac{15}{2})^2\right]$$

$$\Rightarrow\quad I_{st}=2\times\left[42666t+180500t\right]=446332t$$

توجه: رابطه‌ای که در اینجا برای محاسبهٔ I_{st} استفاده شد، نحوهٔ دقیق انجام این کار است. شما می‌توانید از رابطهٔ ارائه شده در شکل ابتدای این بخش نیز استفاده کنید که البته مقدار جزئی تقریب دارد.

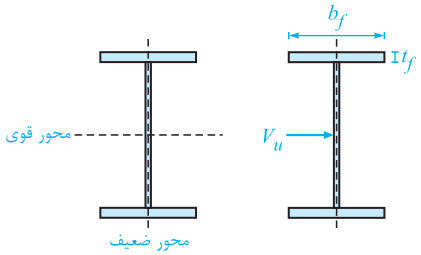
حال با مقایسهٔ $I_{\text{مورد نیاز}}$ و I_{st} می‌توان مقدار ضخامت لازم برای ورق سخت‌کننده را تعیین نمود.

$$I_{st} \geq I_{\text{مورد نیاز}} \Rightarrow ۴۴۶۳۳۲\,t \geq ۴۲۱۸۷۵۰ \Rightarrow t \geq ۹/۴۵\ mm$$

بنابراین با توجه به گزینه‌ها، باید حداقل از ورقی به ضخامت $۱۰\ mm$ استفاده شود و گزینهٔ (۲) صحیح است.

B-۲- مقاومت برشی در امتداد عمود بر محور ضعیف

برای اعضایی که در امتداد عمود بر محور ضعیف تحت اثر برش قرار دارند، مقاومت برشی در دو گام به‌صورت زیر تعیین می‌شود:



نحوهٔ اعمال نیروی برشی در امتداد عمود بر محور ضعیف

گام اول: پارامترهای مؤثر در طراحی برشی به‌صورت زیر انتخاب می‌شوند:

$$A_w = b_f t_f \ ; \ \frac{h}{t_w} = \frac{b}{t_f} \ ; \ k_v = ۱/۲ \qquad (۱۱-۵)$$

t_f: ضخامت جزء مقاوم در برابر برش

b_f: پهنای جزء مقاوم در برابر برش

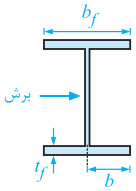
b: نصف پهنای کلی بال در مقاطع I شکل و پهنای کلی بال برای مقاطع ناودانی

گام دوم: استفاده از روابط حالت (ب) از بند (۲-A) قسمت اول درسنامه برای تعیین مقاومت برشی

تمرین ۱۰: مقاومت برشی اسمی مقطع IPE ۳۰۰ 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 از نوع ST ۳۷ ($F_y = ۲۴۰\ MPa$ و $F_u = ۳۷۰\ MPa$) می‌باشد.) (پایه ۳ - خرداد ۹۳)

۱) $۲۳۱\ kN$ ۲) $۳۰۶\ kN$ ۳) $۴۶۲\ kN$ ۴) $۷۶۸\ kN$

حل: برای محاسبهٔ مقاومت برشی این مقطع در امتداد عمود بر محور ضعیف داریم:



$$V_n = ۰/۶ F_y A_w C_v \qquad \begin{cases} A_w = ۲\, b_f t_f \\ \dfrac{h}{t_w} = \dfrac{b}{t_f} \\ k_v = ۱/۲ \end{cases}$$

حال براساس مقدار این پارامترها برای مقطع IPE ۳۰۰ که از جدول (۱-۳) درسنامه به‌دست می‌آید داریم:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{\overbrace{b}^{\text{نصف پهنای بال}}}{t_f} = \frac{\frac{۱۵۰}{۲}}{۱۰/۷} \simeq ۷ < ۱/۱ \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = ۱/۱ \sqrt{\frac{۱/۲ \times (۲ \times ۱۰^۵)}{۲۴۰}} \simeq ۳۴/۸ \Rightarrow C_v = ۱$$

$$V_n = ۰/۶ F_y (۲ b_f t_f) C_v = ۰/۶ \times ۲۴۰ \times (۲ \times ۱۵۰ \times ۱۰/۷) = ۴۶۲۲۴۰\ N \simeq ۴۶۲\ kN$$

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

شاید در گذشته توجه خاصی به طراحی لرزه‌ای سازه‌ها نمی‌شده است، اما خسارت‌های سنگین زلزله‌ها بر سازه‌های مختلف نشان داده که باید طراحی ویژه‌ای برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله انجام گیرد. به‌طور کلی اعضایی از سازه که نیروهای ناشی از زلزله به آنها وارد نمی‌شود (نظیر تیرهای دو سر مفصل)، تنها با استفاده از ضوابط عادی آیین‌نامه یعنی فصل‌های (۱) تا (۸) این کتاب طراحی می‌شوند. از سوی دیگر اعضایی که در جریان زلزله نیرو جذب می‌کنند (نظیر تیرهای قاب خمشی یا مهاربندها)، باید ضوابط ویژه‌ای را در هنگام طراحی اقناع کنند که در فصل‌های (۹) و (۱۰) با آنها آشنا می‌شویم. دقت کنید که در طراحی چنین اعضایی، ضوابط این دو فصل باید در کنار ضوابط فصل‌های قبل و به‌عنوان تکمیل‌کنندهٔ آنها در نظر گرفته شوند. حال در قسمت اول این فصل می‌خواهیم با مفاهیم اولیه‌ای در رابطه با طرح لرزه‌ای آشنا شویم که در فصل‌های (۹) و (۱۰) به آنها نیاز داریم.

قسمت اول
- A-۱- هدف و دامنهٔ کاربرد
- A-۲- حدود شکل‌پذیری سازه‌های فولادی
- A-۳- ناحیهٔ حفاظت شدهٔ اعضاء
- A-۴- پارامترهای مرتبط با مصالح و اتصالات (R_y و C_{pr})
- A-۵- ترکیبات بار زلزلهٔ تشدید یافته
- A-۶- الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی

A-۱- هدف و دامنهٔ کاربرد

در تکمیل الزامات عمومی طراحی ساختمان‌های فولادی (موضوع بخش ۱۰-۲ از مبحث دهم)، لازم است الزامات طراحی لرزه‌ای براساس بخش ۱۰-۳ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) نیز مورد توجه طراحان عزیز قرار گیرد. به بیان دیگر می‌توان گفت که الزامات عمومی مبحث دهم عمدتاً معطوف به کنترل معیارهای پایداری، سختی و مقاومت در اعضاء برای بارهای غیرلرزه‌ای می‌باشند، در حالی‌که در کنترل الزامات لرزه‌ای به‌دنبال آن هستیم تا علاوه بر معیارهای مذکور، معیار شکل‌پذیری را به منظور بهبود رفتار لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار دهیم.

هدف طراحی لرزه‌ای

هدف اساسی الزامات طراحی لرزه‌ای، تعیین تناسب‌بندی جزئیات اعضاء و اتصالات آنها به نحوی است که سازهٔ ساختمان ضمن حفظ ایستایی کلی خود در برابر زلزله‌های شدید، تلفات جانی را حداقل نماید. از سوی دیگر، با رعایت این الزامات، انتظار می‌رود که سازهٔ ساختمان در برابر زلزله‌های خفیف و متوسط از لحاظ پایداری، سختی و مقاومت عملکرد رضایت‌بخشی از خود نشان دهد.

در ادامه برخی از مفاهیم مرتبط با طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی را بررسی خواهیم کرد.

A-۲- حدود شکل‌پذیری سازه‌های فولادی

به‌طور کلی میزان شکل‌پذیری قاب‌های باربر جانبی به این موضوع بستگی دارد که این سازه‌ها چه اندازه بتوانند در مقاطع خاصی از خود، تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی (پلاستیک) را پذیرا باشند و این ویژگی را در بارگذاری‌های رفت و برگشتی زلزله حفظ کرده و با کاهش مقاومت و سختی قابل ملاحظه روبه‌رو نشوند. در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، سه حد شکل‌پذیری برای قاب‌های خمشی فولادی و دو حد شکل‌پذیری برای قاب‌های مهاربندی شده در نظر گرفته شده و مقررات خاص طراحی هر یک از آنها ارائه شده است.

الف) حد شکل‌پذیری زیاد: در این حد شکل‌پذیری، تغییرشکل‌های نظیر تغییرمکان نسبی طبقه زیاد بوده و بخش قابل ملاحظه‌ای از آن فرا ارتجاعی است. به‌طور مثال در قاب‌های خمشی ویژه مشمول این رده، میزان دوران (دریفت نسبی) طبقه که با نسبت دریفت به ارتفاع طبقه سنجیده می‌شود، به ۰/۰۴ رادیان می‌رسد که حدوداً ۰/۰۳ رادیان آن فرا ارتجاعی می‌باشد.

ب) حد شکل‌پذیری متوسط: در این حد شکل‌پذیری، تغییرشکل‌های نظیر تغییرمکان نسبی طبقه متوسط می‌باشد، به‌طوری‌که در قاب‌های خمشی میزان دوران طبقه حداقل به ۰/۰۲ رادیان محدود می‌شود که دوران فرا ارتجاعی آن حدود ۰/۰۱ رادیان می‌باشد.

پ) حد شکل‌پذیری کم: در این حد شکل‌پذیری، دوران نظیر تغییرمکان نسبی طبقه کم می‌باشد و سازه عملاً تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی چندانی ندارد. به این علت در این نوع سازه‌ها ضوابط خاص طراحی برای زلزله محدود است.

مبحث ۱۰ (۱۰-۳-۲-۱)

انواع سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای

با بررسی ضوابط طرح لرزه‌ای مبحث دهم و همچنین با نگاهی به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باید گفت که سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای در ساختمان‌های فولادی به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

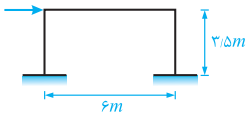
- سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای در ساختمان‌های فولادی
  - قاب‌های خمشی
    - قاب‌های خمشی ویژه
    - قاب‌های خمشی متوسط
    - قاب‌های خمشی معمولی
  - قاب‌های ساختمانی ساده توأم با مهاربندی همگرا
    - مهاربندی همگرای ویژه
    - مهاربندی همگرای معمولی
  - قاب‌های ساختمانی ساده توأم با مهاربندی واگرای ویژه
  - سیستم‌های دوگانه متشکل از قاب‌های خمشی ویژه یا متوسط با مهاربندی‌های همگرای ویژه
  - سیستم‌های دوگانه متشکل از قاب‌های خمشی ویژه یا متوسط با مهاربندی‌های واگرای ویژه

مبحث ۱۰ (۱۰-۳-۱-۳)

دقت: منظور از عناوین ویژه، متوسط و معمولی همان سطوح شکل‌پذیری زیاد، متوسط و کم می‌باشد.

تذکر: سیستم قاب ساختمانی ساده با مهاربندی واگرای ویژه، خود به دو نوع تقسیم می‌شود. در نوع اول، اتصال تیر خارج از ناحیهٔ پیوند به ستون از نوع گیردار است و در نوع دوم، این اتصال به‌صورت مفصلی است.

تمرین ۱: قاب خمشی شکل مقابل از مقاطع فولادی ساخته شده و تحت بار جانبی قرار دارد. در صورتی‌که تغییرمکان جانبی قاب در هنگام رفتار ارتجاعی برابر mm ۴۵ و در لحظهٔ پیش از خرابی کامل قاب برابر mm ۱۴۵ باشد، این قاب برای چه حد شکل‌پذیری مناسب است؟



۱) کم ۲) متوسط ۳) زیاد ۴) اطلاعات کافی نمی‌باشد.

حل: می‌دانیم‌که یکی از معیارهای آیین‌نامه برای بررسی میزان شکل‌پذیری قاب‌های خمشی، بررسی میزان دوران قاب است. با توجه به اطلاعات داده شده در این تست، دوران قاب مورد نظر در لحظهٔ پیش از خرابی (کل دوران) و دوران فرا ارتجاعی آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

کل دوران (پیش از خرابی): $\frac{\Delta_{tot}}{h}=\frac{۱۴۵}{۳۵۰۰}=۰/۰۴۱۴\,rad$

دوران فرا ارتجاعی: $\frac{\Delta_{pl}}{h}=\frac{\Delta_{tot}-\Delta_{el}}{h}=\frac{۱۴۵-۴۵}{۳۵۰۰}=۰/۰۲۸۶\,rad$

همان‌طورکه مشاهده می‌کنید، دوران سازهٔ مورد بررسی پیش از لحظهٔ خرابی بیش از مقدار $۰/۰۴\,rad$ شده و دوران نظیر رفتار فرا ارتجاعی نیز در حدود $۰/۰۳\,rad$ می‌باشد. به همین دلیل می‌توان گفت که این قاب برای حد شکل‌پذیری زیاد مناسب بوده و در نتیجه گزینهٔ (۳) صحیح می‌باشد.

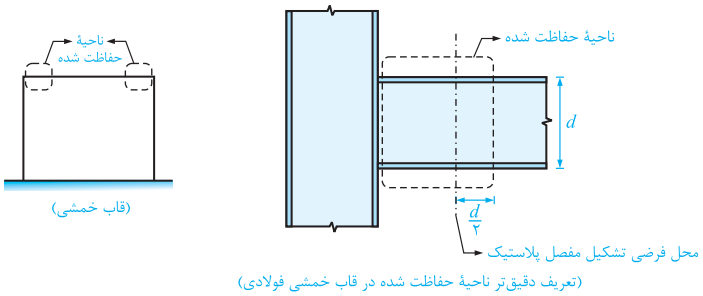
A-۳- ناحیهٔ حفاظت شدهٔ اعضاء

ناحیهٔ حفاظت شده (ناحیهٔ شکل‌پذیر) در یک عضو سازه، به ناحیه‌ای از عضو اطلاق می‌شود که انتظار می‌رود در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود. نظر به اهمیت این ناحیه و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این ناحیه باید عاری از هر گونه عملیاتی باشد که موجب دگرگونی عملکرد عضو در آن می‌شود. به‌طور مثال:

- به کار بردن وصلهٔ مستقیم یا غیرمستقیم جوشی یا پیچی نیمرخ‌ها یا ورق‌های تشکیل‌دهندهٔ عضو در ناحیهٔ حفاظت شده ممنوع است.
- هرگونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت نظیر جوش‌های موضعی و ناصافی‌های ناشی از برش‌های حرارتی در ناحیهٔ حفاظت شده ممنوع بوده و در صورت وجود باید ترمیم شود.
- خال جوش کردن ورق‌های ذوزنقه‌ای تیرهای مختلط و نیز جوش برشگیرهای از نوع گل‌میخ در تیرهای مختلط، در ناحیهٔ حفاظت شده تنها در صورت تأمین الزامات قسمت سوم فصل بعد مجاز است.

براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ناحیهٔ حفاظت شده در سیستم‌های باربر جانبی مختلف به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

۱) در قاب‌های خمشی فولادی، ناحیهٔ حفاظت شده در دو انتهای تیر بوده و طول آن به اندازهٔ فاصلهٔ بین بر ستون تا نصف عمق تیر از محل تشکیل مفصل پلاستیک به سمت داخل دهانه در نظر گرفته می‌شود.



(تعریف دقیق‌تر ناحیهٔ حفاظت شده در قاب خمشی فولادی)

(۱۴۰۱-۱۴۰۳) کپی رایت ۲

حال با دانستن مقدار طول تیر، بار گستردهٔ روی آن و اساس مقطع پلاستیک تیر، مقدار مقاومت‌های خمشی و برشی را محاسبه می‌کنیم. از طرفی می‌دانیم‌که مقدار پارامتر R_y برای پروفیل‌های I شکل نورد شده برابر ۱/۲ است که در جدول (۹-۱) درسنامه بیان شده است.

$$M_{pr} = ۱/۱\, R_y\, M_p = ۱/۱ \times ۱/۲ \times (۳۶۶۰۰۰ \times ۲۴۰) = ۱۱۵۹۴۸۸۰۰\ N.mm \simeq ۱۱۶\ kN.m$$

$$V_{pr} = \frac{۲\, M_{pr}}{L} + \frac{q_u\, L}{۲} = \frac{۲ \times ۱۱۶}{۴/۵} + \frac{۲۰ \times ۴/۵}{۲} = ۵۱/۶ + ۴۵ = ۹۶/۶\ kN \simeq ۹۷\ kN$$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

C-۵- مقاومت مورد نیاز تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

دربارهٔ مقاومت خمشی و برشی تیرها در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه، سه نکتهٔ زیر باید مدنظر قرار گیرد:

۱) به جز در طراحی تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته، در طراحی مقطع تیرها برای خمش رعایت ضابطهٔ تکمیلی خاصی الزامی نیست.

۲) در تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته، در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی مورد نیاز تیر باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr}\, R_y\, M_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود. در این حالت در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی طراحی تیر را می‌توان برابر $R_y\, M_{po}$ در نظر گرفت.

۳) همواره در دو انتهای تیر، مقاومت برشی مورد نیاز تیرها باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr}\, R_y\, M_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود.

در روابط فوق:

R_y: نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم مصالح تیر از جدول (۹-۱) درسنامه

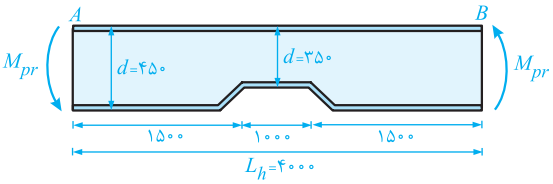
M_p: لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک

M_{po}: لنگر پلاستیک مقطع تیرهای با مقطع کاهش یافته در ابتدا و انتهای تیر

بر مبنای بند (۱۰-۳-۸-۹)

تمرین ۴۵: شکل زیر بخش میانی یک تیر با شکل‌پذیری متوسط، بین مفاصل پلاستیک A و B را نشان می‌دهد. چنانچه آثار ناشی از بارهای مرده و زنده و سایر بارها، در مقایسه با بار زلزله بسیار ناچیز و قابل اغماض باشد، با توجه به فرضیات زیر، مقدار M_{pr} در مفصل پلاستیک تیر، حداکثر چه مقدار می‌تواند باشد؟ (تیر از ورق با اتصال جوش جان به بال ساخته شده و مقطع آن دارای تقارن دو محوره بوده و خمش حول محور قوی است. d عمق کل مقطع بوده و ضخامت جان $t_w = ۸\ mm$ است. مقاومت برشی عضو بدون توجه به عمل میدان کششی و با فرض $C_v = ۱$ محاسبه می‌شود. فولاد مصرفی از نوع ST ۳۷ با $F_y = ۲۴۰\ MPa$ بوده و واحدهای روی شکل بر حسب میلی‌متر می‌باشد. تیر در محدودهٔ کم عمق، از مقاومت کافی در برابر آثار ناشی از ایجاد M_{pr} در مفاصل پلاستیک برخوردار است)

(پایه ۳ - آبان ۹۳)



۱) ۱۴۵۰ $kN.m$

۲) ۷۲۵ $kN.m$

۳) ۹۳۰ $kN.m$

۴) ۸۳۰ $kN.m$

حل: با توجه به اینکه ابعاد بال مقطع تیر در صورت تست داده نشده است، محاسبهٔ M_{pr} با استفاده از رابطهٔ $M_{pr}=C_{pr}R_yM_p$ مدنظر طراح نیست و تعیین ماکزیمم M_{pr} بر مبنای ظرفیت برشی تیر مدنظر است. از سوی دیگر با توجه به صرف‌نظر کردن از بارهای مرده و زنده در مقایسه با بار زلزله، مقدار برش ایجاد شده در محل مفصل‌های پلاستیک، عبارت است از $\frac{2M_{pr}}{L_h}$ که باید از مقاومت برشی طراحی عضو کوچکتر باشد.

بنابراین داریم:

$$V_{pr}=\frac{2M_{pr}}{L_h}=\frac{2\times M_{pr}}{4000}=\frac{M_{pr}}{2000}\le V_d \quad\Rightarrow\quad M_{pr}\le 2000V_d$$

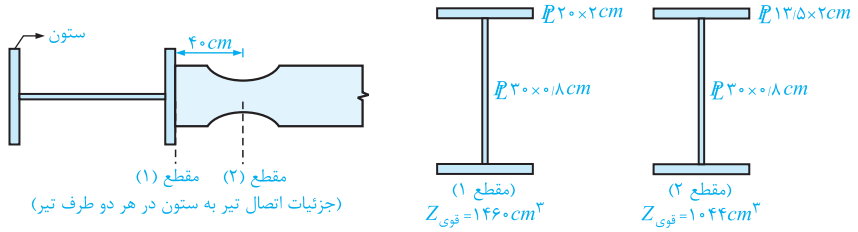
$$V_d=\phi V_n=0/9\times 0/6F_yA_wC_v=0/9\times 0/6\times 240\times(450\times 8)\times 1=466560N$$

$$M_{pr}\le 2000\times 466560=933120000\ N.mm=933/12kN.m\simeq 933\ kN.m$$

توجه: از آنجاکه تیر در محدودهٔ کم عمق از مقاومت کافی در برابر آثار ناشی از ایجاد M_{pr} در مفاصل پلاستیک برخوردار است، نتیجه می‌شود که تعیین ماکزیمم M_{pr} براساس ارتفاع دو انتهای تیر مدنظر بوده است و محدودهٔ کم عمق تیر تعیین‌کننده نمی‌باشد.

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۲۶: در جزئیات شکل زیر که مربوط به اتصال تیر قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط به ستون می‌باشد، حداکثر مقدار بار گستردهٔ ثقلی وارد بر تیر در حالت نهایی چقدر باشد تا مقطع تیر در بر تکیه‌گاه از نظر مقاومت خمشی مناسب باشد؟ (طول تیر m ۶ است، فولاد ST ۳۷ می‌باشد)



۱) $0/34\ ton/m$ ۲) $3/4\ ton/m$ ۳) $0/51\ ton/m$ ۴) $5/1\ ton/m$

حل: در این تست کنترل مقاومت خمشی تیر در بر ستون بحث شده است و اتصال تیر به ستون نیز از نوع مقطع کاهش یافته (RBS) می‌باشد. دقت کنید که در اتصال RBS، محل تشکیل مفصل پلاستیک، همان محلی است که بیشترین کاهش در عرض بال تیر ایجاد شده که در شکل صورت سؤال همان مقطع (۲) می‌باشد.

برای کنترل مقاومت خمشی این تیر در بر ستون از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$M_d\ge M_u=M_{pr}+V_{pr}S_h+\frac{q_uS_h^2}{2} \quad\Rightarrow\quad \text{لنگر خمشی وارده در بر ستون} \ge \text{مقاومت طراحی در بر ستون}$$

حال در ابتدای حل این سؤال، پارامترهای مورد نیاز در رابطهٔ فوق را تعیین می‌کنیم.

۱- مقطع تیر مورد استفاده به‌صورت ساخته شده از ورق است و بنابراین براساس جدول (۹-۱) درسنامه، $R_y=1/15$ می‌باشد. همچنین به‌دلیل استفاده از فولاد ST ۳۷، مقدار $C_{pr}=1/2$ می‌باشد که از رابطهٔ (۹-۲) درسنامه به‌دست می‌آید.

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در یک سیستم قاب ساختمانی فولادی که در آن از مهاربندهای همگرا استفاده شده است، محور اصلی ستون‌ها، تیرها و اعضای مهاربندی در یک نقطهٔ مشترک با هم تلاقی می‌کنند. در چنین سازه‌هایی، مهمترین اعضای سازه همان مهاربندها هستند که نیروی جانبی زلزله را تحمل می‌کنند. همچنین ستون‌های اطراف دهانهٔ مهاربندی نیز به همراه مهاربندها تشکیل یک قاب مقاوم را می‌دهند. البته در صورتی‌که از مهاربندهای شورون استفاده شده باشد، تیرهایی که مهاربندها به آنها اتصال دارند نیز در تحمل نیروی جانبی زلزله نقش ایفا می‌کنند. در این قسمت از فصل، ضوابط اعضای باربر جانبی در سیستم‌های مهاربندی شدهٔ همگرا را بررسی می‌کنیم که به دو دستهٔ همگرای معمولی و همگرای ویژه تقسیم می‌شوند.

قسمت اول
- A-۱-ضوابط فشردگی اعضاء در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرا
- A-۲- تیر دهانهٔ V و Λ در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی
- A-۳-اتصالات مهاربندی‌ها در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای‌معمولی
- A-۴-تیرها و ستون‌ها در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه
- A-۵-اتصالات مهاربندی‌ها در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه

A-۱- ضوابط فشردگی اعضاء در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرا

به‌طور کلی در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرا، لازم است که فشردگی و نسبت لاغری اعضاء حدودی را رعایت کنند. این حدود توسط آیین‌نامه به‌صورت زیر بیان می‌شوند.

تذکر: هندسه‌های مجاز برای مهاربندهای همگرا، به‌صورت قطری، ضربدری و مهاربندهایی به شکل V و Λ است و استفاده از مهاربندهای به شکل K مجاز نیست.

قاب مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۴ (۱۰-۳-۱-۱ و ۲)

۱) مقطع اعضای مهاربندها و تیرهایی که به مهاربندهای V و Λ متصل هستند، باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر λ_{md} باشند.

۲) مقاطع کلیهٔ ستون‌ها و تیرهای نظیر دهانه‌های مهاربندی شده در مهاربندی‌های از نوع قطری و ضربدری، باید فشرده باشند.

۳) ضریب لاغری $(\frac{KL}{r})$ مهاربندهای از نوع V و Λ نباید از $4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ تجاوز نماید.

قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۴ (۱۰-۳-۱-۱-۱)

۱) مقاطع اعضای مهاربندها و ستون‌های نظیر دهانه‌های مهاربندی شده، باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر λ_{hd} باشند.

۲) مقاطع تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده، باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر λ_{md} باشند.

۳) مقاطع سایر ستون‌ها باید فشرده باشند.

توجه ۱: ضریب لاغری ($\frac{KL}{r}$) مربوط به مهاربندهای فشاری در قاب‌های مهاربندی شده با هر نوع مهاربند، نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید.

توجه ۲: در مورد مهاربندهای با مقطع متشکل از چند نیمرخ، باید ضوابط مورد (ج) از بند (۱۰-۳-۱۱-۱) آیین‌نامه در نظر گرفته شود.

A-۲- تیر دهانهٔ V و Λ در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی

در صورت استفاده از مهاربندهای V و Λ در قاب‌های همگرا، باید سه نکتهٔ زیر در مورد تیرهای دهانهٔ مهاربندی مدنظر قرار گیرد:

۱) تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با مهاربندی‌های به شکل V و Λ باید قادر به تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقلی بدون حضور مهاربندی‌ها باشند.

۲) تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با مهاربندی‌های به شکل V و Λ باید در حد فاصل دو ستون پیوسته بوده و دارای مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش پیچشی - جانبی باشند. در هر صورت، وجود حداقل یک جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندی‌ها به تیر الزامی است.

۳) تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با مهاربندی‌های به شکل V و Λ و اتصالات آنها به ستون، باید قادر به تحمل نیروهای نامتعادل ناشی از زلزله در ترکیب با بارهای ثقلی ضریب‌دار باشند. برای منظور کردن اثر توزیع نامتعادل نیروهای مهاربندی‌های کششی و فشاری ناشی از زلزله، تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریب‌دار که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از نیروهای عنوان شده در زیر در مهاربندی‌ها محاسبه شوند.

- نیروی لرزه‌ای مهاربند کششی کمترین دو مقدار $R_y F_y A_g$ و نیروی کششی ناشی از ترکیبات بار زلزلهٔ تشدید یافته است که در آن R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند، F_y تنش تسلیم فولاد مهاربند و A_g سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.
- نیروی لرزه‌ای مهاربند فشاری برابر ۰/۳ P_n می‌باشد که در آن P_n مقاومت فشاری اسمی مهاربند فشاری است.

(بر مبنای بند ۱۰-۳-۱۰-۲-ت تا چ)

A-۳- اتصالات مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی

مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی نباید از یکی از دو مقدار (الف) و (ب) این بند کمتر در نظر گرفته شود.

الف) مقاومت کششی مورد انتظار اعضای مهاربندی برابر $R_y F_y A_g$ که در آن R_y نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند، F_y تنش تسلیم فولاد مهاربند و A_g سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.

ب) بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار زلزلهٔ تشدید یافته در مهاربندی‌ها.

(بر مبنای بند ۱۰-۳-۱۰-۱-۳)

سایر ضوابط مربوط به قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرای معمولی، در بندهای (۱۰-۳-۱۰-۱) و (۱۰-۳-۱۰-۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان عنوان شده است.

A-۴- تیرها و ستون‌ها در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه

مقاومت‌های طراحی تیرها، ستون‌ها و اتصالات آنها در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه، نباید از نیروهای ناشی از تحلیل‌های زیر کوچکتر در نظر گرفته شوند.

الف) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر $R_y F_y A_g$ و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر $1/14 F_{cre} A_g$ می‌باشد.

ب) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر $R_y F_y A_g$ و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر $0/3\times 1/14 F_{cre} A_g$ می‌باشد.

که در آن:

R_y: نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند مطابق جدول (۹-۱) درسنامه

F_y: تنش تسلیم فولاد مهاربند

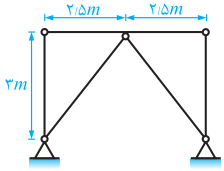
A_g: سطح مقطع کلی عضو مهاربندی

F_{cre}: تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کمانش، مطابق ضوابط فصل (۳) درسنامه با این شرط که در آن بجای F_y از $R_y F_y$ استفاده شده باشد.

نکته

در مورد حالت‌های (الف) و (ب) برای کنترل تیرها در قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه، می‌توان گفت که حالت (الف) بیشترین نیروی محوری در تیر را نتیجه می‌دهد و حالت (ب) بیشترین نیروی برشی و لنگر خمشی در تیر را تعیین می‌کند.

تمرین ۱: مهاربندهای همگرای ویژهٔ نشان داده شده در شکل زیر، مربوط به یک ساختمان فولادی مقاوم در برابر زلزله هستند که از مقطع لوله‌ای به قطر خارجی $160\ mm$ و ضخامت $5\ mm$ تشکیل شده‌اند. چنانچه تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کمانش این مهاربندها $F_{cre} = 217\ MPa$ باشد، حداقل مقاومت خمشی طراحی تیر طبقه (با صرف‌نظر از اثر بارهای ثقلی) به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ ($F_y = 240\ MPa$) (پایه ۳ - مرداد ۹۴)



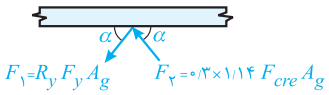
۱) $530\ kN.m$

۲) $700\ kN.m$

۳) $115\ kN.m$

۴) $0\ kN.m$

حل: با توجه به توضیحات درسنامه، نیروهای نامتوازن نشان داده شده در شکل زیر که براساس حالت (ب) در بند (۴-A) هستند، باید برای محاسبهٔ حداقل مقاومت خمشی طراحی تیر طبقه در نظر گرفته شوند. حال پارامترهای مورد نیاز برای محاسبهٔ نیروهای F_1 و F_2 را تعیین کرده و داریم:



$R_y = 1/25$ (براساس جدول ۹-۱ درسنامه)

قطر خارجی لوله: $D_{out} = 160\ mm$

قطر داخلی لوله: $D_{in} = D_{out} - 2t = 160 - 2\times 5 = 150\ mm$

مساحت مقطع لوله: $A_g = \frac{\pi}{4}(D_{out}^2 - D_{in}^2) = \frac{\pi}{4}(160^2 - 150^2) = 2434/7\ mm^2$

$F_1 = R_y F_y A_g = 1/25\times 240\times 2434/7 = 730410\ N = 730/41\ kN$

$F_2 = 0/3\times 1/14 F_{cre} A_g = 0/3\times 1/14\times 217\times 2434/7 = 180688/8\ N = 180/691\ kN$