



سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

اصول طراحی سازه‌های فولادی ۱ و ۲

مجموعه مهندسی عمران

مؤلف: سلمان سنگی

سنگی، سلمان

اصول طراحی سازه‌های فولادی ۱ و ۲ رشته مهندسی عمران / سلمان سنگی

مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۱

۱۸۶ ص: جدول، نمودار (آمادگی آزمون کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

ISBN: 978-600-458-823-2

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

فارسی - چاپ اول

۱- اصول طراحی سازه‌های فولادی ۱ و ۲ ۲- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی) ۳- آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی

۴- دانشگاه‌ها و مدارس عالی - ایران - آزمون‌ها

سلمان سنگی

ج - عنوان

۷ م ۶ ع/۴/۴ TA

۳۷۸/۱۶۶۴

۸۵/۳۹۷۰۶ م

کتابخانه ملی ایران

نام کتاب: ☒ اصول طراحی سازه‌های فولادی ۱ و ۲

مؤلف: ☒ سلمان سنگی

ناشر: ☒ مشاوران صعود ماهان

نوبت و تاریخ چاپ: ☒ اول / ۱۴۰۱

تیراژ: ☒ ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ☒ ۲۹۰/۰۰۰ ریال

شابک: ☒ ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۲۳-۲

مشاوران صعود ماهان: سپهرودی شمالی - چهارراه میرزا زینالی شرقی - پلاک ۵۱

تلفن: ۸۸۴۰۱۳۱۳

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی آزاد ماهان می‌باشد
و هر گونه اقتباس و کپی‌برداری از این اثر بدون اخذ مجوز پیگرد قانونی دارد.

مقدمه ناشر

آیا آنانکه می‌دانند با آنانکه نمی‌دانند برابرند؟ (قرآن کریم)

پس از حمد و سپاس و ستایش به درگاه بی‌همتای احدیت و درود بر محمد مصطفی، عالی نمونه بشریت که در تاریخ دور تاریخ، بنا به فرمان نافذ صمدیت از میان مردمی برخاست که خود بودند در پست‌ترین حد توحش و ضلال و بربریت و آنگاه با قوانین شامل خویش هم ایشان را راهبری نمود و رهانید از بدویت و استعانت جوییم از قرآن کریم، کتابی که هست جاودانه و بی‌نقص تا ابدیت.

کتابی که در دست دارید آخرین ویرایش از مجموعه کتب خودآموز مؤسسه آموزش عالی آزاد ماهان است که بر مبنای خلاصه درس و تأکید بر نکات مهم و کلیدی و تنوع پرسش‌های چهار گزینه‌ای جمع‌آوری شده است. در این ویرایش ضمن توجه کامل به آخرین تغییرات در سرفصل‌های تعیین شده جهت آزمون‌های ارشد تلاش گردیده است که مطالب از منابع مختلف معتبر و مورد تأکید طراحان ارشد با ذکر مثال‌های متعدد بصورت پرسش‌های چهار گزینه‌ای با کلید و در صورت لزوم تشریح کامل ارائه گردد تا دانشجویان گرامی را از مراجعه به سایر منابع مشابه بی‌نیاز نماید.

لازم به ذکر است شرکت در آزمون‌های آزمایشی ماهان که در جامعه آماری گسترده و در سطح کشور برگزار می‌گردد می‌تواند محک جدی برای عزیزان دانشجو باشد تا نقاط ضعف احتمالی خود را بیابند و با مرور مجدد مطالب این کتاب، آنها را برطرف سازند که تجربه سال‌های مختلف موکد این مسیر به عنوان مطمئن‌ترین راه برای موفقیت می‌باشد.

لازم به ذکر است از پورتال ماهان به آدرس www.mahanportal.ir می‌توانید خدمات پشتیبانی را دریافت دارید.

و نیز بر خود می‌بالیم که همه ساله میزان تطبیق مطالب این کتاب با سؤالات آزمون‌های ارشد- که از شاخصه‌های مهم ارزیابی کیفی این کتاب‌ها می‌باشد- ما را در محضر شما سربلند می‌نماید.

در خاتمه بر خود واجب می‌دانیم که از همه اساتید بزرگوار و دانشجویان ارجمند از سراسر کشور و حتی خارج از کشور و همه همکاران گرامی که با ارائه نقطه نظرات سازنده خود ما را در پربارتر کردن ویرایش جدید این کتاب یاری نمودند سپاسگزاری نموده و به پاس تلاش‌های بی‌چشمداشت، این کتاب را به محضرشان تقدیم نماییم.

مؤسسه آموزش عالی آزاد ماهان

معاونت آموزش

مقدمه مؤلف

سازه‌های فولادی بخشی جدایی‌ناپذیر از علم مهندسی عمران است که بعلت اهمیت آن در سال‌های اخیر بعنوان یکی از مواد آزمون کارشناسی ارشد این رشته تعیین گردیده است. تألیف پیش‌رو با امید کمک به داوطلبین گرامی و آشنایی آنها با چگونگی طرح سؤالات مربوط به این مبحث انجام شده است. ویرایش جدید این کتاب به گونه‌ای تدوین و تکمیل گردیده است که پاسخگوی نیاز دانشجویان و مهندسين داوطلب در این آزمون‌ها باشد. تجربه دو ساله اخیر از حضور مبحث سازه‌های فولادی در آزمون‌های سراسری کارشناسی ارشد مبین توجه طراحان سؤال به مفاهیم اصلی و تعمیق در استفاده از اصول طراحی در حل سؤالات بوده است. کتاب حاضر با تکیه بر این اصل سعی در انتقال مفاهیم طراحی سازه‌های فولادی به کلیه داوطلبین با هر سطح از آمادگی را داشته است. باشد که مطالب بیان شده راهگشای شما عزیزان در آزمون پیش‌رو و همچنین تحصیلات تکمیلی در آینده قرار گیرد. با آرزوی موفقیت همه شما عزیزان. ضمناً خوانندگان محترم این اثر می‌توانند با ارائه نظرات و پیشنهادات و انتقادات به آدرس ایمیل P.N1000@yahoo.com در ارتقا سطح علمی و کیفی این کتاب سهیم باشند.

سلمان سنگی

صفحه	عنوان
۹	فصل اول: کلیات طراحی
۱۱	۱-۱- فولاد
۱۱	۲-۱- تنش‌های پسماند
۱۱	۳-۱- خواص فولاد
۱۲	۴-۱- پدیده خستگی در فولاد
۱۳	۵-۱- محاسن و معایب فولاد
۱۳	۶-۱- اصول طراحی سازه‌ها
۱۴	۷-۱- معیارهای طراحی
۱۶	۸-۱- آیین نامه‌های طراحی
۱۶	۹-۱- ترکیبات بار و ضرایب
۱۶	۱۰-۱- تحلیل سازه
۱۹	سؤالات چهارگزینه‌ای فصل اول
۲۱	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل اول
۲۳	فصل دوم: طراحی اعضای کششی
۲۵	۱-۲- مقدمه
۲۵	۲-۲- ضوابط طراحی اعضای کششی
۳۰	۳-۲- تنش مجاز کششی در میلگردها
۳۰	۴-۲- کنترل لاغری در اعضای کششی
۳۱	سؤالات چهارگزینه‌ای فصل دوم
۳۵	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل دوم
۴۱	فصل سوم: طراحی اعضای فشاری
۴۳	۱-۳- کلیات
۴۳	۲-۳- معیار طراحی اعضای فشاری
۴۴	۳-۳- بار بحرانی ستون‌های واقعی
۵۱	۴-۳- ضوابط طراحی اعضای فشاری بر مبنای آیین‌نامه
۵۲	۵-۳- طراحی ستون‌های مرکب
۵۴	سؤالات چهارگزینه‌ای فصل سوم
۶۴	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل سوم

فصل چهارم: طراحی تیرها	۷۳
۱-۴- تیر	۷۵
۲-۴- خمش الاستیک	۷۵
۳-۴- خمش غیرالاستیک	۷۶
۴-۴- مقاطع فشرده و غیرفشرده	۷۷
۵-۴- اثر $P - \Delta$	۷۹
۶-۴- کمانش جانبی - پیچشی در تیرها	۸۰
۷-۴- طراحی تیرهای نعل درگاهی	۸۰
۸-۴- کنترل برش در تیرها	۸۰
۹-۴- کنترل تغییر مکان تیرها	۸۱
۱۰-۴- لهیدگی بین جان و بال در تیرها	۸۱
۱۱-۴- طراحی تیرهای تقویت شده با ورق	۸۲
۱۲-۴- باز توزیع لنگر در آیین‌نامه فولاد	۸۴
۱۳-۴- طراحی تیر تحت خمش دو محوره	۸۴
۱۴-۴- تیرهای مرکب	۸۵
۱۵-۴- تیرهای لانه زنبوری	۸۷
۱۶-۴- پیچش در تیر	۸۷
سؤالات چهارگزینه‌ای فصل چهارم	۸۹
پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل چهارم	۹۶
فصل پنجم: طراحی تیر - ستون‌ها	۱۰۳
۱-۵- تیر - ستون‌ها	۱۰۵
۲-۵- ضوابط طراحی تیر - ستون‌ها	۱۰۵
سؤالات چهارگزینه‌ای فصل پنجم	۱۰۸
پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل پنجم	۱۱۰
فصل ششم: طراحی صفحات زیر ستون	۱۱۳
۱-۶- رفتار صفحات زیر ستون	۱۱۵
۲-۶- نحوه اجرای صفحه زیر ستون	۱۱۶
۳-۶- توزیع تنش بین صفحه زیر ستون و پی	۱۱۶
۴-۶- تنش‌های موجود و مجاز در صفحات زیر ستون و پی	۱۱۷
۵-۶- ضوابط طراحی صفحات زیر ستون تحت تأثیر نیروی محوری و لنگر خمشی	۱۱۹
۶-۶- تقویت صفحات زیر ستون	۱۲۱
سؤالات چهارگزینه‌ای فصل ششم	۱۲۳
پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل ششم	۱۲۵
فصل هفتم: اتصالات پیچی	۱۲۷
۱-۷- وسایل اتصالات (پیچ و پرچ)	۱۲۹
۲-۷- بار گواه	۱۲۹
۳-۷- اتصالات اصطکاکی	۱۲۹
۴-۷- تنش‌های اسمی	۱۲۹
۵-۷- ترکیب نیروی برشی و لنگر پیچشی	۱۳۱
۶-۷- ترکیب نیروی برشی و نیروی کششی	۱۳۳
۷-۷- ترکیب نیروی برشی و لنگر خمشی	۱۳۴
سؤالات چهارگزینه‌ای فصل هفتم	۱۳۵

۱۳۷	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل هفتم
۱۴۱	فصل هشتم: اتصالات جوشی
۱۴۳	۸-۱- روش‌های جوشکاری
۱۴۳	۸-۲- انواع اتصالات جوشی
۱۴۴	۸-۳- انواع جوش
۱۴۴	۸-۴- سطح مؤثر جوش
۱۴۵	۸-۵- تنش مجاز جوش
۱۴۵	۸-۶- ارزش جوش
۱۴۶	۸-۷- جوش متعادل
۱۴۷	۸-۸- اتصالات جوشی با برون محوری
۱۴۹	سؤالات چهارگزینه‌ای فصل هشتم
۱۵۳	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای فصل هشتم
۱۵۹	سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۸۹
۱۶۱	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۸۹
۱۶۳	سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۰
۱۶۵	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۰
۱۶۷	سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۱
۱۶۹	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۱
۱۷۱	سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۲
۱۷۳	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۲
۱۷۶	سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۳
۱۷۸	پاسخ سؤالات چهارگزینه‌ای آزمون سراسری سال ۹۳
۱۸۰	منابع و مآخذ

کلیات طراحی

عناوین اصلی

- ❖ مشخصات فولاد
- ❖ معیارهای طراحی سازه‌های فولادی
- ❖ آیین نامه‌های طراحی

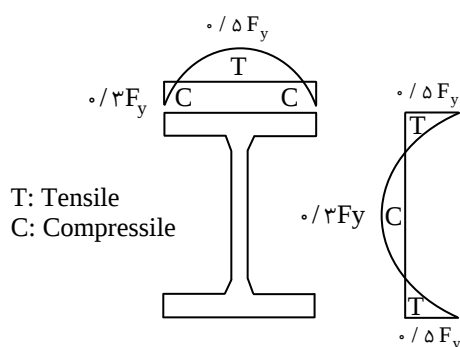
فصل اول

کلیات طراحی

۱-۱- فولاد

امروزه متداول‌ترین روش در طراحی سازه‌ها استفاده از فولاد به عنوان ماده تشکیل‌دهنده عضو باربر است. فولاد ماده‌ای نسبتاً یکنواخت و همگن است که به صورت سنگ آهن به وفور در طبیعت یافت می‌شود. از سنگ آهن توسط عمل احیا در کوره‌های بلند، آهن خام تولید کرده و پس از دفع مواد زائد و افزودن عناصری به آن، آلیاژهای مختلف فولاد تهیه می‌شود. کربن، نقش اساسی در خواص مکانیکی فولاد دارد. افزایش کربن باعث افزایش مقاومت و تنش تسلیم فولاد، و کاهش خاصیت شکل‌پذیری آن می‌شود. آلیاژهایی که تا حدود ۰.۲٪ وزن خود، کربن دارند را فولاد، و آلیاژهایی که بیش از ۰.۲٪ وزن آنها را کربن تشکیل داده، چدن نامیده می‌شوند. افزایش کربن علاوه بر ایجاد تردی و شکنندگی باعث کاهش استقامت آن در برابر ضربه‌های دینامیکی شده و خاصیت جوش‌پذیری آن را نیز کاهش می‌دهد.

۱-۲- تنش‌های پسماند

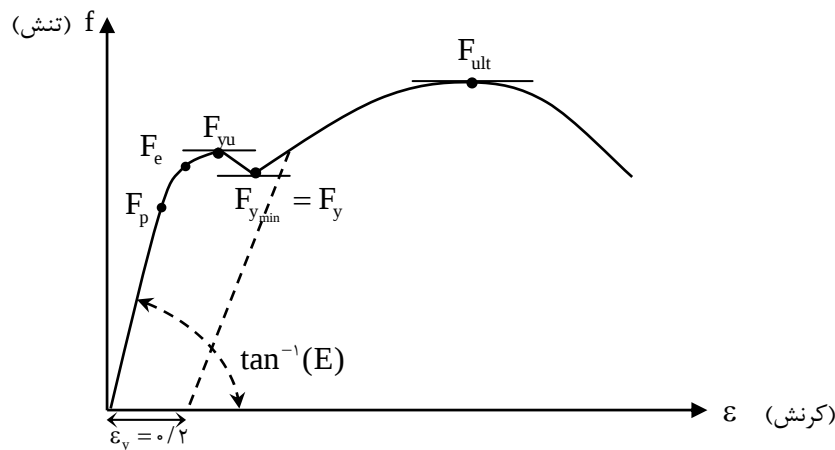


شکل ۱-۱- توزیع تنش پسماند در یک مقطع I شکل

طی عملیات نورد فولاد و در اثر سرد شدن تدریجی و غیریکنواخت، در قسمت‌های مختلف یک پروفیل تنش‌های پسماند به وجود می‌آیند. در نقاط بیرونی و لبه‌های آزاد، روند سرد شدن زودتر انجام شده و در مقاطع درونی و محل‌های اتصال گرمای خود را به کندی به لبه‌های بیرونی منتقل می‌کنند. بنابراین در نقاط بیرونی و لبه‌های آزاد تنش فشاری و در نواحی داخلی تنش کششی به وجود می‌آیند. بسته به نوع طراحی، تنش پسماند می‌تواند در جهت اطمینان و یا عکس آن عمل کند و بنابراین در طرح‌های مهم باید مورد توجه قرار گیرند. نحوه توزیع تنش‌های پسماند در یک مقطع I شکل در زیر نشان داده شده است:

۱-۳- خواص فولاد

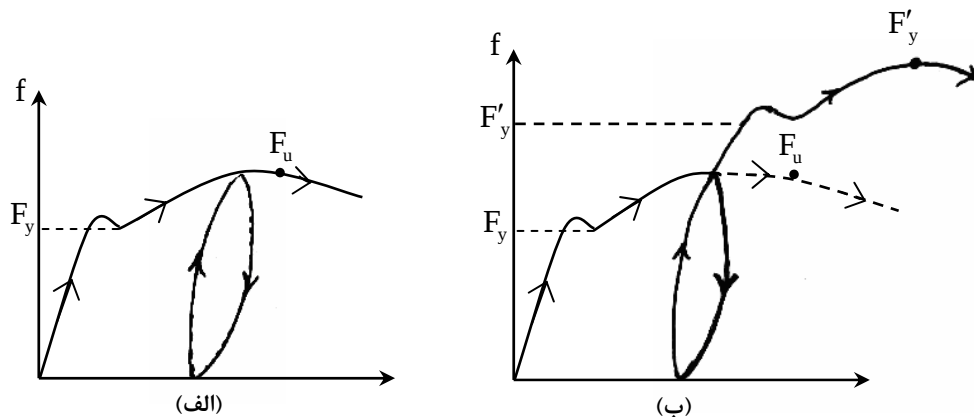
مهم‌ترین وجه تمایز فولادهای مختلف، نمودار تنش - کرنش است که براساس آزمایش کشش بدست می‌آید. اما بطور کلی همگی از الگوی یکسانی در طول روند گسیخته شدن پیروی می‌کنند. بطور کلی نمودار تنش - کرنش برای فولادهای مختلف به شکل زیر است:



شکل ۱-۲ - نمودار تنش - کرنش فولاد

F_p : حد تناسب تنش (proportional limit). رفتار سازه تا این نقطه الاستیک خطی بوده و از قانون هوک پیروی می‌کند.
 F_e : حدالاستیک تنش (Elastic Limit). رفتار سازه تا این نقطه الاستیک (خطی و غیرخطی) است.
 F_{yu} : حد بالایی تسلیم.
 F_y : حد پایینی تسلیم. این مقدار مشخصه اصلی فولاد را بیان می‌کند و ضوابط آیین‌نامه‌ها براساس این تنش استوار است.
 F_u : تنش نهایی (Ultimate Stress).
 ϵ_y : کرنش در شروع ناحیه پلاستیک.

یکی دیگر از خواص فولاد تفاوت نمودار تنش - کرنش آن در هنگام بارگذاری و باربرداری در یک دوره استراحت کوتاه و طولانی است. چنانچه تنش فولاد از حد الاستیک فراتر نرود، نمودار باربرداری بر بارگذاری منطبق خواهد بود، در غیر این صورت چنانچه فولاد بیش از تنش الاستیک بارگذاری شود، سپس باربرداری شود و پس از مدت کوتاهی مجدداً بارگذاری شود نمودار تنش - کرنش آن مطابق شکل ۱-۳ الف خواهد بود. در حالی که اگر پس از مدت طولانی مجدداً بارگذاری شود به علت پدیده کهنولت یا ماندگاری کرنش تنش تسلیم (F_y) و تنش نهایی (F_u) افزایش یافته و میزان شکل پذیری آن کاهش می‌یابد. (شکل ۱-۳ ب)



شکل ۱-۳ - نمودار تنش کرنش فولاد پس از باربرداری و بارگذاری مجدد

۴-۱ - پدیده خستگی در فولاد

سازه‌های فولادی که تحت تأثیر نیروهای متناوب در طول زمان بهره‌برداری خود قرار می‌گیرند، هنگامی که تعداد تناوب بارهای اعمالی زیاد می‌شود، بدون اینکه تنش ایجاد شده در آنها از حد تنش تسلیم فراتر رود، دچار گسیختگی و شکست می‌شوند. به این پدیده «خستگی فولاد» گفته می‌شود.



مقاومت خستگی یک سازه فولادی به نحوه بارگذاری و تعداد تناوب آن و به عیوبی که ناشی از شیار، ترک و وجود عناصر نامطلوب تشکیل‌دهنده فولاد است بستگی دارد. کنترل پدیده خستگی در طراحی‌ها، براساس تفاوت تنش‌های حداکثر و حداقل ایجاد شده در سازه و تکرار بار انجام می‌گیرد. برای این منظور غالباً از نمودار خستگی موسوم به نمودار وُلر (woehler) استفاده می‌شود.

۱-۵- محاسن و معایب فولاد

۱-۵-۱- محاسن فولاد به عنوان یک ماده باربر

مقاومت زیاد: از خصوصیات مهم فولاد مقاومت زیاد است که در نتیجه آن وزن سازه و نیروی زلزله کاهش می‌یابد. بنابراین این ماده برای ساختمان‌های بلند، پل‌های بزرگ و بطور کلی سازه‌هایی که نیاز به وزن کم، و یا شرایط فوندانسیون ضعیفی دارند مناسب است.

یکنواختی و دوام: به علت یکنواختی ملکولی و خواص فولاد، مقاومت آن با گذشت زمان تغییر چندانی نداشته و پدیده خزش در آن رخ نمی‌دهد. (برخلاف بتن)

قابلیت الاستیک: پیروی از قانون هوک حتی در تنش‌های زیاد باعث می‌شود رفتار فولاد و تغییر شکل‌ها با دقت مناسبی قابل پیش‌بینی باشد.

قابلیت چکش خواری: فولاد در اثر تنش‌های زیاد، با کاهش سطح مقطع و افزایش طول، تنش‌ها را تحمل کرده و از شکست ناگهانی سازه جلوگیری می‌کند. به این خاصیت فولاد، قابلیت چکش خواری گفته می‌شود.

قابلیت تهیه و توسعه سریع: کاهش زمان ساخت و در نتیجه آن کاهش هزینه اجرای طرح با توجه به امکان تهیه سریع سازه‌های فولادی میسر خواهد بود. تهیه اجزای سازه‌ای در کارگاه‌ها و حمل آن به محل پروژه و از طرفی قابلیت جوشکاری فولاد از جمله مواردی است که موجب توسعه سریع سازه‌های فولادی شده است.

۱-۵-۲- معایب فولاد

هوازدگی: قرار گرفتن فولاد در معرض هوا موجب خوردگی و فرسایش آن می‌شود. افزودن مس به فولاد و رنگ‌آمیزی آن از راه‌های جلوگیری از هوازدگی است.

مقاوم نبودن در برابر آتش سوزی: فولاد در اثر گرمای زیاد مقاومت خود را از دست داده و مدول الاستیسیته آن به شدت کاهش می‌یابد.

حساسیت در برابر کمانش: مقاومت بالای فولاد منجر به طراحی مقاطع لاغر خواهد شد. لاغر شدن اعضای فشاری باعث پدیده‌ای به نام کمانش می‌شود که در طراحی‌ها به عنوان یک معیار کنترل‌کننده باید بررسی شود.

۱-۶- اصول طراحی سازه‌ها

هدف از طراحی یک سازه، ارائه راه‌حل بهینه براساس معیارهای قیمت، وزن، مدت زمان ساخت و نیروی انسانی همراه با حداکثر بهره‌دهی است. مراحل انجام طراحی یک سازه پس از تهیه نقشه بطور کلی بصورت زیر است:

۱- تعیین نیروها و بارهای وارده به سازه: بسته به مکان و کاربری سازه نیروهای وارده از قبیل بار مرده، بار زنده، زلزله و غیره تعیین شده و به سازه اعمال می‌شود. بارگذاری سازه با توجه به توصیه‌های آیین‌نامه طراحی انجام می‌شود که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

۲- تعیین ابعاد اولیه اعضای سازه: ابعاد اولیه با توجه به کلیات علم مکانیک جامدات و ضوابط آیین‌نامه و همچنین براساس تجربه طراح تعیین می‌شوند.

۳- تحلیل سازه: با توجه به ابعاد فرضی و همچنین بارگذاری، سازه موردنظر برای تعیین نیروها و تغییر شکل‌ها تحلیل می‌شود. بطور کلی این کار توسط نرم‌افزارهای موجود صورت می‌گیرد، اما در تحلیل سازه‌های مورد سؤال کنکور و این کتاب از روابط و روش‌های بیان شده در درس تحلیل سازه استفاده می‌شود. جهت تسریع و تسهیل دسترسی به این بخش روابط مربوط به

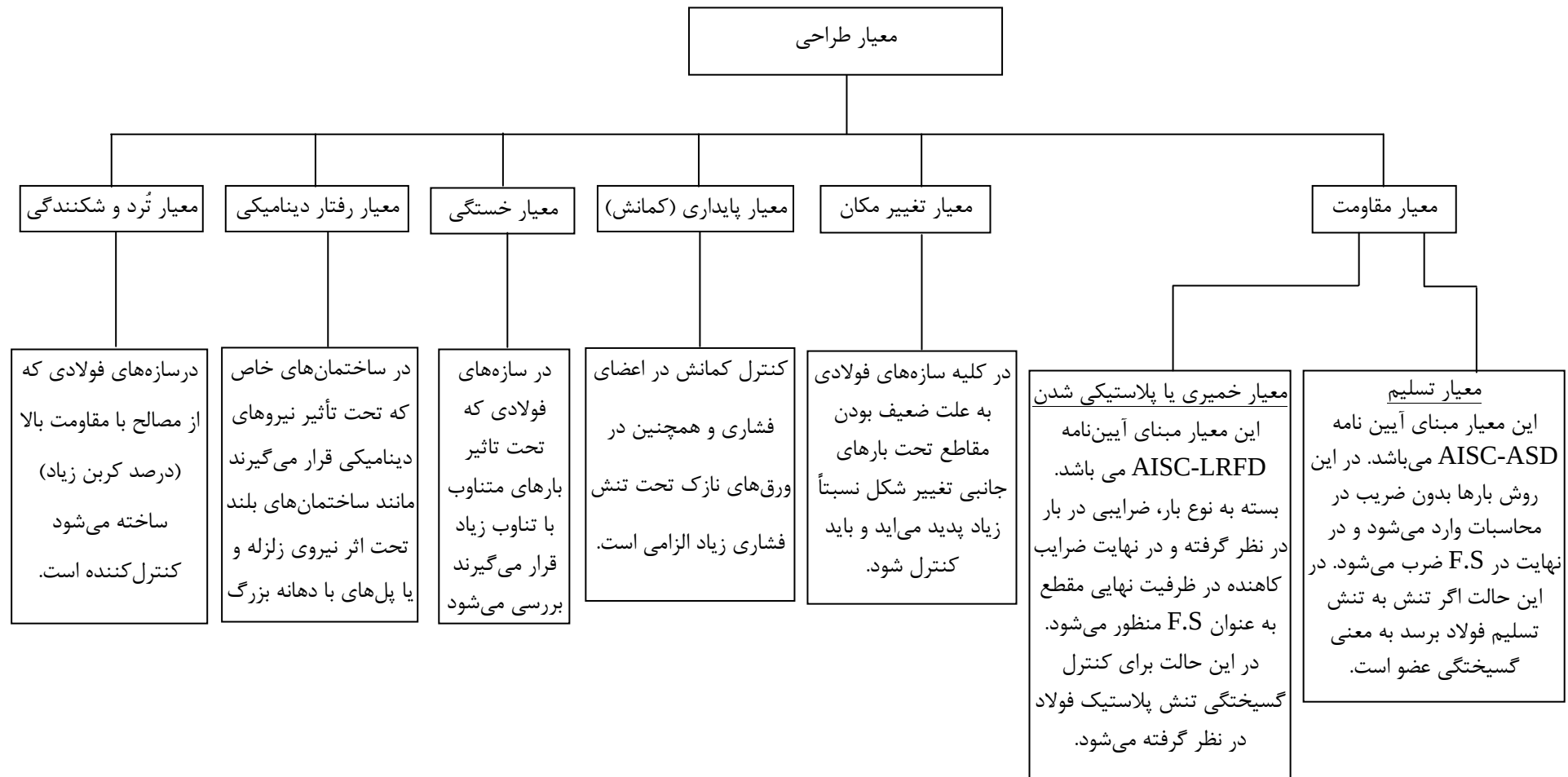


تیرهای مهم در حالات خاص در ادامه این فصل آمده است.

۴- طراحی اعضای سازه: طراحی اعضای سازه، با توجه به نیروها و تغییر مکان‌های بدست آمده از بخش تحلیل سازه انجام شده و با ابعاد فرضی اولیه مقایسه می‌شود. در صورت مغایرت در ابعاد، مراحل فوق تا زمانی که به همگرایی در ابعاد برسیم تکرار شده و در نهایت با توجه به محدودیت‌های اجرایی نقشه‌های طرح تهیه می‌شوند.

۷-۱- معیارهای طراحی

در طراحی سازه‌ها بایستی معیارهایی بعنوان ضوابط طراحی در نظر گرفت و بر مبنای آنها مشخصات و ابعاد اعضای باربر را مشخص کرد. ترتیب اهمیت این معیارها بستگی به جنس، نوع و کاربری سازه دارد. معیارهای کلی طرح یک سازه فولادی در نمودار زیر بیان شده‌اند:





۸-۱- آیین‌نامه‌های طراحی

مهمترین آیین‌نامه‌ای که حاوی ضوابط طراحی سازه‌های فولادی است، آیین‌نامه AISC در کشور آمریکا است. این آیین‌نامه ضوابط خود را براساس معیار تسلیم به نام ASD و همچنین براساس معیار پلاستیک به نام LRFD ارائه داده است. در فرمول‌بندی به روش ASD تنش‌های حاصل از تحلیل سازه (f) با تنش‌های مجاز (F) مقایسه می‌شود. مقدار F مجاز از طریق معیارهای تسلیم، پایداری و دیگر معیارها همراه با اعمال ضرایب اطمینان مناسب توسط آیین‌نامه بدست می‌آید. در این مقایسه رابطه زیر باید برقرار باشد:

$$f \leq F$$

در روش LRFD نیروهای داخلی اعضا، بدست آمده از تحلیل سازه (Q_i) و در اثر بارهای وارده به ساختمان که در ضرایب بار (γ_i) ضرب شده‌اند با مقاومت نهایی مقطع (R_n) که با اعمال ضریب اطمینان (ϕ) مناسب کاهش یافته است، مقایسه می‌شوند. در این مقایسه رابطه زیر باید برقرار باشد:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

۹-۱- ترکیبات بار و ضرایب

آیین‌نامه AISC-LRFD ضرایب بار γ_i را برای انواع ترکیبات بار بصورت زیر ارائه داده است:

$$۱) ۱/۴D$$

$$۲) ۱/۲D + ۱/۶D + ۰/۵S$$

$$۳) ۱/۲D + ۱/۶S + (۰/۸W_{۱۰} + ۰/۵L)$$

$$۴) ۱/۲D + ۱/۳W + ۰/۵L + ۰/۵S$$

$$۵) ۱/۲D + ۱/۵E + (۰/۵L_{۱۰} + ۰/۲S)$$

$$۶) ۰/۹D - (۱/۳W_{۱۰} + ۰/۵E)$$

که در این روابط:

D: بارمرده

L: بارزنده

W: بارباد

S: باربرف

E: بار زلزله

مقادیر ضرایب اطمینان در طراحی به روش AISC-LRFD به صورت زیر است:

$$\phi = \phi_t = ۰/۷۵ \text{ برای شکست عضو در کشش}$$

$$\phi = \phi_t = ۰/۹ \text{ برای تسلیم عضو در کشش}$$

$$\phi = \phi_c = ۰/۸۵ \text{ برای اعضای فشاری}$$

$$\phi = \phi_b = ۰/۹ \text{ برای اعضای خمشی}$$

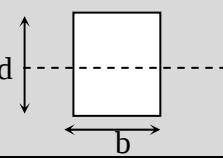
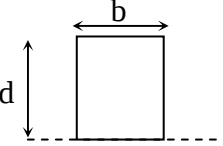
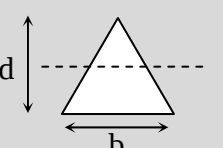
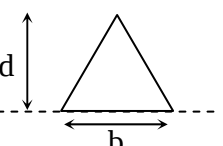
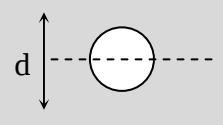
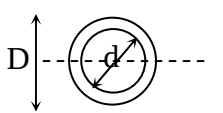
$$\phi = \phi_v = ۰/۹ \text{ برای برش}$$

۱۰-۱- تحلیل سازه

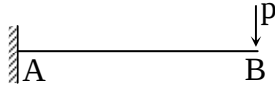
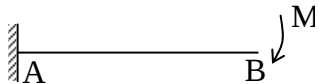
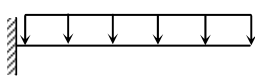
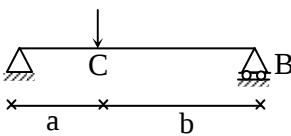
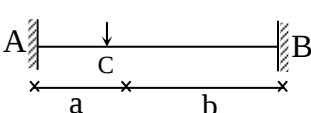
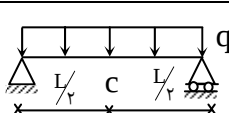
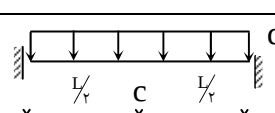
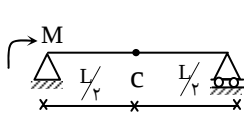
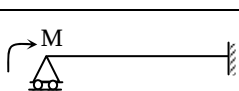
دانستن مباحثی از درس مقاومت مصالح و تحلیل سازه‌ها برای حل مسائل طراحی سازه‌های فولادی الزامی است. توصیه می‌شود از جداول زیر روابط مهم حفظ شود:



جدول ۱- مقادیر ممان اینرسی (I)، اساس مقطع (S) و شعاع ژیراسیون (r) برای مقاطع مختلف

شعاع ژیراسیون (r)	اساس مقطع (S)	ممان اینرسی (I)
$\frac{d}{\sqrt{12}}$	$\frac{bd^3}{6}$	$\frac{bd^3}{12}$ 
$\frac{d}{\sqrt{3}}$	$\frac{bd^3}{3}$	$\frac{bd^3}{3}$ 
$\frac{d}{\sqrt{18}}$	$\frac{bd^3}{24}$	$\frac{bd^3}{36}$ 
$\frac{d}{\sqrt{6}}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^3}{12}$ 
$\frac{d}{4}$	$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi d^4}{64}$ 
$\frac{\sqrt{D^4 + d^4}}{4}$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D}$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ 

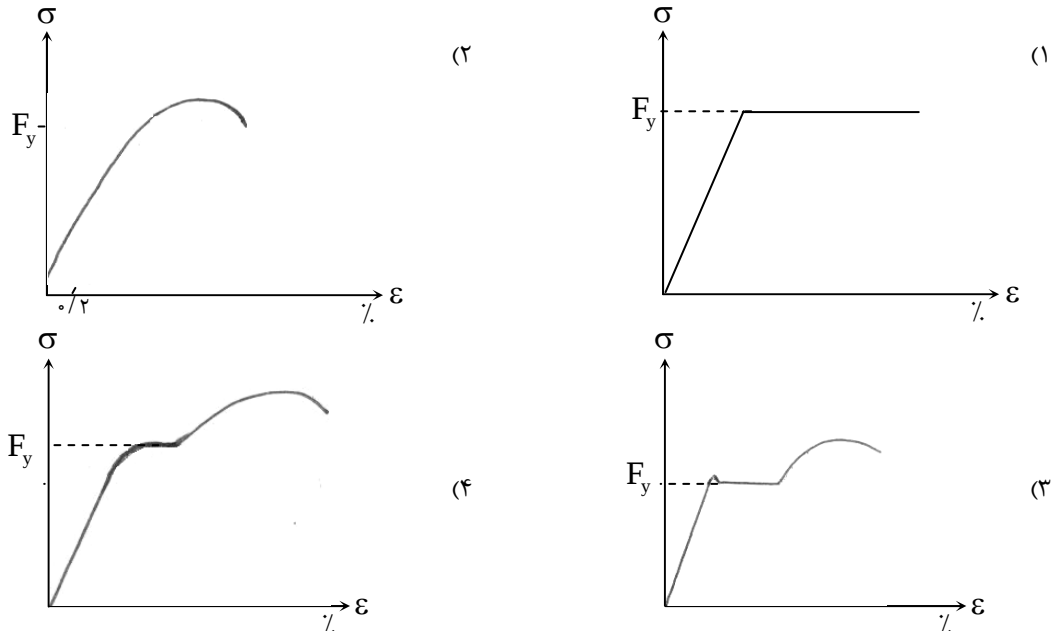
جدول ۲- روابط تیرهای مهم

۱) 	$\Delta_B = \frac{PL^3}{3EI}$, $\theta_B = \frac{PL^2}{2EI}$
۲) 	$\Delta_B = \frac{ML^3}{6EI}$, $\theta_B = \frac{ML}{EI}$
۳) 	$\Delta_B = \frac{qL^4}{8EI}$, $\theta_B = \frac{qL^3}{6EI}$
۴) 	$\Delta_C = \frac{Pa^3b^3}{3EIL}$, $\theta_A = \frac{Pab(L+b)}{2EIL}$, $\theta_B = \frac{Pab(L+a)}{2EIL}$
۵) 	$\Delta_C = \frac{Pa^3b^3}{3EIL^3}$
۶) 	$\Delta_C = \frac{5qL^4}{384EI}$, $\theta_A = \theta_B = \frac{qL^3}{24EI}$
۷) 	$\Delta_C = \frac{qL^4}{384EI}$, $M_A = M_B = \frac{qL^2}{12}$
۸) 	$\Delta_C = \frac{ML^3}{16EI}$, $\theta_A = \frac{ML}{3EI}$, $\theta_B = \frac{ML}{6EI}$
۹) 	$\theta_A = \frac{ML}{3EI}$, $M_B = \frac{M}{2}$



سؤالات چهار گزینه‌ای فصل اول

۱- نمودار تنش- کرنش حاصل از انجام آزمایش کشش بر روی مقطع کامل یک نبشی شکل داده شده با نورد گرم از فولاد نرمه ساختمانی به کدامیک از شکل‌های زیر شبیه می‌باشد؟ (سراسری ۸۲)



۲- کدامیک از جملات زیر در مورد فولاد ساختمانی صحیح است؟ (سراسری ۷۷)

- (۱) هر چه مقاومت نهایی نسبت به مقاومت جاری شدن فولاد بزرگتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.
- (۲) هر چه تغییر شکل نسبی نظیر گسیختگی فولاد بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.
- (۳) هر چه سطح زیر منحنی تنش- کرنش فولاد از شروع بارگذاری تا نقطه گسیختگی بزرگتر باشد شکل‌پذیری بیشتر است.
- (۴) هر چه میزان کربن، فسفر و گوگرد در آلیاژ فولاد بیشتر باشد، شکل‌پذیری آن بیشتر است.

۳- با افزایش مقدار کربن در آلیاژ فولاد: (سراسری ۷۰)

- (۱) جوش‌پذیری فولاد بهتر می‌شود.
- (۲) فولاد شکننده شده و مقاومت آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.
- (۳) فولاد شکننده شده و تغییر شکل‌پذیری آن افزایش یافته و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.
- (۴) هیچ تأثیری در خواص فولاد به وجود نمی‌آید.

۴- چنانچه فولاد در برابر حرارت قرار گیرد: (آزاد ۸۱)

- (۱) مقاومت تسلیم آن کاهش می‌یابد.
- (۲) مقاومت تسلیم آن افزایش می‌یابد.
- (۳) در مقاومت تسلیم آن تغییری ایجاد نمی‌شود.
- (۴) مقاومت تسلیم آن به حد جاری شدن می‌رسد.

۵- پدیده خستگی در اثر: (آزاد ۸۱)

- (۱) افزایش بارزننده بوجود می‌آید.
- (۲) تکرار بارگذاری به وجود می‌آید.
- (۳) بار دائمی به وجود می‌آید.
- (۴) بار موقت ضربه به وجود می‌آید.

۶- افزایش درصد کربن در فولاد باعث: (نظام مهندسی)

- (۱) افزایش مقاومت فولاد می‌شود.
- (۲) افزایش قابلیت شکل‌پذیری فولاد می‌شود.
- (۳) افزایش قابلیت جوش‌پذیری فولاد می‌شود.
- (۴) افزایش مقاومت و قابلیت شکل‌پذیری فولاد می‌شود.



۷- افزایش کدام عنصر آلیاژی در فولاد باعث افزایش مقاومت فولاد در برابر خوردگی می‌شود؟ (نظام مهندسی)

(۱) کربن (۲) فسفر (۳) سلیسیوم (۴) کربن و سلیسیوم

۸- افزایش مقدار کربن در فولاد کلیه خواص زیر را در فولاد افزایش می‌دهد، به استثنای: (نظام مهندسی)

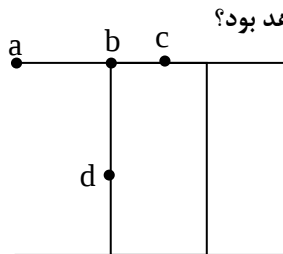
(۱) تنش جاری شدن (۲) قابلیت جوش‌پذیری (۳) مقاومت در برابر زنگ زدگی (۴) مقاومت

۹- کدامیک از عوامل زیر منجر به خستگی (Fatigue) در سازه‌های فولادی نمی‌گردد؟ (نظام مهندسی)

(۱) اعمال بارهای متناوب با دامنه متغیر (۲) اعمال بارهای استاتیکی در درجه حرارت بالا (۳) اعمال بارهای متناوب با دامنه ثابت و درجه حرارت بالا (۴) اعمال بارهای استاتیکی در درجه حرارت متغیر

۱۰- اگر فولاد نرمه را تا پایان مرحله جاری شدن (تسلیم) تحت کشش قرار دهیم و بعد آزاد کنیم: (نظام مهندسی)

(۱) فولاد مقاومت خود را از دست می‌دهد. (۲) فولاد مقاومت بیشتری را بدست می‌آورد. (۳) در مقاومت فولاد تغییری به وجود نمی‌آید. (۴) ضریب ارتجاعی فولاد تغییر نمی‌یابد.



۱۱- در مقطع قوطی ساخته شده از ورق به شکل زیر، تنش‌های پسماند حرارتی به چه نحوی خواهد بود؟

- (۱) فشار در b و d
(۲) فشار در b و کشش در c و d
(۳) کشش در b و فشار در d
(۴) کشش در a و c



پاسخ سؤالات چهار گزینه‌ای فصل اول

- ۱- گزینه ۴ صحیح است.
با توجه به نمودار تنش کرنش فولاد نرمه ساختمانی (شکل ۱-۲) که بیان شد گزینه ۴ صحیح می‌باشد. اختلاف بین این دو نمودار در قسمت غیر خطی آنهاست که ناشی از وجود تنش‌های پسماند در نبشی پس از نورد گرم و جاری شدن غیر یکنواخت قسمت‌های مختلف مقطع نبشی می‌باشد.
- ۲- گزینه ۲ صحیح است.
هر چه میزان کربن موجود در فولاد بیشتر باشد، مقاومت نهایی بیشتر و شکل‌پذیری کمتر خواهد شد بنابراین گزینه ۱ و ۴ صحیح نمی‌باشد. از طرفی هرچه کرنش گسیختگی نسبت به کرنش جاری شدن بیشتر باشد، سطح زیر منحنی از نقطه جاری شدن (و نه نقطه شروع بارگذاری) تا نقطه گسیختگی بیشتر و در نتیجه شکل‌پذیری بیشتر است.
- ۳- گزینه ۲ صحیح است.
طبق آنچه بیان شد با افزایش درصد کربن در فولاد، مقاومت افزایش؛ شکل‌پذیری و جوش‌پذیری کاهش یافته و فولاد ترد و شکننده می‌شود.
- ۴- گزینه ۱ صحیح است.
طبق مطالب بیان شده، از جمله معایب فولاد، کاهش مقاومت تسلیم در اثر افزایش حرارت است بطوری‌که در دمای بالا فولاد در اثر تنش کمتر از حد جاری شدن خود شروع به جاری شدن می‌کند و در نتیجه تسلیم می‌شود.
- ۵- گزینه ۲ صحیح است.
با توجه به توضیحات متن درس در اثر تناوب و تکرار بارگذاری در فولاد، پدیده‌ای به نام خستگی بوجود می‌آید که در طراحی سازه‌هایی که تحت اثر بار متناوب قرار دارند کنترل‌کننده است.
- ۶- گزینه ۱ صحیح است.
به تست شماره ۳ رجوع شود.
- ۷- گزینه ۴ صحیح است.
هر دو عامل کربن و سلیسیوم باعث افزایش مقاومت خوردگی فولاد و همچنین افزایش تنش جاری شدن می‌شوند.
- ۸- گزینه ۲ صحیح است.
با افزایش مقدار کربن، فولاد شکننده شده و قابلیت جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد.
- ۹- گزینه ۲ صحیح است.
درجه حرارت متغیر همانند بار متناوب عمل کرده و هر چند بارگذاری استاتیکی باشد تغییرات درجه حرارت باعث تغییر در کرنش و در نتیجه اثری شبیه به بار متناوب داشته و باعث خستگی در فولاد می‌شود.
- ۱۰- گزینه ۱ صحیح است.
پایان مرحله جاری شدن همان حد پایینی جاری شدن بوده و در بارگذاری مجدد قبل از آنکه فولاد به حد بالای جاری شدن برسد جاری شده و در نتیجه با وجود اینکه تغییری در مقاومت نهایی به وجود نمی‌آید، باعث کاهش مقاومت جاری شدن فولاد می‌شود.
- ۱۱- گزینه ۳ صحیح است.
با توجه به نمودار تنش‌های پسماند در شکل ۱-۱ در d و a فشار و در b و c کشش به وجود می‌آید.

فصل دوم

طراحی اعضای کششی

عناوین اصلی

- ❖ ضوابط طراحی اعضای کششی
- ❖ میل مهارها
- ❖ لاغری در اعضای کششی

فصل دوم

طراحی اعضای کششی

۲-۱- مقدمه

طراحی اعضای کششی از ساده‌ترین مسائل طراحی سازه است چون تنها معیار مقاومت به عنوان ضابطه اصلی طراحی مطرح است. برای طراحی یک عضو کششی، ابتدا نیروی داخلی عضو (T) توسط روش‌های تحلیل سازه تعیین شده و سپس با استفاده از ضوابط آیین‌نامه طراحی می‌شود.

بطور خلاصه می‌توان اعضای کششی را به چهار دسته تقسیم کرد:

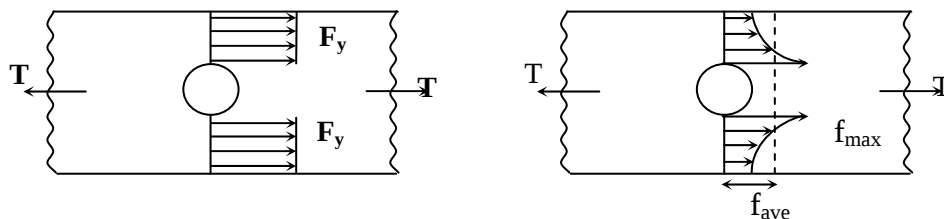
- ۱- سیم‌ها، مفتول‌ها، طناب‌ها و کابل‌های ساختمانی که دارای مقاومت بالا در حدود $\frac{kg}{cm^2} 18000$ بوده و در ساخت پل‌ها، دکل‌ها و جراثقال‌ها بکار می‌روند. لازم به ذکر است که این اعضا در صورتی قادر به باربری هستند که در هنگام استفاده کاملاً کشیده شوند، در غیر اینصورت تحت اثر وزن خود خمیده شده و قادر به باربری نخواهد بود.
 - ۲- میلگردها، تسمه‌ها، نبشی‌ها و ناودانی‌های تکی که به عنوان عنصر کششی با نیروی محوری کم بکار می‌روند.
 - ۳- مقاطع نورد شده به صورت زوج نبشی، سپری، ناودانی و پروفیل‌های I شکل که معمولاً در خرپاها به عنوان عضو اصلی بکار می‌روند.
 - ۴- مقاطع مرکب از نیمرخ‌های نورد شده و ورق که برای تحمل نیروهای بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- بطور کلی انتقال نیرو در یک سازه فولادی بصورت کشش بهترین نوع انتقال نیرو است، چرا که در اعضای کششی پدیده ناپایداری (کمانش کلی و کمانش موضعی) به وجود نمی‌آید و در واقع به همین دلیل است که در طراحی این اعضا معیار مقاومت به تنهایی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲- ضوابط طراحی اعضای کششی

۲-۲-۱- ظرفیت کششی یک صفحه مربع مستطیل

در اعضای کششی فرض توزیع یکنواخت تنش، خصوصاً در تنش‌های بیش از حد جاری شدن، یعنی در منطقه پلاستیک به خوبی صادق است و با اندکی دور شدن از محل اثر بار می‌توان توزیع تنش را بصورت یکنواخت در نظر گرفت. بنابراین مقدار تنش برابر حاصل تقسیم نیرو بر سطح کشیده شده خواهد بود. توزیع تنش در محل سوراخ‌ها در اعضای کششی برای تنش‌های زیر حد پلاستیک به صورت غیر یکنواخت بوده و با رسیدن تنش‌ها به حد پلاستیک مقدار تنش در مقطع ثابت مانده و توزیع تنش بصورت یکنواخت و برابر F_y خواهد بود.

توزیع تنش در اطراف سوراخ در حالت الاستیک و پلاستیک در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



(ب) حالت پلاستیک کامل

(الف) حالت الاستیک

شکل ۱-۲. توزیع تنش در یک عضو تحت کشش در اطراف سوراخ در حالت الاستیک و پلاستیک

البته فرض توزیع تنش یکنواخت در حالت حدی در اطراف سوراخ، تنها در مورد مصالح شکل پذیر و نرم تحت تأثیر بار استاتیکی صادق است و اگر مصالح ترد و شکننده باشند تمرکز تنش در اطراف سوراخ باعث ایجاد ترک و پیشروی آن در طول بارگذاری و در نهایت گسیخته شدن عضو قبل از رسیدن به حد تنش نهایی می شود.

در آیین نامه AISC تنشهای موجود در عضو را با علامت f و تنشهای مجاز را با علامت F نمایش می دهند. برای یک طرح اقتصادی و ایمن باید $f \leq F$ همواره برقرار باشد و تا حد امکان فاصله f و F کاهش یابد. به عبارتی نسبت f به F را به عدد ۱ نزدیک کرد.

ضوابط آیین نامه AISC و همچنین مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران برای طراحی اعضای کششی به شرح زیر است:

$$\begin{cases} f_t = \frac{T}{A_g} \leq F_t = 0.6 F_y \\ f_t = \frac{T}{A_e} \leq F_t = 0.5 F_u \end{cases} \quad (1-2)$$

f_t : تنش موجود کششی.

F_t : تنش مجاز کششی.

T : نیروی کششی وارد به عضو.

A_g : سطح مقطع کل عضو تحت کشش بدون در نظر گرفتن سوراخها. (Gross Area).

A_e : سطح مقطع خالص موثر عضو کششی (Effective Area) که توسط رابطه زیر تعیین می شود:

$$A_e = U.A_n \quad (2-2)$$

U ضریب کاهش است که به نوع مقطع سوراخدار، نحوه آرایش و نوع سوراخها بستگی دارد که بین مقدار ۰/۷۵-۱ می باشد، و

A_n سطح مقطع خالص عضو کششی سوراخدار است (Net Area) که از رابطه زیر تعیین می شود:

$$A_n = (w - n \times d_h) t \quad (3-2)$$

که در این رابطه w عرض صفحه، t ضخامت صفحه، n مقدار سوراخها در یک ردیف و d_h قطر سوراخ است، که می توان با داشتن قطریچ از رابطه زیر مقدار آن را تعیین کرد:

$$d_h = d_b + 3/2 \text{ mm} \quad (4-2)$$

d_b قطریچ و پرچ و عدد ۳/۲ میلیمتر برای منظور کردن اثر لقی پیچ یا پرچ و نیز اثرات خدشه پذیری سوراخ است.

ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای تعیین مقدار U :

۱- برای مقاطع I شکل نظیر IPE, INP و IPB و همچنین مقاطع T که از مقاطع I شکل بوجود آمده باشد به شرطی که اتصال در بال تعبیه شده و حداقل ۳ پیچ یا پرچ در هر خط پیچ در جهت نیرو داشته باشیم $U = 0.85$.

۲- نبشی دو طرف مساوی یا نامساوی که فقط از طریق یک ساق متصل شده باشند $U = 0.85$.

۳- مقام اعضای که اتصالات آنها فقط دارای دو پیچ یا پرچ در جهت تنش باشد $U = 0.75$.

۴- برای اعضای کشش کوتاه مانند اتصالات وصله پیچی و پرچی، $U = 1$ است، اما در هر حال سطح مقطع خالص نباید از ۰/۸۵



مساحت کل بیشتر در نظر گرفته شود:

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad (5-2)$$

۵- در صورتی که قسمتی از اعضای تشکیل دهنده مقطع تحت کشش در انتقال بار سهیم باشند سطح مقطع موثر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_e = U A_g \quad (6-2)$$

که در آن A_g سطح مقطع کل است. در این حالت اگر طول جوش L و پهنای ورق یا تسمه w باشد، آنگاه:

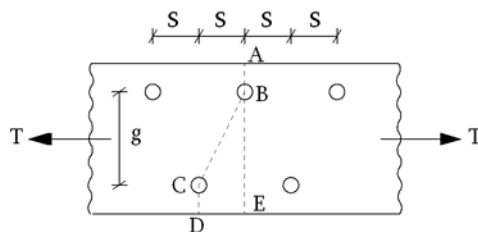
- اگر $w < L < 1.5w$ در این صورت $U = 0.75$.

- اگر $1.5w < L < 2w$ در این صورت $U = 0.85$.

- اگر $L > 2w$ در این صورت $U = 1$.

در هر حال طول جوش‌های اتصال نباید از پهنای تسمه کمتر باشد.

۲-۲-۲- اثر سوراخ‌های زیگزاگ در سطح مقطع خالص



شکل ۲-۲- عضو کششی با سوراخ‌های زیگزاگ

در آن دسته از اعضای کششی که لازم است پیچ‌های اتصال در دو ردیف یا بیشتر وجود داشته باشد، سعی می‌شود که سوراخ‌ها یک در میان و بصورت زیگزاگ تعبیه شود، تا ضعیف شدن و کاهش سطح مقطع حداقل شود. (شکل ۲-۲). بنابراین چنانچه فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر خیلی زیاد نباشد ممکن است گسیختگی در یک مقطع مورب (مقطع ABCD در شکل) رخ دهد.

برای تعیین مقطع بحرانی که در آن گسیختگی رخ می‌دهد، لازم است که دو مقطع ABE با یک سوراخ و ABCD با دو سوراخ را انتخاب و کوچکترین سطح مقطع خالص را به عنوان مقطع بحرانی در محاسبات منظور کرد.

چنانچه فاصله سوراخ‌ها در امتداد بار s و در جهت عمود بر امتداد بار g باشد، می‌توان برای محاسبه سطح مقطع خالص در هر

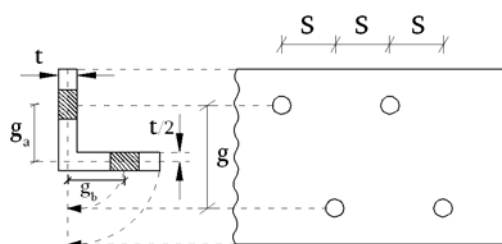
مقطع بحرانی به تعداد قطر سوراخ‌ها از عرض مقطع کسر و به ازای هر مسیر مورب عبارت $\frac{s^2}{4g}$ را به آن اضافه کرد.

$$A_n = \left[w - nd_h + \sum \frac{s^2}{4g} \right] t \quad (7-2)$$

n تعداد سوراخ در مسیر خط گسیختگی می‌باشد.

لازم به ذکر است که به ازای هر خط مورب در مسیر، عبارت $\frac{s^2}{4g}$ به عرض خالص مقطع اضافه شود.

۲-۲-۳- تعیین سطح مقطع خالص در نبشی‌ها



شکل ۲-۳ مقطع گسترش یافته نبشی سوراخ‌دار

معمولاً سوراخ‌های پیچ یا پرچ در روی دو ساق نبشی به صورت زیگزاگی تعبیه می‌شوند. برای کنترل کشش در این مقاطع ابتدا نبشی را در محل تقاطع دو بال و نسبت به امتداد تار میانی ضخامت نبشی گسترش داده، تا به صورت مربع مستطیل درآید. سپس با توجه به مطالب بیان شده در مورد صفحه‌های مربع مستطیل، محاسبات انجام می‌شود (شکل ۲-۳).



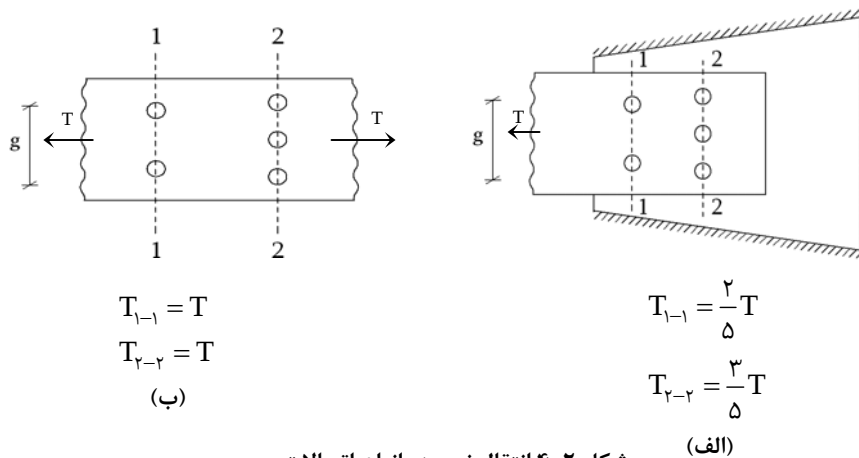
بنابراین فاصله عمودی بین سوراخ‌ها در ساق‌های نبشی (g) برابر خواهد بود با:

$$g = g_a + g_b - t$$

(۸-۲)

۴-۲-۲- انتقال نیرو در اتصال

در صورتی که در اتصال، عضو کششی از دو طرف کشیده شود، نیرو در تمام طول ورق ثابت است و در حالتی که تنها از یک طرف کشیده می‌شود، نیروی کششی در طول عضو تغییر می‌کند. در این حالت فرض می‌شود که نیرو بطور مساوی بین پیچ‌ها تقسیم شده و در طول ورق کاهش می‌یابد. (شکل ۴-۲)

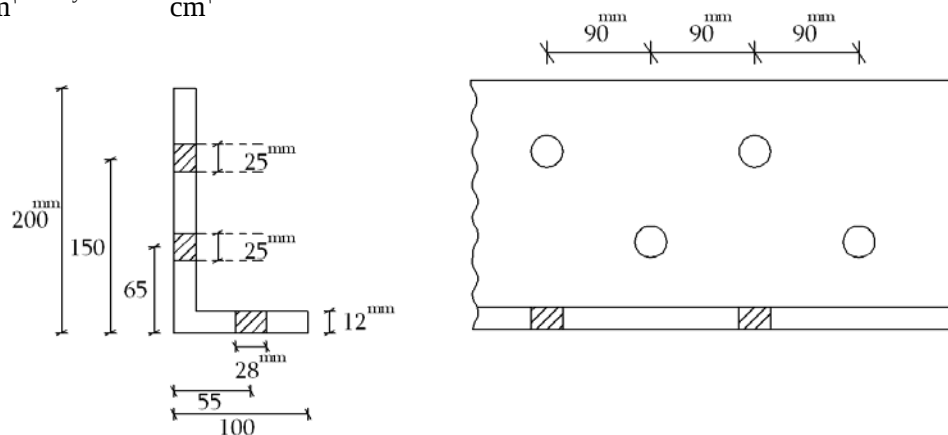


شکل ۴-۲ انتقال نیرو در انواع اتصالات

تمرین: ابعاد یک نبشی دو طرف نامساوی $L_{200 \times 100 \times 12}$ و سوراخ‌های آن در شکل زیر نشان داده شده است. نیروی کششی

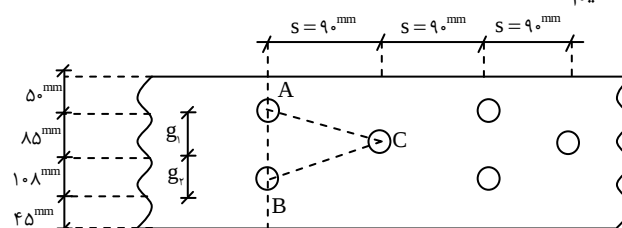
$$(F_u = 4000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, F_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

مجاز این نبشی چقدر است؟



شکل ۵-۲ نبشی سوراخ‌دار $L_{200 \times 100 \times 12}$

حل: قدم اول محاسبه مساحت خالص نبشی است. برای محاسبه A_n دو طرف نامساوی آن را در محل تقاطع دو بال نبشی و در امتداد میان تار آن گسترش می‌دهیم.



شکل ۶-۲ گسترش نبشی $L_{200 \times 100 \times 12}$ در امتداد میان تار ضخامت نبشی.



$$g_1 = 8/5 \text{ cm}$$

$$g_2 = 6/5 + 5/5 - 1/2 = 10/8 \text{ cm}$$

$$w = 5 + 8/5 + 10/8 + 4/5 = 28/8 \text{ cm}$$

$$A_g = \frac{(200 + 100 - 12) \times 12}{100} = 34/56 \text{ cm}^2$$

$$\text{مسیر شکست AB: } A_n = (28/8 - 2/5 - 2/8) \times 1/2 = 28/2 \text{ cm}^2$$

$$\text{مسیر شکست ACB: } A_n = \left[28/8 - (2 \times 2/5 + 2/8) + \left(\frac{9^2}{4 \times 8/5} \right) + \left(\frac{9^2}{4 \times 10/8} \right) \right] \times 1/2 = 30/3 \text{ cm}^2$$

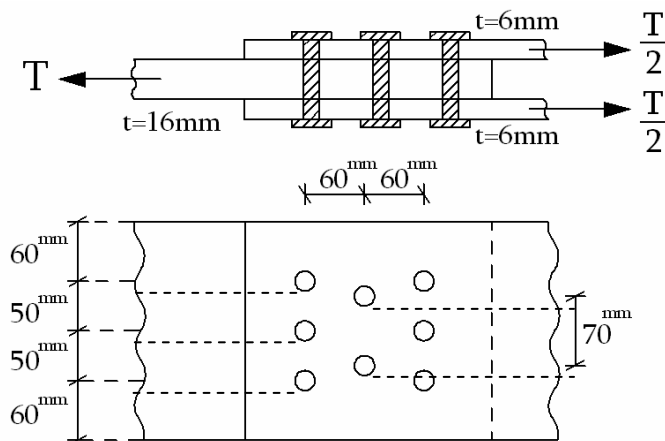
بنابراین مسیر AB کنترل کننده است و مساحت خالص $A_n = 28/2 \text{ cm}^2$ خواهد بود.
از طرفی با توجه به ضوابط آیین نامه داریم:

$$1) \frac{T}{A_g} \leq 0.6 F_y \Rightarrow T \leq 34/56 \times 0.6 \times 2400 = 54/743 \text{ ton}$$

$$2) \frac{T}{A_e} \leq 0.5 F_u \Rightarrow T \leq 1 \times 28/2 \times 0.5 \times 4000 = 56/4 \text{ ton}$$

حداکثر نیروی کششی که نبشی فوق می‌تواند تحمل کند، برابر با کمترین مقدار بدست آمده در روابط فوق یعنی ۵۴/۷۴۳ تن می‌باشد.
تمرین: در اتصال شکل زیر نیروی کشش مجاز T را تعیین کنید:

$$F_u = 4000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ و } F_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ و قطر پیچ‌ها } 18 \text{ mm}$$



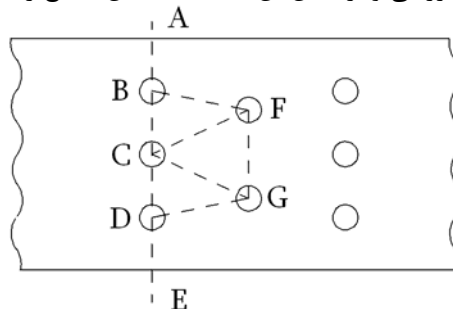
شکل ۲-۷- اتصال کششی تمرین

حل: با توجه به نیروی کششی ورق‌ها و مشخصات هندسی آنها، ورق با ضخامت ۶ میلی‌متر تعیین کننده است.

$$w = 2 \times (6 + 5) = 22 \text{ cm}$$

$$t = 0.6 \text{ cm}$$

اکنون مسیرهای بحرانی گسیختگی را بررسی و براساس آن مساحت خالص مقطع را تعیین می‌کنیم.



شکل ۲-۸



$$ABCDE \text{ مسیر: } A_n = [22 - 3(1/8 + 0/32)] \times 0/6 = 9/384 \text{ cm}^2$$

$$ABFCGDE \text{ مسیر: } A_n = \left[22 - 5(1/8 + 0/32) + 2 \times \frac{6^2}{4 \times 1/5} + 2 \times \frac{6^2}{4 \times 3/5} \right] \times 0/6 = 17/12 \text{ cm}^2$$

$$ABFGDE \text{ مسیر: } A_n = \left[22 - 4(1/8 + 0/32) + 2 \times \frac{6^2}{4 \times 1/5} \right] \times 0/6 = 15/31 \text{ cm}^2$$

در نتیجه مسیر مستقیم ABCDE بحرانی بوده و سطح مقطع خالص $A_n = 9/384 \text{ cm}^2$ است. اتصال فوق را می‌توان در دسته‌بندی اعضای کششی کوتاه قلمداد کرد، بنابراین $U=1$ بوده و سطح مقطع خالص موثر A_e نیز برابر $9/384 \text{ cm}^2$ است. با کنترل کشش در سطح مقطع کل و سطح خالص موثر می‌توان بار مجاز T را تعیین کرد.

$$A_n = A_e = 9/384 < 0/85 A_g = 11/22$$

$$1) f_t = \frac{T}{A_g} \leq F_t = 0/6 F_y \Rightarrow T \leq (2 \times 13/2) \times (0/6 \times 2400) \Rightarrow T \leq 38016 \text{ kg}$$

$$2) f_t = \frac{T}{A_e} \leq F_t = 0/5 F_u \Rightarrow T \leq (2 \times 9/384) \times (0/5 \times 4000) \Rightarrow T \leq 37536 \text{ kg}$$

بنابراین بار مجاز این اتصال برابر $37/536 \text{ ton}$ می‌باشد.

۲-۳- تنش مجاز کششی در میلگردها (میل مهارها)

از معمول‌ترین و متداول‌ترین اعضای کششی، میلگردهایی می‌باشد که دو سر آن‌ها دنده شده است و به دلیل مقاومت کششی بالا، در اغلب موارد در مهاربندی‌های ضربدری قاب‌های ساختمانی در مقابل نیروهای باد و زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند و طراحی آن‌ها طبق آیین‌نامه به صورت زیر می‌باشد:

$$T = 0/33 F_u A_b \quad (9-2)$$

A_b : سطح مقطع اسمی میلگرد در حالت دنده نشده.

از دیگر انواع میل مهارها، میلگرد با انتهای برجسته رزوه شده است. در این میلگردها نیروی کششی مجاز کوچکترین دو مقدار زیر خواهد بود:

$$T_1 = 0/33 F_u A_d \quad (10-2)$$

$$T_2 = 0/6 F_y A_b$$

A_d : سطح مقطع کلی ناحیه برجسته

A_b : سطح مقطع اسمی میلگرد در حالت دنده نشده.

این ضوابط به این معناست که ظرفیت کششی انتهای برجسته باید بزرگتر از ظرفیت کششی تنه اصلی میلگرد باشد.

۲-۴- کنترل لاغری در اعضای کششی

هر چند در اعضای کششی پدیده ناپایداری رخ نمی‌دهد ولی به علت سبک بودن مقاطع اعضای کششی ممکن است تغییر شکل در آنها زیاد شده و حساسیت آنها در مقابل نیروهایی که با زمان تغییر می‌کنند افزایش یابد.

معیار لاغری در اعضای کششی به صورت $\frac{L}{r_{min}}$ بیان می‌شود که L طول عضو کششی و r شعاع ژیراسیون حداقل مقطع است

که از رابطه $r = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ بدست می‌آید که در آن I_{min} ممان اینرسی حول محور ضعیف و A سطح مقطع کل عضو کششی است.

لازم به ذکر است که مقاطع مرکب، از زوج نبشی و یا ناودانی دارای شعاع ژیراسیون مناسب بوده اما مقاطع تک، خصوصاً نبشی حول محور ضعیف خود دارای شعاع ژیراسیون کم است و در نتیجه برای تقویت آنها باید لقمه‌هایی در طول عضو کششی از نیمرخ‌های زوج نبشی تعبیه کرد.

ضابطه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان برای کلیه اعضای کششی در کنترل لاغری بصورت زیر است:

$$\frac{L}{r_{min}} \leq 300 \quad (11-2)$$