

طرح و اجرای ساختمانهای فولادی

آزمونهای نظام مهندسی

تالیف

هوشیار خزائی

علیرضا حبیبی



نشر علم عمران

www.elme-omran.com

Info@elme-omran.com

عضو:



انجمن مهندسی عمران کتابخانه

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه : خزائی، هوشیار، ۱۳۵۱ -
عنوان و نام پدیدآور : طرح و اجرای ساختمانهای فولادی - آزمونهای نظام مهندسی
مشخصات نشر : تهران : علم عمران ، ۱۳۹۴
مشخصات ظاهری : ۴۹۰ ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک : 978-600-5176-26-1
وضعیت فهرست : فیپای مختصر
نویسی
یادداشت : فهرست نویسی کامل این اثر در نشانی: <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.
شناسه افزوده : حبیبی، علیرضا، ۱۳۵۳ -
شماره کتابشناسی ملی : ۳۷۸۷۰۲۱



نشر علم عمران

طرح و اجرای ساختمانهای فولادی - آزمونهای نظام مهندسی
تالیف: هوشیار خزائی
علیرضا حبیبی

چاپ اول بهار ۱۳۹۴
چاپ پرستش
تعداد و قطع صفحات ۴۹۰ صفحه وزیری
شمارگان ۱۰۰۰
بهای کتاب ۳۵۰۰۰۰ ریال
شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۲۶-۱ ISBN 978-600-5176-26-1

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آرا، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱

تلفن: ۳۱-۸۸۳۵۳۹۳۰ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

مقدمه ناشر

تحلیل، طراحی و اجرای صحیح ساختمانها نیازمند تجربه و تبحر مهندسان ساختمان می‌باشد. بی‌شک کسب تجربه در شرکت‌های مهندسی مشاور و کارگاه‌های ساختمانی برای مهندسان در کنار افزایش دانش ضروری است؛ که این فرصت معمولا پس از فارغ التحصیلی برای مهندسان بیشتر فراهم می‌شود. یکی از آزمونهای مهم پس از فارغ التحصیلی از مراکز دانشگاهی، آزمونهای نظام مهندسی است. سالهای متمادی است که در کشورمان برای ورود به دنیای حرفه‌ای مهندسی آزمونهای مختلف براساس مباحث‌های مقررات ملی ساختمان برگزار می‌شود. قبولی در این آزمونها برای تمام مهندسان عمران در پایه‌های طراحی، نظارت یا اجرا ضروری است. در این راستا نشر علم عمران سعی نموده با استفاده از دانش و تجربه اساتید مجرب در زمینه این آزمونها، منابع مناسبی را برای متقاضیان ورود به پایه حرفه مهندسان آماده کند. این منابع به صورتی تهیه شده است که علاوه بر یادآوری و بازنگری نکات مهم دروس مهندسی، از طریق حل نمونه سوالات آزمونهای سالهای قبل، متقاضیان را هر چه بیشتر با نحوه برگزاری آزمونها آشنا کند.

مجموعه حاضر یکی از چند درس اصلی مورد نظر برای آزمونهای ورود به حرفه مهندسان است. امید است این مجموعه که با همکاری ارزنده جناب مهندس هوشیار خزائی و مهندس علیرضا حبیبی عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی اراک که سالهای متمادی در دانشگاه سراسری اراک و دانشگاه آزاد اسلامی مدرس درس سازه‌های فولادی بوده تهیه شده است، برای علاقمندان مفید واقع شود. علیرغم ویرایشهای مکرر در قسمتهای مختلف کتاب ممکن است هنوز ایراداتی وجود داشته باشد. لذا مایه خرسندی است که خوانندگان محترم نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق آدرس پست الکترونیک info@elme-omran.com ارسال کنند.

سید مهدی داودنوبی

مدیر نشر علم عمران

پیشگفتار مولف

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تحت عنوان "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی" یکی از منابع آزمون ورود به حرفه مهندسان می‌باشد که بیش از ۲۵ درصد سوالات آزمون را به خود اختصاص می‌دهد. اغلب این سوالات نیز با پیچیدگی‌های خاص و به گونه‌ای طراحی می‌شوند که با توجه به ایجاز و اختصاری که در متن مبحث دهم نهفته است پاسخگویی به آنها را برای داوطلبان تا حدی دشوار می‌سازد. توجه به این مهم، ما را بر آن داشت تا مجموعه حاضر را با ویژگی‌های زیر تهیه کرده و در اختیار علاقمندان قرار دهیم:

۱- تشریح مبانی علمی ضوابط مختلف مبحث دهم به زبان ساده و روان، و عاری از هرگونه مفاهیم نظری و پیچیده
۲- تصویری نمودن الزامات طراحی و اجرایی مبحث دهم در قسمت‌های مختلف آن جهت استفاده داوطلبان پروانه محاسبات، نظارت و اجرا

۳- استفاده از روش گام به گام در تمامی مباحث محاسباتی هم در متن کتاب و هم در پاسخگویی به سوالات چهارگزینه‌ای

روش گام به گام محاسبات که در این کتاب ارائه شده است در واقع یک الگوریتم طراحی را برای هر بخش از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در اختیار خواننده قرار می‌دهد. این موضوع، به خصوص خواننده را در درک صحیح و عمیق از مطالب تئوریک یاری داده و در نتیجه باعث تسریع در پاسخگویی به سوالات آزمون می‌شود. لذا به خوانندگان محترم توصیه می‌شود این الگوریتم‌ها را به دقت بررسی و مطالعه کرده و پاسخگویی به سوالات را بر اساس آنها در دستور کار خود قرار دهند. در اینصورت موفقیت خود در آزمون را تا حد خیلی زیادی تضمین خواهند کرد.

در پایان، فرصت را مغتنم شمرده از زحمات و تلاش‌های بی‌شائبه جناب آقای سید مهدی داودنسی مدیریت محترم انتشارات علم عمران در آماده‌سازی کتاب و ارائه پیشنهادات ارزنده سپاسگزاری می‌نمایم. از اساتید، صاحب‌نظران و مطالعه کنندگان محترم تقاضا می‌گردد با ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود از طریق آدرس الکترونیک info@elme-omran.com ما را در ارائه هر چه بهتر این مجموعه در چاپ‌های بعدی آن یاری نمایند.

هوشیار خزائی

علیرضا حبیبی

بهار ۱۳۹۴

فهرست مطالب

فصل اول: اصول و مبانی طراحی

- ۱-۱- معیارهای طراحی ۱
- ۱-۱-۱- معیار مقاومت ۱
- ۲-۱-۱- معیار پایداری ۲
- ۳-۱-۱- معیار تغییر مکان ۲
- ۴-۱-۱- معیار خستگی ۲
- ۵-۱-۱- معیار ترد شکنی ۳
- ۶-۱-۱- معیار رفتار دینامیکی ۳
- ۲-۱- روش‌های طراحی ۳
- ۱-۲-۱- روش تنش مجاز (*ASD*) ۴
- ۲-۲-۱- روش طرح خمیری (*PD*) ۵
- ۳-۲-۱- روش ضرایب بار و مقاومت (*LRFD*) ۶
- ۳-۱- مقایسه روش‌های *ASD* و *LRFD* ۶
- ۴-۱- مبانی طراحی به روش حالات حدی (*LRFD*) ۶
- ۱-۴-۱- طراحی براساس حالت‌های حدی مقاومت ۷
- ۲-۴-۱- طراحی بر اساس حالت‌های حدی بهره‌برداری ۸
- ۵-۱- اصول تحلیل ۸
- ۶-۱- مشخصات مصالح فولادی ۹
- ۷-۱- الزامات لرزه‌ای مشخصات مصالح ۱۰
- ۱-۷-۱- فولاد مصرفی ۱۰
- ۲-۷-۱- اتصالات جوشی ۱۰

- ۱-۷-۳- اتصالات پیچی ۱۰
- ۱-۸- سؤالات چهار گزینه‌ای ۱۱
- ۱-۹- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای ۱۳

فصل دوم: کمانش موضعی اجزای تحت فشار

- ۱-۲- مقدمه ۱۷
- ۲-۲- پهنای آزاد اجزای تقویت نشده (اجزای با یک لبه متکی) ۱۸
- ۳-۲- پهنای آزاد اجزای تقویت شده (اجزای با دو لبه متکی) ۱۹
- ۴-۲- طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری ۲۱
- ۵-۲- طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای خمش ۲۳
- ۶-۲- طبقه‌بندی مقاطع مختلط پر شده با بتن از منظر کمانش موضعی ۲۶
- ۲-۶-۱- مقاطع مختلط تحت فشار محوری ۲۶
- ۲-۶-۲- مقاطع مختلط تحت خمش ۲۷
- ۷-۲- الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی ۲۷
- ۸-۲- سؤالات چهار گزینه‌ای ۳۱
- ۹-۲- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای ۳۴

فصل سوم: اعضای کششی

- ۱-۳- مقدمه ۴۱
- ۲-۳- سطح مقطع کلی اعضای کششی (A_g) ۴۱
- ۳-۳- سطح مقطع خالص اعضای کششی (A_n) ۴۱
- ۳-۳-۱- انواع سوراخ‌ها ۴۲
- ۳-۳-۲- آرایش سوراخ‌ها ۴۳
- ۴-۳- سطح مقطع خالص مؤثر اعضای کششی (A_e) ۴۷
- ۵-۳- مقاومت کششی ۵۱
- ۶-۳- انتقال نیرو در اتصالات پیچی ۵۴
- ۷-۳- مقاومت برشی قالبی ۵۶
- ۸-۳- اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق ۶۰
- ۹-۳- تسمه‌های لولا شده و تسمه‌های سر پهن ۶۱
- ۳-۹-۱- تسمه‌های لولا شده ۶۲
- ۳-۹-۲- تسمه‌های سر پهن ۶۳
- ۳-۱۰- کنترل لاغری ۶۴

- ۱۱-۳- سؤالات چهار گزینه‌ای ۶۷
- ۱۲-۳- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهار گزینه‌ای ۷۱

فصل چهارم: اعضای فشاری

- ۱-۴- مقدمه ۸۱
- ۲-۴- معادله کمانش الاستیک اولر ۸۲
- ۱-۲-۴- تنش‌های پسماند ۸۳
- ۳-۴- طول مؤثر کمانش ۸۶
- ۱-۳-۴- ضریب طول مؤثر ستون‌های با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل ۸۶
- ۲-۳-۴- ضریب طول مؤثر اعضای فشاری موجود در قاب‌ها ۸۹
- ۴-۴- کنترل ضریب لاغری ۹۶
- ۵-۴- مقاومت فشاری طرح ۹۸
- ۱-۵-۴- مقاومت فشاری طرح براساس کنترل حالت حدی کمانش خمشی ۱۰۱
- ۱-۱-۵-۴- مقاطع تک نیمرخ ۱۰۱
- ۲-۱-۵-۴- مقاطع ساخته شده ۱۰۵
- ۱-۲-۱-۵-۴- مقاطع مرکب متشکل از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری (مقاطع مرکب با جان پُر) ۱۰۵
- ۲-۲-۱-۵-۴- مقاطع مرکب متشکل از نیمرخ‌ها و بست‌های تکی و لقمه‌ها ۱۰۷
- ۲-۵-۴- مقاومت فشاری طرح براساس کنترل حالت حدی کمانش پیچشی ۱۱۱
- ۳-۵-۴- مقاومت فشاری طرح براساس کنترل حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی ۱۱۴
- ۱-۳-۵-۴- اعضای فشاری با مقطع سپری ۱۱۴
- ۲-۳-۵-۴- اعضای فشاری مرکب از دو نیمرخ نبشی پشت‌به‌پشت ۱۱۵
- ۳-۳-۵-۴- سایر مقاطع با یک محور تقارن که محور تقارن آن‌ها نامگذاری شده است ۱۱۶
- ۴-۳-۵-۴- مقاطع نامتقارن ۱۱۷
- ۴-۵-۴- اعضای با مقطع نبشی تک ۱۱۹
- ۱-۴-۵-۴- مقاومت فشاری طرح براساس کنترل حالت حدی کمانش خمشی ($b/t \leq 20$) ۱۲۰
- ۲-۴-۵-۴- مقاومت فشاری طرح براساس کنترل حالت حدی کمانش خمشی - پیچشی ($b/t \leq 20$) ۱۲۲
- ۶-۴- محدودیت‌های ابعادی اجزای اعضای فشاری ساخته شده ۱۲۳
- ۱-۶-۴- اعضای فشاری مرکب از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری ۱۲۴
- ۲-۶-۴- اعضای فشاری مرکب با لقمه ۱۲۵
- ۳-۶-۴- اعضای فشاری مرکب از نیمرخ‌ها و ورق‌های سوراخ‌دار ۱۲۷
- ۴-۶-۴- اعضای فشاری مرکب از نیمرخ‌ها و بست‌های مورب ۱۲۸

- ۴-۶-۵- اعضای فشاری مرکب از نیم‌رخ‌ها و بست‌های موازی..... ۱۳۳
- ۴-۷- سئوالات چهارگزینه‌ای ۱۳۸
- ۴-۸- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای..... ۱۴۷

فصل پنجم: اعضای خمشی

- ۱-۱- مقدمه ۱۶۷
- ۲-۵- تار خمشی الاستیک (E, N, A) ۱۶۷
- ۳-۵- ممان اینرسی (I) ۱۶۸
- ۴-۵- اساس مقطع الاستیک (S) ۱۶۹
- ۵-۵- شعاع ژیراسیون (r) ۱۷۰
- ۶-۵- مرکز برش ($C.S.$) ۱۷۲
- ۷-۵- لنگر تسلیم مقطع (M_y) ۱۷۳
- ۸-۵- لنگر پلاستیک مقطع (M_p) ۱۷۳
- ۵-۸-۱- ضریب شکل ($S.F.$) ۱۷۴
- ۹-۵- مقاومت خمشی طرح ۱۷۶
- ۵-۹-۱- ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی (C_b) ۱۷۹
- ۵-۹-۲- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت خمش حول محور قوی ۱۸۴
- ۵-۹-۲-۱- محاسبه مقاومت خمشی اسمی، M_n ، براساس حالت حدی تسلیم ۱۸۴
- ۵-۹-۲-۲- محاسبه مقاومت خمشی اسمی، M_n ، براساس حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی ۱۸۴
- ۵-۹-۳- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با دو محور تقارن با بال‌های غیر فشرده و جان فشرده حول محور قوی ۱۸۸
- ۵-۹-۳-۱- محاسبه مقاومت خمشی اسمی، M_n ، براساس حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی ۱۸۸
- ۵-۹-۳-۲- محاسبه مقاومت خمشی اسمی، M_n ، براساس حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری غیر فشرده ۱۸۸
- ۵-۹-۴- مقاومت خمشی اسمی سایر اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده یا غیر فشرده و جان فشرده یا غیر فشرده حول محور قوی ۱۸۹
- ۵-۹-۴-۱- حالت حدی تسلیم بال فشاری ۱۸۹
- ۵-۹-۴-۲- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی ۱۹۰
- ۵-۹-۴-۳- حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری ۱۹۲
- ۵-۹-۴-۴- حالت حدی تسلیم بال کششی ۱۹۲
- ۵-۹-۵- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با یک یا دو محور تقارن با بال‌های فشرده و غیر فشرده و جان لاغر حول محور قوی ۱۹۳

- ۱۹۳.....۵-۹-۵-۱- حالت حدی تسلیم بال فشاری.....
- ۱۹۴.....۵-۹-۵-۲- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی.....
- ۱۹۵.....۵-۹-۵-۳- حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری.....
- ۱۹۵.....۵-۹-۵-۴- حالت حدی تسلیم بال کششی.....
- ۱۹۷.....۶-۹-۵-۶- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف.....
- ۱۹۸.....۵-۹-۵-۱-۶- حالت حدی تسلیم.....
- ۱۹۸.....۵-۹-۵-۲-۶- حالت حدی کمانش موضعی بال.....
- ۱۹۹.....۷-۹-۵-۷- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل حول محورهای قوی و ضعیف.....
- ۲۰۰.....۵-۹-۵-۱-۷- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۰۰.....۵-۹-۵-۲-۷- حالت حدی کمانش موضعی بال.....
- ۲۰۰.....۵-۹-۵-۳-۷- حالت حدی کمانش موضعی جان.....
- ۲۰۰.....۸-۹-۵-۸- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع لوله‌ای شکل.....
- ۲۰۱.....۵-۹-۵-۱-۸- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۰۱.....۵-۹-۵-۲-۸- حالت حدی کمانش موضعی.....
- ۲۰۱.....۵-۹-۹-۹- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت با بارگذاری در صفحه تقارن.....
- ۲۰۲.....۵-۹-۵-۱-۹- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۰۲.....۵-۹-۵-۲-۹- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی.....
- ۲۰۲.....۵-۹-۵-۳-۹- حالت حدی کمانش موضعی بال سپری‌ها.....
- ۲۰۳.....۵-۹-۵-۴-۹- حالت حدی کمانش موضعی جان سپری‌ها.....
- ۲۰۳.....۵-۹-۱۰- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع تک نبشی.....
- ۲۰۴.....۵-۹-۱۰-۱- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۰۴.....۵-۹-۱۰-۲- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی.....
- ۲۰۷.....۵-۹-۱۰-۳- حالت حدی کمانش موضعی ساق نبشی.....
- ۲۰۸.....۵-۹-۱۱- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع توپر دایره‌ای و چهارگوش.....
- ۲۰۸.....۵-۹-۱۱-۱- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۰۹.....۵-۹-۱۱-۲- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی.....
- ۲۰۹.....۵-۹-۱۲- مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع نامتقارن.....
- ۲۱۰.....۵-۹-۱۲-۱- حالت حدی تسلیم.....
- ۲۱۰.....۵-۹-۱۲-۲- حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی.....
- ۲۱۰.....۵-۹-۱۲-۳- حالت حدی کمانش موضعی.....
- ۲۱۲.....۵-۱۰- تناسبات ابعادی مقطع اعضای خمشی.....

- ۲۱۲.....۵-۱۰-۱- اعضای خمشی با مقاطع دارای بال کششی سوراخ‌دار.....
- ۲۱۳.....۵-۱۰-۲- اعضای با مقطع I شکل دارای یک محور تقارن.....
- ۲۱۴.....۵-۱۰-۳- ملاحظات ورق‌های تقویتی در بال مقاطع اعضای خمشی.....
- ۲۱۴.....۵-۱۰-۳-۱- تقویت بال‌ها.....
- ۲۱۵.....۵-۱۰-۳-۲- قطع ورق‌های تقویتی بال‌ها.....
- ۲۱۷.....۵-۱۰-۳-۳- اتصال بال به جان.....
- ۲۱۷.....۵-۱۱-۱- مقاومت برشی طرح.....
- ۲۱۸.....۵-۱۱-۱- روش‌های محاسبه مقاومت برشی.....
- ۲۱۹.....۵-۱۱-۲- مقاومت برشی اعضا بدون توجه به عمل میدان کششی.....
- ۲۱۹.....۵-۱۱-۲-۱- مقاومت برشی اسمی بدون توجه به عمل میدان کششی.....
- ۲۲۰.....۵-۱۱-۲-۲- سخت‌کننده‌های عرضی.....
- ۲۲۲.....۵-۱۱-۳- مقاومت برشی اعضا با توجه به عمل میدان کششی.....
- ۲۲۲.....۵-۱۱-۳-۱- محدودیت‌های استفاده از عمل میدان کششی.....
- ۲۲۳.....۵-۱۱-۳-۲- مقاومت برشی اسمی با توجه به عمل میدان کششی.....
- ۲۲۳.....۵-۱۱-۳-۳- سخت‌کننده‌های عرضی.....
- ۲۲۵.....۵-۱۱-۴- مقاومت برشی اعضای با مقطع نبشی تک.....
- ۲۲۶.....۵-۱۱-۵- مقاومت برشی اعضای با مقطع قوطی شکل.....
- ۲۲۷.....۵-۱۱-۶- مقاومت برشی اعضای با مقطع لوله‌ای.....
- ۲۲۸.....۵-۱۱-۷- مقاومت برشی اعضایی که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع قرار دارند.....
- ۲۲۸.....۵-۱۱-۸- تیرها و شاه‌تیرهای دارای بازشو در جان مقطع.....
- ۲۲۹.....۵-۱۲-۱- الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری.....
- ۲۲۹.....۵-۱۲-۱- پیش‌خیز (تغییر شکل رو به بالا).....
- ۲۳۰.....۵-۱۲-۲- تغییر شکل‌ها.....
- ۲۳۱.....۵-۱۲-۳- ارتعاش و لرزش.....
- ۲۳۸.....۵-۱۳- سؤالات چهار گزینه‌ای.....
- ۲۴۵.....۵-۱۴- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای.....

فصل ششم: اعضای با مقطع مختلط

- ۲۶۱.....۶-۱- مقدمه.....
- ۲۶۲.....۶-۲- محدودیت‌های مصالح در اعضای با مقطع مختلط.....
- ۲۶۳.....۶-۳- روش‌های محاسبه مقاومت اسمی اعضای با مقطع مختلط.....

۲۶۴	۴-۶- اعضای محوری با مقطع مختلط
۲۶۴	۴-۶-۱- اعضای محوری با مقطع مختلط محاط در بتن
۲۶۴	۴-۶-۱-۱- محدودیت‌ها
۲۶۵	۴-۶-۲- مقاومت فشاری
۲۶۷	۴-۶-۳- مقاومت کششی
۲۶۸	۴-۶-۲- اعضای محوری با مقطع مختلط پر شده با بتن
۲۶۸	۴-۶-۱-۲- محدودیت‌ها
۲۶۸	۴-۶-۲- مقاومت فشاری
۲۶۹	۴-۶-۳- مقاومت کششی
۲۷۰	۵-۶- اعضای خمشی با مقطع مختلط
۲۷۰	۵-۶-۱- عرض مؤثر بال
۲۷۱	۵-۶-۲- ضخامت دال بتنی
۲۷۱	۵-۶-۳- مقاومت در حین اجرا
۲۷۱	۵-۶-۴- مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر
۲۷۶	۵-۶-۵- مقاطع مختلط به همراه ورق‌های فولادی شکل داده شده
۲۷۷	۵-۶-۱-۵- ملاحظات و محدودیت‌ها
۲۷۸	۵-۶-۲- ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آن‌ها عمود بر محور تیر است
۲۷۹	۵-۶-۳- ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آن‌ها موازی محور تیر است
۲۷۹	۵-۶-۶- مقاومت خمشی مقاطع مختلط محاط در بتن
۲۸۱	۵-۶-۷- مقاومت خمشی مقاطع مختلط پر شده با بتن
۲۸۶	۶-۶- برش در مقاطع مختلط
۲۸۶	۶-۶-۱- مقاطع مختلط متکی بر دال بتنی و دارای برشگیر
۲۸۶	۶-۶-۲- مقاطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن
۲۸۶	۶-۷- انتقال بار در اعضای خمشی با مقطع مختلط
۲۸۶	۶-۷-۱- نواحی لنگر خمشی مثبت
۲۸۷	۶-۷-۲- نواحی لنگر خمشی منفی
۲۸۸	۶-۸- انتقال بار در اعضای محوری با مقطع مختلط
۲۸۹	۶-۸-۱- مقاومت اتکایی در اعضای محوری با مقاطع مختلط
۲۸۹	۶-۸-۲- برش طولی مورد نیاز در مقاطع مختلط محاط در بتن و پر شده با بتن
۲۹۱	۶-۹- برشگیرها
۲۹۱	۶-۹-۱- برشگیرها در اعضای خمشی با مقطع مختلط
۲۹۴	۶-۹-۲- برشگیرها در ستون‌ها و تیر ستون‌های با مقطع مختلط

- ۲۹۶.....۱۰-۶- الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری.....
- ۲۹۷.....۱۱-۶- سئوالات چهار گزینه‌ای.....
- ۲۹۹.....۱۲-۶- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای.....

فصل هفتم: وسایل اتصال ۱: جوش

- ۳۰۳.....۱-۷- مقدمه.....
- ۳۰۴.....۲-۷- انواع اتصالات جوشی.....
- ۳۰۴.....۳-۷- انواع جوش.....
- ۳۰۵.....۱-۳-۷- جوش گوشه.....
- ۳۰۶.....۱-۱-۳-۷- سطح مقطع مؤثر.....
- ۳۰۶.....۲-۱-۳-۷- محدودیت‌ها.....
- ۳۱۱.....۲-۳-۷- جوش شیاری.....
- ۳۱۲.....۱-۲-۳-۷- انواع جوش شیاری.....
- ۳۱۳.....۲-۲-۳-۷- سطح مقطع مؤثر.....
- ۳۱۴.....۳-۲-۳-۷- محدودیت‌ها.....
- ۳۱۴.....۳-۳-۷- جوش‌های کام و انگشتانه.....
- ۳۱۵.....۱-۳-۳-۷- سطح مقطع مؤثر.....
- ۳۱۵.....۲-۳-۳-۷- محدودیت‌ها.....
- ۳۱۵.....۴-۷- علائم جوشکاری.....
- ۳۱۸.....۵-۷- مقاومت جوش.....
- ۳۲۰.....۶-۷- ارزش نهایی جوش.....
- ۳۲۱.....۷-۷- الکترودهای سازگار با مصالح فلز پایه.....
- ۳۲۱.....۸-۷- طراحی جوش.....
- ۳۲۱.....۱-۸-۷- جوش شیاری با نفوذ کامل.....
- ۳۲۳.....۲-۸-۷- جوش شیاری با نفوذ نسبی.....
- ۳۲۴.....۳-۸-۷- جوش گوشه.....
- ۳۲۵.....۱-۳-۸-۷- جوش گوشه طولی.....
- ۳۲۷.....۲-۳-۸-۷- جوش گوشه عرضی.....
- ۳۲۸.....۳-۳-۸-۷- جوش متعادل.....
- ۳۳۰.....۴-۳-۸-۷- جوش گوشه در اتصالات برون محور.....
- ۳۳۷.....۹-۷- سئوالات چهار گزینه‌ای.....
- ۳۵۱.....۱۰-۷- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای.....

فصل هشتم: وسایل اتصال ۲: پیچ

۳۶۷.....	۱-۸- مقدمه
۳۶۷.....	۲-۸- انواع پیچ‌ها
۳۶۷.....	۱-۲-۸- پیچ‌های معمولی
۳۶۸.....	۲-۲-۸- پیچ‌های پر مقاومت
۳۶۹.....	۳-۸- سوراخکاری در قطعات فولادی
۳۷۰.....	۱-۳-۸- انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی
۳۷۰.....	۲-۳-۸- محدودیت ابعاد اسمی سوراخ‌ها و دامنه کاربرد آنها
۳۷۱.....	۳-۳-۸- محدودیت فواصل سوراخ‌ها
۳۷۳.....	۴-۸- انواع اتصالات پیچی
۳۷۳.....	۱-۴-۸- اتصالات اتکایی
۳۷۳.....	۱-۱-۴-۸- اتصالات اتکایی تحت اثر کشش خالص
۳۷۵.....	۲-۱-۴-۸- اتصالات اتکایی تحت اثر برش خالص
۳۷۸.....	۳-۱-۴-۸- مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ (در اتصالات اتکایی)
۳۸۰.....	۴-۱-۴-۸- اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی
۳۸۲.....	۵-۱-۴-۸- اثر مشترک نیروی برشی و لنگر پیچشی در اتصالات اتکایی
۳۸۸.....	۲-۴-۸- اتصالات اصطکاکی
۳۸۸.....	۱-۲-۴-۸- نیروی پیش‌تندگی
۳۹۰.....	۲-۲-۴-۸- نحوه ایجاد نیروی پیش‌تندگی
۳۹۱.....	۳-۲-۴-۸- اتصالات اصطکاکی تحت اثر کشش خالص
۳۹۳.....	۴-۲-۴-۸- اتصالات اصطکاکی تحت اثر برش خالص
۳۹۳.....	۵-۲-۴-۸- مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ (در اتصالات اصطکاکی)
۳۹۳.....	۶-۲-۴-۸- اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اصطکاکی
۳۹۵.....	۷-۲-۴-۸- اثر مشترک نیروی برشی و لنگر پیچشی در اتصالات اصطکاکی
۳۹۵.....	۵-۸- نواحی تأثیرپذیر اجزای اتصال دهنده و وسایل اتصال
۳۹۵.....	۱-۵-۸- مقاومت برشی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال
۳۹۶.....	۲-۵-۸- مقاومت فشاری اعضا در مجاورت ناحیه اتصال
۳۹۶.....	۳-۵-۸- مقاومت خمشی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال
۳۹۷.....	۶-۸- سؤالات چهار گزینه‌ای
۴۱۲.....	۷-۸- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهار گزینه‌ای

فصل نهم: اتصالات

۴۳۳	۱-۹- مقدمه
۴۳۳	۲-۹- انواع اتصالات
۴۳۳	۱-۲-۹- اتصال ساده
۴۳۳	۱-۱-۲-۹- اتصال ساده تیر به ستون با نبشی جان
۴۳۵	۲-۱-۲-۹- اتصال ساده تیر به تیر با نبشی جان
۴۳۵	۳-۱-۲-۹- اتصال ساده تیر به ستون با نبشی نشیمن تقویت نشده
۴۳۷	۴-۱-۲-۹- اتصال ساده تیر به ستون با نشیمن تقویت شده
۴۳۷	۲-۲-۹- اتصال صلب
۴۳۹	۳-۲-۹- اتصال نیمه صلب
۴۴۰	۳-۹- الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز
۴۴۰	۱-۳-۹- خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی
۴۴۲	۲-۳-۹- تسلیم موضعی جان (ستون) در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری
۴۴۴	۳-۳-۹- لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری
۴۴۵	۴-۳-۹- کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری
۴۴۶	۵-۳-۹- کمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری
۴۴۷	۶-۳-۹- برش در چشمه اتصال
۴۴۹	۷-۳-۹- پایداری ورق‌های چشمه اتصال
۴۵۰	۸-۳-۹- مقررات تکمیلی برای سخت‌کننده‌ها در مقابل نیروهای متمرکز و در انتهای آزاد تیرها و شاه تیرها
۴۵۰	۴-۹- ورق‌های پرکننده
۴۵۲	۵-۹- وصله‌ها
۴۵۲	۶-۹- مقاومت اتکایی سطوح متکی به هم
۴۵۳	۷-۹- کف ستون‌ها
۴۵۵	۱-۷-۹- طراحی ورق کف ستون
۴۶۱	۸-۹- سؤالات چهار گزینه‌ای
۴۶۹	۹-۹- پاسخنامه تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای

فصل اول

اصول و مبانی طراحی

۱-۱- معیارهای طراحی

در طراحی سازه‌ها و یا به عبارت دیگر در طراحی اعضای باربر سازه‌ها معیارهایی به عنوان ضوابط و معیارهای طراحی در نظر گرفته می‌شود و براساس این معیارها، مشخصات و ابعاد مقاطع اعضای سازه تعیین می‌گردد. معیارهای کلی که در طرح یک‌سازه فولادی بایستی مراعات شود به شرح زیر می‌باشد:

۱-۱-۱- معیار مقاومت

این معیار که از اصلی‌ترین و مهم‌ترین معیارهای طراحی است، باید در طراحی تمامی سازه‌ها در نظر گرفته شود. طراحی سازه‌ها براساس معیار مقاومت به یکی از دو صورت زیر خواهد بود:

۱- معیار تسلیم: در طراحی سازه‌های فولادی براساس معیار تسلیم، فرض می‌گردد که اگر در یک نقطه از سازه تنش‌های ناشی از بارهای خارجی به حد تنش تسلیم فولاد برسد سازه در آن نقطه مقاومت خود را در برابر تحمل بار از دست می‌دهد.

بنابراین با اعمال یک ضریب اطمینان مناسب و با توجه به رفتار الاستیک فولاد، سازه مورد نظر تحلیل می‌گردد و تنش‌ها و تغییر شکل‌ها مشخص می‌شود. با مقایسه این تنش‌ها و تغییر شکل‌ها با مقادیر مجاز متناظر آن‌ها اعضای مختلف سازه طراحی می‌شوند. این روش طراحی را، اصطلاحاً روش طراحی براساس تنش‌های مجاز یا (*ASD*) *Allowable Stress Design* می‌نامند.

۲- معیار خمیری (پلاستیک شدن): همانطوریکه گفتیم در طراحی بر مبنای معیار تسلیم فرض بر این است که چنانچه نقطه‌ای از سازه به تنش تسلیم برسد، کل سازه مقاومت خود را از دست می‌دهد. لیکن در طراحی بر مبنای معیار خمیری (پلاستیک شدن) این فرض اعتبار خود را از دست می‌دهد و به عبارت دیگر لزوماً تسلیم موضعی، باعث تسلیم کل سازه نخواهد شد.

در معیار خمیری فرض می‌شود که بعد از تسلیم شدن اولین نقاط از سازه، بر اثر تغییر شکل‌هایی که در این نقاط اتفاق می‌افتد سایر نقاط مقطع نیز به تسلیم می‌رسند بطوریکه در مقطع مورد نظر مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد.

پس از این مرحله مجدداً فرض می‌شود که سازه مقاومت کلی خود را از دست نداده و با توزیع مجدد بار با توجه به سختی اعضای مختلف، در نقاط دیگری نیز مفصل پلاستیک تشکیل می‌شود تا در ادامه، کل سازه به مکانیزم تبدیل شده و ناپایدار گردد. بدیهی است که با توجه به این فرضیات، در معیار خمیری (پلاستیک شدن) از ظرفیت حداکثر سازه استفاده شده و طرح اقتصادی‌تری نسبت به معیار تسلیم (تنش مجاز) بدست می‌آید.

نکته ۱-۱: در صورتی می‌توان در طراحی‌ها از معیار خمیری (پلاستیک شدن) استفاده کرد که اولاً ماده تشکیل دهنده سازه خاصیت شکل‌پذیری داشته باشد و ثانیاً سازه و مقاطع آن قابلیت تجربه ورود به عرصه تنش‌های ناحیه پلاستیک را دارا باشند.

۱-۱-۲- معیار پایداری

اعضای سازه‌های فولادی ممکن است دچار ناپایداری کلی و ناپایداری موضعی و یا ترکیبی از هر دو شوند و برای هر کدام از این ناپایداری‌ها بایستی تمهیدات مناسبی به کار برده شود. در اعضای با مقاطع ظریف که در یک طول نسبتاً زیاد فاقد مهاربندی (تکیه‌گاه جانبی) باشند، پدیده کمانش کلی اتفاق می‌افتد. در این نوع کمانش، مقطع عضو به صورت حرکت صلب از صفحه اولیه خود خارج شده و ناپایدار می‌گردد.

در مقاطع تشکیل شده از ورق‌های نازک، ورق‌های تشکیل دهنده مقطع تحت اثر تنش، دچار چروکیدگی و اعوجاج شده که به آن پدیده کمانش موضعی می‌گویند.

۱-۱-۳- معیار تغییر مکان

بالا بودن نسبت مقاومت به وزن فولاد باعث می‌شود که طراحی سازه‌های فولادی منجر به اعضای سازه‌ای با مقاطع ظریف شود که حاصل آن کاهش در ممان اینرسی خواهد بود. لذا اگر دهانه‌های بزرگ با این گونه مقاطع ظریف پوشانده شوند، ممکن است تغییر مکان ناشی از بارهای مرده و زنده، افزایش یافته که خود باعث ایجاد ترک در سقف‌ها و در نتیجه ایجاد احساس ناامنی در استفاده‌کنندگان سازه می‌شود. از این رو لازم است که در چنین اعضای سازه‌ای معیار تغییر مکان مورد توجه قرار گرفته و کنترل گردد.

۱-۱-۴- معیار خستگی

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 ایجادشده در آن‌ها از حد تنش تسلیم و یا پلاستیک تجاوز کند،

دچار گسیختگی و شکست می‌شوند. بنابراین اگر پیش‌بینی شود که یک سازه فولادی در عمر مفید خود تحت اثر چنین بارهایی قرار می‌گیرد، باید معیار خستگی به عنوان یکی از معیارهای طراحی مورد توجه قرار گیرد.

۱-۱-۵- معیار ترد شکنی

پدیده ترد شکنی (شکست ترد) معمولاً در فولادهای با درصد کربن زیاد و مقاومت بالا اتفاق می‌افتد. اینگونه سازه‌های فولادی هنگامی که تحت اثر بار قرار می‌گیرند قبل از هر گونه تغییر شکل، به طور ناگهانی دچار شکست و گسیختگی می‌شوند. کنترل معیار ترد شکنی در سازه‌های ساخته شده از فولاد پر مقاومت یک امر ضروری می‌باشد.

۱-۱-۶- معیار رفتار دینامیکی

در سازه‌های فولادی متعارف، معمولاً بارها به صورت استاتیکی یا شبه دینامیکی منظور می‌گردند. لیکن در سازه‌های خاص نظیر ساختمان‌های خیلی بلند و لاغر در مناطق زلزله‌خیز، پل‌های با دهانه بزرگ که بارهای ترافیکی سنگین را تحمل می‌کنند و اعضای سازه‌های فولادی صنعتی که بارهای دینامیکی ناشی از ماشین آلات بر آنها وارد می‌گردد، بایستی معیار رفتار دینامیکی در طراحی آنها مورد توجه و کنترل قرار گیرد.

۱-۲- روش‌های طراحی

روش‌های متداول طراحی ساختمان‌های فولادی عبارتند از:

۱- روش تنش مجاز (ASD)

۲- روش طرح خمیری (PD)

۳- روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

هدف کلیه روش‌های طراحی، طرح یک سازه ایمن و در عین حال اقتصادی می‌باشد. اگر مقاومت سازه را با R و بارهای وارد بر سازه را با L نمایش دهیم، شرط ایمن بودن سازه حکم می‌کند که رابطه زیر برقرار باشد:

$$R \geq L \quad (1-1)$$

اما از آنجایی که مقاومت R و بارهای L ، طبیعت آماری داشته و به طور قطع نمی‌توان گفت مقدار دقیق مقاومت مصالح R و بارهای وارده L چقدر است، لذا اعمال یک حاشیه اطمینان (ضریب اطمینان) در رابطه (۱-۱) در حد معقول و مناسب، لازم خواهد بود. اگر مقاومت واقعی از مقدار مقاومت محاسبه شده به میزان ΔR کمتر و بار واقعی از بار پیش‌بینی شده به میزان ΔL بیشتر باشد، رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$R - \Delta R = L + \Delta L$$

$$\left(1 - \frac{\Delta R}{R}\right)R = \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right)L$$

$$\phi R = \gamma L$$

$$(2-1)$$

در رابطه (۲-۱) ϕ ضریب مقاومت و γ ضریب بار نامیده شده و مقادیر آن‌ها برابر است با:

$$\phi = 1 - \frac{\Delta R}{R} \leq 1 \quad (۳-۱)$$

$$\gamma = 1 + \frac{\Delta L}{L} \geq 1 \quad (۴-۱)$$

روش اعمال ضرایب ϕ و γ در هر کدام روش‌های طراحی به شرح زیر می‌باشد:

۱-۲-۱- روش تنش مجاز (ASD)

در روش تنش مجاز، هر دو ضریب به سمت چپ معادله آورده می‌شوند. در نتیجه رابطه (۲-۱) به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\phi}{\gamma} R = L \quad (۵-۱)$$

و یا:

$$\frac{R}{F_o S_o} = L \quad (۶-۱)$$

در رابطه (۶-۱)، $F_o S_o$ ضریب اطمینان نامیده می‌شود و برابر است با:

$$F_o S_o = \frac{\gamma}{\phi} = \frac{R}{Q} = \frac{1 + \frac{\Delta L}{L}}{1 - \frac{\Delta R}{R}} \geq 1 \quad (۷-۱)$$

مسئله ۱-۱- اگر در طراحی یک عضو فولادی، بارهای واقعی از بار پیش‌بینی شده به میزان ۲۵ درصد بیشتر و مقاومت واقعی از مقدار مقاومت محاسبه شده به میزان ۲۵ درصد کمتر باشد، ضریب اطمینان طراحی چقدر است؟

- ۱) 0.67 ۲) 1.33 ۳) 1.5 ۴) 1.67

حل:

با استفاده از رابطه (۷-۱) خواهیم داشت:

$$F_o S_o = \frac{1 + \frac{\Delta L}{L}}{1 - \frac{\Delta R}{R}} = \frac{1 + 0.25}{1 - 0.25} = 1.67$$

بنابراین گزینه (۴) جواب مساله است.

مساله ۲-۱- در طراحی سازه فولادی براساس تنش مجاز، چنانچه ضریب اطمینان طراحی برابر $F_o S_o$ باشد، درصد ماکزیمم تغییرات بار و مقاومت متناظر با این ضریب اطمینان چقدر است؟

- ۱) $100(F_o S_o - \frac{1}{F_o S_o})$ ۲) $100 F_o S_o - 1$ ۳) $100 \frac{F_o S_o - 1}{F_o S_o + 1}$ ۴) $100(1 - \frac{1}{F_o S_o})$

حل:

مجدداً می‌بایست از رابطه (۷-۱) نماییم:

$$F_0 S_0 = \frac{1 + \frac{\Delta L}{L}}{1 - \frac{\Delta R}{R}}$$

با یکسان فرض کردن درصد تغییرات بار و مقاومت متناظر با آن، خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$F_0 S_0 - \frac{\Delta R}{R} F_0 S_0 = 1 + \frac{\Delta R}{R}$$

$$F_0 S_0 - 1 = \frac{\Delta R}{R} (F_0 S_0 + 1)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{F_0 S_0 - 1}{F_0 S_0 + 1} = 100 \frac{F_0 S_0 - 1}{F_0 S_0 + 1} \%$$

بنابراین گزینه (۳) جواب مساله می‌باشد.

به طور خلاصه می‌توان گفت که خصوصیات روش تنش مجاز در طراحی سازه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۱- ضرایب بار γ برای بارهای مختلف به صورت یکسان و برابر واحد در نظر گرفته می‌شود.

۲- برای تحلیل سازه از روش تحلیل الاستیک استفاده می‌شود.

۳- از مقاومت مجاز مصالح در محدوده الاستیک (ارتجاعی) استفاده می‌گردد.

۱-۲-۲- روش طرح خمیری (PD)

در روش طرح خمیری رابطه (۲-۱) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$R = \frac{\gamma}{\phi} L \quad (۸-۱)$$

در رابطه (۸-۱) ضریبی بزرگتر از واحد می‌باشد:

$$\frac{\gamma}{\phi} \geq 1$$

علاوه بر اختلاف ظاهری فوق، دو اختلاف عمده دیگر بین روش طرح پلاستیک (روش مقاومت نهایی) و

روش تنش مجاز وجود دارد. این دو اختلاف به شرح زیر می‌باشد:

۱- در روش طرح پلاستیک با توجه به خصوصیات شکل‌پذیری فولاد، به جای استفاده از مقاومت مجاز در محدوده

الاستیک، از مقاومت نهایی در حالت پلاستیک استفاده می‌گردد.

۲- در روش طرح پلاستیک برای تحلیل سازه به جای تحلیل الاستیک از روش تحلیل حدی (تحلیل پلاستیک) که

در آن مکانیزم‌های محتمل خرابی تعیین می‌گردند استفاده می‌شود.

۱-۲-۳- روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

در روش ضرایب بار و مقاومت، معادله (۱-۲) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\phi R = \sum \gamma_i L_i \quad (9-1)$$

در رابطه فوق، L_i نوع بار و γ_i ضریب بار مربوطه و ϕ ضریب کاهش مقاومت و R مقاومت نهایی عضو برحسب توزیع تنش در حالت نهایی (پلاستیک) می‌باشد.

به طور کلی می‌توان گفت که خصوصیات روش ضرایب بار و مقاومت به شرح زیر است:

- ۱- ضرایب بار γ برای بارهای مختلف مقادیر مختلفی دارد. این مقدار برای بارهای مرده، کوچکتر از بارهای زنده است. دلیل این امر این است که مقادیر بارهای مرده را با دقت بالاتری می‌توان معین کرد.
- ۲- برای تحلیل سازه، هم از روش تحلیل الاستیک و هم از روش تحلیل حدی (پلاستیک) می‌توان بهره گرفت. لیکن به دلیل پیچیده بودن روش تحلیل پلاستیک، در شرایط فعلی، بیشتر از روش تحلیل الاستیک استفاده می‌گردد.
- ۳- طراحی مقطع در محدوده رفتار پلاستیک مقطع صورت می‌گیرد.

۱-۳- مقایسه روش‌های ASD و LRFD

بعد از تمامی صحبت‌های فوق یقیناً این پرسش در ذهن شما پیش می‌آید:

سازه طراحی شده براساس کدام روش اقتصادی‌تر است؛ ASD یا LRFD؟

- همانطوری که قبلاً نیز گفتیم در روش تنش مجاز (ASD) مقادیر ضریب بار برای بارهای مرده و زنده یکسان می‌باشد، ولی در روش حالات حدی (LRFD) مقدار ضریب بار برای بارهای مرده و زنده متفاوت است، لذا وزن فولاد بدست آمده در روش ASD و LRFD بستگی به نسبت بار زنده به بار مرده خواهد داشت. به آسانی می‌توان ثابت کرد که:
- ۱- اگر نسبت بار زنده به بار مرده کمتر از 3 باشد، استفاده از روش LRFD اقتصادی‌تر است.
 - ۲- اگر نسبت بار زنده به بار مرده برابر 3 باشد، ضریب اطمینان طراحی در هر دو روش تقریباً یکسان است.
 - ۳- اگر نسبت بار زنده به بار مرده بزرگتر از 3 باشد، استفاده از روش ASD اندکی اقتصادی‌تر است.

۱-۴- مبانی طراحی به روش حالات حدی (LRFD)

حالت‌های حدی به شرایطی اطلاق می‌شوند که اگر تمام یا بخشی از سازه به هر یک از آن حالت‌ها برسند، قادر به انجام وظایف خود نبوده و از حیز انتفاع خارج می‌شوند. براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، تعیین پیکربندی، ابعاد و مشخصات اجزای سازه باید به نحوی باشد که مجموعه سازه، شامل اعضاء و اتصالات آن، تحت شرایط بارگذاری محتمل به هیچ یک از حالت‌های حدی زیر نرسد.

الف- حالت‌های حدی مقاومت

حالت‌های حدی مقاومت حالت‌هایی هستند که مجموعه سازه، شامل اعضاء و اتصالات آن، ضمن حفظ انسجام خود، تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری تا رسیدن به آن حالت‌ها (نظیر تسلیم، گسیختگی، کماتش و ...) از

مقاومت کافی و شکل‌پذیری مورد نیاز برخوردار بوده و پس از رسیدن به هر یک از آن‌ها پایداری خود را از دست می‌دهند.

ب- حالت‌های حدی بهره‌برداری

حالت‌های حدی بهره‌برداری حالت‌هایی هستند که مجموعه سازه، شامل اعضا و اتصالات آن، تا رسیدن به آن حالت‌ها (نظیر قابلیت بهره‌برداری، حفظ ظاهر، دوام، آسایش و ...) وظایف خود را به طور کامل انجام می‌دهند و پس از رسیدن به هر یک از آن‌ها قادر به انجام وظایف خود نخواهند بود.

۱-۴-۱ - طراحی براساس حالت‌های حدی مقاومت

در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان روش طراحی مورد استفاده برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت، روش ضرایب بار و مقاومت می‌باشد و از طریق دو سری ضرایب ایمنی به شرح زیر در تحلیل و طراحی منظور می‌گردد:

الف- اولین دسته ضرایب ایمنی از طریق ضرایب تشدید بارها (γ) منظور می‌شود و مقدار آن‌ها به میزان عدم اطمینان در برآورد مقدار بارها بستگی دارد. مقدار این دسته از ضرایب ایمنی باید مطابق با ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشد.

ب- دومین دسته ضرایب ایمنی از طریق ضرایب کاهش مقاومت (ϕ) منظور می‌شود و مقدار آن‌ها با توجه به دقت تئوری مورد استفاده در ضوابط طراحی، تغییرات احتمالی مشخصات مصالح و ابعاد مقطع تعیین می‌گردد.

نکته ۱-۲: معیارهای طراحی برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت باید مطابق جدول ۱-۱ در نظر گرفته شوند.

جدول ۱-۱- معیارهای طراحی برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت

ردیف	معیارهای طراحی
۱	حالت‌های حدی مقاومت از قبیل تسلیم، گسیختگی، کمناش، تشکیل مکانیزم خرابی (فرو ریختگی)
۲	ناپایداری کلی از قبیل ناپایداری در برابر واژگونی و یا ناپایداری به علت تغییر مکان جانبی زیاد
۳	گسیختگی به علت خستگی
۴	کنترل آب جمع شدگی
۵	کنترل برای اثرهای خوردگی
۶	کنترل برای شرایط آتش‌سوزی
۷	کنترل برای ترد شکنی
۸	کنترل اتصال فولاد و بتن در قطعات مختلط

در روش ضرایب بار و مقاومت، طراحی اعضای مختلف سازه باید چنان صورت گیرد که مقاومت طراحی (ϕR_n) بزرگتر یا مساوی مقاومت مورد نیاز (R_n) باشد. یعنی:

$$R_n \leq \phi R_n \quad (۱۰-۱)$$

در رابطه (۱۰-۱):

$R_n =$ مقاومت مورد نیاز که منظور از آن، همان نیروهای داخلی موجود در مقطع مورد نظر تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری است.

$\phi =$ ضریب کاهش مقاومت

$R_n =$ مقاومت اسمی عضو

۱-۴-۲- طراحی بر اساس حالت‌های حدی بهره‌برداری

مجموعه سازه، شامل اعضاء و اتصالات آن، باید از نظر قابلیت بهره‌برداری مورد کنترل و طراحی قرار گیرند. ترکیبات بارگذاری نظیر حالت‌های حدی بهره‌برداری باید مطابق با ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشد. در این حالت هیچگونه ضرایب کاهش مقاومت در نظر گرفته نمی‌شود.

نکته ۱-۳: معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری باید مطابق جدول ۱-۲ در نظر گرفته شوند.

جدول ۱-۲- معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری

معیار طراحی	ردیف
کنترل تغییر شکل‌ها	۱
کنترل تغییر مکان‌های جانبی	۲
کنترل ارتعاش	۳
ملاحظات پیش‌خیز	۴
ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد	۵
کنترل اثرات انبساط و انقباض	۶
کنترل لغزش اتصالات	۷

۱-۵- اصول تحلیل

هدف از تحلیل سازه، تعیین مقاومت مورد نیاز (R_n) و یا نیروهای داخلی در قطعات مختلف سازه و تغییر مکان نقاط مختلف تحت اثر ترکیبات بارگذاری مورد نظر، با در نظر گرفتن مشخصات هندسی و مکانیکی آن‌هاست. در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان روش‌های تحلیل زیر مجاز شمرده شده‌اند:

الف- **تحلیل الاستیک:** در این روش تحلیل، کلیه نیروهای داخلی در مقاطع مختلف قطعات سازه با فرض الاستیک بودن رفتار مصالح و کوچک بودن تغییر شکل‌های ایجاد شده و بر اساس تئوری الاستیسیته تعیین می‌شوند. استفاده از این روش تحلیل برای بررسی و کنترل معیارهای طراحی هر دو حالت حدی مقاومت و بهره‌برداری مجاز است.

ب- **تحلیل غیر الاستیک:** در این روش تحلیل، کلیه نیروهای داخلی در مقاطع مختلف سازه با توجه به رفتارهای غیر الاستیک سازه تعیین می‌شوند. کاربرد این روش تحلیل فقط محدود به بررسی و کنترل معیارهای طراحی حالت‌های حدی مقاومت بوده و از آن نمی‌توان برای بررسی و کنترل معیارهای طراحی حالت‌های حدی بهره‌برداری استفاده کرد.

نکته ۱-۴: در روش تحلیل غیرالاستیک محدودیت‌های زیر باید تامین شوند:

- ۱- در اعضایی که در آن‌ها احتمال تشکیل مفصل پلاستیک وجود دارد، مقدار تنش تسلیم مصالح آن‌ها نباید از 450 مگاپاسکال بیشتر باشد.
- ۲- مقاطع اعضایی که تحت اثر نیروهای ترکیبی (نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی) قرار دارند و احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در بال و جان آن‌ها وجود دارد، باید فشرده باشند.
- ۳- در اعضای محوری فشاری که در آن‌ها امکان تشکیل مفصل پلاستیک وجود دارد، به منظور تامین شکل‌پذیری مورد نیاز، مقاومت طراحی آن‌ها نباید از $0.75F_y A_g$ بیشتر در نظر گرفته شود.
- ۴- تامین مهارهای جانبی در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک الزامی است.
- ۵- تنش تسلیم در کلیه اعضا و اتصالات باید با ضریب 0.9 کاهش داده شوند، مگر آنکه در تحلیل غیر الاستیک از روش‌های دیگری نظیر کاهش مدول الاستیسیته استفاده شده باشد.

۱-۶- مشخصات مصالح فولادی

مصالح به کار رفته شامل نیمرخ‌ها، ورق‌ها، تسمه‌ها، میلگردها، پرچ‌ها، پیچ‌ها، واشرها، مهره‌ها، میل مهارها، الکترودها و ... باید مطابق با استانداردهای ملی ایران باشد. در صورتی که برای بعضی از مصالح، استاندارد ایران تهیه نشده باشد، باید یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی (ترجیحاً استاندارد *ISO*) را مورد استفاده قرار داد.

نکته ۱-۵: مدول الاستیسیته (ضریب ارتجاعی) مصالح فولادی (E) مساوی 2×10^5 مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود.

نکته ۱-۶: ضریب پواسون مصالح فولادی (ν) مساوی 0.3 در نظر گرفته می‌شود.

۱-۷- الزامات لرزه‌ای مشخصات مصالح**۱-۷-۱- فولاد مصرفی**

هر چند در بند ۱-۶ الزامات متعارف فولاد مصرفی به عنوان یک ماده ساختمانی ارائه شده است، لیکن جهت تامین شکل‌پذیری مناسب لازم است توجه ویژه‌ای به نحوه عملکرد فولاد در طرح لرزه‌ای ساختمان‌ها شود. برای حصول این امر لازم است از ناپایداری موضعی و کلی از قبیل کمانش جانبی - پیچشی در محدوده رفتار پلاستیک جلوگیری به عمل آید. این فولادها باید در عین حال دارای مقاومت کششی نهایی حداقل 1.2 برابر مقاومت حد تسلیم باشند. یعنی:

$$F_u \geq 1.2F_y \quad (1-11)$$

۱-۷-۲- اتصالات جوشی

مشخصات مصالح جوش به کار رفته در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای و نیز وصله ستون‌های غیر باربر جانبی لرزه‌ای باید مطابق شرایط زیر باشد:

۱- فلز جوش با فلز پایه سازگار باشد.

۲- طاقت نمونه شیار داده شده شارپی استاندارد فلز جوش در دمای 18- درجه سلیسیوس، حداقل 27 ژول باشد.

۳- در اتصالات و وصله‌های با جوش نفوذی کامل، در قاب‌های خمشی ویژه و متوسط و تیرهای پیوند قاب‌های مهاربندی شده واگرا، باید علاوه بر دو شرط فوق طاقت نمونه شیار داده شده شارپی استاندارد فلز جوش در دمای 29- درجه سلیسیوس حداقل 27 ژول باشد.

۱-۷-۳- اتصالات پیچی

کلیه پیچ‌های مورد استفاده در اتصالات و وصله‌های اعضای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای و نیز وصله ستون‌های غیر باربر جانبی لرزه‌ای، باید با رفتار اصطکاکی و از نوع پر مقاومت باشند و با حداقل بار مندرج در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان پیش تنیده شوند. سوراخ‌ها نیز باید استاندارد یا لوییایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو باشد.

۱-۸- سوالات چهار گزینه‌ای

(مماسیات - ۸۶)

۱- کدام یک از عوامل زیر منجر به خستگی (Fatigue) در سازه‌های فولادی نمی‌گردد؟

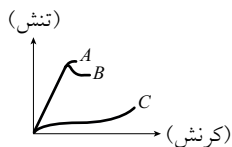
- ۱) اعمال بارهای متناوب با دامنه‌ی متغیر
- ۲) اعمال بارهای استاتیکی در درجه حرارت بالا
- ۳) اعمال بارهای متناوب با دامنه‌ی ثابت در درجه حرارت بالا
- ۴) اعمال بارهای استاتیکی در درجه حرارت متغیر

۲- برای مناطق زلزله‌خیز، کدام خاصیت زیر در مصالح ساختمانی به ویژه فولاد اهمیت بیشتری دارد؟

(مماسیات - ۸۲)

- ۱) مقاومت حد تسلیم
- ۲) مدول الاستیک
- ۳) شکل‌پذیری و کرنش گسیختگی نهایی
- ۴) هیچ‌کدام از موارد فوق

۳- نمودار تنش-کرنش سه نوع فولاد در شکل داده شده است. کدام نوع فولاد شکل‌پذیرتر می‌باشد؟



- ۱) A
- ۲) B
- ۳) C
- ۴) هر سه نوع فولاد شکل‌پذیری یکسانی دارند.

۴- کدام یک از جملات زیر در مورد فولاد ساختمانی صحیح است؟

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

۵- فولادهای مصرفی در سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باید دارای مقاومت نهایی کششی حداقل برابر مقاومت حد جاری شدن باشند.

- ۱) 1.25
- ۲) 1.30
- ۳) 1.20
- ۴) 1.40

۶- چنانچه فولاد در برابر حرارت قرار گیرد:

- ۱) مقاومت تسلیم آن کاهش می‌یابد.
- ۲) مقاومت تسلیم آن افزایش می‌یابد.
- ۳) مقاومت تسلیم آن تغییری نمی‌کند.
- ۴) مقاومت تسلیم به حد جاری شدن می‌رسد.

۷- کدام عبارت صحیح است؟

- ۱) بالا بودن میزان کربن در فولاد، مقاومت آن را بالا برده و شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد.
- ۲) بالا بودن میزان کربن در فولاد، مقاومت و شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد.
- ۳) بالا بودن میزان کربن در فولاد، مقاومت و شکل‌پذیری آن را افزایش می‌دهد.
- ۴) بالا بودن میزان کربن در فولاد، مقاومت آن را کاهش و شکل‌پذیری آن را افزایش می‌دهد.

۸- سازه‌های فولادی که در مقابل بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند...

- ۱) شکنندگی ترد آن‌ها کاهش می‌یابد.
- ۲) تغییر در شکنندگی ترد آن‌ها اتفاق نمی‌افتد.
- ۳) شکنندگی ترد آن‌ها افزایش می‌یابد.
- ۴) خمیدگی آن‌ها افزایش می‌یابد.

۹- افزایش کدام عنصر آلیاژی در فولاد باعث افزایش مقاومت فولاد در برابر خوردگی می‌شود؟ (مماسیات - ۷۹)

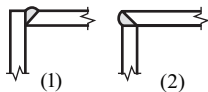
- ۱) کربن
- ۲) فسفر
- ۳) سیلیسیوم
- ۴) کربن و سیلیسیوم

۱۰- اگر فولاد نرمه را تا پایان مرحله جاری شدن (تسلیم) تحت کشش قرار دهیم و بعد آزاد کنیم: (مماسیات - ۸۱)

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

(نظارت - ۷۹)

۱۱- کدام یک از دو وضعیت جوشکاری زیر صحیح‌تر است؟



- ۱) هر دو گزینه یکسان هستند
- ۲) گزینه (۱)
- ۳) گزینه (۲)
- ۴) هیچ‌کدام

۹-۱ - پاسخنامه تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای

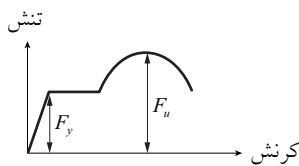
۱- گزینه (۲)

بند ۱-۱-۴ را مطالعه کنید.

۲- گزینه (۳)

خاصیت تحمل تغییر شکل‌های بزرگ در اثر تنش کششی در یک ماده را شکل‌پذیری می‌نامند. هنگامی که یک عضو ساخته شده از فولاد نرمه تحت آزمایش کشش قرار می‌گیرد، قبل از وقوع گسیختگی نهایی، سطح مقطع به شدت کاهش و طول آن به شدت افزایش می‌یابد. ماده‌ای که دارای این خاصیت نیست ترد و شکننده است و احتمالاً در اثر بارهای نهایی می‌شکند. از دیگر مزایای خاصیت شکل‌پذیری فولاد این است که وقتی عضوی بیش از ظرفیت خود بارگذاری شود، تغییر مکان‌های بزرگ ایجاد شده زنگ خطر قبل از تخریب خواهد بود.

براساس مبحث دهم (ویرایش ۱۳۹۲؛ صفحه ۲۰۰؛ ۱۰-۳-۳-۱) یا شرح درس (بند ۱-۷-۱) معیار شکل‌پذیری فولاد به صورت نسبت F_u/F_y تعریف شده است. بر این اساس برای فولاد مصرفی در ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله باید این نسبت، حداقل برابر 1.2 باشد. یعنی:

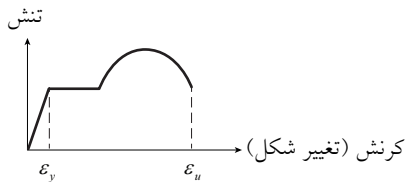


$$\frac{F_u}{F_y} \geq 1.2 \quad \text{یا} \quad F_u \geq 1.2F_y$$

F_y و F_u به ترتیب مقاومت کششی نهایی و مقاومت حد تسلیم فولاد می‌باشند که در نمودار تنش-کرنش شکل زیر به صورت شماتیک مشخص شده‌اند.

۳- گزینه (۳)

تعریف شکل‌پذیری فولاد به صورت تئوریک و براساس نمودار تنش-کرنش آن عبارت از نسبت کرنش گسیختگی به کرنش تسلیم آن می‌باشد:



$$\mu = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$$

به عبارت دیگر هر اندازه نسبت $\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$ بیشتر باشد، فولاد مورد نظر شکل‌پذیرتر است.

۴- گزینه (۲)

به پاسخ تست قبل مراجعه کنید.

۵- گزینه (۳)

به شرح درس (بند ۱-۷-۱) مراجعه کنید.

۶- گزینه (۱)

وقتی دما از 93 درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند، نمودار تنش- کرنش از حالت خطی خارج شده و به تدریج نقطه جاری شدن از حالت مشخص خارج می‌شود. با افزایش درجه حرارت، ضریب الاستیسیته، تنش جاری شدن و مقاومت کششی کاهش می‌یابند. در محدوده بین 340 تا 540 درجه سانتی‌گراد، سرعت کاهش، حداکثر است. کاهش مقاومت فولاد به واسطه افزایش درجه حرارت، بزرگ‌ترین عیب سازه‌های ساخته شده از فولاد می‌باشد. ضریب انتقال گرمای بتن به طور محسوس پائین‌تر از فولاد است و این روند در دماهای بالا نیز پا برجاست. یعنی بتن دما را خیلی کندتر از فولاد به درون جسم انتقال می‌دهد. از این خاصیت بتن، ملات و سایر مصالح بنایی برای حفاظت فولاد در مقابل آتش‌سوزی برای یک فاصله زمانی (مهلت) مشخص استفاده می‌شود.

۷- گزینه (۱)

کرین نقش اساسی در خواص مختلف فولاد دارد و مقاومت، حد خطی (الاستیک) و سختی فولاد را بالا می‌برد ولی شکل‌پذیری آن را کاهش می‌دهد و فولاد را ترد و شکننده می‌کند. تردی و شکنندگی فولاد باعث کاهش استقامت آن در مقابل نیروهای ضربه‌ای، ارتعاشی و دینامیکی می‌گردد. افزایش مقدار کرین از جوش‌پذیری فولاد می‌کاهد. کرین به طور کلی اکسید زداست و مقاومت فولاد را در مقابل خوردگی افزایش می‌دهد.

۸- گزینه (۳)

تمام آزمایش‌های معمول برای بررسی خواص فولاد، آزمایش‌های استاتیکی (با سرعت بارگذاری کم) می‌باشند. تجربه نشان داده است که با افزایش سرعت بارگذاری، تنش جاری شدن، تنش گسیختگی و شکل‌پذیری فولاد افزایش می‌یابد. به طور کلی بارگذاری دینامیکی و سریع، باعث افزایش تردی فولاد می‌شود. این‌گونه استدلال شده است که این تردی به خاطر سرعت بارگذاری نیست، بلکه به علت ترکیب بارگذاری و باربرداری سریع می‌باشد. بارهای دینامیکی مسئله دیگری به نام خستگی به وجود می‌آورند. به علت خستگی، قطعه تحت تنش‌های به مراتب کوچکتری گسیخته می‌شود.

۹- گزینه (۴)

اثرات عناصر آلیاژی مختلف بر خواص فولاد به شرح زیر است:

فسفر: تردی و شکنندگی فولاد را افزایش می‌دهد ولی باعث کاهش شکل‌پذیری و همچنین کاهش مقاومت ضربه‌ای فولاد می‌شود.

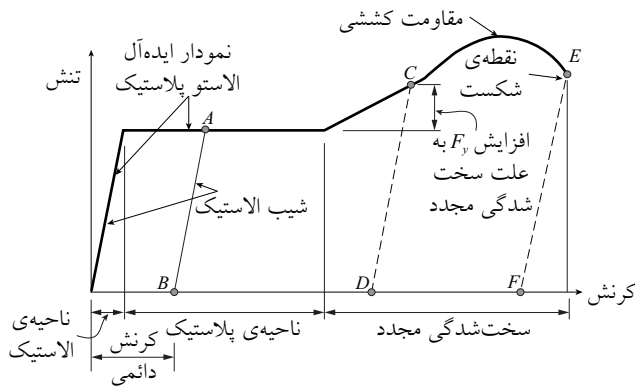
سیلیسیوم: مقاومت کششی و مقاومت خوردگی فولاد را افزایش داده و سبب کاهش قابلیت جوش‌پذیری فولاد می‌شود.

منگنز: مقاومت ضربه‌ای، شکل‌پذیری، مقاومت کششی و مقاومت سایشی فولاد را افزایش می‌دهد.

کرین: مقاومت کششی، سختی و تردی و شکنندگی فولاد را افزایش می‌دهد و باعث کاهش نقطه ذوب، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری فولاد می‌گردد.

۱۰- گزینه (۴)

در آزمایش کشش فولاد، اگر نمونه در محدوده الاستیک باربرداری شود، نمودار تنش- کرنش روی نمودار اولیه به سمت مبدأ مراجعت خواهد نمود و هیچگونه کرنش دائمی به وجود نخواهد آمد. لذا بارگذاری و باربرداری تا نقطه قبل از مرحله تسلیم، هیچگونه تغییری در تنش تسلیم F_y و ضریب ارتجاعی E ایجاد نخواهد کرد.



لیکن باربرداری در نقطه A که بعد از کرنش جاری شدن ϵ_y قرار دارد، باعث تغییر شکل دائمی OB خواهد شد. با ایجاد این کرنش دائمی، ظرفیت شکل‌پذیری نمونه از کرنش نهایی OF به کرنش BF کاهش پیدا می‌کند. در این صورت اگر نمونه مجدداً بارگذاری شود، همانند این است که مبدأ نمودار به نقطه B منتقل شده است و نمودار تنش- کرنش مجدداً مسیر $BACE$ را تا نقطه گسیختگی طی می‌کند.

حال اگر بارگذاری تا نقطه C انجام شود، نمودار باربرداری مسیر خط‌چین CD را طی خواهد نمود تا به نقطه D برسد. در این حالت، مبدأ بارگذاری جدید، نقطه D خواهد بود و نمودار مسیر DCE را تا نقطه گسیختگی طی خواهد کرد. با توجه به بزرگ‌تر بودن طول پاره‌خط AB از CD ، نتیجه می‌گیریم که تنش تسلیم، افزایش پیدا کرده است. افزایش تنش تسلیم به سخت شدن مجدد کرنش معروف است. با وجود افزایش تنش جاری شدن، ملاحظه می‌گردد که ظرفیت شکل‌پذیری و حالت جدید، به مقدار قابل توجه OD از مقدار اولیه کاهش پیدا کرده است. فرآیند بارگذاری بیش از حد الاستیک، در درجه حرارت آتمسفر، به طوری که باعث افزایش تنش جاری شدن و کاهش شکل‌پذیری گردد، به عملیات سرد معروف است.

۱۱- گزینه (۳)

عمل نورد فولاد باعث می‌شود که ساختار درونی آن به صورت مجموعه‌ای از الیاف به هم فشرده درآید که در راستای طولی به موازات یکدیگر قرار دارند. از طرف دیگر می‌دانیم در اتصال جوشی دو قطعه فولادی به

یکدیگر، فلز جوش در هنگام سرد شدن، منقبض (جمع) می‌شود. حال اگر انقباض و جمع شدن جوش عمود بر امتداد الیاف فرضی فولاد باشد، گسیختگی‌های داخلی در امتداد سطح تماس الیاف ایجاد می‌شود که به آن تورق گفته می‌شود. تورق یک نوع تردشکنی است. شکل زیر اصلاح روش جوشکاری را برای حذف تورق نشان می‌دهد.

