

طراحی سازه‌های فولادی

(بر اساس طراحی به روش تنش مجاز و روش حدی)

(مبحث دوم از مجموعه مقررات ملی ساختمان)

(جلد اول)

تألیف:

شاپور طاحونی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

سرشناسه	: طاحونی، شاپور، ۱۳۳۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی سازه‌های فولادی (بر اساس طراحی به روش تنش مجاز و روش حدی) // تألیف شاپور طاحونی.
مشخصات نشر	: تهران: علم و ادب، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۲ ج.: مصور، جدول، نمودار
فروست	: مقررات ملی ساختمان ایران؛ مبحث دهم.
شابک	: ج. ۱: 978-964-7005-71-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: ساختمان‌های فلزی — ایران — استانداردها
موضوع	: ساختمان‌های فلزی — طرح و ساختمان
موضوع	: فولاد ساختمانی
بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ۷۲۵۳۲۷/۷۲۵۳۲۷ T۸۶۸۳
رده بندی دیوید	: ۶۲۴/۱۸۲۱۰۲۱۸۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۹۰۷۶۱۴

طراحی سازه‌های فولادی (بر اساس روش تنش مجاز و روش حدی) (مبحث دهم مجموعه مقررات ملی ساختمان) (جلد اول)

تألیف: شاپور طاحونی
ناشر: انتشارات علم و ادب
امور فنی و هنری: سازمان نقشه‌برداری
چاپ و صحافی: فرنگ‌پرنگ
شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ: ویرایش دوم / چاپ اول / ۳۹۲
شابک دوره: ۲-۷۲-۷۰۰۵-۹۶۴-۹۷۸
شابک جلد ۱: ۱-۷۱-۷۰۰۵-۹۶۴-۹۷۸
قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه برداری و ترجمه و جز اینها
برای «انتشارات علم و ادب» محفوظ است.
تهران: خیابان انقلاب، خیابان قدس، پلاک ۳، واحد ۲
تلفن: ۶۶۹۶۶۵۸۶

فهرست مطالب

پیشگفتار مؤلف	ک
مقدمه مؤلف ویرایش دوم)	م
فصل ۱ تعریفی، تاریخچه و روش‌های طراحی	(۱ - ۱۱۰)
۱ - ۱	۱
۲ - ۱	۲
۳ - ۱	۲۸
۴ - ۱	۳۹
۵ - ۱	۴۱
۶ - ۱	۵۴
۷ - ۱	۵۶
۸ - ۱	۶۰
۹ - ۱	۶۴
۱۰ - ۱	۶۴
۱۱ - ۱	۷۳
۱۲ - ۱	۷۵
۱۳ - ۱	۷۶
۱۴ - ۱	۸۳
۱۵ - ۱	۸۷
۱۶ - ۱	۹۰
۱۷ - ۱	۹۳
فصل ۲ مشخصات هندسی مقطع	(۱۱۱ - ۱۴۴)
۱ - ۲	۱۱۱
۲ - ۲	۱۱۲

۱۱۲	۳-۲	ممان اینرسی (I)
۱۲۲	۴-۲	اساس مقطع
۱۲۴	۵-۲	شعاع ژیراسیون (r)
۱۲۴	۶-۲	ممان اینرسی حداقل
۱۲۵	۷-۲	ممان اینرسی حاصل ضرب (I_{xy})
۱۳۰	۸-۲	ممان اینرسی قطبی (I_o)
۱۳۰	۹-۲	ثابت پیچش خالص (J) و ثابت پیچش تابیدگی (C_w)
۱۳۰	۱۰-۲	مشخصات مقاطع با جدار نازک
۱۳۵	۱-۱	محور برش و مرکز برش
۱۴۱		مثال فصل دوم

فصل ۳ اعضای کششی..... (۱۴۵ - ۲۱۴)

۱۴۵	۱-۳	معرفی
۱۴۷	۲-۳	درمات های اعضای کششی
۱۵۲	۳-۳	سطح مقطع خالص (A_n)
۱۵۳	۴-۳	انواع سوراخ
۱۵۵	۵-۳	اثر سوراخ های یک دراز بر مساحت خالص
۱۶۰	۶-۳	سطح مقطع مؤثر اعضای کششی
۱۶۸	۷-۳	لاغری به عنوان معیار طراحی
۱۷۰	۸-۳	اتصالات اعضای کششی
۱۷۲	۹-۳	اعضای کششی ساخته شده از نیمرخ ها
۱۷۴	۱۰-۳	انتقال نیرو در اتصال
۱۸۵	۱۱-۳	گسیختگی قالبی
۱۹۲	۱۲-۳	میلگردهای کششی با انتهای دنده (رزوه) شده
۱۹۹	۱۳-۳	اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ یا نیمرخ و ورق
۲۰۰	۱۴-۳	اعضای کششی با اتصالات لولایی
۲۰۵		مسائل فصل سوم

فصل ۴ پیچ و پرچ..... (۲۱۵ - ۳۰۴)

۲۱۵	۱-۴	مقدمه
۲۱۵	۲-۴	پرچ
۲۱۶	۳-۴	پیچ های معمولی

۲۱۷	پیچ‌های پرمقاومت	۴ - ۴
۲۱۷	شکل ظاهری پیچ‌ها	۵ - ۴
۲۱۸	بار گواه	۶ - ۴
۲۱۹	انواع سوراخ	۷ - ۴
۲۲۰	انتقال نیرو در اتصالات پیچی و پرچی	۸ - ۴
۲۲۲	رفتار برشی پیچ‌ها	۹ - ۴
۲۲۴	مکانیسم‌های خرابی پیچ و پرچ	۱۰ - ۴
۲۲۴	تنش‌های اسمی یا قراردادی	۱۱ - ۴
۲۲۷	معیارهای طراحی اتصالات اتکایی در برش	۱۲ - ۴
۲۴۲	معیارهای طراحی اتصالات اصطکاکی در برش	۱۳ - ۴
۲۴۸	ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌های پرمقاومت	۱۴ - ۴
۲۵۱	ترکیب نیروی برشی و لنگر پیچشی (برش برون‌محور)	۱۵ - ۴
۲۶۳	پیچ و پرچ‌هایی که تحت کشش محوری قرار دارند	۱۶ - ۴
۲۷۰	ترکیب برش و کشش	۱۷ - ۴
۲۸۰	ترکیب نیروی برش و لنگر خمشی	۱۸ - ۴
۲۹۵	مسائل فصل چهارم	

فصل ۵ جوش (۳۰۵ - ۳۸۶)

۳۰۵	مقدمه	۱ - ۵
۳۰۶	جوشکاری با استفاده از قوس الکتریکی	۲ - ۵
۳۰۷	جوش پذیری فولادهای ساختمانی	۳ - ۵
۳۰۸	انواع اتصال‌های جوشی	۴ - ۵
۳۱۰	انواع جوش	۵ - ۵
۳۱۴	علائم جوشکاری	۶ - ۵
۳۱۷	عواملی که در کیفیت اتصالات جوشی مؤثرند	۷ - ۵
۳۲۱	معایب جوش	۸ - ۵
۳۲۴	بازرسی و کنترل	۹ - ۵
۳۲۵	سطح مؤثر جوش	۱۰ - ۵
۳۲۸	محدودیت اندازه و طول جوش گوشه	۱۱ - ۵
۳۳۵	محدودیت‌های ضخامت و فواصل جوش انگشتانه و کام	۱۲ - ۵
۳۳۶	روش تنش‌های مجاز	۱۳ - ۵

۳۴۲	مقاومت جوش‌ها در طراحی به روش حدی	۱۴ - ۵
۳۴۵	حداکثر اندازه مؤثر جوش گوشه	۱۵ - ۵
۳۴۸	جوش اعضای محوری	۱۶ - ۵
۳۶۳	اتصالات جوشی با برون‌محوری	۱۷ - ۵
۳۶۴	ترکیب برش و پیچش	۱۸ - ۵
۳۷۱	ترکیب برش و خمش	۱۹ - ۵
۳۷۳	تخمین طول جوشی که تحت اثر لنگر خمشی است	۲۰ - ۵
۳۷۷	مسائل فصل پنجم	

فصل ۶ - کمانش موضعی اجزای تحت فشار (۳۸۷ - ۴۱۶)

۳۸۷	۱ - مقدمه	۱ - ۶
۳۸۸	۲ - ۶ - تنش ورق که در دو لبه انتهایی خود تحت تنش‌های فشاری قرار دارد	
۳۹۰	۳ - ۶ - مقایسه کمانشی ورق‌ها تحت فشار یکنواخت در لبه‌ها	
۳۹۱	۴ - ۶ - مقاومت لبه‌ای ورق‌ها در فشار	
۳۹۵	۵ - ۶ - ناحیه انتقال بین دو دار کمانش اولری و ناحیه سخت‌شدگی مجدد	
۳۹۷	۶ - ۶ - مقررات آیین‌نامه برای جلوگیری از کمانش موضعی در طراحی ...	
۳۹۹	۷ - ۶ - مقررات آیین‌نامه برای جلوگیری از کمانش موضعی در طراحی ...	
۴۰۲	۸ - ۶ - طبقه‌بندی نیم‌رخ‌ها بر مبنای ...	
۴۰۹	۹ - ۶ - مقررات آیین‌نامه برای جلوگیری از کمانش موضعی در طراحی ...	

فصل ۷ - ستون‌ها و سایر اعضای تحت فشار محوری (۴۱۷ - ۵۲۶)

۴۱۷	۱ - ۷ - مقدمه	
۴۱۸	۲ - ۷ - معادله کمانش الاستیک اولر	
۴۲۰	۳ - ۷ - مقاومت فشاری ستون‌ها	
۴۲۳	۴ - ۷ - تنش‌های پس‌ماند	
۴۲۶	۵ - ۷ - کمانش غیرالاستیک	
۴۳۰	۶ - ۷ - منحنی طراحی	
۴۳۲	۷ - ۷ - روابط آیین‌نامه	
۴۴۵	۸ - ۷ - طول مؤثر کمانش	
۴۵۲	۹ - ۷ - ضریب طول مؤثر در قاب‌ها	
۴۵۸	۱۰ - ۷ - طراحی ستون‌ها	
۴۷۶	۱۱ - ۷ - ستون‌های ترکیبی جان‌پر	

۴۹۰	۷ - ۱۳	مقررات مربوط به ستون‌های مشبک
۵۰۳	۷ - ۱۴	ستون‌های ساخته شده از ورق
۵۱۱	۷ - ۱۵	اعضای محوری مختلط - روش حدی
۵۱۹		مسائل فصل هفتم

فصل ۸ تیرها با اتکای جانبی (۵۲۷ - ۶۶۶)

۵۲۷	۸ - ۱	مقدمه
۵۲۹	۸ - ۲	بار وارد بر تیرها
۵۳۱	۸ - ۳	تئوری خمش
۵۳۳	۸ - ۴	نیمرخ‌های مناسب برای خمش
۵۳۴	۸ - ۵	مقاومت نهایی خمشی
۵۴۰	۸ - ۶	طراحی تیرها
۵۴۱	۸ - ۷	مقاومت خمشی
۵۵۳	۸ - ۸	معیر به دایره - تغییر شکل (افتادگی تیرها) - روش تنش مجاز و ...
۵۵۸	۸ - ۹	آب‌انباشت در بام و تخت
۵۶۱	۸ - ۱۰	تنش‌های برش
۵۶۶	۸ - ۱۱	تسلیم موضعی و لرزه‌ای در تیرهای جاذب و بال
۵۸۰	۸ - ۱۲	تنش‌های برشی ناشی از پیچش ۸ - ۱۱ کنترل کمانش جانبی بال ...
۵۸۰	۸ - ۱۳	کنترل کمانش جانبی بال تحت بار
۵۸۰	۸ - ۱۴	اثر سوراخ در مقاومت تیرها
۵۸۴	۸ - ۱۵	خمش دومحوره
۵۹۱	۸ - ۱۶	خمش گچ
۵۹۵	۸ - ۱۷	مرکز برش
۶۰۲	۸ - ۱۹	تیرهای نعل درگاهی
۶۰۶	۸ - ۲۰	تیرچه‌های فولادی خریایی
۶۱۱	۸ - ۲۱	تیرچه‌های لانه‌زنبوری
۶۱۹	۸ - ۲۲	تیرهای مختلط (کامپوزیت)
۶۳۴	۸ - ۲۳	طراحی تیرهای مختلط برای خمش به روش تنش مجاز
۶۴۰	۸ - ۲۴	طراحی تیرهای مختلط به روش حدی
۶۵۲		مسائل فصل هشتم

فصل ۹ تیرهای سراسری (۶۶۷ - ۶۹۶)

۶۶۷	۱ - ۹	مقدمه
۶۶۹	۲ - ۹	مفصل خمیری و مکانیسم‌های داخلی
۶۷۵	۳ - ۹	ظرفیت دورانی مقاطع فولادی
۶۷۵	۴ - ۹	بازتوزیع لنگر در آیین‌نامه فولاد
۶۷۸	۵ - ۹	طرح خمیری تیرهای سراسری
۶۷۹	۶ - ۹	روش انرژی برای تحلیل خمیری تیرهای سراسری
۶۹۲	مسائل فصل نهم	

www.ketab.ir

پیش‌گفتار مؤلف

نزدیک به ۶ سال از انتشار مبحث ۱۰ از مجموعه مقررات ملی ساختمان تحت عنوان طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی می‌گذرد. طی این مدت، این آیین‌نامه جایگاه خود را نزد مهندسين عمران پیدا نموده و در طراحی سازه‌های فولادی به‌جای آیین‌نامه‌های غیرملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌موراثت ربردهای عملی، در اکثر دانشکده‌های مهندسی نیز مآخذ آیین‌نامه‌ای مدرسين دانشگاهی قرار گرفته است.

در کنار این اصل آیین‌نامه، وزارت مسکن تا به‌حال دو راهنما برای آیین‌نامه که هریک شامل دیدگاه‌های خاصی به‌عنوان منتشر نموده است. با اینکه این دو راهنما مشکلات عمده‌ای را در درک مفاهیم آیین‌نامه برطرف نموده است، لیکن هنوز فقدان یک کتاب درسی برای آموزش مفاهیم این آیین‌نامه به دانشجویان احساس می‌شود. با توجه به تجربه‌ای که در تهیه کتاب طراحی سازه‌های فولادی بر مبنای آیین‌نامه AISC وجود داشته، اقدام به تهیه کتاب درسی حاضر بر مبنای آیین‌نامه فولاد ایران (مبحث ۱۰ از مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران) گردید. آیین‌نامه فولاد ایران هرچند که با اقتباس از آیین‌نامه AISC تنظیم شده، لیکن باید گفت که دارای دیدگاه‌های خاص خود می‌باشد و باید به‌طور مستقل مورد توجه قرار گیرد.

نکته مهمی که در تهیه این مجموعه مورد توجه قرار گرفته است، سادگی و روانی و عاری بودن از هرگونه مفاهیم نظری پیچیده می‌باشد که لزومی به مطرح نمودن آنها در سطح آموزش کارشناسی مشاهده نمی‌شود. از این‌رو مجموعه حاضر به‌مراتب ساده‌تر، روان‌تر و کاربردی‌تر از کتاب طراحی سازه‌های فولادی بر مبنای AISC است و در آن مثال‌های عملی بیشتری گردآوری شده و مبانی نظری روابط با سادگی بیشتری عنوان گردیده است. از این به‌بعد هر کتاب به‌طور مستقل به‌موازات هم منتشر خواهند گردید.

این مجموعه در ۱۵ فصل تنظیم شده است که عناوین فصول آن به‌قرار زیر می‌باشد:

فصل ۱ - معرفی سازه‌های فولادی

فصل ۲ - مشخصات هندسی نیمرخ‌ها

فصل ۳ - طراحی اعضای کششی

فصل ۴ - وسایل اتصال (پیچ و پرچ)

فصل ۵ - وسایل اتصال (جوش)

فصل ۶ - کمانش موضعی اجزای تحت فشار

فصل ۷ - طراحی ستون‌ها تحت بار محوری

فصل ۸ - تیرها با اتکای جانبی

فصل ۹ - تیرهای سراسری

فصل ۱۰ - پیچش

فصل ۱۱ - تیرها بدون اتکای جانبی

فصل ۱۲ - تیرستون‌ها

فصل ۱۳ - تیورق‌ها

فصل ۱۴ - اتصالات

فصل ۱۵ - ساختمان‌های فولادی

در کنار مثال‌های عملی متعددی که در هر فصل ارائه شده، در فصل پانزدهم پس از معرفی اصول کلی طراحی ساختمان‌های فولادی، دو مثال کلی برای طراحی یک ساختمان فولادی و یک ساختمان صنعتی ارائه شده است.

امید است این مجموعه مورد توجه دانشجویان و مهندسين طراحی قرار گیرد.

در خاتمه از زحمات بی‌شماری آقای مهندس آرش نیری در آماده‌سازی کتاب و ارائه پیشنهادات ارزنده سپاس‌گزار می‌شود. آقای ط. حسن‌پور و خانم م. عزب‌دفتری عهده‌دار حروفچینی و صفحه‌آرایی این کتاب بوده‌اند که زحمات آنها مورد امتنان می‌باشد. همچنین از زحمات مدیریت محترم انتشارات علم و ادب در چاپ این کتاب تشکر می‌شود.

تذکر این نکته لازم است که با توجه به تعدد تأثیرگذار در طراحی سازه، پذیرش هرگونه مسئولیتی در قبال نتایج حاصل از روابط موجود در کتاب، برای نگارنده غیرممکن است. طراحی سازه در قلمرو تجربه مهندس سازه با صلاحیت و تجربه کافی در زمینه طراحی است.

زمستان ۱۳۷۷

شاپور طاحونی

مقدمه مؤلف (ویرایش دوم)

حدود ۱۴ سال از انتشار کتاب طراحی سازه‌های فولادی بر مبنای آیین‌نامه فولاد ایران می‌گذرد و طی این مدت کتاب ۱۸ بار با تیراژ حدود ۹۰۰۰۰ جلد تجدید چاپ شده است. با نواقص مهمی که طی این مدت رخ داده انتشار آیین‌نامه فولاد ایران (مبحث دهم) بر مبنای روش‌های حدی است (۱۳۸۷).

از نظر تاریخی AISC در سال ۱۹۸۹ آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی به روش حدی (LRFD) را منتشر کرد. با این نظر که طراحی به روش تنش مجاز (ASD) به تدریج در سایه آن قرار گرفته و منسوخ گردد، لیکن چاپ ۲۰۰۵ این آیین‌نامه، دو رخداد مهم داشت. در این چاپ، روش حدی (LRF) به تکامل خود رسید و فصولی که در چاپ‌های قبلی به صورت پیوست ارائه شده بود در فصل‌بندی اصلی آیین‌نامه قرار گرفت. لیکن موضوع مهمتر ارائه شکل جدیدی از «طراحی به روش تنش مجاز» با نام «طراحی به روش مقاومت مجاز» بود. بنابراین عملاً دیدگاه طراحی به روش تنش مجاز به فراموشی سپرده شد.

مبحث دهم از مجموعه مقررات ملی ایران با توجه به این موضوع، در ویرایش ۱۳۸۷ خود با حفظ طراحی به روش تنش مجاز در بخش ۱۰-۱۱، ویرایش ۱۰-۲ طراحی به روش حدی را معرفی نمود. با این دید که با حفظ اعتبار روش تنش مجاز و روش تنش مجاز، طراحی به روش حدی، نیز به رسمیت شناخته شود.

با توجه به تغییرات فوق در آیین‌نامه‌های طراحی، لازم بود تغییرات اساسی در کتاب داده و با دانش روز مهندسی هماهنگ گردد. به همین منظور تجدیدنظر اساسی در کتاب صورت گرفت. اصل مهم در این تجدیدنظر، حفظ طراحی به روش تنش مجاز و ارائه طراحی به روش حالات حدی بود. از این رو در سازمان‌دهی هر فصل تصمیم گرفته شد که ابتدا مطالب عمومی، سپس طراحی به روش تنش مجاز، و در انتها طراحی به روش حالات حدی معرفی شود. برای تمایز، صفحاتی از کتاب که به طراحی به روش حدی اختصاص

دارد، با خط تیره قائم در سمت راست صفحه مشخص گردید.

فصل اول کتاب مجدداً بازنویسی شد تا مسائل تولید فولاد در آن به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در تهیه این فصل همکار ارجمند آقای مهندس بهرام شلالوند همکاری نموده‌اند که بدین‌وسیله از ایشان قدردانی می‌گردد.

در فصول دیگر نیز تغییرات عمده‌ای از نظر ارائه مفاهیم، مثال‌ها، شکل‌ها و ارائه بخش طراحی به روش‌های تنش مجاز و حدی صورت گرفته است که پرداختن به جزییات آنها خارج از حوصله می‌باشد.

فصل چهاردهم (اتصالات) نیز به‌طور کامل بازنویسی شده تا نقطه‌نظرهای طرح لرزه‌ای سازه‌های فولادی در آن ارائه شود.

در فصل پانزدهم کتاب تحت عنوان ساختمان‌های فولادی، سیستم‌های ساختمان‌های فولادی مورد توجه قرار گرفته و مقررات طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی در آن مورد بررسی قرار گرفته است.

در پیوست سوم، تغییرات مهندسی برای طراحی اتصالات فولادی ارائه شده است که توسط همکار ارجمند جناب آقای دکتر قاسم سحاب تهیه شده است. بدین‌وسیله از ایشان که نسخه دانشجویی این کتاب را از انتشارات اینجانب قرار داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

آقای مهندس مسعود پهلوان در بازخوانی کتاب پیشنهادهای سازنده‌ای ارائه نمودند که بدین‌وسیله از ایشان تشکر می‌شود.

سرکار خانم عزب‌دفتری عهده‌دار امور هنری و رسم‌های کتاب بودند که همواره مدیون زحمات ایشان می‌باشم.

امید است کتاب در شکل جدید نیز مورد توجه خوانندگان دانشجویان قرار گرفته و با ارائه انتقادهای و اظهارنظرها، در جهت بهبود و تکامل آن گام برداشته شود.

شاپور طاحونی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱۳۹۱/۵/۹