

مقاومت مصالح مهندسی

Engineering Mechanics of Materials

تألیف:

دکتر محمدحسین مظفری

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

دکتر مهدی زارع مهرجردی

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

دکتر محمد امیدپناه

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران



زمستان ۱۴۰۰

سرشناسه	: مظفری، محمدحسین، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور	: تألیف محمدحسین مظفری، مهدی زارع مهرجردی، محمد امیدپناه. مقاومت مصالح مهندسی / <i>Engineering Mechanics of Materials</i>
مشخصات نشر	: تهران: انتشارات میبد، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۴۹۶ص: مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی).
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۶۴۵-۲۷-۹
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۹۶.
موضوع	: مقاومت مصالح — راهنمای آموزشی (عالی) Study and teaching (Higher) — Strength of Materials مقاومت مصالح — مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی) Strength of Materials – Problems, exercises, etc (Higher)
شناسه افزوده	: زارع مهرجردی، مهدی، ۱۳۶۲- امیدپناه، محمد، ۱۳۵۸-
رده بندی کنگره	: TA۴۰۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۷۴۱۲۵۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا



عنوان	: Engineering Mechanics of Materials – مقاومت مصالح مهندسی
تألیف	: محمدحسین مظفری، مهدی زارع مهرجردی، محمد امیدپناه
ویراستار	: مهدی زارع مهرجردی
ناشر	: انتشارات میبد
نوبت چاپ	: اول، زمستان ۱۴۰۰
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۶۴۵-۲۷-۹
تیراژ	: ۵۰۰ جلد
قطع	: وزیری
قیمت	: ۱۲۵۰۰۰ تومان

مرکز نشر و توزیع: انتشارات میبد، یزد، میبد، خیابان امام خمینی (ره)، جنب بانک صادرات مرکزی
شماره تماس: ۰۹۱۲۱۰۰۸۰۷۴، ۰۳۵-۳۲۳۲۱۱۳۶

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول: مفاهیم مقدماتی و معرفی تنش	
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تنش
۵	۳-۱ بارگذاری محوری و تنش عمودی
۱۲	۴-۱ تنش برشی
۱۴	۵-۱ تنش تکیه‌گاهی (لهیدگی، پاتاقانی)
۱۹	۶-۱ ضریب اطمینان
۲۴	۷-۱ تمرکز تنش
۲۹	۸-۱ تنش در مقاطع مایل اعضای تحت تاثیر بار محوری
۳۲	مسائل
فصل دوم: تنش و کرنش در بارگذاری محوری	
۴۶	۱-۲ کرنش
۴۸	۲-۲ رابطه تنش و کرنش (نمودار تنش-کرنش عمودی)
۴۸	۱-۲-۲ مواد شکل‌پذیر
۴۹	۲-۲-۲ مواد ترد یا شکننده
۵۰	۳-۲ قانون هوک و مدول کشسانی
۵۱	۴-۲ تغییر طول میله‌ها تحت بارگذاری محوری
۶۳	۵-۲ مسائلی که از نظر استاتیکی نامعین هستند
۷۰	۶-۲ مسائلی که در آنها دما تغییر می‌کند
۷۷	۷-۲ نسبت پواسون
۸۴	۸-۲ کرنش برشی
۸۹	مسائل
فصل سوم: تنش و کرنش در بارگذاری پیچشی	
۹۸	۱-۳ پیچش
۹۸	۲-۳ پیچش مقاطع دایره‌ای
۹۹	۳-۳ تغییر شکل در میلگردان‌های دایره‌ای
۱۱۰	۴-۳ زاویه پیچش در ناحیه الاستیک
۱۲۲	۵-۳ تمرکز تنش در پیچش
۱۲۵	۶-۳ پیچش مقاطع مستطیلی
۱۲۶	۷-۳ پیچش محوره‌های جدار نازک
۱۳۲	مسائل

فصل چهارم: تحلیل بارگذاری و معرفی پارامترهای هندسی تیرها

۱۴۶	نمودارهای نیروی برشی و گشتاور خمشی در تیرها	۱-۴
۱۴۷	بار گسترده روی تیر	۲-۴
۱۵۹	مشخصات هندسی تیرها	۳-۴
۱۵۹	روابط گشتاور اینرسی	۴-۴
۱۶۰	انتقال محورها (قضیه محورهای موازی)	۵-۴
۱۷۴	مسائل	

فصل پنجم: تنش در بارگذاری خمشی

۱۸۰	خمش در تیرها	۱-۵
۱۸۲	تغییر شکل و تنش در ناحیه کشسان	۲-۵
۲۰۴	تمرکز تنش در خمش	۳-۵
۲۰۹	مسائل	

فصل ششم: تنش در بارگذاری عرضی

۲۱۸	تنش برشی ناشی از بارگذاری عرضی	۱-۶
۲۱۹	تعیین برش در صفحه افقی	۱-۶-۱
۲۲۲	توزیع تنش برشی عرضی در تیرها	۲-۶
۲۲۵	تنش برشی ناشی از بارگذاری عرضی در عضوهای جدار نازک	۳-۶
۲۳۲	محل مرکز برش در عضوهای تحت بارگذاری عرضی نامتقارن	۴-۶
۲۴۱	مرکز برش در عضوهای جدار نازک فاقد صفحه تقارن	۵-۶
۲۴۵	تحلیل عضوهای تحت شرایط بارگذاری کلی	۶-۶
۲۵۵	مسائل	

فصل هفتم: تبدیلات تنش و کرنش

۲۶۶	مقدمه	۱-۷
۲۶۶	تبدیل تنش صفحه‌ای	۲-۷
۲۷۱	دایره مور	۳-۷
۲۷۳	روش ترسیم دایره مور	۱-۳-۷
۲۸۴	معیارهای طراحی اجسام برای مقاومت در حالت بارگذاری استاتیکی	۴-۷
۲۸۵	تئوری‌های مقاومت یا معیارهای تسلیم مواد	۵-۷
۲۸۸	تئوری‌های شکست برای مصالح نرم تحت بارگذاری استاتیکی	۱-۵-۷
۲۸۸	تئوری تسلیم بر اساس تنش قائم ماکزیمم (رانکین)	۱-۱-۵-۷
۲۸۹	تئوری مقاومت تنش برشی ماکزیمم	۲-۱-۵-۷
۲۹۰	تئوری انرژی اعوجاج یا وایبچش	۳-۱-۵-۷
۲۹۲	تئوری کولمب-مور برای مواد شکل پذیر	۴-۱-۵-۷

۲۹۶	۲-۵-۷	تئوری‌های مقاومت برای مواد ترد
۲۹۶	۱-۲-۵-۷	تئوری تنش قائم ماکزیمم
۲۹۶	۲-۲-۵-۷	تئوری کولمب مور
۲۹۷	۳-۲-۵-۷	تئوری اصلاح شده مور
۲۹۹	۶-۷	تنش در مخازن تحت فشار جدار نازک
۳۰۰	۱-۶-۷	مخازن جدار نازک استوانه‌ای
۳۰۲	۲-۶-۷	مخازن جدار نازک کروی
۳۰۶	۷-۷	تبدیلات کرنش صفحه‌ای
۳۰۶	۱-۷-۷	مقایسه کرنش صفحه‌ای با تنش صفحه‌ای
۳۰۸	۲-۷-۷	استخراج روابط تبدیلات کرنش صفحه‌ای
۳۱۵	۳-۷-۷	روابط تبدیلات کرنش صفحه‌ای
۳۱۶	۴-۷-۷	کرنش‌های عمودی و برشی اصلی
۳۱۷	۵-۷-۷	رسم دایره مور برای کرنش صفحه‌ای
۳۲۷	۶-۷-۷	اندازه‌گیری کرنش با گلبرگ کرنش
۳۳۰	۷-۷-۷	محاسبه مقادیر تنش با استفاده از مقادیر کرنش
۳۳۶		مسائل

فصل هشتم: خیز و شیب در تیرها

۲۴۴	۱-۸	مقدمه
۲۴۴	۲-۸	محاسبه خیز و شیب تیرها به روش انتگرال‌گیری مستقیم
۲۶۷	۳-۸	تیرهای نامعین استاتیکی
۲۷۴	۴-۸	اصل برهم نهی یا جمع آثار
۲۸۰	۱-۴-۸	اصل برهم نهی آثار در حل مسایل نامعین - استاتیکی
۲۸۵	۵-۸	استفاده از توابع تکین در تعیین خیز تیرها
۴۰۳	۶-۸	محاسبه خیز و شیب تیرها به روش گشتاور سطح
۴۰۳	۱-۶-۸	قضیه اول گشتاور سطح
۴۰۳	۲-۶-۸	قضیه دوم گشتاور سطح
۴۰۵	۳-۶-۸	تیرهای یک سر گیردار
۴۱۳	۴-۶-۸	محاسبه خیز و شیب در تیرهای متقارن با روابط گشتاور سطح
۴۱۷	۵-۶-۸	تیرهای تحت شرایط بارگذاری ترکیبی کلی
۴۲۲		مسائل

فصل نهم: روش های انرژی

۴۳۰	۱-۹ مقدمه
۴۳۰	۲-۹ انرژی کرنش
۴۳۱	۳-۹ چگالی انرژی کرنشی
۴۳۲	۴-۹ انرژی کرنش کشسان در حضور تنش های عمودی
۴۳۳	۱-۴-۹ انرژی کرنشی ناشی از بارگذاری محوری
۴۳۴	۲-۴-۹ انرژی کرنشی ناشی از گشتاور خمشی
۴۳۵	۵-۹ انرژی کرنشی کشسان ناشی از وجود تنش های برشی
۴۳۶	۱-۵-۹ انرژی کرنشی ناشی از کوپل یا گشتاور پیچشی
۴۳۸	۲-۵-۹ انرژی کرنش ناشی از بار برشی
۴۳۸	۶-۹ تعیین خیز ناشی از تک بار وارده به جسم به روش کار - انرژی
۴۳۸	۱-۶-۹ بارگذاری محوری
۴۳۹	۲-۶-۹ بارگذاری عرضی
۴۳۹	۳-۶-۹ بارگذاری خمشی
۴۳۹	۴-۶-۹ بارگذاری پیچشی
۴۴۴	۷-۹ تعیین خیز ناشی از چندین بار به روش کار - انرژی
۴۴۷	۸-۹ قضیه کاستیگلیانو
۴۴۸	۱-۸-۹ تعیین خیز تیر با استفاده از قضیه کاستیگلیانو
۴۵۶	مسائل

فصل دهم: پایداری ستون ها

۴۶۶	۱-۱۰ مقدمه
۴۶۶	۲-۱۰ کماتش در ستون ها
۴۶۸	۳-۱۰ ستون دو سر مفصل
۴۷۱	۴-۱۰ ستون دو سر گیردار
۴۷۳	۵-۱۰ ستون یک سر مفصل - یک سر گیردار
۴۷۴	۶-۱۰ ستون یک سر آزاد - یک سر گیردار
۴۸۰	۷-۱۰ بارگذاری خارج از مرکز روی ستون ها (فرمول سکانت)
۴۸۵	مسائل

پیوست

۴۸۹

منابع و مراجع

۴۹۶

پیشگفتار

مطالعات و پیشرفت‌های اخیر در زمینه ارتعاشات، مقاومت مصالح، طراحی قطعات و تجهیزات ماشین، طراحی موشک‌ها و فضاپیماها براساس اصول و پایه علم مکانیک هستند. مقاومت مصالح، علمی است که راجع به استحکام پایداری ارتجاعی و تغییر شکل اجزاء جامد در اثر بارگذاری‌های مختلف و پدیده‌های وابسته به آن بحث می‌کند. هدف اصلی از فراگیری علم مقاومت مصالح، ایجاد توانایی در مهندسان برای تحلیل و طراحی ماشین‌های گوناگون و سازه‌های باربر می‌باشد. از این منظر فراگیری موضوعات مطرح در حوزه مقاومت مصالح یکی از ضروریات رشته‌های فنی و مهندسی به شمار می‌آید. در این کتاب سعی شده تا با زبان فصیح و روان مباحث اساسی و اصول مورد نیاز مهندسان طرح شده و مورد ارزیابی قرار گیرد.

فصل اول این کتاب مربوط به معرفی مفاهیم و روابط تنش در اجسام می‌باشد. در این فصل تنش محوری، تنش برشی و تنش تکیه‌گاهی معرفی شده و در ادامه مفهوم ضریب اطمینان و تمرکز تنش تشریح شده‌است.

در فصل دوم کرنش در جسم، رابطه بین تنش و کرنش در بارگذاری محوری، نمودار تنش-کرنش مواد نرم و ترد و قانون هوک به صورت کامل آمده‌است. در ادامه به بررسی مسائل نامعین استاتیکی و تأثیرات دمایی پرداخته شده‌است. در انتها نیز مفهوم و روابط مربوط به نسبت پواسون و کرنشی برشی ارائه شده‌اند.

فصل سوم مربوط به بارگذاری پیچشی می‌باشد. در این فصل مفهوم و روابط مربوط به تنش برشی ناشی از بارگذاری پیچشی، زاویه پیچش در ناحیه الاستیک، مسائل نامعین استاتیکی و تمرکز تنش در پیچش مقاطع دایره‌ای شکل آورده شده‌است. همچنین تنش برشی در مقاطع مستطیل شکل و پیچش مقاطع جدار نازک نیز بررسی گردیده‌اند.

در فصل چهارم، تأثیر بارهای گسترده روی تیرها و نحوه ترسیم دیاگرام نیروی برشی و ممان خمشی در تیرها، مورد بررسی قرار گرفته‌است. به علت نیاز به محاسبه ممان اینرسی جسم در تحلیل بارگذاری‌های کلی، در همین فصل معنی و مفهوم ممان اینرسی سطح، روابط مربوط به آن، نحوه محاسبه ممان اینرسی شکل‌های پایه و همچنین نحوه محاسبه ممان اینرسی شکل‌های مرکب مطرح شده‌است.

فصل پنجم مربوط به تنش خمشی در تیرها می‌باشد. روابط تنش خمشی در تیرها در ناحیه الاستیک، شعاع انحنای تیر، تنش خمشی در اجسام مرکب، تنش در بتن مسلح و تمرکز تنش در خمش نیز در این فصل ارائه شده‌است.

فصل ششم به بررسی تنش‌های برشی ناشی از بارگذاری عرضی در عضوهای معمولی و جدار نازک و همچنین تعیین موقعیت مرکز برش در عضوهای با مقاطع عرضی مختلف پرداخته است. همچنین در انتهای این فصل با توجه به تکمیل روابط چهار نوع تنش محوری، پیچشی،

خمشی و برشی عرضی در فصل‌های پیشین مسائلی از بارگذاری کلی ترکیبی مطرح و زمینه تحلیل تنش در مسائل نزدیک به واقعیت فراهم شده‌است.

فصل هفتم شامل بررسی روابط تبدیلات تنش و کرنش صفحه‌ای، دایره مور، معیارهای طراحی اجسام در حالت بارگذاری استاتیکی و همچنین تحلیل تنش‌ها در مخازن جدار نازک استوانه‌ای و کروی می‌باشد.

در فصل هشتم روش‌های مربوط به محاسبه شیب و خیز در تیرها ارائه شده‌اند. در این فصل چهار روش انتگرال‌گیری مستقیم، اصل جمع آثار، استفاده از توابع منفرد و روش ممان سطح برای محاسبه خیز و شیب تیرها بکار گرفته شده‌اند.

فصل نهم مربوط به نحوه محاسبه انرژی کرنشی سیستم‌ها تحت بارگذاری‌های مختلف، محاسبه خیز تیر به روش انرژی و قضیه کاستیگلیانو می‌باشد. از آنجا که انرژی کمیتی اسکالر به شمار می‌آید انتقال غالب محاسبات برداری پیشین در حوزه تنش‌ها و کرنش‌های ناشی از آنها به حوزه انرژی مسیر دستیابی به نتایج را تسهیل می‌نماید.

در فصل دهم نیز، کمانش و نحوه محاسبه بار بحرانی آستانه رخداد این پدیده در ستون‌ها در کنار تنش‌های فشاری ناشی از بارگذاری محوری ستون‌ها برای حالات مختلف تکیه‌گاهی مورد بررسی قرار گرفته‌است.

بر این باوریم که با توجه به زبان ساده و روان و نمونه مسائل حل شده در کنار بخش آموزشی هر یک از مفاهیم فوق، این کتاب در زمینه فراگیری مطالب اساسی علم مقاومت مصالح برای دانشجویان مقاطع کاردانی و کارشناسی رشته‌های مختلف فنی و مهندسی بویژه مهندسی مکانیک و عمران و زیرمجموعه‌های آنها مطلوب و اثربخش می‌باشد. همچنین خواهشمندیم با ارائه نظرات ارزشمند خود نویسندگان را در بهبود کیفیت و غنای هر چه بیشتر این اثر در ویرایش‌های بعدی یاری رسانید.

با تقدیم احترام

محمد حسین مظفری

مهدی زارع مهرجردی

محمد امیدپناه

زمستان ۱۴۰۰