

سری شوم

قنّوری و مسایل مکانیک محیط‌های پیوسته

جورج ای. میس

استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه ایالتی میشیگان

ترجمه:

دکتر منوچهر صالحی

رئیس هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

علی ظاهرزادگان

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

رضا هدایتی

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

احد ترکستانی

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)



انتشارات جاودان خرد

سرشناسه	:	میس، جورج E. Mase
عنوان و نام پدیدآور	:	تئوری و مسائل مکانیک محیط‌های پیوسته / جورج ای میس؛ ترجمه منوچهر صالحی... [و دیگران].
مشخصات نشر	:	مشهد: جاودان خرد، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	:	۲۸۲ص: جدول، نمودار.
شابک	:	978-600-7068-04-5
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Schaum's outline of theory and problems of continuum mechanics
یادداشت	:	مترجمان منوچهر صالحی، علی طاهرخوانی، رضا هدایتی، احد ترکستانی.
یادداشت	:	واژه‌نامه.
موضوع	:	مکانیک پیوستار -- رنوس مطالب
شناسه افزوده	:	صالحی، منوچهر، ۱۳۳۶ -، مترجم
رده بندی کنگره	:	QA ۸۰۷ م ۹ ق ۲
رده بندی دیویی	:	۵۳۱، ۰۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۰۴۹۹

انتشارات جاودان خرد

نام کتاب: مکانیک محیط‌های پیوسته

نویسنده: جورج ای. میس

مترجمان: منوچهر صالحی

علی طاهرخوانی، رضا هدایتی، احد ترکستانی

مدیر تولید و ناظر چاپ: یابک کاشیچی

صفحه‌آرایی: طرح نگار پارسی - ۶۶۴۷۵۰۵۳

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۲

قیمت: ۱۹۵۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۸-۰۴-۵

حق چاپ برای ناشر محفوظ می‌باشد و هرگونه استفاده به هر شکل بدون اجازه کتبی ناشر پیگرد قانونی دارد

مراکز پخش: تهران - خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - پلاک ۱۲۱۳ - انتشارات گوتنبرگ - تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸-۰۲۱
مشهد - خیابان احمد آباد - مقابل محتشمی - انتشارات جاودان خرد ۸۴۳۴۵۲۷-۰۵۱۱

تقدیم بہ روان پاک ہمسرمہما

مرحومہ دستر زہرا واشقانی

منوچہر صاحبی

تقدیم بہ پدر و مادرهای عزیزان

بہ پاس عاطفہ شہر آشوب و گرمای امید بخش و جان بخش

منوچہر صاحبی، علی طاهر خانی، رضا ہدایتی، احد ترکستانی

پیشگفتار مترجمان

از آنجا که میحث مکانیک محیط‌های پیوسته فصل مشترک فیزیک نظری و ریاضیات کاربردی است، این شاخه از دانش گستره‌ی وسیعی از علوم مهندسی همچون مکانیک موافضا و عمران را دربر می‌گیرد. در زمینه‌ی مکانیک محیط‌های پیوسته، مراجع قوی و مناسبی وجود دارد که شماری از آن‌ها به زبان فارسی برگردانده شده‌اند. با این حال به باور اغلب دانش‌پژوهانی که علاقه‌مند به فراگیری کامل و عمیق این مبحث هستند، هنوز کاستی‌های فراوانی در زمینه‌ی منابع فارسی در دسترس احساس می‌شود. از آن جمله، حقیقتی که بیشتر دانشجویان و استادان مکانیک محیط‌های پیوسته به آن معترفند این است که این مبحث درسی به علت پیچیدگی و گستردگی مطالب، نیاز به حل تمرینات گوناگون دارد. این موضوع مترجمان را برآن داشت تا یکی از بهترین کتب موجود در این زمینه به قلم دکتر جورج ای. میس از دانشگاه ایالتی میشیگان را به فارسی ترجمه کرده و در اختیار علاقه‌مندان قرار دهند. این مجموعه همچون سایر کتاب‌های منتشره‌ی سری شوم، در ابتدا به بیان کلیات هر مبحث می‌پردازد و در ادامه سعی می‌کند با مطرح و حل کردن تمرینات گوناگون و پرشمار، به واکاوی مطالب برای مخاطب بپردازد. از سوی دیگر، مترجمان نیز تلاش نمودند برگردان مطالب را تا حد امکان بیانی شیوا و ساده - همچون متن اصلی کتاب - به زیور طبع بیاریند و البته تمام کوشش خود را به کار بستند تا در حد امکان و تا جایی که به مفسر اصلی متن لطمه‌ای وارد نشود از واژگان هم‌ارز پارسی استفاده نمایند.

همان‌گونه که مخاطبین مستحضر هستند یکی از بزرگترین مشکلات ترجمه‌ی به فارسی این است که بعضاً برای چند واژه‌ی متفاوت اما با مفهوم مشابه زبان مبدأ، یک واژه‌ی مشترک فارسی به‌کار می‌رود؛ در حالی که این موضوع با خصلت زایایی زبان فارسی مغایرت دارد. از این رو مترجمان، همه‌ی فعالان این عرصه را به کنکاش بیشتر، و البته فرهنگستان زبان و ادب فارسی به فعالیت بیشتر و دقیق‌تر در زمینه‌ی واژه‌گزینی برای علوم تخصصی فرا می‌خوانند. به هر روی، یکی از اهداف مترجمان در این نگارش بود که برای هر واژه‌ی انگلیسی، هم‌ارز پارسی جداگانه‌ای را انتخاب کرده و به‌کار برند. بدین منظور، علاوه بر پاورقی نمودن واژه‌های این سری، برای اولین مرتبه‌ی استفاده در متن، سعی شده تا واژه‌نامه‌های کامل و جامع انگلیسی به فارسی و فارسی به انگلیسی در انتهای کتاب پیش‌بینی شوند تا هم خواننده به سادگی پی به کُنه واژگان برد و هم برای سایر پژوهشگران این شاخه مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که مترجمان در پاسخ به موارد خود را ملزم به ارائه‌ی توضیحات اضافی می‌دانستند، از این رو تصمیم بر آن شد که پیکره‌ی متن اصلی کتاب حفظ شده و توضیحات تکمیلی از سوی مترجمان به پاورقی انتقال یابند. البته، ذکر این نکته خالی از لطف نیست که چیدمان بخش‌های کتاب در پیش‌گفتار مؤلف تبیین شده‌است؛ بنابراین از تکرار دوباره‌ی آن در این مقال پرهیز می‌شود.

مترجمان برخود لازم می‌دانند که مراتب امتنان خود را خدمت همه‌ی عزیزانی که آنان را در واژه‌گزینی این کتاب یاری کردند و نیز همه‌ی دست‌اندرکاران تهیه و چاپ این کتاب به‌ویژه مدیریت محترم انتشارات جاودان‌خرد، جناب آقای مهندس بابک کاشی‌چی، به‌واسطه‌ی سعه‌ی صدر و حمایت‌های بی‌دریغشان تقدیم نمایند. بدیهی است به رغم کوشش و وسواس صورت گرفته برای ارائه‌ی این اثر با کمترین خطا، مجمره‌ی حاضر خالی از اشکال و کاستی نیست؛ امید است که پس از انتشار این کتاب، مترجمان از دیدگاه‌ها، نظرات و پیشنهادهای همکاران دانشمند و دانشجویان فرهیخته از طریق رایانامه‌ی continuum.javedankherad@gmail.com بهره‌بردار گردند.

پیشگفتار مؤلف

مکانیک محیط‌های پیوسته دارای نقش مهمی در مهندسی و فن‌آوری امروزی است، چرا که بر اصول بنیادین و نظریه‌های پایه‌ای تأکید دارد. امروزه، بسیاری از درس‌های کارشناسی از ایده و نظریه‌های مکانیک محیط‌های پیوسته برای آموزش دادن مهندسان و دانش‌پژوهان استفاده می‌کنند. تعداد این درس‌ها در حال افزایش است. زمان زیادی است که در برنامه‌ی تحصیلات تکمیلی مهندسی مکانیک و زمینه‌های مرتبط با آن، این موضوع پی‌برده شده است. این کتاب به نحوی نگاشته شده است که هم برای دانشجویان کارشناسی و هم دانش‌جویان سال اول کارشناسی ارشد برای فهم اصول بنیادین تئوری محیط‌های پیوسته مفید واقع شود. هر بخش از کتاب دارای شماره‌ی مشخصی حل شده است به امید آنکه دانشجو بتواند توانایی‌های خود را هم در تئوری محیط‌های پیوسته و هم زمینه‌های کاربرد آن را افزایش دهد.

پیوستگی مطالب در دسته‌بندی و گسترش تدریجی قرار گرفته است تا اینکه این کتاب مرجع مناسبی برای دوره‌ای مقدماتی در مکانیک محیط‌های پیوسته باشد. از سوی دیگر، این کتاب مرجع تکمیلی سودمندی برای شماری از درس‌هاست که در آن‌ها روش محیط‌های پیوسته، ساختار پایه را تشکیل می‌دهد. بنابر این، در زمینه‌های مقاومت مصالح، مکانیک شاره‌ها، کشسانی، مومسانی و ویسکوالاستیسته به خوبی با این کتاب مرتب می‌توانستند و می‌توان در آن‌ها از مطالب این کتاب بهره برد.

در بیشتر این کتاب، معادله‌های مهم و روابط پایه‌ای با هر دو نشان‌گذاری انیشتین یا «تانسوری» و نشان‌گذاری نمادین یا «برداری» ارائه شده‌اند. این امر به دانشجو این مجال را می‌دهد که عبارت‌های مهم را با هم مقایسه کرده و با هر یک از این نشان‌گذاری‌ها آشنا شود. در متن، تنها از تانسورهای دکارتی بهره‌گرفته شده است، چرا که این کتاب ویرایشی مقدماتی از مکانیک محیط‌های پیوسته است و همچنین با این نوع تانسورها می‌توان به بیشتر ماهیت این تئوری رسید.

مطالب به دو پاره تقسیم شده‌اند. پنج فصل اول با تئوری پایه‌ای مکانیک محیط‌های پیوسته سروکار دارد، در حالی که چهار فصل پایانی، زمینه‌هایی خاص از کاربرد این تئوری را پوشش می‌دهند. پاره‌ی تئوری، شامل پنج بخش برای ریاضی مرتبط با مطالعه و چهار بخش شامل تحلیل تنش، تغییر شکل و کرنش، حرکت و شارش و قانون‌های پایه‌ای محیط‌های پیوسته می‌شود. در چهار بخش پایانی با کاربردهای محیط پیوسته در زمینه‌های کشسانی، شاره‌ها، مومسانی و ویسکوالاستیسته سروکار خواهیم داشت. در پایان هر فصل، مجموعه‌ای از مسأله‌های حل شده همراه با شماری تمرین آمده است تا ایده‌های ارائه شده در متن را نشان داده و استحکام ببخشند.

نگارنده خود را مدیون افراد زیادی می‌داند و به کمک‌های آن‌ها ارج می‌نهد. سپاس ویژه‌ی خود را به همکارانم پرفسور بردلی^۱، مالورن^۲، بن^۳، قاس^۴ و لاپالم^۵ اظهار می‌دارم که هر یک بخش‌های مختلفی از کتاب را خوانده و پیشنهادهای ارزشمندی را

برای بهبود کار ارائه دادند. همچنین از پرفسور مونتگومری^۱ به دلیل کمک و پشتیبانی‌اش به شیوه‌های مختلف، از دکتر ریچارد هارتونگ^۲ از آزمایشگاه پژوهشی لاک هِد^۳، که ویرایش دست‌نویس این کار را خواند و پیشنهادهای سودمند بسیاری را داد، از پرفسور استیس^۴ از دانشگاه ایلینویز به دلیل نظرها و پیشنهادهای ارزشمندش، از خانم تلمالیزوسکی^۵ به دلیل دقت و شکیبایی‌اش در تایپ، از آقای دنیل شوم^۶ و نیکولامونتی^۷ به دلیل علاقه و راهنمایی‌های مداوم در حین کار، سپاسگزارم. نگارنده همچنین تشکر ویژه‌ی خود را از همسر و فرزندانش به دلیل دل‌گرمی‌هایی که در حین نگارش این کتاب می‌دادند، بیان می‌دارد.

دانشگاه ایالتی میشیگان

ژون ۱۹۷۰

جورج ای. میس

www.ketab.ir

1. Montgomery
2. Hartung
3. Lockheed
4. Stippes
5. Thelma Liszewski
6. Daniel Schaum
7. Nicola Monti

فهرست عناوین

فصل اول: اساس ریاضی	۱۳
۱-۱ تانسورها و مکانیک محیط‌های پیوسته	۱۳
۲-۱ تانسورهای عمومی، تانسورهای دکارتی، درجه تانسور	۱۳
۳-۱ بردارها و اسکالرها	۱۴
۴-۱ جمع برداری، ضرب یک بردار به کماتر اسکالر	۱۵
۵-۱ ضرب نقطه‌ای و ضرب بردار بردار	۱۶
۶-۱ دوگان‌ها و دوگانه‌ها	۱۷
۷-۱ دستگاه‌های مختصات، بردارهای پایه، اسکالرها، یک	۲۱
۸-۱ توابع برداری خطی، دوگانه‌ها به عنوان عکس‌ها، بردار خطی	۲۴
۹-۱ نشان گذاری اندیسی، قراردادهای بازه و جمع‌زنی	۲۴
۱۰-۱ استفاده از قرارداد جمع زنی به همراه نشان گذاری	۲۷
۱۱-۱ تبدیل مختصات، تانسورهای عمومی	۲۸
۱۲-۱ تانسور متریک، تانسورهای دکارتی	۳۰
۱۳-۱ قوانین تبدیل برای تانسورهای دکارتی، دلتای کروتیکر، شرایط تعامل	۳۱
۱۴-۱ جمع تانسورهای دکارتی، ضرب بوسیله اسکالر	۳۴
۱۵-۱ ضرب تانسوری	۳۴
۱۶-۱ ضرب برداری بردار، نماد جایگشت، بردارهای دوتایی	۳۶
۱۷-۱ ماتریس‌ها، نمایش ماتریسی تانسورهای دکارتی	۳۷
۱۸-۱ تقارن دوگانه‌ها، ماتریس‌ها و تانسورها	۳۹
۱۹-۱ مقادیر اصلی و جهت‌های اصلی تانسورهای مرتبه‌ی دوم متقارن	۴۱
۲۰-۱ توان‌های تانسورهای مرتبه‌ی دوم، معادله‌ی همیلتون - کیلی	۴۳
۲۱-۱ میدان‌های تانسوری، مشتقات تانسوری	۴۳
۲۲-۱ انتگرال‌های خط، قضیه‌ی استوکس	۴۵
۲۳-۱ قضیه‌ی دیورژانس گوس	۴۶
فصل دوم: تحلیل تنش	۷۹
۱-۲ مفهوم محیط پیوسته	۷۹
۲-۲ همگنی، همسانگردی، چگالی	۷۹
۳-۲ نیروهای بدنی، نیروهای سطحی	۸۰
۴-۲ اصل تنش کوشی، بردار تنش	۸۰
۵-۲ حالت تنش در یک نقطه، تانسور تنش	۸۲

۸۳	۶-۲ رابطه‌ی بین تانسور تنش و بردار تنش
۸۵	۷-۲ تعادل نیرو و گشتاور. تقارن تانسور تنش
۸۶	۸-۲ قوانین تبدیل تنش
۸۸	۹-۲ چهارگانه‌ی تنش کششی
۸۸	۱۰-۲ تنش‌های اصلی. نامتغیرهای تنش. بیضی گون تنش
۹۱	۱۱-۲ مقادیر تنش برشی بیشینه و کمینه
۹۲	۱۲-۲ دایره‌های مور برای تنش
۹۶	۱۳-۲ تنش صفحه‌ای
۹۸	۱۴-۲ تانسورهای تنش انحرافی و کروی

فصل سوم: تغییر شکل کرنش

۱۲۷	۱-۳ ذره‌ها و نقاط
۱۲۷	۲-۳ پیکره‌بندی محیط پیوسته، نظریه‌های جریان و تغییر شکل
۱۲۸	۳-۳ بردار جابه‌جایی، بردار مکان
۱۳۰	۴-۳ توصیف‌های لاگرانژی و اویلری
۱۳۱	۵-۳ گرادیان‌های تغییر شکل، بردارهای جابه‌جایی
۱۳۳	۶-۳ تانسورهای تغییر شکل، تانسورهای کرنش محدود
۱۳۵	۷-۳ تئوری تغییر شکل کوچک، تانسورهای کرنش کوچک
۱۳۶	۸-۳ جابه‌جایی‌های نسبی، تانسور چرخش خطی
۱۳۸	۹-۳ تفسیر تانسورهای کرنش خطی
۱۴۱	۱۰-۳ نسبت کشیدگی، تفسیر کرنش محدود
۱۴۲	۱۱-۳ تانسورهای کشیدگی، تانسور چرخش
۱۴۳	۱۲-۳ ویژگی‌های تبدیل تانسورهای کرنش
۱۴۵	۱۳-۳ کرنش‌های اصلی، نامتغیرهای کرنش، انبساط مکعبی
۱۴۷	۱۴-۳ تانسورهای کرنش انحرافی و کروی
۱۴۸	۱۵-۳ کرنش صفحه‌ای، دایره‌های مور برای کرنش
۱۴۹	۱۶-۳ معادله‌های سازگاری برای کرنش‌های خطی

فصل چهارم: حرکت و جریان

۱۷۷	۱-۴ حرکت، جریان، مشتق مادی
۱۷۹	۲-۴ سرعت، شتاب، میدان سرعت لحظه‌ای
۱۸۰	۳-۴ خط مسیر، خط رگه، حرکت پایا
۱۸۰	۴-۴ نرخ تغییر شکل، گرداب، نمودارهای کرنش
۱۸۲	۵-۴ تغییر فیزیکی از نرخ تغییر شکل و تانسورهای گرداب
۱۸۳	۶-۴ مشتق‌های مادی المان‌های حجم، سطح و خط
۱۸۶	۷-۴ مشتق‌های مادی انتگرال‌های حجم، صفحه و خط

فصل پنجم: قانون‌های اساسی مکانیک محیط‌های پیوسته

۲۰۳	۱-۵ پایداری جرم، معادله‌های پیوستگی
۲۰۴	۲-۵ اصل تکانه خطی، معادله‌های حرکتی، معادله‌های تعادل

۳-۵۵	اصل گشتاور تکانه (تکانه زاویه‌ای).....	۲۵۶
۴-۵۵	پایستگی انرژی، قانون اول ترمودینامیک، معادله‌ی انرژی.....	۲۵۷
۵-۵۵	معادله‌های حالت، بی‌نظمی، قانون دوم ترمودینامیک.....	۲۵۹
۶-۵۵	نابرابری کلاسیوس - دوم، تابع پراکندگی.....	۲۱۰
۷-۵۵	معادله‌های متشکله، محیط‌های پیوسته‌ی ترمومکانیکی و مکانیکی.....	۲۱۲

فصل ششم: الاستیسیته خطی..... ۲۲۵

۱-۶	قانون کلی هوک. تابع انرژی کرنشی.....	۲۲۵
۲-۶	همسانگردی. ناهمسانگردی. تقارن کشسان.....	۲۲۷
۳-۶	مواد همسانگرد. ثابت‌های کشسان.....	۲۲۹
۴-۶	مسئله‌های ایستایی. مسان. مسئله‌های پویایی کشسان.....	۲۳۰
۵-۶	قضیه برهم نهی. قضیه‌ی بک. اصل سنت و نان.....	۲۳۲
۶-۶	الاستیسیته دو بعدی. تنش صفحه‌ای و کرنش صفحه‌ای.....	۲۳۲
۷-۶	تابع تنش ابری.....	۲۳۵
۸-۶	مسئله‌های دو- بعدی ایستایی کشسان. مختصات قطبی.....	۲۳۵
۹-۶	هایپر الاستیسیته. هیپو الاستیسیته.....	۲۳۷
۱۰-۶	ترموالاستیسیته خطی.....	۲۳۷

فصل هفتم: سیالات..... ۲۵۷

۱-۷	فشار سیالات. تانسور تنش گران رو. جریات یاروتروپیک.....	۲۵۷
۲-۷	معادله‌های ساختاری. سیالات استوکسی. سیالات نیوتنی.....	۲۵۸
۳-۷	معادله‌های پایه‌ای برای سیالات نیوتنی. معادله‌های ناویر - استوکس. دوم.....	۲۶۰
۴-۷	جریان پایا. هیدروایستایی. جریان غیرچرخشی.....	۲۶۲
۵-۷	سیالات کامل. معادله‌ی برنولی. گردش.....	۲۶۳
۶-۷	جریان پتانسیل. جریان پتانسیل صفحه‌ای.....	۲۶۴

فصل هشتم: پلاستیسیته..... ۲۸۱

۱-۸	مفاهیم پایه و تعاریف.....	۲۸۱
۲-۸	رفتار مومسان ایده‌آل.....	۲۸۳
۳-۸	شرایط تسلیم. معیارهای ترسکا و ون میس.....	۲۸۵
۴-۸	فضای تنش. صفحه‌ی π سطح تسلیم.....	۲۸۷
۵-۸	رفتار پس از تسلیم. سخت شوندگی همسانگرد و جنبشی.....	۲۸۹
۶-۸	معادله‌های تنش - کرنش مومسان. تئوری پتانسیل مومسان.....	۲۹۰
۷-۸	تنش معادل. رشد کرنش مومسان معادل.....	۲۹۱
۸-۸	کار مومسان. فرضیات کرنش - سختی.....	۲۹۲
۹-۸	تئوری تغییر شکل کل.....	۲۹۳
۱۰-۸	مسئله‌های کشسان - مومسان.....	۲۹۴
۱۱-۸	تئوری خط لغزش پایه برای کرنش مومسان صفحه‌ای.....	۲۹۴

فصل نهم: ویسکوالاستیسیته خطی..... ۳۱۵

۱-۹	رفتار ویسکوالاستیک خطی.....	۳۱۵
-----	-----------------------------	-----

۳۱۵	۲-۹ مدل‌های ویسکوالاستیک ساده.....
۳۱۸	۳-۹ مدل‌های تعمیم یافته. معادله‌ی عملگر دیفرانسیلی خطی.....
۳۱۹	۴-۹ خزش و آرمیدگی.....
۳۲۱	۵-۹ تابع خزش. تابع آرمیدگی. انتگرال‌های وراثتی.....
۳۲۴	۶-۹ مدول و نرمی مختلط.....
۳۲۵	۷-۹ تئوری سه بعدی.....
۳۲۷	۸-۹ تحلیل تنش ویسکوالاستیک. اصل تناظر.....

۳۴۹	واژه‌نامه (انگلیسی - فارسی).....
-----	----------------------------------

۳۵۳	واژه‌نامه (فارسی - انگلیسی).....
-----	----------------------------------