

الاستیسیته (تئوری، کاربرد و محاسبات)

تألیف: مارتین ساد

ترجمه: دکتر سید حسین حسینی بواسانی
(عضو هیأت علمی دانشگاه خوارزمی)

دکتر مهدی پروینی





سازمان: سید حسین حسینی، سید حسین، ۱۳۵۹ - مترجم	سرشناسه
پروینی، مهدی، ۱۳۶۰ - مترجم	شناسه افزوده:
الاستیسیته (تئوری، کاربرد و محاسبات) / مارتین ساد، ترجمه سید حسین حسینی، سید حسین، مهدی پروینی، تهران: پردیس علم، ۱۳۹۶.	شناسه افزوده:
۵۹۱ ص: مصور (بخش رنگی)، جدول (بخش رنگی)، نمودار (بخش رنگی).	عنوان و نام پدیدآور
عنوان اصلی:	مشخصات نشر
(Elasticity: theory, applications and numerics, 3th ed. 2014)	نویسنده
۲ پیاپی: تئوری و کاربردهای الاستیسیته نظری، کاربردی و محاسباتی / با ترجمه علی اصغر عطایی توسط انتشارات علمی و فرهنگی، ۹۹ سال، ۱۰۰۰ نسخه، تحت عنوان متفاوت توسط مترجمان و ناشران مختلف، نشر شده است.	وضعیت فهرست نویسی
ارترتاج (فیزیک)، Elasticity	یادداشت
	یادداشت
	موضوع
	موضوع

الاستیسیته (تئوری کاربرد و محاسبات)

ترجمه: سید حسین حسینی، سید حسین، مهدی پروینی.

ناشر: پردیس علم / چاپ اول: ۱۳۹۶ / قطع: وزیری / تعداد صفحات: ۵۹۲ صفحه / طراحی گرافیک داخلی، صفحه آرا و واژه نگار: نرگس فراهانی / چاپ و صحافی: پردیس علم / شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه / قیمت: ۵۰۰۰۰ تومان /

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۳۶۶-۲۰-۱

انتشارات پردیس علم

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، خیابان بهشتی، خیابان کاووسی فر، کوچه آریا وطنی، پلاک ۲۱ واحد ۳
تلفن: ۰۲۱-۸۸۵۱۱۵۹۲ دورنگار: ۰۲۱-۸۸۷۴۶۶۱۴

توجه: به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۸۴/۱۰/۱۱ و هم چنین قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی مصوب سال ۱۳۵۰ تمام حقوق این اثر به هر نحو برای انتشارات پردیس علم محفوظ می باشد. نشر و بخش تمام یا قسمتی از این کتاب بدون اجازه از ناشر، پیگرد قانونی خواهد داشت.

WWW.PARDIS-ELM.COM

ویراست سوم، دنباله کوشش‌های نویسنده در جهت ارائه الاستیسیته خطی همراه با پیشرفت‌های نظری دقیق و کامل، کاربردهای متعدد و معاصر و تواناتر ساختن روش‌های عددی یا هدف درک جواب‌ها و راه‌حل‌ها است. علاوه بر اعمال پاره‌ای اصلاحات، چندین مورد دیگر نیز اضافه شده است. مباحث جدیدی در خصوص توزیع تنش و خطوط تراز که عموماً در متون علمی به کار گرفته می‌شوند، در فصل ۳ آورده شده است. همچنین بخش جدیدی که به فرمول‌بندی و حل مسائل تنش تماسی اختصاص یافته، در فصل ۸ افزوده شده است. بحث در خصوص مسائل ناهمسانگرد همراه با ارتوتروپی کروی در فصل ۱۱ ارائه شده است. در نهایت کدهای MATLAB[®] در پیوست C یازنویسی شده و کد جدیدی برای تعیین و ترسیم تنش‌های تماسی آورده شده است.

بیش از ۵۰ تمرین جدید در ویرایش سوم افزوده شده که در کل کتابی با ۴۱۰ تمرین در اختیار قرار می‌دهد. این تمرین‌ها باید نقش تعلیم دهند. برای رسیدگی به تکالیف یادگیری، این آزمون‌ها یا آماده کردن موضوعاتی برای ارائه و بحث در کلاس را داشته باشند. کتاب راهنمای حل مسائل به روز و اصلاح شده و در دارنده تمامی تمرین‌های داده شده در ویرایش جدید است. ویرایش سوم، اصول اولیه حاصل از یادداشت‌های این کتاب را تدریس تئوری الاستیسیته به صورت دو دوره متوالی را رعایت می‌نماید. بخش I اساساً برای دوره اول طرح‌ریزی شده است که معمولاً توسط دانشجویان ترم‌های اولیه تحصیلات تکمیلی اخذ می‌شوند. هدف دوره اول آشنایی دانشجویان با تئوری و فرمول‌بندی و ارائه جواب به برخی مسائل اولیه است. به این ترتیب دانشجویان متوجه می‌شوند که چرا و چگونه مدل تغییر شکل بنیادی در الاستیسیته، با جایگزین تحلیل‌های مقدماتی براساس مقاومت مصالح گردد. همچنین دوره اول مبنایی برای مطالعات پیشرفته‌تر در زمینه این مرتبه با مکانیک اجسام فراهم می‌آورد. اگرچه مباحث پیشرفته‌تر در بخش II ارائه می‌شود که عموماً در دوره دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی بنده اغلب برخی موضوعات منتخب از این بخش را جهت ارائه و استفاده در دوره اول به وام می‌گیرم.

توجیه ورود من به تهیه کتاب دیگری در زمینه الاستیسیته چیست؟ مدت‌های مدیدی این مبحث را در مدارهای مختلف مهندسی در ایالات متحده، نایع مرتبط و یک ارگان دولتی تدریس کرده‌ام. در طول این مدت تئوری پایه بیشتر به همان شکل حفظ شده است یا این وجود، تغییرات در حل مسئله، کاربردهای الاستیسیته، روش‌های عددی یا محاسباتی و آموزش مهندسی نیاز به رویکردهای جدید در مورد موضوع را به وجود آورده است. پی برده‌ام که کتب الاستیسیته فراوانی اغلب فاقد یک یا چند مورد از موارد زیر هستند:

ارائه دقیق و سازمان‌یافته تئوری، قالب صحیح برای کاربردهای آموزشی، کاربردهای قابل توجه در زمینه‌های معاصر و رابط عددی جهت کمک به توسعه و ارائه راه‌حل‌ها و درک نتایج.

بیان الاستیسیته در این کتاب بازتاب‌دهنده عبارات تئوری، کاربردهای روش‌های عددی است که در عنوان مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که تئوری، سنگ بنای این زمینه را پایه‌گذاری می‌کند بنابراین مهم است که در ابتدا توسعه نظری درستی از الاستیسیته همراه با دقت کافی فراهم آورده شود تا مبنای خوبی برای تعمیم جواب‌ها به دسته وسیعی از مسائل ایجاد کند. به منظور از دست ندادن توجه دانشجویانی که تمایل کمی به محاسبات ریاضی دارند یا تمرکز به کاربردها، توسعه نظری به شکل سازمان یافته و دقیق انجام می‌گیرد. در کنار هدف اصلی مبنی بر حل مسائل مورد نظر مهندسی، این کتاب کاربردهای متعددی در زمینه‌های جدیدی شامل کامپوزیت‌های ناهمسانگرد و مواد هدفمند، مکانیک شکست، مدل‌سازی میکرومکانیک‌ها، مسائل ترموالستیک، روش‌های محاسباتی اجزاء مرزی را پیشنهاد می‌دهد. مسائل حل شده زیادی در تمام فصل‌ها ارائه شده است. شاید چیزی که در این کتاب منحصر به فرد باشد، استفاده یکپارچه از روش‌های عددی است. با در نظر داشتن این رویکرد که کاربرد تئوری باید منجر به ملاحظات محاسباتی و نمایش گرافیکی است، روش‌های عددی با استفاده از یکی از محبوب‌ترین بسته‌های نرم‌افزاری برای MATLAB[®] انجام می‌شود.

این نرم‌افزار در سراسر کتاب برای کاربردهایی مانند تبدیلات تنش و کرنش، تخمین و ترسیم توزیع تنش و جابه‌جایی، محاسبات اجزاء محدود و تحلیل به بین جواب‌های حاصل از مقاومت مصالح و روش‌های تحلیلی و الاستیسیته عددی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با در نظر داشتن ارزیابی هر عدد و گرافیکی، مسائل عملی برای اهداف آموزشی مفیدتر و جالب‌تر خواهند بود.

خلاصه

بخش اول کتاب بر جزئیات فرمول‌بندی و کاربردهای مقدماتی آن‌ها تأکید دارد. در فصل اول مقدمات ریاضی برای فرمول‌بندی الاستیسیته از طریق مروری بر تئوری‌های پایه‌ای، کرنش و تانسوری فراهم آمده است. نمادگذاری تانسوری دکارتی معرفی شده و در سرتاسر کتاب در فرمول‌بندی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. فصل دوم تحلیل کرنش و جابه‌جایی را با در نظر داشتن تئوری تغییر شکل‌های کوچک تحت پوشش قرار می‌دهد. چنین مفهوم سازگاری کرنش‌ها در این فصل ارائه می‌شود. مفاهیم نیرو، تنش، تعادل و خطوط تراز مختلف تنش در فصل سوم به داده شده است. رفتار مواد الاستیک خطی که منجر به قانون عمومی هوک می‌شود در فصل چهارم مورد بحث قرار می‌گیرد. به طور خلاصه فرم‌های مربوط به مواد ناهمگن، ناهمسانگرد و ترموالاستیک را نیز ارائه می‌دهد. در فصل‌های بعدی این سوره مباحث بیشتر و کامل‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در فصل ۵ معادلات استخراج شده قبلی جمع‌بندی شده و مسائل مقدار مرزی اساسی در تئوری الاستیسیته فرمول‌بندی می‌شود. موضوع مهم شرایط مرزی مناسب که در الاستیسیته کاربرد دارد به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت. فرمول‌بندی‌های جابه‌جایی و تنش ایجاد شده و استراتژی‌های عمومی حل مشخص می‌شوند. این فصل برای دانشجویان بسیار فصل مهمی است چرا که می‌توانند در این فصل تئوری‌ها را در کنار هم قرار دهند. فصل ۶ انرژی کرنشی و اصول مربوطه را ارائه می‌دهد که شامل قضیه متقابل، کار مجازی، انرژی پتانسیل حداقل و انرژی مکمل می‌باشد. فرمول‌بندی‌های دوبعدی مربوط به کرنش مسطح، تنش مسطح و کرنش نامسطح در فصل ۷ داده می‌شود. سپس مجموعه گسترده‌ای از

جواب‌ها برای مسائل دوبعدی خاص در فصل ۸ ارائه شده است و از MATLAB^R برای بیان نتایج استفاده می‌شود. حل‌های تحلیلی در فصل ۹ برای مسائل کشش، پیچش و خمش سنت-وانان ارائه می‌گردد.

مباحث در قسمت اول با توجه به نیاز و به صورت منطقی برای یک دوره یک ترمی در الاستیسیته ترتیب‌بندی شده‌اند. بخش‌های منتخب از قسمت اول کتاب را نیز می‌توان در این دوره گنجاند. قسمت II موضوعات پیشرفته‌تر را مورد کاوش قرار می‌دهد که عموماً در دوره دوم تدریس الاستیسیته تحت پوشش قرار می‌گیرد. روش قدرتمند متغیرهای مختلط برای مسائل مسطح در فصل ۱۰ ارائه شده است و چندین مورد از کاربردهای آن در حل مسائل مربوط به مکانیک شکست نشان داده می‌شود.

فصل ۱۱ تئوری هلا انگرید یشین را با تأکید بر مصالح کامپوزیت به رفتار اجسام ناهمسانگرد توسعه می‌دهد. این موضوع بسیار قابل توجه است و مثال‌هایی در ارتباط با مکانیک شکست ارائه می‌شود. ناهمسانگردی منحنی‌الخط شامل ارتوتروپی استوانه‌ای و کروی در این فصل جهت بررسی برخی حل‌های اساسی به مسائلی که دارای این نوع مصالح سازه‌ای هستند ارائه می‌گردد.

مقدمه‌ای برای ترموالاستیسیته در فصل ۱۲ ذکر شده است و چندین مورد مسائل کاربردی ویژه شامل تمرکز تنش و مسائل ترک مورد بحث قرار می‌گیرد. روش ممانعت از انتشار پتانسیل‌های جابه‌جایی و توابع تنش در فصل ۱۳ ارائه می‌شود. این روش‌ها برای تعمیم مواردی از راه‌حل‌ها در الاستیسیته سه‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فصل ۱۴ الاستیسیته ناهمگن را تحت پوشش قرار می‌دهد. در این موضوع در میان متون جاری استاندارد در الاستیسیته منحصر به فرد است. بعد از پوشش خلاصه‌وار فرمول‌بندی‌های تئوریک، چندین مورد جواب‌های دوبعدی حاصل شده، با استفاده از نمودارهایی با موارد همگن متناظر مورد مقایسه قرار می‌گیرد. فصل ۱۵ مجموعه‌ای مجزا از کاربردهای الاستیسیته در مسائل شامل مدل‌سازی میکرومکانیک را ارائه می‌دهد. فصل ۱۶ در این فصل ارائه می‌شوند شامل کاربردهای مدل‌سازی ناهمگن‌جایی، حالت‌های تنش تکین، اجسام دارای ترک‌های توزیع شده، میکروپولار، فضاهای خالی توزیع شده و تئوری‌های مکانیک دابلت هستند.

فصل ۱۶ مقدمه‌ای بر روش‌های عددی قدرتمند اجزاء محدود و اجزاء مرزی ارائه می‌دهد. اگرچه فقط تئوری دوبعدی توسعه داده می‌شود اما با در اختیار داشتن نتایج عددی در مسائل نمونه می‌توان مقایسه جالبی با جواب‌های حاصل از روش‌های تحلیلی در فصل‌های پیشین انجام داد.

ویرایش سوم الاستیسیته با چهار پیوست به پایان می‌رسد که دربرگیرنده فهرستی خلاصه‌وار از معادلات اساسی میلان، روابط تبدیل بین سیستم‌های مختصات دکارتی، استوانه‌ای و کروی، مبانی اولیه MATLAB^R و مروری جامع به مقاومت مصالح است.

موضوع مطالعه

الاستیسیته مبحثی زیبا و جذاب است که با تعیین توزیع تنش، کرنش و جابه‌جایی در یک جسم ارتجاعی تحت اثر نیروهای خارجی در ارتباط می‌باشد. پیگیری فرضیات مرسوم از قبیل مصالح خطی، تئوری تغییرشکل‌های کوچک،

فرمول‌بندی‌ها منجر به یک مدل ریاضی می‌شود که امکان حل مسائلی که دارای کاربردهایی در بسیاری از زمینه‌های مهندسی و علمی هستند را به وجود می‌آورد.

* کاربردها در مهندسی عمران شامل تحلیل تنش و خیز در اعضای سازه‌ای به طور مثال میله‌ها، تیرها، ورق‌ها و پوسته‌ها می‌شود. کاربردهای بیشتر در ژئومکانیک واقع می‌شود که دربرگیرنده تنش در موادی مانند خاک، سنگ، بتن و آسفالت است.

* مهندسی مکانیک در مسائل متعددی در تحلیل و طراحی اجزاء ماشین الاستیسته را مورد استفاده قرار می‌دهد. نمونه‌ای از این کاربردها شامل تحلیل عمومی تنش، تنش‌های تماسی، تحلیل تنش‌های حرارتی، مکانیک شکست و خستگی است.

* مهندسی مواد از الاستیسته برای تعیین میدان‌های تنش در اجسام بلورین، ناهمبندی‌های پیرامونی و در مواد با ریزساختارها استفاده می‌کند.

* کاربردها در مهندسی هوا فضا شامل تحلیل تنش، شکست و خستگی در صنعت هوا فضا است. همچنین در این مباحث بنایی برای مطالعات پیرامون ارتباط رفتار مواد غیرارتجاعی شامل پلاستیسته و ویسکوالاستیسته و مطالعه در خصوص تحلیل عددی تنش با به کارگیری روش‌های اجزاء محدود و اجزاء مرزی فراهم شده است.

تئوری الاستیسته یک مدل ریاضی برای مسئله تغییرشکل به وجود می‌آورد و از این امر نیازمند داشتن دانش ریاضی برای درک فرمول‌بندی و روش‌های آن است. ما دلالت یفرانسیل جزئی میدان حاکم با استفاده از اصول اساسی مکانیک محیط‌های پیوسته توسعه داده می‌شوند که عموماً ریان برداری و تانسوری فرمول‌بندی می‌شود. تکنیک‌هایی که برای حل این معادلات میدان مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند برگیرنده روش‌های فوریه، حساب وردشی، تبدیلات انتگرالی، متغیرهای مختلط، تئوری پتانسیل، تفاضل‌های محدود، ابرمحدوده و غیره باشند. جهت آماده کردن دانشجویان برای این مبحث، در متن مروری بر بسیاری از موضوعات ریاضی صورت گرفته و منابع اضافی برای مطالعات بیشتر معرفی شده است. مهم است که دانشجویان آمادگی کافی برای فرمول‌بندی نظری را داشته باشند در غیر این صورت قادر نخواهند بود جزئیات ضروری در فرمول‌بندی‌ها را درک نمایند. البته با تأکید بر کاربردها، مروری که برای حل مسئله مفید است، تمرکز خواهیم کرد.

مفهوم رابطه ارتجاعی نیرو-تغییرشکل اولین بار در سال ۱۶۷۸ توسط رابرت هوک پیشنهاد شد. با وجود این فرمول‌بندی ریاضی تئوری الاستیسته تا قرن نوزدهم توسعه یافت. در سال ۱۸۲۱ ناویر بررسی خود بر روی معادلات عمومی تعادل ارائه داد؛ مطالعات او سریعاً توسط کوشی ادامه یافت، (کشی که معادلات اساسی الاستیسته را مطالعه کرده و نمادگذاری برای تنش در یک نقطه را ایجاد کرد) فهرست طولی از دانشمندان و ریاضیدانان صاحب نام توسعه این تئوری را ادامه دادند که شامل افرادی چون برنولی، لرد کلوین، پواسون، لامه، گرین، سنت ونان، بتی، ایری، کیرشهف، رابلی، لاو، تیموشنکو، کولوس اوف و دیگران هستند.

طی دو دهه بعد از جنگ جهانی دوم، پژوهش‌ها در الاستیسته منجر به تولید جواب‌های تحلیلی برای تعداد زیادی از

مسائل به خصوص در زمینه مهندسی شد. دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ دربرگیرنده مطالعات قابل توجهی بر روی روش‌های عددی با استفاده از تئوری اجزاء محدود و تئوری اجزاء مرزی است. همچنین طی این دوره، برای بهره‌برداری در کامپوزیت‌ها، کاربردهای الاستیسیته به سمت مواد ناهمسانگرد معطوف شد.

اخیراً الاستیسیته در مدل‌سازی مواد دارای ریزساختارهای داخلی و مواد ناهمگن و مواد هدمند مورد استفاده قرار گرفته است. تجدید حیات مکانیک محیط‌های پیوسته مدرن در دهه ۱۹۶۰ منجر به بازبینی در بنیان‌های الاستیسیته و ایجاد یک جایگاه منطقی برای این تئوری در درون چهارچوب کلی گردید. جزئیات تاریخی را می‌توان در متون منتشر شده توسط تادهانتر و پیرامون با عنوان تاریخچه تئوری الاستیسیته لاو با عنوان رساله‌ای در تئوری محاسباتی الاستیسیته و تیموشنکو با عنوان تاریخچه‌ای بر مقاومت ماله یافت.

تمرین‌ها و پشتیبانی در سایت:

مورد خاص در خصوص این کتاب، فلاد ر تمرین‌ها در وبسایت ناشر به نشانی www.textbooks.elsevier.com است. تمرین‌های زیادی در پایان هر فصل به خوانندگان ارائه شده است که به منظور علاقمند کردن دانشجویان به موضوع می‌باشد. تمرین‌ها همچنین ابزار ایده‌آلی برای مدرس است که در زمان تدریس مثال‌های کاربردی بیشتری را مطرح نماید. در موارد بسیاری در متن به تمرین‌های خاصی ارجاع داده می‌شود که جزئیات مربوط به یک مسئله خاص در آن تعبیه شده است. تمرین‌هایی که با ستاره (*) علامت‌گذاری شده‌اند در کتاب بر مسائل دارند که حل آن‌ها نیازمند روش‌های عددی و ترسیم با استفاده از نرم‌افزار پیشنهادی MATLAB[®] است. با وجود این توجه کنید که بسته‌های نرم‌افزاری دیگری نیز می‌توان برای انجام تحلیل‌های عددی و ترسیم نمودارها استفاده کرد.

حل تمامی تمرین‌ها به صورت آنلاین در وبسایت ناشر در دسترس است که می‌تواند کمک قابل توجهی برای مدرسان در استفاده از این مطالب فراهم می‌شود. علاوه بر این نرم‌افزار MATLAB[®] جهت کمک دانشجویان و مدرسان برای تهیه کدهای مورد نظر آن‌ها در وبسایت موجود است. چیزی که در ویرایش سوم جدید است وجود محرک‌های آنلاین از اسلایدهای پاورپوینت برای فصل‌های ۱ تا ۹ است. این اسلایدها دربردارنده اشکال گرافیکی و خلاصه‌ای از مطالب اساسی است که در حین تدریس مفید واقع می‌شوند.

بازخورد

نویسنده قویاً به بهبود مداوم آموزش‌های مهندسی علاقمند بوده و پذیرای بازخورد استفاده‌کنندگان از این کتاب است. لطفاً نظرات خود را در رابطه با تصحیح و یا تکمیل مطالب از طریق ایمیل (sadd@egr.utoronto.ca) ارسال نمایید. این احتمال وجود دارد که این گونه بازخوردها از طریق وبسایت ناشر یا سایر استفاده‌کنندگان از کتاب به اشتراک گذاشته شود.

قدردانی

اشخاص بسیاری به جهت کمک‌رسانی در شکل‌گیری این کتاب، شایسته قدردانی هستند.

ابتدای خواهم از دانشجویان فارغ التحصیل شده که در کلاس های درس الاستیسیته من نشسته اند تشکر کنم. آن ها پیوسته منشأ چالش ها و الهامات من بوده و به طور قطع، تلاش های من را در دستیابی به راه های مؤثر جهت ارائه این مطلب تحت تأثیر قرار داده اند. از یکی از دانشجویانم به نام کینگلی دای که حل اولیه اغلب تمرین ها را بر عهده داشته و آن ها را ویرایش کرده است، بسیار قدردانی می کنم. تعدادی تصاویر فتوالاستیک به لطف آزمایشگاه فتومکانیک دینامیکی تهیه شده است (پروفسور آرون شوکلا، مدیر). از حمایت کارکنان Elsevier بسیار سپاسگزارم. همچنین مايلم از حمایت های دانشگاه Rhode Island برای اعطای فرصت مطالعاتی به اینجانب جهت تکمیل ویرایش اول و ادامه حمایت ها برای تکمیل ویرایش های دوم و سوم قدردانی نمایم.

شایه ویرایش قبل، این کتاب به مرحوم پروفسور Marvin stippes از دانشگاه Illinois تقدیم می شود؛ ایشان کسی بود که نخستین بار ظرافت و زیبایی موضوع کتاب را به من نشان دادند.

دانشجویان با انانیت ه فهم بی نهایت ایشان از الاستیسیته را هیچ وقت فراموش نخواهند کرد.