

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه ایزدگاران
انتشارات
۹۰۱

نگره کشانی و موسانی

دکتر حمید شیرازی
استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

سرشناسه: شیرازی، حمید، ۱۳۵۱ -
 عنوان و نام پدیدآور: نگره کشسانی و مومسانی/ حمید شیرازی؛ ویراستار علمی امیررضا مسعودی؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
 مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۲.
 مشخصات ظاهری: ۳۲۰ ص.
 فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۹۰۱.
 شابک: ISBN: 978-964-386-596-2
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا.
 یادداشت: کتابنامه: ص. ۳۱۷-۳۱۸. نمایه.
 موضوع: ارتجاع (فیزیک) -- راهنمای آموزشی (عالی)
 Elasticity -- Study and teaching (Higher)
 ارتجاع (فیزیک) -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
 Elasticity -- Problems, exercises, etc. (Higher)
 شناسه افزوده: مسعودی، امیررضا، ۱۳۶۹-، ویراستار
 شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
 رده‌بندی کنگره: QA۹۳۱
 رده‌بندی دیویی: ۵۳۱/۳۸۲۰۷۶
 شماره کتابشناسی ملی: ۹۴۰۴۶۶۵

نگره کشسانی و مومسانی

پدیدآورنده: دکتر حمید شیرازی
 ویراستار علمی: دکتر امیررضا مسعودی
 ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
 مشخصات: وزیری، ۲۰۰ نسخه، چاپ اول، پاییز ۱۴۰۲
 چاپ و صحافی: چاپخانه دقت
 بها: ۲/۴۰۰/۰۰۰ ریال
 حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.



انتشارات
۹۰۱

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
 تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
 مؤسسه کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست
 گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
 مؤسسه دانشوران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
 تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار..... ۹

بخش یکم: نگره کشانی

فصل ۱. پیش نیاز ریاضی.....	۱۳
۱-۱ پیشگفتار.....	۱۳
۲-۱ جبر بردارها.....	۱۳
۱-۲-۱ مؤلفه‌های یک بردار.....	۱۴
۲-۲-۱ بردار یگه.....	۱۵
۳-۲-۱ مختصات بردار.....	۱۶
۴-۲-۱ جمع و تفریق بردارها.....	۱۷
۵-۲-۱ ضرب بردارها.....	۱۸
۶-۲-۱ تصویر یک بردار بر بردار دیگر.....	۲۰
۳-۱ دُوران دستگاه مختصات.....	۲۱
۱-۳-۱ انتقال بردار بین دو دستگاه.....	۲۲
۲-۳-۱ انتقال تانسور بین دو دستگاه.....	۲۴
۳-۳-۱ انتقال مشتق بین دو دستگاه.....	۲۴
۴-۳-۱ انتقال انتگرال بین دو دستگاه.....	۲۵
۴-۱ جبر ماتریس‌ها.....	۲۷
۱-۴-۱ جمع و تفریق دو ماتریس.....	۲۷
۲-۴-۱ ضرب دو ماتریس.....	۲۷
۳-۴-۱ دترمینان.....	۲۸
۴-۴-۱ وارون ماتریس.....	۲۹
۵-۴-۱ مقادیر و بردارهای ویژه ماتریس.....	۳۱
۶-۴-۱ یک قضیه مهم در جبر خطی.....	۳۲
۵-۵-۱ نگارش تانسوری.....	۳۴
۱-۵-۱ زیرنویس آزاد و زیرنویس تکرار.....	۳۴
۲-۵-۱ دلتای کرونیکر (δ_{ij}).....	۳۵

- ۳۶.....۱-۵-۳- عامل چرخش (ε_{ijk})
 ۳۶.....۱-۵-۴ اتحاد $\delta - \varepsilon$
 ۳۷.....۱-۵-۵ دترمینان.....
 ۳۸.....۱-۵-۶ بردارها.....
 ۴۱.....۱-۵-۷ دَوَران محورهای مختصات.....

فصل ۲. تحلیل تنش و کرنش..... ۴۳

- ۴۳.....۱-۲ پیشگفتار.....
 ۴۳.....۲-۲ تنش.....
 ۴۳.....۲-۲-۱ نیروهای داخلی.....
 ۴۵.....۲-۲-۲ تعریف تنش و المان تنش.....
 ۴۸.....۲-۲-۳ تبدیل تنش.....
 ۶۷.....۲-۲-۴ دایره موهر.....
 ۷۱.....۲-۲-۵ تنش‌های هشت وجهی.....
 ۷۲.....۲-۲-۶ تنش‌های کروی، انحرافی و هیدرواستاتیک.....
 ۷۳.....۲-۳ کرنش.....
 ۷۴.....۲-۳-۱ کرنش محوری.....
 ۷۵.....۲-۳-۲ کرنش برشی.....
 ۷۶.....۲-۳-۳ تانسور کرنش.....
 ۷۷.....۲-۳-۴ تانسور گرادیان تغییر مکان، تغییر شکل و چرخش.....
 ۸۱.....۲-۳-۵ کرنش‌های کروی (حجمی) و انحرافی.....
 ۸۲.....۲-۳-۶ تبدیل کرنش.....
 ۸۶.....۲-۴ انرژی کرنشی.....
 ۸۸.....۲-۵ تمرین‌های فصل ۲.....

فصل ۳. معادلات تحلیلی در اجسام کشسان..... ۹۱

- ۹۱.....۱-۳ پیشگفتار.....
 ۹۲.....۲-۳ معادلات تعادل.....
 ۹۴.....۳-۳ معادلات سازگاری.....
 ۹۵.....۳-۴ معادلات ساختاری.....
 ۹۵.....۳-۴-۱ قوانین هوک-نمایش عمومی.....
 ۹۹.....۳-۴-۲ قوانین هوک-نمایش لانه.....
 ۱۰۰.....۳-۴-۳ قوانین هوک-نمایش بالک.....

۱۰۹.....	۳-۵ معادله میدان.....
۱۱۰.....	۳-۶ اجسام کشسان در دستگاه قطبی.....
۱۱۰.....	۳-۶-۱ ارتباط متقابل بین دستگاه دکارتی و قطبی.....
۱۱۱.....	۳-۶-۲ معادلات تحلیلی در دستگاه قطبی.....
۱۱۴.....	۳-۷ تمرین‌های فصل ۳.....
۱۱۵.....	فصل ۴. حل مسائل کشسان دو بُعدی - تابع تنش.....
۱۱۵.....	۴-۱ پیشگفتار.....
۱۱۵.....	۴-۲ ساده‌سازی مسائل سه بُعدی به دو بُعدی.....
۱۱۵.....	۴-۲-۱ مسائل تنش در صفحه.....
۱۱۸.....	۴-۲-۲ مسائل کرنش در صفحه.....
۱۲۰.....	۴-۳ تحلیل کشسان در مسائل دو بُعدی.....
۱۲۰.....	۴-۳-۱ تابع تنش.....
۱۲۱.....	۴-۳-۲ شرایط مرزی.....
۱۲۸.....	۴-۳-۳ دستگاه قطبی.....
۱۳۹.....	۴-۴ تمرین‌های فصل ۴.....
۱۴۱.....	فصل ۵. خمش کشسان در تیرها.....
۱۴۱.....	۵-۱ پیشگفتار.....
۱۴۲.....	۵-۲ یادآوری از مقاومت مصالح.....
۱۴۴.....	۵-۳ خمش کلی در تیرها.....
۱۴۸.....	۵-۴ نظریه تیموشنکو در تیرها.....
۱۵۲.....	۵-۵ خمش در تیرهای خمیده.....
۱۶۱.....	۵-۶ تمرین‌های فصل ۵.....
۱۶۳.....	فصل ۶. پیچش کشسان.....
۱۶۳.....	۶-۱ پیشگفتار.....
۱۶۳.....	۶-۱-۱ مقاطع دایره‌ای.....
۱۶۴.....	۶-۱-۲ مقاطع غیر دایره‌ای.....
۱۶۵.....	۶-۲ رابطه‌سازی پیچش در حالت کلی.....
۱۶۵.....	۶-۲-۱ روابط تعادل و سازگاری.....
۱۶۷.....	۶-۲-۲ تابع تنش.....

۱۶۷.....	۳-۲-۶ شرایط مرزی.....
۱۷۵.....	۳-۶ مقاطع چندسلولی.....
۱۷۸.....	۴-۶ تشابه غشایی.....
۱۸۳.....	۵-۶ تمرین‌های فصل ۶.....

بخش دوم: نگره مومسانی

۱۸۷.....	فصل ۷. اصول مقدماتی در تحلیل مومسان سازه‌ها.....
۱۸۷.....	۱-۷ پیشگفتار.....
۱۸۷.....	۲-۷ نمودار تنش - کرنش.....
۱۹۰.....	۳-۷ کارمایه.....
۱۹۱.....	۴-۷ تحلیل چرخه‌ای.....
۱۹۳.....	۵-۷ شاخص‌های تسلیم در فلزات.....
۱۹۴.....	۱-۵-۷ شاخص تنش اصلی بیشینه (شاخص رانکین).....
۱۹۴.....	۲-۵-۷ شاخص کرنش اصلی بیشینه (شاخص سن‌ونان).....
۱۹۵.....	۳-۵-۷ شاخص تنش برشی بیشینه (شاخص ترسکا).....
۱۹۶.....	۴-۵-۷ شاخص کارمایه تغییر شکل بیشینه (شاخص فون میسنز).....
۲۰۲.....	۶-۷ تحلیل مومسان در سازه‌های یک درجه آزادی.....
۲۰۲.....	۱-۶-۷ تحلیل مومسان در سازه‌های یک درجه آزادی با مصالح عمومی.....
۲۰۹.....	۲-۶-۷ تحلیل کشسان - مومسان در سازه‌های یک درجه آزادی با فولاد ساختمانی.....
۲۱۶.....	۷-۷ تمرین‌های فصل ۷.....

۲۱۹.....	فصل ۸. تحلیل مومسان در سازه‌های خرابایی.....
۲۱۹.....	۱-۸ پیشگفتار.....
۲۲۰.....	۲-۸ تحلیل کشسان - مومسان در سازه‌های خرابایی.....
۲۲۱.....	۱-۲-۸ روش بار افزون یا روش نموی.....
۲۲۷.....	۲-۲-۸ روش نموی ماتریسی.....
۲۳۸.....	۳-۲-۸ تحلیل حادی.....
۲۵۰.....	۳-۸ تمرین‌های فصل ۸.....

۲۵۳.....	فصل ۹. تحلیل مومسان در سازه‌های خمشی.....
۲۵۳.....	۱-۹ پیشگفتار.....
۲۵۳.....	۲-۹ تحلیل کشسان - مومسان در مقاطع خمشی.....

فهرست مطالب ۷

۲۶۰	۳-۹ مفصل خمیری.....
۲۶۲	۴-۹ تحلیل لنگر- انحنا.....
۲۷۰	۵-۹ تحلیل نموی در سازه‌های خمشی.....
۲۷۶	۶-۹ تحلیل جثی در سازه‌های خمشی.....
۲۷۶	۶-۹ روش لنگر خمشی واکنش و آزاد.....
۲۸۰	۶-۹ روش کار مجازی.....
۲۸۶	۷-۹ نمونه‌ای کاربردی از تحلیل مومسان.....
۲۹۰	۸-۹ تمرین‌های فصل ۹.....
۲۹۳	فصل ۱۰. تأثیر نیروهای محوری و برشی در ظرفیت مومسانی سازه‌های خمشی.....
۲۹۳	۱-۱۰ پیشگفتار.....
۲۹۳	۲-۱۰ اثر نیروی محوری در تسلیم مقاطع خمشی.....
۲۹۵	۳-۱۰ اثر نیروی برشی در تسلیم مقاطع خمشی.....
۲۹۹	۴-۱۰ تمرین‌های فصل ۱۰.....
۳۰۱	پیوست: نمونه‌هایی از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB.....
۳۱۷	مراجع.....
۳۱۹	نمایه.....

press.um.ac.ir

پیشگفتار

تئوری الاستیسیته و پلاستیسته که در فارسی، نگره کشسانی و مومسانی خوانده می‌شود، یکی از دروس اصلی در دو رشته مهندسی عمران و مکانیک است. هدف اصلی درس تئوری الاستیسیته، محاسبه تنش و کرنش در یک جسم با رفتار کشسان است که در حوزه تغییر شکل‌های کوچک، تحت اثر نیروهای مکانیکی و حرارتی قرار دارد. در این حوزه می‌توان معادلات تحلیلی را با در نظر گرفتن رفتار خطی در مصالح و هندسه اجسام استخراج و از روش‌های ریاضی برای تحلیل سازه استفاده کرد. از سوی دیگر، در تئوری پلاستیسیته، سازه وارد حوزه تغییر شکل‌های بزرگ می‌شود و لزوم تحلیل با روش‌های نموی آشکار می‌گردد.

در کتابی که پیش‌رو دارید، بخشی از مبانی دو درس رشته مهندسی عمران، یعنی درس تئوری الاستیسیته و پلاستیسیته و همچنین درس تئوری غیرارتجاعی، ارائه شده‌اند. این مبانی در دو بخش با عناوین نگره کشسانی و نگره مومسانی دسته‌بندی شده‌اند. بخش یکم که مربوط به مباحث تئوری الاستیسیته است، در پنج عنوان تحلیل تنش و کرنش، معادلات تحلیلی در اجسام کشسان، حل مسائل کشسان-مومسان دوبعدی، خمش کشسان در تیرها و پیچش کشسان مرتب شده‌اند. در بخش دوم، مباحث تئوری غیرارتجاعی در چهار سرفصل اصول مقدماتی در تحلیل مومسان سازه‌ها، تحلیل غیرخطی سازه‌های خرپایی، تحلیل غیرخطی سازه‌های خمشی و تأثیر نیروهای محوری و برشی در ظرفیت مومسانی سازه‌های خمشی ارائه شده است.

باید دانست که مباحث نگره‌های کشسانی و مومسانی دارای بار قابل توجهی از ریاضیات هستند که اگر پیش‌از اندازه مورد توجه قرار گیرد، علاوه بر پیچیده شدن مطالب، جنبه کاربردی بحث کم‌رنگ خواهد شد. به همین دلیل، رویکرد اصلی در این کتاب، پرهیز از پرداختن به ریاضیات محض و توجه به جنبه‌های کاربردی مباحث است. به سخن دیگر، مباحث با همان شیوه مقاومت مصالح بررسی شده‌اند و هر جا لازم بوده، به اصول ریاضی نیز پرداخته شده است. نظر به اینکه در تمامی این مباحث، آشنایی با مبانی و محاسبات ریاضی، بسیار مهم است، فصل یکم کتاب با عنوان پیش‌نیاز ریاضی به بیان آن بخش از ریاضیات که کاربرد بیشتری در این درس دارد، پرداخته است. در هر فصل تلاش شده است تا اصول مورد نظر با بیانی ساده همراه با شکل‌ها و مثال‌های متنوع بیان شود تا درک آن‌ها به سادگی انجام پذیرد.

در اینجا لازم است به یک نکته دیگر نیز اشاره شود و آن این که در حال حاضر، نرم‌افزارهای متنوعی وجود دارند که به سادگی می‌توانند سازه‌های پیچیده را به‌ویژه در حوزه کشسان تحلیل کنند و تمام اطلاعات مورد نیاز را در دسترس قرار دهند. سادگی و سرعت تحلیل رایانه‌ای باعث شده است تا این تفکر برای برخی ایجاد شود

که دیگر به یادگیری مبانی علمی این مباحث نیازی نیست و از آنجا که این مبانی، کاربرد مستقیم در مسائل واقعی ندارند، می توان از پرداختن به آن ها خودداری کرد. البته این یک برداشت نادرست است و باید دانست که آشنایی و درک کامل مبانی علمی و توانایی دانشجویان در حل دستی یک مسئله، دست کم دارای دو امتیاز زیر است که لزوم فراگیری آن ها را روشن می سازد.

۱- نرم افزارهای رایانه ای، برنامه هایی غیر هوشمند و وابسته به کاربر هستند. بنابراین، خروجی آن ها هنگامی قابل اطمینان است که داده های ورودی توسط یک کاربر هوشمند و آشنا به مبانی تحلیلی بررسی شود و رفع خطاهای احتمالی توسط او صورت پذیرد؛ در غیر این صورت، چه بسا پاسخ های به دست آمده اشتباه بوده و هیچ گونه ارزشی نداشته باشند.

۲- یادگیری مبانی علمی و حل دستی مسائل به طور معمول با دشواری ها و چالش های گوناگون همراه است و در صورتی که ذهن دانشجویان با این چالش ها برخورد نکند، آمادگی پذیرش مباحث طراحی و تصمیم گیری در یک سازه واقعی را پیدا نخواهند کرد.

با توجه به آنچه گفته شد، توصیه می شود دانشجویان این درس را بسیار مهم بدانند و اهمیت آن را در آینده علمی و حرفه ای خود دست کم نگیرند.

در پایان، امیدوار هستم تا خوانندگان محترم، این بنده را لایق بدانند و ضمن بخشش، کاستی های کتاب را به این جانب گوشزد کنند تا برای رفع آن ها اقدام شود. بدیهی است که در زمینه های مورد بحث، کتاب های بسیاری وجود دارند که توسط نویسندگانی بسیار توانمند نوشته شده اند، اما از آنجا که نگارش هر کتاب تا حد زیادی متأثر از سلیقه نویسنده آن است، امید است که این کتاب بتواند حداقل برای دسته ای از خوانندگان و در شرایط آرمانی برای همه آن ها مفید باشد.

حمید شیرازی

تابستان ۱۴۰۲