

به نام خدا

روش‌های انرژی در تحلیل دینامیک سازه‌های مکانیکی
(نظریه‌ها و کاربردها)

www.ketab.ir

دکتر مجید قدیری

مهندس خشایار قربانی

مهندس محمد نوروزی

سرشناسه: قدیری، مجید، ۱۳۵۸-

عنوان و نام پدیدآور: روش‌های انرژی در تحلیل دینامیک سازه‌های مکانیکی (نظریه‌ها و کاربردها) / مجید قدیری، خشایار قربانی، محمد نوروزی

مشخصات نشر: قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، انتشارات، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ۳۹۱ ص:، محور، جدول، نمودار.

شابک: 978-622-6898-75-1

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: کتابنامه: ص. [۲۸۳] - ۳۹۱.

موضوع: دینامیک سازه‌ها -- الگوهای ریاضی -- راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Structural dynamics -- Mathematical models -- Study and teaching (Higher)

موضوع: حساب تغییرات -- راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع: Calculus of variations -- Study and teaching (Higher)

شناسه افزوده: قربانی، خشایار، ۱۳۷۱-

شناسه افزوده: نوروزی، محمد، ۱۳۶۷-

شناسه افزوده: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، انتشارات

رده بندی کنگره: TA۶۵۴

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۱۷۱-۰۷

شماره کتابشناسی ملی: ۸۵۳۲۶۱۲

اطلاعات رگورد کتابشناسی: فیا

عنوان : روش‌های انرژی در تحلیل دینامیک سازه‌های مکانیکی (نظریه‌ها و کاربردها)

نویسندگان : مجید قدیری، خشایار قربانی و محمد نوروزی

ناظر فنی : حمید کلهر

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۷۵-۱

نوبت چاپ : اول ۱۴۰۰

قیمت : ۹۰ هزار تومان

شمارگان : ۵۰۰ جلد

ناشر : انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تلفن ۰۲۸-۳۳۹۰۱۴۲۶

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحبان اثر است

پیشگفتار

استفاده روزافزون از روش‌های عددی و محاسباتی در مهندسی و علوم کاربردی، اهمیت جدید روش انرژی و رویکرد تغییرات را روشن ساخته است. تعداد دوره‌های مهندسی که از اصول انرژی و فرمول‌ها و روش‌های تغییرات استفاده می‌کنند نیز در سال‌های اخیر بسیار سریع رشد کرده است. با توجه به افزایش استفاده از فرمول‌ها و روش‌های تغییرات (از جمله روش اجزای محدود)، نیاز به معرفی مفاهیم روش انرژی و رویکرد تغییرات و استفاده از آن‌ها در فرمول بندی و حل مسائل مکانیک برای دانشجویان هر دو مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد وجود دارد. این کتاب تحت عنوان روش‌های انرژی در تحلیل دینامیک سازه‌های مکانیکی، نظریه‌ها و کاربردها، به عنوان نسخه‌ای کامل برای دانشجویان مقطع کارشناسی و مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، هوافضا، مکانیک کاربردی و حتی عمران، که دوره‌ای را در مباحث مهندسی پایه و همچنین معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی گذرانده‌اند، در نظر گرفته شده است. این کتاب در ده فصل تنظیم شده است و تا آنجا که به موضوع مربوط می‌شود، به مسائل پرداخته است.

در فصل اول مقدمه‌ای کلی در مورد حساب تغییرات و مفاهیم تابعی وجود دارد. فصل دوم شامل اصول مبتنی بر حساب تغییرات است که در استخراج معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار مکانیکی یک ماده دارای کاربرد می‌باشد. مروری بر انواع مواد و معادلات اساسی مکانیک پیوسته مربوط به آن‌ها در فصل سوم گنجانده شده است. این معادلات اغلب در فصل آخر این کتاب به کار برده می‌شوند. بسیاری از مطالب ارائه شده در فصول اول تا سوم را می‌توان به عنوان مطالعه مواد به ویژه در یک کلاس تحصیلات تکمیلی اختصاص داد. فصل چهارم به ارائه مثال‌های از کاربرد اصل هامیلتون در مطالعه رفتار ارتعاشاتی ساختارهای مختلف شامل ارتعاشات عرضی ریسمان‌ها، ارتعاشات طولی میله‌ها و ارتعاشات پیچشی شفت‌ها می‌پردازد. بررسی رفتار ارتعاشاتی آزاد و اجباری عرضی تیرها بر مبنای نظریه‌های تیر اویلر-برنولی، ریلی و تیموشینکو در فصل پنجم ارائه شده است. فصل ششم به بحث در مورد رفتار ارتعاشاتی آزاد عرضی ورق‌ها بر اساس نظریه‌های مختلف ورق شامل نظریه‌ی ورق کلاسیک نازک یا نظریه‌ی کیرشهف، نظریه‌ی تغییر شکل

برشی مرتبه‌ی اول یا نظریه‌ی میندلین و نظریه‌ی تغییر کل برشی مرتبه‌ی سوم یا نظریه‌ی ردی اختصاص یافته است. همچنین رفتار ارتعاشاتی پوسته‌های استوانه‌ای و دو انحنایی در فصل هفتم بررسی شده است. تمام مفاهیم و نظریه‌های ارائه شده در فصول چهارم تا هفتم همراه با اصول انرژی و رویکرد تغییرات می‌توانند به راحتی برای مسائل میدانی که معادلات دیفرانسیل آنها مشابه این ساختارهای مکانیکی هستند قابل استفاده باشند. در نتیجه، دانشجو می‌تواند به راحتی روش انرژی را به سایر موضوعات مکانیک جامدات و همچنین سایر شاخه‌های مهندسی گسترش دهد. از اینرو، فصل ۸ به مبانی و مفاهیم ضربه برای بررسی رفتار دینامیکی یک سازه تحت ضربه بر اساس اصول انرژی و روش تغییرات به منظور کامل بودن و استفاده به عنوان مرجعی برای کاربردهای متفاوت از رفتار ارتعاشی اختصاص یافته است. در فصل نهم انواع روش‌های حل تقریبی، با توجه به عدم استفاده از حل دقیق برای برخی از مسائل دینامیکی ارائه شده است. در آخر، به منظور درک هرچه بیشتر مفاهیم، نظریه‌ها و روش‌های حل ارائه شده در فصول قبلی، چندین مسأله کاربردی برای توصیف رفتار دینامیکی و ارتعاشی ساختارهای پیوسته مکانیکی با هندسه و خواص متفاوت در حضور اثرات مختلف در فصل دهم گنجانده شده است. چند نمونه کد نرم افزار متلب مربوط به مسائل منتخب برای آشنایی دانشجویان با نحوه کد نویسی در قسمت پیوست کتاب نیز آورده شده است.

این کتاب به عنوان یک کتاب درسی برای تدریس در دوره کارشناسی ارشد یا فارغ التحصیل دوره کارشناسی در زمینه روش انرژی و حساب تغییرات در بخش‌های مهندسی مکانیک و مکانیک کاربردی، هوا فضا و عمران مناسب است. برای به دست آوردن بیشترین بهره از متن، دانشجو باید یک دانشجوی کارشناسی ارشد یا فارغ التحصیل دوره کارشناسی در رشته مهندسی باشد. در این خصوص، آشنایی با دروس مقدماتی معادلات دیفرانسیل، مکانیک مواد و دینامیک نیز مفید خواهد بود.

فهرست مطالب

فصل اول حساب تغییرات ۱۷

- ۱-۱ مقدمه ۱۸
- ۲-۱ مفهوم فانکشنال ۲۰
- ۳-۱ قضیه اساسی حساب تغییرات ۲۱
- ۴-۱ مفهوم تغییرات یک تابع به روش ابراتور δ ۲۲
- ۵-۱ فانکشنال‌های حاوی مشتقات مرتبه‌ی بالاتر ۲۶
- ۶-۱ فانکشنال‌های حاوی بیش از یک متغیر مستقل ۲۸
- ۷-۱ فانکشنال‌های حاوی بیش از یک متغیر وابسته ۲۹
- ۸-۱ قیود تابعی ۳۲
- ۱-۸-۱ قیود دیفرانسیلی ۳۳
- ۲-۸-۱ قیود انتگرالی ۳۵
- مسائل ۳۸

فصل دوم روش‌های مبتنی بر حساب تغییرات در مکانیک جامدات ۴۳

- ۱-۲ مقدمه ۴۴
- ۲-۲ اصل کار مجازی ۴۵
- ۳-۲ اصل هامیلتون ۴۵
- ۴-۲ اصل مینیم انرژی پتانسیل ۵۱
- ۵-۲ اصل مینیم انرژی مکمل ۵۲

فصل سوم انواع مواد ۵۵

- ۱-۳ مقدمه ۵۶
- ۲-۳ مواد کامپوزیت ۵۶
- ۱-۲-۳ ویژگی‌های مواد کامپوزیت ۵۷
- ۲-۲-۳ کاربرد مواد کامپوزیت ۵۸
- ۳-۲-۳ تقسیم بندی مواد کامپوزیت ۶۰
- ۴-۲-۳ مواد کامپوزیت الیافی ۶۰

۶۱	۳-۲-۵ تقویت کننده‌های مواد مرکب الیافی
۶۱	۳-۲-۵-۱ الیاف شیشه
۶۱	۳-۲-۵-۲ الیاف کربن
۶۲	۳-۲-۵-۳ الیاف پلیمری
۶۲	۳-۲-۶ مواد کامپوزیت لایه‌ای
۶۳	۳-۲-۷ مواد کامپوزیت ذره‌ای
۶۳	۳-۲-۸ مواد کامپوزیت با ساختار ترکیبی
۶۳	۳-۲-۹ الیاف و ماتریس
۶۴	۳-۲-۱۰ چند لایه‌ها
۶۶	۳-۲-۱۱ رفتار مکانیکی مواد کامپوزیت
۶۷	۳-۲-۱۲ مشخصات یک لایه همسو (یک جهت)
۶۸	۳-۲-۱۳ معادلات ساختاری در الاستیسیته خطی
۷۰	۳-۳ سازه‌های هدفمند (<i>FGM</i>)
۷۱	۳-۳-۱ تعاریف <i>FGM</i>
۷۳	۳-۳-۲ مدل‌های ریاضی بین کننده خواص مکانیکی مواد هدفمند
۷۴	۳-۳-۳ خواص ماده به صورت تابع توانی (<i>P-FGM</i>)
۷۵	۳-۳-۴ خواص ماده به صورت تابع <i>S</i> شکل (<i>S-FGM</i>)
۷۶	۳-۳-۵ خواص ماده به صورت تابع نمایی (<i>E-FGM</i>)
۷۷	۳-۳-۶ روش همگن سازی موری- تاناکا
۷۹	۳-۴ مواد ویسکوالاستیک
۷۹	۳-۴-۱ رفتار الاستیک
۸۰	۳-۴-۲ رفتار پلاستیک
۸۰	۳-۴-۳ رفتار ویسکوالاستیک
۸۲	۳-۴-۴ رابطه تنش- کرنش در ماده ویسکوالاستیک

فصل چهارم کاربردهای اصل هامیلتون ۸۵

۸۶	۴-۱ مقدمه
۸۶	۴-۲ معادلات حرکت ارتعاشات عرضی ریسمان‌ها
۸۶	۴-۲-۱ رویکرد قانون دوم نیوتن
۸۸	۴-۲-۲ رویکرد حساب تغییرات

- ۳-۴ معادلات حرکت ارتعاشات طولی میله‌ها ۹۴
- ۱-۳-۴ رویکرد قانون دوم نیوتن ۹۴
- ۲-۳-۴ رویکرد حساب تغییرات ۹۷
- ۳-۳-۴ پاسخ ارتعاشات آزاد و فرکانس‌های طبیعی ۹۸
- ۴-۴ معادلات حرکت ارتعاشات پیچشی شفت‌ها ۱۰۳
- ۱-۴-۴ رویکرد حساب تغییرات ۱۰۴
- ۲-۴-۴ ارتعاشات آزاد شفت‌های یکنواخت ۱۱۰
- ۳-۴-۴ ارتعاشات پیچشی شفت‌های با مقطع غیر دایره‌ای ۱۱۳

فصل پنجم ارتعاشات عرضی تیرها ۱۲۱

- ۱-۵ مقدمه ۱۲۲
- ۲-۵ نظریه‌ی تیر اویلر-برنولی (تیر نازک) ۱۲۲
- ۱-۲-۵ معادلات ارتعاشات آزاد برای یک تیر یکنواخت ۱۲۹
- ۲-۲-۵ ارتعاشات عرضی تیر تحت تأثیر نیروی محوری ۱۳۵
- ۳-۲-۵ ارتعاشات تیر چرخان ۱۴۴
- ۴-۲-۵ تیر بر روی بستر الاستیک ۱۴۵
- ۵-۲-۵ تیر تحت تأثیر گرادبان دما ۱۴۷
- ۳-۵ نظریه‌ی تیر ریلی ۱۴۹
- ۴-۵ نظریه‌ی تیر تیموشینکو (تیر ضخیم) ۱۵۲
- ۱-۴-۵ معادلات ارتعاشات آزاد برای یک تیر یکنواخت: ۱۵۶
- ۵-۵ روش جایگزین ۱۶۲
- ۶-۵ معرفی نظریه‌های تیر مرتبه‌ی بالا ۱۶۷
- ۷-۵ ارتعاشات اجباری ۱۶۹

فصل ششم ارتعاشات عرضی صفحه‌ها ۱۷۵

- ۱-۶ مقدمه ۱۷۶
- ۲-۶ نظریه‌ی صفحه کلاسیک نازک ۱۷۶
- ۱-۲-۶ ارتعاشات آزاد صفحات مستطیلی ۱۸۸
- ۳-۶ بررسی اجمالی سایر نظریه‌های صفحه ۱۹۵

فصل هفتم ارتعاشات عرضی پوسته‌ها ۱۹۷

- ۱-۷ مقدمه ۱۹۸
- ۲-۷ روابط حاکم بر پوسته‌های استوانه‌ای ۱۹۸
- ۳-۷ روابط حاکم بر پوسته‌های دو انحنایی ۲۱۰
- ۱-۳-۷ مدلسازی ریاضی ۲۱۱
- ۲-۳-۷ روابط کرنش-جابجایی ۲۱۵
- ۳-۳-۷ معادلات خطی حرکت پوسته دو انحنایی ۲۱۶

فصل هشتم دینامیک ضربه ۲۲۷

- ۱-۸ مبانی و مفاهیم ضربه ۲۲۸
- ۱-۱-۸ ضربه سرعت پایین ۲۲۹
- ۲-۱-۸ ضربه سرعت بالا ۲۲۹
- ۳-۱-۸ پاسخ ضربه ۲۳۰
- ۲-۸ انواع مدلسازی ضربه ۲۳۲
- ۱-۲-۸ مدل جرم و فنر ۲۳۳
- ۲-۲-۸ مدل موازنه انرژی ۲۳۳
- ۳-۲-۸ مدل کامل ۲۳۴
- ۳-۸ قوانین تماس الاستیک ۲۳۴
- ۱-۳-۸ قانون تماس الاستیک هرتز ۲۳۵
- ۲-۳-۸ بارگذاری الاستیک بین یک پوسته دو انحنایی و یک ضربه زننده کروی ۲۳۷
- ۳-۳-۸ قانون تماس در سازه‌های کامپوزیتی ۲۳۸
- ۴-۸ مدل‌های تماس الاستو پلاستیک ۲۴۲
- ۱-۴-۸ مدل تماس جانسون ۲۴۸
- ۲-۴-۸ مدل تماس برک ۲۵۲
- ۳-۴-۸ مدل تماس تورنتون ۲۵۷

فصل نهم روش‌های حل ۲۵۹

- ۱-۹ مقدمه ۲۶۰
- ۲-۹ روش باقی مانده‌های وزنی ۲۶۱
- ۱-۲-۹ روش ریتز ۲۶۴

۲۶۴	۲-۲-۹ روش تجمع نقطه‌ای:
۲۶۴	۳-۲-۹ روش تجمع زیر نقطه‌ای:
۲۶۴	۴-۲-۹ روش حداقل مربعات:
۲۶۵	۵-۲-۹ روش گالرکین:

فصل دهم مسائل حل شده ۲۷۹

۲۸۰	۱-۱۰ مقدمه
۲۸۰	۲-۱۰ بررسی رفتار دینامیکی سیستم جرم، فنر، دمپر متحرک روی تیری با بستر الاستیک و ویسکو الاستیک
۲۸۰	۱-۲-۱۰ معادلات حاکم تیر
۲۸۱	۲-۲-۱۰ روش حل معادلات حاکم
۲۸۳	۳-۲-۱۰ نتایج عددی
۲۸۷	۳-۱۰ ارتعاش آزاد تیر مدرج تابعی هدفمند (FG) بر روی بستر وینکلر-پاسترناک تحت تاثیر میدان حرارتی و رطوبتی
۲۸۷	۱-۳-۱۰ خواص موثر تیر p -FGM
۲۸۹	۲-۳-۱۰ معادلات حاکم تیر
۲۹۱	۳-۳-۱۰ روش حل معادلات حاکم
۲۹۲	۴-۳-۱۰ نتایج عددی
۲۹۷	۴-۱۰ بررسی ارتعاشات آزاد نانو ورق همسانگرد تحت تاثیر ویسکوز کلون-وویت براساس نظریه‌ی الاستیسیته غیر موضعی
۲۹۷	۱-۴-۱۰ معادله حاکم نانو ورق
۳۰۰	۲-۴-۱۰ روش حل معادله حاکم
۳۰۲	۳-۴-۱۰ نتایج عددی
۳۰۵	۵-۱۰ پاسخ دینامیکی تیر اوپلر برنولی به ضربه سرعت پایین
۳۰۵	۱-۵-۱۰ مدل سازی ریاضی
۳۰۶	۲-۵-۱۰ قانون تماس هرتز
۳۰۶	۳-۵-۱۰ معادلات حاکم حرکت
۳۰۹	۴-۵-۱۰ روش حل
۳۱۱	۵-۵-۱۰ نتایج عددی
۳۱۷	۶-۱۰ پاسخ دینامیکی ورق کامپوزیت چند لایه به ضربه سرعت پایین

۱۰-۶-۱ مدلسازی ریاضی ۳۱۷

۱۰-۶-۲ معادلات حاکم حرکت ۳۲۱

۱۰-۶-۳ روش حل معادلات ۳۲۷

۱۰-۶-۴ نتایج عددی ۳۲۹

۱۰-۷-۱ تحلیل ارتعاش آزاد ورق کامپوزیتی چندلایه بر روی بستر الاستیک با استفاده از

نظریه تغییر شکل برشی هذلولی تصفیه شده ۳۳۲

۱۰-۷-۱ مدلسازی ریاضی ۳۳۲

۱۰-۷-۲ حل تحلیلی برای چندلایه با تکیه گاه ساده ۳۵۱

۱۰-۷-۳ نتایج عددی ۳۵۴

۱۰-۷-۴ بحث و نتیجه گیری ۳۵۸

پیوست ۳۶۳

منابع و مراجع ۳۸۳

www.ketab.ir