

دینامیک سازه‌ها

(ویرایش دوم)

پدیدآورندگان

ری دبلیو. کلاف

استاد بازنشسته مهندسی عمران

دانشگاه کالیفرنیا - برکلی

جو ف پین زین

استاد بازنشسته مهندسی عمران

دانشگاه کالیفرنیا - برکلی

برگرداننده

محمد مهدی سعادت پور

استاد دانشکده مهندسی عمران

دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه تبریز
مرکز نشر

گروه فنی و مهندسی ۴

شماره کتاب ۱۲

دینامیک سازه‌ها (ویرایش دوم)

پدیدآورنده	ری دبیلو کلاف، جوزف پن زین
برگرداننده	محمد مهدی سعادت پور
حروف چینی و صفحه آرایی	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
لیتوگرافی، چاپ و جافی	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ هفتم	پاییز ۱۳۹۶
تیراژ	۱۰۰۰ جلد
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۸۲۷۶-۳۹-۲
قیمت	۲۶۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	کلای، ری، جو، ۱۹۲۰ - م. Clough, Ray W.
عنوان و نام پدیدآور	دینامیک سازه‌ها/ تألیف ری دبلیو. کلاف، جوزف پن زین؛ ترجمه محمد مهدی سعادت پور.
وضعیت ویراست	[ویراست ۲]
مشخصات نشر	اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	بست و شش، ۸۰۰ ص. جدول، نمودار.
فروبت	دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر؛ ۱۱. گروه فنی مهندسی؛ ۵۴.
شابک	۱۱۰۰۰۰ ریال: 978-964-8476-39-2؛ ۱۸۰۰۰ (چاپ پنجم)
وضعیت فهرست نویسی	فابا (چاپ دوم)
یادداشت	عنوان اصلی: Dynamics of Structures, 2nd ed, 1993.
یادداشت	کتاب حاضر در سال‌های مختلف توسط ناشران متعددی منتشر شده است.
یادداشت	چاپ اول: ۱۳۸۶ (فیبا).
یادداشت	چاپ دوم.
یادداشت	چاپ پنجم: ۱۳۹۰، چاپ ششم: ۱۳۹۳ (فیبا).
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	نمایه.
موضوع	دینامیک سازه‌ها
شناسه افزوده	پن زین، جوزف
شناسه افزوده	Penzien, Joseph
شناسه افزوده	سعادت پور، محمد مهدی، ۱۳۲۶ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر
رده بندی کنگره	۱۳۸۸ ۵۸۹/۴۸۷۶۳۹۲
رده بندی دیویی	۶۲۴/۱۷۱
شماره کتابشناسی ملی	۵۲۱۰۸۱۱

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۴۱۱۱-۸۴۱۵۶، تلفن: ۰۳۱/۳۳۹۱۲۵۰۹-۱۰، دورنگار: ۰۳۱/۳۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱)
برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا مستقیماً
از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۲۹۵۲) خریداری فرمایید.

پیشگفتار مؤلف

از زمانی که انتشار اول این کتاب در ۱۹۷۵ منتشر شد، پیشرفت‌های زیادی در موضوع «دینامیک سازه‌ها» بوجود آمده است. در حالی که ارائه کامل تمام چنین پیشرفت‌هایی در این انتشار دوم غیر ممکن است، آن پیشرفت، اینی که فکر می‌شد دارای اهمیت بیشتری باشند ارائه شدند.

ساختار کلی مواد کتاب در مقایسه با نسخه اول تغییر نکرده است. آن به طور منطقی از بررسی سیستم‌های یک درجه آزادی شروع و تا سیستم‌های پارامتر گسسته چند درجه آزادی و سپس تا سیستم‌های پیوسته بی‌نهایت درجه آزادی پیش می‌رود. مفهوم تعادل نیرو، که اساس تحلیل استاتیکی سازه‌ها را شکل می‌دهد، طوری ارائه شده که مهندس با تجربه به آسانی می‌تواند به انجام یک تحلیل دینامیکی بپردازد. بنابراین ضروری است که دانشجوی دینامیک سازه‌ها دارای زمینه قوی تئوری استاتیکی سازه‌ها، شامل روش ماتریسی، باشد تا آمادگی استفاده از این کتاب را داشته باشد.

بررسی تئوری در جزء‌های اول، دوم، سوم طبیعتاً است زیرا از یک سیستم بارگذاری دینامیکی متعین استفاده می‌شود که به طور کامل از قبل تعریف شده اگرچه ممکن است کاملاً غیر منظم و گذرا نسبت به زمان باشد. در هر صورت، در جزء چهارم سروکار با ارتعاشات تصادفی به فرم استوکستیک (اتفاقی) بوده، زیرا بارگذاری صرفاً به صورت آماری مشخص می‌شود. بنابراین یک درک اولیه تئوری احتمال به عنوان پیش‌نیاز ضروری مطالعه این مبحث است. در هر صورت، قبل از مطالعه موضوع، اگر چنین پیش‌نیازی برآورده نشده است، توضیح

مختصر مفاهیم احتمالات ارائه شده در فصل ۲ می‌تواند به عنوان آمادگی حداقل کمک کند. حل یک نمونه مسأله دینامیک سازه‌ها به طور قابل توجهی در مقایسه با همردیف استاتیکی خود به دلیل اضافه شدن نیروهای اینرسی به نیروی مقاوم الاستیکی و نیز وابستگی زمانی تمام این نیروها بسیار پیچیده‌تر است. برای اکثر شرایط کاربردی، معمولاً حل مسأله تنها به کاربرد کامپیوترهای دیجیتال پر سرعت، که به عنوان ابزار استاندارد دینامیکی‌های سازه‌ای شناخته شده است، امکان‌پذیر است. با وجود این، اکثر مسائل کتاب، که در نظر بوده است اصول دینامیک را آموزش دهد، به اندازه کافی ساده است، که حل آنها را بتوان با استفاده از یک ماشین حساب دستی حاصل نمود. کم و بیش، دانشجوی دینامیک سازه‌ها باید تکنیک‌های برنامه‌نویسی کامپیوتری و شیوه‌های تحلیلی مربوطه را آموخته باشد. چنین زمینه‌ای یک انتقال سریع از حل مسائل دینامیکی را از ماشین حساب دستی به کار برد کامپیوترهای PC برای حل با استفاده از برنامه‌هایی که به طور خاص برای این منظور تهیه شده است، میسر می‌سازد. برنامه ۹۱-CA، توسعه داده شده توسط پروفیسور ای. ال. ویلسون از دانشگاه کالیفرنیا، برکلی، یک چنین برنامه‌ای است که به طور تئوری، حتی برای اولین درس دینامیک سازه‌ها استفاده شده است. در این کتاب را برای آموزش انتخاب می‌کنند توصیه به استفاده از چنین حل‌های کامپیوتری PC را طی تدریس می‌شوند، به گونه‌ای که مسائل حقیقی‌تری را بتوان بررسی نمود.

تعداد زیادی مسائل مثال در کتاب، حل شده است تا خواننده را در درک محتوای موضوع کمک کند. برای فهم کامل تکنیک‌های تحلیل، بسیاری است که دانشجوی بسیاری از مسائل تکلیف ارائه شده در پایان هر فصل را حل کند. در هر صورت آنها باید به طور انتخابی تکلیف شود زیرا تحلیل پاسخ دینامیکی بسیار صرف وقت لازم دارد. مؤلفین دریافته‌اند که از یک تا چهار مسأله می‌تواند یک تمرین نسبتاً ضعیف تلقی شود، این بستگی به موضوع و نوع حل مورد نیاز دارد. بر این اساس، کتاب شامل مسائل بیشتری را آن است که بتوان طی یک دوره آموزش یک مسأله دینامیک سازه‌ها تکلیف نمود.

مطالب این کتاب می‌تواند به عنوان یک سری درس‌های تحصیلات تکمیلی بکار رود. درس اول می‌تواند پوشش‌دهنده جزء اول کتاب و قسمتی از جزء دوم باشد. پوشش کامل این مطالب بستگی به این دارد که آیا درس کوارتری یا ترمی است. اگر کوارتری باشد، پوشش موضوعات در جزء اول و جزء دوم برای آماده‌سازی یک توالی درس دوکوارتری کافی بوده فقط بعضی مواد جزء سوم نیز در درس دوم گنجانیده شود.

اکنون عموماً انتظار می‌رود که تقریباً تمام دانشجویان کارشناسی ارشد در مهندسی سازه باید حداقل اولین درس پایه در زمین دینامیک سازه‌ها را داشته باشند و توصیه می‌شود دانشجوی کارشناسی پیشرفته (در سطح سال چهارم) نیز این فرصت را داشته باشد که درس

مشابهی بگذرانند، اگر چه ممکن است پوشش مطالب تا حدودی تخفیف داده شود.

مواد جزء چهارم می‌تواند به عنوان مواد موضوع یک درس پایه ارتعاشات تصادفی تلقی شود که برای درک کامل کاربرد عملی روش‌های تصادفی در زمینه‌های مختلف از جمله مهندسی زلزله، مهندسی باد، و مهندسی اقیانوس ضروری است. بسیاری از این کاربردها در جزء پنجم ارائه شده است که سروکار آن با موضوع گسترده مهندسی زلزله است. با وجود این، برای پوشش کامل مطالب جزء پنجم یک درس جداگانه لازم است. دانشجویانی که هر یک از این درس‌های اخیر را انتخاب می‌کنند باید زمینه خوبی در تحلیل متعین دینامیک سازه‌ها داشته و تا حدودی در ریاضیات قوی باشند.

این کتاب طوری نوشته شده است که نه تنها به عنوان یک کتاب درسی برای دانشجویان دانشگاه، بلکه به همان خوبی به عنوان یک کتاب مرجع برای مهندسین عملی و کارکنان خدمات کند. فرمول‌بندی تحلیلی و تکنیک‌های ارائه شده می‌تواند به طور مؤثری به عنوان اساس تداوم توسعه برنامه‌های کامپیوتری جدید به خدمت گرفته شوند، که توسط مهندسی درگیر در طراحی و تحلیل سازه‌های بناشونده در محیط دینامیکی، مورد استفاده قرار گیرد.

در پایان، مؤلفین از زوارند که تشکر و قدردانی قلبی خود را به بسیاری از افراد (دانشجویان، اعضای هیأت علمی، و همکاران عملی) که به طور مستقیم و غیرمستقیم سهمی در محتوای این کتاب داشته‌اند، تقدیم کنند. در هر صورت، تعداد این سهامداران آن قدر زیاد است که نتوان آنها را با ذکر نام لیست نمود.

شخصی که بیشترین استحقاق تشخیص ویژه را دارد، خانم هوس - شونی است که کل کتاب را تایپ نموده و با کمک پرسنل خود در مؤسسه ترمیم و انتشار در تایپ، تایوان، تمام شکل‌ها را تهیه نموده است. شکیبایی و برخورد علاقه‌مندانه او که همواره در طی سالیان آماده‌سازی کتاب وجود داشت، قابل تحسین است. مؤلفین قدردان عمیق و تشکرات فراوان خود را نسبت به کار بسیار بزرگی که انجام گرفته است ابراز می‌کنند.

ری دلبیو. کلاف

جوئف بن‌زین

فهرست مطالب

پیشگفتار یک

فصل ۱: نظری اجمالی بر دینامیک سازه‌ها

- ۱-۱ هدف اساسی تحلیل دینامیکی سازه‌ها ۱
- ۱-۲ انواع بارهای از پیش تعریف شده ۲
- ۱-۳ مشخصات اساسی یک مسأله دینامیکی ۴
- ۱-۴ روش‌های گسسته‌سازی ۴
- شیوه جرم - متمرکز ۴
- شیوه جابجایی‌های تعمیم یافته ۶
- مفهوم اجزاء - محدود ۸
- ۱-۵ فرمول‌بندی معادلات حرکت ۹
- تعداد مستقیم یا استفاده از اصل دالامبر ۱۰
- اصل جابجایی‌های مجازی ۱۱
- راه‌حل تغییراتی ۱۱
- ۱-۶ سازمان‌بندی کتاب ۱۲

جزء اول : سیستم های یک درجه آزادی

فصل ۲ : تحلیل ارتعاش آزاد

۱۷.....	۱-۲ اجزاء سیستم دینامیکی بنیادی
۱۸.....	۲-۲ معادله حرکت سیستم دینامیکی بنیادی
۱۹.....	۳-۲ اثر نیروهای جاذبه
۲۰.....	۴-۲ اثر تحریک تکیه گاه ها
۲۲.....	۵-۲ تحلیل ارتعاش آزاد نامیرا
۲۸.....	۶-۲ ارتعاشات آزاد میرا
۲۸.....	سیستم های با میرایی بحرانی
۲۹.....	سیستم های با میرایی زیر بحرانی
۳۴.....	سیستم های فوق بحرانی
۳۵.....	مسائل

فصل ۳ : پاسخ در برابر بارها مونیک

۳۷.....	۱-۳ سیستم نامیرا
۳۷.....	حل ویژه
۳۸.....	حل کلی
۴۰.....	۲-۳ سیستم با میرایی لزج
۴۷.....	۳-۳ پاسخ حالت تشدید
۴۹.....	۴-۳ شتاب سنج و جابجایی سنج
۵۱.....	۵-۳ جداسازی ارتعاش
۵۷.....	۶-۳ ارزیابی نسبت میرایی لزج
۵۸.....	روش کاهش ارتعاش - آزاد
۵۸.....	روش تقویت تشدید
۵۹.....	روش نیم - توان
۶۲.....	روش اتلاف انرژی تشدید در سیکل
۶۴.....	۷-۳ میرایی سختی - مختلط
۶۷.....	مسائل

فصل ۴: پاسخ به بار متناوب

۷۱	۱-۴ عبارات سری فوری بارگذاری متناوب.....
۷۱	فرم مثلثاتی
۷۳	فرم نمایی
۷۳	۲-۴ پاسخ در مقابل بارگذاری سری فوری.....
۷۸	مسائل

فصل ۵: پاسخ در مقابل بارهای ضربه‌ای

۸۱	۱-۵ طبیعت کلی بارهای ضربه‌ای.....
۸۱	۲-۵ ضربه راج-سینوسی
۸۶	۳-۵ ضربه مستطیلی
۸۷	۴-۵ ضربه مثلثی
۸۸	۵-۵ طیف شوک یا طیف پاسخ
۹۱	۶-۵ تحلیل تقریبی پاسخ ضربه
۹۳	مسائل

فصل ۶: پاسخ در مقابل بار پناهی کلی

۹۵	۱-۶ تحلیل در حوزه زمان
۹۵	فرمول‌بندی انتگرال پاسخ
۹۸	محاسبه عددی انتگرال پاسخ
۱۰۶	۲-۶ تحلیل در حوزه فرکانس
۱۰۷	انتگرال فوری پاسخ
۱۰۹	تبدیلات گسسته فوری
۱۱۱	تبدیلات سریع فوری (FFTs)
۱۱۵	ارزیابی پاسخ دینامیکی
۱۱۷	۳-۶ رابطه بین توابع تبدیل حوزه-زمان و حوزه-فرکانس

فصل ۷: پاسخ در مقابل بار کلی دینامیکی روش‌های گام به گام

۱۲۱	۱-۷ مفاهیم کلی
۱۲۲	۲-۷ روش دقیق قطعه‌ای
۱۲۶	۳-۷ شیوه‌های عددی تقریبی
۱۲۶	تفسیر کلی

۱۲۸.....	۴-۷ فرمول بندی تفاضل مرکزی دوم
۱۳۰.....	۵-۷ روش های انتگرال گیری
۱۳۰.....	روش اویلر - گوس
۱۳۱.....	روش های β نیومارک
۱۳۲.....	تبدیل به فرمول بندی صریح

فصل ۸: سیستم های یک درجه آزادی تعمیم یافته

۱۴۵.....	۸-۱ تفسیر کلی سیستم های ی.د.آ.
۱۴۶.....	۸-۲ خواص تعمیم یافته: مجموعه اجسام صلب
۱۵۳.....	۸-۳ خواص تعمیم یافته: نرمی گسترده
۱۵۸.....	۸-۴ عبارات برای خواص تعمیم یافته سیستم
۱۶۱.....	۸-۵ تحویل ارتعاشی به روش ریلی
۱۶۵.....	۸-۶ انتخاب شکل ارتعاشی ریلی
۱۷۰.....	۸-۷ روش اصلاح شده ریلی
۱۷۴.....	مسائل

جزء دوم: سیستم های چند درجه آزادی

فصل ۹: فرمول بندی معادلات حرکت چ. د. آ.

۱۸۱.....	۹-۱ انتخاب درجات آزادی
۱۸۲.....	۹-۲ شرط تعادل دینامیکی
۱۸۵.....	۹-۳ اثر نیروی محوری

فصل ۱۰: ارزیابی ماتریس های خواص سازه ای

۱۸۹.....	۱۰-۱ خواص الاستیک
۱۸۹.....	نرمی
۱۹۱.....	سختی
۱۹۱.....	مفاهیم اساسی سازه ای
۱۹۴.....	سختی اجزای محدود
۱۹۹.....	۱۰-۲ خواص جرم
۱۹۹.....	ماتریس جرم - متمرکز
۲۰۰.....	ماتریس جرم - سازگار
۲۰۴.....	۱۰-۳ خواص میرایی
۲۰۴.....	۱۰-۴ بارگذاری خارجی
۲۰۵.....	متجه های استاتیکی

۲۰۵	بارهای سازگار گره
۲۰۶	۵-۱۰ سختی هندسی
۲۰۶	تقریب خطی
۲۰۹	سختی هندسی سازگار

فصل ۱۱: ارتعاشات آزاد نامیرا

۲۱۷	۱-۱۱ تحلیل فرکانس های ارتعاشی
۲۲۰	۲-۱۱ تحلیل شکل مودهای ارتعاشی
۲۲۴	۳-۱۱ تحلیل ارتعاش با استفاده از ماتریس نرمی
۲۲۴	۴-۱۱ اثر نیروهای محوری
۲۲۴	ارتعاشات آزاد
۲۲۵	بار کمان
۲۲۶	کمانش، تحریف، ارتعاش
۲۲۷	۵-۱۱ شرایط مرز
۲۲۷	شرایط اساسی
۲۲۹	روابط اضافی دیگر
۲۳۰	نرمال سازی
۲۷۴	مسائل

فصل ۱۲: تحلیل پاسخ دینامیکی با استفاده از اصل برهم نهی

۲۳۵	۱-۱۲ مختصات نرمال
۲۳۷	۲-۱۲ معادلات تعادل غیروابسته: نامیرا
۲۳۸	۳-۱۲ معادلات غیروابسته حرکت: میرایی لزج
۲۳۹	۴-۱۲ تحلیل پاسخ به روش برهم نهی جابجایی مودی
۲۳۹	میرایی لزج
۲۴۶	میرایی سختی - مختلط
۲۵۰	۵-۱۲ ایجاد ماتریس های میرایی لزج متناسب
۲۵۰	میرایی ریلی
۲۵۴	میرایی توسعه یافته
۲۵۷	گزینه دیگر فرمول بندی
۲۵۹	ساخت ماتریس های میرایی غیرمتناسب
۲۶۲	۶-۱۲ تحلیل پاسخ با استفاده از معادلات وابسته حرکت

۲۶۲	 حوزه زمان
۲۶۳	 حوزه - فرکانس
۲۶۴	 ۷-۱۲ رابطه بین توابع تبدیل حوزه- زمان و حوزه- فرکانس
۲۶۹	 ۸-۱۲ شیوه عملی برای حل معادلات
۲۶۹	 حرکت وابسته
۲۷۲	 ۹-۱۲ شیوه درونیابی برای تولید توابع انتقال
۲۷۴	 مسائل

فصل ۱۳: تحلیل ارتعاش به روش تکرار ماتریسی

۲۷۷	 ۱-۱۳ توصیفات مقدماتی
۲۷۸	 ۲-۱۳ تحلیل مبداء اصلی
۲۸۳	 اثبات همگرایی
۲۸۶	 ۳-۱۳ تحلیل موده های بالاتر
۲۸۶	 تحلیل مود دوم
۲۹۰	 تحلیل مود سوم و مودهای بالاتر
۲۹۲	 تحلیل بالاترین مود
۲۹۴	 ۵-۱۳ تحلیل کماتش به روش تکرار ماتریسی
۲۹۸	 ۶-۱۳ تکرار معکوس- شیوه ترجیحی
۳۰۱	 ۷-۱۳ تکرار معکوس همراه با انتقال
۳۰۵	 ۸-۱۳ نکات خاص مسأله مشخصه
۳۰۶	 بسط خواص ویژه
۳۰۸	 فرم متقارن ماتریس دینامیک
۳۱۰	 تحلیل سازه های نامقید
۳۱۲	 مسائل

فصل ۱۴: انتخاب درجات آزادی دینامیکی

۳۱۳	 ۱-۱۴ درجات آزادی اجزاء محدود
۳۱۴	 اجزاء یک بعدی
۳۱۴	 اجزاء دو و سه بعدی
۳۱۵	 ۲-۱۴ قیود سینماتیکی
۳۱۷	 ۳-۱۴ تراکم استاتیکی
۳۱۸	 ۴-۱۴ روش ریلی در مختصات تعمیم یافته

۳۲۰	۵-۱۴ روش ریلی - ریتز
۳۲۴	۶-۱۴ روش تکرار زیرفضا
۳۲۷	۷-۱۴ کاهش خطاهای قطع مودها
۳۲۷	تفسیر کلی کاهش مختصات
۳۲۸	سهم مودها
۳۳۲	شیوه تصحیح استاتیکی
۳۳۴	روش شتاب مودی
۳۳۵	۸-۱۴ بردارهای اشتقاقی ریتز
۳۳۵	تفسیر مقدماتی
۳۳۷	توضیحات استخراج
۳۳۷	معادلات حرکت سه قطری
۳۴۳	از دست رفتن تعادل
۳۴۴	تعداد بردارهای لازم
۳۴۰	مسائل

فصل ۱۵: تحلیل پاشخ دینامیکی: روش‌های گام به گام

۳۴۷	۱-۱۵ تفسیرهای مقدماتی
۳۴۹	۲-۱۵ معادله حرکت نموی
۳۵۱	۳-۱۵ انتگرال‌گیری گام به گام: روش شتاب، تکین ثابت
۳۵۲	۴-۱۵ انتگرال‌گیری گام به گام: روش شتاب خطی
۳۵۵	۵-۱۵ استراتژی تحلیل سیستم‌های چ.د.آ. وابسته
۳۵۵	غیرخطی موضعی
۳۵۹	اثرات وابسته در نظر گرفته شده به عنوان شبه نیروها

فصل ۱۶: روش تغییراتی در فرمول‌بندی معادلات حرکت

۳۶۵	۱-۱۶ مختصات تعمیم یافته
۳۶۶	۲-۱۶ اصل هامیلتون
۳۶۹	۳-۱۶ معادلات حرکت لاگرانژ
۳۷۶	۴-۱۶ استخراج معادلات کلی حرکت برای سیستم‌های خطی
۳۸۰	۵-۱۶ قیود و ضرب شونده‌های لاگرانژ
۳۸۴	مسائل

جزء سوم : سیستم‌های پارامتر گسترده

فصل ۱۷ : معادلات دیفرانسیل پاره‌ای حرکت

۱۷-۱ مقدمه.....	۳۸۹
۱۷-۲ خمش تیر: حالت مقدماتی.....	۳۹۰
۱۷-۳ خمش تیر: همراه با اثرات نیروی محوری.....	۳۹۲
۱۷-۴ خمش تیر: شامل میرایی لزج.....	۳۹۳
۱۷-۵ خمش تیر: تحریکات تعمیم یافته تکیه گاهی.....	۳۹۴
۱۷-۶ تغییر شکل‌های محوری: نامیرا.....	۳۹۸
مسائل	۳۹۹

فصل ۱۸ . تحلیل ا. تعاشات آزاد نامیرا

۱۸-۱ خمش تیر: حالت مقدماتی.....	۴۰۱
۱۸-۲ خمش تیر: شامل اثر نیروی محوری.....	۴۱۰
۱۸-۳ خمش تیر: با تکیه گ. الاستیک گسترده.....	۴۱۲
۱۸-۴ خمش تیر: تعامد شکل مودهای تعامد.....	۴۱۳
۱۸-۵ ارتعاشات آزاد تغییر شکل محوری.....	۴۱۵
۱۸-۶ تعامد مودهای ارتعاش محوری.....	۴۱۸
مسائل	۴۱۸

فصل ۱۹ : تحلیل پاسخ دینامیکی

۱۹-۱ مختصات نرمال.....	۴۲۱
۱۹-۲ معادلات حرکت خمشی غیروابسته.....	۴۲۴
حالت میرا	۴۲۴
۱۹-۳ معادلات حرکت غیر وابسته.....	۴۲۸
حالت میرا	۴۲۸
۱۹-۴ معادلات غیر وابسته محوری.....	۴۳۲
نامیرا	۴۳۲
۱۹-۵ تحلیل انتشار موج.....	۴۳۶
معادله اصلی انتشار موج محوری	۴۳۶
ملاحظه شرایط مرزی	۴۴۱

۴۴۴	عدم پیوستگی در خواص میله
۴۴۹	مسائل

جزء چهارم : ارتعاشات تصادفی

فصل ۲۰ : تئوری احتمالات

۴۵۵	۱-۲۰ متغیر تصادفی یگانه
۴۶۰	۲-۲۰ متوسط‌های مهم یک متغیر تصادفی یگانه
۴۶۲	۳-۲۰ گام برداری تصادفی یک بعدی
۴۷۰	۴-۲۰ دو متغیر تصادفی
۴۸۰	۵-۲۰ میانگین‌های مهم دو متغیر تصادفی
۴۸۴	۶-۲۰ دیاگرام پراکندگی و همبستگی دو متغیر تصادفی
۴۸۷	۷-۲۰ محوری اصلی تابع چگالی احتمال مشترک
۴۹۱	۸-۲۰ تابع چگالی احتمال مال ران
۴۹۳	۹-۲۰ m متغیر تصادفی
۴۹۵	۱۰-۲۰ تبدیل‌های خطی متغیر تصادفی با توزیع نرمال
۴۹۶	مسائل

فصل ۲۱ : فرایندهای تصادفی

۵۰۱	۱-۲۱ تعریف
۵۰۳	۲-۲۱ فرایندهای ایستادن و ارگودیک
۵۱۰	۳-۲۱ تابع خودهمبستگی برای فرایند ایستادن
۵۱۶	۴-۲۱ تابع چگالی طیفی توان برای فرایندهای ایستادن
۵۱۷	۵-۲۱ رابطه بین تابع چگالی طیفی توان و توابع خودهمبستگی
۵۲۰	۶-۲۱ توابع چگالی طیفی توان همبستگی
۵۲۰	برای مشتقات فرایندها
۵۲۲	۷-۲۱ برهم‌نهی فرایندهای تصادفی
۵۲۴	۸-۲۱ فرایندهای گوسی ایستادن: یک متغیر مستقل
۵۳۱	۹-۲۱ اغتشاش سفید ایستادن
۵۳۴	۱۰-۲۱ توزیع احتمال برای ماکزیمم‌ها
۵۳۹	۱۱-۲۱ توزیع احتمال برای مقادیر اکستريم
۵۴۳	۱۲-۲۱ فرایندهای گوسی نایستادن
۵۴۴	۱۳-۲۱ فرایند ایستادن گوسی: دو متغیر مستقل یا بیشتر

فصل ۲۲: پاسخ اتفاقی سیستم‌های خطی ی. د. آ.

۵۵۱	۱-۲۲ توابع تبدیل
۵۵۲	۲-۲۲ رابطه بین توابع خود همبستگی ورودی و خروجی
۵۵۶	۳-۲۲ رابطه بین توابع ورودی و خروجی چگالی طیفی توان
۵۵۸	۴-۲۲ ویژگی‌های پاسخ برای سیستم‌های نوار باریک
۵۶۳	۵-۲۲ پاسخ نایبستان متوسط مجذور
۵۶۳	منتج از شرایط اولیه صفر
۵۶۶	۶-۲۲ پیش‌بینی خستگی برای سیستم‌های نوار باریک
۵۷۰	مسائل

فصل ۲۳: پاسخ اتفاق سیستم‌های خطی ج. د. آ.

۵۷۳	۱-۲۳ پاسخ در حوزه زمان برای سیستم‌های خطی
۵۷۵	۲-۲۳ پاسخ در حوزه‌های فرکانس برای سیستم‌های خطی
۵۷۷	۳-۲۳ تابع نیرویی مود نرمال برای ارتعاشات گسسته
۵۸۱	۴-۲۳ تابع نیرویی مود نرمال بر اثر بارگذاری گسترده
۵۸۲	۵-۲۳ پاسخ حوزه فرکانس برای سیستم‌های خطی
۵۸۲	با پارامترهای وابسته به فرکانس و باردهای نرمال وابسته
۵۸۴	مسائل

جزء پنجم: مهندسی زلزله

فصل ۲۴: زمینه لرزه‌شناسی

۵۸۹	۱-۲۴ یادداشت مقدماتی
۵۹۰	۲-۲۴ لرزه خیزی
۵۹۲	۳-۲۴ گسل‌ها و امواج زلزله
۵۹۴	۴-۲۴ ساختار زمین
۵۹۷	۵-۲۴ تکنیک صفحه‌ای
۶۰۲	۶-۲۴ تئوری پس جهندگی الاستیکی زلزله‌ها
۶۰۶	۷-۲۴ سنجش‌های اندازه زلزله

فصل ۲۵: حرکت‌های میدان - آزاد سطح زمین

۶۱۱	۱-۲۵ طیف فوریه و طیف پاسخ
۶۱۷	۲-۲۵ پارامترهای اثرگذار بر روی طیف پاسخ
۶۲۲	۳-۲۵ طیف‌های پاسخ طراحی
۶۲۲	استراتژی دوگانه طراحی لرزه‌ای
۶۲۷	شکل‌های طیف پاسخ
۶۳۳	طیف‌های پاسخ هم - خطر ویژه - ساختگاه
۶۳۵	دو مؤلفه افقی حرکت
۶۳۵	۴-۲۵ شتاب‌نگاشت‌های طراحی
۶۳۶	شتاب‌نگاشت‌های سازگار با طیف‌های پاسخ
۶۴۳	محورهای اصلی حرکت
۶۴۵	حرکت‌های همبسته مکانی

فصل ۲۶: پاسخ لرزه‌ای متباین سیستم‌های متکی بر روی پی سخت

۶۵۱	۱-۲۶ انواع تحریک زلزله
۶۵۳	۲-۲۶ پاسخ تحریک خاک صلب
۶۵۳	سیستم‌های الاستیک ی. د. آ. متمرکز، ریک، انتقالی
۶۵۵	سیستم‌های الاستیک ی. د. آ. تعمیم یافته، ریک، انتقالی
۶۶۱	سیستم‌های الاستیک ج. د. آ. جرم - متمرکز، تحریک انتقالی
۶۷۶	مقایسه با مقررات توصیه شده آیین نامه ۳-ATC
۶۷۹	سیستم‌های الاستیک پارامتر - گسترده، تحریک انتقالی
۶۸۱	سیستم‌های الاستیک ج. د. آ. متمرکز، تحریک دورانی
۶۸۳	سیستم‌های ج. د. آ. متمرکز، تحریک چند تکیه‌گاهی
۶۸۶	سیستم‌های الاستیک - پلاستیک ی. د. آ. متمرکز، تحریک انتقالی
۶۸۹	۳-۲۶ ترکیب پاسخ‌های مودی ماکزیمم
۶۹۰	متوسط مربع پاسخ یک مود تنها
۶۹۱	کوواریانس پاسخ تولید شده توسط دو مود
۶۹۳	ترکیب SRSS و CQC پاسخ‌های مودی
۶۹۷	ترکیب پاسخ‌های تحریک دو مؤلفه‌ای
۷۰۲	مسائل

فصل ۲۷: پاسخ متعین زلزله: شامل اندرکنش خاک - سازه

۷۰۹.....	۱-۲۷ اندرکنش خاک- سازه به روش تحلیل مستقیم.....
۷۱۰.....	اندرکنش سینماتیکی برای تحریک انتقالی؛ اثر «تا»
۷۱۳.....	لحاظ مستقیم یک لایه محدوده شده خاک
۷۱۴.....	۲-۲۷ تحلیل زیرسازه‌ای پاسخ SSI.....
۷۱۵.....	سیستم ی. د. آ. متمرکز بر روی پی گسترده سخت
۷۲۰.....	سیستم کلی ج. د. آ. با تحرکی چندگانه پایه
۷۳۰.....	تولید امیدانس‌های مرزی
۷۴۶.....	۳-۲۷ پاسخ سازه‌های زیرزمینی
۷۴۶.....	- حرکت‌های زمین میدان - آزاد بر اثر امواج انتشاری مسطح
۷۴۷.....	تغییر شکل‌های راکینگ مقاطع عرضی
۷۴۹.....	تغییر شکل - در کله محوری و خمشی
۷۵۲.....	نفوذ اتصالات برض روی تغییر مکان‌های محوری

فصل ۲۸: پاسخ نامعین سازه‌ها

۷۵۵.....	۱-۲۸ مدل‌سازی حرکت‌های سوی زمین
۷۵۵.....	۲-۲۸ پاسخ اتفاقی سیستم‌های خطی
۷۵۶.....	سیستم‌های ی. د. آ.
۷۵۶.....	سیستم‌های ج. د. آ.
۷۵۶.....	۳-۲۸ پاسخ مقدار-اکستریم سیستم‌های غیر خطی
۷۵۸.....	سیستم‌های ی. د. آ.
۷۷۰.....	سیستم‌های ج. د. آ.
۷۷۲.....	۴-۲۸ ملاحظات طراحی
۷۷۵.....	۵-۲۸ تقاضای شکل‌پذیری مجاز در مقابل ظرفیت شکل‌پذیری
۷۷۷.....	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۷۸۷.....	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۷۹۷.....	واژه‌یاب