

بسم الله الرحمن الرحيم

دینامیک سازه ها

(مبانی و کاربرد آن در مهندسی زلزله)

(جلد دوم)

تالیف :

دکتر اباذر اصغری

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی ارومیه

زمستان ۱۳۹۱

سرشناسه	: اصرری، اباذر، ۱۳۹۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: دینامیک سازه‌ها (مبانی و کاربرد آن در مهندسی زلزله) // تالیف اباذر اصرری.
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ج. ۲ :
شابک	: ج. ۱ : 978-964-463-490-1 :: ج. ۲ : 978-964-463-491-8 :: دوره ۵- 978-964-463-492-5 :
وضعیت فهرست نویسی	: فهرها
موضوع	: زلزله - مهندسی
موضوع	: سازه - دینامیک
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ۶۰۴/۶/۲۸۶۵۳
رده بندی دیویی	: ۶۲۲/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۹۱۲۸۰

عنوان کتاب	: دینامیک سازه ها (جلد دوم)
تالیف	: دکتر اباذر اصرری
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: زمستان ۱۳۹۱
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۳۹۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۱-۸
شابک دوره	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۲-۵
	ISBN : 978-964-463-491-8
	ISBN : 978-964-463-492-5
تلفن مرکز بخشی :	۶۶۴۹۸۸۶۸

آدرس : خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر ، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر رمزگذاری شده است

پیشگفتار

نظر به اینکه کتب بسیاری در زمینه ارتعاشات مکانیکی، دینامیک سازه‌ها و اصول مهندسی زلزله ترجمه یا تالیف شده است، به‌طور طبیعی این سوال مطرح می‌شود که، انگیزه اصلی تالیف این کتاب براساس چه ملاحظاتی بوده است. در واقع سرعت تحول در شیوه‌های تحقیق و تدریس از یک‌طرف و تغییر در سلائق و نیازهای دانشجویان و مهندسان حرفه‌ای از طرف دیگر، چنان فشاری دارد که حتی بهترین و معتبرترین کتاب‌های درسی، ظرف چند سال طراوت و تازگی خود را از دست می‌دهند و مدرسان و دانشجویان، به کتابی با نگرشی هدفمندانه‌تر، گستره‌ای تریب شده‌تر و محتوای جذاب‌تر احساس نیاز می‌کنند. هدف نگارنده از انتشار این کتاب، پاسخ به این نیاز بوده و تلاش دارد به پشتوانه سالها تجربه حرفه‌ای در طراحی سازه‌ها و چهلین سال تدریس دروس دینامیک سازه‌ها و اصول مهندسی زلزله، مبانی نظری و روش‌های ریاضی حل مسائل ارتعاشات مکانیکی و دینامیک سازه‌ها را در قالبی جدید و سامانه‌مند ارائه و کارکرد آنها در علوم و مهندسی را تبیین کند.

اگرچه مخاطب اصلی کتاب، دانشجویان مهندسی عمران، مکانیک و علوم کاربردی می‌باشند، لیکن دانش‌آموختگان و مهندسان حرفه‌ای نیز آن را مفید و مرجع مناسب مطالب مرتبط خواهند یافت. علائم و اختصارات مورد استفاده در این کتاب تماماً منطبق بر استاندارد ISO بوده و در آن از سیستم بین‌المللی واحدها (SI) استفاده شده است. تلاش بسیاری صورت گرفته تا ارائه مطالب از پیوستگی، نظم و سادگی برخوردار بوده و هم به‌عنوان کتاب جامع درسی و هم به‌صورت خودآموز، قابل استفاده باشد. همچنین برای ایجاد درک ملموس از پاسخ دینامیکی سازه‌ها، مثال‌های حل شده فراوان و مسائل متنوع کاربردی همراه با شکل‌های جذاب، به‌کار گرفته شده‌اند. تمامی روابط و فرمول‌های کلاسیک ریاضی، تحلیل سازه‌ها و دینامیک سازه‌ها که ممکن است برای حل مسائل یا درک مطالب موردنیاز باشد، به همراه جدول تبدیل واحدها در پنج پیوست جداگانه در انتهای کتاب گنجانده شده تا خواننده را از مراجعه به کتب دیگر بی‌نیاز نماید.

با توجه به حجم مطالب، کتاب حاضر در دو جلد ارائه شده است. جلد اول تعیین پاسخ‌های دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی و جلد دوم تعیین پاسخ‌های دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی کلی و سیستم‌های چند درجه آزادی را شامل می‌شود.

جلد اول کتاب از هشت فصل و پنج پیوست تشکیل شده است.

فصل اول به بیان مفاهیم عمومی و رابطه‌سازی معادله حرکت سیستم‌های یک درجه آزادی (SDF) اختصاص دارد. در این فصل روش‌های متداول رابطه‌سازی معادلات دیفرانسیل حاکم بر حرکت سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. فصل دوم به ارتعاش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی خطی، فصل سوم به پاسخ در برابر تحریک‌های هارمونیک و فصل چهارم به پاسخ در برابر تحریک‌های تناوبی به روش فوریه اختصاص دارد. فصل پنجم به روش‌های کلاسیک حل معادلات دیفرانسیل در تعیین پاسخ در برابر تحریک‌های ضربه‌ای می‌پردازد. فصل ششم به معرفی روش انتگرال دیوهمل برای تعیین پاسخ سیستم‌های یک درجه آزادی خطی در برابر تحریک‌های دلخواه اختصاص دارد. در فصل هفتم، پاسخ سیستم‌های یک درجه آزادی غیرخطی در برابر تحریک‌های دلخواه به طور کامل مورد بحث قرار گرفته است. در این فصل غیرخطی بودن رفتار سیستم از جنبه‌های مختلف (غیرخطی از جنبه مکانیکی، غیرخطی از جنبه هندسی و غیرخطی از جنبه مصالح) بررسی شده است. فصل هشتم به بحث در روی روش تحلیل طیفی برای تعیین پاسخ سیستم‌های یک درجه آزادی در برابر زلزله می‌پردازد. در این فصل، طیف پاسخ به عنوان یک مفهوم کلیدی برای تحلیل دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی خطی در برابر تحریک‌های تکیه‌گاهی و طیف طرح به عنوان یک مفهوم عملی برای تحلیل طیفی سیستم‌های یک درجه آزادی در برابر تحریک‌های لرزه‌ای (تحریک‌های ناشی از زلزله) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این فصل، در تعیین پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای، جهت‌گیری به سمت وضعیت لرزه‌خیزی کشور ایران بوده و طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران مورد تأکید قرار گرفته است.

جلد دوم کتاب از شش فصل تشکیل و پیوست‌های جلد اول در انتهای جلد دوم کتاب نیز گنجانده شده است.

فصل نهم به تحلیل سیستم‌های پیچیده‌تر تحت عنوان سیستم‌های یک درجه آزادی کلی ($GSDF$) اختصاص دارد. فصل دهم به روش‌های مختلف رابطه‌سازی معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی می‌پردازد. در این فصل مفاهیمی از قبیل ضرایب تأثیر سختی، میرایی و جرم و همچنین جزئیات روش فشرده‌سازی استاتیکی برای تعیین معادلات حرکت نظیر درجات آزادی دینامیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. فصل یازدهم به ارتعاش آزاد سیستم‌های چند درجه آزادی و فصل دوازدهم به تعیین پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی

در برابر نیروهای دینامیکی خارجی اختصاص دارد. همچنین در فصل دوازدهم موضوع تحلیل دینامیکی سیستم‌های چند درجه آزادی با تعداد موده‌های کمتر، که در تحلیل دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای با تعداد درجات آزادی دینامیکی بسیار زیاد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، مورد مطالعه قرار گرفته است. در فصل سیزدهم نحوه تعیین پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی در برابر تحریک‌های لرزه‌ای به طور کامل مورد بحث قرار گرفته است. مهندسان حرفه‌ای، این فصل از کتاب را بسیار جالب و مفید خواهند یافت. فصل چهاردهم به بحث در مورد پاسخ سیستم‌های با جرم و سختی گسترده (سیستم‌های پیوسته) اختصاص دارد. مطالب این فصل زمانی مثمرتر خواهد بود که پاسخ‌های دینامیکی سیستم‌های پیوسته را بتوان با دقت قابل قبولی از مدل یک سیستم یک درجه آزادی کلی به دست آورد.

طی نگارش و آماده‌سازی کتاب، نویسنده از رهنمودها و باریک‌بینی‌های جناب آقای دکتر علیرضا رهائی و جناب آقای دکتر ایرج میرزائی برخوردار بوده و بدین خاطر مراتب احترام خود را نسبت به این دو استاد بزرگوار می‌داند.

آقای مهندس شاهرخ شعبی، در تهیه برنامه‌های کامپیوتری مورد نیاز نقش اصلی را بر عهده داشته و در مراحل مختلف با پیشنهادات ارزنده، کیفیت ارائه مطالب را ارتقاء دادند. آقای دکتر فرزین حدادشوق با پیشنهادات خود مرا به لطافت خویش نمودند. زحمت بازخوانی متن بر عهده دانشجویان ممتاز دانشگاه صنعتی ارومیه، آقایان مهندس علیرضا صادقی، مهندس حمید اسدی و مهندس حامد پورهادی بوده است. مراحلی هنرمندانه جلد توسط آقای افشین اسماعیلی و حروف چینی بی‌نقص و تایپ دقیق فرمول‌ها توسط سرکار خانم سعیدی‌نژاد صورت گرفته است. سرکار خانم ملکی در سایر امور چاپ کمک‌های شایانی داشته‌اند. زحمت آماده‌سازی نشر و توزیع کتاب کلاً بر عهده اداره انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر به ریاست فاضلانه آقای دکتر فارسی بوده است. نویسنده از تمامی این بزرگواران نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارد.

نگارش این کتاب جز با صبر و حوصله و تشویق‌های همسر مقدور نبود، ضمن قدردانی، آن‌را تقدیم ایشان می‌کنم.

برای نویسنده، بهره‌مندی از نقطه‌نظرات و پیشنهادات خوانندگان، نهایت خرسندی خواهد بود.

فهرست مطالب جلد اول

عنوان	صفحه
فصل ۱: معادله حرکت سیستم‌های یک درجه آزادی خطی	۱
۱-۱ مفاهیم پایه و اساسی در تحلیل دینامیکی سیستم‌های ارتعاشی	۲
۱-۱-۱ قوانین حرکت نیوتن	۲
۲-۱-۱ گرانج (نقل)	۳
۳-۱-۱ آحاد	۵
۴-۱-۱ انتخاب سیستم آحاد	۹
۵-۱-۱ درجه آزادی	۱۱
۶-۱-۱ سیستم‌های گسسته و سیستم‌های پیوسته	۱۱
۷-۱-۱ انواع بارهای دینامیکی	۱۳
۸-۱-۱ پاسخ	۱۵
۹-۱-۱ مراحل مختلف بررسی رفتار دینامیکی سیستم‌های ارتعاشی	۱۶
۱۰-۱-۱ اجزای تشکیل دهنده مدل ریاضی سیستم‌های یک درجه آزادی	۱۹
۱-۱۰-۱-۱ اجزای فیزیکی	۱۹
۲-۱۰-۱-۱ اجزای میرایی	۳۰
۳-۱۰-۱-۱ اجزای اینرسی	۳۳
۲-۱ تعیین معادله حرکت سیستم‌های یک درجه آزادی و محاسبه فرکانس طبیعی	۳۸
۱-۲-۱ تعیین معادله حرکت سیستم‌های یک درجه آزادی	۳۹
۱-۱-۲-۱ روش تعادل دینامیکی مبتنی بر اصل دالامبر	۴۰
۲-۱-۲-۱ روش انرژی مبتنی بر اصل هامیلتون	۴۲
۳-۱-۲-۱ اصل جابجایی‌های مجازی	۴۵
۲-۲-۱ اثر نیروهای ثقلی در معادله‌های حرکت	۴۶
۳-۲-۱ اثر تحریک تکیه‌گاه‌ها در معادله‌های حرکت	۴۷
مسائل فصل اول	۸۸
فصل ۲: ارتعاش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی	۱۰۳
۱-۲ ارتعاش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی نامیرا	۱۰۵

۱۱۸	۲-۲ ارتعاش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی میرا
۱۲۵	۱-۲-۲ تعیین نسبت‌های میرائی سیستم‌های یک درجه آزادی به روش تجربی
۱۲۷	۲-۲-۲ ارتعاش آزاد با میرائی کولمب
۱۴۳	مسائل فصل دوم

۱۵۱	فصل ۳: پاسخ در برابر تحریک‌های هارمونیکی
۱۵۳	۱-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی نامیرا در برابر تحریک‌های هارمونیکی ...
۱۵۵	۱-۱-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های نامیرا در برابر نیروی هارمونیکی سینوسی
۱۶۴	۲-۱-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های نامیرا در برابر نیروی هارمونیکی کسینوسی
۱۷۳	۲-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی میرا در برابر نیروهای هارمونیکی
۱۷۴	۱-۲-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های میرا در برابر نیروهای هارمونیکی سینوسی
۱۸۴	۲-۲-۳ تحلیل دینامیکی سیستم‌های میرا در برابر نیروهای هارمونیکی کسینوسی
۱۸۶	۳-۲-۳ نامیزانی دورانی در ماشین‌ها و تعیین نیروی هارمونیکی مؤثر
۱۸۷	۴-۲-۳ جداسازی ارتعاش
۱۹۴	۵-۲-۳ تخمین نسبت میرائی با استفاده از تست‌های هارمونیک
۱۹۶	۶-۲-۳ تخمین نسبت میرائی با استفاده از مفهوم پهنای باند نیم توان
۱۹۸	۷-۲-۳ تخمین نسبت میرائی با استفاده از میرائی ترجیحی معادل
۲۳۰	مسائل فصل سوم

۲۳۹	فصل ۴: پاسخ در برابر تحریک‌های تناوبی به روش فوریه
۲۴۱	۱-۴ نمایش سری فوریه توابع تناوبی
۲۴۸	۲-۴ تحلیل دینامیکی سیستم‌های یک درجه آزادی در برابر تحریک‌های تناوبی به روش فوریه
۲۵۷	۳-۴ تعیین ضرائب سری فوریه به روش عددی
۲۶۱	مسائل فصل چهارم

۲۶۵	فصل ۵: پاسخ در برابر تحریک‌های ضربه‌ای به روش کلاسیک حل معادلات دیفرانسیل
۲۶۸	۱-۵ نیروی ضربه‌ای مستطیلی
۲۸۱	۲-۵ نیروی ضربه‌ای مثلثی (مثلث قائم‌الزاویه)
۲۹۱	۳-۵ نیروی ضربه‌ای مثلثی (مثلث متساوی‌الساقین)
۳۰۲	۴-۵ نیروی ضربه‌ای نیم‌موج سینوسی

۳۲۱	مسائل فصل پنجم
۳۲۷	فصل ۶: پاسخ در برابر تحریک‌های دلخواه به‌روش انتگرال دیوهامل
	۱-۶ تعیین پاسخ سیستم‌های یک درجه‌آزادی خطی در برابر تحریک‌های ضربه‌ای کوتاه مدت
۳۲۸	به‌روش تقریبی
۳۲۹	۱-۱-۶ تابع دلتای دیراک
۳۳۰	۲-۱-۶ پاسخ در برابر ضربه واحد
۳۳۲	۳-۱-۶ تحلیل تقریبی سیستم‌های یک درجه‌آزادی در برابر تحریک‌های ضربه‌ای کوتاه مدت
۳۳۶	۲-۶ تعیین پاسخ در برابر تحریک‌های دلخواه به‌روش انتگرال دیوهامل
۳۳۹	۱-۲-۶ تعیین پاسخ در برابر نیروی دینامیکی پله‌ای به‌روش انتگرال دیوهامل
۳۴۲	۲-۲-۶ تعیین پاسخ در برابر نیروی دینامیکی شیب‌دار به‌روش انتگرال دیوهامل
۳۴۳	۳-۲-۶ تعیین پاسخ در برابر نیروی دینامیکی شیب‌دار - پله‌ای به‌روش انتگرال دیوهامل
۳۶۲	۳-۶ روش عددی گام‌به‌گام زمانی برای حل عددی انتگرال دیوهامل
۳۶۴	۱-۳-۶ برآورد عددی انتگرال دیوهامل برای سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی خطی نامیرا
۳۷۰	۲-۳-۶ برآورد عددی انتگرال دیوهامل برای سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی میرا
۳۷۴	۳-۳-۶ طیف پاسخ سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی میرا در برابر بارگذاری‌های ضربه‌ای
۳۸۰	مسائل فصل ششم
۳۸۷	فصل ۷: پاسخ سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی غیرخطی در برابر تحریک‌های دلخواه
۳۹۰	۱-۷ تحلیل دینامیکی سیستم‌های غیرخطی مکانیکی
۴۰۰	۲-۷ تحلیل دینامیکی سیستم‌های غیرخطی هندسی
۴۱۲	۳-۷ تحلیل دینامیکی سیستم‌های غیرخطی مصالح
۴۱۳	۱-۳-۷ تحلیل سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی با رفتار الاستو-پلاستیک کامل
۴۲۹	۴-۷ روش‌های عددی برای تحلیل دینامیکی سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی غیرخطی
۴۳۱	۱-۴-۷ رابطه‌سازی روش عددی نیومارک استوار بر شتاب متوسط
۴۳۵	۱-۱-۴-۷ خلاصه روش عددی نیومارک استوار بر شتاب متوسط
۴۳۶	۲-۴-۷ رابطه‌سازی روش عددی نیومارک استوار بر شتاب خطی
۴۳۹	۱-۲-۴-۷ خلاصه روش عددی نیومارک استوار بر شتاب خطی
۴۴۰	۳-۴-۷ بررسی پایداری و خطای روش‌های عددی استوار بر شتاب متوسط و خطی
۴۴۵	۱-۳-۴-۷ روش تکرار نیوتن-رافسون

۴۴۶	 ۲-۳-۴-۷ روش تکرار نیوتن- رافسون اصلاح شده
۴۵۸	 مسائل فصل هفتم

فصل ۸: روش تحلیل طیفی برای تعیین پاسخ سیستم های یک درجه آزادی در برابر زلزله ۴۶۵

۴۶۶	 ۱-۸ تحریک های لرزه ای
۴۷۲	 ۱-۱-۸ چگونگی تأثیر شتابنگاشت ها بر معادله حرکت
۴۸۰	 ۲-۸ طیف پاسخ و تاریخچه آن
۴۸۱	 ۱-۲-۸ تاریخچه تکوین طیف پاسخ
۴۸۳	 ۲-۲-۸ طیف پاسخ تغییر شکل (یا تغییر مکان نسبی)، سرعت و شتاب
۴۸۵	 ۳-۲-۸ طیف پاسخ شبه سرعت و شبه شتاب
۴۹۱	 ۴-۲-۸ ساخت طیف های پاسخ S_{pa} و S_{pv} ، S_d
۵۵۳	 ۳-۸ طیف طرح الاستیک
۵۱۳	 ۴-۸ طیف طرح استاندارد
۵۲۵	 ۱-۴-۸ طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران
۵۳۰	 ۲-۴-۸ اصلاح مقادیر پاسخ در طراحی به روش طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران
۵۳۰	 ۳-۴-۸ اصلاح تغییر مکان جانبی نسبی در استاندارد ۲۸۰۰ ایران
۵۳۸	 مسائل فصل هشتم

۵۴۱	 پیوست ها، فهرست منابع و مراجع و واژه نامه
۵۴۳	 پیوست ۱: فرمول های ریاضی
۵۵۷	 پیوست ۲: خواص هندسی میله ها، سطوح و اجسام جامد ممکن
۵۶۷	 پیوست ۳: روابط شیب-افت برای یک عضو خمشی
۵۷۱	 پیوست ۴: تغییر شکل و شیب تیرها و صفحات
۵۸۵	 پیوست ۵: تبدیل آحاد
۵۸۷	 فهرست منابع و مراجع
۵۹۳	 واژه نامه انگلیسی- فارسی
۶۰۹	 واژه نامه فارسی- انگلیسی
۶۲۷	 فهرست اعلام

فهرست مطالب جلد دوم

عنوان	صفحه
فصل ۹: سیستم‌های یک درجه آزادی کلی	۶۳۳
۱-۹ تعیین پاسخ‌های تقریبی سیستم‌های با جرم و سختی گسترده	۶۳۶
۱-۱-۹ محاسبه نیروهای جانبی و برش پایه سیستم‌های پیوسته	۶۴۴
۲-۱-۹ روش طیفی برای محاسبه پاسخ‌های تقریبی سیستم‌های پیوسته	۶۴۶
۲-۹ تعیین پاسخ‌های تقریبی سیستم‌های از نوع قاب ساختمانی (سیستم‌های با جرم متمرکز)	۶۶۳
با استفاده از مفهوم سیستم‌های یک درجه آزادی کلی	۶۶۳
۱-۲-۹ روش طیفی برای محاسبه پاسخ‌های تقریبی سیستم‌های از نوع قاب ساختمانی	۶۶۸
۳-۹ تحلیل ارتعاشات به روش ریلی	۶۷۸
۱-۳-۹ روش اصلاح شده ریلی	۶۸۹
۴-۹ روش ریلی ریتز	۶۹۶
مسائل فصل نهم	۷۰۲
فصل ۱۰: معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی	۷۱۱
۱۰-۱ معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی	۷۱۳
۱-۱۰ تعیین معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی با استفاده از روش تعادل دینامیکی	۷۱۳
مبتنی بر اصل دالامبر	۷۱۳
۲-۱۰ تعیین معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی با استفاده از روش انرژی مبتنی بر اصل هامیلتون (معادلات حرکت لاگرانژ)	۷۲۷
۳-۱۰ تعیین معادلات حرکت سیستم‌های چند درجه آزادی با استفاده از روش اجزاء محدود	۷۳۹
۱-۳-۱۰ جزء بندی سازه‌ها به روش اجزاء محدود	۷۴۰
۲-۳-۱۰ ضرایب تأثیر سختی	۷۴۲
۱-۲-۳-۱۰ فشرده سازی استاتیکی ماتریس سختی	۷۵۳
۳-۳-۱۰ ضرایب تأثیر جرم	۷۵۵
۴-۳-۱۰ ضرایب تأثیر میرایی	۷۶۲
۵-۳-۱۰ نیروهای گرمی معادل	۷۶۳
۴-۱۰ اثر تحریک یکسان تکیه گاه‌ها بر معادلات حرکت	۷۹۳

۵-۱۰	اثر تحریک غیریکسان تکیه‌گاه‌ها بر معادلات حرکت	۸۰۳
	مسائل فصل دهم	۸۰۹

فصل ۱۱: ارتعاش آزاد سیستم‌های چند درجه آزادی		
۱-۱۱	ارتعاش آزاد سیستم‌های چند درجه آزادی نامیرا	۸۲۱
۱-۱۱-۱	تعیین فرکانس‌های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی	۸۲۲
۱-۱۱-۲	روش‌های دیگر همپایه کردن شکل مودها	۸۲۳
۱-۱۱-۳	نعامد مودها	۸۲۷
۱-۱۱-۴	مودهای صلب	۸۳۰
۱-۱۱-۵	ماتریس‌های مودال و طیفی	۸۳۲
۱-۱۱-۶	ارتعاش آزاد سیستم‌های چند درجه آزادی نامیرا به علت شرایط اولیه	۸۳۳
۱-۱۱-۷	ارتعاش آزاد سیستم‌های چند درجه آزادی میرا	۸۳۵
۱-۱۱-۳	روش‌های عددی برای آوردن فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها	۸۷۳
	مسائل فصل یازدهم	۸۹۵
		۸۹۸

فصل ۱۲: پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی در برابر نیروهای دینامیکی خارجی ..		
۱-۱۲	تحلیل سیستم‌های چند درجه آزادی نامیرا در برابر نیروهای دینامیکی خارجی	۹۰۷
۱-۱۲-۱	تعیین تلاش‌های داخلی اعضا	۹۰۹
۱-۱۲-۲	روش گام‌به‌گام تحلیل سیستم‌های چند درجه آزادی نامیرا به روش آنالیز مودال	۹۱۵
۱-۱۲-۲	تحلیل دینامیکی سیستم‌های چند درجه آزادی میرا در برابر نیروهای دینامیکی	۹۱۶
۱-۱۲-۲	روش گام‌به‌گام تحلیل سیستم‌های چند درجه آزادی میرا به روش آنالیز مودال	۹۳۹
۱-۱۲-۳	استفاده از قیدها برای کاهش درجات آزادی	۹۴۵
۱-۱۲-۴	تحلیل دینامیکی سیستم‌های چند درجه آزادی با تعداد مودهای کمتر	۹۵۴
۱-۱۲-۴	اصلاح استاتیکی به روش برهم نهی شتاب مودی	۹۵۶
۵-۱۲	لرزش گیرها	۹۵۸
	مسائل فصل دوازدهم	۹۶۴
		۹۷۰

فصل ۱۳: پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی در برابر تحریک‌های تکیه‌گاهی		
۱-۱۳	تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در برابر تحریک‌های یکسان تکیه‌گاه‌ها	۹۷۷
		۹۸۰

۹۸۱	۱-۱-۱۳ بسط مودال بردار نیروهای موثر دینامیکی
۹۸۳	۲-۱-۱۳ نسبت‌های مشارکت جرمی مودال
۹۸۷	۳-۱-۱۳ ارتفاع مودال
۹۸۹	۴-۱-۱۳ ضرایب مشارکت مودال بارگذاری استاتیکی و دینامیکی
۹۹۰	۱-۴-۱-۱۳ ضرایب مشارکت مودال بارگذاری استاتیکی
۹۹۲	۲-۴-۱-۱۳ ضرایب مشارکت مودال بارگذاری دینامیکی
۱۰۱۹	۲-۱۳ تحلیل طیفی سیستم‌های چنددرجه آزادی در برابر تحریک‌های یکسان تکیه‌گاه‌ها
۱۰۲۱	۱-۲-۱۳ روش‌های ترکیب مقادیر حداکثر مودها
۱۰۲۲	۱-۱-۲-۱۳ روش مجموع قدرمطلق‌ها یا روش ABS
۱۰۲۳	۲-۱-۲-۱۳ روش جبر مجموع مربعات یا روش SRSS
۱۰۲۳	۳-۱-۲-۱۳ روش ترکیب مربعی کامل یا روش CQC
۱۰۲۶	۲-۲-۱۳ روش گام‌به‌گام تحلیل دینامیکی طیفی سیستم‌های چند درجه آزادی
۱۰۴۷	۳-۱۳ تحلیل دینامیکی طیفی ساختمان‌های چند طبقه با کف‌های کاملاً صلب
۱۰۴۷	۱-۳-۱۳ ساختمان‌های چند طبقه با پلان متقارن
۱۰۴۹	۲-۳-۱۳ ساختمان‌های چند طبقه با پلان متقارن یک محوره
۱۰۵۱	۳-۳-۱۳ ساختمان‌های چند طبقه با پلان نامتقارن نسبت به هر دو محور
۱۰۶۲	مسائل فصل سیزدهم

۱۰۷۷	فصل ۱۴: سیستم‌های با جرم و سختی گسترده (سیستم‌های پیوسته)
۱۰۷۹	۱-۱۴ کاربرد معادلات حرکت لاگرانژ در تعیین پاسخ‌های سیستم‌های پیوسته
۱۰۹۰	۲-۱۴ معادلات حرکت سیستم‌های پیوسته یک بعدی با تعداد درجات آزادی غیرمتهای
۱۰۹۰	۱-۲-۱۴ ارتعاشات طولی
۱۰۹۲	۱-۱-۲-۱۴ تعیین فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها
۱۰۹۳	۲-۱-۲-۱۴ شرایط مرزی برای یک میله تحت اثر ارتعاشات طولی
۱۰۹۶	۳-۱-۲-۱۴ تعامد مودهای ارتعاشات طولی میله‌ها
۱۰۹۷	۴-۱-۲-۱۴ پاسخ در برابر نیروهای دینامیکی خارجی
۱۱۰۹	۲-۲-۱۴ ارتعاشات پیچشی
۱۱۱۴	۳-۲-۱۴ ارتعاشات جانبی تیرها
۱۱۱۶	۱-۳-۲-۱۴ تعیین فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها

۱۱۱۸	 شرایط مرزی برای یک تیر تحت اثر ارتعاشات جانبی
۱۱۲۲	 تعامد مودهای ارتعاشات جانبی تیرها
۱۱۲۳	 پاسخ در برابر نیروهای دینامیکی خارجی
۱۱۴۵	 مسائل فصل چهاردهم
۱۱۵۵	 پیوست‌ها، فهرست منابع و مراجع و واژه‌نامه
۱۱۵۷	 پیوست ۱: فرمول‌های ریاضی
۱۱۷۱	 پیوست ۲: خواص هندسی میله‌ها، سطوح و اجسام جامد همگن
۱۱۸۱	 پیوست ۳: روابط شیب-افت برای یک عضو خمشی
۱۱۸۵	 پیوست ۴: تغییر شکل و شیب تیرها و صفحات
۱۱۹۹	 پیوست ۵: تبدیل آحاد
۱۲۰۱	 فهرست منابع و مراجع
۱۲۰۷	 واژه نامه انگلیسی-فارسی
۱۲۲۳	 واژه نامه فارسی-انگلیسی
۱۲۴۱	 فهرست اعلام