بسم الله الرحمن الرحیم

دینامیک سازه‌ها و کاربرد آن در MATLAB

به همراه کدهای متلب

و حل تمرین‌هایی از کتاب «دینامیک سازه‌ها»

مؤلفان:

مهندس ایمان نخعی

دکتر امیر احمد هدایت

سرشناسه:	نخعی، ایمان، ۱۳۶۲ -
عنوان و نام پدیدآور:	دینامیک سازه‌ها و کاربرد آن در MATLAB/مؤلفان ایمان نخعی، امیراحمد هدایت.
مشخصات نشر:	تهران : نوآور، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری:	۳۳۰ص.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۴۴-۹
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	متلب -- MATLAB
موضوع:	دینامیک سازه‌ها -- Structural dynamics
موضوع:	مهندسی سازه -- برنامه‌های کامپیوتری Structural engineering -- Computer programs
شناسه افزوده:	هدایت، امیراحمد، ۱۳۴۹ -
رده بندی کنگره:	۶۵۴TA
رده بندی دیویی:	۱۷۱/۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی:	۵۹۳۶۳۳۶

دینامیک سازه‌ها و کاربرد آن در MATLAB

مولفان: مهندس ایمان نخعی
ناشر: نوآور
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
شابک: ۹۷۸_۶۰۰_۱۶۸_۴۴۴_۹

نشرنوآور

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲ــ ۶۶۴۸۴۱۹۱ www. noavarpub. com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.

www.noavarpub.com **https://telegram.me/noavarpub** **https://www.instagram.com/noavarpub/**

فـهرست مطالب

پیشگفتار ۸

فصل اول / مباحثه اولیه دینامیک سازه ۱۱

۱ـ۱ دینامیک سازه‌ها ۱۱

۱ـ۲ روند تحلیل سازه ۱۱

۱ـ۳ انواع بارگذاری‌ها در مدل‌سازی ۱۱

۱ـ۴ انواع مسائل دینامیکی ۱۲

۱ـ۵ مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های سازه‌ای در دینامیک ۱۲

۱ـ۶ درجه آزادی دینامیکی ۱۳

۱ـ۶ـ۱ سیستم یک درجه آزادی ۱۳

۱ـ۶ـ۲ سیستم دو درجه آزاد ۱۴

۱ـ۷ پارامترهای موثر بر رفتار دینامیکی ۱۴

۱ـ۷ـ۱ ـ فنر الاستیک (سختی): (Spring Force) ۱۴

۱ـ۷ـ۲ سختی ۱۵

۱ـ۷ـ۳ استهلاک: (Damping) ۱۵

۱ـ۳ـ۷ـ۱ نحوه مدل‌سازی استهلاک ۱۵

۱ـ۸ استخراج معادلات تعادل ۱۶

۱ـ۸ـ۱ فرمول‌بندی مسائل در مکانیک ۱۶

۱ـ۸ـ۲ بررسی حرکت نسبی در معادله‌ی تعادل دینامیکی ۱۸

۱ـ۸ـ۳ روش تعادل دینامیکی مبتنی بر اصل دالامبر ۱۹

۱ـ۸ـ۴ اصل کار مجازی: The principle of Virtual Work ۱۹

۱ـ۸ـ۵ اصل تعیین معادلات حرکت لاگرانژ با استفاده از اصل هامیلتون ۲۳

فصل دوم / ارتعاش سیستم یک درجه آزادی SDOF ۲۶

۲ـ۱ سیستم یک درجه آزادی ۲۶

۲ـ۱ـ۱ بررسی ارتعاش در سیستم‌های یک درجه آزاد ۲۶

۲ـ۲ بررسی ارتعاش آزاد ۲۷

۲ـ۳ ارتعاش اجباری: Forced Vibration ۳۴

۲ـ۳ـ۱ سیستم نامیرا: (C=0) ۳۵

۲ـ۳ـ۲ سیستم میرا ($C\neq 0$) و ($\xi < 1$) ۳۶

۲ـ۴ بررسی حرکت در پاسخ هارمونیک ۳۷

۲ـ۴ـ۱ سیستم نامیرا: (C=0) ۳۷

۲ـ۴ـ۲ بررسی حرکت در سیستم میرا ($C\neq 0$) ۳۹

۲ـ۵ بررسی شرایط پاسخ تحت ωهای مختلف در سیستم‌های میرا($C\neq 0$) ۴۰

۲ـ۵ـ۱ حالتی که تواتر طبیعی دستگاه با تواتر نیروی اجباری مساوی باشد در این حالت ضریب بزرگنمایی دینامیکی (D) با عکس درصد میرایی متناسب است. ۴۰

۲ـ۵ـ۲ زمانی که تواتر طبیعی دستگاه کمتر از تواتر نیروی اجباری باشد. ۴۰

۲ـ۵ـ۳ زمانی که تواتر طبیعی دستگاه بیشتر از تواتر نیروی اجباری باشد ۴۱

۲ـ۶ تعیین فرکانس طبیعی سازه ها در آزمایشگاه ۴۲

۲ـ۶ـ۱ـ روش ضریب تشدید ۴۲
۲ـ۶ـ۲ روش نواری: (Bandwidth Method) ۴۲
۲ـ۷ حرکت پایه هارمونیک ۴۳
۲ـ۷ـ۱ اگر معادله‌ی تعادل بر اساس جابه‌جایی نسبی استخراج شود ۴۴
۲ـ۷ـ۲ اگر معادله‌ی تعادل بر اساس شرایط حرکت مطلق استخراج شود ۴۴
۲ـ۸ استخراج انرژی الاستیک در سیستم‌های دینامیک ۴۶

فصل سوم / روشهای حل معادلات حرکت ۴۷
۳ـ۱ نحوه‌ی استخراج معادله‌ی حرکت (Equation of Motion) ۴۷
۳ـ۲ انواع روش‌های حل معادله حرکت ۴۷
۳ـ۲ـ۱ـ حالت اول با در نظر گرفتن میرایی ۴۷
۳ـ۲ـ۲ ـ حالت دوم بدون در نظر گرفتن اثر میرایی ۴۸
۳ـ۳ بررسی پاسخ سیستم یک درجه ازادی تحت تحریک نامتناوب ۵۰
۳ـ۳ـ۱ بار ضربه‌ای (تحریک ضربه‌ای): (Impulsive) ۵۰
۳ـ۳ـ۱ـ۱ بار ضربه ای مستطیلی ۵۰
۳ـ۳ـ۱ـ۲ بار ضربه‌ای مثلثی ۵۲
۳ـ۳ـ۱ـ۳ بارگذاری ضربه‌ای سینوسی ۵۴
۳ـ۳ـ۱ـ۴ پاسخ ضربه (پاسخ مربوط به بار مستطیلی) ۵۷
۳ـ۳ـ۲ بارگذاری دلخواه ۵۷
۳ـ۴ انتگرال دیوهامل ۵۹
۳ـ۴ـ۱ برآورد عددی انتگرال دیوهامل در دستگاه‌های یک درجه آزادی بدون میرایی ۵۹
۳ـ۴ـ۲ برآورد عددی انتگرال دیوهامل در دستگاه‌های یک درجه آزادی با میرایی ۵۹
۳ـ۴ـ۳ روش‌های حل عددی انتگرال دیوهامل ۵۹
۳ـ۳ـ۴ـ۱ روش مستطیلی ۵۹
۳ـ۳ـ۴ـ۲ روش ذوزنقه ۶۰
۳ـ۳ـ۴ـ۳ ـ روش سیمسون ۶۰
۳ـ۲ـ۴ حل عددی معادله حرکت ۶۰
۳ـ۵ روش‌های عددی در حل معادلات حرکت ۶۳
۳ـ۵ـ۱ مقدمه ۶۳

فصل چهارم / معادلات حاکم بر سیستم‌های چند درجه آزادی MDOF ۶۵
۴ـ۱ چند درجه آزادی MDOF ۶۵
۴ـ۱ـ۱ سیستم‌های گسسته (سیستم‌های برشی) ۶۵
۴ـ۱ـ۱ـ۱ سیستم‌های برشی، ارتعاش اجباری ۶۷
۴ـ۱ـ۱ـ۲ سیستم‌های برشی، تحریک پایه ۶۸
۴ـ۱ـ۲ سیستم‌های پیوسته (Continuous) ۶۹
۴ـ۱ـ۲ـ۱ سختی گسسته ـ جرم پیوسته ۶۹
۴ـ۱ـ۲ـ۲ سیستم با جرم و سختی گسترده و پیوسته ۷۶
۴ـ۲ حل معادله دیفرانسیل گفته شده با استفاده از روش‌های تقریبی: (حل عددی) ۷۸
۴ـ۳ تعریف توابع شکل در عضو تیر ۸۱
۴ـ۴ تحلیل ماتریسی مثال دینامیکی ۸۳
۴ـ۴ـ۱ استخراج ماتریس سختی ۸۳

۴ـ۵ روش نرمی ۸۹
۴ـ۶ تراکم استاتیکی ۹۲

فصل پنجم / تحلیل سیستم‌های چند درجه آزادی ۹۵
۵ـ۱ معادلات حرکت یک سیستم ارتعاش آزاد نامیرا ۹۵
۵ـ۲ تحلیل مودال ۹۸
۵ـ۲ـ۱ ویژگی‌های ماتریس مودال ۹۸
۵ـ۲ـ۲ معادله حرکت سیستم یک درجه آزاد به دست آمده از تحلیل مودال ۱۰۲
۵ـ۳ پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی نامیرا تحت ارتعاش اجباری: (سیستم‌های برشی) ۱۰۶
۵ـ۴ پاسخ سیستم‌های چند درجه آزادی میرا تحت ارتعاش اجباری: (سیستم‌های برشی) ۱۱۱
۵ـ۵ روش‌های مدل‌سازی استهلاک در تحلیل دینامیکی سازه‌ها ۱۱۲
۵ـ۶ تحلیل مودال رایج در نرم‌افزارهای عمرانی (محاسبه پاسخ با استفاده از ضریب مشارکت مودی) ۱۱۶
۵ـ۶ـ۱ حالت اول: تحلیل تاریخچه زمانی (Time History) ۱۱۷
۵ـ۶ـ۲ حالت دوم- تحلیل طیفی مودال(Modal Response Spectrum Analysis) ۱۲۲

فصل ششم / روش‌های عددی در حل معادلات حرکت و کدنویسی در نرم‌افزار متلب ۱۲۴
۶ـ۱ بخش اول: روشهای حل معادلات حرکت ۱۲۴
۶ـ۱ـ۱ روش‌های مورد استفاده در محاسبه پاسخ‌های دامنه زمان ۱۲۴
۶ـ۱ـ۲ روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم ۱۲۴
۶ـ۱ـ۳ تفاوت بین روش‌های صریح و ضمنی (Implicit , Explicit) ۱۲۵
۶ـ۱ـ۴ دقت روش‌ها ۱۲۶
۶ـ۲ بخش دوم: الگوریتم‌های گام‌به‌گام عددی برای تحلیل معادله حرکت در سیستم SDOF ۱۲۶
۶ـ۲ـ۱ معادله حرکت برای سیستم SDOF ۱۲۷
۶ـ۲ـ۲ روش نیومارک ۱۳۱
۶ـ۲ـ۳ روش ویلسون θ ۱۳۶
۶ـ۲ـ۴ روش تفاضل مرکزی ۱۴۲
۶ـ۲ـ۵ انتگرال دو هامل ۱۴۶
۶ـ۲ـ۶ روش دقیق تکه‌ای ۱۴۹
۶ـ۲ـ۷ روش رانک- کوتا مرتبه ۴ ..... ۱۵۰
۶ـ۲ـ۸ روش هیلبر هیوز تیلور آلفا متد: Hilber Hughes Taylor Alpha Method ۱۵۴
۶ـ۳ بخش سوم: پایداری روش‌های دیفرانسیل‌گیری و انتگرال‌گیری ۱۵۹
۶ـ۳ـ۱ معیار پایداری برای دو روش انتگرال‌گیری عددی ضمنی ۱۶۰
۶ـ۳ـ۲ معیار پایداری برای روش انتگرال‌گیری صریح ۱۶۱
۶ـ۳ـ۳ معیار پایداری برای روش دیفرانسیل‌گیری عددی ۱۶۱
۶ـ۳ـ۳ـ۱ سیستم‌های MDOF ۱۶۲
۶ـ۴ بخش چهارم: روش‌های گام‌به‌گام عددی تحلیل معادله حرکت در سیستم‌های SDOF ۱۶۳
۶ـ۴ـ۱ خطای پاسخ ارتعاش آزاد در سیستم های SDOF ۱۶۳
۶ـ۴ـ۱ـ۱ سیستم‌های MDOF ۱۶۵
۶ـ۴ـ۲ راهنمایی دستورالعمل‌های حاضر برای تخصیص زمانی جهت استفاده در تحلیل سازه دینامیک مهندسی زلزله ۱۶۶
۶ـ۴ـ۳ خطا در پاسخ سیستم SDOF به زمین‌لرزه ۱۶۶
۶ـ۴ـ۳ـ۱ سیستم‌های SDOF ۱۶۷
۶ـ۴ـ۳ـ۲ گام زمانی Δt ۱۶۷

۶ـ۴ـ۳ـ۳ زمین لرزه ۱۶۷
۶ـ۴ـ۳ـ۴ فرکانس زمین‌لرزه مرتبط با فرکانس سیستم‌های SDOF ۱۶۸
۶ـ۴ـ۳ـ۵ تاریخچه‌های زمانی ۴۳۲ تحلیل پاسخ گام‌به‌گام ۱۶۹
۶ـ۴ـ۳ـ۶ نتایج حاصل از ۱۲ مطالعه خطا از مجموع ۴۳۲ مطالعه ۱۶۹
۶ـ۴ـ۳ـ۷ خلاصه نتایج بدست آمده از ۴۳۲ مطالعه خطا ۱۷۴
۶ـ۴ـ۳ـ۸ دقت روش‌های گام‌به‌گام عددی به عنوان تابعی از گام زمانی Δt و فرکانس در زمین‌لرزه ۱۷۸
۶ـ۴ـ۴ بررسی دقت روشها ۱۸۴
۶ـ۵ بخش پنجم: بررسی نتایج الگوریتم‌های مورد مطالعه ۱۸۵
۶ـ۵ـ۱ نیازمندی‌های پایداری برای ۴ روش عددی مورد استفاده در تحلیل پاسخ ۱۸۶
۶ـ۵ـ۲ دقت پاسخ سیستم‌های SDOF به زمین‌لرزه ۱۸۷
۶ـ۵ـ۲ـ۱ اصلاح خط پایه زمین‌لرزه ۱۸۹
۶ـ۵ـ۳ مشاهدات بدست آمده از تحلیل پاسخ مدل‌های سیستم MDOF نیمه‌گسسته ۱۸۹
۶ـ۵ـ۳ـ۱ الزامات و نیازمندی‌های پایداری ۱۹۰
۶ـ۵ـ۳ـ۲ دقت پاسخ ۱۹۱
۶ـ۵ـ۳ـ۳ میرایی عددی پاسخ با فرکانس بالا ۱۹۲
۶ـ۵ـ۳ـ۴ تحلیل غیرخطی ۱۹۲
پیوست A: راه حل دقیق برای تحریک پایه موج سینوسی در سیستم SDOF ۱۹۳
پیوست B: سری‌های فوریه ۱۹۴
ضمیمه C: کدهای دینامیک سازه در برنامه متلب ۱۹۶

فصل هفتم / حل تمرین‌های دینامیک سازه ۲۲۴
۷ـ مقدمه ۲۲۴
فصل اول: کتاب پاز ۲۲۴
فصل ششم کتاب مایرویچ ۲۳۲
فصل دوم: کتاب پاز ۲۵۹
فصل دوم کتاب چوپرا ۲۶۹
فصل سوم: کتاب پاز ۲۷۲
فصل سوم:کتاب چوپرا ۲۷۷
فصل چهارم: کتاب پاز ۲۸۲
فصل چهارم چوپرا ۲۸۹
فصل دهم: کتاب پاز ۲۹۴
فصل دهم: کتاب چوپرا ۳۰۰
فصل یازدهم:کتاب پاز ۳۰۸
فصل دوازدهم: کتاب پاز ۳۱۵
پیوست D: خلاصه نکات دینامیک سازه ۳۱۸
منابع و مآخذ ۳۲۹

فراخوان مساعدت فرهنگی و علمی

خوانندهٔ فرهیخته و بزرگوار

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلّفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همّت خود را برای ارائهٔ کتابی درخور و شایستهٔ شما فرهیختهٔ گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حدّاقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیّت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

بااین‌وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائهٔ اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرّا از نقص و اِشکال دانست. ازسوی‌دیگر، این انتشارت بنابه تعهّدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلّم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، ازهرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشرهٔ خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا دراین راستا، از شما فرهیختهٔ گرامی تقاضا داریم درصورتی‌که حین مطالعهٔ کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شدهٔ خود را با هزینهٔ انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگهٔ جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگهٔ مزبور را با ذکر نام و شمارهٔ تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اِعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارترشدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهّدانه و مسئولانهٔ شما خوانندهٔ فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکّر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، درصورتی‌که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخهٔ دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شدهٔ آن و نیز از سایر کتب منتشرهٔ خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و درصورتی‌که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدّمهٔ چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

پیشگفتار

دینامیک سازه‌ها زیر شاخه‌ای از تحلیل سازه و تئوری ارتعاشات است که به آنالیز و مطالعه رفتار سازه‌ها تحت اثر بارهای دینامیکی می‌پردازد. بارهایی که به زمان بستگی دارند. یکی از مباحث و دروس مهم در رشته عمران، مکانیک، صنایع هوایی، دریایی و ...، درس دینامیک سازه‌ها است که یادگیری آن اهمیت ویژه‌ای برای مهندسین دارد. در این درس دانشجویان با انواع ارتعاشات در سازه، تحلیل دینامیکی سازه‌ها و روش‌های حل معادلات حرکت در دو حالت خطی و غیرخطی آشنا می‌شوند. برای حل معادلات حرکت از روش‌های تحلیلی (مستقیم)، تقریبی و عددی استفاده می‌گردد. در روش تحلیلی، تابع پاسخ بصورت مستقیم استخراج می‌شود. در روش تقریبی با گسسته‌سازی شرایط تحریک و پاسخ و معادل‌سازی آن، پاسخ بدست می‌آید مانند: روش فوریه یا انتگرال دوهامل. در روش حل عددی روشهایی نظیر: نیومارک، ویلسون تتا، رانگ کوتا مرتبه ۴، هیلبر هیوز و ..... وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها دقت خاص خودشان را دارند. برای بررسی دقت این روش‌ها در سال ۱۹۹۱ یک گزارش (مرجع ۱) در آمریکا تهیه شده است که فصل ششم این کتاب بر اساس این گزارش تهیه شده است. همچنین فرمولها، الگوریتم و کدهای متلب روش‌های حل عددیی در آن فصل آمده است که دانشجویان ارشد و دکترا می‌توانند از آنها استفاده نمایند. فصل‌های این کتاب عبارتند از:

فصل اول: مباحث اولیه دینامیک سازه
فصل دوم: فصل دوم: ارتعاش سیستم یک درجه آزادی SDOF
فصل سوم: روش‌های حل معادلات حرکت
فصل چهارم: معادلات حاکم بر سیستم‌های چند درجه آزادی MDOF
فصل پنجم: تحلیل سیستم‌های چند درجه آزادی
فصل ششم: روش‌های عددی در حل معادلات حرکت و کدنویسی در نرم افزار متلب
پیوست A: راه حل دقیق برای تحریک پایه موج سینوسی در سیستم SDOF
پیوست B: سری فوریه
پیوست C: برنامه‌های متلب در دینامیک سازه (فضای حالت، ریلی ریتز و ....)

در فصل هفتم این کتاب تمرین‌هایی از کتابهای دینامیک سازه نوشته: ماریو پاز ، آنیل چوپرا ، مایروویچ و .... حل شده است که می‌تواند برای دانشجویان و اساتید مفید واقع شود. همچنین در پیوست D خلاصه نکات فرمول‌های دینامیک سازه آورده شده است.

امیدواریم این کتاب بتواند مرجعی مناسب برای تئوری و حل تمرین در درس دینامیک سازه‌ها باشد. در انتها جا دارد از همکاران محترم در انتشارات نوآور بخصوص آقایان نصیرنیا که زحمت چاپ و انتشار این مجموعه را برعهده داشته اند، قدردانی و تشکر ویژه نماییم.

امیر احمد هدایت – ایمان نخعی

تقدیم به:

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است
به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم
به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم
که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.
امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما.
را آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.
«بوسه بر دستان پرمهرتان»

هشـــدار

کلّیهٔ حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلّفان و مصنّفان و هنرمندان مصوّب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامهٔ اجرایی آن مصوّب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلّق بـه نشـر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر ایـن کتـاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسـمتی از کتـاب به هـر شـکل از قبیـل هـر نـوع چـاپ، فتـوکپی، اسـکن، تایـپ از کتـاب، تهیّـهٔ پـی دی اف از کتـاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار بـه‌صـورت اینترنتـی، سـی دی، دی وی دی، فـیلم، فایـل صوتی یا تصویری و غیره بـدون اجازهٔ کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و **شـرعاً نیـز حـرام** است، و متخلّفین تحت **پیگرد قانونی و قضایی** قرار می‌گیرند.

با توجّه به اینکه هیچ کتابی از کتـب نشـر نـوآور بـه‌صـورت فایـل ورد یـا پـی دی اف و مـوارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لـذا درصـورتی‌کـه هـر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتـب نشـر نـوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسـط کارشناسـان امـور اینترنتـی ایـن انتشارات، که مسئولیّت ادارهٔ سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و درصورت مشخص شدن هرگونه تخلّف، ضمن اینکه این کار از نظر قـانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قـانونی انتشـارات از طریـق وزارت فرهنـگ و ارشاد اسلامی، **پلیس فتا** (پلیس رسیدگی به جرایم رایانـه‌ای و اینترنتـی) و نیـز سـایر مراجـع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سـایت متخلّـف کـرده و طـیّ انجـام مراحـل قـانونی و اقـدامات قضایی، خاطیان را مـورد **پیگرد قانونی و قضـایی** قـرار داده و کلّیّـهٔ خسـارات وارده بـه ایـن انتشارات از متخلّف اخذ می‌گردد.

همچنین درصورتی‌که هر کتابفروشی، اقدام به تهیّهٔ کپی، جزوه، چـاپ دیجیتـال، چـاپ ریسـو، اُفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نمایـد، ضـمن اطـلاع‌رسـانی تخلّفـات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مُوَزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسـلامی، اتحادیهٔ ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجـع قـانونی و قضـایی اقـدام بـه اسـتیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلّف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیّه، استفاده و مطالعه از روی نسخهٔ غیراصلِ کتاب،
از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهدهٔ هر گونه تخلّـف از قبیـل مـوارد فـوق، مراتب را یا از طـریق تلفـن‌های انتشارات نـوآور بـه شـماره‌هـای۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱ ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات بـه آدرس *info@noavarpub.com* و یـا از طریق منوی تماس با ما در سایت *www.noavarpub.com* به این انتشارات ابـلاغ نماینـد، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به‌عمل آیـد، و نیـز به‌عنوان تشکّر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

فصل اول

مباحثه اولیه دینامیک سازه

۱ـ۱ دینامیک سازه‌ها

موضوع علم دینامیک سازه عبارت است از محاسبه پاسخ سازه‌ها در برابر بارهای دینـامیکی. منظـور از پاسخ سازه کمیت‌هایی نظیر تغییر مکان، سرعت، شتاب، عکس‌العمـل تکیـه‌گـاه، نیروهـای داخلـی و تنش‌ها و کرنش‌ها می‌باشد. منظور از بارهای دینامیکی بارهایی است که مقدار یا محل اثر یا جهت آنهـا تابعی از زمان باشد.

$$\text{Excitation} \rightarrow \text{Structure} \xrightarrow{\text{تحلیل سازه:دینامیکی–استاتیکی}} \text{Response (پاسخ)}$$

۱ـ۲ روند تحلیل سازه

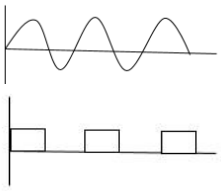
تحریک: این تحرکات شامل بارگذاری‌ها

- سازه
  - سازه‌های اسکلتی
    - خرپاها
    - قاب‌ها
    - کابل‌ها و قوس‌ها
    - شبکه‌ها
  - سازه‌های پیوسته
    - صفحات
    - پوسته‌ها
- پاسخ
  - نیروهای داخلی، تغییر شکل‌ها
  - تنش‌ها و کرنش‌ها

۱ـ۳ انواع بارگذاری‌ها در مدل‌سازی

۱ـ بارهای متناوب ـ Periodic :

- هارمونیک ← مثل cos, sin
- غیر هارمونیک← مثل پله‌ای



۲ـ بارهای غیر متناوب ـ Non ـperiodic : مثل بار پله و ضربه

نکته

تابع ریاضی این بارها قابل تولید می‌باشد.

۳ـ بارهای دلخواه (تصادفی)ـ Random :

الف ـ بار اشی از اثر موج دریا ب ـ بار ناشی از اثر زلزله

نکته

تابع ریاضی برای فرموله کردن چنین بارهایی در دسترس نبوده در نتیجه تحلیل سیستم‌ها تحت شرایط این نوع بارها، پیچیده می‌باشد.

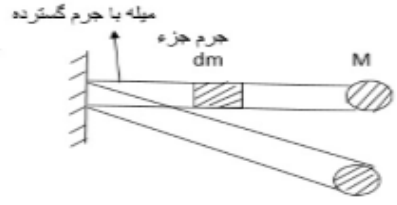
۱ـ۴ انواع مسائل دینامیکی

ـ مسائل انتشار موج Wave Propagation

ـ مسائل اینرسیInertia (توزیع نیروی دینامیکی در سیستم ناشی از شتاب جرم)

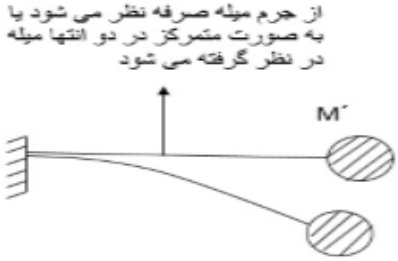
۱ـ۵ مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های سازه‌ای در دینامیک

نقش اصلی در استخراج معادلات تعادل دینامیکی را نیروی ناشی از اینرسی به عهده دارد. با توجه به این شرایط در مدل‌سازی اثر جرم (اثر اینرسی) را به دو صورت عمده‌ی متمرکز و گسترده در نظر می‌گیریم که شرایط زیر را در مدل‌سازی دیکته می‌کند.



ـ پیوسته Continuous ← (مدل سازی) دقیق، واقعی، پیچیده

$$\text{at}\begin{cases} t = t_j \\ x = x_i \end{cases} \Rightarrow y = y_i(t_j)$$

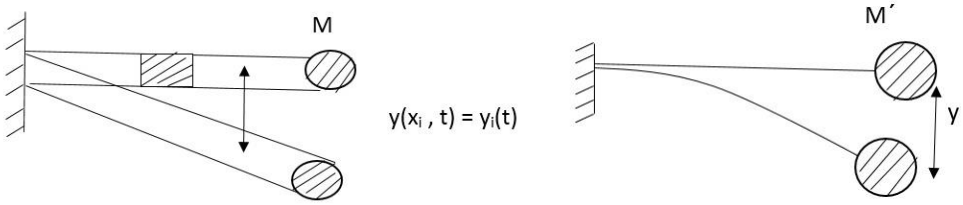


ـ گسسته Discrete ← (مدل سازی) تقریبی، غیر واقعی، ساده

$$\text{at} \quad t = t_j \Rightarrow y = y(t_j)$$

* در شرایط مدل‌سازی اگر جرم را به صورت عمده متمرکز در نظر بگیریم می‌شود حالت گسسته و اگر جرم را به صورت گسترده در نظر بگیریم می‌شود حالت پیوسته.

در هر دو حالت ، در مدل‌سازی با هر نوع جرم، چه جرم متمرکز چه جرم گسترده باید متغیر پایخ در سیستم تعریف شود. به عنوان مثال در سیستم گسسته پاسخ جرم ´M، (منظور y) بر اساس شرایط موقعیتی جرم تعریف شده است و از طرف دیگر جرم تاثیر عمده در تشکیل معادلات دینامیکی دارد.



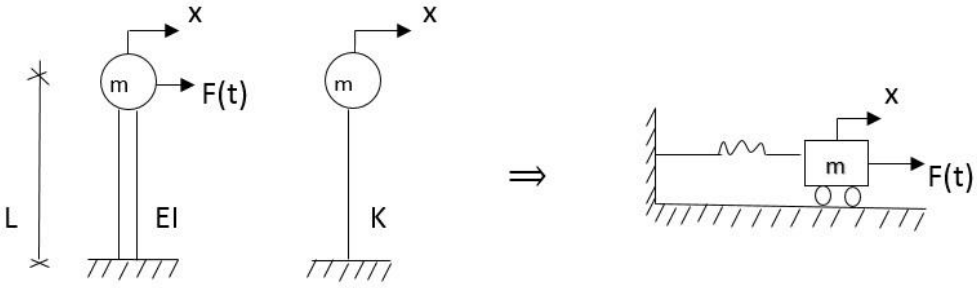
با توجه به نکته بالا، مفهومی تحت عنوان درجه آزادی دینامیکی معرفی می‌گردد که حرکت جرم با توجه به انتقال و دوران مستقل آن مدل‌سازی می‌شود.

۱ـ۶ درجه آزادی دینامیکی

راستاها و دوران‌های مستقلی که جرم به راحتی بتواند حرکت کند.

۱ـ۶ـ۱ سیستم یک درجه آزادی

مثال: مدل فیزیکی برج آب:



معادله دینامیکی سیستم مورد نظر:

$m\ddot{x} + kx = F(t)$

m: جرم EI: سختی خمشی

F(t): نیروی اعمالی به جرم

نکته

جنس معادلات عبارت است از:

از جنس نیرو $m\ddot{x} = F$: اینرسی انتقالی

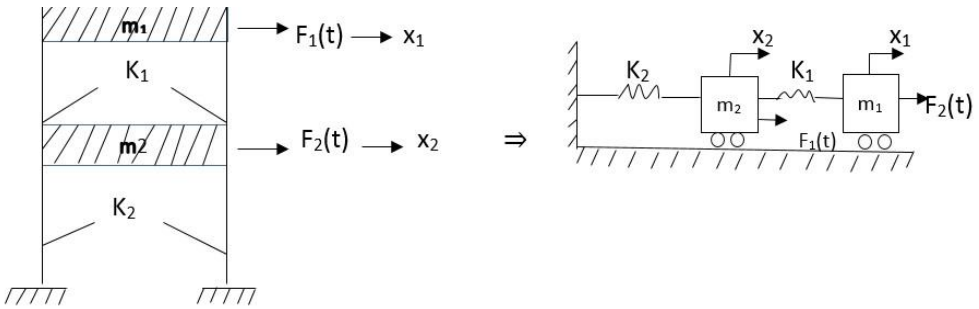
از جنس ممان $M = I\ddot{\theta} = I\alpha$: اینرسی دورانی

*: در اینجا جرم را متمرکز در نظر می‌گیریم و درجه آزادی دورانی را حذف می‌کنیم. از تغییر شکل محوری هم صرف‌نظر می‌شود در نتیجه در جهت y هم جابه‌جایی نداریم. تنها یک درجه آزادی در جهت x داریم.

* نحوه محاسبه‌ی ممان اینرسی جرمی:

ρ: فاصله جرم ها از مرکز جرم می‌باشد. $I = \int \rho^2 dm$

۱ـ۶ـ۲ سیستم دو درجه آزاد



* چون صلب است دوران نداری و چون سختی محوری ستون‌ها زیاد است از تغییر شکل جانبی y صرفه‌نظر می‌شود.

در اینجا دیگر یک دستگاه معادلات دیفرانسیل داریم:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \end{Bmatrix}$$

* نحوه‌ی چگونگی تشکیل معادله‌ی بالا در قسمت بعد به طور کامل گفته می‌شود.

۱ـ۷ پارامترهای موثر بر رفتار دینامیکی

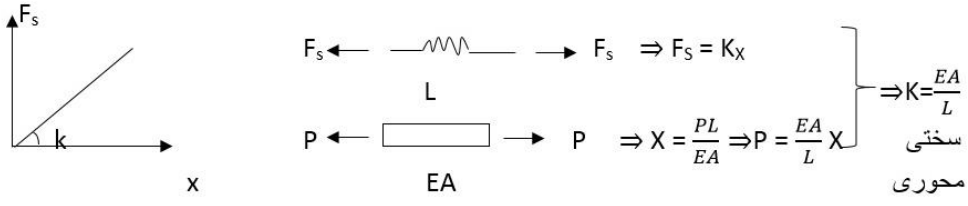
۱ـ سختی

۲ـ استهلاک

۳ـ اینرسی

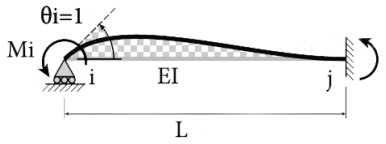
۱ـ۷ـ۱ ـ فنر الاستیک (سختی): (Spring Force)

در سیستم‌های خطی رابطه بین نیرو و تغییر طول در فنر متناسب با رابطه fs = kx تعریف می‌شود. در واقع سختی استاتیکی و دینامیکی متفاوت بوده که ما در اینجا برای ساده‌سازی و خطی‌کردن روابط این خصوصیت را مستقل از زمان و بنابراین یکسان در نظر می‌گیریم.

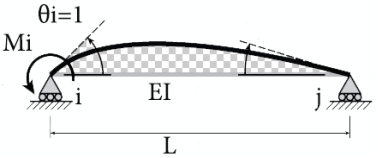


۱ـ۷ـ۲ سختی:

نیروی متناسب با انتقال و دوران واحد را در درجه آزادی موردنظر در صورتیکه درجات دیگر بسته یا شرایط طبیعی خود را داشته باشند سختی اتلاق می‌شود.



$M_i = \frac{4EI}{L}\theta_i \quad \theta_i = 1 \Rightarrow K_i = M_i \quad K_i = \frac{4EI}{L}$



$M_i = \frac{3EI}{L}\theta_i \quad \theta_i = 1 \Rightarrow K_i = M_i \quad K_i = \frac{3EI}{L}$

انواع سختی‌ها و نحوه‌ی استخراج آن‌ها از تحلیل سازه ۱ و ۲ خوانده شود:

- سختی محوری
- سختی انتقالی و برشی
- سختی پیچشی
- سختی دورانی
- سختی سیستم قاب

۱ـ۷ـ۳ استهلاک: (Damping)

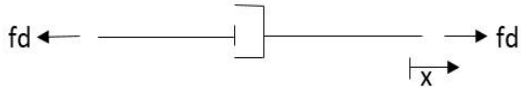
نیروی دمپینگ متناسب با سرعت است. $Fd = c\dot{x}$

تنها از نظر فیزیکی قابل تعریف بوده که به معنی اتلاف انرژی (صوت و حرارت و...) می‌باشد و مدل ریاضی برای آن به صورت محدود ارائه شده است.

نکته

در ساختمان‌ها اصطکاک موجود در اتصالات، وجود ترک در المان‌های بتنی، درگیری المان‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای و... باعث ایجاد استهلاک در سیستم می‌شوند و مقدار ان به وسیله‌ی انجام آزمایش برای سازه‌ها با انواع مختلف سیستم‌های مهاربندی و مصالح مصرفی (بتن، فولاد و چوب و..) به دست می‌آید.

۱ـ۳ـ۷ـ۱ نحوه مدل‌سازی استهلاک:



* کمک فنر (میراگر) Damper (dashpot)

* انرژی ناشی از استهلاک به سیستم باز نمی‌گردد.

۳ ـ اینرسی (نیروی ناشی از اینرسی) (Inertia)

$\begin{cases} F_I = m\ddot{x} & \text{: اینرسی انتقالی} \\ M_I = I\ddot{\theta} & \text{: اینرسی دورانی} \end{cases}$