

دینامیک سازه‌های فراساحلی

محمّد علی لطف‌اللّٰهی یقین

دانشیار، دانشکده عمران دانشگاه تبریز

حمید احمدی

دانشجوی دکتری، دانشکده عمران دانشگاه تبریز

سرشناسه	: لطف‌اللهی یقین، محمدعلی، ۱۳۳۷ -
عنوان و پدیدآور	: دینامیک سازه‌های فراساحلی / محمدعلی لطف‌اللهی یقین، حمید احمدی.
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه تبریز، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: viii، ۵۴۳ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز: ۵۰۹.
شابک	: ۱۱۰۰۰۰ ریال: 4-28-5199-600-978
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: نمایه.
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ۵۱۵-۵۰۳.
موضوع	: سازه‌های کنار آب - - طرح و ساختمان
موضوع	: سازه - - دینامیک
شناسه افزوده	: احمدی، حمید، ۱۳۶۳ -
شناسه افزوده	: دانشگاه تبریز
رده‌بندی کنگره	: ۹۰۵۳ NA ۱۳۹۰ ال ۲س /
رده‌بندی دیویی	: ۷۱۱/۴۲۰۹۱۶۹۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۲۹۸۱۴۴



انتشارات دانشگاه تبریز

دینامیک سازه‌های فراساحلی

تألیف:	دکتر محمدعلی لطف‌اللهی یقین و حمید احمدی
ویراستار علمی:	دکتر محمدرضا شیدایی
ویراستار ادبی:	دکتر علیرضا مظفری
ناشر و فروست:	انتشارات دانشگاه تبریز: ۵۰۹
تاریخ و نوبت چاپ:	۱۳۹۰ - اول
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۹۹-۲۸-۴
قیمت	۱۱۰۰۰۰/- ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه تبریز
کلیه حقوق اثر مزبور برای ناشر محفوظ است.

کسب دانش و فن‌آوری روز به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع سرشار نفت و گاز در آب‌های نیلگون خلیج همیشه فارس و دریای خزر ضروری است. بی‌شک، یکی از گام‌های اساسی در راستای شکوفائی هر چه بیشتر صنایع دریایی و فراساحلی در کشور، تکیه و اعتماد به متخصصین و دانش‌پژوهان داخلی است. واضح است که چنین امری بدون توجه و سرمایه‌گذاری کافی در حوزه آموزش دانشجویان و همچنین مهندسين شاغل در شاخه‌های مختلف مهندسی دریا امکان‌پذیر نخواهد بود. رشته سازه‌های دریائی، به عنوان یک گرایش نسبتاً جدید در حوزه گسترده مهندسی عمران، در کشورمان دارای قدمت چندانی نیست. به همین علت، یکی از مشکلات عمده آموزش این رشته در کشور، کمبود منابع درسی فارسی و عدم دسترسی کافی به کتب مرجع و منابع معتبر خارجی است.

یکی از مهم‌ترین شاخه‌های مهندسی سازه‌های فراساحلی، مطالعه رفتار دینامیکی این سازه‌های استراتژیک است که بخش اعظم آنها را سکوه‌های نفتی و نظامی تشکیل می‌دهند. این مبحث، یکی از عناوین اصلی در برنامه آموزشی دانشجویان رشته سازه‌های دریائی در کشور است. کتاب حاضر، اولین کتاب فارسی در زمینه دینامیک سازه‌های فراساحلی است که امید است بتواند گامی مؤثر، هر چند کوچک، در راستای اعتلای علمی دانشجویان، مهندسين و متخصصین شاغل در حوزه‌های مختلف مهندسی سازه‌های فراساحلی باشد. این کتاب، علاوه بر دانشجویان گرایش سازه‌های دریایی، می‌تواند برای دانشجویان سایر گرایش‌های رشته مهندسی عمران نیز که علاقه‌مند به مباحث دینامیک سازه و هیدرودینامیک هستند مفید و جالب توجه باشد. نحوه انتخاب عناوین و تنظیم ساختار کتاب به گونه‌ای بوده است که خواننده علاوه بر تسلط به مفاهیم اساسی و همچنین روش انجام تحلیل دینامیکی برای یک سازه فراساحلی، با انواع این سازه‌ها نیز آشنا شده و تکنیک‌های مدل‌سازی عوامل محیطی محرک

نظیر امواج و همچنین روش های محاسبه نیروی وارد بر سازه از طرف این پدیده های محیطی را نیز خواهد آموخت.

در فصل اول کتاب، انواع مختلف سازه های فراساحلی معرفی و مورد بحث قرار گرفته اند. از آنجا که مهم ترین عامل تحریک سازه های فراساحلی، امواج دریا هستند، فصل دوم به بحث در مورد امواج و روش های مدل سازی آنها اختصاص یافته است. موضوع فصل سوم، فرمول بندی نیروی ناشی از امواج وارد بر سازه های فراساحلی است. در این فصل، بارگذاری این سازه ها به شکل نسبتاً مفصلی مورد بحث قرار گرفته است. فصل چهارم کتاب به سازه های یک درجه آزادی اختصاص یافته است. در این فصل، معادلات حرکت برای این نوع سیستم ها فرمول بندی شده و پاسخ دینامیکی متعینه در این سازه ها مورد بحث قرار گرفته است. از آنجا که امواج دریا به عنوان عامل محرک سازه دارای ماهیتی تصادفی هستند، پاسخ دینامیکی سازه نیز در واقع ماهیتی تصادفی خواهد داشت. تحلیل سازه تحت بارگذاری تصادفی مستلزم انجام محاسبات آماری است؛ چرا که چنین فرآیندی نیازمند تفسیر داده های محیطی خواهد بود که به شکل آماری ارائه می شوند. در عمل به کار گیری ایده ها و تکنیک های آماری برای حل اکثر مسائل مرتبط با تحلیل دینامیکی سازه تحت بارهای ناشی از امواج، زمین لرزه و باد بسیار مفید است. موضوعات آماری مورد بحث در فصل پنجم، پیش نیازی برای درک روش های تحلیل دینامیکی طیفی است. در این فصل، به طور مفصل در مورد توصیف آماری و طیفی بارگذاری و پاسخ تصادفی صحبت خواهد شد. در فصل ششم، کلیات روش های مختلف مورد استفاده برای تحلیل دینامیکی سازه های فراساحلی مورد بحث قرار می گیرد. در این فصل، به منظور درک علت استفاده از روش های مرتبط ولی متفاوت برای انجام تحلیل دینامیکی تحت تأثیر بارهای ناشی از امواج، باد و زمین لرزه، پس از بررسی شباهت ها، تفاوت های این روش ها نیز مورد بررسی قرار می گیرند. در فصل هفتم به تحلیل دینامیکی متعینه در سیستم های چند درجه آزادی پرداخته می شود. فصل هشتم به تحلیل طیفی و تعیین خصوصیات آماری پاسخ سازه اختصاص داشته و نهایتاً در فصل نهم در مورد دینامیک سازه های فراساحلی شناور که استفاده از آنها به شدت رو به افزایش است بحث خواهد شد. مثال های متعدد و متنوعی در فصول مختلف کتاب ارائه شده است تا علاوه بر تسهیل درک مفاهیم اساسی و تکنیک های تحلیلی، نکات مهم در روند انجام محاسبات به روشنی مشخص گردد.

م. ع. لطف الله یقین - ح. احمدی

زمستان ۸۹

۱	فصل ۱- آشنایی با سازه‌های فراساحلی
۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- سکوی شابلونی
۱۱	۳-۱- سکوی حفاری خودبالاتر
۱۱	۴-۱- سکوی بتنی وزنی
۱۷	۵-۱- سازه‌های مقاوم در برابر برخورد یخ
۲۰	۶-۱- برج مهارشده
۲۳	۷-۱- سکوی پایه کششی
۲۵	۸-۱- سکوی نیمه‌شناور
۲۸	۹-۱- شناور با قابلیت تغییر موقعیت
۳۰	۱۰-۱- برج مفصلی و سیستم تولید و ذخیره با پایه تک‌مهراری
۳۱	۱۱-۱- سکوهای کشتی‌سان
۳۱	۱-۱۱-۱- سکوی کشتی‌سان تولید، ذخیره و تخلیه (FPSO)
۳۱	۲-۱۱-۱- سکوی کشتی‌سان تولیدی (FPS)

- ۳۱ ۱۱-۳- سکوی کشتی‌سان ذخیره و تخلیه (FSO)
- ۳۲ ۱۱-۴- سکوی کشتی‌سان حفاری تولید، ذخیره و تخلیه (FDPSO)
- ۳۲ ۱۲-۱- اسپار
- ۳۴ ۱۳-۱- سازه‌های پشتیبانی
- ۳۵ ۱۴-۱- ایده‌های طراحی پیشنهادی
- ۳۵ ۱۴-۱- سکوی بتنی سه‌پایه
- ۳۵ ۱۴-۲- سکوی بتنی تولیدی شناور
- ۳۶ ۱۴-۳- برج مفصلی بتنی

فصل ۲- امواج و مدل‌سازی آنها

- ۳۹ ۱-۲- مقدمه
- ۴۰ ۲-۲- پارامترهای معمول در تعریف امواج منظم
- ۴۲ ۳-۲- تئوری‌های امواج
- ۴۴ ۱-۳-۲- تئوری‌های موج منظم
- ۴۴ ۱-۱-۳-۲- تئوری موج خطی
- ۴۹ ۲-۱-۳-۲- تئوری موج استوکس
- ۵۳ ۳-۱-۳-۲- تئوری موج بیضوی (کتیوال)
- ۵۶ ۴-۱-۳-۲- سایر تئوری‌های موج منظم
- ۵۷ ۵-۱-۳-۲- انتخاب تئوری موج منظم مناسب
- ۵۹ ۲-۳-۲- تئوری‌های موج نامنظم (با پروفیل مشخص)
- ۶۰ ۳-۳-۲- تئوری‌های موج تصادفی
- ۶۱ ۴-۲- انواع امواج اقیانوس
- ۶۱ ۱-۴-۲- امواج محلی
- ۶۲ ۲-۴-۲- امواج دورا
- ۶۲ ۵-۲- اثرات بستر دریا روی خصوصیات امواج
- ۶۳ ۱-۵-۲- خزش
- ۶۴ ۲-۵-۲- تفرق
- ۶۵ ۳-۵-۲- انکسار
- ۶۵ ۴-۵-۲- انعکاس
- ۶۶ ۵-۵-۲- جذب
- ۶۶ ۶-۵-۲- شکست موج

۶۹	۶-۲- جریان‌های دریائی
۷۰	۷-۲- اندازه‌گیری
۷۰	۱-۷-۲- اندازه‌گیری تراز سطح آب
۷۱	۲-۷-۲- اندازه‌گیری سرعت ذرات آب
۷۲	مسائل

فصل ۳- نیروی ناشی از امواج روی سازه‌های فراساحلی ۷۵

۷۵	۱-۳- مقدمه
۷۷	۲-۳- جرم افزوده
۸۲	۳-۳- معادله موريسون
۸۵	۱-۳-۳- نیروهای ناشی از تئوری ایری
۸۸	۲-۳-۳- نیروهای ناشی از امواج استوکس
۹۲	۳-۳-۳- نیروهای ناشی از امواج کنویال
۹۳	۴-۳-۳- اثرات حرکت نسبی
۹۴	۵-۳-۳- نیروی وارد بر پایه‌های با جانمایی اختیاری (پایه‌های مایل)
۱۰۰	۶-۳-۳- حداکثر نیروی موج روی یک سازه فراساحلی
۱۰۶	۷-۳-۳- نیروها و لنگرهای گرهی ناشی از بارگذاری امواج
۱۱۰	۸-۳-۳- خصوصیات غیر خطی معادله موريسون
۱۱۲	۹-۳-۳- پایه ثابت تحت اثر موج و جریان
۱۱۶	۱-۹-۳-۳- پریود موج ظاهری
۱۱۷	۲-۹-۳-۳- سینماتیک ترکیبی موج-جریان
۱۱۹	۱۰-۳-۳- ضرایب اصلاح کاهنده برای معادله موريسون
۱۱۹	۱-۱۰-۳-۳- ضریب سینماتیک موج
۱۲۰	۲-۱۰-۳-۳- ضریب انسداد (بلوکاز) جریان
۱۲۱	۳-۱۰-۳-۳- ضریب پوشش لوله‌های هادی
۱۲۲	۴-۳- تئوری فرود-کریلوف
۱۲۲	۱-۴-۳- تئوری عمومی
۱۲۳	۲-۴-۳- نیروی وارد بر یک استوانه افقی
۱۲۵	۳-۴-۳- نیروی وارد بر یک استوانه قائم
۱۲۵	۴-۴-۳- نیروی وارد بر نیم استوانه افقی
۱۲۷	۵-۴-۳- نیروی وارد بر کره

- ۱۲۹ ۶-۴-۳- نیروی وارد بر نیم کره
- ۱۳۰ ۷-۴-۳- نیروی وارد بر بلوک مستطیلی
- ۱۳۱ ۸-۴-۳- نیروی وارد بر دیسک مدور
- ۱۳۱ ۹-۴-۳- ضرایب نیرو
- ۱۳۳ ۵-۳- تئوری تفرق
- ۱۳۴ ۱-۵-۳- محاسن تفرق
- ۱۳۵ ۲-۵-۳- تحلیل ابعادی نیروی موج در شرایط تفرق
- ۱۳۷ ۳-۵-۳- فرمول بندی تئوری عمومی تفرق
- ۱۴۵ ۴-۵-۳- ضرایب نیروی مؤثر
- ۱۴۶ ۵-۵-۳- حل مسئله تفرق مرتبه اول برای یک استوانه مدور قائم
- ۱۵۴ ۶-۵-۳- اثرات غیر خطی موج و تفرق امواج کنویدال
- ۱۵۷ ۶-۳- نیروی عرضی
- ۱۵۷ ۱-۶-۳- جدایی جریان
- ۱۵۷ ۲-۶-۳- رژیم های جریان حول پایه
- ۱۶۱ ۳-۶-۳- رژیم های جاری شدن گردابه ها
- ۱۶۲ ۱-۳-۶-۳- محدوده $7 < KC < 15$ (رژیم تک جفتی)
- ۱۶۳ ۲-۳-۶-۳- محدوده $15 < KC < 24$ (رژیم دو جفتی) و سایر رژیم ها
- ۱۶۷ ۳-۳-۶-۳- فرکانس جاری شدن گردابه ها و فرکانس نیروی لیفت
- ۱۷۱ ۴-۳-۶-۳- اثر عدد رینولدز روی رژیم جریان
- ۱۷۳ ۴-۶-۳- نیروی لیفت در جریان نوسانی
- ۱۷۶ ۵-۶-۳- ملاحظات طراحی و اثر امواج
- ۱۷۹ ۷-۳- ضرایب هیدرو دینامیکی
- ۱۸۲ ۸-۳- نیروهای کوبشی و ضربتی موج
- ۱۸۳ ۹-۳- تابع انتقال برای بارگذاری موج
- ۱۸۶ ۱۰-۳- پایداری استاتیکی تحت اثر امواج
- ۱۸۹ مسائل

فصل ۴- معادلات حرکت و توصیف متعینه پاسخ دینامیکی سازه های یک درجه آزادی

۱۹۴	۲-۴- سیستم یک درجه آزادی و معادلات حرکت
۲۰۷	۳-۴- ارتعاش آزاد
۲۰۸	۴-۳-۱- ارتعاش آزاد نامیرا
۲۱۴	۴-۳-۲- ارتعاش آزاد میرا
۲۱۴	۴-۳-۱- انواع ارتعاش میرا
۲۱۴	۴-۳-۲- سیستم‌های زیر بحرانی
۲۱۶	۴-۳-۳- استهلاک ارتعاش
۲۱۷	۴-۳-۳- روش رابلی برای محاسبه فرکانس طبیعی سازه
۲۲۵	۴-۴- پاسخ سیستم به تحریک هارمونیک، تحریک پریودیک و نیروی تابع زمان دلخواه
۲۲۵	۴-۴-۱- پاسخ به تحریک هارمونیک
۲۲۵	۴-۴-۱-۱- پاسخ گذرا و پاسخ ماندگار
۲۲۷	۴-۴-۱-۲- پاسخ به ازای $\omega = \omega_0$
۲۲۹	۴-۴-۱-۳- تغییر شکل حداکثر و تأخیر فاز
۲۳۴	۴-۴-۱-۴- فرکانس تشدید
۲۳۵	۴-۴-۱-۵- پاسخ به تحریک کسینوسی و مختلط
۲۳۶	۴-۴-۲- پاسخ به تحریک پریودیک (تناوبی)
۲۳۶	۴-۴-۱-۲- تبدیل‌های فوریه
۲۳۷	۴-۴-۲-۲- فرمول‌بندی پاسخ به نیروهای پریودیک
۲۴۱	۴-۴-۳- پاسخ به نیروی تابع زمان دلخواه
۲۴۱	۴-۴-۱-۳- پاسخ به ضربه واحد
۲۴۳	۴-۴-۲-۳- پاسخ به نیروی دلخواه
۲۴۵	۴-۵- بررسی میزان اهمیت اثرات دینامیکی
۲۴۹	مسائل

۲۵۳

فصل ۵- توصیف آماری و طیفی بارگذاری و پاسخ تصادفی

۲۵۳	۵-۱- مقدمه
۲۵۴	۵-۲- فرایندهای متعین و تصادفی
۲۵۶	۵-۳- خصوصیات کوتاه‌مدت $y(t)$ ، مستقل از تسلسل و فرکانس
۲۵۶	۵-۳-۱- سنجش‌های موقعیت
۲۵۷	۵-۳-۲- سنجش‌های پراکندگی
۲۵۸	۵-۳-۳- تابع چگالی احتمال (PDF)

- ۲۵۹ ۵-۳-۴- تابع توزیع تجمعی (CDF)
- ۲۶۱ ۵-۳-۵- گشتاورهای یک PDF
- ۲۶۲ ۵-۳-۶- توزیع نرمال (گاوسی)
- ۲۶۳ ۵-۳-۷- توزیع های غیر نرمال
- ۲۶۳ ۵-۴- خصوصیات وابسته به تسلسل یک تاریخچه زمانی $y(t)$
- ۲۶۴ ۵-۴-۱- خود هم پراکنش
- ۲۶۵ ۵-۴-۲- تابع خود همبستگی
- ۲۶۵ ۵-۴-۳- ضریب خود همبستگی یا خود هم پراکنش نرمال شده
- ۲۶۶ ۵-۴-۴- مقیاس زمانی
- ۲۶۶ ۵-۵- تحلیل فوری و طیف های $y(t)$
- ۲۶۶ ۵-۵-۱- سری فوری برای یک تابع متناوب
- ۲۶۸ ۵-۵-۲- بیان یک تاریخچه زمانی تصادفی به وسیله تبدیل فوری
- ۲۷۰ ۵-۵-۳- تبدیل فوری گسسته
- ۲۷۱ ۵-۵-۴- چگالی طیفی
- ۲۷۵ ۵-۵-۵- تحلیل طیفی یک سیستم دینامیکی تحت بارگذاری تعریف شده با یک متغیر منفرد
- ۲۷۶ ۵-۵-۱- تحلیل تصادفی با استفاده از طیف انرژی
- ۲۷۸ ۵-۵-۶- رابطه بین تابع خود همبستگی و طیف انرژی
- ۲۸۰ ۵-۶- خصوصیات آماری مستقل از تسلسل و فرکانس برای نمونه های هم زمان از تاریخچه های زمانی مختلف
- ۲۸۱ ۵-۶-۱- هم پراکنش $y_1(t)$ و $y_2(t)$
- ۲۸۲ ۵-۶-۲- ضریب همبستگی یا هم پراکنش نرمال شده $y_1(t)$ و $y_2(t)$
- ۲۸۲ ۵-۶-۳- خصوصیات آماری $a + by_1(t) + cy_2(t)$
- ۲۸۳ ۵-۶-۴- خصوصیات آماری $y_1(t) \times y_2(t)$
- ۲۸۵ ۵-۶-۵- احتمال دو بعدی (احتمال ارتباطی) n متغیر تصادفی
- ۲۸۶ ۵-۶-۶- توزیع نرمال چند متغیره
- ۲۸۷ ۵-۷- خصوصیات وابسته به تسلسل نمونه های برگرفته از تاریخچه های زمانی مختلف
- ۲۸۷ ۵-۷-۱- هم پراکنش مقاطع
- ۲۸۷ ۵-۷-۲- ضریب همبستگی مقاطع یا هم پراکنش مقاطع نرمال شده
- ۲۸۸ ۵-۷-۳- تابع همبستگی مقاطع
- ۲۸۸ ۵-۷-۴- علائم اختصاری متفاوت
- ۲۸۸ ۵-۸- چگالی طیفی مقاطع و ضریب ارتباط

۲۸۸	۵-۸-۱- چگالی طیفی متقاطع
۲۸۹	۵-۸-۲- چگالی طیفی متقاطع یک طرفه
۲۹۰	۵-۸-۳- چگالی طیفی حقیقی و چگالی طیفی موهومی
۲۹۰	۵-۸-۴- ضریب ارتباط
۲۹۰	۵-۹- رابطه بین تابع همبستگی متقاطع و طیف متقاطع
۲۹۲	۵-۱۰- خصوصیات آماری متنوع و کاربرد اطلاعات حاصل از طیف انرژی در فرمول بندی آنها
۲۹۲	۵-۱۰-۱- طیف های سرعت و شتاب
۲۹۲	۵-۱۰-۲- گشتاورهای طیفی
۲۹۴	۵-۱۰-۳- پهنای باند
۲۹۶	۵-۱۰-۴- توزیع های پریودهای عبوری و مقادیر پیک
۲۹۶	۵-۱۰-۴-۱- پریودهای عبوری از یک تراز خاص و پریود عبوری از صفر
	T_2
۲۹۹	۵-۱۰-۴-۲- فرکانس تاج و پریود میانگین تاج
۳۰۰	۵-۱۰-۴-۳- توزیع دامنه ها در یک طیف باند باریک
۳۰۲	۵-۱۰-۴-۴- توزیع رایلی
۳۰۴	۵-۱۰-۴-۵- تعیین دامنه با احتمال تخطی معلوم
۳۰۵	۵-۱۰-۴-۶- مقادیر حدی در توزیع رایلی
۳۰۸	۵-۱۱- ارتفاع موج شاخص و پریود میانگین عبور از صفر
۳۱۰	۵-۱۲- نمودارهای آماری برای توصیف وضعیت دریایی
۳۱۰	۵-۱۲-۱- نمودار تخطی از ارتفاع موج
۳۱۱	۵-۱۲-۲- نمودار پراکندگی
۳۱۳	۵-۱۲-۳- نمودار ماندگاری
۳۱۳	۵-۱۲-۴- چرخه وضعیت دریایی
۳۱۵	۵-۱۳- طیف های تراز سطح آب
۳۱۹	۵-۱۳-۱- طیف های Pierson-Moskowitz و Bretschneider
۳۱۹	۵-۱۳-۲- طیف JONSWAP
۳۲۲	۵-۱۳-۳- تأثیر تغییر واحد فرکانس بر روابط طیفی
۳۲۳	۵-۱۳-۴- طیف های جهت دار
۳۲۵	۵-۱۳-۵- انتخاب شکل طیفی
۳۲۷	۵-۱۴- توزیع های مقدار حدی (توزیع های بلند مدت) برای داده های محیطی
۳۲۸	۵-۱۴-۱- دوره بازگشت

- ۳۳۰ ۵-۱۴-۲- انواع توزیع مقدار حدی (EVD)
- ۳۳۰ ۵-۱۴-۲-۱- توزیع گامبل یا فیشر- تیبت نوع I
- ۳۳۵ ۵-۱۴-۲-۲- توزیع های وایبل و فیشر- تیبت نوع III
- ۳۳۶ ۵-۱۴-۲-۳- توزیع فرچت یا فیشر- تیبت نوع II
- ۳۳۷ ۵-۱۴-۲-۴- توزیع لاگ نرمال
- ۳۳۸ ۵-۱۴-۳- انتخاب توزیع مقدار حدی مناسب

فصل ۶- کلیات روش های مختلف تحلیل دینامیکی سازه های فراساحلی ۳۳۹

- ۳۳۹ ۶-۱- مقدمه
- ۳۴۰ ۶-۲- موج، باد و زمین لرزه - تفاوت های منجر به روش های تحلیل متفاوت
- ۳۴۰ ۶-۲-۱- استفاده از داده های محیطی تک نقطه ای و چند نقطه ای
- ۳۴۱ ۶-۲-۲- ایستایی
- ۳۴۱ ۶-۲-۳- بارگذاری خطی
- ۳۴۲ ۶-۲-۴- پاسخ سازه ای خطی به بارگذاری
- ۳۴۲ ۶-۲-۵- پربودهای مهم
- ۳۴۳ ۶-۳- روش های مختلف تحلیل
- ۳۴۴ ۶-۴- روش های لحاظ نمودن محتوای فرکانسی
- ۳۴۴ ۶-۵- تحلیل پاسخ سازه تحت اثر امواج
- ۳۴۴ ۶-۵-۱- نتایج حاصل از تحلیل های متداول
- ۳۴۴ ۶-۵-۱-۱- پربودهای موج و سازه
- ۳۴۴ ۶-۵-۱-۲- اثرات تداخل طول موج با فاصله بین اعضا
- ۳۴۴ ۶-۵-۲- انتخاب روش تحلیل مناسب
- ۳۴۷ ۶-۵-۲- تحلیل متعینه
- ۳۵۳ ۶-۵-۳- تحلیل طیفی در حوزه فرکانسی
- ۳۵۴ ۶-۵-۴- تحلیل طیفی در حوزه زمانی با استفاده از تئوری موج تصادفی خطی
- ۳۵۸ ۶-۵-۵- تحلیل طیفی تاریخچه زمانی - تئوری موج تصادفی غیرخطی
- ۳۵۸ ۶-۵-۶- تحلیل مرکب
- ۳۵۸ ۶-۶- تحلیل پاسخ سازه به نوسانات باد
- ۳۵۹ ۶-۶-۱- تحلیل طیفی
- ۳۶۰ ۶-۶-۲- تحلیل پاسخ تشدید شده/تشدید نشده
- ۳۶۱ ۶-۶-۳- روش ضریب تندباد

۳۶۱	۶-۴-۶- روش تندباد ۳ ثانیه‌ای/ ۳۰ ثانیه‌ای
۳۶۱	۶-۷- تحلیل پاسخ سازه به زمین‌لرزه
۳۶۲	۶-۷-۱- تحلیل طیف‌های پاسخ
۳۶۲	۶-۷-۲- تحلیل طیفی
۳۶۳	۶-۷-۳- تحلیل تاریخچه زمانی
۳۶۳	۶-۸- خلاصه مباحث تحلیل پاسخ سازه به امواج، باد و زمین‌لرزه
۳۶۴	۶-۹- تأثیر خصوصیات غیر خطی
۳۶۴	۶-۹-۱- اثر بارگذاری غیر خطی دراک
۳۶۴	۶-۹-۱-۱- تغییرات آماری
۳۶۵	۶-۹-۱-۲- تغییرات فرکانسی
۳۶۵	۶-۹-۲- اثر بارگذاری تناوبی در ناحیه پاشش موج
۳۶۵	۶-۹-۳- اثر دراک غیر خطی برای یک سازه تحت اثر باد
۳۶۶	۶-۹-۴- اثر رفتار غیر خطی کابل‌های مهار روی پاسخ یک سازه تحت اثر باد
۳۶۷	۶-۹-۵- اثر تسلیم مصالح بر پاسخ یک سازه تحت اثر زمین‌لرزه

فصل ۷- تحلیل دینامیکی متعینه در سیستم‌های چند درجه آزادی ۳۶۹

۳۶۹	۷-۱- مقدمه
۳۷۰	۷-۲- معادلات حرکت: شکل کلی
۳۷۱	۷-۲-۱- بردار مختصه ξ
۳۷۱	۷-۲-۲- بردار بارگذاری p
۳۷۱	۷-۲-۳- ماتریس جرم M
۳۷۲	۷-۲-۴- ماتریس سختی k
۳۷۳	۷-۲-۵- ماتریس میرایی C
۳۷۷	۷-۳- ارتعاش آزاد نامیرا
۳۸۰	۷-۳-۱- فرکانس‌ها و مودهای طبیعی ارتعاش
۳۸۲	۷-۳-۲- نرمال‌سازی بردارهای مودی
۳۸۲	۷-۳-۳- تعامد بردارهای مودی
۳۸۳	۷-۴- ارتعاش اجباری میرا
۳۸۴	۷-۴-۱- ماتریس شکل مود X
۳۸۴	۷-۴-۲- ماتریس میرایی مودال C
۳۸۶	۷-۴-۳- غیر درگیر کردن معادلات حرکت

- ۳۸۶ ۷-۴-۴- حل حالت ماندگار
- ۳۸۸ ۷-۵- متمرکز نمودن نیروی امواج
- ۳۹۳ ۷-۶- معادلات دینامیکی حاکم بر حرکت یک سکوی شابلونی
- ۴۰۱ ۷-۷- حل به روش مودی
- ۴۰۷ ۷-۸- محاسبات مودی به روش تکرار
- ۴۱۲ ۷-۹- طول و خصوصیات سختی شمع های معادل و مدل سازی فونداسیون خاکی
- ۴۲۰ ۷-۱۰- معادلات حرکت: فرمول بندی لاگرانژ
- ۴۲۱ ۷-۱۰-۱- انرژی های سیستم
- ۴۲۱ ۷-۱۰-۲- اصل هامیلتون
- ۴۲۲ ۷-۱۰-۳- تعیین معادلات لاگرانژ برای یک سیستم ساده
- ۴۲۵ ۷-۱۱- مثال های جامع
- ۴۳۹ مسائل

فصل ۸- تحلیل طیفی و تعیین خصوصیات آماری پاسخ سازه ۴۴۳

- ۴۴۳ ۸-۱- مقدمه
- ۴۴۴ ۸-۲- تعیین چگالی طیفی پاسخ در سیستم های یک درجه آزادی
- ۴۴۴ ۸-۲-۱- ارتباط بین توابع پاسخ هارمونیک و ضربه ای
- ۴۴۵ ۸-۲-۲- توابع خودهمبستگی
- ۴۴۶ ۸-۲-۳- پارامترهای پاسخ
- ۴۴۷ ۸-۳- ارتباط بین چگالی طیفی بارگذاری و چگالی طیفی تراز سطح آب
- ۴۴۷ ۸-۳-۱- تعیین چگالی طیفی سرعت و شتاب افقی ذرات آب
- ۴۴۹ ۸-۳-۲- تعیین چگالی طیفی نیروی وارد بر واحد طول
- ۴۵۱ ۸-۳-۳- تعیین چگالی طیفی نیروی کل
- ۴۵۴ ۸-۴- فرمول بندی نهایی چگالی طیفی پاسخ سیستم بر حسب طیف انرژی موج
- ۴۵۸ ۸-۵- فرمول بندی تحلیل طیفی برای سیستم های چند درجه آزادی
- ۴۶۵ مسائل

فصل ۹- دینامیک سازه های فراساحلی شناور ۴۶۹

- ۴۶۹ ۹-۱- مقدمه
- ۴۷۰ ۹-۲- روش های حل معادلات حرکت

۴۷۲	۳-۹- تحلیل برج مفصلی
۴۷۸	۴-۹- تحلیل مخزن ذخیره شناور
۴۸۲	۵-۹- تحلیل سکوی پایه کششی
۴۸۳	۱-۵-۹- فرضیات تحلیل
۴۸۵	۲-۵-۹- استخراج لاگرانژین
۴۸۵	۱-۲-۵-۹- انرژی کرنشی
۴۸۸	۲-۲-۵-۹- انرژی جنبشی
۴۸۹	۳-۲-۵-۹- انرژی پتانسیل ناشی از وزن و شناوری
۴۹۰	۳-۵-۹- درگیری تاندون با بدنه
۴۹۴	۶-۹- تحلیل برج مهارشده
۴۹۸	۷-۹- دینامیک ریزر

۵۰۳

فهرست مراجع

۵۱۵

واژه نامه

۵۳۵

فهرست موضوعی