

۲۲۴۱۹۴۴

ژئوتکنیک لرزه‌ای

مبانی و کاربرد

تألیف:

دکتر حمید علی‌الهی

(عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان)

مهندس مریم رحیمی

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک)

www.ketab.ir

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	علی الهی، حمید، ۱۳۵۸-
عنوان و نام پدیدآور	ژئوتکنیک لرزه‌ای: مبانی و کاربرد/ تألیف حمید علی الهی، مریم رحیمی.
مشخصات نشر	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۸۲۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۲۱۰۰۰۰۰ ریال: ISBN: 978-964-210-390-4
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	زلزله -- مهندسی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Earthquake engineering -- Study and teaching (Higher)
موضوع	زلزله -- مهندسی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	Earthquake engineering -- Problems, exercises, etc. (Higher)
موضوع	خاک -- دینامیک -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Soil dynamics -- Study and teaching (Higher)
موضوع	خاک -- دینامیک -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	Soil dynamics -- Problems, exercises, etc. (Higher)
موضوع	مهندسی ژئوتکنیک -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Geotechnical engineering -- Study and teaching (Higher)
موضوع	مهندسی ژئوتکنیک -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	Geotechnical engineering -- Problems, exercises, etc. (Higher)
موضوع	امواج زلزله -- الگوهای ریاضی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Seismic waves -- Mathematical models -- Study and teaching (Higher)
موضوع	امواج زلزله -- الگوهای ریاضی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	Seismic waves--Mathematical models--Problems, exercises, etc. (Higher)
شناخه افزوده	رحیمی، مریم، ۱۳۵۵-
شناخه افزوده	جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات
رده‌بندی کنگره	TA۶۵۴/۶
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی	۸۵۱۱۸۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فصل ۱

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۸۴/۱۰/۲۴ شورای نشر کتاب
جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر به مرحله
ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نمود.



واحد صنعتی امیرکبیر

ژئوتکنیک لرزه‌ای مبانی و کاربرد

تألیف: دکتر حمید علی الهی، مهندس مریم رحیمی

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

ناشر

مدیر مسؤول

دکتر مهدی ورسه‌ای

نوبت چاپ

اول

سال چاپ

۱۴۰۰

قطع

وزیری

شمارگان

۱۰۰۰ نسخه

قیمت

۲۱۰۰۰۰۰ ریال

طراح

آرزو انصاری

چاپخانه

رامین



ISBN: 978-964-210-390-4

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۳۹۰-۴

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱ ۶۶ + تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲۱ ۶۶ +

www.jdamirkabir.ac.ir

فروشگاه اینترنتی:

پیشگفتار ناشر

اَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّحْدِ

توانمندسازی پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی، زمینه‌ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. هم‌چنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه و آموزش‌های تخصصی فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی منحصصان و دانشگاهیان فرهیخته کشور و هم‌چنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط "انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر «پلی تکنیک تهران»" که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد، به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و پویندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفتوح معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاددانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است دانشگاهیان و فعالین عرصه‌های علم و فن‌آوری کشور، پویانده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان‌ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و هم‌چنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

"هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید"

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

پیشگفتار

طبیعت ناشناخته زلزله و آثار مخرب ناشی از آن یکی از چالش‌های اصلی مهندسان در طراحی ایمن سازه‌ها می‌باشد. از طرفی، نقش اساسی خاک در میزان و چگونگی خسارت ایجاد شده ناشی از زلزله، اهمیت شناخت مباحث مربوط به ژئوتکنیک لرزه‌ای را دوچندان می‌سازد. وقوع و مشاهده پدیده‌های ژئوتکنیکی متعدد در طی زلزله‌هایی نظیر زلزله نیگاتای ژاپن و زلزله آلاسکا، توسعه دانش ژئوتکنیک لرزه‌ای را در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ سرعت بخشید؛ به‌طوری‌که امروزه در اغلب آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مباحث مربوط به ژئوتکنیک لرزه‌ای جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است.

همچنین واقع بودن ایران در یکی از پهنه‌های پرخطر لرزه‌ای و ضرورت شناخت مفاهیم رفتاری و عملکرد لرزه‌ای خاک‌ها از یک سو و لزوم آگاهی از مطالعات و پژوهش‌های روز محققین دنیا از سوی دیگر، مؤلفان را بر آن داشت که ضمن ادای احترام به همه اساتید، بزرگان و صاحب‌نظران این علم و با هدف ارائه دانش پویا و جدید مسائل ژئوتکنیک لرزه‌ای، به تألیف کتاب جدیدی در این زمینه بپردازند. در تهیه این کتاب از تجربیات چندین ساله تدریس، مطالعه، تحقیق در سطوح مختلف دانشگاهی و پروژه‌های عمرانی و همچنین بهره‌گیری از تمامی مراجع معتبر و روز دنیا استفاده شده و به موضوعات گسترده‌ای از علم ژئوتکنیک لرزه‌ای به‌همراه مفاهیم و کاربردهای آنها پرداخته شده است.

امتیاز ویژه این کتاب نسبت به سایر کتب محدود موجود در این زمینه، علاوه بر مثال‌ها و تمرین‌های متنوع، ارائه رویکردهای جدید در زمینه علم ژئوتکنیک لرزه‌ای با نگرشی ویژه به آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و استفاده از بیان ساده و شیوا برای حل مسائل پیچیده در این خصوص می‌باشد که به صورت مدون در مراجع فارسی به ندرت یافت می‌شود. این کتاب می‌تواند به‌عنوان یک مرجع جامع برای دانشجویان مهندسی عمران به خصوص گرایش‌های ژئوتکنیک، مهندسی زلزله و همچنین برای مهندسان مشاور و پیمانکاران مفید واقع شود.

کتاب حاضر در ۵ فصل تنظیم شده که فصل اول آن شامل مروری بر مباحث مهندسی زلزله و رویکردهای جدید آن می‌باشد. در فصل دوم به رفتار دینامیکی خاک‌ها تحت بارهای دینامیکی با مروری بر مدل‌های ساده تا پیچیده برای حل مسائل ژئوتکنیک لرزه‌ای پرداخته شده است. فصل سوم در زمینه تحلیل پاسخ لرزه‌ای زمین در شرایط مختلف یک و دو یا سه‌بعدی بحث می‌نماید. فصل چهارم به مبحث اندرکنش

لرزه‌ای خاک و سازه، از مفاهیم تا مرور این نامه‌ها می‌پردازد. مباحث مربوط به پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها، سدها و روش‌های پایدارسازی آنها نیز به تفصیل در فصل پنجم مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در اینجا نویسندگان بر خود واجب می‌دانند از تمامی بزرگوارانی که به طرق مختلف در تهیه و تدوین این کتاب سهیم بوده‌اند، علی‌الخصوص از آقایان دکتر سید احسان سیدی حسینی‌نیا (دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد)، دکتر محسن کمالیان (استاد پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله)، دکتر یاسر جعفریان (دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله) به‌خاطر کمک‌های سازنده و حمایت‌های بی‌دریغشان در به ثمر رسیدن این مجموعه، کمال تشکر را داشته باشند. همچنین به‌طور ویژه از اعضای خانواده‌های عزیزمان بابت همراهی صبورانه و فراهم نمودن شرایط مناسب برای تالیف این کتاب، قدرانی و سپاسگزاری می‌نماییم.

بدون تردید، این مجموعه نیز همانند بسیاری از متون علمی دیگر با توجه به حجم و تنوع گسترده مطالب ارائه شده در آن، بی‌نقص نخواهد بود و بدیهی است یادآوری آن توسط خوانندگان محترم می‌تواند زمینه ساز اصلاح و تکمیل کتاب در ویرایش‌های آتی باشد. امید است مطالب ارائه شده در این کتاب بتواند مورد توجه و استفاده دانشجویان، مهندسان و کارشناسان زمینه‌های مختلف عمرانی به‌مطور کمک به طراحی ایمن‌تر سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای قرار گیرد.

علی‌اللهی-رحیمی

تیر ۱۴۰۰

میه

فهرست

فصل ۱: مروری بر مهندسی زلزله	۱۹
۱-۱ مقدمه	۱۹
۲-۱ امواج زلزله	۲۰
۱-۲-۱ امواج حجمی	۲۰
۲-۲-۱ امواج سطحی	۲۱
۳-۱ نظریه تکتونیک صفحه‌ای	۲۱
۱-۳-۱ مرزهای گسترش جانبی	۲۲
۲-۳-۱ مرزهای محدوده فرو رانشی	۲۳
۳-۳-۱ مرزهای گسل انتقالی	۲۳
۴-۱ لرزه‌خیزی ایران	۲۴
۵-۱ گسل‌ها	۲۸
۱-۵-۱ حرکت گسل‌ها	۳۰
۱-۱-۵-۱ گسل شیپ‌لغز	۳۱
۲-۱-۵-۱ گسل امتدادلغز	۳۱
۲-۵-۱ انواع گسل از نظر فعالیت لرزه‌زایی	۳۲
۳-۵-۱ عرض گسل	۳۳

- ۶-۱ نظریه بازگشت ارتجاعی ۳۴
- ۷-۱ روابط تکرار زلزله ۳۴
- ۸-۱ عوارض ناشی از زلزله ۳۵
- ۱-۸-۱ زمین لغزش ۳۵
- ۲-۸-۱ روانگرایی ۳۶
- ۳-۸-۱ سونامی ۳۶
- ۴-۸-۱ اثرات ساختگاهی ۳۸
- ۹-۱ عوامل ایجاد زلزله ۳۹
- ۱-۹-۱ زلزله‌های نکتونیکی ۳۹
- ۲-۹-۱ زلزله‌های آتشفشانی ۴۱
- ۳-۹-۱ زلزله‌های فروریزشی ۴۱
- ۴-۹-۱ زلزله‌های انفجاری ۴۱
- ۵-۹-۱ زلزله‌های القایی ۴۲
- ۱۰-۱ ثبت حرکات زمین ۴۲
- ۱-۱۰-۱ لرزه‌نگار ۴۲
- ۲-۱۰-۱ شتاب‌نگارها ۴۶
- ۳-۱۰-۱ اصلاح شتاب‌نگاشت‌ها ۴۸
- ۱۱-۱ اندازه زلزله‌ها ۵۳
- ۱۲-۱ بزرگای زلزله ۵۲
- ۱-۱۲-۱ بزرگای محلی ریشتر ۵۳
- ۲-۱۲-۱ بزرگای امواج سطحی ۵۳
- ۳-۱۲-۱ بزرگای امواج حجمی ۵۴
- ۴-۱۲-۱ بزرگای مدت ۵۴
- ۵-۱۲-۱ بزرگای گشتاوری ۵۴
- ۱۳-۱ شدت زلزله ۵۸
- ۱۴-۱ عمق زلزله‌ها ۶۰

۶۱	۱-۱۴-۱ مرکز سطحی زلزله
۶۳	۱۵-۱ انرژی رهاشده در اثر زلزله
۶۴	۱۶-۱ ویژگی‌های تاریخچه زمانی حرکت نیرومند زمین
۶۴	۱-۱۶-۱ پارامترهای دامنه
۶۴	۱-۱-۱۶-۱ شتاب بیشینه لرزش زمین
۶۶	۲-۱-۱۶-۱ سرعت بیشینه لرزش زمین
۶۶	۳-۱-۱۶-۱ جابجایی بیشینه لرزش زمین
۶۶	۴-۱-۱۶-۱ سرعت و شتاب بیشینه ماندگار
۶۷	۵-۱-۱۶-۱ شتاب طراحی مؤثر
۶۷	۶-۱-۱۶-۱ پارامتر $\frac{v_{max}}{a_{max}}$
۶۸	۲-۱۶-۱ دیگر پارامترها
۶۸	۱-۲-۱۶-۱ پارامتر a_{rms}
۶۸	۲-۲-۱۶-۱ پارامتر شدت ارتعاش
۶۹	۳-۲-۱۶-۱ پارامتر شدت مشخصه
۶۹	۴-۲-۱۶-۱ پارامتر تراکم انرژی ویژه
۶۹	۵-۲-۱۶-۱ پارامتر سرعت مطلق تجمعی
۷۱	۶-۲-۱۶-۱ پارامتر شدت طیف پاسخ
۷۱	۷-۲-۱۶-۱ شدت طیف سرعت
۷۱	۸-۲-۱۶-۱ شدت طیف شتاب
۷۱	۹-۲-۱۶-۱ شتاب و سرعت حداکثر مؤثر
۷۲	۳-۱۶-۱ زمان مؤثر زلزله
۷۵	۴-۱۶-۱ پارامترهای محتوای فرکانسی
۷۵	۱-۴-۱۶-۱ طیف حرکت زمین
۷۷	۲-۴-۱۶-۱ تبدیل فوریه
۷۸	۳-۴-۱۶-۱ طیف فوریه
۸۲	۴-۴-۱۶-۱ طیف قدرت
۸۲	۵-۴-۱۶-۱ طیف پاسخ

- ۸۷ ۵-۱۶-۱ پارامترهای طیفی
- ۸۷ ۱-۵-۱۶-۱ پرپود غالب
- ۸۷ ۲-۵-۱۶-۱ پهنای باند
- ۸۷ ۳-۵-۱۶-۱ فرکانس مرکزی
- ۸۸ ۴-۵-۱۶-۱ فاکتور شکل
- ۸۸ ۵-۵-۱۶-۱ پارامترهای کانای و تاجیمی
- ۹۰ ۱۷-۱ شرحی بر مطالعات لرزه‌خیزی ساختگاه (تحلیل خطر لرزه‌ای)
- ۹۶ ۱-۱۷-۱ چشمه‌های لرزه‌ای
- ۹۸ ۲-۱۷-۱ لرزه‌خیزی
- ۱۰۰ ۳-۱۷-۱ کاهندگی شتاب و سرعت
- ۱۰۱ ۱-۳-۱۷-۱ رابطه پیر و همکاران (۱۹۹۷)
- ۱۰۵ ۲-۳-۱۷-۱ روابط کمیل (۱۹۹۷)
- ۱۰۹ ۳-۳-۱۷-۱ روابط کاهندگی برای فلات ایران
- ۱۱۵ ۴-۳-۱۷-۱ روابط جدید کاهندگی NGA
- ۱۱۸ ۴-۱۷-۱ انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها به‌منظور انجام تحلیل‌های دینامیکی
- ۱۱۹ ۱-۴-۱۷-۱ تعداد شتاب‌نگاشت‌ها
- ۱۱۹ ۲-۴-۱۷-۱ مدت زمان حرکت شدید زمین
- ۱۱۹ ۳-۴-۱۷-۱ مقیاس‌سازی رکوردهای زلزله
- ۱۲۳ ۱۸-۱ برخی از مباحث ویژه در مهندسی زلزله
- ۱۲۳ ۱-۱۸-۱ زلزله‌های میدان نزدیک
- ۱۲۶ ۱-۱-۱۸-۱ اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده
- ۱۲۷ ۲-۱-۱۸-۱ اثر جهت‌پذیری پس‌رونده
- ۱۲۸ ۳-۱-۱۸-۱ اثر جهت‌پذیری خشی
- ۱۳۲ ۱-۱-۱۸-۱ تأثیر زلزله‌های میدان نزدیک بر پارامترهای جنبش نیرومند زمین
- ۱۳۸ ۴-۲-۱۸-۱ پرپود پالس در زلزله‌های حوزه نزدیک
- ۱۴۰ ۲-۱۸-۱ خطر گسلش سطحی
- ۱۵۲ ۱-۲-۱۸-۱ مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی پدیده گسلش و تأثیر آن بر سازه‌ها

۱-۱۸-۲ طراحی پی و سازه در مواجهه با خطر گسلش سطحی (ضوابط ساخت و ساز در پهنه‌های گسلی کلان-شهرها، ۱۳۹۹) ۱۵۷

۱-۱۸-۳ رویکردهای کاهش اثرات گسلش بر شالوده‌ها ۱۵۸

۱-۱۸-۳ کاربرد جداسازهای لرزه‌ای در مهندسی ژئوتکنیک ۱۶۲

۱-۱۸-۳ استفاده از ژئوستتیک‌های مصنوعی نرم به عنوان جداسازهای لرزه‌ای ۱۶۴

۱-۱۸-۲ استفاده از سیستم جداساز دورانی در فونداسیون‌ها ۱۷۰

۱-۱۸-۴ طراحی بر مبنای عملکرد لرزه‌ای ۱۷۲

۱-۱۸-۴ معیار خرابی ۱۷۵

۱-۱۸-۲ تحلیل لرزه‌ای ۱۷۷

۱-۱۸-۳ تعیین زلزله طرح ۱۷۸

۱-۱۸-۵ مقدمه‌ای بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای (منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای) ۱۸۰

۱-۱۸-۵ نحوه تولید منحنی‌های شکنندگی ۱۸۳

۱-۱۸-۲ فرمول‌بندی منحنی‌های شکنندگی (آنالیز شکست) ۱۸۶

تمرین‌های فصل اول ۱۹۰

فصل ۲: مروری بر رفتار خاک‌ها تحت اثر بارهای دینامیکی ۱۹۵

۱-۲ مقدمه ۱۹۵

۲-۲ طبقه‌بندی انواع رفتار خاک ۱۹۵

۱-۲-۲ رفتار کشسان (الاستیک) ۱۹۶

۲-۲-۲ رفتار خمیری (پلاستیک) ۱۹۶

۳-۲ رفتار تناوبی خاک‌ها در محدوده کرنش‌های کم تا متوسط ۱۹۶

۴-۲ مدل‌های خطی ۲۰۰

۱-۳-۲ مدل کلوین-ویت ۲۰۱

۲-۴-۲ مدل ماکسول ۲۰۲

۳-۴-۲ مدل کلوین غیر ویسکوز ۲۰۴

۵-۲ مدل‌های غیر خطی ۲۰۵

۱-۵-۲ مدل‌های غیر خطی تناوبی ۲۰۶

- ۲۰۸ ۲-۱-۵-۱ مدل هذلولی (هایپرولیک)
- ۲۱۴ ۲-۱-۵-۲ مدل رمبرگ-ازگود
- ۲۱۹ ۲-۱-۵-۳ مدل اصلاح شده پیشنهادی هشاش و فیلیپس (۲۰۰۹)
- ۲۲۰ ۲-۶-۱ مدل‌های رفتاری پیشرفته
- ۲۲۱ ۲-۶-۱-۱ ساختار کلی مدل‌های رفتاری الاستیک، پلاستیک کلاسیک
- ۲۲۱ ۲-۶-۱-۱-۱ سطح تسلیم
- ۲۲۲ ۲-۶-۱-۲ قانون جریان
- ۲۲۴ ۲-۶-۱-۳ قوانین سخت‌شوندگی و نرم‌شوندگی
- ۲۲۶ ۲-۶-۱-۴ انطباق محورها
- ۲۲۷ ۲-۶-۲ حالت‌های خاص
- ۲۲۷ ۲-۶-۲-۱ مدل‌های الاستو-پلاستیک کامل
- ۲۲۸ ۲-۶-۲-۲ مدل‌های الاستو-پلاستیک با سخت‌شوندگی همسان
- ۲۲۹ ۲-۶-۲-۳ مدل‌های الاستو-پلاستیک با سخت‌شوندگی سینماتیکی
- ۲۲۹ ۲-۶-۳ مدل‌های رفتاری توسعه‌یافته
- ۲۳۰ ۲-۶-۳-۱ پلاستیسیته با سطح مرزدار
- ۲۳۱ ۲-۶-۳-۲ مدل‌های چند سطحی
- ۲۳۴ ۲-۶-۳-۳ مدل‌های سطح مرزدار
- ۲۳۶ ۲-۶-۳-۴ مدل‌های حبابی
- ۲۳۷ ۲-۷-۱ مدل‌های روانگرایی و کاهش مقاومت (نرم‌شوندگی) خاک
- ۲۳۷ ۲-۷-۱-۱ مدل‌های روانگرایی خاک‌های دانه‌ای
- ۲۳۸ ۲-۷-۱-۱-۱ مدل PDMYOZ
- ۲۳۹ ۲-۷-۱-۱-۲ مدل UBCSand
- ۲۴۰ ۲-۷-۱-۱-۳ مدل Norsand
- ۲۴۲ ۲-۷-۱-۱-۴ مدل منظری و دافالیاس (M-D)
- ۲۴۳ ۲-۷-۱-۱-۵ مدل PM4Sand
- ۲۴۴ ۲-۷-۱-۱-۶ مدل فین
- ۲۴۶ ۲-۷-۱-۱-۷ مدل SANISAND

۲۴۷	۲-۷-۲ مدل های کاهش مقاومت (نرم شوئندگی) خاک های ریزدانه
۲۴۷	۱-۲-۷-۲ مدل سطح مرزدار SANICLAY
248	۲-۲-۷-۲ مدل PM4Silt
۲۴۸	۳-۷-۲ مقایسه مدل های روانگرایی در خاک های دانهای
۲۵۱	۴-۷-۲ مقایسه مدل های کاهش مقاومت در خاک های ریزدانه
۲۵۲	۵-۷-۲ پروژه های ولکس و لپ
۲۵۷	تمرین های فصل دوم
۲۵۹	فصل ۳: تحلیل لرزه ای پاسخ زمین
۲۵۹	۱-۳ مقدمه
۲۶۳	۲-۳ اثرات لرزه ای ساختمانگاه
۲۶۴	۳-۳ اثرات لرزه ای یک بعدی ساختمانگاه
۲۶۷	۱-۳-۳ محاسبه تابع تبدیل به روش خطی
۲۶۷	۱-۱-۳-۳ محاسبه تابع تبدیل در خاک یکنواخت بر بستر سنگی صلب
۲۷۷	۲-۱-۳-۳ تعیین پیوند اساسی (مشخصه یا طبیعی) خاک های لایه ای
۲۸۸	۳-۱-۳-۳ خاک میرا کننده و یکنواخت واقع بر سنگ بستر الاستیک
۲۹۷	۴-۱-۳-۳ خاک لایه ای با میرایی واقع بر سنگ بستر الاستیک
۳۰۴	۲-۳-۳ معرفی سنگ بستر لرزه ای
۳۰۶	۳-۳-۳ روش خطی معادل در تحلیل لرزه ای پاسخ ساختمانگاه
۳۱۳	۱-۲-۳-۳ آنالیز معکوس ساختمانگاه
۳۱۸	۴-۳-۳ روش غیرخطی در تحلیل لرزه ای پاسخ ساختمانگاه
۳۲۷	۵-۳-۳ تأثیر لایه های سست روانگرا بر پاسخ لرزه ای ساختمانگاه
۳۳۱	۶-۳-۳ بزرگنمایی حرکت قائم زمین
۳۳۱	۷-۳-۳ تأثیر ستون آب بر تحریک حرکات لرزه ای عمودی زمین (مطالعات اثرات ساختمانگاه در دریا و آب های عمیق)
۳۳۲	۸-۳-۳ مطالعات میدانی جهت ارزیابی اثرات ساختمانگاه (اندازه گیری های میکروترمور)
۳۳۴	۱-۸-۳-۳ روش مقادیر طیفی
۳۴۱	۹-۳-۳ مطالعات ریز پهنه بندی

۳۴۶	۱۰-۳-۳ بررسی اثرات یک‌بعدی ساختمان‌ها در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای
۳۵۵	۱۰-۳-۳ مفهوم ضریب بازتاب (B)
۳۶۰	۲-۱۰-۳-۳ طیف طرح ویژه ساختمان‌ها
۳۶۲	۴-۳ تحلیل دوبعدی و سه‌بعدی اثرات ساختمان‌ها
۳۶۴	۱-۴-۳ اثرات توپوگرافی در پاسخ لرزه‌ای سطح زمین
۴۰۵	۲-۴-۳ در نظرگیری اثرات توپوگرافی در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای
۴۱۳	تمرین‌های فصل سوم
۴۱۹	پیوست فصل سوم
۴۱۹	پیوست ۱-۳ انتشار امواج در تحلیل دو بعدی اثرات ساختمان‌ها (توپوگرافی شیروانی)
۴۲۱	پیوست ۲-۳ (توابع بسل)
۴۲۳	فصل ۴: اندرکنش دینامیکی خاک و سازه
۴۲۳	۱-۴ مقدمه
۴۳۰	۲-۴ اندرکنش خاک-سازه-سازه
۴۳۱	۳-۴ تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر پارامترهای سازه
۴۳۱	۱-۳-۴ میرایی
۴۳۱	۱-۱-۳-۴ میرایی تشعشعی (هندسی)
۴۳۲	۲-۱-۳-۴ میرایی مصالح (هیستریزیس)
۴۳۴	۲-۳-۴ زمان تناوب سازه (پریود سازه)
۴۳۴	۳-۳-۴ تغییر مکان سازه
۴۳۵	۴-۴ مکانیزم‌های اندرکنش دینامیکی خاک و سازه
۴۳۵	۱-۴-۴ اندرکنش اینرسی
۴۳۷	۲-۴-۴ اندرکنش سینماتیکی
۴۳۹	۵-۴ روش‌های تحلیل اندرکنش خاک و سازه
۴۳۹	۱-۵-۴ روش مستقیم
۴۴۰	۱-۱-۵-۴ اندازه و ابعاد المان‌ها
۴۴۱	۲-۱-۵-۴ مرزهای جانبی مدل عددی

- ۴۴۸ ۳-۱-۵-۴ مرزهای تحتانی مدل‌های عددی
- ۴۵۰ ۴-۱-۵-۴ مرزهای کاملاً تطبیق یافته (PMI)
- ۴۶۷ ۲-۵-۴ روش زیر سازه
- ۴۷۰ ۱-۲-۵-۴ فرمولاسیون روش زیر سازه
- ۴۷۹ ۲-۲-۵-۴ جداسازی اندرکنش سینماتیکی و اینرسی در روش زیرسازه
- ۴۷۹ ۲-۲-۵-۴ حل سیستم یک درجه آزادی با در نظرگیری اندرکنش خاک-سازه (اندرکنش اینرسی) ۴۸۳
- ۴۹۴ ۴-۲-۵-۴ توضیحات تکمیلی پیرامون مدل‌سازی بستر با فتر و میراگر (تابع امپدانس)
- ۵۱۵ ۵-۲-۵-۴ مدل‌سازی زیر سازه به روش مخروط
- ۵۱۷ ۴-۲-۵-۴ مدل مخروطی انتقالی برای پی‌های سطحی
- ۵۱۷ ۴-۲-۵-۴ مدل مخروطی چرخشی دورانی برای پی‌های سطحی
- ۵۱۹ ۶-۴ حل مسائل اندرکنش خاک-سازه با روش‌های عددی
- ۵۲۰ ۱-۶-۴ روش ترکیبی المان‌های محدود و المان‌های نامحدود
- ۵۲۲ ۲-۶-۴ روش اجزای محدود و اجزای مرزی
- ۵۲۴ ۷-۴ بررسی نکات آیین‌نامه‌ای اندرکنش خاک و سازه
- ۵۲۵ ۱-۷-۴ نشریه (NIST(2012
- ۵۲۵ ۱-۷-۴ اندرکنش اینرسی
- ۵۳۱ ۲-۷-۴ تعیین تابع امپدانس
- ۵۵۵ ۳-۱-۷-۴ مدل‌سازی شمع‌ها به روش عناصر گسسته
- ۵۵۶ ۴-۱-۷-۴ مدل‌های اندرکنش غیرخطی خاک-سازه
- ۵۵۹ ۵-۱-۷-۴ اندرکنش سینماتیک در شالوده‌های سطحی
- ۵۶۳ ۶-۱-۷-۴ روش ساده به منظور محاسبه جابجایی سینماتیکی (ایگوچی، ۱۹۸۲-قناد، ۱۳۸۶)
- ۵۷۱ ۷-۱-۷-۴ روابط در نظرگیری اثر سختی فونداسیون در محل تماس (اثر تعدیل پایه‌ی پی)
- ۵۷۳ ۸-۱-۷-۴ روابط در نظرگیری اثر عمق مدفون
- ۵۷۵ ۹-۱-۷-۴ کاربرد و استفاده از تابع انتقال (H_p) در اصلاح طیف
- ۵۷۷ ۱۰-۱-۷-۴ اندرکنش سینماتیکی در شالوده‌های عمیق (ترنر و همکاران، ۲۰۱۷)
- ۵۸۳ ۲-۷-۴ دستورالعمل‌های FEMA
- ۵۸۵ ۱-۲-۷-۴ ضریب اثر تعدیل پایه (RRS_{pb})

- ۵۸۷ ۲-۷-۴ ضریب اثر عمق مدفون پی (RRS).....
- ۵۹۲ ۳-۷-۴ گام‌های محاسبه اثر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ سازه‌ها مطابق دستورالعمل FEMA440.....
- ۵۹۶ ۳-۷-۴ آیین‌نامه (ASCE7-16 (2017).....
- ۵۹۶ ۱-۳-۷-۴ اندرکنش اینرسی.....
- ۶۰۳ ۲-۳-۷-۴ اندرکنش سینماتیکی.....
- ۶۱۲ ۴-۷-۴ ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰.....
- ۶۱۳ ۱-۴-۷-۴ نیروی برشی پایه.....
- ۶۱۳ ۲-۴-۷-۴ زمان تناوب مؤثر سازه.....
- ۶۱۵ ۳-۴-۷-۴ میرایی مؤثر.....
- ۶۲۰ ۸-۴ اندرکنش لرزه‌ای تونل‌ها و سازه‌های زیرزمینی.....
- ۶۲۴ ۱-۸-۴ تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها به روش میدان آزاد.....
- ۶۳۳ ۲-۸-۴ تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها به روش شبه استاتیکی.....
- ۶۳۵ ۳-۸-۴ تحلیل استاتیکی معادل ساده شده.....
- ۶۳۷ ۱-۳-۸-۴ روش دستورالعمل FHWA-NJ(2005).....
- ۶۴۶ ۴-۸-۴ تحلیل لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های عددی.....
- ۶۴۶ ۵-۸-۴ تحلیل لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی در راستای طولی.....
- ۶۴۸ ۱-۵-۸-۴ روش‌های تحلیل لرزه‌ای طولی سازه‌های زیرزمینی.....
- ۶۵۱ ۶-۸-۴ دیگر عوامل خرابی‌های لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی.....
- ۶۵۲ ۷-۸-۴ آسیب‌پذیری لرزه‌ای تونل‌ها با استفاده از توابع و نمودارهای شکنندگی.....
- ۶۵۵ تمرین‌های فصل چهارم.....
- ۶۶۱ پیوست ۱-۴ (سیستم‌های چند درجه آزادی).....
- ۶۶۲ پیوست ۲-۴ معادله‌ی تعادل دینامیکی سیستم‌های چند درجه آزادی با در نظرگیری اندرکنش خاک-سازه به روش زیر سازه (قناد، ۱۳۸۶).....
- ۶۶۵ پیوست ۳-۴ (آنالیز مودال در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها).....
- ۶۷۷ پیوست ۴-۴ راه حل‌های تحلیلی محاسبه نیروهای داخلی لرزه‌ای تونل‌ها.....

فصل ۵: پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها	۶۸۱
۱-۵ مقدمه	۶۸۱
۲-۵ تحلیل پایداری استاتیکی شیروانی‌ها	۶۸۹
۱-۲-۵ روش تعادل حدی	۶۸۹
۲-۲-۵ روش تحلیل حدی (LAM)	۶۹۲
۳-۲-۵ روش مشخصه‌های تنش	۶۹۳
۴-۲-۵ تحلیل‌های تنش-تغییر شکل	۶۹۴
۳-۵ تحلیل پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها	۶۹۵
۱-۳-۵ تحلیل شبه استاتیکی	۶۹۷
۱-۱-۳-۵ شیروانی بی‌نهایت (نامحدود)	۶۹۸
۲-۱-۳-۵ گسیختگی صفحه‌ای	۷۰۱
۳-۱-۳-۵ گسیختگی محدب صفحه‌ای	۷۰۴
۴-۱-۳-۵ گسیختگی منحنی شکل	۷۰۸
۵-۱-۳-۵ انتخاب ضریب افقی لرزه‌ای برای تحلیل شبه استاتیکی	۷۱۳
۶-۱-۳-۵ ضریب قائم لرزه‌ای در روش شبه استاتیکی	۷۲۹
۷-۱-۳-۵ تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک برای بررسی پایداری شیروانی‌ها به روش شبه استاتیکی	۷۳۱
۸-۱-۳-۵ ضرایب اطمینان مجاز در مراجع مختلف	۷۳۴
۹-۱-۳-۵ محدودیت‌های روش شبه استاتیکی	۷۳۵
۴-۵ روش‌های برآورد تغییر مکان شیروانی‌ها و انتخاب نوع تحلیل	۷۳۷
۱-۴-۵ تحلیل بلوک لغزنده نیومارک	۷۴۰
۱-۱-۴-۵ محدودیت‌های روش نیومارک	۷۵۹
۲-۱-۴-۵ روش نیومارک اصلاح شده	۷۶۱
۲-۴-۵ تحلیل مونونوبه برای پایداری سدهای خاکی (مدل تیر برشی)	۷۶۲
۳-۴-۵ تحلیل روش گزئاس (۱۹۸۲) برای پایداری سدهای خاکی	۷۶۸
۴-۴-۵ تحلیل مکدبسی-سید برای تحلیل دینامیکی سدهای خاکی	۷۷۲
۵-۵ رفتار لرزه‌ای شیروانی‌های خاک مسلح	۷۸۱

۷۸۷	۵-۶ کلیات مدل‌سازی شیروانی‌ها و سدهای خاکی به روش عددی
۷۸۸	۵-۶-۱ مدل‌سازی پی سد
۷۸۹	۵-۶-۲ دو یا سه بعدی بودن هندسه مدل
۷۹۱	۵-۷ معرفی روش‌های پایدارسازی شیروانی‌ها و زمین لغزش‌ها
۷۹۱	۵-۷-۱ اجتناب از خطر
۷۹۱	۵-۷-۲ اصلاح شیروانی
۷۹۱	۵-۷-۲-۱ اصلاح هندسی دامنه شیروانی
۷۹۳	۵-۷-۲-۲ اصلاح هیدرولوژیکی
۷۹۷	۵-۷-۲-۳ روش اصلاح حرارتی
۷۹۷	۵-۷-۳ پایدارسازی شیروانی‌های خاکی
۸۰۳	تمرین‌های فصل پنجم
۸۱۱	مراجع