

تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی

مرتضی اسماعیلی

فائز بشیری راد



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

تحلیل و طراحی لرندهای سازه‌های زیرزمینی

تألیف مرتضی اسماعیلی، فائز بشیری‌راد

ناشر: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۳

شمارگان: ۲۰۰

بها: ۱۵۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۱۰-۳ ISBN 978-964-208-110-3

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲، ۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منبری جاوید (اردیبهشت) - ساختمان ۲۵۳ طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶ پست الکترونیکی: publication@mehr.sharif.edu

یادداشت: کتابخانه.	سرشناسه: اسماعیلی، مرتضی.
یادداشت: نمایه.	عنوان و نام‌پدیدآور: تحلیل و طراحی لرندهای سازه‌های زیرزمینی / تألیف مرتضی اسماعیلی، فائز بشیری‌راد.
موضوع: ساختمان‌سازی زیرزمینی - اثر زلزله.	مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۳.
موضوع: ساختمان‌سازی زیرزمینی - طرح و ساختمان.	مشخصات فراهری: ۳۲۲ ص.، مصور، جدول، نمودار.
شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.	شابک: 978-964-208-110-3
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۳ ۳۵۵الف: TAV۱۷۲.	وضعیت فهرست نویسی: فیا.
رده‌بندی دیویی: ۶۲۴/۱۹	یادداشت: واژه‌نامه.
شماره کتابشناسی ملی: ۳۶۰۳۷۱۷	

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

پیشگفتار

۱ فلسفه طراحی لرزه‌ای

۱-۱ مقدمه

۲-۱ اهمیت طراحی لرزه‌ای

۳-۱ تحلیل و طرح لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی

۴-۱ خلاصه‌ای از کارایی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی

۵-۱ مطالعات صورت گرفته بر روی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی

۶-۱ عملکرد تأسیسات زیرزمینی طی رخدادهای لرزه‌ای

۷-۱ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۲ مشخصات محیط لرزه‌ای

۱-۲ مقدمه

۲-۲ آسیب‌های لرزه‌ای

۳-۲ تعریف محیط لرزه‌ای

هفت

۱

۲

۳

۴

۸

۸

۱۵

۲۸

۳۱

۳۲

۳۴

۳۶

۴۰	۴-۲ تعیین شدت حرکات زمین برای طراحی
۴۹	۵-۲ ضوابط زمین لرزه طراحی
۵۰	۶-۲ پارامترهای حرکتی زمین
۵۶	۷-۲ مشخصات پایه حرکت زمین

۶۹	۳ روش‌های متداول در طرح لرزه‌ای تونل‌ها
۶۹	۱-۳ مقدمه
۶۹	۲-۳ اثرات عمومی زلزله
۷۳	۳-۳ روش مهندسی برای تحلیل و طراحی لرزه‌ای
۷۷	۴-۳ طرح لرزه‌ای در مقایسه با طراحی متداول
۷۸	۵-۳ مقایسه سازه‌های سطحی و سازه‌های زیرزمین
۸۲	۶-۳ ضوابط بارگذاری
۸۷	۷-۳ طراحی رایج تونل‌ها
۸۷	۸-۳ انواع تغییر شکل‌ها
۸۹	۹-۳ روش کارردی برای توصیف رفتار محیط

۱۰۳	۴ بررسی اثر بیضی‌شدگی تونل‌های دایره‌ای
۱۰۴	۱-۴ مقدمه
۱۰۴	۲-۴ تأثیر بیضی‌شدگی
۱۰۵	۳-۴ تغییر شکل‌های برشی در میدان آزاد
۱۰۵	۴-۴ معادلات ساده‌شده برای محاسبه تغییر شکل‌های برشی
۱۱۰	۵-۴ بررسی اندرکنش در تغییر شکل‌های بیضی‌شدگان تونل‌های دایره‌ای

۱۱۷	۵ بررسی اثر لوزی‌شدگی تونل‌های مستطیلی
۱۱۸	۱-۵ مقدمه
۱۱۹	۲-۵ اثرات لوزی‌شدگی
۱۲۰	۳-۵ تغییر شکل تونل‌های مستطیلی در میدان آزاد به فرم لوزی‌شدگی
۱۲۵	۴-۵ روش اندرکنش خاک - سازه
۱۲۸	۵-۵ لوزی‌شدگی سازه‌ای و ضریب لوزی‌شدگی
۱۳۳	۶-۵ فرایند گام‌به‌گام طراحی
۱۳۷	۷-۵ روش‌های فشار دینامیکی زمین
۱۳۹	۸-۵ نکاتی در طراحی

۱۴۱ ۶ کاربرد روش‌های عددی در طرح لرزه‌ای تونل‌ها

۱۴۲ ۱-۶ روش‌های عددی

۱۴۹ ۲-۶ تحلیل شبه‌استاتیکی به روش تفاضل محدود با نرم‌افزار FLAC

۱۵۵ ۳-۶ تحلیل دینامیکی با روش اجزای محدود به کمک نرم‌افزار FLUSH

۱۷۷ ۷ مباحث ویژه در طرح لرزه‌ای تونل‌ها

۱۷۸ ۱-۷ مقدمه

۱۷۸ ۲-۷ اتصالات تونل در ایستگاه‌ها و پرتال‌ها

۱۸۰ ۳-۷ طراحی اتصال قطعات تونل

۱۸۰ ۴-۷ بهسازی لرزه‌ای تأسیسات موجود

۱۸۲ ۵-۷ نکاتی در خصوص طراحی اجزای سازه‌ای پوشش

۱۸۶ ۶-۷ استراتژی‌های طرح بهسازی در برابر ارتعاشات لرزه‌ای

۲۰۷ ۷-۷ استراتژی طرح بهسازی در برابر گسیختگی زمین

۲۲۳ ۸-۷ روش‌های کم‌ارتعاش بهسازی خاک

۲۳۳ ۸ مثال‌های طراحی

۲۳۴ ۱-۸ مقدمه

۲۳۴ ۲-۸ تونل مترو لس‌آنجلس

۲۳۶ ۳-۸ تونلی دیگر از مترو لس‌آنجلس

۲۳۸ ۴-۸ مثالی دیگر از تونل‌های مترو لس‌آنجلس

۲۴۰ ۵-۸ پوشش تونل در خاک نرم

۲۴۴ ۶-۸ کاربرد روش تحلیل تیر بر بستر ارتجاعی

۲۴۶ ۷-۸ تغییر شکل بیضی‌شدگی تونل دایره‌ای

۲۵۰ ۸-۸ تغییر شکل تونل مستطیلی

۲۵۱ ۹-۸ تحلیل و بهسازی لرزه‌ای تونل دایره‌ای

۲۸۵ منابع

۲۹۳ واژه‌نامه انگلیسی - فارسی

۳۰۱ واژه‌نامه فارسی - انگلیسی

۳۰۹ فهرست راهنما

پیشگفتار

هرچند مطالعات و بررسی‌های محققان نشان‌دهندهٔ ایمن‌تر بودن سازه‌های زیرزمینی در هنگام زمین‌لرزه در مقایسه با سازه‌های روسطحی است، وقوع زمین‌لرزه‌های شدید نشان داده است که می‌تواند منجر به آسیب‌های فاجعه‌آمیزی در سازه‌های زیرزمینی به‌عنوان بخشی از مجموعه تأسیسات حیاتی کشورها شود. بنابراین ارائهٔ مجموعهٔ مدونی که امکان تحلیل و طراحی دقیق این سازه‌ها را در برابر اثرات ناشی از زمین‌لرزه فراهم آورد، امری ضروری به‌نظر می‌رسید. در این راستا مجموعه مطالب به‌روز گردآوری شده در این زمینه در قالب کتاب حاضر و به شکلی کاربردی ارائه شده است.

در بخش‌های مقدماتی این نوشتار پس از مروری بر مشاهدات تاریخی در خصوص رفتار لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی و معرفی مبانی ژئوتکنیک لرزه‌ای، روند رایج تحلیل لرزه‌ای تونل‌ها ارائه شده است. در بخش دیگری از کتاب با توجه به شکل غالب فضاهای زیرزمینی و با نگاه ویژه به اندرکنش خاک و سازه، به دو پدیدهٔ بیضی‌شدگی تونل‌های دایره‌ای‌شکل و لوزی‌شدگی فضاهای زیرزمینی با شکل مستطیلی در اثر عبور امواج زلزله پرداخته شده است. در قسمت دیگری از کتاب در قالب مثالهایی به کاربرد روش‌های عددی در تحلیل لرزه‌ای فضاهای زیرزمینی اشاره شده و نتایج آنها با

روش‌های تحلیلی موجود مقایسه گردیده است. در قسمت پایانی کتاب نیز علاوه بر ارائه ملاحظات ویژه در طرح لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی، مثالهایی دستی جهت درک بیشتر محاسبات و روش‌های تحلیلی آورده شده است.

امید است تلاش صورت‌گرفته، نخستین گام‌ها در راهی باشد که انجام فعالیت‌های جدی‌تر در راستای ارتقای ایمنی فضاها و زیرزمینی در برابر حوادث طبیعی از قبیل زمین‌لرزه را در پی داشته باشد.

در اینجا از زحمات سرکار خانم مهندس پگاه اسماعیلی به خاطر کمک‌های ارزشمند و مؤثر ایشان در به تحریر در آمدن این کتاب صمیمانه سپاسگذاریم.

مرتضی اسماعیلی

فائز بشیری‌راد

تابستان ۹۳