



اصول مهندسی زلزله

دکتر حمزه شکیب

(استاد دانشگاه تربیت مدرس)

مدی علمیرضایی

(دانشجوی دکتری سازه - پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله)

پاییز ۱۳۹۰

سرشناسه	:	شکيب، حمزه، ۱۳۴۰ -
عنوان و نام پديدآور	:	اصول مهندسی زلزله / حمزه شکيب، مهدی عليرضایی.
مشخصات نشر	:	تهران: آذرين مهر، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهري	:	ج. ۱، ۶۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۴-۰۳-۷
وضعيت فهرست نويی	:	فيا
يادداشت	:	کتابنامه: ص. ۶۷۸ - ۶۹۰.
موضوع	:	زلزله -- مهندسی
موضوع	:	ساختمان ها -- اثر زلزله
شناسه افزوده	:	عليرضایی، مهدی، ۱۳۶۲ -
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۰ ش ۸۸/۴/۶/۴ TA۶۵۴۱۶
رده بندی ديویی	:	۶۲۲/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۲۵۸۲-۶۳
تاریخ درخواست	:	۱۳۹۰/۰۹/۲۱
تاریخ پاسخگویی	:	۱۳۹۰/۰۹/۲۳



عنوان کتاب: اصول مهندسی زلزله
مولف: حمزه شکيب، مهدی عليرضایی
ناشر: آذرين مهر
ناشر همکار: علمی کالج و فانوس اندیشه
نوبت چاپ: اول زمستان ۱۳۹۰
قیمت: ۱۷۵۰۰ تومان
تیراژ: ۱۰۰۰
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۴-۰۳-۷

کليه حقوق چاپ و نشر برای
پخش کتاب اترک محفوظ می باشد

مرکز پخش: تهران: خیابان انقلاب - خیابان وحید نظری بین فخر رازی و دانشگاه پلاک ۶۵ طبقه اول واحد ۴ - کتاب اترک
همراه ۰۹۱۹-۷۱۷۹۸۲۵ -- ۰۲۱-۶۶۴۷۵۷۱۸-۱۹
دفتر انتشارات:
تهران: خیابان انقلاب - خیابان وحید نظری بین فخر رازی و دانشگاه پلاک ۶۵ طبقه اول واحد ۴ - انتشارات آذرين مهر
۰۲۱-۶۶۹۷۸۰۲۹-۳۰

مهندسی زلزله،

- ✓ هنر استفاده از مصالحی است که تنها می‌توان خواص آنها را حدس زد.
- ✓ طراحی لرزه‌ای سازه‌هایی است که تنها می‌توان آنها را به صورت تقریبی تحلیل نمود.
- ✓ ایجاد مقاومت در برابر نیروهایی است که به صورت دقیق شناخته شده و دارای قطعیت نیستند.

پیشگفتار

شکر و سپاس خداوند، که این توفیق را به ما عطا کرد با ترجمه و تالیف این کتاب گامی هر چند ناچیز در جهت ادای وظیفه خود به جامعه علمی و دانشگاهی کشور برداریم. یکی از عوامل موثر در اعتلای سطح علمی دانشجویان و مهندسين عمران و ارتقاء دانش فنی مهندسان، وجود مراجع مفید در زمینه‌های مختلف این رشته می‌باشد. در طی ۵۰ سال گذشته تحقیقات زیادی در زمینه مهندسی زلزله شاهد بودیم. تحقیقات انجام شده بدون شک منشا تحولات بنیادی در آئین‌نامه‌های کشورها شده است. اما افزایش اطلاعات در مورد نحوه رفتار ساختمان‌ها در زلزله‌های اخیر، باعث نگرانی در مورد وضعیت لرزه‌ای حجم وسیعی از ساختمان‌های موجود کشور شده است که بدون اعمال توجه به ضوابط جدید ساخته شده‌اند. ما در کشورمان به طور متوسط در هر دهه شاهد وقوع زلزله‌های شدیدی بوده‌ایم که باعث خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری شده است. به طور متوسط در هر سال حدود ۱۰۰۰۰ نفر در سرتاسر جهان در اثر زلزله کشته می‌شوند. طبق برآوردهای انجام شده، در قرن بیستم، حدود ۱/۵ میلیون نفر در اثر زلزله جان خود را از دست داده‌اند و تعداد کشته‌های ناشی از زلزله در قرن بیستم و یکم حدود نیم میلیون نفر بوده است. زلزله عامل مرگ میر نیست، بلکه سازه‌های ساخته شده به دست بشر عامل مرگ میر انسان‌ها بوده‌اند. نخستین انگیزه مدرن برای لرزه شناسی، پس از زلزله بزرگ نئوپلیتن در ۱۸۵۷ در جنوب ایتالیا، از تحقیق میدانی گسترده مهندسی ایرلندی، رابرت مالت، ناشی شد. وی توضیح در مورد «توده‌های جابجا شده سنگ و ملات» را بر حسب اصول مکانیک آغاز کرد و کوشید تا واژه‌های اساسی از قبیل «لرزه شناسی»، «کانون زلزله» و «هم‌لرزه‌ای» را وضع کند. از آن وقت به بعد پیوند نزدیکی بین مهندسی و لرزه شناسی ادامه یافت. امروزه دانش مربوط به حرکات شدید زمین در حال پیشرفت سریع است و این تا حد زیادی ناشی از افزایش تعداد شتابنگارهای حرکات شدید زمین است که تقریباً در سراسر

مناطق زلزله خیز دنیا به طور مناسب قرار گرفته‌اند. برای مثال در «برنامه استفاده از شتابنگارهای حرکات شدید در کالیفرنیا، تا سال ۱۹۸۶، ۳۲۵ دستگاه در فضای آزاد، ۸۵ دستگاه در ساختمان‌ها و ۳۰ دستگاه دیگر در سازه‌ها نصب شد. بیش از ۲۰۰ نوار دیجیتالی ثبت شده و برای استفاده در پژوهش و یا در عمل موجود است. حفظ نفوس و سرمایه‌های ملی کشور نیازمند کسب آگاهی و اخذ تدابیر ویژه‌ای جهت رویارویی با این پدیده طبیعی است. تدوین آیین‌نامه لازم الاجرا طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، هر چند گام مهمی در بهبود وضعیت ساخت و ساز کشور بود، اما رعایت نکردن مفاد آن در ساخت و سازه‌های متداول، موجب خرابی‌های بسیاری شده است، بطوری که طبق گزارش‌های موجود از سال ۱۸۹۰ میلادی تاکنون بیش از ۲۰۰۰۰۰ نفر در ایران جان خود را در اثر زلزله از دست داده‌اند همانند آنچه در زمین‌لرزه طبرستان، بم و منجیل شاهد بودیم. علم مهندسی زلزله، با تمام پیشرفت‌های حاصل شده در آن، علم نوپا و جوانی است که نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. همچنین رشد و توسعه علوم کامپیوتری در دو بخش سخت افزار و نرم افزار، نقش موثری در پیشرفت این علم داشته است. با توجه به اینکه زلزله یک واقعیت زندگی در ایران است، بایستی با سلاحی مجهزتر به مقابله با این پدیده طبیعی رفت و با استفاده از تجربیات بدست آمده، از ناشناخته‌ها در این زمینه کاست. تفکر مقاوم سازی ساختمان‌ها به دلیل موفقیت چشمگیر در نجات انسان‌ها همچنان بی‌وقفه با شتابی روزافزون در حال پیشروی است. در کشورهای در حال توسعه ضعف اساسی در اطلاع رسانی و کاربرد نتایج تحقیقات در عمل است. لذا بر آن شدیم تا با گردآوری مجموعه‌ای کوچک از آخرین دستاوردهای پژوهشگران در زمینه مهندسی زلزله، این ضعف تا حدودی پوشانده شود. در کشور ما روز ۲۰ مهر به عنوان روز ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی نامگذاری شده است. لیکن برای رویارویی با این حوادث علاوه بر عزم ملی و آمادگی‌های فردی بایستی با افزایش اطلاع رسانی در این ارتباط هر روز بیش از پیش در جهت افزایش ایمنی و عدم آسیب پذیری در برابر این حوادث گام برداشت تهیه و آماده سازی این کتاب مدت زمان نسبتاً زیادی را بخود اختصاص داده است. سعی شده کتاب با حداقل اشکال منتشر شود. با این وصف وقوف کامل داریم که هر اثری خالی از اشکال نیست و نمی‌تواند رضایت کلیه دست‌اندرکاران را برآورده سازد ولی امیدواریم که رهگشایی برای کارهای بعدی باشد. در به کاربردن اصطلاحات فنی فارسی سعی شده لغت معادل به زبان انگلیسی در پایین صفحه آورده شود تا چنانچه اصطلاحات چندان گویا نبود، لغت معادل به زبان دیگر معنی را برساند و ضمناً با دانستن لغت لاتین، خواننده بتواند مطلب را در کتاب‌های مرجع انگلیسی جستجو کند. فرض بر آن است که خواننده با اصول تحلیل و طراحی سازه‌ها در حد درس‌های دوره کارشناسی آشناست و نیز تحلیل سیستم‌های نامعین استاتیکی، مباحث ریاضی تا حد معادلات دیفرانسیل مقدماتی و جبر ماتریسی مقدماتی را می‌داند. اگرچه سعی شده که مطالب ارائه شده در کتاب تا حد زیادی مستقل از آیین‌نامه‌های طراحی باشد، ولی در هر قسمت و پس از ارائه مفاهیم مرتبط، مطلب و نکات

آیین‌نامه‌ای در زمینه مربوط به صورت مجزا قید شده است. این کتاب حاوی مثال‌های حل شده نسبتاً زیادی است که در تنظیم مثال‌ها تلاش شده تا نکات ویژه گنجانده شود. امید است جامعه مهندسين عمران و کلیه متخصصین در این ارتباط، بیش از گذشته به اصول حرفه‌ای و تخصص خویش پایبند باشند، چرا که هر گونه کوتاهی در این زمینه تهدیدی جدی برای جان انسان‌هاست. در نوشتن مثال‌ها سعی شده تا حد امکان مثال‌های عددی به صورت کاربردی در متن گنجانده شوند. همچنین اعمال ضوابط آیین‌نامه‌ها سعی شده در درجه اول از آیین‌نامه‌ها داخلی استفاده شود و در مواردی که توصیه‌ای در آیین‌نامه‌های داخلی در ارتباط با آن ضابطه وجود نداشته است از آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی استفاده شده است. این مجموعه را به رسم حق شناسی به تمامی کسانی که در طول زندگی، ما را در رشد و بالندگی یاری نموده و مشوق و همراه ما بوده‌اند تقدیم می‌کنیم. دریافت نظرات، پیشنهادات و رهنمون‌های همکاران محترم، دانشجویان گرامی و خوانندگان عزیز موجب امتنان است.

شکیب - علیرضایی - پاییز ۱۳۹۰

Shakib@modares.ac.ir

M.Alirezaei@iies.ac.ir

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مشخصات زلزله
۱	۱-۱ تئوری صفحات زمین ساخت
۱۰	۲-۱ لرزه خیزی ایران
۱۷	۳-۱ توزیع جغرافیایی زلزله‌های جهان
۲۳	۴-۱ مهمترین رویدادهای لرزه‌ای اخیر
۳۶	۵-۱ تاریخچه زلزله‌های شدید در ایران
۳۸	۶-۱ گسلش
۴۷	۷-۱ امواج زلزله
۵۴	۸-۱ اندازه‌گیری زلزله
۷۹	۹-۱ اثرات سایت و منبع لرزه‌زا
۸۷	۱۰-۱ روانگرایی
۹۲	۱۱-۱ نیت حرکات زمین
۹۳	۱۲-۱ مشخصات جنبش نیرومند زمین
۱۰۱	۱۳-۱ جذر میانگین مربعات شتاب
۱۰۳	مراجع
۱۰۵	فصل دوم - دینامیک سازه‌ها
۱۰۵	۱-۲ کلیات
۱۰۶	۲-۲ سیستم‌های یک درجه آزادی
۱۰۸	۳-۲ روش‌های گسسته سازی
۱۱۴	۴-۲ سیستم‌های یک درجه آزادی
۱۲۷	۵-۲ واکنش نسبت به بارگذاری تناوبی
۱۲۸	۶-۲ سیستم‌های چند درجه آزادی
۱۳۲	مراجع
۱۳۳	فصل سوم - پاسخ سازه‌ها
۱۳۳	۱-۳ کلیات
۱۳۳	۲-۳ چهارچوب کلی
۱۴۶	۳-۳ خصوصیات پاسخ سازه
۲۰۷	مراجع
۲۰۸	فصل چهارم - حرکت زمین در حین زلزله
۲۰۸	۱-۴ کلیات
۲۰۹	۲-۴ وقوع زلزله و دوره بازگشت آن
۲۱۳	۳-۱ مدل‌های جنبش زمین (روابط کاهندگی)
۲۲۱	۴-۲ تحلیل تعینی خطر زلزله ($DSHA$)
۲۲۳	۵-۲ تحلیل احتمالاتی خطر زلزله ($PSHA$)
۲۲۹	۶-۴ طیف زلزله‌ها
۲۵۴	۷-۴ مولفه قائم حرکت زمین

۲۵۶	۸-۴ شبیه‌سازی رکوردهای زلزله
۲۶۲	مراجع
۲۶۳	فصل پنجم - ارزیابی پاسخ و روش‌های تحلیل
۲۶۳	۱-۵ کلیات
۲۶۳	۲-۵ چهارچوب کلی
۲۶۴	۳-۵ مدل سازی جنبش زمین و بارها
۲۶۴	۴-۵ روش استاتیکی معادل (براساس استاندارد ۲۸۰۰)
۲۶۸	۵-۵ تحلیل استاتیکی غیرخطی
۲۸۲	۶-۵ روش تحلیل طیفی
۲۹۵	۷-۵ تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی
۳۰۲	۸-۵ تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده (IDA)
۳۰۶	۹-۵ ترکیب بارهای لرزه‌ای
۳۱۰	۱۰-۵ مدلسازی سازه
۳۱۴	مراجع
۳۲۰	فصل ششم - اندرکنش خاک و سازه
۳۲۱	۱-۶ کلیات
۳۲۱	۲-۶ مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه اندرکنش خاک و سازه
۳۲۲	۳-۶ مشخصات دینامیکی خاک
۳۲۳	۴-۶ پاسخ سایت به زلزله
۳۲۹	۵-۶ روشهای پیشنهاد شده برای در نظر گرفتن اثرات برهم کنش خاک - سازه
۳۳۱	۶-۶ اثر اندرکنش خاک و سازه در آیین نامه NEHRP 2000 (روش تحلیل طیفی)
۳۳۴	۷-۶ الگوریتم پیشنهادی برای لحاظ نمودن اثرات اندرکنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل استاندارد ۲۸۰۰ ایران
۳۳۵	مراجع
۳۴۳	فصل هفتم - طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد
۳۴۴	۱-۷ کلیات
۳۴۴	۲-۷ طراحی به روش مقاومت
۳۴۶	۳-۷ بیان کلی طرح بر پایه عملکرد
۳۴۸	۴-۷ تحلیل خطر زلزله و طیف طراحی
۳۵۴	۵-۷ معیارهای پذیرش
۳۵۶	مراجع
۳۸۳	فصل هشتم - طراحی لرزه‌ای سازه‌ها
۳۸۲	۱-۸ کلیات
۳۸۲	۲-۸ رفتار سازه‌ها
۳۸۵	۳-۸ طبقه‌بندی سازه‌ها از نظر شکل
۳۸۶	۴-۸ سیستم‌های لرزه‌یر در ساختمان‌های
۳۸۹	۵-۸ داینامیک‌ها
۴۰۳	۶-۸ پیکربندی سازه
۴۰۷	۷-۸ ضوابط لرزه‌ای آیین نامه UBC97 و آیین نامه ۲۸۰۰
۴۰۸	

۲۰۹	۸-۸ ساختمان‌های نامنظم
۴۲۳	۹-۸ تیرویزی سقف
۴۲۴	۱۰-۸ مرکز جرم
۴۲۴	۱۱-۸ اثرات لنگر ثانویه
۴۷۱	مراجع
۴۷۲	فصل نهم - ساختمان‌های بنایی
۴۷۲	۱-۹ کلیات
۴۷۳	۲-۹ وضعیت ساختمانهای آجری و مصالح بنایی در کشور
۴۷۵	۳-۹ ساختمانهای بنایی غیر مسلح
۴۷۵	۴-۹ ساختمانهای بنایی کلاف بندی شده
۴۷۶	۵-۹ ساختمانهای آجری مرکب
۴۷۶	۶-۹ ساختمانهای بنایی مسلح
۴۷۷	۷-۹ عملکرد ساختمان‌های بنایی در برابر زلزله های اخیر کشور
۴۸۶	۸-۹ گسیختگی ساختمان‌های آجری
۴۸۷	۹-۹ آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی
۴۸۹	۱۰-۹ آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی و استاتیکی
۴۹۰	۱۱-۹ آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی
۴۹۱	۱۲-۹ مطالعات عددی
۴۹۵	۱۳-۹ دیوارهای آجری
۴۹۶	۱۴-۹ دیوارهای آجری مسلح
۵۰۰	مراجع
۵۰۱	فصل دهم - ساختمان‌های فولادی
۵۰۱	۱-۱۰ کلیات
۵۰۲	۲-۱۰ قلبه‌های خمشی
۵۱۵	۳-۱۰ قلبه‌های مهاربندی شده
۵۳۱	۴-۱۰ ساختمان‌های فولادی با اتصالات خورجینی
۵۹۳	مراجع
۵۹۵	فصل یازدهم - ساختمان‌های بتنی
۵۹۵	۱-۱۱ کلیات
۵۹۹	۲-۱۱ شکل‌پذیری قابهای بتنی مقاوم در برابر زلزله
۶۰۴	۳-۱۱ الزامات «مبحث نهم» در طراحی قاب‌های بتن مسلح مقاوم در برابر زلزله
۶۳۷	مراجع
۶۳۹	فصل دوازدهم - مباحث ویژه
۶۳۹	۱-۱۲ چیلسازی لرزه‌ای
۶۶۴	۲-۱۲ تحلیل و طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای
۶۷۴	۳-۱۲ روش‌های تقریبی در تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها
۶۷۸	مراجع