



مهندسی زلزله برای معماران



مولفان:

دکتر محمدقاسم وتر

عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مهدی سعیدیان

کارشناس ارشد مهندسی زلزله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مصطفی ایرانی‌پرست

کارشناس ارشد سازه دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران



و.تر، محمدقاسم، ۱۳۳۸ -	سرشناسه:
مهندسی زلزله برای معماران / مولفان محمدقاسم و.تر، مهدی سعیدیان، مصطفی ایرانی پرست.	عنوان و نام پدیدآور:
تهران: نوآور، ۱۳۹۸.	مشخصات نشر:
۳۴۴ص.	مشخصات ظاهری:
۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۷-۱	شابک:
فیبا	وضعیت فهرست نویسی:
Earthquake engineering -- مهندسی -- زلزله	موضوع:
Earthquakes -- ایران -- زلزله	موضوع:
Buildings -- Earthquake effects -- اثر زلزله	موضوع:
Concrete structures -- Earthquake effects* -- اثر زلزله	موضوع:
Earthquake effects -- Steel structures* -- اثر زلزله	موضوع:
Earthquake resistant design -- ساختمان های ضد زلزله	موضوع:
سعیدیان، مهدی، ۱۳۷۳ -	شناسه افزوده:
ایرانی پرست، مصطفی، ۱۳۷۳ -	شناسه افزوده:
۱۳۹۸ ۶/۶ و ۲/۹ TA۶۵۴	رده بندی کنگ:
۶۳۴/۱۷۶۲	رده بندی ربی:
۵۶۰۸۹۰۰	شماره کتابشناسی ملی:

مهندسی زلزله برای معماران

مولفان: دکتر محمدقاسم و.تر، مهدی سعیدیان، مصطفی ایرانی پرست



ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۸

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۷-۱

قیمت: ۶۲۰۰۰ تومان

مرکزیت

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

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و متحصراً متعلق به نشر
نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل
هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع
انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی، 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 می گیرند.

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/

فهرست مطالب

۱۳	مقدمه
۱۷	فصل اول / تاریخچه زمین لرزه
۱۷	۱. زلزله در افسانه‌های قدیم
۲۱	۲. ده مورد از شدیدترین و پر تلفات ترین زلزله‌های تاریخ
۲۵	فصل دوم / پدیده‌های بهنام زلزله
۲۵	۱. زلزله از دیدگاه تکتونیک
۲۶	۲. زمین و ساختار درونی آن
۲۷	۱-۲. جریان‌های همرفتی
۲۸	۲-۲. شناوری قاره‌ای
۲۸	۳. زمین لرزه
۳۰	۱-۳. امواج لرزه‌ای
۳۱	۴. ابزارهای اندازه‌گیری
۳۲	۱-۴. کاربرد لرزه‌نگاشت و شتاب‌نگاشت
۳۲	۵. شاخص‌های سنجش لرزش زمین
۳۲	۶. تلفات انسانی زمین لرزه‌های پیشین در دنیا
۳۴	۷. دلایل مرگبار شدن زلزله‌ها
۳۵	۸. مشکل زلزله در سراسر جهان
۳۶	۱-۸. ریسک شهری
۳۷	۲-۸. توزیع جغرافیایی زلزله‌ها
۳۸	۹. بزرگی و شدت زلزله
۳۸	۱-۹. واژه‌شناسی
۳۹	۲-۹. بزرگی زمین لرزه
۴۰	۱-۲-۹. راهنمای بزرگای زلزله
۴۱	۳-۹. شدت زمین لرزه
۴۳	۴-۹. تفاوت اصلی بزرگا در برابر شدت
۴۴	۱۰. هزینه‌های ناشی از وقوع زلزله
۴۴	۱-۱۰. هزینه‌های زلزله در سده گذشته
۴۶	۱۱. مکان‌یابی و ارزیابی خطر زلزله
۴۷	۱-۱۱. خطرات زمین لرزه وابسته به محل
۴۷	۱-۱-۱۱. تغییر شکل‌های بزرگ زمین
۴۸	۲-۱-۱۱. روانگرایی
۴۹	۳-۱-۱۱. زمین لغزش‌ها
۵۰	۴-۱-۱۱. سونامی و سیل
۵۱	۲-۱۱. بزرگنمایی لرزش‌های زمین
۵۲	۱۲. لرزه‌خیزی ایران

۵۲.....	۱-۱۲. زمین‌شناسی
۵۲.....	۲-۱۲. ساختار زمین ساختی

فصل سوم / مشخصات زلزله ۵۴

۵۴.....	۱. تعاریف مقدماتی
۵۴.....	۱-۱. پس‌لرزه
۵۴.....	۲-۱. پیش‌لرزه
۵۵.....	۲. تقسیم‌بندی زلزله‌ها
۵۵.....	۱-۲. تقسیم‌بندی زلزله بر اساس عمق کانونی
۵۵.....	۲-۲. تقسیم‌بندی زلزله بر اساس محل وقوع
۵۶.....	۳-۲. تقسیم‌بندی زلزله بر اساس بزرگای
۵۸.....	۴-۲. تقسیم‌بندی زلزله بر اساس فاصله از کانون زلزله
۵۹.....	۳. ویژگی‌ها و خصوصیات ارتعاشی زمین‌لرزه
۶۰.....	۱-۳. حداکثر حرکات ارتعاشی زمین
۶۱.....	۲-۳. مشخصات طیفی زلزله شامل مقادیر لیفی شتاب، سرعت و تغییر مکان
۶۳.....	۳-۳. مشخصات ارتعاشی زمین‌لرزه و محوای فکاسی آن
۶۳.....	۳-۴. مدت‌زمان تداوم زلزله
۶۴.....	۴. مشخصات زلزله از گله
۶۵.....	۵. عوامل مؤثر در شدت تخریب

فصل چهارم / ماهیت نیروهای لرزهای ۶۶

۶۶.....	۱. مقدمه
۶۸.....	۲. اثر زلزله بر ساختمان
۶۸.....	۱-۲. نیروی ماند (اینرسی) در ساختمان‌ها
۶۹.....	۲-۲. اثر تغییر شکل‌ها در سازه‌ها
۷۰.....	۳-۲. لرزش افقی و عمودی
۷۰.....	۴-۲. جریان نیروهای ماند به‌سوی پی‌ها
۷۱.....	۳. مدل‌سازی حرکت سازه

فصل پنجم / مسیرهای انتقال بار ۷۳

۷۳.....	۱. ارزیابی بار
۷۳.....	۱-۱. انواع بارهای وارد بر سازه
۷۵.....	۲-۱. بار ناشی از زلزله
۷۵.....	۱-۲-۱. تاریخچه
۷۷.....	۲. مسیر بار
۷۷.....	۱-۲. اهمیت مسیر بار
۷۸.....	۲-۲. دیافراگم‌های افقی
۷۹.....	۳-۲. اجزای عمودی
۷۹.....	۴-۲. الزامات کلیدی مسیرهای بار
۸۰.....	۵-۲. عوامل مختل‌کننده مسیرهای بار

۸۰.....	۱-۵-۲ ساختمان‌های با قاب خمشی.....
۸۲.....	۲-۵-۲ ساختمان‌های با دیوارهای سازه‌ای.....
۸۴.....	فصل ششم / ملزومات سازه.....
۸۴.....	۱. مقدمه.....
۸۵.....	۲. تعادل.....
۸۵.....	۳. پایداری.....
۸۷.....	۴. پایداری هندسی.....
۸۸.....	۵. وزن ساختمان.....
۸۹.....	۶. زمان تناوب طبیعی سازه.....
۹۲.....	۷. شکل‌های.....
۹۲.....	۸. میرایی.....
۹۳.....	۹. مقاومت.....
۹۴.....	۱۰. صلبیت و سختی.....
۹۴.....	۱۱. کاربری.....
۹۵.....	۱۲. سازه‌های بهینه.....
۹۶.....	۱۳. چهار معیار اساسی سازه موم لرزایی.....
۹۶.....	۱-۱۳. پیکربندی لرزه‌ای ساختمان.....
۹۷.....	۲-۱۳. سختی، مقاومت و شکل‌پذیری سازه.....
۹۷.....	۳-۱۳. معیار چهارگانه طراحی.....
۹۸.....	۴-۱۳. چه کسی این چهار خصوصیت را کنترل کند.....
۹۹.....	۵-۱۳. چگونه به این چهار خصوصیت دست‌یابی.....
۱۰۰.....	فصل هفتم / شکل‌پذیری.....
۱۰۰.....	۱. شکل‌پذیری مواد.....
۱۰۱.....	۲. رفتار اجزای سازه.....
۱۰۱.....	۳. سازه شکل‌پذیر.....
۱۰۳.....	۴. آسیب‌های قابل قبول.....
۱۰۳.....	۵. مصالح ساخت.....
۱۰۴.....	۶. کاربرد شکل‌پذیری در طراحی لرزه‌ای.....
۱۰۶.....	۷. مفهوم طراحی بر اساس ظرفیت.....
۱۰۷.....	۸. اثر انعطاف‌پذیری بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها.....
۱۰۷.....	۱-۸. نوسان سازه‌های انعطاف‌پذیر.....
۱۰۸.....	۲-۸. اهمیت انعطاف‌پذیری.....
۱۱۰.....	فصل هشتم / تاثیر معماری در عملکرد سازه.....
۱۱۰.....	۱. اهمیت ویژگی‌های معماری.....
۱۱۱.....	۲. ویژگی‌های معماری.....
۱۱۱.....	۱-۲. مشخصه‌های پیکربندی و آثار آنها.....
۱۱۲.....	۲-۲. تأثیر عام پیکربندی.....



- ۲۷۲..... ۲. طراحی لرزه‌ای فونداسیون‌ها
 ۲۷۲..... ۱-۲. طراحی ظرفیت فونداسیون‌ها

فصل هفدهم / خسارات ناشی از زلزله ۲۷۴

- ۲۷۴..... ۱. گونه‌های ساختمانی قوی و ضعیف
 ۲۷۷..... ۲. خسارت‌های زلزله
 ۲۷۷..... ۳. تقسیم‌بندی صدمات زلزله
 ۲۷۷..... ۱-۳. خرابیهای فیزیکی مستقیم
 ۲۷۸..... ۲-۳. صدمات اجتماعی
 ۲۷۸..... ۳-۳. زیان‌های اقتصادی
 ۲۷۹..... ۴. عوامل مؤثر بر خسارات ناشی از زلزله
 ۲۷۹..... ۱-۴. نوع سازه
 ۲۷۹..... ۱-۱-۴. سازه‌ی بتنی
 ۲۸۳..... ۲-۱-۴. سازه‌های فولادی
 ۲۸۶..... ۳-۱-۴. سازه‌های مصالح بتنی (راج، س‌گی، خشتی)
 ۲۸۸..... ۲-۴. شدت لرزش زمین
 ۲۸۸..... ۳-۴. اثرات ساختمانی و بی
 ۲۸۹..... ۴-۴. خطرات جانبی
 ۲۸۹..... ۱-۴-۴. گسیختگی زمین
 ۲۸۹..... ۲-۴-۴. گسیختگی گسل
 ۲۸۹..... ۳-۴-۴. سیل
 ۲۸۹..... ۴-۴-۴. آتش‌سوزی
 ۲۹۰..... ۵-۴. میزان اشغال بودن (کاربری)
 ۲۹۰..... ۶-۴. کاربری سازه (تأسیسات)
 ۲۹۱..... ۵. ارزیابی شدت خرابی

فصل هجدهم / طراحی بر اساس عملکرد ۲۹۷

- ۲۹۷..... ۱. انواع این‌نامه‌های طراحی
 ۲۹۸..... ۲. اولین قانون عملکردی در ساختمان‌سازی
 ۲۹۸..... ۳. طراحی بر اساس نیرو در مقابل طراحی بر اساس جابجایی
 ۲۹۹..... ۴. روش طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس عملکرد آنها
 ۳۰۰..... ۱-۴. مفهوم طراحی بر اساس عملکرد
 ۳۰۱..... ۲-۴. مراحل مختلف طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد
 ۳۰۴..... ۵. مقایسه طراحی عملکردی از دید طراح و کارفرما

فصل نوزدهم / بهسازی لرزه‌ای ساختمان ۳۰۶

- ۳۰۶..... ۱. ارزیابی ساختمان قبل و بعد از زلزله
 ۳۰۷..... ۲. مقاوم‌سازی
 ۳۰۷..... ۱-۲. روش ارزیابی بر اساس نسبت ظرفیت به نیاز سازه
 ۳۰۸..... ۲-۲. فلسفه موجود در بهسازی لرزه‌ای

۳۰۹.....	۳. بهسازی سازه‌ها.....
۳۱۰.....	۴. بهسازی لرزه‌ای عناصر غیر سازه‌ای.....
۳۱۰.....	۱-۴. مقاوم سازی اجزای معماری.....
۳۱۱.....	۲-۴. بررسی آسیب‌های وارد به اجزای معماری در زلزله‌های اخیر.....
۳۱۱.....	۳-۴. راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری در سیستم‌های معماری.....
۳۱۲.....	۱-۳-۴ دیوار پرکننده.....
۳۱۷.....	۲-۳-۴ راه‌پله‌ها.....
۳۱۸.....	۳-۳-۴ نماها و شیشه‌کاری.....
۳۲۰.....	۴-۳-۴ درها و پنجره‌های شیشه‌ای.....
۳۲۱.....	۵-۳-۴ پانل‌ها.....
۳۲۲.....	۶-۳-۴ جان‌زاه.....
۳۲۳.....	۷-۳-۴ ست‌ها.....
۳۲۵.....	۸-۳-۴ خروجی‌ها.....
۳۲۵.....	۴-۴ لزوم در نظر گرفتن هیدات لازم برای تجهیزات.....
۳۲۶.....	۱-۴-۴ قفسه‌ها و کابینت‌ها.....
۳۲۷.....	۲-۴-۴ مقاوم‌سازی اجزای مکانیکی، الکتریکی.....
۳۲۷.....	۳-۴-۴ بررسی آسیب‌های رخ داده به سیستم‌های مکانیکی در زلزله‌های اخیر.....
۳۲۹.....	فصل بیستم / تکنولوژی جدید.....
۳۲۹.....	۱. کاهش اثر زمین‌لرزه بر ساختمان‌ها.....
۳۳۰.....	۲. جداسازی پایه.....
۳۳۲.....	۱-۲. فلسفه پیدایش جداساز لرزه‌ای.....
۳۳۲.....	۲-۲. استفاده از سیستم‌های جداگر لرزه‌ای.....
۳۳۳.....	۳. میراگرهای لرزه‌ای.....
۳۳۶.....	فصل بیست و یکم / اهمیت کنترل کیفیت.....
۳۳۶.....	۱. اهمیت کیفیت در مقابل زمین‌لرزه.....
۳۳۶.....	۲. کنترل کیفیت.....
۳۳۷.....	۳. تضمین کیفیت.....
۳۳۷.....	۱-۳. چگونه کیفیت تضمین می‌شود؟.....
۳۳۸.....	۴. اخلاق حرفه‌ای.....
۳۴۰.....	فصل بیست و دوم / جمع‌بندی.....
۳۴۲.....	منابع و مآخذ.....

بیش از ۱۵ سال بود که فیش برداری جهت تهیه مقدمات تألیف یک کتاب تخصصی در مهندسی زلزله برای معماران آغاز شده بود و تعداد زیادی از دانشجویان تحصیلات تکمیلی (ارشد و دکتری) در گردآوری فایل‌های تصویری مناسب مشارکت داشته‌اند. متأسفانه به دلیل مشغله کاری، تحقق این امر میسر نمی‌گشت. سرانجام دو نفر از مهندسان زلزله و سازه که از فارغ التحصیلان ممتاز دانشکده‌های خود در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و دانشگاه پلی‌تکنیک تهران بوده‌اند قول یاری و همکاری تا آخرین مراحل را دادند. با همت این دو عزیز چارچوب کتاب شکل گرفت و برای اولین بار کتابی تقدیم جامعه مهندسی معماران می‌شود که بر اساس اهم مسائل مهندسی زلزله و نیازهای آنان تألیف گردیده که در نوع خود کم‌نظیر است. در همین رابطه سعی شده، نظر و پیشنهاد بعضی از اساتید و معماران شاخص ایران که در امر آموزش معماران و طراحی برج‌ها در کلان‌شهرهای ایران، کشورهای منطقه فعال‌اند هم اخذ و اعمال شود. سعی شده در این کتاب اهم واژه‌ها، مسائل زلزله که در درک مهندسی زلزله و کاربرد آن مؤثر است مورد تبیین و تشریح قرار گیرد.

واقعیت زلزله فرای تعریف عموم مردم کوچه و بازار و تعبیر دیدگاه و نگرش واقعی نسبت به دلایل رخداد زلزله، **فصل اول و دوم** بیان شده است. برای روشن‌سازی هر چه بیشتر مفاهیم مرتبط با پدیده زلزله، **فصل سوم** ویژگی‌های این پدیده مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته است.

با توجه به دانش امروزی، زلزله ناشی از حرکات صفحات زمین است که این حرکات به صورت نیروهایی، ساخته‌های دست بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در **فصل چهارم** نحوه عملکرد این نیروها و اثر آن بر ساختمان بیان شده است. نکته اساسی برای مقابله با این نیروها که در **فصل پنجم** بیان شده است، تعبیه مسیرهای فرار و پل‌ها برای انتقال نیرو به زمین و جلوگیری از آسیب دیدن سازه می‌باشد.

به طور کلی هر بنا نیازمند چند اصل اساسی ساده برای حفظ سرسبزی و عمر مفید خود هست. سازه باید توانایی رسیدن به تعادل، پایداری، کارایی مورد انتظار و زیبایی بصری داشته باشد. همچنین باید از لحاظ هزینه، متناسب با عملکردی که از آن انتظار می‌رود باشد. این اصول اولیه سازه به تفصیل در **فصل ششم** بیان گردیده است. با گذشت زمان و تغییرات ایجاد شده در نحوه ساخت سازه‌ها، امکان حذف آسیب وارد به بناها در هنگام زمین‌لرزه‌های شدید میسر نبود. این تغییر رویه در مقابله با زلزله، منجر به ظهور مفهوم شکل‌پذیری در طراحی و اجرا بناها گردید. این مفهوم در **فصل هفتم** مورد بررسی قرار گرفته است.

نکته بسیار مهم که معمولاً اهمیت آن در طراحی‌ها نادیده گرفته می‌شود، تأثیر

مستقیم فرم معماری بنا بر عملکرد لرزه‌ای آن می‌باشد. تا آنجا که اساتید سرشناس مهندسی زلزله، به این موضوع تأکید کرده‌اند. این ویژگی نیازمند تعامل مناسب بین مهندسین سازه و معمار می‌باشد. لذا در **فصل هشتم و نهم** ماهیت این ارتباط و همکاری و تأثیر معماری بر عملکرد سازه شرح داده شده است. برای تحقق هرچه بهترین تعامل، لازم است یک معمار با برخی مفاهیم ساده طراحی لرزه‌ای سازه آشنا گردد. از این رو در **فصل دهم** به معرفی مفاهیم اولیه طراحی لرزه‌ای پرداخته شده است.

از آنجا که سازه‌های امروزی به‌طور کلی به سه دسته بنایی، بتن مسلح و فولادی تقسیم می‌شوند؛ باین حال جزئیات مربوط به هر یک متفاوت است. در **فصل یازدهم، دوازدهم و سیزدهم** به هر نوع سازه نگاهی جامع صورت گرفته. هر یک از انواع سازه‌ها دارای مزایا و معایبی هستند که طراح را به سمت انتخاب یک سیستم برای سازه موردنظر سوق می‌دهد. برخی از این معیارها که در تصمیم‌گیری طراح مؤثر است، در **فصل چهاردهم** آورده شده است.

یک ساختمان از دو بخش کلی اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای تشکیل می‌شود. تمرکز اصلی در این نامه‌های طراحی لرزه‌ای طبراین نامه ۲۸۰۰ بر روی اجزای سازه‌ای می‌باشد؛ این در حالی است که صدمات و خسارت عمدتاً در زلزله‌های اخیر، نظیر زلزله سرپل ذهاب، ناشی از عملکرد نامناسب اجزای غیر سازه‌ای بوده است. این کاستی لزوم توجه هر چه بیشتر معماران به اجزای غیر سازه‌ای را می‌طلبد که در **فصل پانزدهم** به آن پرداخته شده است.

عامل مؤثر دیگر در رفتار لرزه‌ای سازه، محركات احداث بنا می‌باشد. از آنجا که در برخی پروژه‌ها مکانی یابی احداث بنا بر عهده معمار می‌باشد، بنابراین اصل یابی اثر ساختمان بر عملکرد ضروری است. لذا در **فصل شانزدهم** به‌طور خلاصه به این موضوع پرداخته شده است.

در **فصل هفدهم** برای روشن‌سازی عینی مواردی که در اصول قبل اشاره شد، برخی صدمات ناشی از عدم توجه کافی در روند طراحی و اجرا به کمک تصاویری از زلزله‌های اخیر ایران آورده شده است.

در **فصل هجدهم** مختصر به شیوه نوین طراحی جهت دستیابی به عملکرد مورد انتظار کارفرما از بنا، اشاره شده است. همچنین در **فصل نوزدهم** شیوه‌هایی برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های موجود آورده شده است.

در سال‌های اخیر پیشرفت مهندسی زلزله منجر به ابداع روش‌های جدیدی در به‌رود عملکرد سازه‌ها گردیده است. این تکنولوژی‌های جدید به‌طور مختصر در **فصل بیستم** معرفی شده‌اند. در نهایت در **فصل بیست‌ویکم** به اهمیت کنترل کیفیت در کلیه مراحل طراحی، اجرا و نظارت سازه اشاره شده است.

در آخر اضافه می‌نماید که مؤلفین بسیار خوشحال می‌شوند که به کلیه ابهامات و پیشنهادها از طریق ناشر و یا پست‌های الکترونیک ذیل پاسخ دهند.

Noavar33@yahoo.com

محمد قاسم وتر

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله