

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها

تالیف

دکتر سید مهدی زهرائی

(عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه تهران)

مهندس محمدرضا محمدیان

(کارشناس ارشد سازه)



س‌دک‌ا‌ی‌س‌ت‌ای‌س

| | |
|---------------------|--|
| سرشناسه | : زهرایی، سیدمهدی |
| عنوان و نام پدیدآور | : مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها/ تالیف سیدمهدی زهرایی، محمدرضا محمدیان. |
| مشخصات نشر | : تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۹۰. |
| مشخصات ظاهری | : ۲۰۰ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار. |
| شابک | : ۵۰۰۰۰ ریال: ۷-۰۵۱-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸ |
| وضعیت فهرست نویسی | : فیپا |
| موضوع | : زلزله |
| موضوع | : ساختمان‌ها -- اثر زلزله |
| موضوع | : سازه -- طرح و نقشه |
| موضوع | : سازه |
| شناسه افزوده | : محمدیان، محمدرضا، ۱۳۶۴-۱۳۶۴ |
| رده‌بندی کنگره | : ۱۳۹۰ م۷/۲/۳۴ QE ۵۳۴ |
| رده‌بندی دیویی | : ۵۵۱/۲۲ |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۲۵۵۹۲۴۱ |

مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها



| | |
|-----------------------|--|
| تالیف | : مهدی زهرایی - محمدرضا محمدیان |
| مدیر تولید | : رضا کرمی‌شاهنده |
| حروفچینی و صفحه‌آرایی | : واحد تولید انتشارات فدک ایساتیس (بی‌تا تبریزی‌پور) |
| ویراستار ادبی | : صفیه فیروزی‌مهر |
| نوبت چاپ | : اول - ۱۳۹۰ |
| تیراژ | : ۱۰۰۰ |
| چاپ و صحافی | : گنج‌شایگان |
| قیمت | : ۵۰۰۰۰ ریال |
| شابک | : ۷-۰۵۱-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸ |

دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین‌لیافی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰
 تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱

نماینده‌گی تهران : خیابان انقلاب - نبش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی
 تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره
 تلفن: ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۶۷۷۲ - ۶۲۲۶۷۷۵

www.fadakbook.ir - info@fadakbook.ir

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایساتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
 انتشارات فدک ایساتیس

پیشگفتار

جهان در طول تاریخ شاهد نابودی شهرها و حتی بعضی تمدن‌های خود بر اثر زلزله بوده است. ابعاد فاجعه بار اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و... در یک زلزله کوتاه مدت چند ثانیه‌ای می‌تواند حاکم بر سرنوشت چند نسل باشد. بنابراین طبعاً تأمین ایمنی لرزه‌ای سازه‌ها باید در اولویت برنامه‌ریزی کشورها قرار گیرد.

در طی چند دهه اخیر تحقیقات زیادی در زمینه مهندسی زلزله شکل گرفته که بی‌شک منشأ تحولاتی بنیادی در آیین‌نامه‌ها و موجب ارتقای دانش مهندسين شده است. افزایش اطلاعات در مورد نحوه رفتار سازه‌ها در زلزله که از طریق این تحقیقات و تجارب زلزله‌های اخیر به دست آمده، باعث نگرانی در مورد وضعیت لرزه‌ای حجم وسیعی از ساختمان‌های موجود که بدون اعمال ضوابط جدید ساخته شده‌اند، می‌باشد. این مهم که برخی ساخت و سازه‌ها نیز بدون طراحی و نظارت مناسب و اصولاً بدون توجه به هیچ ضابطه فنی ساخته شده‌اند تشدیدکننده‌ی این نگرانی است. بنابراین کاهش خسارت‌های جبران‌ناپذیر زلزله همواره هدف نهایی محققین و دانشمندان علم مهندسی زلزله بوده است. با محاسبات و اجرای صحیح ساختمان‌ها، ترس و نگرانی از خطرهای زلزله می‌تواند جای خود را به امید و اعتماد بدهد. تفکر مقاوم‌سازی ساختمان‌ها به دلیل موفقیت چشمگیر در نجات جان انسان‌ها، همچنان بی‌وقفه و با شتابی روزافزون در حال پیشروی است. به طوری که هم اکنون در سطح جهان تحقیقات وسیعی بر روی رفتار سیستم‌های موجود و ابزار و سیستم‌های جدید در حال انجام است. در کشورهای جهان سوم متأسفانه ضعف عمده و اساسی در بخش اطلاع‌رسانی می‌باشد. به طوری که نتایج تحقیقات خیلی دیر به بخش صنعت منتقل می‌شود و بسیاری از ساخت و سازه‌ها هنوز با اطلاعات و دانش چند دهه قبل انجام می‌شود و تناسبی با دستاورد-های علم جدید مهندسی زلزله ندارد. این در حالی است که علم مهندسی زلزله در این مدت با تحولات و تغییرات قابل توجهی روبرو بوده است.

نگرش فعلی مهندسی زلزله، تأکید بر شکل‌پذیری بالا برای ساختمان می‌باشد به طوری که این معیار در کنار دو معیار سختی و مقاومت قرار گرفته است. در این راستا موسسات و ارگان‌های تحقیقاتی خارجی، قوانین و ضوابط گسترده‌ای را پیشنهاد کرده‌اند. ولی متأسفانه این نتایج در کشورمان عملاً کمتر به دفاتر طراحی و پروژه‌های اجرایی راه پیدا کرده‌اند. سهم عمده‌ای از این نابسامانی‌ها و ناهماهنگی‌ها به عدم آگاهی مهندسين جوان به مسائل پایه و اصول لرزه‌ای سازه برمی‌گردد. متأسفانه با وجود لرزه‌خیزی بالای بیشتر مناطق پرجمعیت کشور و آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در برابر زلزله و همچنین بر اساس تجربیات زلزله‌های اخیر، هنوز توجه کافی به ساخت و ساز صحیح نشده است. اگرچه با توجه به پیشرفت‌های دانش بشری در مهندسی زلزله، در حال حاضر احداث بناهای مقاوم در برابر

زلزله براحتی امکان پذیر است، لیکن عملاً مسائلی به وجود آمده که رسیدن به ساختمان‌های مقاوم تضمین نمی‌شود. بیشتر ساختمان‌های کوچک مسکونی فاقد هرگونه دفترچه‌ی محاسبات سازه‌ای بوده و با نظارت صحیح مهندسین ساختمانی که دانش فنی لازم را دارند ساخته نمی‌شوند. همچنین ممکن است احداث آنها توسط پیمانکاران غیرحرفه‌ای و فاقد صلاحیت لازم انجام گیرد.

مشکل اصلی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها، عدم استفاده صحیح از دانش فنی و دستورالعمل‌های آیین‌نامه‌ای در بارگذاری جانبی زلزله و آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در مراحل مختلف طراحی و به‌طور کلی کم‌توجهی به این ضوابط در مرحله‌ی اجرا می‌باشد. بسیاری از مهندسین کشور نه تنها اطلاعات کاملی در مورد عملکرد، آسیب‌پذیری و مقاوم-سازی لرزه‌ای سازه‌ها ندارند، بلکه در مواجهه با مسائل اجرایی معمول ساختمان نیز کوتاهی می‌کنند. لذا باید سطح آگاهی از اطلاعات فنی این افراد افزایش یافته و نیز مکانیزمی برای اعمال قاطعیت اجرایی و کنترل امر در نظر گرفته شود، البته به طوری که حقوق مهندس ناظر حفظ شده و مسئولیت‌ها به درستی تقسیم شود. از این رو برآن شدیم که در حد توان در جهت رفع این مشکل بکوشیم.

در این کتاب سعی شده مطالب گوناگون و مفید در زمینه‌ی اثر زلزله و راههای مقابله با آن، به ساده‌ترین شکل جهت استفاده دانشجویان معماری و عمران بیان شود. مسلماً با توجه به گستردگی و پراکندگی زیاد مباحث در علم مهندسی عمران، تمامی مطالب را در یک کتاب واحد نمی‌توان بیان کرد ولی به جهت جامع‌تر شدن کتاب در موضوع "مفاهیم ساده‌ی طراحی لرزه‌ای" سعی شد از مطالب بیشتر ولی با رعایت اختصار و سادگی و روانی استفاده شود تا برای عموم مهندسین دست‌اندرکار ساخت و ساز در کشور و حتی دانشجویان رشته‌های معماری و عمران به خصوص در درس‌های بارگذاری و اصول مهندسی زلزله مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این نکته که این کتاب به بیان مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها می‌پردازد و هدفش آشنا کردن دانشجویان با خطرات زلزله و راه‌های ساده‌ی مهار آنهاست، سعی شده مطالب روان، جامع و به‌صورت عمومی بیان شود و به جای ورود به مطالب و روابط طراحی اعضای ساختمان‌های فولادی و بتنی، به طور مصور، مشکلات رایج در سازه-ها و آسیب‌های معمول محتمل در زلزله‌ها شفاف شود. امید است این مجموعه که حاصل ارائه‌ی دروس دانشگاهی مرتبط در ده سال اخیر توسط مولف اول می‌باشد، بتواند بخشی از نیازهای موجود در بخش مهندسی سازه را برآورده سازد. از تمام اساتید و مهندسین تقاضا داریم بر ما منت نهند و با نظرات و پیشنهادات سازنده خود، ما را در جهت رفع نقایص و کاستی‌های موجود یاری دهند تا انشاءالله در فرصت‌های بعدی از آنها استفاده شود.

محمدرضا محمدیان

دکتر سید مهدی زهرایی

کارشناس ارشد سازه

دانشیار دانشکده عمران دانشگاه تهران

فهرست مطالب

فصل ۱ شناخت پدیده زلزله ۱

| | |
|-------------------------------|-----|
| مقدمه ۱ | ۱.۱ |
| زلزله مهم‌ترین خطر طبیعی ۲ | ۲.۱ |
| افزایش خطر زمین‌لرزه ۴ | ۳.۱ |
| دلیل وقوع زلزله ۴ | ۴.۱ |
| انواع لرزش زمین و انتقال آن ۷ | ۵.۱ |
| بزرگی و شدت زلزله ۱۱ | ۶.۱ |
| بررسی موردی: زمین‌لرزه بم ۱۵ | ۷.۱ |

فصل ۲ ملاحظات معماری و سازه‌ای ساختمان‌ها در برابر زلزله ۱۷

| | |
|--|-------|
| تاثیر مشخصه‌های معماری طی زمین‌لرزه بر ساختمان ۱۷ | ۱.۲ |
| لزوم همکاری بین مهندس معمار و محاسب ۱۷ | ۱.۱.۲ |
| ابعاد و پلان ساختمان‌ها ۱۸ | ۲.۱.۲ |
| همجواری ساختمان‌ها ۲۰ | ۳.۱.۲ |
| مجزا کردن ساختمان‌های نزدیک به هم، توسط درز انقطاع ۲۱ | ۴.۱.۲ |
| لزوم پیروی از ملاحظات لرزه‌ای موجود در آیین‌نامه‌ها ۲۲ | ۲.۲ |
| اثرات زمین‌لرزه بر ساختمان ۲۵ | ۳.۲ |
| علت ایجاد پیچش در ساختمان ۲۸ | ۱.۳.۲ |
| لزوم اجتناب از مهاربند نامتقارن ۳۳ | ۲.۳.۲ |
| لزوم اجتناب از جابه‌جایی مهاربندها ۳۶ | ۳.۳.۲ |
| حفاظت از پی ۳۹ | ۴.۳.۲ |
| پدیده روان‌گرایی ۴۰ | ۵.۳.۲ |

فصل ۳ نقش شکل‌پذیری سازه‌ها ۴۵

| | |
|-------|---|
| ۱.۳ | فلسفه‌ی طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها ۴۵ |
| ۲.۳ | لزوم تأمین شکل‌پذیری در سازه‌ها ۴۹ |
| ۱.۲.۳ | مفهوم طراحی ظرفیت ۴۹ |
| ۲.۲.۳ | طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله ۵۱ |
| ۳.۳ | تأثیر انعطاف‌پذیری ساختمان بر رفتار لرزه‌ای ۵۲ |
| ۴.۳ | طراحی سازه‌های فولادی شکل‌پذیر ۵۶ |
| ۵.۳ | ضوابط شکل‌پذیری سازه‌های بتنی ۵۹ |
| ۱.۵.۳ | استفاده از فولاد شکل‌پذیر با $R_m / R_e > 1/15$ و $A_{gt} > 6\%$ ۵۹ |
| ۲.۵.۳ | استفاده از خاموت به منظور ایجاد شکل‌پذیری در سازه‌های بتنی ۶۱ |
| ۶.۳ | روش طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس عملکرد آنها ۶۳ |
| ۷.۳ | روش‌های نوین برای مقابله با زلزله در ساختمان ۶۷ |
| ۱.۷.۳ | طراحی سازه‌ها با جداسازی لرزه‌ای ۶۸ |
| ۲.۷.۳ | بررسی انواع میراگرها ۷۴ |

فصل ۴ طبقه‌ی نرم در سازه ۸۳

| | |
|-----|------------------------------------|
| ۱.۴ | تأثیر ایجاد طبقه‌ی نرم در همکف ۸۳ |
| ۲.۴ | تخریب ناشی از طبقه نرم در طبقات ۹۱ |

فصل ۵ اثر دیوارهای آجری بر روی قاب در زلزله ۹۵

| | |
|-----|---|
| ۱.۵ | لزوم اجتناب از اتصال کامل قاب با دیوارهای غیرسازه‌ای ۹۵ |
| ۲.۵ | لزوم اجتناب از پر کردن قاب‌ها با مصالح بنایی ۹۷ |
| ۳.۵ | پرهیز از ساختمان‌های نیمه اسکلت ۱۰۰ |

فصل ۶ بررسی ساختمان‌های بنایی در برابر زلزله ۱۰۱

| | |
|-----|--|
| ۱.۶ | بررسی رفتار دیوارهای آجری ۱۰۱ |
| ۲.۶ | عملکرد جعبه‌ای در سازه‌های بنایی ۱۰۴ |
| ۳.۶ | ویژگی‌های سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه ۱۰۷ |
| ۴.۶ | ضرورت وجود کلاف‌های افقی و قائم برای ساختمان‌های بنایی ۱۰۹ |
| ۵.۶ | ضرورت وجود آرماتورهای عمودی برای ساختمان‌های بنایی ۱۱۶ |
| ۶.۶ | حفاظت از بازشوها در دیوارها ۱۱۷ |
| ۷.۶ | مهار ساختمان‌های بنایی با دیوارهای بتن‌آرمه ۱۱۸ |

۱۲۳ بررسی ستون کوتاه در زلزله

| | |
|-----|----------------------------------|
| ۱.۷ | پدیده ستون کوتاه ۱۲۳ |
| ۲.۷ | رفتار ستون کوتاه ۱۲۴ |
| ۳.۷ | پیشگیری از خسارات ستون کوتاه ۱۲۶ |

۱۳۱ نکات طراحی و اجرای سازه‌های بتن مسلح ۸ فصل

| | |
|-----|--|
| ۱.۸ | مزایا و معایب ساختمان‌های بتن مسلح ۱۳۱ |
| ۲.۸ | بررسی اثر زلزله بر سازه‌های بتنی ۱۳۱ |
| ۳.۸ | تیرهای بتن‌آرمه ۱۳۵ |
| ۴.۸ | ستون‌های بتن‌آرمه ۱۳۸ |
| ۵.۸ | اتصالات تیر و ستون ۱۴۱ |
| ۶.۸ | دیوار برشی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی ۱۴۴ |
| ۷.۸ | عدم وجود بازشو در نواحی پلاستیک ۱۴۹ |
| ۸.۸ | ضعف‌های اجرایی ساختمان‌های بتن‌آرمه ۱۵۳ |

۱۵۹ نکات طراحی و اجرایی سازه‌های فولادی ۹ فصل

| | |
|-----|---|
| ۱.۹ | مقدمه ۱۵۹ |
| ۲.۹ | مزایا و معایب ساختمان‌های فولادی ۱۶۰ |
| ۳.۹ | خسارت‌های ساختمان‌های فولادی در زلزله‌های گذشته ۱۶۱ |
| ۴.۹ | ضعف‌های طراحی و اجرای ساختمان‌های فولادی ۱۶۸ |

۱۸۳ اجرای غیرسازه‌ای و مهار آنها در برابر زلزله ۱۰ فصل

| | |
|------|---|
| ۱.۱۰ | لزوم هماهنگی بین عناصر سازه‌ای و غیر سازه‌ای ۱۸۳ |
| ۲.۱۰ | مهار المان‌های نمای ساختمان در برابر نیروهای جانبی ۱۸۵ |
| ۳.۱۰ | لزوم مهار جان پناه‌ها ۱۸۷ |
| ۴.۱۰ | مهار سقف‌های کاذب ۱۸۷ |
| ۵.۱۰ | لزوم در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای وسایل و تجهیزات ۱۸۹ |

۱۹۳ منابع و مراجع

۱۹۷ فهرست الفبایی

شناخت پدیده زلزله



زمین‌لرزه از حرکات گسل فعال ایجاد شده و به سمت پوسته زمین بالا می‌آید. امواج مختلف با سرعت‌های متفاوت قبل از قراردادن زمین در معرض حرکات گوناگون و رسیدن به ساختمان‌ها، مسیرهای مختلفی را طی می‌کنند. طی زلزله، زمین به سرعت در تمام جهات حرکت می‌کند که این حرکت می‌تواند نسبتاً بزرگ نیز باشد. برای مثال جابه‌جایی برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگی تقریبی ۶ ریشتر، در جهت‌های مختلف صفحه افقی می‌تواند به ۸، ۱۰ یا حتی ۱۲ سانتیمتر برسد. طی زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۶/۵ ریشتر یا بیشتر (شبه زمین‌لرزه بم که در سال ۲۰۰۳ بخش اعظم این شهر را نابود کرد) جابه‌جایی زمین می‌تواند به ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر و یا حتی بیشتر نیز برسد.

در زلزله برای یک ساختمان چه اتفاقاتی می‌افتد؟ اگر زمین به سرعت به عقب و جلو حرکت کند، پی ساختمان نیز مجبور می‌شود از این حرکت‌ها پیروی کند. اما بخش بالایی ساختمان به دلیل جرم و اینرسی، تمایل دارد در جای خود باقی بماند. این امر باعث ارتعاشات شدید ساختمان و احیاناً پدیده تشدید بین ساختمان و زمین و در نتیجه ایجاد نیروهای جانبی بزرگی می‌شود. این امر اغلب باعث تغییر شکل پلاستیک در ساختمان و آسیب قابل توجه همراه با شکست‌های موضعی و در مواردی حتی موجب فروپاشی ساختمان می‌شود (باخمن، ۲۰۰۳).