

Seismic Isolation for Architects

Andrew Charleson and Adriana Guisasola

جداسازی لرزه‌ای برای مهندسين معماری و سازه

Seismic Isolation for Architects

Andrew Charleson
Adriana Guisasola

نویسندگان:

اندرو چارلسون - آدریانا گیزاسولا

مترجم:

کیاوش پورصدر

ویراستار علمی:

شیرین اژده‌فر

سرشناسه:
عنوان و پدید آورنده
مشخصات نشر
مشخصات ظاهری
فهرست نویسی
شابک
موضوع
موضوع
رده بندی کنگره
رده بندی دیویی
شماره کتابخانه ملی



جداسازی لرزه ای برای مهندسين معماری و سازه
مترجم: کیاوش پورصدر
ویراستار علمی: شیرین ارژده فر

ناشر	علم عمران
چاپ اول	تابستان ۱۳۹۹
تعداد و قطع صفحات	۱۹۷ صفحه خشتی
شمارگان	۲۰۰
بهای کتاب	۵۰۰۰۰۰ ریال
شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۵۸-۲	ISBN 978-600-5176-58-2

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، جهان آرا، بین خیابانهای شانزدهم و هجدهم، پلاک ۳۳، واحد ۱۱، تلفن ۸۸۳۵۳۹۳۰، دورنگار ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

تقدیم به مهندس سیامک پورصدر

(پیشگفتار)

آیا ساختمان‌هایی که محل زندگی یا کسب‌وکار ما است، یا آن‌هایی که مانند بیمارستان‌ها به خدمت‌رسانیشان وابسته‌ایم، پس از یک زلزله بزرگ قابل استفاده خواهند بود؟ روش‌های مرسوم طراحی ساختمان‌ها برای زلزله و سیستم‌های سازه‌ای متعارف در احداث آن‌ها، بر چه مبنایی استوارند و چه محدودیت‌هایی دارند؟ در موضوع طراحی ساختمان‌های مسکونی، اکتفا به حداقل‌های آیین‌نامه‌ای چه پیامدهایی را برای یک شهر زلزله‌زده در پی خواهد داشت؟

تاب‌آوری بسیار بالای شهرهای پرجمعیت کشوری مانند ژاپن، در مواجهه با زلزله‌هایی با بزرگای حتی بیش از نه ریشتر (مثلاً زلزله ۲۰۱۱ توهوکو)، در ازای بهره‌گیری گسترده از رویکرد نسبتاً جدیدی به دست آمده که در ادبیات فنی با عنوان «کنترل ارتعاشات لرزه‌ای» شناخته می‌شود. رویکرد کنترل ارتعاشات معمولاً شامل کاربرد روش‌ها و فناوری‌هایی می‌شود که «جداسازی لرزه‌ای» کارآمدترین آن‌ها است. رویکردهای متعارف طراحی لرزه‌ای در پی افزایش مقاومت و شکل‌پذیری ساختمان است؛ یا به عبارت دیگر به دنبال افزایش ظرفیت تحمل است. در چنین شرایطی بسته به طرح و نوع سیستم سازه‌ای، میزان قابل توجهی تغییر شکل ماندگار در اجزای سازه‌ای و خسارات به اجزای غیرسازه‌ای و محتویات ساختمان، قابل انتظار است. بدیهی است برای حفظ عملکرد ساختمان هم باید پایداری آن را حفظ و هم باید خسارات را در پایین‌ترین حد ممکن کنترل کرد. ساختمانی مسکونی که در محدوده رواداری‌های آیین‌نامه‌ای در اثر زلزله‌ای بزرگ دچار تغییر شکل شده (کج شده، سقف‌ها خیز برداشته و ...)، بعید است که دیگر خانه و سرپناهی امن برای ساکنینش باشد (حتی اگر فرونریزد). بیمارستانی که تخت‌ها و تجهیزات درمانیش در اثر شتاب‌های وارده بر طبقات تخریب و یا از کار افتاده باشند، شاید تنها سرپناهی برای مجروحان و برخی رسیدگی‌های بالینی باشد. متأسفانه تمامی این سناریوها در یک طرح متعارف لرزه‌ای، محتمل و بارها در زلزله‌های مختلفی در کشورهای لرزه‌خیز تجربه شده است. کنترل همزمان جابجایی نسبی (دریفت) و شتاب وارد بر طبقات در حین زلزله، چالشی جدی بر سر راه طراحان سازه است: از طرفی باید سازه را سخت کرد (ابعاد و مقاومت اجزای سازه‌ای را افزایش داد) تا بتوان جابجایی‌های وارد بر طبقات و خسارات ناشی از آن را کنترل کرد؛ از طرف دیگر برای کنترل شتاب و خسارات جانی و مالی ناشی از آن، باید سازه را نرم کرد. به نظر می‌رسد با رویکردهای متعارف، در عمل نمی‌توان به صورت ایده‌آل دریفت و شتاب را به صورت همزمان کنترل کرد و باید با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی هر پروژه، حدی بهینه را در طرح لحاظ کرد. البته نتیجه این چالش، دشوار شدن دستیابی به سطح عملکرد خدمت‌رسانی بدون وقفه است. در این میان جداسازی لرزه‌ای

شاید تنها روش عملی کنترل همزمان این دو پارامتر باشد. در ساختمانی جداسازی شده، نرمی مورد نیاز برای کاهش شتاب در تراز جداسازی و در تجهیزات جداساز رخ می‌دهد؛ دریافت طبقات به حداقل رسیده و شتاب نیز کنترل می‌شود. شاید بتوان گفت تا به امروز هیچ روشی به اندازه جداسازی لرزه‌ای، در محافظت از ساختمان‌ها و ساکنینشان در برابر زلزله کارآمد نبوده است. تصاویری که از داخل بیمارستان صلیب سرخ ایشینوماکی در لحظه وقوع زمین‌لرزه ۹/۳ ریشتری توهوکو ثبت شده، حیرت انگیز است. جداسازی لرزه‌ای در این ساختمان شدت اثرات زلزله را به طور چشمگیری کاهش و بیمارستان پس از زلزله به خدمت‌رسانی ادامه داد.

امروزه کشورهایی مانند ژاپن، نیوزیلند، ایالات متحده و در سال‌های اخیر ترکیه، در بهره‌گیری از این فناوری سرآمد هستند. در تمامی این کشورها، وقوع زمین‌لرزه‌ای بزرگ در یکی از مراکز پرجمعیت شهری و تلفات جانی و مالی شدید و البته مشاهده عملکرد مطلوب تعدادی ساختمان جداسازی شده در همان شهر، موجب جهشی چشمگیر در کاربرد این فناوری شده است. شایسته است که با دانش و تجربه امروز، از روش جداسازی به عنوان راهکاری پیشگیرانه برای به حداقل رساندن آثار نامطلوب زلزله و افزایش تاب‌آوری شهری، بهره گرفته شود. پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه در ژاپن، اکثر ساختمان‌های با ارزش مدیریت بحران در این کشور با استفاده از روش جداسازی ساخته شده‌اند. هر ساله صدها ساختمان مسکونی با ابعاد مختلف به این سیستم مجهز شده و خریداران و مستأجرین برای سکونت در چنین خانه‌هایی حاضرند هزینه و اجاره‌بهای بسیار بیشتری پرداخت کنند. در کشور ترکیه از سال ۲۰۱۴، کاربرد این فناوری در بیمارستان‌های عمومی مناطق لرزه‌خیز اجباری شده است. در نیوزیلند و ایالات متحده علاوه بر کاربرد آن در سازه‌های جدید، بسیاری از ساختمان‌های قدیمی که ارزش میراث فرهنگی دارند نیز با جداسازی مقاوم‌سازی شده‌اند. هر ساله سازندگان بسیاری در سراسر دنیا، جداسازی لرزه‌ای را به عنوان ارزنده‌ترین المان در ساختمان‌های مسکونی و ویلایی به کار می‌برند. در کشور ایران نیز تا به امروز ده‌ها ساختمان با کاربری‌های مختلف جداسازی شده‌اند.

آشنایی من با این فناوری، به اجرای اولین پروژه‌های جداسازی در کشور و به واسطه دهه هشتاد شمسی باز می‌گردد. از آن زمان اصلی‌ترین دغدغه حرفه‌ای خود را فرهنگ‌سازی و رفع موانع فنی و اجرایی کاربرد این روش در ایران قرار دادم. به خاطر دارم که در آن روزها روشن نبودن برخی موضوعات فنی و اجرایی مرتبط با این فناوری، مانع بهره‌گیری از آن در پروژه‌های مهمی شد. از این رو پیش از آشنایی با این اثر، همواره جای خالی کتابی را که به دور از تکلف، به زوایای مختلف جداسازی لرزه‌ای بپردازد، حس می‌کردم. تا به امروز کتاب‌ها و مقالات بیشمار برای مهندسین سازه نگارش شده است که با زبانی بسیار تخصصی، به موضوعاتی مرتبط با روش جداسازی لرزه‌ای می‌پردازند؛ اما چنین منابعی نمی‌توانند در مقام تصمیم‌گیری راهنمای خوبی برای دست‌اندرکاران پروژه‌های ساختمانی و حتی طراحان سازه باشند.

تا به حال چند کتاب دیگر از اندرو چارلسون به زبان فارسی ترجمه شده است. او که خود مهندس سازه و البته استادیار دانشکده معماری دانشگاه ویکتوریای نیوزیلند است، بیشتر در تألیفاتش معماران را خطاب قرار می‌دهد؛ اما آثارش در میان مهندسین عمران نیز خوانندگان بسیاری دارد و همواره به عنوان منابع درسی مورد ارجاع قرار می‌گیرد. وجه مشترک آثار او، تلاش برای بیانی روشن و کاربردی از مفاهیم مهندسی سازه و زلزله و ایجاد پلی میان آن‌ها و اصول و مفاهیم معماری است. عنوان اصلی این کتاب «جداسازی لرزه‌ای برای معماران» است؛ اما همانطور که در فصل آغازین کتاب توضیح داده می‌شود، کتاب بازه مخاطبان خود را چنان گسترش می‌دهد که حتی ساکنین ساختمان‌ها که دغدغه امنیت در برابر زلزله دارند را نیز در بر بگیرد. به عنوان یک مهندس سازه که تا به امروز در بیشتر پروژه‌های جداسازی لرزه‌ای در کشور دست‌اندرکار بوده، این کتاب را بسیار کاربردی یافتم. به همین دلیل ترجیح دادم که عبارت «برای معماران» را به «برای مهندسین معماری و عمران» تغییر دهم و این تغییر را با هدف از تألیف این کتاب، هم‌راستا دیدم؛ به این امید که مهندسان عمران نیز از مطالب این کتاب بهره‌مند شوند. کتاب

جداسازی لرزه‌ای برای معماران، معرفی جامعی از مباحث نظری و عملی جداسازی لرزه‌ای است و به عقیده مترجم، تا به امروز هیچ کتابی تا این حد در انتقال مفاهیم این فناوری نسبتاً جدید به چنین طیف وسیعی از مخاطبان، توفیق نداشته است. این کتاب بینشی جامع و کاربردی را از مزایای جداسازی لرزه‌ای و ملاحظات فنی و اقتصادی مربوط به آن و سرنخ‌های مفیدی را جهت امکان‌سنجی کاربرد این فناوری در پروژه‌های ساختمانی، ارائه می‌کند.

به دلیل آنکه این کتاب در وهله اول معماران را مخاطب قرار می‌دهد، ضروری دانستم که ترجمه آن از نظرگاه یک مهندس معمار که به موضوع نیز مسلط است، مورد بررسی و ویرایش قرار گیرد. تشکر ویژه دارم از دوست و همکار گرامی سرکار خانم مهندس شیرین ارژده‌فر (معمار و مدرس دانشگاه)، که در این خصوص قبول زحمت کردند و عهده‌دار این مهم شدند. همانطور که پیش از این اشاره شد، کتابی که در دست دارید یک متن بین رشته‌ای است. از همین رو لازم به ذکر می‌دانم که مشاوره‌های ایشان به بنده در ترجمه تمامی بخش‌های کتاب (به ویژه فصل ششم)، تأثیر قابل توجهی داشته است.

در ترجمه این کتاب سعی شده است تا مفاهیم به کمک واژگان رایج در ادبیات فنی مهندسين معمار و سازه کشور ارائه شود و هر جا نیاز به توضیحی بیش از متن بوده، پانویس‌هایی ارائه شده است.

شایسته است که از استاد عزیز آقای دکتر سید مهدی داوود نبی، مدیر مسئول محترم انتشارات علم عمران، که زمینه‌ساز انتشار این کتاب شدند و از هیچ‌گونه حمایتی دریغ نکردند، کمال سپاس را به جای آورم.

از تمامی اساتید، مدیران و مهندسی‌نی که در راه توسعه فناوری‌های نوین لرزه‌ای در کشور تلاش می‌کنند، تشکر می‌کنم. در این میان به طور ویژه قدردان آقای مهندس سیامک پورصدر هستم؛ چرا که سهم بی بدیلی در معرفی و ورود روش جداسازی لرزه‌ای به کشور داشته‌اند و بی‌شک کاربرد عملی این فناوری، وامدار زحمات و پشتکار ایشان است. امیدوارم ترجمه این کتاب نیز قدمی در راه معرفی این فناوری و بهره‌گیری هر چه بیشتر از آن باشد.

در هر قدمی، اثری از مهر و فداکاری پدر و مادرم می‌بینم. از این رو هیچ فرصتی را برای سپاس از ایشان از دست نمی‌دهم. تشکر از مادر و پدر عزیزم که همیشه خیر فرزندان‌شان را مقدم بر خیر خود دانستند.

کیاوش پورصدر

خرداد ۱۳۹۹

k.poursadr@gmail.com

فهرست مطالب

سیستم‌های شامل تکیه‌گاه‌های الاستومری و میراگرها	۳۶
تجهیزات لغزنده	۴۳
سایر سیستم‌ها و تجهیزات	۴۷
سیستم‌های فعال	۵۳
منابع	۵۴

فصل چهارم: اثربخشی جداسازی لرزه‌ای

مقدمه	۵۵
مدل‌سازی کامپیوتری	۵۵
آزمایش‌های فیزیکی	۵۶
اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات در حین زمین‌لرزه‌ها	۵۸
منابع	۶۳

فصل پنجم: مزایا و محدودیت‌های جداسازی لرزه‌ای

مقدمه	۶۵
مزایای پیش از وقوع زمین‌لرزه	۶۵
مزیت‌ها در زمان وقوع زمین‌لرزه و پس از آن	۶۹
محدودیت‌های جداسازی لرزه‌ای	۷۲
شرایط زمین‌شناختی	۷۳
ارتفاع ساختمان	۷۶
ساختمان‌های کناری	۸۰
حریم ساختمان	۸۱

فصل اول: مقدمه

هدف و برنامه کتاب	۱
روش‌های متداول طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها	۲
معرفی جداسازی لرزه‌ای	۹
داستان دو بیمارستان	۹
بررسی واقعیت	۱۳
منابع	۱۴

فصل دوم: تاریخچه، الزامات و اصول جداسازی لرزه‌ای

تاریخچه مختصر	۱۵
الزامات جداسازی لرزه‌ای	۲۹
قابلیت جابه‌جایی	۲۹
تحمل نیروی قائم	۲۹
مرکزگرایی (بازگشت‌پذیری)	۳۰
سختی اولیه (قید)	۳۰
میرایی	۳۰
کاهش پاسخ زلزله	۳۰
تجهیزات متداول جداسازی	۳۲
منابع	۳۴

فصل سوم: سیستم‌ها و تجهیزات جداساز لرزه‌ای

مقدمه	۳۵
-------	----

دیگر پوشاننده‌های درزهای حرکتی.....	۱۶۱
دیگر جزئیات جابه‌جایی.....	۱۶۴
منابع.....	۱۷۱

فصل نهم: مباحث اقتصادی جداسازی لرزه‌ای ۱۷۳

هزینه‌های اضافی و کاهش یافته اجرای جداسازی.....	۱۷۴
مباحث اقتصادی پیش از زلزله.....	۱۷۷
مباحث اقتصادی پس از زلزله.....	۱۷۷
تحلیل‌های چرخه عمر.....	۱۷۸
منابع.....	۱۷۸

فصل دهم: اجرا و نگهداری ۱۸۱

مقدمه.....	۱۸۱
اجرا.....	۱۸۱
نگهداری.....	۱۸۲
منابع.....	۱۸۴

فصل یازدهم: نتیجه‌گیری ۱۸۵

اعتماد به جداسازی لرزه‌ای.....	۱۸۵
مزایای جداسازی لرزه‌ای.....	۱۸۵
آزادی و محدودیت‌های طراحی.....	۱۸۵
عدم قطعیت‌ها.....	۱۸۶
صرفه‌جویی‌ها و هزینه‌های اضافی جداسازی لرزه‌ای.....	۱۸۶
نگاه به آینده.....	۱۸۶

هزینه‌های بالقوه.....	۸۲
نگهداری.....	۸۲
اثربخشی کم‌تر در زمین لرزه‌های کوچک.....	۸۳
منابع.....	۸۳

فصل ششم: جداسازی لرزه‌ای و شکل معماری ۸۵

مقدمه.....	۸۵
ثابت - شناور.....	۸۵
پایداری - ناپایداری.....	۹۶
سنگین وزن - سبک وزن.....	۹۹
ساده - پیچیده.....	۱۱۰
منابع.....	۱۱۴

فصل هفتم: مقاومت‌سازی ۱۱۵

مقدمه.....	۱۱۵
محل تراز جداسازی.....	۱۱۷
مطالعات موردی بر ساختمان‌های بنایی غیرمسلح مقاوم‌سازی شده.....	۱۱۹
کتابخانه بین‌المللی ادبیات کودکان، توکیو.....	۱۱۹
ساختمان شهرداری ایاسی، رومانی.....	۱۲۴
مطالعات موردی بر مقاوم‌سازی ساختمان‌های دارای قاب بتنی مسلح.....	۱۲۶
ساختمان بین‌المللی شماره ۸۰ راکول.....	۱۲۶
ساختمان رنگین براون.....	۱۲۸
موزه ملی هنر غرب، توکیو.....	۱۳۵
ساختمان چاینا بیسین لندینگ، سن‌فرانسیسکو.....	۱۳۸
محدودیت‌ها.....	۱۳۹
منابع.....	۱۴۰

فصل هشتم: نکات طراحی ۱۴۱

تیم طراحی.....	۱۴۱
طرح مهندسی سازه.....	۱۴۲
طرح معماری.....	۱۴۳
ناحیه خندق (فضای جابه‌جایی) و ورق‌های پوشاننده افقی.....	۱۵۰

فصل اول

مقدمه

هدف و برنامه کتاب

کتاب‌ها و مقاله‌های بیشماری در مورد جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها^۱ برای مهندسان سازه نوشته شده‌اند که به دلیل نگارش و محتوای بسیار تخصصی و فنی آن‌ها، برای طیف گسترده‌ای از کسانی که طراح، سازنده، مالک، بیمه‌گذار و یا ساکن ساختمان‌هایی در مناطق لرزه‌خیزند، مناسب نمی‌باشند. از این رو کتاب حاضر با هدف معرفی یک فناوری نسبتاً جدید و روبه رشد، به طیف وسیعی از مخاطبانی که در خصوص تأثیر زمین‌لرزه بر ساختمان‌ها و اجزای آن نگرانند نوشته شده است. نیاز به وجود چنین تحقیق و نگارشی به منظور ارائه تمامی زوایای مرتبط با جداسازی لرزه‌ای، در طی ۳۵ سال گذشته به شدت حس می‌شد؛ چرا که هم‌چنان بسیاری از سؤالات مهم در خصوص جداسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها، بی‌پاسخ مانده است. به ویژه در مورد چگونگی اطمینان به توانایی این سیستم در کاهش خسارات زلزله، مقایسه عملکرد این رویکرد نسبتاً جدید با سایر روش‌های متداول در حفاظت از ساختمان‌ها و این سؤال که آیا جداسازی لرزه‌ای واقعاً ارزش به‌کارگیری را دارد؟ پاسخ این سؤالات به طور غیرمنتظره‌ای، در بازه‌ای ۱۸ روزه تا پایان ۱۱ مارچ ۲۰۱۱، شفاف‌تر شد. در تاریخ ۲۲ فوریه، شهر کرایست‌چرچ^۲ زلزله‌ای مخرب با فاصله ۱۰ کیلومتر از مرکز شهر و عمق پنج کیلومتر را تجربه کرد. در این حادثه تنها ساختمان جداسازی لرزه‌ای شده‌ی شهر، یعنی بیمارستان زنان کرایست‌چرچ، در زلزله‌ی واقعی مورد آزمایش قرار گرفت و تنها ساختمان شهر شد که کاملاً پا برجا ماند. صدها ساختمان که بسیاری از آن‌ها براساس یکی از سخت‌گیرانه‌ترین آیین‌نامه‌های زلزله دنیا طراحی شده بودند، بدون فروپاشی جان سالم به در بردند، اما به‌طور غم‌انگیزی و به دلایلی مختلف، بیش‌تر آن‌ها متعاقباً تخریب شدند. این وضعیت عدم قطعیت‌ها و تردیدهای قابل توجهی را در خصوص کارآمدی فلسفه‌ی مدرن طراحی لرزه‌ای، برانگیخت.

سپس در ۱۱ مارچ، ژاپن با زلزله‌ی عظیمی با بزرگای ۹ ریشتر که مرکزش در ساحل شرقی این کشور بود، مواجه شد. بیش‌تر ویرانی و خرابی‌های این زلزله ناشی از سونامی بود که مناطق ساحلی را تخریب کرد؛ اما ارتعاشات زمین‌لرزه نیز به بسیاری از ساختمان‌ها آسیب رساند و برای اولین بار صدها ساختمان جداسازی لرزه‌ای شده را با مقیاس پیش‌بینی نشده‌ای آزمایش کرد. این ساختمان‌ها اگرچه با ارتعاشاتی مواجه شدند که شدتش کم‌تر از میزان طراحی بود، اما

1. Seismic Isolation of Buildings

۲. کرایست‌چرچ (Christchurch) بزرگ‌ترین شهر در جزیره جنوبی نیوزیلند است (مترجم).

بسیار خوب عمل کردند. وقوع این دو حادثه در فاصله زمانی نزدیک به هم، ولی با هزاران کیلومتر فاصله جغرافیایی در امتداد صفحه‌ی تکتونیک اقیانوس آرام^۱، توانست علاوه بر نمایش تأثیر مثبت جداسازی لرزه‌ای، نواقص روش‌های مرسوم طراحی در برابر زلزله را آشکار سازد؛ نواقصی که خود مزایای جداسازی لرزه‌ای را برجسته می‌کرد.

روش‌های متداول طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها

در این قسمت پیش از بررسی جزئیات و جوانب جداسازی لرزه‌ای - که هدف اصلی این کتاب است - ابتدا علل آسیب‌پذیری اکثر ساختمان‌ها هنگام زلزله توضیح داده شده و سپس نقاط قوت و ضعف مفاهیم و ساختارهای مدرن و سنتی حفاظت ساختمان‌ها در برابر زلزله، بررسی خواهند شد.

ساختمان‌هایی که ساکن آن هستیم به‌ویژه در موضوع زلزله، حساسی اشتباه از امنیت را القا می‌کنند؛ عوامل متعددی به کمک هم، ترس ما را از آسیب‌پذیری لرزه‌ای یک ساختمان کاهش می‌دهند. ما می‌بینیم که ساختمان‌ها بدون هیچ حرکت آشکاری، استوار ایستاده‌اند. آن‌ها علاوه بر وزن خود، بار تمامی تجهیزات، وسایل، اموال و سایر محتویات ساکنین خود را نیز تحمل می‌کنند. بسیار نادر است که یک ساختمان تنها به دلیل بار ثقیلی فروریزد. ما هم چنین به درستی متوجه شده‌ایم که احتمال وقوع زمین‌لرزه در یک دوره زمانی خاص (شاید امروز یا حتی در طول عمرمان) نامشخص است. هم چنین ممکن است اعتقاد داشته باشیم که چون ساختمان‌های اطراف ما یک یا چند زمین‌لرزه را تجربه کرده‌اند، پس می‌توان آن‌ها را ایمن فرض کرد. افرادی که در مورد ساختار ساختمان‌ها آگاهی بیش‌تری دارند، ممکن است بر این باور باشند که چون ساختمان‌ها با مصالح مدرنی مانند بتن مسلح و سازه فولادی ساخته می‌شوند، پس ایمن هستند.

اکثر این برداشت‌ها تنها تا اندازه‌ای صحیح است؛ در حقیقت احتمال فروریزش یک ساختمان هنگام زمین‌لرزه، بسیار بیش‌تر از آن چیزی است که می‌توان تصور کرد. واقعیت تلخ آن است که به‌جز ساختمان‌هایی که از اوایل دهه ۸۰ میلادی به بعد ساخته و یا مقاوم‌سازی شده‌اند، بیش‌تر ساختمان‌های دنیا زمان زلزله ایمن نخواهند بود. در برخی کشورها حتی ساختمان‌های تازه احداث شده نیز در معرض خطر هستند. آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی غیرمسلح کاملاً شناخته شده است؛ ترکیب نامطلوب مصالح سنگین و شکننده و فقدان اتصال قوی میان دیوارها و کف، به معنای آن است که این ساختمان‌ها معمولاً اولین سازه‌هایی هستند که در برابر زلزله خسارت می‌بینند؛ اما آنچه که کم‌تر شناخته شده است خطری است که بیش‌تر ساختمان‌های مدرن در معرض آن می‌باشند.

تنها اندکی پس از اواسط دهه ۷۰ میلادی، آیین‌نامه‌های بین‌المللی یک نقص بحرانی موجود در روش طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها را اصلاح کردند و از آن به بعد اهمیت شکل‌پذیری^۲ مورد پذیرش قرار گرفت؛ توانایی اجزای سازه‌ای در تحمل اضافه‌بار ناشی از زلزله بدون فروریختن در عین تحمل خسارت. ساختمان‌هایی که پیش از دوره مذکور طراحی شده، شاید در برابر زلزله‌های کوچک تعریف شده در آیین‌نامه‌های امروزی مقاوم باشند؛ اما بسیاری از آن‌ها به‌هنگام مواجهه با زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر و تجربه ارتعاشاتی فراتر از مقاومتشان، به‌طور جزئی یا کامل فرو خواهند ریخت (شکل ۱-۱ و ۱-۲). اجزای سازه‌ای این ساختمان‌ها مانند تیرها و ستون‌ها یا دیوارهای باربر، به‌هنگام زلزله بزرگ به‌جای آن‌که به حالتی شکل‌پذیر تحت خمش، کشش یا برش قرار گیرند، به‌طور ناگهانی به شکلی ترد، می‌شکنند.

سالم ماندن این ساختمان‌ها بدون کم‌ترین فروریزش در زلزله‌های مخرب، به دلیل روش طراحی اجزای سازه‌ای و جزئیات آن‌ها نیست؛ ساختمان‌های مذکور احتمالاً برای مثال از اضافه مقاومت ناشی از دیوارهای مورد نیاز برای حفاظت حریق در مرز ساختگاه یا دیوارهای مورد نیاز برای محصور نمودن راه پله‌ها و هم چنین مشخصات مطلوب سازه‌ای، مانند تقارن و منظمی، سود جسته‌اند.

1. Pacific Tectonic Plate

2. Ductility



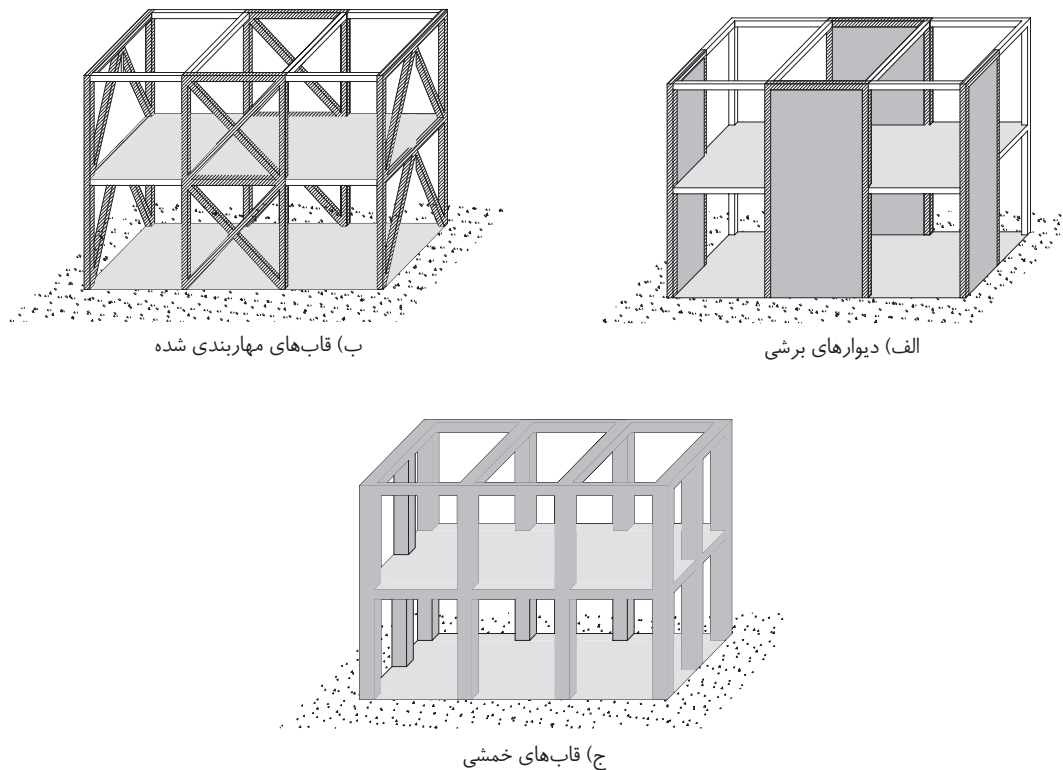
شکل ۱-۱. مثالی از خسارت سازه‌ای در یک ساختمان با دیوارهای برشی ضعیف در طبقه پارکینگ. زلزله لوماپریتا^۱، سن فرانسیسکو^۲، ایالات متحده. ۱۹۸۹.



شکل ۱-۲. بیمارستان الیو ویو^۳ که ساختمانی دارای قاب خمشی است و به شدت خسارت دیده است. زلزله دره سن فرناندو^۴، کالیفرنیا، ایالات متحده، ۱۹۷۱.

-
1. Loma Prieta
 2. San Francisco
 3. Olive View
 4. San Fernando Valley

امروزه آیین‌نامه‌های مدرن لازم می‌دانند هنگامی که سیستم‌های اصلی باربر لرزه‌ای سازه، اضافه بارهای ناشی از زمین‌لرزه را تجربه می‌کنند، ساختمان فرو نریزد. مفهوم اضافه بار بر این اساس است که احتمالاً بارهای طراحی در مقایسه با بار اعمالی به‌هنگام زلزله طرح، کم‌تر خواهد بود. طراحی مدرن ساختمان مقاوم در برابر زلزله، معمولاً با انتخاب یکی از سه سیستم متداول سازه‌ای شروع می‌شود (شکل‌های ۱-۳ و ۱-۴). یک سیستم، نیروهای افقی زلزله را در یک جهت در پلان ساختمان تحمل می‌کند و همان یا سیستمی دیگر در جهتی عمود بر آن عمل خواهد کرد. تعداد و ابعاد اعضای سازه‌ای وابسته به مؤلفه‌های بسیاری چون ابعاد، ارتفاع و وزن ساختمان و همچنین سطح خطر لرزه‌خیزی منطقه می‌باشد. با مقاومت در برابر هر دو جهت متعامد، سازه می‌تواند در هر جهت در برابر زلزله مقاومت کند. جایی که سیستم‌های سازه‌ای موازی^۲ مانند دیوارهای برشی، در پلان از هم فاصله داشته باشند، در یک خط عمل نمی‌کنند و بنابراین مانع وقوع پیچش در ساختمان می‌شوند [۱]. سپس مهندس سازه ابعاد و جزئیات اعضای سازه‌ای را محاسبه کرده تا آن‌ها یا به قدری قوی باشند که در یک زمین‌لرزه بیش‌ازحد بارگذاری نشوند و یا به طور معمول، به‌صورت شکل‌پذیر طراحی شوند. اگرچه تحت چنین شرایطی، در صورت آسیب یک عضو، مقاومت عمده سازه حفظ شده و ساختمان فرو نمی‌ریزد؛ اما تجربه‌ی زمین‌لرزه کرایست چرچ نشان داد که شکل‌پذیری به معنای آسیبی است که در نهایت می‌تواند منجر به تخریب شود.



شکل ۱-۳. سه نوع از رایج‌ترین سیستم‌های سازه‌ای برای تحمل نیروهای افقی

1. Earthquake-Resistant Building
2. Parallel Structural Systems



شکل ۱-۴. الف) مثالی از یک نوع سیستم سازه‌ای: دیوار برشی

حتی پیش از آن‌که محدودیت‌های روش‌های رایج طراحی لرزه‌ای به‌طور آشکاری نمایان شود، مهندسین مشغول توسعه تجهیزات نوینی چون میراگرها، به‌مانند ضربه‌گیرهای خودرو^۲ (کمک‌فتر)، و اصلاح سیستم‌های سازه‌ای موجود بوده‌اند تا بتوان زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ را با کم‌ترین یا بدون هیچ‌گونه خسارتی، پشت‌سر گذاشت. گرچه استفاده از میراگرها و سیستم‌های «بدون خسارت»^۳ در حال گسترش است، اما همچنان متداول نمی‌باشد (شکل‌های ۱-۵ و ۱-۶). در قیاس با سیستم‌های مرسوم که در آن‌ها خسارت سازه‌ای هنگام زمین‌لرزه‌های بزرگ غیرقابل اجتناب است، این سیستم‌های نوین پیشرفتی عظیم به حساب می‌آیند؛ اما این سیستم‌ها قادر به محافظت لرزه‌ای از المان‌های معماری چون نمای‌ها^۴، تجهیزات/چیدمان داخلی و محتویات ساختمان نمی‌باشند. جداسازی لرزه‌ای خود به تنهایی از المان‌های سازه‌ای و معماری محافظت می‌نماید.

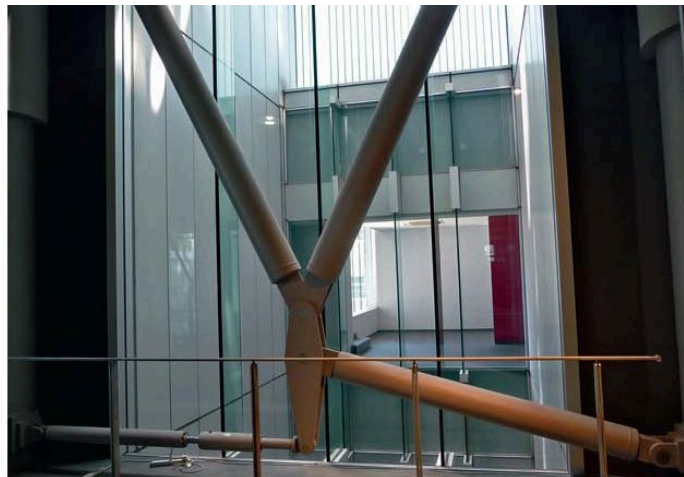
-
1. Dampers
 2. Car shock absorbers
 3. 'Damage-free' systems
 4. Claddings



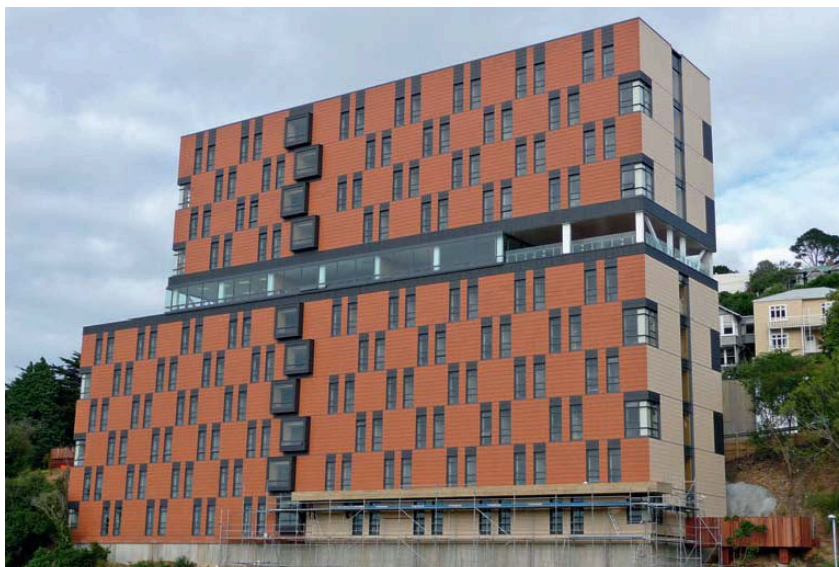
شکل ۱-۴. ب) مثالی از یک نوع سیستم سازه‌ای: قاب خمشی



شکل ۱-۴. ج) مثالی از یک نوع سیستم سازه‌ای: قاب مهاربندی شده و اگر



شکل ۱-۵. یک میراگر در پایین سمت چپ که در یک مهاربند همگرا قرار گرفته است، موزه ملی علم و نوآوری در حال ظهور^۱، توکیو، ژاپن.



شکل ۱-۶. یک سازه «بدون خسارت» در خوابگاهی واقع در دانشگاه ویکتوریا^۲ی شهر ولینگتون^۳، نیوزیلند. در هنگام وقوع اضافه بار لرزه‌ای، اتصالات سازه‌ای در قاب‌های خمشی (در جهت طولی) و قاب‌های مجهز به مهاربندهای ضربدی (در جهت عرضی)، به جای گسیخته شدن می‌لغزند.

1. National Museum of Emerging Science and Innovation,
2. Victoria University
3. Wellington

معرفی جداسازی لرزه‌ای

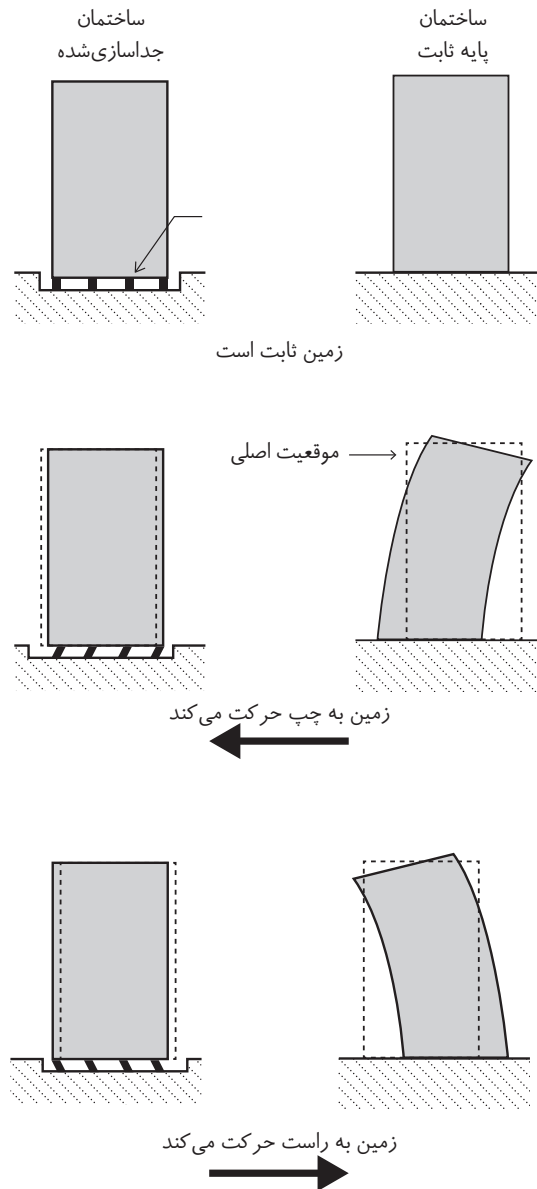
جداسازی لرزه‌ای عبارتی برای توصیف انواع جداسازی از جمله جداسازی پایه^۱ (متداول‌ترین آن تاکنون) است. هرچند بیش‌تر ساختمان‌ها در تراز پایه جداسازی شده‌اند، اما در برخی مواقع تراز جداساز در طبقات میانی قرار داده شده است. در جداسازی لرزه‌ای به‌منظور کاهش شدت ارتعاشات زمین‌لرزه، ساختمان از زمین به‌طور نسبی جداسازی می‌شود. جداسازی لرزه‌ای مانند قرار دادن روسازه‌ی^۲ یک ساختمان بر روی سطح یک پی است که به جهت ایجاد امکان لغزندگی، روغن‌کاری شده است. زمانی که مخرب‌ترین امواج زلزله، زمین را به‌صورت افقی به عقب و جلو تکان می‌دهند، روسازه به واسطه‌ی سطح لغزنده محافظت می‌شود. البته کاش جداسازی لرزه‌ای در عمل به همین سادگی بود! به جای روغن، تکیه‌گاه‌های الاستومری^۳ یا لغزنده^۴، سطح لغزنده تراز جداسازی را تشکیل می‌دهند. با ایجاد فواصلی، از ضربه‌ی دینامیکی روسازه یک ساختمان به دیوارهای حائل پیرامونی جلوگیری می‌شود (شکل ۱-۷).

جداسازی لرزه‌ای یک ساختمان تا اندازه‌ای شبیه حرکت دادن یک کشتی از یک لنگرگاه خشک - جایی که بر روی زمین قرار دارد - و انداختن آن بر آب است. به محض آن‌که ساختمان از پی‌اش جدا شد و بر روی تکیه‌گاه‌های الاستومری یا انواع دیگری شناور گردید، سازه‌ی جداسازی شده به میزان بسیار کم‌تری در برابر اثرات لرزه‌های افقی زمین آسیب‌پذیر خواهد بود. معمولاً، بیش‌تر انرژی یک زمین‌لرزه در ارتعاشات با فرکانس بالا منتقل می‌شود؛ اما چون تکیه‌گاه‌های یک ساختمان جداسازی لرزه‌ای شده در حرکات افقی بسیار منعطف می‌باشند، ساختمان دیگر به‌مانند یک سازه‌ی با پایه‌ی ثابت^۵ [در اثر فرکانس‌های بالا] دچار تشدید نخواهد شد. به جای تجربه‌ی ارتعاشات شدید با فرکانس بالا در پایه، که در ارتفاع ساختمان تشدید نیز می‌شوند، حرکات در ساختمان جداسازی شده بسیار آرام‌تر بوده و شتاب‌ها و جابه‌جایی‌ها در طبقات فوقانی روند افزایشی نخواهند داشت (شکل ۱-۸). پاسخ «فرکانس پایین آن» به معنای این است که انرژی لرزه‌ای کم‌تری به روسازه منتقل خواهد شد. این امر خسارات وارده به اجزای سازه‌ای، اجزای معماری و محتویات ساختمان را کاهش داده و یا حتی از میان خواهد برد. در ادامه با ارائه دو نمونه موردی، این مطلب باز خواهد شد.

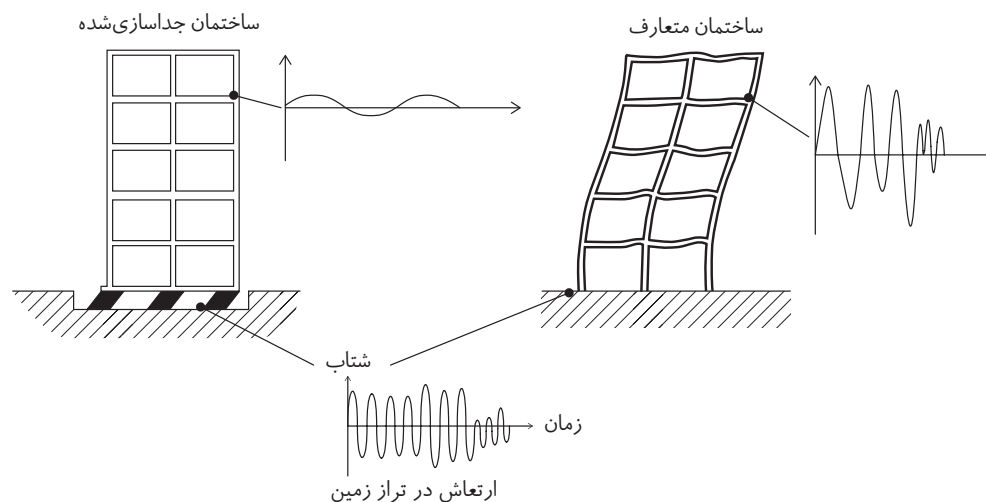
داستان دو بیمارستان

با شرحی از پاسخ بیمارستان صلیب سرخ ایشینوماکی^۶ به زمین‌لرزه‌ی ۲۰۱۱ توهوکو^۷ آغاز می‌کنیم. این بیمارستان شش طبقه و ۴۲۰ تخت‌خوابه که در سال ۲۰۰۶ ساخته شده است (شکل ۱-۹)، در فاصله‌ی ۴/۵ کیلومتری از ساحل شرقی ژاپن قرار گرفته و به قدری از ساحل فاصله دارد که از اثرات مخرب سونامی به دور باشد. بیمارستان ایشینوماکی نزدیک‌ترین بیمارستان به مرکز زلزله بود و خوشبختانه در حین زمین‌لرزه از داخل آن فیلم‌برداری شده است. این فیلم با صحنه‌هایی از دفتر بیمارستان در حین تکان‌های ساختمان آغاز می‌شود و سپس عملیات تدارک سریع را برای انتقال مصدومین به داخل، نشان می‌دهد [۲]. برخی کارگران پشت میزهایشان باقی ماندند؛ در حالی که سایرین مانیتورهای کامپیوترها و سایر تجهیزات را که در حال ارتعاش بودند، آرام می‌کردند. به غیر از کاغذها و پرونده‌هایی که از روی میزها و قفسه‌ها می‌افتاد، هیچ خسارتی به سازه یا نازک‌کاری ساختمان مشاهده نشد. به لطف عملکرد لرزه‌ای عالی و مولد برق پشتیبان قابل اطمینان، عملکرد و خدمت‌رسانی بیمارستان تحت تأثیر زمین‌لرزه قرار نگرفت. در اطراف، ساختمان‌هایی که براساس آخرین آیین‌نامه ۱۹۸۱ ژاپن طراحی شده بودند خسارات سازه‌ای کمی دیدند؛ اما خسارت اصلی و قابل توجه به محتویات ساختمان‌ها، سقف‌های معلق (کاذب) و نمایش‌های خارجی وارد شد [۳]. در حین زلزله بیمارستان تقریباً به اندازه‌ی نصف حرکت زمین‌لرزه‌ی طرح، یعنی تا ۲۶۰ میلیمتر نسبت به زمین، نوسان کرد [۴].

1. Base Isolation
2. Superstructure
3. Elastomeric Bearing
4. Sliding Bearing
5. Fixed Base
6. Ishinomaki Red Cross Hospital
7. Tohoku



شکل ۱-۷. ماهیت جداسازی لرزه‌ای. یک ساختمان جداسازی شده با حرکت در پایه خود از تکان‌های زلزله محافظت می‌شود. در یک ساختمان متعارف، حرکت در ارتفاع آن جذب می‌شود.



شکل ۱-۸. پاسخ‌های متفاوت در ساختمان‌های جداسازی لرزه‌ای شده و پایه ثابت.



شکل ۱-۹. بیمارستان صلیب سرخ ایشینوماکی، میاگی^۱، ژاپن.

بیمارستان زنان کرایست چرچ که در سال ۲۰۰۵ افتتاح شده (شکل ۱-۱۰)، دارای یک زیرزمین اصلی و هفت طبقه روی زمین است. مقاومت روسازه این ساختمان در برابر نیروی زلزله، توسط قاب‌های خمشی بتنی مسلح در جهت طولی تأمین شده است (شکل ۱-۹). در چهار طبقه پایین ساختمان، برای مقاومت در برابر بارهای عرضی، از ترکیب قاب‌های مجهز به مهاربندهای فولادی V شکل و قاب‌های خمشی بتن مسلح استفاده شده است. بیمارستان به گونه‌ای طراحی

شده است که در حین زمین‌لرزه‌ی طرح (زمین‌لرزه‌ای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ ساله) به اندازه ± 420 میلیمتر روی تکیه‌گاه‌های سربی - لاستیکی^۱، به صورت افقی جابه‌جا شود.



شکل ۱-۱۰. بیمارستان زنان کرایست چرچ، کرایست چرچ، نیوزیلند.

در چهارم سپتامبر ۲۰۱۰، زمین‌لرزه‌ای با شدت متوسط رخ داد که گرچه به ساختمان‌های اطراف این بیمارستان خسارت کمی وارد کرد، اما ساختمان‌های بنایی غیرمسلح به شدت آسیب دیدند. بنابر اذعان کارکنان بیمارستان هنگام زمین‌لرزه چرخ‌های دستی روی کف طبقات به حرکت درآمد، اقلام از قفسه‌ها افتاده و نیاز بود تا برای ممانعت از افتادنشان حین نوسانات شدید زمین‌لرزه نگاه داشته شوند؛ با وجود این موارد، تکیه‌گاه‌های این بیمارستان تنها به میزان ۴۰ میلیمتر جابه‌جا شده بودند و غیر از تخریب پوشش درز انقطاع‌های لرزه‌ای، هیچ خسارت دیگری گزارش نشد [۵].

زلزله ۲۰۱۰، در قیاس با زلزله‌ای که در ۲۲ فوریه ۲۰۱۱ رخ داد، بسیار کوچک بود. در این زلزله اکثر ساختمان‌های نزدیک بیمارستان به شدت آسیب دیدند. در ناحیه CBD^۲ پلاک‌های زرد نصب شده بر روی بیش از ۵۰ درصد ساختمان‌های دارای قاب بتن مسلح، نشان از تجویز سکونت تنها برای بازه زمانی کوتاهی

1. Lead Rubber Bearing

2. Central Business District

بود و ۲۱ درصد ساختمان‌ها نیز در حدی آسیب دیده بودند که سکونت در آن‌ها ممنوع اعلام شد. تقریباً ۵۰ درصد ساختمان‌های واقع در حوالی بیمارستان زنان کرایست چرچ، دچار خسارات سازه‌ای متوسط تا شدید شده بودند و ۱۳۵ نفر نیز به علت فروریختن دو ساختمان بتنی میان مرتبه، جان خود را از دست دادند. متعاقب این حادثه، بیش از یک‌هزار ساختمان تجاری تخریب شدند [۶]. شدت تکان‌های زمین در این زمین‌لرزه، تقریباً دو برابر مقدار فرض شده در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای نیوزیلند، ولی با زمان تداوم بسیار کوتاه‌تری بود [۷].

در طی این رویداد مصیبت‌بار، تکیه‌گاه‌های سربی - لاستیکی بیمارستان زنان کرایست چرچ، ۲۰۰ میلیمتر جابه‌جا شد و ساختمان را از خسارات عمده محافظت کرد. از خسارات‌های جزئی وارده می‌توان به ایجاد ترک در پارتیشن‌ها و نازک‌کاری اطراف بازشوی پنجره‌ها، جاری شدن خاک روان‌شده در پشت دیوارهای حائل به داخل زیرزمین ساختمان، آسیب دیوار آتش‌بند توسط لوله‌های تأسیسات و در نهایت تغییر مکان چیلرها و آسیب لوله‌های کندانسور واقع در بام اشاره کرد [۸]. نبود هرگونه آسیب سازه‌ای و خساراتی ناچیز به المان‌های معماری و تأسیسات، حساب این بیمارستان را از ساختمان‌های آن ناحیه جدا کرد؛ و حتی یک بخش تومورشناسی^۱ واقع در ساختمانی آسیب دیده، در زمان کوتاهی پس از زمین‌لرزه به بیمارستان کرایست چرچ انتقال داده شد.

بررسی واقعیت

با این‌که دو نمونه موردی بررسی شده، عملکرد لرزه‌ای بسیار خوب سازه‌های جداسازی شده را در قیاس با ساختمان‌های پایه ثابت متداول نشان می‌دهد، این امر به معنای معجزه‌گر بودن این راه‌کار نمی‌باشد. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، تکان‌های داخل این ساختمان‌ها، به‌ویژه در زمین‌لرزه‌های کوچک‌تر می‌تواند شدید باشد. اگرچه در این شرایط تنها بخش کوچکی از انرژی زلزله در تراز پایه ساختمان به روسازه منتقل می‌شود، هنوز نیز به المان‌هایی سازه‌ای چون دیوارها، قاب‌های خمشی یا سیستم مهاربندی جهت تحمل نیروهای افقی اینرسی در روسازه نیاز می‌باشد. متأسفانه برای معماران و مالکان ساختمان‌ها، ابعاد اجزای سازه‌ای ساختمان‌های جداسازی شده، مشابه ساختمان‌های سنتی است؛ علت این است که آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای در مورد ساختمان‌های سنتی که به صورت شکل‌پذیر طراحی شده‌اند، اجازه می‌دهند که نیروهای طراحی به واسطه رفتار شکل‌پذیر با ضریبی بین چهار تا شش کاهش یابند. بنابراین، سازه‌های جداسازی شده برای سطوح نیرویی مشابهی طراحی می‌شوند؛ اما تفاوت بسیار مهم آن است که آن‌ها در طی زلزله طرح بدون خسارت باقی می‌مانند. در صورتی که سازه‌های متداول آسیب جدی خواهند دید و چه بسا متأسفانه مانند آن‌چه در کرایست چرچ رخ داد، تخریب شوند.

ارتقاء قابل‌توجه عملکرد لرزه‌ای با جداسازی، معمولاً هزینه‌هایی را به‌همراه دارد؛ اضافه بهاء بابت کیفیت، لازمه هر خریدی است. به‌عنوان نمونه، نتایج بررسی‌های انجام شده روی سه بیمارستان جداسازی شده که در سال ۲۰۰۸ ساخته شده‌اند، نشان داده است که هزینه اضافی بابت سیستم جداساز، در حدود سه درصد هزینه‌های کل ساخت بوده است [۹]. اگرچه فصل ۱۰ کتاب، به بررسی مباحث اقتصادی این سیستم‌ها اختصاص داده شده است، اما توجه به این مهم ضروری است که سرمایه اختصاص داده شده برای اجرای سیستم جداساز در بیمارستان زنان کرایست چرچ، تاکنون بارها جبران شده است؛ اجرای این سیستم علاوه بر جلوگیری از خسارات پرهزینه، عملکرد بدون وقفه بیمارستان را بلافاصله پس از زمین‌لرزه تضمین کرده است.

در فصل‌های بعدی این کتاب، موضوعاتی که تاکنون مطرح شده و سایر مباحث مرتبط، با جزئیاتی بیشتر بررسی خواهد شد؛ هم‌چنین سعی شده است تا جداسازی لرزه‌ای از تمام زوایایی که احتمالاً مورد پرسش خواننده خواهد بود، بررسی شده و پاسخ‌ها ارائه شود.

1. Charleson, A.W., 2008, Seismic design for architects: outwitting the quake, Oxford: Elsevier.
2. Japanese Red Cross Society 2011, 'Ishinomaki Red Cross Hospital – recording of the Great East Japan Earthquake', video recording. Available from: www.youtube.com/watch?v=Pc1ZO7YwcWc (accessed: 30 December 2015).
3. Motosaka, M. & Mitsuji, K., 2012, 'Building damage during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake', Soils and foundations, vol. 52, no. 5, pp. 929–44.
4. Someya, T., 2013, 'Seismically isolated hospital offers ray of hope in disaster – Ishinomaki Red Cross Hospital', Proceedings of the 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, 24–27 September, Sendai, Japan, p. 3.
5. Gavin, H.P. & Wilkinson, G., 2010, 'Preliminary observations of the effects of the 2010 Darfield earthquake on the base-isolated Christchurch Women's hospital', Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, vol. 43, no. 4, 360–7, p. 362.
6. Whittaker, D., 2013, 'Recent developments in seismic isolation in New Zealand', Proceedings of the 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, 24–7 September, Sendai, Japan, p. 1.
7. Kam, W.Y., Pampanin, S. & Elwood, K., 2010, 'Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) earthquake', Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, vol. 44, no. 4, pp. 239–77.
8. McIntosh, J.K., Jacques, C., Mitrani-Reiser, J. et al., 2012, 'The impact of the 22nd February 2011 earthquake on Christchurch hospital', Proceedings of the 2012 Technical Conference of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, p. 6.
9. Charleson, A.W. & Allaf, N.J., 2012, 'Costs of base-isolation and earthquake insurance in New Zealand', Proceedings of the 2012 Technical Conference of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Christchurch, p. 6.

فصل دوم

تاریخچه، الزامات و اصول جداسازی لرزه‌ای

تاریخچه مختصر

اگرچه جداسازی لرزه‌ای به صورتی که امروزه اجرا می‌شود سبقه‌ی کوتاهی کم‌تر از ۵۰ سال دارد؛ اما شواهدی بسیار قدیمی‌تر از تلاش‌هایی برای جداسازی ساختمان‌ها از حرکات زمین، کشف شده است. جزئیاتی برای جداسازی لرزه‌ای در معماری بومی^۱ برخی از جوامع لرزه‌خیز یافته شده است. مشاهده شده است برخی ساختمان‌های سنتی بسیار قدیمی، [هنگام زمین‌لرزه] از ساختمان‌های مدرن عملکرد بهتری داشته‌اند. برای مثال، برخی ساختمان‌های باستانی در کشور ایران احتمالاً به جهت تسهیل در حرکات حین زلزله، بر روی سنگ‌های مسطح همواری قرار گرفته‌اند و یا دیوارهای باربرشان بر روی لایه‌هایی از ماسه نشسته‌اند. جالب توجه‌ترین مثال از آن ناحیه، خانه‌هایی است که بر روی لایه‌هایی از الوارهای کوتاه قرار گرفته‌اند. این الوارها به گونه‌ای در پلان جانمایی شده‌اند که بتوانند در دو جهت متعامد نسبت به زمین بغلتند [۱]. عملکرد خوب این ساختمان‌ها در زمین‌لرزه ۱۹۹۰ شهر منجیل، مشاهده شد. آن‌ها به واسطه الوارهای چوبی، بدون تحمل خسارت تا ۲۰۰ میلیمتر بر روی شالوده‌های خود حرکت کردند.

اولین کاربرد مدرن جداسازی لرزه‌ای به یک مدرسه‌ی ابتدایی در شهر اسکوپیه^۲ یوگوسلاوی باز می‌گردد که ساختمان آن در سال ۱۹۷۹ بر روی تکیه‌گاه‌های نئوپرن^۳ (لاستیک مصنوعی^۴) قرار گرفته است. با این وجود ساختمان ویلیام کلیتون^۵ واقع در شهر ولینگتون، که ساختش در سال ۱۹۸۱ به اتمام رسید، اولین ساختمانی بود که سیستم جداسازی لرزه‌ای آن شامل تمامی پنج مشخصه‌ی لازم برای جداسازی لرزه‌ای می‌شد (شکل ۲-۱)؛ این مشخصه‌ها در ادامه این فصل توضیح داده خواهد شد. این امر به کمک تکیه‌گاه‌های سربی - لاستیکی^۶ که به تازگی توسط دکتر بیل رابینسون^۷ اختراع شده بود، تحقق یافت.

-
1. Vernacular Architecture
 2. Skopje
 3. Neoprene bearings
 4. Artificial rubber
 5. William Clayton

۶. این تکیه‌گاه چه در دنیا و چه در ایران، با نام اختصاری LRB شناخته می‌شود (مترجم).

7. Bill Robinson

بعد از اولین کاربرد این سیستم، رشد جهانی جداسازی لرزه‌ای آهسته بود [۲]. پس از مدتی زمین‌لرزه ۱۹۹۵ کوبه^۱ در ژاپن رخ داد و موجب فروریزش صدها و تحمیل خسارات به هزاران ساختمان شد. پیش از آن زلزله، تنها ۱۰ ساختمان جداسازی شده در هر سال ساخته می‌شد؛ بعد از زمین‌لرزه کوبه و در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۲، این نرخ با سرعت زیادی به ۱۵۰ ساختمان در سال، رسید [۳]. در سال‌های اخیر تمایل به کاربرد جداسازی لرزه‌ای در سایر کشورها نیز بیشتر شده و رشد آن سرعت قابل توجهی یافته است. این تمایل اغلب به دنبال وقوع یک زلزله بزرگ و تجربه تلفات جانی و خسارات گسترده به ساختمان‌ها و در عین حال مشاهده عملکرد عالی یک یا چند ساختمان جداسازی شده در آن ناحیه، شکل گرفته است. این تسریع در به‌کارگیری جداسازی لرزه‌ای هم‌چنین در کشور چین بعد از زلزله ۲۰۰۸ ونچوان^۲، در ایتالیا بعد از زلزله ۲۰۰۹ آبروتسو^۳، و در نیوزیلند بعد از زمین‌لرزه ۲۰۱۱ کرایست چرچ، مشاهده شده است.



شکل ۱-۲. ساختمان ویلیام کلیتون، ولینگتون، نیوزیلند، ۱۹۸۱. اولین مثال از کاربرد جامع روش جداسازی لرزه‌ای.

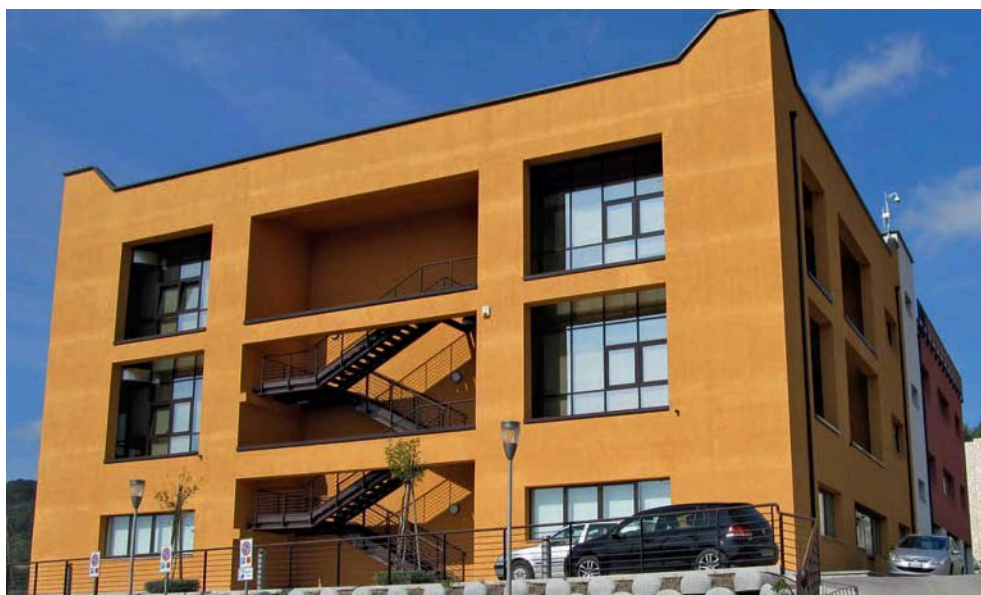
اخیراً در یک بررسی بین‌المللی بر روی ساختمان‌های جداسازی لرزه‌ای شده، گزارش شده است که تا سال ۲۰۱۲ بیش از ۶۶۰۰ ساختمان در ژاپن جداسازی شده است [۴]. این تعداد شامل ۴۰۰۰ ساختمان مسکونی می‌باشد. در چین بیش از ۲۵۰۰ ساختمان که ۷۰ درصد آن مسکونی است [۵]؛ در روسیه ۵۵۰ ساختمان و پل؛ ایتالیا ۳۰۰؛ و در ایالات متحده تقریباً ۲۰۰ ساختمان جداسازی شده است. هم‌چنین ده‌ها ساختمان جداسازی شده در کشورهای دیگری چون کره جنوبی، تایوان، ارمنستان، شیلی و نیوزیلند وجود دارد^۴. در سطح دنیا این تعداد هم‌چنان رو به افزایش است. در شکل‌های (۲-۲) تا (۱۹-۲) چندین مثال از ساختمان‌های جداسازی لرزه‌ای شده در کشورهای مختلف، نشان داده شده است.

1. Kobe
2. Wenchuan
3. Abruzzo

۴. از اواخر دهه هشتاد شمسی، کاربرد اصولی و مدرن جداسازی لرزه‌ای در پروژه‌های کشور ایران نیز آغاز شده است. طبق بررسی‌های مترجم، تا نیمه اول سال ۱۳۹۸، این فناوری در بیش از ۲۰ سازه شامل ساختمان‌های مسکونی، بیمارستانی، مدیریت بحران، اداری، پل‌های راه و راه‌آهن و مخازن گاز، به کار رفته‌است که تمامی آن‌ها جدیدالحداث بوده‌اند. هم‌اکنون در طراحی ده‌ها سازه‌ی جدید دیگر و در طرح مقاوم‌سازی چند ساختمان موجود در کشور، جداسازی لرزه‌ای به عنوان طرح برتر در نظر گرفته شده و انتظار می‌رود که در سال‌های آتی روند به‌کارگیری از این فناوری سرعت پیدا کند (مترجم).



شکل ۲-۲. بیمارستان نظامی لا رینا^۱، سانتیاگو^۲، شیلی، ۲۰۰۷.



شکل ۲-۳. مدرسه سن جولیانو^۳، سن جولیانا دی پولیا^۴، ایتالیا، ۲۰۰۸.

-
1. Military Hospital La Reina
 2. Santiago
 3. Angels of San Giuliano School
 4. San Giuliano di Puglia



شکل ۲-۴. خوابگاه دانشجویی، دانشگاه ملی فناوری^۱، دانشکده منطقه‌ای مندوزا^۲، مندوزا، آرژانتین، ۲۰۰۷.



شکل ۲-۵. بیمارستان نور^۳، لیسبون^۴، پرتغال.

-
1. National Technological University
 2. Mendoza Regional Faculty
 3. Hospital of Light
 4. Lisbon



شکل ۲-۶. انستیتوی بافت‌شناسی و جفت‌شناسی آزمایشگاه‌های مندوزا (IHEM)^۱، مندوزا، آرژانتین، ۲۰۱۴.



شکل ۲-۷. موزه آکروپولیس^۲، آتن، یونان، ۲۰۰۹.

1. Institute of Histology and Embryology of Mendoza (IHEM) laboratories
2. Acropolis Museum



شکل ۲-۸. بخش یک از ۱۸۵ ساختمان مسکونی که به عنوان قسمتی از پروژه C.A.S.E.^۱ بعد از زلزله سال ۲۰۰۹ لاکوئلا^۲ در ایتالیا ساخته شدند. این ساختمان‌های چند طبقه بر روی دال‌های هم‌کف جداسازی شده در بالای زیرزمین‌ها، ساخته شده‌اند.



شکل ۲-۹. زیرزمین با کاربری پارکینگ در یک ساختمان از پروژه C.A.S.E. لغزنده‌های با سطوح مقعر دو قوسی، دال طبقه هم‌کف را از ستون‌های طره‌ای جدا می‌کنند.

1. Complessi Aniti-Sismici Eco-compatibili
2. L'Aquila