ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مجموعه مقالات آموزشی ویژه کشورهای در حال توسعه به‌منظور ارتقای ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله

اندرو چارلسون

(ویرایش اول، مارس ۲۰۲۲)

ترجمه و تطبیق با شرایط ایران:

رضا رؤفی
استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

بهرخ حسینی هاشمی
دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و رئیس انجمن مهندسی زلزله ایران

امیر شاه محمدیان
دانشجوی دکتری مهندسی زلزله دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

محسن غفوری آشتیانی
استاد پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و عضو مؤسسین انجمن مهندسی زلزله ایران

(ویرایش اول، اردیبهشت ۱۴۰۲)

انتشارات دانشنامه جهانی ساخت مسکن، EERI و انتشارات انجمن مهندسی زلزله ایران IEEA

مجموعه آموزشی پیش‌رو برای اولین بار در سال ۲۰۲۰ توسط پژوهشگاه تحقیقات مهندسی زلزله[1]، مؤسسه‌ای غیرانتفاعی منتشر شده است. این پژوهشگاه، سازمان غیرانتفاعی عضویت‌پذیر[2] پیشرویی است که متعهد به درک خطرپذیری و افزایش تاب‌آوری لرزه‌ای جوامع در سرتاسر جهان است.

این آموزش توسط داوطلبانی نگاشته و داوری شده که همگی در پروژه دانشنامه جهانی ساخت مسکن EERI و IAEE مشارکت دارند.

هرگونه نظر، یافته، نتیجه‌گیری یا توصیه ارایه شده در این متن، متعلق به نویسنده است و لزوماً منعکس کننده دیدگاه هیچ سازمانی نیست.

نسخه‌هایی از این نشریه را می‌توان از تارنمای دانشنامه جهانی ساخت مسکن به آدرس http://www.worldhousing.net دانلود کرد.

درنظر است تا این نشریه به زبان‌های دیگر ترجمه شده و درصورت نیاز مطابق با شرایط موجود در آن کشورها، با ذکر نام EERI و حذف نشان و لوگو EERI، اصلاح شود. دریافت مجوز از ناشر برای انتشار بخشی یا تمام این نشریه غیرضروری است. در این راستا ترجمه حاضر به زبان فارسی و سازگار نمودن آن با شرایط ایران در سال ۱۴۰۲ به همت انجمن مهندسی زلزله ایران انجام شده است.

قدردانی:

این سند توسط یک تیم بین‌المللی از کارشناسان پروژه دانشنامه جهانی ساخت مسکن که داوطلبانه وقت و دانش خود را صرف کرده‌اند، نگاشته و داوری شده است. نظرات این داوران به‌طور ویژه مورد قدردانی قرار می‌گیرد: سوتلانا برژف، مارجوری گرین، شانون اسپیرز، داستین کوک، لارس آبراهامچیک و رزی ایمانی. با تشکر از برژیت فارمر برای ترسیم نمودارها. به‌جز مواردی که نام عکاس ذکر شده، تمامی عکس‌ها توسط اندرو چارلسون گرفته شده‌اند.

برگردان فارسی و سازگار نمودن متن برای شرایط ایران توسط اعضای انجمن مهندسی زلزله ایران آقایان دکتر رضا رؤفی[3]، دکتر بهرخ حسینی هاشمی[4]، مهندس امیر شاه محمدیان[5] و دکتر محسن غفوری آشتیانی[6] انجام شده است؛ انجمن مهندسی زلزله ایران مراتب قدردانی خود را برای این تلاش اعلام می‌دارد.

مواردی پیرامون دانشنامه جهانی ساخت مسکن:

دانشنامه جهانی ساخت مسکن (WHE) آموزش فراگیر در ارتباط با ساخت مسکن در نواحی فعال لرزه‌ای جهان است که توسط پژوهشگاه تحقیقات مهندسی زلزله (EERI) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (IAEE) میزبانی می‌شود. اهداف دانشنامه جهانی ساخت مسکن عبارتند از:

- به اشتراک گذاری دانش در مورد شیوه‌های ساخت مسکن
- تشویق برای بکارگیری فناوری‌های مقاوم لرزه‌ای
- توسعه دستورالعمل‌ها و منابع فنی برای بهبود ساختمان‌های آسیب‌پذیر در زلزله
- ارائه خدمات و پشتیبانی فنی به جوامع در سراسر جهان در زمینه فناوری‌های ساخت مسکن مقاوم در برابر زلزله

[1] Earthquake Engineering Research Institute
[2] Non-profit membership organization

[3] گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
[4] پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. رئیس انجمن مهندسی زلزله ایران.
[5] گروه مهندسی عمران سازه، زلزله و ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
[6] پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. عضو مؤسسین انجمن مهندسی زلزله ایران.

فهرست مطالب:

مقاله ۱. کشور ایران و زلزله‌ها

مقاله ۲. اجتناب از مشکلات مرتبط با خاک و پی در هنگام وقوع زلزله

مقاله ۳. سه سیستم سازه‌ای برای مقاومت در برابر زلزله‌ها

مقاله ۴. چرا دیوارهای سازه‌ای بهترین عناصر مقاوم در برابر زلزله هستند؟

مقاله ۵. آیا دیوارها در ساختمان‌ها حین وقوع زلزله مفید هستند؟

مقاله ۶. ساختمان‌های دارای ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح در هنگام زلزله‌ها چگونه رفتار می‌کنند؟

مقاله ۷. اصول مرتبط با ساختمان‌های بنایی ایمن در برابر زلزله

مقاله ۸. بستن عناصر ساختمان به‌یکدیگر برای مقاومت در برابر زلزله

مقاله ۹. دانش محلی و ایمنی ساختمان در هنگام وقوع زلزله

مقاله ۱۰. دیوارهای میان‌قاب و نحوه تاثیر آن‌ها بر ساختمان هنگام وقوع زلزله

مقاله ۱۱. پرهیز از یک ضعف سازه‌ای بسیار رایج: طبقه نرم

مقاله ۱۲. پرهیز از یک ضعف سازه‌ای بسیار رایج: دیوار ناپیوسته

مقاله ۱۳. پرهیز از یک ضعف سازه‌ای بسیار رایج: ستون کوتاه

مقاله.۱۴. جلوگیری از پیچش ساختمان هنگام وقوع زلزله

مقاله ۱۵. چرا ساختمان‌ها حین وقوع زلزله‌ها به‌یکدیگر ضربه می‌زنند؟

مقاله ۱۶. استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی

مقاله ۱۷. از مقررات ساختمانی چه انتظاراتی می‌توان داشت؟

مقاله ۱۸. از ساختمان طراحی شده طبق آیین‌نامه چه انتظاراتی می‌توان داشت؟

مقاله ۱۹. اهمیت بازبینی حین طراحی ساختمان‌ها

مقاله ۲۰. اهمیت نظارت ساختمان در طول دوره ساخت

مقاله ۲۱. جلوگیری از وقوع آسیب در اجزا غیرسازه‌ای

مقاله ۲۲. مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله

مقاله ۲۳. رویکردهای پیشرفته تاب‌آوری لرزه‌ای ساختمان‌ها

مقاله ۲۴. برنامه‌ریزی شهری و ایمنی لرزه‌ای

مقاله ۲۵. سونامی‌ها و ساختمان‌ها

مقدمه

ضرورت تهیه این نشریه پس از انجام یک نظرسنجی در سال ۲۰۱۹ از ذینفعان صنعت ساختمان در یوگیاکارتا، اندونزی آشکار شد. از صد و چهل مهندس، معمار، پیمانکار و مالک ساختمان تقاضا شده بود تا تغییراتی را که دوائر مرتبط با امور ساختمانی آن‌ها می‌توانند به‌منظور بهبود ایمنی ساختمان در هنگام رخداد زلزله‌ها اعمال نمایند، پیشنهاد دهند. پیشنهاد غالب این بود که دوایر ساختمانی باید نقش آموزشی را بر عهده بگیرند. پاسخ دهندگان نظرسنجی معتقد به الزام در سهولت به دسترسی اطلاعات، شامل اطلاعات مرتبط با خطر زلزله، اثرات زلزله بر ساختمان‌ها و مقررات ساختمانی مرتبط با ایمنی ساختمان برای همه ذینفعان و همچنین برای کارکنان دوائر ساختمانی بودند.

در ابتدا تعداد ۲۵ مقاله آگاهی رسان در این سند برای افراد مشغول در صنعت ساختمان و همچنین عموم مردم سومین شهر بزرگ اندونزی، باندونگ، به نگارش درآمده است. در طول سال‌ها، نویسنده ماه‌های زیادی را در این شهر سپری کرده است.

اگرچه مقالات تا حدودی به زمینه‌ای خاص مرتبط هستند، اما مقرر شده است تا همانند یک الگو عمل نمایند. هدف این است که مقالات مطابق با زمینه‌های محلی از جمله مصالح و روش‌های ساخت اصلاح شوند. سپس، در صورت لزوم، برای بسیاری از شهرها و مناطق لرزه خیز در حال توسعه جهان به زبان های محلی ترجمه شوند.

پس از تهیه منبع آموزشی مشتمل بر مقالات مذکور، دانشنامه جهانی ساخت مسکن، در پی یافتن همکار در کشورهای درحال توسعه برای در صورت لزوم ترجمه، ویرایش و انتشار آن‌ها می‌باشد. همکار می‌بایست مشتاق به بهبود ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌های محلی در برابر زلزله باشد، در طراحی مقاوم لرزه‌ای مجرب باشد، در سطح محلی از اعتبار بالایی برخودار و مورد اعتماد باشد و دارای جایگاهی اثرگذار در صنعت ساختمان در سطح محلی باشد. پس از ویرایش و ترجمه برای بهبود انطباق مقالات با شرایط محلی، همکار مذکور نسبت به انتشار آنها اقدام می‌نماید .

به‌طور بالقوه، از منظر راهبردی مؤثرترین همکار اداره مرتبط با امور ساختمان‌سازی در سطح محلی یا منطقه‌ای است. ترجیحاً، همکار مذکور نسخه محلی از مقالات را در تارنمای خود منتشر کرده، و حتی نسخه‌های کاغذی آن‌ها را در دسترس افراد متقاضی جواز ساخت و عموم مردم قرار می‌دهد. به‌عنوان گزینه‌های دیگر همکار می‌تواند یک اداره دولتی، انجمن ملی مهندسی زلزله، گروهی از اعضای هیات علمی دانشگاه، یا یک شرکت بزرگ مهندسان مشاور باشد. مشارکت همکار در ارائه نسخه محلی نهایی مقالات به‌رسمیت شناخته می‌شود و این امر در ارتقای نمایه عمومی همکار مؤثر خواهد بود. ممکن است از همکار مذکور درخواست شود که به سؤالات مطرح شده درخصوص مقالات نیز پاسخ دهد.

علاوه بر انتشار مقالات در یک تارنما و یا تهیه نسخه کاغذی آن‌ها برای مراجعه کنندگان، روش‌های دیگری برای نشر امکان‌پذیر است. به‌عنوان مثال مقالات می‌توانند به‌صورت مجموعه‌ای از مقالات در روزنامه‌ها یا جراید منتشر شوند.

جراید هدف می‌توانند جراید مورد توجه متخصصان ساختمان و مالکان مسکن و ساختمان باشند. چه‌بسا بتوان مقالات را برای استفاده در آموزش حرفه‌ای و مؤسسات آموزشی مرتبط با ساخت و ساز ارتقا داد.

- از همکاران دانشنامه جهانی ساخت مسکن برای بهبود ایمنی ساختمان‌ها، به‌ویژه ساخت مسکن در جوامع متعلق به خودشان قدردانی می-شود.
- خوانندگان نسخه فارسی در صورت ابهام و یا برای اعلام نظرات و پیشنهادات می‌توانند با دکتر بهرخ حسینی هاشمی به آدرس behrokh_h_h@yahoo.com یا دکتر رضا رؤفی به آدرس r_raoufi@iauahvaz.ac.ir تماس برقرار نمایند.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

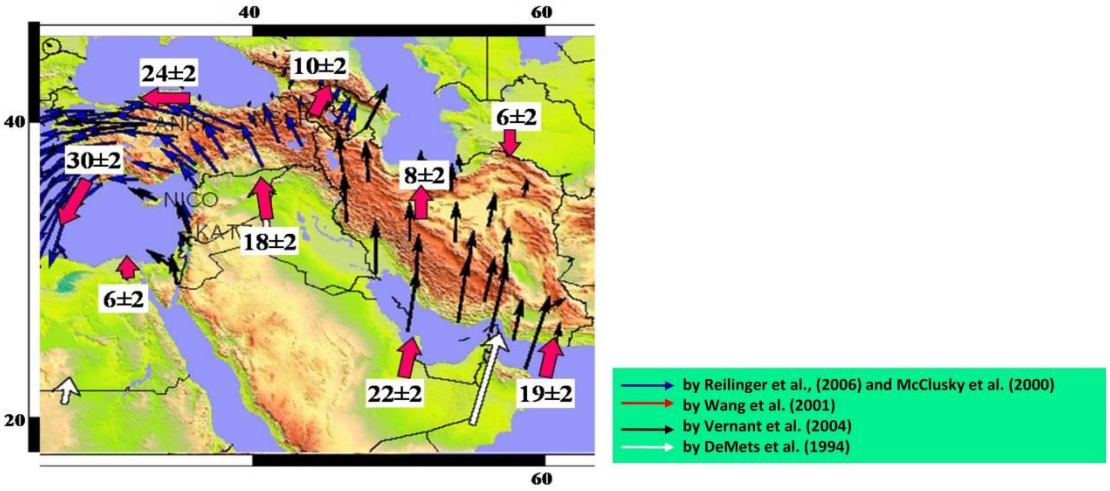
مقاله ۱. کشور ایران و زلزله‌ها

ایران در منطقه‌ای لرزه‌خیز در امتداد کمربند لرزه‌خیز آلپ-هیمالیا واقع شده و تاکنون متحمل تلفات و خسارات زیادی به واسطه رخداد زلزله‌های بزرگ نظیر بویین‌زهرا (۱۹۶۲)، طبس (۱۹۷۸)، رودبار و منجیل (۱۹۹۰)، بم (۲۰۰۳) و سرپل ذهاب (۲۰۱۷) شده است. بررسی‌های زمین شناختی نیز نشان می‌دهند هر ساله رخداد زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۶ و هر ده سال بیش از ۷ (در مقیاس ریشتر) در نقاط مختلف کشور دور از انتظار نیست. از سوی دیگر بسیاری از سکونت‌گاه‌ها و زیرساخت‌های موجود در کشور در برابر زلزله‌های بزرگ (مثلاً با بزرگای ۷) کاملاً آسیب‌پذیر هستند.

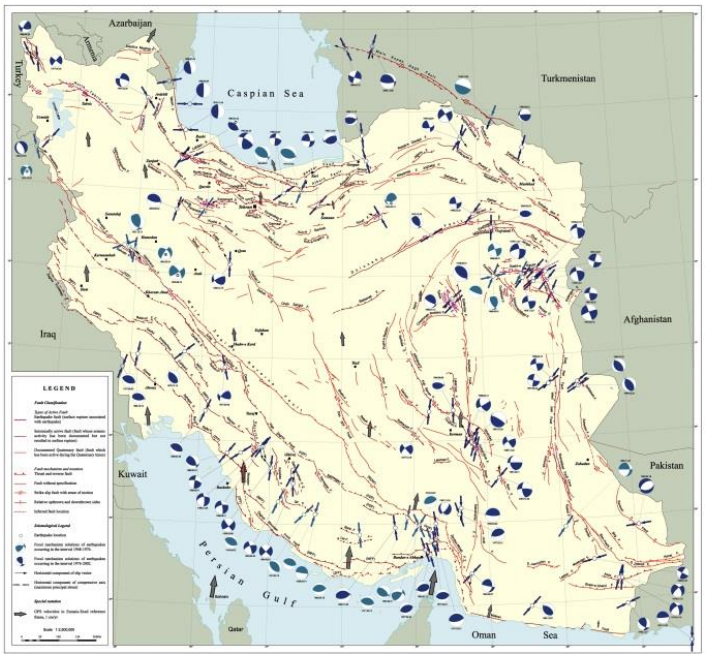
حرکت همگرای صفحات زمین ساختی اوراسیا-عربستان سبب شکل‌گیری کوه‌های البرز و زاگرس و تغییر شکل فعال در ایران به عنوان یکی از لرزه خیزترین نواحی جهان شده است (شکل ۱). لازم به ذکر است صفحه ایران در نقطه‌ای جنوبی‌تر در مکران واقع در جنوب شرقی ایران با پوسته اقیانوسی برخورد نموده که این پوسته به زیر صفحه ایران رفته است، نتیجه این برخورد پدیدآمدن رشته‌کوه‌هایی عظیم بود اما در مقایسه با منطقه زاگرس، فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای کمتری در اینجا وجود دارد. حرکات مذکور منجر به تجمیع تنش‌ها می‌شود. تنش و انرژی در اثر گسیختگی ناگهانی و شدید سنگ رها شده و باعث وقوع زلزله می‌شود.

در ارتباط با خطر زلزله در ایران شایان ذکر است که تعداد گسل‌های شناخته شده ایران ۵۷۵ و تعداد گسل‌های خطرناک ایران ۱۲۰ عدد است. نزدیک به ۹۰ درصد از شهرهای کشور در مجاورت این گسل‌ها ایجاد شده‌اند و ده‌ها میلیون نفر از مردم در سکونت‌گاه‌های در معرض خطر زلزله زندگی می کنند. ۱۹ شهر مهم کشور (تهران، مشهد، کرج، تبریز، قم، کرمانشاه، ارومیه، رشت، زاهدان، همدان، کرمان، اردبیل، بندرعباس، بوشهر، اراک، زنجان، سنندج، قزوین، خرم آباد) با جمعیت بیش از ۴۵ میلیون نفر در پهنه خطر شدید زلزله قراردارند. احتمال وقوع زلزله در پهنه شهرهای بزرگ نظیر تهران، تبریز، کرج و مشهد که پیش‌تر زلزله را تجربه نموده‌اند، با توجه به مطالعات احتمالاتی و شواهد آماری، هرساله افزایش می‌یابد.

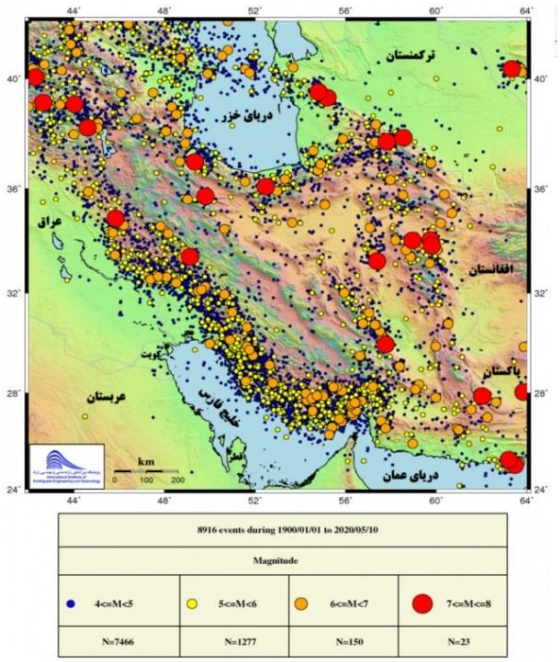
در شکل ۲ گسل‌های فعال و زلزله‌های بزرگ اخیر در گستره جغرافیایی کشور ایران را مشاهده می‌نمایید و در جدول ۱ مشخصات برخی از مهم‌ترین زلزله‌های ایران در شصت سال اخیر ارایه شده است.



شکل۱. میدان سرعت افقی ناحیه با مرزهای همگرا، اندازه‌گیری شده توسط سامانه موقعیت یاب جهانی نشان دهنده سرعت متوسط ۳۰ میلی‌متر بر سال می-باشد (اعداد نشان داده شده در شکل در کنار پیکان‌ها نشان دهنده سرعت‌های اندازه‌گیری شده هستند، مراجع مربوط در شکل ذکر شده‌اند)



(الف)



(ب)

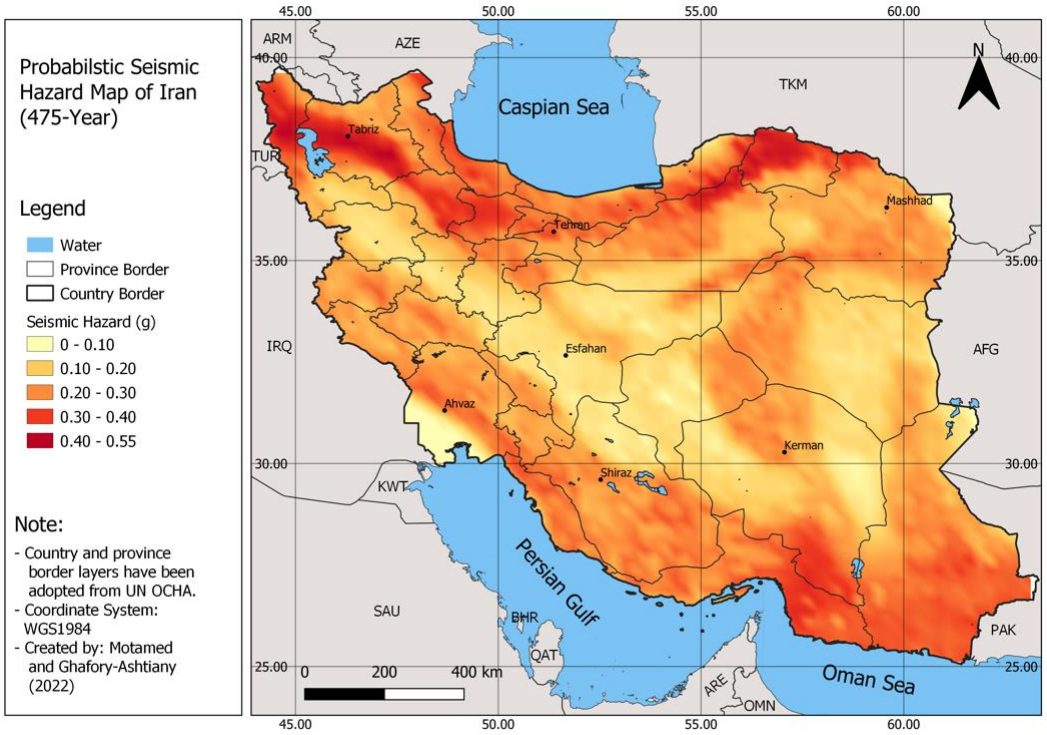
شکل۲. (الف) نقشه گسل‌های فعال ایران (حسامی و جمالی[1])؛ (ب) زلزله‌های بزرگ اخیر در ایران. زلزله‌ها براساس بزرگی یا میزان انرژی آزاد شده دسته‌بندی شده‌اند (پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله).

جدول ۱. مشخصات تعدادی از زلزله‌های مهم ایران در شصت سال گذشته (ویکی‌پدیا و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله)

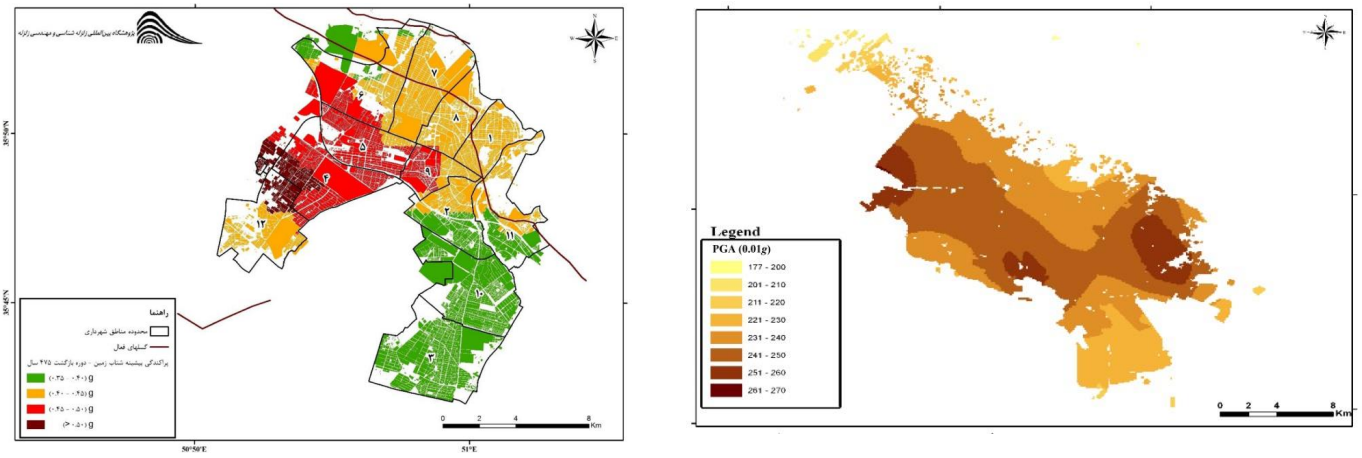
سال	روز-ماه	محل وقوع	تلفات جانی (نفر)	بزرگا (M)	خسارات مهم دیگر
۱۹۶۲	۱ سپتامبر	بوئین‌زهرا	۱۲۰۰۰	۷/۱	تخریب بسیاری از آثار و بناهای قدیمی و تاریخی
۱۹۶۸	۳۱ آگوست	دشت بیاض و کاخک	۷۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰	۷/۱	ویرانی قسمت بزرگی از شهر باستانی تون
۱۹۷۸	۱۶ سپتامبر	طبس	۱۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰	۷/۸	تخریب کامل شهر طبس
۱۹۸۱	۲۸ جولای	سیرچ	۱۵۰۰	۷/۳	۵۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان
۱۹۹۰	۲۱ جون	رودبار و منجیل	۱۵۸۰۰	۷/۴	تخریب بیش از ۲۰۰ هزار واحد مسکونی و ۵۰۰ هزارنفر بی‌خانمان
۲۰۰۳	۲۶ دسامبر	بم	۳۱۸۳۰	۶/۶	سومین زمین‌لرزه پرتلفات تاریخ ایران (بعد از زمین‌لرزه ۲۷۲ اردبیل و زمین‌لرزه ۲۳۵ دامغان)؛ تخریب کامل ارگ باستانی بم.
۲۰۱۷	۱۲ نوامبر	سرپل ذهاب	۶۳۰	۷/۳	۷۰ هزار نفر بی‌خانمان، آسیب جدی حدود ۱۰ بنای تاریخی.

از نقطه نظر مهندسی برآورد خطر یا شدت زلزله به‌منظور محاسبه بارهای وارده به سازه برای تحلیل و طراحی سازه‌ها مهم است؛ شکل ۳ نقشه خطر لرزه‌ای کشور ایران و شکل ۴ نقشه خطر لرزه‌ای شهرهای مشهد و کرج را نشان می‌دهد.

[1] Hessami and Jamali



شکل۳. (الف) نقشه خطر لرزه‌ای کشور ایران (ه . معتمد و م. غفوری آشتیانی[۲])



(ب) (الف)

شکل۴. نقشه خطر لرزه‌ای: (الف) کلان شهر مشهد (م. غفوری آشتیانی[۳]).؛ (ب) کلان شهر کرج (ک. امینی حسینی[۴]).

آسیب‌پذیری سازه‌ها در ایران: بیش از شش میلیون و پانصد هزار واحد از میان ۲۹ میلیون واحد ساختمانی موجود در کشور و حدود نیمی از تاسیسات زیربنایی کشور در معرض آسیب شدید در برابر زلزله هستند. تلفات و مصدومان احتمالی ناشی از وقوع زلزله در شهرهای بزرگ نظیر تهران، تبریز، کرج و مشهد بسیارسنگین خواهد بود. از سوی دیگر علیرغم تدوین، نشر و ابلاغ مقررات ملی ساختمان و معیارهای فنی طرح و اجرای سایر زیرساخت‌ها در دو دهه اخیر، هنوز این مقررات هنوز بطور کامل اجرا نمی‌شود و بنابراین بر خلاف انتظار، حتی بسیاری از ساختمان‌ها و زیرساخت‌های جدیدالاحداث

[2] Motamed and Ghafory-Ashtiany
[3] M. Ghafory-Ashtiany
[4] K. Amini Hosseini

نیز در برابر زلزله آسیب‌پذیر هستند. این مساله هنگام وقوع زلزله سبب ویرانی گسترده در سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی شده و به‌تبع آن تشدید مشکلات امنیتی، اقتصادی و اجتماعی (نظیر بی‌ثباتی، فروپاشی خانواده، ایجاد صدمات جسمی و معلولیت، کاهش رشد اقتصادی، افزایش تورم، رشد نرخ بیکاری و ...) دور از انتظار نیست. در درازمدت نیز این امر منجر به کاهش تولید ناخالص داخلی و افزایش تهدید امنیت ملی کشور خواهد شد. مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که وقوع زلزله در کلان‌شهرهای کشور منجر به ایجاد یک فاجعه ملی و حتی بین المللی خواهد شد و امنیت ملی را بسیار بیشتر تحت تاثیر قرار خواهد داد.

حین وقوع یک زلزله، زمین به‌سرعت و به‌طور تصادفی در همه جهات به این سو و آن سو حرکت می‌کند. حرکات زمین درطول یک زلزله بزرگ ممکن است باعث شود که تعادل خود را از دست بدهید و نتوانید روی پای خود بایستید. خود زمین نیز ممکن است تحت تاثیر این حرکات قرار گیرد، رانش-های زمین ناشی از زلزله رخ دهد، و یا روانگرایی یعنی تبدیل خاک‌های مرطوب به گل اتفاق افتد. اما معمولاً، بیشترین آسیب مربوط به ساختمان‌هایی است که محل کار و زندگی روزمره ما است.

هنگام وقوع زلزله ساختمان‌ها ارتعاش کرده و به چپ و راست نوسان می‌کنند. بعلت خمش و پیچش ساختمان در طول جنبش زمین، بخش‌ها یا کف-های طبقات بالاتر ساختمان‌ها، بیش از بخش‌های پایین‌تر دچار حرکت جانبی می‌شوند (شکل ۵). این امر منجر به وقوع تنش بزرگی در سازه‌های باربر ساختمان، مثل ستون‌ها، تیرها و دیوارها می‌شود. این وضعیت مشابه آن است که روی هر دو پا ایستاده باشید و فردی به‌آرامی شما را از پشت هل دهد. سر و شانه‌های شما بسیار بیشتر از زانوها و ساق‌های پا حرکت خواهند کرد. ماهیچه‌های پا بیشترین کار را برای زمین نخوردن شما انجام می‌دهند. دقیقاً شبیه به چیزی که ساختمان در طول زمین لرزه تجربه می‌کند. ستون‌های بتن مسلح یا فولادی و دیوارهای بنّایی آسیب‌پذیرترین اعضا هستند. با آسیب این اعضا ساختمان‌ها ممکن است دچار فروریزش شوند. ما، خانواده، دوستانمان و دیگران ممکن است میان قربانیان باشیم.

شکل ۵. ساختمان هنگام جنبش شدید لرزه‌ای.

خوشبختانه طراحی و ساخت ساختمان‌ها برای مقاومت در برابر زلزله‌ها ساده است و خیلی پرهزینه نمی‌باشد.

آسیب دیدگی ساختمان حین زلزله حتمی نیست و می‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد! مقالات بعدی در این مجموعه با جزئیات بیشتر چگونگی این امر را توضیح خواهند داد. برای اینکه ساختمان‌های جدید در ایران و دیگر کشورها در طول زمین لرزه ایمن باشند و از آسیب جدی به آنها جلوگیری شود، باید عملکرد فعلی را بهبود بخشید و اصول و روش های شناخته شده را به‌کار گرفت. بدین صورت می‌توانیم خود، خانواده و نسل بعدی را در هنگام وقوع زلزله‌ها در امان نگاه داریم.

همان‌طور که ذکر شد ایران در یکی از فعال‌ترین نواحی لرزه‌ای دنیا قرار دارد، احتمال این‌که یک زلزله مخرب به ساختمان شما آسیب جدی وارد کند نسبتاً زیاد است. با احتمالی بیش از اینکه، برای مثال، یک تصادف رانندگی جدی داشته باشید. ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله به‌آسانی قابل دستیابی هستند، اما این امر بدون صرف توجه بیشتر محقق نخواهد شد.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، http://www.iiees.ac.ir

Hessami, K., and Jamali, F., 1996. Active Faulting in Iran, Journal of Earthquake Prediction Research, 5 (3), 403-412.

Reilinger R., et al. (2006), GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, J. Geophys. Res., 111, B05411.

McClusky, S., et al. (2000), Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, J. Geophys. Res., 105, 5695 – 5719.

Vernant, P., et al. (2004a), Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, Geophys. J. Int., 157, 381 – 398.

Vernant, P., et al. (2004b), Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, Earth Planet. Sci. Lett., 223, 177 – 185.

DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein (1994), Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, Geophys. Res. Lett., 21, 2191 – 2194.

Ghafory-Ashtiany M., Development of Mashhad Earthquake Risk Model; Proceeding of IASPEI-IUGG 2011; June 2011; Melbourne, Australia.

Motamed H., Ghafory-Ashtiany M., Earthquake insurance in Iran: Solvency of local insurers in light of the current pricing and regulatory practice;; International Journal of Disaster Risk Science; To be Published.

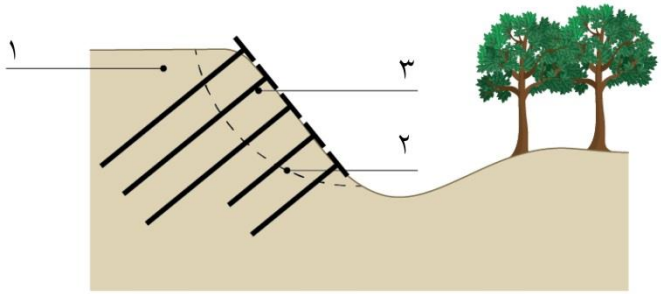
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲. اجتناب از مشکلات خاک و پی در هنگام وقوع زلزله

ترجیحاً، همگی علاقمندیم تا خانه یا ساختمانی که در آن زندگی می‌کنیم بر روی زمینی سخت بنا شده باشد. بدین ترتیب موارد جدی در ارتباط با گسیختگی خاک که ممکن است ساختمان ما را تحت تأثیر قرار دهند دیگر وجود نخواهند داشت. در هنگام وقوع زلزله، رفتار خاک نه‌تنها غیرعادی و عجیب است، بلکه می‌تواند برای ساختمان‌ها خطرناک باشد. در شکل ۱ نمونه‌ای از گسیختگی سطح زمین به‌همراه زمین لغزش ناشی از آن که در زلزله ۱۲نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب رخ داده است را مشاهده می‌نمایید.

شکل۱: گسیختگی سطحی در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب، ایران (ب. حسینی هاشمی[1]).

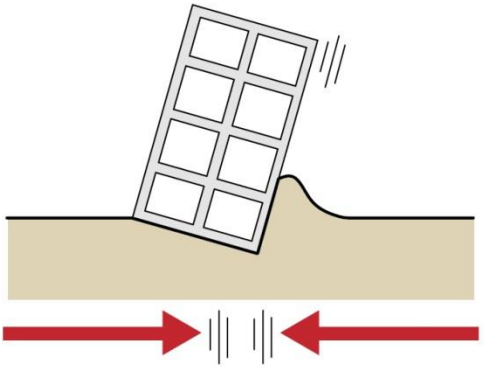
شاید بتوان شیب‌های تند را آشکارترین خطر دانست. شیب‌های تند مستعد ریزش سنگ‌ها و زمین لغزش هستند، که هر دو می‌توانند منجر به نابودی واحدهای ساختمانی و جوامع شوند. معمولاً برای جلوگیری از این مشکلات راه‌حل‌هایی در مهندسی عمران پیدا می‌شود. به‌عنوان مثال، زهکش‌های سطحی می‌توانند از نرم‌شدگی خاک‌های مستعد لغزش در اثر آب باران که در زلزله ممکن است دچار حرکت شوند جلوگیری کنند. تثبیت فعال سراشیبی تپه‌ها که شامل حفر سوراخ‌های عمیق و نصب «مهارهای زمین» برای جلوگیری از شکل‌گیری لغزش است، به سطح بیشتری از مداخله و سرمایه‌گذاری نیاز دارد (شکل ۲).



شکل۲: مقطع عرضی از یک شیب ناپایدار (۱). از گسیختگی سطح خمیده مستعد لغزش (۲)، با بکارگیری میله‌های فولادی مهار زمین (۳) که در شیب حفر و بتن ریزی می‌شوند ممانعت شده است.

[1] B. Hosseini Hashemi

یکی دیگر از مشکلات جدی ناشی از زلزله حتی می‌تواند در خاک ساختگاه‌های مسطح نهفته باشد. این مساله به‌ویژه در ساختگاه‌های واقع بر ماسه سست زیر سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد. جنبش شدید زمین، ماسه و آب را به‌شکل مایعی از مخلوط آب و ذرات معلق در می‌آورد. بدین دلیل است که از اصطلاح «روانگرایی» برای توصیف این پدیده استفاده می‌شود. ساختمان‌های بنا شده بر این نوع ساختگاه‌ها که حالا به ماده‌ای روان تبدیل شده است در آن فرو می‌روند. این ساختمان‌ها کج می‌شوند یا حتی به‌طور کامل در زمین فرو می‌روند (اشکال ۳ و ۴). در اینترنت عبارت «روانگرایی در ساختمان ها[۲]» را جستجو کنید تا تصاویر بسیاری را مشاهده نمایید. در موارد شدید، مانند زلزله پالو اندونزی در سال ۲۰۱۸، بسیاری از خانه‌ها از بین رفتند و در خاک که به‌طور ناگهانی به گل تبدیل شده بود ناپدید شدند.



شکل۳: لرزش زمین باعث می‌شود برخی از خاک‌ها دچار کاهش مقاومت و در نتیجه روان گردند، این امر منجر به کج شدگی ساختمان می‌شود.

شکل۴: نمونه‌هایی از روانگرایی خاک در زلزله هفدهم آگوست ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه و کج شدگی ساختمان‌ها (ب. حسینی هاشمی[۳]).

خطراتی که در ارتباط با خاک‌ها و زلزله‌ها ممکن است رخ دهند، ضرورت انجام تحقیقات مرتبط با خاک در مراحل پیش از طراحی و ساخت را یادآور می‌شوند. در این راستا آزمایش‌هایی مرتبط با خاک توصیه می‌شوند. آزمایش‌های ساده برای ساختمان‌های کوچک و آزمایش‌های گسترده‌تر برای پروژه‌های بزرگتر. مهندسین عمران نتایج این آزمایش‌ها را برای اطمینان از این موضوع که خاک قادر به تحمل وزن ساختمان است نیاز دارند. انجام آزمایش معمولاً شامل حفاری زیر سطح زمین برای تعیین نوع خاک‌های موجود است (شکل ۵). اغلب نمونه‌هایی از خاک گرفته می‌شود تا در آزمایشگاه بررسی شوند. برای سامان‌دهی آزمایش‌ها، تفسیر نتایج و ارایه پیشنهاد درخصوص ضوابط طراحی، بخصوص برای ساختمان‌های بزرگ‌تر، باید از یک مهندس ژئوتکنیک استفاده شود. در ارتباط با ساختگاه‌های واقع بر شیب یا مستعد روان‌گرایی، مهندسان ژئوتکنیک می‌توانند اقداماتی را برای غلبه بر مشکلات احتمالی که ایمنی ساختمان‌ها را به مخاطره می‌اندازند پیشنهاد دهند.

[2] Buildings liquefaction
[3] B. Hosseini Hashemi

شکل۵: سکوی حفاری نمونه‌برداری خاک برای بررسی در آزمایشگاه.

برای مالکان ساختمان انجام تحقیقات مناسب مرتبط با خاک در مرحله طراحی و پیش از ساخت بسیار مهم است. این امر برای مناطق با خاک نرم به‌طور ویژه حایز اهمیت است.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier. Chapter 7, pp. 113-123.

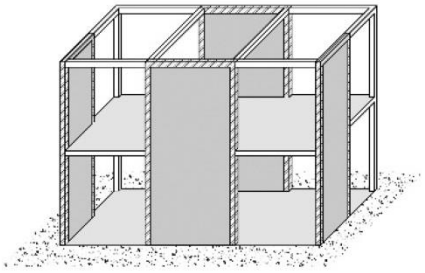
Moller, E., 2016. Demonstrate liquefaction: shaky sediments. Exploratorium Teacher Institute .https://www.youtube.com/watch?v=Kkgt-cPjBwA (accessed 8 May 2020)

Murty, C. V. R., 2005. Earthquake Tip 30: What is important in foundations of earthquake-resistant Buildings? IITKBMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip30.pdf (accessed 5 May 2020).

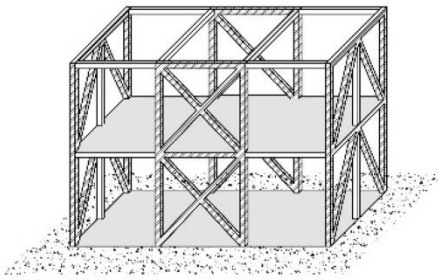
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۳. سه سیستم سازه‌ای برای مقاومت در برابر زلزله‌ها

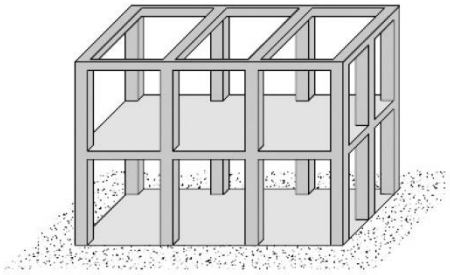
ساختمان‌های یک شهر بسیار متنوع هستند. برخی کوتاه، درحالی‌که برخی دیگر بسیار بلند می‌باشند، برخی بسیار کوچک و برخی دیگر مثل ساختمان‌های مراکز خرید، بسیار بزرگ هستند. اگرچه ساختمان‌ها به‌شدت متفاوت به‌نظر می‌رسند، ولی همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، فقط سه سیستم سازه‌ای رایج وجود دارد که می‌تواند در برابر زلزله مقاومت کند. این سه سیستم عبارتند از دیوارهای برشی یا دیوارهای سازه‌ای؛ قاب‌های مهاربندی شده؛ و قاب‌های خمشی.



(الف) دیوارهای برشی



(ب) قاب های مهاربندی

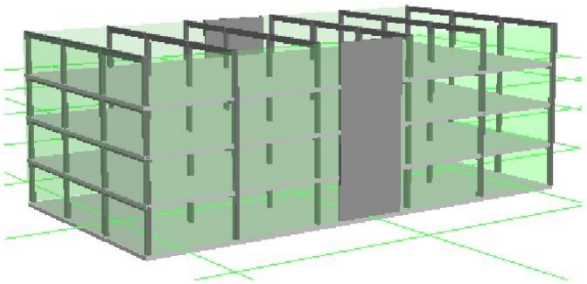


(ج) قاب های خمشی

شکل ۱. سه سیستم سازه‌ای رایج به‌ترتیب مقاومت و توانایی آن‌ها برای مقاومت در برابر زلزله (از بیشترین به کمترین).

معماران و مهندسان عمران در زمان طراحی یک ساختمان جدید، معمولاً یکی از این سه سیستم را برای مقاومت در برابر نیروهای زلزله انتخاب می‌کنند. گاهی اوقات نیز، از دو سیستم، که هر کدام در یک راستا قرار می‌گیرد، برای مقاومت در برابر حرکات ناشی از زلزله در ساختمان، استفاده می‌

شود (شکل ۲). درصورتی‌که یکی از سه سیستم مذکور برای تامین مقاومت در راستای عرضی و طولی ساختمان بکار گرفته شود، ساختمان می‌تواند در هر راستایی در برابر حرکات لرزه‌ای مقاومت کند.



شکل ۲. شش قاب خمشی سه دهانه در برابر جنبش لرزه‌ای در راستای عرضی و دو دیوار سازه‌ای در برابر جنبش لرزه‌ای در راستای طولی ساختمان مقاومت می-کنند. (دال طبقه بام نشان داده نشده است).

سیستم‌های باربر، عمودی هستند و باید از پی تا بام امتداد یابند. تعداد دیوارهای سازه‌ای، قاب‌های مهاربندی شده یا قاب‌های خمشی مورد نیاز به خطرپذیری لرزه‌ای شهر، ابعاد و اهمیت ساختمان برای جامعه بستگی دارد.

قاب‌های خمشی یکی از سیستم‌های متداول می‌باشد (شکل ۳). ستون‌ها و تیرهای قاب خمشی با اتصال کاملی که به یکدیگر دارند در برابر حرکات ناشی از زلزله مقاومت می‌کنند (به مقاله ۶ مراجعه کنید). قاب‌های خمشی بیشترین آزادی را برای طراحی فضاهای داخلی و تامین فضای پنجره‌ها دارند. متأسفانه، این سیستم معمولاً نسبت به دو سیستم دیگر در زلزله‌ها انعطاف‌پذیرتر می‌باشد. حین وقوع زلزله آن‌ها بیشتر به این‌سو و آن‌سو حرکت کرده و برای آسیب مستعدترند. همچنین طراحی و ساخت صحیح آن‌ها دشوارتر و نسبت به خطاهای ساخت حساس می‌باشند. از لحاظ مصالح ساختمانی، آن‌ها معمولاً از بتن مسلح یا فولاد ساختمانی ساخته می‌شوند. از قاب‌های خمشی چوبی می‌توان برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه استفاده کرد.

شکل ۳. دو قاب خمشی چهار دهانه مشخص در نما در برابر نیروهای زلزله مؤثر در طول ساختمان مقاومت می‌کنند. انتظار می‌رود قاب‌های مشابهی در وجه مقابل وجود داشته باشد.

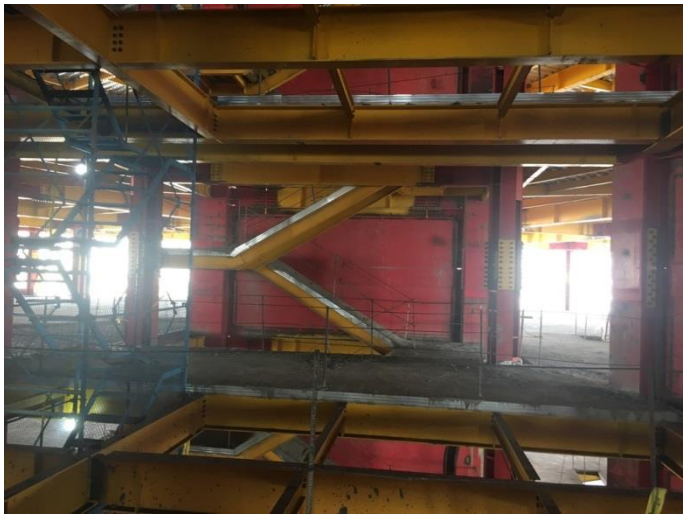
قاب‌های مهاربندی شده شامل اعضای قطری هستند که با تیرها و ستون‌ها مثلث‌هایی را تشکیل می‌دهند (اشکال ۴ و ۵). آن‌ها از اعضای فولادی ساخته می‌شوند و اغلب در ساختمان‌های کوتاه مرتبه همانند انبارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. کیفیت جوشکاری می‌تواند یک ضعف در اتصالات

فولادی باشد مگر اینکه فرآیند مناسبی برای تضمین کیفیت وجود داشته باشد. مهاربندهای فولادی ممکن است تحت نیروهای بزرگ دچار کمانش شوند.

شکل ۴. قاب‌های مهاربندی شده فولادی در برابر نیروهای لرزه‌ای وارده در راستای عرضی مقاومت می‌کنند. قاب‌های خمشی فولادی وظیفه تامین مقاومت در راستای طولی را به‌عهده دارند.

شکل ۵. مهاربندی فولادی مشخص در نما در راستای طولی در ساختمان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

دیوارهای برشی یا دیوارهای سازه‌ای به‌طور بالقوه مقاوم‌ترین سیستم سازه‌ای در برابر جنبش ناشی از زلزله می‌باشند. در سطح بین‌المللی، آن‌ها بهترین سابقه از نظر عملکرد را دارند. هرچه دیوارهای سازه‌ای طویل‌تر و تعداد آن‌ها بیشتر باشد، ساختمان مقاوم‌تر است. یعنی حرکات رفت و برگشتی منجر به وقوع آسیب کمتری در ساختمان خواهد شد. بتن مسلح رایج‌ترین مصالح برای دیوارهای سازه‌ای بلند مرتبه است (شکل ۶-الف). دیوارهای برشی فولادی متشکل از صفحات فولادی عمودی متصل به تیرها و ستون‌ها در یک یا چند دهانه در امتداد کل ارتفاع سازه نه تنها برای بکارگیری در ساختمان‌های جدید بلکه گزینه مناسبی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود هستند (شکل ۶-ب). دیوارهای بنایی محصور شده با کاربری دیوار سازه‌ای (به مقاله ۴ مراجعه نمایید)، برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه مناسب هستند. در برخی از کشورهای لرزه‌خیز، مثل ایالات متحده آمریکا یا نیوزلند، برای سازه‌های چوبی کوتاه مرتبه، از دیوارهای سازه‌ای از جنس تخته چندلا یا گچ‌برگ برای مقاومت در برابر زلزله استفاده می‌شود. محصولات چوبی مهندسی فرآوری‌شده همانند عناصر چوبی با مقاطع عرضی چندلایه موازی نیز برای استفاده به‌عنوان دیوارهای برشی در ساختمان‌های میان مرتبه در حال توسعه هستند.



شکل ۶. دیوار سازه‌ای: (الف) دیوار بتن مسلح که در برابر نیروهای وارده در راستای طولی ساختمان مقاومت می‌کند. دیوار دیگری باید در وجه مقابل وجود داشته باشد. (ب) ساختمانی با دیوار برشی فولادی در تهران.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Braced Frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/bracedframe-lfbr

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects – outwitting the quake. Elsevier: Oxford. Chapter 4 “Vertical structure”, pp. 63-91.

Moment Frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/moment-frame-lfm.

Murty, C. V. R., 2005. How do earthquakes affect reinforced concrete buildings – Earthquake Tip 17. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

Murty, C. V. R., 2005. Why are buildings with shear walls preferred in seismic regions?– Earthquake Tip 23. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

Wall. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/index.php/terms/walllwal.

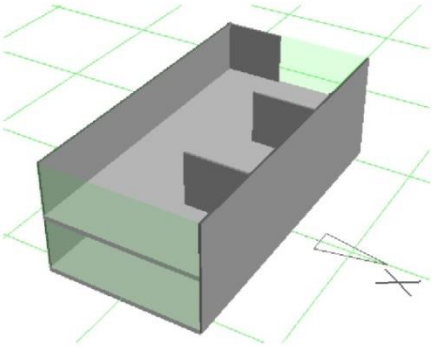
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۴. چرا دیوارهای سازه‌ای بهترین عناصر مقاوم در برابر زلزله هستند؟

همان‌طورکه در مقاله‌ی ۳ ذکر شد، دیوارهای برشی یکی از سه سیستم رایج مورد استفاده در ساختمان‌ها هستند، که در مقابل جنبش افقی ناشی از زلزله مقاومت می‌کنند. دیوارهای سازه‌ای به‌طور بالقوه مستحکم‌ترین سیستم در بین این سه سیستم بوده و همچنین دارای کمترین میزان انعطاف-پذیری و کمترین حساسیت در خطاهای ساخت هستند. همچنین بر اساس مشاهدات بین‌المللی از ساختمان‌های آسیب دیده، آن‌ها سابقه‌ی عملکرد بسیار خوبی در برابر زلزله دارند (شکل ۱). اگرچه استفاده از دیوارهای سازه‌ای در ساختمان‌های متوسط تا بلند مرتبه، در مقایسه با قاب‌های خمشی رایج نیست، اما قاب‌های خمشی به‌مراتب بیش از دیوارهای سازه‌ای مستعد آسیب هستند. به‌عنوان مثال، به‌همین دلیل در بسیاری از ساختمان‌ها در شیلی از دیوارهای باربر سازه‌ای به‌جای قاب‌های خمشی تیر-ستونی استفاده می‌شود. دیوارهای سازه‌ای در زلزله‌های بزرگ اخیر عملکرد خوبی داشته‌اند.

شکل ۱. ساختمان آسیب دیده در زلزله. مقاومت و سختی دیوارهای سازه‌ای سفید بنایی در راستای طولی از وقوع آسیب جلوگیری کرده و وجود سیستم سازه‌ای انعطاف‌پذیرتر در راستای عرضی منجر به حرکت بزرگتر و وقوع آسیب به نمای جلویی شده است. آسیب‌ها موقتاً با ورق‌های تخته‌ی چندلا پوشانده شده‌اند.

بنابراین، دیوارهای سازه‌ای بهترین عناصر سازه‌ای برای مقاومت در برابر زمین‌لرزه‌ها هستند. اما انتخاب مصالح دیوار به ارتفاع ساختمان بستگی دارد. در ساختمان‌های کوتاه مرتبه، مانند خانه‌های یک یا دو طبقه، دیوارهای بنایی محصور شده (مقاله ۷) با درنظر گرفتن جنبه‌های مرتبط با ساخت و هزینه مناسب‌ترین هستند (شکل ۲). ابعاد کلاف‌های افقی و عمودی بتن مسلح محصور کننده در این ساختمان‌ها کوچک‌تر از ابعاد تیرها و ستون‌های ساختمان‌های مشابهی است که از قاب‌های خمشی استفاده می‌کنند (مقاله ۶). همان‌طور که در بالا اشاره شد، دیوارهای سازه‌ای منجر به حرکات رفت و برگشتی کوچکتری می‌شوند. درنتیجه، آن‌ها و دیگر عناصر ساختمان، مانند دیوارهای جداکننده، دچار آسیب کمتری تحت جنبش ناشی از زلزله می‌شوند. با این‌حال، دیوارهای برشی، طراحی داخلی و نورپردازی طبیعی را بیش از قاب‌های خمشی محدود می‌کنند. هزینه‌های مرتبط با پی‌ها نیز ممکن است بیشتر باشد. موارد اخیر معایب اصلی دیوارهای سازه‌ای هستند.



شکل ۲. خانه‌ای دو طبقه با دیوارهای بنایی محصور شده و دال بتنی سقف (نمایش داده نشده است). دو دیوار پیرامونی بلند در برابر جنبش لرزه‌ای در راستای طولی ساختمان و سه دیوار کوتاه‌تر در برابر حرکت جانبی (راستای X) مقاومت می‌کنند. کلاف‌های عمودی و دیوارهای جداکننده نمایش داده نشده‌اند.

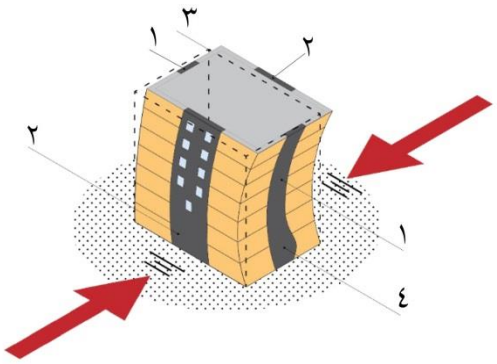
در دیگر کشورهای لرزه‌خیز جهان، استفاده از دیوارهای بتن مسلح در ساختمان‌های بلندتر رایج است. این دیوارها بطور پیوسته از پی‌های مستحکم، با یا بدون استفاده از شمع‌ها و بدون ایجاد بازشوهای بزرگ از طبقات پایین‌تر، تا بام امتداد می‌یابند (شکل ۳). دال‌های بتنی کف‌ها و همچنین بام نیاز به اتصال قوی به دیوارها دارند.

شکل ۳. یک ساختمان در حال ساخت. قسمت اعظم نیروهای لرزه‌ای در هر دو راستا توسط دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح تحمل می‌شود. در این مورد، بخشی از مقاومت نیز توسط یک قاب خمشی فولادی محیطی فراهم می‌شود.

برای حفظ ایمنی، دیوارهای سازه‌ای باید ضخامت و طول افقی کافی داشته باشند. اگر ضخامت دیوارها بیش از حد کم باشد، حین جنبش زمین انتهای آن‌ها کمانش کرده و آسیب می‌بینند. اگر طول افقی خیلی کوتاه (لاغر) باشد، دیوارها خیلی ضعیف و انعطاف‌پذیر خواهند بود و ساختمان‌ها ممکن است بیش از حد به جلو و عقب حرکت کنند (شکل ۴) و این امر می‌تواند باعث آسیب بیش از حد شود. برای ساختمان‌های بنایی کوتاه مرتبه تعداد دیوارهای مورد نیاز برای هر دو راستا، همچنین طول و ضخامت دیوارها می‌تواند در دستورالعمل‌های ساخت، مثل مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان-طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی و همچنین میلی[1] (۲۰۱۱) پیدا شود. جزئیات صحیح آرماتورگذاری فولادی ساخت دیوار برای

[1] Meli

اطمینان از ایمنی در یک زلزله نیز دارای اهمیت است (کارلوارو[۲]، ۲۰۱۸). برای ساختمان‌های بلندتر، دیوارهای سازه‌ای باید توسط مهندسین عمران دارای صلاحیت طراحی شوند.



شکل ۴. در هنگام زلزله دو دیوار لاغر (۱) در مقابل جابجایی‌های جانبی مقاومت می‌کنند اما امکان می‌دهند تا جابجایی بسیار بزرگی رخ دهد. همچنین پای دیوارها (۴) دچار کمانش می‌شود. دو دیوار بلندتر (۲) حرکت در راستای دیگر را محدود می‌کنند. موقعیت اولیه ساختمان با خطوط نقطه چین مشخص شده (۳) و (۴) نشان‌دهنده‌ی کمانش پای دیوار به‌دلیل ضخامت کم آن می‌باشد.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Guide book for technical training for earthquake-resistant construction of one to two-storey buildings in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and Earthquake Engineering Research Institute. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-rehouses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier. Chapter 5, pp. 66-76.

مقررات ملی ساختمان-مبحث هشتم، "طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی"، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., et al., 2011. Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings. EERI and IAEE. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf (accessed April 2020).

Murty, C. V. R., 2005. Why are buildings with shear walls preferred in seismic regions?– Earthquake Tip 23. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

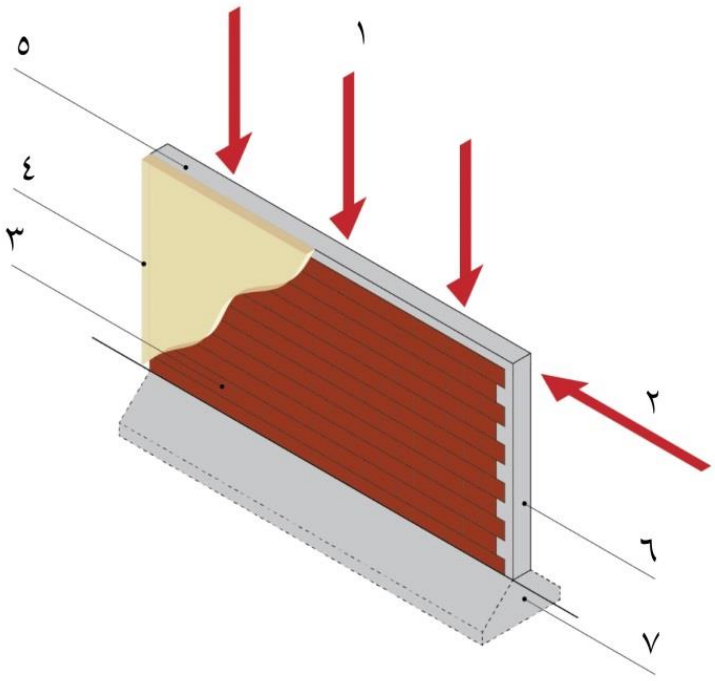
[2] Carlevaro

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۵. آیا دیوارها در ساختمان‌ها حین وقوع زلزله مفید هستند؟

دیوارها از عناصر همیشگی خانه‌ها و ساختمان‌ها هستند. دیوارها از ما محافظت کرده و به‌ما پناه می‌دهند. اغلب دیوارها در ساختمان‌های شهری ایران از آجر یا بلوک ساخته شده و سپس گچ‌کاری و نقاشی می‌شوند. دیوارها اکثراً در اطراف محیط خارجی و همچنین درون ساختمان‌نیز قرار دارند. دیوارها با ایجاد فضاهای اختصاصی برای ساکنین و بازشوهایی برای درها و پنجره‌ها فضاها را به فضاهای قابل زندگی تبدیل می‌کنند.

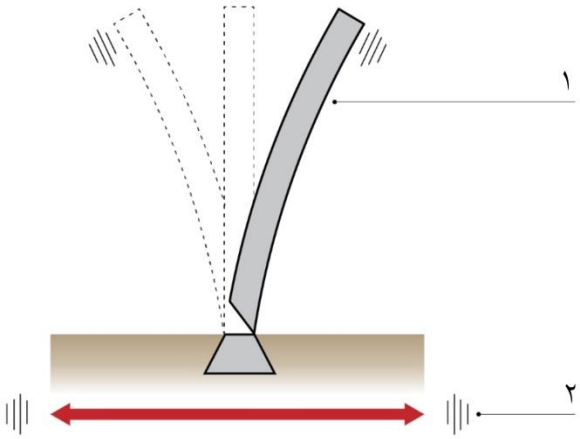
همانند هر جز ساختمانی، دیوارهای بنایی نیز دارای مزایا و معایبی هستند. در واقع، دیوارها دارای دو نقطه قوت و یک ضعف جدی هستند. ابتدا دیوار برای تحمل وزن سازه بالای خود به‌اندازه کافی مستحکم است. همچنین در هنگام مقاومت در برابر نیروی افقی موازی با طول خود، مثلاً در هنگام زلزله، مقاوم است. این شرایط مخصوصاً زمانی تحقق می‌یابد که پس از آجرچینی دیوار، کلاف‌های عمودی و کلاف‌های افقی بتن مسلح در محل اجرا شوند. این نوع از ساخت و ساز ایمن که به‌طور گسترده در ایران استفاده می‌شود، سیستم بنایی محصور شده نامیده می‌شود. اعضای عمودی و افقی بتن مسلح آجرها را محصور می‌کنند، از افتادن آنها جلوگیری می‌کنند و به‌طور کلی منجر به مهار کل عناصر سیستم می‌شوند (اشکال ۱و ۲). دیوارهای آجری فاقد تسلیح این‌چنینی در هنگام زلزله ایمن نیستند.



شکل ۱. دیوار دارای قدرت کافی برای تحمل نیروهای رو به پایین (۱) و نیروهای افقی (ناشی از زلزله‌ها) (۲) در امتداد طول خود است. واحدهای بنایی یا آجرها (۳) گچ کاری شده (۴) و وزن آن‌ها توسط پی (۷) تحمل می‌شود. سازه بنایی توسط یک کلاف افقی (۵) و کلاف‌های عمودی محصور شده است.

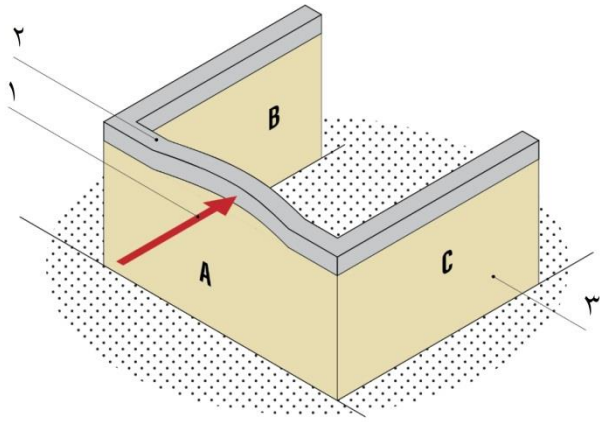
شکل ۲. خانه‌ای در حال ساخت با سیستم بنایی محصور شده.

اما نقطه ضعف دیوارها چیست؟ وقتی ضخامت دیوار کم باشد و توسط دیوارهای جانبی یا کف یا بام مقید نشده باشد در برابر حرکات لرزه‌ای عمود بر طول خود بسیار ضعیف است (شکل ۳). به‌یاد آورید که ساخت ماکت یک خانه با استفاده از از کارت‌های بازی چقدر مشکل است. کارت عمودی (دیوار) اگر بر یک یا دو کارت دیگر عمود بر خود تکیه داده نشود، می‌افتد. برای خودتان مجدداً این کار را امتحان کنید!



شکل ۳. نمایش مقطع عرضی یک دیوار (۱) که در برابر نیروهای جانبی ناشی از حرکات لرزه‌ای (۲) بسیار ضعیف است.

برای رفع نقطه ضعف دیوار، تکیه‌گاه‌های جانبی لازم است، در حالی‌که به‌طور همزمان، خود تکیه‌گاهی برای دیوارهای دیگر است. در یک ساختمان اصولی، ضعف دیوارها در برابر نیروهای جانبی زلزله (و باد) با استفاده از دیوارهای متعامد دیگر و کلاف‌های افقی برطرف می‌شود. کلاف‌های افقی مذکور در امتداد بخش بالایی یک دیوار آسیب‌پذیر به کلاف‌های افقی مشابه دیگر که در امتداد دیوارهای عمود بر آن قرار دارند مهار می‌شوند (شکل ۴). اگر دیوارها به‌روش ذکر شده با زوایای قائم به دیوارهای دیگر متصل نشوند، احتمالاً حین وقوع زلزله دچار فروریزش خواهند شد. کلاف‌های عمودی که در اغلب دیوارهای ساختمان تعبیه می‌شوند و در شکل ۱ نشان داده شدند، به‌تنهایی برای تامین تکیه‌گاه برای دیوارها بسیار ضعیف هستند.



شکل۴. بخشی از یک خانه بدون نمایش بام. دیوار A که تحت نیروی جانبی ناشی از زلزله است (۱) اساساً توسط کلاف افقی (۲) که بالای دیوار A را به دیوارهای B و C متصل می‌کند (۳) مقید شده است.

در ساختمان‌های بزرگتر با ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح، دیوارها وزن ساختمان را تحمل نمی‌کنند. با این‌حال، دیوارها همچنان به تکیه‌گاه نیاز دارند تا تحت حرکات ناشی از زلزله از سقوط جانبی آن‌ها به سمت داخل یا خارج ساختمان ممانعت شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Guide book for technical training for earthquake-resistant construction of one to two-storey buildings in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and Earthquake Engineering Research Institute. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-rehouses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

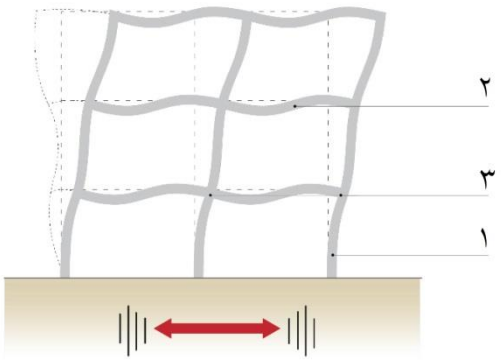
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۶. ساختمان‌های دارای ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح در هنگام زلزله‌ها چگونه رفتار می‌کنند؟

درحالی‌که ساختمان‌های کوتاه مرتبه مثل ساختمان‌های یک یا دو طبقه، برای مقاومت در برابر حرکات لرزه‌ای متکی بر دیوارهای بنایی و چوبی هستند، بسیاری از ساختمان‌های بلندتر بر قاب‌های ساخته شده از ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح که دال‌های کف را نگهداری می‌کنند اتکا دارند. چنین قاب‌هایی می‌توانند از اعضای فولادی نیز ساخته شوند. این اعضای سازه‌ای عمودی و افقی به‌طور منسجم عمل می‌نمایند تا وزن ساختمان را تحمل کرده و در برابر حرکات افقی زلزله مقاومت کنند.

بهترین شیوه برای درک رفتاریک قاب بتن مسلح و نحوه‌ی مقاومت آن در برابر زلزله، مشاهده آن بدون هیچ پوششی است. یعنی، مشاهده صرفاً سازه ساختمان قبل از احداث دیوارهای بیرونی و داخلی آن (شکل ۱). در این شکل فقط چهار جز قابل مشاهده می‌باشد، بام، دال‌های کف، ستون‌ها و تیرها. ستون‌ها در مقایسه با دیوارها که در امتداد افق نسبتاً طویل هستند، بسیار لاغرند. ستون‌ها مهم‌ترین عضو سازه‌ای در یک ساختمان هستند. آن‌ها تمامی وزن ساختمان را تحمل می‌کنند. هنگام وقوع زلزله ستون‌ها باید قابلیت خم شدن و حرکت به طرفین بدون شکست را داشته باشند تا در برابر نیروهای افقی مقاومت کنند.

شکل ۱. این دو ساختمان زلزله‌ها را از طریق مقاومت ستون‌ها و تیرها تحمل می‌کنند. دیوارها و نماها هنوز ساخته نشده‌اند.



شکل ۲. ستون (۱) و تیر (۲) قاب ساختمانی در زمان وقوع یک زلزله به‌صورت جانبی حرکت می‌کنند. توجه نمایید که ستون‌ها و تیرها هر دو خم می‌شوند. آن‌ها درمحل تلاقی یعنی در گره‌ها به‌طور کامل با اتصالات مقاوم به‌هم متصل شده‌اند (۳).

با این‌حال، ستون‌ها به‌تنهایی قابلیت انجام موارد ذکر شده را ندارند. آن‌ها به کمک تیرها نیاز دارند. تیرها از دال‌های کفی که وزن آن‌ها را تحمل می‌کنند عمیق‌تر هستند و به‌طور کامل به ستون‌ها متصل شده‌اند. در نواحی گرهی تیر به ستون آرماتورگذاری فولادی ویژه‌ای در بتن لازم است. در اتصال مقاوم تیر به ستون وقتی ستون‌ها خم می‌شوند، تیرها نیز خم شوند. این امر موجب خواهد شد که در مجموع ساختمان مقاومت بیشتر و انعطاف‌پذیری به‌مراتب کمتر داشته و لذا کمتر مستعد آسیب باشد.

چون ستون‌ها مهم‌ترین عناصر سازه‌ای هستند، باید در امان بمانند. اگر به‌طور جدی آسیب ببینند، کل ساختمان در معرض فروریزش قرار می‌گیرد. مهندسان از دو راهکار برای محافظت از ستون‌ها استفاده می‌کنند. اول اینکه، ستون‌ها باید بزرگ و مقاوم باشند. ستون‌های لاغر در حرکات ناشی از زلزله صرفاً خم شده و می‌شکنند، بنابراین ستون‌ها باید ابعاد هندسی مناسبی داشته باشند. ستون‌ها علاوه بر دارا بودن ابعاد هندسی مناسب، در امتداد ارتفاع خود نیز نیاز به‌مقدار کافی میلگرد فولادی تقویتی عمودی و خاموت‌های افقی دارند (شکل ۳). خاموت‌ها از شکستن ستون‌ها حین خمش جلوگیری می‌کنند. ستون‌ها باید از دیوارهای بنایی مجاور خود به‌طور قابل توجهی عریض‌تر و ضخیم‌تر باشند. اندازه‌ی آن‌ها باید براساس محاسبات مهندسی تعیین شود.

شکل ۳. آرماتورگذاری قابل مشاهده یک ستون قبل از بتن‌ریزی. این آرماتورگذاری متشکل است از میلگردهای عمودی که در برابر خمش مقاومت می‌کنند و خاموت‌های افقی که از متلاشی شدن و جدا شدن بتن ممانعت می‌نمایند.

راهکار دوم برای حفظ ایمنی ستون‌ها، طراحی قوی‌تر آن‌ها نسبت به تیرها است. بر این اساس در هنگام حرکات شدید لرزه‌ای، تیرهایی که هدفمند اندکی ضعیف‌تر طراحی شده‌اند، قربانی می‌شوند، ولی این آسیب بحرانی نیست و در این فرایند از ستون‌ها محافظت می‌شود.

از دو راهکار فوق می‌توان نتیجه گرفت که قاب‌های سازه‌ای ایمن در برابر زلزله معمولاً دارای ستون‌های نسبتاً بزرگ، تیرهای اندکی کوچک‌تر و اتصالات تیر به ستون قوی هستند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wpcontent/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

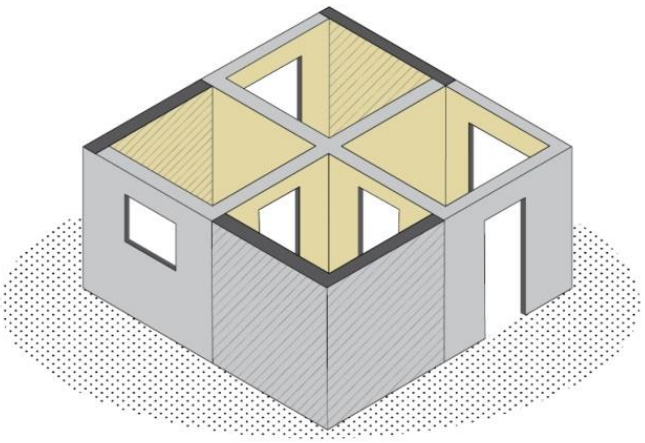
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۷. اصول مرتبط با ساختمان‌های بنایی ایمن در برابر زلزله

در مقاله ۵، اطلاعات اساسی مرتبط با دیوارهای بنایی، متداول‌ترین عنصر مقاوم لرزه‌ای در ساختمان‌های کوتاه مرتبه در ایران، ارایه شد. توضیح داده شد که دیوارها چگونه در راستای طول خود مقاوم هستند اما در برابر لرزش‌های جانبی آسیب‌پذیرند. دیوارهای بنایی، با استفاده از مصالح با کیفیت، باید به‌صورت دیوارهای بنایی محصور شده ساخته شوند. یعنی هر پنل آجری توسط یک کلاف عمودی بتن مسلح در هر انتها و یک کلاف افقی بتن مسلح محصور شود. کلاف افقی روی ضلع بالایی دیوار و به‌همراه دال کف در هر طبقه، در محل، بتن‌ریزی می‌شود.

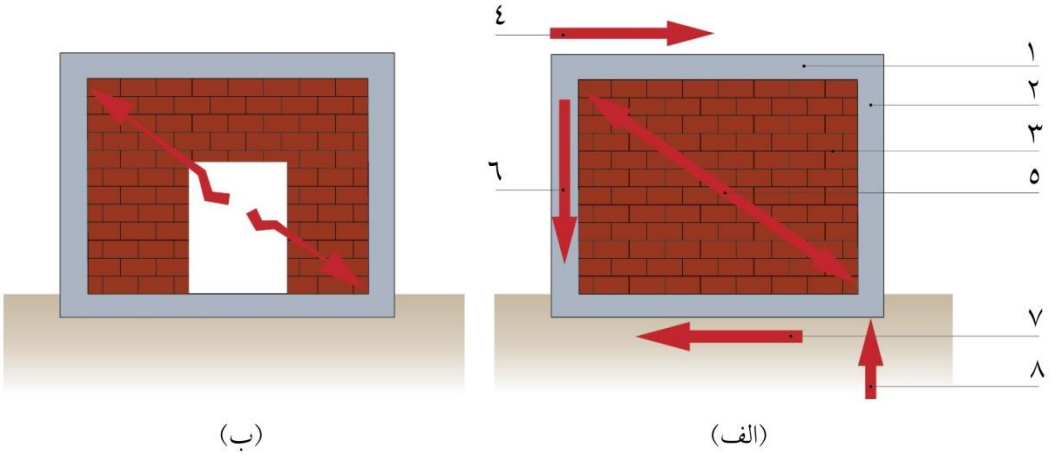
اما چگونه می‌توان دیوارهای مذکور را در یک ساختمان، مثلاً یک مسکن دوطبقه، ترکیب نمود؟ در ابتدا، لازم است که به‌خاطر آورید، دیوارها باید از ساختمان در هنگام زلزله محافظت کنند. سپس پیروی از چهار اصل الزامی است:

۱. یک واحد مسکونی حداقل به دو دیوار مقاوم به موازات طول ساختمان و دو دیوار در راستای عمود بر آن نیاز دارد. حرکات ناشی از زلزله در تمامی جهات وارد می‌شوند پس ساختمان‌ها در هر دو راستای عرضی و طولی باید مقاوم باشند (شکل ۱). تمام دیوارهای بنایی باید از نوع بنایی محصور شده باشند، دیوارهای مقاوم فاقد بازشوهای بزرگ هستند، زیرا بازشوهای بزرگ با ممانعت از شکل‌گیری نیروهای قطری درون دیوار، منجر به تضعیف آن می‌شوند (شکل ۲). در شکل ۳ یک ساختمان بنایی آسیب دیده در زلزله ۱۷ آگوست ازمیت ترکیه با دیواری با بازشوی بزرگ که فاقد کلاف قائم است را ملاحظه می‌نمایید. علاوه بر این، ضخامت دیوار و پرداخت نهایی روی آن باید برای ارتفاع دیوار کافی باشد، و سرانجام طول هر دیوار مقاوم باید بیش از نصف ارتفاع طبقه باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر به مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان-طرح و اجرای ساختمان-های با مصالح بنایی یا میلی[1] (۲۰۱۱) و دیگر مراجع مرتبط مراجعه کنید.



شکل ۱. در این واحد مسکونی ساده دو دیوار مقاوم (دیوارهای سایه‌دار و فاقد بازشو بزرگ) در برابر حرکات لرزه‌ای در هر یک از دو امتداد عرضی و طولی مقاومت می‌کنند.

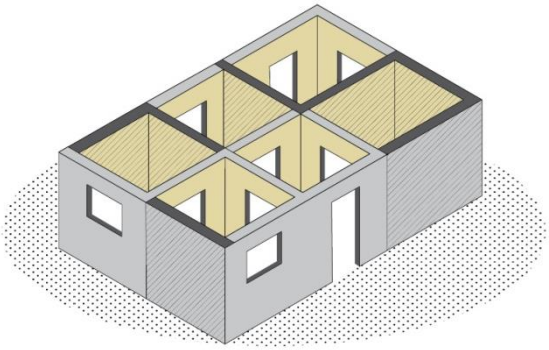
[1] Meli



شکل ۲. (الف) دیوار مقاوم مصالح بنایی (۳) توسط کلاف‌های افقی (۱) و عمودی (۲) محصور شده است. نیروهای ناشی از زلزله (۴) توسط نیروی فشاری قطری دیوار (۵) و نیروی کششی در یکی از کلاف‌های عمودی (۶) ایجاد می‌شود. نیروی افقی زلزله توسط زمین (۷) و نیروی قائم نیز توسط زمین (۸) تحمل می‌شود. (ب) دیوار دارای بازشویی است که از شکل‌گیری خطوط قطری نیرو جلوگیری می‌کند و به‌شدت باعث تضعیف دیوار می‌شود.

شکل ۳. ساختمان بنایی آسیب دیده با بازشوی بزرگ فاقد کلاف عمودی در زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه. (ب. حسینی هاشمی[۲])

۲. دیوارهای مقاوم باید به‌طور منظم در سرتاسر ساختمان در هر راستا توزیع شوند (شکل۴). دیوارهای واقع در راستای یکسان باید به‌خوبی فاصله داده شوند تا از پیچش ساختمان در هنگام زلزله جلوگیری نمایند. داشتن دیوارهای کافی از نظر طول و ضخامت، در هر راستا، از اهمیت بالایی برخودار است. میزان «کفایت» به ابعاد ساختمان و به کیفیت آجرها یا بلوک‌ها بستگی دارد.



شکل ۴. دیوارهای مقاوم به‌خوبی در سرتاسر ساختمان توزیع شده‌اند. چهار دیوار مقاوم در برابر لرزش در راستای عرضی و سه دیوار در برابر لرزش در راستای طولی واحد مسکونی مقاومت می‌کنند. تمامی دیوارها باید توسط کلاف تیر بسته شوند (نشان داده نشده است).

[2] B. Hosseini Hashemi

۳. کلاف‌های افقی باید بالای دیوارها را به‌یکدیگر مهار نمایند. این کلاف‌ها نه‌تنها پانل‌های آجری را محصور می‌کنند بلکه عناصر ساختمانی را نیز با هم درگیر می‌نمایند تا از جدا شدن آنها از یکدیگر جلوگیری شود.

۴. دیوارهای مقاوم در هر ساختمان باید عمودی باشند و از پی تا کلاف افقی بام امتداد یابند. یعنی، به‌عنوان مثال، در یک واحد مسکونی دو طبقه، دیوار مقاوم در طبقه بالایی باید دقیقاً روی دیوار باربر مشابه در طبقه همکف قرار داشته باشد.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Boen, T., et al., 2009. Buku saku Persysaratan pokok rumah yang lebih aman. PU and JICA. https://www.jica.go.jp/indonesia/indonesian/office/topics/pdf/buku_saku_0.pdf (accessed 11 April 2020).

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and EERI. http://www.worldhousing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-houses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

مقررات ملی ساختمان-مبحث هشتم، "طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی"، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., et al., 2011. Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings. EERI and IAEE. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf (accessed April 2020).

Public Works Department, 2016. Izin mendirikan bangunan Gedung, No. 05/PRT/M/2016. http://ciptakarya.pu.go.id/pbl/index.php/preview/55/permen-pupr-no-05-tahun-2016-tentang-izin-mendirikanbangunan-gedung (accessed 11 April 2020).

For other free and downloadable detailed information, visit https://confinedmasonry.org/.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۸. بستن عناصر ساختمان به‌یکدیگر برای مقاومت در برابر زلزله

ساختمان‌ها دارای اجزا بسیار متفاوتی هستند. برخی از اجزا، مانند کف‌ها، بام، ستون‌ها، تیرها و دیوارهای سازه‌ای اجزا اصلی سازه هستند. دیگر اجزا، مانند دیوارهای جداکننده، دیوارهای نما و پله‌ها باربر نیستند. یعنی درصورت نبود این اجزا ساختمان فرو نمی‌ریزد ولی وجود آن‌ها برای قابل سکونت بودن ساختمان الزامی است.

در هنگام وقوع زلزله، تمام بخش‌های ساختمان ، به‌شدت دچار لرزش می‌شود. مخرب‌ترین نوع لرزش، حرکات افقی رفت و برگشتی در جهات تصادفی می‌باشد. جنبش لرزه‌ای دارای قابلیت لرزندان اجزا به‌صورت جداگانه است. اگر ساختمانی به‌درستی طراحی و ساخته نشود، ممکن است اجزای آن از هم گسیخته، قطعه قطعه شده و فرو ریزند. این سناریوی هولناک در بسیاری از کشورها پس از زلزله‌ها مشاهده شده است.

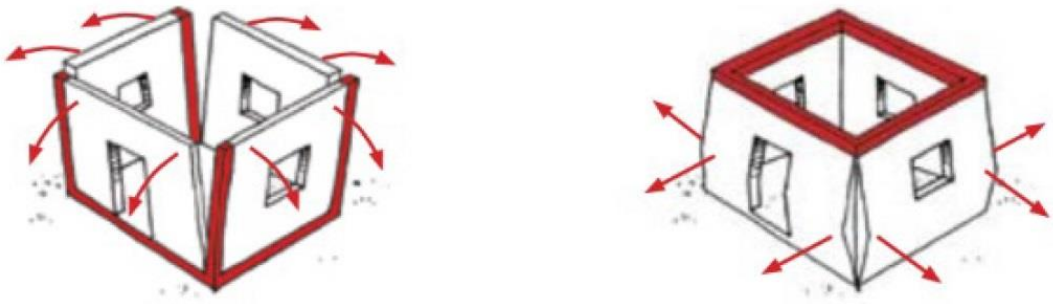
جلوگیری از چنین آسیب‌های شدیدی امکان‌پذیر است. فقط لازم است تا اجزا سازه اصلی در تراز کف طبقات و در تراز بام به‌هم بسته شوند. همچنین، لازم است تا اجزای عمودی مانند دیوارها در تراز هر کف توسط کلاف افقی، که معمولاً از بتن مسلح ساخته می‌شود، مهار شوند. این شیوه شبیه به بستن کمربند یا ریسمان قوی پیرامون هر تراز کف از ساختمان برای ممانعت از خروج و سقوط اجزا در هنگام جنبش ناشی از زمین‌لرزه است (شکل ۱).

شکل ۱. ساختمان آسیب دیده حین وقوع یک زلزله می‌تواند در تراز کف و بام به‌وسیله کلاف‌های افقی که مانند کمربندهای قوی عمل می‌کنند حفظ شود.

خوشبختانه، وقتی کف‌های یک ساختمان از بتن مسلح ساخته شده باشند، معمولاً برای بستن اجزا ساختمان به یکدیگر در تراز مربوط کافی هستند. بی‌گمان، وظیفه اصلی کف‌ها در ساختمان، ایجاد سطحی برای تردد و قرار دادن اشیا می‌باشد. اما درصورت وقوع لرزش افقی، نقش کف، مهار ساختمان در تراز مربوط است (شکل ۲). یک کف، همه آن‌چه که هست را وادار می‌کند تا همراه با هم، به‌صورت یک مجموعه، حرکت کنند و از جنبش و سقوط اجزا از ساختمان جلوگیری می‌کند. برای دستیابی به چنین رفتاری، حتی ممکن است نیاز به افزودن میلگردهای تقویتی بیشتر در دال بتنی نباشد.

شکل ۲. کف‌های بتن مسلح این ساختمان تیرها و ستون‌ها را به هم بسته و باعث می‌شوند که تمامی این اجزا درهنگام زلزله همراه با هم به‌صورت افقی حرکت کنند.

مهار ترازی از ساختمان در جایی‌که فاقد دال کف یا بام است، یا جایی‌که دیوارهای بنایی همراه با کف‌های چوبی استفاده می‌شوند، مشکل‌تر است. در این موارد، کلاف‌های افقی این وظیفه را به‌عهده دارند (شکل ۳). آن‌ها با ایجاد قابی افقی درون و پیرامون یک ساختمان همه اجزا را به‌هم می‌بندند. کلاف‌های افقی از حرکت دیوارها و ستون‌ها به سمت یکدیگر یا دور شدن آن‌ها از یکدیگر و از لغزش اجزا بام از تکیه‌گاه‌ها و سقوط آن‌ها جلوگیری می‌کنند. قاب متشکل از کلاف‌های افقی، انعطاف‌پذیرتر از دال بتنی است، اما ثابت شده است که عملکردی مشابه با کمربند محیطی فرضی دارد.



شکل ۳. ستون‌ها به‌تنهایی مانع سقوط دیوارهای یک ساختمان ساده نمی‌شوند. کلاف‌های افقی تراز بام می‌توانند اجزا ساختمان را به‌یکدیگر ببندند. (برگرفته از کتاب راهنمای ساخت واحدهای مسکونی بنایی محصور شده مقاوم در برابر زلزله (دانشنامه جهانی مسکن، ۲۰۱۸)).

به‌طور خلاصه، اجزا در هر تراز از ساختمان، از پی تا بام، باید کاملاً به‌یکدیگر بسته شوند. بدین منظور دال‌های کف، دال‌های بام یا قاب‌های متشکل از کلاف‌های افقی مورد نیاز هستند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله

(https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Bothara, J., and Brzev, S., 2011. A Tutorial: Improving the Seismic Performance of Stone Masonry Buildings. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, U.S.A., Publication WHE-2011-01, 78 pp. www.worldhousing.net/tutorials/stone-tutorials (accessed 10 July 2020).

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects – outwitting the quake. Elsevier: Oxford. Chapter 4 “Horizontal structure”, pp. 49-61.

Murty, C. V. R., 2005. Why are horizontal bands necessary in masonry buildings – Earthquake Tip 14. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip14.pdf (accessed 5 May 2020).

Swiss Agency for Development and Cooperation SDC, 2018. Guidebook for building earthquake-resistant houses in confined masonry. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-housesin-cm_version-1806.pdf (accessed 5 May 2020).

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۹. دانش محلی و ایمنی ساختمان در هنگام وقوع زلزله

در کشور ایران، همانند سایر کشورها، گاهی اوقات مشاهدات پس از زلزله نشان می‌دهد که ساختمان‌های سنتی ایمن‌تر از ساختمان‌های جدیدتر هستند. ساختمان‌های سنتی از دانش محلی در انتخاب مصالح، شکل ساختمان، سیستم‌های سازه‌ای و اتصالات بین اعضای سازه‌ای بهره می‌برند.

سؤالی که طراحان و سازندگان امروزی باید بپرسند این است که: چه اصولی را می‌توان از دانش محلی، برای بازتعریف در ساختمان‌های جدید به‌منظور بهبود ایمنی لرزه‌ای استخراج نمود؟ قبل از ارائه پاسخ، لازم است تا ویژگی‌های مرتبط با عملکرد لرزه‌ای ساخت و ساز سنتی را یادآور شد. به‌طور خلاصه ویژگی‌های معمول ساخت سنتی عبارتند از:

- سازه‌های ساخته شده با استفاده از اجزا درخت نخل برای کف‌ها، بام و دیوارها با عنوان سازه‌های کپری؛
- ساخت با وزن کم؛
- اتصالات نسبتاً انعطاف‌پذیر بین اجزا؛ و
- اتصالات انعطاف‌پذیر یا عامدانه ضعیف بین ساختمان و پی‌ها.

بنابراین ساختمان‌هایی که از دانش محلی استفاده می‌کنند انعطاف‌پذیر و دارای وزن کم هستند. آن‌ها به‌طور قابل توجهی در هنگام زلزله دچار حرکات رفت و برگشتی می‌شوند. چنین ساختمان‌هایی درصورت اتصال ضعیف به پی‌ها، هنگام زلزله، می‌توانند تا حدودی جدا از زمین نیز درنظر گرفته شوند. براساس شیوه رایج طراحی لرزه‌ای، ویژگی‌های مذکور، می‌توانند مطلوب باشند. برای مثال، از آنجایی‌که نیروهای لرزه‌ای ایجاد شده در یک ساختمان با وزن ساختمان متناسب هستند، مصالح ساختمانی باید تا حد امکان سبک باشند. یک ساختمان سبک‌تر، ایمن‌تر از یک ساختمان سنگین مشابه است.

انعطاف‌پذیری می‌تواند سودمند باشد مگر اینکه ساختمان بر خاک نرم واقع شده باشد. اما نقطه ضعف انعطاف‌پذیری حرکات جانبی بزرگ‌تر در هنگام زلزله است و این به معنای آسیب بیشتر می‌باشد. در اشکال ۱، ۲ و۳ نمونه‌ای از ساختمان‌های سنتی انعطاف‌پذیر نشان داده شده است. عموماً، از انعطاف‌پذیری باید اجتناب نمود. اتصالات انعطاف‌پذیر به پی می‌توانند در کاهش نیروهای لرزه‌ای مشروط بر آن‌که به ساختمان‌ها امکان سقوط از پی داده نشود، مفید باشند. سیستم نوین جداسازی پایه (مقاله۲۳) که برای ساختمان‌های مهم مانند بیمارستان‌ها توصیه می‌شود، دارای انعطاف‌پذیری جانبی در تراز پی می‌باشد.

شکل ۱. نمای بیرونی و داخلی یک ساختمان بسیار انعطاف‌پذیر کپری، که در جنوب شرقی ایران رایج بوده است (مصالح و روش‌های ساخت سنتی در یک ساختمان سنتی جدید در این منطقه به‌کار گرفته شده است) (سایت Iranhotelonline).

شکل ۲. ساخت و ساز سنتی در مناطق دیگر دنیا منجر به نوع ساختمان دیگری شده که انعطاف‌پذیر است.

شکل ۳. ساخت و ساز سنتی در ساخت یک هتل کپری در استان کرمان (سایت Hihotel.ir).

متاسفانه، فرصت‌ها برای استفاده دانش محلی در ساختمان‌های جدید بسیار محدود است. زیرا در مقایسه با گذشته ساختمان‌های مدرن بسیار متفاوت-تر هستند. اول اینکه، بیشتر ساختمان‌های جدید از مصالح سنگین مانند مصالح بنایی و بتن مسلح استفاده می‌کنند (شکل۴). ساختمان‌ها نیز به گونه-ای طراحی می‌شوند تا انعطاف‌پذیری کمتری داشته و از جابجایی، آسیب و هزینه‌های تعمیر بکاهند. در نهایت، انعطاف‌پذیر ساختن اتصالات بین ساختمان و پی‌های آن، دشوار و پرهزینه می‌باشد.

شکل ۴. ساخت و ساز سنگین رایج با استفاده از بتن مسلح و مصالح بنایی- در این مورد خاص ساختمان بنایی محصور شده.

به‌طور نظری، برخی از اصول پیشنهادی براساس دانش محلی می‌توانند ایمنی در برابر زلزله را بهبود بخشند، اما به دلیل اینکه ساختمان‌های امروزی متفاوت ساخته می‌شوند بیشتر اصول را نمی‌توان به‌طور مستقیم اعمال کرد. تنها استثنا این است که به‌جای مصالح سنگین‌تر از مصالح سبک‌تر در ساخت و ساز استفاده شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. درصورت لزوم، مقالات ترجمه شده و محتوای آن‌ها توسط متخصصین متناسب با شرایط محلی اصلاح می‌شود.

منابع:

کپر و کپرنشینان بلوچستان-ایران هتل-
کپرنشینی-از-نشان-فقر-تا-نماد-فرهنگ-محرومانی-که-در-خانه-های/https://www.mehrnews.com/news/2355268

هتل پارسیان، اولین هتل کپری جهان،
هتل-پارسیان-،-اولین-هتل-کپری-در-جهان/https://hihotel.ir/blog

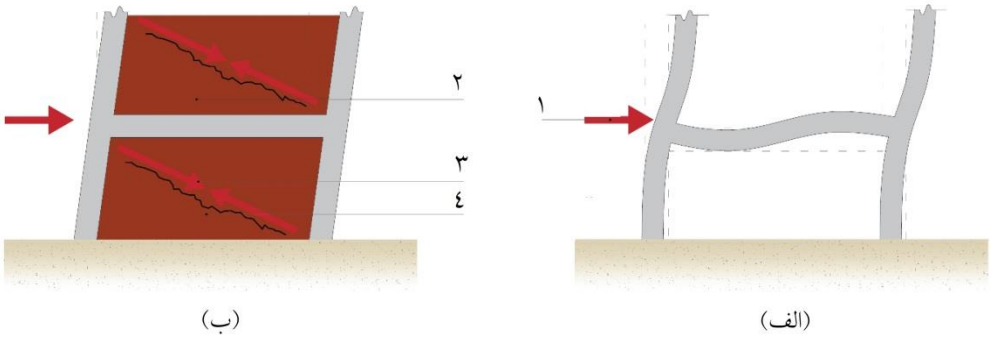
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۰. دیوارهای میان‌قاب و نحوه تاثیر آن‌ها بر ساختمان هنگام وقوع زلزله

دیوارهای میان‌قاب دیوارهای بنایی هستند که فضای بین ستون‌ها و سطح زیرین تیرهای بالایی را پر می‌کنند. میان‌قاب‌ها پس از اجرای ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح ساخته می‌شوند. میان‌قاب‌ها، در ساختمان‌هایی که متکی بر قاب‌های سازه‌ای متشکل از ستون‌ها و تیرها برای مقاومت در برابر زلزله هستند، رایج می‌باشند. قاب‌های بتن مسلح همراه با میان‌قاب‌ها ممکن است شبیه به ساختمان‌های بنایی محصور شده به‌نظر برسند (مقاله ۷)، ولی سیستم‌های مذکور، دو سیستم کاملاً متفاوت هستند.

میان‌قاب‌ها از واحدهای بنایی از جنس رس پخته شده یا بتن (آجرها/ بلوک‌ها) به‌همراه ملات سیمان یا ملات سیمان:آهک ساخته می‌شوند. میان‌قاب-های بدون بازشو و یا حتی با وجود پنجره‌های کوچک در برابر حرکات افقی زلزله معمولاً نسبت به سازه اصلی سخت‌تر و قوی‌تر هستند. گاهی اوقات میان‌قاب‌ها منجر به کاهش آسیب لرزه‌ای می‌شوند، با این‌حال در اغلب موارد عکس این موضوع صادق است.

وقتی یک قاب ساختمانی متشکل از تیر و ستون حرکات ناشی از زلزله را تجربه می‌کند تمامی اعضای آن خم شده و سازه دچار حرکات جانبی می‌شود (شکل ۱-الف). با این‌حال، اگر فضاهای باز قاب توسط میان‌قاب‌ها پر شوند، خمش ستون‌ها و تیرها محدود می‌شود. میان‌قاب نیروهای فشاری قطری بزرگی را تجربه می‌کنند. ترک‌های قطری نیز شکل می‌گیرد. نیروهای فشاری مذکور بالا و پایین ستون‌ها را تحت فشار قرار می‌دهند که اغلب به این نواحی آسیب می‌رسانند (شکل ۱-ب). ترک‌های قطری آسیب‌پذیری میان‌قاب‌ها را در برابر لرزش عمود بر طول میان‌قاب افزایش می‌دهند. کل دیوار میان‌قاب و یا بخش‌هایی از آن ممکن است از ساختمان‌ها جدا شده و سقوط کنند (اشکال ۲ و۳). برای اطلاعات بیشتر تصاویر «آسیب میان‌قاب‌های بنایی درزلزله‌ها[1]» را به‌صورت برخط جستجو کنید.



شکل ۱. (الف) قاب شامل تیر و ستون بدون دیوارهای میان‌قاب که در هنگام زلزله به طرفین خم می‌شود (۱). (ب) چگونگی ممانعت میان‌قاب (۲) از خمش، با ظهور ستون فشاری قطری (۳) و ترک قطری (۴).

[1] Masonry infill earthquake damage

(الف)

(ب)

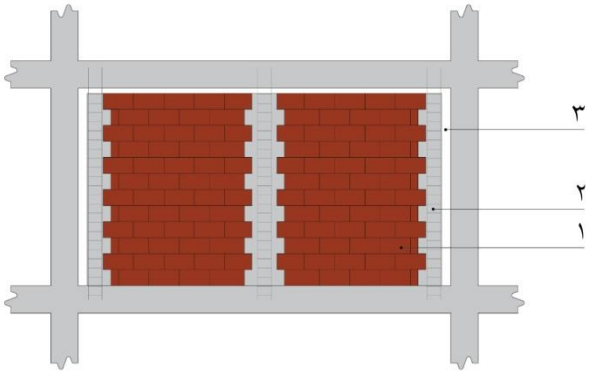
شکل۲. دیوارهای میان‌قاب آسیب دیده؛ (الف) شکست درون صفحه میان‌قاب‌ها؛ (ب) شکست خارج از صفحه و سقوط میان‌قاب‌ها در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب- ازگله کرمانشاه، ایران ($M_w = 7.3$) (ب. حسینی هاشمی و ک. کیانی[۲]).

شکل۳. دیوارهای میان‌قاب آسیب دیده در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب- ازگله کرمانشاه، ایران ($M_w = 7.3$) (ب. حسینی هاشمی[۳]).

میان‌قاب‌ها درصورت احراز شرایطی که در ادامه ذکر خواهد شد می‌توانند ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها را بهبود بخشند. میان‌قاب‌هایی که در راستای طولی ساختمان عمل می‌کنند، باید در پلان متقارن باشند و باید از طبقه همکف تا تراز بام به‌طور پیوسته ادامه یابند. همچنین، همان‌طور که در ادامه توضیح داده خواهد شد، باید عمود بر طول در برابر لرزش تقویت شوند. الزامات مشابهی باید در مورد میان‌قاب‌هایی که در راستای عرضی ساختمان قرار دارند اعمال شود. سرانجام، ستون‌ها، تیرها و همچنین میان‌قاب‌ها، باید توسط مهندسان عمران دارای صلاحیت طراحی شوند.

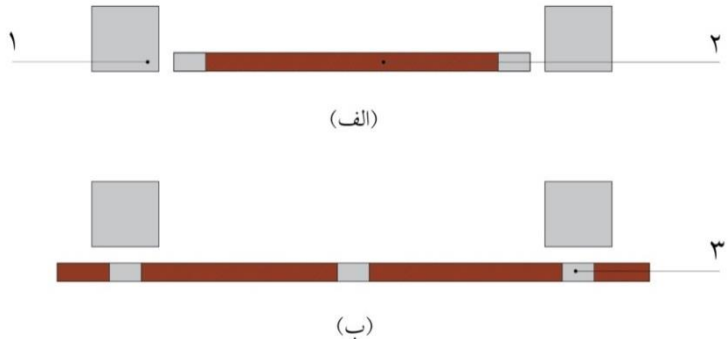
[2] B. Hosseini Hashemi and K. Kiany.
[3] B. Hosseini Hashemi

درصورت عدم رعایت شرایط فوق، میان‌قاب‌ها دچار آسیب شده و به ستون‌های مجاور خود آسیب جدی می‌رسانند. گزینه‌های طراحی محدودی برای ساخت ایمن لرزه‌ای در این‌خصوص وجود دارد. تا حد مطلوبی بهترین گزینه، جایگزینی میان‌قاب بنایی با مصالح نسوز با وزن کم‌تر و انعطاف‌پذیری بیشتر همانند تخته سیمان و یا دیوار گچی است. بدین‌ترتیب از خسارت جانی و آسیب به سازه اصلی جلوگیری می‌شود. وقتی برای میان‌قاب‌ها از دیوارهای توپر استفاده شود، جداسازی میان‌قاب‌ها از ستون‌ها و تیرها باید با استفاده از درزهای باریک پرشده با مصالح تراکم‌پذیر انجام شود (شکل ۴). درزها امکان خم شدن ستون‌ها و تیرها را فراهم می‌کنند، اما به آرماتورگذاری یا مهارهای فولادی به‌منظور تثبیت دیوارها در برابر تکان‌های عمود بر صفحه نیاز است. گزینه دیگر تعبیه دیوارها جلوتر یا عقب‌تر از ستون‌ها است، تا امکان خم شدن ستون‌ها و تیرها میسر شود (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۴. دیوار میان‌قاب بنایی (۱) که با استفاده از ستون‌های میانی یا «اجرایی» (۲) در برابر لرزش‌های عمود بر محور طولی ایمن و با درزهای باریک (۳) از ستون‌ها و تیرها که متعاقباً با مصالح نرم پر شده و با نازک کاری پوشانده می‌شوند جدا شده است.

شکل ۵. مثالی از اجرای ستون میانی برای تثبیت یک دیوار بنایی (اس. برژو[4])



شکل ۶. نمای بالا از ستون‌ها. در شکل (الف) در طرفین یک میان‌قاب جداشده از ستون‌ها (۱)، ستون‌های کوچکی برای تامین پایداری میان‌قاب (۲) تعبیه شده است. در شکل (ب) دیوار بنایی با ستون‌های تثبیت کننده (۳) به جلوی ستون‌های سازه‌ای انتقال داده شده تا مانع خمش ستون‌ها نشود.

[4] S.Brzev

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 159-168.

Infilled frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/infilledframe.

Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wpcontent/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

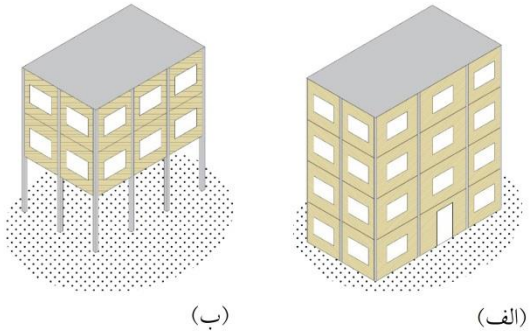
Emnani, S. J., Rodgers, J. E., and Burton, H. V., 2014. Seismic Design Guidance for New Reinforced Concrete Framed Infill Buildings. Geohazards International. https://4649393f-bdef-4011-b1b69925d550a425.filesusr.com/ugd/08dab1_5710341c7b304eef9d79bfd50efe839a.pdf (accessed 8 June 2020).

Hosseini Hashemi. B. and Keykhosro Kiany, B., 2018. Performance of Steel Structures and Associated Lessons to be Learned from November 12, 2017, Sarpol-eZahab-Ezgeleh Earthquake (M_W7.3), JSEE, Vol. 20, No. 3, pp. 33-46.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

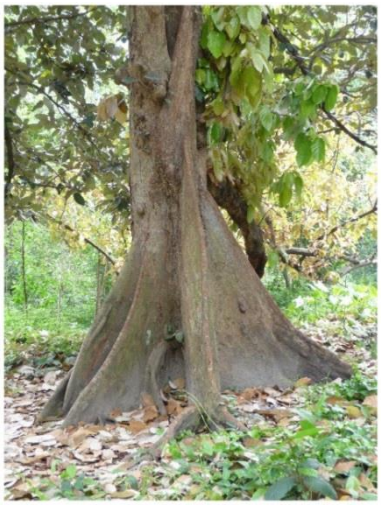
مقاله ۱۱. پرهیز از یک ضعف سازه‌ای بسیار رایج: طبقه نرم

دو ساختمان نشان داده شده درشکل ۱ را مقایسه کنید. ستون‌ها و تیرهای هر دو ساختمان به‌اندازه کافی برای تحمل وزن ساختمان، نیروهای رو به پایین، مقاوم هستند. اما این دو ساختمان در هنگام وقوع نیروهای جانبی چگونه با هم مقایسه می‌شوند؟ باد نیروهای جانبی ایجاد می‌کند، اما شدیدترین نیروها در هنگام وقوع زلزله رخ می‌دهند که در آن، زمین، ساختمان‌ها را در تمامی جهات افقی به این‌سو و آن‌سو به جنبش درمی‌آورد.



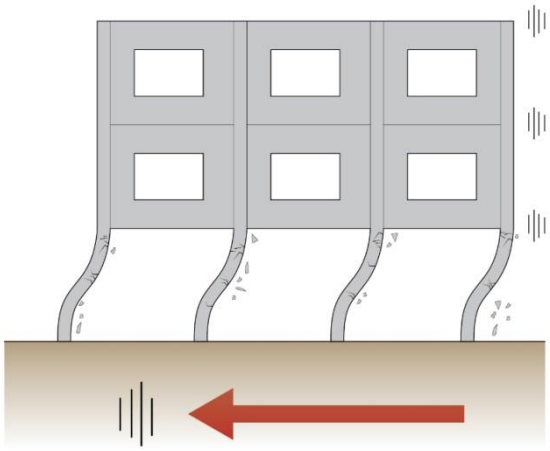
شکل ۱. درساختمان (الف) میان‌قاب‌های خارجی و داخلی و تیغه‌ها روی کف هر طبقه قرار دارند، ولی در ساختمان (ب) دیوارهای مذکور در طبقه همکف وجود ندارند. طبقه همکف باز است.

ساختمان اول (شکل ۱-الف) در برابر نیرو های افقی نسبتاً قوی است. در هر طبقه، ترکیبی از ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح، به‌همراه میان‌قاب‌ها و تیغه‌ها، برای مقاومت دربرابر نیروهای افقی زلزله به‌صورت یکپارچه کار می‌کنند. به‌نظر می‌رسد تمامی طبقات مقاومت یکسانی دارند. با این‌حال، در تضاد کامل، ساختمان دوم (شکل ۱-ب) فاقد هرگونه دیوار تقویتی در طبقه همکف است. شاید این طبقه برای پارک خودروها درنظر گرفته شده است. بنابراین، این طبقه خیلی ضعیف‌تر از طبقات بالایی است. در وضع مطلوب، پایین‌ترین طبقه یا چند طبقه پایین‌تر یک ساختمان باید قوی‌تر از طبقات بالایی باشند. شکل تنه یک درخت را درنظر بگیرید (شکل ۲). اغلب قوی‌ترین بخش تنه‌ی درختان در سطح زمین قرار دارد، زیرا در هنگام وقوع باد-های شدید در آن تراز بیشترین تنش‌ها رخ می‌دهد. ساختمان‌ها نیز باید از همین اصل پیروی کنند و قوی‌ترین بخش آن‌ها در تراز زمین باشد.



شکل ۲. اغلب، قوی‌ترین بخش تنه درختان در سطح زمین قرار دارد.

وقتی ساختمان دوم (شکل ۱-ب) تحت حرکات ناشی از زلزله قرار می‌گیرد، آسیب در ضعیف‌ترین ناحیه رخ می‌دهد. در مورد این ساختمان، ضعیف-ترین ناحیه، ستون‌های طبقه همکف می‌باشند (شکل ۳). ستون‌ها به‌صورت جانبی خم شده و در این فرآیند دچار آسیب می‌شوند. اغلب میزان این آسیب به‌حدی است که ستون‌ها دیگر قادر به تحمل وزن ساختمان نیستند. ستون‌ها شکسته شده و ساختمان فرو می‌ریزد. پایین‌ترین طبقه کاملاً دچار له‌شدگی می‌شود. این احتمال می‌رود که برخی از طبقات بالا نیز دچار همین آسیب شوند. در این شرایط مرگ و میر اجتناب ناپذیر است.



شکل ۳. ستون‌ها در طبقه نرم بیش از حد خم شده و به‌طور جدی دچار آسیب می‌شوند.

شکست طبقات نرم یا ضعیف تقریباً همواره در هنگام وقوع زلزله‌های مخرب رخ می‌دهد (اشکال ۴ تا ۶). خوانندگان می‌توانند در اینترنت واژه «ساختمان با طبقه نرم[1]» را جستجو کنند و تصاویر بسیار دیگری را ملاحظه نمایند. با این حال، جای بسی خرسندی است که این نوع از آسیب قابل پیشگیری است. مادامی که مهندسان و معماران از آیین‌نامه‌های طراحی محلی و بهترین دستورالعمل‌های اجرایی در طول طراحی و ساخت ساختمان-های جدید پیروی می‌کنند، طبقات نرم قابل اجتناب هستند. برای اطلاعات بیشتر، بخش «مراجع» را ملاحظه نمایید.

شکل ۴. انهدام کامل طبقه همکف در ساختمانی با طبقه نرم در یک زلزله متوسط (ان. وشو[2]).

[1] Soft story building
[2] N. Vesho

شکل ۵. آسیب جدی طبقه نرم در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب- ازگله کرمانشاه، ایران ($M_w = 7.3$) (ب. حسینی هاشمی و ک. کیانی[۳]).

شکل ۶. شکست طبقه ضعیف در زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه (ب. حسینی هاشمی[۴]).

اما راهکار در ارتباط با ساختمان‌های موجود با طبقه نرم چیست؟ (شکل ۷) این امکان وجود دارد که بتوان عملکرد لرزه‌ای چنین ساختمانی را بهبود بخشید. برخی ازشهرهای جهان برنامه‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای را آغاز کرده‌اند. با این‌حال، مقاوم‌سازی می‌تواند شامل افزودن سیستم‌های سازه‌ای جدید، مثل قاب‌های مهاربندی‌شده یا دیوارهای سازه‌ای باشد. فرآیند مذکور اغلب برای پیمانکار دشوار، برای ساکنین ناخوشایند و پرهزینه است. بنابراین، پرهیز از ایجاد طبقه نرم در ساخت و سازه‌های جدید با همکاری خوب بین معمار و مهندس عمران مطلوبیت بیشتری دارد و سپس طراحی سنجیده مهندس عمران، بدون تغییر در هزینه‌ها و یا با تحمیل هزینه‌ای اندک همراه خواهد بود.

[3] B, Hosseini Hashemi and K. Kiany.
[4] B. Hosseini Hashemi.

شکل ۷. نمونه‌ای از یک ساختمان با طبقه نرم که در آن طبقه همکف ضعیف‌ترین طبقه است.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 144-148.

Murty, C. V. R., 2005. Why are Open-Ground Storey Buildings Vulnerable in Earthquakes? Earthquake Tip 21. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

Soft Storey. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/softstorey-sos#.

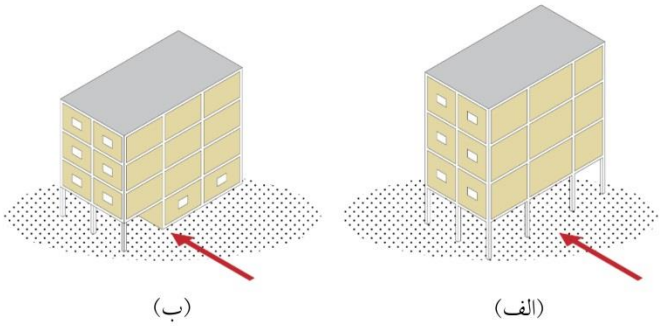
Hosseini Hashemi. B. and Keykhosro Kiany, B., 2018. Performance of Steel Structures and Associated Lessons to be Learned from November 12, 2017, Sarpol-eZahab-Ezgeleh Earthquake (M_W7.3), JSEE, Vol. 20, No. 3, pp. 33-46.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۲. پرهیز از یک ضعف سازه‌ای بسیار رایج: دیوار ناپیوسته

برای ساختمان‌هایی که از دیوارها برای مقاومت در برابر جنبش‌های افقی ناشی از زلزله استفاده می‌کنند، بسیار مهم است که دیوارها به‌صورت عمودی و به‌طور پیوسته از پی ساختمان تا تراز بام امتداد داشته باشند. قاعده کلی پیوستگی دیوارها صرفنظر از نوع مصالح ساخت، بتن مسلح و یا مصالح بنایی، باید رعایت شود. قاعده مذکور حتی اگر دیوارها از نوع دیوارهای میان‌قاب باشند و جزو عناصر سازه‌ای نباشند نیز اعمال می‌شود. مقاومت و سختی میان‌قاب‌ها به‌حدی است که به میزان زیادی همانند اعضای سازه‌ای رفتار می‌کنند حتی اگر این رفتار توسط طراحان لحاظ نشده باشد.

ناپیوستگی در چیدمان دیوارها به دو نوع اساسی تقسیم‌بندی می‌شود. در نوع اول، قاب متشکل از تیر و ستون، در همه طبقات به‌جز یک طبقه دارای میان‌قاب است (شکل۱-الف). معمولاً طبقه فاقد میان قاب طبقه همکف است. چنین چیدمانی به احتمال زیاد منجر به آسیب طبقه نرم طی یک زلزله مخرب خواهد شد. خطر وجود یک طبقه نرم در مقاله پیشین، مقاله ۱۱ از این مجموعه توضیح داده شد.



شکل ۱. دو نوع اساسی از ناپیوستگی در دیوارها. در (الف) هیچ میان‌قابی در طبقه همکف وجود ندارد، و در (ب) دیوار میان‌قاب طبقه همکف با دیوار بالایی هم-راستا نیست.

نوع دوم از ناپیوستگی در دیوارها، هم‌راستا نبودن دیوارها در پلان طبقات است (شکل۱-ب). ممکن است در تمامی طبقات میان‌قاب‌ها وجود داشته باشند، اما در طبقه همکف دیوارها نسبت به دیوارهای طبقات بالاتر عقب نشینی داشته باشند. بنابراین دیوارهای بالایی جلوتر از پایین‌ترین دیوار بنا شده‌اند (شکل۲). هم‌راستا نبودن، خصوصاً حین مقاومت در برابر نیروهای افقی ناشی از زلزله یک ضعف موضعی جدی در دیوار ایجاد می‌کند. دیوار بیرون زده مثل درختی است که در تنه آن تاب‌خوردگی وجود دارد (شکل۳). یک باد شدید احتمالاً می‌تواند موجب شکست تنه درخت در محل تاب-خوردگی شود. نیروهایی درونی هیچ سازه‌ای با تغییر راستای ناگهانی سازگار نیستند. پس برای فائق شدن بر این نقیصه راهکار چیست؟

شکل۲. خیابانی با ساختمان‌های دارای دیوارهای میان‌قابی غیر هم‌راستا.

شکل۳. تاب‌خوردگی در تنه درخت منجر به یک ضعف موضعی می‌شود.

بهترین رویکرد، اطمینان از غیرسازه‌ای بودن دیوار غیر هم‌راستا است. دیگر عناصر سازه‌ای درون ساختمان، مثل قاب‌های متشکل از تیر و ستون باید به‌گونه‌ای طراحی شوند تا در برابر نیروهای لرزه‌ای در راستای موازی با دیوار مقاومت کنند. در مرحله طراحی، مصالح بنایی دیوارهای غیر هم‌راستا باید با مصالح سبک غیر قابل اشتعال، مثل تخته سیمان یا دیوار گچی جایگزین گردند. مصالح مذکور بسیار ضعیف‌تر از آن هستند که حین زلزله همچون عناصر سازه‌ای رفتار نمایند. گزینه دیگر، جداسازی هر دیوار بنایی غیرهم‌راستا از قاب سازه‌ای مربوط برای ممانعت از عملکرد سازه‌ای دیوار می‌باشد (مقاله ۱۰ را ملاحظه نمایید).

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

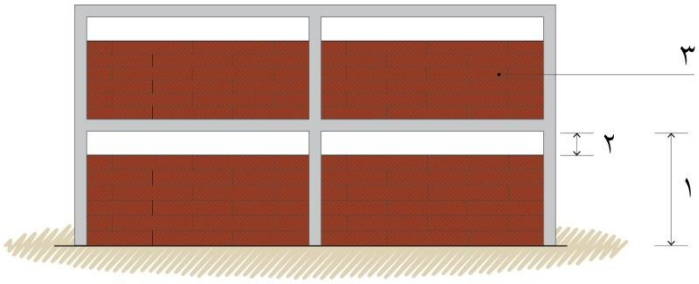
Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 151-153.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۳. پرهیز از یک ضعف سازه ای بسیار رایج: ستون کوتاه

در مواجهه با تحمل وزن یک ساختمان، وجود یک ستون طویل یا بلند، بخصوص با سطح مقطع کوچک، می‌تواند مشکل ساز باشد. ستون مذکور مستعد کمانش است. با این وجود، از منظر طراحی ایمن ساختمان‌ها در برابر زلزله، ستون‌های کوتاه می‌توانند منجر به یک ضعف سازه‌ای اساسی شوند. اگرچه به‌اندازه طبقه نرم خطرناک نیستند، ولی ستون‌های کوتاه عملکرد لرزه‌ای ضعیفی دارند.

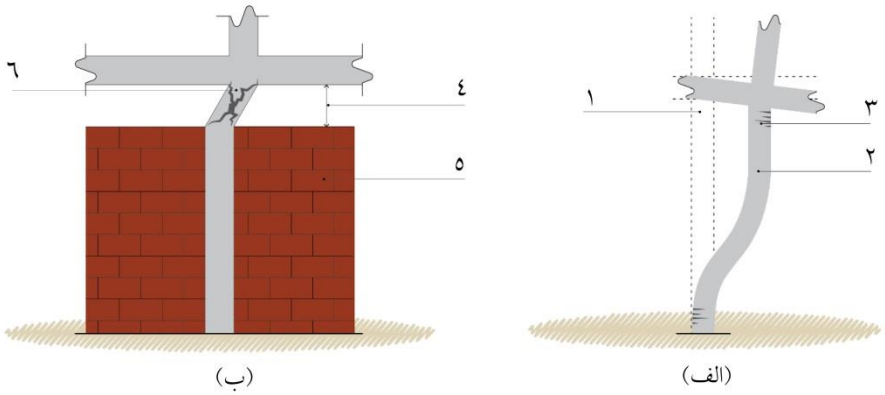
ستون‌های کوتاه اغلب در شرایطی که در یک ساختمان متشکل از تیر و ستون، دیوارهای میان‌قاب فقط تا بخشی از ارتفاع طبقه بنا شده باشند شکل می‌گیرند (اشکال ۱و ۲). اصطلاح جایگزین و توصیفی‌تر برای «ستون کوتاه» عبارت «ستون محبوس» است. زیرا در هنگام وقوع یک زلزله با حرکات افقی رفت و برگشتی طول بخش پایینی ستون در اسارت میان‌قاب‌ها با ارتفاع جزیی قرار می‌گیرد. آن‌ها از خمش جانبی ستون، مثل یک ستون عادی، ممانعت می‌کنند. بنابراین، تمامی جابجایی افقی در طول کوتاهی از ستون که توسط میان‌قاب‌ها مهار نشده است رخ می‌دهد. مساله این است!



شکل ۱. نمای ساختمانی با ستون‌های کوتاه. امکان خمش ستون‌ها در تمامی طول خود (۱) وجود ندارد بلکه به‌دلیل تاثیر دیوارهای میان‌قاب (۳) خمش محدود به ارتفاع پنجره‌ها (۲) می‌شود.

شکل۲. ستون‌های با ارتفاع معمول برای مقاومت در برابر نیروهای افقی، توسط دیوارهای میان‌قاب با ارتفاع جزیی، به ستون‌های کوتاه تبدیل شده‌اند.

ستون‌های معمول که تحت تأثیر دیوارهای میان‌قاب نیستند، در هنگام زلزله می‌توانند خمش جانبی انعطاف‌پذیر داشته باشند. در فرآیند خمش، در ستون‌ها ترک‌های باریکی ایجاد می‌شود که مهم نیستند. با این‌حال، اگر یک ستون توسط دیوارهای میان‌قاب به‌طور جزئی مقید شده باشد، جابجایی که به‌طور معمول در کل ارتفاع طبقه روی می‌دهد، در «ستون کوتاه» بالای دیوار میان‌قاب متمرکز می‌شود (شکل۳). وقوع جابجایی افقی مذکور در یک ارتفاع کوتاه نه‌تنها منجر به آسیب سازه‌ای سنگین می‌شود، بلکه یک ستون کوتاه برای خم شدن بسیار سخت است. بنابراین به‌صورت آنی در اثر برش می‌شکند و همانند یک هویج دو نیم می‌شود. ترک‌های قطری در ستون ایجاد می‌شوند و بتن خرد شده از ناحیه آسیب دیده سقوط می‌کند (شکل ۴). ساختمان فرو می‌ریزد و در نهایت نیاز به تخریب دارد. تصاویر بسیاری از این نوع آسیب را می‌توان با جستجوی عبارت «اثر ستون کوتاه[1]» به‌صورت برخط مشاهده نمود.



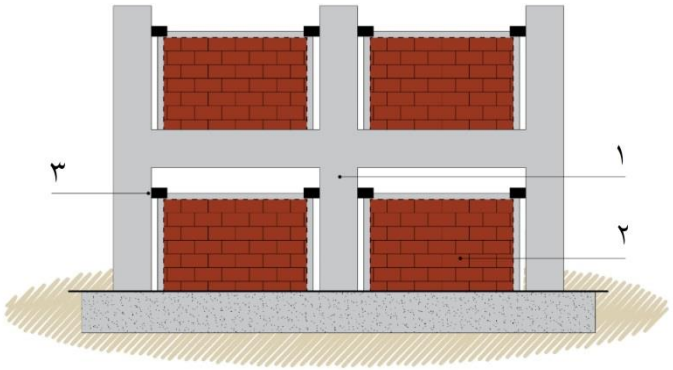
شکل۳. حین وقوع زلزله در (الف) ستون با ارتفاع معمولی (۱) در اثر جابجایی افقی، خم می‌شود (۲) لذا در این فرآیند ستون دچار ترک خوردگی شده (۳) ولی همچنان می‌تواند مقاومت کند. در (ب) پنجره‌ای در بالا (۴) و میان‌قاب‌های بنایی زیر آن (۵)، عامل ایجاد ترک‌های قطری جدی در ستون کوتاه (۶) و در نهایت متلاشی شدن آن خواهند شد.

شکل۴. ستون‌های کوتاه آسیب دیده در زلزله.

[1] Short column effect

شکل۵. ستون‌های کوتاه آسیب دیده در زلزله‌های اخیر ایران و جهان (ب. حسینی هاشمی[۲]).

روش‌های مختلفی برای جلوگیری از بروز پدیده ستون کوتاه وجود دارد. در روش اول، طول پنجره‌ها به‌نحوی کاهش می‌یابد تا انتهای آن‌ها به‌خوبی از بالای ستون‌ها فاصله داشته باشد. در روش دوم، دیوارهای میان‌قاب را از مصالح سبک غیرقابل اشتعال مانند تخته سیمانی می‌سازند. بدین‌نحو میان‌قاب برای مقیدکردن بخش پایینی ستون بسیار ضعیف است و بنابراین ستون می‌تواند به‌طور معمول خم شود. سرانجام، اگر اجرای دیوارهای میان‌قاب بنایی با ارتفاع جزئی ناگزیر باشد، باید به‌صورت فیزیکی با ایجاد درزهای باریک عمودی از ستون‌ها جدا شوند. برای تثبیت دیوارهای میان‌قاب باید از مهارهای فولادی استفاده شود تا در حرکات ناشی از زلزله میان‌قاب‌هابه سمت بیرون یا داخل ساختمان سقوط نکنند (شکل ۶).



شکل ۶. قاب بتن مسلح با ستون‌های کوتاه بالقوه (۱) و دیوارهای میان‌قاب بنایی (۲) که توسط کلاف‌های ستون و تیر محصور شده‌اند. میان‌قاب‌ها با درزهای جدا کننده عمودی از قاب جدا شده‌اند ولی در گوشه‌های بالایی توسط مهارهای فولادی پیچ شده به ستون‌ها (۳) مقید شده‌اند. مهارها حرکت بین ستون‌ها و دیوارها به‌موازات دیوارها را محدود نمی‌کنند، اما مانع سقوط دیوارها از ساختمان در هنگام وقوع زلزله می‌شوند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 148-151.

[2] B. Hosseini Hashemi.

Murty, C. V. R., 2005. Why are Short Columns more Damaged During Earthquakes? Earthquake Tip 22. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

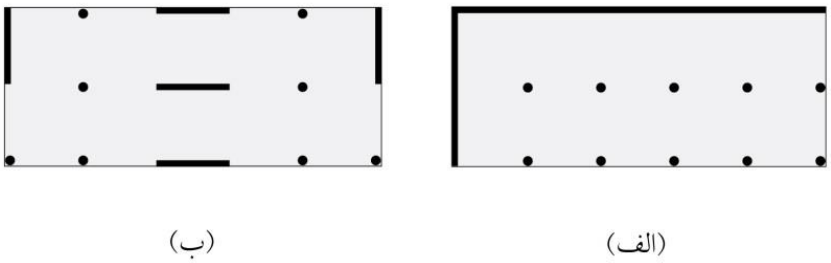
Short Column. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/shortcolumn-shc.

Video: Captive column by Cale Ash, Academy of Earthquake Safety. https://www.youtube.com/watch?v=kRG3XwOvzuo.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

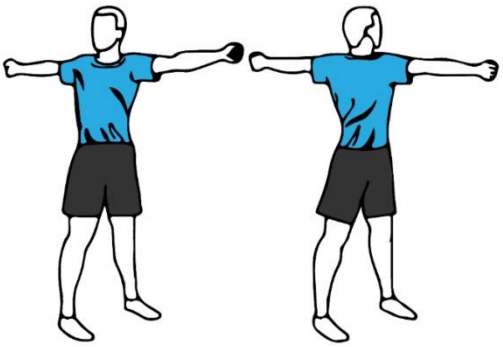
مقاله ۱۴. جلوگیری از پیچش ساختمان هنگام وقوع زلزله

تمامی ساختمان‌ها در هنگام زلزله تا حدودی دچار پیچش می‌شوند. وقوع پیچش در یک ساختمان، یعنی، چنانچه از بالا به ساختمان نگاه کنید، ساختمان اندکی دوران کرده باشد. نه‌تنها حرکات ناشی از زلزله منجر به وقوع پیچش در ساختمان‌ها می‌شود، بلکه عدم تقارن سازه نسبت به سطح کل ساختمان، منجر به وقوع پیچش با شدت بیشتری می‌شود (شکل ۱-الف).



شکل۱. پلان‌های طبقات همکف دو ساختمان. در (الف) نیروی زلزله در هر راستا توسط یک دیوار در یک ضلع از ساختمان تحمل می‌شود که نسبت به سطح کل ساختمان متقارن نیست. این ساختمان در هنگام زلزله دچار پیچش شدید خواهد شد. در (ب) دیوارها در هر راستا به‌صورت متقارن واقع شده‌اند. پیچش ساختمان حداقل خواهد بود.

برای درک مساله، آزمایشی را انجام دهید. برای درک آن‌چه برای ساختمان در زلزله اتفاق می‌افتد از بدن خود استفاده نمایید. بدین منظور، ایستاده و دستان خود را رو به بیرون به‌طور افقی نگه دارید. سپس، سر و شانه‌های خود را ابتدا در یک جهت و سپس در جهت دیگر بچرخانید (شکل ۲). شما می‌توانید چرخش بدن خود را احساس و بدین ترتیب پیچش را تجربه کنید.

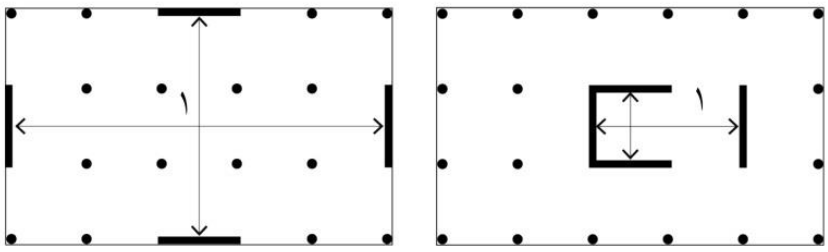


شکل ۲. برای تجربه اثر پیچش بدن خود را همانند شکل بچرخانید.

با چرخاندن بدنتان، پی خواهید برد که دست‌های شما نسبت به مثلاً گوش‌هایتان خیلی بیشتر حرکت می‌کنند. سپس، بدن خود رابه‌عنوان یک هسته سازه‌ای یا برج تصور نمایید که یک ساختمان بزرگتر را تحمل می‌کند (شکل۳) که طول آن تا انتهای انگشتان شما ادامه دارد. فرض کنید چند ستون در امتداد طول هر بازو، وزن طبقات «ساختمان» شما را تحمل می‌کنند. حال، زمانی‌که شما و ساختمانتان می‌چرخید، ستون‌هایی که در فاصله بیشتر از هسته قرار دارند، دچار حرکت جانبی بزرگتری می‌شوند و وقتی به حرکت جانبی بیش از حد واداشته می‌شوند، به‌طور جدی آسیب می‌بینند و شاید دیگر قادر به تحمل وزن ساختمان نباشند.

شکل ۳. مثالی از یک هسته بتن مسلح در ساختمانی در حال ساخت.

طراحان، مهندسان عمران و معمارها دو راه برای کنترل پیچش و کاهش آسیب وارده به ستون‌ها دارند. اول اینکه، دیوارهای باربر یا دیگر سازه‌های عمودی مثل قاب‌های متشکل از تیر و ستون را به‌صورت نسبتاً متقارن بر پلان کف جانمایی کنند (شکل ۴-ب). دوم، در هر دو راستای افقی، در راستای طولی و عرضی، حداقل دو عنصر سازه‌ای قوی عمودی که به‌خوبی از هم فاصله داده شده‌اند درنظر بگیرند. اگر دو عنصر مذکور بر محیط ساختمان، در دو انتها و در طرفین قرار گیرند، در کنترل پیچش بیشترین تاثیر را خواهند داشت. این عناصر از حرکت جانبی بسیار زیاد ستون‌ها و متعاقباً آسیب جدی جلوگیری می‌کنند (شکل ۴).



شکل ۴. پلان‌های طبقات همکف دو ساختمان. در (الف) نیروهای زلزله در هر راستا، در راستای عرضی و طولی ساختمان، توسط دو دیوار که نسبتاً متقارن جانمایی شده‌اند، تحمل می‌گردند. دیوارها از هم فاصله دارند (۱) ولی نه‌چندان. با این‌حال، در (ب) دیوارهای مؤثر در هر راستا دارای حداکثر فاصله (۱) هستند و در نتیجه بهترین کنترل پیچش را فراهم می‌نمایند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 128-132.

Murty, C. V. R., 2005. How Buildings Twist During Earthquakes?: Earthquake Tip 7. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip07.pdf (accessed 5 May 2020).

Torsion eccentricity. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/torsion-eccentricity-tor.

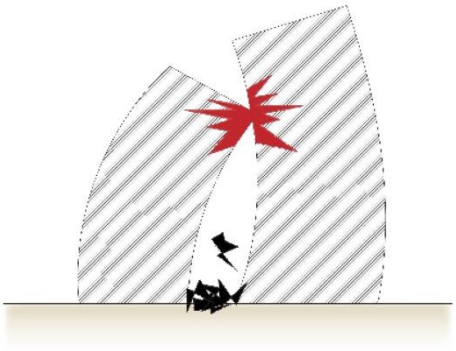
ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۵. چرا ساختمان‌ها حین وقوع زلزله‌ها به‌یکدیگر ضربه می‌زنند؟

آیا تا به‌حال با یک وسیله نقلیه عمومی شلوغ مثل اتوبوس یا مترو سفر کرده‌اید؟ ممکن است نزدیک به دیگران و بدون تماس با آن‌ها ایستاده باشید. با این‌حال، وقتی اتوبوس سرعت یا جهتش را تغییر می‌دهد، همه جابجا می‌شوند، این امر باعث برخورد شما و مسافر کناری می‌شود.

وضعیتی مشابه حین زلزله‌ها رخ می‌دهد. وقتی زمین می‌لرزد، ساختمان‌ها لرزش‌ها را شدت می‌بخشند. اما ساختمان‌ها همراه با هم و یا هم فاز با هم به لرزش در نمی‌آیند. ساختمان‌ها متفاوت هستند و در طول زمین لرزه به‌طور متفاوت حرکت می‌کنند. هر ساختمان دارای فرکانس‌های ارتعاش متفاوتی است که در آن دچار تشدید می‌شود. حرکات رفت و برگشتی برای هر ساختمان به‌طور متفاوتی تشدید می‌یابند، و این تشدید با افزایش ارتفاع ساختمان، بیشتر می‌شود.

اگر ساختمان‌ها خیلی نزدیک به هم، پهلو به پهلو یا پشت به پشت ساخته شوند، در هنگام لرزش زمین، هر ساختمان به‌طور متفاوتی دچار ارتعاش می‌شود. ساختمان‌ها به ساختمان‌های مجاور ضربه می‌زنند، و گاهی باعث آسیب‌های جدی می‌شوند (اشکال ۱ تا ۳). جست و جوی برخط عبارت «ضربه ساختمان‌ها در زلزله[1]» مثال‌های زیادی از آسیب ناشی از ضربه در هنگام زلزله‌ها در سراسر جهان را نتیجه می‌دهد.



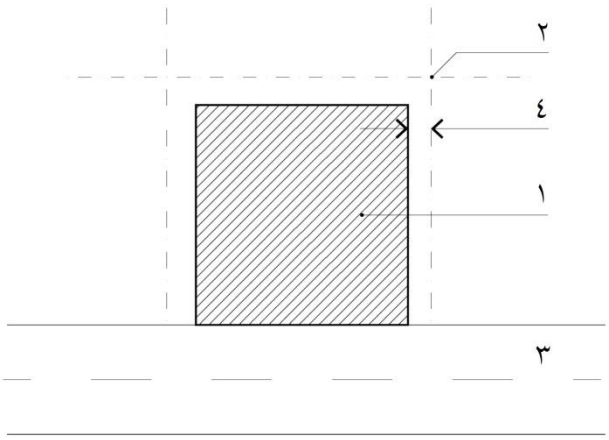
شکل ۱. دو ساختمان با عرض ناکافی برای درز انقطاع لرزه‌ای در هنگام زلزله به‌یکدیگر ضربه می‌زنند.

شکل ۲. ضربه ساختمان‌های مجاور در زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه (ب. حسینی هاشمی[2]).

[1] Earthquake building pounding
[2] B. Hosseini Hashemi.

شکل ۳. دو ساختمان که به‌یکدیگر ضربه زده‌اند و یکی از آن‌ها خیلی بیش ازدیگری آسیب دیده است.

راه حل جلوگیری از ضربه بین دو ساختمان جدید ساده و روشن است. به‌استثنا ضلع در امتداد خیابان، ساختمان را عقب‌تر درون مرزها بنا کنید. درزها در امتداد اضلاع کناری و پشتی ساختمان باید به‌اندازه کافی بزرگ باشند تا در هنگام زلزله ساختمان از مرزهای خود خارج نشده و به ساختمان‌های مجاور برخورد نکند (شکل ۴). مقررات مربوط به این درزها یک روال استاندارد در بسیاری از شهرهای جهان است.



شکل ۴. پلان ساختمانی (۱) درون مرزهایش (۲) واقع در یک خیابان (۳). ساختمان از سه ضلع نسبت به مرزهایش به‌اندازه درز انقطاع لرزه‌ای (۴) عقب‌تر بنا شده است.

اما عرض درزهای مذکور، که معمولاً «درز انقطاع لرزه‌ای» نامیده می‌شوند چقدر باید باشد؟ اندازه آن به ارتفاع و انعطاف‌پذیری ساختمان بستگی دارد. برای انعطاف‌پذیرترین ساختمان‌های مجاز در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای پهنای درز تا مرز زمین حدود ۲٪ ارتفاع سازه است. این مقدار برای یک ساختمان چهار طبقه تقریبا برابر با ۲۴۰ میلی‌متر است. هرگاه مهندس عمران، ساختمان سخت تری طراحی کند، برای مثال با تیرها و ستون های بزرگتر یا دیوار های سازه ای طویل تر، استفاده از درز انقطاع لرزه‌ای با عرض کمتر نیز امکان‌پذیر است. وقتی ساختمان های مجاور نزدیک هم هستند، درزهای بین ساختمان‌های مجاور توسط درزگیرهای انعطاف‌پذیر پوشانده می‌شوند (اشکال ۵ و ۶).

شکل ۵. دو ساختمان جدا شده توسط یک درز انقطاع لرزه‌ای پوشیده شده با درزگیرهای انعطاف‌پذیر.

شکل ۶. نمای نزدیک از درزگیر برای پوشاندن درز انقطاع لرزه‌ای.

جلوگیری از برخورد بین ساختمان های موجود با درز انقطاع لرزه‌ای باریک یا بدون درز انقطاع لرزه‌ای در طول یک زلزله قوی بسیار دشوار است. اگر تراز کف‌های ساختمان‌های مجاور در یک راستا باشند، ضربه دال‌های کف به‌یکدیگر نسبت به حالتی که ساختمان‌های مجاور در تراز یکسان نیستند از اهمیت کمتری برخوردار است. در حالت اخیر، دال‌های کف یک ساختمان می‌توانند به‌شدت به ستون‌های مجاور ساختمان دیگر آسیب برسانند. یک راه‌حل ساخت ستون‌های جدید «پشتیبان»، در حالتی است که ستون‌های خارجی و آسیب‌پذیرتر دچار آسیب شده‌اند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات

توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 137-139.

Pounding potential. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/pounding-potential-pop.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۶. استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی

رسالت استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی، در درجه اول، حفظ ایمنی ساختمان‌ها است. رسالت دیگر، ممانعت از معایبی مثل شکم دادگی تیرها در طول عمر مفید سازه است، ضمن اینکه از مصالح به‌صورت بهینه استفاده شود. آیین‌نامه‌ها و استانداردها معمولاً توسط تیم‌هایی از متخصصین از دانشگاه‌ها، مهندسان حرفه‌ای، ادارات دولتی و پیمان‌کاران تهیه می‌شوند.

اعضای این تیم‌ها از تحقیقات و تجربیات خود استفاده می‌کنند (شکل ۱). علاوه بر این، آن‌ها آخرین پیشرفت‌ها در سرتاسر جهان را بررسی می‌کنند. این پیشرفت‌ها اگر برای شرایط محلی مناسب باشند در آیین‌نامه‌های (یا استانداردهای) جدید یا به‌روز شده وارد می‌شوند. یک آیین‌نامه، در زمان انتشار، ارایه دهنده توصیه‌های منبطق بر آخرین یافته‌های علمی برای ساخت سازه‌ای ایمن، بادوام و اقتصادی است.

شکل ۱. ستون‌ها و تیرهای بتن مسلح تمام مقیاس تحت بررسی‌های آزمایشگاهی.

شکل ۲. دیوار بنایی تحت بررسی آزمایشگاهی در آزمایشگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

به‌هر حال، صنعت ساختمان، همانند صنایع دیگر، دچار تغییر می‌شود. مصالح نوین، روش‌های ساخت جدید و همچنین روش‌های طراحی جدید به‌طور پیوسته توسعه می‌یابند (شکل ۳). تغییر و نوآوری، برآمده از فعالیت‌های پیمان‌کاران و محققین است. بنابراین، براین اساس آیین‌نامه‌ها باید به‌طور منظم به‌روز شوند. درغیر این‌صورت، ماحصل به‌کارگیری آن‌ها ساختمان‌هایی نا ایمن و غیراقتصادی است.

شکل ۳. مثال‌های نوآورانه‌ای از کاربرد بتن پیش ساخته در یک ساختمان.

آیین‌نامه‌ها رویه‌های استاندارد برتر برای ساخت و ساز را تعیین می‌کنند. پیروی از قوانین ارایه شده در آیین‌نامه‌ها به‌منظور رعایت حقوق هر یک از اشخاص جامعه، با این فرض که مالک یا ساکن ساختمان هستند و در سطح گسترده‌تر کل جامعه باید صورت پذیرد. عدم پایبندی به استانداردهای مشخص شده عواقبی جدی در پی خواهد داشت. به‌عنوان مثال، عدم رعایت استانداردها و عواقب ناشی از آن را در دیگر موقعیت‌ها درنظر بگیرید. پزشکی را تصور کنید که به بررسی و معاینه بیماران می‌پردازد. اگر پزشک برای صرفه‌جویی در زمان بررسی‌های لازم را انجام ندهد، مثلاً عدم اندازه-گیری فشار خون بیمار یا درخواست برای عکس‌برداری، تشخیص، ممکن است اشتباه باشد. در این‌صورت داروهای تجویز شده غیرمؤثر و بیماری مراجعه کننده وخیم‌تر خواهد شد. پیروی از استانداردها و آیین نامه‌ها برای محافظت از افراد است.

پیروی از آیین‌نامه‌ها در شرایط پیچیده و زمانی که دانش و تجربه اشخاص محدود است بیشترین اهمیت را دارد. طراحی و ساخت یک ساختمان برای مقاومت در برابر زلزله نمونه‌ای از شرایط مذکور است. تقریباً هیچ مهندس عمران، معمار و سازنده‌ای شخصاً شاهد آن‌چه که برای ساختمان‌ها در طول یک زلزله بزرگ اتفاق می‌افتد نبوده است، یعنی اینکه ساختمان‌ها چگونه متحمل آسیب فزاینده شده تا درنهایت به‌طور کامل دچار فروریزش شوند. همچنین اغلب افراد حرفه‌ای در صنعت ساختمان شخصاً بررسی‌های علمی آزمایشگاهی صورت گرفته بر عناصر سازه‌ای مانند ستون‌ها و تیرها که تحت حرکات لرزه‌ای تولید شده در آزمایشگاه قرار گرفته‌اند را مشاهده نکرده‌اند. آیین‌نامه‌ها فقدان تجربه، دانش و آگاهی شخصی در مورد زلزله‌ها را جبران می‌کنند. پیروی از آیین‌نامه‌ها تنها راه برای ساخت و ساز ایمن است.

آیین‌نامه‌ها در تمامی مراحل طراحی و اجرای ساختمان دستورالعمل‌هایی را ارائه می‌دهند (شکل ۴). مهندسان عمران و معماران باید در طی مراحل طراحی و ساخت از استانداردهای خاصی پیروی کنند. سازندگان باید اطمینان حاصل نمایند که مصالح و روش‌های ساخت نیز از استانداردها تبعیت می‌کنند. سودمندی حاصل از رعایت استانداردها نصیب خود آن فرد می‌شود. اگر خطایی رخ دهد یا کوتاهی صورت گیرد، بعید خواهد بود که ساختمان شما در برابر زلزله ایمن باشد. آیین‌نامه‌ها و استانداردها همواره باید رعایت شوند.

شکل ۴. پی‌های در حال ساخت یک ساختمان. مهندسان از آیین‌نامه‌ها برای تعیین مقدار میلگردهای تقویتی فولادی و موقعیت صحیح آن‌ها تبعیت می‌کنند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۷. از مقررات ساختمانی چه انتظاراتی می‌توان داشت؟

مقررات ساختمانی (به عنوان مثال، آیین‌نامه‌های ساختمانی و استانداردها) قوانین مرتبط با ساختمان هستند. آن‌ها از ما و دیگران محافظت می‌کنند. مقررات مذکور تضمینی برای محیط ساخته شده ایمن و سالم هستند. آن‌ها برای اطمینان از ساخت ساختمان‌های ایمن برای زندگی، کار و خرید وضع شده‌اند. مقررات نمایان‌گر این امر هستند که ساختمان‌ها می‌توانند به‌گونه‌ای طراحی شوند تا در برابر زلزله ایمن باشند و در بر دارنده قوانینی برای دستیابی به هدف مذکور هستند.

بنابراین، از مقررات ساختمان چه انتظاری باید داشت؟ چه عواملی می‌تواند به موفقیت بیشتر آن‌ها در دستیابی به ساختمان‌های ایمن منجر شود؟ در ادامه پنج پیشنهاد ارائه شده است:

۱. بازتابی از وضعیت و انتظارات اجتماعی باشند: مقررات باید برای کل جامعه، وضعیت فرهنگی و اقتصادی و انتظارات شهروندان آن مناسب باشند (شکل ۱). سطوح استانداردهای اجباری ممکن است در سطوح بالایی همانند آن‌چه که درکشورهای پردرآمد وضع می‌شود، نباشد. بلکه در سطحی است که توسط ذینفعان توافق شده است، استانداردها باید متناسب با شرایط محلی و مقرون به‌صرفه باشند. همچنین آیین‌نامه‌هایی مورد نیاز است تا به شیوه‌های رایج ساخت و سازهای سنتی که افراد حرفه‌ای در آن دخیل نیستند نظیر ساخت تدریجی (شکل ۲) بپردازد.

شکل ۱. مردم انتظار دارند در ساختمان‌هایی زندگی کنند که در زلزله‌ها مقاوم هستند.

شکل ۲. آیین نامه‌ها و بکارگیری آن‌ها برای بهبود ایمنی لرزه‌ای این نحوه ساخت مسکن ضروری هستند.

۲. برای تمامی گروه‌ها منصفانه باشند: مهم است که مقررات برای یکایک آحاد جامعه منصفانه باشند. این مقررات نباید حامی هیچ گروهی در داخل و یا خارج صنعت ساخت، مثل تولید کنندگان مصالح ساختمانی که ممکن است از مقررات خاصی منتفع شوند، باشند.

۳. دسترسی به‌آن‌ها آسان و و واضح باشند: مقررات ساختمانی باید برای عموم و برای ذینفعان صنعت ساختمان، مثل مهندسان عمران، معماران و سازندگان به‌آسانی در دسترس باشند. مستندات قابل دسترس برای اهداف آموزشی نیز مورد نیاز است. مقررات را می‌توان به‌صورت برخط در دسترس قرار داد. آن‌ها همچنین باید واضح باشند به‌گونه‌ای که خوانندگان قادر به درک و تفسیر ضوابط ارایه شده در مقررات باشند. هدف در دسترس بودن و شفافیت آنها است.

۴. پذیرای شرایط در حال تغییر و اطلاعات جدید باشند: هرچند صنعت ساختمان آهسته‌تر از صنایع دیگر نظیر فناوری اطلاعات دچار تغییر می-شود، اما همچنان لازم است تا مقررات ساختمانی به‌روز باشند. در غیر این‌صورت، باعث سرکوب نوآوری می‌شوند و فرصت‌ها را برای ظهور شیوه‌های ساخت ارزان‌تر و کارآمدتر کاهش می‌دهند. همچنین، شیوه‌های ساختمانی که تحقیقات اخیر آن‌ها را نا ایمن نشان داده است نیاز به بهبود دارند. مقررات ساختمانی باید منعکس کننده دانش، مهارت و روش اجرای روز در صنعت ساختمان نیز باشد (شکل ۳).

شکل ۳. مقررات ساختمانی باید روش‌های ایمن و در عین حال کاربردی استفاده از مصالح جدید، مانند این آجرهای سبک را مشخص نماید.

۵. بخشی از روندهای نظارتی گسترده‌تر باشند: مقررات ساختمان به پشتیبانی قانونی و اداری نیاز دارند. پذیرش مقررات مستلزم آموزش و الزام به رعایت آن، هر دو، می‌باشد. آموزش تمامی ذینفعان در ارتباط با ساختمان های ایمن در برابر زلزله به تلاش متخصصین آموزش در سطوح مختلف صنعت ساختمان و همچنین جوامع حرفه‌ای نیاز دارد. دوائر مرتبط با امور ساختمان می‌توانند مساعدت کنند، اما نقش اصلی آن‌ها الزام به رعایت مقررات به شیوه‌ای مقرون به‌صرفه، کارآمد و شفاف است.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Hoover, C. A. and Greene, M. eds, 1996. Construction quality, Education, and Seismic Safety. EERI, Oakland, U.S.A., 68pp.

Moullier, T., 2015. Building regulation for resilience: managing risks for safer cities. Word Bank Group and GFDRR, Washington, U.S.A. 136 pp. https://www.preventionweb.net/publications/view/48493 (accessed 23 April 2020).

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۸. از ساختمان طراحی شده طبق آیین‌نامه چه انتظاراتی می‌توان داشت؟

برای حفظ ایمنی در هنگام وقوع زلزله‌ها، ساختمان باید طبق آیین‌نامه‌های محلی طراحی و ساخته شود. در غیر این‌صورت، ممکن است در یک زلزله متوسط تا بزرگ به‌شدت دچار آسیب یا فروریزش شود. با این‌حال، حتی اگر ساختمانی به‌طور کامل با آیین‌نامه‌های ساختمانی مطابقت داشته باشد همچنان این امکان وجود دارد که دچار آسیب جدی شود. استدلال‌های ارایه شده زیر، این باور که یک ساختمان در تطابق با آیین‌نامه‌ها ضد زلزله است را منتفی می‌سازد.

اولین دلیلی که یک ساختمان طراحی شده منطبق بر آیین‌نامه‌ها در یک زلزله بزرگ آسیب می‌بیند، این است که آیین‌نامه‌ها حداقل استانداردها را تعیین می‌کنند. اگر ساختمانی در تطابق با این استانداردها باشد، ایمن تلقی می‌شود، اما به‌طور قطعی ضد زلزله (بدون آسیب) نیست. آیین‌نامه نویسان بر این باورند که برای حفظ ایمنی لرزه‌ای، جامعه استطاعت هدف‌گذاری بیش از حد، بالا را ندارد. بنابراین ساختمان برای بدترین سناریو، بدین دلیل که احتمال وقوع اندکی در طول عمر ساختمان دارد طراحی نمی‌شود. بلکه، ساختمان برای زلزله‌ای کوچکتر، که معمولاً دارای احتمال وقوع ده درصد در یک دوره پنجاه ساله است طراحی می‌شود. بنابراین، در حال حاضر، عمدتاً هدف آیین‌نامه‌ها به‌جای حفاظت از خود ساختمان، حفاظت از جان انسان‌ها و کاهش صدمات است. یعنی حین وقوع یک زلزله بزرگ، ساختمان منطبق بر آیین‌نامه‌ها نباید دچار فروریزش شود، اما به‌طور جدی آسیب خواهد دید که از نظر اقتصادی ممکن است قابل تعمیر باشد و یا نباشد.

دوم اینکه، برای کاهش هزینه‌های اضافی ساخت یک ساختمان بسیار قوی که در هنگام وقوع زلزله آسیب نمی‌بیند، آیین‌نامه‌ها به مهندسان این امکان را می‌دهند تا ساختمان را صرفاً برای کسری از نیروهای لرزه‌ای محتمل طراحی کنند. یعنی اگرچه وقوع آسیب در ستون‌ها، تیرها و دیوارها اجتناب ناپذیر است، این اجزا به‌نحوی طراحی می‌شوند تا به‌صورت ناگهانی دچار شکست و فروریزش نشوند. مهندسان در مورد طراحی «فیوزهای سازه‌ای» مخصوصاً در تیرها صحبت می‌کنند (شکل ۱). دقیقاً همانند فیوزهایی که در مدارهای الکتریکی از قطعات الکترونیکی حساس محافظت می‌کنند، فیوزهای سازه‌ای در موقعیت‌های غیربحرانی مثل انتهای تیرها، از اعضای سازه‌ای مهم‌تر مانند ستون‌ها محافظت می‌کنند. اگر اجزا سازه‌ای ساختمان‌ها برای اجتناب از آسیب طراحی شوند، عمدتاً باید تا پنج برابر قوی‌تر باشند. یعنی انتخاب ستون‌ها و تیرهایی به‌طور قابل توجه‌ای بزرگتر از حد معمول.

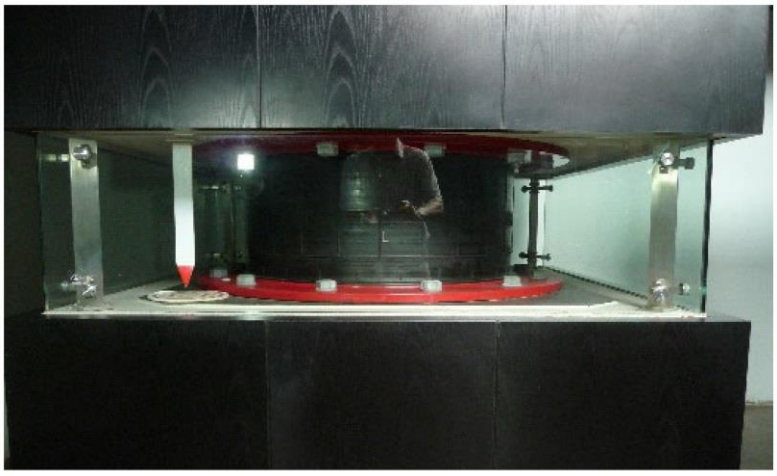
شکل ۱. یک ساختمان درحال ساخت با ستونی در سمت چپ و تیر فولادی متصل به آن. توجه نمایید که چگونه اندازه ورق پایین (بال) تیر در نزدیکی ستون کاهش یافته است. این ناحیه که عامدانه دچار ضعف شده، ناحیه‌ای است که در صورت وقوع زلزله‌های بزرگ فیوز سازه‌ای شکل می‌گیرد. فولاد در این ناحیه تحت کشش قرار می‌گیرد اما دچار شکست نمی‌شود.

سرانجام، در یک ساختمان در تطابق با آیین‌نامه‌ها، نما و دیوارهای جداکننده و همچنین ملحقات درون ساختمان از جمله تجهیزات مکانیکی دچار آسیب خواهند شد. در هنگام وقوع یک زلزله، کف طبقات و بام دچار حرکات رفت و برگشتی می‌شوند. این حرکات دیوارهای آجری گچ‌کاری شده را دچار آسیب می‌کنند، مگر اینکه دیوارها به‌طور سنجیده طراحی شده باشند، ضمناً حرکات مذکور محتویاتی مانند وسایل و اشیا کوچک را به این‌سو و آن‌سو پرتاب می‌کنند (شکل ۲).

شکل ۲. مثالی از یک ساختمان آسیب دیده در زلزله که در آن دیوارهای میان‌قاب به‌طور سنجیده برای تحمل نیروها و حرکات لرزه‌ای طراحی نشده‌اند.

آیین‌نامه‌ها می‌کوشند تا بین احتمال وقوع یک زلزله بزرگ و هزینه و دیگر پیامدهای مرتبط با طراحی برای آن زلزله تعادل ایجاد کنند. آیین‌نامه‌ها بر اساس نوع ساختمان، حداقل استانداردها را تعیین می‌کنند. برای مثال، بیمارستان‌ها باید در سطح استاندارد بالاتری نسبت به ساختمان‌های اداری طراحی شوند. با توجه به اینکه آیین‌نامه‌ها تعیین کننده حداقل استانداردها می‌باشند، صاحب‌کار می‌تواند درخواست نماید تا ساختمان برای سطح عملکرد بالاتری طراحی شود. این امر می‌تواند متضمن سازه‌ای قوی‌تر و معمولاً بزرگتر باشد، یا دربرگیرنده سیستم‌های ویژه مقاوم در برابر زلزله مثل جداسازهای پایه باشد (مقاله۲۳ را ملاحظه نمایید). این فناوری، که در چندین ساختمان در اندونزی بکار گرفته شده است (اشکال ۳ و ۴)، به‌طور فزاینده‌ای در ساختمان‌های کلیدی مثل بیمارستان‌ها استفاده می‌شود. فناوری مذکور اندکی گران‌تر است، اما تنها راه برای اطمینان از قابلیت استفاده بودن چنین ساختمان‌هایی پس از زلزله و ممانعت از وقوع آسیب جدی است.

شکل ۳. هتل Ibis، پادانگ، اندونزی که دارای سیستم جداساز پایه می باشد.



شکل ۴. یک جداساز لاستیکی دایره‌ای حاوی صفحات فولادی بسیار نازک که بین انتهای پایینی ستون‌ها و پی‌ها به‌منظور جداسازی ساختمان از لرزش افقی زلزله قرار داده می‌شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۱۹. اهمیت بازبینی حین طراحی ساختمان‌ها

افراد دچار خطا می‌شوند. اغلب خطاها عواقب جدی ندارند، اما برخی از آن‌ها عواقب جدی به‌همراه دارند. منابع خطا بسیار متعددند. خطاها ممکن است سهوی باشند، مثل خطاهای ناشی از عدم توجه و تمرکز، یا شاید به‌دلیل عدم شناخت. برخی از خطاها عامدانه اتفاق می‌افتند، نظیر استفاده از میان-برها، عدم پیروی از برنامه‌ها و یا برای منافع مالی استفاده از مصالح نامرغوب. بروز خطاها در صنعت ساختمان به‌خصوص هنگام وقوع زلزله‌های مخرب می‌تواند به‌قیمت جان انسان‌ها تمام شود. خطای صورت پذیرفته حین فرآیند طراحی یا ساخت ممکن است بلافاصله آشکار نشود. بلکه نقیصه مذکور ممکن است منجر به تفاوت در رفتار سازه، حفظ ایستایی یا فروریزش ساختمان، در هنگام وقوع زلزله شود (شکل ۱).

شکل ۱. فقدان چند میلگرد تقویتی در این دیوار بتن مسلح، می‌تواند منجر به وقوع آسیب شدید در هنگام وقوع زلزله شود.

برخی از صنایع، در کوشش برای کاهش خطاها و افزایش ایمنی، مجموعه‌ای از بازبینی‌ها را به اجرا در می‌آورند. در این‌خصوص به‌عنوان مثالی خوب می‌توان به خطوط هوایی اشاره نمود. با مطالعه شرح وظایف کمک خلبان پی خواهید برد که بازبینی بخش مهمی از این شغل است. جوانب متعددی از پرواز نیاز به بازبینی دارند. اگر یکی از جوانب، مثلاً الزامات مربوط به سوخت، نادیده گرفته شوند، نتیجه می‌تواند مصیبت‌بار باشد. چک‌لیست‌ها، ابزاری حیاتی برای اطمینان از ایمنی هستند.

هیچ یک از ما دوست نداریم کارمان توسط دیگران کنترل شود، اما این فرآیند به‌خصوص در مواردی که بروز خطا می‌تواند پرمخاطره باشد ضروری است. طراحی و ساخت ساختمان‌ها یکی از این موارد است. در حالی‌که برای یک مهندس عمران، طراحی ساختمانی مقاوم در برابر وزن خود و نیروهای قائم نسبتاً ساده است؛ طراحی برای تحمل حرکات در هنگام وقوع یک زلزله بزرگ مشکل‌تر خواهد بود. سطح بالاتری از دانش، درک و تجربه مورد نیاز است و بروز خطا محتمل‌تر است. شکلی از بازبینی، مستقل از طراح اصلی، مورد نیاز است. برای اطمینان از تطابق با آیین‌نامه‌ها و استانداردهای محلی، محاسبات، نقشه‌ها و ویژگی‌های فنی نیاز به بازبینی دارند (شکل ۲).

شکل ۲. این دیوارهای بتن مسلح در حین طراحی و ساخت، برای اطمینان از صحت طراحی سازه و تطابق ساخت با نقشه‌ها توسط مهندسان بازبینی شده‌اند.

درخصوص بازبینی‌های انجام شده، مهندس عمران باید مورد پرسش قرار گیرد. آیا کار به‌طور مستقل توسط فردی واجد شرایط در همان شرکت، یا حتی بهتر، توسط یک مهندس در شرکتی دیگر بازبینی شده است؟ اگر پاسخ منفی است، ضروری است که انجام شود، حتی اگر لازم باشد برای انجام آن هزینه‌ای پرداخت شود. پس از بازبینی، اسناد ساختمانی برای درخواست پروانه ساخت آماده خواهند بود. حتی اگر شهرداری یا اداره مرتبط با امور ساختمان پیش از صدور پروانه ساخت، اقدام به بازبینی فنی مرتبط با ایمنی ننماید، می‌توانید تا حد زیادی نسبت به ایمنی ساختمان در برابر زلزله، مشروط بر پیروی از مدارک و نقشه‌ها در محل ساخت اطمینان خاطر داشته باشید.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲۰. اهمیت نظارت ساختمان در طول دوره ساخت

مقاله ۱۹ بر ضرورت بازبینی مستقل محاسبات مربوط به طراحی، نقشه‌ها و مشخصات فنی قبل از درخواست پروانه ساخت و دقیق‌تر پیش از شروع ساخت تاکید داشت. بازبینی به کارفرما اطمینان می‌دهد که آیین‌نامه‌ها و استانداردهای محلی رعایت شده‌اند و بنابراین به‌احتمال زیاد ساختمان در برابر زلزله ایمن است.

چالش بعدی برنامه‌ریزی نظارت در طول فرآیند ساخت است. همانند تمامی انسان‌ها، سازندگان مرتکب خطاهای سهوی می‌شوند. برخی دیگر تصمیم می‌گیرند که از نقشه‌ها و مشخصات فنی پیروی نکنند. آن‌ها ممکن است اقدام به حذف برخی از میلگردهای تقویتی نمایند، خم‌کردن میلگردها را به درستی انجام ندهند، سیمان بسیار کمی در بتن استفاده کرده و یا از آجر یا بلوک‌های با کیفیت پایین استفاده نمایند (شکل ۱). بدون انجام بازرسی‌ها، حتی یک ساختمان نوساز ممکن است در زلزله نا ایمن باشد. مثال‌های متعددی از ساخت و سازهای ضعیف و نا ایمن وجود دارد (شکل ۲). با این‌حال، اگر سازنده از نقشه‌ها و مشخصات فنی پیروی نماید، انتظار می‌رود که ساختمان در هنگام وقوع زلزله‌ای که برای آن طراحی شده است ایمن باشد.

شکل ۱. آزمایش میلگرد تقویتی برای بررسی تطابق آن با استاندارد.

شکل ۲. آرماتورگذاری این ستون به‌دلایل مختلف با آیین‌نامه‌ها و استانداردهای محلی تطابق ندارد. درصورت وقوع زلزله‌های متوسط تا بزرگ به‌شدت دچار آسیب خواهد شد.

اداره مرتبط با امور ساختمان ممکن است الزاماتی برای تضمین کیفیت در طول دوره ساخت داشته باشد. درصورت وجود چنین الزاماتی، رعایت آن‌ها ضروری است. در غیر این‌صورت، باید از مهندس عمران طراح ساختمان درخواست شود که روند ساخت را مورد رصد قرار داده یا بر روند ساخت نظارت نماید. این امر معمولاً به‌معنای بازدید منظم محل ساخت و به‌خصوص پیش از انجام فعالیت‌های مهم می‌باشد (شکل ۳). برای مثال، آرماتورهای فولادی در ستون‌ها باید پیش از پنهان شدن میلگردها در قالب و بتن‌ریزی بازرسی شوند. از مهندس تقاضا نمایید که چه مواردی را برای تنظیم و امضای اظهارنامه‌ای در زمان اتمام پروژه مبنی بر این‌که ساخت مطابق با نقشه‌ها و مشخصات فنی است توصیه می‌کند.

شکل ۳. برای اطمینان از انطباق ساخت با نقشه‌ها و مشخصات فنی مهندس باید به‌طور منظم از محل ساخت بازدید نماید.

برخی از افراد ممکن است کوشش نمایند تا در هزینه‌ها صرفه‌جویی کنند ولی هیچ تضمینی در کیفیت ساخت نداشته باشند. در این موارد، خطاها و تغییرات غیرمجاز تشخیص داده نمی‌شوند. جزئیاتی که برای ایمنی لرزه‌ای حیاتی هستند ممکن است به‌غلط ساخته شوند یا حتی هرگز ساخته نشوند. چرا خود و دیگران را به‌دلیل ساخت و ساز ضعیف در هنگام زلزله در معرض خطر قرار می‌دهید؟ شایسته نیست!

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲۱. جلوگیری از وقوع آسیب در اجزا غیرسازه‌ای

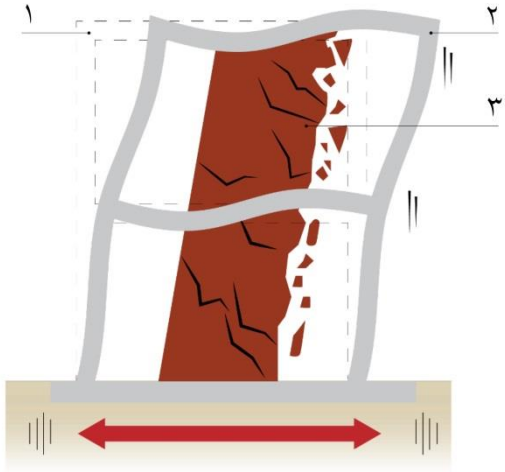
موضوع اصلی اغلب مقالات این مجموعه بر حصول اطمینان از اینکه سازه ساختمانی از ساکنان در هنگام زلزله محافظت می‌کند تاکید دارد. لذا هدف، ممانعت از آسیب شدید سیستم سازه‌ای است. با تحقق این هدف، جان انسان‌ها حفظ خواهد شد. همچنین ممکن است از نظر فنی و اقتصادی تعمیر سازه پس از زلزله امکان‌پذیر باشد. اما در ارتباط با آسیب به مابقی اجزای ساختمان چه می‌توان گفت؟

از منظر هزینه، سازه اصلی درصد نسبتاً کمی از هزینه کل یک ساختمان را شامل می‌شود. به‌طور معمول تقریبا ۷۰ درصد هزینه یک ساختمان مربوط به اجزایی غیر از سازه است. این اجزا معمولاً به عنوان «اجزای غیرسازه‌ای» شناخته می‌شوند، مثل دودکش‌ها یا پوشش سقف‌ها (به‌عنوان مثال موزائیک)، نماها، شیشه‌ها، تیغه‌ها، سقف‌ها، سیستم‌های مکانیکی و برقی و نظایر آن. ضمناً نباید اقلام موجود در ساختمان که ممکن است بسیار گران-بها باشند را فراموش نمود. این عناصر غیرسازه‌ای همگی نه‌تنها نشانی از صرف منابع کلان مالی دارند بلکه در هنگام وقوع زلزله، بسیاری از آن‌ها پرخطر هستند.

اجزای غیرسازه‌ای به دو دلیل دچار آسیب می‌شوند. دلیل اول حرکات افقی جانبی سازه است. دلیل دوم آسیب اجزا یا عناصر مذکور در اثر شتاب ناشی از حرکات لرزه‌ای است. تصاویر را با جستجوی "آسیب اجزای غیرسازه‌ای در زلزله[1]" به‌صورت برخط مشاهده نمایید.

حرکات جانبی حین زلزله‌ها بیشتر به عناصری مانند نماهای بنایی و تیغه‌ها آسیب می‌رسانند. زمانی‌که در یک ساختمان، کف طبقه بالاتر به‌صورت افقی بیش از کف طبقه پایین‌تر دچار جابجایی شود انتظار می‌رود که این عناصر دچار آسیب شوند (شکل ۱). زیرا دیوارهای سخت و ترد با قاب‌های سازه‌ای نسبتاً انعطاف‌پذیر ناسازگارند.

آسیب به عناصری مانند دیوارها را می‌توان از طریق ساخت انعطاف‌پذیر آن‌ها (قاب خشک)، یا جدا کردن آن‌ها از ستون‌ها و کف بالایی کاهش داد. برای انجام این امر به جزئیات معماری دقیقی نیاز است.

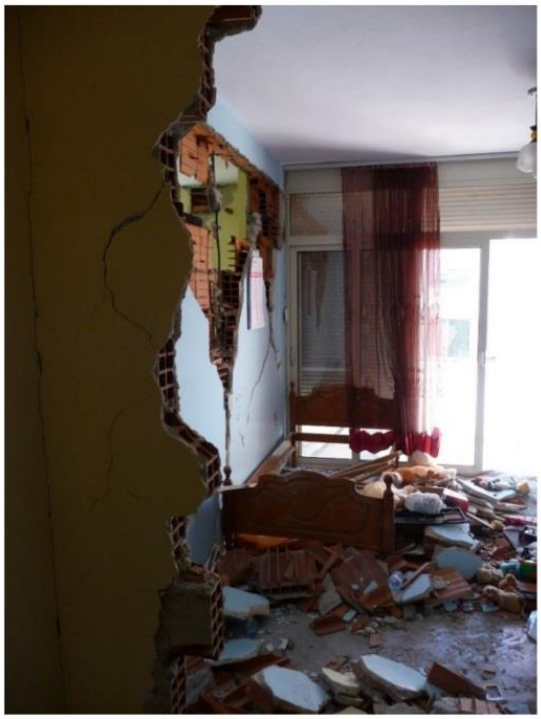


شکل ۱. قاب سازه‌ای قبل (۱) و در هنگام وقوع زلزله (۲). دیوارهای جداکننده متصل شده به کف طبقات بالا و پایین در اثر حرکات افقی ناشی از نوسان قاب آسیب دیده‌اند (۳).

[1] Nonstructural earthquake damage

اجزای غیرسازه‌ای دیگر، اغلب در اثر شتاب زلزله آسیب می‌بینند. حرکات لرزه‌ای شدید می‌توانند منجر به شکست این عناصر شوند، آن‌ها را دچار جنبش نموده تا از اتصالشان جدا شده و سقوط کنند (اشکال ۲ تا۴). محتویات مهار نشده درون ساختمان به اطراف پرتاب شده و باعث ضرب و جرح و ضرر و زیان می‌شوند. براساس تجربه بدست آمده از زلزله‌های پیشین عناصر غیرسازه‌ای باید مهارشوند. تمامی اقلام، شامل مخازن آب و تجهیزات مکانیکی و برقی باید مهار شوند (شکل ۵). در غیر این‌صورت، حین جنبش لرزه‌ای دچار لغزش و یا واژگونی شده و اغلب باعث آسیب بیشتری نسبت به آن‌چه خود متحمل می‌شوند، می‌گردند.

مثال‌هایی از روش‌های معمول مهار تجهیزات در نشریه FEMA E – 74 ارایه شده است. بسیاری از روش‌های مهار تجهیزات نسبتاً ارزان بوده و با جلوگیری از بروز آسیب حین وقوع زلزله سرمایه‌گذاری معقولی به‌نظر می‌رسند.



شکل ۲. دیوارهای آسیب دیده در اثر حرکات لرزه‌ای ایمنی جانی را به مخاطره می‌اندازند.

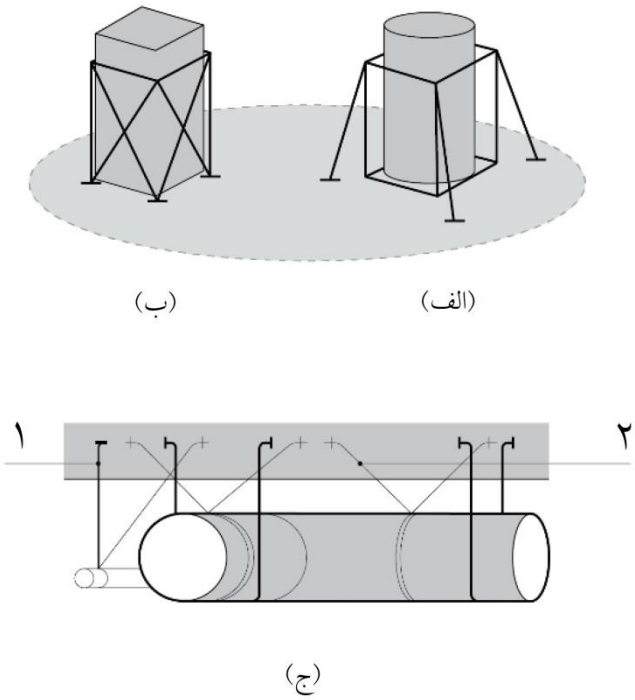
شکل ۳. یک دودکش آجری در تراز بام دچار شکست شده و سقوط کرده است. اغلب بخش باقیمانده دودکش آسیب دیده است (ان. الاف[۲]).

[2] N. Allaf

شکل ۴. دیوارها و اجزا غیرسازه‌ای آسیب دیده در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب- ازگله کرمانشاه، ایران ($M_w = 7.3$) (ب. حسینی هاشمی[۳]).

شکل ۴. زلزله اغلب بخش‌های نمای آجری و شیشه‌ای این بنا را تخریب کرده است.

[3] B. Hosseini Hashemi



شکل ۵. مخازن (الف) و تجهیزات مکانیکی (ب) باید در برابر زلزله مهار شوند. همچنین در (ج) آویزهای لوله‌کشی (۱) و کانال‌کشی (۲) مهار شده‌اند.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 173-186.

FEMA, 2012. Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage—A Practical Guide (FEMA E-74) https://www.fema.gov/media-library-data/1398197749343-db3ae43ef771e639c16636a48209926e/FEMA_E74_Reducing_the_Risks_of_Nonstructural_Earthquake_Damage.pdf.

Murty, C. V. R., 2005. How can Non-structural Elements be protected against Earthquakes? Earthquake Tip 27. IITKBMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip27.pdf (accessed 5 May 2020).

Nonstructural. Mitigation Center. Earthquake Engineering Research Institute. https://mitigation.eeri.org/category/structures/non-structural-abc-testing.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

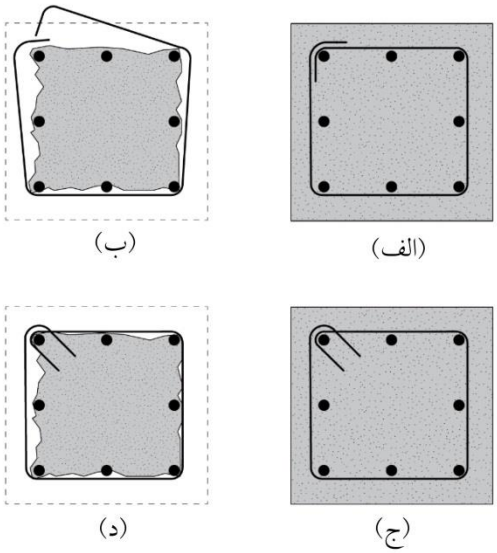
مقاله ۲۲. مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله

مقاوم‌سازی فرآیند بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های نا ایمن موجود است. فرآیند مذکور بسیار شبیه به این است که افراد با شرایط پزشکی حاد برای ادامه زندگی تحت عمل جراحی قرار می‌گیرند. در واقع، از برخی از پروژه‌های مقاوم‌سازی به‌عنوان جراحی لرزه‌ای یاد می‌کنند.

دلایل متعددی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در مناطق لرزه‌خیز وجود دارد. در اغلب موارد، مقررات ساختمانی، برای ساختمان‌هایی که در زلزله‌ها پرخطر ارزیابی می‌شوند، اقداماتی مثل مقاوم‌سازی را ضروری می‌داند. هدف، بهبود تاب‌آوری شهرها و جوامع با کاهش آسیب‌ها و صدمات پس از وقوع زلزله‌های بزرگ است. مقاوم‌سازی اقدامی است که می‌توان انجام داد تا از بروز فاجعه‌ای همراه با صدمات جانی، مرگ و میر، از دست دادن سرپناه و شغل در آینده اجتناب نمود. معمولاً در ابتدا ساختمان‌های با بیشترین ارزش برای جامعه، مانند بیمارستان‌ها و مدارس، برای مقاوم‌سازی مورد نظر خواهند بود.

اولین گام در فرایند مقاوم‌سازی یک ساختمان، ارزیابی است. وجود ضعف جدی در ساختمان به‌سرعت توسط یک مهندس مجرب قابل تشخیص است. برای مثال، یک طبقه نرم (مقاله ۱۱ را ملاحظه نمایید) یا دیوارهای ناپیوسته (مقاله ۱۲) ممکن است در یک زلزله مخرب عامل فروریزش باشند. قدمت ساختمان معیاری از استاندارد احتمالی طراحی و ساخت آن ساختمان ارایه می‌دهد. به‌عنوان مثال، اولین ساختمان‌های بتنی طراحی شده در ایران برای تحمل لرزش‌های شدید، از دهه ۱۳۶۰ هجری شمسی (مطابق با ۱۹۸۱ میلادی) پس از وضع آیین‌نامه ۲۸۰۰ رایج شده‌اند. مصالح ساختمانی بکار رفته نیز بسیار موضوعیت دارد. با توجه به عملکرد ضعیف در زلزله‌های پیشین، ساختمان‌های بنایی غیرمسلح، معمولاً اولین گزینه‌ای هستند که مقاوم-سازی برای آن‌ها ضروری است.

اگر یک ارزیابی اولیه نشان دهد که مقاوم‌سازی ضروری است، آن‌گاه بررسی و تحلیل مهندسی با جزئیات بیشتر مورد نیاز است. با استفاده از نواحی کوچک تخریب می‌توان به ایمن یا غیر ایمن بودن برخی از جزئیات مهم آرماتورگذاری پی برد (شکل ۱).



شکل ۱. (الف) مقطع عرضی ستون که خاموت‌های آن صرفاً دارای خم ۹۰ درجه است. با آسیب ستون در هنگام زلزله، خم فوراً باز می‌شود و خاموت بی‌فایده است (ب). در (ج) خاموت به‌طور مناسب و در تطابق با آیین‌نامه با خم ۱۳۵ درجه اجرا شده است. پس از آسیب ستون، خاموت همچنان مؤثر است (د).

یک سوال مهم که نیاز به بحث با دوائر مرتبط با امور ساختمان دارد این است که سطح یا استاندارد لازم برای مقاوم‌سازی به چه میزان است؟ آیا ساختمان باید تا استانداردهای در تطابق با یک ساختمان جدید ارتقا یابد، یا سطح پایین‌تری از ارتقا اما با خطرپذیری بیشتر برای آسیب قابل قبول است؟ با توجه به هزینه نسبتاً بالای مقاوم‌سازی، اغلب جرح و تعدیل‌هایی باید صورت پذیرد. تمامی این اقدامات به نقشه‌ها و مشخصات فنی دقیق مقاوم‌سازی ختم می‌شوند.

راه‌حل‌های مقاوم‌سازی بسیار متفاوت هستند. هر ساختمان، درست همانند درمان بیماران توسط پزشکان باید به‌طور انحصاری درمان شود. برخی از ساختمان‌ها به مداخلات بیشتری نسبت به دیگر ساختمان‌ها، شاید، به عناصر سازه‌ای جدید مثل دیوارهای سازه‌ای یا مهاربند متقاطع، در هر دو راستای طولی و عرضی ساختمان نیاز داشته باشند (اشکال ۲ تا ۶). برخی دیگر، ممکن است فقط در یک راستا به عناصر سازه‌ای جدید نیاز داشته باشند. در برخی از ساختمان‌ها، کاهش وزن با حذف و جایگزینی دیوارهای بنایی سنگین ممکن است کافی باشد. گاهی اوقات سازه موجود قابل بهبود نیست و لازم است با ساختمانی جدید جایگزین شود. با جستجوی برخط «مقاوم‌سازی ساختمان‌ها برای زلزله[1]» مثال‌های متعددی را مشاهده خواهید نمود.

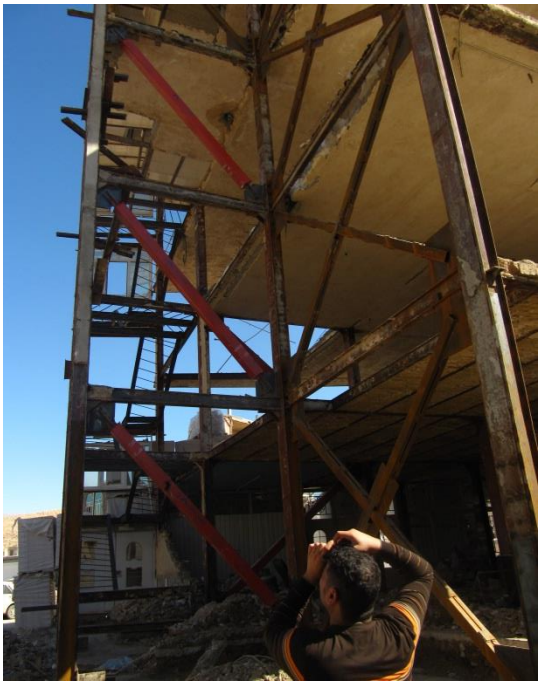
شکل۲. مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان این بیمارستان شامل دو دیوار سازه‌ای جدید و پی در هر انتها می‌باشد.

[1] Retrofitting buildings for earthquakes

شکل ۳. سازه با ضخامت بیشتر در انتهای این ساختمان یک قاب بتنی جدید است که برای بهبود عملکرد لرزه‌ای بر روی سازه موجود بتن ریزی شده است.

شکل ۴. دهانه‌های با مهاربند فولادی به‌عنوان بخشی از مقاوم‌سازی در این ساختمان تعبیه شده‌اند.

شکل ۵. کف چوبی یک ساختمان بنایی برای مقاومت در برابر زلزله با استفاده از مهاربند فولادی تحتانی تقویت شده است.



شکل ۶. استفاده از مهاربندهای کمانش‌تاب در مقاوم‌سازی ساختمان‌های آسیب دیده در زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ سرپل ذهاب– ازگله کرمانشاه، ایران ($M_w = 7.3$) (ب. حسینی هاشمی[۲]).

سرانجام، مقاوم‌سازی معمولاً فرآیندی گران قیمت است. در بسیاری از شرایط مقرون به صرفه نیست. با این‌حال یک راه حل نسبتاً ارزان برای خانه‌های خشتی وجود دارد (وارگاس-نیومن[۳]، ۲۰۱۱). اگرچه ممکن است در حال حاضر هیچ گزینه‌ای جز زندگی و کار در ساختمان‌های آسیب‌پذیر وجود نداشته باشد، راه پیشِ‌رو اطمینان از ایمنی ساختمان‌های جدید است. سپس، با گذشت زمان، سهم ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله به‌صورت تدریجی بیشتر می‌شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 187-205.

Retrofit. Mitigation Center. Earthquake Engineering Research Institute. https://mitigation.eeri.org/category/structures/retrofit-abc-testing.

[2] B. Hosseini Hashemi
[3] Vargas-Neumann

Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wpcontent/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

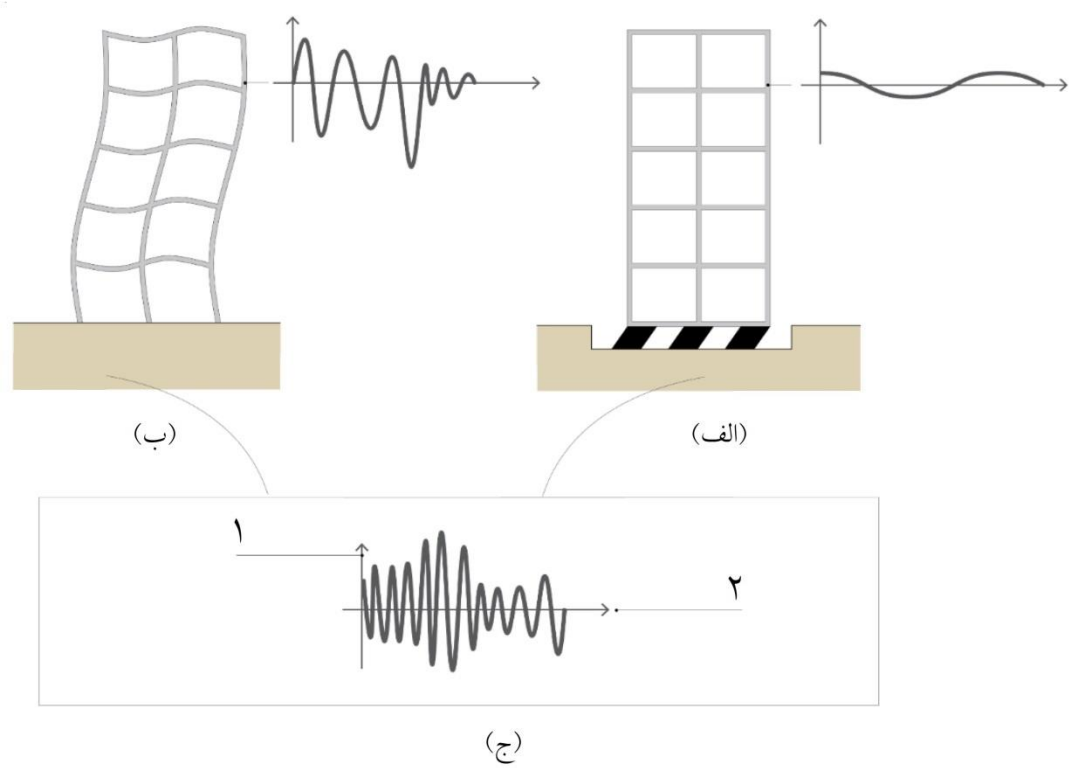
Vargas-Neumann, J., et al., 2011. Building hygienic and earthquake-resistant adobe houses using geomesh reinforcement. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe-GeomeshArid_Tutorial_English_Blondet.pdf.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲۳. رویکردهای پیشرفته تاب‌آوری لرزه‌ای ساختمان‌ها

مهندسان عمران در سراسر جهان بر این باورند که یک اصل مهم در طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، احداث پی‌های قوی برای تحمل روسازه است. با این‌حال، عجیب این است، هرچند پی‌های قوی از نشست و واژگونی ساختمان‌ها در طول زلزله جلوگیری می‌کنند، اما به‌طور همزمان حرکات لرزه‌ای زمین را به روسازه منتقل کرده و این امر منجر به لرزش‌های شدیدتر در طبقات بالای زمین می‌شود.

راهکار، جداسازی لرزه‌ای است، رویکردی که در ابتدا در دهه ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، روسازه یک ساختمان عمدتاً از اثرات لرزش زمین جدا می‌شود. این امر معمولاً با قراردادن تکیه‌گاه‌هایی انعطاف‌پذیر در برابر حرکت افقی، در پای ساختمان، بین پی‌ها و روسازه میسر می‌شود (اشکال ۱ و ۲). از این‌رو روش مذکور معمولاً به‌عنوان جداساز پایه شناخته می‌شود. وقتی زمین می‌لرزد، تنها بخش کوچکی از نیروهای بالقوه لرزه‌ای از طریق تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر به روسازه منتقل می‌شوند. این روش خیلی شبیه به قرار دادن روسازه بر تکیه‌گاه‌های غلتکی است!



شکل ۱. (الف) یک ساختمان جداسازی شده در پایه به‌طوریکپارچه بالای تکیه‌گاه خود حرکت می‌کند، در حالی‌که (ب) نشان می‌دهد که یک ساختمان معمولی چگونه در امتداد ارتفاع خم می‌شود. هر دو ساختمان رکورد زلزله (ج) را تجربه می‌کنند که در آن (۱) شتاب و (۲) زمان است. به چگونگی لرزش در (الف) که کمتر و ملایم‌تر از (ب) است توجه نمایید.

شکل ۲. دو تکیه‌گاه جداساز سیاه رنگ و استوانه‌ای شکل در زیر یک ساختمان. هر تکیه‌گاه، از پایین به یک پایه بتنی که به پی متصل شده و از بالا به پای یکی از ستون‌های ساختمان پیچ شده است.

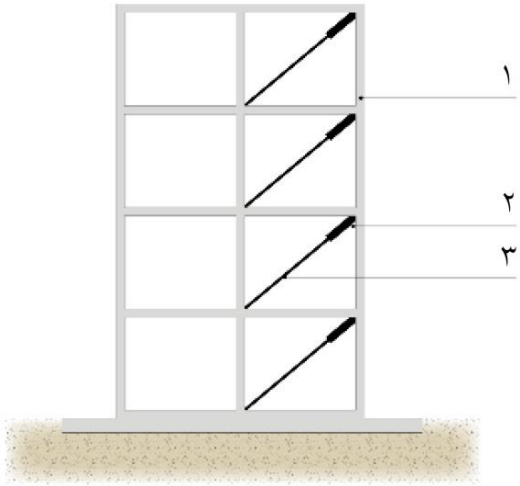
اولین تکیه‌گاه‌های بکار رفته به‌عنوان جداسازهای لرزه‌ای، بلوک‌های بزرگی با ساختار لایه‌ای متشکل از صفحات لاستیکی و فولادی بودند. پس از آن، یک هسته سربی برای جذب بخشی از انرژی زلزله به تکیه‌گاه‌های اولیه اضافه شد. از آن هنگام، انواع دیگری از جداسازها، مثل سیستم پاندول اصطکاکی تولید شده است. سیستم اخیر با ایجاد لغزش بین دو سطح منحنی صیقلی کار می‌کند. سیستم‌های ذکر شده را می‌توان با جستجوی برخط «ابزارهای جداساز لرزه‌ای[1]» مشاهده نمود.

جداسازی لرزه‌ای استاندارد طلایی برای مقاومت در برابر زلزله است. این روش بهترین حفاظت را برای سازه، عناصر غیرسازه‌ای مثل تیغه‌ها، نما و محتویات ساختمان فراهم می‌آورد. اکثر بیمارستان‌های جدید در مناطق زلزله‌خیز مانند ژاپن، کالیفرنیا و نیوزلند از جداساز لرزه‌ای استفاده می‌کنند.

با این‌حال، رویکردهای دیگری نیز برای ارتقا ایمنی ساختمان‌ها در زلزله‌ها مطرح شده‌اند. به‌عنوان مثال، ابزراهایی که میراگر نامیده می‌شوند در امتداد ارتفاع ساختمان نصب می‌شوند تا شدت حرکات ناشی از زلزله را کاهش دهند. میراگرها همانند جاذب‌های ارتعاش خودرو عمل می‌کنند و گاهی از نظر ظاهری شبیه به آن‌ها هستند (شکل ۳). آن‌ها در میرا نمودن ارتعاشات بسیار موثرند و اغلب در بالا یا پایین مهاربندها نصب می‌شوند (شکل ۴). رویکرد دیگر، که در آن کل مهاربند، به‌عنوان مهاربند و میراگر، هر دو، عمل می‌کند، به‌عنوان «مهاربند کمانش تاب» شناخته می‌شود (شکل ۵).

[1] Seismic isolation devices

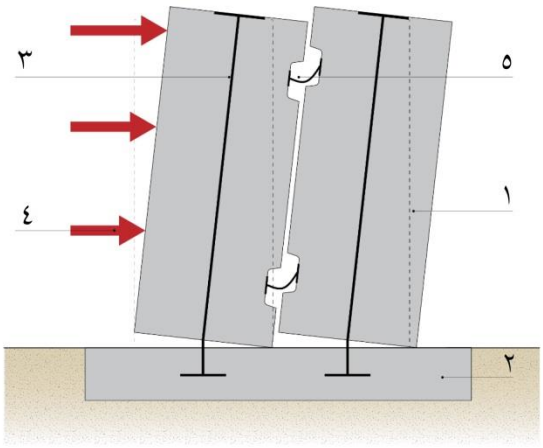
شکل ۳. یک میراگر برای کاهش حرکات لرزه‌ای.



شکل ۴. یک قاب ساختمانی متشکل از ستون‌ها و تیرها (۱) و میراگرها (۲) در بالای مهاربندهای قطری (۳).

شکل ۵. دو مهاربند کمانش‌تاب برای مقاومت و میرا نمودن حرکات در یک زلزله.

رویکرد جدید دیگری به‌نام طراحی با اجتناب از آسیب درحال رایج شدن است. اجزا سازه‌ای معمول مثل دیوارها و قاب‌ها که قادر به مقاومت در برابر زلزله هستند، به‌طور ویژه طراحی می‌شوند به‌نحوی‌که حین وقوع یک زلزله اعضای اصلی آن‌ها دچار آسیب نشوند. بلکه، آسیب سازه‌ای محدود به جاذب‌های انرژی تعویض‌پذیر باشد (اشکال ۶ و ۷).



شکل ۶. دو دیوار بتنی در کنار هم (۱) که به پی‌ها (۲) توسط تاندون‌های فولادی (۳) که تحت بارهای لرزه‌ای کشیده می‌شوند (۴) متصل شده‌اند. صفحات فولادی (۵) دچار تغییرشکل شده، انرژی را جذب نموده و تشدید را کاهش می‌دهند.

شکل ۷. جاذب انرژی زلزله که بین دو دیوار گهواره‌ای قرار داده شده است.

تمامی روش‌های ذکر شده در بالا بسیار پیچیده‌تر از طراحی‌ها و رویکردهای ساخت معمول هستند. بنابراین، پیاده‌سازی آن‌ها صرفاً باید توسط مهندسان عمران با تجربه و متبحر در این زمینه انجام شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات

توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

Advanced Technologies Introduction. World Housing Encyclopedia, EERI. https://www.world-housing.net/majorconstruction-types/advanced-technologies-introduction.

BRANZ. Concrete structures: techniques and devices used to create a low-damage buildings using concrete. http://www.seismicresilience.org.nz/topics/superstructure/commercial-buildings/concrete-structures/ (accessed 15 June 2020).

Charleson, A. W., and Guisasola, A., 2017. Seismic isolation for architects. London, Routledge.

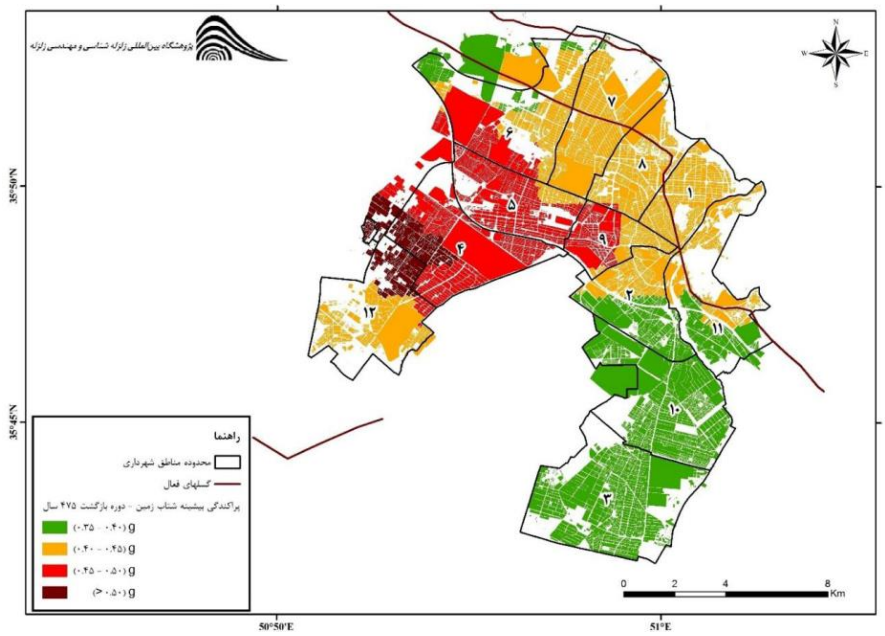
Equipped with base isolation and/or energy dissipation devices. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/equipped-with-base-isolation-and-or-energy-dissipation-devices-dbd.

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲۴. برنامه‌ریزی شهری و ایمنی لرزه‌ای

در مقایسه با مقالات قبل، این مقاله چشم‌انداز وسیع‌تری دارد. در این مقاله درخصوص نحوه تاثیر برنامه‌ریزی شهری بر کاهش اثرات مخرب زلزله در یک منطقه، شهر یا جامعه بحث شده است. دقیقاً همانند اقدامات اولیه مرتبط با بهداشت عمومی، مثل تامین آب آشامیدنی و سیستم‌های دفع فاضلاب که از شیوع گسترده‌ی بیماری‌ها جلوگیری می‌کنند، برنامه‌ریزی شهری می‌تواند اثرات زلزله را نیز کاهش دهد و بازگشت به شرایط پیش از زلزله را تسهیل بخشد.

متخصصین برنامه‌ریزی‌شهری برای راهبری توسعه به نقشه خطر لرزه‌ای نیاز دارند. چنین نقشه‌هایی وجود پهنه‌های با گسل‌های فعال (که در این نواحی به‌هر نحوباید از توسعه اجتناب شود) و نواحی با احتمال تجربه حرکات لرزه‌ای بزرگ‌تر به‌دلیل وجود خاک‌های نرم عمیق را مشخص می‌کنند (شکل ۱). این نقشه‌ها مناطق مستعد روان‌گرایی، زمین‌لغزش و سقوط سنگ در هنگام وقوع زلزله و آب‌گرفتگی ناشی از سونامی را نیز نشان می‌دهند. با این اطلاعات، متخصصین برنامه‌ریزی می‌توانند موقعیت تسهیلات ضروری مانند ایستگاه‌های آتش‌نشانی و بیمارستان‌ها را در نواحی ایمن تعیین نموده و از احداث ساختمان‌های مسکونی در نواحی غیر ایمن اجتناب کنند. نواحی با بیشترین خطر می‌توانند برای احداث پارک‌ها برگزیده شوند. جستجوی برخط برای «نقشه خطر لرزه‌ای شهر[1]» مثال‌های زیادی از چنین نقشه‌هایی در سراسر دنیا را نتیجه می‌دهد.

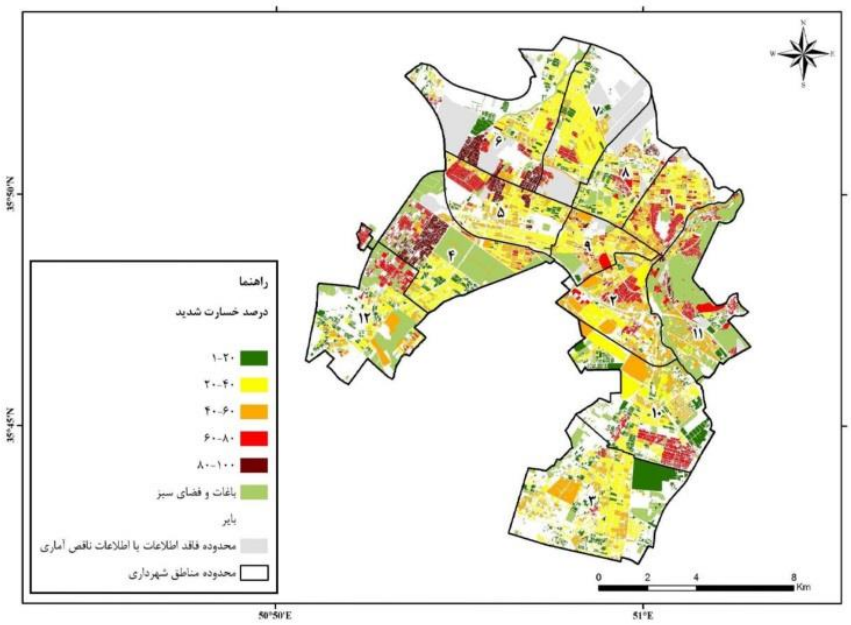


شکل ۱. نقشه خطر زلزله شهر کرج با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله، نواحی با شدت لرزه‌ای مختلف با رنگ‌های متفاوت در شکل نشان داده شده‌اند (ک. امینی حسینی[2]، پژوهشگاه بین‌المللی لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۸).

ابزار مفید دیگر برای برنامه‌ریزان نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای است. این نقشه بیانگرآسیب‌پذیری نسبی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در یک ناحیه مشخص براساس بازرسی ساختمان‌ها و تحلیل‌های مهندسی است. هنگامی‌که این نقشه به‌همراه نقشه خطر لرزه‌ای استفاده می‌شود، توزیع جغرافیایی

[1] City seismic hazard map
[2] K. Amini Hosseini

آسیب احتمالی ناشی از زلزله می‌تواند روند برنامه‌ریزی را مشخص کند. برای مثال، مقامات شهری، ممکن است از این اطلاعات برای خرید املاک واقع در نواحی با بیشترین آسیب‌پذیری برای افزایش عرض خیابان‌ها استفاده کنند. این امر ازدحام و ترافیک روزمره را کاهش، دسترسی به خدمات اضطراری را افزایش و موجب وقفه در گسترده شدن آتش سوزی در ارتباط با آتش‌سوزی‌های پس از زلزله خواهد شد. ضمناً مقامات ممکن است از مالکان درخواست نموده و به آن‌ها برای ارتقا ساختمان‌های آسیب‌پذیر یاری نمایند تا از محدوده‌ای خاص با اهمیت تاریخی، قبل از نابودی در یک زلزله بزرگ محافظت کنند. در شکل ۲ نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای کلان شهر کرج را ملاحظه می‌نمایید.



شکل ۲. نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای کلان شهر کرج (ک. امینی حسینی[3]، پژوهشگاه بین‌المللی لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۸).

متخصصین برنامه‌ریزی شهری باید به‌عنوان اعضایی از تیم‌های بین‌رشته‌ای شامل مهندسان سازه کار کنند. زیرا در گذشته برخی از شهرها قوانینی را وضع نموده‌اند که سهواً منجر به احداث ساختمان‌هایی شده که در برابر زلزله ایمنی کمی دارند. برای مثال، الزامات مربوط به افزایش پارکینگ‌های طبقه همکف می‌تواند منجر به ساختمان‌هایی با طبقه نرم (مقاله ۱۱) و صدور مجوز برای احداث ساختمان‌های با بیرون‌زدگی بالای پیاده‌رو به سمت خیابان می‌تواند منجر به دیوارهای ناپیوسته شود (مقاله ۱۲).

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

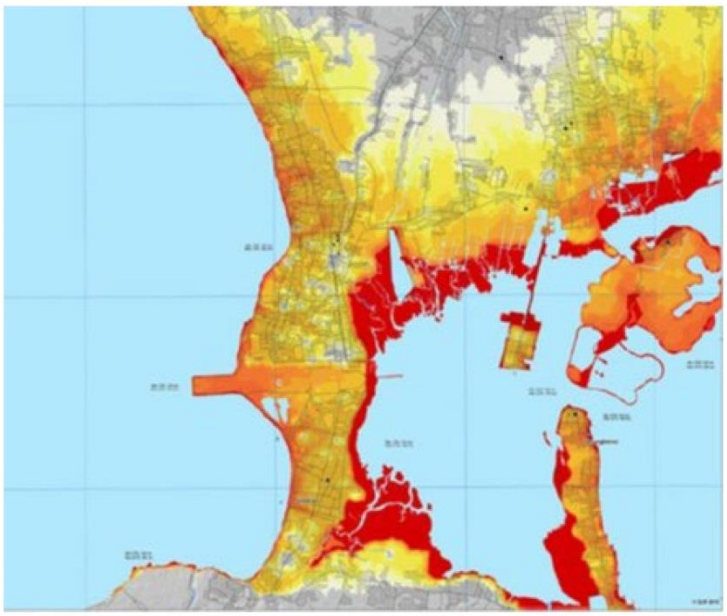
Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 233-242.

[3] K. Amini Hosseini

ساختمان‌های ایمن در برابر زلزله

مقاله ۲۵. سونامی‌ها و ساختمان‌ها

زلزله‌های ویرانگر همراه با سونامی در سرتاسر دنیا باعث افزایش هوشیاری نسبت به این خطر لرزه‌ای اقیانوسی شده است. بخش‌های بزرگی از خط ساحلی در اطراف حاشیه خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر در معرض خطر سونامی هستند. خسارات و تلفات جانی ناشی از سونامی به‌خوبی در تاریخ ده‌ها روستا و شهر در سرتاسر جهان ثبت شده است. سونامی نیروهای افقی بزرگی بر سطوح مانع جریان آب اعمال می‌کند. ساختمان‌های چوبی هیچ‌گونه مقاومتی در برابر سونامی ندارند و ساختمان‌های سنگی، آجری و بتنی ممکن است در عمق جریان تا دو متر، بسته به سرعت آب، ویران شوند. نقطه شروع معماران و برنامه‌ریزان در تعیین خطرپذیری سونامی به‌دست آوردن نقشه سیلاب مناطق مورد نظر است (شکل ۱). این اطلاعات ممکن است در نقشه خطر لرزه‌ای گنجانده شوند (مقاله ۲۴). با توجه به عدم قطعیت‌ها و فرضیاتی که بر دقت این اطلاعات تاثیر می‌گذارد، اقدامات مربوط به کاهش آسیب می‌تواند درنظر گرفته شود. به‌نظر می‌رسد تعداد گزینه‌ها به ساخت دیوارها یا موانع در برابر سونامی، کاشت درختان کوتاه با تراکم بالا و جابجایی محیط ساخته شده محدود باشد. ژاپنی‌ها دهکده‌های ماهیگیری را با استفاده از دیوارهای بتن مسلح سنگین محافظت می‌کنند. دیوارها گزینه‌ای بسیار گران قیمت با اثرات نامطلوب زیست محیطی فراوان، بسیار مؤثرتر از کاشت گسترده درختان می‌باشند. هرچند درختان کاشته شده مقداری از انرژی سونامی را جذب می‌کنند، اما به حجم آوارهای موجود در آب می‌افزایند. جابجایی مناطق مسکونی متاثر از سونامی در تعدادی از کشورها انجام شده است.

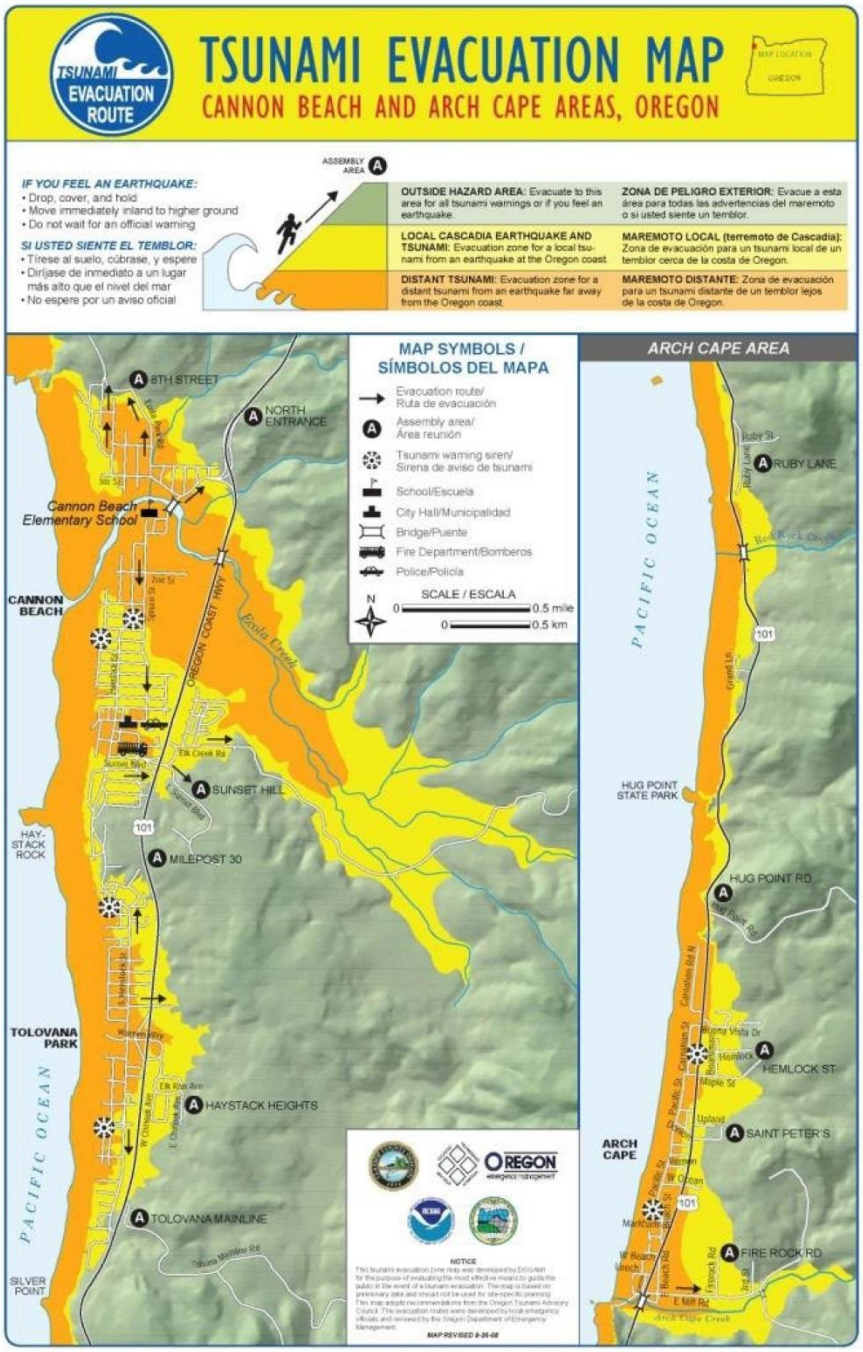


شکل ۱. نمونه‌ای از نقشه خطر سونامی، مربوط به بالی. رنگ‌های تیره‌تر نشان دهنده احتمال خطر بالاتر می‌باشند (اس. وگ‌شایدر[1]).

سامانه‌های هشدار سریع سونامی و شناسایی و ایجاد مسیرهای دفع خطر نیز روش‌های مؤثری برای کاهش تلفات جانی می‌باشند (شکل ۲). ولی در برخی از مناطق، جریان سونامی می‌تواند زمین‌های کم ارتفاع ساحلی را تا فاصله چند کیلومتری در خشکی به زیر آب فرو ببرد. با توجه به مدت زمان

[1] S. Wegscheider

هشدار که تنها چند دقیقه می‌باشد، هیچ نقطه امنی برای فرار وجود ندارد. برای بسیاری از افراد «در معرض خطر» آنچه که «مراکز تخلیه اضطراری عمودی سونامی» نامیده می‌شوند، تنها شانس برای بقا می‌باشند (شکل ۳).



شکل ۲. نمونه‌ای از نقشه مسیرهای تخلیه اضطراری سونامی (دانشگاه ایالتی اورگان).

شکل۳. یک مرکز خصوصی تخلیه اضطراری سونامی. اغلب مراکز تخلیه اضطراری برای جوامع در نزدیکی خطر هستند.

نیاز اولیه یک پناه‌گاه سونامی این است که پناهندگان از سطح سیلاب مورد نظر بالاتر قرار گیرند. در ارتباط با ویژگی‌های طراحی سازه‌ای یک پناه‌گاه، ابتدا باید به‌گونه‌ای طراحی شود که در برابر نیروهای لرزه‌ای ناشی از حرکات زمین مقاومت نماید. یعنی، باید با استانداردی بالاتر از معمول طراحی شوند. همچنین برای اطمینان از ایمنی لرزه‌ای باید با کلیه ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه در تطابق باشد. سپس باید توانایی سازه برای مقاومت در برابر فشارهای قابل توجه سیلاب بعلاوه نیروهای ضربه‌ای حاصل از آوارهای همراه با آب بررسی شود.

درباره این مجموعه مقالات:

این نشریه شامل سلسله مقالاتی درباره زمین‌لرزه‌ها، اثرات آن‌ها بر ساختمان‌ها و نحوه حصول اطمینان از ایمنی ساختمان‌ها در برابر آن‌ها است. این مقالات برای استفاده مالکان احتمالی مسکن‌های جدید و ساختمان‌های بزرگتر و افراد مشغول در صنعت ساختمان تهیه شده‌اند. مقالات توسط اندرو چارلسون و همکاران وی از دانشنامه جهانی ساخت مسکن (http://www.world-housing.net/)، که توسط پژوهشکده مهندسی زلزله (https://www.eeri.org/) و انجمن بین‌المللی مهندسی زلزله (http://www.iaee.or.jp/) حمایت می‌شوند نوشته شده‌اند. مقالات مذکور به همت انجمن مهندسی زلزله ایران (IEEA) به فارسی ترجمه و محتوای آن‌ها تا حد ممکن با شرایط محلی ایران سازگار شده است.

منابع:

National Tsunami Hazard Mitigation Program, 2001. Designing for tsunamis: seven principles for planning and designing for tsunami hazards. https://nws.weather.gov/nthmp/documents/designingfortsunamis.pdf (accessed 16 June 2020).

Wegscheider, S, et al., 2011. Generating tsunami risk knowledge at community level as a base for planning and implementation of risk reduction strategies, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 249–258.