



استفاده از تکنولوژی های جدید در ساخت ساختمان ها و ایمن سازی

ساختمان های موجود در برابر زلزله

(معرفی سیستم های جداگر لرزه ای، Base Isolation Systems)

احمد نادرزاده^۱ و حافظ کی پور^۲

چکیده

صنعت ساختمان در سالهای اخیر با پیشرفتهای چشمگیری همراه بوده است. از نمونه های بارز این پیشرفت ها استفاده از فناوری های جدید در ساخت ساختمان ها و مقاوم سازی ساختمانهای موجود در کشورهای پیشرفته و در عین حال لرزه خیز بوده است. استفاده از برخی از این فناوری ها ایمنی ساختمان ها را در برابر زلزله تا میزان صد در صد افزایش داده است. از میان این فناوری ها، سیستم جداگر لرزه ای (Base Isolation System) کاربرد به مراتب بالاتری پیدا کرده و به عنوان یکی از موثرترین و مطمئن ترین روش ها در به حداقل رساندن اثرات ویرانگر زلزله در ساختمان ها مورد استفاده قرار گرفته است. با نصب جداگرهای لرزه ای در سازه، پیوند نوسان سازه تا چند برابر افزایش می یابد و در هنگام زلزله بخش عمده ای از جنبش زلزله به روساخت سازه انتقال نمی یابد و رفتار سازه در محدوده خطی باقی می ماند و به حد گسیختگی نمی رسد. به دلیل این ویژگی، استفاده از این سیستم باعث کوچک تر شدن مقاطع در عناصر سازه ای می شود و در نتیجه صرفه جویی قابل ملاحظه ای را نیز در هزینه اجرای ساختمان در پی دارد. افزون بر آن، با کاربرد این سیستم امکان بزرگ تر شدن دهانه های مسیر می شود و به همین دلیل طراحی معماری می تواند از تنوع بیشتری برخوردار شود. استفاده از این سیستم علاوه بر ساختمان های جدید، برای مقاوم سازی ساختمان های موجود نیز کاربرد فراوان پیدا کرده است زیرا استفاده از آن به هیچگونه تخریب در روساخت سازه نیاز ندارد و کاربری ساختمان را در هنگام نصب این قطعات مختل نمی سازد و علاوه بر آن در مقایسه با روش های سنتی از صرفه اقتصادی بالاتری برخوردار است. این مقاله به طور مختصر به معرفی این سیستم می پردازد.

(۱) کارشناس سازه و مهندسی زلزله (E-mail: naderzadeh@dpi.net.ir)

(۲) کارشناس سازه و مهندسی زلزله (E-mail: keypour@boun.edu.tr)



مقدمه

فروریزی ساختمان ها و به تبع آن تلفات انسانی فراوان ناشی از رویداد زلزله های ویرانگر ، متخصصان مهندسی زلزله را بر آن داشت تا برای کاستن این خطرات به چاره اندیشی اساسی بپردازند . بدین منظور طی سه دهه گذشته در برخی از کشورها پژوهش های دامنه داری در زمینه ابداع روش های جدید برای رویارویی با نیروهای ناشی از زلزله به انجام رسید . حاصل این پژوهش ها به معرفی نوآوری ها و روش های جدید انجامید . هر کدام از این روشها دارای ویژگی های خاصی است و جنبه های مثبت و احتمالاً منفی آنها نیاز به بررسی موردی دارد . از میان این روشها که در سالهای اخیر کاربرد فراوان پیدا کرده سیستم جداگر لرزه ای است . این سیستم به دلیل خصوصیات ویژه خود ، در ساختمانهای جدید و همچنین مقاوم سازی ساختمانهای موجود مورد استفاده قرار گرفته است . این مقاله جزئیات بیشتری را درباره این سیستم در اختیار قرار می دهد .

رفتار ساختمان های متداول در برابر زلزله

در روش های متداول، طراحی و ساخت سازه ها به گونه ای است که جذب انرژی در هنگام زلزله از طریق تغییر شکل دادن تیرها و ستون ها انجام می شود. این تغییر شکل ها اغلب غیر قابل بازگشت هستند و باعث وارد آمدن خسارت زیاد به سازه می شوند (شکل ۱). بسته به نوع مصالح و سیستم سازه ای به کار رفته در سازه میزان جذب انرژی متفاوت است. نیروی زلزله وارد بر سازه نیز با توجه به ظرفیت جذب انرژی آن محاسبه می شود. به عبارت دیگر، به هر میزان که ظرفیت جذب انرژی سازه بیشتر باشد، نیروی زلزله وارد بر سازه کمتر خواهد بود و به عکس. این عامل در آیین نامه های زلزله مورد توجه قرار گرفته و در فرمول محاسبه نیروی زلزله به عنوان ضریب کاهش در نظر گرفته می شود. این ضریب که در آیین نامه زلزله ایران با حرف R نشان داده شده، بین ۴ تا ۱۱ متغیر است، بدین معنی که با توجه به نوع مصالح و سیستم سازه ای ساختمان، مقدار نیروی زلزله وارد بر ساختمان از ۴ تا ۱۱ برابر کاهش داده می شود.



شکل ۱- جذب انرژی در هنگام زلزله با تغییر شکل های دائمی و غیر قابل بازگشت در عناصر سازه ای همراه است.



بدیهی است در این روش حفظ جان انسان‌ها در هنگام زلزله از اولویت برخوردار است و به همین دلیل به آن "ایمنی جانی" (Life Safety) و یا به طور مختصر "LS" گفته می‌شود. به عبارت دیگر بر اساس این روش، در هنگام زلزله سازه می‌تواند متحمل مقداری آسیب دیدگی شود ولی میزان این آسیب باید به اندازه‌ای باشد که باعث فروریزی سقف آن نگردد، به گونه‌ای که ساکنان ساختمان بتوانند با سلامت از آن خارج شوند. به بیان دیگر، ضروری نیست که سازه به گونه‌ای طراحی شود که هیچ گونه آسیبی به آن وارد نشود زیرا در طول عمر مفید سازه که اگر به طور مثال ۵۰ سال فرض شود، ممکن است زلزله‌ای رخ ندهد و یا زلزله به قدری کوچک باشد که هیچ گونه اثری بر سازه نداشته باشد. از این رو برای آن که سرمایه‌های ملی بیش از اندازه به ساخت و ساز اختصاص نیابد چنین روندی مد نظر آیین نامه‌های زلزله قرار گرفته است.

مشکلات عمده روش‌های متداول در طراحی و ساخت ساختمان‌ها

استفاده از روش‌های متداول در طراحی و ساخت ساختمان‌ها با مشکلاتی همراه است که برخی از آن‌ها به قرار زیر می‌باشد:

- پس از رویداد زلزله، سازه‌ها آسیب می‌بینند و دیوارها ترک‌های زیادی بر می‌دارند و برخی نیز ممکن است فرو بریزند.
- هزینه تعمیر ساختمان‌ها پس از زلزله ممکن است به بیش از ۵۰٪ قیمت تمام شده ساختمان برسد.
- انجام تعمیرات معمولاً در مدت زمان طولانی صورت می‌گیرد و در طول این مدت ساختمان بلا استفاده می‌ماند.
- معمولاً پس از رویداد زلزله ساختمان‌ها غیر قابل استفاده می‌شوند و برخی مردم برای تعمیر آن‌ها رغبت نشان نمی‌دهند. قیمت ساختمان‌ها افت بسیار پیدا می‌کند به طوری که در موارد بسیار چاره‌ای جز تخریب و بازسازی آن‌ها نیست (شکل ۲).



شکل ۲- پس از رویداد زلزله بسیاری از ساختمان‌ها غیر قابل استفاده می‌شوند به طوری که چاره‌ای جز تخریب و بازسازی آن‌ها نیست.



شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

- تجهیزات داخل ساختمان فرو می افتند و موجب آسیب های جانی و خسارات مالی می شوند. در سازه‌های مهم و حیاتی مانند بیمارستانها، مخابرات، گاز، برق، ... ممکن است خسارات جبران ناپذیری به بار آید (شکل ۳).
- مهاجرت از شهرهای زلزله زده هم تا حدودی انجام می شود.



شکل ۳- در اثر زلزله تجهیزات داخل ساختمانها فرو می افتند و موجب آسیب‌های جانی و خسارات مالی می‌شوند.

از آن جا که مقررات آیین نامه در بسیاری از موارد حتی به اندازه حداقل هم رعایت نمی شود، بسیاری از ساختمان ها فرو می ریزند. روش مهار بندی به میزان قابل توجهی از این آسیب ها جلوگیری می نماید ولی باز هم کافی نیست، زیرا روش جذب انرژی با گسیخته شدن و یا تغییر شکل دائمی زیاد انجام می شود (شکل ۴). در عین حال میزان خسارات وارده هم کم نیست. ضمناً باید در نظر گرفت که اگر مهار بندها به خوبی به قاب متصل شوند، حداقل از فروریزی ساختمان ها جلوگیری می کنند.

طرح دو پرسش

اکنون دو پرسش به شرح زیر مطرح می شود:

- ۱- آیا می توان سازه ها را با روشی طراحی و اجرا نمود که نه تنها در برابر زلزله مقاومت نمایند، بلکه هزینه ساخت آن ها در مقایسه با روش های متداول، پایین تر هم باشد؟



۲- آیا می‌توان روشی را به کار برد که سازه‌ها در هنگام زلزله تخریب نشوند و در عین حال تجهیزات داخل آنها نیز سقوط نمایند، و پس از رویداد زلزله هم بدون مشکل مورد استفاده قرار گیرند؟



شکل ۴- مهار بندی و یا قاب خمشی می‌تواند از فروریزی ساختمان‌ها جلوگیری نماید ولی خسارات وارده به آسانی قابل جبران نیست.

پاسخ دو پرسش فوق مثبت است. با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید نه تنها می‌توان ساختمان‌ها را در برابر زلزله مقاوم نمود، بلکه می‌توان تجهیزات داخل آنها را نیز ایمن نگه داشت. یکی از مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌ها، کاربرد سیستم‌های جداگر لرزه‌ای با استفاده از جداگرهای پایه (Base Isolators) است. این سیستم به طور خلاصه به شرح زیر معرفی می‌شود:

سیستم‌های جداگر لرزه‌ای

جدا سازی لرزه‌ای روشی است که به میزان قابل ملاحظه‌ای از انتقال انرژی ناشی از زلزله به سازه جلوگیری می‌نماید. بدین ترتیب ضریب ایمنی سازه در مقایسه با سازه‌هایی که فاقد این سیستم می‌باشند، به مراتب افزایش می‌یابد (شکل ۵). اصول کلی این روش بر این اصل استوار است که به جای آن که سازه قوی‌تر ساخته شود، با نصب تجهیزاتی به آن پیوند نوسان سازه طولانی‌تر می‌شود. به عبارت دیگر، مقدار پیوند سازه‌های کوتاه تا متوسط تا چند برابر افزایش می‌یابد. این عمل از تکان شدید سازه در هنگام زلزله جلوگیری می‌نماید و باعث می‌شود که سازه حرکت به مراتب نرم‌تری داشته باشد.

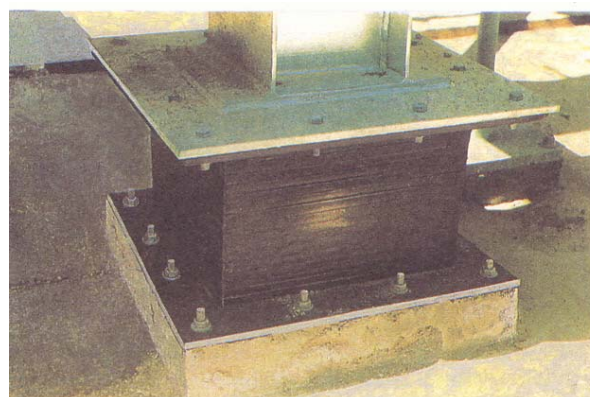
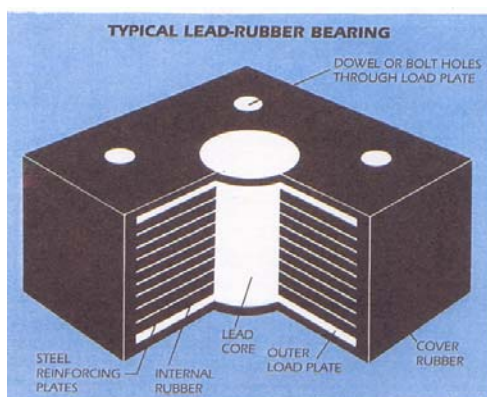


شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

در این سیستم در زیر ستون ها جدا گرهای لرزه ای نصب می شود. این جداگرها دارای انواع مختلف می باشند ولی عمده ترین آن ها از لایه های فولادی و لاستیکی تشکیل شده است (شکل ۶). ساز و کار جداگرها به گونه ای است که در راستای قائم بار زیادی را تحمل می نمایند ولی در جهت افقی ضعیف هستند و در هر جهت می توانند تا ۴۵ درجه حرکت کنند (شکل ۷).



شکل ۵- سیستم جداگر لرزه ای



شکل ۶- نمونه ای از سیستم جداگر لرزه ای متشکل از لایه های فولادی و لاستیکی

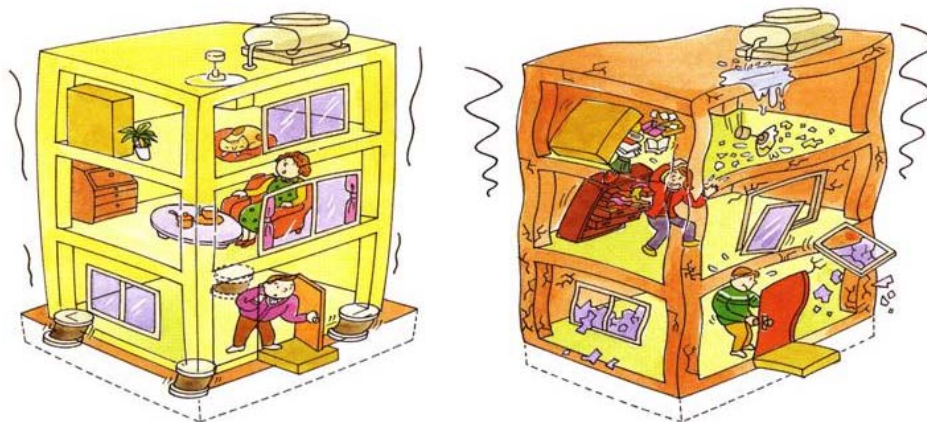


شکل ۷- جداگرهای لرزه ای در جهت افقی می توانند تا ۴۵ درجه حرکت کنند.

مزیت های عمومی سیستم های جداگر لرزه ای

- سیستم جدا گر لرزه ای دارای مزیت های فراوانی است که برخی از آن ها به شرح زیر می باشد:
- حرکت سازه ای که به سیستم جدا گر لرزه ای مجهز است بسیار آهسته و پیرو نوسان آن بلند است، به گونه ای که سازه تا چندین برابر آرام تر و نرم تر حرکت می کند و در نتیجه آسیبی به ساختمان وارد نمی شود (شکل ۸).
- وسایل و تجهیزات ساختمان فرو نمی افتند و در نتیجه از این نظر نیز خسارتی به بار نمی آید. در ساختمان های حساسی مانند بیمارستان ها، مخابرات، گاز، برق، ... این ویژگی اهمیت مضاعف پیدا می کند.
- امکان استفاده مجدد پس از رویداد زلزله میسر است و ساختمان می تواند بدون وقفه به فعالیت خود ادامه دهد.
- برای مثال، تولیدات کارخانجات متوقف نمی شود و مشکل بیکاری برای کارگران پدید نمی آید و یا بیمارستان ها می توانند به درمان مصدومان ناشی از زلزله ادامه دهند. از سوی دیگر ارزش اوراق بهادار آن ها نه تنها سقوط نمی کند بلکه افزایش نیز می یابد.
- هزینه بیمه زلزله کاهش بسیار می یابد.
- بناهای تاریخی پا برجا می مانند.
- ...

شکل ۸- مقایسه رفتار دو ساختمان در هنگام زلزله:



سمت راست، ساختمان معمولی (بدون سیستم جداگر لرزه ای) سمت چپ، ساختمان مجهز به سیستم جداگر لرزه ای



شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

ویژگی های فنی سیستم های جداگر لرزه ای

- عمده ترین ویژگی های فنی سیستم های جداگر لرزه ای به قرار زیر می باشد:
- رفتار سازه در محدوده خطی باقی می ماند و به حد گسیختگی نمی رسد.
- شتاب در طبقات ساختمان تا چند برابر کمتر می شود.
- نیروهای وارد بر سازه تا چند برابر کاهش می یابد.
- تمامی طبقات و به طور کلی تمامی سازه مانند یک جسم صلب با هم حرکت می کنند.
- سازه های جدید را می توان با ستون های با مقاطع کوچک تر و یا با فاصله نسبی زیاد ساخت و در هزینه کلی ساخت صرفه جویی نمود.
- عمر مفید جداگرهای لرزه ای بین ۵۰ تا ۶۰ سال است و امکان جایگزینی آن ها در هر زمان به آسانی امکان پذیر است.

دو نمونه از عملکرد سیستم های جداگر لرزه ای در زلزله های واقعی

نمونه ۱- زلزله ۱۹۹۵ کوبه، ژاپن (M۶/۹)

از نکات جالب توجه مشاهده شده از رفتار ساختمان ها در زلزله ۱۹۹۵ کوبه، عملکرد یکی از بزرگ ترین ساختمان های مجهز به سیستم جداگر لرزه ای در جهان در آن هنگام یعنی ساختمان مرکز کامپیوتر وزارت پست و مخابرات در باختر ژاپن بود. این ساختمان ۶ طبقه که مساحت آن ۴۶۵۰ متر مربع است از بتن آرمه ساخته شده و سیستم جداگر آن از نوع سرب - لاستیک می باشد. ساختمان همچنین مجهز به دستگاه های شتابنگار زلزله بود و در اثر رویداد زلزله کوبه شتابنگاشت های با ارزشی را در زمین آزاد (تراز زیر جداگرها)، طبقه اول ساختمان (بالای جداگرها) و بالاترین طبقه ساختمان ثبت نمود. نسبت بیشینه

شتاب ثبت شده در بالاترین طبقه ساختمان با بیشینه شتاب ثبت شده در زمین آزاد در جهت طولی ساختمان ۰/۳۳ و در جهت عرضی ۰/۲۸ بود. این ارقام، مؤثر واقع شدن کاربرد سیستم جداگر لرزه ای را در ساختمان ها به روشنی بیان می کند.

همچنین قابل توجه است که در نزدیکی ساختمان فوق، ساختمان ۵ طبقه معمولی (بدون جداگر لرزه ای) وجود داشت که آن نیز مجهز به دستگاه های شتابنگار در زمین آزاد (طبقه همکف) و بالاترین طبقه آن بود. شتاب ثبت شده در زمین آزاد این ساختمان مشابه شتاب ثبت شده در زمین آزاد ساختمان فوق بود ولی شتاب های ثبت شده در بالاترین طبقه آن اختلاف فاحشی با طبقه نظیر ساختمان فوق داشت. نسبت بیشینه های شتاب های ثبت شده در بالاترین طبقه و زمین آزاد در این ساختمان ها در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۳/۶ و ۲/۶ بود. مقایسه نسبت های تشدید در دو ساختمان با سیستم جداگر لرزه ای و بدون آن در دو جهت طولی و عرضی به ترتیب ۹/۷ و ۹/۶ بود که کاملاً قابل توجه است و بیانگر این نکته است که شتاب در بام ساختمان دارای جداگر لرزه ای، در مقایسه با بام ساختمان فاقد جداگر حدود ۱۰ برابر کاسته شده است. جدول ۱ مقادیر بیشینه شتاب های ثبت شده در دو ساختمان و مقایسه آن ها را نشان می دهد.



شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

جدول ۱- مقایسه بیشینه شتاب‌های ثبت شده در ساختمان مجهز به سیستم جداگر لرزه ای و ساختمان معمولی (بدون جداگر لرزه ای)

ساختمان بدون جداگر لرزه ای		ساختمان مجهز به جداگر لرزه ای		محل شتابنگار
بیشینه شتاب در جهت عرضی (g)	بیشینه شتاب در جهت طولی (g)	بیشینه شتاب در جهت عرضی (g)	بیشینه شتاب در جهت طولی (g)	
۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۰	زمین آزاد تراز زیر جداگر لرزه ای
-	-	۰/۰۶	۰/۱۱	طبقه اول تراز بالای جداگر لرزه ای
۰/۶۷	۰/۹۷	۰/۰۷	۰/۱۰	بالاترین طبقه ساختمان طبقه ششم با جداگر، طبقه پنجم بدون جداگر
۲/۶	۳/۶	۰/۲۸	۰/۳۳	نسبت تشدید بام به کف
۹/۶	۹/۷	-	-	نسبت تشدید در بام بدون جداگر در مقایسه با دارای جداگر

نمونه ۲- زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج، کالیفرنیا (M۶/۷)

در اثر زلزله نورث ریج بیمارستان عمومی لوس آنجلس که فاقد سیستم جداگر لرزه ای بود متحمل حدود ۴۰۰ میلیون دلار خسارت گردید. در حالی که بیمارستان دانشگاه USC که در مجتمع مجاور بیمارستان فوق قرار داشت و مجهز به سیستم جداگر لرزه ای بود، متحمل هیچ گونه خسارت به ساختمان بیمارستان و تجهیزات آن نگردید. شتاب ثبت شده در سطح زمین این بیمارستان ۳۷٪ و در بالاترین طبقه آن ۱۱٪ بود.

دو نمونه فوق عملکرد عالی سیستم های جداگر لرزه ای را در زلزله های واقعی به نمایش گذاردند و از وارد آمدن هر گونه خسارت به ساختمان ها و تجهیزات نصب شده در آن ها جلوگیری نمودند.

استفاده از سیستم های جداگر لرزه ای برای مقاوم سازی سازه های موجود

سیستم جداگر لرزه ای گزینه مناسبی برای مقاوم سازی و یا ایمن سازی سازه های موجود می باشد. در واقع برای اغلب سازه ها مانند آثار تاریخی ممکن است مناسب ترین گزینه استفاده از این سیستم باشد. کاربرد این سیستم برای مقاوم سازی سازه های موجود دارای مزیت های بسیاری است که مهمترین آن ها به قرار زیر می باشد:



شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

- در مقاوم سازی با این سیستم معمولاً نیازی به هیچ گونه تخریب در طبقات ساختمان نمی باشد. در این روش ستونها در پایین ترین طبقه ساختمان در نزدیکی پی بریده و بین آنها جداگرهای لرزه ای نصب می شود (شکل ۹). در ساختمان های با مصالح بنایی زیر دیوارها بریده می شود.
- مقاوم سازی با استفاده از این سیستم در مقایسه با روش های سنتی بسیار سریع تر انجام می شود.
- در مقاوم سازی با این روش نیازی به تخلیه ساختمان نمی باشد و ساختمان در حین عملیات نصب جداگرها مورد استفاده قرار می گیرد.
- از آنجا که ساختمان در حین مقاوم سازی تخلیه نمی شود، هزینه های مربوط به نقل و انتقال و اجاره موقت محل دیگر صرفه جویی می گردد.
- استفاده از این سیستم حداقل مزاحمت را به ساکنان و همسایگان ایجاد می نماید.
- هزینه مقاوم سازی با این سیستم در مقایسه با روش های سنتی به میزان قابل ملاحظه ای پایین تر است.



شکل ۹- استفاده از سیستم های جداگر لرزه ای در مقاوم سازی ساختمان های موجود. سمت راست، ساختمان بتن آرمه و سمت چپ، ساختمان تاریخی



شرکت نمایشگاهها و فروشگاههای زنجیره‌ای صنعت ساختمان محارم

استفاده از سیستم های جداگر لرزه ای در تولید انبوه ساختمان ها

سیستم های جداگر لرزه ای در ساخت ساختمان های انبوه ، به ویژه انبوه سازی مسکن ، می تواند کاربرد فراوان داشته باشد . این اقدام نه تنها ایمنی این گونه ساختمانها را در برابر زلزله به میزان بسیار بالایی افزایش می دهد، بلکه صرفه جویی قابل ملاحظه ای را نیز در هزینه ساخت آن ها در پی دارد (نگاره ۱۰).



نگاره ۱۰- استفاده از سیستم های جداگر لرزه ای در تولید انبوه مسکن در کشور چین

نتیجه

در این مقاله سیستم جداگر لرزه ای به عنوان یکی از فناوری های جدید در ساخت ساختمان ها و مقاوم سازی ساختمان های موجود معرفی گردید. این سیستم به دلیل دارا بودن خصوصیات ویژه، در مقایسه با سایر فناوری ها، در کشورهای پیشرفته و در عین حال لرزه خیز کاربرد به مراتب بالاتری پیدا کرده و به عنوان یکی از موثرترین و مطمئن ترین روش ها در به حداقل رساندن اثرات ویرانگر زلزله در ساختمان ها مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به وجود خطر دائمی زلزله در کشور و لزوم چاره اندیشی اساسی برای پیشگیری از آسیبهای جانی و مالی ناشی از رویداد زلزله، ضروری است در ساخت ساختمان های جدید و مقاوم سازی ساختمان های موجود از فناوری های جدید استفاده بهینه به عمل آید. سیستم جداگر لرزه ای از مناسب ترین این فناوری هاست که کاربرد آن می تواند در کاهش اثرات خطر ناشی از زلزله در کشور سهم قابل ملاحظه ای داشته باشد.