بسمه تعالی

گروه مهندسین دریان

جداسازهای لرزه ای

REV	شرح	تهیه	بررسی	تأیید	تصویب	تاریخ انتشار	محل ضرب مهرهای تحت کنترل- منسوخ
۰۰	**جداسازهای لرزه ای**	**وحید پاچیده**	**امیر ساعدی**				
۰۱							
۰۲							
۰۳							

www daryan.co

تهران - سعادت آباد - خیابان ریاضی بخشایش - بن بست قائم - پلاک ۴ - طبقه چهارم

تلفن : ۷-۲۲۱۳۷۰۸۶ فکس : ۲۲۱۳۷۰۸۴

فهرست مطالب

۱-مقدمه و کلیات ۳

۲-عملکرد ۸

۳-انواع جداسازهای لرزه ای ۹

۳-۱- سیستم جداساز لرزه ای الاستومری ۹

۳-۲- تکیه گاه های لاستیکی لایه ای ۱۰

۳-۳- جداسازهای لاستیکی با هسته ی سربی ۱۲

۳-۴- سیستم جداساز لرزه ای لاستیکی با میرایی بالا ۱۳

۳-۵- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه الاستیک لغزنده ۱۴

۳-۶- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه لغزنده بر صفحه گرد ۱۵

۳-۷- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح-نوع یک ۱۵

۳-۸- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح-نوع دو ۱۶

۳-۹- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی ریلی ۱۶

۳-۱۰- سیستم جداساز لرزه ای پاندول اصطکاکی ۱۷

۳-۱۱- مزایا و معایب جداسازها ۱۸

۴-جانمائی جداسازها در ساختمان ها ۱۹

۵-تصاویر اجرایی ۲۵

۱- مقدمه و کلیات

برای کاهش اثرات ناشی از زلزله بر سازه، راهبردهای فنی و مدیریتی متعددی وجود دارد که به دو بخش کلی افزایش ظرفیت و کاهش نیاز سازه تقسیم شده که عبارتند از:

۱- اصلاح موضعی اجزا

۲- حذف یا کاهش نامنظمی در سازه

۳- افزایش مقاومت سازه

۴- افزایش سختی جانبی سازه

۵- افزایش شکل‌پذیری سازه

۶- کاهش نیاز سازه

راهبردهای کاهش نیاز ساختمان عبارتند از:

۱- کاهش جرم ساختمان

۲- سیستم جداساز لرزه‌ای[۱]

۳- سیستم غیرفعال اتلاف انرژی (میراگرها).

روش مرسوم طراحی لرزه ای سازه ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی لرزهای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی در سازه، با افزایش مقاومت و تامین شکلپذیری آن صورت میگیرد. در نتیجه اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه، اعضای مهاربند جانبی همچون بادبند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سختکننده در نظر گرفته می شود.

افزایش سختی سازه که جذب نیروی بی شتر ناشی از زلزله را به دنبال داشته و سبب افزایش ابعاد اعضای سازهای به منظور تامین مقاومت میشود، موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه میگردد. علاوه بر آن، در روش های مرسوم طراحی، به دلیل تغییر شکلهای غیرخطی در اعضای سازه ای و غیر سازه ای امکان بروز خرابی در این اعضا و وقوع آسیب در اجزای غیرسازهای و تجهیزات داخل طبقه به دلیل وقوع تغییر مکان و شتابهای قابل توجه در طبقه وجود دارد. کنترل بروز آسیب در اثر زلزله به خصوص در تکان‌های نسبتا شدید کار دشواری خواهد بود. بر اساس مشاهدات پس از رویداد زلزله های شدید، سازه های ساخته شده بر اساس روش های مرسوم طراحی و ساخت، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه میکنند که این امر در نهایت سلب

---

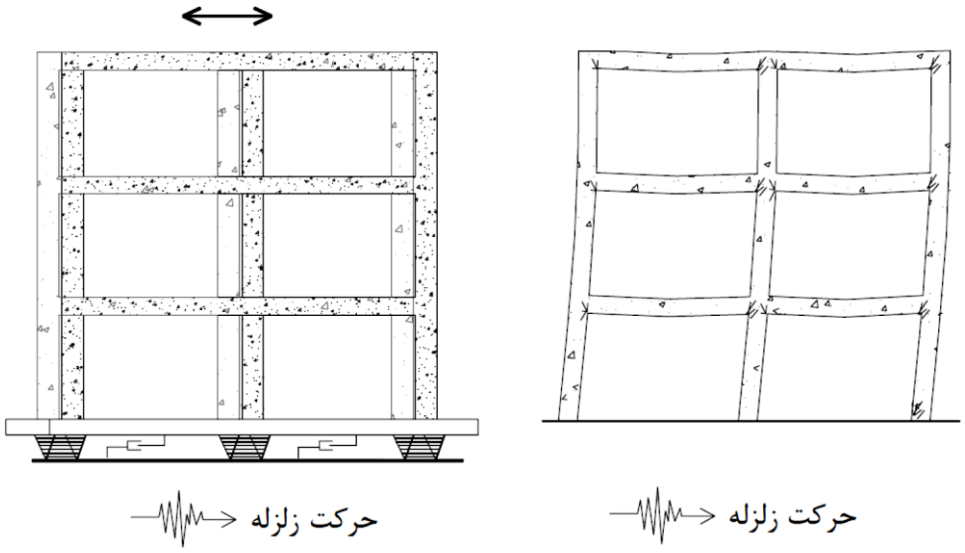
[۱] *Base Isolation*

آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند، آسیب در اجزای غیر ساز های و تجهیزات و احتمال قطع خدمات ارایه شده از شبکه‌های مختلف در شریانهای حیاتی مانند تلفن، حمل و نقل، بیمارستانها، برق و آب را به همراه دارد.

بنابراین برای دسته‌ای از سازه ها مانند بیمارستانها، ساختمان های دارای ارزش هنری، پلهای مهم، نیروگاههای برق، موزه‌ها، ساختمان هایی که آسیب در آنها تهدیدی برای محیط زیست خواهد بود و سازه های مهمی که در مناطق با احتمال وقوع زلزله های شدید قرار دارند، روش طراحی بر اساس شکل‌پذیری ممکن است مناسبترین روش نباشد. علاوه بر این با افزایش سطح نیازهای شهری هزینه‌های قابل توجهی صرف ایجاد شریان‌های حیاتی و ساز ه‌های موجود خواهد شد. این امر نیاز به پیش‌بینی تمهیدات لازم برای ارتقای سطح ایمنی این بناها در برابر رویداد احتمالی زلزله را به همراه دارد.

با پیشرفت دانش فنی و تجربه‌ی زلزله های شدید، به مرور تغییراتی در آیین‌نامه‌های طراحی سازه ها به وجود آمده و ضمن تغییر در فلسفه‌ی طراحی سازه‌ها، فناوری‌هایی همچون کنترل لرزهای غیرفعال سازه‌ها به کار گرفته شده است. جداسازی لرزهای نیز، با هدف کاستن آسیب لرزه ای در طراحی و ساخت ساز ه‌های با اهمیت زیاد پیشنهاد میگردد. با استفاده از این روش، رفتار دینامیکی سازه در حد امکان، در محدوده‌ی از قبل پیش‌بینی شده قرار گرفته و میزان آسیب های لرزه ای به اجزای ساز های و غیر سازه ای کاهش می‌یابد. پیشرفت دانش فنی و تغییرات یاد شده در ضوابط و معیارهای طراحی و ارزیابی سازه‌ها باعث شده تا بسیاری از ساز ه‌های موجود طی ارزیابیهای مجدد در حاشیه‌ی "ناامن" قرار گیرند. روش جداسازی لرزه ای در زمینه‌ی مقاومسازی و بهسازی لرزه‌ای سازه های موجود نیز قابل کاربرد است. این روش با توجه به آزادی عملی که در اختیار طراحان و مجریان قرار می دهد در بسیاری از پروژه‌های بهسازی لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این حال نحوه‌ی اجرای عملیات بهسازی لرزه‌ای و نصب جداسازها نیاز به برنامه‌ریزی و دقت کافی دارد.

در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، به جای افزایش ظرفیت باربری سازه تحت نیروهای جانبی، می‌توان نیروهای وارد بر آن‌ها را کاهش داد. در این روش، سازه از تکیه‌گاه‌های خود جد گردیده و بر روی تکیه‌گاه‌هایی که قابلیت تغییرشکل جانبی زیادی دارند، قرار می‌گیرد. در این وضعیت در صورت وقوع زلزله،عمه تغییرشکل‌ها در تکیه‌گاه رخ داده و سازه مانند جسم صلب با تغییرشکل‌های کوچکی ارتعاش می‌کند. جداساز لرزه‌ای، یک روش طراحی لرزه‌ای مقاوم است که به جای افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه، بر مبنای مفهوم کاهش نیاز لرزه‌ای قرار دارد. استفاده صحیح از این فناوری سبب بهبود رفتار سازه‌ها شده و رفتار سازه در حین زمین‌لرزه‌های بزرگ، عمدتاً در محدوده‌ی ارتجاعی باقی می‌ماند. مفاهیم این روش به نحو شگفت‌انگیزی ساده می‌باشد.



شکل ۱: رفتار سازه (الف) بدون سامانه‌ی جداساز لرزه ای و استفاده از شکل‌پذیری، (ب) به همراه سامانه جداساز لرزه ای

در این سیستم به جای مقابله با زلزله در ساختمان‌ها، سازه را با زلزله همراه می‌کنیم. یعنی در مواقعی که زلزله به وقوع می‌پیوندد، سازه ما به جای اینکه مثل یک جسم صلب با نیروهای زلزله مقابله کند، در ارتعاشات با زلزله همراه می‌شود ، نیروهای زلزله را جذب می‌کند و در حقیقت سازه میرا می‌شود. به این نوع سازه‌ها، سازه‌های دینامیکی می‌گویند. امروزه در جهان سازه های دینامیکی فراوانی وجود دارد که خود انواع مختلفی دارند.

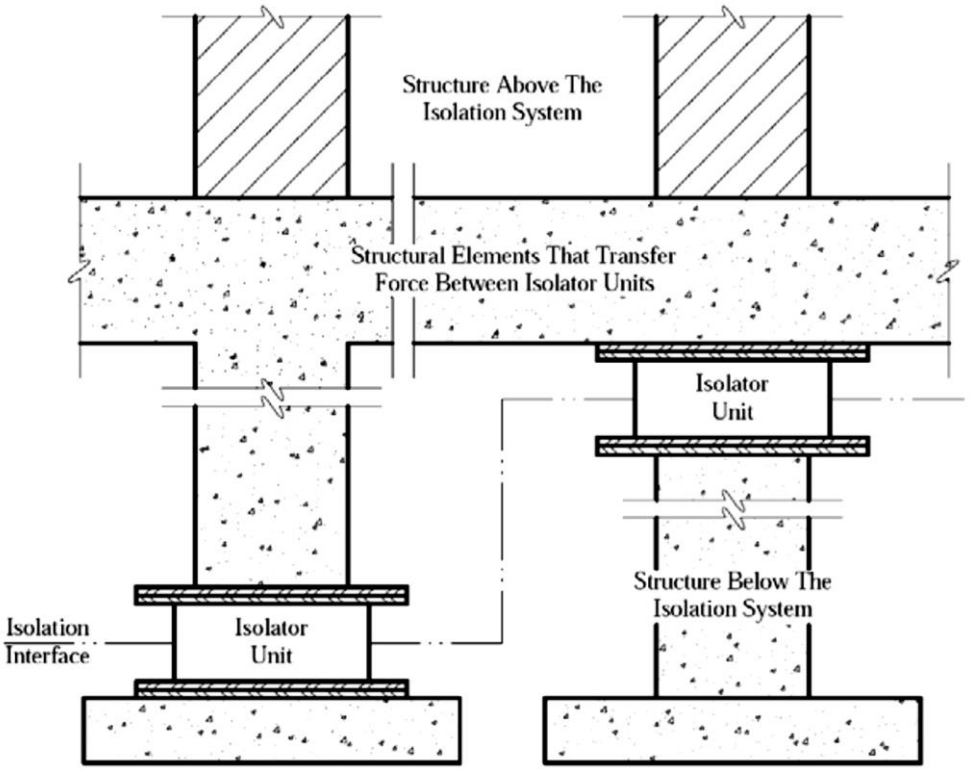
برای ساختمان‌های ذیل، مطالعه برای انتخاب گزینه ی جداسازی لرزه‌ای به طور خاص بر اساس عملکرد و اهمیت توصیه میگردد:

۱. ساختمان‌های با اهمیت بالا: ساختمان‌هایی که عملکرد آنها در وضعیت بحرانی پس از زلزله مهم است، مانند ساختمان‌های امدادرسانی و بیمارستانی؛
۲. ساختمان‌های دارای ارزش تاریخی و هنری (به عنوان یک گزینه در بهسازی لرزه‌ای)؛
۳. بخش‌های اصلی از شریان‌های حیاتی همچون پل‌های مهم یا نیروگاه‌ها؛
۴. واحدهای تولیدی دارای تجهیزات یا محصولات گرانقیمت یا راهبردی؛
۵. ساختمان هایی که آسیب احتمالی در آنها، تهدیدی جدی برای محیط زیست تلقی گردد.

در مقابل ایده‌ی طراحی و اجرای ساختمان های مقاوم در برابر زلزله، با توجه به آسیب های سازهای و مشکلات بروز کرده برای ساکنان در طی زلزله ها، ایده‌ی طراحی سازه جداشده از پایه بر اساس کنترل نیروی زمین‌لرزه از طریق ممانعت از ورود آن به سازه بنا شده است. این ایده در سال های اخیر در موارد بسیاری در

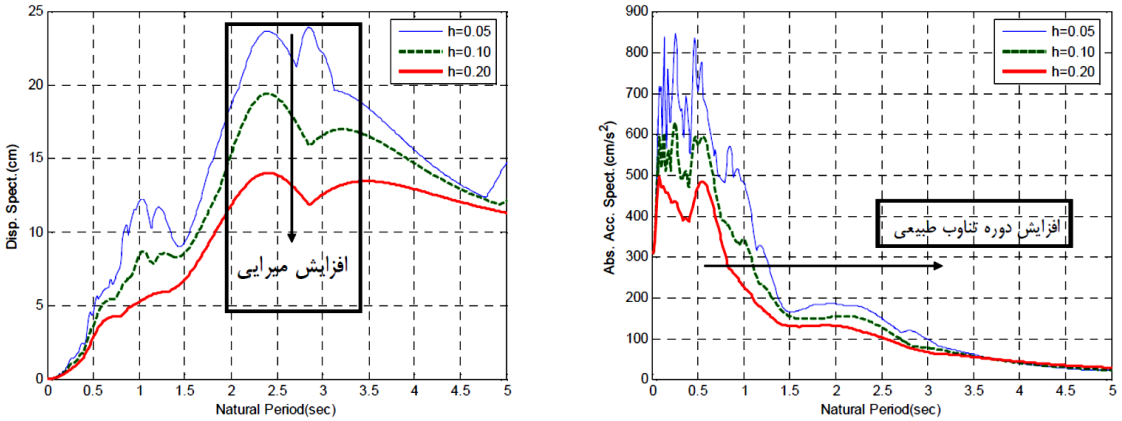
طراحی و اجرای سازه های مهم مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی، سامانه‌های سازه‌ای مجهز به این فناوری پاسخ لرزهای کمتری نسبت به سازه‌های معمول خواهند داشت.

در جداسازی لرزه‌ای دورهی تناوب اصلی سازه به کمک تجهیزاتی که مطابق شکل۲ بین روسازه و بخش پایین‌دست آن قرارمیگیرد افزایش می‌یابد.



شکل ۲: تراز جداسازی و اجزای آن

افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی سازه موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در زمان وقوع ارتعاشات با دوره‌ی تناوب حاکم کوتاهتر نمایش داده شده‌است. در سازه‌های مرسوم، احتمال وقوع تشابه یا نزدیکی دوره‌ی تناوب طبیعی - میگردد. این قابلیت در شکل ۳ سازه با دوره ی تناوب حاکم در ارتعاش ناشی از زلزله زیاد است. جداسازی لرزه‌ای در واقع باعث بلندتر شدن دوره ی تناوب طبیعی سازه میشود. این امر با توجه به طیف پاسخ شتاب زلزله، در اغلب موارد منجر به کاهش احتمال وقوع نیروها و شتاب‌های زیاد در سازه می‌گردد.



شکل ۳: توصیف تاثیر جداسازی لرزه ای با استفاده از طیف پاسخ زلزله

طراح باید توجه داشته باشد که کاهش شتاب با توجه به رفتار نیرو- تغییر مکان جداسازها انجام می پذیرد و نیاز به کاهش شتاب ممکن است منتهی به سامانه‌ی جداسازی با سختی کمی گردد که این خود احتمال بوجود آمدن تغییر مکان‌های قابل توجه در طی زلزله را افزایش میدهد. از اینرو ساز و کارهایی به منظور استهلاک انرژی در سامانه‌ی جداسازی تعبیه می گردد تا ضمن محدود نمودن تغییر مکان، شتاب سازه نیز کاهش یابد. این میرایی همچنین پدیده‌ی تشدید پاسخ ناشی از وجود مولفه‌های با دوره‌ی تناوب بالا در حرکت زمین را کاهش می‌دهد. اما در عین حال باید توجه نمود که در برداشتن میرایی زیاد در سامانه ی جداساز خود موجب افزایش نیروی منتقل شده به سازه می‌گردد و باید از سوی طراح مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین لازم است یک سامانه‌ی جداسازی دارای قابلیت‌های زیر باشد:

۱. بتواند نیروهای قائم ناشی از وزن و پاسخ زلزله در زمان زلزله را تحمل کند؛
۲. در جهت افقی انعطاف پذیری لازم را تامین نماید؛
۳. قابلیت جذب انرژی داشته باشد.

این قابلیت‌ها می تواند به طور همزمان در یک وسیله تأمین شود یا به کمک چند وسیله آن ها را برای سامانه‌ی جداسازی فراهم آورد. علاوه بر این طراح ممکن است برای محدود نمودن تغییر مکان جداسازها، در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، ضربه گیرهایی نیز پیش‌بینی نماید.

همانطور که در بخش‌های بعد اشاره خواهد شد، با توجه به این تغییر مکان، فاصله‌ی آزاد مشخصی باید در اطراف سازه در نظر گرفته شود تا حرکت طبقه‌ی جداسازی شده به سهولت امکانپذیر گردد.

تجهیزات جداسازی لرزه‌ای عبارتند از:

- تکیه‌گاهها و جداسازها؛
- میراگرها

در کنار این اجزا، ممکن است امکانات دیگری برای فراهمسازی قابلیت جابجایی در تراز جداسازی ایجاد گردد. جداسازها و میراگرها ممکن است همگی در یک تراز افقی قرار گیرند یا با توجه به ماهیت، هدف جداسازی یا وضعیت معماری سازه در ترازهای مختلفی نصب گردند.

۲- عملکرد

در جداسازی لرزه ای کل یا بخشی از سازه برای کاهش پاسخ لرزه ای آن بخش در زمان زلزله از زمین یا قسمت های دیگر سازه جدا می شود. این کار با استفاده از جداساز هایی که بر اساس مشخصات دینامیکی سازه، اهداف عملکردی مورد نظر طراح و شرایط خطر لرزه ای ساختگاه، طراحی و ساخته شده اند صورت می گیرد. وظیفه ی اصلی این جداساز ها ایجاد فاصله بین دوره ی تناوب طبیعی سازه و محدوده ی دوره ی تناوب حاکم در ارتعاش زمین لرزه احتمالی در محل سازه ی مورد نظر است. علاوه بر این، انرژی ارتعاشی ناشی از زلزله نیز با کمک سازوکارهای مختلفی جذب شده و از انتقال آن به سازه جلوگیری می گردد.

جداساز سامانه ای است که سازه روی خود را از بخش زیرین خود جدا م یکند. برای اینکه در زمان بروز زلزله هیچ نیرویی به سازه منتقل نشود، لازم است این سامانه، سازه را به حالت شناور درآورد. این امر با توجه به نیاز به کنترل تغییر مکان های نسبی جانبی در زمان تحریک زلزله از نظر اجرایی درست و امکان پذیر نیست. دو گروه اصلی از جداسازهای لرزه ای برای کنترل نیروی منتقل شده به روسازه در ساختما نها استفاده می شوند:

الف- استفاده از جداسازهای لاستیکی برای افزایش دوره ی تناوب طبیعی سازه؛

ب- استفاده از جداسازهای اصطکاکی و کنترل حداکثر نیروی منتقل شده به روسازه و استهلاک انرژی در محل جداساز.

جداسازها باید مقاومت لازم برای تحمل وزن سازه روی خود را داشته باشند. در عین حال جداسازهای لاستیکی باید در جهت افقی به اندازه ی کافی نرم باشند.

در زمان طراحی توجه به این نکته ضروری است که با نر متر شدن جداسازها ، تغییر مکان نسبی بین زمین و سازه افزایش می یابد. به این ترتیب تغییر مکان نسبی تراز جداسازی و پاسخ شتاب سازه همواره با هم نسبت عکس دارند. در این شرایط با انتخاب سازوکار استهلاک انرژی مناسب در سامانه ی جداسازی لرزه ای می‌توان هم به کاهش مورد نیاز در شتاب مجموعه دست پیدا کرد و هم میزانتغییر مکان نسبی ذکر شده را در محدود

هی مورد نظر طراحی نگاه داشت. به این ترتیب، از جداسازها، قابلیت تحمل بار، تغییر مکان های زیاد و بازگشت به محل اولیه پس از پایان یافتن زلزله انتظار می‌رود.

در جداسازهای اصطکاکی ضریب اصطکاک مناسب عامل کنترل نیروی انتقالی به روسازه و همچنین کنترل تغییر مکان جانبی سازه خواهد بود. از سوی دیگر این نوع جداساز ها ممکن است باعث انتقال ارتعاشات با فرکانس‌های نسبتا زیاد به سازه گردند. از این رو استفاده از این تجهیزات در جداسازی سازه هایی که ابزار دقیق و حساس به ارتعاش در فرکانس های بالا در آن ها نصب خواهد شد باید با مطالعه ی دقیق صورت پذیرد.

مسایل اقتصادی ، اجرایی و دوام این تجهیزات در زمان طراحی و ساخت آن ها باید مورد توجه قرار گیرد. جداسازی موفق یک سازه خاص، مستلزم انتخاب، طراحی و ساخت سامانه ی جداسازی مناسب برای آن است. علاوه بر تامین انعطاف‌پذیری جانبی کافی و میرایی مناسب، همانطور که قبلاً نیز ذکر شد سامانه ی جداسازی باید قادر باشد تا پس از اتمام ارتعاش زلزله به وضعیت اولیه‌ی خود بازگردد . این سامانه ها باید سختی قائم زیادی برای جلوگیری از تاب خوردن و حرکت گهواره ای سازه و سختی اولیه‌ی کافی برای جلوگیری از حرکت های ناخواسته ی ناشی از وزش باد و لرز ه‌های با دامنه های کم داشته باشند.

۳- انواع جداسازهای لرزه ای

در طول سالهای اخیر فن آوریهای گوناگونی در راستای کاهش آسیب ناشی از زمین لرزه بر روی پلها، ساختمانها و محتویات آسیب پذیر آنها توسعه یافتهاند. جداسازی لرزهای یک روش نسبتاً جدید و رو به تکامل این گونه فن آوری است. در این فصل تلاش شده است تا با استناد بر تحقیقات و گزارش های موجود در دنیا، فهرست نسبتاً کاملی از انواع جداسازهای لرزه ای که در سطح دنیا مورد استفاده قرار گرفته است ارائه شود.

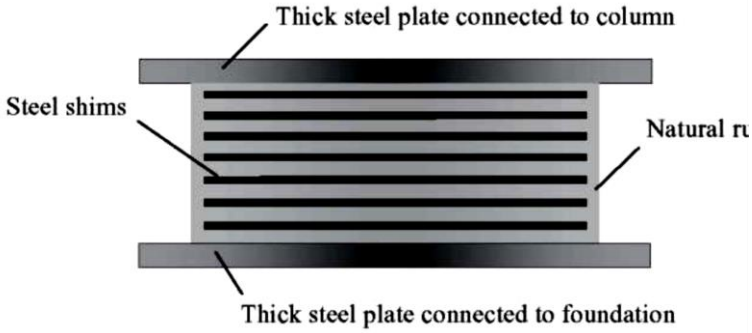
۳-۱- سیستم جداساز لرزه ای الاستومری[۱]

الاستومرهای اولیه از صفحات لاستیک طبیعی ساخته می شدند. امروزه جهت تقویت این جداساز، به طور معمول از ورق های فلزی داخلی و ورق های رویه فلزی استفاده می شود که لایه های میانی از پلاستیک و فولاد با لایه های فولادی ورق بالا و پائین، محصور و محدود شوند (شکل ۴). معمولاً ضخامت این صفحات فولادی ۲۵ میلیمتر و ضخامت صفحات لاستیکی بین ۷,۵ تا ۲۰ سانتی متر می باشد. استفاده از صفحات فولادی باعث

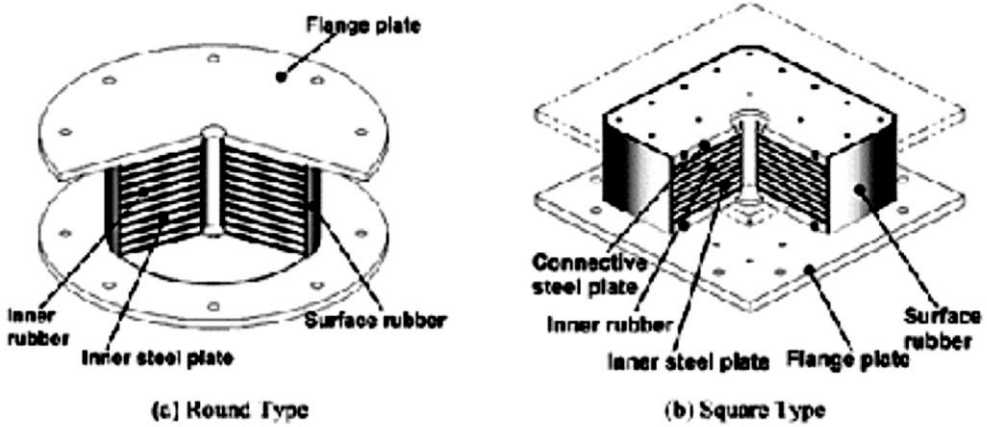
---

[۱] *Natural Rubber Bearing*

کاهش تغییرشکل قائم الاستومر شده و از بشکه ای شدن لاستیک جلوگیری می نماید. امروزه در ساخت الاستومرها از لاستیک های مصنوعی مانند نئوپرن نیز استفاده می گردد. بدلیل انعطاف پذیر بودن لاستیک و تغییر شکل های برشی الاستیک بالا، میزان میرایی بحرانی الاستومرها بین ۲ الی ۳ درصد می باشد. به همین دلیل در رده تکیه گاه های با میرایی پایین قرار می گیرند. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، این جداساز می تواند دایره ای و یا مربعی باشد. تولید و ساخت الاستومرها در مقایسه با سایر تکیه کاه ها ساده تر و کم هزینه تر می باشد و خصوصیات مکانیکی آن ها تابع دما و زمان نیست. هر چند به دلیل میرایی بحرانی کم، مقاومت چندانی در برابر بارهای بهره برداری ندارند و جهت کنترل تغییرمکان های جانبی بالاتر باید از میراگرهای دیگری استفاده گردد.



شکل ۴: نمای شماتیک از مقطع جداساز لرزه ای الاستومری با صفحات فولادی



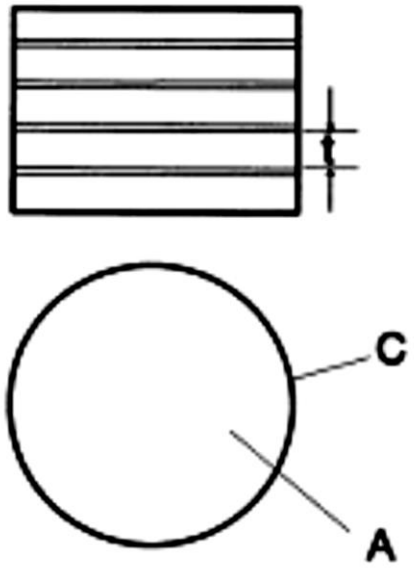
شکل ۵: مقطع جداساز لرزه ای الاستومری با صفحات فولادی

۳-۲- تکیه گاه های لاستیکی لایه ای

یکی دیگر از راه های جداسازی لرزه ای سازه ها، نصب آن ها بر تکیه گاه های لاستیکی لایه ای (الاستومریک) می باشد. استفاده از این تکیه گاه ها در مواردی که تغییرشکل های قابل توجهی در اثر تغییر

حرارت بوجود می آید، مانند پل ها، می توان استفاده نمود. در سال های اخیر استفاده از آن ها در جداسازی لرزه ای ساختمان ها و دیگر سازه ها نیز افزایش یافته است.

این تکیه گاه ها به گونه ای طراحی شده اند که علاوه بر اینکه وزن زیادی را تحمل کرده و مقاومت اندکی در برابر تغییرمکان های افقی دارند، قادر به تحمل دوران متوسطی در سطح بالایی تکیه گاه می باشند. در شکل۶ نوع متداول دایره ای که در پل ها کاربرد فراوانی دارد، مشاهده می گردد. این نوع تکیه گاه ها معمولاً ازلایه های لاستیکی ای که توسط ورق های فولادی تقویت شده اند، ساخته می شوند.



شکل ۶: شکل شماتیک تکیه گاه الاستومریک لایه ای با مساحت A و محیط C که در آن لایه های لاستیکی با ضخامت t به ورق های فولادی نازک متصل شده اند.

برای مصالح لاستیکی مشخص و سطح ثابت تکیه گاه، ظرفیت باربری با کاهش ضخامت هر لایه لاستیک افزایش می یابد، در حالیکه مقاومت در برابر حرکت افقی و دوران با افزایش ضخامت لاستیک کاهش می یابد. یکی از پارامترهای مهم در این جداسازها نسبت ظرفیت باربری قائم به شکل پذیری افقی می باشد که تعیین کننده بیشینه دوره تناوب قابل دست یابی، Tb، سازه صلب می باشد. همچنین یکی از پارامترهای مهم بیشینه جابجایی افقی مجاز، Xb، می باشد که یا توسط کرنش مجاز پلاستیک یا توسط انحراف مجاز بین سطح بالا و پایین تکیه گاه تعیین می گردد. همچنین در تکیه گاه های لاستیکی در جابجایی های بزرگ لرزه ای، نیروهای بازگرداننده (به سمت حالت اولیه) به اندازه کافی مشاهده می گردند.

تکیه گاه هایی لاستیکی به صورت گسترده ای در جداسازی لرزه ای به کار می روند،که در ادامه این فصل به آن ها اشاره خواهد شد. همانطور که عنوان شد، این تکیه گاه ها دارای ظرفیت باربری و شکل پذیری افقی بالا و نیروهای بازگرداننده می باشند. میرایی جداساز را می توان به واسطه اجزای جداگانه افزایش داد. یکی از روش هایی که می توان میرایی این تکیه گاه ها را افزایش داد، استفاده از میله های سربی برای افزایش میرایی هیسترتیک می باشد. همچنین می توان تکیه گاه های لاستیکی را بر روی صفحات لغزنده افقی قرار داد که منجر به انعطاف پذیری (شکل پذیری) افقی بیشتر و میرایی اصطکاکی بالاتر می گردد.

طراحی کامل و تولید تکیه گاه های لاستیکی نیازمند تخصص فنی می باشند. هر چند مشخصات تقریبی تکیه گاه های لاستیکی را می توان با روش های ساده و شناخته شده بدست آورد. درک عوامل تاثیر گذار بر رفتار و مشخصات تکیه گاه های الاستومری در تولید سیستم های جداساز و طرح های اولیه می تواند مفید واقع شود.

در حال حاضر از تکیه گاه های لاستیکی لایه ای در پل ها جهت هدایت انبساط حرارتی، استفاده می شود. اصلاح آنها برای جداسازی لرزه ای ساختمان ها و پل ها یک مفهوم مهندسی نسبتا ساده است، اما در عمل نیازمند طراحی پیچیده و تکنولوژی تولید پیشرفته می باشد.

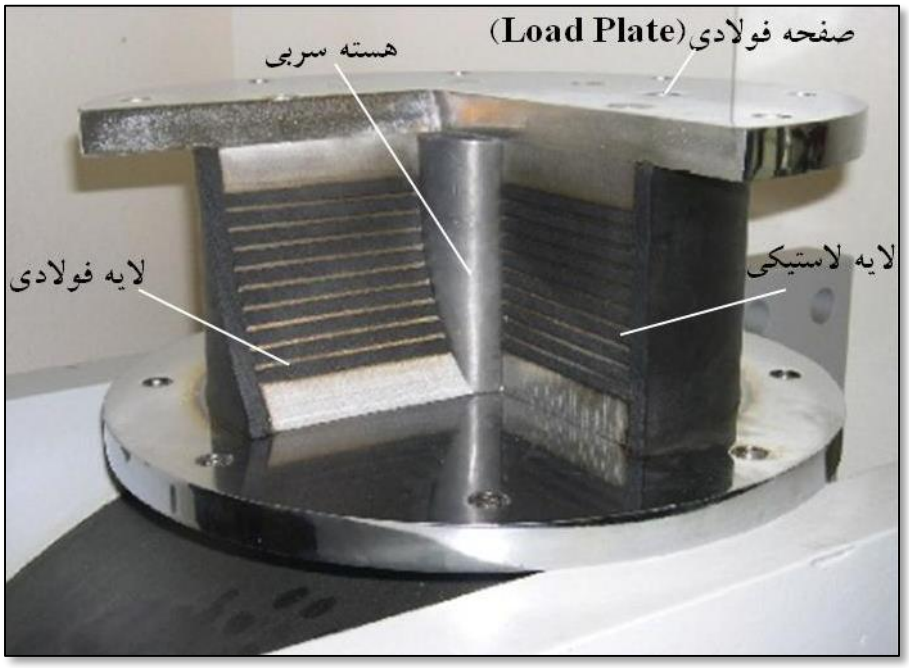
۳-۳- جداسازهای لاستیکی با هسته ی سربی[۱]

این جداساز شامل یک هسته‌ی سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است. همان طور که ذکر شد، جداسازهای لاستیکی قادر به تامین میرایی زیاد و جذب انرژی مناسب نیستند. هسته ی سربی در جداسازهای لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداسازهای لاستیکی به چیزی در حدود بیش از ۱۰ درصد می افزاید.

همچنین هسته‌ی سربی با تامین سختی اولیه ی کافی، سازه ی جداسازی شده را در برابر بارهای جانبی ضعیف مانند باد یا زلزله های خفیف مقاوم می کند.

---

[۱] *Lead-Rubber Bearing (LRB)*



شکل ۷: جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

دلیل انتخاب سرب برای این جداساز این است که فلز سرب دارای ساختمانی کریستالی است. ساختار کریستالی سرب با تغییر مکان تغییر می کند اما بلافاصله با برگشت تغییر مکان به حالت اولیه بازگشته و به این ترتیب تسلی مهای متوالی تحت بارهای ارتعاشی دینامیکی جانبی باعث به وجود آمدن پدید هی خستگی در آن نمی شود.

سرب تحت نیروی برشی در تنش های نسبتا پایین در حدود ۸ تا ۱۰ نیوتن بر میلیمتر مربع به حد تسلیم می‌رسد و بنابراین رفتار هیسترزیس پایداری نشان داده و میزان قابل توجهی از انرژی را در زمان رخداد زلزله‌های نسبتا بزرگ از بین می برد.

رفتار هیسترزیس این جداسازها را می توان به صورت دوخطی با سختی اولیه‌ای در حدود ۹ تا ۱۶ برابر سختی پس از تسلیم آن ها درنظر گرفت. بخش لاستیکی این تجهیزات مشابه جداسازهای لاستیکی با ورقه های فولادی است و وظیفه‌ی تامین نیروی بازگرداننده به مبدأ را پس از پایان ارتعاش سازه به عهده دارد.

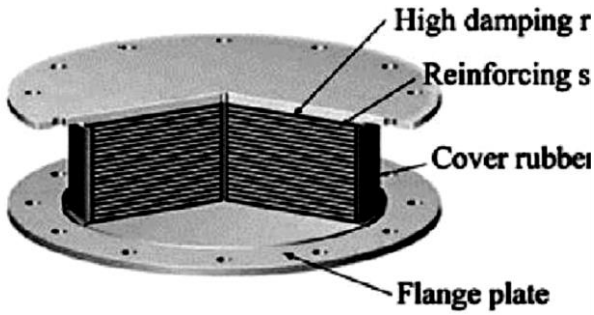
۳-٤- سیستم جداساز لرزه ای لاستیکی با میرایی بالا[1]

این سیستم که در شکل ۸ مشاهده می گردد شامل ورقه های فولادی به شکل حلقه، ورقه های لاستیکی به شکل حلقه هایی که با ورقه های فولادی بصورت یک در میان قرار می گیرند، پوششی از لاستیک با میرایی

---

[1] *High-Damping Rubber Bearing (HDRB)*

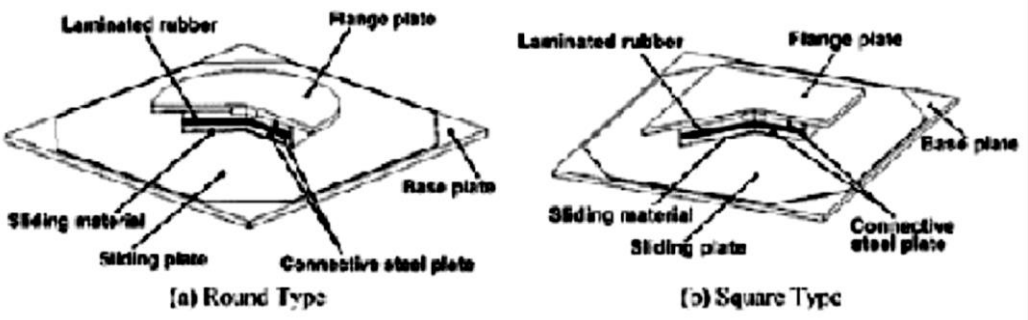
بالا، پیش آمدگی پیرامونی بالا و پایین جداساز می باشد این جداساز ها، ساختاری شبیه جداسازهای سربی-لاستیکی دارند با این تفاوت که این نوع جداسازها فاقد هسته سربی می باشند. میزان میرایی موثر این نوع تکیه‌گاه ها تابعی از کرنش برشی می باشد. برای لاستیک طبیعی، میرایی موثر برای کرنش های برشی کم و زیاد به ترتیب برابر ۱۵٪ و ۱۰٪ می باشد. از نقاط ضعف این سیستم تاثیر دما و زمان بر خصوصیات مکانیکی آن می باشد. همچنین سختی و میرایی این نوع تکیه گاه تابعی از جنس لاستیک بکار رفته است و درنتیجه با محدودیت هایی مواجه است.



شکل ۸: ساختار یک جداساز لرزه ای لاستیکی با میرائی بالا

۳-۵- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه الاستیک لغزنده

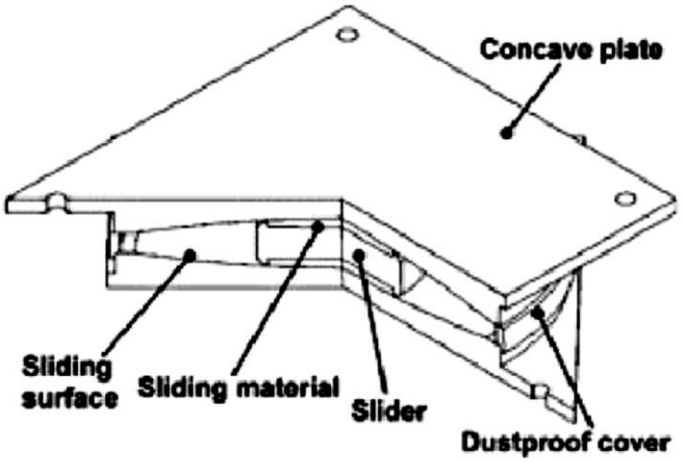
شکل ۹ ساختار یک جداساز لرزه ای تکیه گاه الاستیک لغزنده دایره ای و مربعی را نشان می دهد. این جداساز به طور کلی متشکل از لایه های نازک لاستیکی، ورق های اتصالی فولادی، ورق های رویه، مصالح لغزنده، یک ورق لغزنده و ورق پایه است. مصالح لغزنده در ورق فولادی اتصالی که به نوبت روی ورق لغزنده ی تعبیه شده روی ورق پایه قرار می گیرد، تنظیم شده است. قبل از اینکه نیروهای زلزله از نیروی تسلیم متناظر با لغزش تجاوز کند، تغییرشکل برشی به تغییرشکل لایه های نازک لاستیکی محدود می شود، اگرچه پس از رد شدن نیروی زلزله از نیروی تسلیم، مجموعه‌ی جداساز می لغزد و لذا می تواند تغییرشکل های بزرگ را متحمل شود.



شکل ۹: ساختار یک جداساز لرزه ای با تکیه گاه الاستیک لغزنده

۳-٦- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه لغزنده بر صفحه گرد[۱]

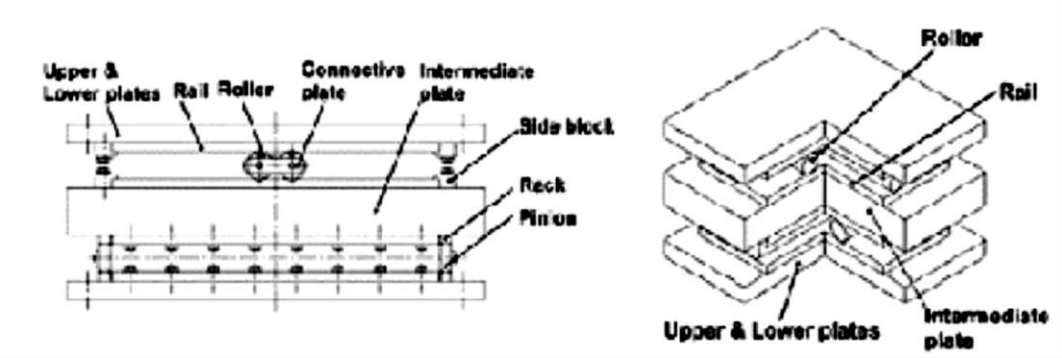
شکل ۱۰ ساختار یک سیستم جداساز لرزه ای تکیه گاه لغزنده بر صفحه گرد را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است، این جداساز به طور کلی متشکل از ورق های مقعر، یک لغزنده، مصالح لغزنده و روکش ضدغبار است.



شکل ۱۰: ساختار یک جداساز لرزه ای با تکیه گاه لغزنده بر صفحه گرد

۳-۷- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح-نوع یک[۲]

شکل ۱۱ ساختار یک سیستم جداساز لرزه ای تکیه گاهی غلتکی مسطح را که به طور کلی متشکل از غلتک ها، ریل ها، ورق های فوقانی و تحتانی، ورق های میانی و چارچوب و دنده می باشند، نشان می دهند. سطح غلتک ها با پوشش ضدغبار پوشانده شده است.



شکل ۱۱: ساختار یک جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح-نوع یک

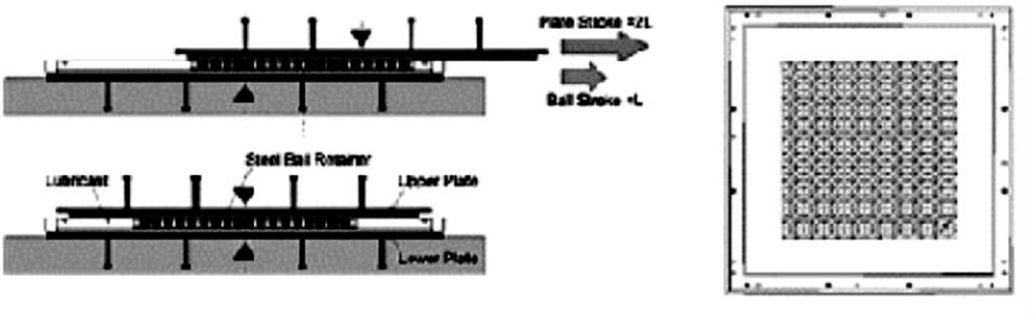
---

[۱] *Curved Plane Sliding Bearing*

[۲] *Plane roller bearing*

۳-۸- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح-نوع دو

این قطعه، یک جداساز متشکل از تعدادی تکیه گاه توپی است که با ورق های فولادی نگه داری شده اند (شکل۱۲). تا ضریب اصطکاک بسیار کمی ایجاد کنند. تعداد این تکیه گاه ها به سادگی و در طول طراحی، متناسب با بار قائم ساختمان تعیین می شود. این جداساز معمولاً در ترکیب با میراگرها و جداسازهای لاستیکی به کار می رود.



شکل ۱۲: ساختار یک جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی مسطح –نوع دو

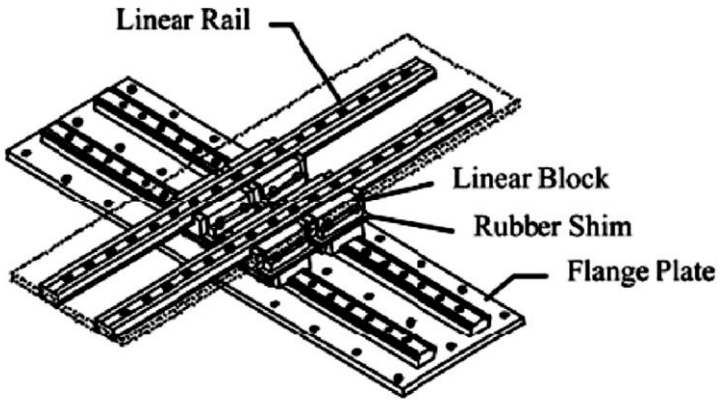
۳-۹- سیستم جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی ریلی[۱]

این جداساز، از دو جداساز خطی با اصطکاک کم که بین دو ریل خطی متقاطع قرار گرفته است، تشکیل شده است. این ریل های غلتکی تکیه گاهی ضرایب اصطکاک بسیار کمی دارند و نیروی برشی بسیار کمی ایجاد می کنند.

مهمترین مشخصه این ریل های متقاطع، این است که این جداسازها می توانند نیروهای کششی و فشاری را متحمل شوند. این جداسازها اغلب در ترکیب با میراگرها یا جداسازهای لاستیکی به کار می روند. شکل۱۳ یکی از این جداساز ها را که از چهار بلوک و چهار ریل تشکیل شده است، نشان می دهد.

---

[۱] *Rail roller bearing*



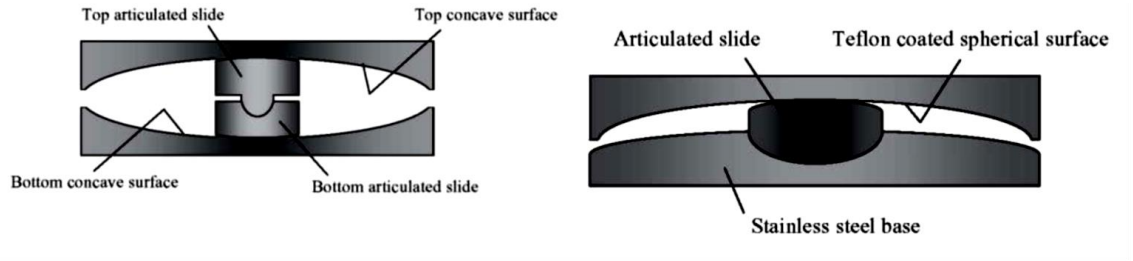
شکل ۱۳: ساختار یک جداساز لرزه ای با تکیه گاه غلتکی ریلی

۳-۱۰- سیستم جداساز لرزه ای پاندول اصطکاکی[۱]

تکیه گاه های اصطکاکی اولیه متشکل از دو سطح صاف با قابلیت لغزش نسبت به هم بودند. نیروی مقاوم در برابر بار خارجی اعمال شده از حاصلضرب ضریب اصطکاک و بار قائم وارده بدست می آید. بزرگترین نقطه ضعف سیستم اصطکاکی مسطح، عدم بازگشت ساختمان به موقعیت اولیه پس از زلزله است. برای حل این مشکل از سطح لغزش مقعر یا بخشی از سطح کره استفاده می گردد. به این نوع سیستم ها سیستم پاندول اصطکاکی اطلاق می گردد که در شکل ۱۴نشان داده شده اند. سطح کروی معمولاً دارای پوشش تفلونی با ضریب اصطکاک حدود ۳٪ می باشد. بدلیل داشتن سطحی مقعر، در اثر اعمال نیروی جانبی تغییر مکان در هر دو جهت افقی و قائم مشاهده می گردد. هنگامیکه اثر نیروی خارجی از بین می رود، مولفه مماس بر سطح مقعر نیروی قائم به عنوان نیروی بازگرداننده عمل کرده و تکیه گاه را به موقعیت اولیه هدایت می نماید. مقدار نیروی قائم و سرعت اعمال بارگذاری از جمله پارامترهای موثر بر ضریب اصطکاک هستند، بطوریکه با افزایش بار قائم وارده کاهش یافته و در سرعت های بالای بارگذاری به شدت افزایش می یابد. یکی از مزایای این سیستم هزینه نگهداری پایین آن است. پوشش تفلون از زنگ زدن فولاد سطح لغزش جلوگیری می نماید و با توجه به اینکه لغزش معمولاً تنها در هنگام زلزله رخ می دهد نیازی به تعویض آن در طول عمر مفید سازه نمی باشد. همچنین تغییرات دما و گذشت زمان تاثیر چندانی در خصوصیات مکانیکی تکیه گاه ندارد. در شکل۱۴ با دو سطح مقعر مشاهده می گردد. در اینحالت به دلیل استفاده از دو سطح مقعر می توان با تکیه گاه های کوچکتر میزان جابجایی مورد نظر را تامین نمود.

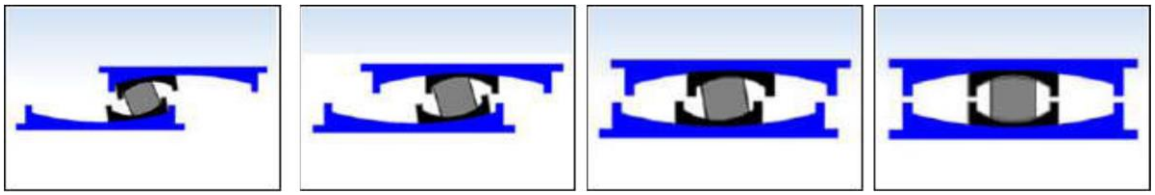
---

[۱] *Friction Pendulum System (EPS)*



شکل ۱۴: جداساز پاندولی-اصطکاکی (سمت راست) و جداساز پاندولی اصطکاکی دوگانه (سمت چپ)

اخیراً نوع جدیدی از این جداسازها را ارائه شده است که به سیستم جداساز آونگی اصطکاکی سه گانه معروف است. در شکل۱۵ نحوه عملکرد آن تحت شرایط مختلف نشان داده شده است.



حالت سکون	حرکت آونگ داخلی در سطح زلزله بهره برداری	حرکت آونگ پایینی در سطح زلزله طراحی	حرکت آونگ بالایی در سطح حداکثر زلزله معتبر (*MCE*)

شکل ۱۵: جداساز پاندولی اصطکاکی سه گانه

۳-۱۱- مزایا و معایب جداسازها

در جدول ۱ مزایا و معایب جداسازی لرزه ای متداول مورد اشاره قرار گرفته است. لازم به ذکراست که هرچند برخی از معایب ممکن است در حالت کلی برای تمام ابزارها مطرح باشند ولی برخی از تولیدکنندگان با استفاده از فرآیندهای خاصی برای تولید، این معایب را مرتفع ساخته اند. به عنوان مثال، اصطکاک استاتیکی یک ناکارآمدی ذاتی در جداسازهای با تکیه گاه های لغزنده است ولی تولید کنندگان با تولید وسایلی از جمله *Friction Pendulum System* توانسته اند نوعی از جداساز با تکیه گاه لغزنده را بسازند که این مشکل را ندارد.

برخی از مواردی که در جدول ۱ آمده است، نقص ذاتی ابزارها نیستند ولی ممکن است در طراحی برای برخی پروژه ها به عنوان عیب یا نقص یا ناکارآمدی مطرح باشد. به عنوان مثال، *LRB*ها و *HDR*ها لنگرهای اولیه و ثانویه ای ایجاد می کنند که به طور متناسب) مساوی (در بالا و پائین جداساز تقسیم می شوند و لذا، این لنگرها یابد در طراحی فونداسیون و روسازه مدنظر قرار گیرند. در سیستم های لغزنده نیز، لنگر $P-\Delta$ ایجاد می شود که جداساز باید طوری تعبیه شود که یا تمام این لنگر به فونداسیون منتقل شود و سازه از این لنگر، چیزی محتمل نشود و یا برعکس.

مزایا و معایبی که به طور کلی در این جدول بیان شده اند، ممکن است جامع و کامل نباشند. در هر پروژه ای، برخی مشخصات حائز اهیمت خواهد بود، به همین دلیل نمی توان یک قانون خاصی را برای ارزیابی ابزارهای متفاوت آنهم در فاز اولیه طراحی تعیین نمود. به طور کلی همواره این مسئله مورد اهمیت است که حداقل طرح اولیه برای انواع متفاوتی از سیستم های جداساز به درستی انجام شود تا بتوان در خصوص طرح بهینه تصمیم گیری نمود.

٤- جانمائی جداسازها در ساختمان ها

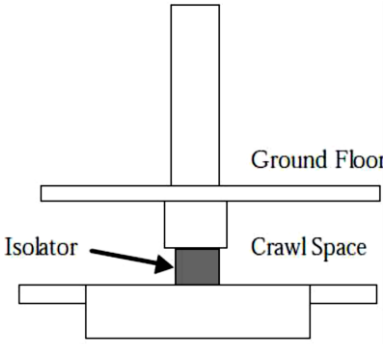
جانمائی جداسازها، بسته به اینکه در سازه های ساختمانی، سازه های معماری، پل ها یا سازه های غیرساختمانی موارد به کار می روند ، متفاوت است. در این بخش، به طور خاص برروی جانمائی جداسازها در سازه های ساختمانی پرداخته می شود.

اصلی ترین نیاز در نصب یک سیستم جداساز این است که ساختمان بتواند نسبت به زمین ، حرکت افقی حداقل برابر با ۱۰۰ میلی متر را داشته باشد، که این مقدار در برخی موارد حتی به ۱ متر نیز رسیده است. پلان های جداسازی برای تامین چنین تغییرمکانی باید درنظر گرفته شود. هرچند تصمیم نهائی در خصوص این پلان به سازه ساختمانی مرتبط است ولی، موارد حائز اهمیت دیگری نیز وجود دارند.

مرسوم ترین ساختار پیشنهادی این است که یک دیافراگم بلافاصله بالای سیستم جداساز تعبیه شود، بدین ترتیب، بارهای زلزله می تواند در آن دیافراگم متمرکز شده و سپس در اجزاء زلزله به نسبت سختی توزیع شوند. برای ساختمانی بدون زیرزمین، جداسازها در تراز روی فونداسیون نصب می شوند و سازه روی آن اجرا می‌شود (شکل۱۷). فاصله سیار معمولاً به قدری بلند در نظر گرفته می شود که نظارت و تعمیر و بازسازی جداسازها میسر باشد، این ارتفاع در حدود ۱,۲ تا ۱,۵ متر توصیه می‌شود. در شکل نمونه ای از این فضای ایجاد شده در یک پروژه عملی دیده می شود. باید توجه داشت که در فاصله قائمی (سیار) که برای جداساز تعبیه می شود، مسائلی از قبیل تغییر شکل های بلند مدت ناشی از خزش در جداساز، تغییر شکل های ناشی از تغییر دما، تغییر شکل های قائم ناشی از نوسانات جانبی سازه و ملاحظات مربوط به نصب و نگهداری در نظر گرفته شود که در عمل مورد آخر تعیین کننده است.

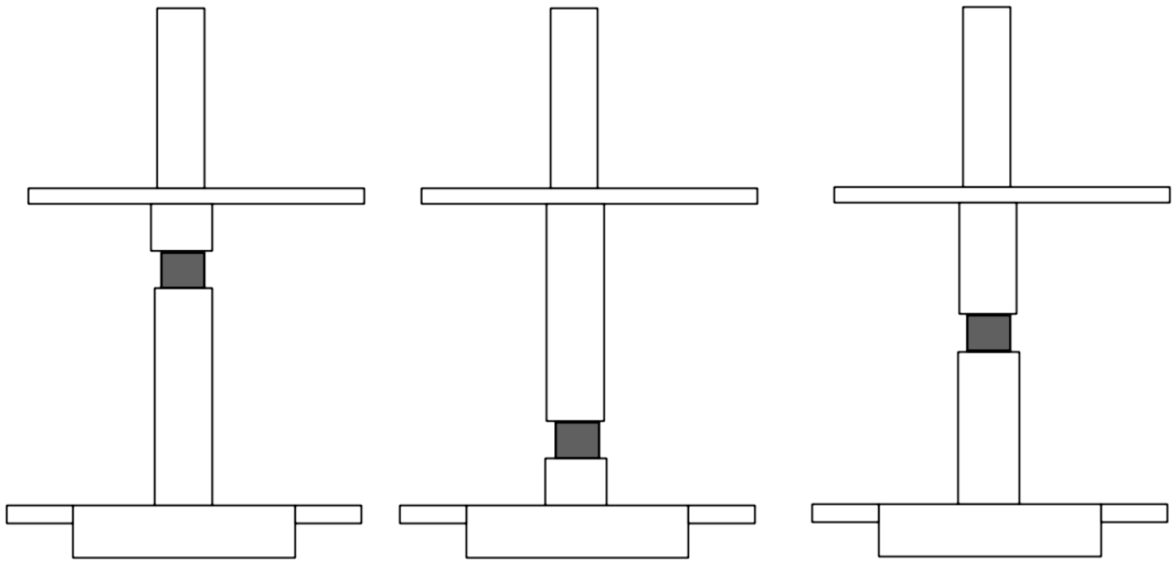
جدول ۱: مزایا و معایب ابزارهای جداسازی لرزه ای

نوع جداساز	مزایا	معایب
جداسازهای با تکیه‌گاه الاستومری	شتاب روسازه اندک هزینه اندک	تغییرمکان‌های بزرگ میرائی اندک بدون مقاومت در برابر بارهای سرویس لنگر P-Δ در بالا و پائین
جداسازهای الاستومری با میرائی بالا	شتاب روسازه متوسط مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی متوسط تا زیاد	سختی وابسته به کرنش و میرائی تحلیل پیچیده محدوده کمی از سختی و میرائی تغییر در مشخصات با scragging لنگر P-Δ در بالا و پائین
جداسازهای سرب-لاستیکی	شتاب روسازه متوسط محدوده وسیعی از سختی و میرائی	تغییر در مشخصات چرخه‌ای لنگر P-Δ در بالا و پائین
جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مسطح	Low Profile مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی بالا لنگرهای P-Δ در بالا یا پائین	شتاب روسازه زیاد مشخصات تابعی از سرعت و بار فشاری Sticking بدون نیروی بازدارنده
جداسازهای تکیه‌گاهی لغزنده مدور	Low Profile مقاومت در برابر بارهای سرویس میرائی متوسط تا زیاد لنگرهای P-Δ در بالا یا پائین پاسخ پیچشی کاهش‌یافته	شتاب روسازه زیاد مشخصات تابعی از سرعت و بار فشاری Sticking
جداسازهای تکیه‌گاهی غلتکی و توپی	هیچ تولید کننده‌ای وجود ندارد	
Sleeved Piles	با هزینه کمتر (احتمالاً) موثر در تامین انعطاف‌پذیری	نیازمند استفاده مناسب میرائی کم بدون مقاومت در برابر بارهای سرویس
میراگرهای هیسترزیس	کنترل‌کننده تغییرمکان ارزان قیمت	افزودن نیروی سیستم
میراگرهای ویسکوز	کنترل‌کننده تغییرمکان افزودن نیروی بسیار کمتری به سیستم، در مقایسه با میراگر هیسترزیس	گران قیمت با دسترسی محدود



شکل ۱۶: ساختمان بدون زیر زمین

در ساختمان های دارای زیرزمین، گزینه هایی برای نصب جداسازها در بالا، پایین و یا میانه ستون ها و دیوارهای زیرزمین وجود دارد (شکل۱۸). در شرایطی که جداساز در قسمت فوقانی یا تحتانی ستون/دیوار نصب خواهد شد، المان ستون/دیوار باید برای ممان خمشی طره ناشی از نیروی برشی جداساز طراحی شود. به همین دلیل، سطح مقطع قابل توجهی برای این المان مورد نیاز است که در برخی موارد نیاز به تعبیه پدستال برای تحمل نیروها خواهد بود.



شکل ۱۷: نصب در زیر زمین

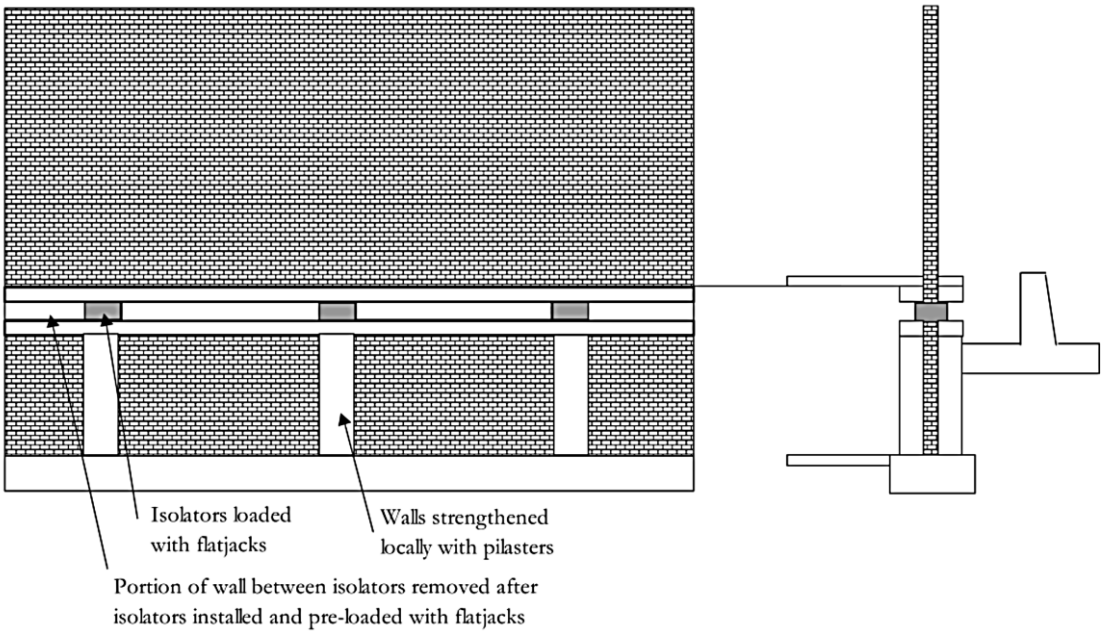
تعبیه جداساز در وسط ستون/دیوار این مزیت را خواهد داشت که نیروها در دو ناحیه فوقانی و تحتانی تقسیم می شوند، اگرچه در این شرایط اثر $P-\Delta$ وارد محاسبات می شود.

در صورتیکه در ساختمان های دارای زیرزمین، برای انتخاب صحیح از نوع جداساز و سختی آن، توجه مناسبی به عمل آید، می توان نیازهای المان های سازه ای را به حداقل رساند. به عنوان مثال ، در صورت استفاده از سیستم LRB، در محل اتصالات گوشه دیوارها، استفاده از هسته های بزرگ برای جداساز مناسب می باشد ،چون این نواحی مقاومت بیشتری در برابر نیروهای زلزله دارند. حال آنکه، المان های آسیب پذیرتر، از جمله

ستون های میانی، را می توان با جداسازهایی به هسته های کوچکتر و یا حتی بدون هسته تجهیز کرد. از آنجا که با وجود دیافراگم، تغییرمکان یکسانی در تمام جداسازها ایجاد می شود، بنابراین نیرو در ستون های میانی به شدت کاهش خواهد یافت.

در صورتیکه المان های زیر سطح جداسازی، انعطاف پذیر هستند، ممکن است نیاز به اصلاح عملکرد سیستم جداسازی باشد، زیرا تغییرمکانی بیشتر از تغییرمکان جداساز، در آن المان ها رخ خواهد داد. این اعضا باید در مدلسازی سازه ای مدنظر قرار گیرند.

انتخاب پلان جانمائی جداسازها برای مقاوم سازی ساختمان های موجود، روندی همانند روند مطرح شده برای ساختمان های جدید خواهد داشت ولی معمولاً در این شرایط، محدودیت هایی وجود خواهد داشت. هم چنین، علاوه بر جانمائی، مقاوم سازی المان های متاثر از حضور جداساز لرزه ای، از جمله لنگر های خمشی مرتبه دوم، عملکرد دیافراگمی در سطح فوقانی جداسازها و ظرفیت زیرسازه در تحمل حداکثر نیروهای جداساز، باید مورد توجه قرار گیرد. در شکل۱۹ برخی از این موارد به طور شماتیک نشان داده شده است و پیش بینی می‌شود در تمام پروژه های مقاومسازی، حداقل برخی از این موارد، مواجه شود.

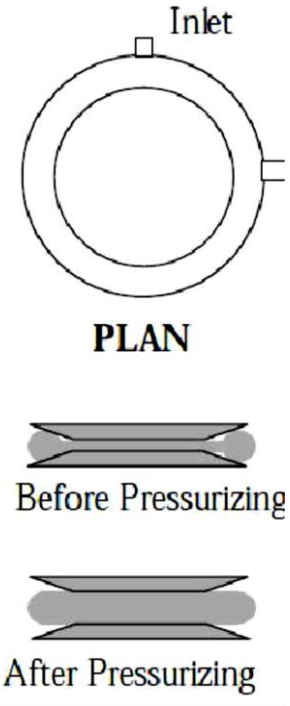


شکل ۱۸: مفاهیم نصب سیستم مقاوم سازی

علاوه بر این، توجه به این نکات ضروری است:

۱- جداسازها باید به سازه موجود متصل شوند و سازه موجود باید برای نصب جداسازها، در برخی موارد به طور موضعی تخریب شود. در نصب جداسازها روی ستون، نیاز به تامین مهارهای موقت برای مقاومت در برابر بار ستون ها می باشد، همچنین، در سازه های دیواری، ممکن است بتوان بازشوهای در دیوار تعبیه کرد تا نصب جداساز صورت بگیرد و سایر فضای دیوار، بار وارده را متحمل شود. دیوار بین جداسازها، پس از نصب جداساز از میان برداشته خواهد شد.

۲- بار ثقلی باید روی جداسازها توزیع شود. معمولاً این امر با استفاده از جک های مسطح ، که کپسول های هیدرولیکی هستند که به شکل دو نعلبکی تخت روی هم قرار گرفته در آمده اند، انجام می شود. ورق های فشاری لغزنده در بالا و پایین تعبیه می شوند (شکل۲۰). ورق های بالا و پائین با اعمال نیروی هیدرولیکی از هم دور می شوند. این فشارهای هیدرولیکی می تواند با استفاده از روغن انجام شود ولی در بسیاری از پروژه های جداسازی، گروت اپوکسی در جک ها استفاده می شود و جک ها به طور دائم در محل باقی می مانند.



شکل ۱۹: جک مسطح

۳- برای نصب جداسازها در دیوارها، دیوار باید در بالا و پائین جداساز مقاوم سازی شود تا اثر لنگرهای مرتبه اول و دوم، برطرف شود. در این شرایط اغلب از تیرهای بتنی پیش ساخته غیرمنشوری که در بالا

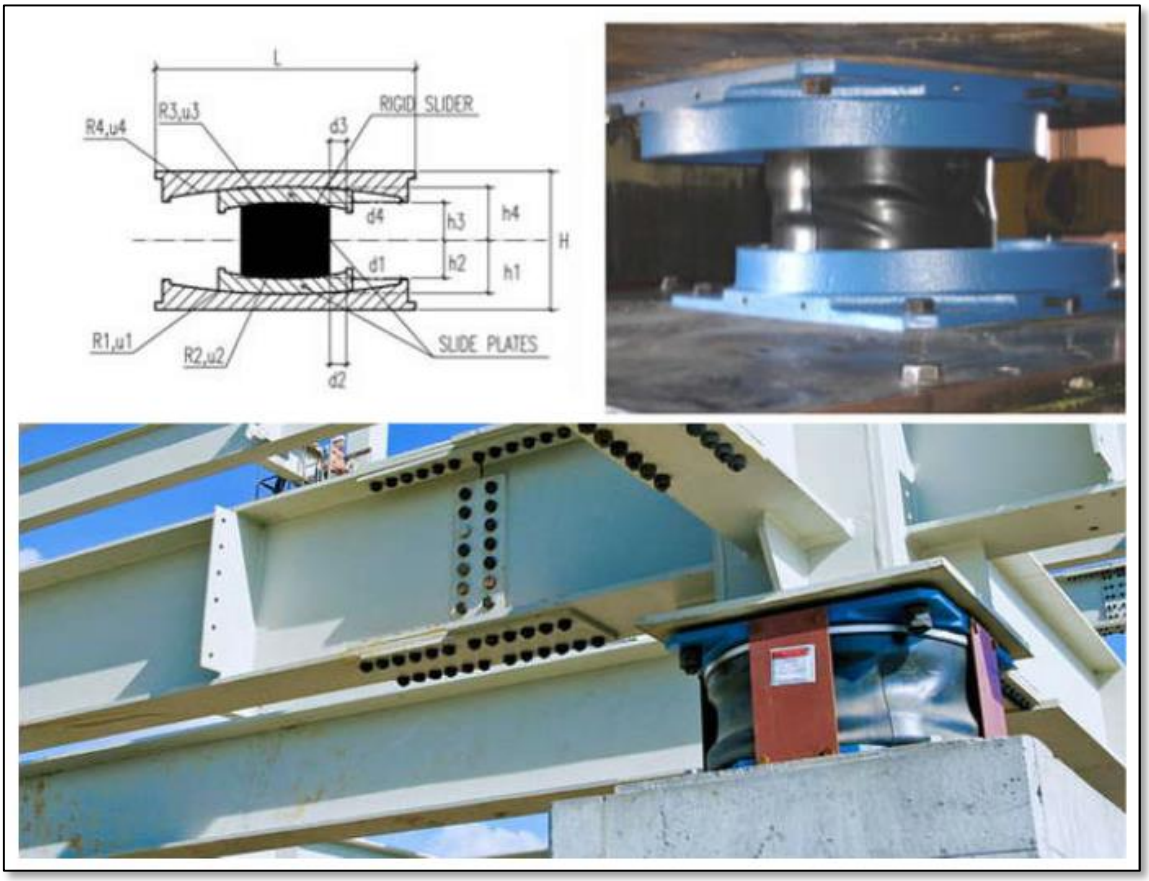
و پائین هر دو وجه دیوار موجود، نصب و مهار شده اند، استفاده می شود. این تیرها با استفاده از میله های پیش تنیده نصب می شوند.

۴- دیوارهای موجود باید برای انتقال لنگر خمشی حاصل از نیروی جداساز به المان های فونداسیون نیز مقاوم سازی شود که در این شرایط، نیاز به پدستال وجود خواهد داشت.

۵- روسازه، باید بتوان به طور آزادانه در حد حداکثر تغییرمکان مورد نیاز که بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلی متر و حتی بیشتر هست، تغییرمکان بدهد. این مسئله نیازمند آن است که یک خندق پیرامون ساختمان ایجاد شود و هم چنین، ممکن است بر انتخاب پلان جانمائی جداسازها متاثر باشد زیرا نصب جداساز در زیر دیوارهای زیرزمین، نیازمند دیوارهای باربر عمیقی است که بتواند این جابجائی را تامین کند.

۵- تصاویر اجرایی

Robinson Seismic Ltd
MIM INDUSTRIES SDN. BHD.


L
R3,u3
RIGID SLIDER
R4,u4
d3
d4
h3
h4
H
d1
h2
h1
R1,u1
R2,u2
SLIDE PLATES
d2

Dynamic floor system

The double-layered dynamic floor system is supported by base isolators, reduces seismic force and protects computers and other precision equipment. During large earthquakes, the base isolators act as a fulcrum and the entire floor floats free from the main structure of the building.