دانشکده فنی مهندسی عمران
گروه سازه

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته ی عمران گرایش سازه

**عنوان فارسی**

# استفاده از ستون های پاندولی به عنوان جداگر لرزه ای

**عنوان انگلیسی**

# Using pendulum columns as a seismic isolator

**استاد راهنما**
**آقایان دکتر برقیان – دکتر حدیدی**

**استاد مشاور**
**آقای دکتر یغمایی**

**پژوهشگر**
**عبدالله عزیزی برمس**

**بهمن ۹۳**

به نام آن که جان را فکرت آموخت

چراغ دل به نور جان برافروخت

ز فضلش هر دو عالم گشت روشن

ز فیضش خاک آدم گشت گلشن

**نام خانوادگی دانشجو:** عزیزی برمس **نام:** عبدالله

**عنوان پایان نامه:** استفاده از ستون های پاندولی به عنوان جداگر لرزه ای

**استاد راهنما:**
آقایان دکتر برقیان – دکتر حدیدی
**استاد مشاور:** آقای دکتر یغمایی

**مقطع تحصیلی:** کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** تبریز
**دانشکده:** فنی مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** بهمن۱۳۹۳ **تعداد صفحه:** ۱۲۸

**کلید واژه‌ها:** جداگر، پاندول، لرزه‌ای،

**چکیده:**

در این پایان‌نامه تأثیر افقی ستون پاندولی بر روی چندین زلزله بررسی شده است. این جداگر دو منظوره شاید اولین نسل از ستون‌های ایزوله کننده ساختمان می‌باشدکه تأثیری افقی و عمودی بر پاسخ زلزله دارد. این جداگر با قسمت ۸ (۸ فارسی) به زمین وصل می‌شود و هم ارز با تکیه‌گاه پاندول است؛ قسمت ۷ (۷ فارسی) به سقف وصل می‌شود و وزن سازه را به پایین عضو قائم ( | ) که نقش میله پاندول را دارد منتقل می‌کند. این جداگر توسط نویسنده پایان نامه طراحی شده است.

برای ۱۰ مورد زلزله متفاوت پاسخ جداگر به دست آمده و پاسخ جداگر برای زلزله‌های Northridge و Kobe در نرم افزار Etabs مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاصل از برنامه نوشته‌شده در Matlab برای زلزله‌ها با پاسخ جداگر که از نرم‌افزار Etabs به دست آمده مورد بحث قرار گرفته است و در نهایت یک سازه ۲ طبقه و قاب ۱۰ طبقه در Etabs مدل شده و پاسخ آن در حالت وجود و عدم وجود جداگر بررسی گردیده است.

نتایج نشان می‌دهد که این جداگر علیرغم سایر جداگرها اثر جابجایی زلزله را نیز در اکثر زلزله‌ها کاهش داده و شتاب را تا نزدیکی صفر کاهش و۹۵ درصد بار زلزله و شتاب زلزله کم می‌شود. استفاده از اثر ناپایدار کنندگی در سیستم روشی نوین در بهسازی است و اثر فوق العاده دارد.

## مقدمه

وقوع زلزله همواره در طول تاریخ زندگی انسان‌ها باعث ایجاد خسارات مالی و تلفات جانی زیادی شده است. تا قبل از پیشرفت صنعتی یعنی چند صده اخیر انسان‌ها با روش‌های مقابله با اثرات مخرب زلزله آشنایی نداشتند. ولی با پیشرفتی که امروزه حاصل شده است، بشر توانسته است روش‌های مناسبی برای جلوگیری از خسارت زلزله ابداع بکند.

در این راه تا کنون روش‌های بسیاری برای مقاوم ساختن سازه‌ها در برابر زلزله ابداع شده است که برخی از آن‌ها مانند نصب اعضای مهار بندی در قاب‌ها، قاب‌های خمشی و دیوارهای برشی رواج بیشتری یافته است. اکثر این روش‌ها بر این اساس استوار است که نیروی ناشی از زلزله از طریق پی به سازه منتقل‌شده و سپس این نیروها میان عناصر خاصی که به این منظور در سازه قرار داده شده است توزیع و توسط آن‌ها تحمل شود. در این روش سازه به طور کامل تحت تأثیر نیروی زلزله قرار می‌گیرد. با وجود کاربرد این تمهیدات در سازه‌ها برای مقابله با زلزله، گاه شدت زلزله چنان زیاد است که این‌گونه سازه‌ها هم دچار خسارت شدید شده و تخریب می‌گردد. اگر سازه در برابر این نوع زلزله‌ها هم مقاوم باشد باید از مصالح با مقاومت بیشتر و شکل‌پذیری بیشتر استفاده کرد که این موضوع باعث افزایش هزینه بیش از اندازه می‌گردد.

از جمله روش‌های دیگر برای کنترل پاسخ سازه‌ها، می‌توان از سیستم‌های کنترل‌فعال و غیرفعال نام برد که با روش‌هایی غیر از افزایش مقاومت و ظرفیت سازه در این خصوص عمل می‌نماید. در روش کنترل فعال با استفاده از سیستم‌های هوشمند، همزمان با وقوع زلزله نیروهای لازم به گونه‌ای به سازه اعمال می‌شود که تأثیر زلزله و نیروهای ناشی از آن را به سازه، به حداقل ممکن کاهش دهد. در روش کنترل غیرفعال با استفاده از ابزار و یا طرح خاص سازه موجب کاهش نیروی وارده به سازه در زمان وقوع زلزله می‌شوند.

در مورد این دو روش می‌توان گفت به علت هزینه‌های زیاد و مشکلات فنی، ایده‌ی روش کنترل-فعال در حالات معدودی عملاً مورد استفاده قرارگرفته‌اند. از طرف دیگر روش‌های مختلف کنترل غیر-فعال و به خصوص سیستم‌های جدایش لرزه‌ای کاربردهای فراوانی در عمل داشته است.

هدف اصلی در روش جداسازی لرزه‌ای جلوگیری از انتقال مستقیم نیروی زلزله از پی به سازه می‌باشد. به همین خاطر به این روش‌ها جدایش پایه‌ای هم گفته می‌شود. در این روش چون نیروی کمی از طرف زلزله به سازه وارد می‌شود نتایج زیر را به دنبال خواهد داشت:

- کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در شتاب وارده به طبقات به وجود می‌آید.

- خسارت سازه‌ای و خسارت غیر سازه‌ای کاهش محسوسی می‌یابد.

در نتیجه جداسازی لرزه‌ای سختی جانبی سازه کاهش می‌یابد و در اثر آن پریود طبیعی سازه افزایش می‌یابد و در نتیجه افزایش پریود طبیعی، شتاب وارده به سازه از طرف حرکات زمین کاهش می‌یابد. البته امکان دارد این سیستم در بعضی حالات نظیر زلزله‌های با پریود بلند و یا سازه‌های واقع در روی خاک‌های نرم عملکرد خوبی نداشته باشد و ممکن است موجب ایجاد پدیده تشدید در سازه شود. پس باید این موارد در استفاده از این سیستم در طراحی سازه‌ها مد نظر قرار بگیرد.

در این پایان‌نامه تأثیر افقی ستون پاندولی بر روی چندین زلزله بررسی شده است و نتایج در فصل ۳ بیان گردیده است. این جداگر دو منظوره (ستون پاندولی) که شاید اولین نسل از ستون‌های ایزوله کننده ساختمان می‌باشد قبلا در سال ۹۲ توسط نویسنده پایان‌نامه ابداع و محاسبه شده است. محاسبات مربوط به این جداگر در ۲۰ صفحه ابتدای فصل ۳ بر آن فصل پیوست شده است. این جداگر تأثیری افقی و عمودی بر پاسخ زلزله دارد.

# ۱ فصل اول:

# مقدمه و پیشینه تحقیق

**مقدمه**

هدف از جداسازی، مقاوم‌سازی لرزه‌ای و بهبود رفتار سازه‌ها در قبال آثار زلزله است که این مهم می‌تواند با به‌کارگیری راهکارهای ابداعی مختلف حاصل شود. انتخاب راهکار بهینه جهت مقاوم‌سازی، درگرو شناخت درست رفتار دینامیکی سازه‌های مهندسی و انطباق آن با کاربری سازه در آینده است.

مقاوم‌سازی سازه در برابر آثار دینامیکی زلزله برخلاف روند بهسازی سازه‌ها در قبال بارهای استاتیکی، نیازمند رعایت مشخصه‌های ویژه‌ای است. مقاوم‌سازی در شرایط بهینه باید قادر به هماهنگی و انطباق ترکیبی از سه مشخصه سازه‌ای مهم شامل سختی، مقاومت نهایی و ظرفیت تغییرشکل (شکل-پذیری) باشد. روش‌های مقاوم‌سازی که تنها بر ارتقای یک مشخصه تمرکز نموده و به نتایج نامطلوب عدم توجه را داشته و به سایر عوامل بی‌اعتنا هستند، نباید در طراحی لحاظ گردند.

هدف اصلی مقاوم‌سازی باید اصلاح ضعف اصلی سازه متناسب با بهبود عملکرد لرزه‌ای آن باشد. در کنار برقراری اتصال بین اعضای سازه‌ای جدید و قدیم، مهم‌ترین جنبه این عمل (مقاوم‌سازی)، انتقال مناسب نیروی داخلی اعضا ناشی از عملکرد زلزله، به شالوده است.

علاوه بر این، راهکار مورد استفاده در مقاوم‌سازی باید بر پایه ملاحظات کاربری ساختمان در آینده باشد. در حالات خاص، خصوصیات کاربری سازه می‌تواند با اضافه نمودن اعضای سازه‌ای ضروری، بهبود یابد.

## ۱ ۱ راهکارهای توصیه‌شده برای مقاوم‌سازی [۱]

به استثناء راهکار اول یعنی بهبود منظمی سازه، سایر روش‌های مقاوم‌سازی که در ادامه معرفی می‌شوند، به لحاظ سادگی و سهولت، تنها به اصلاح یک مشخصه ویژه سازه‌ای محدود می‌شوند. (مقاومت نهایی، شکل‌پذیری، سختی، میرایی و جرم). هرچند در عمل اصلاح تنها یک مشخصه خاص سازه‌ای مد نظر نبوده و به همین دلیل در عمل روش‌های مختلف با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

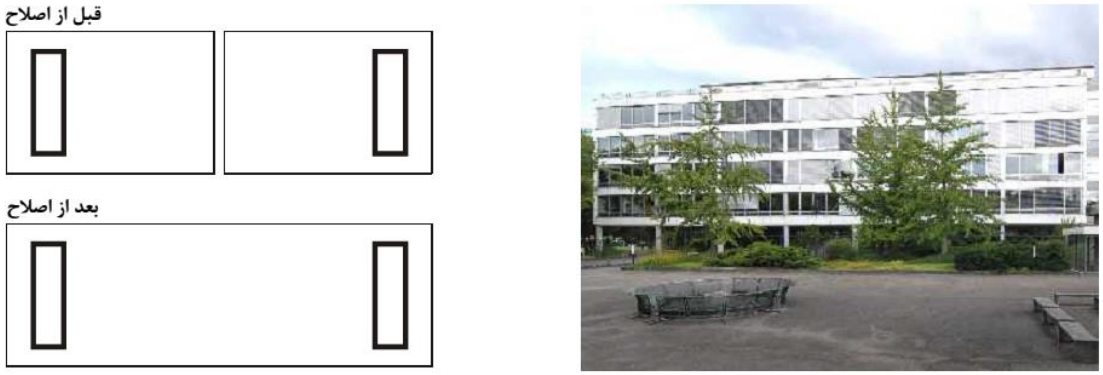
رفتار و عملکرد سازه‌ای اعضا قبل و بعد از مقاوم‌سازی، با کمک منحنی‌های ظرفیت نمایش داده می‌شود. منحنی ظرفیت روند ساده‌ای را برای تعیین نیروی جانبی افقی معادل، تابعی از تغییرمکان افقی ساختمان، ارائه نموده و امکان مقایسه بین ظرفیت تغییرشکل ساختمان و سطح تقاضای تغییرشکل

ناشی از عملکرد زلزله را فراهم می‌کند. جزییات این روش با جزییات در استاندارد (۲۰۰۵) SIA ۰۲۱ ارائه شده است.

### ۱ ۱ ۱ راهکار اول: بهبود منظمی ساختمان

اصولاً روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌ای در راستای کمک به بهبود منظمی ساختمان در توزیع سختی، مقاومت و جرم سیستم سازه‌ای در پلان و ارتفاع می‌باشند. لذا اعضای سازه‌ای جدید باید به گونه‌ای طراحی و اضافه شوند تا منظمی مورد نظر سیستم جدید سازه‌ای نیز تأمین گردد.

مثال ساده‌ای از این راهکار تبدیل دو بخش مجزای ساختمان با سیستم مهار بندی خارج از مرکز به یک مجموعه واحد و کامل با مهار جانبی متقارن است (شکل ۱-۱)، نظیر آنچه که در دبیرستان Neufeld در شهر برن انجام شده است.



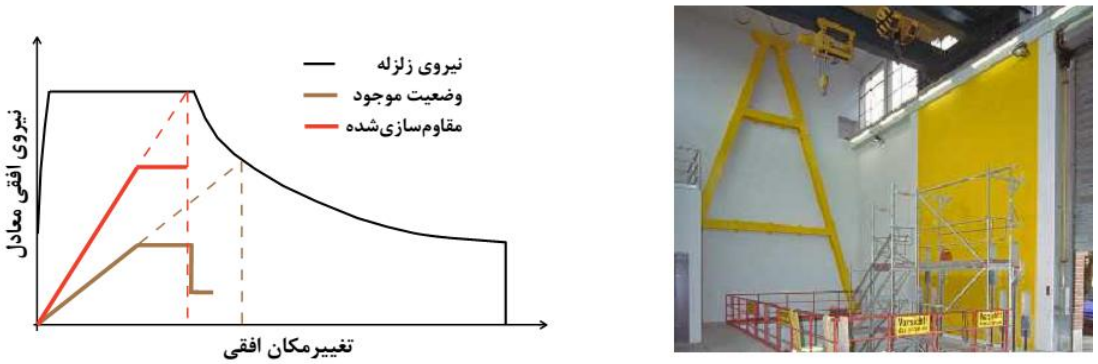

**شکل ۱-۱: راهکار بهبود منظمی ساختمان [۱]**

با از بین بردن درز انبساط، دو نیمه جداگانه ساختمان با سیستم مهار جانبی نامتقارن (قبل)، به سیستم یکپارچه‌ای با مهار جانبی متقارن تبدیل‌شده و دو هسته بتنی در دو انتهای پلان قرار گرفتند (بعد از مقاوم‌سازی).

### ۱ ۱ ۲ راهکار دوم: افزایش مقاومت سازه‌ای

روش سنتی و متعارف مقاوم‌سازی، افزایش مقاومت سیستم سازه‌ای با اضافه کردن اعضای جدید یا تقویت اعضای موجود می‌باشد که نمونه‌ای از آن اضافه کردن دیوارهای بتنی جدید یا خرپاهای فلزی است. با اتخاذ این راهکار مقاومت و سختی سازه افزایش می‌یابد، درحالی‌که ظرفیت تغییرشکل سازه عملاً بدون تغییر خواهد ماند. به واسطه افزایش سختی سازه، سطح تقاضای تغییرشکل در عملکرد زلزله می‌تواند به سطح ظرفیت تغییرشکل سیستم سازه‌ای، کاهش یابد.

رفتار نیرو - تغییرمکان در روش افزایش مقاومت به صورت ساده در شکل ۱-۲ نشان داده شده است که معمولاً منحنی ظرفیت سازه موجود و سازه تقویت‌شده خوانده می‌شود. نمونه‌ای از کارکرد این روش در ایستگاه زیرزمینی شهر بازل با تقویت قاب‌های فولادی و دیوارهای بتنی زردرنگ مطابق شکل ۱-۲ بوده است.

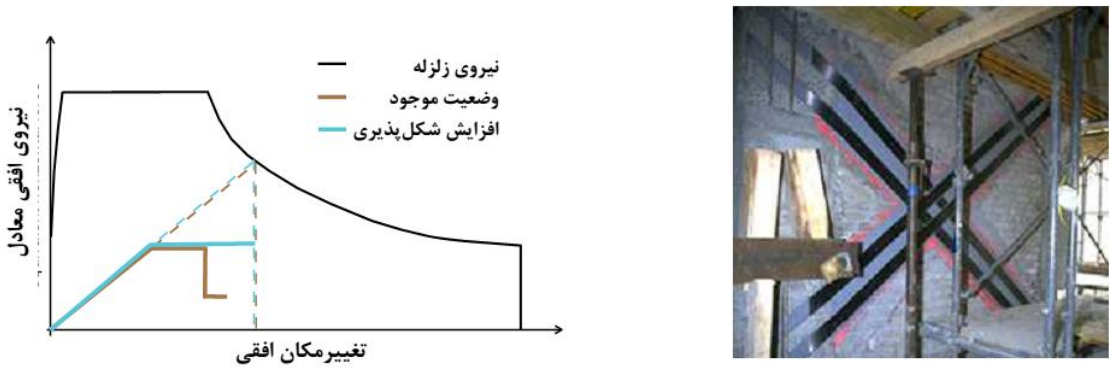



**شکل ۱-۲: منحنی ظرفیت در روش تقویت اعضا[۱]**

منحنی ظرفیت سازه موجود و سازه تقویت‌شده (نیروی افقی معادل در مقابل تغییرمکان افقی) و در کنار آن‌ها، سطح تقاضا در عملکرد زلزله نمایش داده شده است.

### ۱ ۱ ۳ راهکار سوم: افزایش شکل‌پذیری

شکل‌پذیری در تعریف ساده، ظرفیت تغییرشکل پلاستیک بعد از حد تسلیم یا پس از حد ظرفیت تغییرشکل الاستیک سازه یا عضو سازه‌ای می‌باشد. شکل‌پذیری اعضای سازه‌ای ترد یا شکننده نظیر دیوارهای بنایی، با اضافه نمودن نوارهای FRP می‌تواند به مقدار زیادی افزایش یابد. در این حالت ظرفیت تغییرشکل مقطع (الاستیک یا پلاستیک) ارتقای می‌یابد، درحالی‌که مقاومت نهایی مقطع و سختی عضو به مقدار کمی افزایش یافته است (شکل ۱-۳).




**شکل ۱-۳ : منحنی ظرفیت در روش افزایش شکل‌پذیری[۱]**

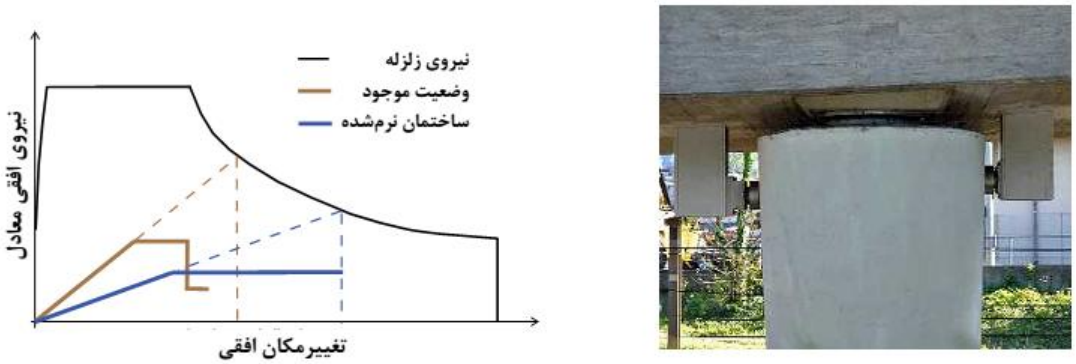
افزایش شکل‌پذیری منجر به ایجاد ظرفیت تغییرشکل پلاستیک بزرگ‌تری می‌گردد و این به معنی کشیدگی منحنی ظرفیت در امتداد افقی و مطابق با سطح تقاضای تغییرمکان ناشی از زلزله است.

شکل ۱-۳ دیوار بنایی را نشان می‌دهد که با تسمه‌هایی از جنس الیاف کربن (FRP) در یک ساختمان تجاری در شهر زوریخ مقاوم‌سازی شده است.

### ۱ ۱ ۴ راهکار چهارم: نرم سازی یا کاهش سختی

نرم‌سازی سیستم سازه‌ای از طریق کاهش سختی باعث کاهش همزمان نیروها و افزایش تغییرمکان ناشی از زلزله می‌گردد. یکی از کاربردهای عملی این روش تبدیل سیستم اتکایی طولی پل‌های چند دهانه شاه‌تیری از حالت مفصل به غلتک است (شکل ۱-۴).

جداسازی لرزه‌ای با استفاده از بالشتک‌های افقی نرم با میرایی بالا و از جنس لایه‌های پلاستیک مسلح، نمونه دیگری از کاربرد روش نرم‌سازی است. به واسطه کیفیت میرایی خوب این نوع بالشتک‌های ویژه، کاهش نیروهای ناشی از زلزله همزمان با کاهش سختی، مطابق روش ۵، اتفاق می‌افتد. یکی دیگر از روش‌های نرم‌سازی سیستم سازه‌ای، حذف کلاف‌های سخت، میان قاب‌ها یا پرکننده‌ها می‌باشد، به گونه‌ای که سیستم سازه‌ای بتواند در امتداد افقی تغییرشکل بیشتری تحمل نماید.

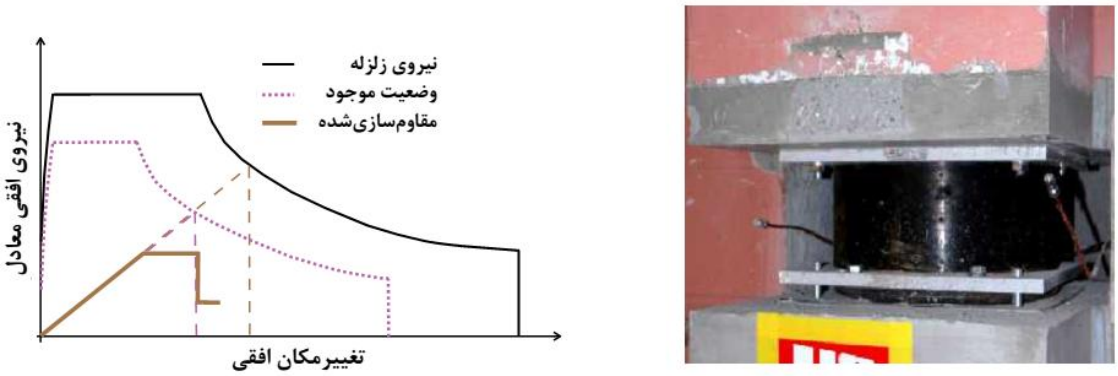



**شکل ۱-۴ : منحنی ظرفیت در روش نرم سازی[۱]**

با نرم‌سازی سازه‌ای، سختی سازه که شیب بخش ابتدایی منحنی ظرفیت است، کاهش می‌یابد. این وضعیت باعث ایجاد نیروهای کوچک‌تر و تغییرمکان‌های بزرگ می‌گردد. عکس سمت راست نمونه‌ای از سیستم تکیه‌گاهی غلتکی در امتداد طولی یک پل بزرگراهی در شهر بازل را نشان می‌دهد که با نصب کلیدهای برش افقی بر روی پایه اجرا شده است. این پل فقط دارای یک تکیه‌گاه مقید طولی در یکی از کوله‌های انتهایی است.

### ۱ ۱ ۵ راهکار پنجم: کاهش اثر زلزله با میرایی

افزایش میرایی سازه باعث کاهش آثار زلزله خواهد شد (شکل ۱-۵). این امر می‌تواند از طریق نصب میراگرهای اضافه در سازه عملی گردد. با نصب جداگرهای لرزه‌ای از نوع بالشتک‌ها و با افزایش میرایی، آثار زلزله بر سازه می‌تواند کاهش یابد به گونه‌ای که منحنی ظرفیت ساختمان موجود، ظرفت تغییرشکل کافی را نشان می‌دهد. شکل سمت راست یک بالشتک لاستیکی با میرایی زیاد را به عنوان جداساز لرزه‌ای در ایستگاه آتش‌نشانی شهر بازل نشان می‌دهد.




**شکل ۱-۵ : منحنی ظرفیت در روش افزایش میرایی[۱]**

در تکیه‌گاه‌های لرزه‌ای با سختی ناچیز در امتداد افقی، همزمان با افزایش میرایی، سختی سازه کاهش می‌یابد (راهکار ۴) که در سه مثال گذشته به آن اشاره گردید.

### ۱ ۱ ۶ راهکار ششم: کاهش جرم

در صورتی که جرم ساختمان کاهش یابد، نیروهای اینرسی کوچک‌تر شده و در نتیجه نیروهای داخلی و تنش‌های کمتری در هنگام وقوع زلزله در اعضای سازه‌ای ایجاد می‌شود. در عمل کاهش جرم از طریق سبک کردن و جمع‌آوری اجسام زائد در تراز بام و طبقات فوقانی ساختمان انجام می‌شود. هرچند در اغلب موارد به دلیل عدم امکان کاهش جرم در بعضی از فضاهای ساختمانی، این روش چندان کارایی ندارد.

اصولاً در طراحی و اجرای ساختمان باید استفاده از اجزا و مصالح سبک‌تر بر مصالح سنگین ارجح باشد، به عنوان مثال در مورد عناصر غیرسازه‌ای (در، پنجره، دیوار و جان‌پناه) این جایگزینی می‌تواند با کاربرد مصالح سبک انجام شود.

### ۱ ۱ ۷ راهکار هفتم: تغییر کاربری

کاهش نیروهای زلزله نه تنها از طریق راهکارهای سازه‌ای امکان‌پذیر است، بلکه از طریق تغییر کاربری و نوع بهره‌برداری نظیر کاهش رده اهمیت ساختمان نیز ممکن خواهد بود. به عنوان مثال بیمارستانی مهم و اضطراری با درجه اهمیت III می‌تواند به یک مرکز درمانی ساده با درجه اهمیت II یا به ساختمان مسکونی با درجه اهمیت I تبدیل شود. در این حالت نیروهای زلزله با کاهش درجه اهمیت ساختمان، کاهش می‌یابند.

## ۱ ۲ آشنایی با جداسازی پایه

### ۱ ۲ ۱ مفهوم جداسازی لرزه‌ای

در هنگام وقوع زلزله در سطح زمین شتاب‌ها و حرکات شدید به وجود می‌آید. در نتیجه، این شتاب‌ها و حرکات مستقیماً به هر جسمی که متصل به زمین باشد وارد می‌شود و هر چقدر جسم محکم‌تر به زمین وصل شده باشد هر حرکتی که زمین داشته باشد به طور کامل به آن جسم هم وارد خواهد شد به طور مثال اگر یک ساختمان به وسیله پی کاملاً در زمین محکم شده باشد هر حرکتی زمین داشته باشد همان حرکت به ساختمان منتقل می‌شود. انتقال شتاب‌های زمین به ساختمان طبق قانون نیوتن موجب ایجاد نیروی جانبی در ساختمان بسته به جرم ساختمان و سختی جانبی آن و شتاب حرکات زمین می‌شود.

هر چقدر سختی جانبی ساختمان بیشتر گردد. درصد بیشتری از شتاب زمین به سازه وارد می‌شود و در نتیجه نیروی جانبی بیشتری به سازه اعمال می‌گردد. ولی اگر مطابق با شکل ۱-۶ ستون‌های ساختمان به وسیله یک اجزائی که دارای سختی قائم مناسب ولی سختی جانبی کم هستند به پی متصل بشوند، حرکات زمین به طور مستقیم به ساختمان وارد نخواهد شد و در نتیجه نیروی جانبی کمتری به ساختمان وارد خواهد شد، که این مسئله از نظر طراحی سازه دارای اهمیت زیادی است. با اعمال این روش در حقیقت زمین حرکات خود را انجام می‌دهد، درحالی‌که ساختمان تقریباً در محل اولیه خود ساکن باقی می‌ماند و افرادی که در داخل ساختمان هستند حرکات زمین را کمتر احساس خواهند نمود. اگر از چنین سیستمی در ساختمان استفاده شود به اصطلاح گفته می‌شود که آن ساختمان جداسازی لرزه‌ای شده است.

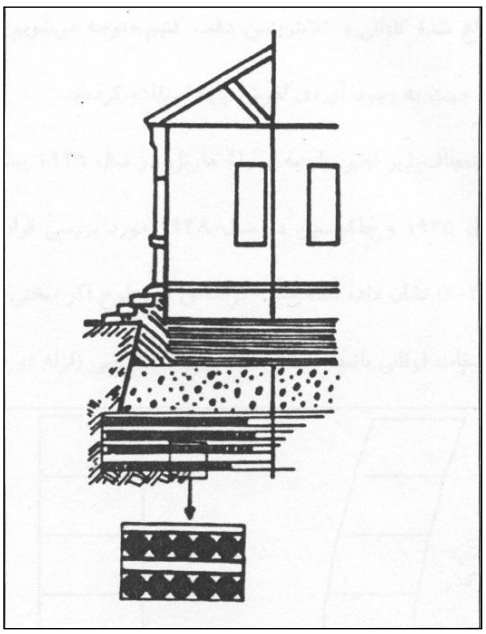
## ۱ ۲ ۲ تاریخچه جداسازی پایه

بر اساس مطالب موجود اولین سیستم جداساز لرزه‌ای توسط کاوائی در سال ۱۸۹۱ پیشنهاد شد [۲] . سازه پیشنهادی او دارای پی یکپارچه بوده و روی چندین ردیف غلتک متعامد قرار داشت. شکل ۱-۷ روش پیشنهادی او را توضیح می‌دهد. بعد از زلزله سانفرانسیسکو یک محقق انگلیسی به نام کالانترینتس۱ در سال ۱۹۰۹ مدلی برای یکی از مراکز اداری در انگلیس ارائه کرد که در آن با قرار دادن لایه‌ای از مواد نرم (تالک) بین پی و سازه فوقانی نوعی سیستم جداساز لرزه‌ای را اختراع کرد. او دریافت که جداسازی می‌تواند در کاهش شتاب انتقالی به سازه فوقانی موثر باشد اما مقداری تغییر مکان بین پی و سازه فوقانی باید اتفاق بیفتد. شکل ۱-۸ نمای طرح ابداعی او را نشان می‌دهد.

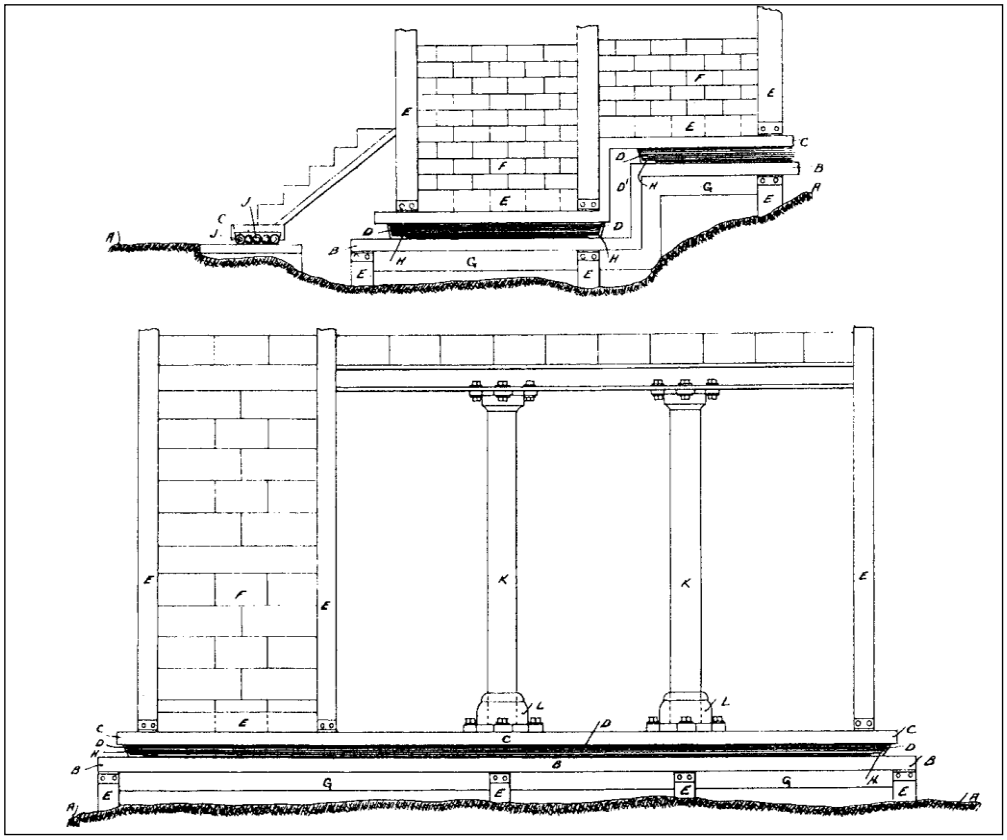
**شکل ۱-۶ : استفاده از جداساز لرزه‌ای در زیر ستون‌های ساختمان جهت کاهش نیروی زلزله**

**راست) با جداگر - چپ) بدون جداگر[۳]**

1. Calantarients



**شکل ۱-۷ : سیستم جداسازی لرزه‌ای پیشنهادشده توسط کاوائی ۱۸۹۱[ ۴]**



**شکل ۱-۸ : سیستم لغزشی ابداع‌شده توسط کالانترینتس [۵]**

در سال ۱۹۶۹ ساخت یک مدرسه ابتدایی در مقدونیه انجام شد. این سازه اولین ساختمان در جهان است که جداسازی ارتعاشی با لاستیک در آن انجام شده است. در آن زمان تحقیق در مورد بالشتک‌های الاستومری در حال انجام شدن بود و برای همگان شناخته‌شده نبود. بالشتک‌های لاستیکی که وزن سازه را تحمل می‌کردند کاملاً غیرمسلح بودند و در نتیجه این بالشتک‌ها زیر سازه در اثر وزن سازه شکم دادند. در یک زلزله ساختمان احتمالاً در جهت قائم ونیز در جهت جانبی نوسان خواهد کرد. این به دلیل برابر بودن سختی قائم و جانبی الاستومر خالص می‌باشد [۴].

در سال‌های اخیر تقویت ساختمان‌های تاریخی و مهم یک امر بسیار رایج گردیده است. ساختمان-های زیادی در آمریکا با استفاده از لغزنده‌ها بدین منظور تقویت‌شده‌اند. با تقویت ساختمان شهرداری San Francisco با استفاده از لغزنده‌ها، این ساختمان که یک ساختمان ۲۸ طبقه با قاب فولادی است، تبدیل به بلندترین ساختمان جداسازی شده گردید. در ساخت‌وساز جدید نیز از جداسازی ارتعاشی برای طراحی استفاده می‌شود. در ساختمان‌های زیادی از بالشتک‌های لاستیکی با میرایی زیاد استفاده شده است. مزایای استفاده از چنین روش‌هایی با زلزله‌های اتفاق افتاده در سازه‌هایی که در آن از جداسازی استفاده شده است، امروزه تا حد زیادی مشخص گردیده است. برای مثال بیمارستان USC که در مرکز لس‌آنجلس واقع است یک ساختمان ۸ طبقه بوده که بعد از زلزله نورثریج کالیفرنیا همچنان استوار باقی ماند. علاوه بر استوار ماندن، این ساختمان به عملکرد خود نیز ادامه داد. درحالی‌که ساختمان‌های مشابه با طراحی مرسوم فروریختند زلزله Kobe در ژاپن موثر بودن جداسازی ارتعاشی را در آن کشور اثبات کرد. یک مرکز کامپیوتر و یک ساختمان آزمایشگاه درحالی‌که بین آوار ساختمان‌های مجاور احاطه‌شده بودند همچنان پابرجا باقی ماندند [۶]. در سال‌های اخیر مشخص شده است که جداسازی ارتعاشی برای مقابله با زلزله می‌تواند بسیار مفید باشد.

هزینه نصب سیستم‌های جداساز بسیار گران است به طوری که فقط در مراکز بااهمیت از آن‌ها استفاده می‌شود (مثل بیمارستان‌ها و مراکز اداری و تجهیزات گران‌قیمت). هزینه زیاد استفاده گسترده از جداسازی ارتعاشی را در انواع ساختمان‌ها مثل خانه‌ها و مدارس و انواع دیگر محدود کرده است. مطلوب است که هزینه این‌چنین سیستم‌هایی کاهش داده شود تا امکان استفاده از جداسازی در انواع سازه‌ها مقدور گردد.

### ۱ ۲ ۳ اثر جداسازی لرزه‌ای بر روی عملکرد دینامیکی سازه

اکثر زلزله‌ها دارای زمان تناوب غالب در حدود ۰/۱ الی ۱ ثانیه هستند [۶]. زمان تناوب غالب برای هر زلزله خاص تعریف می‌شود و به این معنی است که اگر یک سازه یک درجه آزادی دارای زمان تناوب برابر با زمان تناوب غالب زلزله مد نظر تحت شتاب همان زلزله قرار گیرد. بیشترین مقدار شتاب در سازه به وجود خواهد آمد و اگر زمان تناوب سازه بیشتر و یا کمتر از زمان تناوب غالب زلزله باشد حتماً شتاب وارده به سازه در اثر وقوع آن زلزله کمتر از حالت ذکرشده خواهد بود. از طرفی، زمان تناوب طبیعی اکثر سازه‌های کوتاه و متوسط (در حدود چند طبقه) در این محدوده قرار دارد. بنابراین در این نوع سازه‌ها امکان وقوع پدیده تشدید وجود دارد و در نتیجه این سازه‌ها در محدوده فوق آسیب‌پذیر هستند. مهم‌ترین امتیاز جداگرهای لرزه‌ای در این است که با انعطاف‌پذیری زیاد خود زمان تناوب طبیعی سازه را افزایش می‌دهند و در نتیجه زمان تناوب طبیعی سازه از ناحیه زمانی دارای خطر تشدید دور می‌گردد و در نتیجه پاسخ شتاب سازه کم می‌شود. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که جداسازی لرزه‌ای برای سازه‌های کوتاه مفیدتر و توجیه‌پذیرتر از سازه‌های با ارتفاع زیاد که دارای زمان تناوب زیاد هستند می‌باشد و به همین خاطر است که اصولاً موضوع جداسازی لرزه‌ای در سازه‌های کوچک و یا متوسط مطرح است و در سازه‌های بلند استفاده از آن توجیه‌پذیر نیست.

با وجود این که با استفاده از سیستم جداسازی لرزه‌ای می‌توان شتاب وارده به سازه را کاهش داد ولی در صورت استفاده از این سیستم معمولاً تغییرمکان حداکثر ایجادشده در سازه افزایش می‌یابد. این مسئله را شاید بتوان یکی از معایب روش جداسازی لرزه‌ای به حساب آورد. برای کاهش تغییرمکان‌های ایجادشده در سازه در اثر زلزله استفاده از میراگرهای انرژی می‌تواند مفید واقع شود. از این رو استفاده از میراگر در سازه‌های دارای سیستم جداسازی ارتعاشی حائز اهمیت خاصی می‌باشد.

### ۱ ۲ ۴ اجزا اصلی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

به طور کلی سیستم‌های جداساز لرزه‌ای از سه قسمت اصلی زیر تشکیل‌شده‌اند:

الف- تکیه‌گاه نرم به طوری که پریود طبیعی سازه افزایش یابد و در نتیجه نیروهای ناشی از زلزله کاهش یابد.

ب- قسمت میرا کننده یا تلف کننده انرژی، طوری که تغییرمکان نسبی بین سازه و زمین در یک مقدار قابل قبولی محدود گردد.

ج- عنصری که در برابر بارهای کوچک نظیر بارهای بهره‌برداری زلزله‌های کوچک و یا بار باد سختی جانبی مناسب در سازه ایجاد نماید.

### ۱ ۴ ۲ ۱ تکیه‌گاه نرم

یکی از اجزای اصلی سیستم جداساز لرزه‌ای تکیه‌گاه نرم می‌باشد. این تکیه‌گاه طوری است که به اندازه کافی سختی قائم در برابر بارهای ثقلی را دارا می‌باشد ولی دارای سختی کمی در برابر نیروهای افقی است. تاکنون شیوه‌های مختلفی برای ایجاد تکیه‌گاه پیشنهاد شده است که در ادامه انواع آن مورد بحث قرار خواهد گرفت. هر چه قدر سختی جانبی این تکیه‌گاه‌ها کمتر باشد نیروی وارده از طرف زلزله کمتر خواهد بود ولی باید توجه داشت که کاهش سختی جانبی در ساختمان موجب افزایش تغییرمکان نسبی بین سازه و پی می‌گردد. که ممکن است از حد قابل‌قبول تجاوز نماید. در سازه‌های دارای سیستم جداسازی لرزه‌ای استفاده از میراگر انرژی روش مفیدی برای کاهش تغییرمکان نسبی می‌باشد. به همین خاطر استفاده از میراگر در این سازه‌ها دارای اهمیت خاصی است.

### ۱ ۴ ۲ ۲ میراگر

قبلاً گفته شد که یکی از پیامدهای استفاده از جداگر ارتعاشی در سازه به وجود آمدن تغییرمکان نسبی زیاد بین سازه و پی می‌باشد. با افزایش میرایی می‌توان مقدار تغییرمکان‌های به وجود آمده را کاهش داد. علت کاهش تغییرمکان نسبی در حالت استفاده از میراگر این است که انرژی موجود در سازه که می‌تواند موجب تولید حرکات شدید در سازه شود به صورت انرژی گرمایی در میراگر تلف‌شده و از بین می‌رود. روش‌های مختلفی برای میرا کردن انرژی جنبشی ساختمان وجود دارد که بسته به شرایط هر کدام ممکن است استفاده بشود.

### ۱ ۴ ۲ ۳ صلبیت در برابر بارهای جانبی کوچک

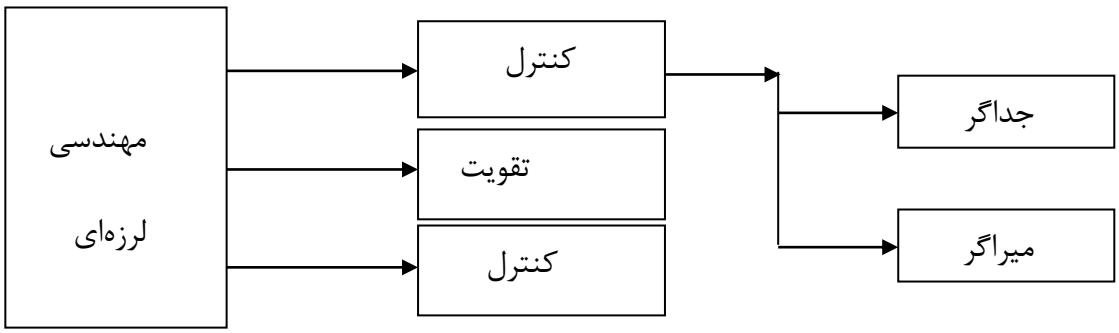
وجود انعطاف‌پذیری جانبی در برابر بارهای زلزله شدید امری مطلوب می‌باشد اما واضح است که ارتعاش سازه در برابر بارهای کوچک و بارهای بهره‌برداری سازه و یا زلزله‌های خفیف امری نامطلوب است و لازم است که از آن جلوگیری به عمل آید. برای ایجاد این ویژگی روش‌های مختلفی وجود دارد. عملکرد برخی روش‌های ایزوله‌سازی مانند باشتک‌های سربی لاستیکی طوری است که شرایط ذکرشده را خودبه‌خود تأمین می‌نمایند. این بالشتک‌ها در بارهای کم سختی جانبی قابل قبولی از خود نشان می‌دهند ولی وقتی بار جانبی از یک مقدار مشخص بالاتر رفت قسمت سربی تسلیم‌شده و سختی جانبی

کاهش می‌یابد. به این ترتیب سازه در برابر بارهای کم سختی مناسب داشته ولی در برابر بارهای شدید از خود انعطاف‌پذیری نشان می‌دهد[۷].

## ۱ ۳ انواع جداگرهای لرزه‌ای

بالشتک‌ها در انتقال بارهای وارده از محیط، نظیر دما و نیز بارهای وارده را از سازه به پی و نهایتاً به زمین مقدور می‌سازند. در انجام این عملکرد بالشتک‌ها ضمن اینکه از حرکت‌های نامطلوب (تغییر مکان‌های لرزه‌ای) بایستی جلوگیری کنند باید حرکت‌های پیش‌بینی‌شده را نیز تحمل کنند (انبساط و انقباض دمایی). همچنین به دلیل اینکه تغییرمکان یک درز انبساطی مجاور بایستی با محدودیت حرکت بالشتک سازگار باشد، بالشتک‌ها و درزهای انبساطی بایستی در ارتباط باهم طراحی شوند و نیز بایستی با رفتار کلی پیش‌بینی‌شده برای سازه مطابقت داشته باشند.

### ۱ ۳ ۱ نمودار مهندسی لرزه‌ای




### ۱ ۳ ۲ جداگرهای الاستومری

#### ۱ ۲ ۳ ۱ جداگرهای الاستومری خالص

یکی از جداگرهای ساده و معمول، تکیه‌گاه‌های لاستیکی است. جداگرهای الاستومری خالص از لاستیکی ساخته‌شده‌اند که کاملاً غیرمسلح است و وزن سازه را به تنهایی تحمل می‌کند در نتیجه این بالشتک‌ها زیر سازه در اثر وزن سازه شکم می‌دهند در طی یک زلزله، این امکان وجود دارد که ساختمان در جهت قائم و نیز در جهت جانبی نوسان نماید و این به دلیل برابر بودن سختی قائم و جانبی الاستومر خالص می‌باشد.

**شکل ۱-۹ : بالشتک الاستومری خالص[۸]**

### ۱ ۲ ۳ ۲ جداگر الاستومری مسلح شده با فولاد[۹]

بالشتک‌های الاستومری از لاستیک طبیعی یا مصنوعی (نئوپرن) ساخته می‌شوند و دارای دو صفحه ضخیم فولادی در بالا و پایین و صفحات نازک فولادی متعدد هستند. لاستیک پس از ولکانیزه شدن، در یک مرحله تحت فشار و دمای زیاد در قالب به فولاد چسبانده می‌شود. از آنجا که رفتار لاستیک در برش تا کرنش‌هایی بیش از صد درصد کاملاً خطی بوده و میرایی آن در حدود ۲ تا ۳ درصد میرایی بحرانی است، بنابراین عملکرد مناسبی در حین زلزله‌های شدید نداشته و باعث تغییرمکان‌های بیش از حد سازه و ایجاد ناپایداری در سازه می‌شوند. به عبارتی تنها در صورتی می‌توان از این نشیمن‌ها به عنوان جداگر لرزه‌ای بهره برد که یک سیستم میراگر اضافی برای تأمین میرایی لازم در کنار آن‌ها قرار گیرد. شکل ۱-۱۰ نمونه‌ای از بالشتک الاستومری مسلح شده با فولاد را نشان می‌دهد. ساختار این سیستم تکیه‌گاهی و اجزای تشکیل‌دهنده آن در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.

**شکل ۱-۱۰ : بالشتک الاستومری مسلح شده با فولاد[۱۰]**