

## **فصل ۶**

---

---

# **جداسازی لرزا های در بهسازی سازه ها**

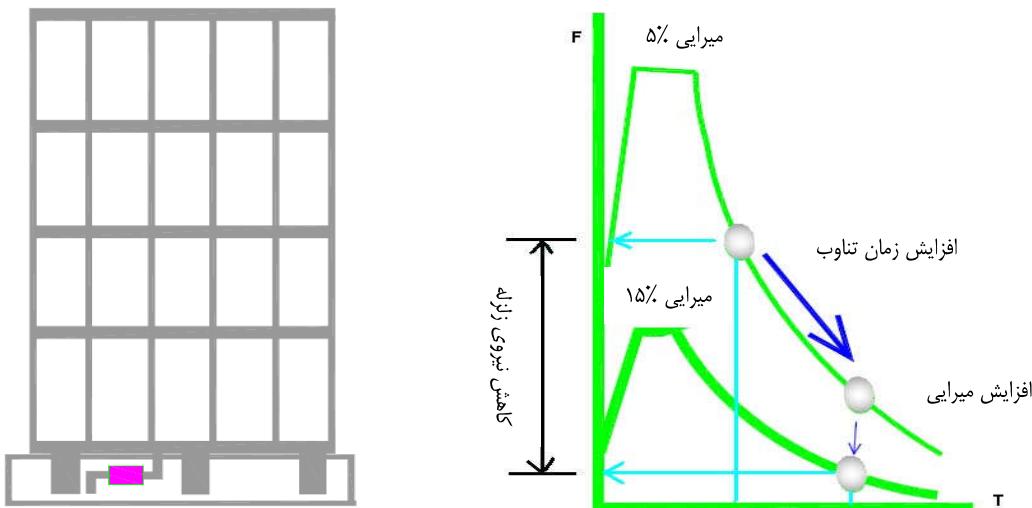


## ۶-۱- کلیات

در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، به جای افزایش ظرفیت باربری سازه تحت نیروهای جانبی می‌توان نیروهای وارد بر آنها را کاهش داد. در روش جداسازی لرزه‌ای، سازه بر روی تکیه گاههایی که قابلیت تغییرشکل جانبی زیادی دارند قرار می‌گیرد. در صورت وقوع زلزله، عمدۀ تغییرشکلها در تکیه‌گاه رخ داده و سازه مانند جسمی صلب با تغییرشکل‌های کوچکی ارتعاش می‌کند.

در سالهای اخیر، تکنولوژی جداسازی لرزه‌ای پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است. نصب سیستم‌های جداساز لرزه‌ای منجر به افزایش زمان تناوب اصلی سازه و کاهش نیروهای وارد بر آن می‌گردد. این روش برای ساختمانهای کوتاه و متوسط بدليل پائین بودن زمان تناوب آنها، موثرتر از ساختمانهای بلند می‌باشد. نصب جدأگر باعث افزایش زمان تناوب و میرایی سازه می‌گردد.

همانطور که شکل ۶-۱ نشان می‌دهد هر کدام از دو تاثیر فوق می‌توانند باعث کاهش نیروی جانبی ناشی از زلزله شوند.



شکل ۶-۱- تأثیرات استفاده از جداسازهای لرزه‌ای بر طیف پاسخ سازه‌ها

جداگرها باید به اندازه کافی سخت باشد تا ساخته را زیر بارهای سرویس، بارهای باد یا زلزله‌های کوچک، برای ساکنین ارتعاش‌های آزار دهنده ایجاد نکند.

در استفاده از جداسازهای لرزه‌ای موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف- جداسازی از پایه برای ساختمان‌های سخت‌تر نتایج بهتری بدست می‌دهد (در ساختمانهای با زمان تناوب کمتر از ۱ ثانیه، با نصب جداگر لرزه‌ای زمان تناوب اصلی سازه به بیش از ۲ ثانیه افزایش می‌یابد).

ب- امواج زلزله در حین عبور از لایه‌های خاک فیلتر می‌شوند. شتاب حرکت زمین در خاک‌های سخت از مولفه‌های فرکانس بالا و در خاک‌های نرم از مولفه‌های فرکانس پائین تشکیل می‌شود. از این رو در خاک‌های سخت جداگر لرزه‌ای بسیار کاربردی بوده و در خاک‌های نرم از کارایی آن کاسته می‌شود. در خاک‌های خیلی نرم بعلت نزدیکی زمین تناوب سازه جدایشده به زمان تناوب حداقل پاسخ سازه، جداسازی نتیجه مطلوبی نداشته و در مواردی باعث افزایش نیروهای وارد بر سازه نیز می‌گردد.

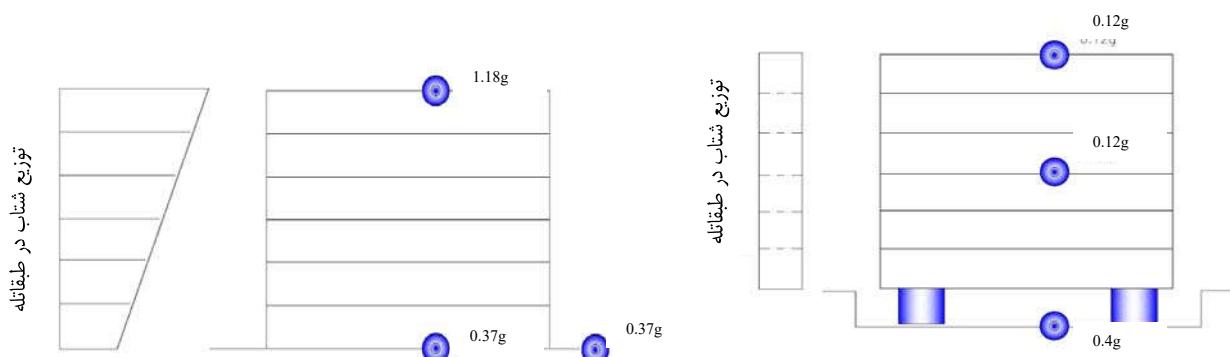
جداگرها به دلایل زیر باعث کاهش نیروی زلزله وارد برسازه می‌گردند:

- ۱- افزایش زمان تناوب مود اول (مود جداشده).
- ۲- کاهش شتاب طیفی (شبه شتاب) به علت افزایش زمان تناوب (برای اکثر طیف‌های طراحی در زمین‌های سخت این موضوع صادق است).
- ۳- عدم تحریک مودهای بالاتر توسط حرکت زمین، هر چند که ممکن است شتاب طیفی آنها بزرگ باشد، لیکن به علت کوچک بودن پاسخ استاتیکی مودی (مشارکت جرمی)، برش پایه مودهای بالاتر خیلی کوچک می‌باشد.
- ۴- بالا بودن میرایی سیستم جداگر و خاصیت جذب انرژی که به عنوان عامل ثانویه در نظر گرفته می‌شود.

#### ۶-۱-۱- مقایسه ساختمان با و بدون جدا سازی لرزه‌ای در زلزله‌های گذشته

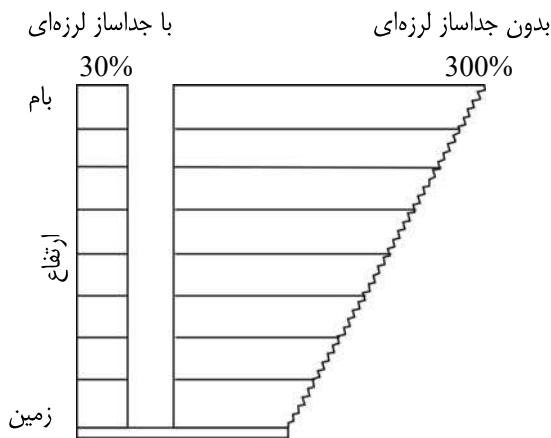
در ساختمان ۷ طبقه مرکز کامپیوتر غرب ژاپن شتاب زلزله وارد به ساختمان در تراز پایه  $0.4g$  بود که در این وضعیت با توجه به استفاده از سیستم جدا ساز لرزه‌ای، شتاب وارد به طبقات و بام  $0.12g$  اندازه گیری شد که نشان دهنده کاهش مقدار شتاب وارد به سازه به میزان  $70$  درصد می‌باشد (شکل ۶-۱). در ساختمان مشابهی که از سیستم جداساز استفاده نشده، میزان شتاب زلزله در تراز پایه  $0.37g$  اندازه گیری شد لیکن مقدار شتاب اندازه گیری شده در تراز بام  $0.18g$  می‌باشد (شکل ۶-۲) که نشان دهنده افزایش شتاب در طبقه بام به میزان  $300$  درصد می‌باشد.

در شکل ۶-۱ شتاب افقی ساختمان‌های مذکور مقایسه شده است.



شکل ۶-۱- ساختمان مرکز کامپیوتر غرب ژاپن (جداشده از پایه)، زلزله کوبه ۱۹۹۵

شکل ۶-۲- ساختمان سنتی (جدانشده)، زلزله کوبه ۱۹۹۵



شکل ۶-۴ - مقایسه درصد شتاب افقی دو ساختمان مزبور در زلزله کوبه ۱۹۹۵

## ۶-۱-۲ - معیارهای طراحی جداگرها

در طراحی جداگرها معیارهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

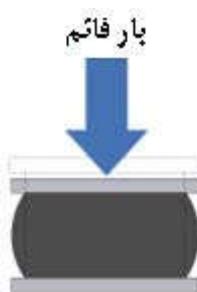
- ۱ - جداگرها در حداکثر تغییرمکان‌های ناشی از زلزله پایدار باقی بمانند.
- ۲ - با افزایش تغییرمکان، مقاومت جداگر نیز افزایش یابد.
- ۳ - تحت سیکل‌های ناشی از بارگذاری زلزله، جداگر زوال محدود شونده داشته باشد.
- ۴ - مشخصات مکانیکی (سختی موثر و میرایی) تکرار شونده و در عین حال پایدار داشته باشد.

## ۶-۲ - انواع سیستم‌های جداسازی

سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای از تنوع بسیار زیادی برخوردار می‌باشند. این سیستم‌ها از لحاظ نوع مواد و عملکرد به شرح زیر تقسیم می‌شوند.

### ۶-۲-۱ - سیستمهای الاستومر (لاستیک طبیعی)

نشیمن لاستیک طبیعی، نخستین بار در سال ۱۹۶۹ برای حفاظت لرزه‌ای ساختمان مدرسه پستانلوژی شهر اسکوپیه مقدونیه به کار رفت. این نشیمن‌ها، بلوک‌های لاستیکی بزرگی می‌باشند که برخلاف نمونه‌های امروزی، قادر صفحات فولادی تقویت کننده بوده و در اثر وزن ساختمان، حدود ۲۵٪ فشرده می‌شوند. (شکل ۶-۵) سختی قائم نشیمنها فقط چند برابر سختی افقی بوده و لاستیک مورد استفاده تقریباً فاقد میرایی است. در هر دو سمت نشیمنهای لاستیکی بلوکهایی از جنس شیشه اسفنجی (فوم) قرار داده می‌شود که جهت جلوگیری از حرکت ساختمان در اثر باد، ترددات داخلی ساختمان یا زمین لرزه‌های با شدت کم می‌باشد.



شکل ۶-۵- تغییر شکل قائم جداگر لاستیکی خالص

## ۶-۲- سیستم‌های لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم به همراه صفحات فولادی

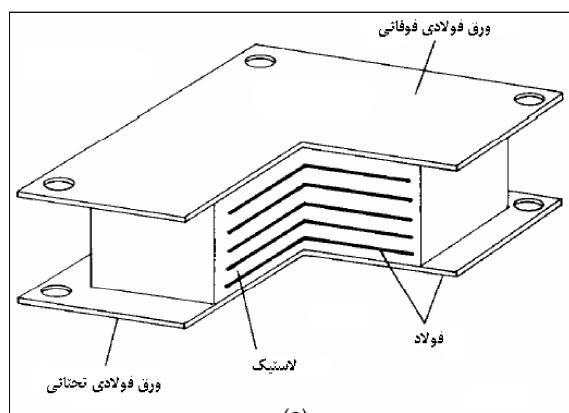
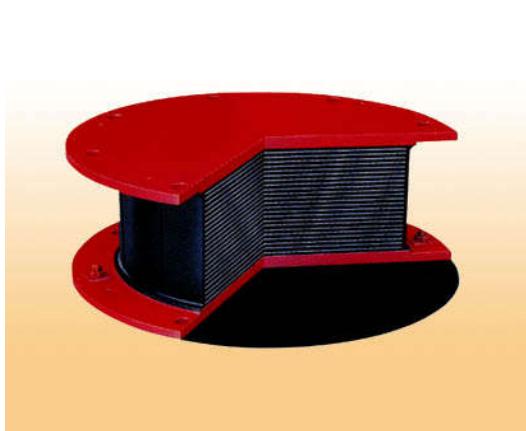
نشیمن‌های لاستیک طبیعی و مصنوعی با میرایی کم بطور گسترده‌ای به همراه میراگرهای لزج (ویسکوز)، میله‌های فولادی، میله‌های سربی و وسائل اصطکاکی بکار می‌روند. همانطور که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است، این جداگرها شامل دو ورق ضخیم فولادی در بالا و پائین و ورق‌های نازک فولادی متعددی می‌باشند. **ورق‌های فولادی مسلح** کننده از انبساط جانبی لاستیک جلوگیری کرده و سختی قائم را به مقدار زیادی افزایش می‌دهند اما هیچ تاثیری بر سختی افقی سیستم که بوسیله مدول برشی الستومر کنترل می‌شود، ندارند. رفتار ماده در برش تا کرنشهای بیش از ۱۰۰٪ کاملاً خطی بوده و میرایی آن در حدود ۲ تا ۳ درصد مقدار بحرانی می‌باشد.

از مزایای این نوع نشیمن به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- ساخت آسان نشیمن‌ها (فرآیند ترکیب مصالح و پیوند آن با فولاد).

- مدلسازی آسان و عدم وابستگی پاسخ دینامیکی آنها به دما و سن نمونه‌ها.

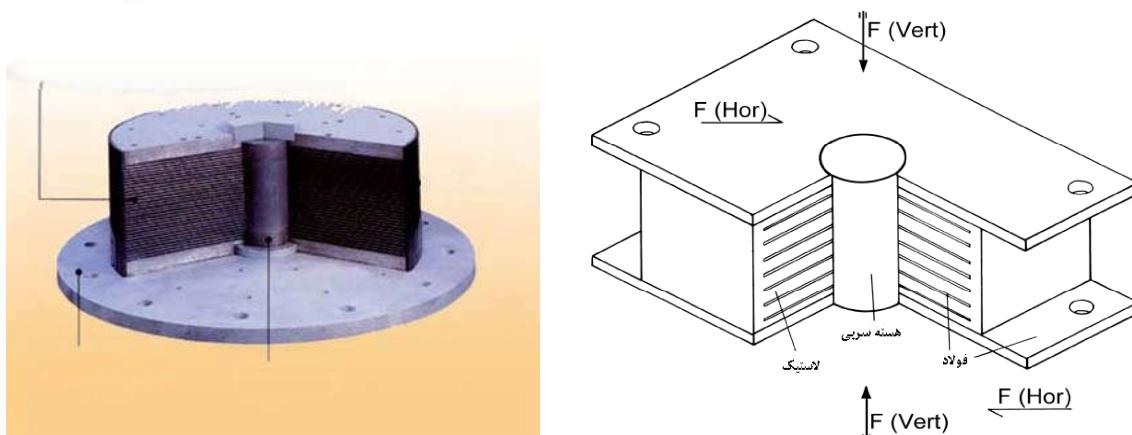
این نشیمن‌ها معمولاً به سیستم میراگر مکمل نیاز دارند که دارای اتصالات دقیق و پیچیده‌ای بوده و نوع فلزی آنها در سیکلهای پایین دستخوش پدیده خستگی می‌گردد. اجزای مستهلك کننده انرژی شامل مجموعه‌ای از تجهیزات فولادی تسلیم شونده می‌باشند.



شکل ۶-۶- جداگر لاستیکی طبیعی و مصنوعی با میرایی کم

### ۶-۲-۳- سیستم جداگر لاستیکی با هسته سربی (LRB)

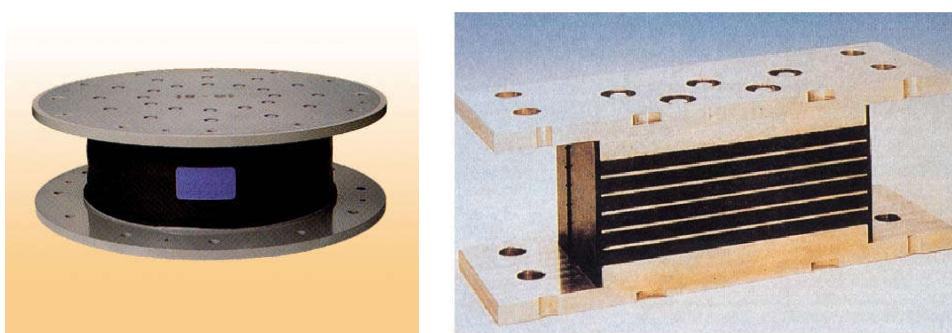
این نوع از نشیمنها دارای یک یا چند هسته سربی بوده به همین دلیل از میرایی بالایی برخوردار می‌باشد (شکل ۶-۷). صفحات فولادی به کار رفته در این سیستم سبب تغییرشکل هسته سربی در برش می‌شوند. هسته‌های سربی در برابر نیروهای برشی تغییرشکل داده و سبب ایجاد پاسخ دوخطی در نشیمن می‌شوند. سختی و میرایی موثر نشیمنها با هسته سربی، وابسته به مقدار جابجایی آن می‌باشد. محاسبه تغییرمکان متناظر با مقدار میرایی لازم از ضروری‌ترین سنجش‌های کار با این نوع جداگر می‌باشد. ساختمانهایی که به وسیله این نشیمنها تقویت شده‌اند، در زلزله‌های ۱۹۹۴ نورث‌ریچ و ۱۹۹۵ کوبه، عملکرد خوبی داشته‌اند.



شکل ۶-۷- جداگر لاستیکی با هسته سربی (LRB)

### ۶-۲-۴- سیستم‌های لاستیک طبیعی با میرایی زیاد (HDNR)

میرایی این سیستم از افزودن بلوكهای کربنی بسیار ریز، روغنها و سایر پرکننده‌های ویژه به لاستیک حاصل می‌شود. حد پائین میرایی ( $10\%$ ) مربوط به سختی معادل  $50$  تا  $55$  دورومتر و مدول برشی در حدود  $33 \text{ MPa}$  و حد بالای میرایی ( $20\%$ ) مربوط به سیستمهای با سختی  $70$ - $75$  دورومتر و مدول برشی  $1/40 \text{ MPa}$  می‌باشد (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۸- جداگر لاستیک طبیعی با میرایی زیاد (HDNR)

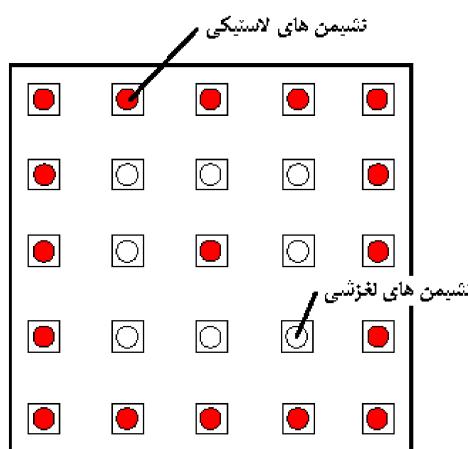
**EERC - ۵-۲-۶ - سیستم ترکیبی**

این سیستم متشکل از دو سیستم الاستومری و لغزنده بوده و در موسسه تحقیقاتی EERC ابداع شده است. در این سیستم، ستونهای داخلی ساختمان برروی المانهای لغزنده‌ای که از جنس فولاد ضدزنگ می‌باشند قرار می‌گیرند و ستونهای خارجی برروی نشیمنهای لاستیک طبیعی با میرایی کم واقع می‌شوند. نشیمنهای الاستومری سبب بازگشت سیستم به حالت اولیه و کنترل پیچش ساختمان می‌گردند و اجزاء لغزنده، میرایی مورد نیاز سیستم را فراهم می‌آورند.

**TASS - ۶-۲-۶ - سیستم ترکیبی**

این سیستم توسط گروه TAISEI توسعه داده شده است. در این سیستم، تمام بارهای قائم سنگین بوسیله لغزنده تلفونی ضدزنگ حمل می‌شود و نشیمنهای لایه‌ای نئوپرنی که باری به آنها وارد نمی‌شود به منظور ایجاد نیروی جانبی بازگرداننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۹-۶).

ضریب اصطکاک سطح تلفون بین ۱۵٪ تا ۵٪ برای سرعتهای کم تا زیاد متغیر می‌باشد.

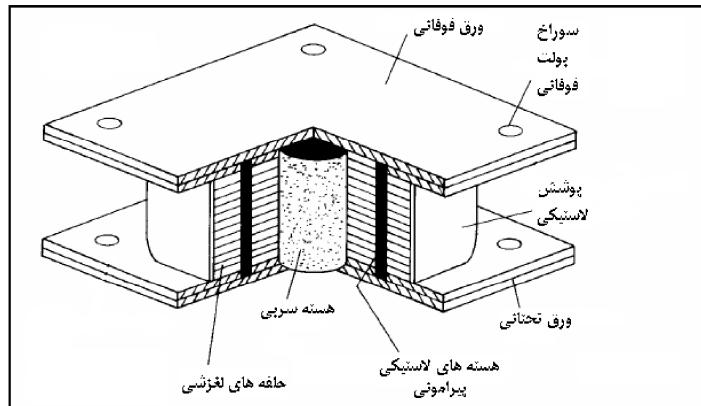


شکل ۹-۶ - جدأگر ترکیبی TASS

در این سیستم بدليل کمی باربری عمودی نشیمنهای الاستومری، نشیمنها تحت کشش واقع می‌شوند. از سوی دیگر حساسیت سطح لغزنده به سرعت، مدلسازی این سیستم را دشوار کرده است.

**(R-FBI) - ۶-۲-۷ - سیستم جدأگر اصطکاکی پس جهنده**

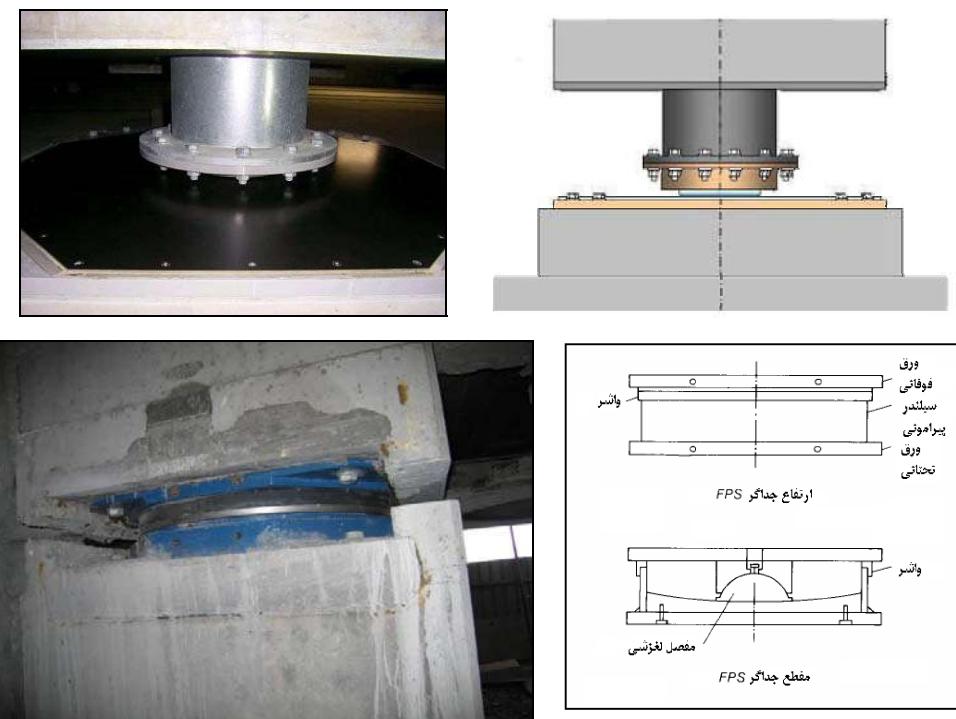
در این نشیمن با استفاده از سطوح متعدد لغزنده مشترک مشکل ضریب اصطکاک زیاد تلفون روی فولاد ضدزنگ در سرعتهای بالا رفع شده است. سرعت بین لایه‌های مختلف تقسیم شده و با کاهش سرعت هر لایه، ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. علاوه بر المانهای لغزنده، هسته مرکزی که از جنس لاستیک می‌باشد، نیرویی بازگرداننده‌ای در سیستم ایجاد می‌کند. آزمایش‌های صورت گرفته برروی این سیستم نشان می‌دهند که هسته لاستیکی توانایی توزیع مناسب تغییرمکان‌ها را ندارد، برای رفع این مشکل میله فولادی در داخل هسته لاستیکی قرار گرفته تا توزیع تغییرمکان بین لایه‌های لغزنده را بهبود بخشد (شکل ۱۰-۶).



شکل ۶-۱۰ - جدآگر R-FBI

### ۶-۲-۸ - سیستم آونگ اصطکاکی FPS

این سیستم بوسیله هندسه خاص خود، عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می‌کند. جداساز FPS که در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است دارای قسمت لغزندۀ مفصلی است که بر روی سطح کروی از جنس فولاد ضدزنگ می‌لغزد. سطح دیگر این لغزندۀ نیز کروی بوده و با لایه‌ای از فولاد ضد زنگ پوشیده شده است. حرکت قسمت لغزندۀ مفصلی و سطح کروی باعث ایجاد میرایی در جداساز می‌شود. سختی موثر جداساز و میرایی آن به وسیله شعاع انحنای سطح محدب کنترل می‌گردد.



شکل ۶-۱۱ - جدآگرهای اصطکاکی FPS

### ۶-۲-۹- سیستم‌های فنری

سیستمهای جداسازی الاستومری و لغزنه برای فراهم کردن جداسازی افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامی که جداسازی کامل (سه بعدی) مد نظر باشد می‌توان از سیستمهای فنری استفاده شود. در شکل ۱۲-۶ سیستم فنری GERB نشان داده شده است. این سیستم برای جداسازی تجهیزات توربین نیروگاهها طراحی می‌شود.



شکل ۱۲-۶ - جداگر GERB

در این سیستم از فنرهای حلقوی فولادی که در دو راستای افقی و قائم انعطاف پذیرند استفاده می‌شود. فنرهای فولادی قادر میرایی بوده و این سیستم همواره با میراگر لژج GERB بکار می‌رود.

### ۶-۳- تعریف المانهای سازه جداشده

سطح جداسازی، سطح فرضی بین بخش فوقانی سازه و بخش تحتانی آن می‌باشد که بخش تحتانی بصورت صلب با زمین حرکت می‌کند. این سطح جداسازی شده صفحه افقی است که می‌تواند در تراز پروژه جابجا شود(شکل ۱۳-۶). سیستم‌های الکتریکی و تاسیسات که از عرض سطح جداسازی عبور می‌کنند باید با حداکثر تغییرمکان نسبی سازگاری داشته باشند. واحدهای جداگر الاستومری-سرپی در کرنش‌های کوچک سخت بوده و معمولاً معیارهای تغییرمکان در برابر بارهای باد را تامین می‌نمایند. نیروی اصطکاک ایستایی جداگر لغزشی معمولاً بزرگتر از نیروی باد است.

## فصل ۷

---

---

میراگر در بهسازی سازه‌ها



## ۱-۷- مقدمه

در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها یکی از روش‌های کاهش نیروی جانبی ناشی از زلزله استفاده از میراگرها می‌باشد.

در حین زلزله انرژی زیادی به سازه اعمال می‌گردد. این انرژی به دو صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) بر سازه اعمال می‌گردد که به طریقی جذب یا مستهلك می‌گردد. اگر سازه قادر میرایی باشد ارتعاش آن پیوسته خواهد بود اما بدليل وجود میرایی در مصالح، ارتعاش کاهش می‌یابد. انرژی وارد بر سازه در اثر زلزله مطابق رابطه (۱-۷) محاسبه می‌شود:

$$E = E_K + E_S + E_h + E_d \quad (1-7)$$

در رابطه فوق  $E$  انرژی ورودی زلزله،  $E_k$  انرژی جنبشی قابل بازگشت در محدوده الاستیک،  $E_h$  مقدار

انرژی اتلاف شده به واسطه تغییر شکل غیرالاستیک و  $E_d$  مقدار انرژی مستهلك شده به وسیله میراگر الحاقی می‌باشد.

در سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای، استفاده از سیستمهای مستهلك کننده انرژی، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند.

افزایش میرایی با استفاده از روش‌های مختلف نظیر تسیلم واسطه فلزی نرم، اصطکاک دو فلز بر روی هم، حرکت یک پیستون درون

یک ماده لزج و یا رفتار ویسکوالاستیک در موادی از جنس شبیه لاستیک امکان پذیر می‌باشد.

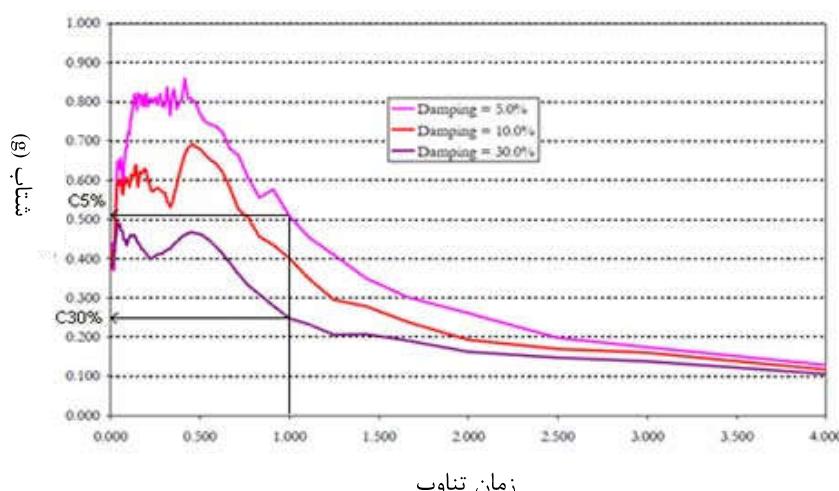
از دیدگاه تحلیلی، میراگرها به دو نوع وابسته به تغییرمکان و وابسته به سرعت تقسیم می‌شوند. از دیدگاه رفتاری انواع

میراگرها عبارتند از: ۱. اصطکاکی ۲. تسیلمی ۳. آلیاژی ۴. ویسکوز ۵. جرمی ۶. ویسکوالاستیک (ترکیب ویسکوز و تسیلمی) از نظر

رفتاری این میراگرها می‌توانند وابسته به تغییرمکان و وابسته به سرعت باشند که در بندهای مربوطه توضیح داده می‌شود.

## ۲-۷- اثر میرایی بر پاسخ سازه

افزایش میرایی باعث کاهش پاسخ سازه (شتاب و تغییرمکان) می‌شود. افزایش میرایی در زمان تناوب‌های پائین (نزدیک به صفر) بر مقدار طیف اثری ندارد و در زمان تناوب‌های بالا نیز اثر کمی بر روی شتاب پاسخ دارد. شکل‌های ۱-۷ و ۲-۷ بیشترین اثر افزایش میرایی را در زمان تناوب‌های  $2/5$  تا  $2/0$  ثانیه نشان می‌دهند.



شکل ۱-۷- اثر میرایی بر طیف پاسخ شتاب

### جدول ۱-۷- ضرایب $B_1$ و $B_S$ بر حسب درصد میراگری موردنظر ( $\beta$ )

$B_1$	$B_S$	$\beta$
۰/۸	۰/۸	$\leq 2$
۱/۰	۱/۰	۵
۱/۲	۱/۲	۱۰
۱/۵	۱/۸	۲۰
۱/۷	۲/۳	۳۰
۱/۹	۲/۷	۴۰
۲/۰	۲/۰	$\geq 50$

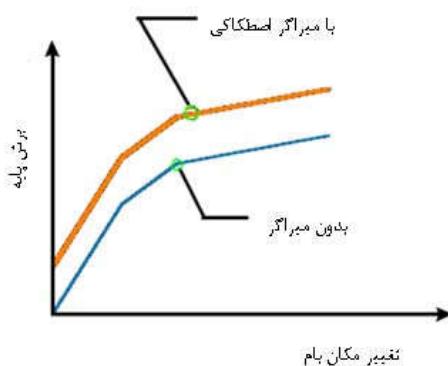
### ۳-۷- انواع میراگرها

همانطور که گفته شد، میراگرها بر اساس عملکرد آنها به انواع اصطکاکی، تسلیمی، ویسکوز، ویسکوالاستیک، آلیاژی جرمی دسته‌بندی می‌گردند.

از مزایای استفاده از میراگرها می‌توان به جذب انرژی زیاد، سادگی در نصب و تعویض آنها و همچنین هماهنگی با سایر اعضای سازه اشاره نمود.

### ۱-۳-۷- میراگرهای اصطکاکی

در این نوع میراگر که از نظر تحلیلی وابسته به تغییر مکان هستند، انرژی زلزله صرف غلبه بر اصطکاک موجود در سطح تماس قطعات می‌شود. از ویژگی‌های دیگر این میراگرها می‌توان به عدم ایجاد خستگی در بارهای خدمت (به دلیل فعال نشدن میراگرها تحت این بارها) و وابسته نبودن عملکرد آنها به سرعت بارگذاری و دمای محیط اشاره نمود. این میراگرها به موازات مهارندها نصب می‌شوند.



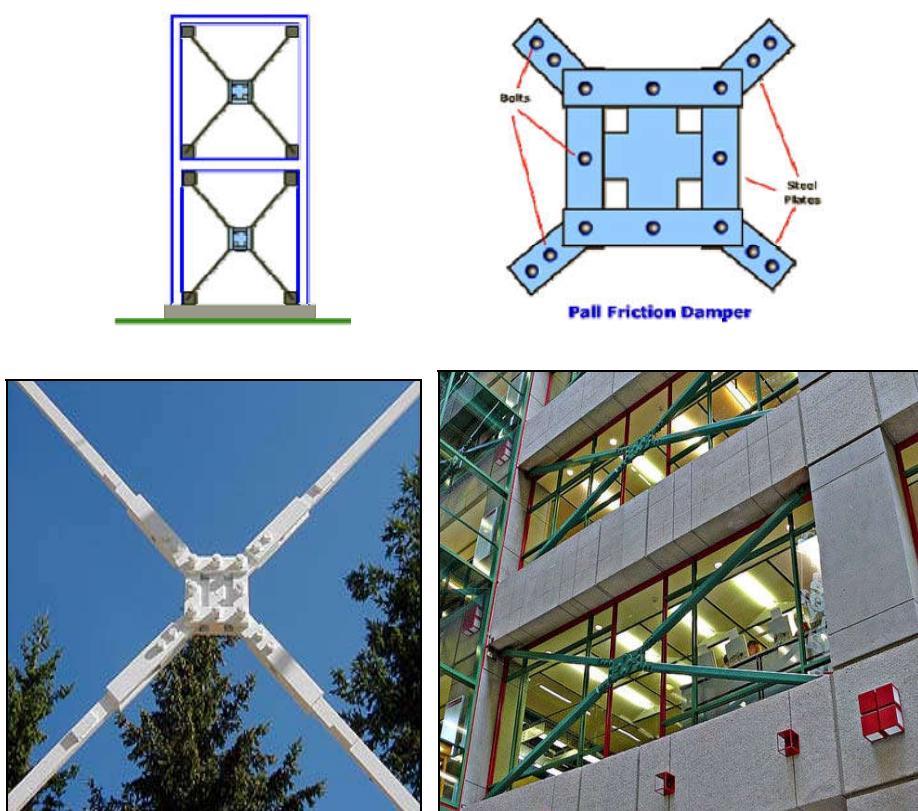
شکل ۴-۷- تأثیر استفاده از میراگرهای اصطکاکی بر منحنی ظرفیت سازه

در شکل ۷-۵، میراگرهای اصطکاکی چرخشی نشان داده شده است. به علت رفتار بسیار ساده و سهولت در نصب و ساخت، این نوع میراگر به یکی از متداول‌ترین میراگرهای اصطکاکی تبدیل شده است.

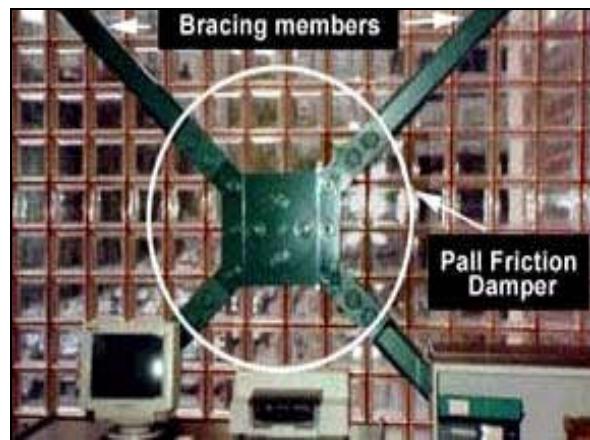


شکل ۷-۵- استفاده از میراگرهای اصطکاکی چرخشی در مقاوم سازی

نوع دیگر میراگرهای اصطکاکی، میراگر اصطکاکی پال (Pall) می‌باشد (شکل ۷-۶). این میراگر شامل یک بادبند و چند سری ورق فولادی به همراه پیچ‌های اصطکاکی می‌باشد که در بخش میانی بادبند نصب می‌شوند. ورقهای فولادی توسط پیچ‌های پُر مقاومت به یکدیگر متصل شده که نسبت به یکدیگر تحت نیروی مشخصی لغزش می‌کنند.



شکل ۷-۶- استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال (Pall) در مقاوم سازی



ادامه شکل ۷-۶- استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال (Pall) در مقاوم سازی

### ۷-۳-۲- میراگرهای تسلیمی

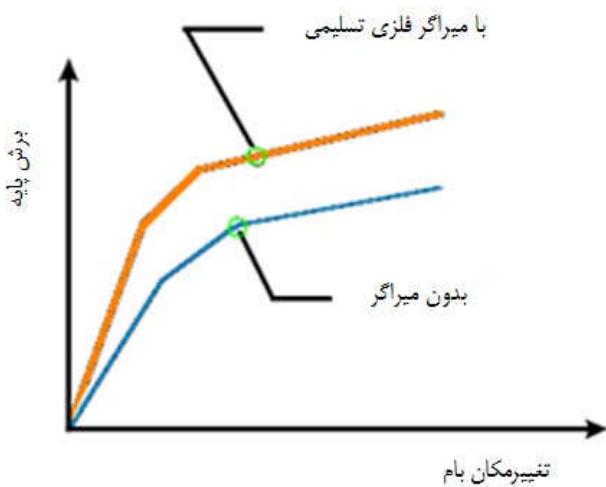
این میراگر که از لحاظ تحلیلی، وابسته به تغییر مکان است، انرژی منتقل شده به سازه صرف تسلیم و رفتار غیر خطی در قطعات بکار رفته می‌شود. در این میراگرهای از تغییر شکل غیر الاستیک فلزاتِ شکل پذیری مانند فولاد و سرب به منظور اتلاف انرژی استفاده می‌شود.

در تمام سازه‌های معمولی اتلاف انرژی بر شکل پذیری اعضای فولادی پس از تسلیم متکی است.



شکل ۷-۷- نمونه هایی از انواع میراگرهای فلزی جاری شونده (تسلیمی)

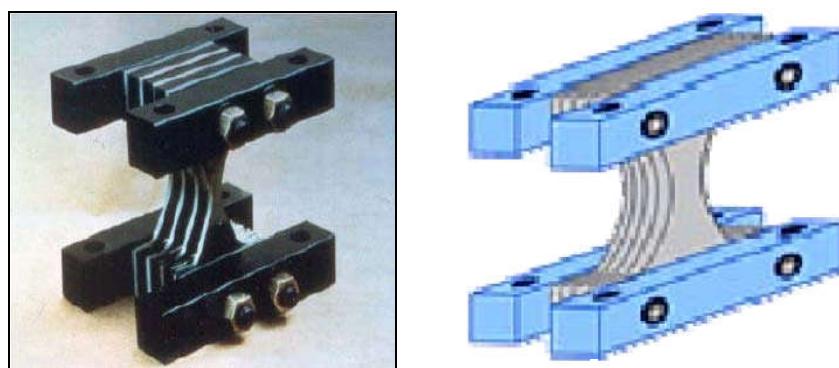
در بادیندها استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی متداول‌تر می‌باشد. این نوع میراگرها اغلب از چند ورق فولادی موازی تشکیل می‌شوند و در ترکیب با سیستم بادیندی، نقش جذب و اتلاف انرژی را بر عهده می‌گیرند. این قسمت از مهاربند به عنوان فیوز در سازه عمل نموده و با تمرکز رفتار غیر خطی در خود، مانع از بروز رفتار غیر خطی و آسیب در سایر اجزای اصلی و فرعی سازه می‌گردد.



شکل ۷-۸-۷- تأثیر استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی بر منحنی ظرفیت سازه

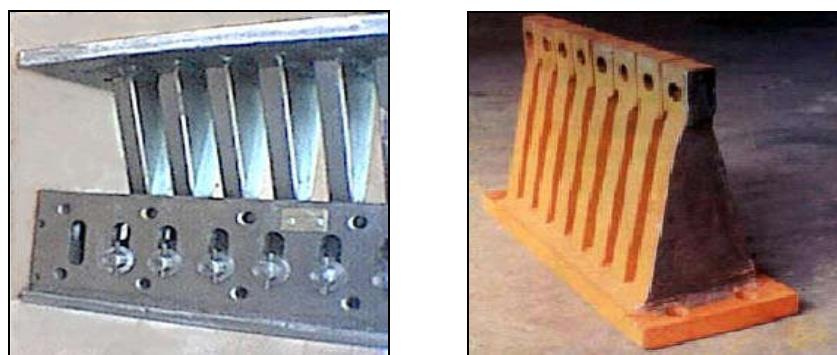
میراگرهای فلزی X شکل، از کارایی قابل توجهی برخوردار می‌باشند. تسلیم گسترده در تمام حجم فولاد، تأمین میرایی هیسترتیک و اتلاف انرژی فوق العاده از خصوصیات منحصر به فرد این نوع میراگر می‌باشد.

این میراگرها ضمن تأمین میرایی از سختی جانبی بالایی برخوردار بوده و به همین جهت با عنوان میرایی و سختی افزوده<sup>1</sup> (ADAS<sup>1</sup>)، نامگذاری شده است.



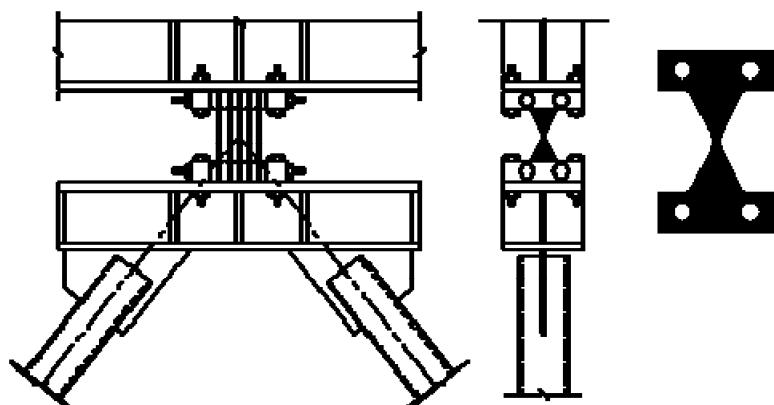
شکل ۹-۷- میراگر X-ADAS

<sup>1</sup> Added Damping And Stiffness

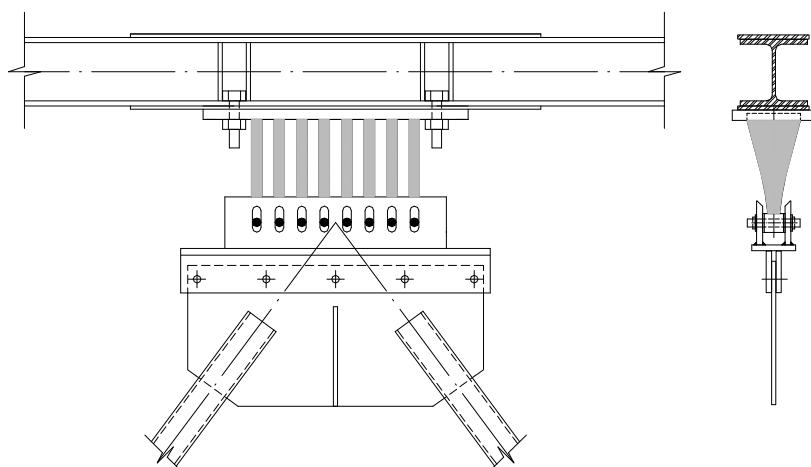


شکل ۷-۱۰- میراگر T-ADAS

این میراگرها معمولاً بین راس مهاربندهای جناقی و تیر طبقه نصب می‌شوند. با پیش‌بینی اتصالات مناسب، این میراگرها در قابهای بتُنی نیز قابل نصب می‌باشند.



شکل ۷-۱۱- نحوه استقرار میراگر X-ADAS در قاب

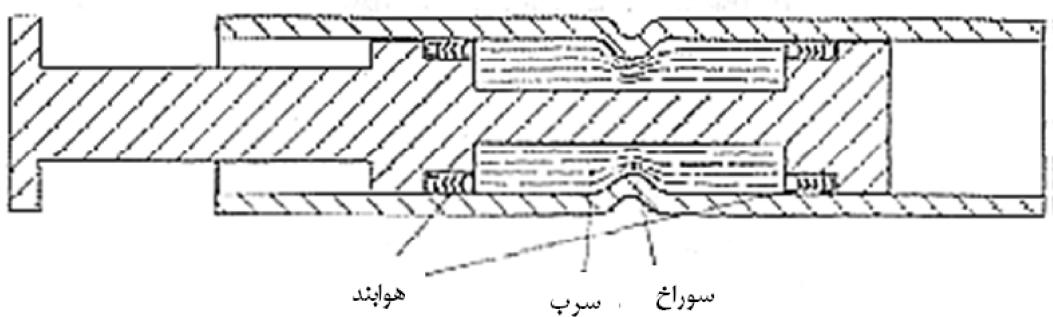


شکل ۷-۱۲- نحوه استقرار میراگر T-ADAS در قاب



شکل ۷-۱۳- نمونه‌هایی از بکارگیری میراگر T-ADAS

از انواع دیگر میراگرهای تسلیم شونده، میراگر سربی تزریقی (LED) می‌باشد. این میراگر از یک سیلندر دومحفظه‌ای، پیستون و سرب داخل پیستون تشکیل شده است که با حرکت پیستون به هنگام زلزله سرب از محفظه بزرگتر به محفظه کوچکتر حرکت می‌کند که با تغییرشکل خمیری، انرژی جنبشی بصورت حرارتی تلف می‌شود. در شکل ۷-۱۴ مقطع طولی میراگر سربی تزریقی نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۴- مقطع طولی میراگر سربی- تزریقی (LED)

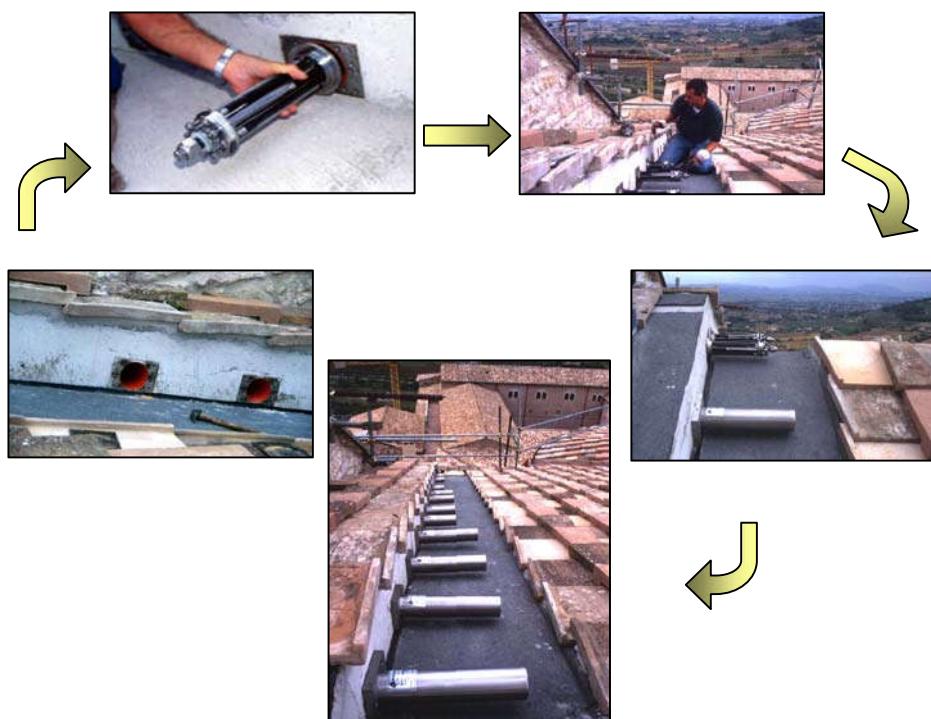
### ۳-۳-۷- میراگرهای آلیاژی (SMA)

میراگرهای آلیاژی<sup>۱</sup> SMA، از فلزاتی ساخته می‌شوند که دو خاصیت زیر را دارا باشند:

۱- انعطاف‌پذیری آنها مشابه با انعطاف پذیری قطعه لاستیکی باشد.

۲- پس از اعمال تغییرشکلهای زیاد در آنها، در اثر حرارت به حالت اولیه خود باز گردند.

آلیاژ نیکل و تیتانیوم ضمن دارا بودن این خواص از مقاومت خوبی در برابر خوردگی نیز برخوردار است.

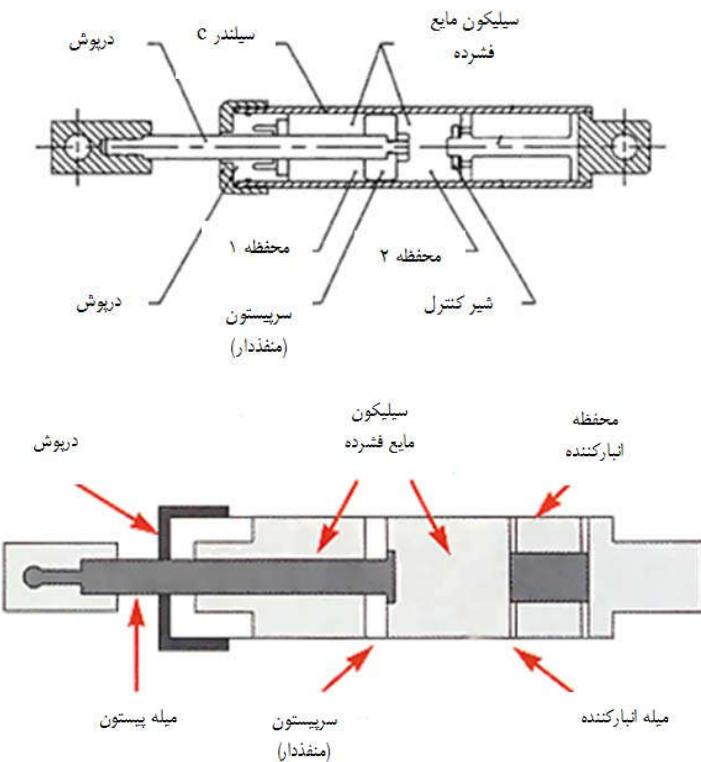


شکل ۷-۱۵- ترمیم سقف کلیسای سن فرانسیس (ایتالیا) با میراگرهای SMA

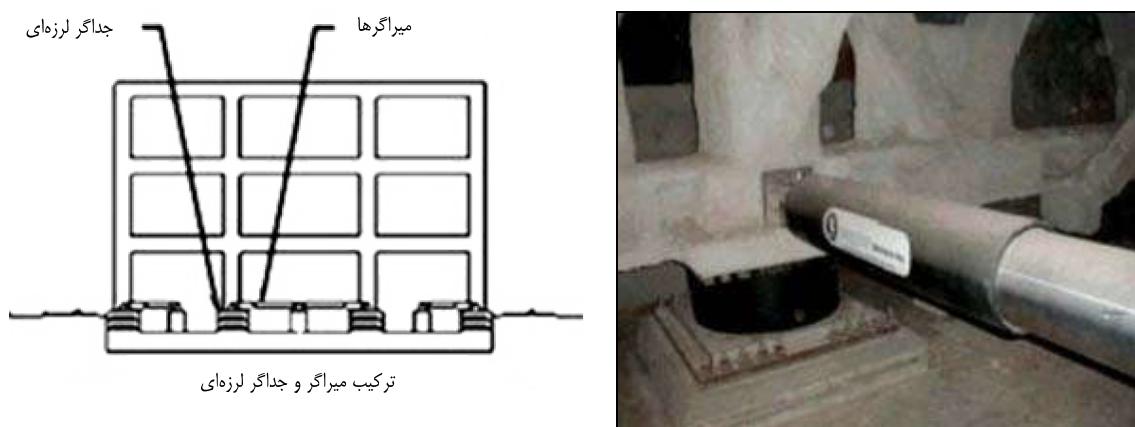
### ۴-۳-۷- میراگرهای ویسکوز

در این میراگرها با استفاده از حرکت مایع لزج درون سیلندر انرژی مستهلك می‌شود. میراگرهای ویسکوز به دلیل سادگی در نصب، قابلیت انطباق و هماهنگی با سایر اعضاء و همچنین تنوع در ابعاد و اندازه‌های آنها، کاربرد بسیاری در طراحی و مقاوم سازی پیدا کرده‌اند.

<sup>۱</sup> Shape Memory Alloy



شکل ۷-۱۶- جزئیات تیپ سیستم میراگر ویسکوز

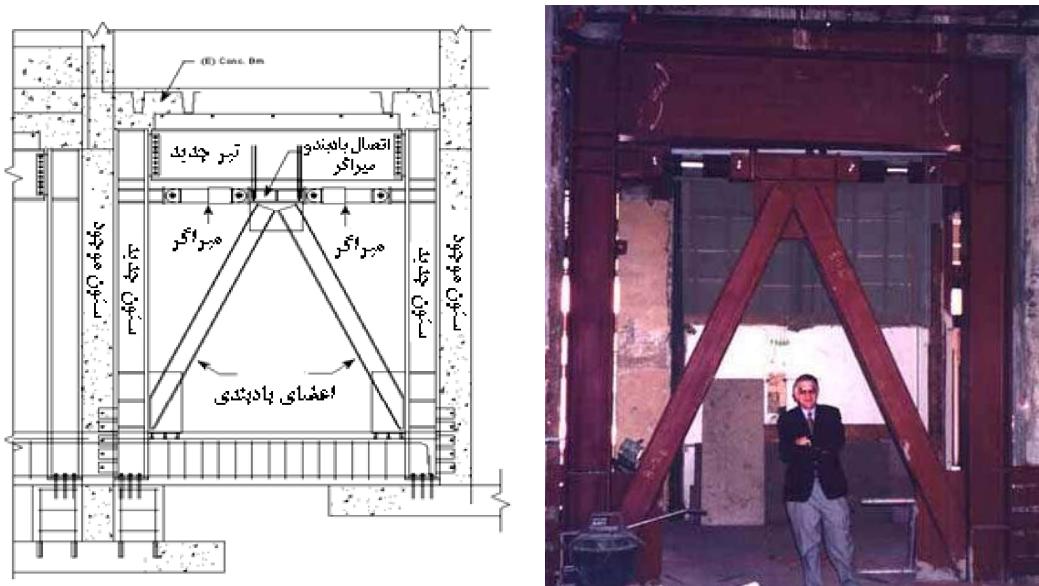


شکل ۷-۱۷- اتصال میراگرهای ویسکوز در کف و فونداسیون سازه ها

این نوع میراگرها به سه روش زیر به سازه متصل می‌گردند:

- نصب میراگرها به کف و یا فونداسیونها (در روش جداسازی لرزه‌ای).
- اتصال میراگرها در بادبندهای جناغی (شکل ۱۸-۷).
- نصب میراگرها در بادبندهای قطری (شکل ۱۹-۷).

در اتصال میراگرها در کف و یا فونداسیون سازه‌ها می‌توان از ترکیب میراگرها با جداسازها استفاده کرد.



شکل ۱۸-۷-استفاده از میراگرهای ویسکوز در بادبندهای جناغی

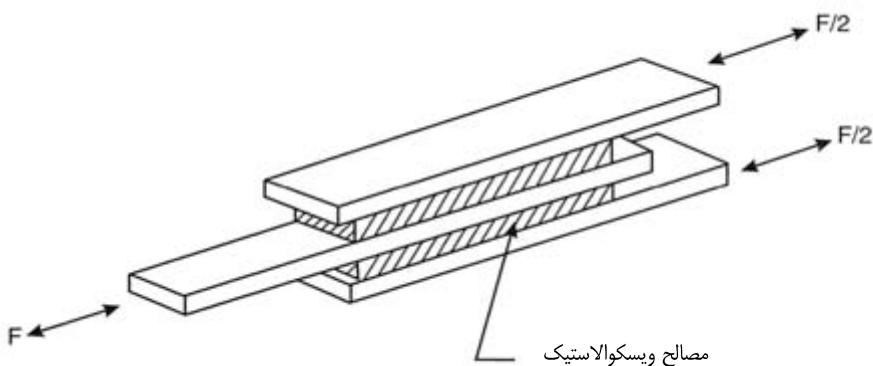


شکل ۱۹-۷-استفاده از میراگرهای ویسکوز در بادبندهای قطری

### ۵-۳-۷ میراگر ویسکوالاستیک

مصالح ویسکوالاستیک از مواد با پایه الاستومری و پلیمری می‌باشند که درهنگام زلزله با انجام تغییرشکل‌های برشی، انرژی را مستهلك می‌کنند. میراگر ویسکوالاستیک از یک یا چند لایه از مواد ویسکوالاستیک محصور شده در میان ورق‌های فولادی

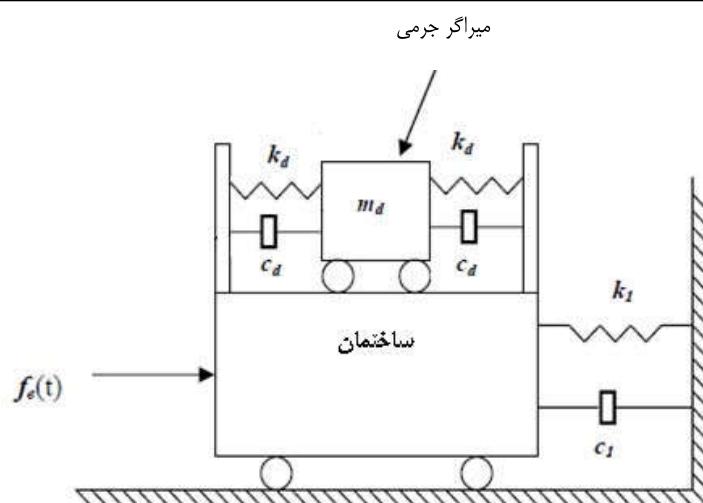
تشکیل می‌شود. در شکل ۲۰-۷ ساده‌ترین نوع آن نشان داده شده است. این میراگرها به نحوی در سازه قرار می‌گیرند که تغییر مکان نسبی طبقات باعث تغییر شکل برشی آنها شود. خصوصیات مکانیکی این میراگر به حرارت و فرکانس بارگذاری بستگی دارد. فرکانس‌های حرکت مورد انتظار این میراگر را باید تخمین زد. درجه حرارت این میراگر با تبدیل انرژی جنبشی به حرارتی بالاتر می‌رود که این تغییرات حرارت باید در طراحی این نوع میراگر مدنظر قرار گیرد.



شکل ۲۰-۷-میراگر ویسکوالاستیک جامد

### ۶-۳-۷ میراگر جرمی

شکل ۲۱-۷ ساختار عمومی میراگر جرمی را نشان می‌دهد. جرم روی تکیه‌گاهی که به عنوان غلتک عمل می‌نماید، قرار گرفته و به جرم اجازه حرکت به صورت انتقالی - جانبی نسبت به کف را می‌دهد. فترها و میراگرها بین جرم و اعضای تکیه‌گاهی عمودی قرار گرفته و نیروی جانبی «در فاز مخالف» به سطح کف و سپس به قاب سازه‌ای انتقال می‌دهند. میراگرهای انتقالی دو جهته به صورت فنر-میراگر در دو جهت عمودی ساخته می‌شوند و امکان کنترل حرکت سازه در دو صفحه عمودی را فراهم می‌آورند.



شکل ۲۱-۷-مدل میراگر جرمی در ساختمان

### جدول ۲-۷ - کاربرد و رفتار انواع میراگرها

ردیف	نوع میراگر	مدل رفتاری	کاربرد
۱	تسلیمی	وابسته به تغییر مکان	سازه‌های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله
۲	اصطکاکی	وابسته به تغییر مکان	سازه‌های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله
۳	آلیاژی	سایر وسایل (نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان)	کنترل لرزه‌ای موضعی
۴	ویسکوز	وابسته به سرعت	اکثر سازه‌ها در مقابل باد و زلزله
۵	ویسکوالاستیک	وابسته به سرعت و تغییر مکان	سازه‌های کوتاه و متوسط در مقابل باد و زلزله
۶	جرمی	سایر وسایل (نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان)	سازه‌های بلند در مقابل باد و زلزله

### ۷-۴-۱- روش‌های تحلیل سازه با میراگر

هدف از این فصل ارائه روش‌های تحلیل سازه میراشده با استفاده از وسایل جاذب انرژی می‌باشد. چهار روش تحلیل، در ادامه بحث شده‌اند.

۱- روش تحلیل سازه غیرخطی و میراگر غیرخطی (NS/ND)

۲- روش تحلیل سازه خطی و میراگر غیرخطی (LS/ND)

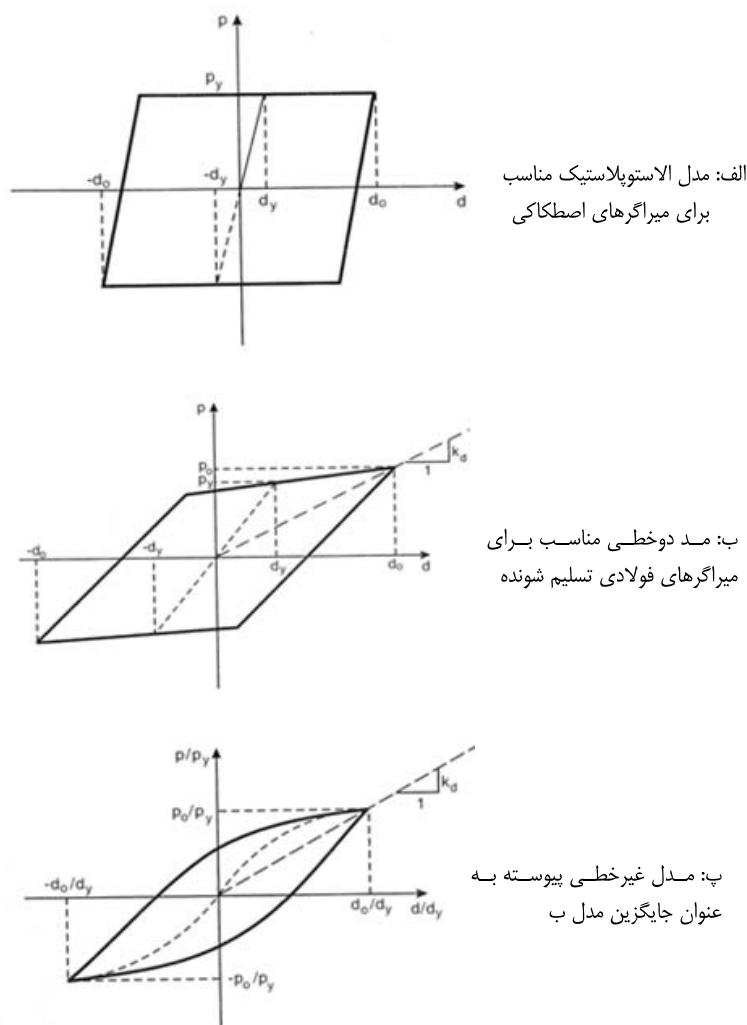
۳- روش تحلیل سازه غیرخطی و میراگر خطی (NS/LD)

۴- روش تحلیل سازه خطی و میراگر خطی (LS/LD)

### ۷-۴-۱-۱- روش تحلیل سازه غیرخطی و میراگر غیرخطی (NS/ND)

تحلیل دینامیکی غیرخطی (تاریخچه زمانی) با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی اعضای سازه‌ای همانند میراگرهای تحلیل دقیق و کامل سازه را امکان پذیر می‌سازد. برخی از نرم افزارهای طراحی مانند SAP2000 و ETABS می‌توانند رفتار هیسترزیس دوخطی میراگرهای هیسترزیس را با کمک المان پلاستیک مدل کنند. در این نرم افزارها المانهای غیرخطی (شامل میراگرهای تحلیل دقیق) در تعداد محدودی از نقاط تعریف شده و نیروهای المانهای غیرخطی در هرگام زمانی یا بارگذاری محاسبه می‌شوند.

علاوه بر این روش‌های تقریبی متعددی برای سازه‌های میراشده غیر خطی وجود دارد. برای مثال به روش‌های استاتیکی غیرخطی (NSP) ارائه شده در نشریه ۳۶۰ می‌توان اشاره نمود. در این روش، سیستم چند درجه آزادی غیرالاستیک به سیستم یک



شکل ۲۲-۷- رفتار چرخه‌ای مدل‌های غیرخطی نیرو-تغییرمکان

انواع منحنی چرخه‌ای به شرح زیر می‌باشد:

#### ۱- مدل الاستوپلاستیک(شکل ۲۲-۷-الف):

سختی الاستیک اولیه (میراگر) از تقسیم نیروی تسلیم تجربی بر تغییرمکان نظیر آن حاصل می‌شود:

$$k_e = \frac{P_y}{d_y} \quad (7-7)$$

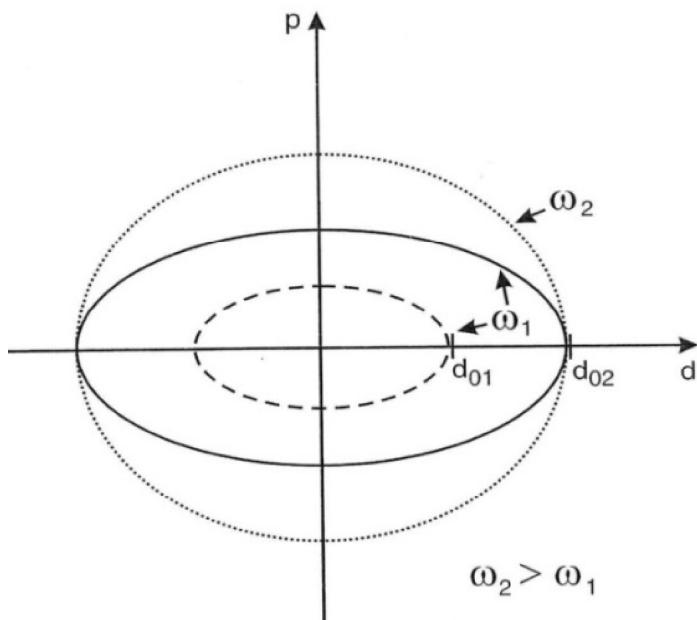
و  $d_y$  به ترتیب نیرو و تغییرمکان تسلیم می‌باشند. استهلاک انرژی در هر سیکل (E) معادل با سطح داخل حلقه پسماند میان نقاط  $(d_o, P_y)$  و  $(-d_o, -P_y)$  می‌باشد و از رابطه (۸-۷) تعیین می‌گردد.

$$E = 4P_y(d_o - d_y), \quad d_o \geq d_y \quad (8-7)$$

میراگر استفاده شده است. میراگرهای ویسکوز منفذی با مکانیزم شبیه به میل لنگ و پیستون برای مصارف صنعتی و نظامی توسعه یافته‌اند که در شکل ۱۶-۷ نشان داده شده است. در محفظه داخل سیلندر ماده سیلیکون غیرقابل فشرده شدن با اعمال نیرو توسط پیستون به حرکت درمی‌آید. سرپیستون از منفذی با ترمومترات فلزی غیرفعال برای خنثی نمودن تغییرات حرارتی تشکیل شده است و برای محصور نگهدارشتن محتویات داخل آن از درپوش‌های با مقاومت بالا استفاده شده است. نیروی ایجاد شده در میراگر ویسکوز براساس شکل منفذ برابر با رابطه ۱۲-۷ می‌باشد:

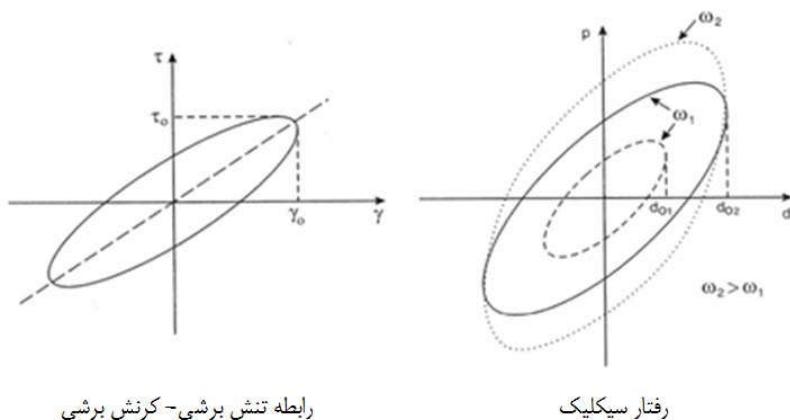
$$P(t) = c_v(\omega) |\dot{d}|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{d}) \quad (12-7)$$

ضریب میرایی برای فرکانس تقریباً  $4$  هرتز بوده و محدوده  $\alpha$  از  $0/3$  تا  $2$  متغیر است. در صورتیکه  $\alpha$  برابر با یک باشد رفتار میراگر خطی است و در سایر حالات رفتار میراگر غیرخطی خواهد بود. مقادیر کوچک  $\alpha$  (برای مثال  $0/5$ ) در کاهش شوکهای با سرعت بالا موثر هستند. در مقابل مقدار  $1 \cong \alpha$  برای استفاده در سازه در مقابل باد و زلزله مطلوب هستند. در شکل ۲۳-۷ حلقه‌های نیرو-تغییرشکل وابستگی آنها را به دامنه و فرکانس ارتعاش نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۷-رابطه نیرو-تغییرمکان میراگر ویسکوز

برای  $\alpha < 1$  ضریب میرایی با افزایش دامنه حرکت کاهش می‌یابد. در مقابل برای  $\alpha > 1$  با افزایش دامنه حرکت، میرایی افزایش می‌یابد و برای  $\alpha = 1$  ضریب میرایی مستقل از دامنه حرکت خواهد بود (شکل ۲۴-۷).



شكل ٧-٢٥- اشکال منحنی هیسترز پس میراگر و پسکوالاستیک جامد

سختی موثر صفحه‌ای از مواد ویسکوالاستیک یا ضخامت  $h$  و سطح A پرایر است یا:

$$k_d = \frac{AG'(\omega)}{h} \quad (\text{14-7})$$

ضریب میرایی و پسکوز معادل یا موثر از رابطه (۱۵-۷) تعیین می‌شود.

$$c_d = \frac{AG''(\omega)}{\varphi h} \quad (\text{15-V})$$

نسبت مدول پرشی از دست رفته به مدول پرشی ذخیره، ضریب از دست رفگی ۷ نامیده می‌شود.

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} \quad (\text{18-1})$$

نتایج تجربی نشان میدهند که اگرچه  $G'$  و  $G$  توابعی از فرکانس ارتعاش هستند اما ضریب از دست رفته  $7\%$  نسبت به تغییر فرکانس، حساس نمیباشد؛ مانیکه از ضریب از دست رفته استفاده شود میرایی، ویسکوز موثر برای خواهد بود با:

$$c_d = \frac{k_d \eta}{\rho} \quad (\text{14-1})$$

پس با فرکانس مشخص ضریب میرایی مناسب با سختی می‌باشد.

۷-۵-۴- اشکال مختلف نصب میراگر

در شکل ۲۶-۷ اشکال قرارگیری میراگرها در قاب یک دهانه و یک طبقه نشان داده شده است. نسبت‌های میرایی برای اشکال بدبندی قطری و جناغی کمتر از ۵٪ می‌باشد و برای سایر اشکال ترکیبی، بیش از ۲۳٪ است. این اشکال، بکارگیری میراگر در سازه‌های با سختی زیاد را ممکن می‌سازد و هزینه کمتری نسبت به اشکال قطری و جناغی دارند. در ایالات متحده سه ساختمان طبقه با این شکل، ترکیبی، میراگر ساخته شده‌اند (شکل ۲۷-۷).