


میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)

محل ضرب مهرهای تحت کنترل - منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)										
صفحه: ۲		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

فهرست مطالب

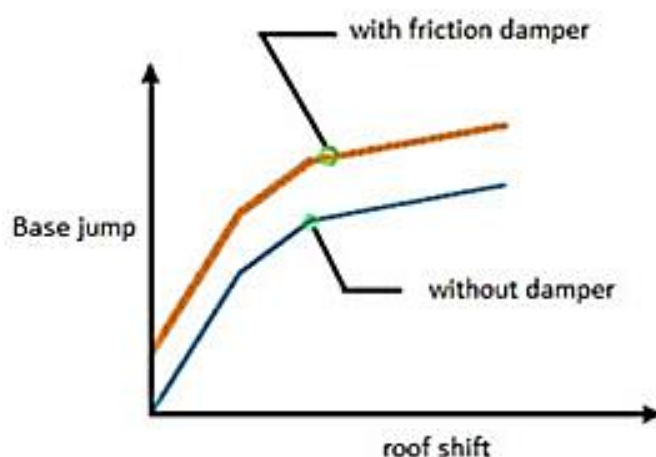
- ۱-مقدمه ۳
- ۲-پیشینه مطالعات انجام شده در زمینه میراگرهای اصطکاکی ۳
- ۳-مبانی و تئوری میراگرهای اصطکاکی ۴
- ۴-انواع میراگر اصطکاکی ۷
- ۴-۱- میراگر اتصالات اصطکاکی ۷
- ۴-۲- میراگر اصطکاکی پال ۷
- ۴-۲-۱- روش طراحی میراگر اصطکاکی پال ۹
- ۴-۳- میراگر اصطکاکی سومیتومو ۱۰
- ۴-۴- میراگر اصطکاکی دورانی ۱۰

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)									 گروه مهندسیین ISSES	
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

۱- مقدمه

به منظور ساخت ساختمانهای مقاوم در برابر نیروهای زلزله، یکی از روشهای اقتصادی، استفاده از میراگر یا وسایل اتلاف انرژی است. در این میان میراگرهای اصطکاکی یکی از انواع وسایل اتلاف انرژی است که عملکرد خوبی در کاهش نیروهای دینامیکی ورودی به سازه داشته و از جمله اقتصادی ترین آنها نیز به شمار می آیند. شکل (۱) اثر وجود میراگر اصطکاکی را در منحنی ظرفیت سازه نشان می دهد.


این میراگر در حقیقت یک اتصال ساده با پیچ اصطکاکی است که سوراخهای آن لویبایی شکل با طول بلند است. بدیهی است اصطکاک موجود مابین سطوح تماس، مانع از حرکت اتصال می شود. اما هنگامی که اتصال لغزش کند، درصدی از انرژی ورودی صرف مقابله با نیروی اصطکاک شده و تولید انرژی گرمایی و حرارت می کند. به عبارت دیگر درصدی از انرژی ورودی در اتصال مستهلک می گردد.



شکل ۱: اثر وجود میراگر اصطکاکی در منحنی ظرفیت سازه

۲- پیشینه مطالعات انجام شده در زمینه میراگرهای اصطکاکی

اولین مطالعات آزمایشگاهی در مورد اتصالات لویبایی SBC به مطالعات ونوتی (Venuti) در سال ۱۹۷۶ و زوتی (Zsutty) در سال ۱۹۸۴ برمی گردد. پس از آن در سال ۱۹۸۹ فیتزجرالد (Fitzgerald) نتایج کامل تری را در رابطه با میراگرهای اصطکاکی ارائه نمود. در اوایل دهه ۱۹۸۰، اوتار اس پال (Avtar S. Pall) وسیله ای برای مستهلک کردن انرژی ورودی لرزه ای به سازه از طریق اصطکاک نوآوری کرد. او این ایده را از مکانیزم ترمز اتومبیل ها الهام گرفت و معتقد بود که عمل ترمز مشابه توقف حرکت ساختمان ها در حین زمین لرزه است. همان گونه که ترمز اصطکاکی وسیله ی نقلیه، انرژی جنبشی ناشی از حرکت آنها را تلف می کند، حرکت


میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)										
صفحه: ۴		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

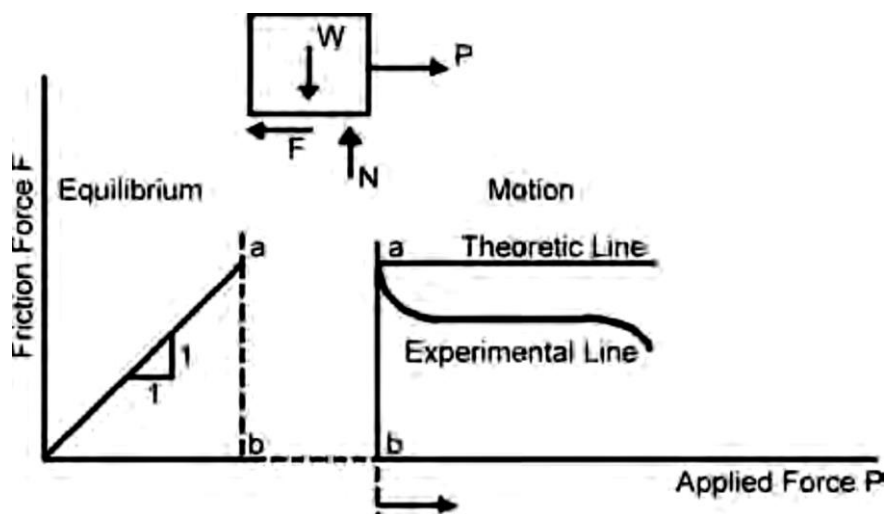
ساختمان نیز می تواند سبب استهلاک انرژی ناشی از زلزله به وسیله ی یک مکانیزم اصطکاکی باشد. این نظریه در سال ۱۹۸۲ منجر به نوآوری در میراگر اصطکاکی پال شد.

در ادامه و به منظور بررسی دقیقتر رفتارهای لرزه ای این گروه از میراگرها، مدل‌های متعددی توسط میز ارتعاش شبیه سازی و مورد مطالعه قرار گرفت. در سال ۱۹۸۶ یک قاب سه طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی بر روی میز لرزه قرار گرفت و زلزله ای با بیشینه ی شتاب $0.9g$ بر سازه اعمال شد اما به قاب هیچگونه خسارتی وارد نشد، در حالی که همان قاب بدون وجود مهاربند مجهز به میراگر در سطوح لرزه ای بس یار پایین دچار خرابی های گسترده ای شد. در سال ۱۹۸۸ یک قاب ۹ طبقه و سه دهانه با میراگرهای اصطکاکی بر روی میز لرزه قرار گرفت. تمامی اعضای قاب دارای میراگر تا شتاب $0.8g$ در محدوده ی الاستیک باقی ماندند، در حالی که قاب خمشی آن به تنهایی قادر به تحمل شتاب $0.3g$ بوده است. در سال ۱۹۹۳ گرگوریان به منظور افزایش مقاومت سایشی و بالا بردن کارایی میراگرهای اصطکاکی از فلز برنج مابین سطوح لغزش استفاده کرد. با توجه به کارایی و عملکرد مطلوب این میراگرها در بارهای دینامیکی، همچنان مطالعات تئوری و آزمایشگاهی در رابطه با آنها ادامه دارد. رضایت بخش بودن نتایج به دست آمده از مطالعات تحقیقاتی موجب گشته است، کاربرد عملی و تجاری میراگرهای اصطکاکی نیز مورد توجه قرار گرفته است. بخصوص به منظور مقاوم سازی ساختمانهای موجود، استفاده از این گروه میراگرها یکی از اولویتهای اصلی به شمار می آید.

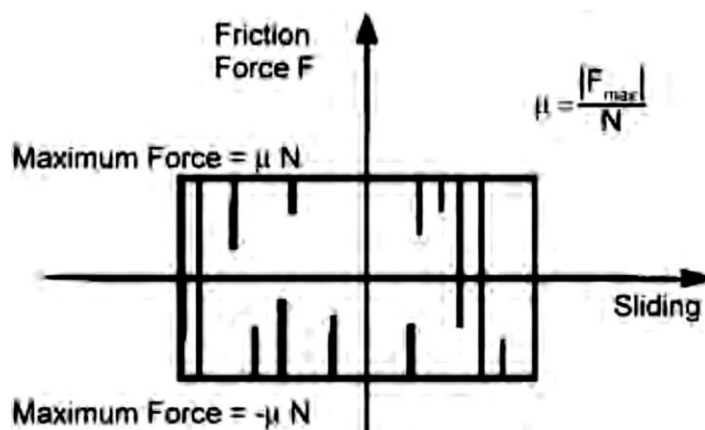
۳- مبانی و تئوری میراگرهای اصطکاکی

هنگامیکه یک جسم مطابق شکل تحت نیروی جانبی P قرار گیرد، با افزایش نیرو از حد نیروی اصطکاکی F ، جسم به صورت ناگهانی شروع به حرکت می کند، حرکت جسم از یک سو و نیروی اصطکاکی موجود مابین سطوح تماس از سوی دیگر باعث تولید انرژی گرمایی در سطح تماس جسم می شود. اکنون اگر نیروی وارده دینامیکی باشد، اصطکاکی مابین سطوح متحرک، حرارت و گرمای زیادی را در هر حرکت رفت و برگشتی تولید می کند. شکل (۲) انرژی تلف شده از اصطکاکی را تحت یک نیروی دینامیکی نشان می دهد. این انرژی گرمایی همان استهلاک انرژی است که در یک میراگر اصطکاکی تولید می شود.

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)								 گروه مهندسیین ۱۳۹۵	
صفحه: ۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴							۰۱		



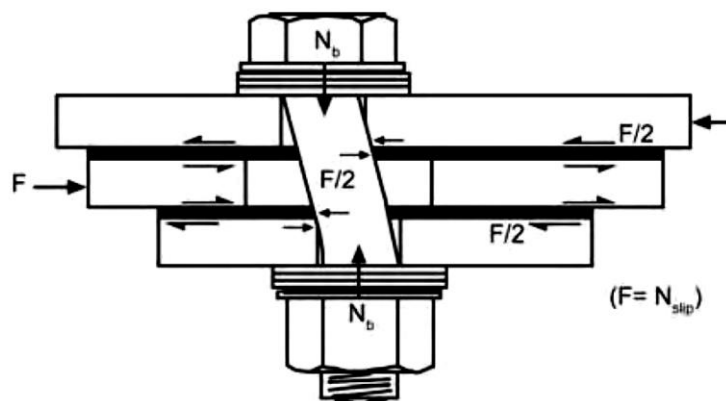
شکل ۲: رابطه نیروی اصطکاکی با نیروی عمود بر سطح



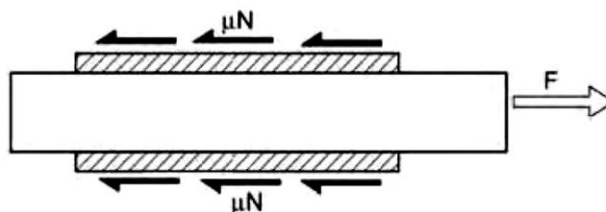
شکل ۳: عملکرد دینامیکی اتصال لوبیایی

میراگرهای اصطکاکی یکی از ساده‌ترین انواع وسایل اتلاف انرژی در سازه به شمار می‌آیند. اینگونه وسایل اتلاف انرژی با استفاده از یک اتصالات اصطکاکی همراه با سوراخ‌های لوبیایی شکل (۴-الف) مطابق اتصال شکل طراحی می‌گردند، در صورتی که نیروی اعمال شده به اتصال اصطکاکی از بار لغزش اتصال بزرگتر شود، سطوح به صورت ناگهانی شروع به حرکت می‌کنند. اما پس از حرکت با توجه به جنس سطوح تماس، مقدار نیروی اصطکاکی نسبت به شروع حرکت تغییر می‌کند و بسته به دامنه جابه‌جایی نیز این تغییرات متفاوت است (شکل ۲). بنابراین اگر بتوان نیروی اصطکاکی مشخصی را در یک اتصال یا یک عضو ایجاد کرد، به طوری که مقدار این نیروی قابل کنترل باشد، میراگر مورد نظر تولید شده است.

صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱	



الف) لغزش در اتصال اصطکاکی



ب) دیاگرام آزاد قطعه متحرک

شکل ۴: اتصال اصطکاکی با سوراخ لوبیایی

نیروی لغزش در اتصال شکل (۴-ب) با توجه به دیاگرام آزاد جسم مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_{slip} = 2\mu N$$

با شروع حرکت و تغییر مکان در میراگر اصطکاکی، حرارت و انرژی گرمایی در فصل مشترک دو سطح تولید می‌شود. با توجه به شکل (۳) انرژی حرارتی تولید شده برای یک سیکل کامل بارگذاری به صورت رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$E_d = 4F_{slip}\Delta$$

E_d و F_{slip} به ترتیب طول لغزش و بار لغزش، μ ضریب اصطکاک، N نیروی عمود بر سطح لغزش و Δ انرژی گرمایی است. بنابراین مطابق رابطه قبل انرژی حرارتی تولید شده به بار لغزش و طول مسیر لغزش (دامنه جابه‌جایی) وابسته است که با افزایش هر یک از مقادیر جابه‌جایی و یا بار لغزش، انرژی اتلافی نیز به صورت خطی افزایش می‌یابد. اکنون اگر بتوان هر یک از پارامترهای فوق را برای یک سازه محاسبه کرد می‌توان به میرایی مطلوب جهت کنترل ارتعاشات دینامیکی آن دست یافت و در حقیقت میراگر اصطکاکی لازم برای آن سازه طراحی شده است.

از مصالحی که برای سطوح لغزنده استفاده شده است، می‌توان به لایه‌های لنت ترمز روی فولاد، فولاد روی برنج و فولاد روی فولاد را نام برد. انتخاب فلز پایه برای میراگر اصطکاکی بسیار مهم است. مقاومت بالا در مقابل

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)									 گروه مهندسیین ISSES	
صفحه: ۷		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

خوردگی، اغلب می تواند ضریب اصطکاک فرض شده را برای عمر مورد نظر وسیله کاهش دهد. آلیاژ فولاد کم کربن، زنگ زده و می پوسد و خواص سطح مشترک آن ها در طی زمان تغییر می کند. آزمایشات بر روی فولاد ضد زنگ در تماس با برنج، خوردگی اضافی نگران کننده ای را نشان نداد و از این جهت این مواد برای استفاده در میراگرهای اصطکاکی مناسب هستند.

۴- انواع میراگر اصطکاکی


تمام میراگرهای اصطکاکی موجود به این صورت عمل می کنند که یک قسمت به صورت ثابت قرار گرفته و قسمت دیگر به صورت دینامیکی بر روی آن می لغزد. لغزش روی داده در سطح مشخصی از نیرو اتفاق افتاده و براساس قانون اصطکاک کلمب حرکت می کند؛ به گونه ای که تا سطح مشخصی از نیرو هیچ حرکتی روی نمی دهد، اما بعد از این سطح لغزش و حرکت آغاز می شود. ترکیب بندی و نحوه قرار گرفتن این سطوح لغزش موجب ایجاد میراگرهای اصطکاکی مختلف می شود که انواع آن در ادامه تشریح خواهد شد.

۴-۱- میراگر اتصالات اصطکاکی

این نوع میراگر از سیستم های رایج استهلاک در سازه می باشد که برای اتلاف انرژی از طریق اصطکاک از اتصالات پیچ های لغزشی استفاده می کند. از این نوع اتصالات می توان به اتصالات پیچی لغزنده نام برد، که خود به اتصال لغزنده خطی و اتصال لغزنده دورانی تقسیم می شود.

۴-۲- میراگر اصطکاکی پال

این سیستم اولین بار به وسیله ی پال و مارچ در سال ۱۹۸۲ معرفی شد. ساز و کار این سیستم ایجاد سطوح اصطکاک لغزشی در محل تقاطع بادبندهاست (شکل ۵). برای قاب های ساختمانی، این میراگر ها را می توان در بادبند های کششی ضربدری، قطری تک و شورن به کار برد. این میراگر از چند سری ورقه های فولادی به گونه ای ساخته شده است که دارای بیشترین سطح اصطکاک بوده و به وسیله ی بولت های فولادی پر مقاومت به یکدیگر بسته شده اند. این میراگر ها در برابر بار باد، لغزش نمی کنند اما در تحریکات جدی لرزه ای، برای بار بهینه ای که پیش از آن برای آن طراحی شده اند، پیش از آنکه اعضای سازه ای تسلیم شوند وارد عمل شده و سهم زیادی از انرژی زلزله را از بین می برند. این کار به سازه این امکان را می دهد که به صورت الاستیک باقی مانده و تسلیم آن تا وقوع زلزله ی شدید تری به عقب بیافتد. خصوصیت دیگر سازه ی مجهز به میراگر


میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)									
صفحه: ۸	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
دی ماه ۹۴								۰۱	

اصطکاکی آن است که پیوند طبیعی آن با دامنه ارتعاش تغییر می کند. لذا از پدیده ی رزونانس جلوگیری به عمل می آید.



شکل ۵: میراگر اصطکاکی پال در مهاربند ضربداری

اولین مدل میراگر اصطکاکی پال در مهاربند شورون در جهت مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ایتون کانادا آزمایش شد. مدل سازی به صورت ترکیب مهاربند و میراگر انجام شد و نیروی متناظر تسلیم غیرخطی همان نیروی لغزش لحاظ شده است. شکل ۶، چگونگی قرار گرفتن آن را در دو ساختمان مختلف در مهاربند شورون نشان می دهد.

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)									
صفحه: ۹	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
دی ماه ۹۴								۰۱	



(ب)




(الف)

شکل ۶: به کارگیری میراگر اصطکاکی پال در مهاربند شورون (الف): ساختمان ایتون در مونترال، (ب):
ساختمان اداره کل دادگستری اوتاوا

۴-۲-۱- روش طراحی میراگر اصطکاکی پال

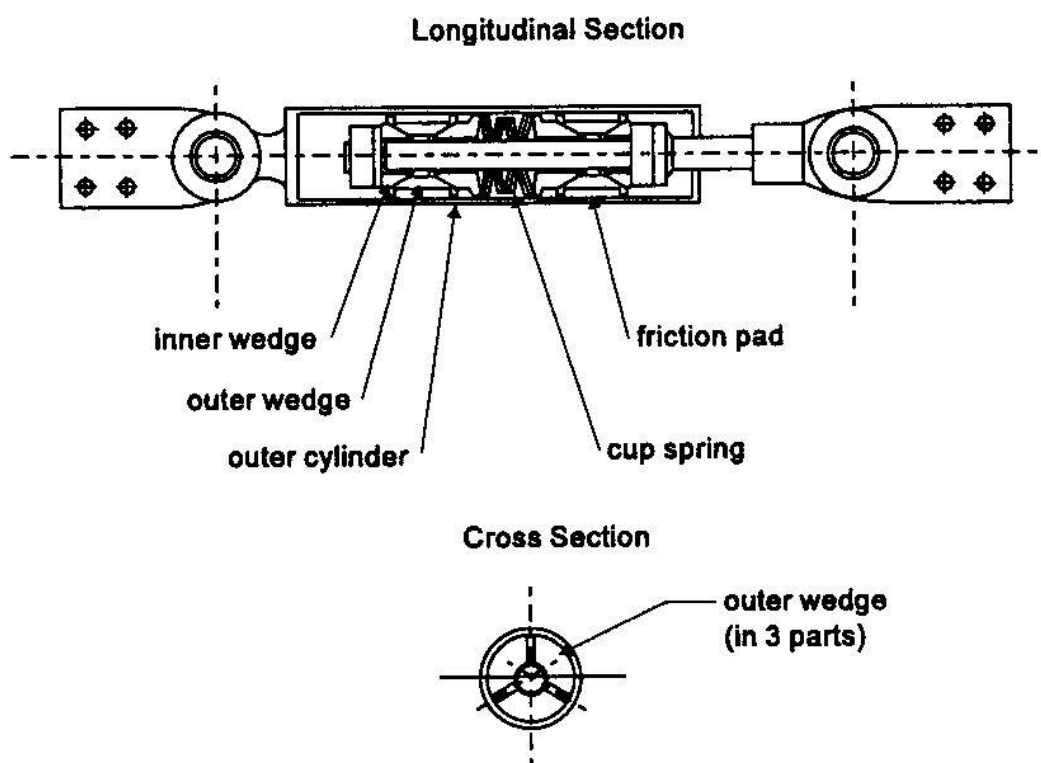
روش طراحی میراگر اصطکاکی پال به گونه ای است که در برابر بارهای سرویس معمولی و زلزله های خفیف لغزش پیدا نکند. یعنی از پیش، برای نیروی خاصی طراحی می شود که تا پیش از وارد شدن آن، سازه به صورت ارتجاعی باقی بماند. اما بعد از آن نیروی خاص، لغزش اتفاق افتاده و میراگر اصطکاکی انرژی زیادی را جذب می کند و به تبع آن پریود طبیعی سازه نیز تغییر می کند. باید توجه داشت قبل از هر تغییر شکل غیر الاستیک اعضای اصلی سازه، این دستگاه باید به کار بیفتد.

میزان انرژی مستهلک شده به وسیله ی این میراگر برابر حاصل ضرب بار لغزش در میزان جا به جایی تمامی میراگرها است. در واقع انرژی مستهلک شده به بار تعیین شده برای لغزش میراگرهای اصطکاکی وابسته است. بدیهی است اگر نیروی لازم برای لغزش میراگر از ظرفیت نهایی مهاربند بیشتر باشد، هیچ لغزشی رخ نداده و انرژی تلف نمی شود، پس سازه شبیه یک قاب بادبندی عمل می کند. از طرفی اگر نیروی لازم برای لغزش صفر باشد، استهلاک انرژی ناشی از لغزش رخ نمی دهد و سازه شبیه به یک قاب خمشی مقاوم رفتار می کند. در بین دو حالت حدی، بار لغزش بهینه وجود دارد که از یک سری تحلیل های دینامیکی غیر خطی به دست می آید، در واقع بهترین پاسخ، زمانی به دست می آید که تفاوت میان انرژی ورودی و انرژی مستهلک شده کمینه شود، در این صورت نیروی آستانه لغزش بهینه خواهد شد.

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)								 گروه مهندسیین ۱۳۸۵	
صفحه: ۱۰	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴							۰۱		

۳-۴- میراگر اصطکاکی سومیتومو


این میراگر توسط صنایع فلزی سومیتومو به بازار عرضه شد که به بادندها متصل می‌شد. این وسیله دارای یک جدار استوانه‌ای می‌باشد که در داخل آن بالشتک‌هایی تعبیه شده است (شکل ۷). این بالشتک‌ها بر روی جدار داخلی وسیله می‌لغزد و انرژی زیادی را از طریق اصطکاک مستهلک می‌کند.



شکل ۷: میراگر اصطکاکی سومیتومو

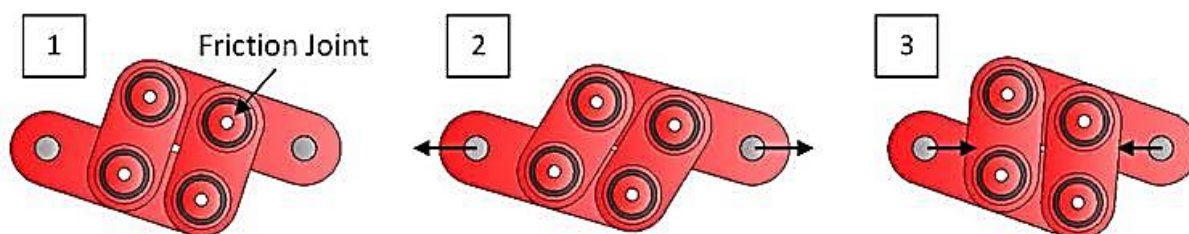
۴-۴- میراگر اصطکاکی دورانی

ایمن میراگر در سال ۲۰۰۰ در رساله‌ی دکترای *Mualla* معرفی شد. از این میراگر در مراجع فنی با عنوان میراگر اصطکاکی جدید نیز نام برده می‌شود که می‌تواند به صورت یک و چندواحد برای نیروی اصطکاکی مورد نظر استفاده شود (شکل ۸). این میراگر بر اساس اصطکاک بین واحدها عمل می‌کند و با جمع شدن یا باز شدن موجب ایجاد اصطکاک و در نتیجه استهلاک انرژی می‌شود (شکل ۹). در شکل (۱۰) نواحی بحرانی در حین عمل کردن میراگر در قالب مدل‌سازی مشخص شده است. مهاربندهای مورد استفاده برای این میراگر دارای نیروی پیش‌تنیدگی اولیه هستند تا از کماتش مهارها (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) جلوگیری شود.

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)									
صفحه: ۱۱	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
دی ماه ۹۴								۰۱	



شکل ۸: میراگر اصطکاکی دورانی دو و چهار واحد



شکل ۹: میراگر اصطکاکی دورانی، (۱) در حالت عادی، (۲) حالت باز شده، (۳) حالت جمع شده



شکل ۱۰: نواح بحرانی یک میراگر اصطکاکی دورانی

میراگرهای اصطکاکی (Friction Dampers)



صفحه: ۱۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
دی ماه ۹۴							۰۱	



شکل ۱۱: کاربرد میراگر اصطکاکی دورانی در بادبند سازه بتنی



شکل ۱۲: کاربرد میراگر اصطکاکی دورانی در بادبند سازه فولادی