



# جداسازهای اصطکاکی نواری

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

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱	

## فهرست مطالب

- ۱-مقدمه ۳
- ۲-مروری بر پژوهش های انجام شده بر روی جداگرهای اصطکاکی نواری ۳
- ۳-جداگر اصطکاکی نواری یک جهته ۸
- ۴-جداگر اصطکاکی نواری دو جهته ۹
- ۵-مقایسه لنگر خروج از مرکزیت در جداگر اصطکاکی نواری با مدل کاسه ای متداول ۱۱
- ۶-ایجاد سطوح عملکرد متفاوت با استفاده از جداگر اصطکاکی نواری چندگانه ۱۲
- ۷-قابلیت ترکیب جداگرهای اصطکاکی نواری برای ظرفیت های باربری بیشتر ۱۳
- ۸-مزیت های جداگرهای اصطکاکی نواری ۱۴

<b>جداسازهای اصطکاکی نواری</b>										
صفحه: ۳		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		

## ۱- مقدمه

جداگرهای اصطکاکی آونگی قابلیت ایجاد میرایی زیاد را همانند جداگرهای اصطکاکی با سطح صاف داشته، ولی بر خلاف آنها دارای سختی و نیروی بازگرداننده می باشند. مقدار سختی جانبی متناسب با مقدار بار فشاری و معکوس شعاع انحنا می باشد. با توجه به ثابت بودن شعاع مقدار سختی افقی در هنگام بارگذاری متناسب با تغییرات نیروی قائم تغییر می کند. این مورد از طرفی باعث می شود که جداگر خود بصورت اتوماتیک متناسب با نیروی وارده سختی جانبی را کم و زیاد کند که این از بزرگترین مزیت‌های یک سیستم جداگر لرزه‌ای می باشد. از طرف دیگر به لحاظ محاسباتی مدل‌سازی را مشکل می سازد. همچنین ضریب اصطکاک وابستگی به نیروی وارده و سطح تماس دارد. با استفاده از قرارگیری چندین سطح تماس مختلف (جداگر اصطکاکی آونگی چندگانه) می توان مقدار جابه‌جایی حداکثر را در چندین بخش تقسیم کرده و از این طریق طول جداگر را کاهش داد. در جداگرهای اصطکاکی آونگی متداول هندسه سطح تماس بصورت بخشی از یک کره می باشد و می تواند از این طریق بصورت شعاعی حرکت را در سطح یک دایره به شعاع ابعاد جداگر امکان پذیر سازد. یکی از مشکلات اصلی جداگرهای اصطکاکی آونگی به این شکل نداشتن قابلیت تحمل برکنش می باشد.

جداگر اصطکاکی آونگی نواری شکل ساده شده جداگرهای اصطکاکی آونگی است که ساخت آن ساده تر بوده و القای برخی خصوصیات مفید مانند تحمل نیروی برکنش در آنها آسان تر می باشد.

## ۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده بر روی جداگرهای اصطکاکی نواری

جداگر اصطکاکی آونگی نواری به نام‌های جداگر آونگی سیلندری<sup>۱</sup>، با ظرفیت کششی<sup>۲</sup>، با قابلیت تحمل نیروی برکنش<sup>۳</sup> و  $XY$ <sup>۴</sup> نیز شناخته می شوند. ایده جداگر اصطکاکی نواری در حقیقت استفاده از حرکت مستقل در دو جهت عمود بر هم روی هر یک از نوارها و ترکیب آنها برای حرکت سازه در جهت برآیند می باشد. همانطور که گفته شد بر طبق روابط تئوری سختی یک جرم در هنگام حرکت بر روی یک سطح مشابه با حرکت یک آونگ برابر  $K=W/R$  می باشد. با استفاده از سطح مقعر استوانه‌ای با شعاع ثابت با ایجاد سختی می توان نیروی بازگرداننده همانند جداگرهای آونگی متداول با سطح کرووی ایجاد نمود. نیروی اصطکاک ایجاد شده در

<sup>۱</sup> Cylindrical Friction Pendulum Isolator

<sup>۲</sup> Tension-Capable Friction Pendulum Isolator

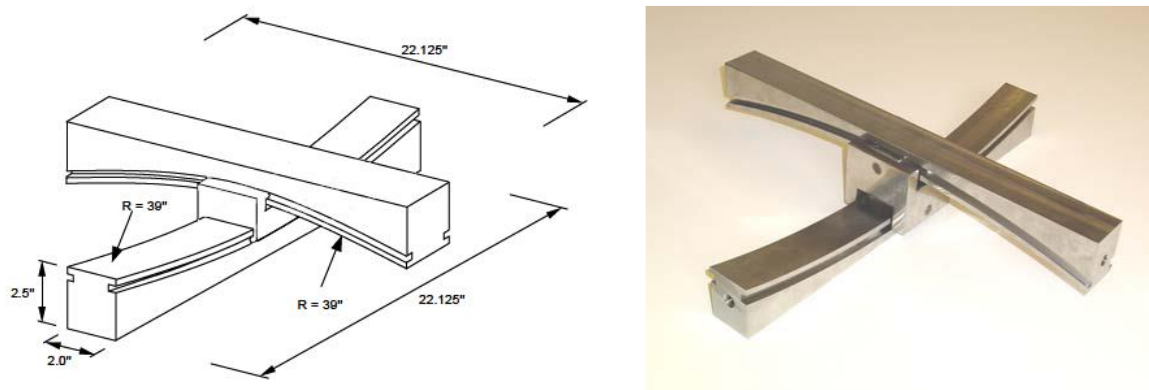
<sup>۳</sup> Uplift-Restrained Friction Pendulum Isolator

<sup>۴</sup> XY- Friction Pendulum Isolator

جداسازهای اصطکاکی نواری									 گروه مهندسیین RIMS
صفحه: ۴	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴							۰۱		

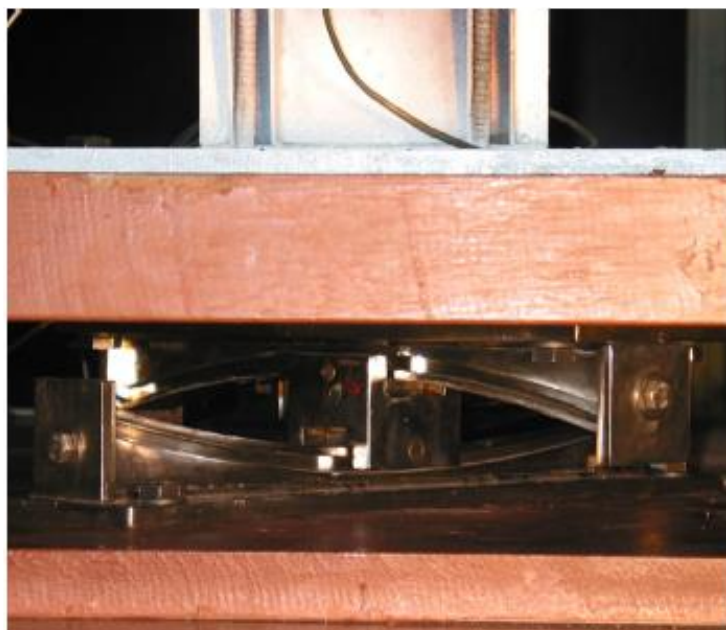
هنگام لغزش همانند سایر جداگرهای اصطکاکی باعث باز شدن چرخه هیستریزیس (شکل گیری حلقه هیستریزیس) و ایجاد میرایی در جداگر می‌شود. با توجه به ساختار این جداگرها می‌توان با استفاده از اضافه کردن یکسری جزئیات به قسمت لغزنده و اعمال تغییراتی در کناره‌های ورق پشت‌بند قابلیت تحمل نیروی کششی را نیز در جداگر نواری ایجاد نمود. با این تفاسیر نام جداگر اصطکاکی آونگی نواری برای این جداگر مناسب‌تر بنظر می‌رسد. در این صورت نوع دو طرفه، چند گانه، ظرفیت باربری کششی و نوع ترکیبی قابلیت‌های الحاقی به جداگر می‌باشند. این نام گذاری در شکل (۱) نمایش داده شده است.

راسیس و کنستانتینو در سال ۲۰۰۴ در دانشگاه بوفالو جداگر اصطکاکی آونگی نواری با ظرفیت کششی را مورد بررسی قرار دادند. مشخصات جداگر آزمایش شده در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱: مشخصات جداگر آزمایش شده در دانشگاه بوفالو (راسیس و کنستانتینو در سال ۲۰۰۴)

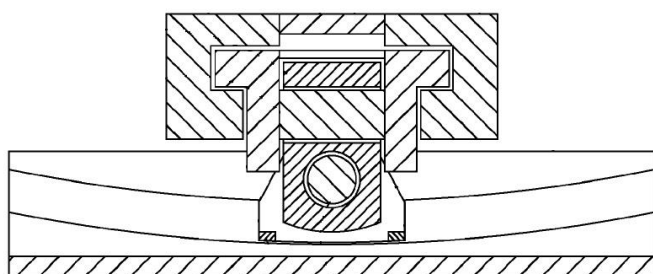
در این پژوهش جداگرها بر روی میز لرزه و در زیر یک سازه ۵ طبقه قرار داده شدند (شکل ۲).



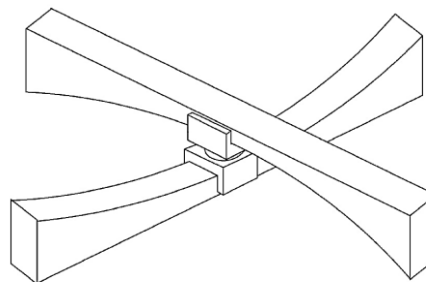
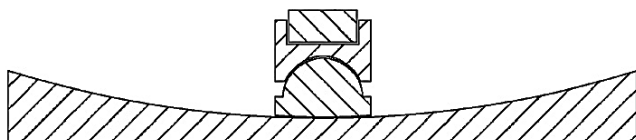
جداسازهای اصطکاکی نواری									 گروه مهندسیین RIEES
صفحه: ۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱	

شکل ۲: آزمایش سازه ۵ طبقه جداسازی شده بر روی میز لرزه در دانشگاه بوفالو (راسیس و کنستانتینو در سال ۲۰۰۴)

نتایج آزمایش رفتار مناسب این جداگرها را در کشش تایید نمود. این جداگر در بارگذاری کششی نیز می‌تواند به همان صورت تحت بارگذاری فشاری عمل کند. جداگرهای اصطکاکی آونگی نواری با قابلیت تحمل نیروی کششی حرکت برشی چند جهته را همانند جداگرهای آونگی متداول با سطح کروی غیر کششی ممکن می‌سازد. زایاس در سال ۲۰۰۶ دو طرح متفاوت از جداگر آونگی اصطکاکی نواری با قابلیت تحمل نیروی کششی مطابق شکل‌های (۳) و (۴) ارائه کرده است.




شکل ۳: جداگر آونگی اصطکاکی نواری با قابلیت تحمل نیروی کششی (زایاس ۲۰۰۶)



شکل ۴: جداگر آونگی اصطکاکی نواری ساده (زایاس ۲۰۰۶)

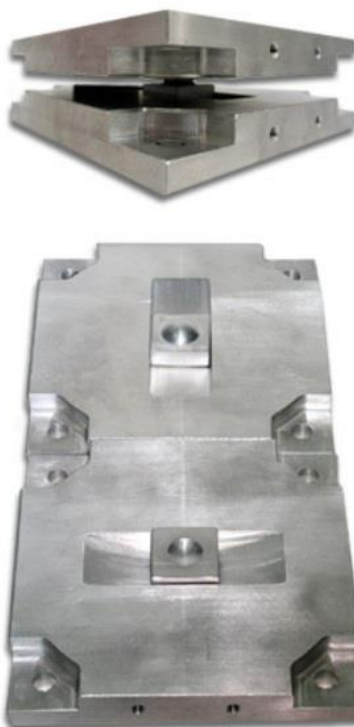
کارول و همکاران از یک طرح ابتکاری برای جداگر اصطکاکی آونگی نواری برای جداسازی لرزه‌ای یک ساختمان استفاده کردند (شکل ۵).

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۶	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴							۰۱		



شکل ۵: جداگر آونگی اصطکاکی نواری با قابلیت تحمل نیروی کششی (کارول و همکاران)

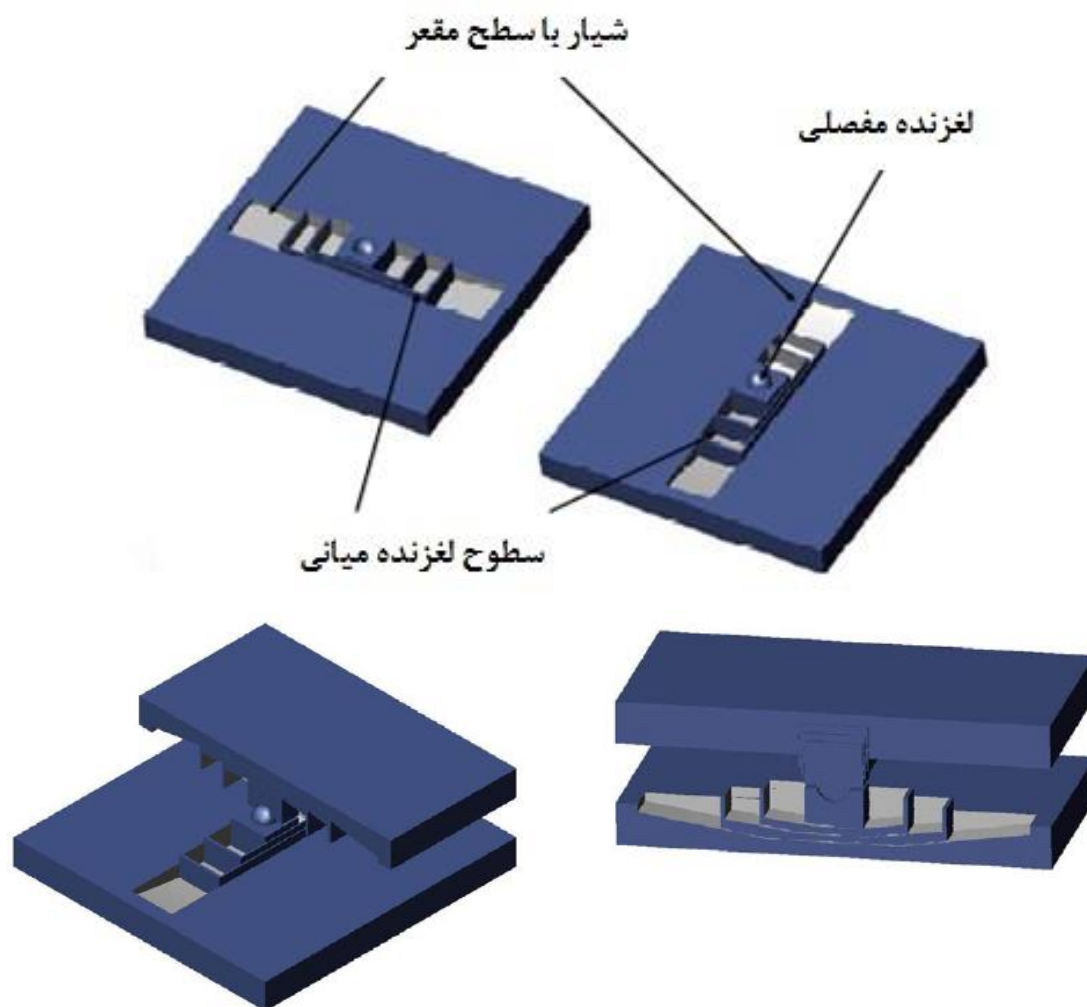
یک نوع خاص جداگر اصطکاکی آونگی دیگر با نام جداگر اصطکاکی آونگی شیاری<sup>۱</sup> نیز توسط تسای و همکاران در سال ۲۰۰۸ بصورت تئوری و همچنین نمونه ساخته شده آن بر روی میز لرزه مورد بررسی قرار گرفت. این جداگر از لحاظ عملکرد کاملاً مشابه با جداگر اصطکاکی آونگی نواری می‌باشد. ایده هدایت حرکت در دو مسیر عمود بر هم در این نوع جداگر با استفاده از یک شیار مطابق شکل (۶) امکان‌پذیر می‌شود.



شکل ۶: جداگر اصطکاکی آونگی شیاری


جداسازهای اصطکاکی نواری									 گروه مهندسیین دانشگاه تهران
صفحه: ۷	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱	

این نوع جداگر نیز همانند نوع نواری قابلیت افزایش سطوح دارد که به آن جداگر اصطکاکی آونگی شیاری چند گانه<sup>۱</sup> گفته می شود. طرح شماتیک نوع سه گانه در شکل (۷) نمایش داده شده است.



شکل ۷: جداگر آونگی اصطکاکی شیاری دوطرفه

تسای و همکاران در سال ۲۰۰۹ جداگر اصطکاکی آونگی شیاری دوطرفه سه گانه را بر روی میز لرزه برای یک ساختمان ۳ طبقه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که رفتار این نوع جداگر همانند نوع متداول با سطح کروی بوده و رفتار پایداری در زلزله از خود نشان می دهد (شکل ۸).

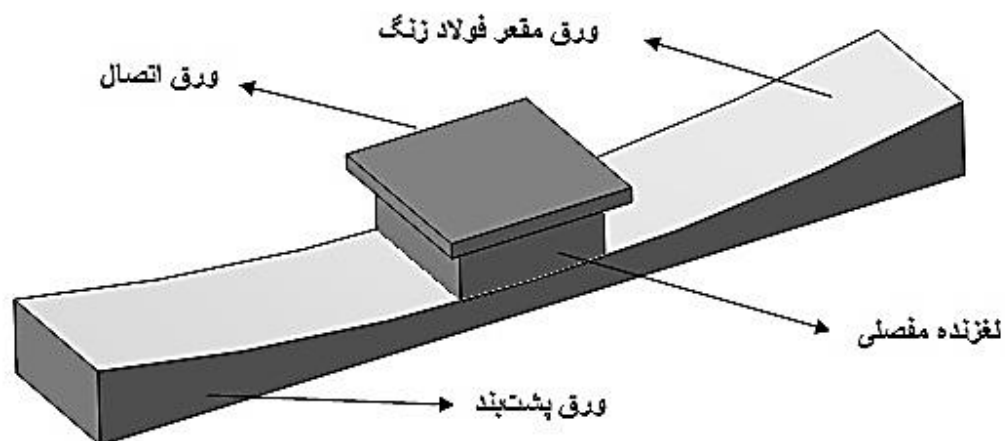
جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۸	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱	



شکل ۸: آزمایش جداگر آونگی اصطکاکی شیاری سه‌گانه بر روی میز لرزه و زیر سازه ۳ طبقه (تسای ۲۰۰۹)


### ۳- جداگر اصطکاکی نواری یک‌جهته

ایده جداگر اصطکاکی نواری که در شکل (۹) به صورت شماتیک نمایش داده شده است، با سطح تماس، تکنولوژی و هزینه ساخت بسیار کمتر از سایر جداگرها امکان جداسازی پایه را برای جهت نوار فراهم ساخته و در سازه‌های دارای حرکت طولی مانند پلها و شریان‌های حیاتی قابلیت کاربرد دارد.



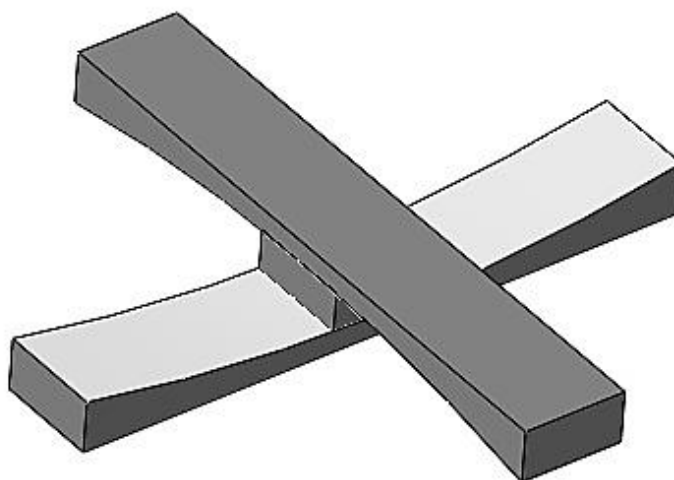
شکل ۹: طرح شماتیک جداگر اصطکاکی نواری یک‌جهته



جداسازهای اصطکاکی نواری										
صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		


#### ۴- جداگر اصطکاکی نواری دو جهته

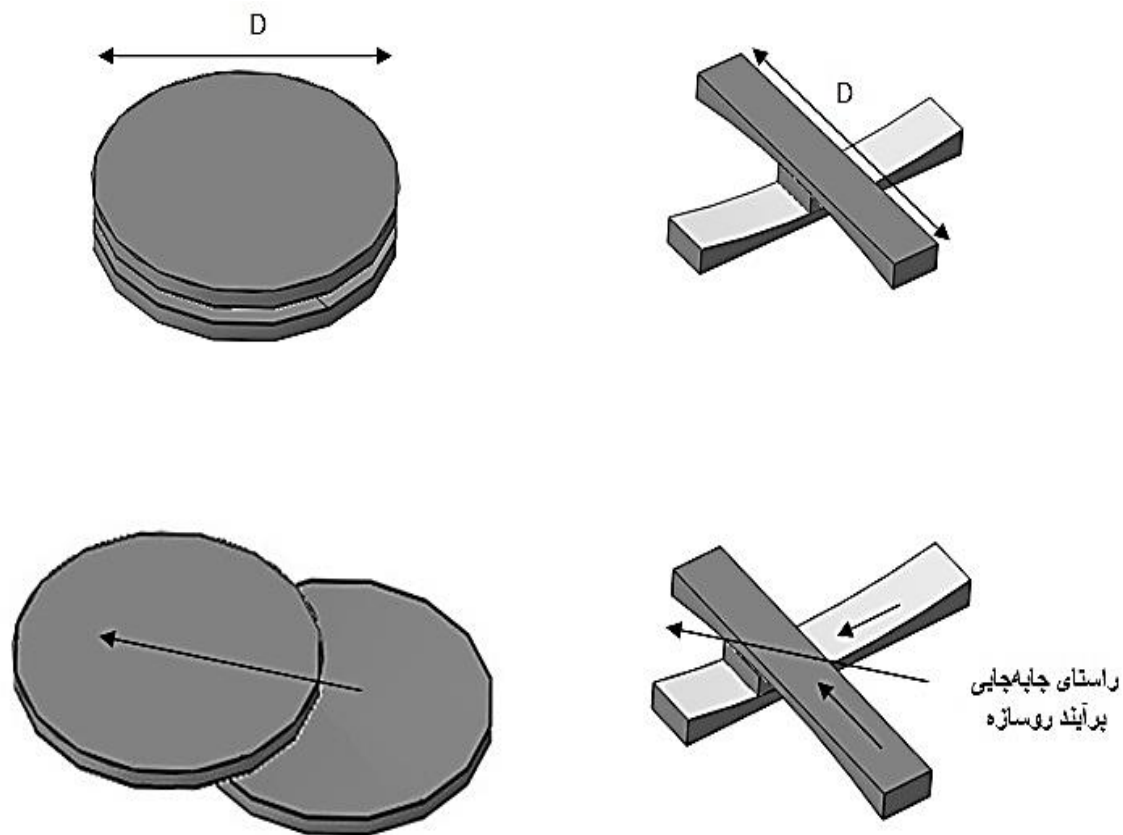
نوع دارای حرکات دو جهته جداگرهای اصطکاکی نواری، متشکل از دو نوار مستطیلی افقی روی هم بوده که راستای آنها عمود بر هم بوده و در بین آنها یک بخش واسط لغزنده قرار دارد. بخش لغزنده نقش ایجاد انسجام و ترکیب مولفه حرکت نوار بالا و پایین را دارا بوده و علاوه بر آن می تواند قابلیت تحمل نیروی کششی را نیز در جداگر ایجاد نماید. بر روی هر یک از این نوارها، قوسی مشابه با جداگرهای اصطکاکی آونگی وجود دارد که در شکل (۱۰) به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: طرح شماتیک جداگر اصطکاکی نواری دو جهته

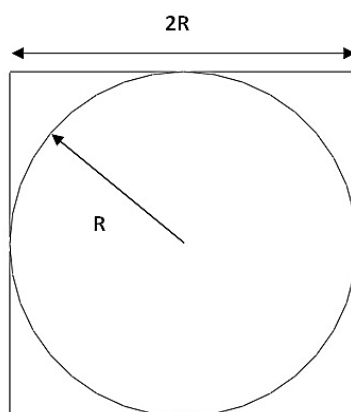
اساس حرکت مطابق شکل (۱۱) بر این مبنا می باشد که بخش لغزنده بر روی هر سطح تنها در یک راستا قابلیت حرکت خواهد داشت و ترکیب این حرکتها امکان حرکت بر روی یک سطح مربعی به ابعاد نوار بالا و پایین را ایجاد می کند.

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۱۰		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
آذرماه ۹۴								۰۱	



شکل ۱۱: طرح شماتیک جابه‌جایی در جداگر اصطکاکی آونگی نواری دو جهته و جداگر اصطکاکی آونگی با سطح کروی

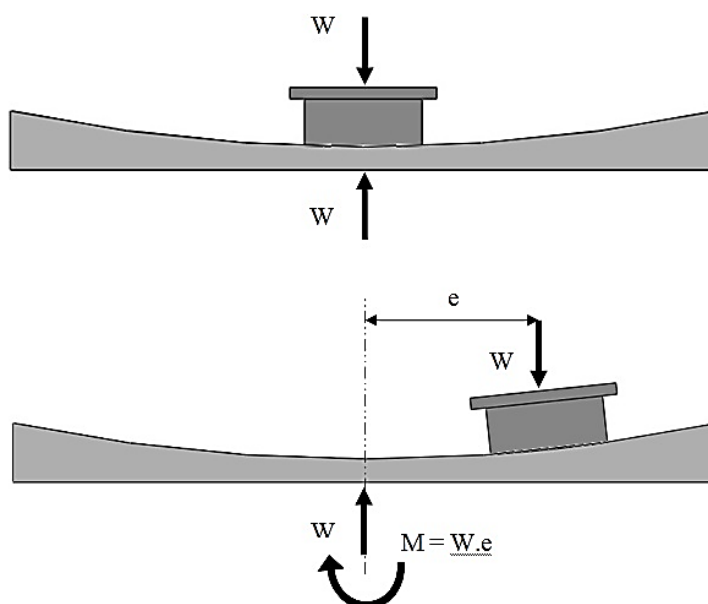
بنابراین همانطور که در شکل (۱۲) نیز نمایش داده شده است سطح جابه‌جایی در جداگر آونگی نواری مربعی محیط بر دایره سطح جابه‌جایی در جداگر آونگی با سطح کروی معادل می‌باشد.



شکل ۱۲: سطح جابه‌جایی در جداگر آونگی با سطح کروی (بصورت دایره) و نواری (بصورت مربع)


## ۵- مقایسه لنگر خروج از مرکزیت در جداگر اصطکاکی نواری با مدل کاسه‌ای متداول

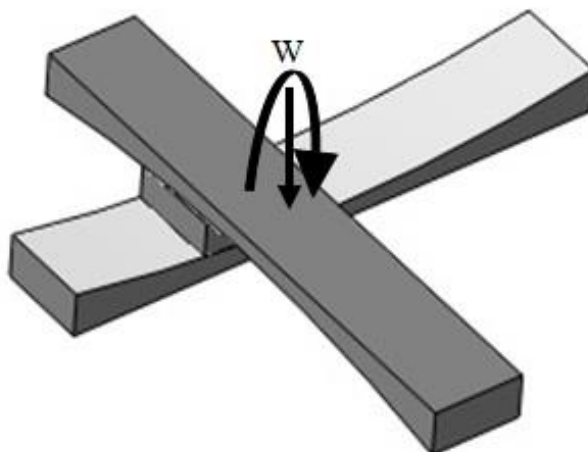
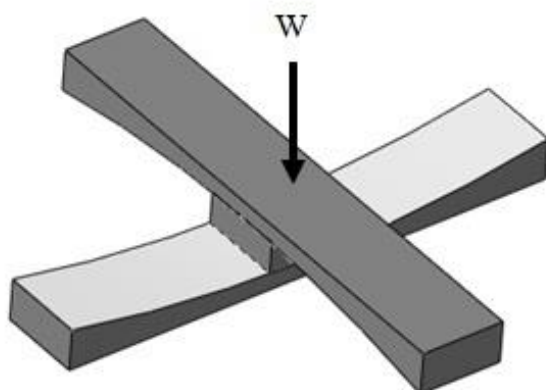
همانطور که گفته شد در جداگرهای آونگی متداول با سطح کروی ساده بر اساس اینکه بخش لغزنده به ستون متصل است یا پی لنگر ناشی از خروج از مرکزیت ستون تنها به یکی از این دو بخش انتقال خواهد یافت. در جداگر اصطکاکی آونگی نواری یکطرفه نیز همانطور که در شکل (۱۳) نمایش داده شده است این امر صادق است.



شکل ۱۳: انتقال لنگر به پی ناشی از خروج از مرکزیت در جداگر اصطکاکی آونگی نواری یکطرفه

در جداگر اصطکاکی آونگی با سطح کروی دوگانه (و بطور کلی چندگانه) لنگر ناشی از خروج از مرکزیت به هر دو بخش منتقل خواهد شد که البته استفاده از حالت‌های چندگانه باعث کاهش این خروج از مرکزیت خواهد شد. با توجه به امکان حرکت نامقید به راستایی خاص لغزنده بر روی هر یک از سطوح لغزش کروی در بالا و پایین جداگر امکان انتقال لنگر دو جهته در روسازه و پی وجود داشته و بنابراین می‌بایست اتصال پای ستون‌ها در هر دو جهت به صورت گیردار طراحی شود و همچنین وجود پی گسترده در زیر جداگر نیز لازم می‌باشد. در جداگر اصطکاکی آونگی نواری دوطرفه نیز لنگر ناشی از خروج از مرکزیت به هر دو بخش منتقل خواهد شد و در اینجا هم می‌توان با استفاده از سطوح لغزش چندگانه مقدار این خروج از مرکزیت را کاهش داد. اما در این نوع جداگر آونگی لنگر انتقال یافته به ستون یا پی مطابق شکل (۱۴) هم جهت با نوار متصل به آن می‌باشد.

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۱۲	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴							۰۱		




شکل ۱۴: انتقال لنگر در راستای نوار ناشی از خروج از مرکزیت در جداگر اصطکاکی آونگی نواری دوطرفه

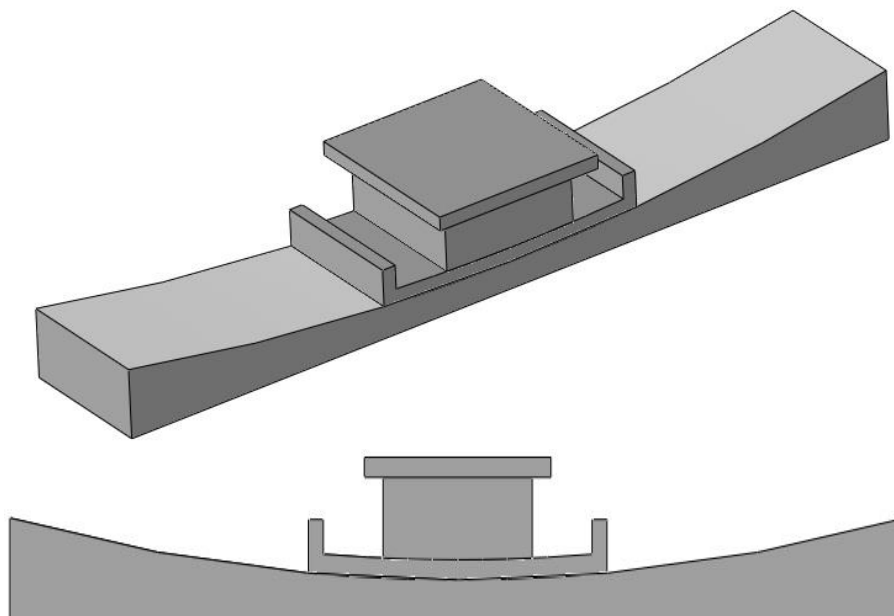
این یکی از مزیت‌های بزرگ جداگر اصطکاکی آونگی اصطکاکی نواری نسبت به نوع متداول با سطح کروی می‌باشد، با توجه به اینکه نیرو در هر نوار تنها در یک جهت متحرک است لنگر اعمالی به پی تنها در یک جهت خواهد بود، بنابراین هنگام استفاده از این جداگرها می‌توان از پی‌های نواری و پدستال‌های مستطیلی یا دیواری استفاده نمود.

## ۶- ایجاد سطوح عملکرد متفاوت با استفاده از جداگر اصطکاکی نواری چندگانه

همانطور که گفته شد با استفاده از چندین سطح لغزش می‌توان ابعاد جداگر اصطکاکی آونگی با سطح کروی و همچنین خروج از مرکزیت ناشی از جابه‌جایی نسبی سطوح بالا و پایین را کاهش داد و با انتخاب ضرایب اصطکاک متفاوت، رفتار متناسب در زمین‌لرزه‌های با شدت متفاوت را ایجاد کرد. استفاده از سطوح لغزش

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۱۳	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴							۰۱		

چندگانه در جداگر اصطکاکی آونگی نواری به سادگی امکان پذیر است. در شکل (۱۵) جداگر اصطکاکی آونگی یکطرفه دوگانه نمایش داده شده است.




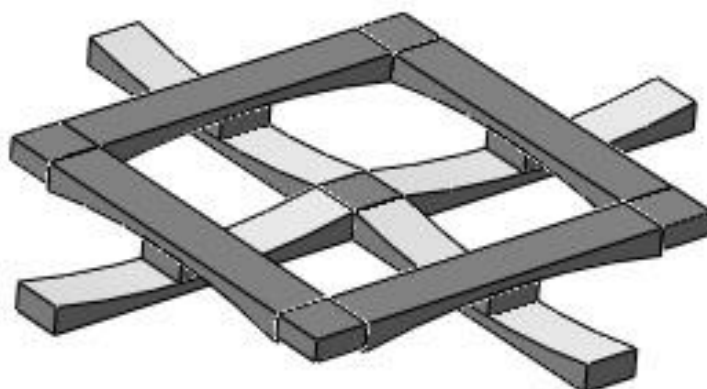
شکل ۱۵: جداگر اصطکاکی آونگی نواری یکطرفه دوگانه

این طرح به سادگی قابل تعمیم به حالت چندگانه و همچنین استفاده از آن در حالت دوطرفه به سادگی امکان پذیر می باشد.

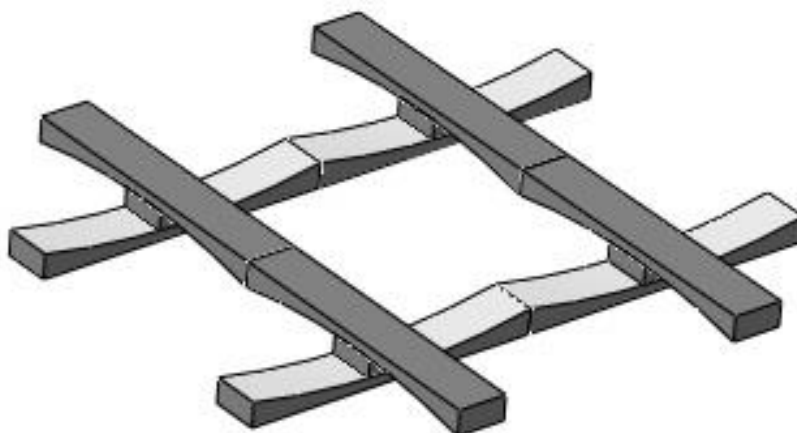
## ۷- قابلیت ترکیب جداگرهای اصطکاکی نواری برای ظرفیت های باربری بیشتر

استفاده از جداگر اصطکاکی آونگی نواری دوطرفه تحت نیروی فشاری زیاد ممکن است بدلیل لنگر بزرگ بوجود آمده در اثر خروج از مرکزیت ناپایدار شود. یکی از قابلیت های فوق العاده جداگر اصطکاکی آونگی نواری امکان ترکیب آن برای ایجاد ظرفیت باربری فشاری بیشتر می باشد. بر روی این ایده بررسی های فراوانی صورت گرفت و در نهایت دو طرح مختلف ارائه شد که در شکل (۱۶) و (۱۷) نمایش داده شده است.

جداسازهای اصطکاکی نواری									
صفحه: ۱۴	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱	



شکل ۱۶: طرح شماره ۱- ترکیب جداگرهای نواری برای ایجاد ظرفیت فشاری بیشتر




شکل ۱۷: طرح شماره ۲- ترکیب جداگرهای نواری برای ایجاد ظرفیت فشاری بیشتر

در سیستم ترکیبی بار فشاری به ۴ قسمت مساوی تقسیم شده و ابعاد هندسی نوارها کاهش می‌یابد. در این حالت لنگر ناشی از خروج از مرکزیت به ۴ قسمت تقسیم شده و توزیع تنش در زیر آن بصورت مناسب‌تری در خواهد آمد. در طرح شماره ۲ با توجه به فاصله ثابت نوارها فاصله لغزنده‌ها ثابت می‌باشد. از آنجا که با ستون در مرکز این ۴ لغزنده اعمال می‌شود لنگری به سازه و پی منتقل نمی‌شود. این ایده قابل تعمیم به ترکیب تعداد بیشتری از نوارها می‌باشد.

## ۸- مزیت‌های جداگرهای اصطکاکی نواری

بطور کلی مشخصات جداگر اصطکاکی نواری را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

- رفتار مشابه با جداگر اصطکاکی آونگی

جداسازهای اصطکاکی نواری										
صفحه: ۱۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		

- هزینه مصالح و ساخت کمتر و همچنین تکنولوژی ساخت ساده تر نسبت به جداگر اصطکاکی آونگی با سطح کروی
- امکان استفاده از حالت یکطرفه برای سازه‌های تحت ارتعاش یکطرفه مثل پل و حالت دوطرفه برای سازه‌های تحت ارتعاش دوطرفه مثل ساختمان
- امکان ایجاد چند سطح لغزش با ضرایب اصطکاک مختلف متناسب با سطوح مختلف زلزله
- امکان ایجاد قابلیت تحمل نیروی کششی و مقاومت در برابر نیروی برکنش
- اعمال لنگر یک جهته به پی و امکان استفاده از پی‌های نواری و پداستال‌های مستطیلی یا دیواری
- قابلیت ترکیب در شکل‌های مختلف برای ظرفیت قائم بیشتر، خروج از مرکزیت کمتر و پایداری بیشتر تحت بارهای جانبی