



# ارزیابی طیف طرح بار لغزش و نگرشی بر طراحی سیستم میراگر اصطکاکی پال در تحلیل خطی و مقایسه آن با تحلیل دینامیکی غیر خطی

هاشم شریعتمدار<sup>۱</sup>، فرشاد صادقی<sup>۲</sup>

۱- دکتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- مهندس، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

Shariatmadar\_h@yahoo.com

## خلاصه

یکی از مهمترین مسائلی که در زمینه مهندسی زلزله خودنمایی می کند، یافتن راههای تقلیل نیروی زلزله وارده به اعضای سازه ای ساختمان می باشد. در این بین، پارامترهای مهم دیگری از جمله کاهش هزینه و نیز سرعت انجام کار نقش بسزایی در انتخاب راهکارهای فوق دارد. استفاده از انواع میراگرهای فعال و غیر فعال، در صنعت ساختمان یکی از بهترین این راهکارها می باشد. در این میان انتخاب میراگرهای غیر فعال به خاطر کم هزینه بودن و تکنولوژی مناسبتر نسبت به میراگرهای فعال و امکان استفاده آنها در داخل کشور، ارجحیت دارد. در این مقاله با بررسی رفتار میراگر اصطکاکی پال در تحلیل خطی و روش گام به گام تهیه طیف طرح بار لغزش، سعی در ارائه روشی مناسب و کارآمد و آسان در یافتن بار لغزش بهینه این میراگر، شده است. و در انتها بوسیله آنالیز دینامیکی غیر خطی نتیجه حاصل شده مقایسه می گردد.

با استفاده از تحلیل خطی و روش گام به گام توضیح داده شده می توان به راحتی بار لغزش بهینه میراگر اصطکاکی پال در قاب فلزی را محاسبه و طراحی نمود بدون اینکه نیاز به محاسبات دینامیکی طولانی باشد. و این مقدار بسیار نزدیک به نتایج آنالیزهای غیر خطی دینامیکی انجام شده می باشد. و در صورت ساخت این میراگرها در کشور می توان از آنها در طراحی سازه ها استفاده کرد.

**کلمات کلیدی:** میراگر فعال، غیر فعال، اصطکاکی پال، طیف طرح بار لغزش، بار لغزش بهینه

## مقدمه

در روش های مرسوم، ساختمان با استفاده از ترکیبی از سختی - قابلیت شکل پذیری و همچنین استهلاک انرژی در برابر زلزله از خود مقاومت نشان می دهد، مقدار میرایی در این قبیل ساختمانها بسیار کم می باشد از این رو انرژی مستهلک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه ناچیز می باشد. در هنگام زلزله های قوی، این ساختمان ها بعد از محدوده رفتار الاستیک، تغییر مکان های زیادی می یابند و فقط به واسطه چگونگی قابلیت تغییر مکان غیر الاستیک خود، پایدار باقی می مانند، این تغییر مکان های غیر الاستیک موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه می گردند که خود باعث افزایش شکل پذیری و همچنین افزایش استهلاک انرژی می گردد. در نتیجه مقدار زیادی از انرژی زلزله به واسطه تخریب های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می گردد.

به واسطه توجه به نحوه توزیع انرژی در یک سازه امروزه در دنیا روش دیگری به منظور کاستن اثرات زلزله مورد توجه قرار گرفته است. در طی یک زلزله، مقدار زیادی انرژی به سازه تحمیل می گردد. این انرژی ورودی به دو صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) در سازه پدیدار می گردد که می بایست به طریقی جذب و یا استهلاک شود. اگر هیچ نوع میرایی در سازه موجود نباشد، سازه تا بی نهایت به ارتعاش خود ادامه می دهد. اما عملاً به واسطه خصوصیات سازه، مقداری میرایی در آن بوجود می آید که موجب عکس العمل در مقابل ارتعاش سازه و میرا کردن آن می گردد. کارایی ساختمان را می توان با افزودن جاذب های انرژی (میراگر الحاقی) به ساختمان افزایش داد. بدین صورت که این وسائل قسمتی از انرژی ورودی زلزله را به تنهایی جذب و مستهلک می نمایند. میزان انرژی وارده به سازه در حین زلزله به زمان تناوب سازه و نسبت آن به پریود غالب حرکت زمین ارتباط مستقیم دارد. همچنین تخریب وارده به سازه نیز بستگی به میزان انرژی هیستریزس جذب شده تحت فرمهای غیر ارتجاعی اعضای سازه ای دارد.

طراحی سازه های معمولی بنحوی که در حین زلزله قوی بدون تخریب باقی بمانند غیر اقتصادی می باشد. لذا اکثر آیین نامه های مدرن طراحی ساختمان، فلسفه طراحی لرزه ای مبتنی بر مفهوم تغییر شکل پذیری را ارائه نموده اند. بر این اساس یک سازه می بایست به نحوی طراحی گردد که

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه - استادیار

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی سازه

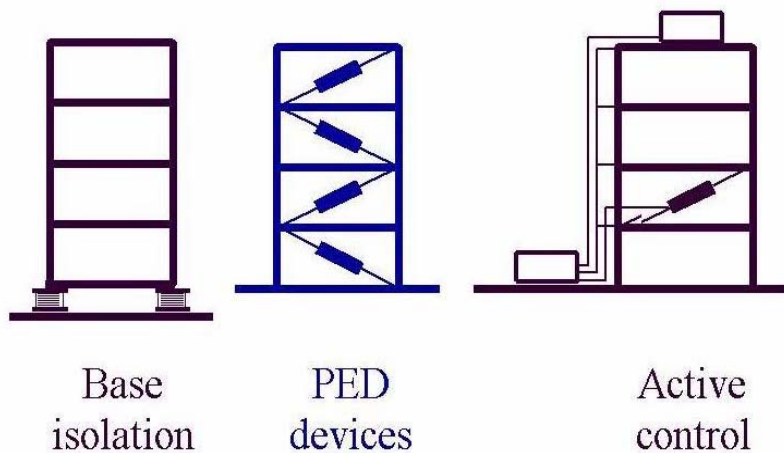
تغییر شکل پذیری مورد نیاز هر عضو با تغییر شکل پذیری ظرفیتی آن در تعادل باشد تا در حین زلزله، انرژی در عضو بصورت قابل اطمینانی مستهلک گردد. بر همین اساس ضوابط زیر توسط آیین نامه های مختلف ارائه گردیده است<sup>[1]</sup>.

زلزله های کوچک نمی بایست سبب بروز هیچگونه تخریبی در اعضای سازه ای و یا غیر سازه ای گردند.

زلزله های متوسط می بایست مبنای طراحی قرار گرفته و ساختمان بنحوی طراحی گردد تا بتواند براحتی در برابر زلزله مسبب مقاومت نماید بدون آنکه تخریب قابل ملاحظه ای ببیند.

زلزله های قوی ممکن است سبب بروز تخریب جدی بر ساختمان شوند اما سبب اضمحلال و از دست رفتن جان ساکنان آن نگردند.

روند فوق برای اکثر ساختمانهای معمولی مناسب به نظرمی رسد ولی می توان برای طراحی ساختمانهایی با اهمیت بیشتر و یا ساختمانهایی که پس از زلزله می بایست خدماتی را ارائه بدهند روند ایمن تری را در نظر گرفت<sup>[2]</sup>. همانگونه که بیان شد ساختمان می تواند در اثر قابلیت شکل پذیری، انرژی زیادی را در حین زلزله مستهلک نماید ولی بروز شکل پذیری زیاد در ساختمان تشکیل مفاصل پلاستیک در برخی از اعضای سازه ای را به همراه خواهد داشت. استفاده از سیستم های مستهلک کننده انرژی در ساختمانها سبب ارتجاعی باقی ماندن اعضای سازه ای در حین زلزله می گردد و در نتیجه از بروز تخریب جلوگیری می نماید. به طور عمومی می توان انواع سیستمهای میراگر الحاقی به سازه را به سه دسته کلی؛ سیستمهای فعال و نیمه فعال، سیستمهای غیر فعال و سیستم جداسازی لرزه ای تقسیم نمود<sup>[3]</sup>. در سیستمهای غیر فعال اثر میرایی بدون اعمال انرژی خارجی بر روی سیستم میراگر حاصل می گردد و عملکرد این وسایل به واسطه حرکت ناشی از زلزله صورت می گیرد که رفتاری در جهت استهلاک انرژی از خود نشان می دهند<sup>[4]</sup>. درحالیکه در سیستمهای فعال با اعمال انرژی خارجی سعی بر کنترل رفتار ساختمان در هنگام بروز بارگذاری جانبی از قبیل زلزله می گردد. این انرژی می تواند به صورت ایجاد نیروی خارجی در خلاف جهت نیروی وارد بر ساختمان و خلاف جهت ساختمان عمل نماید. در این صورت نیاز به استفاده از سیستمهای پیچیده و کنترل هوشمند نیروها می باشد که این امر توسط پژوهشگران زیادی در دنیا دنبال شده است<sup>[5]</sup>. روش جداسازی لرزه ای نیز در اقصی نقاط دنیا استفاده میشود، این سیستم معمولاً در شالوده ای سازه ها نصب می شود، و باعث انعکاس و جذب انرژی ورودی زلزله قبل از اینکه این انرژی به سازه انتقال پیدا کند می شود<sup>[6]</sup>. انواع سیستم های اتلاف انرژی سازه ها به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است.

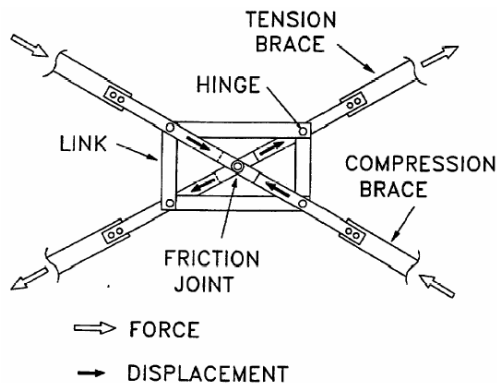


شکل ۱- انواع سیستم های اتلاف انرژی سازه ها به صورت شماتیک

### نحوه انجام تحقیق و بررسی مفهوم طیف طرح بار لغزش

ابتدا قاب ۴ طبقه را به کمک تحلیل خطی و روش طیف طرح بار لغزش، طراحی نموده، و بار لغزش بهینه میراگرهای اصطکاکی آنها را بدست آمده است. در مطالعات مربوط به یافتن طیف طرح بار لغزش بهینه از یک برنامه کامپیوتری برای تحلیل قابهای دارای میراگر اصطکاکی استفاده شده که در آن روند یافتن بار لغزش بهینه پرداخت گنجانده شده است. تحلیلهایی نیز بمنظور تعیین پارامترهای کنترل کننده بار لغزش بهینه انجام گردیده است. با استفاده از نتایج این تحلیلهای، مهمترین این پارامترها انتخاب و پس از بدون بعد نمودن آنها وارد معادلات شده اند. یک برنامه کامپیوتری مخصوص برای تحلیل و طراحی قابهای مهار بندی شده دارای میراگر اصطکاکی با نام اختصاری FDBFAP توسط آقایان Filiatrault و Cherry در سال ۱۹۸۹ تهیه گردیده و از آن به جای برنامه های زمانبر DRAINE-2D یا DRAINE-2DX که اغلب در اینگونه محاسبات به کار می روند استفاده شده است. با استفاده از یک روش گام به گام، برنامه FDBFAP، بطور اتوماتیک یک سری تحلیلهای دینامیکی را روی قابهای مربوطه با

بارهای لغزش متفاوت انجام می دهد. محاسبات در انتهای هر گام زمانی انجام شده و اندیس عملکرد نسبی (RPI) پس از هر آنالیز تعیین می گردد. در این برنامه کامپیوتری بار لغزش زمانی بهینه است که مقدار RPI حداقل شود. در برنامه مذکور با استفاده از روش سختی در انتهای هر گام زمانی ماتریس سختی مماسی سازه در مختصات سراسری، از سرهم کردن ماتریس سختی مجموعه های اصطکاکی بدست می آید. یک مجموعه اصطکاکی در این برنامه عبارت است از المان هایی که مکانیزم میرا کنندگی دارند به همراه چهار مهار قطری خارجی که به طبقات وصل می شوند. در شکل ۲ مجموعه اصطکاکی مذکور نشان داده شده است.



شکل ۲- مجموعه المانهای دستگاه اصطکاکی

### طراحی به کمک طیف طرح بار لغزش

بر اساس نتایج مطالعات پارامتری که شرح مختصری از آن در قسمت قبل آورده شد روش گام به گام زیر برای طرح لرزه ای سازه های دارای میراگر اصطکاکی پیشنهاد میشود.

#### گام ۱

ابتدا یک قاب خمشی مهاربندی نشده طراحی میشود به نحوی که در مقابل ترکیبات بارهای معمولی (بار ثقلی و بار باد) ایمن باشد. در این قسمت بار زلزله نا دیده گرفته میشود

طراح ممکن است که بخشی از بار زلزله را نیز در ترکیب بارهای ثقلی و باد وارد نماید و بدین ترتیب ضریب ایمنی سازه را در مقابل یک زلزله شدید بالا ببرد.

#### گام ۲

پریود غالب سازه مهاربندی نشده  $T_{II}$  محاسبه میشود. سپس مقاطعی برای مهاربندهای ضربدری انتخاب میگردد که با توجه به مسایل اقتصادی، حتی الا مکان  $T_b/T_u \approx 0.4$  باشد که در آن  $T_b$  پریود غالب ساز مهاربندی شده است. پس از آن حداکثر شتاب زمین  $a_g$  و پریود غالب زمین محل احداث سازه، تخمین زده می شود. مثلا در کانادا  $a_g$  مستقیما از آیین نامه ملی ساختمان تعیین میگردد و در ایران نیز این عدد از آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) بدست میآید. اما در حال حاضر هیچ نقشه ای برای تعیین  $T_g$  پریود غالب زمین وجود ندارد. اگر گزارش گمانه زنی و مانند آن برای تخمین  $T_g$  در دسترس نباشد میتوان آن را به کمک فرمولهای تجربی مانند فرمول (۱) که توسط آقایان Vanmarcke و Lai ارائه شده است تعیین نمود.

$$T_g = 2\pi / (65 - 7.5 M_L) \quad 5 \leq M_L \leq 7 \quad (1)$$

که در این رابطه  $M_L$  بزرگی محلی زلزله بر حسب مقیاس ریشتر میباشد.

#### گام ۳

کنترل محدوده پارامترهای مرتبط با زمان تناوب ها و شتاب حداکثر زمین که با روابط (۲) تا (۴) انجام می گیرد:

$$0.2 \leq \frac{T_b}{T_u} \leq 0.8 \quad (2)$$



$$0.005 \leq \frac{a_g}{g} \leq 0.40 \quad (3)$$

$$0.05 \leq \frac{T_g}{T_u} \leq 20 \quad \text{و} \quad NS \leq 10 \quad (4)$$

محدودیت‌های فوق به مطالعه پارامتریکی مربوط می‌شود. در صورتیکه برای سازه‌ای نا مساوی‌های فوق ارضا نشوند بار لغزش بهینه باید به کمک تحلیل‌های دینامیکی مشخص گردد.

#### گام ۴

ضرایب  $\alpha$  و در صورت لزوم  $\beta$  جهت تعیین طیف طرح به کمک فرمول‌های (۵) و (۶) تعیین شده و طیف طرح بار لغزش بدست می‌آید.

$$\alpha = (-1.24NS - 0.31) \frac{T_b}{T_u} + 1.04NS + 0.43 \quad (5)$$

$$\beta = (-1.07NS - 0.10) \frac{T_b}{T_u} + 1.01NS + 0.45 \quad (6)$$

#### گام ۵

طیف طرح بار لغزش برای تخمین برش لغزش کل  $V_0$  مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برش لغزش کل بطور مساوی بین طبقات سازه تقسیم می‌شود که  $V_{s(i)}$  برش لغزش در طبقه  $i$ ام می‌باشد و از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد:

$$V_{s(i)} = \frac{V_0}{NS} \quad (7)$$

#### گام ۶

برش لغزش هر طبقه،  $V_{s(i)}$ ، بین میراگرهای آن طبقه مطابق با فرمول (۸) توزیع می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^{N_{D_i}} P_{0ij} \cos \alpha_{ij} = V_{s(i)} \quad (8)$$

که  $N_{D_i}$  تعداد میراگرهای اصطکاکی در طبقه  $i$ ام است.

#### گام ۷

نیروی محوری مهاربندهای قطری در اثر بار باد تعیین شده و کنترل می‌گردد که میراگر اصطکاکی تحت این بارها دچار لغزش نشود برای مهاربندهای لاغر،  $(P_{0ij} > P_{(cr)ij})$ ، نیروی محوری مهاربندهای قطری توسط رابطه (۹) کنترل می‌گردد.

$$\left( P_{0ij} \geq \frac{P_{wij} + P_{(cr)ij}}{2} \right) \quad (9)$$

و برای مهاربندهای غیر لاغر،  $(P_{0ij} \leq P_{(cr)ij})$ ، از رابطه (۱۰) استفاده می‌شود.

$$(P_{0ij} \geq P_{wij}) \quad (10)$$

که در روابط بالا  $P_{wij}$  نیروی محوری در مهاربندهای کششی ناشی از بار باد می‌باشد. همچنین  $p_{(cr)ij}$  بار کمناش مهاربندهای مزبور است  $i$  شماره طبقه و  $j$  شماره میراگر را نشان می‌دهد.

اگرنا معادله (۹) و یا (۱۰) برقرار نباشد یکی از دو راه زیر انتخاب می‌گردد:

(۱) با استفاده از چند بار لغزشی که نا معادلات (۹) یا (۱۰) را ارضای مینماید آنالیز دینامیکی انجام شده و پاسخ سازه بررسی می‌شود و با توجه به حداکثر نسبت انرژی میرا شده بوسیله میراگرها به انرژی ورودی بار لغزش بهینه برآورد می‌گردد.



۲) قاب خمشی مهاربندی نشده بگونه ای اصلاح میگردد که سهم بیشتری از بار باد را تحمل نماید و از گام ۲ مجدداً مراحل طی میشود.

### گام ۱

در این قسمت کنترل میشود که قبل از شروع لغزش در دستگاه اصطکاکی باد بندهای کششی به تسلیم نرسند. اگر مهاربندها لاغر باشند ( $P_{0ij} > P_{(cr)ij}$ ) رابطه (۱۱) و در غیر اینصورت ( $P_{0ij} \leq P_{(cr)ij}$ ) رابطه (۱۲) مورد بررسی و کنترل قرار میگیرد:

$$\left( P_{0ij} \geq \frac{A_{bij} \sigma_{yij} + P_{(cr)ij}}{2} \right) \quad (11)$$

$$P_{0ij} \leq A_{bij} \sigma_{yij} \quad (12)$$

در رابط (۱۱) و (۱۲)  $A_{bij}$  و  $\sigma_{yij}$  به ترتیب سطح مقطع و تنش تسلیم کششی برای مهاربند کششی  $\lambda$ م در طبقه  $\lambda$ م میباشد.

در صورت برقرار نبودن نا معادله بالا یکی از دو کار زیر را میتوان انجام داد :

۱) با استفاده از چند بار لغزشی که این روابط را ارضا مینماید سازه را تحلیل دینامیکی نموده و پاسخ سازه مورد بررسی قرار میگیرد.

۲) مهاربندهای قطری را قویتر نموده و از گام ۲ مراحل فوق تکرار گردد [6].

در ادامه ضمن طراحی یک قاب باربر جانبی تمامی مراحل فوق طی و کنترل شده است.

### طراحی قاب و سیستم میراگر اصطکاکی پال

اکنون با استفاده از روش گام به گام زیر قاب را با سیستم میراگر اصطکاکی Pall طراحی می گردد:

### گام ۱

ابعاد قاب مطابق شکل ۳ می باشد. ابتدا قاب خمشی برای ترکیبات بارهای مرده و زنده و باد طبق آیین نامه AISC طراحی می گردد. بارهای ثقلی همان بارهایی هستند که در طراحی سیستمهای دیگر قاب مذکور بکار رفته اند. بار باد نیز طبق آیین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی ، آیین نامه شماره ۵۱۹ ایران، محاسبه و اعمال می گردد. بار باد از روابط زیر بدست می آید:

$$F = 1.6 \times 0.8 \times q \times 6.75 \times 3.2 = 1382 \text{ kgf} :$$

برای طبقات اول تا سوم

$$F = 1.9 \times 0.8 \times q \times 6.75 \times 3.2 = 1673 \text{ kgf} :$$

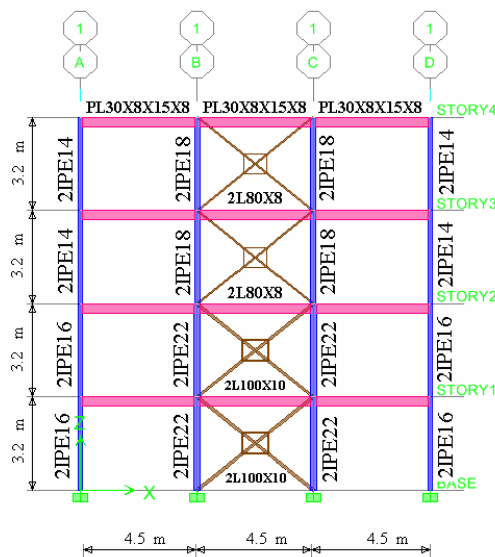
برای طبقه چهارم

که در آن q فشار مبنای باد برای تهران برابر 50 دکانیوتن بر متر مربع می باشد. بار باد بصورت نیروی متمرکز در طبقات اعمال شده است.

برای تحلیل و طراحی نیز از برنامه ETABS استفاده گردیده است. در این طراحی حداکثر نسبت تنش موجود به تنش مجاز در تیرها حدود 0.7

در ستونها حدود 1.0 و در مهار بندها حدود 0.5 می باشد. همچنین طرح بگونه ای است که حداکثر تغییر مکان جانبی این قاب خمشی به 1/200

ارتفاع قاب محدود شده است. مقاطع ستونها از جنس دابل IPE و تیرها از تیر ورق و مهار بندها از دابل نبشی میباشد (شکل ۳).



شکل ۳- قاب طراحی شده با سیستم میراگر اصطکاکی پال

### گام ۲



برای یافتن پریود قاب خمشی از همان توزیع جرمهای ذکر شده استفاده گردیده است. طبق خروجی برنامه ETABS زمان تناوب برابر  $T_u = 1.365 s$  می باشد.

حال مقاطع مهاربندها با توجه به اینکه حداکثر  $T_b/T_u \leq 0.4$  نسبت برقرار باشد انتخاب میشود. پس از قرار دادن مهاربندها بر روی قاب خمشی و تحلیل مجدد زمان تناوب سازه قابی برابر  $T_b = 0.395 s$  برآورد شده است. جزئیات مقاطع مهاربندها در جدول ۱ ارائه شده است.

زمین ساختمان مزبور از نوع II بوده و طبق آیین نامه ۲۸۰۰ داریم:  $T_g = 0.5 s$  و حداکثر شتاب زمین  $a_g = 0.35g$

### گام ۳

کنترل محدوده پارامترها:

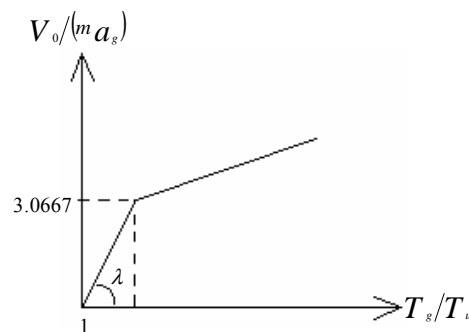
$$0.2 \leq T_b/T_u = 0.289 \leq 0.8 \quad 0.05 \leq T_g/T_u = 0.366 \leq 20 \quad NS = 4$$

$$0.005 \leq a_g/g = 0.35 \leq 0.4$$

### گام ۴

با توجه به آنکه  $T_g/T_u < 1$  می باشد لذا در اینجا تنها مقدار  $\alpha$  از طیف طرح بار لغزش تعیین می گردد. با استفاده از رابطه (۵) مقدار  $\alpha$  برابر:

$$T_b/T_u = 0.289 \Rightarrow \alpha = 3.067 \quad NS = 4$$



شکل ۳- طیف طرح بار لغزش برای قاب ۴ طبقه

### گام ۵

حال  $V_0$  از طیف طرح بار لغزش تعیین میگردد. با توجه به شکل ۳ داریم:

$$\tan \gamma = \alpha = \frac{V_0/(m a_g)}{T_g/T_u} \Rightarrow V_0 = \frac{T_g}{T_u} \alpha m a_g$$

$$m = \frac{196000}{9.81 m/sec^2} = 19979$$

$$V_0 = 77005 \text{ Kg}$$

با توجه به جرم سازه داریم:

با قرار دادن در رابطه بالا:

و برش لغزش هر طبقه:

$$V_{s(i)} = \frac{V_0}{NS} = \frac{77.005}{4} = 19.25 \text{ Tonf}$$

### گام ۶

حال برش لغزش در هر طبقه را بین دستگاههای اصطکاکی آن طبقه به کمک رابطه زیر توزیع می گردد:

$$\sum_{j=1}^{N_{Di}} P_{0ij} \cos \alpha_{ij} = V_{s(i)}$$

در هر طبقه یک دستگاه اصطکاکی داریم که هر یک دو قطر دارد و این قطر ها دچار لغزش می شوند. بنا بر این داریم:

$$2 P_{0i} \cos \alpha_i = V_{s(i)} \Rightarrow P_{0i} = 12.32 \text{ tonf}$$

### گام ۷

کنترل عدم لغزش میراگرها در باد:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{L^2}$$

ابتدا نیروی کماتش مهاربندها با استفاده از فرمول اویلر محاسبه میشود



که در این رابطه  $L$  طول کل مهاربندها می باشد. جدول ۱ حداقل نیروی کمانش مهاربندها را نشان می دهد.

جدول ۱- پارامترهای محاسبه شده در دو مقطع

پروفیل مهاربندها	$P_{cr}$ (ton f)
2L100X10	42.126
2L80X8	17.30

با توجه به خروجی فایل آنالیز، حداکثر نیروی فشاری مهاربندها 10.2 Tonf می باشد که از کوچکترین  $P_{cr}$  (ton f) جدول ۱ نیز کمتر است. بنابراین هیچ یک از مهاربندها کمانش نمی نمایند و نیازی به حذف مهارهای فشاری و تحلیل مجدد برای بار باد نیست. همچنین در اینجا به علت اینکه برای تمام میراگرها رابطه  $(P_{0ij} \leq P_{(cr)ij})$  برقرار است، پس باید:

$$P_{0ij} \geq P_{wij}$$

حداکثر نیروی کششی بادبند  $P_{wij_{max}} = 3.1 \text{ tonf}$  می باشد که رابطه فوق را ارضا می نماید.

#### گام ۸

کنترل عدم تسلیم مهاربندها در کشش:  $P_{0ij} \leq P_{(cr)ij} \Rightarrow P_{0ij} \leq A_{bij} \sigma_{yij}$   
 کمترین نیروی تسلیم در مهاربندها عبارت است از:  $24.6 \text{ cm}^2 \times 2.4 \text{ tonf/cm}^2 = 59.04 \text{ tonf}$   
 که از حداکثر نیروی لغزش میراگرها یعنی 12.32 tonf بیشتر می باشد. بنابراین هیچ یک از مهاربندها قبل از لغزش دستگاه اصطکاکی به تسلیم نمی رسند.

### بهینه یابی نیروی لغزش میراگر با استفاده از آنالیز دینامیکی غیر خطی

#### روش تحقیق

نکته مهمی که در طراحی میراگر پال وجود دارد تعیین میزان نیروی لغزش بهینه در گره های اصطکاکی میباشد. در مدل مورد نظر برای پیدا کردن نیروی لغزش بهینه، قاب تحت زلزله های متفاوت با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت نیروی لغزش آنالیز دینامیکی غیر خطی شده و میزان نیروی برشی انتقالی به ستونها محاسبه می گردد. نمودار نیروی لغزش میراگر- برش پایه رسم شده و با استفاده از نمودارهای فوق نیروی لغزشی که کمترین برش را به ستونها انتقال می دهد به عنوان نیروی لغزش بهینه انتخاب می گردد.

#### مدلسازی و آنالیز

برای مدل کردن میراگر فوق در برنامه DRAIN-2DX یک مقدار ساختگی تنش جاری شدن برای حالت کشش طوری معرفی شده است که وابسته به مقدار تنش در اعضای بادبندی تحت کشش در لحظه شروع لغزش میباشد. این مدل شرح داده شده عملاً توسط پال پیشنهاد و مورد مطالعه قرار گرفته است [7]. در مدل آزمایشی ارایه شده توسط پال فرض شده است که میراگر در هر سیکل بارگذاری لغزش مینماید و همچنین مقدار این لغزش بقدر کافی بزرگ میباشد که بادبند فشاری کمانش کرده رادوباره مستقیم و صاف سازد (اثر المانهای ارتباطی [7]). اما عملاً حصول به این فرضیات در همه شرایط امکانپذیر نیست و باید این فرضیات کنترل گردد. برای حل این مساله Filitrault و Cherry در هنگام مدل نمودن اسکلت قاب فوق در برنامه کامپیوتری کلیه جزئیات میراگر در اسکلت ساختمان را معرفی کرده اند [8]. بطوریکه اطلاعات چهار المان مرتبط کننده و اثر تنش و کرنش آنها بر بادبندهای فشاری و کششی کاملاً در نظر گرفته شده است. که البته این عمل موجب بالا رفتن تعداد درجات آزادی در سیستم میگردد. نتایج ارایه شده توسط این دو [8] نشان میدهد که نتایج حاصل از مدل پال و مدل شرح داده شده دارای تفاوت اندکی میباشد و می توان در محاسبات بخوبی از مدل ارایه شده پال استفاده نمود. در این مقاله نیز در از مدل ارایه شده توسط پال استفاده شده است.

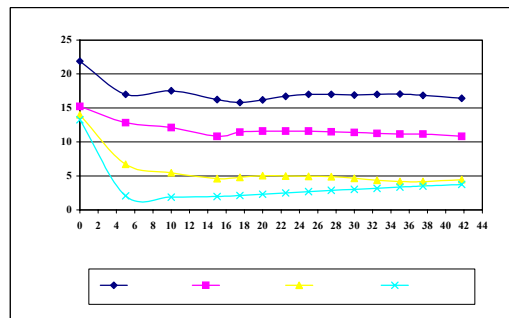
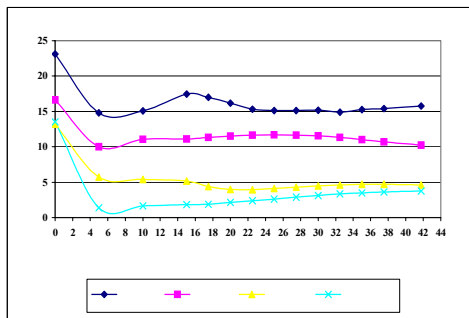
#### نتایج تحلیل ها

نتایج حاصله برای پیدا نمودن نیروی لغزش بهینه در سطوح اصطکاک در شکل های ۴ تا ۶ برای زلزله های طیس مقیاس شده به 0.4g، السنترو مقیاس شده به 0.3g و ناغان مقیاس شده به 0.5g ارایه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از بهینه یابی نیروی لغزش میراگر اصطکاکی مشاهده میگردد که نیروی لغزش در محدوده 13 ton به بالا برش پایه انتقالی به ستونها را تقریباً ثابت و کم تغییر میسازد. همانطور که در بخش قبل مشاهده شد نیروی لغزش بهینه میراگر که از طریق تهیه طیف طرح بار لغزش تحلیل خطی بدست آمد برابر 12.32 ton بود که بسیار نزدیک به 13 ton که از تحلیل دینامیکی غیر خطی بدست آمده است می باشد

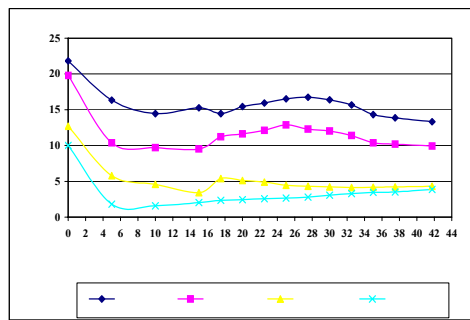


Cherry و Filiatrault نشان داده اند که داشتن حدود بیست در صد خطا نسبت به نیروی لغزش بهینه تاثیر زیادی بر نحوه پاسخ سازه در مقابل نیروی زلزله نمیگذارد و همچنین میزان نیروی لغزش بهینه مستقل از زلزله اعمال شده بوده و تابع خصوصیات فیزیکی قاب میباشد<sup>[8]</sup>.



شکل ۵- تغییرات برش پایه انتقالی به ستونها بازای مقادیر مختلف نیروی لغزش تحت زلزله السنترو ( به مقیاس 0.3g )

شکل ۴- تغییرات برش پایه انتقالی به ستونها بازای مقادیر مختلف نیروی لغزش تحت زلزله طیس ( به مقیاس 0.4g )



شکل ۶- تغییرات برش پایه انتقالی به ستونها بازای مقادیر مختلف نیروی لغزش تحت زلزله ناغان ( به مقیاس 0.5g )

### نتیجه گیری

- ۱) نتایج تحلیل خطی و روش گام به گام بسیار نزدیک به نتایج آنالیزهای غیر خطی دینامیکی انجام شده می باشد.
- ۲) با استفاده از تحلیل خطی و روش گام به گام توضیح داده شده می توان به راحتی بار لغزش بهینه میراگر اصطکاکی پال در قاب را محاسبه و طراحی نمود، بدون اینکه نیاز به محاسبات دینامیکی طولانی باشد
- ۳) با توجه به قابلیت اعتماد این سیستم ها، در صورت ساخت این میراگرها در کشور می توان از آنها در طراحی سازه ها استفاده کرد.

### مراجع

1. Uniform Building Code (UBC) , 1993
2. Mahmoodi, P. Robertson, L.E. (1987), Performance of Viscoelastic Dampers in World Trade Center Towers. Dynamic of Structures, *Proceedings of the Sessions at Structural Congress*.
3. Whittaker, A.S. (1996), Seismic Rehabilitation Using Supplemental Damping System. *EQ. Eng. Research at Berkeley*
4. Soong, T.T. (1997), Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering. *Section No.4*
5. Soong, T.T. and Constantinou, M.C. (1994). Passive and Active Vibration Control in Civil Engineering. ۶ ایوان اسکینر، آر، یلیام اچ، روبینسون، و، گرامی، اچ. مک وری. ؛ ترجمه دکتر محسن تهرانی زاده و مهندس فرزانه حامدی ؛ جداسازی لرزه ای در مقابل زلزله. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
7. Pall, A.S. and Marsh, c. (1982). Response of Friction Damped Braced Framed. *Journal of Structural Division, ST6, pp. 1313 –1323*.
8. Filiatrault, A. and Cherry, S. Performance Evaluation of Friction Damping Devices for Use in Aseismic Design. *ATC – 17, PP. 261 – 270*