

# بررسی عددی تأثیر پانل برشی در کاهش پاسخ لرزه ای ساختمان های فولادی

یاسر ماهروزاده<sup>i</sup>؛ سید مهدی زهرائی<sup>ii</sup>\*

## چکیده

پانل برشی، با جاری شدن برشی جان به عنوان یک فیوز شکل پذیر در سازه فولادی مهاربندی شده، انرژی زلزله را مستهلک می کند و موجب الاستیک ماندن سایر عناصر سازه می شود. به منظور بررسی تأثیر استفاده از سیستم پانل برشی یا تیر پیوند قائم در استهلاک انرژی اعمال شده به سازه، دو ساختمان پنج و هشت طبقه دو بعدی با مهاربندی شورون، با کمک پانل های برشی مورد بهسازی لرزه ای قرار گرفتند. با استفاده از سیستم پانل برشی، تقریباً تمام پارامترهای لرزه ای مورد بررسی، در سازه های پنج و هشت طبقه، بهبود یافتند. با کمک سیستم پانل برشی، متوسط تغییر مکان حداکثر بام، برش پایه حداکثر و شتاب بیشینه طبقات در ساختمان پنج طبقه به ترتیب ۲۹، ۷۰ و ۶۲ درصد، کاهش نشان می دهند. در حالی که کاهش این پارامترها در ساختمان هشت طبقه، به ترتیب برابر ۲۷، ۴۳ و ۴۰ درصد بود. این موضوع نشان می دهد تأثیر پانل برشی برای کاهش برش پایه حداکثر در سازه های کوتاه بیشتر است. در مجموع استفاده از پانل برشی به عنوان روشی کارآمد، منطبق با شرایط اجرایی کشور و بدون نیاز به واردات فناوری خارجی برای طراحی لرزه ای ساختمان های فولادی جدید و بهسازی لرزه ای موارد موجود توصیه می شود.

## کلمات کلیدی

پانل برشی، تحلیل عددی غیرخطی، سیستم شکل پذیر، ساختمان فولادی، کاهش پاسخ لرزه ای

## *Numerical Investigation of Seismic Response of Steel Structures Including Shear Panel*

Y. Mahroozadeh; S.M. Zahrai

### ABSTRACT

Shear Panel system is one of the most useful passive control methods, in which shear panel devices are installed between node of chevron braces and flange of the floor beam. In this paper, the effect of using shear panels or vertical link beams on seismic energy dissipation is numerically investigated. Using shear panel system, the seismic behavior of 2D, 5 and 8-story frames was improved. Analyses were conducted by Seismo-Struct software. In this way, base shear, top story displacement and maximum acceleration of the floors in 5-story frames were reduced respectively 29, 70 and 62%, while in 8-story frames these parameters were reduced respectively 43, 27 and 40%. Story drifts were mostly reduced and became uniform. In all parameters, effectiveness of using SPS, Shear Panel System, in 5-story frame was more than that in 8-story frame. In fact by using SPS, in addition to increasing the ductility of the structures with decreasing seismic demand, seismic behavior of structures was improved. Finally, using shear panel is highly recommended as an easy to use and efficient way consistent with construction condition in the country for seismic design of new steel building structures and also for seismic retrofit of existing steel buildings.

### KEYWORDS

Shear Panel, Numerical Nonlinear Analysis, Ductile System, Steel Structure, Seismic Retrofit.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۵/۱۱/۳

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۲/۲۶

<sup>i</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد زلزله دانشکده فنی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: yasser\_1376@yahoo.com

<sup>ii</sup> \* نویسنده مسئول و دانشیار، قطب علمی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، دانشکده عمران دانشگاه تهران، پست الکترونیک:

mzahrai@ut.ac.ir

با استفاده از پانل برشی، لزوماً نیازی به اجرای اتصالات گیردار بین تیر و ستون نیست. این سیستم دارای حلقه های هیستریزیس کامل و پایداری است و بدون ایجاد تمرکز تنش، می‌تواند انرژی را به صورت یکنواخت مستهلک کند. علاوه بر داشتن سختی قابل توجه، پانل برشی از شکل پذیری بالایی هم برخوردار است. در این سیستم به علت شکل پذیری مناسب، تغییر مکان های نسبی طبقات و تغییر مکان حداکثر ساختمان، به راحتی منجر به آسیب دیدگی ساختمان نمی‌شوند. در واقع پانل برشی مثل یک فیوز شکل پذیر، سطح نیروهای جانبی زلزله را محدود نموده؛ از آسیب دیدگی عناصر اصلی سازه مانند تیر، ستون و مهاربند جلوگیری می‌کند. عملکرد ضعیف تر پانل برشی بلند که به صورت خمشی عمل می‌کنند، نسبت به پانل برشی کوتاه، با عملکرد برشی، با آزمایش های متعدد به اثبات رسیده است [۵].

با استفاده از پانل برشی، می‌توان طراحی را به گونه ای انجام داد که علاوه بر ایجاد تامین شکل پذیری بالا و فضاهای عبور لازم، تیر، ستون و مهاربند هم در ناحیه الاستیک باقی بمانند. این قطعات توانایی جذب انرژی بالایی دارند. طول مفصل، یکی از پارامترهای مهم در طراحی پانل برشی است. برای اینکه گسیختگی در برش پیش از خمش رخ دهد، آیین نامه ها طول پانل برشی را به مقدار زیر محدود می‌کنند تا از حداکثر ظرفیت این قطعات برای جذب و استهلاک انرژی بهره برداری

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (1) \quad [۴ \text{ و } ۸]$$

در رابطه فوق  $e$  طول پانل برشی،  $M_p$  ظرفیت لنگر پلاستیک و  $V_p$  ظرفیت برشی پلاستیک پانل برشی هستند. البته طبق کارهای انجام شده توسط برخی پژوهشگران برای اطمینان از عملکرد بهتر این قطعات، توصیه شده است که طول پانل برشی حتی کمتر از میزان فوق در نظر گرفته شود. به عنوان مثال وتر و باوکمپ (۱۹۹۴) توصیه کرده اند که از رابطه زیر استفاده شود [۶]:

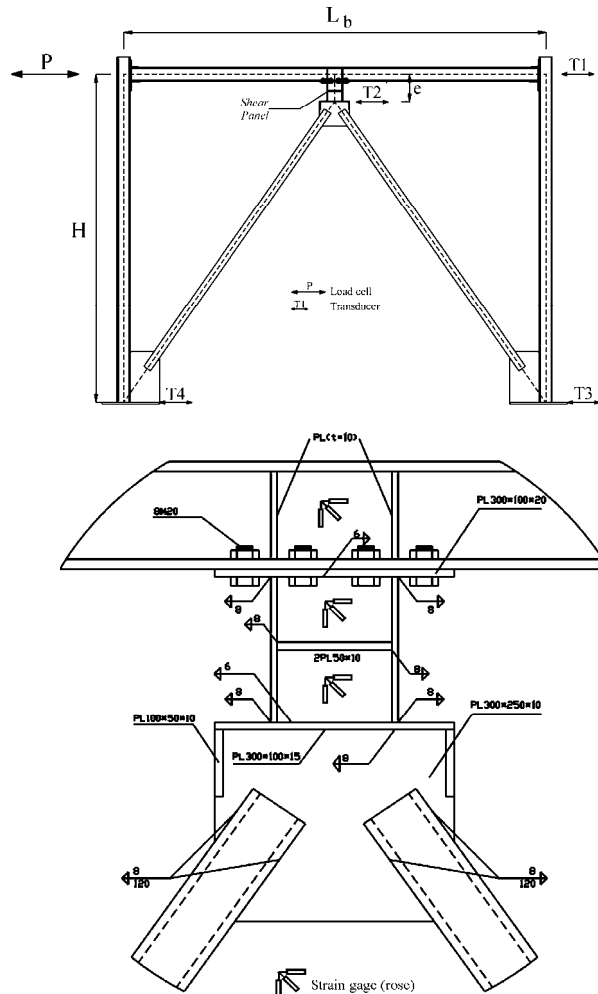
$$e \leq \frac{0.35(k+1)M_p}{V_p} \quad (2)$$

$$K = \frac{M_2}{M_1} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $M_2$  لنگر انتهای تحتانی و  $M_1$  لنگر انتهای فوقانی است.

وتر و باوکمپ (۱۹۹۴) به منظور بررسی پایداری کلی یک قاب دارای پانل برشی تحت بار جانبی معادل زلزله، تمامی ناحیه پانل برشی را به کمک نرم افزار ANSYS با صفحه

پانل برشی (SPS (Shear Panel System)، یا تیر پیوند قائم یکی از موثر ترین و در عین حال ساده ترین روش های کنترل غیر فعال برای کاهش ارتعاشات ناشی از زلزله است. پانل برشی به صورت قائم بین گره دو مهار بند شورون و بال تیر کف نصب می‌شود و با جاری شدن برشی جان آن، انرژی زلزله مستهلک می‌شود و سایر عناصر سازه الاستیک باقی می‌مانند. قطعات نیمرخهای IPE و یا IPB می‌توانند به عنوان پانل برشی در قاب مهاربندی شورون مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۱). پانل برشی به سهولت قابل تعویض است و می‌تواند به عنوان عضوی یک بار مصرف در نظر گرفته شود؛ بنابراین می‌توان تنها با تعویض قطعه پانل برشی دوباره از سازه استفاده کرد که بیانگر به صرفه بودن استفاده از این قطعات برای بهسازی ساختمان های موجود در برابر زلزله است.



شکل ۱- نحوه استقرار پانل برشی در قاب مهار بندی شده به همراه جزئیات اتصال به تیر و بادبندها

طراحی SPS سعی آنها بر این بود که مقاومت جاری شدن SPS کمتر از ظرفیت زیر سازه و رو سازه باشد تا با جاری شدن قطعه انرژی مستهلک گردد. مدل های تحلیلی پل های خرپایی با استفاده از برنامه ی DRAIN- 3DX تحلیل شدند. تحلیل تاریخیچه زمانی برای شش زلزله، السنترو، لوماپریتا، سان فرناندو، نورتریج، الیمپیا و تافت با مقیاس  $g/0.53$  انجام شد. با استفاده از این تحلیل مشخص شد که با جاری شدن SPS و جذب انرژی توسط آن، سایر اعضای روسازه هیچ خسارتی را متحمل نشدند. همچنین نیروی جانبی در زیر سازه نیز از حد مجاز فراتر نرفت. متوسط شکل پذیری مورد نیاز به دست آمده برای این شش زلزله  $2/7$  و حداکثر آن  $3/5$  بود در حالی که حد شکل پذیری مورد نیاز برای ضریب رفتار  $10$  مطابق UBC، (Uniform Building Code) برابر  $2/8$  بود که نشان از رضایتبخش بودن SPS استفاده شده است. همچنین زاویه تغییرشکل برشی SPS در این شش زلزله متوسط سه و حداکثر  $4/9$  درصد بود؛ در حالی که حد آن مطابق AISC-LRFD، (American Institute of Steel Construction) برابر نه درصد است [۱۰].

## ۲- مطالعه عددی تأثیر پانل برشی

به منظور بررسی تأثیر پانل برشی در بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان های فولادی، تصمیم گرفته شد که دو ساختمان پنج و هشت طبقه دو بعدی با مهاربندی شورون توسط نرم افزار SAP2000 مدل سازی شوند، تا مقاطع اعضای آنها تعیین گردد و سپس با کمک پانل های برشی نسبت به بهبود عملکرد لرزه ای آنها اقدام شود. برای مدل سازی ساختمان های با مهاربندی شورون از نرم افزار SAP2000، نسخه 8.3.1 استفاده شده است [۹]. در مرحله بعد، با کمک نرم افزار Seismo Struct [۱۱] سازه های با سیستم پانل برشی مدل سازی شدند و روی آنها تحلیل تاریخیچه زمانی صورت گرفت. حد اکثر تعداد طبقات در این نرم افزار هشت طبقه و حداکثر تعداد دهانه نیز، هشت دهانه است. برای سهولت اجرایی و انطباق با وضعیت ساختمان های فولادی در کشور، اتصالات تیر به ستون در تمام ساختمان ها ساده مدل شدند. هر چند در کشورهای خارجی مثل امریکا، آیین نامه ها سیستم های دو گانه را مورد استفاده قرار داده اند که در عمل ضریب رفتار بالاتر خواهد بود و رفتار سازه کلاس بالاتری خواهد داشت. تحقیقات قبلی مولفان نشان داده است که کاربرد اتصال گیردار تیر به ستون در قاب های فولادی مهاربندی شده، و جایگزینی قاب ساده با قاب خمشی تأثیر چندانی بر نتایج نخواهد داشت و

خمشی مدل سازی کردند؛ سپس این مدل را تحت یک تحلیل کماتش غیرخطی قرار دادند. انتهای تحتانی مفصل برای دو حالت با مهار کننده جانبی و بدون آن مدل سازی شد. این تحلیل نشان داد پانل برشی قبل از این ناپایداری می تواند تا  $1/6$  برابر ظرفیت گسیختگی برشی پلاستیک تیر،  $V_p$  را تحمل نماید [۶]. باوکمپ و همکاران (۱۹۹۲) برای بررسی پایداری SPS، سعی در مدل سازی SPS نمودند. برای این منظور از نرم افزار STABET که امکان بررسی ترکیب ناپایداری خمشی و پیچشی و همچنین رفتار غیر خطی المان را فراهم می ساخت استفاده کردند. چون این نرم افزار تنها شامل المان های تیر است، برای مدل سازی SPS از یک خرپای قطری شامل یکسری تیر استفاده شد. جان مفصل برشی، با عناصر قطری و هر یک از بال ها با المان تیر، مدل شدند. براساس تحلیل های عددی انجام شده، به دلیل سخت شونده گی کرنشی جان پانل برشی، تنش موثر تا  $50$  درصد افزایش می یابد. برای دستیابی به حاشیه امنیت کافی باید شکل پذیری محاسبه شده، از شکل پذیری مورد نیاز بیشتر باشد. براساس این آزمایش ها برای یک پانل برشی به طول  $60$  سانتیمتر که حداقل تغییرشکل برشی زاویه ای مورد نیاز آن، معادل  $\gamma = 0.06$  بود، به مقدار محاسبه شده ای، معادل  $\gamma = 0.08$  دست یافتند. همچنین سیستم پانل برشی حداقل برای بار جانبی، معادل  $1/5 Q_p$  طراحی شده بود که  $Q_p$  ظرفیت پلاستیک تیر افقی است. براساس آزمایش انجام شده، سیستم پانل برشی  $Q_p$  را  $1/69$  تحمل کرده بود که نشان دهنده کارایی مناسب این سیستم است [۷].

زهرای و برونو (۱۹۹۷) به کمک نرم افزارهای DRAIN- 2DX و ADINA یک پل یک دهانه  $40$  متر و یک پل سه دهانه  $60-90-60$  متری را مدل سازی و به کمک سیستم SPS در بهسازی این پل ها کوشیدند. بارگذاری این پل ها مطابق آیین نامه AASHTO انجام شد. با استفاده از سیستم SPS، شکل پذیری افزایش یافت و با جاری شدن پانل برشی، سایر المان ها، الاستیک باقی ماندند. سختی ارتجاعی و مقاومت نمونه تحلیل شده، به جهت انرژی هیستریزیس، افزایش یافت. استفاده از SPS، شکل پذیری حدود  $3/5$  و ضریب رفتار هفت را به طور متوسط ایجاد نموده بود. همچنین به کمک نرم افزار DRAIN- 2DX آنالیز تاریخیچه زمانی با مقیاس  $g/0.4$  برای زلزله های پارک فیلد، السنترو، لوماپریتا، ساگونی و پاکومادام انجام شد که تماماً به شکل پذیری بالایی (حدود هفت) دست یافتند و عمدتاً جابجایی نسبی، در حد قابل قبولی قرار داشت [۱۲].

صراف و برونو (۱۹۹۸) به کمک SPS سعی در بهسازی پل های خرپایی موسوم به "Deck Truss Bridges" نمودند. در

مدلسازی تمام المان ها مدل پلاستیسیته منگتو-پینتو (Mengetto-Pinto) بوده است و تنها اختلاف المان ها با یکدیگر در تفاوت میان پارامترهای مقاومتی آنها با یکدیگر است [۱۰]. این مدل دارای رفتار دو خطی کینماتیک است. تمام المان ها از نوع تیر - ستون (beam-column) انتخاب می شوند و در هر گره سه درجه آزادی وجود دارد. برای تعریف تیر، ستون، مهاربند و قطعه پانل برشی مقادیر سختی در هر درجه آزادی به گونه ای تعریف شده، که شرایط لازم برای رفتار مورد نظر آن المان برآورده شود؛ به عنوان مثال برای تعریف مهاربند، تنها یک درجه آزادی محوری برای المان در نظر گرفته می شود. اعضای تیر و ستون از المان های قاب (Frame) و دارای دو درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی هستند. برای تعریف پانل برشی نیز، از المان قاب (Frame) استفاده شده است [۲]. طراحی ها بر اساس کنترل نیرو (Force Control) - صورت گرفته است. همچنین پانل برشی بر اساس ضوابط آیین نامه IBC2000 طراحی شده است [۸].

### ۳- طراحی اولیه ساختمان های نمونه و مدلسازی

#### عددی

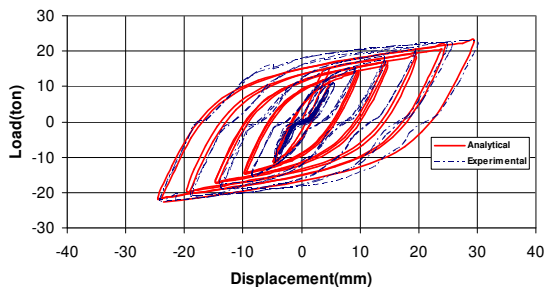
برای بررسی تاثیر پانل برشی بر رفتار لرزه ای ساختمان های فولادی دو قاب دو بعدی پنج و هشت طبقه و پنج دهانه با سیستم مهاربندی شورون، به کمک نرم افزار SAP2000 مدلسازی شدند. دهانه ها به صورت یکی در میان مهاربندی شده بودند. بارگذاری سازه ها بر مبنای آیین نامه بارگذاری ایران [۱] و نیروی زلزله نیز، مطابق روش استاتیکی معادل آیین نامه طراحی لرزه ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم) [۳] صورت گرفت. سازه های مورد نظر مدرسه هایی فرضی واقع در شهر تهران هستند. شتاب مبنای طرح، A، برابر ۰/۳۵ در نظر گرفته شد. ضریب اهمیت ساختمان، I، برای سازه های با اهمیت زیاد نظیر مدرسه برابر ۱/۲ فرض گردید. نوع زمین نیز از نوع II انتخاب گردید. مشخصات سازه های پنج و هشت طبقه به ترتیب در شکل های (۳) و (۴) و جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): مشخصات سازه پنج طبقه با مهاربندی شورون

مهاربند		ستون				تیر		المان
Br2	Br1	C4	C3	C2	C1	B2	B1	تیپ
2UNP100	2UNP120	IPB140	IPB200	IPB220	IPB260	IPE240	IPE360	مقطع

کماکان وجود پانل برشی عملکرد اصلی سیستم باربر جانبی و استهلاک انرژی لرزه ای را ایفا خواهد نمود [۱۳]. ضمن اینکه قرار است مقایسه ای بین سازه با مهاربندی شورون و سازه با سیستم پانل برشی صورت گیرد؛ بنابراین چنانچه اتصالات هر دو سازه، به طور یکسان ساده یا گیردار باشند، خللی در مقایسه بین این دو سازه رخ نمی دهد.

برای اطمینان از دقت نتایج تحلیل های عددی به کمک نرم افزار Seismo Struct، از مقایسه و تطابق با نتایج یک نمونه قاب آزمایشگاهی [۳] استفاده شده است. برای این منظور، یک نمونه قاب یک طبقه یک دهانه مجهز به پانل برشی، ابتدا به کمک نرم افزار مورد نظر مدلسازی شد و با توجه به نتایج آزمایش، پارامترهای مدل رفتاری کالیبره شدند. بدین معنی که برای اطمینان یافتن از صحت نتایج عددی، منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی مبنای عمل قرار گرفت و با تغییر و اصلاح پارامترها، حداکثر مشابهت بین منحنی نمونه آزمایشگاهی و قاب آنالیز شده حاصل شد. مشخصات قاب و پانل برشی نمونه آزمایشگاهی در مرجع [۲] تعیین گردیده است. در شکل ۲ سازگاری مناسب مدل ساخته شده به کمک نرم افزار Seismo Struct با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است و مدل عددی تهیه شده، به خوبی رفتار پانل برشی را مدل نموده است.

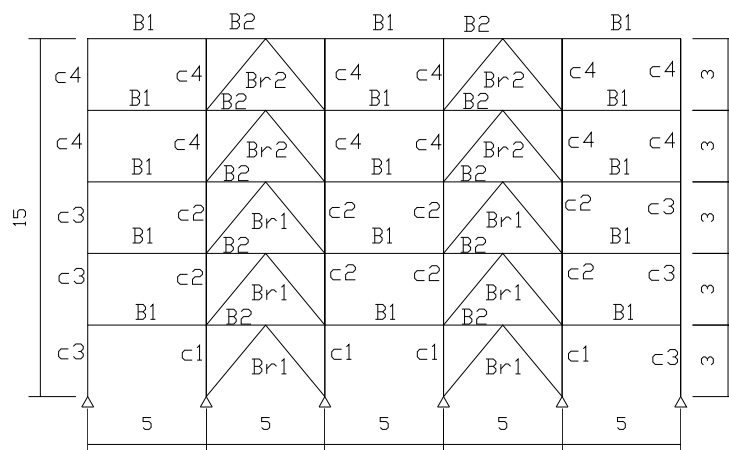


شکل ۲- سازگاری قابل قبول مدل تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی

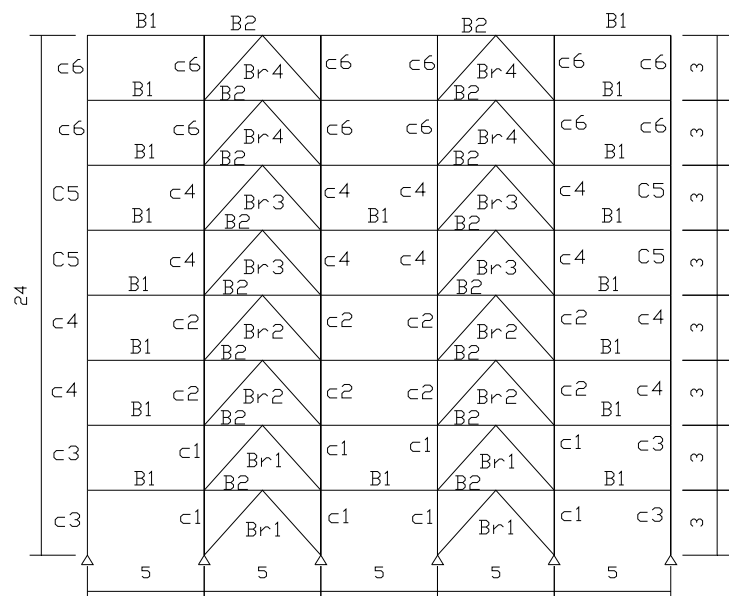
در مرحله بعد، این سازه ها تحت اثر زلزله های کوبه، سینترو و کرن کانتی قرار گرفتند تا با مقایسه آنها تاثیر استفاده از پانل برشی بر بهبود رفتار سازه مشخص شود. مبنای هم پایه کردن زلزله ها یکسان کردن بیشینه شتاب زلزله که  $g$  ۰/۳۵ انتخاب گردید، بوده است. مدل انتخاب شده برای

جدول (۲): مشخصات سازه هشت طبقه با مهاربندی شورون

مهاربند		ستون						تیر		المان
Br2	Br1	C6	C5	C4	C3	C2	C1	B2	B1	تیپ
2UNP 100	2UNP 120	IPB 160	IPB 200	IPB 220	IPB 240	IPB 280	IPB 360	IPE 240	IPE 360	مقطع



شکل (۳): مشخصات هندسی سازه پنج طبقه با مهاربندی شورون



شکل (۴): مشخصات هندسی سازه هشت طبقه با مهاربندی شورون

طبقه، داده شده است.

جدول (۳): مشخصات پانل های برشی در سازه پنج طبقه

شماره طبقه	مقطع پانل برشی	طول پانل برشی (cm)
۵	IPE120	۲۰
۴ و ۳	IPE180	۲۰
۲ و ۱	IPE200	۲۰

#### ۴- بهبود عملکرد سازه اصلی به کمک پانل

##### برشی

برای بهبود عملکرد سازه‌ها از نیمرخ های IPE با طول ۲۰ سانتیمتر استفاده شد. در جدول (۳) مشخصات پانل های برشی برای سازه پنج طبقه و در جدول (۴) برای سازه هشت

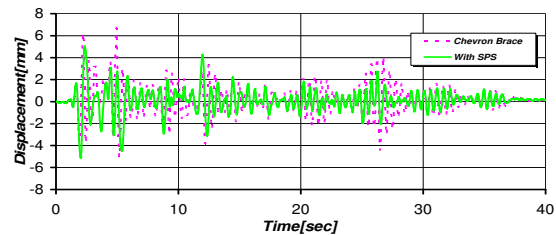
جدول (۴): مشخصات پانل های برشی در سازه هشت طبقه

شماره طبقه	مقطع پانل برشی	طول پانل برشی (cm)
۸ و ۷	IPE180	۲۰
۶ و ۵ و ۴	IPE240	۲۰
۳ و ۲ و ۱	IPE270	۲۰

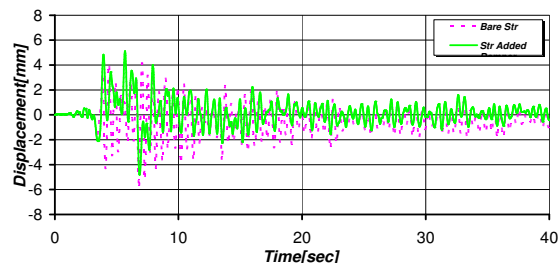
در بخش بعد تاثیر پانل برشی بر رفتار سازه های پنج و هشت طبقه، از جهات مختلف بررسی می شود.

#### ۴-۱- تغییرمکان حداکثر بام

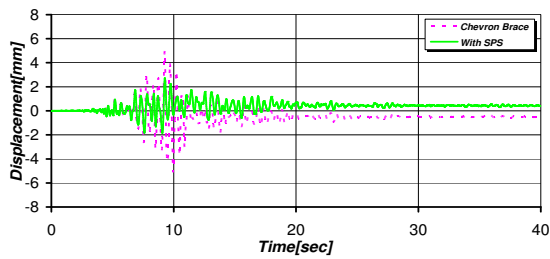
اگر چه غالب آیین نامه ها جابجایی نسبی طبقات را محدود می کنند و مستقیما اشاره ای به تغییرمکان حداکثر بام ندارند، ولی با محدود نمودن جابجایی نسبی تغییرمکان حداکثر بام نیز کنترل می گردد. به کمک سیستم پانل برشی در سازه پنج طبقه، تغییرمکان حداکثر بام در زلزله السنترو از ۶/۷ میلیمتر به پنج میلیمتر، در زلزله کرن کانتی از ۵/۸ میلیمتر به پنج میلیمتر و در زلزله کوبه از پنج میلیمتر به ۲/۶ میلیمتر کاهش یافت. در شکل های ۵- الف تا ۵- ج تاثیر استفاده از پانل برشی در کاهش تغییرمکان حداکثر بام در سه زلزله فوق نشان داده می شود، با کمک سیستم پانل برشی تغییرمکان حداکثر بام بین ۱۴ تا ۴۸ درصد، کاهش نشان می دهد. در سازه هشت طبقه به کمک این قطعات، تغییرمکان حداکثر بام در زلزله السنترو از ۱۲/۸ میلیمتر به ۸/۸ میلیمتر، در زلزله کرن کانتی از ۱۲/۹ میلیمتر به ۱۰/۹ میلیمتر و در زلزله کوبه از ۴/۸ میلیمتر به ۳/۲ میلیمتر کاهش یافت؛ یعنی میزان کاهش بین ۱۶ تا ۳۳ درصد شد.



الف- زلزله السنترو



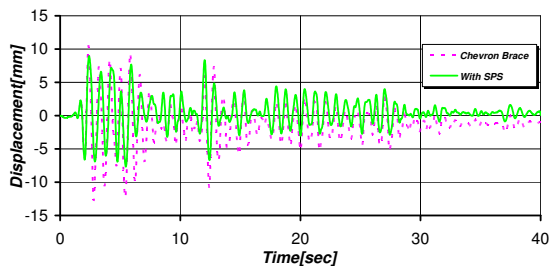
ب- زلزله کرن کانتی



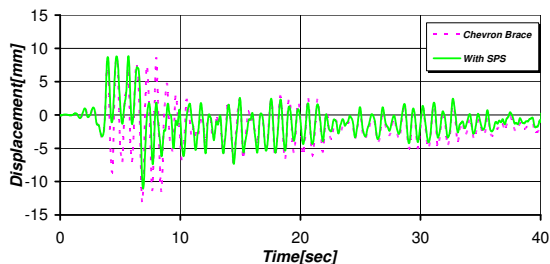
ج- زلزله کوبه

شکل ۵- تاثیر پانل برشی بر تغییر مکان حداکثر بام سازه پنج طبقه

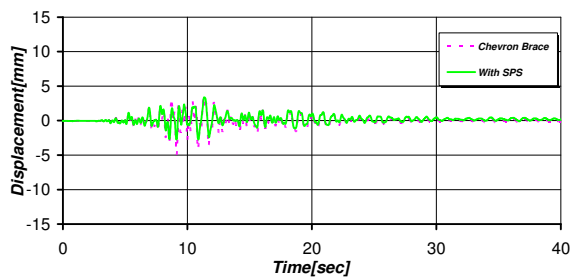
در شکل های ۶- الف تا ۶- ج تاثیر استفاده از پانل برشی در کاهش تغییرمکان حداکثر بام در سه زلزله فوق نشان داده شده است. در مجموع عملکرد پانل های برشی در این خصوص، مطلوب ارزیابی می شود. تاثیر پانل های برشی بر تغییرمکان حداکثر بام در سازه پنج طبقه کمی بیشتر بود.



الف- زلزله السنترو



ب- زلزله کرن کانتی

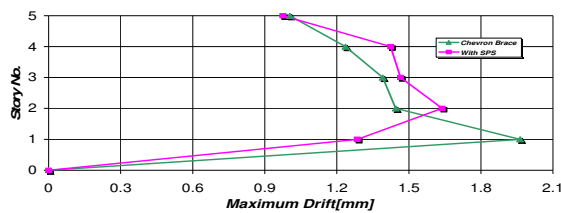


ج- زلزله کوبه

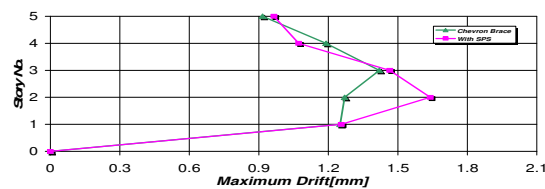
شکل ۶- تاثیر پانل برشی بر تغییر مکان حداکثر بام سازه هشت طبقه

طبقات افزایش ولی در کل، تغییر مکان حداکثر بام کاهش یافته است. در زلزله کوبه سیستم پانل برشی حداکثر جابجایی نسبی را در تمام طبقات به نحو قابل ملاحظه ای کاهش داد. در شکل های ۷- الف تا ۷- ج تاثیر استفاده از پانل برشی بر حداکثر جابجایی نسبی طبقات سازه پنج طبقه در سه زلزله فوق نشان داده شده است. در مجموع استفاده از سیستم پانل برشی در کاهش جابجایی نسبی طبقات سازه پنج طبقه تاثیر قابل قبولی داشته است.

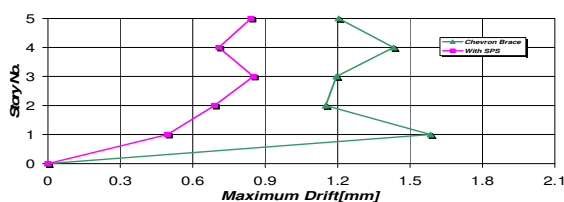
در شکل های ۸- الف تا ۸- ج تاثیر استفاده از پانل برشی بر حداکثر جابجایی نسبی طبقات سازه هشت طبقه در سه زلزله فوق نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در هر سه زلزله حداکثر جابجایی نسبی در تمام طبقات کاهش یافته ولی در طبقه چهارم تقریباً ثابت مانده است و در طبقه هفتم افزایش پیدا کرده است. حداکثر جابجایی نسبی طبقات در دو زلزله السنترو و کرن کانتی به ترتیب از سه به ۲/۵ و از ۲/۴ به دو میلیمتر کاهش یافت، ولی در زلزله کوبه از ۱/۴ به ۱/۸ میلیمتر افزایش یافته است. هرچند تغییر مکان حداکثر بام کاهش یافته است و حداکثر جابجایی نسبی طبقه هفتم نیز از میزان مشابه در سایر زلزله ها کمتر است؛ بنابراین از این نظر نیز سیستم پانل برشی عملکرد مناسبی داشته است.



الف- زلزله السنترو



ب- زلزله کرن کانتی



ج- زلزله کوبه

شکل ۷- تاثیر پانل برشی بر حداکثر جابجایی نسبی طبقات سازه پنج طبقه

مهم تر از تغییر مکان حداکثر بام، معمولاً جابجایی نسبی طبقات در ارزیابی سازه ها موثر است. ممکن است در یک سازه تغییر مکان حداکثر بام کم باشد ولی میزان جابجایی نسبی در یک طبقه به اندازه ای باشد که موجب تخریب سازه شود؛ به همین دلیل اکثر آیین نامه ها از جمله آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (ایران)، استاندارد ۲۸۰۰، این میزان را محدود می نمایند. مطابق ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در هر طبقه،  $\Delta_M$  باید کمتر از مقادیر زیر باشد [۳]:

$$\Delta_M < 0.025 h \quad (۴)$$

برای ساختمان های با زمان تناوب اصلی کمتر از ۰/۷ ثانیه

$$\Delta_M < 0.02 h \quad (۵)$$

برای ساختمان های با زمان تناوب اصلی بیشتر و یا مساوی ۰/۷ ثانیه

در روابط فوق  $h$  ارتفاع طبقه است.

برای محاسبه تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در هر طبقه،  $\Delta_M$  می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\Delta_M = 0.7 R \Delta_w \quad (۶)$$

در رابطه فوق  $\Delta_w$  تغییر مکان جانبی نسبی طرح و  $R$  ضریب رفتار سازه است [۳].

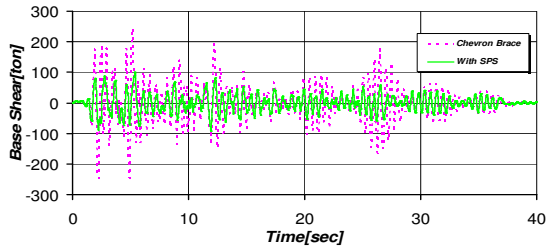
استفاده از پانل برشی به جای مهاربند شورون موجب می شود سازه نرم تر و شکل پذیرتر گردد؛ در نتیجه نیروی وارده به سازه کاهش می یابد. حال اگر کاهش نیروی وارده بیش از کاهش سختی سازه باشد، جابجایی نسبی طبقات کاهش می یابد.

در سازه پنج طبقه زمان تناوب اصلی سازه ۰/۶۱ ثانیه و در سازه هشت طبقه زمان تناوب اصلی سازه ۰/۸۷ ثانیه است. از طرفی بر طبق استاندارد ۲۸۰۰، ضریب رفتار سازه با مهاربند شورون ۶ و ضریب رفتار سازه با پانل برشی ۷ است؛ بنابراین طبق روابط ۴ تا ۶،  $\Delta_w$  مجاز هر طبقه در سازه پنج طبقه دارای مهاربند شورون، ۱۷/۹ و در سازه مجهز به پانل برشی ۱۵/۳ میلیمتر است. این مقادیر برای سازه هشت طبقه به ترتیب برابر ۱۴/۳ و ۱۲/۲ میلیمتر است.

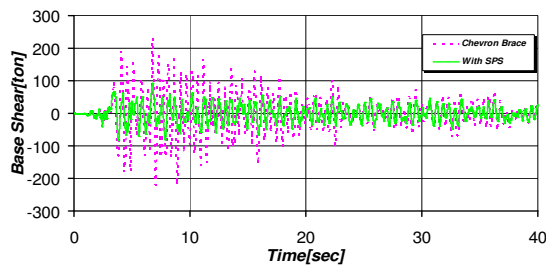
در سازه پنج طبقه، در زلزله السنترو به کمک سیستم پانل برشی جز در طبقه نخست، حداکثر جابجایی نسبی طبقات افزایش یافت؛ ولی همان طور که مشاهده می شود علاوه بر اینکه تغییر مکان حداکثر بام کاهش یافته، حداکثر جابجایی نسبی نیز در سایر طبقات کم شده است. در زلزله کرن کانتی با استفاده از سیستم پانل برشی حداکثر جابجایی نسبی



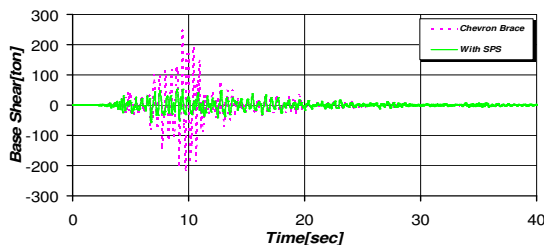
سازه پنج طبقه، در برش پایه حداکثر در سه زلزله فوق نشان داده شده است. در شکل های (۱۰) الف تا (۱۰) ج تاثیر استفاده از پانل برشی در سازه هشت طبقه، بر حداکثر برش پایه در سه زلزله فوق نشان داده شده است. به کمک سیستم پانل برشی، برش پایه حداکثر در زلزله السنترو از ۲۸۲ تن به ۱۷۳ تن، در زلزله کرن کانتی از ۲۷۵ تن به ۱۵۹ تن و در زلزله کوبه از ۲۲۴ تن به ۱۱۲ تن کاهش یافت. همان طور که در این نتایج ملاحظه می شود، تاثیر پانل برشی بر برش پایه حداکثر، بیش از سایر پارامترها بوده است. در واقع با کاهش برش پایه حداکثر سطح نیاز لرزه ای ساختمانها کاهش یافته است. به طوری که با وجود کاهش سختی مقادیر تغییر مکان حداکثر بام و حداکثر جابجایی نسبی طبقات به جای افزایش، کاهش یافته اند؛ در حالی که اگر زلزله به صورت استاتیکی به سازه وارد می شد، این مقادیر افزایش می یافتند. همچنین، تاثیر پانل برشی بر برش پایه حداکثر، در سازه هشت طبقه ۳۸ تا ۵۰ درصد بوده است؛ در حالی که این میزان برای سازه پنج طبقه، ۶۰ تا ۸۰ درصد بوده است. این موضوع نشان می دهد تاثیر پانل برشی برای کاهش برش پایه حداکثر در سازه های کوتاه بیشتر است.



الف - زلزله السنترو



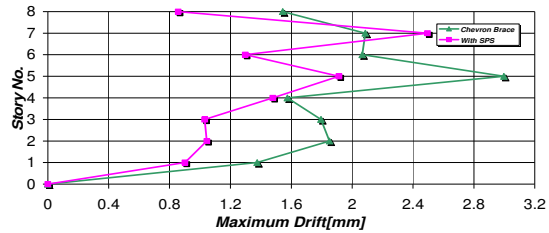
ب - زلزله کرن کانتی



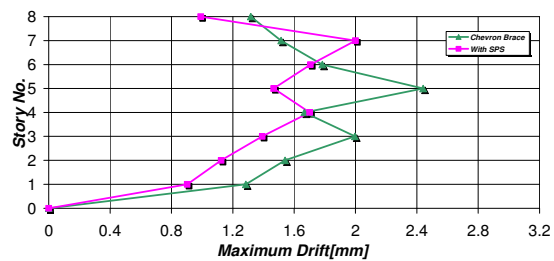
ج - زلزله کوبه

شکل (۹): تاثیر پانل برشی بر برش پایه حداکثر سازه پنج طبقه

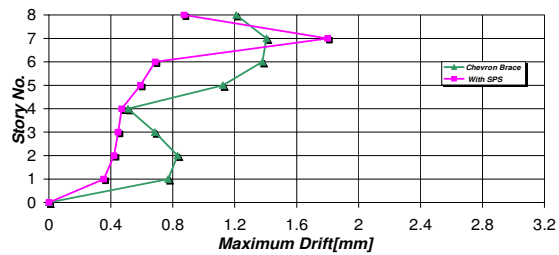
تاثیر این سیستم بر جابجایی نسبی طبقات در سازه های پنج و هشت طبقه با هم مشابه اند. البته با توجه به اینکه حداقل  $\Delta_w$  مجاز برابر ۱۲/۲ میلیمتر محاسبه شد، کلیه مقادیر جابجایی نسبی در محدوده مجاز قرار دارد و همان طور که انتظار می رفت، سازه هایی که سیستم باربری جانبی آنها مهاربندی است، از نظر جابجایی نسبی با مشکل خاصی روبرو نیستند. ضمن اینکه با استفاده از پانل برشی، سازه شکل پذیرتر شده و توانایی تحمل جابجایی نسبی بیشتری را نسبت به سازه با مهاربندی شورون دارد.



الف - زلزله السنترو



ب - زلزله کرن کانتی



ج - زلزله کوبه

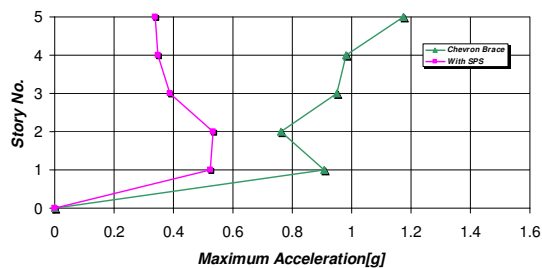
شکل ۸- تاثیر پانل برشی بر حداکثر جابجایی نسبی طبقات سازه هشت طبقه

### ۳-۴- برش پایه حداکثر

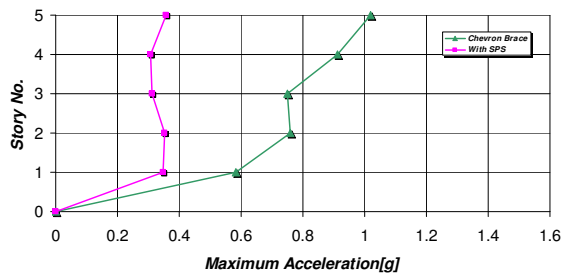
یکی دیگر از شاخص های اصلی ارزیابی لرزه ای سازه ها حداکثر میزان برش پایه است. در سازه پنج طبقه به کمک سیستم پانل برشی، برش پایه حداکثر در زلزله السنترو از ۲۴۵ تن به ۹۶ تن، در زلزله کرن کانتی از ۲۳۱ تن به ۹۲ تن و در زلزله کوبه از ۲۴۹ تن به ۵۰ تن کاهش یافت. در شکل های (۹) الف تا (۹) ج تاثیر استفاده از پانل برشی در



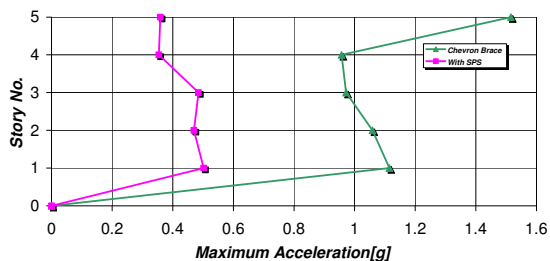
شتاب طبقات با استفاده از سیستم پانل برشی در زلزله السنترو از  $1/0.8g$  به  $0.7g$ ، در زلزله کرن کانتی از  $1/0.3g$  به  $0.6g$  و در زلزله کوبه از  $1/2.3g$  به  $0.69g$  کاهش یافت. در زلزله کوبه علاوه بر اینکه حداکثر شتاب طبقات کاهش قابل ملاحظه ای داشته است، این میزان در طبقات مختلف به طور یکنواخت تری توزیع شده است. با کمک این سیستم شتاب حداکثر به خصوص در طبقات بالاتر که از این نظر بحرانی ترند، کاهش قابل ملاحظه ای داشته است. همان طور که مشاهده می شود، تاثیر پانل برشی در کاهش شتاب حداکثر طبقات، در سازه پنج طبقه، بیش از میزان آن در سازه هشت طبقه است.



الف - زلزله السنترو



ب - زلزله کرن کانتی

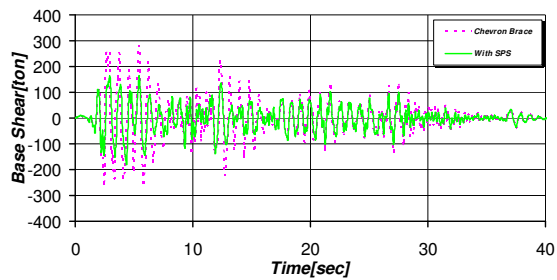


ج - زلزله کوبه

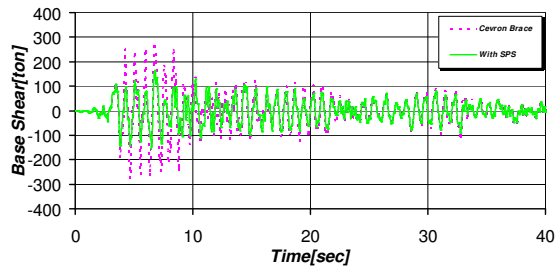
شکل ۱۱- تاثیر پانل برشی بر شتاب حداکثر طبقات سازه

پنج طبقه

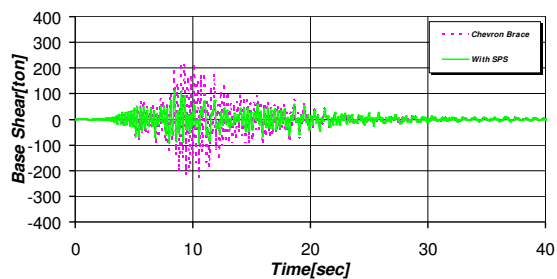
در مجموع با استفاده از سیستم پانل برشی، تقریباً تمام پارامترهای لرزه ای مورد بررسی، در سازه های پنج و هشت طبقه، بهبود یافتند. تاثیر استفاده از این سیستم بر تغییر مکان حداکثر بام و حداکثر جابجایی نسبی طبقات در سازه های پنج و هشت طبقه با هم مشابه بودند. همچنین استفاده از سیستم



الف - زلزله السنترو



ب - زلزله کرن کانتی



ج - زلزله کوبه

شکل (۱۰): تاثیر پانل برشی بر برش پایه حداکثر سازه هشت طبقه

#### ۴-۴- میزان شتاب حداکثر طبقات

این پارامتر، مربوط به آسایش ساکنان است. ممکن است در سازه ای پارامترهای لرزه ای به خوبی کنترل شده باشند، ولی در هنگام زلزله افراد ساکن در ساختمان احساس امنیت نکنند. به همین دلیل لازم است این پارامتر نیز کنترل شود. با استفاده از سیستم پانل برشی میزان شتاب حداکثر در تمام طبقات سازه پنج طبقه، کاهش یافته است. در شکل های (۱۱) الف تا (۱۱) ج تاثیر پانل برشی بر شتاب حداکثر طبقات نشان داده شده است. حداکثر شتاب طبقات با استفاده از سیستم پانل برشی در زلزله السنترو از  $1/1.7g$  به  $0.53g$ ، در زلزله کرن کانتی از  $1/0.2g$  به  $0.36g$  و در زلزله کوبه از  $1/0.2g$  به  $0.50g$  کاهش یافت. در سازه هشت طبقه مجهز به سیستم پانل برشی، میزان شتاب حداکثر در بیشتر طبقات کاهش یافته است. در شکل های (۱۲) الف تا (۱۲) ج تاثیر پانل برشی بر این پارامتر، نشان داده شده است. حداکثر

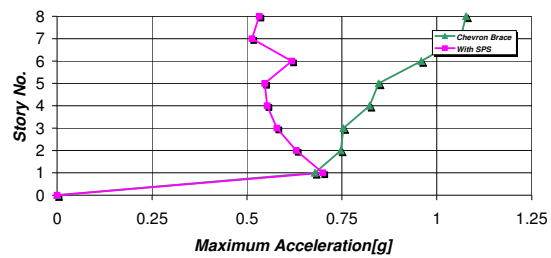
طبقه بین ۶۰ تا ۸۰ و در سازه هشت طبقه بین ۳۸ تا ۵۰ درصد کاهش یافت. میزان شتاب حداکثر طبقات پایه در سازه پنج طبقه بین ۵۵ تا ۶۷ و در سازه هشت طبقه بین ۳۵ تا ۴۴ درصد کاهش یافت. اگرچه در تمام موارد، تاثیر استفاده از پانل های برشی در سازه های پنج طبقه به مراتب بهتر از تاثیر آن در سازه های هشت طبقه بود، ولی به هر حال با استفاده از سیستم پانل برشی رفتار این سازه ها تا حدود زیادی بهبود یافت. با توجه به اینکه پانل برشی دوره تناوب سازه را نسبت به حالت مهاربندی افزایش می دهد و از این طریق ضمن افزایش انعطاف پذیری شتاب طیفی را کاهش می دهد، به نظر می رسد در سازه های کوتاه تر که دارای سختی بالاتری هستند، میزان تاثیر آن در بهبود پاسخ لرزه ای نسبت به سازه های بلند مرتبه مطلوب تر باشد؛ زیرا میزان کاهش ضریب بازتاب ساختمان با افزایش دوره تناوب سازه، در دوره تناوب های کمتر مربوط به ساختمان های کوتاه با سختی بیشتر، افزون تر است.

از طرف دیگر پانل برشی به عنوان یک فیوز شکل پذیر رفتار سازه را بهبود می بخشد و وجود سیستم باربر جانبی موازی که خود به عنوان مسیر بار عمل می کند، موجب کاهش راندمان این فیوز می شود؛ لذا در صورت وجود دیوار برشی یا مهاربند هم محور موازی با پانل برشی، سختی سازه افزایش یافته، مانع ایجاد تغییر مکان لازم جهت بروز رفتار شکل پذیر و استهلاک انرژی زلزله توسط پانل برشی می شود. لازم به تذکر است که اگرچه جایگزینی سیستم های باربر جانبی متداول با سیستم پانل برشی می تواند منجر به بهبود رفتار لرزه ای ساختمان شود، استفاده از پانل برشی در آن دسته از ساختمان های موجود که فاقد سیستم باربر جانبی موثرند، تاثیر به مراتب بیشتری دارد. در مجموع، چون با استفاده از پانل برشی می توان رفتار لرزه ای ساختمان های فولادی جدید و بهسازی لرزه ای موارد موجود را تا حدود زیادی بهبود بخشید؛ این سیستم به عنوان روشی ساده، کارآمد، با قابلیت نصب و تعویض آسان برای طراحی و بهسازی ساختمان های فولادی در برابر زلزله توصیه می شود.

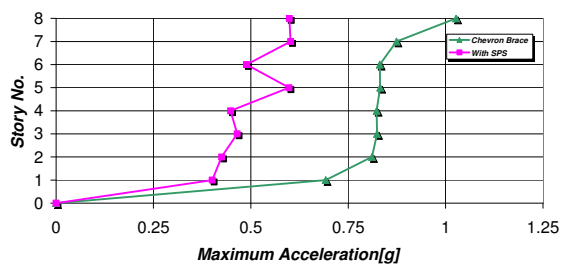
#### ۶- تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب پروژه تحقیقاتی ۱-۴۵۶۰ مورخ ۸۲/۶/۱۶ در بخش سازه مرکز تحقیقات و مسکن انجام شده که به این وسیله تقدیر می شود؛ اما کلیه نتایج و نظریات ارائه شده مربوط به مولفان است.

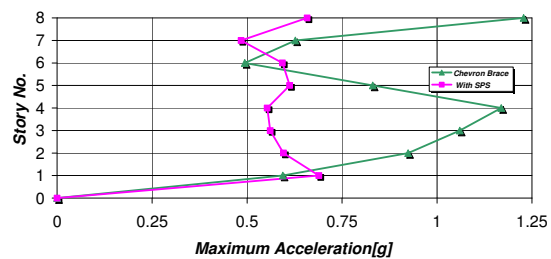
پانل برشی، در سازه های پنج طبقه نسبت به سازه های هشت طبقه که نسبتاً انعطاف پذیرترند، تاثیر بیشتری بر کاهش برش پایه حداکثر و شتاب حد اکثر طبقات داشته است.



الف- زلزله السنترو



ب- زلزله کرن کانتی



ج- زلزله کوبه

شکل (۱۲): تاثیر پانل برشی بر شتاب حداکثر طبقات سازه هشت طبقه

#### ۵- نتیجه گیری

با استفاده از سیستم پانل برشی، رفتار قاب های پنج طبقه و هشت طبقه در برابر زلزله بهبود یافتند. با استفاده از سیستم پانل برشی تغییر مکان حداکثر بام در سازه پنج طبقه بین ۱۴ تا ۴۸ و در سازه هشت طبقه بین ۱۶ تا ۳۳ درصد کاهش یافت. با کمک سیستم پانل برشی جابجایی نسبی بین طبقات عمدتاً کاهش یافت و حرکت جانبی طبقات یکنواخت تر گردید. با استفاده از سیستم پانل برشی برش پایه در سازه پنج

- [۷] Fehling E. , Pauli W. and Bauwkamp J.G.(1992) “ Use of vertical shear Link in eccentrically braced frames ”, Earthquake Engineering , Tenth World IBC (2003) , “Seismic Provisions”. International building code.
- [۸] SAP 2000, “Structural Analysis Program”, Ver. 8.3.1, Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley, CA 94704.
- [۹] Sarraf M. and Bruneau M. (1998) “ Ductile Seismic Retrofit of Deck – Truss Bridges ” Journal of Structural Engineering , ASCE, vol . 124 , No. II.
- [۱۰] “Seismo Struct”, Ver 3. 10, Free Version from Internet.
- [۱۱] Zahrai, S.M. (1997) “Seismic Retrofit of Slab-on-Girder Steel Bridges Using Ductile End-Diaphragms”, A Thesis Presented to the University of Ottawa in Partial Fulfilment of the Requirement for Ph.D. Degree.
- [۱۲] Zahrai, S.M. and Moslehi Tabar, A. (2006). “Cyclic Behavior of Steel Braced Frames Using Shear Panel Systems”. Asian Journal of Civil Engineering, Vol. 7, No. 1, PP. 13-26.
- [۱] کمیته دائمی تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان(۱۳۸۲)، «آیین نامه بارگذاری ایران، مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان کشور» (استاندارد ۵۱۹
- [۲] ماهرزاده، یاسر(۱۳۸۴) « کاربرد پانل های برشی در کنترل غیرفعال سازه های فولادی متعارف»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
- [۳] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن(۱۳۸۴)، «آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله»، ویرایش سوم، استاندارد ۲۸۰۰
- [۴] AISC (2005), “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”. American Institute of Steel Construction
- [۵] Aristizaba - Ochoa , J.D. (1986) “ Disposable Knee bracing :Improvement In Seismic Design of Steel Frames ” , J. Struct . Engrg. ,ASCE vol .112 No.7 p.p1544 -1552
- [۶] Boukamp, J. G., Vetr, M. G., (1994). “ Design of Eccentrically Braced Test Frame with Vertical Shear Link ” Proceeding of the Second Int. Con. On Earthquake Resistant Construction and Design, Berlin/ June 1994.