**دانشگاه ارومیّه**

**دانشکده فنی ومهندسی**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

# بررسی آزمایشگاهی رفتار دیوار برشی آلومینیومی دارای سخت کننده

**اساتید راهنما :**

**دکتر محمدرضا شیدایی**

**دکتر حسین شوکتی**

**تنظیم ونگارش :**

**علیرضا امامیاری**

**بهمن ماه ۱۳۹۱**

# چکیده

در خلال سه دهه اخیر، دیوارهای برشی فولادی بعنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی نظیر زلزله و باد، مطرح و مورد توجه قرار گرفته است. برتری این نوع سیستم نسبت به دیگر سیستم های سازه ای مقاوم در برابر نیروهای جانبی باعث گردیده تا استفاده از آن روز به روز افزایش یابد. استفاده از دیوار برشی فولادی روشی موثر در افزایش سختی و مقاومت، بدون افزایش وزن سازه می باشد و در مقایسه با سیستم قاب خمشی تقریبا تا میزان پنجاه درصد موجب صرفه جویی در مصرف فولاد می گردد.

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که دیوارهای برشی ساخته شده از فولاد با مقاومت تسلیم دارای رفتار چرخه ای قوی و شکل پذیری بالایی می‌باشند. بعلت دسترسی کم به فولاد با مقاومت پایین در بازار، پیشنهاد می‌شود ازآلیاژ آلومینیومی بعنوان یک مصالح مناسب برای جایگزینی فولاد با مقاومت تسلیم پایین، استفاده شود.
آلومینیوم خالص که یک آلیاژ آلومینیومی با درصد خیلی کمی از عناصر آلیاژی می باشد، به راحتی در بازار در دسترس بوده و دارای مقاومت تسلیم قراردادی خیلی پایین‌تر از فولاد با مقاومت تسلیم پایین می باشد. پانلهای برشی آلومینیومی بدون سخت‌کننده دارای رفتار چرخشی ضعیف همراه با اثر باریک شدگی می باشند که به علت تغییرمکانهای خارج از صفحه بوجود آمده در اثر کمانش برشی می باشد، در حالی که پانلهای برشی آلومینیومی با سخت کننده دارای مکانیسم اتلافی برش خالص با توسعه تغییرشکلهای پلاستیک برشی قبل از رخداد پدیده کمانش اصلی می باشند.
در این تحقیق، برای دست یافتن به مطلوب ترین آرایش سخت کننده در دیوارهای برشی آلومینیومی، مدل هایی با انواع آرایش سخت کننده با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS مدلسازی شده و مورد بررسی قرار گرفت. برای اطمینان از نتایج تحلیلی بدست آمده ۵ نمونه آزمایشگاهی با انواع آرایش سخت کننده تهیه شد، بدلیل عدم وجود امکانات لازم برای انجام عملیات حرارتی بر روی نمونه ها برای ایجاد خواص مکانیکی مورد نظر فقط نمونه بدون سخت کننده و بدون انجام عملیات حرارتی تحت بارگذاری چرخه ای آزمایش شد.
با توجه به نتایج بدست آمده نمونه‌هایی که دارای سخت کننده یک جهته ( افقی) می‌باشند در مقایسه با نمونه‌هایی که دارای همان تعداد سخت کننده هستند و سخت کننده در آنها بصورت دو جهته (افقی و عمودی) بکار رفته است دارای مقاومت، سختی و ظرفیت جذب انرژی بیشتری می باشند.

**کلمات کلیدی** : دیوار برشی آلومینیومی- سخت کننده - منحنی هیسترزیس - سختی- جذب انرژی

# فهرست مطالب

**عنوان** ..... **صفحه**

## فصل اول: مقدمه‌ای بر دیوارهای برشی فولادی


۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- ضرورت و سابقه تحقیق ..... ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ..... ۴

۱-۴- رئوس مطالب ..... ۴


## فصل دوم: مطالعات پایه ای در مورد دیوار های برشی فولادی


۲-۱- مقدمه ..... ۶

۲-۲- معرفی سیستم ..... ۶

۲-۳- رفتار دیواربرشی فولادی ..... ۸

۲-۴- سختی و مقاومت ..... ۸

۲-۵- جذب انرژی ..... ۹

۲-۶- پایداری ..... ۱۰

۲-۷- دیوار برشی با ورق جان سخت نشده ..... ۱۲

۲-۸- دیوار برشی با ورق جان سخت شده ..... ۱۴

۲-۹- تحلیل دیوارهای برشی ..... ۱۸

۲-۹-۱- مدل نواری ..... ۱۹

۲-۹-۲- مدل غشایی ارتوتروپیک ..... ۲۰
۲-۹-۳- تحلیل غیر خطی ..... ۲۱
۲-۱۰- طراحی دیوارهای برشی ..... ۲۲
۲-۱۰-۱- طراحی اولیه ورق جان ..... ۲۲
۲-۱۰-۲- طراحی اولیه ستون ..... ۲۳
۲-۱۰-۳- طراحی اولیه تیر ..... ۲۳
۲-۱۱- دیوار برشی فولادی (LYS) وآلومینیومی ..... ۲۴
۲-۶-۵- تاریخچه استفاده از دیوارهای برشی فولادی ..... ۲۴

## فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته بر روی دیوارهای برشی فولادی LYS وآلومینیومی

۳-۱- مقدمه ..... ۲۷
۳-۲- Nakashima و همکاران ..... ۲۷
۳-۳- Rai و همکاران ..... ۲۸
۳-۴- Bruneau وBhagwager ..... ۲۸
۳-۵- Jhang و Che ..... ۲۸
۳-۶- Matteis و Formisano ..... ۲۸
۳-۷- Matteis و Mazzolani ..... ۳۱
۳-۸- Formisano و Matteis ..... ۳۳
۳-۹- Matteis و Brando ..... ۳۴
۳-۱۰- بحث و نتیجه گیری ..... ۳۶

## فصل چهارم: مطالعه تحلیلی دیوار برشی آلومینیومی تحت بارگذاری چرخه ای


۴-۱- مقدمه ..... ۳۸

۴-۲- روش اجزاء محدود ..... ۳۸

۴-۳- آشنایی مقدماتی با ABAQUS ..... ۳۹

۴-۴- طبقه بندی آلیاژهای آلومینیوم ..... ۴۰

۴-۵- نمادگذاری آلیاژهای آلومینیوم بر اساس استاندارد AA ..... ۴۰

۴-۵-۱- نمادگذاری آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم ..... ۴۰

۴-۵-۲- نمادگذاری آلیاژهای ریختگی آلومینیوم ..... ۴۱

۴-۶- سیستم نمادگذاری حالات تمپر در آلیاژهای آلومینیوم ..... ۴۲

۴-۶-۱- حالات اصلی تمپر..... ۴۲

۴-۶-۱-۱- حالت تمپر F ..... ۴۲

۴-۶-۱-۲- حالت تمپر O ..... ۴۲

۴-۶-۱-۳- حالت تمپر H ..... ۴۲

۴-۷- عملیات حرارتی آلیاژهای آلومینیوم ..... ۴۳

۴-۷-۱- تعریف عملیات حرارتی ..... ۴۳

۴-۷-۲- عملیات آنیلینگ ..... ۴۴

۴-۸-۲-۱- آنیل کامل ..... ۴۴

۴-۸-۲-۲- آنیل جزئی ..... ۴۵

۴-۷-۲-۲- آنیلینگ تنش زدایی ..... ۴۵

۴-۸- مدلسازی عناصر محدود ..... ۴۵

۴-۸-۱- مدل‌سازی هندسی ..... ۴۵

۴-۸-۲- مدل‌سازی مصالح ..... ۴۶
۴-۹- بارگذاری و شرایط مرزی ..... ۴۷
۴-۱۰- صحت سنجی مدلسازی تحلیلی ..... ۴۸
۴-۱۱- مشخصات نمونه‌های تحلیلی ..... ۴۹
۴-۱۲- نتایج تحلیلی نمونه‌ها ..... ۵۰
۴-۱۲-۱- نمونه 0H0V ..... ۵۰
۴-۱۲-۲- نمونه 1H0V ..... ۵۱
۴-۱۲-۳- نمونه 1H1V ..... ۵۲
۴-۱۲-۴- نمونه 2H0V ..... ۵۳
۴-۱۲-۵- نمونه 2H1V ..... ۵۴
۴-۱۲-۶- نمونه 2H2V ..... ۵۵
۴-۱۲-۷- نمونه 3H0V ..... ۵۶
۴-۱۲-۸- نمونه 3H1V ..... ۵۷
۴-۱۲-۹- نمونه 3H2V ..... ۵۸
۴-۱۲-۱۰- نمونه 3H3V ..... ۵۹
۴-۱۳- اثر آرایش سخت کننده بر مقاومت ..... ۶۰
۴-۱۴- اثر آرایش سخت کننده بر سختی دیوار برشی ..... ۶۱
۴-۱۵- اثر آرایش سخت کننده بر جذب و اتلاف انرژی ..... ۶۲
۴-۱۶- بحث و بررسی نتایج ..... ۶۴

## فصل پنجم: مطالعه آزمایشگاهی دیوار برشی آلومینیومی تحت بارگذاری چرخه ای

۵-۱- مقدمه ..... ۶۶
۵-۲-۱- سیستم آزمایش ..... ۶۶

۵-۲-۲- جک بارگذاری رفت وبرگشتی ..... ۶۶
۵-۲-۳- قاب مفصلی ..... ۶۷
۵-۲-۴- اتصال مفصلی جک به قاب ..... ۶۷
۵-۲-۵- سیستم مهار جانبی ..... ۶۸
۵-۳- تجهیزات اندازه گیری و برداشت داده ها ..... ۶۸
۵-۳-۱- لودسل ..... ۶۸
۵-۳-۲- تغییر مکان سنج ها ..... ۶۹
۵-۳-۳- کرنش سنج ها ..... ۶۹
۵-۳-۴- دیتا لاگر ..... ۶۹
۵-۴- مشخصات نمونه ها ..... ۷۰
۵-۵- مشخصات مصالح ..... ۷۱
۵-۶- آماده سازی نمونه ها ..... ۷۴
۵-۷- روش بارگذاری ..... ۷۵
۵-۸- نتایج حاصل از آزمایشها ..... ۷۶
۵-۹- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی ..... ۷۸
۵-۱۰- بحث و بررسی نتایج ..... ۷۸

## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه ..... ۸۰
۶-۲- نتیجه گیری ..... ۸۰
۶-۲- پیشنهادات ..... ۸۱

منابع و مراجع ..... ۸۲

# فصل اول

# مقدمه ای بر سیستم دیوار برشی فولادی

## ۱–۱– مقدمه

با توجه به خسارات جانی و مالی زیادی که هر ساله در اثر نیروهای زلزله و باد بوجود می آید، محققان همواره در تلاش بوده اند تا به یک سیستم سازه ای مناسب با حداقل خسارات دست یابند. امروزه انواع مختلف سیستم های سازه ای مقاوم در برابر بارهای جانبی وجود دارد که از آن جمله می توان به قاب های صلب، قاب های میان پر، سیستم های مهار بندی و دیوارهای برشی بتنی و فولادی اشاره نمود. در سه دهه اخیر توجه و علاقه گسترده ای به کاربرد دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در ساختمان ها صورت گرفته است. دیوار برشی فولادی همانند یک تیر ورق فولادی است که به صورت عمودی قرار گرفته و در کل ارتفاع ساختمان امتداد می یابد. یک ورق فولادی نسبتا نازک اتصال یافته به تیر ها و ستون ها که همانند جان یک تیرورق رفتار می کند. ستون ها و تیر های افقی به ترتیب نقش بالها وسخت کننده های تیر ورق عمودی را ایفا می کنند..

سیستم SPSW[1] نشان داده است که هزینه های کلی یک ساختمان با توجه به فواید زیر می تواند به طور اساسی کاهش یابد:

۱) یک سیستم SPSW ظرفیت جذب انرژی نسبتا زیاد با رفتار هیسترزیس پایدار را داراست. در نتیجه کاربرد آن در نواحی با خطر لرزه خیزی بالا بسیار مفید است.
۲) به دلیل اینکه میدان کشش جان شبیه به یک مهار قطری عمل می کند یک سیستمSPSW سختی اولیه نسبتا بالایی را داراست و بنابرین در محدود کردن تغییر مکان نسبی بسیار موثر می باشد.
۳) در مقایسه با دیوار های برشی بتن مسلح، SPSW بسیار سبکتر است بطوریکه سبب کاهش بار مورد نظر روی ستون ها و پی ها می شود و نیروی لرزه ای را که متناسب با جرم سازه است کاهش می دهد.
۴) در مقایسه با ساخت بتن مسلح فرآیند نصب یک ساختمان تمام فولادی به طور اساسی سریع تر است. بنابرین مدت زمان ساخت را که یک فاکتور مهم در هزینه کلی یک پروژه است کاهش می دهد.
۵) ساخت سازه های تمام فولادی با SPSW یک راه عملی موثر برای نواحی سردسیر است در حالیکه ساخت بتن نمی تواند به این سادگی باشد. دمای خیلی پایین هوا مسئله ساخت قطعات بتنی را پیچیده می کند و تناوب های یخ زدن و ذوب شدن بتن می تواند سبب مشکلات دوام آن شود.
۶) در کاربرد های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای، SPSW بسیار آسانتر و سریع تر از دیوار های برشی بتنی مسلح نصب می شود.

1.Steel Plate Shear Wall

۷) با استفاده از دیوار های با ورق فولادی با جوش کارگاهی و یا پیچ شده میدان بهتری جهت بازرسی وجود دارد وکیفیت بالاتری برای کنترل می تواند به دست آید.
۸) از نظر معماری در مقایسه با دیوار های برشی بتن مسلح بدلیل سطح مقطع کمتر SPSW قابلیت جابجایی افزایش یافته و فضای بیشتری حفظ می شود که این امر یک برتری مشخص می باشد به ویژه در ساختمان های بلند مرتبه ضخامت دیوار های برشی بتنی در طبقات پایین تر بسیار زیاد می شوند و بخش زیادی از سطح پلان را اشغال می کنند.

در مقایسه با سیستم های مهاربندی رایج، پیوستگی پانل های فولادی سبب ایجاد رفتار شکل پذیر و پایدار سیستم تحت بارگذاری رفت و برگشتی می شود. بعلاوه سختی زیاد ورق ها، شبیه مهار های کششی برای حفظ پایداری عمل می کند. چنانکه سیستم SPSW را به طرز موثری به صورت سیستم جاذب انرژی در نواحی با خطر لرزه خیزی بالا معرفی می کند.

## ۱-۲- ضرورت و سابقه تحقیق

در سالهای اخیر، استفاده از ورق‌های فولادی با مقاومت تسلیم پایین (LYS)[1] در ژاپن رایج شده و این ورق‌ها بطور موفقیت آمیزی در دیوارهای برشی فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تنش تسلیم این ورق‌ها حدود نصف تنش تسلیم فولادهای St-37 ( ۱۲۰۰ $kg/cm^2$) است. این در حالی است که شکل پذیری و کرنش نهایی فولادهای با تنش تسلیم پایین، بیشتر از دو برابر شکل پذیری و کرنش نهایی فولادهای معمولی است. بنابراین استفاده از چنین فولادهایی در اعضاء ساختمان که به منظور اتلاف انرژی به کار می‌روند بسیار مؤثر واقع خواهد شد.

شکل پذیری زیاد از مزایای عمده این نوع فولاد در طراحی لرزه‌ای است. برای تحمل نیروهای جانبی لرزه‌ای ورق‌های با ضخامت بیشتری به علت پایین بودن مقاومت تسلیم فولاد در مقایسه با فولادهای معمولی مورد نیاز خواهد بود.

استفاده از فولاد با مقاومت تسلیم پایین، بجای فولاد معمولی در دیوارهای برشی فولادی دارای این مزیت خواهد بود که دیوار برشی در مراحل ابتدایی بارگذاری وارد فاز تغییر شکلهای غیر ارتجاعی شده و در نتیجه می‌تواند تغییرشکلهای غیر الاستیک قابل ملاحظه‌ای را تحمل کند و انرژی سیستم را با تغییرشکل زیادی اتلاف نماید.

اخیرا مطالعات آزمایشگاهی و عددی در دانشگاه Naples ایتالیا توسط آقای Matteis و همکارانشان بر روی پانل های برشی آلومینیومی انجام شده است که نشان می دهد دیوارهای برشی آلومینومی دارای ظرفیت اتلاف انرژی بالا همراه با شکل پذیری زیادی می باشند و می توانند بعنوان جایگزین مناسبی برای دیوارهای

1. Low Yeild Strenght

برشی فولادی LYS بکار برده شوند.

دیوارهای برشی آلومینیومی بدون سخت کننده دارای رفتار چرخه ای ضعیف همراه با اثرات باریک شدگی[1] شدیدی می باشند که به علت تغییر شکل های خارج از صفحه ناشی از کمانش برشی است. با نصب سخت کننده های مناسب می توان مکانیسم اتلاف انرژی برشی مناسبی را فراهم آورد که در آن تغییر شکلهای پلاستیک برشی قابل توجهی پیش از بروز کمانش برشی پدید آید.

## ۱-۳-اهداف تحقیق

با توجه به تأثیر نسبت لاغری در رفتار دیوارهای برشی و ضرورت بکار گیری سخت کننده برای بهبود رفتار دیوارهای برشی آلومینیومی در این پایان نامه، برای دست یافتن به مطلوب ترین آرایش سخت کننده در دیوارهای برشی آلومینیومی، مدل هایی با انواع آرایش سخت کننده بصورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱-۴- رئوس مطالب

پس از فصل اول که مقدمات و مبانی و اهداف این پایان نامه در آن تشریح شده است، در فصل دوم مطالعات پایه ای درمورد دیوار برشی فولادی انجام شده است. در فصل سوم ، مروری بر تحقیقات گذشته در مورد دیوار های برشی فولادی (LYS) و آلومینیومی انجام گردیده است. در فصل چهارم با عنوان مطالعه تحلیلی رفتار دیوار های برشی فولادی تحت بارگذاری چرخه ای ، نحوه مدل سازی دیوار برشی آلومینیومی با آرایش مختلف سخت کننده و نتایج تحلیلی بدست آمده، بررسی و تشریح شده است.در فصل پنجم، تحت عنوان مطالعه آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی فولادی تحت بارگذاری چرخه ای، یک عدد پانل برشی آلومینیومی با اتصالات تیر و ستون مفصلی تحت بارگذاری چرخه ای، مورد بررسی قرار گرفته اند. در فصل ششم، نتیجه گیری و پیشنهادات شامل خلاصه نتایج مهم این تحقیق و موضوعات پیشنهادی جهت تحقیقات بعدی ارائه شده است.

1. pinching

# فصل دوم

# مطالعات پایه ای در مورد دیوار های برشی فولادی

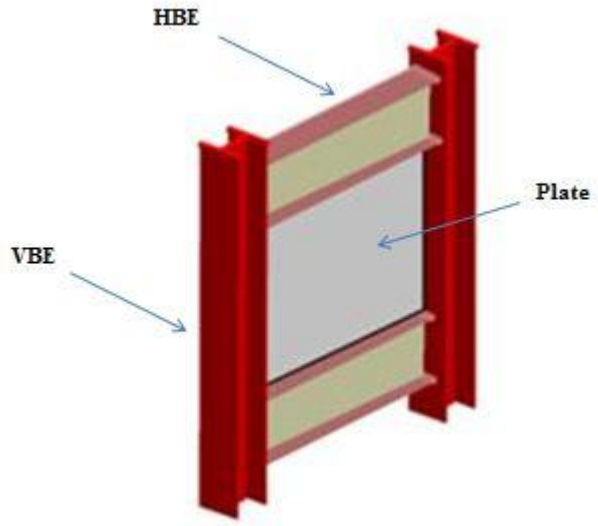
## ۲–۱– مقدمه

امروزه استفاده از دیوار برشی به عنوان یک سیستم باربر جانبی لرزه‌ای بطور کارآمد در بهسازی لرزه‌ای به منظور افزایش مقاومت جانبی و سختی ساختمان‌ها در برابر زلزله، در سازه‌های بتنی و فولادی مورد توجه قرار گرفته است.

وظیفه اصلی دیوار برشی فولادی مقاومت در برابر نیروهای برشی ایجاد شده در طبقات و لنگر واژگونی حاصل از آن در اثر زمین لرزه می‌باشد. استفاده از دیوارهای برشی فولادی حتی قبل از آن که ضوابط مربوط به آن توسط آئین نامه های طراحی تدوین شود، مورد توجه بوده است.
در سال ۲۰۰۴ میلادی آیین نامه های مختلف از جمله آیین نامه طراحی سازه های فولادی کانادا، FEMA450 [7]، ضوابطی را برای طراحی دیوار برشی فولادی ارائه کرده اند. در سال ۲۰۰۵ میلادی ضوابط مربوط به طراحی دیوار های برشی فولادی ویژه به آیین نامه طراحی لرزه ای سازه های فولادی AISC اضافه گردید.

## ۲–۲– معرفی سیستم

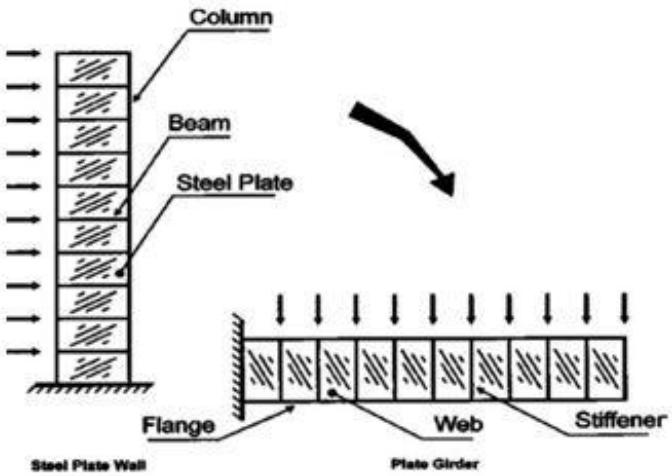
دیوار برشی فولادی که به نام اختصاری SPSW در آیین نامه AISC معرفی می‌شود، سامانه‌ای است که از ورق‌های فولادی، ستونهای حایل و تیرهایی که در تراز هر طبقه وجود دارند تشکیل شده است. اجزای مختلف سیستم دیوار برشی فولادی به شرح زیر توسط مراجع مربوطه نام گذاری می شوند.
ورق فولادی عمودی که به تیرها و ستونهای سیستم باربر جانبی متصل است، ورق جان نامیده می شود.
ستونها به عنوان اعضای مرزی قائم (VBE) و تیرها به عنوان اعضای مرزی افقی(HBE) قلمداد می شوند (شکل۲-۱).




شکل ۲-۱ دیوار برشی فولادی با اجزای مرزی

رفتاردیوارهای برشی فولادی را می‌توان با عملکرد تیرورق‌ها شبیه سازی کرد. ستون‌های قاب با دیوار برشی مانند بال‌های تیر ورق، تیرهای آن مشابه با تقویت کننده‌های میانی تیرورق و ورق فولادی به مثابه جان تیر می‌باشند (شکل۲-۲).

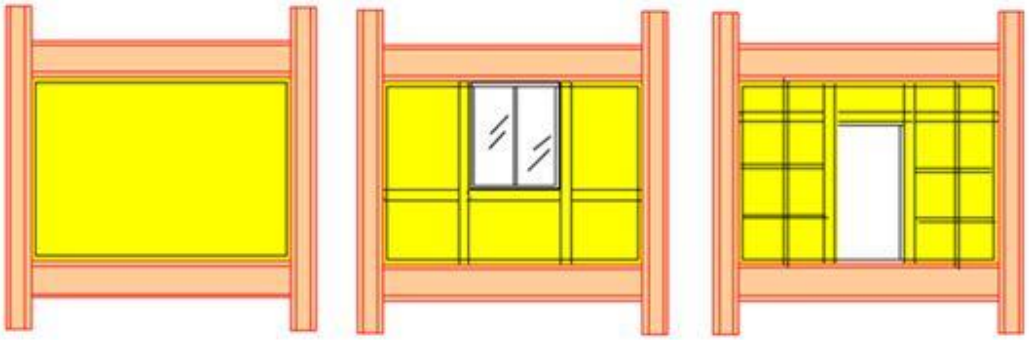
.




شکل ۲-۲ ایده‌آل سازی دیوار برشی فولادی با یک تیر ورق

اگر چه به نظر می‌رسد تئوری تیر ورق برای طراحی یک سازه SPSW مناسب باشد اما یک تفاوت اساسی مربوط به مقاومت خمشی و سختی نسبتاً بالای تیرها و ستونها که اعضای مرزی دیوار را تشکیل می‌دهند نسبت به تیر ورق‌ها وجود دارد. به نظر می‌رسد که این اعضا اثر مهمی روی رفتار کلی ساختمان داشته باشند.

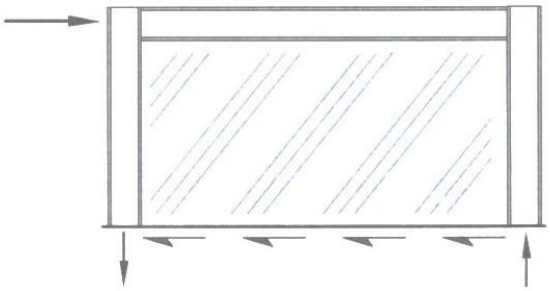
برای تأمین بازشو دردیوارهای برشی و نیز افزایش مقاومت فشاری ورق جان در برابر پدیده کمانش می‌توان از دیوارهای برشی فولادی سخت شده استفاده کرد. در شکل ۲-۳ نمونه‌هایی از دیوارهای برشی فولادی سخت نشده و نیز سخت شده همراه با بازشو نشان داده شده است [1].



شکل ۲-۳ دیوار برشی سخت نشده و سخت شده با بازشو

## ۲–۳– رفتار دیواربرشی فولادی

درسیستم دیوار برشی فولادی نیروهای جانبی ناشی از زلزله توسط عملکرد کششی ورق جان و نیروهای فشاری و کششی در ستونها تحمل و منتقل می شوند. در شکل ۲-۴ رفتار ایده‌آل یک دیوار برشی یک طبقه نشان داده شده است.



شکل ۲-۴ رفتار ایده آل دیوار برشی

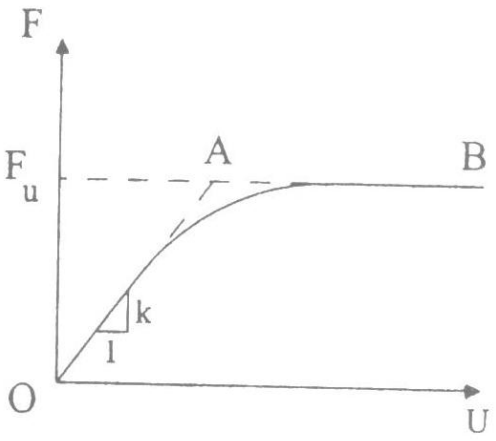
## ۲–۴– سختی و مقاومت

دو عامل تعیین کننده در سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی مانند سیستم‌های مهاربند، دیوارهای برشی فولادی، قابهای ممان گیر، دیوارهای برشی بتنی و غیره سختی و مقاومت آنها می‌باشد که به کمک دیاگرام بار- تغییر مکان جانبی آنها تعیین می‌گردد. در شکل ۲-۵ یک نمونه از این دیاگرام‌ها در یک تصویر کلی نشان داده شده است.

در دیاگرام مذکور شیب خط OA سختی سیستم مقاوم نامیده می‌شود و $F_u$ مقاومت و یا بار نهائی سیستم مذکور می‌باشد. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد رابطه بین بار و تغییر مکان جانبی در محیط الاستیک بصورت زیر است :

$$F=KU \qquad (۱-۲)$$

برای تعیین سختی سیستم در هر تراز دلخواه می توان از رابطه فوق استفاده نمود.
سیستم‌هایی که دارای سختی بیشتری می‌باشند تغییر مکان جانبی آنها در مقابل بارهای جانبی کمتر است.




شکل ۲-۵ دیاگرام بار- تغییرمکان

از جمله عواملی که در رابطه با آنها لزوم کنترل تغییر مکان جانبی نقش اساسی دارد می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- اثرات P-Δ
- آسیب دیدن اجزای غیر سازه ای
- حفظ تجهیزات و لوازم حساس در ساختمانهای خاص
- تامین ایمنی

در صورت جابجایی قابل توجه سازه و در نتیجه تغییر شکلهای زیاد اعضاء غیر سازه‌ای نظیر دربها، آسانسورها، تیغه‌ها، نماها، میانقابها و بخصوص تأسیسات مکانیکی و برقی ممکن است دچار عیب‌های جدی گردند. در بعضی ساختمانهای خاص همچون بیمارستانها، موزه‌ها، آزمایشگاه‌ها و غیره که تجهیزات و لوازم حساس در آنها قرار دارد، جابجائی زیاد می تواند موجب خسارات جبران ناپذیر گردد که بدین لحاظ استفاده از سیستم های مقاوم با سختی زیاد را الزامی می نماید [2].

## ۲-۵- جذب انرژی

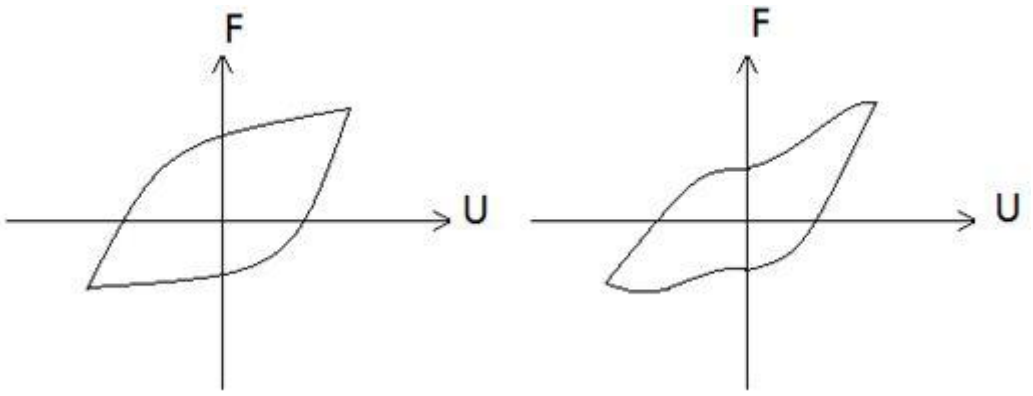
همانطور که در منحنی‌های هیسترزیس مربوط به دیوارهای برشی فولادی مشاهده می‌گردد، این منحنی‌ها بصورت S شکل و کاملا پایدار بوده و میزان جذب انرژی سیستم مذکور که در واقع سطح زیر منحنی‌های هیسترزیس آنها می‌باشد، قابل توجه است. همچنین با افزایش تغییر مکان در هر سیکل سطح زیر منحنی هیسترزیس نسبت به سیکل قبل افزایش نشان می‌دهد.

برای بهبود منحنی های هیسترزیس و افزایش میزان جذب انرژی (افزایش سطح زیر منحنی‌های هیسترزیس) در دیوارهای برشی فولادی به دو صورت می‌توان عمل نمود :

- افزایش ضخامت ورق فولادی
- تقویت ورق فولادی به کمک سخت کننده‌ها

راه حل اول کاملاً غیر اقتصادی و پر هزینه می‌باشد، زیرا برای بهبود منحنی‌های هیسترزیس دیوارهای مذکور لازم است ضخامت ورق فولادی آنقدر افزایش داده شود تا ورق قبل از جاری شدن کمانش ننماید که این افزایش ضخامت بسیار قابل توجه بوده و لذا غیر اقتصادی است.

راه حل دوم که از طریق تقویت ورق فولادی به کمک سخت کننده‌ها حاصل می‌گردد، کاملاً موثر و اقتصادی می‌باشد. در آزمایشهایی که توسط تاکاهاشی و همکارانش بر روی تعدادی پانل برشی فولادی با ورق به ضخامت‌های مختلف و سخت کننده‌ها با ابعاد، فواصل و آرایشهای متفاوت انجام گرفت، نشان داده شده است، با تقویت موثر ورق فولادی می توان منحنی‌های هیسترزیس را در دیوارهای برشی فولادی از S شکل به دوکی شکل (شکل۲-۶) تبدیل کرده و بدین ترتیب با افزایش سطح زیر منحنی‌های مذکور میزان جذب انرژی را بالا برده و رفتار دیوارهای مذکور را بهبود بخشید [2].




(b) (a)

شکل ۲-۶ منحنی‌های هیسترزیس در دیوارهای برشی فولادی a- منحنی S شکل b- منحنی دوکی شکل

## ۲-۶- پایداری

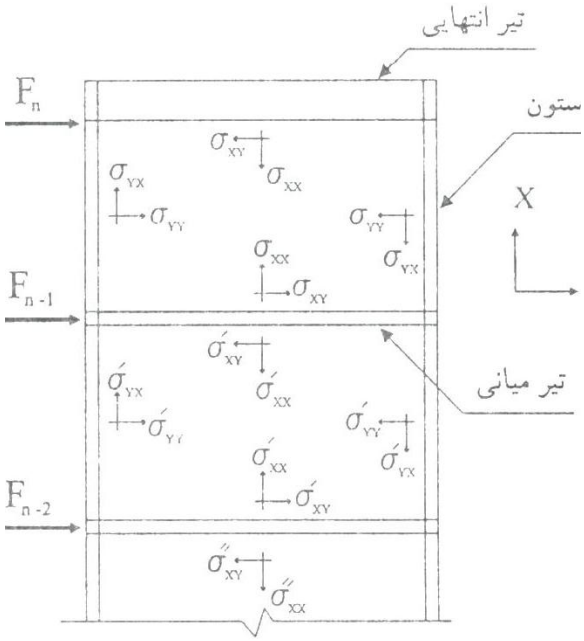
یکی از عوامل تعیین کننده و حساس در سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی، پایداری می‌باشد. هرگونه ناپایداری در این سیستم‌ها ممکن است منجر به خرابی کلی و یا موضعی سازه و نهایتاً ساختمان گردد. عموماً ناپایداری به صورت‌های زیر در سیستم‌های مذکور اتفاق می‌افتد.

- ناپایداری اجزای اصلی
- ناپایداری اجزای فرعی
- ناپایداری موضعی

ناپایداری اجزاء اصلی مانند ستونها بسیار خطرناک بوده و اغلب منجر به تخریب قسمتی از سازه و یا کل سازه می‌گردد . لذا دقت در تأمین پایداری، به ویژه تأمین پایداری اجزاء اصلی سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی بخصوص بارهای جانبی ناشی از زلزله از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. گرچه می توان با کمی درایت در طراحی سیستم های مذکور از ناپایداری اجزاء فرعی و حتی ناپایداری‌های موضعی نیز جلوگیری نمود.

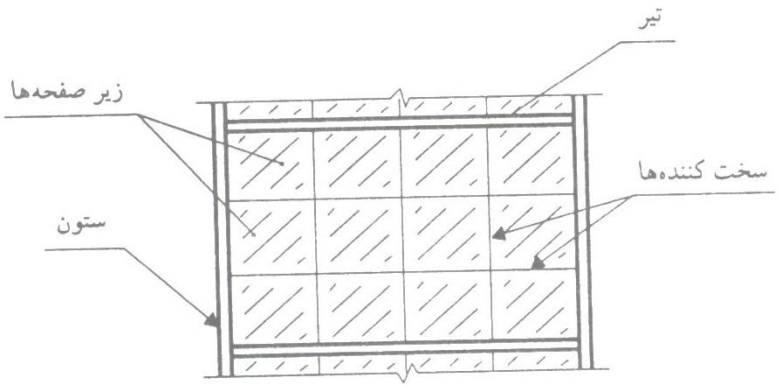
در زلزله‌های نسبتاً شدید انتظار می‌رود سیستم مقاوم وارد ناحیه پلاستیک شده و با جذب انرژی، ارتعاش را میرا نماید. در این حالت که سیستم خود به علت جاری شدن اجزاء و احتمالاً اتصالات دچار مشکل می‌باشد، می‌توان تصور نمود وجود ناپایداری در آن چه اثرات مخربی می‌تواند برای آن به همراه داشته باشد. در چنین شرایطی بروز هرگونه ناپایداری برروی منحنی‌های هیسترزیس سیستم اثر گذاشته و خود را در منحنی‌های مذکور نشان داده و باعث کاهش جذب انرژی سیستم می‌گردد. در دیوارهای برشی فولادی، ستونها علاوه بر تحمل بارهای قائم محوری که ناشی از بارهای ثقلی می‌باشند، می‌بایست نیرو های نهایی وارده از ورق فولادی را نیز تحمل نمایند. لذا لازم است ستونها از نظر کمانش در صفحه دیوار برشی و کمانش خارج از صفحه مذکور با ضریب اطمینان خوبی طراحی گردند. بطوری که وقتی ورق فولادی برای جذب انرژی به حالت پلاستیک می‌رود دارای استحکام کافی بوده و دچار کمانش نشود.

در رابطه با تیرهای طبقات در دیوارهای برشی فولادی، با توجه به اینکه نیروهای وارده از ورق‌های فولادی به آنها در دو طبقه مجاور به علت اختلاف ناچیز خنثی می‌گردد (شکل ۲-۷). لذا از نظر پایداری با مشکل خاصی روبرو نمی باشند. فقط تیرهای انتهایی که صرفا نیروهای وارده از طرف یک ورق فولادی را تحمل می نمایند، می بایست دارای استحکام کافی باشند [2].




شکل ۲-۷ نیروهای وارد بر تیر ها وستون ها

دردیوارهای برشی فولادی گرچه ورق فولادی بعد از ورود به حالت پس کمانش[1] کمانش می نماید ولی این مطلب به منزله ناپایداری سیستم تلقی نمی گردد زیرا همانطور که در مباحث قبل اشاره گردید، در حالت پس کمانش با تشکیل میدان کششی در ورق فولادی صرفا نوع باربری ورق مذکورتغییرمی نماید.
برای جلوگیری ازکمانش ورق فولادی برای بارهای سرویس می توان با استفاده از تقویت کننده ها، همانطور که در شکل نشان داده شده است، صفحه را به تعدادی صفحات کوچکتر که آنها را زیر صفحه می نامند، تقسیم نمود.
تحقیقات نشان می دهد برای دستیابی به منحنی های هیسترزیس دوکی شکل بجای S شکل در دیوارهای برشی فولادی تقویت شده، بهتر است برای جلو گیری ازکمانش کلی صفحه فولادی، سخت کننده ها دارای استحکام کافی بوده و در دو طرف ورق بکار برده شوند.




شکل ۲-۸ دیوار برشی تقویت شده

## ۲-۷- دیوار برشی با ورق جان سخت نشده

بار کمانش ورق‌های نازک و سخت نشده بسیار ناچیز بوده و پس از وقوع کمانش قطری در ورق جان و از کار افتادن آن نیروهای کششی قابل ملاحظه‌ای در راستای عمود بر جهت کمانش در ورق جان توسعه می‌یابد که قادر خواهد بود با نیروهای ناشی از زلزله به خوبی مقابله کند. تاثیر نیروهای کششی بزرگی که در ورق جان ایجاد می‌شوند بر روی اعضای مجاور ( اجزای مرزی قائم و افقی) از مسائل مهمی است که باید به آن توجه کافی داشت.
تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که دیوار برشی فولادی با ورق جان نازک و سخت نشده که به آن دیوار برشی فولادی ویژه نیز اطلاق می‌گردد، از نظر اقتصادی و کارایی در تحمل بارهای جانبی دارای عملکرد مناسبی است. آیین‌نامه‌های طراحی ازجمله AISC341 استفاده از این سیستم باربر جانبی را در مناطق با خطر لرزه خیزی متوسط و زیاد توصیه می‌کنند. با این تفاوت که در مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد لازم است اتصال تیر به ستون قادر به تحمل و انتقال لنگر خمشی باشد.

1. Post Buckling

در سیستم دیوار برشی فولادی با جان سخت نشده ظرفیت فشاری ورق جان بسیار ناچیز است لیکن مقاومت کششی ورق جان که همراه با تجربه تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی بزرگ می‌باشد، زیاد است.
رفتار دیوار برشی با ورق جان سخت نشده را می‌توان با یک قاب مهاربندی شده که اعضای قطری آن فقط به کشش کار می‌کنند شبیه سازی کرد.
نیروهای واژگونی به وسیله ستونها و از طریق مؤلفه قائم مهاربندها تحمل می‌گردند. تیرها تحت نیروهای محوری فشاری بزرگی که حاصل از مؤلفه افقی مهاربندها می‌باشد، هستند. این رفتار را می‌توان با عملکرد یک تیر ورق با جان نازک که در آن تیرها مانند تقویت‌های میانی، ستونها مانند بال تیر ورق و ورق پرکننده دیوار مانند جان می‌باشد، شبیه سازی کرد.
هر چند شبیه سازی با رفتار یک قاب مهاربندی شده و رفتار تیر ورق در درک رفتار دیوار برشی فولادی مفید است لیکن کافی نمی‌باشد و عملکرد دیوار برشی دارای نکاتی می‌باشد.
نیروهای ایجاد شده در مهاربند تنها اتصال تیر به ستون را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این در حالی است که حوزه کشش ایجاد شده در ورق جان تمام طول تیر و ستون را به عنوان اعضای مرزی افقی و قائم ( HBE و VBE) متأثر می‌کند. درقاب مهاربندی شده تنها یک مهاربند کششی در تحمل نیروی جانبی ناشی از زلزله مقاومت می‌کند، در حالی که در سیستم دیوار برشی فولادی یک لشگر از اعضای قطری کششی در تحمل نیروهای لرزه‌ای بسیج می‌شوند.
با مقایسه رفتار دیوار برشی فولادی با تیر ورق به این نکته می‌توان پی برد که بالها در تیر ورق سختی کافی برای توسعه میدان کشش در جان تیر ورق را فراهم نمی‌کنند، این در حالی است که اجزای مرزی قائم در دیوارهای برشی فولادی صلبیت کافی برای ایجاد میدان کشش در ورق جان را تامین می‌کنند. اجزای مرزی قائم و افقی در دیوارهای برشی فولادی تحت تاثیر نیروهای گسترده‌ای در طول خود در اثر عملکرد کششی ورق پر کننده دیوار برشی هستند.
نیروهای کششی در اجزای مرزی افقی (HBE) دیوارهای برشی فولادی ناشی از عملکرد ورق جان در بالا و پایین اعضای مرزی افقی تا حدودی یکدیگر را خنثی می‌کنند. ورقهای جان در دیوارهای برشی فولادی در طبقه اول و آخر نیروهای کششی قابل ملاحظه‌ای در تراز طبقه آخر (بام) و طبقه پایین (فونداسیون) ایجاد می‌کنند که لازم است توسط اعضای مرزی افقی به صورت مناسبی تحمل شوند. بنابراین ابعاد تیرها در تراز بام قابل ملاحظه خواهد بود و در تراز کف نیز این نیروها باید توسط تیرهای افقی فولادی یا بتنی مهار شوند.
چنانچه صلبیت خمشی ستون و به عبارتی ممان اینرسی آن حول محور خمش کافی نباشد، در این صورت امکان توسعه میدان کششی در ورق جان به صورت یکنواخت میسر نبوده و مقاومت سیستم به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در صورتی که سختی ستون مناسب و کافی باشد، آنگاه امکان توسعه میدان کشش در ورق جان فراهم خواهد شد.
نیروی برشی در اثر میدان کشش در ورق جان در ستونهای دو طرف جان در جهت مخالف یکدیگر هستند و واکنش افقی تکیه گاه ستون تحت فشاردرجهت عکس واکنش افقی ورق جان است [1].