

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: عمران - معماری

گروه: سازه

عنوان پایان نامه ارشد

## مطالعه پارامتری رفتار دیوار برشی فلزی

دانشجو:

سید محمد هادی برکچیان

اساتید راهنما:

دکتر علی کیهانی

دکتر مهدی توکلی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۹۳

## تقدیم به روح پاک پدرم

به او که نمی دانم از بزرگیش بگویم

یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و .....

## تقدیم به مادر عزیزتر از جانم

دریای بی کران فداکاری و عشق،

که وجودم برایش همه رنج است و وجودش برایم همه مهر.

## خداوندا

به ما توفیق تلاش بی شکست، صبر در نومییدی، رفتن بی همراه، جهاد بی سلاح، کار بی پاداش،  
فداکاری در سکوت، دین بی دنیا، مذهب بی عوام، عظمت بی نام، ایمان بی ریا، مناعت بی غرور، عشق  
بی هوس، تنهایی در انبوه جمعیت و دوست داشتن بی آنکه دوستان بدانند عنایت فرما.

## تقدیر و تشکر

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از

استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر علی کیهانی

که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و

دانش را بار بار بهمانی های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم

بچنین از جناب آقای دکتر مهدی توکلی که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ کلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و

زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## تعهد نامه

اینجانب سید محمد هادی برکچیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران دانشکده عمران

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مطالعه پارامتری رفتار دیوار برشی فلزی تحت

راهنمایی جناب دکتر علی کیهانی و دکتر سید مهدی توکلی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

سیستم دیوارهای برشی فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی، در سه دهه اخیر به سرعت در دنیا مورد توجه قرار گرفته و از این سیستم برای ساخت و مقاوم‌سازی ساختمان‌های مهمی در دنیا به ویژه در کشورهای زلزله‌خیزی چون آمریکا و ژاپن استفاده شده است. مطالعات آزمایشگاهی و نظری همگی حاکی از رفتار بسیار مناسب این سیستم در برابر بارهای سنگین جانبی می‌باشد و همچنین رفتار ساختمان‌های اجرا شده با استفاده از این سیستم در زلزله‌های شدیدی مانند زلزله نورث‌ریج و کوبه بسیار مطلوب بوده است. در این پایان‌نامه مدل‌های متعدد دیوارهای برشی فولادی در نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS ساخته و تحلیل شد که شامل غیرخطی هندسی و مادی می‌باشد و همچنین با استفاده از دو مدل معتبر آزمایشگاهی مدل‌سازی صورت گرفته در ABAQUS صحت‌سنجی شد که حاکی از برازش بسیار خوب نتایج حاصل از ABAQUS و نتایج به دست آمده از آزمایش بود.

در این پایان‌نامه تاثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار دیوارهای برشی فولادی و پارامترهای مؤثر بر آن شامل تأثیر نوع آرایش سخت‌کننده‌ها بر ظرفیت باربری و جذب و اتلاف انرژی، اثر ضخامت دیوار و سخت‌کننده‌ها، عرض سخت‌کننده‌ها و تأثیر سختی تیر و ستون بر رفتار و مقاومت نهایی دیوار برشی بررسی شده است. مدل‌های مربوط به دیوارهای سخت‌شده با استفاده از المان shell در نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS شبیه‌سازی شدند. در این تحقیق جهت بررسی صحت مدل‌سازی با استفاده از المان shell، نتایج بدست آمده از آزمایش انجام شده توسط صبوری و سجادی در سال ۲۰۰۹ [۴۶]، با استناد بر آزمایشهای صورت گرفته توسط تاکاهاشی و همکاران [۲]، استفاده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** دیوارهای برشی فولادی، سخت‌کننده، ظرفیت باربری، اتلاف و جذب انرژی

## مقالات مستخرج از پایان نامه

برکچیان، م.ه. (۱۳۹۳)، "تأثیر آرایش سخت کننده ها بر رفتار دیوار برشی فولادی"، اولین کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده‌های نو، تنکابن

برکچیان، م.ه. (۱۳۹۳)، "تأثیر سختی تیر و ستون بر رفتار دیوار برشی فولادی با سخت کننده و بدون سخت کننده"، اولین کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده‌های نو، تنکابن

برکچیان، م.ه. (۱۳۹۳)، "تأثیر سخت کننده افقی و قائم بر رفتار دیوار برشی فولادی"، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری، تبریز

برکچیان، م.ه. (۱۳۹۳)، "تأثیر نسبت لاغری بر رفتار دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده و با سخت کننده افقی و قائم"، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری، تبریز

برکچیان، م.ه. (۱۳۹۳)، "تأثیر نقص اولیه ورق فولادی بر رفتار دیوار برشی فولادی"، همایش ملی معماری، عمران و توسعه ی نوین شهری، تبریز

## فهرست مطالب

۱	فصل ۱:
۱	مقدمه
۲	۱-۱- عنوان تحقیق.....
۲	۲-۱- مقدمه‌ای بر تحقیق.....
۳	۳-۱- لزوم انجام تحقیق.....
۴	۴-۱- نوآوری و اهداف تحقیق.....
۴	۵-۱- فرضیات تحقیق.....
۶	۶-۱- روش تحقیق.....
۶	۷-۱- ساختار فصول تحقیق.....
۹	فصل ۲:
۹	مروری بر دیوارهای برشی فولادی
۱۰	۱-۲- مقدمه.....
۱۳	۲-۲- تاریخچه.....
۱۵	۳-۲- استفاده از دیوارهای برشی فولادی در ساختمان‌ها.....
۱۵	۱-۳-۲- استفاده از سیستم در ساختمان‌های نوساز.....
۱۵	۲-۳-۲- ۱-۱- ۱- ساختمان نیپون استیل.....
۱۶	۲-۳-۲- ۲-۱- ۱- ساختمان شینجو کونومورا.....
۱۷	۲-۳-۲- ۳-۱- ۱- ساختمان هایت ریجنسی.....
۱۸	۲-۳-۲- ۴-۱- ۱- بیمارستان آلیووویو.....
۲۱	۲-۳-۲- استفاده در تقویت ساختمان‌های موجود.....
۲۱	۲-۳-۲- ۱- ۲- ۳- بیمارستان سیلمار.....
۲۲	۲-۳-۲- ۲- ۲- ۳- ساختمان مرکز درمانی در چارلستون.....
۲۳	۲-۳-۲- ۳- ۲- ۳- ساختمان کتابخانه ایالتی اورگان.....
۲۴	۴-۲- آزمایشات انجام شده بر روی دیوارهای برشی فولادی.....
۳۰	۵-۲- انواع دیوارهای برشی فولادی.....
۳۳	۲-۵-۲- پانل‌های برشی فشرده.....
۳۴	۳-۵-۲- معیار طراحی پانل برشی فشرده.....



- ۲-۵-۴- مدل سازی نظری پانل های برشی فشرده ..... ۳۵
- ۲-۵-۵- تحقیقات آزمایشگاهی در زمینه ی پانل های برشی فولادی فشرده ..... ۳۷
- ۲-۵-۶- پانل های برشی لاغر ..... ۴۶
- ۲-۵-۶-۲- مدل سازی نظری پانل های برشی لاغر ..... ۵۱
- ۲-۶-۶- آنالیز و طراحی دیوارهای برشی فولادی از دیدگاه آیین نامه های موجود ..... ۷۰
- ۲-۶-۱- ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی در آیین نامه کانادا (CAN/CSA S16-01) ..... ۷۱
- ۲-۶-۲- ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی بر اساس آیین نامه آمریکا (AISC-341) ..... ۷۳
- ۲-۶-۳- تحلیل غیرخطی استاتیکی (بارافزون) ..... ۷۴
- ۲-۶-۴- ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی بر اساس آیین نامه آمریکا (AISC 820) ..... ۷۶
- ۲-۷-۷- تئوری های موجود در تحلیل و طراحی دیوارهای برشی فولادی ..... ۷۶
- ۲-۷-۱- تئوری اندرکنش قاب و ورق فولادی ..... ۷۶
- ۲-۷-۲- تئوری میله ای در دیوار برشی فولادی ..... ۷۶
- ۲-۷-۳- تئوری تیرورقی در دیوار برشی فولادی ..... ۷۷

### فصل ۳: ۷۹

#### بهبود رفتار کمانشی دیوارهای برشی فولادی با استفاده از سخت کننده ها ۷۹

- ۳-۱- مقدمه ..... ۸۰
- ۳-۲- معادلات کمانش ورقهای مربع مستطیل تحت اثر تنش های برشی ..... ۸۱
- ۳-۳- نظریه پایداری صفحات ارتوتروپ ..... ۸۵
- ۳-۴- معادلات کمانش ورقهای مربع مستطیل تقویت شده و تحت تنش های برشی ..... ۸۶
- ۳-۵- تعیین حداقل ممان اینرسی لازم جهت جلوگیری از کمانش کلی ورق فولادی با استفاده از روابط تئوری و کلاسیک ..... ۹۰
- ۳-۵-۱- مود کمانش کلی ..... ۹۱
- ۳-۵-۲- مود کمانش موضعی ..... ۹۲
- ۳-۶- تعیین شرایط لازم برای سخت کننده ها ..... ۹۳
- ۳-۷- نتایج بدست آمده از آزمایش انجام شده توسط صبوری و سجادی ..... ۹۴

### فصل ۴: ۹۹

۹۹	ABAQUS
۱۰۰	۴-۱-۱- مقدمه .....
۱۰۱	۴-۱-۲- معرفی محصولات ABAQUS .....
۱۰۱	۴-۱-۲-۱- ABAQUS/Standard .....
۱۰۲	۴-۱-۲-۲- ABAQUS/Explicit .....
۱۰۲	۴-۱-۲-۳- ABAQUS/CAE .....
۱۰۲	۴-۱-۳- انواع تحلیل در ABAQUS .....
۱۰۳	۴-۱-۴- معرفی انواع المان‌های مورد استفاده در ABAQUS .....
۱۰۳	۴-۱-۴-۱- انواع المان از نظر ابعاد .....
۱۰۴	۴-۱-۴-۲- انواع المان از نظر نوع تحلیل .....
۱۰۴	۴-۱-۵- انواع المان‌های تنش - کرنش در ABAQUS .....
۱۰۴	۴-۱-۵-۱- المان‌های محیط پیوسته .....
۱۰۶	۴-۱-۵-۲- المان‌های سازه‌ای .....
۱۱۰	۴-۲- مدل‌سازی اجزاء محدود دیوار برشی فولادی با سخت کننده .....
۱۱۰	۴-۲-۱- نحوه ساخت اجزاء مختلف دیوار برشی فولادی .....
۱۱۱	۴-۲-۲- تعریف مصالح در نرم افزار .....
۱۱۲	۴-۲-۲-۱- قانون سخت‌شوندگی فولاد و انواع آن .....
۱۱۳	۴-۲-۲-۲- معیار گسیختگی مورد استفاده برای مصالح .....
۱۱۴	۴-۲-۳- انتخاب نوع المان و اندازه مش بندی مناسب برای مدل‌ها .....
۱۱۵	۴-۲-۴- شرایط مرزی و بارگذاری .....
۱۱۶	۴-۲-۵- صحت سنجی مدل المان محدود با مدل آزمایشگاهی .....
۱۱۶	۴-۲-۵-۱- صحت سنجی مدل برای تعیین مقدار مناسب نقص هندسی (Imperfection) .....
۱۱۶	۴-۲-۵-۲- صحت سنجی مدل برای تعیین اندازه مناسب مش بندی در مدل‌ها .....

۱۱۹	بررسی و تعیین پارامترهای مؤثر بر رفتار دیوار برشی فولادی
۱۲۰	۵-۱- مقدمه .....
۱۲۰	۵-۲- بررسی پارامترهای مؤثر با استفاده از تحلیل مدل‌ها .....
۱۲۰	۵-۲-۱- مقایسه‌ی نحوه‌ی آرایش سخت کننده‌ها در یک دیوار برشی فولادی .....

۱۲۵	۲-۲-۵- مقایسه‌ی رفتار دیوارهای سخت شده با سخت‌کننده‌های متقارن و متعامد .....
۱۲۵	۲-۲-۱- دیوارهای سخت شده با وزن یکسان .....
۱۲۷	۲-۲-۲- دیوارهای سخت شده با سخت‌کننده‌های مشابه .....
۱۳۰	۳-۲-۵- اثر ضخامت دیوار .....
۱۳۲	۴-۲-۵- تأثیر سختی تیر در دیوار بدون سخت‌کننده و با سخت‌کننده .....
۱۳۵	۵-۲-۵- تأثیر سختی ستون در دیوار بدون سخت‌کننده و با سخت‌کننده .....
۱۳۹	۶-۲-۵- تأثیر تعداد سخت‌کننده‌های قائم در دیوار .....
۱۴۳	۷-۲-۵- تأثیر تعداد سخت‌کننده‌های افقی در دیوار .....
۱۴۸	۸-۲-۵- تأثیر عرض و ضخامت سخت‌کننده .....
۱۵۲	۹-۲-۵- تعیین محل قرارگیری اولین سخت‌کننده‌ی قائم .....
۱۵۴	۱۰-۲-۵- تعیین محل قرارگیری اولین سخت‌کننده‌ی افقی در ارتفاع دیوار .....

۱۵۷

## فصل ۶:

۱۵۷

## نتایج و پیشنهادات

۱۵۸	۱-۶- مقدمه .....
۱۵۸	۲-۶- نتیجه‌گیری .....
۱۶۰	۳-۶- پیشنهادها جهت تحقیقات آینده .....

۱۶۱

## فصل ۷:

۱۶۱

## مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) دیوارهای برشی فولادی دارای سخت کننده و بدون سخت کننده ..... ۲
- شکل (۲-۱) منحنی هیستریزیس پانل برشی بدون سخت کننده ..... ۲
- شکل (۳-۱) منحنی هیستریزیس پانل برشی دارای سخت کننده ..... ۲
- شکل (۱-۲) مشابهت عملکرد دیوار برشی فولادی و تیوروق طره‌ای ..... ۱۲
- شکل (۲-۲) یک نمونه دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده [۷] ..... ۱۲
- شکل (۳-۲) مدل نواری کولاک و همکاران ..... ۱۳
- شکل (۴-۲) دیوار برشی فولادی تقویت شده در ساختمان ۲۰ طبقه نیون استیل در توکیو ژاپن ..... ۱۶
- شکل (۵-۲) الف) ساختمان شینجو کونومورا در توکیو ب) مقطع ساختمان ۵۶ طبقه در توکیو، ج) پلان ساختمان ..... ۱۷
- شکل (۶-۲) هتل هزار اتاقه هایت ریجنسی ..... ۱۸
- شکل (۷-۲) بیمارستان آلیوووی آمریکا در حال ساخت ..... ۱۹
- شکل (۸-۲) بیمارستان آلیووویو ..... ۲۰
- شکل (۹-۲) ساختمان مسکونی ۵۱ طبقه واقع در سان فرانسیسکو ( کالیفرنیا ) ..... ۲۱
- شکل (۱۰-۲) الف) نمایی از بیمارستان سیلمار (کالیفرنیا)، ب) جزئیات دیوار برشی در بیمارستان سیلمار ..... ۲۲
- شکل (۱۱-۲) ساختمان مرکز درمانی الف) نمای شمالی ، ب) نمای جنوبی ..... ۲۳
- شکل (۱۲-۲) الف) ساختمان دادگاه فدرال آمریکا در سیاتل ، ب) سازه در حال ساخت ..... ۲۴
- شکل (۱۳-۲) مکانیزم های اتلاف انرژی برشی : الف) میدان کششی ، ب) برش خالص [۱۲و۱۱] ..... ۳۱
- شکل (۱۴-۲) سه مرحله از انواع رفتار دیوارهای برشی فولادی [۴۸] ..... ۳۳
- شکل (۱۵-۲) کماتش برشی پانل سخت شده : الف) محلی ب) کلی [۴۹] ..... ۳۵
- شکل (۱۶-۲) مدل شماتیک سیستم های ترکیبی قاب - دیوار برشی فولادی [۵۰] ..... ۳۷
- شکل (۱۷-۲) الف) مقایسه منحنی تنش و کرنش بین فولاد با نقطه تسلیم و فولاد معمولی ب) رفتار هیستریزیس فولاد با نقطه تسلیم پایین [۲۴] ..... ۳۸
- شکل (۱۸-۲) مدل آزمایشگاهی ناکاشیما و همکاران (۱۹۹۴) مدل آزمایشگاهی با پانل های برشی از فولاد با نقطه تسلیم پایین ب) مشخصات سایر مدل های آزمایشگاهی [۲۲] ..... ۳۹
- شکل (۱۹-۲) آزمایش ناکاشیما (۱۹۹۵) : الف) ابعاد هندسی مدل آزمایشگاهی ب) منحنی تنش - کرنش فولاد [۲۲] ..... ۴۰

- شکل (۲-۲۰) الف) دستگاه بار گذاری ب) تاریخچه بار گذاری در مدل آزمایشگاهی ناکاشیما [۲۲]..... ۴۱
- شکل (۲-۲۱) نتایج آزمایش تحت بار گذاری یکنواخت در مدل ناکاشیما (۱۹۹۵) [۴۵]..... ۴۲
- شکل (۲-۲۲) نتایج آزمایش تحت بار گذاری سیکلی در مدل ناکاشیما (۱۹۹۵) [۴۵]..... ۴۲
- شکل (۲-۲۳) الف) مشخصات دیوار ب) پانل با گوشه های بریده شده در نمونه آزمایشگاهی وین و برونو (۲۰۰۴) [۱۸]..... ۴۳
- شکل (۲-۲۴) تاریخچه بار گذاری از نوع اعمال جابجایی ، ب) پانل سوراخدار قبل از انجام آزمایش در تحقیقات وین و برونو (۲۰۰۴) [۱۸]..... ۴۳
- شکل (۲-۲۵) الف) سیکل های هیستریزس، ب) ترکیب نهایی مدل آزمایشگاهی نوع P آزمایشات وین و برونو (۲۰۰۰) [۲۰]..... ۴۴
- شکل (۲-۲۶) الف) سیکل های هیستریزس نمونه CR ، ب) مدل آزمایشگاهی تسلیم شده وین و برونو (۲۰۰۴) [۴۷]..... ۴۵
- شکل (۲-۲۷) الف) منحنی هیستریزس نمونه S ، ب) شبیه سازی عددی در نمونه آزمایشگاهی وین و برونو (۲۰۰۰) [۲۷]..... ۴۵
- شکل (۲-۲۸) الف) حالات تنش در جان تیر سخت شده ی تحت برش، ب) واکنش تنش های اولیه. [۴۶]..... ۴۸
- شکل (۲-۲۹) الف) تنش های اصلی در پانل برشی، ب) توسعه تنش کششی پس از کمانش [۴۵]..... ۵۰
- شکل (۲-۳۰) توسعه مکانیزم میدان کششی [۴۹]..... ۵۰
- شکل (۲-۳۱) مدل سازی پانل برشی : الف) روش قطر معادل، ب) مدل نواری [۴ و ۴۹]..... ۵۳
- شکل (۲-۳۲) مدل آزمایشگاهی تیملر و کولاک (۱۹۸۳) [۳]..... ۵۶
- شکل (۲-۳۳) مدل آزمایشگاهی کاسز، الغالی و چن (۱۹۹۳) [۶]..... ۵۷
- شکل (۲-۳۴) آزمایشات کاسز و همکاران (۱۹۹۳) : تغییر شکل نمونه ها در انتهای بار گذاری نمونه ها به ترتیب از چپ به راست M12، M14، M22 [۶]..... ۵۹
- شکل (۲-۳۵) مدل آزمایشی درایور، کولاک، کندی و الوی (۱۹۹۷) [۱۲]..... ۶۲
- شکل (۲-۳۶) مدل آزمایش شده ی رضایی (۱۹۹۹) [۱۵]..... ۶۳
- شکل (۲-۳۷) مدل آزمایشگاهی لوبل، پیون، ونتورا و رضایی (۲۰۰۰) : الف) نمونه تغییر شکل یافته در روند آزمایش ب) واکنش هیستریزس مدل آزمایشگاهی [۱۴]..... ۶۵
- شکل (۲-۳۸) الف) مشخصات مدل آزمایشگاهی ب) جزییات بار گذاری آستانه ی اصل و ژائو [۱۸]..... ۶۶

- شکل (۲-۳۹) الف) تغییر شکل نهایی پانل آزمایشگاهی (ب) منحنی هیستریزس آستانه‌ی اصل و ژائو (۲۰۰۰) [۱۸]..... ۶۸
- شکل (۲-۴۰) سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده توسط برمن و بروئو (۲۰۰۳) [۲۷]..... ۶۹
- شکل (۲-۴۱) نمونه های آزمایشگاهی برمن و بروئو (۲۰۰۳) [۲۷]..... ۶۹
- شکل (۲-۴۲) الف) ترک خوردگی نمونه F2 در آزمایشات برمن و بروئو (۲۰۰۳)، ب) لویهای هیستریزس [۴۴]..... ۷۰
- شکل (۳-۱) مود کمانش کلی و موضعی پانل فولادی..... ۸۱
- شکل (۳-۲) منحنی مربوط به تعیین ضریب K..... ۹۰
- شکل (۳-۳) پانل برشی تقویت شده..... ۹۱
- شکل (۳-۴) مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی..... ۹۴
- شکل (۳-۵) شمای نمونه دیوار برشی فولادی با سخت کننده- آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن..... ۹۵
- شکل (۳-۶) شمای نمونه دیوار برشی فولادی بدون سخت کننده- آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن..... ۹۵
- شکل (۳-۷) منحنی چرخه‌ای آزمایشگاهی نمونه بدون سخت کننده..... ۹۷
- شکل (۳-۸) منحنی چرخه‌ای آزمایشگاهی نمونه با سخت کننده..... ۹۷
- شکل (۳-۹) مقایسه میزان انرژی میرا شده در نمونه‌های آزمایشگاهی..... ۹۸
- شکل (۴-۱) قوانین سخت شوندگی ایزوتروپیک و سینماتیک فولاد..... ۱۱۳
- شکل (۴-۲) منحنی دو خطی تنش - کرنش فولاد ST52..... ۱۱۴
- شکل (۴-۳) منحنی دو خطی تنش - کرنش فولاد ST37..... ۱۱۴
- شکل (۴-۴) منحنی دو خطی تنش - کرنش فولاد ST14..... ۱۱۴
- شکل (۴-۵) مقایسه منحنی‌های مربوط به صحت سنجی نتایج اجزاء محدود و آزمایشگاهی در نمونه سخت شده..... ۱۱۸
- شکل (۴-۶) مقایسه منحنی‌های مربوط به صحت سنجی نتایج اجزاء محدود و آزمایشگاهی در نمونه سخت نشده..... ۱۱۸
- شکل (۵-۱) کنتور تنش و کرنش حالات مختلف دیوارهای سخت شده و سخت نشده..... ۱۲۲
- شکل (۵-۲) مقایسه ظرفیت باربری برای انواع مدل ها..... ۱۲۲
- شکل (۵-۳) درصد افزایش ظرفیت باربری مدل ها نسبت به نمونه سخت نشده..... ۱۲۳

- شکل (۴-۵) نمودار بار تغییر مکان نمونه های متقارن ..... ۱۲۳
- شکل (۵-۵) نمودار بار تغییر مکان نمونه های نا متقارن ..... ۱۲۴
- شکل (۶-۵) نمودار جذب انرژی نمونه ها ..... ۱۲۴
- شکل (۷-۵) درصد افزایش جذب انرژی نمونه های سخت شده نسبت به نمونه بدون سخت کننده ..... ۱۲۵
- شکل (۸-۵) نمودار بار تغییر مکان نمونه های سخت شده با سخت کننده های متقارن و متعامد و وزن یکسان ..... ۱۲۷
- شکل (۹-۵) نمودار اتلاف انرژی نمونه ها ..... ۱۲۷
- شکل (۱۰-۵) کنتور تنش و کرنش نمونه های  $4h4v$  و  $3h3v$  ..... ۱۲۸
- شکل (۱۱-۵) نمودار بار-تغییر مکان نمونه های سخت شده ..... ۱۲۹
- شکل (۱۲-۵) نمودار اتلاف انرژی نمونه های سخت شده ..... ۱۳۰
- شکل (۱۳-۵) مد کمانش مدل های  $1H1V$  و  $2H2V$  با ضخامت ۴ میلیمتر ..... ۱۳۱
- شکل (۱۴-۵) میزان باربری مدل های  $1H1V$  و  $2H2V$  بدون سخت کننده ..... ۱۳۱
- شکل (۱۵-۵) میزان جذب انرژی مدل ها نسبت به ضخامت ..... ۱۳۲
- شکل (۱۶-۵) نمودار برش پایه و جا به جایی نمونه های بدون سخت کننده ..... ۱۳۶
- شکل (۱۷-۵) میزان جذب انرژی در نمونه های بدون سخت کننده ..... ۱۳۶
- شکل (۱۸-۵) نمودار برش پایه و جا به جایی نمونه های سخت شده ( $1H1V$ ) ..... ۱۳۸
- شکل (۱۹-۵) میزان جذب انرژی در نمونه های سخت شده ( $1H1V$ ) ..... ۱۳۸
- شکل (۲۰-۵) مقدار ظرفیت باربری مدل های سخت شده در تغییر مکان یکسان ..... ۱۴۱
- شکل (۲۱-۵) مقدار جذب انرژی نمونه ها با وزن متفاوت ..... ۱۴۱
- شکل (۲۲-۵) نسبت ظرفیت باربری به وزن کل نمونه ها ..... ۱۴۲
- شکل (۲۳-۵) ظرفیت باربری در نمونه های با وزن یکسان ..... ۱۴۳
- شکل (۲۴-۵) نمودار ظرفیت باربری بر حسب تغییر مکان نمونه ها ..... ۱۴۵
- شکل (۲۵-۵) مقدار جذب انرژی نمونه ها ..... ۱۴۵
- شکل (۲۶-۵) نسبت ظرفیت باربری به وزن کل نمونه ها ..... ۱۴۶
- شکل (۲۷-۵) نمودار ظرفیت باربری بر حسب تغییر مکان نمونه ها ..... ۱۴۷
- شکل (۲۸-۵) تعداد سخت کننده های متفاوت و وزن یکسان ..... ۱۴۸
- شکل (۲۹-۵) میزان اتلاف انرژی نمونه ها ..... ۱۴۸
- شکل (۳۰-۵) حالت کمانشی دیوار سخت شده به نسبت ضخامت به عرض سخت کننده ها ..... ۱۵۰

- شکل (۳۱-۵) تأثیر عرض سخت کننده ها بر حالت کمانشی دیوار سخت شده ..... ۱۵۲
- شکل (۳۲-۵) مدل  $0.05W$  به همراه محل قرار گیری سخت کننده های دیگر نسبت به ستون ..... ۱۵۳
- شکل (۳۳-۵) نمودار بار-تغییر مکان نمونه های با یک سخت کننده قائم در محل های مختلف نسبت به ستون ..... ۱۵۴
- شکل (۳۴-۵) مدل  $0.05H$  به همراه محل قرار گیری سخت کننده های دیگر نسبت به تیر ..... ۱۵۵
- شکل (۳۵-۵) نمودار بار-تغییر مکان نمونه های با یک سخت کننده قائم در محل های مختلف نسبت به ستون ..... ۱۵۶
- شکل (۳۶-۵) نمودار بار-تغییر مکان نمونه های با یک سخت کننده قائم در محل های مختلف نسبت به ستون ..... ۱۵۶



## فهرست جداول

- جدول (۱-۲): مشخصات مصالح نمونه‌ی آزمایشی ناکاشیما (۱۹۹۵) [۲۲]..... ۴۱
- جدول (۲-۲) جزئیات نمون‌های دیوار برشی فولادی کاسز و همکاران (۱۹۹۳) [۶]..... ۵۸
- جدول (۱-۳) مقادیر ضریب  $k$  در معادله ۳-۱۳..... ۸۵
- جدول (۲-۳) مقادیر حدی نسبت  $a/b$  در حالت یک سخت کننده..... ۸۶
- جدول (۳-۳) مقادیر حدی نسبت  $a/b$  در حالت دو سخت کننده..... ۸۷
- جدول (۴-۳) مقادیر  $k$  در معادله (۳-۱۸)..... ۸۸
- جدول (۵-۳) مقادیر  $K$  برای یک ورق بی نهایت بلند..... ۹۰
- جدول (۶-۳) نتایج آزمایشگاهی محاسبه شکل پذیری، ضرایب تغییر مکانی، مقاومت افزون و ضریب رفتار..... ۹۸
- جدول (۱-۴) مشخصات المان‌های مورد استفاده در نرم افزار Abaqus6.10.1..... ۱۱۱
- جدول (۱-۵): مشخصات مدل‌های سخت شده با سخت کننده‌های متقارن و متعامد و وزن یکسان..... ۱۲۵
- جدول (۲-۵) مشخصات مدل‌های سخت شده با سخت کننده‌های متقارن و متعامد و وزن متفاوت..... ۱۲۸
- جدول (۳-۵) نتایج اثر سختی تیر در دیوار بدون سخت کننده..... ۱۳۳
- جدول (۴-۵) نتایج اثر سختی تیر در دیوار سخت شده 1H1V..... ۱۳۴
- جدول (۵-۵) نتایج اثر سختی ستون در دیوار سخت نشده (OH0V)..... ۱۳۷
- جدول (۶-۵) نتایج اثر سختی ستون در دیوار سخت شده (1H1V)..... ۱۳۹
- جدول (۷-۵) نتایج اثر تعداد سخت کننده قائم در دیوار سخت شده..... ۱۴۰
- جدول (۸-۵) مشخصات سخت کننده‌های مدل‌های با سخت کننده‌های قائم و وزن یکسان..... ۱۴۲
- جدول (۹-۵) نتایج اثر تعداد سخت کننده قائم در دیوار سخت شده..... ۱۴۴
- جدول (۱۰-۵) مشخصات سخت کننده‌ها در دیوارهای با سخت کننده‌های افقی و وزن یکسان..... ۱۴۷

فصل ١:

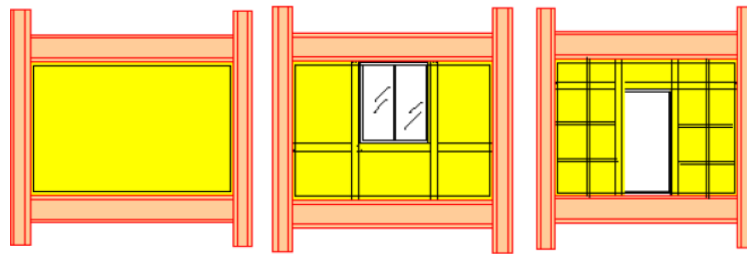
مقدمه

## عنوان تحقیق

" مطالعه پارامتری رفتار دیوار برشی فلزی "

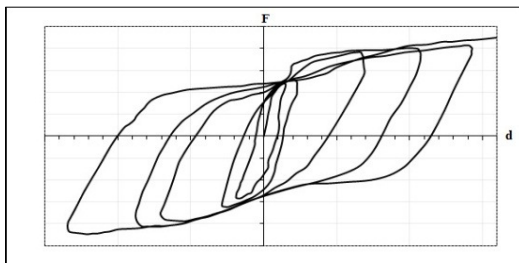
### ۱-۱- مقدمه‌ای بر تحقیق

دیوارهای برشی فولادی به دلیل رفتار لرزه‌ای مناسب، در سه دهه اخیر مورد استقبال طراحان در سرتاسر دنیا قرار گرفته و ساختمان‌های زیادی در مرحله طراحی و تقویت از این سیستم استفاده نموده‌اند. اگر چه دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک بیش از نوع دارای سخت‌کننده آن به کار گرفته شده‌اند، اما نصب سخت‌کننده باعث جلوگیری از کمانش دیوار تحت بارهای سرویس نظیر باد گردیده و از این بابت در سازه‌های بلند مورد توجه است، (شکل (۱-۱)).

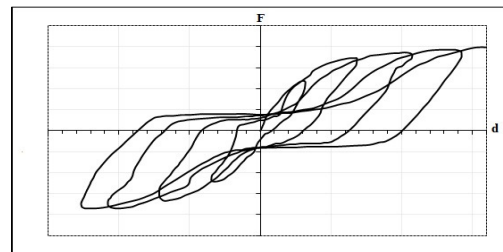


شکل (۱-۱) دیوارهای برشی فولادی دارای سخت‌کننده و بدون سخت‌کننده

نصب سخت‌کننده علاوه بر افزایش سختی و مقاومت، باعث افزایش جذب انرژی شده و شکل چرخه‌های هیستریزیس را از حالت S شکل به حالت دوکی شکل تغییر می‌دهد، (شکل‌های (۲-۱) و (۳-۱)).



شکل (۳-۱) منحنی هیستریزیس پانل برشی دارای سخت‌کننده



شکل (۲-۱) منحنی هیستریزیس پانل برشی بدون سخت‌کننده

در امریکای شمالی و ایران معمولاً در طراحی‌ها از دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک استفاده شده که مزایای رفتار آن در طرح و تقویت سازه‌ها مشخص است. اما در برخی از مناطق مانند ژاپن به دلیل وجود زلزله‌های خفیف با تعداد زیاد و یا وزش بادهای شدید، این بارها، بار سرویس تلقی شده و استفاده از دیوار برشی فولادی دارای سخت‌کننده به دلیل جلوگیری از کمانش کلی ورق با استقبال بیشتری روبروست.

در این تحقیق اثراتایر و نوع آرایش سخت‌کننده‌ها، سختی تیر و ستون و ضخامت ورق پانل بر میزان مقاومت و جذب انرژی دیوار برشی فولادی تقویت شده و تقویت نشده مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱-۲- لزوم انجام تحقیق

برای افزایش میزان جذب انرژی در دیوارهای برشی فولادی و بهبود منحنی‌های هیستریزیس به دو صورت زیر راه حل وجود دارد که عبارتند از:

(۱) افزایش ضخامت ورق دیوار فولادی

(۲) تقویت ورق فولادی دیوار به کمک سخت‌کننده‌ها

راه حل اول غیر اقتصادی است زیرا برای بهبود منحنی‌های هیستریزیس دیوارهای مذکور لازم است ضخامت ورق دیوار آنقدر افزایش داده شود تا ورق قبل از جاری شدن کمانش ننماید که این افزایش ضخامت بسیار قابل توجه خواهد بود.

راه حل دوم که از طریق تقویت ورق فولادی توسط یک سری سخت‌کننده صورت می‌گیرد، کاملاً مؤثر و اقتصادی می‌باشد و باعث افزایش جذب انرژی و بهبود منحنی هیستریزیس می‌شود.

بر این اساس در این پایان‌نامه تأثیر سخت‌کننده‌ها بر رفتار دیوارهای برشی فولادی و پارامترهای مؤثر بر آن شامل تأثیر نوع آرایش سخت‌کننده‌ها بر ظرفیت باربری و شکل‌پذیری و اتلاف انرژی، اثر ضخامت دیوار، ضخامت سخت‌کننده‌ها و عرض سخت‌کننده‌ها و سختی تیر و ستون بررسی شده است.