دانشکده مهندسی - گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی فولادی

استاد راهنما :

دکتر فریدون ایرانی

استاد مشاور :

دکتر فرزاد شهابیان

ارائه کننده :

احسان یمینی

بهار ۱۳۸۸

دانشکده مهندسی - گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی فولادی

استاد راهنما :

دکتر فریدون ایرانی

ارائه کننده :

احسان یمینی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

بهار ۱۳۸۸

به نام خدا

تاییدیه

گواهی می شود که تا کنون، این پایان نامه برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده و تمامی مطالب به جز در مواردی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می باشد.

امضاء دانشجو تاریخ

امضاء استاد راهنما تاریخ

این پایان نامه که توسط احسان یمینی تدوین و به هیات داوران زیر ارائه گردیده است، به عنوان بخش پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته سازه، مورد تایید شورای تحصیلات تکمیلی گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی می باشد.

استاد راهنما : دکتر فریدون ایرانی

استاد مشاور : دکتر فرزاد شهابیان

استاد مدعو : دکتر احمد شوشتری

نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جعفر بلوری بزاز

تقدیر و تشکر

اینک که به یاری یگانه خالق هستی، این پایان نامه به پایان رسیده است، لازم می دانم که :

از زحمات دلسوزانه و بی دریغ استاد گرانقدرم

جناب آقای دکتر فریدون ایرانی

و راهنمایی های ارزنده و ارزشمند ایشان در زمینه انتخاب موضوع، تهیه منابع، پی گیری کار و تدوین پایان نامه، کمال تشکر و قدردانی خالصانه را نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر فرزاد شهابیان که همیشه با رویی گشاده پذیرای این جانب بودند صمیمانه تشکر و سپاسگذاری می نمایم.

تقدیم به

پدر و مادرم

بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی فولادی

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 مقاوم سازی ساختمان های مهمی در دنیا بویژه در کشورهای زلزله خیزی چون آمریکا و ژاپن استفاده شده است. مطالعات آزمایشگاهی و نظری همگی حاکی از رفتار بسیار مناسب این سیستم در برابر بارهای سنگین جانبی می باشد و همچنین رفتار ساختمان های اجرا شده با استفاده از این سیستم در زلزله های شدیدی مانند زلزله نورث ریج و کوبه بسیار مطلوب بوده است. در این پایان نامه مدل های متعدد دیوارهای برشی فولادی در نرم افزار اجزا محدود ANSYS ساخته و تحلیل شد که شامل غیر خطی هندسی و مادی می باشد. و همچنین با استفاده از دو مدل معتبر آزمایشگاهی مدلسازی صورت گرفته در ANSYS صحت سنجی شد که حاکی از برازش بسیار خوب نتایج حاصل از ANSYS و نتایج بدست آمده از آزمایش بود. سپس مقایسه ای بین رفتار لرزه ای قابهای خمشی فولادی و دیوارهای برشی فولادی صورت گرفت که بیانگر برتری قابل ملاحظه سیستم دیوارهای برشی فولادی و رفتار لرزه ای بسیار مناسب این سیستم بود. و در ادامه اثر پارامترهای مهم نسبت عرض دهانه به ارتفاع پانل (b/d)، نسبت لاغری (b/t)، سختی خمشی ستون ها و سختی خمشی تیر بر روی رفتار لرزه ای سیستم دیوارهای برشی فولادی مطالعه و بررسی گردید و از مطالعات صورت گرفته نتایج مهم و قابل توجهی بدست آمد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- معرفی سیستم دیوارهای برشی فولادی ۳

۱-۲-۱- پدیده پس کمانش در دیوارهای برشی فولادی ۶

۱-۳- تاریخچه ۷

۱-۴- مزایا و برتری های سیستم دیوارهای برشی فولادی نسبت به سایر سیستم ها ۸

۱-۴-۱- از نظر اقتصادی ۸

۱-۴-۲- از نظر وزنی ۹

۱-۴-۳- از نظر حجمی ۱۰

۱-۴-۴- از نظر سختی برشی و مقاومت ۱۰

۱-۴-۵- از نظر سرعت اجرا ونصب ۱۳

۱-۴-۶- از نظر تمرکز تنش ۱۳

۱-۴-۷- از نظر شکل پذیری و جذب انرژی ۱۳

۱-۴-۸- از نظر ایجاد بازشو ها ۱۴

فصل دوم : پژوهش های آزمایشگاهی و نظری ۱۶

۲-۱- پروژه های اجرا شده با استفاده از سیستم دیوارهای برشی فولادی ۱۷

۲-۱-۱- ساختمان اداری ۲۰ طبقه در توکیو، ژاپن (ساختمان نیپون استیل) ۱۷

۲-۱-۲- هتل ۳۰ طبقه در دالاس، آمریکا (ساختمان هایت ریجنسی) ۱۸

۲-۱-۳- بیمارستان ۶ طبقه آلیوویو در لوس آنجلس، آمریکا..... ۱۹
۲-۱-۴- ساختمان اداری ۳۵ طبقه در کوبه، ژاپن..... ۲۳
۲-۱-۵- مرکز درمانی پرتلند، آمریکا..... ۲۵
۲-۱-۶- ساختمان ۳۱ طبقه با بکار گیری فولاد نرم (LYP) در ژاپن..... ۲۷
۲-۱-۷- ساختمان بین المللی لاس وگاس، آمریکا..... ۲۹
۲-۱-۸- ساختمان مرکز درمانی در چارلستون، آمریکا..... ۳۱
۲-۱-۹- ساختمان کتابخانه ایالتی اورگان، آمریکا..... ۳۲
۲-۲- آزمایش های انجام گرفته روی دیوارهای برشی فولادی..... ۳۴
۲-۲-۱- آزمایش های دیوارهای برشی فولادی در کانادا..... ۳۵
۲-۲-۲- آزمایش های دیوارهای برشی فولادی در ژاپن..... ۳۸
۲-۲-۳- آزمایش های دیوارهای برشی فولادی در انگلیس..... ۴۲
۲-۲-۴- آزمایش های دیوارهای برشی فولادی در آمریکا..... ۴۳
۲-۳- بررسی ها و مطالعات نظری دیوارهای برشی فولادی..... ۵۲
۲-۳-۱- تحلیل و طراحی دیوارهای برشی فولادی بر مبنای مدل نواری..... ۵۲
۲-۳-۱- الف- دیوار برشی فولادی با اتصال تیر به ستون ساده..... ۵۴
۲-۳-۱- ب- دیوار برشی فولادی با اتصال تیر به ستون گیردار..... ۵۵
۲-۳-۲- آنالیز و طراحی دیوارهای برشی فولادی بر مبنای اندرکنش قاب و صفحه پر کننده(مدل PFI)..... ۵۶
۲-۳-۲- الف- فرضیات اساسی مدل اندرکنش قاب و صفحه پر کننده..... ۵۶
۲-۳-۲- ب- دیاگرام بار-تغییر مکان برشی صفحه فولادی..... ۵۷
۲-۳-۲- پ- دیاگرام بار-تغییر مکان برشی قاب فولادی..... ۶۳
۲-۳-۲- ت- اثر صلبیت تیرها و ستون ها روی ورق فولادی..... ۶۴

۲-۳-۲- ج-تغییر شکل های برشی و خمشی..... ۶۷
۲-۴- انواع متداول سیستم های دیوار های برشی فولادی..... ۶۹
۲-۵- جزئیات اجرایی دیوارهای برشی فولادی..... ۷۰
۲-۶- مقایسه رفتار دیوارهای برشی فولادی جوش شده و پیچ شده..... ۷۲
۲-۷- استفاده از فولاد نرم در دیوارهای برشی فولادی..... ۷۳
۲-۸- دیوارهای برشی فولادی مرکب (C-SPW)..... ۷۶
فصل سوم : معرفی و صحت سنجی نرم افزار اجزا محدود ANSYS..... ۷۸
۳-۱- پیشگفتار..... ۷۹
۳-۲- غیر خطی مادی..... ۸۱
۳-۳- غیر خطی هندسی..... ۸۲
۳-۴- مدل کردن دیوار برشی فولادی (مدل سازی)..... ۸۲
۳-۵- المان BEAM 188..... ۸۲
۳-۶- المان SHELL 143 ..... ۸۳
۳-۷-مدل اول، نمونه یک طبقه لوبل (Lubel) و همکاران..... ۸۴
۳-۷-۱- کمانش در نرم افزار ANSYS ۸۷
۳-۷-۲-مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و نرم افزار ANSYS ۸۹
۳-۸-مدل دوم، نمونه ۴ طبقه درایور (Driver) و همکاران..... ۹۲
۳-۸-۱- مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و نرم افزار ANSYS ۹۵
فصل چهارم : بررسی پارامترهای موثر بر رفتار لرزه ای سیستم دیوارهای برشی فولادی با استفاده از نرم افزار ANSYS ، نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد..... ۹۸

۴-۱- پیشگفتار.....۹۹
۴-۲- مقایسه رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی و قاب خمشی.....۹۹
۴-۳- اثر نسبت عرض دهانه به ارتفاع پانل (b/d) بر روی رفتار سیستم دیوارهای برشی فولادی.....۱۰۳
۴-۴- اثر نسبت لاغری (b/t) بر روی رفتار سیستم دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۳
۴-۵- اثر سختی خمشی ستون ها بر روی رفتار سیستم دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۸
۴-۶- اثر سختی خمشی تیر بر روی رفتار سیستم دیوارهای برشی فولادی.....۱۲۵
۲-۸- جمع بندی و نتیجه گیری.....۱۳۲
۲-۹- پیشنهاد برای ادامهٔ مطالعات.....۱۳۶
مراجع.....۱۳۸
واژه نامه (انگلیسی به فارسی).....۱۴۲
واژه نامه (فارسی به انگلیسی).....۱۴۳

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول (۳-۱)- مشخصات مصالح نمونه اول (نمونه آزمایشگاهی لوبل و همکاران).....۸۴

جدول (۳-۲)- مشخصات مصالح نمونه دوم (نمونه آزمایشگاهی درایور و همکاران).....۹۳

جدول (۳-۳)- مشخصات هندسی تیرها و ستون های نمونه دوم (نمونه آزمایشگاهی درایور و همکاران).....۹۳

جدول (۴-۱)- مقادیر سختی اولیه و مقاومت نهایی بدست آمده از تحلیل برای قاب خمشی و دیوار برشی فولادی.....۱۰۱

جدول (۴-۲)- مشخصات هندسی شش نمونه تحلیل شده در نرم افزار ANSYS با نسبت عرض به ارتفاع متفاوت.....۱۰۶

جدول(۴-۳)- مقادیر سختی اولیه و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی با نسب عرض به ارتفاع مختلف.....۱۰۹

جدول(۴-۴)- مشخصات هندسی شش نمونه تحلیل شده در نرم افزار ANSYS با نسبت لاغری متفاوت.....۱۱۳

جدول (۴-۵)- مقادیر سختی اولیه و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی با نسب لاغری مختلف.....۱۱۴

جدول (۴-۶)- مشخصات مقاطع تیرها و ستون های پنج نمونه تحلیل شده در نرم افزار ANSYS ۱۱۸

جدول (۴-۷)- مقادیر سختی اولیه و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی با مقاطع متفاوت ستون ها.....۱۲۱

جدول (۴-۸)- مشخصات مقاطع تیرها و ستون های پنج نمونه تحلیل شده در نرم افزار ANSYS ۱۲۵

جدول (۴-۹)- مقادیر سختی اولیه و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی با مقاطع متفاوت ستون ها.....۱۲۸

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل(۱-۱) - شکل شماتیک دیوار برشی فولادی بدون سخت کننده و با سخت کننده.....۳

شکل(۱-۲)- مشابهت دیوار برشی فولادی و تیر ورق طره ای.....۴

شکل(۱-۳)- دیوار برشی فولادی با سخت کننده (سمت راست) و بدون سخت کننده (سمت چپ).....۵

شکل(۱-۴)- نحوهٔ شکل گیری میدان کششی قطری در جان (ورق فولادی).....۶

شکل(۱-۵)- پانل پس از کمانش جان (ورق فولادی).....۷

شکل(۱-۶)- دیوار برشی فولادی که ورق جان در آن با میله های کششی جایگزین شده است (مدل نواری).....۸

شکل(۱-۷)- تصویر کلی نمودار بار - تغییر مکان جانبی سیستم.....۱۰

شکل(۱-۸)- تعیین سختی سیستم در تراز دلخواه.....۱۱

شکل(۱-۹)- اثر $P-\Delta$ ۱۲

شکل(۱-۱۰)- مقایسه ایجاد بازشو در مهار بند ها ودیوارهای برشی فولادی.....۱۵

شکل(۲-۱)- پلان تیپ طبقات ساختمان نیپون استیل در توکیو، ژاپن.....۱۷

شکل(۲-۲)- جزئیات دیوار های برشی فولادی به کار رفته در ساختمان نیپون استیل.....۱۸

شکل(۲-۳)- نمایی از ساختمان ۳۰ طبقه هایت ریجنسی در دالاس، آمریکا.....۱۹

شکل(۲-۴)- تصاویری از بیمارستان آلیو ویو، تخریب شده در زلزله سان فرناندو.....۲۰

شکل(۲-۵)- تصویری دیگر ازشدت خسارات وارده به بیمارستان آلیو ویو در زلزله سان فرناندو.....۲۱

شکل(۲-۶)- نمایی از بیمارستان آلیو ویو پس از پشت سر گذاشتن زلزله شدید نورث ریج.....۲۳

شکل(۲-۷)- تصویر ساختمان ۳۵ طبقه در کوبه بعد از زلزله کوبه با تحمل خسارات جزئی و ساختمان اداری مجاور آن در حالی که ۳ طبقه آن کاملاً از بین رفته ۲۴

شکل(۲-۸)- پلان و نمای ساختمان اداری ۳۵ طبقه درکوبه، ژاپن.....۲۵

شکل (۲-۹)- نمای بیمارستان پرتلند، درآمریکا.....۲۶
شکل(۲-۱۰)- نمایی از دیوار های برشی فولادی به کار رفته در بیمارستان پرتلند، در آمریکا.....۲۷
شکل(۲-۱۱)- نمای ساختمان ۳۱ طبقه در ژاپن که در آن از فولاد نرم(LYP) استفاده شده در دیوار های برشی فولادی و موقعیت و نحوهٔ قرار گیری دیوار های برشی فولادی در این ساختمان.....۲۸
شکل(۲-۱۲)- نمایی از ساختمان بین المللی لاس وگاس در حال ساخت.....۲۹
شکل(۲-۱۳)- نمای ساختمان ۶ طبقه در کوبک، کانادا.....۳۰
شکل(۲-۱۴)- نمای ساختمان ۲۲ طبقه دادگاه فدرال در سیاتل، آمریکا.....۳۰
شکل(۲-۱۵)- ساختمان کتابخانه ایالتی اورگان و دیوارهای برشی فولادی در حال نصب.....۳۳
شکل(۲-۱۶)- نحوهٔ بارگذاری ومنحنی نیرو-تغییر مکان نمونه تحت آزمایش اول در دانشگاه آلبرتای کانادا.....۳۵
شکل(۲-۱۷)- نحوهٔ بارگذاری ومنحنی نیرو-تغییر مکان نمونه تحت آزمایش دوم در دانشگاه آلبرتای کانادا.....۳۶
شکل(۲-۱۸)- نحوهٔ بارگذاری ومنحنی هیسترزیس نمونه تحت آزمایش در دانشگاه آلبرتای کانادا.....۳۶
شکل(۲-۱۹)- نحوهٔ بارگذاری ومنحنی نیرو-تغییر مکان نمونه تحت آزمایش اول در دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا.....۳۷
شکل(۲-۲۰)- منحنی های هیسترزیس در دیوارهای برشی فولادی ۳۹
شکل(۲-۲۱) - منحنی هیسترزیس پانل برشی در آزمایش نمونه اول.....۴۰
شکل(۲-۲۲) - منحنی هیسترزیس پانل برشی در آزمایش نمونه دوم.....۴۰
شکل(۲-۲۳) - منحنی هیسترزیس پانل برشی در آزمایش نمونه سوم.....۴۰
شکل(۲-۲۴) - ابعاد وآرایش سخت کننده ها در تعدادی از پانل های برشی آزمایش شده توسط تاکاهاشی وهمکاران.....۴۱

شکل(۲-۲۵) - کمانش کلی ورق فولادی در آزمایش نمونه یک توسط تاکاهاشی و همکاران..... ۴۱
شکل(۲-۲۶) - کمانش زیر صفحه ها در آزمایش نمونه دو وسه توسط تاکاهاشی و همکاران..... ۴۱
شکل(۲-۲۷) - اثر بازشو در مقاومت پانل برشی..... ۴۲
شکل(۲-۲۸) - اثر بازشو درسختی پانل برشی..... ۴۲
شکل(۲-۲۹) - نمونه سوراخ دار (بازشو دار) در آزمایش صبوری قمی- رابرتز..... ۴۳
شکل(۲-۳۰)- ابعاد و نحوهٔ بارگذاری و نمودار های هیسترزیس نمونه ها..... ۴۴
شکل(۲-۳۱) - سیستم دیوار برشی فولادی مورد آزمایش در دانشگاه برکلی..... ۴۵
شکل(۲-۳۲) - موقعیت قرارگیری نمونه مورد آزمایش در ساختمان..... ۴۶
شکل(۲-۳۳) - نمونه یک (سمت راست) و نمونه دو (سمت چپ) قبل از آزمایش..... ۴۶
شکل(۲-۳۴) - نمونه دو تحت آزمایش..... ۴۶
شکل(۲-۳۵) - منحنی هیسترزیس نمونه یک..... ۴۷
شکل(۲-۳۶) - منحنی هیسترزیس طبقهٔ دوم (سمت چپ) و طبقهٔ سوم (سمت راست) در نمونه دوم..... ۴۷
شکل(۲-۳۷) - نمونه یک در انتهای آزمایش..... ۴۷
شکل(۲-۳۸) - نمونه بازشو دار پیش از آغاز آزمایش..... ۴۸
شکل(۲-۳۹) - نمونه بازشو دار پس پایان آزمایش..... ۴۹
شکل(۲-۴۰) - منحنی هیسترزیس نمونه بازشو دار..... ۴۹
شکل(۲-۴۱)- نمونه تمام مقیاس دو طبقه پس از پایان آزمایش..... ۵۰
شکل(۲-۴۲)- منحنی هیسترزیس طبقه اول در مرحله اول و دوم آزمایش..... ۵۱
شکل(۲-۴۳)- منحنی هیسترزیس طبقه اول در مرحله دوم آزمایش و منحنی ظرفیت بدست آمده از نرم افزار..... ۵۱

شکل(۲-۴۳)- مدل نواری.....۵۳
شکل(۲-۴۴)- بادبند معادل.....۵۳
شکل(۲-۴۵) - دیوار برشی فولادی یک طبقه با نوار های مورب.....۵۴
شکل(۲-۴۶) - منطقه بندی نوار های مورب در یک پانل برشی.....۵۵
شکل(۲-۴۷) - مدل اندرکنش قاب و صفحه در دیوار برشی فولادی یک طبقه.....۵۶
شکل(۲-۴۸) - نمودار بار-تغییر مکان برشی صفحه فولادی.....۵۸
شکل(۲-۴۹) - نمودار بار- تغییر مکان برشی صفحه، قاب و پانل برشی فولادی.....۵۸
شکل(۲-۵۰) - وضعیت تنش ها در ورق فولادی قبل و بعد از کمانش ورق.....۶۰
شکل(۲-۵۱) - دیاگرام بار- تغییر مکان برشی قاب فولادی.....۶۳
شکل (۲-۵۲) - نیرو های وارده از ورق فولادی بر تیرها و ستون ها در دیوار برشی فولادی.....۶۶
شکل(۲-۵۳) - وضعیت تغییر شکل تیرها و ستون ها در اثر نیروهای عمودی وارد بر آنها توسط ورق.....۶۶
شکل(۲-۵۴) - انواع متداول سیستم های دیوارهای برشی فولادی.....۶۹
شکل(۲-۵۵) - یک پانل دیوار برشی فولادی که در آن ورق فولادی به وسیله یک تیغهٔ فولادی به تیرها و ستون های اطراف متصل شده است.....۷۰
شکل(۲-۵۶) - جزئیات اتصال ورق فولادی پر کننده به تیغهٔ فولادی با استفاده از جوش.....۷۱
شکل(۲-۵۷) - جزئیات اتصال ورق فولادی پرکننده به تیغهٔ فولادی با استفاده از پیچ.....۷۱
شکل(۲-۵۸) - مقایسه رفتار پانل های جوش شده و پیچ شده.....۷۲
شکل(۲-۵۹)- دیاگرام تنش-کرنش سه نوع فولاد.....۷۴
شکل(۲-۶۰) - دیاگرام بار- تغییر مکان برشی پانل های مختلف با فولاد نرم و فولاد ساختمانی.....۷۵
شکل (۲-۶۱) - اجزای تشکیل دهندهٔ دیوارهای برشی فولادی مرکب.....۷۷

شکل (۳-۱)- سطح مقطع المان BEAM 188 در نرم افزار ANSYS10 ..... ۸۳
شکل (۳-۲)- هندسه المان SHEEL 143 ..... ۸۴
شکل (۳-۳)- نمونه یک طبقه آزمایش شده توسط لوبل و همکاران در دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا..... ۸۵
شکل (۳-۴)- مدل اول ساخته شده در نرم افزار ANSYS ۸۶
شکل(۳-۵)- منحنی تنش کرنش تیر و ستون..... ۸۷
شکل(۳-۶)- اعمال بار کوچک عمود بر صفحه..... ۸۸
شکل(۳-۷)- مد اول کمانشی ورق در اثر اعمال بار یا تغییر مکان کوچک عمود بر صفحه..... ۸۸
شکل(۳-۸)- ورق کمانش یافته پس از انجام تحلیل..... ۸۹
شکل(۳-۹)- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عناصر محدود برای مدل اول (نمونه یک طبقه لوبل و همکاران)..... ۹۰
شکل(۳-۱۰)- بردارهای نیرو (میدان های کششی) تشکیل شده در ورق فولادی مدل اول (نمونه یک طبقه لوبل و همکاران)..... ۹۱
شکل(۳-۱۱)- نمونه چهار طبقه آزمایش شده توسط درایور و همکاران در دانشگاه آلبرتای کانادا..... ۹۳
شکل(۳-۱۲)- مدل دوم ساخته شده در نرم افزار ANSYS ۹۴
شکل(۳-۱۳)- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عناصر محدود برای مدل دوم (نمونه درایور همکاران)..... ۹۵
شکل(۳-۱۴)- ورق کمانش یافته پس از انجام تحلیل..... ۹۶
شکل(۳-۱۵)- کمانش ورق فولادی در انتهای تحلیل و تشکیل مناسب میدان کششی قطری در سرتاسر ورق در نمونه دوم..... ۹۷
شکل(۴-۱)- قاب خمشی مدل سازی شده در نرم افزار ANSYS ۱۰۰
شکل(۴-۲)- قای خمشی در انتهای تحلیل در نرم افزار ANSYS ۱۰۰

شکل(۴-۳)- نمودار بار- تغییر مکان جانبی برای دیوار برشی فولادی و قاب خمشی.....۱۰۱
شکل(۴-۴)- قاب با مهاربندهای X شکل لاغر (سمت راست) و چاق (سمت چپ).....۱۰۲
شکل(۴-۵)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d=0.5 .....۱۰۳
شکل(۴-۶)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d=0.75 .....۱۰۴
شکل(۴-۷)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d=1 .....۱۰۴
شکل(۴-۸)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d=1.25.....۱۰۴
شکل(۴-۹)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d=1.5.....۱۰۵
شکل(۴-۱۰)- دیوار برشی فولادی با نسبت b/d = 2.....۱۰۵
شکل(۴-۱۱) - نمونه با نسبت b/d = 0.5 در انتهای تحلیل.....۱۰۶
شکل(۴-۱۲)- نمونه با نسبت b/d = 0.75 در انتهای تحلیل.....۱۰۷
شکل(۴- ۱۳)- نمونه با نسبت b/d = 1 در انتهای تحلیل.....۱۰۷
شکل(۴-۱۴) - نمونه با نسبت b/d = 1.25 در انتهای تحلیل.....۱۰۷
شکل(۴- ۱۵)- نمونه با نسبت b/d = 1.5 در انتهای تحلیل.....۱۰۸
شکل (۴- ۱۶)- نمونه با نسبت b/d = 2 در انتهای تحلیل.....۱۰۸
شکل (۴-۱۷)- نمودار بار تغییر مکان جانبی برای شش نمونه دیوار برشی فولادی با نسبت عرض دهانه به ارتفاع متفاوت.....۱۰۹
شکل (۴-۱۸)- اثر نسبت عرض دهانه به ارتفاع پانل بر روی سختی ارتجاعی دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۰
شکل (۴-۱۹)- اثر نسبت عرض دهانه به ارتفاع پانل بر روی مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۰
شکل (۴-۲۰)- تشکیل میدان های کششی قطری طولانی تر و با تعداد بیشتر در دیوارهای برشی فولادی با b/d بزرگتر.....۱۱۲

شکل (۴-۲۱)- نمودار بار تغییر مکان جانبی برای شش نمونه دیوار برشی فولادی با نسبت لاغری متفاوت....۱۱۴
شکل (۴-۲۲)- اثر نسبت لاغری بر روی سختی ارتجاعی دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۵
شکل (۴-۲۳)- اثر نسبت لاغری بر روی مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی.....۱۱۵
شکل (۴-۲۴) دیوار برشی فولادی با مقطع ستون $S75\times8$.....۱۱۹
شکل (۴-۲۵) دیوار برشی فولادی با مقطع ستون IPE120.....۱۱۹
شکل (۴-۲۶) دیوار برشی فولادی با مقطع ستون IPE140.....۱۱۹
شکل (۴-۲۷) دیوار برشی فولادی با مقطع ستون IPE160.....۱۲۰
شکل (۴-۲۸) دیوار برشی فولادی با مقطع ستون IPE180.....۱۲۰
شکل (۴-۲۹)- نمودار بار تغییر مکان جانبی برای پنج نمونه دیوار برشی فولادی با مقطع متفاوت برای ستون ها.....۱۲۱
شکل (۴-۳۰)- اثر سختی خمشی ستون بر روی سختی ارتجاعی دیوارهای برشی فولادی.....۱۲۲
شکل (۴-۳۱)- اثر سختی خمشی ستون بر روی مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی.....۱۲۲
شکل (۴-۳۲)- ورق کمانش کرده و میدان کششی قطری تشکیل شده در نمونه با مقطع ستون$S75\times8$.....۱۲۴
شکل (۴-۳۳)- ورق کمانش کرده و میدان کششی قطری تشکیل شده در نمونه با مقطع ستون IPE180..۱۲۴
شکل (۴-۳۴) دیوار برشی فولادی با مقطع تیر $S75\times8$.....۱۲۶
شکل (۴-۳۵) دیوار برشی فولادی با مقطع تیر IPE120 .....۱۲۶
شکل (۴-۳۶) دیوار برشی فولادی با مقطع تیر IPE140.....۱۲۶
شکل (۴-۳۷) دیوار برشی فولادی با مقطع تیر IPE160 .....۱۲۷
شکل (۴-۳۸) دیوار برشی فولادی با مقطع تیر IPE180.....۱۲۷
شکل(۴-۳۹)- نمودار بار تغییر مکان جانبی برای پنج نمونه دیوار برشی فولادی با مقطع متفاوت برای تیرها۱۲۸

شکل (۴-۴۰)- اثر سختی خمشی تیر بر روی سختی ارتجاعی دیوارهای برشی فولادی.....۱۲۹
شکل (۴-۴۱)- اثر سختی خمشی تیر بر روی مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی.....۱۲۹
شکل (۴-۴۲)- ورق کمانش کرده و میدان کششی قطری تشکیل در نمونه با مقطع تیر $S75\times8$.....۱۳۱
شکل (۴-۴۳)- ورق کمانش کرده و میدان کششی قطری تشکیل در نمونه با مقطع تیر IPE180.....۱۳۱