پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مهندسی زلزله

رفتار مرکب دیوار برشی فولادی تقویت شده با صفحات پلیمری

دانشجو

مسعود خزایی پول

استاد راهنما

دکتر فریبرز ناطقی الهی

۱۳۹۰

نباشد همی نیک و بد پایدار

همان به که نیکی بود یادگار

تقدیم به:

"پدر و مادرم عزیزم که امید بخش زندگی‌ام هستند"

از تمامی زحمات استاد ارجمندم، جناب آقای پرفسور فریبرز ناطقی الهی که در تمامی مراحل انجام این تحقیق با راهنمایی‌ها، کمکها و تشویق‌های خویش من را راهنمایی و یاری نموده‌اند تشکر میکنم.

بهترین آرزوها را برای ایشان آرزومندم

چکیده

در طی چند دهه گذشته تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی زیادی بر روی عملکرد لرزه‌ای سیستم دیوار برشی فولادی انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان داده است که این سیستم دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب (سختی مناسب، مقاومت بالا و همچنین شکل پذیری و جذب انرژی بالا) است. از این نوع سیستم به صورت سخت نشده با جان لاغر، سخت شده و کامپوزیتی در سازه‌ها به عنوان سیستم مقاوم در برابر بار جانبی استفاده می‌گردد. در این پایان نامه به صورت تحلیلی و آزمایشگاهی به بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی کامپوزیتی که در آن ورق پرکننده فولادی با چند لایه از الیاف پلیمری شیشه و کربن تقویت شده است، پرداخته می‌شود. در مطالعات تحلیلی، یک نمونه از سیستم دیوار برشی فولادی در برنامه المان محدود *ANSYS* مدلسازی گردیده است و بعد از اعتبار سنجی مدل تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی، ورق پرکننده در این مدل با حالتهای مختلف قرارگیری لایه‌های پلیمری تقویت شده است، و نمونه تحت بارگذاری پوش-اور و سیکلی قرار گرفته است. برای بررسی دقیقتر رفتار دیوارهای برشی فولادی کامپوزیتی و همچنین پیدا کردن مودهای گسیختگی در این نوع سیستم آزمایشهایی هم بر روی این نوع سیستم انجام شده است. بدین منظور یک مدل دیوار برشی فولادی با ابعاد ۰.۶ در ۰.۶ متر ، با اتصال مفصلی اعضای مرزی در چهار گوشه قاب و همچنین اتصال پیچی اعضای مرزی به ورق پرکننده انتخاب شده است. در مجموع دو تست در حالت تقویت نشده و هفت تست در حالت تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه و کربن انجام شده است. نمونه‌های مورد بررسی تحت بارگذاری شبه استاتیکی سیکلی در امتداد قطری بر اساس پروتکل *ATC-24* قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که ورقهای پلیمری در باعث افزایش ظرفیت تسلیم و نهایی سیستم، افزایش سختی، افزایش جذب انرژی، افزایش سختی سکانت این نوع سیستم‌ها می‌شود. همچنین نتایج نشان داده است که اگر راستای قرار گیری الیاف در راستای میدانهای کششی باشد، ظرفیت و سختی سیستم به طور محسوس افزایش می‌یابد، در حالی که تاثیر چندانی در افزایش جذب انرژی سیستم ندارد. سیستمهای تقویت شده به نسبت دارای ضریب میرایی ویسکوز کمتری نسبت به سیستم سخت نشده دارد. همچنین در این تحقیق یک مدل تئوریک برای تخمین ظرفیت این نوع سیستمها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: دیوار برشی فولادی ، تقویت با الیاف پلیمری، رفتار غیرخطی، منحنی هیسترزیس، سختی و مقاومت، مطالعه آزمایشگاهی، روش المان محدود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱
۱-۱-تاریخچه دیوارهای برشی فولادی ۲
۱-۲-انواع مختلف دیوارهای برشی فولادی ۲
۱-۲-۱-دیوارهای برشی فولادی سخت نشده ۲
۱-۲-۲-دیوارهای برشی فولادی سخت شده ۳
۱-۲-۳-دیوارهای برشی فولادی کامپوزیتی ۳
۱-۳-بررسی ویژگیهای دیوارهای برشی فولادی: ۳
۱-۳-۱-نکات مثبت کاربرد دیوار برشی فولادی ۴
۱-۳-۲-محدودیتهای سیستمهای دیوار برشی فولادی ۵
۱-۴-نمونه هایی از کاربرد دیوار برشی فولادی در ساختمانها ۷
۱-۴-۱-کاربرد در ژاپن ۷
۱-۴-۲-در امریکا ۱۰
۱-۵-اهداف تحقیق حاضر ۱۶
۱-۶-ساختار فصلهای پایان‌نامه ۱۷
فصل دوم ۱۹
۲-۱-مقدمه ۲۰
۲-۲-مرور مکتوبات و تایخچه تحقیقات انجام شده ۲۰
۲-۲-۱-مطالعات و آزمایشهای انجام شده بر دیوارهای برشی یک طبقه ۲۱
۲-۲-۲-مطالعات و آزمایشهای انجام شده بر دیوارهای برشی چند طبقه ۳۱
۲-۳-تئوری و مبانی طراحی دیوارهای برشی فولادی ۴۰
۲-۳-۱-مدل بادبندی معادل ۴۰
۲-۳-۲-مدل نوار مورب ۴۱
۲-۳-۳-مدل اندرکنش صفحه با قاب محیطی ۴۲
۲-۳-۴-روش دستورالعمل ۴۴
۲-۴-مودهای شکست مهم ۴۵
۲-۵-مودهای شکست سیستم CFRP متصل شده به ورقهای فولادی ۴۸
فصل سوم ۵۱
۳-۱-مقدمه و مروری مختصر بر این فصل ۵۲
3-2-کمانش برشی صفحات ۵۲
۳-۳-رفتار ورقهای نازک تحت نیروهای برشی ۵۳
۳-۳-۱-تسلیم برشی بر اساس تئوری شکست فون مایسس ۵۵
۳-۴-مطالعه پارامتریک بر رفتار دیوارهای برشی فولادی کامپوزیتی ۵۷

۳-۴-۱-رفتار نیرو-تغییرمکان ورق کامپوزیتی ۵۹
۳-۵-خلاصه و نتیجه گیری: ۷۷
۴- ا ۷۷
فصل چهارم ۷۹
۴-۱-مقدمه و مروری بر این فصل ۸۰
۴-۲-مدل سازی و تحلیل عددی ۸۰
۴-۳-اندازه و نوع المان ۸۱
۴-۴-منحنی رفتاری مصالح ۸۲
۴-۴-۱-منحنی رفتاری مصالح فولاد ۸۲
۴-۵-معیار شکست مصالح ۸۵
۴-۵-۱-معیار شکست مصالح فولاد ۸۶
۴-۵-۲-معیار شکست الیاف پلیمری ۸۹
۴-۶-بار گذاری و روش تحلیل ۹۲
۴-۷-دقت سنجی روشهای عددی ۹۴
۴-۷-۱-با استفاده از نتایج آزمایشگاهی: ۹۴
۴-۷-۲-با استفاده از روابط آیین نامه ای ۹۶
۴-۸-نتایج مدلهای تحلیلی ۹۸
۴-۸-۱-مدل SPSW1 ناطقی و علوی ۹۸
۴-۹-بررسی تحلیلی رفتار دیوار برشی فولادی کامپوزیتی ۱۰۹
۴-۹-۱-فرضیات پایهای در مدلسازی و تحلیلهای المان محدود دیوارهای برشی فولادی کامپوزیتی ۱۰۹
۴-۹-۲-مشخصات مدل های المان محدود دیوار برشی فولادی کامپوزیتی ۱۰۹
۴-۹-۳-مدلسازی ۱۱۲
۴-۹-۴-نوع تحلیلهای انجام شده بر روی سیستم دیوار برشی فولادی کامپوزیتی ۱۱۵
۴-۹-۵-نتایج تحلیلی ۱۱۵
۴-۱۰-خلاصه و نتیجهگیری ۱۲۸
فصل پنجم ۱۳۱
5-1-مقدمه و مروری بر این فصل ۱۳۲
۵-۲-نحوه انتخاب مدل آزمایشگاهی ۱۳۲
۵-۲-۱-در انتخاب و طراحی نمونههای آزمایشگاهی به ترتیب مراحل زیر توجه گردید: ۱۳۳
۵-۳-طراحی SET-UP آزمایشگاهی ۱۳۵
۵-۴-ساخت و برپایی نمونه آزمایشگاهی ۱۳۹
۵-۴-۱-ساخت پانل برشی فولادی: ۱۳۹
۵-۴-۲-آماده سازی ورقهای کامپوزیتی: ۱۴۱
۵-۵-انجام تست کشش ساده بر روی فولاد های مصرفی ۱۴۴

۵-۶-برنامه آزمایش و تاریخچه بار گذاری ۱۴۸
۵-۷-آزمایشات شبه استاتیکی هیسترزیس بر روی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۵۱
۵-۷-۱-بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی کامپوزیتی با الیاف شیشه ۱۵۱
۵-۷-۲-بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی کامپوزیتی با الیاف پلیمری کربن ۱۸۳
۵-۸-خلاصه و نتیجه گیری ۲۰۷
فصل ششم ۲۰۹
۶-۱-تحلیل عددی نمونه آزمایشگاهی ۲۱۰
۶-۲-فرضیات پایهای در مدلسازی و تحلیلهای المان محدود مدلهای آزمایشگاهی ۲۱۱
۶-۳-مدلسازی ۲۱۱
۶-۳-۱-روش تحلیل و بار گذاری ۲۱۲
۶-۳-۲-نتایج تحلیل ۲۱۴
۶-۴-بررسی روابط پیشنهاد شده در برآورد ظرفیت سیسیتم دیوار برشی کامپوزیتی ۲۲۱
۶-۴-۱-مقایسه مدل رفتاری چندخطه پیشنهادی با نتایج حل به روش المان محدود ۲۲۲
۶-۴-۲-مقایسه نتایج مدل رفتاری چندخطه پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی ۲۲۸
۶-۵-خلاصه و نتیجه گیری ۲۳۱
فصل هفتم ۲۳۲
مراجع ۲۳۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
فصل اول	۱۹
شکل(۱-۱): دیوار برشی فولادی در ژاپن. a-دیوار با تقویت افقی b-دیوار با تقویت افقی و قائم	۴
شکل(۱-۲): المان برشی جاری شونده کوچک در ژاپن b- لینک برشی بین ستون	۴
شکل(۱-۳): نمای پلان دیوار برشی فولادی در ساختمان فولادی	۸
شکل(۱-۴): دیتیل دیوار برشی فولادی مورد استفاده شده در ساختمان Nippon	۸
شکل(۱-۵): پلان ساختمان ۵۶ طبقه در ژاپن	۸
شکل(۱-۶): پلان و نمای برش طبقات ساختمان Kobe City Hall	۹
شکل(۱-۷): نقشه تقریبی کمانش ورق در طبقه ۲۶ ساختمان Kobe City Hall	۱۰
شکل(۱-۸): نمای ساختمان ۳۰ طبقه در دالاس	۱۰
شکل(۱-۹): نمای بیمارستان شش طبقه در لس آنجلس	۱۱
شکل(۱-۱۰): نمای دیوار برشی فولادی تقویت شده در بیمارستان شش طبقه در لس آنجلس	۱۲
شکل(۱-۱۱): نمای ساختمان ۵۲ طبقه مسکونی در سانفرانسیسکو	۱۳
شکل(۱-۱۲): ساختمان ۲۳ طبقه کاخ دادگستری سیاتل امریکا	۱۴
شکل(۱-۱۳): سیستم سازهای ساختمان ۲۳ طبقه کاخ دادگستری سیاتل امریکا	۱۴
فصل دوم	۱۹
شکل(۲-۱): مدل نوار مورب توربن ۱۹۸۳	۲۱
شکل(۲-۲): نمونه تست شده توسط تیمبر و کولاک در سال ۱۹۸۳	۲۳
شکل(۲-۳): نمونه تست شده توسط ترومپوش و کولاک (۱۹۸۷)	۲۴
شکل(۲-۴): رفتار هیسترزیس نمونه تست شده	۲۴
شکل(۲-۵): مطالعات رابرت و صبوری قمی (۱۹۹۲)	۲۵
شکل(۲-۶): دیتیل های اتصال ورق به اعضای مرزی. شوماخر، گروندین و کولاک (۱۹۹۹	۲۶
شکل(۲-۷): دیوار برشی فولادی مورد آزمایش توسط (برمن و برونو ۲۰۰۳-۲)	۲۷
شکل(۲-۸): رفتار هیسترزیس دیوار برشی فولادی تست شده توسط برمن و برونو ۲۰۰۳-۲	۲۸
شکل(۲-۹): دیوار برشی فولادی تست شده توسط برمن و برونو ۲۰۰۳-۲	۲۸
شکل(۲-۱۰): مدلهای تست شده توسط ویان و برونو ۲۰۰۵	۲۹
شکل(۲-۱۱): دیوار برشی فولادی سوراخدار و دیوار برشی با گوشه-های بریده شده تقویت شده	۳۰
شکل(۲-۱۲): مدل تست شده و رفتار هیسترزیس نمونه تست شده توسط کسیس، ایلاگی و چن (۱۹۹۳)	۳۲
شکل(۲-۱۳):	۳۲
شکل(۲-۱۴): مدل تست شده و رفتار هیسترزیس نمونه در طبقه اول تست شده توسط درایور، کولاک، کندی و الوای (۱۹۹۶)	۳۳
شکل(۲-۱۵): درایور، کولاک، کندی و الوای (۱۹۹۶)	۳۴

شکل(۲-۱۶): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج المان محدود به روش نواری. درایور، کولاک، کندی و الوای (۱۹۹۶) ۳۵
شکل(۲-۱۷): دیوار برشی تست شده توسط بهبهانی و همکاران ۲۰۰۳ ۳۶
شکل(۲-۱۸): کمانش ستون طبقه اول و پارگی ورق پرکننده . بهبهانی و همکاران ۲۰۰۳ ۳۶
شکل(۲-۱۹): دیوار برشی چهار طبقه تست شده توسط رضایی (۱۹۹۹) ۳۸
شکل(۲-۲۰): نمونه تست شده توسط آستانه اصل و زاهو (۲۰۰۱) ۳۸
شکل(۲-۲۱): نمونه تست شده توسط آستانه اصل و زاهو (۲۰۰۱) ۳۹
شکل(۲-۲۲): مدل بادبندی معادل برای آنالیز دیوارهای برشی فولادی ۴۰
شکل(۲-۲۳): مکانیزم شکست سیستم دیوار برشی فولادی یک طبقه ۴۱
شکل(۲-۲۴): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان ورق فولادی ۴۳
شکل(۲-۲۵): مؤلفه های اندر کنش مدل نیروی برشی-تغییر مکان قاب-ورق. قاب، ورق و ترکیب این دو ۴۳
شکل(۲-۲۶): سلسله مراتب مکانیزم شکست دیوار برشی فولادی توسط آستانه اصل (۲۰۰۱) ۴۶
شکل(۲-۲۷): شکل شماتیک مودهای شکست در اتصال لایههای پلیمری به ورقهای فولادی ۴۸
شکل(۲-۲۸): در شیتهای CFRP با مدول متوسط (۲۴۰ گیگاپاسکال). ۴۹
شکل(۲-۲۹): در شیتهای CFRP با مدول بالا ۵۰
شکل(۲-۳۰): تاثیر چسب بر مود گسیختگی ۵۰
فصل سوم ۵۱
شکل(۳-۱): تبدیل تنشهای برشی به تنشهای کششی و فشاری ۵۳
شکل(۳-۲): میدان کششی در صفحه تحت برش ۵۴
شکل(۳-۳): معیار شکست فون مایسس ۵۵
شکل(۳-۴): نمای دیوار برشی فولادی تقویت شده با الیاف کامپوزیتی ۵۷
شکل(۳-۵): مدل اندرکنش قاب محیطی و ورق ۵۸
شکل(۳-۶): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان ورق کامپوزیتی فولادی ۵۹
شکل(۳-۷): وضعیت تنشها در ورق کامپوزیتی ۶۱
شکل(۳-۸): وضعیت کرنشها در چند لایه کامپوزیتی ۶۳
شکل(۳-۹): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان ورق فولادی کامپوزیتی ۶۸
شکل(۳-۱۰): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان الیاف پلیمری ۷۰
شکل(۳-۱۱): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان ورق فولادی کامپوزیتی ۷۱
شکل(۳-۱۲): مدل اندرکنش قاب-ورق ۷۲
شکل(۳-۱۳): نمودار نیروی برشی-تغییر مکان قاب تنها ۷۳
شکل(۳-۱): رفتار نیرو-تغییرمکان دیوار برشی کامپوزیتی ۷۷
فصل چهارم ۷۹
شکل(۴-۱): المان shell181 ۸۲
شکل(۴-۲): اثر بوشینگر ۸۳
شکل(۴-۳): مدل رفتار دو خطه سخت شونده سینماتیک ۸۳
شکل(۴-۴): مدل رفتار چند خطه سخت شونده سینماتیک ۸۴

شکل(۴-۵): رابطه تنش-کرنش ایدهآل برای فولاد ساختمانی ۸۴
شکل(۴-۶): رفتار تنش-کرنش الیاف پلیمری تقویت شده با پایه های متفاوت ۸۵
شکل(۴-۷): معیار تسلیم بر اساس تنش برشی بیشینه ۸۷
شکل(۴-۸): معیار تسلیم بر اساس انرژی اعوجاج بیشینه ۸۸
شکل(۴-۹): معیار تسلیم بر اساس انرژی اعوجاج بیشینه و معیار تسلیم بر اساس تنش برشی بیشینه ۸۸
شکل(۴-۱۰): مدل آزمایشگاهی SPSW2 لوبل و همکاران ۱۹۹۷ ۹۴
شکل(۴-۱۱): رفتار تنش-کرنش شبیه سازی شده برای اعضای مرزی و ورق پرکننده در مدل سازی المان محدود۹۵
شکل(۴-۱۲): منحنی های نیرو-تغییر مکان نتایج آزمایشگاهی و روش المان محدود مدل لوبل و همکاران ۹۵۱۹۹۷
شکل(۴-۱۳): نتایج مدل المان محدود دیوار برشی SPSW2 لوبل و همکاران ۱۹۹۷ ۹۶
شکل(۴-۱۴): مدل آزمایشگاهی SPSW1 ناطقی و علوی ۲۰۰۸ ۹۹
شکل(۴-۱۵): تاریخچه بارگذاری اعمال شده بر روی دیوار برشی SPSW1 ۱۰۰
شکل(۴-۱۶): نحوه قرارگیری دیوار برشی SPSW1 ناطقی و علوی ۲۰۰۸ ۱۰۰
شکل(۴-۱۷): رفتار چرخهای مدل SPSW1 ناطقی و علوی ۲۰۰۸ ۱۰۱
شکل(۴-۱۸): رفتار تنش-کرنش شبیه سازی شده برای اعضای مرزی و ورق پرکننده در نرم افزار ANSYS ۱۰۲
شکل(۴-۱۹): مودهای کمانش اول تا چهارم دیوار برشی فولادی SPSW1 ۱۰۴
شکل(۴-۲۰): مدل آزمایشگاهی ناطقی ناطقی و علوی ۲۰۰۸ و مدل اجزای محدود آن ۱۰۵
شکل(۴-۲۱): نتایج حل عددی نمونه آزمایشگاهی SPSW1 ۱۰۶
شکل(۴-۲۲): مقایسه منحنیهای نیرو-تغییرمکان مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدود در بارگذاری بار-افزا ۱۰۷
شکل(۴-۲۳): مقایسه منحنیهای نیرو-تغییرمکان مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدود در بارگذاری سیکلی ۱۰۸
شکل(۴-۲۴): مقایسه منحنیهای نیرو-تغییرمکان مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدود در بارگذاریهای سیکلی و بار-افزا ۱۰۸
شکل(۴-۲۵): آرایش قرارگیری لایههای پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای المان محدود دیوار برشی فولادی کامپوزیتی ۱۱۰
شکل(۴-۲۶): مقایسه رفتار تنش-کرنش فولاد در مدل SPSW1 الیاف پلیمری شیشه و رفتر یک لایه از الیاف شیشه با اپوکسی sikadur-330 ۱۱۱
شکل(۴-۲۷): تعریف مقطع چند لایه برای ورق پرکننده جان ۱۱۳
شکل(۴-۲۸): تعریف رفتار ارتوروپیک برای لایه پلیمری تقویت شده ۱۱۳
شکل(۴-۲۹): تعریف معیار شکست سای-وو برای لایه پلیمری تقویت شده ۱۱۴
شکل(۴-۳۰): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 و CSPSW2 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده α=0&90) ۱۱۶
شکل(۴-۳۱): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 و CSPSW3 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکنندهα=+45&-45) ۱۱۶
شکل(۴-۳۲): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 و CSPSW4 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکنندهα=0&90) ۱۱۶

شکل(۴-۳۳): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 و CSPSW5 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده α-45&+45=) ۱۱۷
شکل(۴-۳۴): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2 و CSPSW3 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۱۷
شکل(۴-۳۵): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW4 و CSPSW5 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۱۷
شکل(۴-۳۶): منحنیهای هیسترزیس حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1، CSPSW2، CSPSW3 ، CSPSW4 و CSPSW5 ۱۱۸
شکل(۴-۳۷): سختی سکانت حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2 و CSPSW3 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۱۹
شکل(۴-۳۸): سختی سکانت حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW4 و CSPSW5 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۱۹
شکل(۴-۳۹): سختی سکانت حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2، CSPSW3، CSPSW4 و CSPSW5 ۱۱۹
شکل(۴-۴۰): میرایی ویسکوز معادل حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2 و CSPSW3 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۲۰
شکل(۴-۴۱): میرایی ویسکوز معادل حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW4 و CSPSW5 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۲۰
شکل(۴-۴۲): میرایی ویسکوز معادل حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2، CSPSW3، CSPSW4 و CSPSW5 ۱۲۰
شکل(۴-۴۳): انرژی تجمعی مستهلک شده حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2 و CSPSW3 (یک لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۲۱
شکل(۴-۴۴): انرژی تجمعی مستهلک شده حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW4 و CSPSW5 (دو لایه GFRP در هر طرف ورق پرکننده) ۱۲۱
شکل(۴-۴۵): انرژی تجمعی مستهلک شده حاصل از تحلیل اجزای محدود برای نمونههای SPSW1 ، CSPSW2، CSPSW3، CSPSW4 و CSPSW5 ۱۲۲
شکل(۴-۴۶): وضعیت تنشهای اصلی در دریفت ۲.۷ درصد برای نمونههای تحلیلی ۱۲۲
شکل (۴-۴۶): وضعیت تنشهای اصلی در دریفت ۲.۷ درصد برای نمونههای تحلیلی ۱۲۳
شکل(۴-۴۷): منحنی نیرو-تغییرمکان نمونههای تحلیلی مورد بررسی ۱۲۴
شکل(۴-۴۸): مکانیزم شکست در نمونه SPSW1 (کمانش ستون فشاری) ۱۲۶
شکل(۴-۴۹): مکانیزم شکست در نمونه CSPSW5 (کمانش ستون فشاری) ۱۲۶
شکل(۴-۵۰): مکانیزم شکست در قاب فولادی ۱۲۷
فصل پنجم ۱۳۱
شکل(۵-۱): دستگاه کشش و فشار Roell Amsler ۱۳۶
شکل(۵-۲): نمای 3D پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۳۷
شکل(۵-۳): نحوه قرارگیری پانل برشی فولادی برای انجام آزمایش و چیدمان آزمایشگاهی آن ۱۳۷

شکل(۵-۴): مدل اجرایی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۳۸
شکل(۵-۵): نمایی از قرارگیری بازوها و اتصال آن به پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۳۸
شکل(۵-۶): ابعاد اجرایی بازوهای مفصلی استفاده شده در پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۳۸
شکل(۵-۷): ساخت اجزای پانل برشی ۱۳۹
شکل(۵-۸): کنترل دقیق نمونه آزمایشگاهی ۱۴۰
شکل(۵-۹): مراحل آماده سازی ورقهای فولادی کامپوزیتی ۱۴۳
شکل(۵-۱۰): مراحل آماده سازی ورقهای فولادی کامپوزیتی ۱۴۳
شکل(۵-۱۱): ابعاد نمونه ها برای تست کشش ساده بر اساس ASTMA370-05 ۱۴۴
شکل(۵-۱۲): نمونه های آماده شده برای انجام تست کشش ۱۴۴
شکل(۵-۱۳): مراحل انجام آزمایش تست کشش ۱۴۵
شکل(۵-۱۴): مراحل انجام آزمایش تست کشش ۱۴۶
شکل(۵-۱۵): رفتار تنش- کرنش برای اعضای مرزی ۱۴۷
شکل(۵-۱۶): پروتکل ATC-24 (1992) ۱۴۸
شکل(۵-۱۷): روش پیشنهادی ATC-24 در محاسبه تغییر مکان تسلیم δy و سختی الاستیک Ke ۱۴۹
شکل(۵-۱۸): سیکلهای بارگذاری اعمال شده بر نمونه بر اساس الگوی پیشنهادی ATC-24 ۱۴۹
شکل(۵-۱۹): آرایش قرارگیری لایه های پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای آزمایشگاهی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۵۲
شکل(۵-۲۰): آماده سازی نمونه SPSP1 برای انجام تست ۱۵۳
شکل(۵-۲۱): نمونه SPSP1 آماده برای انجام آزمایش ۱۵۴
شکل(۵-۲۲): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۰.۳۵ درصد ۱۵۵
شکل(۵-۲۳): تغییر شکلهای کمانشی در ورق پرکننده در محدودههای رفتار غیرخطی ۱۵۵
شکل(۵-۲۴): پایان بارگذاری در جابجایی نسبی ۱۴.۲۵ میلیمتر ۱۵۵
شکل(۵-۲۵): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۵۶
شکل(۵-۲۶): مدل قرارگیری لایههای پلیمری شیشه در پانل برشی فولادی کامپوزیتی CSPSS2 ۱۵۷
شکل(۵-۲۷): نمایی از نمونه CSPSP2 قبل از انجام آزمایش ۱۵۸
شکل(۵-۲۸): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۴.۵ درصد ۱۵۸
شکل(۵-۲۹): وقوع کمانش غیر الاستیک در ورق پرکننده ۱۵۹
شکل(۵-۳۰): وضعیت گسیختگی لایه کامپوزیتی در جابجایی ۱۳.۵ میلیمتر ۱۶۰
شکل(۵-۳۱): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۶۰
شکل(۵-۳۲): مدل قرارگیری لایههای پلیمری شیشه در پانل برشی فولادی کامپوزیتی CSPSP3 ۱۶۱
شکل(۵-۳۳): نمایی از نمونه CSPSP2 قبل از انجام آزمایش ۱۶۲
شکل(۵-۳۴): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۰.۴ درصد ۱۶۲
شکل(۵-۳۵): وقوع کمانش غیر الاستیک در ورق پرکننده ۱۶۳
شکل(۵-۳۶): وضعیت گسیختگی لایه کامپوزیتی در جابجایی ۱۳.۵ میلیمتر ۱۶۳

شکل(۵-۳۷): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۶۴
شکل(۵-۳۸): تقویت ورق پرکننده با دو لایه تقویت در هر طرف ۱۶۴
شکل(۵-۳۹): منحنی هیسترزیس نمونه CSPSP4 در ناحیه الاستیک ۱۶۵
شکل(۵-۴۰): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی ۴.۵ میلیمتر ۱۶۵
شکل(۵-۴۱): وضعیت نمونه CSPSP4 در تغییرمکان نسبی ۲٪ ۱۶۶
شکل(۵-۴۲): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۶۶
شکل(۵-۴۳): تقویت ورق پرکننده با دو لایه تقویت در هر طرف موازی با میدانهای کششی ۱۶۸
شکل(۵-۴۴): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی ۴.۵ میلیمتر ۱۶۹
شکل(۵-۴۵): وضعیت نمونه CSPSP4 ۱۶۹
شکل(۵-۴۶): گسیختگی قطری در در راستای میدانهای کششی ۱۷۰
شکل(۵-۴۷): پارگی لایه پلیمری در محل اتصال به قاب ۱۷۰
شکل(۵-۴۸): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۷۱
شکل(۵-۴۹): آرایش قرارگیری لایههای پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای آزمایشگاهی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۷۲
شکل(۵-۵۰): منحنی هیسترزیس پانلهای برشی فولادی تقویت شده و نشده با الیاف GFRP ۱۷۳
شکل(۵-۵۱): سختی سکانت بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۱۷۵
شکل(۵-۵۲): ضریب میرایی ویسکوز معادل بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۱۷۶
شکل(۵-۵۳): سختی سکانت بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۱۷۷
شکل(۵-۵۴): وضعیت پانل برشی فولادی در مراحل پایانی آزمایش ۱۷۸
شکل(۵-۵۵): ترکیب مود شکست لایه لایه شدن FRP و جدا شدگی بین سطح تماس چسب و فولاد ۱۷۹
شکل(۵-۵۶): پدیده پارگی در راستای ضعیف لایه پلیمری شیشه و پدیده جداشدگی ۱۸۰
شکل(۵-۵۷): عدم مشاهده مود شکست لایه- لایه شدن در نمونه CSPSP4 ۱۸۱
شکل(۵-۵۸): گسیختگی درنمونه CSPSP4 ۱۸۱
شکل(۵-۵۹): آرایش قرارگیری لایههای پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای آزمایشگاهی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۸۳
شکل(۵-۶۰): آماده سازی نمونه SPSP1 برای انجام تست ۱۸۴
شکل(۵-۶۱): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۰.۳۵ درصد ۱۸۵
شکل(۵-۶۲): تغییر شکلهای کمانشی در ورق پرکننده در محدودههای رفتار غیرخطی ۱۸۵
شکل(۵-۶۳): پایان بارگذاری در جابجایی نسبی ۱۴.۲۵ میلیمتر ۱۸۶
شکل(۵-۶۴): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۸۶
شکل(۵-۶۵): نمایی از نمونه CSPSP2 قبل از انجام آزمایش ۱۸۷
شکل(۵-۶۶): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۴.۵ درصد ۱۸۸
شکل(۵-۶۷): وضعیت گسیختگی لایه کامپوزیتی در جابجایی ۱۳.۵ میلیمتر ۱۸۹

شکل(۵-۶۸): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۸۹
شکل(۵-۶۹): نمایی از نمونه CSPSP2 قبل از انجام آزمایش ۱۹۰
شکل(۵-۷۰): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی نسبی حدود ۰.۴۵ درصد ۱۹۱
شکل(۵-۷۱): وقوع کمانش غیر الاستیک و وضعیت گسیختگی لایه کامپوزیتی ۱۹۲
شکل(۵-۷۲): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۹۲
شکل(۵-۷۳): تقویت ورق پرکننده با دو لایه تقویت در هر طرف موازی با میدانهای کششی ۱۹۳
شکل(۵-۷۴): وقوع کمانش الاستیک در ورق پرکننده در جابجایی ۴.۵ میلیمتر ۱۹۴
شکل(۵-۷۵): وضعیت نمونه CSPSP4 ۱۹۴
شکل(۵-۷۶): گسیختگی لایه فولادی در اثر میدانهای کششی ۱۹۵
شکل(۵-۷۷): گسیختگی قطری در در راستای میدانهای کششی ۱۹۵
شکل(۵-۷۸): منحنی هیسترزیس پانل برشی فولادی (آزمایشگاهی) ۱۹۶
شکل(۵-۷۹): آرایش قرارگیری لایههای پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای آزمایشگاهی پانل برشی فولادی کامپوزیتی ۱۹۷
شکل(۵-۸۰): منحنی هیسترزیس پانلهای برشی فولادی تقویت شده و نشده با الیاف GFRP ۱۹۸
شکل(۵-۸۱): سختی سکانت بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۲۰۰
شکل(۵-۸۲): ضریب میرایی ویسکوز معادل بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۲۰۱
شکل(۵-۸۳): میزان انرژی مستهلک شده تجمعی بدست آمده از نتایج آزمایشگاه برای نمونههای SPSP1 ، CSPSP2، CSPSP3، CSPSP4 و CSPSP5 ۲۰۲
شکل(۵-۸۴): وضعیت پانل برشی فولادی در مراحل پایانی آزمایش ۲۰۳
شکل(۵-۸۵): ترکیب مود شکست لایه-لایه شدن FRP و جدا شدگی بین سطح تماس چسب و فولاد ۲۰۴
شکل(۵-۸۶): پدیده پارگی در راستای ضعیف لایه پلیمری شیشه و پدیده جداشدگی ۲۰۵
شکل(۵-۸۷): وضعیت پانل در حالت حدی ۲۰۶
فصل ششم ۲۰۹
شکل(۶-۱): مدل آزمایشگاهی پانل برشی فولادی کامپوزیتی و مدل المان محدود معادل آن ۲۱۲
شکل(۶-۲): مودهای کمانشی نمونه SPSP1 ۲۱۳
شکل(۶-۳): نتایج مدل اجزای محدود پانل برشی ۲۱۴
شکل(۶-۴): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی SPSP1 ۲۱۵
شکل(۶-۵): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP2 ۲۱۶
شکل(۶-۶): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP3 ۲۱۶
شکل(۶-۷): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP4 ۲۱۷
شکل(۶-۸): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP5 ۲۱۷
شکل(۶-۹): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی SPSP1 ۲۱۸

شکل(۶-۱۰): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP2 ۲۱۹
شکل(۶-۱۱): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP3 ۲۱۹
شکل(۶-۱۲): مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیل المان محدود نمونه آزمایشگاهی CSPSP4 ۲۲۰
شکل(۶-۱۳): رفتار نیرو-تغییرمکان دیوار برشی کامپوزیتی ۲۲۲
شکل(۶-۱۴): آرایش قرارگیری لایههای پلیمری در ورق پرکننده در مدلهای المان محدود دیوار برشی فولادی کامپوزیتی ۲۲۳
شکل(۶-۱۵): مقایسه رفتار تنش-کرنش فولاد در مدل SPSW1 الیاف پلیمری شیشه و رفتر یک لایه از الیاف شیشه با اپوکسی sikadur-330 ۲۲۴
شکل(۶-۱۶): مدل آزمایشگاهی SPSW1 ناطقی و علوی ۲۰۰۸ ۲۲۵
شکل(۶-۱۷): مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج مدل غیرخطی برای نمونه SPSP1 (C_{m1}= 1 : C_{m2}=1.65) ۲۲۵
شکل(۶-۱۸): مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج مدل غیرخطی برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه CSPSP2 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.65 : C_{m3}=0.9) ۲۲۶
شکل(۶-۱۹): مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج مدل غیرخطی برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه CSPSP3 (C_{m1}= 0.9 : C_{m2}= 1.65 : C_{m3}=0.65) ۲۲۶
شکل(۶-۲۰): مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج مدل غیرخطی برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه CSPSP4 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.65 : C_{m3}=0.8) ۲۲۷
شکل(۶-۲۱): مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج مدل غیرخطی برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه CSPSP5 (C_{m1}= 0.9 : C_{m2}= 1.65 : C_{m3}=0.65) ۲۲۷
شکل(۶-۲۲): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل رفتاری چند خطه برای SPSP1 (C_{m1}= 1 : C_{m2}=1.7) ۲۲۸
شکل(۶-۲۳): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل رفتاری چند خطه برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه SPSP2 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.7 : C_{m3}=0.8) ۲۲۹
شکل(۶-۲۴): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل رفتاری چند خطه برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه SPSP3 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.5 : C_{m3}=0.9) ۲۲۹
شکل(۶-۲۵): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل رفتاری چند خطه برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه SPSP4 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.7 : C_{m3}=0.8) ۲۳۰
شکل(۶-۲۶): مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل رفتاری چند خطه برای نمونه تقویت شده با الیاف پلیمری شیشه در نمونه SPSP5 (C_{m1}= 1 : C_{m2}= 1.5 : C_{m3}=0.85) ۲۳۰
فصل هفتم ۲۳۲
مراجع ۲۳۲

فصل اول

کلیات، موارد کاربردی دیوار برشی فولادی و

اهداف تحقیق

۱-۱- تاریخچه دیوارهای برشی فولادی

تحقیقات انجام شده در دهه‌های اخیر نشان داده است که سیستم دیوار برشی فولادی یک سیستم مقاوم باربر جانبی جهت بکارگیری در نواحی لرزه خیز زیاد می‌باشد. این دیوارها با فلسفه‌های مختلفی و به صورتهای تقویت نشده، تقویت شده، کامپوزیتی و یا سوراخدار در طراحی و مقاوم سازی سازه‌ها استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که این سیستم دارای سختی و مقاومت زیاد حد الاستیک و قابلیت شکل‌پذیری و جذب انرژی زیاد و رفتار هیسترزیس پایدار می‌باشد و دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب می‌باشد. دیوارهای برشی فولادی تشکیل شده‌اند از صفحات فولادی که توسط تیرها و ستونها احاطه شده است و میتوان تا حدودی آن را به یک تیر ورق طره‌ای قائم تشبیه کرد، به طوری که صفحه پرکننده قاب مشابه جان تیر ورق و ستونها بالهای آن و تیرها مشابه سخت کننده‌های عرضی آن است، البته تفاوتهای آن زیاد است. بویژه اینکه از دیوار برشی فولادی انتظار رفتار غیرخطی مناسب در جابجایی‌های نسبتا بزرگ و شکل‌پذیری بالا می‌رود. در طی سه دهه گذشته از دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم اصلی مقاوم در برابر بارهای لرزه‌ای در ساختمانهای مهمی در کشورهای ژاپن و امریکا و همچنین کانادا به کار برده شده است. بیمارستان *Sylmar* که سیستم مقاوم آن دیوار برشی فولادی بوده است در زلزله نورتریج در سال ۹۴ خسارتی ندید و این نشان دهنده عملکرد خوب این سیستم در برابر بارهای لرزه‌ای می‌باشد.
[۱] و [۲]

۱-۲- انواع مختلف دیوارهای برشی فولادی

۱-۲-۱- دیوارهای برشی فولادی سخت نشده[1]

تا کنون محبوب ترین نوع دیوار برشی فولادی به صورت تقویت نشده و با جان لاغر می‌باشد. در این نوع از دیوار های برشی، ظرفیت قبل از کمانش سیستم ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. بار جانبی توسط میدانهای کششی قطری ایجاد شده در جان ورق تحمل می‌گردد. اعضای مرزی طوری طراحی می‌گردند که تنش های کششی در ورق بتواند توسعه پیدا کند. در مناطقی با خطر لرزه‌ای زیاد اعضای مرزی طوری طراحی می‌گردند که اجازه داده شود ورق جان به تنش جاری شدن مورد انتظار در کل پانل برسد. [۱]

[1]- Un-stiffened Steel plate shear walls (SPSW)