دانشکده مهندسی عمران

بررسی عددی تأثیر ورق کامپوزیت FRP و ژاکت بتنی HPFRCC در مقاوم سازی ستون های بتنی ضعیف قاب های خمشی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو:

مهری غلامی

استاد راهنما:

دکتر محمد کاظم شربتدار

اسفند ماه ۱۳۹۰

دانشکده مهندسی عمران

بررسی عددی تأثیر ورق کامپوزیت FRP و ژاکت بتنی HPFRCC در مقاوم سازی ستون های بتنی ضعیف قاب های خمشی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو:

مهری غلامی

استاد راهنما:

دکتر محمد کاظم شربتدار

استاد مشاور:

دکتر امید رضائی فر

اسفند ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه ی خانم مهری غلامی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه تحت عنوان "بررسی عددی تأثیر ورق کامپوزیت FRP و ژاکت بتنی HPFRCC در مقاوم سازی ستون های بتنی ضعیف قاب های خمشی" **در جلسه مورخ ۱۴ / ۱۲ / ۱۳۹۰ بررسی و با نمره**

عدد	۱۹/۲۵
حروف	نوزده و بیست و پنج صدم

مورد تأیید قرار گرفت.

اعضای هیئت داوران:

استاد راهنمای اول: امضاء:

استاد راهنمای دوم: امضاء:

استاد مشاور اول: امضاء:

استاد مشاور دوم: امضاء:

استاد داور: امضاء:

استاد داور: امضاء:

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده:..... امضاء.....

دانشکده مهندسی عمران

اینجانب مهری غلامی متعهد می شوم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان "بررسی عددی تأثیر ورق کامپوزیت FRP و ژاکت بتنی HPFRCC در مقاوم سازی ستون های بتنی ضعیف قاب های خمشی" که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه به دانشگاه ارائه شده است، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت های علمی اینجانب می باشد.

در صورتی که خلاف ادعای فوق در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق معنوی متعلق به این پایان نامه از اینجانب سلب شده و موارد قانونی مترتب به آن نیز از طرف مراجع قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی: مهری غلامی

شماره دانشجویی: ۸۸۱۱۱۴۹۰۰۵

امضاء

پایان نامه های تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران دانشگاه سمنان

این پایان نامه تحت حمایت پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و در قالب گروه پژوهشی:

☐ روش های اجرایی نوین مهندسی عمران

☐ مصالح نوین مهندسی عمران

☐ سیستم های نوین ساخت

☐ روش های تحلیل نوین در مهندسی عمران

ارائه شده است.

امضای مدیر گروه پژوهشی

امضای رئیس پژوهشکده

این صفحه در صورتی تکمیل می گردد که فعالیت پژوهشی مورد نظر در راستای اهداف پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران و با حمایت یکی از گروه های پژوهشی صورت پذیرد.

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما با ذکر مرجع بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر محمد کاظم شربتدار

تاریخ:

امضاء:

تقدیم به

پدر،

مادر،

بـــرادر و خـــواهران عزیـــزم

مشوقان همیشگی زندگیم و تمام انسان های آزاده روی این کره خـاکی کـه در راسـتای پیشـرفت علم و دانش بشری تلاش می نمایند.

تقدیر نامه

با سپاس ازخداوند منان که با لطف بی پایان و ابدی همواره تمامی انسان ها را غریق رحمت خود نموده است بر خود لازم می دانم از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد کاظم شربتدار که در تمامی مراحل انجام پایان نامه با راهنمایی های ارزشمندشان مرا یاری نموده اند همچنین استاد مشاور پایان نامه، دکتر امید رضایی فر کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم و برای ایشان آرزوی توفیق روز افزون مسألت می دارم.

ضمناً از زحمات آقای مهندس عرفان شافعی که با راهنمایی های خود به پایان نامه اینجانب مسیر تازه بخشیدند نهایت تشکر را دارم و همواره قدردان زحمات ایشان هستم.

چکیده

یکی از اجزای اصلی و نیز عامل اصلی انتقال بار در هر سازه ای، ستون می باشد. بروز آسیب در ستون ها به خصوص تحت بارهای لرزه ای، پایداری کل سازه را با مخاطره مواجه می سازد. برای اصلاح عملکرد ستون ها روش های مختلفی مطرح گردیده است؛ از آن جمله می توان به مقاوم سازی ستون ها با ژاکت بتنی، صفحات فولادی، ورق FRP (مواد پلیمری مسلح به الیاف)، ژاکت بتنی HPFRCC (ترکیبات سیمانی مسلح به الیاف دارای عملکرد بالا) و... اشاره کرد، که تحقیقات اندکی در سال های اخیر بر روی استفاده از ژاکت بتنی HPFRCC انجام شده است.

اهتمام اصلی در این پایان نامه، بررسی تأثیر ورق کامپوزیتFRP و بررسی رویکرد استفاده از ژاکت بتنی HPFRCC در تقویت ستون های بتن آرمه و بررسی تأثیر آن ها در قاب خمشی به صورت عددی می باشد. در این تحقیق ستون ها و قاب های بتن آرمه، تحت بارهای محوری ثابت و جانبی رفت و برگشتی افزاینده در نرم افزار تحلیل عددی LS-DYNA مدل سازی و آنالیز گردیدند که مجموعاً ۲۱ عدد ستون و۲ عدد قاب خمشی بوده اند. تأثیر عواملی مانند بار محوری، مقاومت فشاری بتن، ضخامت ورق FRP، کاربرد ورق FRP به صورت پیوسته یا منقطع و زاویه قرارگیری ورق کامپوزیت FRP نسبت به ستون در مورد ستون های مقاوم سازی شده با FRP و همچنین عواملی مانند نسبت طول به عرض مقطع h/b و ضخامت ژاکت HPFRCC در مورد ستون های مقاوم سازی شده با HPFRCC و در ادامه تأثیر استفاده از ورق کامپوزیت FRP و ژاکت بتنی HPFRCC به صورت پوشش کامل ستون ها و چشمه اتصال در قاب خمشی بررسی شدند.

به عنوان نتایج این تحقیق، نمودارهای هیسترسیس بار - تغییرمکان، جذب انرژی در هر چرخه، جذب انرژی کل هر یک از اجزای سازه، سختی مؤثر و شاخص آسیب بر حسب دریفت برای کلیه مدل های تحلیل شده استخراج شد. از بررسی و تفسیر نمودارها نتیجه شد که در ستون های مقاوم سازی شده با FRP افزایش تنش محوری تا $0.3\,f_c'$ باعث افزایش محصورشدگی بتن و در نتیجه افزایش جذب انرژی و افزایش تنش محوری از $0.3\,f_c'$ تا $0.5\,f_c'$ باعث کاهش جذب انرژی، شکل پذیری و تغییر مکان نهایی ستون می شود و تغییر زاویه ورق FRP از صفر به ۳۰ درجه، افزایش ضخامت پوشش FRP و نیز افزایش مقاومت بتن باعث افزایش جذب انرژی، شکل پذیری و تغییر مکان نهایی سازه می شود. با مقایسه نتایج ستون های مقاوم-سازی شده با ژاکت به ضخامت ۴۰ میلی متر HPFRCC و با نسبت های مختلف ابعادی ، افزایش ۵۰ درصدی مقاومت و افزایش قابل توجه جذب انرژی در ستون های با نسبت ابعادی h/b برابر ۱ مشاهده شد. ضمناً حداکثر بار جانبی و قابلیت جذب انرژی در قاب مقاوم سازی شده با HPFRCC نسبت به قاب مقاوم-سازی شده با FRP افزایش یافت.

واژه های کلیدی: ستون، قاب خمشی، مقاوم سازی، FRP، HPFRCC، مدل سازی عددی.

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انتخاب روش مناسب برای مقاوم سازی ۲

۱-۳- نیازهای تحقیق ۴

۱-۴- هدف و روش انجام پایان نامه ۵

۱-۵- محتوای پایان نامه ۶

فصل ۲: مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه ستون های بتنی محصور شده با FRP ۸

۲-۳- نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه مقاوم سازی با HPFRCC ۲۷

۲-۳-۱- مقاوم سازی تیرهای بتنی با HPFRCC ۲۸

۲-۳-۲- مقاوم سازی ستون های بتنی با HPFRCC ۳۴

۲-۳-۳- مقاوم سازی دیوار برشی با HPFRCC ۳۹

۲-۳-۴- مقاوم سازی اتصالات قاب های بتنی با HPFRCC ۴۰

فصل ۳: خصوصیات مکانیکی مواد

۳-۱- مقدمه ۴۶

۳-۲- خصوصیات بتن ۴۶

۳-۳- خصوصیات فولاد ۵۵

۳-۴- خواص مکانیکی ورق های کامپوزیت FRP ۵۶

۳-۵- رزین ها و چسب ها ۵۷

۳-۶- خواص مکانیکی HPFRCC ۵۸

فصل ۴: مدل سازی در نرم افزار اجزاء محدود LS-DYNA و اعتبار سنجی

۴-۱- مقدمه ۶۳

۴-۲- مدل سازی بتن در LS-DYNA ۶۴

۴-۲-۱- خصوصیات المان معرفی شده برای رفتار بتن ۶۴

۴-۲-۲- خصوصیات ماده معرفی شده برای رفتار بتن ۶۶

۴-۳- مدل سازیFRP درLS-DYNA ۷۵

۴-۳-۱- خصوصیات المان معرفی شده برای رفتار FRP ۷۵

۴-۳-۲- خصوصیات ماده معرفی شده برای رفتار FRP ۷۵

۴-۴- مدل سازی آرماتور در LS-DYNA ۸۴

۴-۴-۱- المان مورد نیاز برای آرماتورهای طولی و خاموت ها ۸۴

۴-۴-۲- تعریف اندرکنش بین آرماتورها و خاموت های عرضی و بتن ۸۴

۴-۵- مدل سازی صفحات اعمال بار در LS-DYNA ۸۵

۴-۶- اعتبار سنجی مدل های تحلیلی تقویت شده با CFRP ۸۶

۴-۷- مدل سازی نمونه با مقطع مربعی و مکانیزم شکست آن ۸۹

۴-۸- مشخصات مدل های ساخته شده در نرم افزار ۹۳

۴-۹- نام گذاری نمونه ها ۹۳

۴-۱۰- ارزیابی صحت مدل تحلیلی ستون مقاوم سازی شده با HPFRCC ۹۵

۴-۱۱- مدل سازی نمونه با مقطع مربعی و مکانیزم شکست آن ۹۹

۴-۱۲- مشخصات مدل ها ۱۰۲

۴-۱۳- نام گذاری نمونه ها ۱۰۲

۴-۱۴- اعتبار سنجی مدل تحلیلی قاب مورد مطالعه در این تحقیق ۱۰۴

۴-۱۵- مدل سازی قاب بتن آرمه ۱۰۶

۴-۱۶- مشخصات مدل ها ۱۰۹
۴-۱۷- نام گذاری نمونه ها ۱۰۹
۴-۱۸- تعاریف و خروجی های برنامه ۱۰۹

فصل ۵: بررسی و تفسیر نتایج

۵-۱- مقدمه ۱۱۱
۵-۲- تفسیر و بررسی نتایج مربوط به مقاوم سازی ستون با FRP ۱۱۱
۵-۲-۱- نتایج اولیه ۱۱۱
۵-۲-۲- تجزیه و تحلیل نتایج اولیه ۱۲۵
۵-۳- تفسیر و بررسی نتایج مربوط به مقاوم سازی ستون با HPFRCC ۱۵۱
۵-۳-۱- نتایج اولیه ۱۵۲
۵-۳-۲- تجزیه و تحلیل نتایج اولیه ۱۵۶
۵-۴- تفسیر و بررسی نتایج مربوط به مقاوم سازی قاب با FRP و HPFRCC ۱۷۲
۵-۴-۱- نتایج اولیه ۱۷۲
۵-۴-۲- تجزیه و تحلیل نتایج اولیه ۱۷۳

فصل ۶: جمع بندی و ارائه پیشنهادها

۶-۱- مقدمه ۱۸۰
۶-۱-۱- ستون های مقاوم سازی شده با FRP ۱۸۰
۶-۱-۲- ستون های مقاوم سازی شده با HPFRCC ۱۸۱
۶-۱-۳- قاب های مقاوم سازی شده با FRP و HPFRCC ۱۸۲

فصل ۷: مراجع

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ نمودار تنش - کرنش استوانه های بتنی در فشار هیدرواستاتیک ۱۴

شکل ۲-۲ هسته محصور شده مؤثر با خاموت های فولادی مستطیلی ۱۵

شکل ۲-۳ دایره معادل مقطع مستطیلی ۱۹

شکل ۲-۴ تأثیر محصور شدگی دو گانه روی ستون مستطیلی ۲۰

شکل ۲-۵ ضرایب مؤثر محصور شدگی ۲۲

شکل ۲-۶ رفتار نمونه های محصور شده GFRP تحت افزایش بار محوری ۲۳

شکل ۲-۷ رفتار نمونه های محصور شده با GFRP تحت افزایش بار محوری و افزایش تعداد لایه های GFRP ۲۴

شکل ۲-۸ تغییر در تعداد لایه های الیاف برای ستون مربعی ۲۵

شکل ۲-۹ نمودار تنش – کرنش ستون های بتنی محصور شده با تعداد لایه های متغیر FRP ۲۶

شکل ۲-۱۰ ابعاد و جزئیات آرماتور گذاری تیر های شکل پذیر ۲۹

شکل ۲-۱۱ شماتیک قرار دادن نوارهای پیش ساخته برای مقاوم سازی ۳۰

شکل ۲-۱۲ هندسه تیر های ساخته شده و طرح مقاوم سازی ۳۱

شکل ۲-۱۳ مشخصات HPFRCC ۳۱

شکل ۲-۱۴ مقایسه نمودارهای بار – تغییر مکان برای تیرهای مقاوم سازی ۳۲

شکل ۲-۱۵ الگوی ترک در گسیختگی ۳۲

شکل ۲-۱۶ مقایسه نمودارهای بار - جابجایی برای نمونه های مختلف ۳۳

شکل ۲-۱۷ مقایسه بین منحنی ممان – نیروی محوری ستون مقاوم سازی شده با ژاکت بتنی و HPFRCC ۳۴

شکل ۲-۱۸ نمودارهای هیسترزیس برای نمونه های کنترل و تقویت شده با FRC ۳۵

شکل ۲-۱۹ مقایسه انرژی جذب شده برای نمونه های کنترل و تقویت شده ۳۵

شکل ۲-۲۰ نحوه مقاوم سازی ستون های مستطیلی با پوشش UHPFRC ۳۶

شکل ۲-۲۱ مقایسه نمودارهای هیسترزیس برای نمونه های کنترل و تقویت شده با پوشش UHPFRC ۳۶

شکل ۲-۲۲ ابعاد ستون ساخته شده و نحوه مقاوم سازی ۳۷

شکل ۲-۲۳ نمودار هیسترزیس تیر مقاوم سازی شده ۳۸

شکل ۲-۲۴ نحوه بارگذاری نمونه ها ۳۹
شکل ۲-۲۵ مقایسه نمودارهای هیسترزیس برای دیوارهای برشی کنترل و تقویت شده باHPFRCC ۳۹
شکل ۲-۲۶ جزئیات مقاوم سازی اتصال بتن مسلح ۴۰
شکل ۲-۲۷ نمودار بار - جابجایی ۴۰
شکل ۲-۲۸ جزئیات هندسی نمونه ها ۴۱
شکل ۲-۲۹ نمودار هیسترسیس ستون بالای اتصال ۴۲
شکل ۲-۳۰ نحوه گسیختگی ستون بالای اتصال ۴۲
شکل ۲-۳۱ نمودار اندرکنش نیرو - ممان برای ستون بالای اتصال ۴۲
شکل ۲-۳۲ جزئیات هندسی اتصال مقاوم سازی شده با HPFRCC ۴۳
شکل ۲-۳۳ نمودار اندرکنش نیرو - ممان برای ستون بالای اتصال ۴۴
شکل ۲-۳۴ رفتار تیر قبل و بعد از مقاوم سازی ۴۴
شکل ۳-۱ نمودار تنش – کرنش برای فشار تک محوری ۵۰
شکل ۳-۲ تأثیر طول نمونه در نمودار تنش – کرنش تک محوره برای مقطع ثابت ۵۱
شکل ۳-۳ نمودارهای تنش - کرنش بتن تحت فشار تک محوره ۵۲
شکل ۳-۴ نمودار تنش - کرنش و تنش - عرض ترک برای کشش تک محوری ۵۳
شکل ۳-۵ نمودار تنش- کرنش فولاد ۵۵
شکل ۳-۶ انواع الیاف فولادی ۶۰
شکل ۳-۷ مقایسه الگوی ترک در بتن مسلح معمولی و بتن مسلح الیافی ۶۰
شکل ۳-۸ چگونگی و ساختار جلوگیری از گسترش ترک توسط الیاف با اندازه های مختلف ۶۱
شکل ۳-۹ ساختار الیاف کوتاه و بلند در کنترل میکروترک ها و تأثیر آن در نمودار تنش - بازشدگی ترک ۶۱
شکل ۳-۱۰ مقایسه منحنی تنش - کرنش کششی المان های HPFRCC و FRCC معمولی ۶۲
شکل ۳-۱۱ منحنی های بار - تغییرمکان مواد مرکب سیمانی مسلح الیافی ۶۲
شکل ۴-۱ المان های سه بعدی SOLID ۶۴
شکل ۴-۲ مدهای Hourglass یک المان ۸ گره ای ۶۵
شکل ۴-۳ نمایش سطوح شکست برشی اتوسن برای بتن با مقاومت فشاری تک محوری ۶ksi ۶۷
شکل ۴-۴ نمایش صفحه ۸ وجهی برای بتن با مقاومت فشاری تک محوری ۶ksi ۷۱
شکل ۴-۵ یک مسأله آزمایش المان ۷۸

شکل ۴-۶ منحنی تنش - جابجایی ۷۹
شکل ۴-۷ منحنی تنش - جابجایی بعد از گسیختگی فشاری ماتریس ۸۰
شکل ۴-۸ صفحات گسیختگی لایه ۸۱
شکل ۴-۹ معیارهای بارگذاری چندسطحی شکل گرفته بوسیله F_{11} و F_1 در فضای تنش های مؤثر ۸۳
شکل ۴-۱۰ المان TRUSS ۸۴
شکل ۴-۱۱ جزئیات ساخت نمونه های مقاوم سازی شده و مرجع ۸۷
شکل ۴-۱۲ الگوی بارگذاری جانبی نمونه های مدل شده ۸۸
شکل ۴-۱۳ شبکه بندی مقطع نمونه مربعی ۸۹
شکل ۴-۱۴ نتیجه آزمایشگاهی برای ستون مربعی ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر مرجع ۸۹
شکل ۴-۱۵ نتیجه مدل سازی در نرم افزار اجزاء محدود LS-DYNA برای ستون مربعی ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر مرجع ۸۹
شکل ۴-۱۶ نتیجه آزمایشگاهی برای ستون مربعی ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر محصور شده با CFRP ۹۰
شکل ۴-۱۷ نتیجه مدل سازی در نرم افزار اجزاء محدود LS-DYNA برای ستون مربعی ۲۰۰×۲۰۰ میلی متر محصور شده با CFRP ۹۰
شکل ۴-۱۸ نیروی محوری آرماتورهای طولی در لحظه رسیدن به برش پایه ماکزیمم ۹۱
شکل ۴-۱۹ کرنش در جهت Z و نحوه ترک خوردگی بتن در لحظه رسیدن به برش پایه ماکزیمم ۹۱
شکل ۴-۲۰ کرنش در جهت الیاف برای FRP در لحظه رسیدن به برش پایه ماکزیمم ۹۲
شکل ۴-۲۱ کرنش در جهت الیاف برای FRP در انتهای آنالیز ۹۲
شکل ۴-۲۲ نحوه پوشش منقطع ستون ها با CFRP ۹۴
شکل ۴-۲۳ مشخصات مدل آزمایش شده توسط سی - بسچی و همکاران ۹۵
شکل ۴-۲۴ نمودار تنش - کرنش کششی HPFRCC ۹۶
شکل ۴-۲۵ نمودار تنش کرنش بدست آمده از نرم افزار LS-DYNA ۹۷
شکل ۴-۲۶ الگوی بارگذاری جانبی ۹۸
شکل ۴-۲۷ نحوه اعمال بار محوری و جانبی به نمونه ها ۹۸
شکل ۴-۲۸ شبکه بندی مقطع نمونه مربعی مقاوم ساری شده با ۴۰ میلی متر ژاکت ۹۹
شکل ۴-۲۹ نمودار بار - تغییر مکان برای ستون مربعی ۴۰۰×۴۰۰ میلی متر مقاوم سازی شده با ۴۰ میلی متر ژاکت HPFRCC ۱۰۰

شکل ۴-۳۰ نتیجه مدل سازی در نرم افزار اجزاء محدود LS-DYNA برای ستون مربعی ۴۰۰×۴۰۰ میلی متر محصور شده با ۴۰ میلی متر ژاکت بتنی HPFRCC ۱۰۰
شکل ۴-۳۱ نیروی محوری آرماتورهای طولی در انتهای آنالیز ۱۰۱
شکل ۴-۳۲ کرنش در جهت Z و نحوه ترک خوردگی بتن در انتهای آنالیز ۱۰۱
شکل ۴-۳۳ کرنش در جهت Z و نحوه ترک خوردگی ژاکتHPFRCC در انتهای آنالیز ۱۰۱
شکل ۴-۳۴ جزئیات قاب آزمایش شده توسط جون – تاو - ژو و همکاران ۱۰۴
شکل ۴-۳۵ الگوی بارگذاری جانبی برای قاب بتن مسلح ۱۰۵
شکل ۴-۳۶ نحوه اعمال بارگذاری محوری و جانبی به قاب بتن آرمه ۱۰۶
شکل ۴-۳۷ شبکه بندی قاب بتن آرمه در نرم افزار LS-DYNA ۱۰۶
شکل ۴-۳۸ نمودار بار - تغییر مکان برای قاب بتن آرمه آزمایش شده توسط جون – تاو - ژو و همکاران ۱۰۷
شکل ۴-۳۹ نتیجه مدل سازی در نرم افزار اجزاء محدود LS-DYNA برای قاب بتن آرمه آزمایش شده توسط ۱۰۷
جون – تاو - ژو و همکاران ۱۰۷
شکل ۴-۴۰ کرنش در جهت Z برای بتن در انتهای آنالیز ۱۰۸
شکل ۴-۴۱ نیروی محوری آرماتورهای طولی در انتهای آنالیز ۱۰۸
شکل ۴-۴۲ نمونه ای از نمودار هیسترزیس ۱۰۹
شکل ۴-۴۳ نمودار تعریف سختی مؤثر در یک سیکل ۱۱۰
شکل ۵-۱ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5$ ۱۱۲
شکل ۵-۲ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5$ ۱۱۲
شکل ۵-۳ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5$ ۱۱۳
شکل ۵-۴ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5$ ۱۱۳
شکل ۵-۵ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_2\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۴
شکل ۵-۶ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_2\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۴
شکل ۵-۷ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_3\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۵
شکل ۵-۸ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_3\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۵
شکل ۵-۹ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_4\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۶
شکل ۵-۱۰ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_4\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۶

شکل ۵-۱۱ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۷
شکل ۵-۱۲ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۷
شکل ۵-۱۳ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۸
شکل ۵-۱۴ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۱۸
شکل ۵-۱۵ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}15\text{-}Full$ ۱۱۹
شکل ۵-۱۶ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}15\text{-}Full$ ۱۱۹
شکل ۵-۱۷ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}30\text{-}Full$ ۱۲۰
شکل ۵-۱۸ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}30\text{-}Full$ ۱۲۰
شکل ۵-۱۹ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}45\text{-}Full$ ۱۲۱
شکل ۵-۲۰ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}45\text{-}Full$ ۱۲۱
شکل ۵-۲۱ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}M$ ۱۲۲
شکل ۵-۲۲ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}M$ ۱۲۲
شکل ۵-۲۳ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}P$ ۱۲۳
شکل ۵-۲۴ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}P$ ۱۲۳
شکل ۵-۲۵ نمودار هیسترسیس بار - تغییرمکان جانبی برای نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full\text{-}W=2$ ۱۲۴
شکل ۵-۲۶ مکانیسم شکست نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full\text{-}W=2$ ۱۲۴
شکل ۵-۲۷ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5$ ۱۲۵
شکل ۵-۲۸ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5$ ۱۲۶
شکل ۵-۲۹ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_2\text{-}0\text{-}Full$ ۱۲۶
شکل ۵-۳۰ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_3\text{-}0\text{-}Full$ ۱۲۷
شکل ۵-۳۱ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_4\text{-}0\text{-}Full$ ۱۲۷
شکل ۵-۳۲ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۲۸
شکل۵-۳۳ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۲۸
شکل ۵-۳۴ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}15\text{-}Full$ ۱۲۹
شکل ۵-۳۵ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}30\text{-}Full$ ۱۲۹
شکل ۵-۳۶ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}45\text{-}Full$ ۱۳۰
شکل۵-۳۷ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}M$ ۱۳۰
شکل۵-۳۸ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}P$ ۱۳۱

شکل ۵-۳۹ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full\text{-}W=2$ ۱۳۱
شکل ۵-۴۰ جذب انرژی اجزای سازه نمونه $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_2\text{-}0\text{-}Full$ ۱۳۲
شکل ۵-۴۱ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای ستون های مقاوم سازی شده با FRP ۱۳۴
ادامه شکل ۵-۴۱ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای ستون های مقاوم سازی شده با FRP ۱۳۵
شکل ۵-۴۲ نمودار شاخص آسیب – دریفت ستون های مقاوم سازی شده با FRP ۱۳۶
ادامه شکل ۵-۴۲ نمودار شاخص آسیب – دریفت ستون های مقاوم سازی شده با FRP ۱۳۷
شکل ۵-۴۳ نمودار هیسترسیس نمونه های $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5$ و $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۳۹
شکل ۵-۴۴ پوش منحنی هیسترسیس نمونه های $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5$ و $C\text{-}L_3\text{-}34\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۳۹
شکل ۵-۴۵ نمودار هیسترسیس نمونه های $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5$ و $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۴۰
شکل ۵-۴۶ پوش منحنی هیسترسیس نمونه های $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5$ و $C\text{-}L_3\text{-}17\text{-}N_5\text{-}0\text{-}Full$ ۱۴۰
شکل ۵-۴۷ نمودار هیسترزیس نمونه های با نیروهای محوری مختلف ۱۴۱
شکل ۵-۴۸ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای نمونه های با نیروهای محوری مختلف ۱۴۲
شکل ۵-۴۹ نمودار جذب انرژی هر چرخه – دریفت هر چرخه برای نمونه های با نیروهای محوری مختلف ۱۴۲
شکل ۵-۵۰ نمودار شاخص آسیب – دریفت برای نمونه های با نیروهای محوری مختلف ۱۴۳
شکل ۵-۵۱ نمودار هیسترزیس نمونه های با ضخامت های مختلف FRP ۱۴۳
شکل ۵-۵۲ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای نمونه های با ضخامت های مختلف FRP ۱۴۴
شکل ۵-۵۳ نمودار جذب انرژی – دریفت هر چرخه برای نمونه های ضخامت های مختلف FRP ۱۴۴
شکل ۵-۵۴ نمودارشاخص آسیب – دریفت برای نمونه های با ضخامت های مختلف FRP ۱۴۵
شکل ۵-۵۵ نمودار هیسترزیس نمونه های با مقاومت بتن مختلف ۱۴۵
شکل ۵-۵۶ نمودار سختی مؤثر - دریفت برای نمونه های با مقاومت بتن مختلف ۱۴۶
شکل ۵-۵۷ نمودار جذب انرژی – دریفت هر چرخه برای نمونه های با مقاومت بتن مختلف ۱۴۶
شکل ۵-۵۸ نمودار هیسترزیس نمونه های با پوشش کامل و منقطع ۱۴۷
شکل ۵-۵۹ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای نمونه های با پوشش کامل و منقطع ۱۴۸
شکل ۵-۶۰ نمودار جذب انرژی هر سیکل - دریفت هر چرخه برای نمونه های با پوشش کامل و منقطع ۱۴۸
شکل ۵-۶۱ نمودارشاخص آسیب – دریفت برای نمونه های با پوشش کامل و منقطع ۱۴۹
شکل ۵-۶۲ نمودار هیسترزیس نمونه های های با زاویه الیاف مختلف ۱۴۹

شکل ۵-۶۳ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای نمونه های با زاویه الیاف مختلف ۱۵۰
شکل ۵-۶۴ نمودار جذب انرژی هر چرخه - دریفت برای نمونه های با زاویه الیاف مختلف ۱۵۰
شکل ۵-۶۵ نمودار شاخص آسیب - دریفت برای نمونه های با زاویه الیاف مختلف ۱۵۱
شکل ۵-۶۶ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_1$ ۱۵۲
شکل ۳-۶۷ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_2$ ۱۵۲
شکل ۵-۶۸ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_3$ ۱۵۳
شکل ۵-۶۹ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_3\text{-}R_1$ ۱۵۳
شکل ۵-۷۰ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_1$ ۱۵۴
شکل ۵-۷۱ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_5\text{-}R_1$ ۱۵۴
شکل ۵-۷۲ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_2$ ۱۵۵
شکل ۵-۷۳ نمودار هیسترزیس برای نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_3$ ۱۵۵
شکل ۵-۷۴ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_1$ ۱۵۶
شکل ۵-۷۵ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_2$ ۱۵۷
شکل ۵-۷۶ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}R_3$ ۱۵۷
شکل ۵-۷۷ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_3\text{-}R_1$ ۱۵۸
شکل ۵-۷۸ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_1$ ۱۵۸
شکل ۵-۷۹ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_5\text{-}R_1$ ۱۵۹
شکل ۵-۸۰ نمودار جذب انرژی– دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_2$ ۱۵۹
شکل ۵-۸۱ نمودار جذب انرژی – دریفت نمونه $C\text{-}L_5\text{-}17\text{-}t_4\text{-}R_3$ ۱۶۰
شکل ۵-۸۲ نمودار سختی مؤثر – دریفت ۸ نمونه ستون با HPFRCC ۱۶۱
شکل ۵-۸۳ نمودار شاخص آسیب - دریفت ستون های مقاوم سازی شده با HPFRCC ۱۶۲
ادامه شکل ۵-۸۳ نمودار شاخص آسیب - دریفت ستون های مقاوم سازی شده با HPFRCC ۱۶۳
شکل ۵-۸۴ پوش منحنی هیسترزیس بار - تغییر مکان جانبی برای نمونه های با ضخامت ژاکت مختلف ۱۶۴
شکل ۵-۸۵ نمودار سختی مؤثر – دریفت برای نمونه های با ضخامت ژاکت مختلف ۱۶۴
شکل ۵-۸۶ نمودار جذب انرژی – دریفت هر چرخه برای نمونه های با ضخامت ژاکت مختلف ۱۶۵
شکل ۵-۸۷ نمودارشاخص آسیب – دریفت برای نمونه های با ضخامت ژاکت مختلف ۱۶۵
شکل ۵-۸۸ پوش منحنی هیسترزیس بار - تغییر مکان جانبی برای نمونه های با نسبت h/b=1 ۱۶۶