بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران

تعیین پارامترهای موردنیاز مفاصل پلاستیک برای تحلیل استاتیکی غیرخطی در ستونهای بتن مسلح مستطیلی مقاوم سازی شده باFRP

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

دانشجو:
سیده مریم حسینی فرد

استاد راهنما:
دکتر مرتضی بسطامی

استاد مشاور:
مهندس بنیامین محبی

اسفند ۱۳۸۹

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

تشکر و قدردانی

با سپاس از پروردگار یکتا

اکنون که به فضل خدا این پایان نامه به سرانجام رسیده، بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد عزیزم جناب آقای دکتر مرتضی بسطامی به خاطر راهنمایی های ارزنده شان در طول انجام پروژه تقدیر و تشکر نمایم؛ همچنین از خداوند متعال آرزوی سلامتی و موفقیت روزافزون برای ایشان دارم. از اساتید محترم، جناب آقای دکتر ساسان عشقی و جناب آقای دکتر محمد بهرامی هم که زحمت داوری پروژه اینجانب را متقبل شدند، سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین از جناب آقای مهندس بنیامین محبی که در امر مشاوره پایان نامه مرا یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

Ministry of science, research and technology

Imam Khomeini international university

Faculty of engineering-Civil Engineering Department

Plastic hinge characteristics of RC Rectangular Columns with Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

By:

S. Maryam Hosseinifard

A Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in

Structural Engineering

Supervisor:

M. Bastami

Advisor:

B. Mohebi

March 2011

Abstract:

In recent decades, extensive researches have been carried out onsteel and concrete members of structures like columns under earth quake forces. Usually, confinement of columns is done in design phase with applying ties and after construction with using FRP(Fiber Reinforced Polymer).
One of the important problems after reinforcing is investigating the efficiency of these reinforcements via nonlinear static analysis and modeling the exact properties of material having plastic hinges specifications.
In FEMA-356, plastic hinges specifications for steel reinforced concrete columns are determined. In this research the plastic hinges specifications for FRP reinforced columns are determined. With these specifications, one can use nonlinear static analysis instead of nonlinear dynamic analysis. Twenty samples of rectangular reinforced concrete column under compression andbending are designed; for modeling and nonlinear analysis of samples LS-DYNA-971 finite element software is used. The samples are reinforced with FRP covering in plastic hinge zones and hysteresis force-displacement diagrams under cyclic displacements are obtained. The results of hysteresis diagrams of steel reinforced concrete samples are accord with the IranianInstruction for seismic Rehabilitation of Existing Buildings.
Beside, surveying the obtained results for FRP reinforced concrete columnsdemonstrate that these reinforcing will increase the parameter a, b and c 59%, 14% and 41% and the plastic hinges specifications for these columns are given in a table.

چکیده:

درچند دهه اخیر، مقاوم‌سازی سازه‌ها و افزایش مقاومت و انعطاف پذیری آنها در برابر نیروهای زلزله مطرح شده و کارهای گوناگونی در ارتباط با مقاوم‌سازی اعضای فولادی و بتنی سازه‌ها صورت گرفته است. ستون‌ها از جمله اعضایی هستند که مقاوم‌سازی آنها از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و ناحیه مفصل پلاستیک، ناحیه بسیار آسیب پذیر در این اعضاء می‌باشد. معمولاً در مرحله طراحی ایجاد محصورشدگی در ستون با استفاده از خاموت گذاری و بعد از ساخت، با بکارگیری پوشش FRP (Fiber Reinforced Polymer) انجام می‌گیرد.

ازمسائل مهمی‌که بعد از تقویت مطرح می‌شود بررسی کفایت این تقویت‌ها می‌باشد که از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و مدل‌سازی دقیق مشخصات مصالح و نیز با داشتن مشخصات مفاصل پلاستیک امکان پذیر می‌باشد.

با توجه به آن که در دستورالعمل FEMA-356 مشخصات مفاصل پلاستیک، تنها برای ستون‌های معمولی (تقویت نشده) تعیین شده در این تحقیق سعی بر آن است تا برای ستون‌های تقویت شده با FRP نیز مشخصات مفاصل پلاستیک تعیین شوند. بنابراین هدف این تحقیق بررسی تأثیر بهسازی ستون‌های بتن آرمه مستطیلی با الیاف پلیمری و منظور از آن دستیابی به مشخصات مفاصل پلاستیک این ستون‌ها می‌باشد تا با داشتن این مشخصات بتوان به جای استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی برای آنالیز ستون‌های تقویت شده، از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده کرد؛ که این مسئله موجب ساده‌سازی قابل قبولی جهت تحلیل ستون‌های تقویت شده می‌شود. برای این منظور بیست نمونه ستون بتن آرمه مستطیلی تحت نیروی فشاری و خمش طراحی شدند و مقدار آرماتور طولی و عرضی آنها بدست آمد؛ برای مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی نمونه‌ها از نرم افزار اجزا محدود LS-DYNA-971 استفاده شده است. نمونه‌ها با استفاده از پوشش FRP در ناحیه مفصل پلاستیک ستون‌ها تقویت شدند و منحنی‌های هیسترزیس نیرو- تغییرمکان آنها تحت تغییرمکان‌های سیکلی بدست آمد. نتایج بدست آمده از منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌های بدون تقویت با مقادیر ارائه شده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های ایران مطابقت دارند. همچنین بررسی نتایج بدست آمده برای ستون‌های بتن مسلح تقویت شده با FRP نشان می‌دهد که این نوع تقویت به طور متوسط سبب افزایش پارامتر a به مقدار ۵۹٪ ، پارامتر b به مقدار ۱۴٪ و پارامتر c به مقدار ۴۱٪ گردیده است؛ همچنین مشخصات مفاصل پلاستیک مربوط به ستون‌های مقاوم‌سازی شده با FRP به صورت جدولی ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) معرفی مساله ۲

۱-۳) دامنه کار ۳

۱-۴) چهارچوب پایان نامه ۴

فصل دوم : معرفی مساله و پیشینه تحقیق ۵

۲-۱) پیشینه کاربرد کامپوزیت‌های پلیمری در ساخت و سازهای عمرانی ۵

۲-۱-۱) تعمیر و بهسازی اعضای سازه‌ای با استفاده از FRP ۶

۲-۱-۱-۱) مقاوم‌سازی تیرهای بتن مسلح با استفاده از FRP ۶

۲-۱-۱-۲) مقاوم‌سازی ستون‌های بتن مسلح با استفاده از FRP ۷

۲-۱-۱-۳) مقاوم‌سازی اتصال تیر-ستون RC با استفاده از FRP ۹

۲-۲) مروری برتحقیقات انجام شده در زمینه ستون‌های بتن مسلح تقویت شده ۹

فصل سوم: کلیات و مفاهیم اساسی ۱۲

۳-۱) مقدمه ۱۲

۳-۲) مدل‌های مقاومت فشاری و تنش-کرنش بتن محصور شده با خاموت و FRP ۱۲

۳-۲-۱) مدل تنش-کرنش تئوری برای بتن محصورشده با خاموت با مقطع مستطیلی ۱۲

۳-۲-۲) مدل تنش-کرنش تئوری برای بتن محصورشده با FRP با مقطع مستطیلی ۱۶

۳-۳) مروری بر کامپوزیت‌ها، خواص و کاربرد آنها ۲۴

۳-۳-۱)جنس ورق‌های FRP ۲۶

۳-۳-۲) رزین‌ها ۲۹

۳-۴) انواع سیستم‌های FRP ۳۰
۳-۵) عملکرد ستون در برابر زلزله ۳۱
۳-۶) آسیب وارده به ستون‌ها در زلزله‌های گذشته ۳۳
۳-۷) تغییرشکل نهایی و شکل پذیری اعضای خمشی ۳۶
۳-۷-۱) شکل پذیری خمشی ستون‌های مقاوم شده ۳۷
۳-۸) طراحی بر اساس عملکرد ۳۹
۳-۹) معرفی روش تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور) ۴۰
۳-۹-۱) مزایای استفاده از تحلیل پوش آور در طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد ۴۰
۳-۹-۲) برآورد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و اهمیت کاربرد تحلیل پوش آور ۴۲
۳-۹-۳) اصول تحلیل پوش آور ۴۲
۳-۱۰) رفتار اعضای سازه‌ای با توجه به منحنی نیرو-تغییرشکل ۴۶
۳-۱۱) معیارهای پذیرش برای روش‌های غیرخطی ستون‌های بتن مسلح بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها و FEMA-356 ..... ۴۷
۳-۱۲) مفاصل پلاستیک ستون‌ها ۴۸
۳-۱۳) جمع بندی ۵۰
فصل چهارم: مدل‌سازی غیرخطی با نرم افزار و بررسی صحت آن ۵۱
۴-۱) مقدمه ۵۱
۴-۲) جایگاه و اهمیت کالیبراسیون نرم افزار ۵۱
۴-۳) معرفی اجمالی نرم افزار LS-DYNA ۵۲
۴-۳-۱) انواع المان‌ها ۵۲
۴-۳-۱-۱) المان‌های بتن مسلح ۵۲
۴-۳-۱-۲) المان‌های کامپوزیت FRP ۵۳
۴-۳-۲) مشخصات مصالح ۵۳

۴-۳-۲-۱) بتن ۵۳
۴-۳-۲-۲) فولاد..... ۵۶
۴-۳-۲-۳) مصالح FRP..... ۵۷
۴-۳-۳) نحوه اتصال المان‌ها..... ۵۸
۴-۳-۴) بارگذاری و شرایط مرزی..... ۵۸
۴-۴) معرفی مشخصات هندسی ستون‌های بکار رفته در اعتبار سنجی..... ۵۹
۴-۵) نتایج بدست آمده از آنالیز اجزا محدود برای ستون‌های با ابعاد واقعی ۶۰
۴-۶) پیداکردن پارامترهای مفاصل پلاستیک..... ۶۹
۴-۷) بررسی روش انتخاب شده برای تقویت ستون‌ها..... ۷۳
فصل پنجم: مدل‌سازی ستون‌های بتن مسلح تقویت شده با FRP و نتایج تحلیل آنها..... ۷۴
۵-۱) مقدمه ۷۴
۵-۲) معرفی ستون‌ها در ابعاد واقعی..... ۷۴
۵-۳) مدل‌سازی نمونه‌ها در نرم افزار..... ۷۶
۵-۴) استخراج نتایج مورد نیاز از نرم افزار..... ۷۷
فصل ششم: خلاصه و بررسی نتایج..... ۱۰۵
۶-۱) خلاصه..... ۱۰۵
۶-۲) بررسی مقادیر بدست آمده برای پارامتر a با توجه به نسبت نیروهای برشی و محوری ۱۰۶
۶-۳) بررسی پارامتر a از نقطه نظر واجد شرایط و یا فاقد شرایط بودن از لحاظ آرماتور عرضی.. ۱۱۰
۶-۴) بررسی مقادیر بدست آمده برای پارامتر b با توجه به نسبت نیروهای برشی و محوری..... ۱۱۱
۶-۵) بررسی پارامتر b از نقطه نظر واجد شرایط و یا فاقد شرایط بودن از لحاظ آرماتور عرضی.. ۱۱۵
۶-۶) بررسی پارامتر c با توجه به مقادیر نیروی محوری و برشی در شرایط C و NC..... ۱۱۶
۶-۷) بررسی مقادیر پارامترهای a و b در ستون‌های واجد شرایط (C) و فاقد شرایط (NC) از لحاظ آرماتور عرضی..... ۱۱۹

۶-۸) بررسی درصد افزایش پارامترهای a و b در ستون‌های واجد شرایط (C) و فاقد شرایط (NC) از لحاظ آرماتور عرضی ۱۲۰

۶-۹) پیش بینی محل تشکیل مفاصل پلاستیک در قاب یک دهانه بتن مسلح با ستون های تقویت شده ۱۲۱

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۲۴

۷-۱) نتیجه گیری ۱۲۴

۷-۲) پیشنهادها ۱۲۵

فهرست مراجع ۱۲۷

فهرست اشکال

شکل ۳- ۱- منحنی تنش –کرنش پیشنهادی مندر ۱۳
شکل ۳- ۲- هسته محصورشده به طور موثر توسط آرماتورگذاری عرضی مستطیلی ۱۵
شکل ۳- ۳- نمونه‌های بتنی محصورشده توسط FRP ۱۶
شکل ۳- ۴- ناحیه محصورشده به طور موثر در یک ستون مستطیلی در اثر عملکرد قوسی ۱۷
شکل ۳- ۵- مدل پیشنهادی برای بتن محصورشده با FRP ۲۰
شکل ۳- ۶- محصورشدگی ستون بتنی با پوشش‌های کامپوزیت FRP ۲۱
شکل ۳- ۷- پیچیدن صفحات FRP دور اعضای بتنی ۲۵
شکل ۳- ۸- نمودار تنش-کرنش نمونه‌های استوانه‌ای مجهز به صفحات دورپیچ با ضخامت‌های مختلف ۲۶
شکل ۳- ۹- نمودار تنش –کرنش فیبر کربن و شیشه در مقایسه با فولاد ۲۷
شکل ۳- ۱۰- عملکرد سازه هنگام تشکیل مفصل پلاستیک الف- بر روی ستون ب- بر روی تیر ۳۲
شکل ۳- ۱۱- تاثیر نیروی محوری بر رفتار کاهنده ستون ۳۲
شکل ۳- ۱۲- آسیب وارده به ستون در اثر فشار محوری زیاد و لنگر خمشی سیکلی ۳۳
شکل ۳- ۱۳- آسیب وارده به ستون در اثر بار محوری زیاد و برش ۳۴
شکل ۳- ۱۴- آسیب وارده در اثر بار محوری زیاد و برش ۳۴
شکل ۳- ۱۵- گسیختگی به صورت شکاف انفجارگونه یک ستون کوتاه ۳۵
شکل ۳- ۱۶- تمرکز نیروی برشی عظیم در ستون‌های کوتاه پیرامونی یک ساختمان ۳۵
شکل ۳- ۱۷- رفتار بار- تغییرمکان اعضای خمشی ۳۶
شکل ۳- ۱۸- تعیین حداکثر جابجایی بر اساس، (الف) افت بار از حالت حداکثر؛ (ب) شکست و یا کمانش میلگرد ۳۷
شکل ۳- ۱۹- تغییرشکل پلاستیک ستون‌های بتن مسلح تحت اثر بارهای لرزه‌ای ۳۸

شکل ۳- ۲۰- نمایش ایجاد یک سیستم یک درجه آزادی معادل از یک منحنی پوش آور یا منحنی ظرفیت ۴۳
شکل ۳- ۲۱- منحنی طیف ظرفیت و منحنی طیف تقاضا با میرایی‌های متفاوت همراه با یکدیگر .. ۴۴
شکل ۳- ۲۲- اشکال مختلف توزیع بار ۴۶
شکل ۳- ۲۳- سه نوع منحنی نیرو-تغییرشکل ۴۶
شکل ۳- ۲۴- رابطه بار-تغییرشکل کلی (تعمیم یافته) برای اعضا و اجزا بتنی. ۴۷
شکل ۴- ۱- المان solid بتن مسلح ۵۲
شکل ۴- ۲- المان truss ۵۳
شکل ۴- ۳- المان Shell دو بعدی ۵۳
شکل ۴- ۴- اعتبارسنجی منحنی فشار – کرنش حجمی برای بتنی با $fc' = 41\ MPa$ ۵۵
شکل ۴- ۵- تنش محوری – کرنش محوری برای مکعب واحد تحت شرایط تک محوری ۵۵
شکل ۴- ۶- منحنی تنش کششی محوری-کرنش محوری مکعب واحد تحت کشش تک محوری ... ۵۵
شکل ۴- ۷- رفتار الاستیک-پلاستیک با سخت شوندگی کینماتیک و ایزوتروپیک ۵۶
شکل ۴- ۸- طرح کلی کامپوزیت‌های FRP ۵۷
شکل ۴- ۹- اتصال المان‌ها(a) المانSolid بتن به المان truss (b) المانSolid بتن به المان Shell.. ۵۸
شکل ۴- ۱۰- الگوی بارگذاری جانبی اعمال شده به نمونه‌ها ۵۹
شکل ۴- ۱۱- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی ۶۰
شکل ۴- ۱۲- مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر مکان برای ستون 1-NO FRP ۶۱
شکل ۴- ۱۳- نیروی محوری ایجاد شده در آرماتورهای طولی در اولین لحظه تسلیم در نمونه 1-NO FRP ۶۲
شکل ۴- ۱۴- کانتور کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده در بتن نمونه 1-NO FRP ۶۲
شکل ۴- ۱۵- کمانش آرماتورها در هنگام شکست ستون 1-NO FRP ۶۳
شکل ۴- ۱۶- مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر مکان برای ستون 3-With FRP ۶۳

شکل ۴- ۱۷- کانتور کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده در نمونه با FRP ۶۴
شکل ۴- ۱۸- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل 2-NO FRP ۶۵
شکل ۴- ۱۹- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل 2-NO FRP ۶۵
شکل ۴- ۲۰- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل 3-NO FRP ۶۶
شکل ۴- ۲۱- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل 3-NO FRP ۶۶
شکل ۴- ۲۲- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل 4-NO FRP ۶۷
شکل ۴- ۲۳- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل 4-NO FRP ۶۷
شکل ۴- ۲۴- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل 5-NO FRP ۶۸
شکل ۴- ۲۵- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل 5-NO FRP ۶۸
شکل ۴- ۲۶- رسم پوش منحنی هیسترزیس ۶۹
شکل ۴- ۲۷- ایده آل‌سازی پوش منحنی هیسترزیس ۶۹
شکل ۴- ۲۸- رابطهٔ بار- تغییر شکل کلی برای اعضای بتنی ۷۰
شکل ۴- ۲۹- تعریف چرخش ستون یا θ ۷۰
شکل ۴- ۳۰- منحنی پوش و ایده آل مدل2-NO FRP ۷۱
شکل ۴- ۳۱- منحنی پوش و ایده آل مدل3-NO FRP ۷۱
شکل ۴- ۳۲- منحنی پوش و ایده آل مدل4-NO FRP ۷۲
شکل ۴- ۳۳- منحنی پوش و ایده آل مدل5-NO FRP ۷۲
شکل ۵- ۱- نحوه مدل‌سازی و مش بندی یک نمونه مدل تقویت شده از گروه A در نرم افزار ۷۶
شکل ۵- ۲- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل ۱ ۷۸
شکل ۵- ۳- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل۱ ۷۸
شکل ۵- ۴- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱ ۷۸
شکل ۵- ۵- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل ۲ ۷۹
شکل ۵- ۶- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل۲ ۷۹

شکل ۵- ۷- منحنی پوش و ایده آل مدل ۲ ..... ۸۰
شکل ۵- ۸- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل ۳ ..... ۸۱
شکل ۵- ۹- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۳ ..... ۸۱
شکل ۵- ۱۰- منحنی پوش و ایده آل مدل ۳ ..... ۸۱
شکل ۵- ۱۱- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل ۴ ..... ۸۲
شکل ۵- ۱۲- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۴ ..... ۸۳
شکل ۵- ۱۳- منحنی پوش و ایده آل مدل ۴ ..... ۸۳
شکل ۵- ۱۴- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل ۵ ..... ۸۳
شکل ۵- ۱۵- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۵ ..... ۸۴
شکل ۵- ۱۶- منحنی پوش و ایده آل مدل ۵ ..... ۸۴
شکل ۵- ۱۷- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۶ ..... ۸۴
شکل ۵- ۱۸- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۶ ..... ۸۵
شکل ۵- ۱۹- منحنی پوش و ایده آل مدل ۶ ..... ۸۵
شکل ۵-۲۰- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۷ ..... ۸۶
شکل ۵-۲۱- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۷ ..... ۸۶
شکل ۵-۲۲- منحنی پوش و ایده آل مدل ۷ ..... ۸۷
شکل ۵- ۲۳- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۸ ..... ۸۷
شکل ۵- ۲۴- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۸ ..... ۸۸
شکل ۵- ۲۵- منحنی پوش و ایده آل مدل ۸ ..... ۸۸
شکل ۵- ۲۶- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۹ ..... ۸۹
شکل ۵- ۲۷- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۹ ..... ۸۹
شکل ۵- ۲۸- منحنی پوش و ایده آل مدل ۹ ..... ۸۹
شکل ۵- ۲۹- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۰ ..... ۹۰

شکل ۵- ۳۰- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۰ ..... ۹۰
شکل ۵- ۳۱- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۰ ..... ۹۰
شکل ۵- ۳۲- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۱ ..... ۹۱
شکل ۵- ۳۳- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۱ ..... ۹۲
شکل ۵- ۳۴- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۱ ..... ۹۲
شکل ۵- ۳۵- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۲ ..... ۹۳
شکل ۵- ۳۶- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۲ ..... ۹۳
شکل ۵- ۳۷- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۲ ..... ۹۳
شکل ۵- ۳۸- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۳ ..... ۹۴
شکل ۵- ۳۹- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۳ ..... ۹۴
شکل ۵- ۴۰- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۳ ..... ۹۵
شکل ۵- ۴۱- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۴ ..... ۹۶
شکل ۵- ۴۲- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۴ ..... ۹۶
شکل ۵- ۴۳- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۴ ..... ۹۶
شکل ۵- ۴۴- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۵ ..... ۹۷
شکل ۵- ۴۵- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۵ ..... ۹۷
شکل ۵- ۴۶- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۵ ..... ۹۸
شکل ۵- ۴۷- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۶ ..... ۹۸
شکل ۵- ۴۸- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۶ ..... ۹۹
شکل ۵- ۴۹- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۶ ..... ۹۹
شکل ۵- ۵۰- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۷ ..... ۹۹
شکل ۵- ۵۱- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۷ ..... ۱۰۰
شکل ۵- ۵۲- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۷ ..... ۱۰۰

شکل ۵- ۵۳- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۸ ..... ۱۰۱
شکل ۵- ۵۴- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۸ ..... ۱۰۱
شکل ۵- ۵۵- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۸ ..... ۱۰۲
شکل ۵- ۵۶- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۱۹ ..... ۱۰۲
شکل ۵- ۵۷- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۱۹ ..... ۱۰۳
شکل ۵- ۵۸- منحنی پوش و ایده آل مدل ۱۹ ..... ۱۰۳
شکل ۵- ۵۹- منحنی هیسترزیس نیرو-تغییرمکان مدل۲۰ ..... ۱۰۳
شکل ۵- ۶۰- منحنی هیسترزیس لنگر-دوران مدل ۲۰ ..... ۱۰۴
شکل ۵- ۶۱- منحنی پوش و ایده آل مدل ۲۰ ..... ۱۰۴
شکل۶- ۱- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.1$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۶
شکل۶- ۲- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.4$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۷
شکل۶- ۳- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $2V/Vc = 6.5$ نسبت به مقادیر $P/Agfc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۷
شکل۶- ۴- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.1$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۸
شکل۶- ۵- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.05$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۸
شکل۶- ۶- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.4$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۹
شکل۶- ۷- بررسی مقدار پارامتر a در حالت $P/Agfc = 0.7$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۰۹
شکل۶- ۸- بررسی مقدار پارامتر a در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۰

شکل۶- ۹- بررسی مقدار پارامتر a در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۱
شکل۶- ۱۰- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.1$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۱
شکل۶- ۱۱- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.4$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۲
شکل۶- ۱۲- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $2V/Vc = 6.5$ نسبت به مقادیر $P/Agfc$ در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۲
شکل۶- ۱۳- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.1$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۳
شکل۶- ۱۴- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.05$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۳
شکل۶- ۱۵- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.4$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۴
شکل۶- ۱۶- بررسی مقدار پارامتر b در حالت $P/Agfc = 0.7$ نسبت به مقادیر $2V/Vc$ در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۴
شکل۶- ۱۷- بررسی مقدار پارامتر b در نمونه‌های واجد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۵
شکل۶- ۱۸- بررسی مقدار پارامتر b در نمونه‌های فاقد شرایط از لحاظ آرماتور عرضی ۱۱۵
شکل۶- ۱۹- بررسی مقدار پارامتر c در نمونه‌های C نسبت به $2V/Vc \geq 6$ ۱۱۶
شکل۶- ۲۰- بررسی مقدار پارامتر c در نمونه‌های NC نسبت به $2V/Vc \leq 3$ ۱۱۶
شکل۶- ۲۱- بررسی مقدار پارامتر c در نمونه‌های NC نسبت به $2V/Vc \geq 6$ ۱۱۷
..... ۱۱۸
شکل۶- ۲۲- مقایسه مقادیر پارامتر a نسبت به مقدار برش و فشار وارده در ستون‌های گروه B..... ۱۱۸
شکل۶- ۲۳- مقایسه مقادیر پارامتر a نسبت به مقدار برش و فشار وارده در ستون‌های گروه A ۱۱۸
شکل۶- ۲۴- مقایسه مقادیر پارامتر b نسبت به مقدار برش و فشار وارده در ستون‌های گروه B ۱۱۹

شکل۶- ۲۵- مقایسه مقادیر پارامتر b نسبت به مقدار برش و فشار وارده در ستون‌های گروه A ۱۱۹
شکل۶- ۲۶- مقادیر پارامتر a در ستون‌های C و NC.....۱۲۰
شکل۶- ۲۷- مقادیر پارامتر b در ستون‌های C و NC.....۱۲۰
شکل۶- ۲۸- میانگین درصد افزایش پارامترهای a و b در نمونه‌های هر ردیف.....۱۲۱
شکل۶- ۲۹- نحوه آرماتورگذاری قاب بتن مسلح ۱۲۲
شکل۶- ۳۰- تشکیل مفصل پلاستیک در تیر ۱۲۳
شکل۶- ۳۱- تشکیل مفصل پلاستیک در ستون‌ها ۱۲۳

فهرست جداول

جدول ۳- ۱- مقادیر سختی‌های مؤثر ۴۸

جدول ۳- ۲- پارامترهای مدلسازی و معیارهای کمی پذیرش برای روش‌های غیرخطی – ستون‌های بتن مسلح ۴۹

جدول ۴- ۱- مشخصات بتن مورد استفاده برای نمونه‌ها ۵۴

جدول ۴- ۲- منحنی فشار – کرنش حجمی پیش فرض نرم افزار ۵۴

جدول ۴- ۳- مشخصات آرماتور مورد استفاده برای نمونه‌ها ۵۶

جدول ۴- ۴- مشخصات CFRP مورد استفاده برای نمونه‌ها ۵۸

جدول ۴- ۵- مشخصات نمونه‌های مدل شده جهت اعتبارسنجی ۶۰

جدول ۴- ۶- مقایسه نتایج بدست آمده برای ستون‌های بدون FRP ۷۳

جدول ۵-۱- مشخصات کلی دو دسته ستون مدل شده ۷۵

جدول ۵-۲- مشخصات آرماتورگذاری مدل‌ها ۷۵

جدول ۶-۱- مشخصات کلی تیر و ستون قاب مدل شده ۱۲۱

جدول ۷- ۱- مشخصات مفاصل پلاستیک در ستون‌ها بعد از تقویت با CFRP ۱۲۴