پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش سازه

پیش‌بینی مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستون بتنی مربعی محصورشده با FRP با استفاده از منطق فازی

احسان نوحی 9023044

استاد راهنما:

دکتر کورش نصراله زاده نشلی

شهریور 1392

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

از استاد گرامی و ارجمند جناب آقای دکتر نصراله‌زاده که در به ثمر رساندن این پایان نامه راهنمایی و کمک شایانی را به اینجانب کرده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم و سلامتی و موفقیت روزافزون ایشان را از خداوند متعال خواهانم.

چکیده

دورپیچ نمودن ستونهای بتنی با صفحات کامپوزیتی از جنس پلیمرهای مسلح شده با الیاف، موسوم به ورقه‌های FRP، از جمله شیوه‌های نوین در بهسازی سازه‌ها محسوب می‌گردد. بخش وسیعی از تحقیقات در مورد عملکرد ستونهای دورپیچ‌شده با FRP به ستونهای با مقطع مدور اختصاص دارد و اثر محصورکنندگی دورپیچ FRP در مقطع مربعی کمتر مورد توجه قرارگرفته است. در این تحقیق مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی نمونه‌های بتنی مربعی محصورشده با FRP، با استفاده از منطق فازی مدل می شوند. همچنین روابط صریح مدلهای فازی پیشنهادی که مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستون بتنی مربعی محصورشده با FRP را به صورت تابعی از عرض و شعاع گردی گوشه مقطع، مقاومت مشخصه بتن، کل ضخامت دورپیچ FRP، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته FRP بیان می کنند، ارائه شده‌است. دقت نتایج به دست آمده از مدلهای فازی پیشنهادی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی شامل 182 نمونه برای مقاومت فشاری و 66 نمونه برای کرنش محوری نهایی که از مقالات انتشار یافته استخراج گردیده اند، بسیار رضایت بخش می باشد. علاوه براین از مقایسه مدلهای فازی با تعدادی از مدلهای موجود که توسط محققان مختلف ارائه شده اند، مشاهده می شود که مدلهای پیشنهادی دقت بهتری نسبت به سایر مدلهای موجود دارند.

کلید واژه: ستون بتنی؛ مقطع مربعی؛ محصورشدگی؛ ورقه های FRP؛ منطق فازی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدولها ..... ه

فهرست شکلها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

فصل ۲- معرفی ویژگیهای FRP ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- کامپوزیتهای FRP ۱۶

فصل ۳- محصورسازی بتن با FRP ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- تنش محصورکننده دورپیچ FRP ۲۳

۳-۲-۱- محصورسازی ستون بتنی مدور با FRP ۲۳

۳-۲-۲- کرنش نهایی دورپیچ FRP ۲۵

۳-۲-۳- دورپیچ ستونهای چهار ضلعی با FRP ۲۶

۳-۳- منحنی تنش-کرنش بتن محصورشده ۲۸

۳-۴- منحنی رفتاری ستونهای محصورشده با FRP 31

فصل ۴- روشهای موجود تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستونهای بتنی چهارضلعی دورپیچ شده با FRP ۳۴

۴-۱- ستون مستطیلی محصورشده با FRP ۳۵

۴-۱-۱- ضریب شکل مقطع k_s ۳۶

۴-۱-۲- تنش محصورشدگی f_l ۳۸

۴-۲- مدلهای موجود برای محاسبه مقاومت فشاری ستونهای چهارضلعی دورپیچ شده با FRP ۴۰

۴-۲-۱- مدل میرمیران و همکاران ۴۱

۴-۲-۲- مدل کمپیونه و میراگلیا ۴۳

۴-۲-۳- مدل السلّوم ۴۴
۴-۲-۴- مدل لم و تنگ ۴۵
۴-۲-۴-۱- ستون مدور معادل ۴۶
۴-۲-۴-۲- ضرایب شکل ۴۷
۴-۲-۵- مدل ایلکی و همکاران ۴۹
۴-۲-۶- مدل وو و ونگ ۵۰
۴-۲-۷- مدل پانتلیدس و یان ۵۰
۴-۲-۸- مدل شهاتا و همکاران ۵۱
۴-۲-۹- مدل کوموتا و همکاران ۵۲
۴-۳- مدلهای موجود برای محاسبه کرنش محوری نهایی ستونهای چهارضلعی دورپیچ شده باFRP..... ۵۳
۴-۳-۱- مدل کمپیونه و میراگلیا ۵۳
۴-۳-۲- مدل لم وتنگ ۵۴

فصل ۵- پیش‌بینی مقاومت‌فشاری و کرنش محوری نهایی ستون‌بتنی مربعی محصورشده با FRP با استفاده از منطق‌فازی ۵۸

۵-۱- تاریخچه مختصری از تئوری و کاربردهای فازی ۵۹
۵-۱-۱- انواع سیستمهای فازی ۶۴
۵-۱-۲- نحوه کاربرد سیستم های فازی در تعدادی تولیدات مصرفی و سیستم های صنعتی ۶۹
۵-۱-۳- تئوری فازی ۷۳
۵-۱-۴- مجموعه های فازی و عملیات اساسی بر روی مجموعه های فازی ۷۴
۵-۱-۵- خوشه بندی کاهشی ۷۶
۵-۱-۶- شناسایی مدل فازی اولیه ۸۰
۵-۱-۷- بهینه سازی مدل فازی ۸۱
۵-۲- ساخت مدل فازی برای مقاومت فشاری ستونهای بتنی مربعی محصورشده با FRP..... ۸۲
۵-۳- ساخت‌مدل‌فازی برای‌کرنش‌محوری‌نهایی‌ستونهای بتنی مربعی محصورشده با FRP..... ۸۷

فصل ۶- بحث و بررسی ۹۳

۶-۱- مقاومت فشاری ۹۴
۶-۱-۱- مقایسه مدلهای موجود و مدل فازی پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی ۹۴
۶-۱-۲- مقایسه مدل فازی پیشنهادی با مدلهای موجود ۱۰۲
۶-۱-۳- مطالعه‌موردی‌بر روی‌اثر شعاع‌گوشه،مقاومت‌مشخصه‌بتن‌وضخامت FRP بر نتایج‌مدل ۱۰۴

۶-۲- کرنش محوری نهایی ۱۰۹
۶-۲-۱- مقایسه مدلهای موجود و مدل فازی پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی ۱۰۹
۶-۲-۲- مقایسه مدل فازی پیشنهادی با مدلهای موجود ۱۱۳
۶-۲-۳- مطالعه‌موردی‌بر روی‌اثر شعاع‌گوشه،مقاومت‌مشخصه‌بتن‌وضخامت FRP بر نتایج‌مدل ۱۱۵
فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۱۲۰
ضمیمه أ -فلوچارت برنامه subclust ۱۲۶
ضمیمه ب -فلوچارت برنامه genfis2 ..... ۱۳۰
ضمیمه ج - جزئیات مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی مقاومت فشاری نمونه ستونهای بتنی مربعی محصور شده با FRP ۱۳۸
ضمیمه د - جزئیات مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی کرنش محوری نهایی نمونه ستونهای بتنی مربعی محصور شده با FRP ۱۳۹
فهرست مراجع ۱۴۰
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۱۵۰
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۵۲

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
سطح مؤثر محصورشده	A_{conf}
کل سطح مقطع ستون	A_{gross}
قطر هسته بتنی محصورشده	D
مدول الاستیسیته FRP	E_{frp}
حداکثر نیروی محوری قابل تحمل مقطع	P_u
عرض مقطع	b
مقاومت کششی FRP	f_{frp}
مقاومت فشاری بتن محصورشده	f'_{cc}
مقاومت فشاری بتن محصورنشده	f'_{co}
تنش فشاری نهایی بتن محصورشده	f'_{cu}
تنش فشاری محصورکننده	f_l
ارتفاع مقطع	h
ضریب تأثیر محصورشدگی	k_1
ضریب شکل مقطع	k_s
ضریب کارآیی دورپیچ FRP	k_ε
شعاع گردی گوشه مقطع	r
کل ضخامت دورپیچ FRP	t
کرنش نظیر مقاومت فشاری مقطع محصورشده	ε_{cc}
کرنش متناظر با حد مقاومت بتن محصور نشده	ε_{co}
کرنش نهایی بتن محصورشده	ε_{cu}
کرنش کششی نهایی FRP	ε_{frp}
مقدار واقعی کرنش گسیختگی حلقوی FRP	$\varepsilon_{h,rup}$
کرنش نهایی FRP در کشش	ε_j
نسبت حجمی FRP	ρ_{frp}
حداکثر تنش کششی در دورپیچ FRP	σ_j

فهرست جدولها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: مدلهای پیش بینی مقاومت فشاری برای ستونهای چهارضلعی دورپیچ شده با **FRP** ۵۶

جدول ۴-۲: مدلهای پیش بینی کرنش محوری نهایی برای ستونهای چهارضلعی دورپیچ شده با **FRP** ۵۷

جدول ۵-۱: نتایج به دست آمده برای مدل های فازی مقاومت فشاری با مقادیر مختلف r_a ۸۵

جدول ۵-۲: مختصات مراکز خوشه مدل فازی پیشنهادی مقاومت فشاری (r_a=0/8525) ۸۵

جدول ۵-۳: ضرایب بهینه شده قسمت تالی قوانین مدل فازی پیشنهادی مقاومت فشاری (r_a=0/8525) ۸۵

جدول ۵-۴: نتایج به دست آمده برای مدل های فازی کرنش محوری نهایی با مقادیر مختلف r_a ۸۹

جدول ۵-۵: نتایج به دست آمده برای‌مدل‌های فازی‌کرنش‌محوری‌نهایی‌با مقادیر مختلف r_a ($\bar{\varepsilon}$ =0.5، $\underline{\varepsilon}$ =0.15) ۸۹

جدول ۵-۶: نتایج به دست آمده برای‌مدل‌های فازی‌کرنش‌محوری‌نهایی‌با مقادیر مختلف r_a (η=1.25) ۹۰

جدول ۵-۷: مختصات مراکز خوشه مدل فازی پیشنهادی کرنش محوری نهایی (r_a=0/95) ۹۰

جدول ۵-۸: ضرایب بهینه شده قسمت تالی قوانین مدل فازی پیشنهادی کرنش محوری نهایی (r_a=0/95)..... ۹۰

جدول ۶-۱: اطلاعات آماری داده های آزمایشگاهی جمع آوری شده برای مقاومت فشاری ۹۵

جدول ۶-۲: اطلاعات آماری داده های آزمایشگاهی به کار رفته به عنوان داده‌های آموزش(**training data**) و داده‌های آزمایش(**testing data**) در مدل فازی پیشنهادی برای مقاومت فشاری ۹۵

جدول ۶-۳: مقدار خطا، میانگین و ضریب تغییرات مدلهای پیش‌بینی مقاومت فشاری نسبت به نتایج آزمایشگاهی ..۱۰۲

جدول ۶-۴: اطلاعات آماری داده های آزمایشگاهی جمع آوری شده برای کرنش محوری نهایی ۱۱۰

جدول ۶-۵: اطلاعات آماری داده های آزمایشگاهی به کار رفته به عنوان داده‌های آموزش(**training data**) و داده‌های آزمایش(**testing data**) در مدل فازی پیشنهادی برای کرنش محوری نهایی ۱۱۰

جدول ۶-۶: مقدار خطا، میانگین و ضریب تغییرات مدلهای پیش‌بینی‌کرنش‌محوری‌نهایی نسبت به نتایج آزمایشگاهی ۱۱۳

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: منحنی های تنش - کرنش برای مصالح ترد و شکل پذیر بارگذاری شده تا حدشکست. ۱۲

شکل ۲-۲: خرابی ستون بتن آرمه و کمانش آرماتورهای طولی..... ۱۴

شکل ۲-۳: خرابی به علت کمبود طول وصله در بالا و پایین ستون. ۱۴

شکل ۲-۴: اجزای اصلی تشکیل دهنده مصالح الیافی پلیمری **FRP**..... ۱۷

شکل ۳-۱: توزیع تنش وارد بر روکش پیرامونی و هسته مدور بتنی. ۲۴

شکل ۳-۲: ناحیه مؤثر محصورشده در ستون با مقطع مستطیلی. ۲۷

شکل ۳-۳: نمودار تنش - کرنش بتن..... ۳۰

شکل ۳-۴: نمودار تنش - کرنش بتن محصورشده با **FRP**. ۳۱

شکل ۴-۱: ناحیه مؤثر محصورشده در ستون با مقطع چهارضلعی مطرح شده توسط لم و تنگ..... ۳۷

شکل ۴-۲: تأثیر شعاع گوشه بر مقدار k_s. ۳۷

شکل ۴-۳: تعریف قطر معادل مقطع. ۳۹

شکل ۴-۴: مقطع دایره ای معادل برای مقطع مستطیلی دورپیچ شده با **FRP** برای مدل لم و تنگ. ۴۷

شکل ۵-۱: ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص..... ۶۵

شکل ۵-۲: ساختار اصلی یک سیستم فازی تاکاگی-سوگنو و کانگ. ۶۶

شکل ۵-۳: ساختار اصلی یک سیستم با فازی ساز و غیر فازی ساز. ۶۷

شکل ۵-۴: نمودار مدل فازی پیشنهادی مقاومت فشاری برای یک داده آزمایشگاهی..... ۸۷

شکل ۵-۵: نمودار مدل فازی پیشنهادی کرنش محوری نهایی برای یک داده آزمایشگاهی..... ۹۲

شکل ۶-۱: مقایسه مقاومت فشاری نمونه ستونهای محصورشده آزمایشگاهی با نتایج پیش بینی مدلها..... ۹۶-۱۰۱

شکل ۶-۲: اثر تغییرات مقدار شعاع گوشه بر نتایج پیش بینی مدلها برای مقاومت فشاری محصورشده..... ۱۰۶-۱۰۷

شکل ۶-۳: اثر تغییرات مقدار مقاومت مشخصه بتن بر نتایج پیش بینی مدلها برای مقاومت فشاری محصورشده. ۱۰۷

شکل ۶-۴: اثر تغییرات مقدار ضخامت دورپیچ **FRP** بر نتایج پیش بینی مدلها برای مقاومت فشاری محصورشده. ۱۰۸

شکل ۶-۵: مقایسه کرنش محوری نهایی نمونه ستونهای محصورشده آزمایشگاهی با نتایج پیش بینی مدلها. ۱۱۱-۱۱۲

شکل ۶-۶: اثر تغییرات مقدار شعاع گوشه بر نتایج پیش بینی مدلها برای کرنش محوری نهایی محصورشده..... ۱۱۸

شکل ۶-۷: اثر تغییرات مقدار مقاومت مشخصه بتن بر نتایج پیش‌بینی مدلها برای کرنش‌محوری‌نهایی محصورشده ..۱۱۸

شکل ۶-۸: اثر تغییرات‌مقدار ضخامت‌دورپیچ **FRP** بر نتایج‌پیش‌بینی مدلها برای‌کرنش‌محوری‌نهایی‌محصورشده. ۱۱۹

فصل اول

مقدمه

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

زلزله هایی که در سالهای اخیر در سراسر جهان به وقوع پیوسته است، نشان داد که بسیاری از سازه های زیربنایی بخصوص در کشورهای در حال توسعه به دلیل قدمت ساخت و عدم انطباق با آیین نامه های جدید طراحی، نیازمند بهسازی می باشند. در سازه های بتنی فقدان آرماتورگذاری عرضی فشرده کافی از جمله ضعف های شایع در ستونها به شمار می رود. برای رفع این مشکل باید به نحوی از انبساط جانبی ستون جلوگیری نمود. دورپیچ نمودن عضو فشاری بتنی یکی از شیوه های مقاوم سازی ستونهای بتنی است و مطالعات پیرامون این موضوع نشان می دهد که اعمال فشارجانبی به بتن، سبب افزایش مشخصه های باربری آن می گردد [1]. ایجاد روکش فولادی به دور ستونهای بتنی از اولین راهکارها جهت محصور نمودن این اجزا بود و تا کنون مطالعات گسترده ای در مورد رفتار ستونهای مقاوم‌سازی شده با این روش به انجام رسیده است اما اثر نامطلوب شرایط محیطی بر ژاکتهای فولادی و

مراحل دشوار و زمان بر ایجاد آنها سبب گردید که صفحات کامپوزیتی از جنس پلیمرهای مسلح شده با الیاف، موسوم به ورقه های FRP[1] به عنوان جایگزین روکشهای فولادی مورد استفاده قرار گیرند.

این شیوه به دلیل ویژگی های مطلوب خود، در مدت کوتاه پیدایش با استقبال زیادی مواجه شده و مطالعات فراوانی پیرامون آن به انجام رسیده است. نتایج این مطالعات نشان از تأثیر چشمگیر دورپیچ FRP در افزایش مقاومت و شکل پذیری ستون دارد [2].

پیچاندن الیاف پلاستیکی مخصوص به دور ستون بتنی و استفاده از یک چسب پلی استر مخصوص جهت یکپارچه نمودن الیاف و اتصال آن به ستون بتنی، برای اولین بار در سال 1988 میلادی و توسط کاتسوماتا[2] در ژاپن برای تعمیر و تقویت ستونهای بتنی ارائه گردید. آنچه که استفاده از کامپوزیتها را در تقویت و ترمیم سازه ها ممتاز می کند آن است که می توان این مواد را به گونه ای طراحی کرد که سازه را وادار کنند آنگونه که نیاز است رفتار کند. زیرا کارکرد و مقاومت این مواد فقط در راستای الیافشان است و می توان آنها را طوری طراحی کرد که فقط در راستای مورد نیاز از خود مقاومت نشان دهند. در

[1] Fiber reinforced polymer
[2] Katsumata

اثر محصورشدگی، مدل رفتاری سختی، مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی بتن تحت فشار کاملا تغییر می کند.

مدلهایی که در گذشته برای محصورشدگی با FRP توسعه داده شده اند را می توان به سه دسته تقسیم نمود: دسته اول مدلهای مبتنی بر محصورشدگی با فولاد هستند که این مدلها توسعه یافته مدلهای محصورشدگی با فولاد ارائه شده توسط ریچارت[1] و همکاران [3]، نیومن[2] [4] و مندر[3] و همکاران [36] می باشند. اساس این روابط مقاومت نهایی در آزمایشات سه محوره می باشد. بنابراین چنین روابطی افزایش مقاومت بتن محصورشده را به صورت تابعی از فشار محصورکننده می دهند و فرض بر این است که فشار در تمام مدت ثابت است. مدلهای فردیس[4] و خلیلی[5] [11] و سعادت منش[6] و همکاران [14] جزء این دسته قرار می گیرند. در این مدلها بیشترین فشار محصورکننده‌ای که FRP می‌تواند اعمال کند (فشار محصورکننده در زمان گسیختگی FRP)، جایگزین این فشار ثابت شده است. بسیاری از محققان معتقدند ایراد این مدلها آن است که تفاوت عمده ای بین رفتار کششی فولاد و FRP در نظر

[1] Richart
[2] Newman
[3] Mander
[4] Fardis
[5] Khalili
[6] Saadatmanesh

گرفته نشده است [20]. طبق نظر آنها فشار محصورکنندگی ثابت در حالت محصورشدگی با فولاد پس از مرحله جاری شدن صادق می‌باشد اما این فرض را نمی توان در مورد FRP توسعه داد. زیرا FRP جاری نمی شود و فشار وارد بر هسته بتن تا زمان گسیختگی FRP به طور مداوم اضافه می گردد.

دسته دوم مدلهای تجربی می باشند که بهترین منحنی برازش شده بر نتایج آزمایش را به عنوان رفتار تنش- کرنش بتن محصورشده با FRP معرفی نموده اند. در اکثر این مدلها سعی شده است تنش و کرنش نهایی بیشترین انطباق را با آزمایشها داشته باشند. مدلهای میائوچی[1] و همکاران [16]، کنو[2] و همکاران [17] و سمعان[3] و همکاران [20] از این نوع می باشند.

دسته سوم مدلهای محاسباتی هستند و از این نوع مدلها می توان به مدل اسپولسترا[4] و مونتی[5] [23] اشاره نمود که برای مقطع دایره‌ای است و تأثیر افزایش تدریجی فشار محصور کنندگی FRP را با یک رویه سعی و خطا لحاظ می‌نماید.

[1] Miyauchi
[2] Kono
[3] Samaan
[4] Spoelstra
[5] Monti

از دیگر روشهایی که می توان برای ساخت مدلهای پیش بینی مقدار مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستون بتنی محصورشده با FRP استفاده کرد روشهای محاسبات نرم[1] می باشد. ساخت اینگونه مدلها مبتنی بر نتایج آزمایشگاهی و استفاده از کامپیوتر است. از جمله تکنیکهای محاسبات نرم می توان به الگوریتم ژنتیک[2]، شبکه عصبی[3] و منطق فازی[4] اشاره کرد.

در سالهای اخیر برخی از محققان عملکرد ستونهای بتنی دایره‌ای محصورشده با FRP را با استفاده از روشهای محاسبات نرم مورد بررسی قرار داده اند [60- 62، 69- 74]. در اغلب این تحقیقات مدل مقاومت فشاری ستون بتنی محصورشده با FRP ارائه شده و فقط در یک مورد برای کرنش محوری نهایی نیز مدلی ارائه گردیده است [72]. همچنین بیشتر مدلهای ساخته شده برای ستون بتنی دایره‌ای محصورشده با CFRP می باشند [60، 61، 69، 73 و 74] و بنابر این برای سایر انواع دورپیچ FRP قابل استفاده نیستند.

[1] Soft computing
[2] Genetic algorithm
[3] Neural network
[4] Fuzzy logic

گندمی و همکاران [69]، چویک[1] [61، 62 و 70] و رمضانیانپور و همکاران [74]، از برنامه نویسی ژنتیک[2] برای ساخت مدل پیش‌بینی مقاومت‌فشاری ستون بتنی دایره‌ای محصورشده با FRP استفاده کرده‌اند. خیرالدّین و همکاران [71]، چویک [60 و 62]، السلّوم[3] و همکاران [72] و رمضانیانپور و همکاران [73] در کارهای خود تکنیک شبکه عصبی را برای پیش‌بینی مقاومت فشاری به کار برده اند. چویک [62] و رمضانیانپور و همکاران [74] مدلهای‌مقاومت فشاری را با استفاده از تکنیک عصبی-فازی[4] نیز ساخته اند.

در این بین تنها السلّوم و همکاران [72] برای کرنش محوری نهایی ستون بتنی دایره ای محصورشده با FRP مدلی با استفاده از تکنیک شبکه عصبی ارائه کرده اند.

از بررسی مقالات [60- 62، 69- 74] و مدلهایی‌که با روشهای محاسبات نرم ساخته شده‌اند نکات مهمی استخراج می‌شوند که در ادامه به آنها اشاره می کنیم.

[1] Cevik
[2] Genetic programming
[3] Al-Salloum
[4] Neuro-Fuzzy

برای ساخت مدل با این تکنیکها ابتدا نیاز به جمع آوری داده های آزمایشگاهی می باشد. هرچه این داده ها بیشتر و متنوع‌تر باشند مدل ساخته شده قابلیت تعمیم دهی بهتری خواهد داشت.

در همه موارد مدلهایی که با روشهای محاسبات نرم ساخته شده اند در مقایسه با مدلهای موجود، عملکرد بهتری داشته‌اند و تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان می دهند. بیشتر بودن دقت نتایج مدلهای ساخته شده با روشهای محاسبات نرم به طور محسوسی قابل مشاهده است و این مطلب را بیان می کند که می توان از آنها به عنوان روشهایی جدید برای ساخت مدلهای مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستون بتنی محصورشده با FRP به طور گسترده‌تری استفاده کرد. البته با این توضیح که باید سعی شود تا حد امکان مدلهای ارائه شده روابط ساده ای داشته باشند و با دقت قابل قبولی مقادیر مورد نظر را پیش بینی کنند.

همچنین در اغلب این مقالات به این نکته اشاره شده است که مدل ارائه شده با روشهای محاسبات نرم تا زمانیکه داده‌های آزمایشگاهی جدید در محدوده داده‌هایی باشند که مدل با آن ساخته شده است، عملکرد مناسبی دارد و اگر داده‌های آزمایشگاهی جدید در این محدوده نباشند احتمال افزایش خطا وجود دارد.

همانطورکه اشاره شد بیشتر تحقیقات و مدلها به بررسی‌عملکرد ستونهای دایره‌ای محصورشده با FRP اختصاص دارند و ستونهای با مقطع مربعی کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر یک روش جدید برای مدل کردن مقاومت فشاری و کرنش محوری نهایی ستون بتنی مربعی محصورشده با FRP با استفاده از منطق فازی ارائه می شود که تا کنون حتی در مورد ستونهای با مقطع دایره‌ای نیز استفاده نشده است. برای بررسی دقت مدلهای فازی پیشنهادی، نتایج حاصل از این مدلها با نتایج مدلهای ارائه شده توسط محققان دیگر و همچنین با مجموعه بزرگی از نتایج آزمایشگاهی موجود مقایسه می شود.

فصل دوم

معرفی ویژگیهایFRP