دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های مقاومت و کرنش بتن محصورشده با FRP

تهیه و تنظیم:

علی دلاور

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر شهابیان

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر شریعتمدار

تابستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

بنام خدا

گواهی

گواهی می شودکه تاکنون، این پایان نامه برای احراز یک درجه علمی ارایه نشده است و تمامی مطالب بجز در مواردی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می باشد .

_____ _____

علی دلاور- دانشجو تاریخ

_____ _____

دکتر فرزاد شهابیان - استاد راهنما تاریخ

این پایان نامه که بوسیله آقای علی دلاور تدوین و به هیات داوران زیر ارایه گردیده است، بعنوان بخش پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته سازه، مورد تائید شورای تحصیلات تکمیلی گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می باشد .

دکتر فرزاد شهابیان- استاد راهنما

دکتر هاشم شریعتمدار- استاد مشاور

دکتر محمد رضا توکلی زاده—استاد مدعو

دکتر محمد باقر شریفی- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

سپاسگزاری

در آغاز، بایستی از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر فرزاد شهابیان مقدم، که کمک‌های ارزنده‌ای جهت انتخاب موضوع، گردآوری و تنظیم مطالب نمودند و همواره پاسخگوی سوالات اینجانب بودند، صمیمانه تشکر نمایم. همچنین، از تمام اساتیدی که در طول دوران تحصیل راهنمایم بوده‌اند، قدردانی می‌نمایم. در انتها، این پایان‌نامه را به دستان زحمتکش پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های مقاومت و کرنش بتن محصورشده با FRP

چکیده

یکی از راه‌های افزایش مقاومت سازه‌های بتنی، استفاده از مواد مرکب از نوع FRP می‌باشد. در این پایان‌نامه، ابتدا دقت رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن محصور شده با FRP مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار، نتایج حاصل از رابطه‌های نظری که توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد گردیده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود. برای شناخت اثر عدم قطعیت‌های موجود در بارها، مشخصات مواد و هندسه‌ی سازه ، از روش‌های تحلیل با رویکرد احتمال اندیشانه استفاده می‌شود. از این رو، در این پژوهش، کارآیی و دقت رابطه‌های فوق، در فضای عدم قطعیت مورد تجزیه وتحلیل قرار می‌گیرد. برای این کار، با استفاده از روش مونت کارلو، مشخصات تمامی نمونه‌های آزمایشگاهی به صورت متغیرهای تصادفی نرمال، لگ نرمال و یکنواخت با ضریب‌های پراکندگی ۵٪ ، ۱۰٪ و ۲۰٪ شبیه سازی می‌شود. با استفاده از نتایج این شبیه سازی، خطا و قابلیت اطمینان رابطه‌های موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه با استفاده از روش رگرسیون چندگانه، رابطه‌های جدیدی برای تعیین مقاومت و کرنش بتن محصور شده با FRP پیشنهاد می‌گردد. در پایان پس از تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی، نتایج آنها به کمک معیارهای میانگین خطا، قابلیت اطمینان و ضریب بهره‌وری، با رابطه‌های موجود مقایسه می‌گردد. بررسی‌ها نشان دهنده دقت مناسب و خطای کم رابطه‌های پیشنهادی به ویژه در تعیین کرنش بتن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری بتن، کرنش محوری بتن، محصورشدگی با FRP، تحلیل احتمال اندیشانه، روش مونت‌کارلو، رگرسیون چندگانه.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها	iv
فهرست شکل‌ها	vi
نشانه‌ها	ix
فصل اول- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار	۱
۱-۲- تاریخچه	۲
۱-۳- ساماندهی پایان‌نامه	۳
فصل دوم- رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن دورگیری شده با FRP	٤
۲-۱- پیشگفتار	٤
۲-۲- اثر محصور شدگی با FRP بر مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن	٥
فصل سوم- اصول و مبانی تحلیل احتمال اندیشانه	۱۷
۳-۱- پیشگفتار	۱۷
۳-۲- تاریخچه	۱۷
۳-۳- عدم قطعیت در سازه‌ها	۱۸
۳-٤- مفاهیم پایه از علم آمار و احتمالات	۱۹
۳-٥- متغیر تصادفی	۲۱
۳-٥-۱- تابع چگالی احتمال	۲۱
۳-٥-۲- تابع توزیع احتمال	۲۳
۳-٥-۳- متغیرهای تصادفی یکنواخت	۲٥
۳-٥-٤- متغیرهای تصادفی نرمال	۲٦
۳-٥-٥- متغرهای تصادفی لگ‌نرمال	۲۷
۳-٥-٦- متغیرهای تصادفی دارای توزیع گاما	۲۸
۳-٥-۷- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع I	۲۹
۳-٥-۸- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع II	۳۱
۳-٥-۹- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع III	۳۲

۳-۵-۱۰- توزیع پواسون ۳۳
۳-٦- امید ریاضی ۳٤
۳-۷- روش مونت کارلو ۳۵

فصل چهارم- تحلیل احتمالاتی رابطه‌های موجود برای محاسبه مقاومت نهایی و کرنش محوری بتن محصورشده با FRP ۳۷
٤-۱- پیشگفتار ۳۷
٤-۲- بررسی دقت رابطه‌های موجود ۳۷
٤-۳- تحلیل احتمال اندیشانه مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن محصور شده با FRP ۵۷

فصل پنجم- اصول و مبانی رگرسیون ٦۸
۵-۱- پیشگفتار ٦۸
۵-۲- رابطه‌های خطی بین دو متغیر ٦۹
۵-۳- مدل رگرسیونی خط مستقیم ۷۰
۵-٤- روش ماتریسی تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی ۷٤
۵-۵- رگرسیون خطی چندگانه ۷۹
۵-٦- مدل‌های پیچیده‌تر ۸۳
۵-۷- مدل‌های غیرخطی که ذاتا خطی هستند ۸٦
۵-۸- جمع بندی ۸۸

فصل ششم- پیشنهاد و تحلیل احتمالاتی رابطه‌های جدید برای محاسبه مقاومت نهایی و کرنش محوری بتن محصورشده با FRP ۸۹
٦-۱- پیشگفتار ۸۹
٦-۲- مدل‌سازی رابطه‌ها ۸۹
٦-۳- تعیین ضرایب به کمک رگرسیون ۹۱
٦-٤- مقایسه دقت رابطه‌های پیشنهادی ۹٤
٦-۵- تحلیل احتمال‌اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی ۹۷
٦-٦- مقایسه رابطه‌های موجود و پیشنهادی در فضای عدم قطعیت ۱۰٤

نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰٦

مراجع ۱۰۹

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (٤-١)- رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری بتن محصور شده	٣٨
جدول (٤-٢)- رابطه‌های موجود برای تعیین کرنش محوری بتن محصور شده	٣٨
جدول (٤-٣)- نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط Samaan و همکاران	٣٩
جدول (٤-٤)- نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط Saafi و همکاران	٤٠
جدول (٤-٥)- بررسی دقت رابطه‌های Karbhari و همکاران	٤١
جدول (٤-٦)- بررسی دقت رابطه‌های Fardis و همکاران	٤٣
جدول (٤-٧)- بررسی دقت رابطه‌های Mander و همکاران	٤٥
جدول (٤-٨)- بررسی دقت رابطه‌های Miyauchi و همکاران	٤٧
جدول (٤-٩)- بررسی دقت رابطه‌های Saafi و همکاران	٤٩
جدول (٤-١٠)- بررسی دقت رابطه‌های Cusson و همکاران	٥١
جدول (٤-١١)- بررسی دقت رابطه‌های Xiao و همکاران	٥٣
جدول (٤-١٢)- بررسی آماری رابطه‌های مقاومت نهایی	٥٥
جدول (٤-١٣)- بررسی آماری رابطه‌های کرنش محوری	٥٧
جدول (٤-١٤)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع نرمال	٦٠
جدول (٤-١٥)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع لگ نرمال	٦٠
جدول (٤-١٦)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع یکنواخت	٦١
جدول (٤-١٧)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع نرمال	٦٤
جدول (٤-١٨)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع لگ نرمال	٦٤

جدول (٤-١٩)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع یکنواخت ٦٥
جدول (٦-١)- فرم رابطه‌های پیشنهادی برای تعیین مقاومت فشاری بتن محصور شده ٩٠
جدول (٦-٢)- فرم رابطه‌های پیشنهادی برای تعیین کرنش محوری بتن محصور شده ٩٠
جدول (٦-٣)- رابطه‌های پیشنهادی برای تعیین مقاومت فشاری بتن محصور شده ٩٤
جدول (٦-٤)- رابطه‌های پیشنهادی برای تعیین کرنش محوری بتن محصور شده ٩٤
جدول (٦-٥)- بررسی آماری رابطه‌های مقاومت نهایی ٩٥
جدول (٦-٦)- بررسی آماری رابطه‌های کرنش محوری ٩٦
جدول (٦-٧)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع نرمال ٩٧
جدول (٦-٨)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع لگ نرمال ٩٨
جدول (٦-٩)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع یکنواخت ٩٨
جدول (٦-١٠)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع نرمال ١٠١
جدول (٦-١١)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع لگ نرمال ١٠١
جدول (٦-١٢)- نتایج تحلیل احتمال اندیشانه رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع یکنواخت ١٠٢

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل (۲-۱)- نمونه سیستم اتوماتیک دورگیری ستون با FRP ۵
شکل (۲-۲)- اثر دورگیری بر مقاومت و کرنش محوری نهایی ۵
شکل (۲-۳)- وضعیت تنش ها در مقطع ٦
شکل (۲-٤)- منحنی تنش محوری- کرنش محوری- کرنش جانبی ۱۰
شکل (۲-۵)- نمودار ساده سازی شده تنش کرنش دو خطی ۱۲
شکل (۲-٦)- اثر افزایش فشار محصورشدگی ۱۵
شکل (۳-۱)- مثالی از نمودار فراوانی نسبی ۱۹
شکل (۳-۲)- مثالی از نمودار فراوانی تجمعی ۲۰
شکل (۳-۳)- مثالی از یک تابع چگالی احتمال ۲۲
شکل (۳-٤)- مثالی از یک تابع توزیع تجمعی ۲٤
شکل (۳-۵)- تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی یکنواخت ۲۵
شکل (۳-٦)- تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی نرمال ۲٦
شکل (۳-۷)- تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی لگ‌نرمال ۲۷
شکل (۳-۸)- تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی گاما ۲۹
شکل (۳-۹)- تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی حدی نوع I ۳۰
شکل (۳-۱۰)- تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع II ۳۲
شکل (۳-۱۱)- تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع II ۳۳
شکل (٤-۱)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-1} با نتایج آزمایش ٤۲
شکل (٤-۲)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-1} با نتایج آزمایش ٤۲
شکل (٤-۳)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-2} با نتایج آزمایش ٤٤
شکل (٤-٤)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-2} با نتایج آزمایش ٤٤
شکل (٤-۵)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-3} با نتایج آزمایش ٤٦
شکل (٤-٦)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-3} با نتایج آزمایش ٤٦

شکل (٤-٧)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-4} با نتایج آزمایش ٤٨
شکل (٤-٨)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-4} با نتایج آزمایش ٤٨
شکل (٤-٩)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-5} با نتایج آزمایش ٥٠
شکل (٤-١٠)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-5} با نتایج آزمایش ٥٠
شکل (٤-١١)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-6} با نتایج آزمایش ٥٢
شکل (٤-١٢)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ε_{cc-6} با نتایج آزمایش ٥٢
شکل (٤-١٣)- مقایسه نتایج حاصل از رابطه f'_{cc-7} با نتایج آزمایش ٥٤
شکل (٤-١٤)- نتایج شبیه سازی مقاومت فشاری بتن (f'_{co}) ٥٨
شکل (٤-١٥)- نمودار فراوانی مقاومت کششی FRP (f_{com}) ٥٨
شکل (٤-١٦)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال نرمال ٦١
شکل (٤-١٧)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال لگ نرمال ٦٢
شکل (٤-١٨)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال یکنواخت ٦٢
شکل (٤-١٩)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال نرمال ٦٥
شکل (٤-٢٠)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال لگ نرمال ٦٦
شکل (٤-٢١)- نمودار شاخص بهره وری رابطه‌های تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال یکنواخت ٦٦
شکل (٥-١)- مثالی از نمودار پراکنش ٦٩
شکل (٦-١)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال نرمال ٩٩
شکل (٦-٢)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال نرمال ٩٩
شکل (٦-٣)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال لگ نرمال ٩٩

شکل (٦-٤)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال لگ نرمال ۹۹
شکل (٦-٥)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال یکنواخت ۱۰۰
شکل (٦-٦)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین مقاومت نهایی در توزیع احتمال یکنواخت ۱۰۰
شکل (٦-٧)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال نرمال ۱۰۲
شکل (٦-٨)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال نرمال ۱۰۲
شکل (٦-٩)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال لگ نرمال ۱۰۳
شکل (٦-١٠)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال لگ نرمال ۱۰۳
شکل (٦-١١)- نمودار قابلیت اطمینان رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال یکنواخت ۱۰۳
شکل (٦-١٢)- نمودار میانگین خطای رابطه‌های پیشنهادی تعیین کرنش محوری در توزیع احتمال یکنواخت ۱۰۳

نشانه‌ها

پارامترهای مجهول در رگرسیون	$\beta_0 ، \beta_1 ، \beta_2$
کرنش محوری در هر نقطه نظیر از منحنی تنش- کرنش	ε_a
کرنش جانبی در هر نقطه نظیر از منحنی تنش- کرنش	ε_l
کرنش شعاعی بتن	ε_θ
کرنش محوری بتن محصور شده با FRP	ε_{cc}
کرنش محوری بتن محصور نشده	ε_{co}
کرنش نهایی ماده مرکب	ε_{com}
کرنش محوری نظری بتن محصور شده با FRP	ε_{cc-th}
کرنش محوری آزمایشگاهی بتن محصور شده با FRP	ε_{cc-exp}
کرنش محوری بتن در نقطه A بر روی نمودار تنش- کرنش دو خطی	ε^A
کرنش محوری سیستم در نقطه A	$(\varepsilon_z)_A$
کرنش محوری در لحظه فروپاشی	$(\varepsilon_z)_f$
کرنش شعاعی در نقطه A	$(\varepsilon_\theta)_A$
کرنش نهایی دورپیچ FRP	$(\varepsilon_\theta)_{wrap}$
میانگین متغیر تصادفی N	μ_N
میانگین داده‌ها	μ_x
میانگین متغیر تصادفی لگ‌نرمال	$\mu_{Ln(x)}$
نسبت پواسون بتن محصور نشده	$\nu_c ، \nu_o$
ضریب همبستگی	ρ_{jk}
تنش فشاری بتن در نقطه A بر روی نمودار تنش- کرنش دو خطی	σ_A
فشار محصورشدگی	σ_p
مقاومت کششی FRP	σ_t
انحراف معیار	σ_x
واریانس داده‌ها	σ_x^2

واریانس متغیر تصادفی لگ‌نرمال	$\sigma_{Ln(x)}^{2}$
تابع گاما	$\Gamma(K)$
کوواریانس داده‌ها	$\mathrm{cov}(x_i, x_j)$
قطر نمونه بتنی محصورشده	d
میزان باقیمانده‌ها در رگرسیون	e_i
مقدار خطا در رگرسیون	er
فشار جانبی	f_l
مقاومت فشاری بتن محصور شده با FRP	f'_{cc}
مقاومت فشاری بتن محصور نشده	f'_c , f'_{co}
مقاومت کششی لایه‌های FRP	f_{com}
مقاومت فشاری نظری بتن محصور شده با FRP	f'_{cc-th}
مقاومت فشاری آزمایشگاهی بتن محصور شده با FRP	f'_{cc-exp}
افزایش باربری ناشی از محصورشدگی	f''_l
مقاومت فشاری بتن محصورشده در هر نقطه	$f_{(\varepsilon_l)}$
شعاع نمونه بتنی در نقطه A	r_A
شعاع نهایی نمونه بتنی	r_f
شعاع اولیه نمونه بتنی	r_o
ضخامت لایه‌های FRP	t_{com} , t
سطح مقطع شکست بتن	A_c
سطح مقطع گسیختگی FRP	A_{com}
مدول الاستیسیته بتن	E_c
مدول الاستیسیته موثر بتن	E_Z
شیب منحنی تنش- کرنش محوری در منطقه اول	E_{1a}
شیب منحنی تنش- کرنش محوری در منطقه دوم	E_{2a}
شیب منحنی تنش- کرنش شعاعی در منطقه اول	E_{1r}
شیب منحنی تنش- کرنش شعاعی در منطقه دوم	E_{2r}
مدول الاستیسیته ماده مرکب	E_{com}

مدول الاستیسیته معادل بتن محصورشده	E^{eff}
مدول الاستیسیته موثر بتن	E_Z
امید ریاضی	$E(\mathrm{g(x)})$
خطای نسبی در تعیین مقاومت فشاری	$Er(f)$
خطای نسبی در تعیین کرنش محوری	$Er(\varepsilon)$
میانگین خطای نسبی نتایج مقاومت فشاری	$\overline{Er(f)}$
میانگین خطای نسبی نتایج کرنش محوری	$\overline{Er(\varepsilon)}$
تعداد مواردی است که مقدار تخمین زده شده برای مقاومت فشاری بتن از نتیجه آزمایشگاهی بیشتر شده است	$F_i(f)$
تعداد مواردی است که مقدار تخمین زده شده برای کرنش محوری بتن از نتیجه آزمایشگاهی کمتر شده است	$F_i(\varepsilon)$
شاخص بهره‌وری نتایج مقاومت فشاری	$I(f)$
شاخص بهره‌وری نتایج کرنش محوری	$I(\varepsilon)$
ضریب فشار جانبی	k_l
ضرایب تجربی اثر محصورشدگی	k_2 , k_1
طول اولیه نمونه بتنی	L_o
طول نمونه بتنی در نقطه A بر روی نمودار تنش- کرنش دو خطی	L_A
طول نهایی نمونه بتنی	L_f
تابع چگالی احتمال	$p(x)$
تابع چگالی احتمال یکنواخت	PDF
مجموع مربعات انحراف‌ها از خط حقیقی	S
انحراف معیار نتایج مقاومت فشاری	$S(f)$
انحراف معیار نتایج کرنش محوری	$S(\varepsilon)$
معیار قابلیت اطمینان نتایج مقاومت فشاری	$SI(f)$
معیار قابلیت اطمینان نتایج کرنش محوری	$SI(\varepsilon)$
ضریب پراکندگی	V
حجم نمونه بتنی در نقطه A	V_A

حجم نهایی نمونه بتنی	V_f
ضریب پراکندگی نتایج مقاومت فشاری	$V(f)$
ضریب پراکندگی نتایج کرنش محوری	$V(\varepsilon)$
واریانس داده‌ها	$Var(x)$
میانگین داده‌ها	$\overline{X}$
نسبت نتایج مقاومت فشاری نظری به آزمایشگاهی	$X(f)$
نسبت نتایج کرنش محوری نظری به آزمایشگاهی	$X(\varepsilon)$
میانگین نسبت نتایج مقاومت فشاری نظری به آزمایشگاهی	$\overline{X}(f)$
میانگین نسبت نتایج کرنش محوری نظری به آزمایشگاهی	$\overline{X}(\varepsilon)$
مقدار برآوردی بکمک رگرسیون	$\widehat{Y}$

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

در سال‌های اخیر تقویت سازه‌های موجود و ترمیم سازه‌های خسارت دیده به طور فزاینده‌ای رو به گسترش بوده است. انتخاب روش تقویت یا ترمیم متناسب با مقاومت مورد نظر، میزان خسارت وارده، نوع اعضاء و اتصالات آنها، امکان دسترسی به مصالح و جنبه‌های اقتصادی است. برای این کار می‌توان از روش‌های گوناگون از جمله پیش تنیدگی خارجی، ژاکت‌های بتنی، فولادی و مواد مرکب استفاده کرد.

مواد مرکب از جمله الیاف مسلح پلیمری (FRP[1]) به سبب دارا بودن خواص مکانیکی مناسب، در مقایسه با مواد ساده، کاربرد وسیعی در طراحی سازه ها دارند، به ویژه در طراحی سازه های سبکی که در عین حال، سختی و مقاومت بالای مورد نظر را نیز دارا باشند. از طرفی، طراحی با مواد مرکب برای طراحان یک چالش جدی به حساب می‌آید، زیرا پارامترهای بسیاری وجود دارند که قابل تغییرند و همچنین وجود مودهای شکست چندگانه و پیچیدگی رفتار در چنین سازه هایی، فنون تحلیل ویژه‌ای را طلب می‌کنند.

ویژگی اصلی در انتخاب FRP، وزن کم و مقاومت بالا، مقاومت در برابر خوردگی، رسانایی پایین حرارتی و الکتریکی و نسبت مقاومت به وزن مناسب آن است. البته با وجود این فواید، FRP در مقیاس محدودی در سازه‌های مهندسی عمران به کار می رود، که ناشی از هزینه نسبتاً زیاد و نداشتن دانش کافی در رابطه با خواص و روش‌های تحلیل FRP ها می باشد.

ازFRP برای محصور نمودن (دورگیری) ستون‌های بتنی به منظور افزایش مقاومت، شکل پذیری و بهبود کارآیی آنها استفاده می‌شود. در این پژوهش، رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن دورگیری شده با FRP مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

به دلیل وجود عدم قطعیت‌های فراوان در سازه‌ها، تحلیل احتمال اندیشانه سازه‌ها کاربرد گسترده‌ای در فرایندهای تحلیل و طراحی دارد. تحلیل احتمال اندیشانه سازه‌ها، راه را برای شناخت اثر متغیرهای تصادفی

[1] . Fiber Reinforced Polymer

موجود در بارها، ویژگی‌های مواد، هندسه‌ی سازه، ابعاد و اندازه‌های مقطع و الگوهای تحلیل و طراحی هموار می‌سازد. از این رو، در ادامه پایان‌نامه با ذکر چند نمونه، کارآیی و دقت رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن دورگیری شده با FRP در فضای عدم قطعیت نیز مورد تجزیه وتحلیل احتمال اندیشانه قرار می‌گیرد.

۱-۲- تاریخچه

Li [۱]، برای بهبود رفتار ستون‌های بتنی، استفاده از دورگیری با FRP را برای ستون‌های پیش ساخته و درجا پیشنهاد کرد. Kargahi [۲]، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، یک رابطه تجربی را بین کرنش محوری وشعاعی، به دست آورد. Fardis و Khalili [۳] خصوصیات بتن های درجا ریخته شده در لوله های FRP را مطالعه نمودند. برای این کار، چهار نوع الیاف شیشه ای با تعداد لایه های FRP از یک تا پنج لایه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مقاومت و کرنش نهایی بتن بطور قابل توجهی با افزایش تعداد لایه‌های FRP افزایش یافته است. همچنین ملاحظه گردید که شکست ستون ها با انهدام همزمان بتن و FRP اتفاق افتاده است. Miller [٤] آزمایش هایی مشابه Khalili و همکاران انجام داد. Harmon [٥] نیز آزمایش‌هایی بر روی لوله‌های FRP پرشده از بتن انجام داد. او از الیاف شیشه با نسبت ۱، ۲، ٤ و ٦ درصد استفاده نمود و دریافت که افزایش مقاومت، بستگی به مقاومت و میزان الیاف دارد. Mirmiran و همکاران [٦]، حالت گسیختگی لوله‌های FRP پرشده از بتن را مورد مطالعه قرار دادند. برای این کار، از ورق های GFRP (دارای الیاف شیشه) به صورت لایه‌های ٥، ۱۰ و ١٤ تایی استفاده کردند.Ahmad و Shah [۷] و Monti و همکاران [۸] رابطه‌ای برای مقاومت فشاری ستون‌های بتنی محصور شده توسط ورق‌های FRP ارائه نمودند. این مدل، کرنش شعاعی را بر اساس رابطه پیشنهاد شده Pantazopoulou و همکاران [۹]، به صورت تابعی از تخلخل موئین در بتن پیش بینی می‌نمود. بر اساس تحقیقات Samaan [۱۰]، این رابطه مقاومت نهائی بتن محصور شده با FRP را بالاتر از واقعیت تخمین می‌زند.

در سال‌های اخیر، مطالعه‌ی سازه‌ها در فضای عدم قطعیت ناشی از تصادفی بودن مواد، بارگذاری، هندسه و ... مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. کارهای انجام شده در این زمینه بسیار گسترده است. Kong و همکاران [۱۱] با استفاده از روش مونت کارلو، اثر عدم قطعیتهای ناشی از عوامل محیطی را بر دوام بتن اشباع شده بررسی نمودند. Diniz و Frangopol [۱۲] ایمنی ستون‌های بتنی ساخته شده از بتن با مقاومت بالا و دارای مشخصات غیر قطعی را مورد ارزیابی قرار دادند. Lu وGu [۱۳] با انجام تحلیل احتمال اندیشانه، محدوده تغییرشکل اعضای بتنی را درسطوح مختلف عملکردی، تعیین نمودند.

۱-۳- سامان‌دهی پایان‌نامه

در فصل اول، ساختار کلی و تاریخچه مختصری از پژوهش‌های انجام شده در باره بتن محصور شده با FRP بیان شده است. در فصل دوم، نحوه استخراج رابطه‌های ارایه شده توسط پژوهشگران مختلف برای تعیین مقاومت فشاری و کرنش محوری بتن محصورشده با FRP ، شرح داده شده است. در فصل سوم به اصول و مبانی تحلیل احتمال اندیشانه پرداخته شده است. در فصل چهارم، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و بر مبنای شاخص‌های آماری رایج، دقت رابطه‌های موجود مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است و با توجه به اثر عدم‌قطعیت بر نتایج تحلیل و طراحی، مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی به صورت متغیرهای تصادفی مختلف شبیه سازی شده و با استفاده از مقدارهای شبیه سازی شده، رابطه‌های موجود محاسبه و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردیده است. در فصل پنجم، به معرفی روش رگرسیون خطی به عنوان روشی توانا در رابطه سازی پرداخته می‌شود. در فصل آخر با استفاده از روش رگرسیون چندگانه، رابطه‌های جدیدی برای تعیین مقاومت و کرنش محوری بتن محصور شده پیشنهاد گردیده و به بررسی و مقایسه رابطه‌های پیشنهادی و موجود در فضای عدم قطعیت پرداخته می‌شود.