بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی عمران
رساله برای دریافت درجه دکتری رشته مهندسی عمران گرایش سازه

تحلیل قابلیت اعتماد تیرهای بتنی تقویت شده با الیاف پلمیری تحت پیچش

مؤلف:
حمزه دهقانی راینی

استاد راهنما:
دکتر محمد جواد فدایی

استاد مشاور:
دکتر حامد صفاری

آبان ماه ۱۳۹۲

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این رساله به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکتری به

بخش مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است وهیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: حمزه دهقانی راینی

استاد راهنما: دکتر محمد جواد فدایی

استاد مشاور: دکتر حامد صفاری

داور۱: دکتر فریبرز ناطقی الهی

داور۲: دکتر رضا رهگذر

داور۳: دکتر سعید شجاعی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر رضا قنبرپور ممقانی

معاون آموزشی وپژوهشی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ ومخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

به رسم ادب،

ساده و بی ریا،

کودکانه و دهاتی وار،

پیشکش به ساحت:

خداوند، که روح را در من دمید،

پدرم، که اولین مداد را برایم خرید،

مادرم، که اولین آفتابی بود که نقاشی کردم،

همسر عزیزو مهربانم، که با حضور زلالش مرا در این دنیای کوچک یاری داده است،

و روح بلند همه آنهایی که زلزله چیزی از بودنشان، جز یک مشت خاطره برایمان باقی نگذاشت.

تشکر و قدرانی:

خداوند بزرگ را سپاس می گویم که در سایه الطاف بی پایانش توفیق داشتن با ارزش ترین و زیباترین لحظات زندگی را در راه تحصیل بدست آوردم، لحظه هایی زرین که همواره یاد آنها برایم پر ارج و جاودانه خواهد بود.

تحقیق انجام شده با هدایت و راهنمایی استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد جواد فدایی به انجام رسیده است که لازم می دانم صمیمانه ترین تشکرات خود را به خاطر راهنمایی های ذیقمت وبیدریغ این بزرگوار نثارشان کنم. همچنین از اساتید محترم آقایان دکتر حامد صفاری، دکتر رضا رهگذر، دکتر سعید شجاعی و دکتر فریبرز ناطق الهی که تحصیل در این مقطع را مدیون راهنمایی هایشان هستم، قدردانی می کنم.

چکیده:

تعداد زیادی از پلها و ساختمانهای موجود در سرتاسر جهان به دلایلی از جمله خوردگی سازه ها یا خطاهای طراحی، افزایش ظرفیت باربری عضو سازه ای وتغییرات آیین نامه ها نیاز به تعمیر و مقاوم سازی دارند. استفاده از پلیمرهای مسلح شده با الیاف FRP طی دهه های اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است. در تعدادی از آیین نامه های طراحی برای مقاوم سازی تیرهای بتنی با استفاده از FRP ضوابطی ارایه شده است. آیین نامه های FIB و MPO برای تعیین ظرفیت پیچشی تیرهای تقویت شده با FRP فرمولهایی را ارایه داده اند. همچنین تعدادی مطالعه تحلیلی وآزمایشگاهی برای تیرهای تقویت شده با FRP انجام شده است. روشن است که برای استفاده در آیین نامه ها مناسب ترین و دقیق ترین مدل تحلیلی بایستی انتخاب شود. برای رسیدن به این هدف، در این تحقیق یک آنالیر آماری بر روی مدلهای تحلیلی پیچشی معروف انجام شده است. در گام بعدی، ارزیابی قابلیت اعتماد تیرهای تقویت شده با FRP تحت اثر پیچش مورد بررسی قرارگرفته و به این منظور از روش مرتبه اول- لنگر دوم برای ارزیابی قابلیت اعتماد استفاده شده است. برای رسیدن به این هدف، خصوصیات آماری متغیرهای تصادفی و خطای مدل در نظرگرفته شده و پس از آن میانگین شاخص ایمنی برای تیرهای تقویت شده، بدست آمده است. همچنین تاثیر متغیرهای تصادفی بر روی میانگین شاخص ایمنی نشان داده شده است. در پایان، ضریب مقاومت پیچشی بر اساس تئوری قابلیت اعتماد کالیبره شده است.

کلید واژه: پلیمرهای مسلح شده با الیاف، مقاوم سازی پیچشی، مدلهای تحلیلی پیچشی، آنالیز قابلیت اعتماد، ضریب جزیی ایمنی، کالیبراسیون

فهرست مطالب:

فصل اول: مقدمه ومروری بر تحقیقات گذشته..... ۱
۱-۱ پیشگفتار..... ۲
۱-۲ تحقیقات گذشته..... ۵
۱-۳ اهمیت و اهداف تحقیق..... ۹
۱-۳-۱ اهمیت تحقیق ۹
۱-۳-۲ اهداف تحقیق..... ۱۰
۱-۴ سرفصل مطالب پایا ن نامه..... ۱۱
فصل دوم: معرفی الیاف پلیمری..... ۱۳
۲-۱ مقدمه..... ۱۴
۲-۲ مزایای الیاف پلیمری..... ۱۴
۲-۳ اجزای تشکیل دهنده ی الیاف پلیمری..... ۱۴
۲-۴ انواع الیاف..... ۱۶
۲-۴-۱ الیاف کربن..... ۱۸
۲-۴-۲ الیاف شیشه..... ۱۹
۲-۴-۳ الیاف آرامید..... ۲۰
۲-۵ رزین ها..... ۲۰
۲-۶ نحوه کاربرد کامپوزیت FRP..... ۲۰
۲-۶-۱- سیستم چسباندن مرطوب (Wet-Laye up)..... ۲۱
۲-۶-۲ سیستم پیش ساخته (Precured) ۲۱
۲-۶-۳ سیستم پیش تنیده (Prestreessed)..... ۲۱
فصل سوم: مروری بر مفاهیم قابلیت اعتماد..... ۲۴
۳-۱ پیشگفتار..... ۲۵
۳-۲ مفاهیم اساسی قابلیت اعتماد و قابلیت اعتماد سازه ها..... ۲۵
۳-۲-۱ متغیرهای تصادفی، فضای نمونه ای، پیشامد و احتمال وقوع..... ۲۵
۳-۲-۲ توابع چگالی و توزیع احتمال..... ۲۶
۳-۲-۳ تعریف متغیرهای آماری ۲۷
۳-۲-۴ عدم قطعیتها ۲۹

۳-۲-۵ احتمال وقوع خرابی سازه و احتمال رفتار ایمن (قابلیت اعتماد) ۳۰
۳-۲-۶ قابلیت اعتماد سازه ای، عمر مفید سازه..... ۳۴
۳-۲-۷ شاخص قابلیت اعتماد(β)..... ۳۵
۳-۲-۸ تابع شرایط حدی..... ۳۶
۳-۲-۹ روشهای محاسبه شاخص ایمنی..... ۳۷
۳-۲-۹-۱ روشهای مرتبه اول- لنگر دوم (FOSM)..... ۳۷
۳-۲-۹-۲ روش مونت کارلو(MSC)..... ۳۹
فصل چهارم: مدل های تحلیلی وآنالیزآماری با نتایج آزمایشگاهی..... ۴۱
۴-۱ پیشگفتار..... ۴۲
۴-۲ مقاوم سازی پیچشی..... ۴۲
۴-۳ مدلهای تحلیلی وآیین نامه ها..... ۴۴
۴-۳-۱ مدل تحلیلی Ameli وRonagh ۴۵
۴-۳-۲ مدل تحلیلی Chalioris..... ۴۶
۴-۳-۳ مدل تحلیلی Al-Mahaidi وHii..... ۴۷
۴-۳- ۴ ظرفیت پیچشی درآیین نامه FIB ۴۸
۴-۳- ۵ ظرفیت پیچشی درآیین نامه MPO..... ۵۰
۴-۴ ارزیابی مدلهای تحلیلی وآیین نامه ها..... ۵۳
فصل پنجم: تحلیل قابلیت اعتماد تیرهای تقویت شده با الیاف پلیمری تحت پیچش..... ۶۰
۵-۱ پیشگفتار..... ۶۱
۵-۲ تحلیل قابلیت اعتماد..... ۶۱
۵-۲-۱ مشخصات آماری بارها ومصالح..... ۶۱
۵-۲-۱ -۱ بار مرده..... ۶۱
۵-۲-۱-۲ بار زنده..... ۶۲
۵-۲-۱-۳ مصالح ۶۳
۵-۲-۱-۳-۱ ابعاد مقطع..... ۶۳
۵-۲-۱-۳-۲ مقاومت کششی خاموتها..... ۶۳
۵-۲-۱-۳-۳ سطح مقطع و فاصله بین خاموتها..... ۶۴
۵-۲-۱-۳-۴ پراکندگی در مشخصات الیاف پلیمر..... ۶۴
۵-۲-۲ محاسبه خطای مدل ۶۴

۵-۳ معرفی نرم افزار FERUM ۶۵
۵-۴ تحلیل قابلیت اعتماد مدل تحلیلی HA ۶۷
۵-۴-۱ تابع شرایط حدی ۶۷
۵-۴-۲ محاسبه خطای مدل تحلیلی HA ۶۸
۵-۴-۳ متغیرهای تصادفی مدل تحلیلی HA ۶۹
۵-۴-۴ تعیین شاخص ایمنی مدل تحلیلی HA ۶۹
۵-۴-۵ تحلیل حساسیت مدل تحلیلی HA ۷۳
۵-۵ تحلیل قابلیت اعتماد آیین نامه FIB ۷۸
۵-۵-۱ تابع شرایط حدی ۷۸
۵-۵-۲ محاسبه خطای آیین نامه FIB ۷۸
۵-۵-۳ متغیرهای تصادفی آیین نامهFIB ۷۹
۵-۵-۴ تعیین شاخص ایمنی آیین نامه FIB ۷۹
۵-۵-۵ تحلیل حساسیت آیین نامه FIB ۸۳
۵-۶ تحلیل قابلیت اعتماد آئین نامه MPO ۸۵
۵-۶-۱ تابع شرایط حدی MPO ۸۵
۵-۶-۲ محاسبه خطای آیین نامه MPO ۸۶
5-۶-۳ متغیرهای تصادفی آیین نامهMPO ۸۷
۵-۶-۴ تعیین شاخص ایمنی آیین نامه MPO ۸۸
۵-۶-۵ تحلیل حساسیت آیین نامه MPO ۸۹
فصل ششم: کالیبراسیون ضرایب مقاومت ۹۰
۶-۱ پیشگفتار ۹۱
۶-۲ سطوح آیین نامه ها وتراز روشهای قابلیت اعتماد سازه ای ۹۱
۶-۳ تئوری قابلیت اعتماد و به روز رسانی آیین نامه های ساختمانی ۹۲
۶-۴ مراحل کلی برای انجام فرایند کالیبراسیون ضرایب جزئی ایمنی ۹۳
۶-۵ کالیبراسیون مدل تحلیلی HA ۹۷
۶-۶ کالیبراسیون آیین نامه FIB ۱۰۰ ۶-
۷کالیبراسیون آیین نامه MPO ۱۰۶
فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۰۹

۷-۱ خلاصه و نتیجه گیری..... ۱۱۰
۷-۲ پیشنهادها جهت تحقیقات آتی..... ۱۱۲

فهرست شکل ها:

شکل(۱-۱): حالتهای مختلف تقویت اعضای سازه با صفحات پلیمری[4]..... ۳
شکل(۱-۲): اعضای تحت اثر پیچش..... ۴
شکل (۱-۳): تیرهای مورد آزمایش توسط Fadaee وMohammadizadeh ۶
شکل(۱-۴): مقاوم سازی پلهای بتنی تقویت شده با الیاف پلیمری[34]..... ۷
شکل(۱-۵): گسیختگی تیرهای بتنی تقویت شده با الیاف پلیمری[32]..... ۸
شکل(۲-۱): نمودار تنش- کرنش الیاف پلیمری در مقایسه با فولاد معمولی [14]..... ۱۶
شکل (۲-۲): الف- انواع الیاف ب- Dry fiber ج- Prepreg[14]..... ۲۲
شکل(۲-۳): نوار پیش ساخته [3]..... ۲۳
شکل (۲-۴): پیش تنیده کردن نوار پیش ساخته[3]..... ۲۳

شکل (۳-۱): نمایش احتمال خرابی [51]..... ۳۱
شکل(۳-۲): توابع چگالی احتمال پاسخ ومقاومت..... ۳۳
شکل(۳-۳): نمایش شماتیک تابع شرایط حدی ومرز خرابی[52] ۳۷
شکل(۳-۴): نمایش شماتیک شاخص ایمنی[50]..... ۳۸
شکل(۳-۵): نمایش هندسی روش مونت کارلو[48] ۳۹
شکل(۴-۱): انواع مختلف مقاوم سازی تیرها در مقابل پیچش[60]..... ۴۳
شکل (۴-۲): محصور شدگی با مهاری الیافی[60]..... ۴۳
شکل(۴-۳): الیاف پلیمری تقویت شده برای تیر بتنی[61]..... ۴۵
شکل (۴-۴): تئوری خرپا برای تیر تقویت شده با الیاف پلیمری تحت پیچش[۶۲]..... ۴۶
شکل(۴-۵): نمایش محدوده جریان برش..... ۴۸
شکل(۴-۶): نمایش پارامترهای مدل تحلیلی Al-Mahaidi وHii [63]..... ۴۸
شکل(۴-۷): الف)ترک خوردگی پیچشی ب)ترک خوردگی برشی[4]..... ۵۱
شکل(۴-۸): نیروهای کششی تحمل شده توسط الیاف پلیمری..... ۵۲
شکل(۴-۹): پیش بینی مدل FIB برای تیرهای تقویت شده با الیاف پلیمری..... ۵۵
شکل(۴-۱۰): پیش بینی مدل HA برای تیرهای تقویت شده با الیاف پلیمری..... ۵۵
شکل(۴-۱۱): پیش بینی مدل C برای تیرهای تقویت شده با الیاف پلیمری..... ۵۶
شکل(۴-۱۲): پیش بینی مدل AR برای تیرهای تقویت شده با الیاف پلیمری..... ۵۶
شکل(۴-۱۳): تغییرات μ با تغییر طرح مقاوم سازی در مدل تحلیلیFIB..... ۵۷
شکل(۴-۱۴): تغییرات μ با تغییر طرح مقاوم سازی در مدل تحلیلیHA..... ۵۷
شکل(۴-۱۵): تغییرات μ با تغییر طرح مقاوم سازی در مدل تحلیلیC..... ۵۸

شکل(۴-۱۶): تغییرات μ با تغییر طرح مقاوم سازی در مدل تحلیلیAR.....۵۸
شکل(۵-۱): تعیین شاخص ایمنی به روش Zhang-Der Kiureghian.....۶۶
شکل (۵-۲): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه A.....۷۱
شکل (۵-۳): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه B.....۷۲
شکل (۵-4): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه C.....۷۲
شکل (۵-5): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه D.....۷۳
شکل (۵-۶): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه A.....۷۵
شکل (۵-7): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه B.....۷۵
شکل (۵-8): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه C.....۷۶
شکل (۵-9): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه D.....۷۶
شکل (۵-10): تاثیر مدول الاستیسیته الیاف پلیمری برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده.....۷۷
شکل (۵-۱۱): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه A.....۸۱
شکل (۵-۱۲): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه B.....۸۱
شکل (۵-۱۳): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه C.....۸۲
شکل (۵-۱۳): شاخص ایمنی در برابر نسبت بار در تیرهای تقویت شده برای نمونه D.....۸۲

شکل (۵-۱۴): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه A.....۸۳
شکل (۵-15): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه B.....۸۴
شکل (۵-16): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه C.....۸۴
شکل (۵-17): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده برای نمونه D.....۸۵
شکل (۵-18): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده به صورت دورپیچ کامل..... .....۸۸
شکل (۵-19): تاثیر متغیر های تصادفی برشاخص ایمنی در تیرهای تقویت شده به صورت دورپیچ نواری.....۸۹
شکل (۶-1): محاسبه ضرایب جزئی ایمنی مناسب برای نمومه A.....۹۸
شکل (۶-۲): محاسبه ضرایب جزئی ایمنی مناسب برای نمومه B.....۹۹
شکل (۶-۳): محاسبه ضرایب جزئی ایمنی مناسب برای نمومه C.....۹۹
شکل (۶-۴): محاسبه ضرایب جزئی ایمنی مناسب برای نمومه D.....۱۰۰
شکل(6 -5): تغییرات δ_1 در مقابل γ_f برای نمومه A.....۱۰۲
شکل(6 -6): تغییرات δ_1 در مقابل γ_f برای نمومه B.....۱۰۲
شکل(6 -7): تغییرات δ_1 در مقابل γ_f برای نمومه C.....۱۰۳
شکل(6 -8): تغییرات δ_1 در مقابل γ_f برای نمومه D.....۱۰۳
شکل(6 -9): تغییرات δ_2 در مقابل γ_f برای نمومه A.....۱۰۴
شکل(6 -10): تغییرات δ_2 در مقابل γ_f برای نمومه B.....۱۰۴
شکل(6 -11): تغییرات δ_2 در مقابل γ_f برای نمومه C.....۱۰۵
شکل(6 -12): تغییرات δ_2 در مقابل γ_f برای نمومه D.....۱۰۵
شکل(6 -13): تغییرات δ_3 در مقابل ϕ برای تیر تقویت شده به صورت دورپیچ کامل.....۱۰۷
شکل(6 -14): تغییرات δ_4 در مقابل ϕ برای تیر تقویت شده به صورت دورپیچ نواری.....۱۰۸

فهرست جدول ها:

جدول (۲-۱): چگالی مواد FRP رایج بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب[4].....۱۷
جدول (۲-۲): ضریب انبساط حرارتی مواد FRP.....۱۷
جدول(۲-۳): مشخصات مکانیکی انواع الیاف.....17
جدول (۳-۱): تغییرات p_f برحسب β.....۳۵
جدول (۴-۱): روشهای مختلف تقویت از لحاظ موقعیت قرارگیری بر روی تیر.....۴۴
جدول(۴-۲): γ_f ضریب ناشی از نوع الیاف پلیمری[14].....۵۰
جدول(۴-۳): ویژگی های آماری μ برای هر مدل تحلیلی.....۵۴
جدول (۵-۱): ویژگی های آماری مربوط به بار مرده[50, 64].....۶۲
جدول(۵-۲): ویژگی های آماری مربوط به بار زنده [50, 64].....۶۳
جدول (۵-۳): مشخصات آماری ضریب خطای مدل تحلیلی HA.....۶۸
جدول(۵-۴): محاسبه خطای مدل تحلیلیHA.....۶۹
جدول(۵-۵): ویژگی های آماری متغیرهای تصادفی مدل تحلیلی HA ۷۰
جدول(۵-۶): میانگین شاخص ایمنی بار روش مرتبه اول- میانگین دوم و روش نمونه برداری بااهمیت.....۷۱
جدول (۵-۷): مشخصات آماری ضریب خطای آیین نامه FIB.....۷۸
جدول(۵-۸): محاسبه خطای آیین نامهFIB.....۷۹
جدول(۵-9): ویژگی های آماری متغیرهای تصادفی آیین نامهFIB ۸۰
جدول (۵-10): مشخصات آماری ضریب خطای آیین نامه MPO.....۸۶
جدول(۵-۱۱): محاسبه خطای آیین نامهMPO.....۸۷
جدول(۵-۱۲): ویژگی های آماری متغیرهای تصادفی آیین نامه MPO.....۸۷
جدول (۶-۱): مناسب ترین مقدار ϕ برای رسیدن شاخص ایمنی هدف.....۹۸
حدول (۶-۲): مشخصات آماری ضریب خطای آیین نامه FIB.....۱۰۱
جدول (۶-3): مناسب ترین مقدار γ_f برای رسیدن شاخص ایمنی هدف ۱۰۶
حدول (۶-۴): مشخصات آماری ضریب خطای آیین نامه MPO.....۱۰۷

فصل اول

مقدمه ومروری بر تحقیقات گذشته

-۱ پیشگفتار

سازه های بتن آرمه به عنوان بخش گسترده ای از سازه ها چنانچه برحسب محاسبات دقیق و روابط شکل‌پذیری طراحی و اجرا شوند، ساختمان‌های بسیار مطلوبی خواهند بود. این سازه ها به دلایل مختلفی ممکن است نیاز به تقویت داشته باشند. این دلایل عبارتند از:

الف- خطاهای طراحی:

شامل اشکالات در شناخت خاک و پی، عدم توجه به اصول و مبانی طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله، اشتباه در تحلیل و طراحی، تهیه نقشه ها، مدارک و جزئیات اجرایی.

ب- خطاهای اجرایی:

از قبیل اشکال در قالب بندی، آرماتوربندی، تولید واجرای بتن ، قالب برداری و عمل آوری بتن که اغلب به دلیل کاهش مقاومت فولاد و بتن بر اساس شرایط محیطی و عدم وجود سیستم های کنترل کیفی، نظارت و یا وجدان کاری در کارگاه ناشی می گردد.

ج- افزایش بار سازه:

بار سازه‌های موجود نیز ممکن است با توجه به گذشت زمان افزایش یابد،که این افزایش در ساختمانهای مسکونی به دلیل تغییر کاربری و در مورد پلها به دلیل افزایش بار ترافیکی رخ می‌دهد. اعمال بارهایی بیش از بارهای پیش بینی شده در هنگام طراحی نیز از دلایل تقویت می باشد.

د- تغییرات آئین نامه ای:

رفتار سازه‌های بتن آرمه در زلزله‌های اخیر نشان داده است که آیین‌نامه های طراحی سازه‌های بتن آرمه که در سالهای قبل تدوین یافته اند دارای نقایص و کمبودهایی می‌باشند.

ه- شناخت بهتر نیروهای زلزله نسبت به گذشته

و- تأثیر شرایط محیطی مخرب:

برای سالهای متمادی فولاد به عنوان مسلح کننده بتن مورد استفاده قرار گرفته است. اما طراحان همیشه با مسأله خوردگی آن روبرو بوده اند. این مسأله مخصوصاً در مورد سازه های دریایی، ساحلی، پایه پلها که شرایط محیط خوردگی را دارد بیشتر مورد توجه است.

در این شرایط سازه نیازمند به بررسی مجدد می باشد و ممکن است نیاز به تقویت برای رسیدن به حالت اولیه داشته باشد. یکی از روشهای تقویت استفاده از ورق های پلیمری می باشد. استفاده از کامپوزیت های با زمینه پلیمری در بهسازی سازه های بتن آرمه طی سالیان اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است که دلیل اصلی آن نیاز به افزایش عمر بهره برداری و ارتقای اساسی زیرساختها در تمامی نقاط دنیا میباشد. استفاده از ورق های فولادی به صورت پوشش خارجی،

غلاف های بتنی یا فولادی و پس کشیدگی خارجی، تعدادی از روش های متعارف موجود می باشند[1 -3].

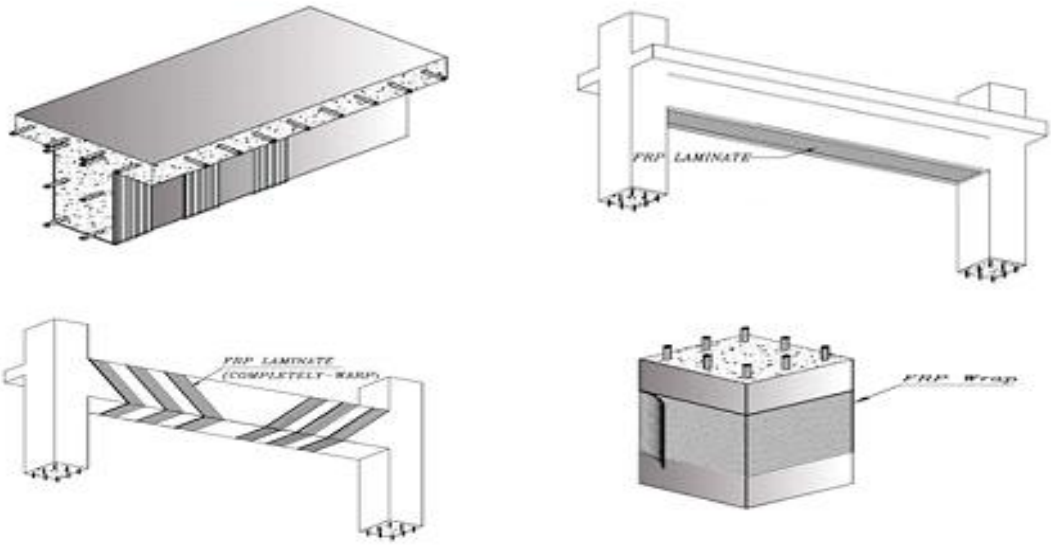
امروزه تعداد قابل توجهی از مقالات علمی، نشریات و کنفرانس های مربوط به بحث کاربرد این مصالح به موضوع مقاوم سازی اختصاص دارد. این رشد فزاینده شاهد رویکرد و اهمیت این فناوری نو می باشد. مهمترین عناوین مقاوم سازی عبارتند از (شکل۱-۱):

۱. تقویت خمشی

۲. تقویت برشی

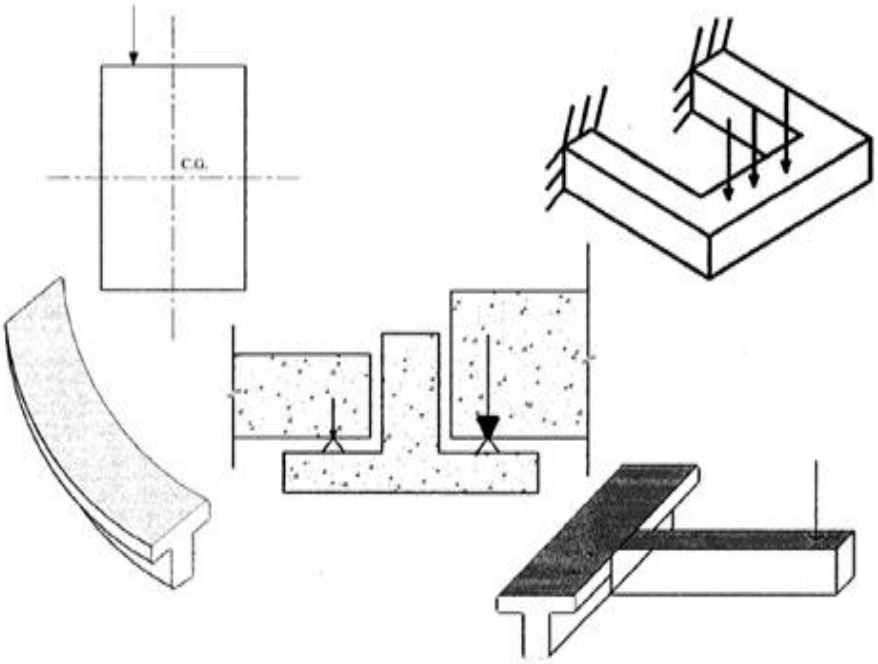
۳. تقویت پیچشی

۴. تقویت اعضای فشاری



شکل(۱-۱): حالتهای مختلف تقویت اعضای سازه با ورق های پلیمری [4]

حالتهای مختلفی وجود دارد که اعضا تحت اثر پیچش قرار می گیرند (شکل۱-۲). تحقیقاتی بصورت تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی در زمینه رفتار سنجی پیچشی تیرهای بتن آرمه با ورقهای پلیمری توسط پژوهشگران صورت گرفته است [5-13].



شکل(۱-۲): اعضای تحت اثر پیچش

به دنبال گسترش نیاز و توجه به تقویت با استفاده از مصالح کامپوزیت و به منظور کاربردی نمودن دانش فنی، روش های طراحی نیز تدوین گردیدند تا بصورت حرفه ای مورد استفاده قرار گیرند. تبیین روش های تحلیل و در نظر گرفتن ضرایب ایمنی در طراحی با ملاحظات اقتصادی منجر به تدوین دستورالعمل ها و آیین نامه های محاسباتی و اجرایی شدند که از آن جمله میتوان به آیین نامه های اروپا FIB [14][1]، کانادا ISIS [15][2] و ایالات متحده ACI[16][3] اشاره نمود. در ایران هم راهنمایی باعنوان "طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی"چاپ شده است. توصیه های طراحی براساس اصول حالت های طراحی حدی پایه گذاری شده است. این روش بر مبنای دو سطح ایمنی، حالت حدی بهره برداری (تغییر شکل زیاد و ترک خوردگی) و حالت حدی نهایی(شکست، گسیختگی و خستگی) می باشد. در تعیین مقاومت اسمی عضو، حالت های شکست ممکن و تنش ها و تغییرشکل های حاصله در هر

[1] International Federation for Structural Concrete
[2] Intelligent Sensing for Innovative Structures
[3] American Concrete Institute

یک از مصالح در نظر گرفته شده است[4]. اما این آیین نامه ها براساس روشهای قطعی شکل گرفته اند. حال با رسیدن به یافته های اساسی در تحقیقات و تدوین آیین نامه ها، ارزیابی قابلیت اعتماد آیین نامه ها در جهت بهبود ضروری به نظر می رسد[18 ,17].

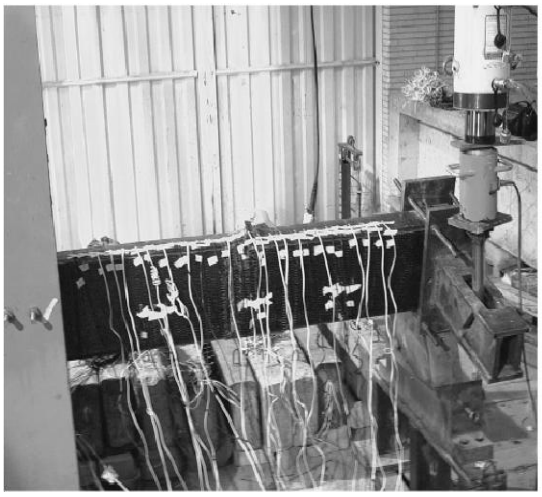
۱-۲ تحقیقات گذشته

در کشورهای توسعه یافته، پلیمرهای مسلح شده با الیاف FRP [1] به عنوان یک جانشین برای ورق های فولادی، رشد فراوانی یافته است. بدلیل آنکه ورق های فولادی دچار خوردگی شده و منجر به تخریب چسبندگی بین فولاد و بتن می گردند و همچنین نصب آنها بسیار مشکل بوده و احتیاج به تجهیزات سنگینی دارند، محققین FRP را به عنوان یک جایگزین برای فولاد در نظر گرفتند. کار آزمایشگاهی انجام شده بر روی مواد FRP که جهت تقویت سازه های بتنی استفاده می شوند، برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ در آلمان گزارش شد. تحقیق انجام شده در سوئیس منجر به اولین کاربرد سیستمهای FRP در پلهای بتن آرمه جهت مقاوم سازی خمشی گردید.

سیستمهای FRP برای اولین بار جهت اعمال محدودیت و محصورکنندگی ستونهای بتن آرمه در ژاپن در سال ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفت. وقوع حادثه ناشی از زلزله در سال ۱۹۹۵، باعث افزایش استفاده از FRP در ژاپن گردید.

ایالات متحده نیزسابقه تحقیقات مداوم و طولانی از سال ۱۹۳۰ در استفاده از تقویت کننده های بر پایه الیاف، جهت مقاوم سازی سازه های بتنی را داراست. با این وجود رشد و توسعه حقیقی و انجام تحقیقات در استفاده از این مواد برای تقویت سازه های بتنی در سال ۱۹۸۰ در آمریکا آغاز شد. فعالیتهای تحقیقاتی منجر به تقویت تعداد زیادی از پروژه ها در این کشورگردید که تحت بازه وسیعی از شرایط محیطی گوناگون اجرا شده است. این مصالح برای تقویت قسمتهای مختلف یک سازه (تیر، ستون، دالها و ...) می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. در این میان تحقیقات گسترده ای بر روی تیرهای تقویت شده با FRP انجام شده است. یکی از زمینه های این تحقیقات مربوط به اعضایی است که تحت اثر پیچش قرار می گیرند. شایان ذکر است یکی از این مطالعات در دانشگاه شهید باهنر کرمان توسط Fadaee و Mohammadizadeh انجام شده است (شکل۱-۳). اما برای استفاده از این مصالح به طور مناسب داشتن آیین نامه ضروری به نظر می رسد. توسعه آیین نامه ها و استانداردها برای سیستمهای FRP در اروپا، ژاپن، کانادا و ایالات متحده آمریکا در حال رشد می باشدکه مورد ارزیابی قرار گرفتن آنها از موضوعات بسیار مهم می باشد.

[1] Fiber Reinforced Polymer



شکل (۱-۳): تیرهای مورد آزمایش توسط Fadaee و Mohammadizadeh [9]

بنابراین با معرفی کامپوزیت ها با زمینه پلیمری وکاربرد آنها در مهندسی، تحقیقات متعددی در جهت ارزیابی قابلیت اعتماد اجزا وساختار آنها انجام شده است[19-26]. اولین ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های بتن آرمه تقویت شده با الیاف پلیمری درسال ۱۹۹۵ توسط Plevris et. al انجام شده است. در این تحقیق، تحلیل قابلیت اعتماد تیرهای بتنی تقویت شده با الیاف پلیمری تحت اثر خمش مورد بررسی قرار گرفته است. برای نشان دادن تاثیر متغیر های طراحی در مقاومت، دو نمونه اسمی برای متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده بود. ضریب کاهش مقاومت، ϕ، بر اساس شاخص ایمنی، β، برابر۳ تعیین شده است. همچنین تاثیر هر متغیر تصادفی برروی شاخص ایمنی بررسی شده است[27]. El-Tawil وOkeil شاه تیرهای پل وتیرهای پیش تنیده را با لحاظ قابلیت اعتماد مورد بررسی قرار دادند. شاخص ایمنی بر اساس روش مرتبه اول- لنگر دوم بدست آمده ودر پایان ضرایب کاهش مقاومت بر اساس شاخص ایمنی ۳/۵ برای تیرهای تحت اثر خمش تعیین شده است[28,29].

Ellingwood در سال ۲۰۰۳ فرمت روش ضرایب بار وکاهش مقاومت را برای الیاف پلیمری مورد مطالعه قرار می داد. او در این مقاله به خصوصیات مصالح وبارهای مورد استفاده در معادلات حدی پرداخت و طریقه استفاده تئوری قابلیت اعتماد در الیاف پلیمری را مشخص نمود[30]. بعد از چاپ آیین نامه ها، Shield به ارزیابی قابلیت اعتماد خمشی سازه های تقویت شده با پلیمر طرح شده توسط آئین نامه ACI پرداخت. شاخص ایمنی را از دو روش مونت کارلو ومرتبه اول- لنگر دوم بدست آورد. او در این تحقیق نشان داد که این آیین نامه مقداری محافظه کارانه است[31].

Zhen et. al قابلیت اعتماد برشی تیرهای بتن آرمه طرح شده توسط آیین نامه کشور چین را مورد