٩٦٢٨٨

پژوهشکده ساختمان و مسکن

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران – مهندسی زلزله

مدلسازی محصورشدگی ستونهای بتنی دایروی تقویت شده با ورقهای FRP با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

۱۳۸۷ /۵/ ۲۵

اساتید راهنما :

پروفسور علی کاوه

دکتر کورش نصرا... زاده

نگارش :

مهدی- علی عباس زاده مشهد

مهرماه ۱۳۸۴

۹۷۲۸۸

تاییدیه هیات داوران

آقای مهدی عباس‌علی‌زاده‌مشهد پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان « مدلسازی محصور شدگی ستونهای بتنی تقویت شده با ورقهای FRP با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی » که در تاریخ ۸۴/۷/۱۷ ارایه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران با گرایش مهندسی زلزله پیشنهاد می‌کنند.

۱۳۸۷ /۵/ ۲۵

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضا
۱- استاد راهنمای اول	آقای دکتر علی کاوه	
۲- استاد راهنمای دوم	آقای دکتر کوروش نصراله‌زاده	
۳- استادان ممتحن داخلی	آقای دکتر وطنی اسکوئی	
خارجی	آقای دکتر همایون استکانچی	
۴- مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی):	آقای دکتر علی کاوه	

"کلیه حقوق اعم از چاپ ، تکثیر و نسخه برداری، ترجمه و اقتباس برای پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ است."

تقدیم به آن دو که تمام موفقیت های زندگیم را مرهون فداکاری ها ومهربانی های آنها هستم.

تقدیم به او که مرا همسفر خویش در مسیر پرتلاطم زندگی انتخاب نمود تا این بار در سایه مهر و همراهی او بتوانم گام های پیشرفت را در آینده بردارم.

تقدیم به آن که روزی وعده ی به من داد....

عاشقان ره عشق در این بحر عمیق

غرقه گشتند و نگشتند به آب آلوده

تقدیر و تشکر:

بدین وسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از معلم برجسته زندگیم، جناب آقای دکتر کاوه که نه تنها با راهنمائی ها ونظرات ارزشمند خود نقش بسزائی در تکمیل این پایان نامه داشتند، بلکه با اخلاق و منش خویش درس زندگی به من آموختند ابراز دارم. همچنین در این جا لازم می دانم از زحمات جناب آقای دکتر نصرا... زاده که علی رغم دوران کوتاه شاگردی ایشان، از ایده ها و نقطه نظرات ایشان در پیشبرد پایان نامه، خصوصا در بخش الیاف FRP بهره مند گشتم تشکر کنم. بی شک سهم ایشان در به ثمر رسیدن این پژوهش غیر قابل اغماض است. در پایان از کلیه عزیزانی که در راه تالیف این پژوهش مرا یاری کردند صمیمانه تشکر می کنم.

چکیده

در دو دهه گذشته، استفاده از کامپوزیت های *FRP* برای مقاصد مقاوم سازی و یا بهسازی سازه های بتن در محافل مهندسی عمران کاربرد روزافزونی یافته است، که این موضوع را می توان به ویژگیهای ذاتی مطلوب (نسبت بسیار زیاد مقاومت به وزن، رفتار خوردگی مطلوب، خنثی بودن الکترومغناطیس، نصب و نگهداری آسان و مقاومت خستگی) این مواد نسبت داد. از میان کاربردهای گسترده کامپوزیت های *FRP* ، یکی از جذاب ترین آنها، استفاده از این مواد بعنوان ابزار محصورکننده برای ستونهای بتنی است که می تواند به افزایش قابل توجه مقاومت و شکل پذیری به همانگونه که نتایج تجربی فراوان منتشر شده نشان داده اند، منجر شود. علی رغم تلاشهای تحقیقاتی زیاد، هنوز یک مدل تحلیلی که بتواند رفتار ستونهای محصورشده با *FRP* را بطور دقیق پیش بینی کند، ارائه نشده است. بیشتر مدلهای حاضر، دارای طبیعت آزمایشگاهی بوده و برای اطلاعات آزمایشگاهی مربوط به خود کالیبره شده اند.

شبکه های عصبی مصنوعی توجه قابل ملاحظه ای را به خود معطوف کرده و در مدلسازی روابط غیرخطی پیچیده توانایی خود را بروز داده اند. با جمع آوری اطلاعات نمونه های آزمایشگاهی از منابع معتبر منتشر شده، هدف این پژوهش جستجوی کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی کارآمدی محصورشدگی ستونهای بتنی محصورشده با *FRP* است. از آنجاییکه دسته های اطلاعات آزمایشگاهی موجود برای ستونهای غیردایروی و یا دارای ابعاد بزرگ محدود می باشد، تنها ستونهای دایروی دورپیچ شده با ابعاد کوچک در این پژوهش وارد شده اند. با استفاده از دو الگوریتم شبکه عصبی *(RBF , BPN)* جهت آموزش و آزمایش دسته اطلاعات آزمایشگاهی، به پیش بینی حداکثر تنش محوری و کرنش نظیر آن که مهمترین پارامترها از نقطه نظر طراحی بوده و تأثیر زیادی در تقریب منحنی تنش- کرنش آزمایشگاهی دارند، می پردازیم. همچنین یک مطالعه مقایسه ای بین مدلها شبکه عصبی و دیگر مدلهای موجود در ادامه صورت می گیرد. یافته ها نشان دادند که مدل شبکه عصبی بطور قابل قبولی به رفتار مشخصه ستونهای بتنی محصورشده است، دست یابد. افزون بر اینها، روش ارزیابی شبکه عصبی در مقایسه مدلهای تحلیلی و آزمایشگاهی، نتایج بهتری را ارائه داد.

همگرایی نزدیک بین مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر محاسبه شده، نشاندهنده این است که مدلسازی بر پایه شبکه عصبی روشی پرکاربرد برای پیش بینی کارآمدی ستونهای بتنی دورپیچ شده با *FRP* است، زیرا بلافاصله پس از اینکه بطور صحیح آموزش یافت و آزمایش گردید، می تواند نتایج را بطور آنی در اختیار گذارد.

کلید واژه ها : ***ستونهای بتنی، CFRP، محصورشدگی، شبکه های عصبی مصنوعی، مقاوم سازی.***

عناوین:

فصل اول - کلیات

۱-۱ مقدمه..... ۱

۱-۲ انسان و کامپیوتر..... ۴

۱-۳ شبکه های عصبی مصنوعی..... ۴

۱-۴ هدف و روش تحقیق..... ۵

فصل دوم - مروری بر دلایل ترمیم و تقویت سازه های بتنی و آشنایی با کامپوزیتهای FRP

۲-۱ مقدمه..... ۷

۲-۲ دلایلی که سازه‌های بتنی نیاز به ترمیم و تقویت پیدا می کنند ۸

۲-۲-۱ روشهای موجود برای ترمیم و تقویت المانهای بتن مسلح ۹

۲-۲-۲ ستونها ۱۰

۲-۲-۳ زره‌هایی با الیاف مرکب GFRP , CFRP ۱۱

۲-۲-۴ انتخاب روش ترمیم و تقویت ۱۳

۲-۳ کامپوزیتها ۱۴

۲-۳-۱ مقدمه ۱۴

۲-۳-۲ تاریخچه مواد مرکب پلیمری ۱۵

۲-۳-۳ روشهای شکل گیری کامپوزیتهای FRP..... ۱۵

۲-۳-۴ انواع الیاف ۱۷

۲-۳-۴-۱ الیاف شیشه ۱۹

۲-۳-۴-۲ الیاف کربن ۲۲

۲-۳-۴-۳ الیاف آرامید ۲۴

۲-۳-۵ ماتریسهای مورد استفاده در مواد مرکب ۲۷

۲-۳-۵-۱ مقدمه ۲۷

۲-۳-۵-۲ مهمترین ماتریسهای پلیمری ۲۷

۲-۳-۶ خصوصیات مکانیکی کامپوزیتهای MMC ۳۷

فصل سوم – شبکه های عصبی مصنوعی

۳-۱ مقدمه ۴۰

۳-۲ تاریخچه شبکه‌های عصبی ۴۱

۳-۳ شبکه‌های عصبی بیولوژیکی ۴۸

۳-۴ قابلیت‌ها و خصوصیات شبکه‌های عصبی مصنوعی ۵۱

۳-۵ کاربردهای عمومی شبکه‌های عصبی ۵۳

۳-۵-۱ انتخاب نوع کاربرد شبکه ۵۳

۳-۶ تعاریف پایه در مورد شبکه‌های عصبی ۵۵

۳-۷ تفاوت شبکه‌های عصبی مصنوعی و طبیعی ۵۶

۳-۸ از نرون بیولوژیکی تا نرون مصنوعی ۵۷

۳-۹ نرون یک گلوگ- پیتز ۵۹

۳-۱۰ انواع نرونهای مصنوعی ۶۱

۳-۱۱ قسمتهای اصلی شبکه‌های عصبی مصنوعی ۶۲

۳-۱۱-۱ جزء ۱: فاکتور وزن ۶۲

۳-۱۱-۲ جزء ۲: تابع جمع کننده ۶۳

۳-۱۱-۳ جزء ۳: تابع انتقالی ۶۴

۳-۱۱-۳-۱ انواع توابع تحریک (انتقالی) ۶۶

۳-۱۱-۴ جزء۴: مقیاس گذاری و محدودسازی ۷۰

۳-۱۱-۵ جزء۵: تابع خروجی (رقابت) ۷۱

۳-۱۱-۶ جزء۶: مقادیر انتشار به عقب و تابع خطا ۷۱

۳-۱۱-۷ جزء ۷: عملیات آموزش ۷۱

۳-۱۲ مراحل مدلسازی با استفاده از شبکه های عصبی ۷۲

۳-۱۳ طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی ۷۳

۳-۱۳-۱ شبکه‌های پیش‌خور ۷۴
۳-۱۳-۲ شبکه‌های پس‌خور ۷۴
۳-۱۴ معماری شبکه‌های عصبی مصنوعی ۷۵
۳-۱۴-۱ شبکه‌های پیش‌خور تک لایه ۷۵
۳-۱۴-۲ شبکه‌های پیش‌خور چند لایه ۷۵
۳-۱۴-۳ شبکه‌های بازگشتی ۷۶
۳-۱۵ روشهای آموزش شبکه‌های عصبی ۷۸
۳-۱۶ الگوریتمهای آموزش شبکه‌های عصبی ۷۹
۳-۱۶-۱ یادگیری با نظارت ۷۹
۳-۱۶-۲ یادگیری تقویتی ۸۰
۳-۱۶-۳ یادگیری بدون نظارت ۸۱
۳-۱۶-۴ یادگیری رقابتی ۸۱
۳-۱۷ شبکه‌های از نرونهای یک کلوک- پتر ۸۳
۳-۱۷-۱ قانون یادگیری پرسپترون ۸۵
۳-۱۸ قوانین یادگیری ۸۷
۳-۱۸-۱ قانون هب ۸۷
۳-۱۸-۲ یادگیری با مینیمم‌سازی خطا ۸۹
۳-۱۸-۳ روش کاهش گرادیان ۹۰
۳-۱۸-۳-۱ آموزش شبکه‌های یک لایه پیش‌خور با استفاده از یادگیری کاهش گرادیان ۹۰
۳-۱۸-۳-۲ برخی نکات مهم در یادگیری کاهش گرادیان ۹۱
۳-۱۸-۴ قاعده دلتا ۹۴
۳-۱۸-۵ قانون دلتا تعمیم یافته ۹۵
۳-۱۸-۶ روش لونبرگ- مارکوارت ۹۶
۳-۱۸-۷ روش انتشار سریع ۹۷
۳-۱۸-۸ قانون کوهنن ۹۷

۳-۱۸-۹ قانون یادگیری هاپفیلد ۱۰۰
۳-۱۹ شبکه‌های عصبی چند لایه ۱۰۱
۳-۱۹-۱ یادگیری در پرسپترونهای چند لایه ۱۰۲
۳-۱۹-۱-۱ یادگیری با معلم ۱۰۴
۳-۱۹-۱-۲ یادگیری گرادیان مزدوج ۱۰۵
۳-۲۰ الگوریتم پس انتشار خطا یا انتشار بازگشتی ۱۰۷
۳-۲۰-۱ محدودیت‌های الگوریتم BP ۱۱۳
۳-۲۰-۲ نرخ یادگیری در الگوریتم BP ۱۱۵
۳-۲۰-۳ آموزش دسته‌ای و الگویی ۱۱۵
۳-۲۱ تهیه اطلاعات ورودی برای آموزش شبکه ۱۱۷
۳-۲۱-۱ الگوریتم آموزش شبکه ۱۱۸
۳-۲۲ اعتبار مدل ۱۲۱
۳-۲۲-۱ جذر میانگین مربع خطا ۱۲۱
۳-۲۲-۲ تقریب همبستگی بین خروجی‌های حقیقی و دلخواه ۱۲۲
۳-۲۲-۳ میانگین خطای نسبی بین خروجی‌های حقیقی و دلخواه ۱۲۲
۳-۲۳ مشکلات احتمالی در روند آموزش شبکه‌های چند لایه ۱۲۲
۳-۲۳-۱ ناتوانی شبکه ۱۲۳
۳-۲۳-۲ کمینه محلی ۱۲۳
۳-۲۳-۳ اندازه گام ۱۲۴
۳-۲۳-۴ ناپایداری موقت ۱۲۴
۳-۲۳-۵ یادگیری بیش از حد (Over-Learning) و تعمیم‌دهی ۱۲۵
۳-۲۴ تابع پایه شعاعی ۱۲۶
۳-۲۴-۱ درون‌یابی دقیق ۱۲۶
۳-۲۴-۲ تعیین وزنهای سیناپسی ۱۲۷
۳-۲۴-۳ بعضی توابع پایه شعاعی ۱۲۷

۳-۲۴-۴ شبکه‌های تابع پایه شعاعی ۱۲۹
۳-۲۴-۴-۱ بهبود شبکه‌های RBF..... ۱۳۰
۳-۲۴-۴-۲ بیان ریاضی بهبود شبکه‌های RBF..... ۱۳۰
۳-۲۴-۴-۳ یافتن اوزان خروجی ۱۳۲
۳-۲۴-۴-۴ خوشه‌بندی K-means..... ۱۳۳
۳-۲۴-۵ آموزش با نظارت شبکه‌های RBF..... ۱۳۴
۳-۲۴-۶ تئوری مرتب‌سازی برای شبکه‌های RBF..... ۱۳۴
۳-۲۴-۷ آموزش شبکه‌های RBF..... ۱۳۵
۳-۲۴-۸ مقایسه شبکه‌های RBF و MLP..... ۱۳۶

فصل چهارم – آشنایی با مدلهای محصورشدگی موجود برای ستونهای دایروی محصور شده با FRP
۴-۱ مقدمه..... ۱۳۸
۴-۲ رفتار مشاهده شده استوانه های بتنی محصور شده با FRP..... ۱۳۹
۴-۳ مرور مدلهای محصورشدگی FRP..... ۱۴۱
۴-۳-۱ مدلهای محصورشدگی پایه فولادی..... ۱۴۲
۴-۳-۱-۱ مدل فردیس و خلیلی ۱۴۲
۴-۳-۱-۲ مدل سعادتمنش و همکاران ۱۴۲
۴-۳-۲ مدلهای تجربی یا تحلیلی..... ۱۴۴
۴-۳-۲-۱ مدل کارباهاری و گائو..... ۱۴۴
۴-۳-۲-۲ مدل کونو و همکاران..... ۱۴۵
۴-۳-۲-۳ مدل سمعان و همکاران..... ۱۴۶
۴-۳-۲-۴ مدل میائوچی و همکاران..... ۱۴۷
۴-۳-۲-۵ مدل توتانجی..... ۱۴۸
۴-۳-۲-۶ مدل صافی و همکاران..... ۱۵۰

۴-۳-۲-۷ مدل اسپولسترا و همکاران..... ۱۵۱
۴-۳-۲-۸ مدل ژائو و وو..... ۱۵۲
۴-۳-۲-۹ مدل لام وتنگ..... ۱۵۲
۴-۴ ارزیابی سیستماتیک عملکرد مدلهای موجود..... ۱۵۴
۴-۵ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۵۸

فصل پنجم – ارائه مدل محصورشدگی با FRP در ستونهای دایروی با استفاده از شبکه عصبی
۵-۱ مقدمه..... ۱۶۰
۵-۲ جمع آوری اطلاعات نمونه های آزمایشگاهی ۱۶۰
۵-۲-۱ طبقه بندی اطلاعات..... ۱۶۰
۵-۲-۲ ابعاد..... ۱۶۰
۵-۲-۳ ویژگیهای مکانیکی FRP..... ۱۶۱
۵-۲-۴ ویژگیهای مکانیکی بتن..... ۱۶۱
۵-۲-۵ ویژگیهای محصورشدگی..... ۱۶۱
۵-۲-۶ نتایج آزمایش ها..... ۱۶۱
۵-۳ دیگر متغیرها..... ۱۶۶
۵-۳-۱ نوع رزین..... ۱۶۶
۵-۳-۲ همپوشانی..... ۱۶۶
۵-۳-۳ ابزار ضد اصطکاک..... ۱۶۶
۵-۳-۴ بار محوری بر روی FRP..... ۱۶۷
۵-۳-۵ مشخصه های کششی..... ۱۶۷
۵-۳-۶ تعداد دفعات آزمایش..... ۱۶۷
۵-۳-۷ مد شکست ۱۶۸
۵-۴ انتخاب اطلاعات آزمایشگاهی و پارامترهای ورودی مدل..... ۱۶۹
۵-۵ مختصری در مورد نرم‌افزار Neural Works Professional II..... ۱۷۴

۵-۵-۱ ساخت شبکه عصبی..... ۱۷۵
۵-۵-۲ فایل اطلاعات ورودی ۱۸۰
۵-۵-۳ آموزش و آزمایش شبکه ۱۸۱
۵-۵-۴ منوهای دیگر ۱۸۲
۵-۶ ارائه مدل شبکه عصبی..... ۱۸۴
۵-۶-۱ مدل BPN ۱۸۴
۵-۶-۲ مدل RBF..... ۱۸۹
۵-۷ مطالعه موردی..... ۱۹۲
۵-۷-۱ ستون نوع M..... ۱۹۲
۵-۷-۲ ستون نوع S..... ۱۹۷

فصل ششم- مقایسه مدلها در پیش بینی رفتار دسته اطلاعاتی شبکه عصبی
۶-۱ مقدمه..... ۲۰۳
۶-۲ مقایسه مدلهای موجود با مدلهای ارائه شده..... ۲۰۳
۶-۳ پیش بینی حداکثر مقاومت محصور شده، F'cc..... ۲۱۰
۶-۴ پیش بینی کرنش متناظر حداکثر مقاومت محصورشده، εcc..... ۲۱۱
۶-۵ مقایسه پارامترهای آماری مدلها..... ۲۲۹

فصل هفتم- نتیجه گیری و پیشنهادات

- مراجع
- پیوست ۱
- پیوست ۲
- پیوست ۳
- پیوست ۴

- پیوست ۵
- پیوست ۶
- پیوست ۷

فصل اول :

کلیات

۱-۱ مقدمه

بسیاری از سازه‌های بتن آرمه موجود در دنیا در اثر تماس با سولفاتها، کلریدها و سایر عوامل خورنده، دچار آسیبهای اساسی شده‌اند. این مسئله هزینه‌های زیادی برای تعمیر، بازسازی و یا تعویض سازه‌های آسیب دیده در سراسر دنیا موجب شده است. تعمیر و جایگزینی سازه‌های بتنی آسیب دیده میلیونها دلار خسارت داشته است. در سالهای اخیر نیاز به ترمیم و تقویت سازه‌ها بطور قابل توجهی افزایش یافته است.

مهمترین دلایل ترمیم و تقویت سازه‌ها به شرح زیر است :

۱ – نیاز به افزایش ظرفیت سازه برای بارهای اضافه شده؛

۲ – تقویت سازه بر اساس آیین نامه‌های جدید؛

۳ – ترمیم سازه به دلیل خطا در طراحی و ساخت؛

۴ – جایگزینی ظرفیت باربری از دست رفته سازه در اثر خوردگی و یا گذشت زمان؛

۵ – ترمیم سازه پس از آسیب های محیطی مثل زلزله؛

هزینه‌های بازسازی و یا تعمیر سازه‌های پارکینگ در کانادا ۴ تا ۶ میلیارد دلار کانادا تخمین زده شده است. هزینه تعمیر پلهای شاهراهها در حدود ۵۰ میلیارد دلار برآورد شده است. برای بازسازی کلیه سازه‌های بتن آرمه آسیب دیده در اثر مسئله خوردگی آماتورها در آمریکا، بودجه‌ای در حدود ۱ تا ۳ تریلیون دلار نیاز است.

از مواردی که سازه‌های بتن آرمه به صورت سنتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. کاربرد آنها در محیطهای دریایی بوده است. قدمت کاربرد بتن آرمه و بتن پیش تنیده در پروژه‌های دریایی به سال ۱۸۹۶ برمی گردد. دلیل عمده این مسئله، خواص ذاتی و از جمله مقاومت خوب و سهولت کاربرد بتن چه به صورت بتن ریزی در جا و چه به صورت بتن پیش تنیده است. با این وجود، شرایط آب و هوایی و محیطی خشن و خورنده اطراف سازه‌های ساحلی و دریایی همواره به عنوان تهدیدی جدی برای اعضاء بتن آرمه محسوب می‌گردد. در محیطهای ساحلی و دریایی، خاک، آب زیرزمینی و هوا اکثراً حاوی مقادیر زیادی نمک شامل ترکیبات سولفور و کلرید هستند.

در کشور ما نیز از منطقه خلیج فارس در دنیا به عنوان یکی از مخربترین محیطها برای بتن یاد می‌شود. در چنین شرایطی ترکها و ریزترکهای متعددی در اثر انقباض و نیز تغییرات حرارتی و رطوبتی، ایجاد شده که این مسئله به نوبه خود نفوذ کلریدها و سولفاتهای مهاجم را به داخل بتن تشدید کرده و شرایط مستعدی را برای خوردگی فولاد فراهم می‌آورد. به همین جهت بسیاری از سازه‌های بتن آرمه در نواحی ساحلی ایران نظیر سواحل بندرعباس، در کمتر از ۵ سال از نظر سازه‌ای غیر قابل استفاده شده‌اند [۱]. از مجموع مطالب فوق این نکته مشخص می‌شود که به تعمیر، بازسازی و تقویت سازه‌ها به شرح روشهای زیر موردنیاز است:

۱ – استفاده از ژاکتهای بتنی؛

۲ – استفاده از المانهای فولادی مثل نبشی برای تقویت ستونها یا ورق برای تقویت تیرها؛

۳ – استفاده از ورقهای کامپوزیتی مثل FRP ؛

۴ – پیش تنیده کردن اعضاء (که در مورد تیرهای پل بیشتر استفاده می‌شود)؛

از هر یک از روشهای بالا می‌توان برای تقویت سازه‌ها استفاده کرد [۲].

چسباندن صفحات فولادی به سازه‌های بتن مسلح یک روش معمولی و عامه پسند برای تقویت سازه‌های بتنی ناکارآمد محسوب می‌شود. در سالهای اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در مورد استفاده از فابریکهای پلیمری مسلح (ورقه‌های FRP) به جای چسباندن صفحات فولادی انجام شده است. FRP ها همچنین به طور گسترده‌ای برای تقویت ستونها به صورت دورپیچی خارجی استفاده می شوند. در حال حاضر، تیمهای تحقیقاتی بسیار زیادی در سراسر جهان درباره این موضوع تحقیق می‌کنند، ورقهای FRP به طور معمول ۲ تا ۱۰ برابر قویتر از ورقهای فولادی هستند. در حالیکه فقط ۲۰٪ وزن فولاد را دارند (Darby , ۱۹۹۹) محدودیت استفاده از این مواد در مهندسی عمران ناشی از قیمت بالای آن بوده است.

یکی از موثرترین و اقتصادی‌ترین روشهای تعمیر و تقویت سازه‌های بتن آرمه استفاده از FRP یا Fiber Reinforced Polymer است که قبلاً در صنایع هوا فضا، هواپیما سازی و کشتی سازی کاربرد بسیار زیادی داشته و چندین سال است که وارد صنعت ساختمان شده و استفاده از آن هر روز بیشتر می‌شود، ورقهای FRP دارای مزایای بسیاری می باشند که تعدادی از مزایای آنها به شرح زیر است:

۱ – مقاومت کششی و گسیختگی بالا نسبت به مصالح مرسوم مثل فولاد؛

۲ – دوام بالا (این موارد مقاومت بسیار بالایی در مقابل عوامل مخرب شیمیایی دارند)؛

۳ – سادگی و سرعت بالای اجرا (به سادگی شکل می‌گیرند و کار با آنها راحت است)؛

۴ – تا نقطه خرابی به صورت الاستیک خطی رفتار می‌کنند؛

۵ – وزن سبک؛

۶ – تنوع این مواد (خصوصیات مکانیکی ورقها با نوع و جهت قرار گیری الیاف تغییر می کند)؛

۷ – افزایش بسیار ناچیز در ابعاد هندسی اجزاء تقویت شده و کاهش مشکلات معماری [۲]؛

پیشرفتهای ابتدایی فن آوری تقویت با FRP در آلمان و سوئیس انجام گرفت. تقویت خمشی اعضاء بتن آرمه با ورقهای FRP خارجی چسبانده شده با اپوکسی در ابتدا بوسیله محققان در انستیتوهای مختلف شامل لابراتوارهای آزمایش و تحقیق درباره مواد در سوئیس (EMPA)، انستیتوی مواد ساختمانی و مواد محافظت کننده در برابر آتش در آلمان (IBMB) انستیتوی تکنولوژی ماساچوست و دانشگاه آریزونا در امریکا مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعات در دو حالت رفتار بلند مدت و رفتار کوتاه مدت تیرهای بتن آرمه تقویت شده با ورقه‌های FRP کربن، شیشه یا آرامید چسبانده شده یا اپوکسی انجام شده‌اند، از جمله موضوعات استاتیکی مورد بررسی، رفتار خستگی و خزش، اثر انواع مختلف چسب و مواد کامپوزیت روی پاسخ تیر، استفاده از ورقهای پیش کشیده، رفتار تیر هنگام آتش سوزی و توسعه روشهای طراحی را میتوان نام برد. نتایج بدست آمده از طریق این بررسیها ثابت کرده‌اند که فن آوری تقویت با FRP، بخصوص هنگامی که مواد FRP با استفاده از فایبرهای کربن (CFRP) ساخته شده باشند بسیار موثر و کارآمد است [۳].

دیگر زمینه‌های تحقیق به استفاده از کامپوزیتها به عنوان مواد تقویت کننده سازه‌های بتنی (ستونهای دور پیچیده شده با ژاکتهای(FRP) به منظور افزایش مقاومت خمشی، محوری و برشی، تحت بارهای لرزه ای مربوط می‌شود، نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی به همان خوبی تجارب عملی نشان داده اند که ستونهای با FRP دور پیچیده شده (یا المانهای ستون مانند، مثل دود کشهای بلند) تحت بارگذاری محوری، خمشی و برشی، مقاومت، سختی و شکل پذیری بسیار خوبی را از خود نشان داده اند.