

مدل سازی عملکرد نمونه های تقویت شده با FRP تحت بار محوری

محمد جواد فدایی^۱، مریم زین الدینی^۲، فرزاد فلاح^۳

۱- استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشجوی کارشناسی بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

Email: eng_f_fallah@yahoo.com

خلاصه

استفاده از کامپوزیت های FRP در صنعت مقاوم سازی روز به روز گسترده تر از پیش می گردد. در این میان بدلیل اینکه هنوز موارد ناشناخته بسیاری در ارتباط با عملکرد این مواد وجود دارد، نیاز به لزوم تحقیقات در این زمینه بشدت احساس می گردد. در این مطالعه جهت بررسی اثر تقویت ستون های بتنی با الیاف FRP تعداد ۱۳ نمونه مکعب مستطیل بتنی تقویت شده با الیاف سه گانه CFRP، GFRP و AFRP به صورت پوشش های بدون لایه، یک لایه، دو لایه، سه لایه و چهار لایه توسط نرم افزار محاسباتی ANSYS مدل سازی گردیده و مقاومت فشاری نهایی نمونه ها تحت بار محوری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و در نهایت مقایسه ای بین ظرفیت باربری در هر کدام از سه سری نمونه ها بعمل آمده است.

کلمات کلیدی: الیاف FRP، مقاوم سازی، بار محوری، مقاومت نهایی، کرنش نهایی

مقدمه

سیستم های FRP از اوایل سال ۱۹۸۰ به منظور مقاوم سازی و تقویت سازه های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد پروژه هایی که از این سیستم ها استفاده کرده اند از کمتر از ده سال قبل به طور چشمگیری افزایش یافته و تا به امروز به چندین هزار پروژه رسیده است. اعضای سازه ای که تاکنون با این سیستم ها مقاوم سازی شده اند عبارتند از: تیر ها، دالها، ستون ها، دیوارها، اتصالات، دودکش ها، گنبد ها، تونل ها، سیلوها، لوله ها و خرپاها. از این سیستم ها همچنین برای مقاوم سازی سازه های بنایی نیز استفاده می شود. این صفحات پلیمری از دو بخش اساسی الیاف و رزین تشکیل شده اند. الیاف که اصولاً الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، بخش اصلی باربر در سازه FRP محسوب می شوند که بسته به نوع فیبر، قطر اصلی آنها در محدوده ۵ تا ۲۵ میکرون می باشد. رزین اصولاً به عنوان یک محیط چسباننده عمل می کند که فیبرها را در کنار یکدیگر نگاه می دارد. از فاکتورهای اصلی در کارایی فیزیکی کامپوزیت های FRP می توان به خواص مکانیکی الیاف، آرایش الیاف (جهت بافته شدن الیاف دوجهته) و چسب مورد استفاده اشاره نمود. الیاف در کامپوزیت ها حجم قابل توجهی را به خود اختصاص داده و وظیفه اصلی تحمل بار اعمالی به عهده آنها می باشد. از این رو الیاف یا به بیان دیگر نوع FRP مورد استفاده بسیار حایز اهمیت می باشد. نوع الیاف، مقدار مناسب آنها جهت مصرف و نحوه قرارگیری آنها می تواند بر مقاومت کششی، فشاری و خمشی، خستگی، قیمت و ضرایب انتقال حرارت و الکتریسیته تاثیر گذار باشد که هر یک از این فاکتورها می تواند عامل تعیین کننده ای جهت رد یا قبول انواع الیاف مختلف باشد. انواع الیاف کربن، الیاف شیشه، الیاف آرامید، ترکیب الیاف کربن و آرامید، ترکیب الیاف شیشه و آرامید:

مقایسه کامپوزیت های مختلف FRP

الیاف شیشه GFRP

از مزایای GFRP ها می توان به وزن بسیار ناچیز، استحکام کششی بالا، شکل پذیری مناسب، راحتی در جابجایی، سرعت عمل بالا، سادگی اجرا، مقاومت شیمیایی بالا، عایق بودن حرارت و الکتریسیته راحتی برش در اندازه های دلخواه، امکان تقویت بدون نیاز به تخریب و قیمت پایین (به خصوص در مقایسه با الیاف کربن) اشاره نمود. قابل ذکر است خواص الیاف شیشه ای علاوه بر مواد بکار رفته در ساختار آنها به عوامل دیگری مانند شرایط محیطی و غیره وابسته است. به طور مثال افزایش دما و رطوبت باعث کاهش استحکام الیاف می گردد [۱].

الیاف کربن CFRP

از مزایای الیاف کربن می توان به مقاومت بسیار بالای کششی، وزن بسیار ناچیز، استحکام بالای خستگی، ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین، مقاومت بالا در مقابل خوردگی و شکل پذیری بسیار مناسب اشاره کرد و از معایب آن می توان به ترد بودن در شکست، هدایت الکتریکی، کرنش کم در شکست و قیمت بالا اشاره نمود. الیاف کربن تحت تاثیر رطوبت هوا، حلال ها، بازها و اسیدهای ضعیف در دمای محیط قرار نمی گیرند. با توجه به شکننده بودن کامپوزیت ها، استفاده از الیاف با کرنش زیاد در هنگام شکست بسیار حایز اهمیت است که الیاف کربن فاقد این خاصیت می باشند. البته بهینه کردن فرآیند تولید در طول دهه های گذشته منجر به بهبود فراوان الیاف کربن شده است [۱ و ۲].

الیاف آرامید AFRP

مهمترین خواص الیاف آرامید عبارتند از: نسبت استحکام و مدول به وزن بسیار عالی (وزن کم و استحکام بالا)، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت خستگی مناسب، عدم حساسیت به شکاف یا ترک، مقاومت بالا در مقابل حلال های آلی، مواد سوختنی و نرم کننده ها و امکان استفاده مداوم تا دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتیگراد. الیاف آرامید اگرچه در کشش رفتاری الاستیک از خود نشان می دهند اما تحت بار فشاری رفتاری غیر خطی از خود بروز می دهند. نور ماورای بنفش نیز اثری تخریبی بر این الیاف دارد. همچنین لازم به ذکر است که برش الیاف آرامید با وسایل برش معمولی به سختی انجام می شود و به وسایل برش مخصوصی نیاز دارد [۱].

در جدول زیر مقایسه ای بین مشخصات کاربردی الیاف صورت گرفته است:

جدول ۱- خصوصیات کاربردی الیاف FRP [۳]

وضعیت ورق های کامپوزیت			
عملکرد	شیشه (Glass)	کربن (Carbon)	آرامید (Aramid)
مقاومت کششی	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب
مقاومت فشاری	خوب	خیلی خوب	نامناسب
ضریب الاستیسیته	مناسب	خیلی خوب	خوب
عملکرد دراز مدت	مناسب	خیلی خوب	خوب
عملکرد در مقابل خستگی	مناسب	عالی	خوب
تراکم حجمی	مناسب	خوب	عالی
مقاومت در برابر واکنش قلیایی	نامناسب	خیلی خوب	خوب
قیمت	خیلی خوب	مناسب	مناسب

تحقیقات انجام شده تاکنون

در ارتباط با رفتار ستون های تقویت شده با الیاف FRP در اثر بار محوری مطالعات زیادی انجام گرفته شده است. این مطالعات نشان می دهند که رفتار بتن پوشیده شده با FRP متفاوت از بتن پوشش داده شده با فولاد می باشد. بنابراین ضوابط طراحی ارایه شده برای ستون های تقویت شده با فولاد نمی توانند جهت طراحی ستون های با پوشش FRP مورد استفاده قرار گیرند. از جمله این تحقیقات می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

Harmon and Slattery 1992, Demers and Neale 1994, Howie and Karbhari 1994, Nanni and Bradford 1995, Karbhari and Gao 1997, Toutanji 1999, Rochette and Labossiere 2000, Xiao and Wu 2000

ذکر این نکته ضروری می باشد که تاثیر پوشش FRP برای ستون های مستطیلی شکل کمتر از ستون های دایره ای می باشد حتی اگر گوشه های آن را برتاشیم و از جکت FRP استفاده کنیم. دلیل این مساله این است که بخاطر شکل مقطع ستون، توزیع فشار پوششی یکنواخت نبوده و فقط بخشی از هسته ستون موثر خواهد بود. مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که شکست در این ستون ها اغلب با گسیختگی FRP در گوشه ستون رخ می دهد. در این موارد مقاومت نهایی بتن قبل از کرنش نهایی FRP فرا می رسد [۴].

مشخصات نمونه های مدل سازی شده

نمونه ها با مقطع مربع شکل و به ابعاد ۱۵۰ در ۱۵۰ میلیمتر و به ارتفاع ۴۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شدند. پارامتر متغیر تعداد لایه های دور پیچ در نظر گرفته شد و در هر سری نمونه ها با یک، دو، سه و چهار لایه از الیاف FRP پوشش داده شده و مدلسازی گردیدند. همچنین یک نمونه بطور معمولی و بدون تقویت جهت مقایسه نتایج با نمونه های تقویت شده نیز مدلسازی گردید.

فرضیات مورد استفاده در مدل سازی

نرم افزار ANSYS اجازه مدلسازی مواد کامپوزیتی را با به کار گیری المانهای لایه ای می دهد. المان های لایه ای می توانند در کلیه آنالیز های سازه ای مورد استفاده قرار گیرند. در مدل سازی مواد مرکب بایست پنج مرحله زیر طی شود:

- انتخاب المان لایه ای مناسب
- معرفی ساختار لایه ای ماده
- اختصاص دادن معیار شکست
- مدلسازی نهایی و پس پردازش نتایج

در این مدل سازی از المان سازه ای - لایه ای خطی SHELL 99 استفاده گردیده است. این المان یک المان پوسته ای سه بعدی است که دارای هشت گره بوده و دارای شش درجه آزادی برای هر گره می باشد (سه درجه جابجایی انتقالی و سه درجه جابجایی چرخشی) و برای مدل سازی صفحات و پوسته های نازک و تا حدی ضخیم برای نسبت عرض به ضخامت حدود ۱۰ و بیشتر، طراحی شده است. این المان پوسته ای اجازه به کارگیری تا ۲۵۰ لایه با ضخامت یکسان و مدلسازی ۱۲۵ لایه که تغییرات خطی در ضخامت لایه ها موجود باشد را می دهد [۵].

در معرفی ساختار لایه ای از روش تعریف جداگانه استفاده گردیده و برای معیار شکست نیز از معیار شکست Tsai-Wu استفاده شده است. نوع کامپوزیت ها با فیبر یک طرفه و همچنین دانسیته، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و محتوای فیبری (درصد وزنی از ورق) مطابق مفاد مرجع شماره (۶) و بصورت جدول زیر فرض گردیده است.

جدول ۲- مشخصات کامپوزیت های مدل سازی شده [۶]

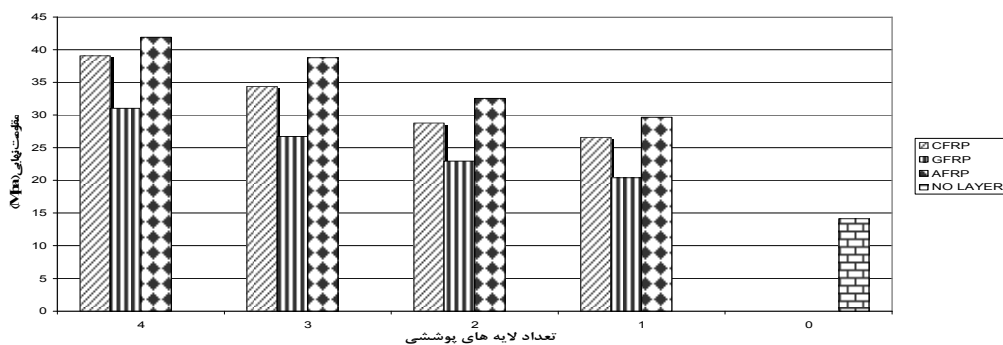
نوع الیاف FRP	محتوای فیبری	مدول الاستیسیته (GPa)	دانسیته (Kg/m ³)	مقاومت کششی (MPa)
CFRP	۷۰	۲۰۰	۱۷۰۰	۱۹۰۰
GRRP	۷۰	۴۵	۱۸۰۰	۱۲۰۰
AFRP	۶۵	۸۰	۱۱۰۰	۱۵۰۰

نتایج بدست آمده از تحلیل با نرم افزار

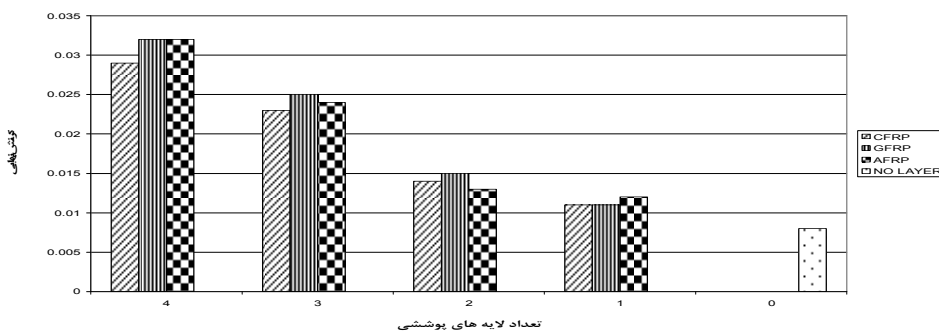
مقادیر نهایی مقاومت و کرنش نهایی بدست آمده از نتایج تحلیل توسط نرم افزار ANSYS در جدول (۳) و همچنین مقایسه نموداری سه سری از نمونه های پوشش داده شده با نمونه بدون پوشش در شکل های (۱) و (۲) نشان داده شده است. همان گونه که مشهود می باشد مقاومت نهایی و کرنش نهایی در حالت نمونه های تقویت شده نسبت به نمونه معمولی، افزایش قابل توجهی داشته است و بیشترین مقاومت و کرنش در لایه های پوششی چهار گانه و به ترتیب در کامپوزیت های CFRP، AFRP و GFRP بدست آمده است. همچنین مقایسه ای بین نتایج این تحقیق و نتایج بدست آمده از مرجع شماره یک که بررسی آزمایشگاهی و فقط در ارتباط با الیاف GFRP بوده انجام گرفته و در جدول (۴) آورده شده است. مقایسه مقادیر متناظر حکایت از انطباق قابل قبول نتایج بررسی آزمایشگاهی با مدلسازی انجام شده توسط نرم افزار دارد.

جدول ۳- نتایج مقاومت و کرنش نهایی بدست آمده از تحلیل توسط نرم افزار

شماره نمونه	جنس لایه تقویتی	تعداد لایه	مقاومت نهایی (MPa)	کرنش نهایی
۱	CFRP	۴	۳۹/۰۷	۰/۰۲۹
۲	CFRP	۳	۳۳/۳۴	۰/۰۲۳
۳	CFRP	۲	۲۸/۷۶	۰/۰۱۴
۴	CFRP	۱	۲۶/۵۵	۰/۰۱۱
۵	GFRP	۴	۳۱/۰۲	۰/۰۳۲
۶	GFRP	۳	۲۶/۷۴	۰/۰۲۵
۷	GFRP	۲	۲۲/۹۷	۰/۰۱۵
۸	GFRP	۱	۲۰/۴۴	۰/۰۱۱
۹	AFRP	۴	۴۱/۹۲	۰/۰۳۲
۱۰	AFRP	۳	۳۸/۷۶	۰/۰۲۴
۱۱	AFRP	۲	۳۲/۵۵	۰/۰۱۳
۱۲	AFRP	۱	۲۹/۶۴	۰/۰۱۲
۱۳	بدون لایه	-	۱۴/۱۱	۰/۰۰۸



شکل ۱- مقایسه مقاومت نهایی نمونه های مدل سازی شده



شکل ۲- مقایسه کرنش نهایی نمونه های مدل سازی شده

جدول ۴- مقایسه نتایج بررسی های آزمایشگاهی با نتایج مدلسازی توسط نرم افزار برای الیاف GFRP

تعداد لایه	مقاومت نهایی بدست آمده از مدل سازی (MPa)	کرنش نهایی بدست آمده از مدل سازی	مقاومت نهایی بدست آمده از بررسی آزمایشگاهی (MPa)	کرنش نهایی بدست آمده از بررسی آزمایشگاهی
۴	۳۱/۰۲	۰/۰۳۲	۲۹/۱۸	۰/۰۲۹۰
۳	۲۶/۷۴	۰/۰۲۵	۲۴/۶۶	۰/۰۲۷۰
۲	۲۲/۹۷	۰/۰۱۵	۲۲/۶۴	۰/۰۱۳۵
۱	۲۰/۴۴	۰/۰۱۱	۲۲/۸۴	۰/۰۱۲۵
۰	۱۴/۱۱	۰/۰۰۸	۱۴/۹۳	۰/۰۰۸۵

نتیجه گیری

با توجه به مدل سازی انجام شده کاملاً مشهود می باشد که هر چند الیاف پلیمری شکل پذیری فولاد را ندارند ولی می توانند مقاومت نهایی و تغییر شکل نهایی ستون های بتنی را بالا ببرند. با توجه به اینکه وزن بسیار کم آنها بار مرده قابل توجهی را به سازه اعمال نمی نماید و همچنین به علت عدم تغییر اساسی در معماری سازه ها، به علت کوچکی ابعاد و ضخامت آنها، بعلاوه صرفه جویی در زمان و هزینه، مزیت استفاده از این الیاف نسبت به روش های قدیمی و سنتی کاملاً مشهود می باشد و لذا استفاده از آنها جهت مقاوم سازی ستون های تحت بار محوری توصیه می گردد.

مراجع

- ۱- مقدم، حسن و زرفام، شهرام، بررسی آزمایشگاهی رفتار نمونه های تقویت شده با GFRP تحت بار محوری، اولین همایش کاربرد کامپوزیت های FRP در بهسازی و ساخت سازه ها، تهران، ۱۳۸۳.
- 2- Shahrooz, B., M.; Boy, S.; and Baseheart, M., " Flexural Strengthening of Four 76-year-old T-beams with various Fiber- Reinforced Polymer Systems: Testing and Analysis, " ACI Structural Journal, V.99, No.5.,pp.681-691, September-October 2002.
- ۳- وطنی اسکویی، اصغر، روش ها و جزییات اجرایی بهسازی ساختمان ها در برابر زلزله، دانشگاه شهید رجایی، تهران، ۱۳۸۶.
- ۴- ناطقی الهی، فریبرز و ملکی، شهرام، مقاوم سازی سازه های بتنی با استفاده از FRP، نوپردازان، تهران، ۱۳۸۵.
- ۵- جاهد مطلق، حمید رضا و نوبان، محمد رضا و اشراقی، محمد امین، اجزای محدود ANSYS، دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
- 6-ACI (American Concrete Institute), "440R-96: State- of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", 2006.