ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰ زمان چاپ: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

بررسی کاربرد کامپوزیت های FRP در تقویت تیرهای بتن آرمه

کمیل مومنی[۱]، میلاد وطن خواه[۲]، محدثه محمدی احمدگورابی[۳]،

۱- استادیار فنی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده فنی امام صادق (ع) آستانه اشرفیه، گیلان، ایران

۲- مدرس گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، واحد رشت، گیلان، ایران

۳- دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، واحد رشت گیلان، ایران

Mohammaditina7@gmail.com

چکیده

امروزه فرسودگی سازه های بتنی موجود می تواند یک چالش بزرگ برای سازمان هـای دولتـی و شـهرداری و ادارات ذی ربـط باشد. شایع ترین علل آن نیز خوردگی آرماتورهای فولادی، حمله سولفات و عمل انجماد و ذوب است. این فرآیندهای تخریبـی باعث ایجاد مشکلات زیادی در مورد قابلیت اطمینان و ایمنی سازه برای تعداد زیادی از سازه های بتن آرمه می شود. با توجـه به هزینه های هنگفت و زمان مورد نیاز برای جایگزینی المان های سازه ای که از قبل آسیب دیده انـد، بـه طـور گسـترده ای توصیه می شود که المان های بتنی تقویت شوند تا ظرفیت باربری آنها بهبود یابد و طول عمر آنها افزایش یابـد. هـدف از ایـن مقاله، بررسی کاربرد و خواص انواع کامپوزیت های پلیمری FRP در تقویت تیرهای بتن آرمه که به سـبب بارگـذاری یـا روش بهره برداری و یا حتی خوردگی دچار خرابی شده اند و نیاز به ترمیم و تقویت دارند. در این مقاله انواع کامپوزیت های FRP از نظر خواص شیمیایی و مدل فیزیکی معرفی و نحوه استفاده و رفع خرابی در سازه ها، مورد بررسی قرار می گیرند.

کلمات کلیدی: تقویت، بهسازی، الیاف پلیمری، کامپوزیت، FRP

۱- مقدمه

جوامع شهری همواره با موضوع توسعه روبرو بوده و هستند. توسعه شهری نیاز روز افزون به تکنولوژی های نوین صنعت ساخت و ساز را از پیش ضروری می سازد. از سوی دیگر به موازات توسعه شهری حجم تولید پسماند ضایعات نیز رو به افزایش است. سالیانه، میلیون ها تن انواع شیشه تولید می گردد و با توجه به روند افزایش جمعیت نیاز به تولید آن ها در حال افزایش است. در موضوع بازیافت شیشه، تبدیل شیشه های بازیافتی به الیاف شیشه ای با مشخصه های مختلف و مناسب جهت کاربردهای مختلف عمرانی و مطالعات صورت گرفته در این خصوص مطرح شده است (ایزدی نیا، ۱۳۹۸، ۵-۱۷). تیرها یکی از اعضایی هستندکه بارهای وارده را به ستون ها انتقال می دهند. شکل هندسی تیرها بستگی به کاربری آنها دارد. برای مثال چنانچه در پارکینگ ها بخواهند ایجاد فضای مناسب برای مانور بیشتر ماشین ها به وجود آورند بعضی از ستون ها حذف می شوند و این عمل باعث خواهد شد که ارتفاع تیرها بسیار زیاد شوند به حدی که از حالت تیر معمولی خارج شده و دیگر دارای رفتار یک تیر معمولی نباشند. قوانین و روابطی که به منظور تحلیل تیرهای ساده به کار می روند برای تحلیل و طراحی این اعضاء مناسب نیستند. اعضایی با خصوصیات فوق را تیر تیغه و یا تیر عمیق می نامند. در طراحی ساختمانهای مدرن تعبیه بازشوهای عرضی در تیرها برای عبور لوله ها و فضاهای تاسیساتی رو به افزایش و اجتناب ناپذیر است. تعبیه بازشو نقش موثری در کاهش فضای

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

مرده و ارتفاع غیرمفید سازه داشته و منجر به طراحی فشرده تر و اقتصادی تر می شود. تعبیه بازشو در تیرها، رفتار تیر را پیچیده می کند. پر واضح است استفاده از این گونه بازشوها باعث وقوع یک ناپیوستگی در جریان عادی تنش در مقطع تیر میگردد و در نتیجه تمرکز تنش و به موازات آن ترکهای زودرس در اطراف بازشو مشاهده می گردد (امامزاده، ۱۴۰۱، ۵-۱۹). سازه های بتن مسلح به علت اشتباهات طراحی، خطاهای ساخت و ساز و سن سازه و بارهای ناشی از تغییر کاربری دچار فرسایش می شوند. سازه هایی که دچار فرسایش شده اند، می توانند ظرفیت باربری خود را به وسیله تقویت کردن بهبود بخشند در سالهای اخیر، آسیب به عناصر سازه ای مانند پل ها و ساختمان ها به علت کمبودهای ساختاری مانند زوال مصالح یا پیرشدگی، نگهداری ضعیف، زلزله و ..... موجب تلاش های تحقیقاتی در جهت ابداع روشی کارآمد و مقرون به صرفه برای تعمیر سازه های آسیب دیده شده است. چندین روش در تقویت ساخت و ساز و افزایش ظرفیت باربری معرفی شده است که استفاده از ورق های کامپوزیت FRP[1] (پلیمر های مسلح به الیاف) یکی از این روش ها می باشد. در طول دو دهه گذشته، مزایای تقویت سازه ها با استفاده از ورق های FRP از لحاظ زمان و هزینه مشخص شده است. کامپوزیت های FRP از الیاف دارای مقاومت کششی بالا تشکیل شده اند و مقاومت بالای نسبت به خوردگی همچنین مقاومت بالای مکانیکی با توجه به وزن کم خود دارا هستند که یک روش سریع و اقتصادی برای بازسازی و یا تعمیر تیر، ستون، دال و دیوارها ارائه می کنند. مطالعات نشان داده اند که یکی از عوامل اصلی خسارت های جبران ناپذیر زلزله، وزن بالای سازه ها بوده است. استفاده از ورقهای کامپوزیت FRP به دلیل داشتن ویژگی های مکانیکی و فیزیکی مناسب برای تقویت و بهسازی اعضای بتنی در تحمل بار، برطرف کردن ضعف بتن در خمش و افزایش شکل پذیری بتن گزینه بسیار مناسبی است (آبرون و مدندوست،۱۳۹۹، ۶۳-۷۵). میلگردهای FRP از لحاظ الیاف به سه دسته تقسیم می شوند (AFRP) آرامید ، (CFRP) کربن و (GFRP) شیشه، که این میلگردها مقاومت کششی بالایی دارند و در مقابل خوردگی مقاوم هستند؛ ولی از شکل پذیری خوبی برخوردار نیستند. همچنین، پیوستگی بین بتن و این میلگردها به خاطر تفاوت در سطح جانبی و مشخصات مکانیکی، با میلگردهای فولادی متفاوت است. مدول الاستیسیته کم میلگردهای GFRP باعث می شود که پس از ترک خوردگی، سختی سازه های مسلح شده با این میلگردها با شدت بیشتری نسبت به سازه های بتن مسلح فولادی افت کند. پس از خسارت یک تیر تحت بارگذاری، سختی آن کاهش و میرایی آن افزایش می یابد . در نتیجه پارامترهای ارتعاشی آن تغییر می کنند. از این تغییرات می توان دگرگونی سیستم سازه ای و رفتار آن را پیش بینی کرد. استفاده از فرکانس های طبیعی قدیمی ترین و معرو ف ترین روش در ارزیابی سیستم خسارت دیده است. این ویژگی بیشترین کاربرد را برای تخمین خسارت در گذشته و حال حاضر دارد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴، ۶۵-۷۷).

جدول شماره (۱): مقایسه خصوصیات مکانیکی فولاد و میلگردهای FRP (زرگران و همکاران، ۱۴۰۱)

[1] Fiber Reinforced Polymer

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

خصوصیات مکانیکی	فولاد	GFRP	CFRP	AFRP
تنش تسلیم	۲۷۶ تا ۵۱۷ MPa	N/A	N/A	N/A
مقاومت کششی	۴۸۳ تا ۱۶۰۰ MPa	۴۸۳ تا ۶۹۰ MPa	۶۰۰ تا ۳۶۹۰ MPa	۱۷۲۰ تا ۲۵۴۰ Mpa
مدول الاستیسیته	۲۰۰ GPa	۳۵ تا ۵۱ GPa	۱۲۰ تا ۵۸۰ GPa	۴۱ تا ۱۲۵ Gpa
کرنش جاری شدن (درصد)	۰,۱۴ تا ۰,۲۵	N/A	N/A	N/A
کرنش شکست (درصد)	۶ تا ۱۲	۱,۲ تا ۳,۱	۰,۵ تا ۱,۷	۱,۹ تا ۴,۴

امروزه استفاده از مصالح نوین در ساخت سازه ها به منظور سبک سازی، افزایش کارایی و سرعت اجرا بسیار متداول شده است. در بین مقاطع مرکب، استفاده از مقاطع کامپوزیت بتن پلیمری در سازهی پلها، اسکله ها و ساختمانهای بلند مرتبه، مزایای قابل توجهی دارد. از اواسط دهه ۱۹۸۰ تاکنون در سراسر دنیا سیستم های FRP به صورت پوشش های بیرونی و به منظور افزایش مقاومت و بهسازی سازه های بتنی موجود، مورد استفاده قرار می گیرند. اگرچه اطلاعات زیادی در زمینه عملکرد اعضای تقویت شده با ورق های FRP و رفتار کوتاه مدت آنها در دست است، اما درباره رفتار دراز مدت و دوام آنها در تماس با عوامل محیطی مخرب اطلاعات چندانی در دست نمی باشد. اکثر سیستم های FRP پس از قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی از جمله دماهای بالا و پایین، رطوبت، یخ و ذوب یخ و شرایط شیمیایی، خصوصیات مکانیکی کاهش یافته ای را نشان می دهند. شرایط محیطی، نوع رزین و مواد تشکیل دهنده آن، مدت زمان قرارگیری در شرایط نامطلوب، نوع الیاف و روشهای اجرایی رزین از جمله عوامل موثر در این مساله می باشند. آیین نامه انجمن بتن آمریکا، به منظور در نظر گرفتن تاثیر عوامل مخرب محیطی بر عملکرد ورق های FRP ضرایب کاهشی را برای کرنش و مقاومت کششی در نظر گرفته است. این در حالیست که دسته بندی محیط های مخرب در این آیین نامه بسیار کلی است و به اذعان خود، ضرایب کاهشی ارائه شده محافظه کارانه بوده و نیاز به تحقیقات گسترده تری دارد. از جمله مکانیزیم هایی که دوام لایه های مرکب یاد شده را تحت تأثیر قرار می دهند، می توان به تغییرات شیمیایی یا فیزیکی الیاف، کاهش مقاومت الیاف و از دست رفتن چسبندگی اشاره نمود. مهمترین شاخصی که به وسیله آن دوام یک سازه بتنی ارزیابی می شود، نفوذپذیری آن است. ضمن اینکه آب به عنوان عاملی برای نفوذ عوامل مخرب به بتن عمل میکند و از عمر بهره دهی آن می کاهد (نادری و همکاران،۱۴۰۰، ۲۶۳-۲۷۹).

امروزه، چندین سازه بتن مسلح[1] (RC) به دلیل افزودن طبقات بیشتر به سازه های موجود، یا شرایط محیطی شدید مانند تقویت‌کننده خوردگی فولاد، چرخه‌های انجماد-ذوب و حملات سولفات، در معرض ریزش قرار می‌گیرند، بنابراین چنین سازه هایی نیاز به مقاوم سازی و یا نگهداری دارند (Rajai Z. Al-Rousan،2022،1-18). میلگردهای پلیمری مسلح الیافی FRP به دلیل دوام بالا به عنوان مسلح کننده برای سازه های در معرض خوردگی استفاده می شوند، بنابراین به کار بردن این میلگردها یک راه مطمئن و مقرون به صرفه برای حفاظت از پلها و زیرساختهای عمومی در برابر اثرات ویرانگر خوردگی است. با این وجود، هنوز اطلاعات کافی درباره خصوصیات این نوع آرماتورها و رفتار آنها در بتن موجود نیست. تیرهای بتنی مسلح شده با میلگردهای پلیمری الیافی GFRP [2] به دلیل مدول الاستیسیته کم این میلگردها در مقایسه با تیرهای بتن مسلح فولادی، در یک نسبت مشابه مسلح کننده، دارای خیز و عرض ترک های بیشتری می باشند. با توجه به اینکه خیز و ترک خوردگی از مهمترین پارامترها در مسئله قابلیت بهره برداری سازه های بتن آرمه به شمار می آید، بنابراین طراحی اعضای بتنی مسلح

[1] Reinforced Concrete
[2] Glass Fiber Reinforced Polymer

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شده با میلگردهای GFRP در حالت بهره برداری تعیین کننده تر از حالت نهایی است. در دو دهه اخیر مطالعات زیادی بر خیز و ترک خوردگی به عنوان مهمترین پارامترها در طراحی اعضای بتنی مسلح شده با میلگردهای GFRP انجام شده است. برای خیز، روش اصلاح ضرایب و پارامترهای معادله برانسون که در آیین نامه های طراحی فولاد موجود است، پیشنهاد شده است. سایر روش ها، استفاده از معادلات ممان اینرسی اصلاح شده با در نظر گرفتن انحنا در طول تیر می باشد. این روش های مختلف در آیین نامه های طراحی FRP برای محاسبه خیز تیرهای مسلح شده با FRP استفاده شده است. از طرف دیگر، این آیین نامه ها رفتار ترک خوردگی، مدل ها و معادلات طراحی مربوط به اعضای بتنی مسلح شده با FRP را بر اساس فرمول ها و معادلات مربوط به بتن مسلح فولادی با در نظر گرفتن ضرایبی که بر اساس تفاوت در خصوصیات مکانیکی بین میلگردهای FRPو فولاد، و همچنین رفتار میلگردها در بتن است، در نظر می گیرند. اگرچه هنوز مدل ها و معادلات مربوط به عرض ترک میلگردهای FRP و فولاد مورد بحث و بررسی هستند (محتاج خراسانی و اصفهانی، ۱۳۹۹ ، ۸۸-۱۰۷). در سال های اخیر استفاده از آرماتورهای پلیمری مسلح[1] به عنوان یکی از روش های مقابله با خوردگی الیافی آرماتورهای فولادی در سازه های بتن مسلح پیشنهاد شده است. از آنجا که خصوصیات غیرهمگن این آرماتورها از جمله مقاومت برشی، عمل شاخه ای و پیوستگی بتن و آرماتور را تحت تأثیر قرار می دهد، رفتار پیوستگی بتن و آرماتور FRP با آرماتور فولادی متفاوت است. پیوستگی آرماتورهای FRP با بتن به عوامل زیادی مانند مدول الاستیسیته، مشخصات سطح ظاهری آرماتور، ضخامت پوشش بتن و قطر آرماتور بستگی دارد. تاکنون تلاش های زیادی برای تعیین مقاومت پیوستگی در طول پیوستگی آرماتورهای مسلح به الیاف شیشه[2] انجام شده و بر اساس نتایج آزمایش ها مدل های تجربی متعددی ارائه شده است. با این حال بیشتر مدل های موجود بر اساس تحلیل یقین اندیشانه ارائه شده و در آنها عدم قطعیت های ناشی از طبیعت آماری متغیرها در نظر گرفته نشده است در مسائل مهندسی یک سری عدم قطعیت هایی وجود دارد که می توان آن ها را به کمک روش های آماری در طراحی سازه وارد نمود و بر اساس تحلیل قابلیت اعتماد، احتمال خرابی یک سازه را بررسی نمود. علاوه بر این با استفاده از تئوری قابلیت اعتماد، می توان ضرایب ایمنی ضوابط آیین نامه ای موجود را بر اساس یک یا چند شاخص قابلیت اعتماد و شرایط مورد نظر بهینه نمود (رخشانی‌مهر و همکاران، ۱۳۹۲، ۷۵-۸۲). خوردگی میلگرد در بتن به عنوان یکی از مهمترین دلایل تضعیف بتن مسلح می باشد. مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف نشان می دهد که افزایش حجم ناشی از خوردگی در اطراف میلگردها ۲ تا ۴ برابر بیشتر از حجم فولاد مصرفی است که این موضوع باعث ترکخوردگی در بتن می شود. اکسیداسیون آهن و تبدیل شدن آن به اکسیدهای محلول، که اصطلاحاً زنگ نامیده می شود و تجمع این اکسید در اطراف میلگرد باعث ایجاد فشار داخلی در بتن شده و به پوشش بتنی آسیب می رساند (در حالتی که خوردگی یکنواخت رخ دهد). از اثرات خوردگی بر خواص مکانیکی و رفتار سازهای بتن و میلگردها می توان به تأثیر خوردگی بر شکل پذیری، ظرفیت باربری، سختی، مقاومت برشی و الگوی ترک ایجادشده در نمونه های بتنی اشاره کرد. الیاف پلیمری GFRP گزینه مناسبی برای بهسازی و مقاوم سازی اعضای بتنی آسیب دیده می باشند. این الیاف علاوه بر نسبت مقاومت به وزن بالا، دوام در محیط های خورنده و مقاومت خستگی بالا به سادگی و سهولت قابل نصب در دالها، تیرها و ستون های بتنی هستند. مطالعات انجام شده در این خصوص بر روی تیرهای تقویت شده تحت خمش در تمامی آنها نتایج آزمایش حاکی از افزایش مقاومت تیرها است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۹، ۵-۱۸). نگاهی به سیر تکاملی FRP نشان می دهد که مهندسان، به جای معماران، اولین کسانی بودند که این ماده جدید را آزمایش کردند. صنایع هوافضا، دریایی و خودروسازی در ابتدا این پلاستیک‌ها را چندین دهه قبل از اینکه معماران آن‌ها را پذیرفتند، معرفی کردند. در اوایل سال ۱۹۴۰، هنری فورد یک ماشین کامپوزیت پیشگام از الیاف و رزین کنف تولید کرد که این شعار را داشت: "ده برابر قوی تر از فولاد".

[1] Fiber Reinforced Polymer (FRP)
[2] GFRP

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شکل شماره (۱) : هنری فورد در سال ۱۹۴۰ ماشین کنفی خود را در مقابل ضربه نشان داد (Smits ،2016)

مواد پلاستیکی به تدریج شروع به جذب سایر بخش ها از جمله طراحی محصول، معماری و ساخت و ساز کردند. شیوه‌های معماری مانند معماران سیستم های آینده به پتانسیل تکنیک قالب‌گیری در تولید فرم‌های جدید پی بردند و خانه‌ها و سازه‌های FRP آینده‌نگر را توسعه دادند. با این حال، در مورد طراحی پل، هیچ یک از طرح های اولیه FRP ، پتانسیل زیبایی شناختی مواد را در نظر نگرفت. با توجه به مسائلی مانند تعمیر و نگهداری و دوام، مهندسان پل که به دنبال جایگزینی برای مصالح ساختمانی سنتی بودند، دریافتند که FRP دارای خواص قابل مقایسه و غالبا برتری است (Smits،2016،527-518).

شکل شماره (۲): تلاش مهندسان صنایع هوافضا، دریانوردی، خودروسازی در استفاده از FRP (Smits،2016)

۲- پیشینه تحقیق

سید شهاب امامزاده؛ در تحقیقی در سال ۱۴۰۱ به بررسی ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتنی دارای بازشوی مستطیلی با تقویت توسط نوارهای دورپیچ FRP با دو طرح U شکل و BOX شکل پرداخته و دریافت شد که در اغلب تیرهای عمیق، ترک های برشی در نزدیکی تکیه گاه ها ایجاد می شود. حداکثر تنش ایجاد شده و اغلب آرماتورهای لایه پایینی و قسمتی از آرماتورهای لایه بالایی در محل اعمال نیرو از حد تسلیم فراتر رفته است. در نمونه های بدون بازشو مقادیر شاخص خرابی کششی کمتر از نمونه های با بازشو بدست آمد. دلیل این نتیجه آن است که با ایجاد بازشو ترک خوردگی هایی در قسمت کششی تیر به خصوص در مجاورت تکیه گاه ها ایجاد می شود. حداکثر شاخص خرابی کششی در ابتدا و انتهای تیر در فاصله ای برابر ارتفاع تیر ایجاد می شود. تنش های ایجاد شده در نوارهایهای کناری بیشتر از سایر ورق ها است. نمونه با نوار BOX شکل نیروی شکست کمتری نسبت به نمونه با نوار U شکل دارد. در تیرهای دو تکیه گاهی با یک بار متمرکز ، نیروی شکست نمونه با نوار FRP به شکل U نسبت به نمونه بدون نوار و با نوار BOX به ترتیب ۱۸ و ۷،۸۵ درصد بیشتری می رسد.

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

اللهه رحیمی و همکاران؛ در تحقیقی در سال ۱۳۹۹ دریافتند که که مقاوم سازی نمونه های دارای خوردگی سطح دو با الیاف پلیمری GFRP ، مقاومت و شکل پذیری را افزایش می دهد. به طوریکه مقاومت و شکل پذیری این نمونه ها از حد مربوط به نمونه های شاهد فراتر رفته و حتی مقدار افزایش مقاومت و شکل پذیری آنها نسبت به الیاف بدون خوردگی و مقاوم سازی نشده هم بیشتر بوده است. بررسی مکانیزم شکست نمونه های مقاوم سازی شده نشان می دهد که در اکثر موارد به علت تمرکز تنش در وسط دهانه شکست همراه با پارگی FRP و در وسط دهانه نمونه رخ می دهد. در نمونه های دارای خوردگی سطح دو (خوردگی ۷,۲ درصد) به دلیل آسیب دیدگی بیشتر خاموت ها و نازک شدن ضخامت آنها مکانیزم شکست بدین صورت می باشد که با افزایش بار، پارگی FRP همراه با کمانش آرماتورهای طولی در اثر گسیختگی خاموت های آسیب دیده رخ می دهد و در تیرهای تقویت شده شاهد کاهش تعداد ترکها و کاهش میزان بازشدگی و عدم افزایش عمق ترکها نسبت به نمونه های مقاوم سازی نشده و همچنین تمرکز خرابی در محل گسیختگی ورق FRP بوده ایم. با افزایش تغییر شکل و نزدیک شدن به خیز نهایی، ترک های ریزی در وسط دهانه و در مجاورت ترک های اولیه ایجاد شده و ورق GFRP تغییر حالت داده و پاره شد و افزایش عمق ترک ها و تمرکز خرابی در همان محل پارگی ورق رخ میداد. گسیختگی ورق های FRP با تغییر شکل بیشتر به صورت جداشدگی از بتن در امتداد ترک های افقی بود.

محتاج خراسانی و اصفهانی؛ در تحقیقی در سال ۱۳۹۹ دریافتند که پارامترهای مورد بررسی آن تحقیق، شامل مقاومت بتن، آرایش و نسبت میلگردهای کششی می باشند. نتایج پژوهش انجام شده نشان داد که تغییر در مقاومت بتن و همچنین تغییر در آرایش و نسبت میلگردهای کششی، باعث تغییر در رفتار خمشی تیرها می شود و بر ترک خوردگی نیز موثرند.

ایزدی نیا و همکاران؛ در تحقیقی در سال ۱۳۹۸ بر روی نمونه های تیرهای بتنی پیش تنیده با و بدون ورق GFRP پیش تنیده در حالت های مختلف دریافتند که تاثیر استفاده از ورق GFRP پیش تنیده بر روی مقاومت و مقدار جابجایی تیر بتنی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج تحلیل عددی با نتایج تحلیل عددی دو نوع تیر بتنی پیش تنیده با مفتول مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با بکارگیری ورق GFRP پیش تنیده در تیرهای بتنی میتوان مقاومت در برابر بارها را در تیرهای بتنی به مقدار قابل توجهی نسبت به تیرهای دیگر افزایش داد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل های المان محدود که به منظور بررسی تأثیر ورق تقویت در سختی تیرهای بتنی پیش تنیده صورت گرفت، سختی خمشی تیر پیش تنیده با تقویت ورق GFRP پیش تنیده ۱۰ در صد افزایش یافته است.

Joris Smits ؛ در تحقیقی در سال ۲۰۱۶ دریافت که استفاده از FRP ها در مهندسی پل طی دو دهه گذشته رشد قابل توجهی داشته است. کاربردها از عرشه ساده گرفته تا اعضای متلاشی شده متفاوت است و حتی کل ساختارهای باربر ساخته شده از FRP اکنون امکان پذیر است. مهندسین با استفاده از مزایای ساختاری و اقتصادی مانند کاهش وزن و صرفه جویی در هزینه تعمیر و نگهداری، راه حل های ساخت و ساز را با استفاده از FRP توسعه داده اند که با سازه های معمولی رقابت می کند. در زمینه معماری، استقرار اخیر FRP به عنوان مصالح ساختمانی برای پل ها منجر به پروژه های موفق متعددی شده است که FRP هم اهداف معماری و هم زیبایی شناختی را انجام می دهد. معماران و مهندسان استفاده از FRP را به عنوان مصالح پوششی در اطراف عرشه ها، هر دو به شکل ساده نشان داده اند که یا نیمه شفاف و یا با نور ترکیب شده است. آن‌ها همچنین کاربردهای ساختاری جسورانه‌تری از FRP، از جمله پوسته باربر، سازه های تاشو، و سازه‌های منحنی غیر استاندارد را نشان داده‌اند. علاوه بر این، این ماده نوآورانه به وضوح به حداکثر توانایی خود نرسیده است و به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. به ویژه بهبود اثرات زیست محیطی و انرژی تجسم یافته FRP ها با جایگزینی مواد خام تجدید پذیر (الیاف طبیعی، رزین های زیستی) به جای مواد معمولی باید بیشتر شود. در نهایت FRP باید به عنوان یک ماده بالغ در سیستم آموزشی معرفی شود تا معماران و مهندسان آینده در مورد نحوه رعایت خواص منحصر به فرد مواد و روش های ساخت این مواد آموزش ببینند.

رخشانی مهر و همکاران؛ در تحقیقی در سال ۱۳۹۲ دریافتند که آرماتورگذاری جانبی وصله در نمونه های ساخته شده از آرماتورهای ماسه پاشی شده باعث تغییر شکل شکست از حالت شکافت به بیرون کشیدگی می شود. در نمونه های دارای شکل شکست بیرون کشیدگی، لغزش آرماتورها از درون بتن باعث افزایش شکل پذیری نسبت به نمونه بدون وصله می شود. علاوه بر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

این لغزش آرماتور در نمونه های ساخته شده از آرماتورهای GFRP ماسه پاشی شده باعث افزایش شکل پذیری نمونه ها نسبت به نمونه های ساخته شده از آرماتورهای آج دار می شود. در نمونه های آج دار حضور آرماتورگذاری جانبی وصله باعث محدودشدن ترک های شکافت به قسمت زیرین تیر می شود. اثر آرماتورگذاری جانبی بر مقاومت پیوستگی نمونه های تیری وصله دار مسلح به آرماتورهای GFRP ، به مشخصات سطح ظاهری آرماتور وابسته است. به طوری که آرماتور جانبی وصله در تیرهای وصله دار مسلح به آرماتورهای GFRP آج دار باعث افزایش مقاومت پیوستگی می شود و آرماتورگذاری جانبی در تیرهای مسلح به آرماتورهای ماسه پاشی شده تغییر قابل توجهی در مقاومت پیوستگی ایجاد نمی نماید.

۳- روش تحقیق

روش تحقیق مورد استفاده در این مقاله از نوع مروری می باشد. امروزه با توجه به فناوری های جدید، گسترش دسترسی به اینترنت و توسعه نرم افزارهای مرتبط با پژوهش، تولید دانش با سرعت روز افزون در حال پیشرفت است. حجم تولید شواهد جدید در حوزه های مختلف به حدی است که در موارد زیادی نیاز به خلاصه سازی و جمع بندی شواهد برای استفاده ارائه دهندگان خدمات سلامتی، دانشجویان و علاقه مندان به آن حوزه می باشد. یکی از روش های مرسوم جمع بندی، نگارش مقاله مروری است. مقالات مروری دارای انواع مختلفی است و هر نوع دارای اصول خاص خود می باشد (سهرابی، ۱۳۹۲). مقالات مروری نیز خود به سه دسته دیگر تقسیم می شود که عبارتند از:

۱. مقاله مروری روایتی: این نوع مقاله مروری برای موضوعات جامع و مفصل کاربرد دارد. در مرور روایتی به خلاصه مطالعات اولیه و اصیل یک موضوع پرداخته می شود. نتیجه این مقالات به جای کمیت به کیفیت اشاره دارد.

۲. مقاله مروری نظام‌مند: این نوع مقاله به روی یک پرسش تمرکز دارد و در طول مقاله سعی می شود با ارائه شواهد و تجزیه تحلیل موضوع به آن پرسش اولیه پاسخ داده شود. نتیجه نهایی از میان تحقیقات متفاوتی بیرون کشیده می شود. روش اصلی در نگارش این مقاله مرور سیستماتیک است.

۳. مرور بهترین شواهد: این نوع مقاله در حقیقت حد وسط بین دو مقاله مروری دیگر است و می توان آن را ترکیبی از این دو دانست. در این نوع مقاله مروری اطلاعات کافی از یک پژوهش در اختیار خواننده قرار می گیرد به طوری که خواننده می تواند به طور مستقل بر اساس آن شواهد نتیجه‌گیری کند (صرامی فروشانی و علی پور گراوند ،۱۳۹۰).

۴- نتیجه‌گیری

با تجزیه و تحلیل مدل‌ها و تحقیقات صورت گرفته می توان دریافت که سازه هایی که که با کامپوزیت های CFRP و GFRP تقویت شده‌اند، بهبود قابل‌توجهی در پارامترهایی همچون بار نهایی، سختی الاستیک، ترک، جذب انرژی مشاهده گردید. همچنین دریافت شد که خوردگی اجزای فولادی در سازه های مجاور آب و نیز خوردگی میلگردهای فولادی در سازه های بتن آرمه ای که در معرض محیط های خورنده کلروری و کربناتی قرار دارند، یک مساله بسیار اساسی تلقی می شود. در محیط های دریایی و مرطوب وقتی که یک سازه بتن آرمه معمولی به صورت دراز مدت در معرض عناصر خورنده نظیر نمک ها، اسید ها و کلرورها قرار گیرد، میلگردها به دلیل آسیب دیدگی و خوردگی، قسمتی از ظرفیت خود را از دست خواهند داد. به علاوه فولادهای زنگ زده بر پوسته بیرونی بتن فشار می آورد که به خرد شدن و ریختن آن منتهی می شود. تعمیر و جایگزینی اجزاء فولادی آسیب دیده و نیز سازه بتن آرمه ای که به دلیل خوردگی میلگردها آسیب دیده است، میلیون ها دلار خسارت در سراسر دنیا به بار آورده است. به همین دلیل سعی شده که تدابیر ویژه ای جهت جلوگیری از خوردگی اجزاء فولادی و میلگرد های فولادی در بتن اتخاذ گردد که از جمله می توان به حفاظت کاتدیک اشاره نمود. با این وجود برای حذف کامل این مساله، توجه ویژه ای به جانشینی کامل اجزاء و میلگردهای فولادی با یک ماده جدید مقاوم در مقابل خوردگی معطوف گردیده است. از آن جا که کامپوزیت های FRP به شدت در مقابل محیط های قلیایی و نمکی مقاوم هستند که در دو دهه اخیر موضوع

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

تحقیقات گسترده ای جهت جایگزینی کامل با قطعات و میلگردهای فولادی بوده اند. چنین جایگزینی بخصوص در محیط های خورنده نظیر محیط های دریایی و ساحلی بسیار مناسب به نظر می رسد.

مراجع

۱. آبرون, مژگان, مدندوست, رحمت. (۱۳۹۹). تقویت خمشی دال‌های حفره‌دار بتن مسلح با استفاده از ورق‌های آرامید (AFRP)، کربن (CFRP) و شیشه (GFRP). تحقیقات بتن, ۱۳(۳), ۶۳-۷۵.

۲. امامزاده, سیدشهاب. (۱۴۰۱). بررسی عددی رفتار غیرخطی تیرهای عمیق بتنی دارای بازشوی مستطیلی در جان تقویت شده با نوار FRP. تحقیقات بتن, ۱۵(۴), ۵-۱۹.

۳. ایزدی نیا, محسن, شریفی قلعه نویی, محمدسینا. (۱۳۹۸). تحلیل غیر خطی تیرهای بتنی پیش تنیده با ورق GFRP به روش اجزای محدود. مهندسی سازه و ساخت, ۶(شماره ویژه ۳), ۵-۱۷

۴. رحیمی, الهه, شفائی, جلیل, اصفهانی, محمد رضا. (۱۳۹۹). بررسی آزمایشگاهی تقویت تیرهای بتن مسلح آسیب دیده در خوردگی آرماتور با استفاده از ورق های GFRP. تحقیقات بتن, ۱۳(۳), ۵-۱۸.

۵. رخشانی‌مهر, مهراله, اصفهانی, محمدرضا, موسوی, سید روح الله. (۱۳۹۲). استفاده از تحلیل قابلیت اعتماد برای بررسی روابط آیین‌نامه ACI 440.1R-06 در پیش‌بینی مقاومت پیوستگی آرماتورهای GFRP. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر, ۴۵(۲), ۷۳-۸۲

۶. زرگران، مژده، خواجه احمد عطاری، نادر، فرحبد، فرهنگ. ۱۴۰۱. راهنمای استفاده از میلگرد FRP در سازه های بتنی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

۷. سهرابی محمدرضا، ۱۳۹۲، اصول نگارش مقالات مروری، پژوهنده ۱۳۹۲; ۱۸ (۲) :۵۶-۵۲.

۸. پوریا، صرامی فروشانی ، فردین، علی پور گراوند، ۱۳۹۰، چگونه یک تحقیق مروری انجام دهم؟ راهنمای کاربردی انجام پژوهش، پایان نامه و نگارش مقالات مروری در علوم اجتماعی و پزشکی، چاپ اول، تهران، انتشارات جامعه شناسان.

۹. غفاری، غلامحسین،۱۴۰۱،بررسی استفاده از کامپوزیت های FRP در سازه های بتن آرمه به عنوان جانشین کامل فولاد، The 12th International Conference on Mechanics, Construction, Industries and Civil Engineering.

۱۰. محتاج خراسانی, امیرمحمد, اصفهانی, محمدرضا. (۱۳۹۹). اثر مقاومت بتن، آرایش و نسبت میلگرد بر رفتار خمشی و ترک‌خوردگی تیرهای بتن‌آرمه مسلح شده با میلگردهای GFRP. مهندسی سازه و ساخت, ۷(۱), ۸۸-۱۰۷.

۱۱. موسوی, سیدروح الله, اصفهانی, محمدرضا, رخشانی مهر, مهراله, موسوی, سیدحجت الله, قربان زاده, بنیامین. (۱۳۹۴). تخمین سختی تیرهای مسلح شده با میلگردهای GFRP پس از خسارت با استفاده از داده‌های آزمایش مودال. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز, ۴۵,۱(۷۸), ۶۵-۷۷.

۱۲. نادری, محمود, رهبری, رزا, شاه محمدی, محمد مهدی. (۱۴۰۰). تخمین نفوذپذیری ورق های GFRP تقویت کننده بتن، تحت شرایط محیطی حاد به روش "محفظه استوانه ای". مهندسی سازه و ساخت, ۸(۶), ۲۶۳-۲۷۹.

13. Joris Smits. (2016). Fiber-Reinforced Polymer Bridge Design in the Netherlands: Architectural Challenges toward Innovative, Sustainable, and Durable Bridges, Engineering, Volume 2 (2016) 518–527

14. Rajai Z. Al-Rousan. (2022). *Impact of sulfate damage on the behavior of full-scale concrete bridge deck slabs reinforced with FRP bars*, Case Studies in Construction Materials, Volume 16, June 2022, e01030.