

بررسی اجرایی عملکرد مواد FRP در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی

مریم زین‌الدینی^۱، فرزاد فلاح^۲

۱- دانشجوی کارشناسی بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

Email: eng_f_fallah@yahoo.com

خلاصه

با توجه به زلزله خیز بودن کشور ایران و وجود ساختمان‌های ضعیف و غیر مقاوم در برابر زلزله، اهمیت بحث مقاوم سازی برای این نوع از ساختمان‌ها علی‌الخصوص مراکز مهم درمانی، نظامی، اداری و صنعتی بیش از گذشته محسوس و اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این میان استفاده از مواد FRP در صنعت ساختمان کشورمان روز به روز گسترده‌تر و پر رونق‌تر از پیش می‌شود. با توجه به اینکه هنوز بسیاری از مهندسان با سابقه و پیشکسوت جامعه مهندسی عمران کشور، با چشم بدبینی به این روش مقاوم سازی می‌نگرند و اغلب آنها استفاده از روش‌های قدیمی و سنتی همانند استفاده از المان‌های فولادی و بتن آرمه را بهتر و صحیح‌تر از این روش می‌دانند لذا در این تحقیق سعی گردیده با دلایل منطقی و مقایسه‌های عینی، مزیت و به صرفه بودن استفاده از این ماده به اثبات رسانده شود تا بدین طریق گامی دیگر در جهت معرفی و شناساندن این روش به دست اندرکاران و مجریان ذربیط برداشته شود.

کلمات کلیدی: FRP، مقاوم سازی، ساختمان، مقایسه عینی، نگرش اجرایی

مقدمه

مقاوم سازی اجزای بتنی با استفاده از مواد FRP (Fiber Reinforced Plastic) یکی از راه‌های نوین مقاوم سازی است که جایگزین روش‌های قدیمی همانند زره پوش کردن فولادی یا بتنی شده است. تعداد پروژه‌هایی که در ارتباط با سیستم‌های FRP در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته، بطور چشمگیری افزایش یافته است به طوری که طی ۱۰ سال گذشته از تعداد اندک به چندین هزار پروژه در حال حاضر رسیده است. اعضای سازه‌های تقویت شده با سیستم‌های FRP به صورت پوشش‌های بیرونی عبارتند از: تیرها، دال‌ها، ستون‌ها، دیوارها، اتصالات، دودکش‌ها، طاق‌های گنبدی شکل، تونل‌ها، سیلوها، لوله‌ها و خرپاها. پوشش‌های FRP همچنین به منظور مقاوم سازی سازه‌های بنایی، چوبی، فولادی و چدنی نیز بکار می‌روند. استفاده از روکش‌های پلیمری FRP به منظور بهسازی سازه‌های بتنی اولین بار در دهه ۱۹۸۰ در اروپا و ژاپن توسعه یافت. در اروپا سیستم‌های FRP به عنوان جایگزین صفحات فولادی مورد استفاده قرار گرفت [۱]. اتصال ورقه‌های فولادی به قسمت کششی اعضای بتنی توسط رزین‌های اپوکسی به منظور افزایش مقاومت خمشی این اعضا به عنوان یک روش مطرح و بادوام مرسوم می‌باشد. این روش برای مقاوم سازی تعداد زیادی از پل‌ها و ساختمان‌ها در جهان مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که صفحات فولادی دچار خوردگی می‌شوند و فرسودگی آنها باعث تخریب اتصال صفحه فولادی با بتن می‌شود و از طرف دیگر نصب آنها مشکل و با ماشین‌آلات نسبتاً سنگین انجام می‌گیرد، محققان بدنبال جایگزینی مواد FRP بجای فولاد شدند. FRP نوعی کامپوزیت پلیمری است که از دو بخش متمایز الیاف و رزین تشکیل شده است. بطور کلی الیاف عضو بارپذیر سازه هستند و رزین آنها را در محل و آرایش مطلوب نگه داشته و به عنوان محیط منتقل کننده بار بین الیاف عمل می‌کند و بعلاوه آنها را از صدمات محیطی در اثر افزایش دما و رطوبت حفظ می‌کند. الیاف FRP با داشتن حدود ۲۰ درصد وزن فولاد، مقاومتی حدود ۸ تا ۱۰ برابر فولاد دارند. انواع الیاف پلیمری به صورت زیر می‌باشند:

الیاف کربن

الیاف شیشه

الیاف آرامید

ترکیب الیاف کربن و آرامید

ترکیب الیاف شیشه و آرامید

در جدول زیر مقایسه‌ای 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 |

مبانی فنی سیستم FRP

چسباندن FRP به ناحیه کششی بتن در یک عضو خمشی به طوری که الیاف FRP موازی با محور طولی عضو باشد، باعث افزایش مقاومت خمشی عضو خواهد شد. این افزایش بسته به مورد تا ۱۶۰٪ در آزمایشها و تحقیقات مختلف به ثبت رسیده است. (۲/۶ برابر حالت اولیه) [۳].

سیستم FRP با دورپیچ کردن کامل یا پوشاندن قسمتی از عضو موجب افزایش مقاومت برشی تیرها و ستون های بتنی می شود. در این روش صفحات FRP به طوریکه الیاف بر محور طولی عمود یا مورب باشند، به وجوه جانبی تیر چسبانده می شوند. صفحات می توانند بر وجوه جانبی تیر یا بصورت u شکل نصب شوند. همچنین دورپیچ کردن ستون ها توسط سیستم FRP آنها را محصور کرده و منجر به افزایش مقاومت فشاری می شود. از محصور شدگی می توان برای افزایش شکل پذیری اعضای تحت بارگذاری فشاری و خمشی نیز استفاده کرد.

بررسی اقتصادی

اگرچه الیاف و رزین های مورد استفاده در سیستم های FRP نسبت به دیگر مصالح متعارف مانند بتن و فولاد گرانتر هستند لیکن اغلب هزینه های مربوط به دستمزد و تجهیزات نصب سیستم های FRP ارزانتر می باشند.

بررسی چگالی

چگالی مصالح FRP در محدوده ۱۲۰۰ تا ۲۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است که ۴ تا ۶ بار کمتر از چگالی فولاد است. این کاهش چگالی می تواند منجر به کاهش هزینه حمل و نقل، آسانی در جابجایی مصالح و همچنین کاهش بار مرده سازه ناشی از تقویت گردد.

بررسی اثرات دما

در دمای بیشتر از T_g ، دمای گذار شیشه ای FRP، مدول الاستیسیته پلیمر با توجه به تغییرات ساختار مولکولی آن کاهش می یابد. دمای T_g ، بستگی به نوع رزین دار ولی معمولاً در محدوده ۶۰ تا ۸۲ درجه سانتی گراد می باشد. در یک کامپوزیت FRP، الیاف که خصوصیات بهتری نسبت به رزین دارند، می توانند مقداری از بار را در جهت طولی تا دمای نهایی تحمل خود انتقال دهند. این دما برای الیاف شیشه، آرامید و کربن به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۷۵ و ۲۷۵ درجه سانتی گراد می باشد [۱].

در دمای بالا بعلاوه انتقال نیرو در الیاف، ناشی از افت عملکرد چسب، خواص کششی کامپوزیت نیز کاهش می یابد. نتایج آزمایش ها نشانگر کاهش ۲۰ درصدی در مقاومت کششی مصالح الیاف کربن و شیشه در دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد (دمای خیلی بالاتر از T_g) می باشد. سایر خصوصیات مرتبط با انتقال برش توسط رزین از جمله مقاومت خمشی کاهش چشمگیری حتی در دماهای پایین تر دارد.

هرچند سیستم های FRP به تنهایی مقاومت کمی در برابر آتش سوزی دارند، اما با ترکیب مناسب این سیستم ها و سازه بتنی موجود می توان دوام قابل توجهی در کل سازه در برابر آتش سوزی بوجود آورد. می توان شرایطی در طراحی بوجود آورد که مقاومت اصلی در برابر آتش سوزی به تنهایی توسط سازه بتنی موجود صورت گیرد. برای بررسی تحمل سازه های بتنی تقویت شده با مصالح FRP در برابر آتش، مهم است تشخیص داده شود مقاومت سازه بتن آرمه تا چه حد هنگام قرارگیری در معرض حرارت های زیاد ناشی از حوادث آتش سوزی به دلیل کاهش مقاومت تسلیم فولاد و مقاومت فشاری بتن، کاهش یافته و دچار نقص می گردد. با تعمیم مفهوم پایه گذاری شده در ACI 216R برای اعضای بتن آرمه تقویت شده با FRP معلوم می شود که محدودیت ها در مقاوم سازی به جهت اطمینان از عدم ریختن سازه تقویت شده در آتش سوزی ها می باشد. با توجه به اینکه مقاومت فولاد و بتن در اثر آتش سوزی کاهش

می یابد، می توان برای محاسبه مقاومت کل عضو از مقاومت FRP صرفنظر نمود. در نهایت جهت بررسی عدم گسیختگی سازه تحت بارهای بهره برداری و درجه حرارت زیاد، می توان مقاومت مورد نظر را با مقاومت تخمین زده شده مقایسه کرد [۱].

بررسی اثرات محیطی

شرایط محیطی به طور ویژه ای بر رزین ها و الیاف در انواع سیستم FRP تاثیر می گذارد. مشخصات مکانیکی (مانند مقاومت کششی، کرنش و مدول الاستیسیته) بعضی از سیستم های FRP به واسطه قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی مانند محیط قلیایی، آب نمک، مواد شیمیایی، اشعه فرابنفش، درجه حرارت های بالا، رطوبت بالا و دوره های یخ زدن و آب شدن کاهش پیدا می کنند.

مقایسه روش های تقویت در ستون ها و تیرها

هنگامی که پس از ارزیابی و بررسی معیارهای پذیرش اجزا، مشخص شود که فقط تعدادی از اجزا ظرفیت کافی برای تحمل تنش ها جهت سطح عملکرد مورد نظر را ندارند، اصلاح موضعی اجزا بعنوان یک راهکار مناسب، به منظور بهسازی برای رساندن ظرفیت ساختمان به سطح عملکرد مورد انتظار، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در اینجا مقایسه ای بین روش استفاده از پوشش FRP و روش های استفاده از پوشش بتنی و ورق فولادی ارائه خواهد شد.

تقویت ستون های بتن مسلح

استفاده از پوشش بتنی

امکان متراکم کردن بتن در آن سطح کم وجود ندارد، لذا کسب مقاومت مورد نظر در بتن ریخته شده با بتن خود متراکم امکان پذیر می باشد. این روش می تواند وزن سیستم سازه ای را افزایش دهد، در هنگام استفاده از پوشش بتن مسلح لازم است قبل از بتن ریزی قسمت جدید برای پوشش، سطح بتن موجود خراشیده شده تا بدین وسیله پیوستگی برشی بین دو بتن جدید و قدیم به صورت کامل برقرار گردد. در هنگام تقویت با این روش، بزرگ شدن ابعاد ستون، باعث تغییرات نسبت ارتفاع به بعد و در نتیجه تغییر مود شکست ستون از خمشی به برشی خواهد شد [۳].

استفاده از ورق های فولادی

مشکل اصلی بهسازی ستون های بتن مسلح آسیب پذیر با ورق های فولادی، عدم هم خوانی کرنشی بین دو مصالح (بتن و فولاد) می باشد. لازم است با قرار دادن فاصله مناسبی بین ورق و ستون بتن مسلح موجود (حداقل ۲/۵ الی ۵ سانتیمتر) و تزریق ملات غیر انقباضی و بعضا ملات منبسط شونده در این فاصله مشکل عدم کرنشی این دو مصالح را تا حدودی برطرف کرد. در این حالت نیز تقویت می تواند فقط در یک طبقه و بدون افزایش ظرفیت خمشی ستون صورت گیرد. در این حالت درز و فاصله ای بین زره پوش و سقف و کف طبقه باید وجود داشته باشد.

استفاده از پوشش FRP

بهترین و ساده ترین روش استفاده از FRP در تقویت ستون های بتنی دورپیچ کردن ستون می باشد. در این صورت با محصور کردن بتن، نه تنها مقاومت فشاری عضو بلکه مقاومت برشی نیز افزایش می یابد. استفاده از این روش در جلوگیری از مکانیزم شکست در ستون های کوتاه خیلی موثر می باشد. لازم به ذکر است حداقل مقاومت فشاری لازم بتن جهت اینکه الیاف FRP کاربرد موثری داشته باشند ۱۷ مگا پاسکال توصیه می شود. همچنین جهت جلوگیری از تمرکز تنش در گوشه های عضو مقاطع مربع- مستطیل ضروری است گوشه های عضو به صورت دایره ای به شعاع حداقل ۲/۵ سانتی متر گرد شوند.

جدول ۲- ملاحظات اجرایی در روش تقویت ستونها با پوشش FRP [۴]

| معایب | مزایا | روش |
|--|---|--|
| - کنترل کیفیت پایین - بسیار پردردسر جهت جلوگیری از عدم تمرکز در یک نقطه | - شکل پذیر برای فرم های مختلف ستون ها - اجرای آسان در محل کار و عدم نیاز به تجهیزات ویژه | - دورپیچی |
| - کاهش شکل پذیری در فرم های مختلف ستون | - موثر در کنترل کیفیت | - پوشش دادن با استفاده از الیاف FRP |
| - شکل پذیری محدود - هزینه زیاد جهت تهیه صفحات آماده | - عالی در کنترل کیفیت - زحمت کم در محل کار - مناسب جهت اصلاح فرم ستون | - جکت کردن با استفاده از صفحات آماده FRP |

تقویت تیرهای بتن مسلح

استفاده از پوشش بتنی

در این روش به علت کمبود فضا و تراکم میلگرد، امکان و بیره کردن و متراکم نمودن بتن وجود ندارد لذا بهتر است از بتن خود متراکم استفاده شود. در مجموع می توان گفت تقویت مقاومت و شکل پذیری تیرهای بتنی، با محصور نمودن تیرها و ستون ها در بتن مسلح، عموماً بدلیل اجرای مشکل آن غیر اقتصادی می باشد [۵].

استفاده از ورق های فولادی

ورق های نازک فولادی به طور کامل تیر را می پوشانند و فاصله کم بین ورق های فولادی و تیر با رزین اپوکسی پر می شود. این ورق ها در تمام طول خود به هم جوش شده و مقاومت و شکل پذیری عضو را افزایش می دهند. مزایای این روش همانند روش تقویت با الیاف FRP می باشد ولی به علت مصرف زیاد فولاد هزینه آن بالاتر است، همچنین امکان خوردگی ورق های فولادی نیز وجود دارد.

استفاده از پوشش FRP

با پوشاندن تیرهای بتنی مسلح با ورق های نازک FRP، شکل پذیری و مقاومت نهایی آنها به صورت موضعی افزایش می یابد. در این روش ابعاد مقطع تیر یا ستون افزایش نسبتاً کمی یافته و عملیات اجرایی آن، باعث توقف بهره برداری از سازه نمی شود. چسباندن ورق های FRP به وجه زیرین تیرهای بتن مسلح، باعث افزایش مقاومت خمشی و به وجوه قائم آنها، باعث افزایش مقاومت برشی تیر می شود [۶].

جدول ۳- ملاحظات اجرایی در روش تقویت تیرها با پوشش FRP [۴]

| معایب | مزایا | روش |
|---|--|--------------|
| - از نظر جداسازی مناسب نیست - تاثیر کمتری در ظرفیت برشی دارد | - به راحتی قابل اجرا می باشد - برای افزایش ناچیز در ظرفیت برشی، مدار FRP کمتری مورد نیاز است | - پوشش طرفین |
| - ممکن است در نقاط انتهایی نیاز به انکر مکانیکی داشته باشد | - زیر جکت U شکل به خوبی انکر می شود - از نظر جداسازی نسبتاً مناسب عمل می کند - تاثیر مناسب در ظرفیت برشی - بعنوان انکر مکانیکی در مقاوم سازی خمشی توسط FRP عمل می کند | - جکت U شکل |
| - در صورتی که مقطع کلی تیر قابل دسترسی نباشد این روش غیر ممکن و یا در صورت امکان بسیار مشکل خواهد بود | - از نظر جداسازی عملکرد مناسبی دارد - تاثیر زیاد در ظرفیت برشی - بعنوان انکر مکانیکی در مقاوم سازی خمشی توسط FRP عمل می کند | - دور پیچی |

نتیجه گیری

با توجه به جمیع موارد فوق الذکر می توان گفت هر چند الیاف پوششی FRP هنوز دارای جزئیات ناشناخته مختلفی می باشند و کارایی سازه تقویت شده با این الیاف در طولانی مدت و در بازه های دمایی گوناگون می بایست به طور کامل مورد ارزیابی و سنجش قرار گیرد و نیز استفاده موردی و جزئی از این مواد در پروژه های ساختمانی هزینه سنگینی را به کارفرما تحمیل می نماید ولی واضح است نظر به سادگی اجرا و هزینه نسبتاً اندک آنها در مواردی که بصورت عمده در تقویت سازه ها استفاده می گردند، مزیت و برتری کاربردشان نسبت به روش های سنتی موجود غیر قابل تردید می باشد.

مراجع

۱- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران، ۱۳۸۵.

2-ACI (American Concrete Institute), "440R-96: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", 2006.

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.

5-Teng, J.G., Chen, J.F., Smith, S.T., Lam, L., "FRP Strengthened RC Structures", John Wiley, NY, USA, 2002.

۶- تنکابنی پور، سید مهدی؛ اصول مقاوم سازی ساختمان ها، انتشارات آزاده، تهران، ۱۳۸۶.