مقاوم سازی با استفاده از الیاف پلیمری

ابوالفضل مهران‌پور
کارشناس مقاوم‌سازی

مقدمه

یکی از روش‌های مقاوم‌سـازی برای انواع ساختمان‌ها استفاده از الیاف پلیمری می‌باشد. این روش به لحاظ اقتصادی با روش‌های سـنتی قابل رقابت بوده و همچنین دارای قابلیت اجرای سـریع و آسان می‌باشـد. در مواردی که استفاده از ماشین آلات سنگین و یا توقف کاربری سـاختمان در هنگام اجرا امکان پذیر نیست، مقاوم‌سازی با الیاف پلیمری نسـبت به روش‌های سنتی تداخل کمتری در کاربری ساختمان در حین اجرا ایجاد می‌نماید. از دیگر مزایای مصالح پلیمری، نسبت بالای مقاومت به وزن و همچنین سـختی به وزن می‌باشد. هم اکنون استفاده از این روش در مورد ساختمان‌ها، پل‌ها و کلیه اجزای بتنی متداول می‌باشد. روش سنتی استفاده از صفحات فولادی در مقاوم‌سازی تیرها، ستون‌ها و عرشه پل دارای مشکلاتی از جمله افزایش وزن سازه، صعوبت دسترسی و زمان بالای اجرا می‌باشد.

FRP نوعی ماده کامپوزیت متشکل از دو بخش فایبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. این مواد به دو شـکل ورق‌های FRP و میلگردهای FRP وجود دارد.

رزین اصولاً به عنوان یک محیط چسباننده عمل می کند که فایبرها را در کنار یکدیگر نگاه مـی‌دارد. ماتریس (رزین) را می‌توان از مخلوط‌های ترموست و یا ترموپلاستیک انتخاب کرد. ماتریس‌های ترموسـت با اعمال حرارت سخت شده و دیگر به حالت مایع یا روان در نمی‌آیند؛ در حالی‌که رزین‌های ترموپلاستیک را می‌توان بـا اعمال حرارت، مایع نموده و با اعمال برودت به حالت جامد درآورد. از جمله رزین‌های ترموست می‌توان از پلی استر، وینیل استر و اپوکسـی و رزین‌های ترموپلاستیک از پلی وینیل کلراید (PVC)، پلـی اتیلن و پلی پروپیلن (PP)، نـام برد. نقش اصلی ماتریس رزین عبارت است از:

- انتقال برش از فیبر تقویتی به ماده مجاور
- محافظت از فیبر در شرایط محیطی
- جلوگیری از خسارات مکانیکی وارد بر الیاف
- کنترل کمانش موضعی الیاف تحت فشار

فایبرها که اصولاً الاسـتیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، جزء

اصلی باربر در ماده FRP محسـوب می‌شـوند و بسـته به نوع فایبـر، قطر آن‌ها در محـدوده ۵ تا ۲۵ میکرون می‌باشـد. فایبر ممکن اسـت از شیشـه، کربن، آرامید و یا وینیلون باشد که در اینصـورت محصولات کامپوزیت مربوطه بـه ترتیب به نام‌های CFRP ، AFRP ، VFRP و GFRP شناخته می‌شود.

مشخصات اساسی مواد کامپوزیتی FRP

مقاومت در مقابل خوردگی

بدون شـک برجسته‌ترین و اساسـی‌ترین خاصیت محصولات کامپوزیتـی FRP مقاومت آن‌ها در مقابل خوردگی اسـت. در حقیقـت این خاصیت ماده FRP تنها دلیـل نامزد کردن آن‌ها به عنوان یک گزینه جانشـین برای اجزاء فولادی و نیز میلگردهای فولادی است. به خصوص در سازه‌های بندری، ساحلی و دریایی، مقاومت خوب کامپوزیت FRP در مقابل خوردگی، سودمندترین مشخصه FRP است.

مقاومت

مصالح FRP معمولاً مقاومت کششـی بسـیار بالایی دارند که از مقاومت کششـی فولاد به مراتب بیشتر اسـت. مقاومت کششی بالای FRP کاربرد آن‌ها را برای سازه‌های بتن آرمه، خصوصاً برای سازه‌های پیش تنیده بسـیار مناسب نموده است. مقاومت کششی مصالح FRP اساسـاً به مقاومت کششی، نسـبت حجمی، اندازه و سـطح مقطع فایبرهای بکار رفته در آن‌ها بستگی دارد. مقاومت کششی محصولات FRP برای میله‌های با الیاف کربن ۱۱۰۰ تا ۲۲۰۰ مگاپاسکال، برای میله‌های با الیاف شیشه ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ مگاپاسکال، و برای میله‌های با الیاف آرامید ۳۰۰۰ مگاپاسکال نیز گزارش شده است. توجه شود که به‌طور کلی مقاومت فشاری میله‌های کامپوزیتی FRP از مقاومت کششی آن‌ها کمتر است.

مدول الاستیسیته

مدول الاستیسـیته محصولات FRP اگرچـه اصولاً کمتر از مدول الاستیسـته فولاد اسـت اما اکثراً در محدوده قابل قبولی قرار دارد. مدول الاستیسـته میله‌های کامپوزیتی FRP سـاخته شده از الیاف کربن، شیشه و آرامید به ترتیب ۱۴۵ گیگاپاسکال، ۱۵۰گیگاپاسکال و ۷۵گیگاپاسکال گزارش شده است.

وزن مخصوص

وزن مخصـوص محصـولات کامپوزیتی FRP بـه مراتب کمتر از وزن مخصوص فولاد اسـت؛ به عنـوان نمونه وزن مخصوص کامپوزیت‌های CFRP یک سوم وزن مخصوص فولاد است. نسبت بالای مقاومت به وزن در کامپوزیت‌های FRP از مزایای عمده آن‌ها در کاربردشان به عنوان مسلح کننده بتن محسوب می‌شود.

عایق بودن

مصالح FRP خاصیت عایق بودن بسیار عالی دارند. به بیان دیگر، این مواد از نظر مغناطیسی و الکتریکی خنثی بوده و عایق محسوب می‌شوند. بنابراین استفاده از میله‌های FRP برای تسلیح بتن مسلح در قسمت‌هایی از بیمارستان که نسبت به امواج مغناطیسی حساس هسـتند، و در مسـیرهای هدایتی قطارهای شـناور مغناطیسی و همچنین در باند فرودگاه‌ها و مراکز رادار بسیار سودمند خواهد بود.

خستگی

خستگی خاصیتی است که در بسیاری از مصالح ساختمانی وجود داشته و در نظر گرفتن آن ممکن است به شکست غیرمنتظره منجر شـود، خصوصاً در اجزایی که در معرض سطوح بالایی از بارها و تنش‌های تناوبی قرار دارند در مقایسـه با فولاد، رفتار مصالح FRP در پدیده خستگی بسیار عالی است؛ به عنوان نمونه برای تنش‌های کمتر از نصف مقاومت نهایی، مواد FRP در اثر خسـتگی گسیخته نمی‌شوند.

خزش

پدیده گسیختگی ناشی از خزش اساساً در تمام مصالح ساختمانی وجود دارد؛ با این وجود اگر کرنش ناشی از خزش، جزء کوچکی از کرنش الاستیک باشد، عملاً مشکلی به وجود نمی آید. در مجموع، رفتار خزشـی کامپوزیت‌ها بسیار ناچیز اسـت؛ به بیان دیگر، اکثر کامپوزیت‌های در دسترس، دچار خزش نمی شوند.

چسبندگی با بتن

خصوصیت چسبندگی، برای هر ماده ای که به عنوان مسلح کننده بتن بکار رود، بسیار مهم تلقی می‌شود. در مورد میله‌های کامپوزیتی FRP، اگرچه در بررسـی اولیه، مقاومت چسبندگی ضعیفی برای کامپوزیت‌های از الیاف شیشه گزارش شده بود، اما تحقیقات اخیر در دنیا مقاومت چسـبندگی خوب و قابل قبولی را برای میله‌های کامپوزیتی FRP گزارش می‌کند.

کاربردهای FRP در مقاوم‌سازی

تقویت خمشی با استفاده از الیاف پلیمری (FRP)

یکـی از موارد کاربرد الیاف پلیمری، تقویت خمشـی تیرها و یا دال‌های بتنی در دهانه‌های بلند می‌باشد. در این موارد، اگر طراحی اولیه عضو نامناسب باشـد می‌توان با استفاده از الیاف، مقاومت

خمشی آن را افزایش داد. اگر نسبت ضخامت (یا ارتفاع) عضو به دهانه آن کم باشد، سختی آن کم و در نتیجه خیز وسط دهانه عضو (تیر یا دال) افزایش می‌یابد. همچنین اگر مقدار آرماتور خمشی در تیر یا دال از حد نیاز کمتر باشد، ترک‌های خمشی در زیر تیر یا دال ایجاد می‌شود. این ترک‌ها بصورت قائم بوده و در راستای خمش (عمود بر راستای آرماتورهای طولی) در محل لنگر خمشی بیشینه ایجاد می‌شوند. به بیان دیگر در وسط تیر، ترک‌های خمشی در وجه زیرین آن و در محل تکیه‌گاه‌ها ترک‌های خمشی در وجه فوقانی تیر ایجاد می‌شوند.

برای افزایش سختی و یا مقاومت خمشی عضو می‌توان ورق‌های پلیمری کربنی CFRP را توسط چسب اپوکسی به وجه کششی عضو خمشی چسباند. در نتیجه در وسط تیر، ورق‌های پلیمری باید به وجه تحتانی و در بر تکیه‌گاه‌ها این ورق‌ها باید به وجه فوقانی چسبانده شوند. جهت الیاف باید در راستای آرماتورهای فولادی باشند، زیرا سختی و مقاومت کششی الیاف در راستای آن بیشترین مقدار را دارند. با وجود ضخامت کم الیاف پلیمری (حدودا ۰/۱ میلیمتر) مدول الاستیسیته بالای آن‌ها (۱۰ برابر فولاد) باعث افزایش سختی تیر و در نتیجه کاهش خیز آن می‌شود. همچنین باید توجه داشت که الیاف پلیمری، برخلاف آرماتورهای فولادی، رفتاری ترد دارند. بدین معنا که پس از آنکه تنش کششی در آن‌ها به مقدار بیشینه رسید، بلافاصله گسیخته می‌شوند. این در حالی است که آرماتورهای فولادی رفتاری نرم دارند، یعنی پس از رسیدن به تنش تسلیم، تغییر شکل خمیری داده و طول آن‌ها تا ۰/۱ طول اولیه افزایش می‌یابد.

مقاومت برشی چسب اپوکسی استفاده شده برای چسباندن الیاف پلیمری و همچنین طول نوار پلیمری چسبانده شده به عضو باید به حدی باشند که بتوانند تنش‌های برشی را بین عضو خمشی و نوار پلیمری منتقل نمایند. در غیر این صورت نوارهای پلیمری قبل از رسیدن به تنش گسیختگی از سطح عضو جدا می‌شوند این نوع خرابی را جدا شدگی سطحی می‌نامند.

تقویت برشی با استفاده از الیاف پلیمری (FRP)

در تیرهای بتنی، خاموت ها، که در جهت عمود بر راستای تیر قرار می‌گیرند، نقش تأمین مقاومت برشی آن را ایفا می‌کنند. همانطور که می‌دانیم به علت مقاومت برشی کم بتن، از خاموت برای تأمین مقاومت برشی کافی در تیرها استفاده می‌شود. چنانچه تیری فاقد مقاومت برشی کافی باشد، ترک‌های برشی در محل برش بیشینه، بر تکیه‌گاه به صورت مایل با زاویه حدود ٤٥ درجه تشکیل می‌شوند. برای تقویت برشی تیرها معمولاً الیاف پلیمری را بصورت قائم و یا مایل (عمود بر راستای ترک‌های برشی) به طرفین تیر می‌چسبانند. هرچه زاویه بین الیاف با راستای عمود بر ترک‌های برشی کمتر باشد اثر آن‌ها در افزایش مقاومت برشی تیر بیشتر است. نوارهای پلیمری که برای تقویت برشی تیر به کار می‌روند می‌توانند بصورت U شکل باشند و یا کاملاً پیرامون تیر را بپوشانند. گاهی برای مقاوم‌سازی اتصال تیر به ستون در ساختمان‌های بتنی، در صورت نیاز، پیرامون تیر و ستون را در محل اتصال کاملاً توسط ورق‌های پلیمری می‌پوشانند. این روش تقویت ضمن افزایش مقاومت برشی تیر و ستون در محل اتصال، باعث افزایش شکل‌پذیری سازه می‌شود. لازم به ذکر است شکل‌پذیری سازه و قابلیت تحمل تغییر شکل‌های خمیری، نقش تعیین کننده در تأمین پایداری ساختمان در هنگام زلزله دارد.

تسلیح سطحی با استفاده از آرماتورهای پلیمری

ورق‌های پلیمری که به سطح اعضای بتنی چسبانده می‌شوند، در مقابل ضربه، حرارت، آتش و اشعه ماورای بنفش آسیب‌پذیر می‌باشند. برای جلوگیری از این آسیب‌ها می‌توان از روش تسلیح سطحی با آرماتورهای پلیمری استفاده نمود. در این روش شکاف‌هایی با عمق کمتر از ضخامت پوشش بتن در سطح بتنی عضو ایجاد شده و آرماتورهای پلیمری کربنی CFRP داخل این شکاف‌ها چسبانده می‌شوند. در این روش چسبندگی مناسبی بین آرماتورهای CFRP و عضو ایجاد می‌شود.

محصور نمودن ستون

اگر ابعاد ستون بتنی و یا مقدار آرماتور طولی آن کمتر از حد مورد نیاز باشد، ستون فاقد مقاومت فشاری کافی بوده و نیازبه مقاوم‌سازی دارد. همچنین اگر فاصله بین خاموت‌ها زیاد باشد، آرماتورهای طولی ستون تحت فشار کمانش کرده و ستون مقاومت فشاری و خمشی خود را از دست می‌دهد. برای تقویت ستون‌ها در این شرایط، می‌توان الیاف پلیمری را توسط چسب اپوکسی به پیرامون آن متصل نمود. محصور نمودن ستون با این روش، مانع کمانش آرماتورها شده و مقاومت فشاری ستون را افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است مقاومت فشاری بتن محصور شده از بتن معمولی بیشتر است؛ زیرا محصور شدگی باعث ایجاد تنش‌های دو جهته در بتن می‌شود. در این روش مقاوم‌سازی جهت الیاف باید عمود بر راستای ستون باشد، یعنی هم‌جهت با خاموت‌های ستون.