

کاربرد FRP در بهسازی لرزه ای سازه ها مورخه ۸۲/۴/۳۱

دکتر کوروش نصراله زاده

چکیده :

امروزه پلیمرهای الیافی (FRP) به طرز گسترده ای در بهسازی سازه های بتن آرمه استفاده می شوند. نسبت بالای مقاومت به وزن، مقاومت در برابر خوردگی و حمل و نصب آسان، مواد FRP را به عنوان گزینه ای مورد توجه در بسیاری از پروژه های بهسازی مطرح کرده است. در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در خصوص تقویت اعضای بتنی با FRP صورت پذیرفته است که عمدتاً به تقویت برشی و خمشی عضو سازه ای و افزایش محصور سازی ستون ها پرداخته اند. ظرفیت برشی ستونها و دیوارهای برشی با چسباندن الیاف FRP در جهت عرضی قابل افزایش است. مضافاً محصور سازی نواحی مفصل پلاستیک در انتهای تیرها و ستونها با استفاده از ژاکت FRP به گسترش رفتار شکل پذیر کمک شایانی می نماید. در این نوشتار ضمن معرفی خصوصیات پلیمرهای الیافی، مزایای کاربرد آنها نسبت به روشهای سنتی صفحات فولادی و یا ژاکت بتنی بیان خواهد شد.

کلید واژه ها : پلیمرهای الیافی، بتن آرمه، ستون، تیر، شکل پذیری، مقاومت.

مقدمه

بسیاری از مواد چنانچه به شکل الیافی بکار روند - تا به صورت فله ای - مقاومت بهتری از خود نشان می دهند. پلیمرهای الیافی (Fiber - reinforced polymer) از کار گذاشتن تعداد زیادی لیف در یک خمیره رزینی - که الیاف را به هم می چسباند - درست میشوند. نسبت بالای طول به قطر یک لیف سبب می گردد تا تنش ها به نحو موثری از طریق خمیره به الیاف منتقل شوند و بدین ترتیب از خواص مکانیکی الیاف استفاده کامل صورت پذیرد. الیاف سرتا سری دارای قطری در حدود ۰.۳-۰.۵ می باشند و به صورت تسلیح در یک جهت و یا در دو جهت تولید می گردند.

در امر مقاوم سازی سازه های مهندسی عمران، الیاف رایج از نوع شیشه، آرامید و یا کربن هستند و رزین های متداول از جنس اپوکسی، پلی استر و وینیل استر می باشند که در این میان اپوکسی ها از خواص مکانیکی و دوام بهتری برخوردارند. الیاف جزء اصلی در تحمل تنش ها بوده در حالی که رزین تنش ها را در میان الیاف توزیع می کند و الیاف را از سایش و خوردگی حفاظت می نماید.

طبقه بندی پلیمرهای الیافی

بسته به نوع الیاف ، پلیمرهای الیافی به سه گروه پلیمر الیاف - کربنی (CFRP) ، پلیمر الیاف - شیشه ای (GFRP) و پلیمر الیاف - آرامیدی (AFRP) طبقه بندی می شوند . تمامی انواع الیاف دارای رفتار ارتجاعی - خطی تا نقطه گسیختگی بوده - که گسیختگی در کرنش های بزرگ رخ می دهد - و بر خلاف فولاد دارای منطقه تسلیم مشخص نمی باشند .

الیاف شیشه ای خود بر سه نوعند : شیشه نوع E ، شیشه نوع S و الیاف شیشه ای AR مقاوم در برابر محیط قلیایی ، الیاف شیشه ای E - که دارای مقادیر قابل توجهی اسید بوریک و آلومینات می باشد - مقاومت کمی در برابر محیطهای قلیایی دارند . الیاف S قویتر و سخت تر از الیاف E هستند اگر چه همچنان در برابر محیط قلیایی مقاوم نمی باشند . برای بالابردن مقاومت قلیایی الیاف شیشه ای ، مقادیر زیادی روی بدان اضافه می گردد که نوع سوم الیاف یعنی AR پدید می آید . الیاف نوع AR از نظر خواص مکانیکی مشابه الیاف شیشه ای E هستند . نکته قابل توجه آنکه الیاف شیشه ای کمترین قیمت را در میان پلیمرهای الیافی دارند . الیاف آرامیدی اولین بار در ۱۹۷۱ معرفی شدند و امروزه توسط چندین تولید کننده تحت نامهای تجاری مختلف تولید می شوند . ساختار الیاف آرامیدی ، غیر ایزوتروپ بوده و مقاومت بیشتری در جهت طولی لیف داراست . قطر لیف آرامیدی تقریباً ۱۲ m است . الیاف کربنی بر دو گونه اند : نوع اول (Pitch) که بر مبنای مواد با وزن مولکولی بالا حاصله از نفت تصفیه شده یا زغال سنگ است و نوع دوم (PAN) که از پلی اکریلونیترایل می باشد . قطر الیاف نوع اول حدود ۸ m و ۹-۱۸ و نوع دوم حدود ۸-۵ m است .

جدول شماره (۱) مقایسه ای کیفی بین انواع پلیمرهای الیافی ارائه می کند . جدول شماره (۲) خواص کمی الیاف مختلف را به عنوان مقادیری نمونه نشان میدهد . نکته قابل ذکر آنکه مقادیر جدول (۲) برای خود الیاف به تنهایی (و نه با احتساب رزین) می باشند و مقادیر واقعی مجموعه مرکب الیاف و رزین بایستی از تولید کننده تهیه گردد .

جدول شماره (۱) - مقایسه کیفی بین ورقهای ساخته شده از انواع پلیمرهای الیافی

معیار	الیاف شیشه ای نوع E	الیاف کربنی	الیاف آرامیدی
مقاومت کششی	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب
مقاومت فشاری	خوب	بسیار خوب	ناکافی
ضریب ارتجاعی	کافی	بسیار خوب	خوب
رفتار دراز مدت	کافی	بسیار خوب	خوب
رفتار خستگی	کافی	عالی	خوب
چگالی	کافی	خوب	عالی
مقاومت قلیایی	ناکافی	بسیار خوب	خوب
قیمت	بسیار خوب	کافی	کافی

جدول شماره (۲) - خواص کمی انواع الیاف

الیاف	مقاومت کششی (N / mm ²)	ضریب ارتجاعی (KN / mm ²)	تغییر طول نسبی (%)	چگالی مخصوص
کربنی (PAN) : مقاومت بالا	۴۳۰۰ - ۴۹۰۰	۲۳۰ - ۲۴۰	۱/۹ - ۲/۱	۱/۸
کربنی (PAN) : سختی زیاد	۲۷۴۰ - ۵۴۹۰	۲۹۴-۳۲۹	۰/۷-۱/۹	۱/۷۸-۱/۸۱
کربنی (Pitch) : سختی بسیار زیاد	۲۶۰۰ - ۴۰۲۰	۵۴۰ - ۶۴۰	۰/۴ - ۰/۸	۱/۹۱ - ۱/۱۲
آرامیدی	۳۲۰۰-۳۶۰۰	۱۲۴-۱۳۰	۲/۴	۱/۴۴
شیشه ای	۲۴۰۰ - ۳۵۰۰	۷۰-۸۵	۳/۵ - ۴/۷	۲/۶

مقایسه بین FRP و فولاد در مقاوم سازی سازه ها

پلیمرهای الیافی دارای مقاومتی حداقل دو برابر و تا بیش از ده برابر مقاومت فولاد هستند در حالیکه وزن آنها حدود یک چهارم وزن فولاد می باشد. بنابراین مواد FRP نسبت مقاومت به وزن بسیار بزرگتری از فولاد دارند. سبکی وزن مزایای قابل توجهی را به همراه می آورد، از آنجمله است: کاهش هزینه های کارگر، سهولت حمل و نصب و کارکردن در محیطهای با فضای دسترسی محدود. مضافاً برای چسباندن صفحات FRP در زیر دال عرشه پل ها و یا کف ساختمانها نیازی به برپایی داربست های مفصل نمی باشد. سادگی کارکردن با ورق های FRP سبب شده است که نصب آنها به نصب کاغذ دیواری تشبیه کنند. از سوی دیگر حمل و نقل صفحات فولادی مستلزم استفاده از تجهیزات سنگین است همچنین برای نگهداشتن صفحات فولادی در جای خود - تا زمانی که ماده چسباننده صفحه فلزی و سطح بتنی به مقاومت کافی برسد - نیاز به شمع گذاری یا استفاده از پیچ برای اتصال صفحه به سطح بتن می باشد. اما در مورد صفحات FRP، همینکه صفحه به سطح بتنی چسبانده شد میتوان بدون تکیه گاه رها شود و همچنان در جای خود بماند. بویژه نیاز به استفاده از پیچ برای اتصال صفحه FRP به سطح بتن - که مستلزم ایجاد سوراخ در بتن بوده و احتمال صدمه زدن به آرماتورهای فلزی مقطع بتنی را پیش می آورد - کاملاً حذف می گردد. نکته دیگر امکان تولید مواد FRP در طولهای بسیار زیاد می باشد. اساساً در عمل هیچ محدودیتی در ابعاد و هندسه مواد FRP وجود ندارد. این انعطاف پذیری خود سبب سهولت در نصب می گردد، که از آنجمله موارد زیر قابل اشاره است:

- محل های قطع صفحات FRP در طول عضو بتنی کاسته می گردد.
- لایه های FRP نامنظمی در شکل سطوح بتنی را پذیرفته و می توانند به سادگی از انحناء سطوح پیروی کنند.
- مواد FRP می توانند به آسانی در اطراف و پشت لوله ها و تاسیسات نصب گردند.
- روی هم قرار دادن نوارهای FRP که برای تقویت در دو جهت متعامد قرار گرفته اند، بدلیل ضخامت کم نوار میسر می باشد.

مزیت قابل توجه دیگر پلیمرهای الیافی، مقاومت آنها در برابر خوردگی است. همچنین نیازشان به نگهداری کم بوده و اگر در مدت بهره برداری خسارتی ببینند به راحتی - با افزودن یک لایه اضافی - قابل ترمیم خواهند بود. مضافاً کاربرد FRP در امر تقویت سازه ها، وزن سازه و یا ابعاد عضو را افزایش نمی دهد که این موضوع در مورد پل ها و یا سازه های با فضاهای محدود مانند تونل ها از اهمیت برخوردار است. از نقطه نظر تاثیرات زیست محیطی، بدلیل سبکی وزن پلیمرهای الیافی حمل و نقل آنها کمترین اثر را بر محیط زیست می گذارد. همه عوامل فوق الذکر موجب شده اند تا صفحات FRP در عرصه مقاوم سازی جای صفحات فولادی را بگیرند بگونه ای که امروزه در کشور سوئیس حدود ۹۰٪ موارد کاربرد تقویت با صفحات به پلیمرهای الیاف - کربنی اختصاص یافته است. هر چند که باید اشاره شود که حصول به فواید مترتب بر کاربرد FRP منوط به فراهم آوردن حفاظت برای آن در برابر آتش می باشد.

ملاحظات اقتصادی کاربرد FRP در مقاوم سازی

کاربرد FRP برای تقویت اعضاء بتنی سبب افزایش مقاومت (محوری، خمشی، برشی، پیچشی) عضو و همچنین بهبود شکل پذیری می گردد حال آنکه تغییری در وزن سازه ایجاد نمی شود. سازه های بتنی متعددی در سراسر دنیا وجود دارند که با پلیمرهای الیافی تقویت شده اند. از نقطه نظر مقاوم سازی که هزینه مصالح بخش کوچکی از هزینه کل را تشکیل می دهد، مواد FRP به عنوان گزینه ای کاملاً اقتصادی به حساب می آیند. گرچه قیمت پلیمرهای الیافی بر حسب وزن بالا می باشد ولی با ارزیابی بر حسب مقاومت فوق العاده بالای آنها و نیز در نظرگیری کل فرآیند مقاوم سازی و بررسی دراز مدت کاربرد این مواد، چه بسیار مواردی که FRP با صرفه ترین راه حل مقاوم سازی در نظر گرفته شده است. نکاتی چون عدم اختلال در کاربری ساختمان در حین انجام تقویت و یا عدم توقف روند ترافیک برای پل در دست تعمیر و همچنین سرعت اجرای بهسازی از موارد قابل توجه در امکان سنجی نهایی کاربرد پلیمرهای الیافی می باشند. برای نمونه در زیر نتایج چند مطالعه که اخیراً انجام شده اند، ارائه می شود:

مطالعات نشان داده است که مقاوم سازی یک پل راه آهن با استفاده از FRP تقریباً ۳۰٪ ارزان تر از روش صفحات فلزی تمام شده است. در فلوریدا اتصالات تیر-ستون در یک پارکینگ با چسباندن پلیمرهای الیاف - کربنی به وجوه تیرها تقویت شده اند، که این روش مقاوم سازی ۳۵٪ ارزانتر از روش های سنتی (به صورت کارگذاری آرماتورهای فولادی باضافی و پوشاندن اتصال با بتن) برآورد گردید. تیرهای پلی در کانادا با پلیمرهای الیاف - کربنی برای برش تقویت شدند که در مقایسه با روش سنتی (که توام بود با برداشتن قسمتهایی از بتن و کارگذاری خاموت خارجی و بتن ریزی مجدد) ۳۰٪ ارزانتر درآمد.

سخن پایانی

به دلیل حرکت استمراری علم، روند تکامل و بازنگری آیین نامه های زلزله روندی غیر قابل توقف است. بنابراین همواره با ساختمانهایی مواجه خواهیم بود که برخی ضوابط جدید تر را ارضا نسازند و لذا نیازمند تقویت باشند. از این منظر، بهسازی به هیچ مقطع زمانی وابسته نیست و توجه به بهسازی در واقع لحاظ توسعه و رشد علمی است. مضافاً در مجموعه

ساختمانهای بتنی و پلهای "موجود" کشور، یافتن نمونه های متعدد نیازمند تقویت محتاج صرف زحمت چندانی نمی باشد. در این میان مواجهه با ساختمانهای مهمی چون هتل ها، بیمارستانها و مدارس که شکل پذیری کافی را ندارند ضرورت توجه جدی به گسترش روشهای بهسازی را دو چندان می کند. تا حدود یک دهه پیش استفاده از ژاکتهای فولادی و یا بتنی تنها روشهای مقاوم سازی شناخته می شد اما ورود پلیمرهای الیافی به عرصه مهندسی عمران دریچه ای نو پیش روی محققان گشود. به طور خلاصه مجموعه FRP و بتن از یکسو جرم، سختی، میرایی و ارزانی بتن و از سوی دیگر سرعت ساخت، سبکی، مقاومت و دوام FRP را با هم ترکیب می سازد و سبب افزایش مقاومت و یا بهبود شکل پذیری سازه مقاوم شده می گردد.

در کشور ما، حتی اگر فرض بر این گذارده شود که FRP از خارج وارد شود - گوا اینکه برخی کارخانجات داخلی درصدد تولید برخی انواع آن هستند - قیمت این مواد (با توجه به هزینه کل ساختمان) در حدی نخواهد بود که به خودی خود عاملی بازدارنده در بکارگیری آنها تلقی گردد. این موضوع با تدقیق و وارسی در حجم هزینه های مربوط به تاسیسات یا تسهیلات ساختمان آشکار میشود و پر واضح است که بهسازی سازه ای همچون بهسازی معماری نیازمند توجه و تخصیص هزینه است. و همانگونه که در متن این نوشتار گفته آمد بر آورد هزینه ها بایستی در مقیاس درازمدت انجام شده، سرعت و سهولت روش های اجرا، کاهش هزینه و انرژی کارگذاری مصالح و عدم اختلال در کاربری سازه در حین تقویت نیز لحاظ گردد.

جدا از مسائل اقتصادی، گاهی فقط نو بودن یک روش، تردید در باور تصمیم سازان می نشاند تا از نبود مهارت کافی در میان کارگران (در اجرای روش) و یا کمبود دانش کافی در میان مهندسان (در محاسبه و رجوع به آیین نامه) اندیشه کنند و بنا بر احتیاط روشهای سنتی که آزموده شده اند را بر راههای نوین ترجیح دهند. اما باید دانست که اگر اقبال یک روش را منوط به تکرار موفق و سابقه آزموده آن بدانیم، راه را بر بالندگی روشهای نو و به عبارت اخری توسعه علمی بسته ایم که این خود فی نفسه با روح مقاوم سازی و بهسازی که برخاسته از ضرورت تکامل علم است ناخوانی دارد. از دیگر سو با بستر سازی مناسب در جهت رشد و نمو کاربرد پلیمرهای الیافی در صنعت ساختمان و بذل توجه ویژه به تحقیقات پیرامون این موضوع و نیز آموزش مهارتها و دانش بهسازی با استفاده از این مصالح، راه برای توسعه تقاضا هموار میشود که مالا" به کاهش قیمت مواد و نیز تدوین آیین نامه های طراحی و دستورالعملهای اجرایی مربوط بدان خواهد انجامید.

از خدای بزرگ توفیق می خواهیم.

کوروش نصراله زاده

تهران - مرداد ۱۳۸۲

