



تهیه و تنظیم:  
دکتر فرناز نایب مراد



## پلیمرهای مقاوم شده با الیاف FRP

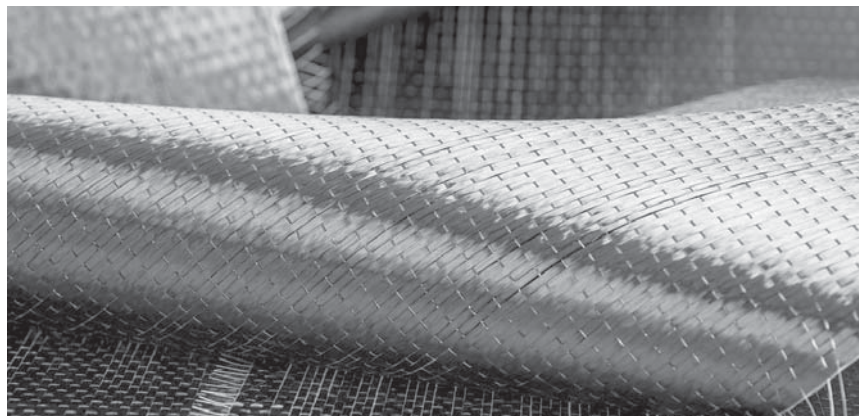
الیاف FRP – Fiber Reinforced Polymers الیافی پارچه‌ای هستند که بصورت تک جهته، دو جهته و چند جهته نسبت به هم بافته می‌شوند. ورق یا لمینت FRP که گونه دیگری از الیاف FRP هستند، از روی هم چسباندن چند لایه نازک از الیاف FRP به همراه رزین و فشردن آن‌ها تا رسیدن به ضخامت و تاب مکانیکی و فیزیکی مورد نظر ساخته می‌شوند. در مورد بافت الیاف پلیمری FRP لازم به ذکر است در هر جهت ضخامت الیاف اف آر پی (FRP) بیشتر باشد در آن جهت مقاومت کامپوزیت بیشتر خواهد بود. معمولاً بافت تک جهته الیاف پلیمری FRP دارای مقاومت و مدول بالاتری (در جهت الیاف) نسبت به سایر بافت‌ها می‌باشد، این در حالی است که بافت چند جهته تاب آوری و مدول کمتری نسبت به بافت تک جهته دارد.

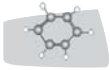
الکتربندی دارند، استفاده می‌شوند اما کاربرد FRP در ساخت و ساز و برنامه‌های مقاوم سازی لرزه‌زایی انواع سازه‌ها، نسبت به دیگر کاربردهای آن، به طور گسترده‌تری قابل مشاهده است. اف آر پی های کربنی را عمدتاً در بتن پیش تنیده برای کاربردهایی که مقاومت بالا در برابر خوردگی و شفافیت الکترومغناطیسی در آن‌ها حائز اهمیت است، مورد استفاده قرار می‌دهند.

به کارگیری کامپوزیت‌های CFRP در لوله‌کشی زیر آب و بخش‌های ساختاری سکوها دریایی رایج می‌باشد. در واقع، پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن را به منظور ساخت لوله‌های زیر آب در عمق زیاد مورد استفاده قرار می‌دهند چرا که این پلیمرها از چگالی کمی برخوردار بوده و از همین رو موجب افزایش قابل توجه شنواری در مقایسه با فولاد می‌شوند. علاوه بر این، انواع محصولات پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) نقش قابل توجهی در کاهش

کامپوزیت‌ها را به وفور در صنایع کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار می‌دهند. از جمله مهم‌ترین این صنایع، می‌توان به هواپیما، فضاپیما، خودرو، واگن ریلی، تجهیزات ورزشی، موشک، دستگاه‌های تولید انرژی نظیر برج‌های خنک کننده و توربین‌های بادی اشاره کرد. پلیمرهای تقویت شده با الیاف به طور چشمگیری در ساخت سازه‌های خاصی که نیاز به خنثی شدن

کامپوزیت‌ها، به دلیل فرمولاسیون منحصر به فردی که دارند، از پتانسیل پایداری ابعادی ذاتی استثنایی برخوردار می‌باشند. گفتنی است کامپوزیت‌ها قابل تنظیم هستند. از همین رو، می‌توان آن‌ها را به گونه‌ای طراحی نمود که مزایای خواص ساختاریشان به حداکثر برسد. آن‌ها اغلب گزینه منتخب مهندسان برای برنامه‌های نیازمند پایداری ابعادی دقیق در شرایط مختلف هستند.





هستند. قطر آنها ۱۰ میکرومتر با نسبت ابعاد، طول به قطر، بین ۱۰۰۰ و بی نهایت برای الیاف پیوسته است. رشته‌ها بسیار شکننده هستند و باید با احتیاط زیادی به آنها رسیدگی شود. برای مثال یک رشته دسته‌ای از رشته‌های شیشه یا آرامید شامل ۲۰۰ تک رشته پیوسته است.

### الیاف کربن (CFRP)

پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن مواد کامپوزیتی هستند که برای تأمین مقاومت و سختی به الیاف کربن متکی هستند، در حالی که پلیمر یک ماتریس منسجم برای محافظت و نگهداری الیاف بوجود می‌آورد و کمی هم مقاومت می‌کند.

می‌توان این الیاف را مهندسی کرد تا به کاهش جرمی برسند که توسط فلزات امکان پذیر نیست. از آنجا که این مواد به صورت مصنوعی ترکیب شده‌اند، مشخصات و عملکرد آنها می‌تواند متناسب با کاربرد از طریق مقاومت، طول، جهت و مقدار الیاف تقویت کننده و انتخاب ماتریس پلیمر باشد.

فیبر کربن برای اولین بار در نزدیکی کلیولند، اوهایو، در سال ۱۹۵۸ اختراع شد البته تا زمانی که در مراکز تحقیقاتی بریتانیا در سال ۱۹۶۳ مورد بررسی قرار گرفت و روش‌های جدیدی برای تولید آن ارائه شد کارایی و قابلیت‌های آن شناخته نشده بود.

الیاف کربن (فیبر کربن) ساخته شده از رشته‌های نازک پلیمر کربنی با قطر حدود ۰,۰۰۰۲ تا ۰,۰۰۰۴ اینچ (۰,۰۰۵ تا ۰,۰۱۰ میلی متر) می‌باشد که بیشتر از اتم‌های کربن تشکیل شده است.

اتم‌های کربن از کریستال‌های میکروسکوپی با ساختار موازی ساخته شده‌اند. در بخش تولید الیاف فیبر کربن چند هزار الیاف کربن به هم تنیده می‌شوند تا ریسمان نخی یکپارچه‌ای را بسازند که تاب کششی بسیار بالایی دارد؛ در این مرحله نخ یا پارچه به شکل قالب در می‌آید و یا با اپوکسی ترکیب می‌شود تا مواد کامپوزیتی گوناگونی را بسازد که خواص ویژه‌ای از خود نشان می‌دهد.

از ویژگی‌های مهم فیبر کربن دوام و استحکام بالا در کنار وزن مخصوص بسیار کم می‌باشد که جایگزین بسیار خوبی برای فولاد است و در محصولات تخصصی و با کارایی‌های مهم مانند هواپیما،

پلیمری آرامید و الیاف پلیمری بازالت هستند که محصولات کامپوزیتی آن‌ها به ترتیب با نام‌های الیاف کربن CFRP، الیاف شیشه GFRP، الیاف آرامید AFRP و الیاف بازالت BFRP شناخته می‌شوند.

\*انواع الیاف شیشه GFRP – پلیمرهای FRP مسلح شده با الیاف شیشه Glass Fiber Reinforced Polymers

\*انواع الیاف کربن CFRP – پلیمرهای FRP مسلح شده با الیاف کربن Carbon Fiber Reinforced Polymers

\*انواع الیاف آرامید AFRP – پلیمرهای FRP مسلح شده با الیاف آرامید Aramid Fiber Reinforced Polymers

\*انواع الیاف بازالت BFRP – پلیمرهای FRP مسلح شده با الیاف بازالت Basalt Fiber Reinforced Polymers

سه الیاف که برای مقاوم سازی اعضای سازه‌ای استفاده می‌شوند، عبارتند از:

۱- الیاف کربن

۲- الیاف آرامید

۳- الیاف شیشه

بیشترین استفاده از این الیاف برای خمش، برش و دور پیچ تیرها و ستون‌ها، الیاف کربن است، اما در نهایت انتخاب الیاف به مصالح پایه سازه‌ای، مقاومت و سختی که باید مقاوم سازی شود، بستگی دارد.

الیاف شیشه کمترین هزینه را دارد. با این حال، باید درک کرد که این هزینه‌ها نباید از نظر وزنی با مصالح متعارف مهندسی عمران مقایسه شود، زیرا تکنیک‌های طراحی سازه، حمل و نقل و نصب در محل برای دو نوع کامپوزیت قابل مقایسه نیستند. مقاومت و سختی بالاتر کامپوزیت برای تشکیل سیستم سازه‌ای به مصالح زیادی احتیاج ندارد، فقط به تجهیزات بالابر سبک در محل احتیاج دارد و کمتر به مصالح ساختمانی سنتی نیاز دارد.

طیف گسترده‌ای از مواد آمورف و کریستالی می‌تواند به عنوان جز الیاف کامپوزیت پیشرفته استفاده شود. فرآیند ساخت الیاف روشی است که شامل تراز محوری مولکول‌های ماده است.

الیاف به طور کلی از تعدادی رشته بلند تشکیل شده‌اند که دارای استحکام و مقاومت ویژه فوق العاده بالایی

خطر آتش سوزی دارد. بدین منظور، استفاده از آن در کاربردهای در معرض حرارت و آتش، بسیار موثر است.

فاکتورهای اساسی که توسط انواع الیاف پلیمری FRP در کارایی فیزیکی کامپوزیت‌های FRP، تاثیرگذارند عبارتند از:

\*خواص مکانیکی و مشخصات الیاف FRP

\*آرایش بافتگی انواع الیاف FRP

\*طول الیاف FRP

\*شکل الیاف FRP

\*درصد ترکیب الیاف پلیمری FRP

\*چسبندگی و پیوند بین الیاف FRP و ماتریس

\*الیاف مورد استفاده در کامپوزیت FRP

\*تاثیر ماتریس پلیمری بر انواع الیاف

### مزایای الیاف FRP عبارتند از:

\*وزن کم و عدم اعمال بار ثقیلی اضافه

\*مقاومت مشخصه و مدول الاستیسیته بالا

\*افزایش ظرفیت باربری و افزایش شکل پذیری

ستون‌ها، تیرها، دال‌ها و اتصالات بتن مسلح

\*مقاومت در برابر شرایط محیطی مخرب

\*عدم هدایت الکتریکی و حرارتی

\*مقاومت کششی بالا

\*مقاومت در برابر ضربه و خستگی

\*عدم تأثیرپذیری در میدان‌های مغناطیسی و فرکانس‌های رادیویی (برای مثال تأثیر روابط دستگاه‌های بیمارستانی)

\*ضخامت کم

\*ظرفیت جذب ارتعاشات

\*حمل و نقل آسان و سرعت اجرای بالا به دلیل وزن کم

\*اقتصادی بودن طرح

### معایب الیاف FRP عبارتند از:

\*حساس به خزش و سایش در هنگام نصب

\*ایجاد پدیده ترد شکنی

\*مقاومت کم در برابر خستگی

\*پایین بودن ضریب ارتجاعی

انواع الیاف مورد استفاده در مصالح کامپوزیتی FRP، الیاف پلیمری کربن، الیاف پلیمری شیشه، الیاف



اتومبیل‌های مسابقه‌ای و تجهیزات ورزشی کاربرد خوبی دارد.

کامپوزیت‌های CFRP از مقاومت خوب و بالا، چگالی کم، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر لرزش، مقاومت نهایی بالا، مقاومت در برابر خستگی زیاد و هدایت گرمایی کم برخوردار هستند.

آنها رساناهای خوب الکتریسیته نبوده و غیر مغناطیسی هستند. CFRP راه حل‌های بسیاری از مشکلات مرتبط با خرابی و مقاوم سازی زیرساخت‌ها مانند پل‌ها و ساختمان‌ها را فراهم می‌کند.

استفاده از میلگردهای تقویت کننده CFRP در بتن جدید می‌تواند مشکلات احتمالی خوردگی را از بین ببرد و مقاومت سازه‌های یک عضو را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

استفاده موثر از پلیمر تقویت شده با الیاف کربن می‌تواند به طور قابل توجهی عمر سازه‌ها را افزایش دهد و نیازهای نگهداری را به حداقل برساند.

الیاف کربن همچنین به عنوان تقویت کننده برای مقاوم سازی سازه‌های سبک، مقاومت و سختی بالا استفاده شده است.

## الیاف شیشه (GFRP)

الیاف شیشه با ترکیب ماسه سیلیکا، سنگ آهک، فولیک اسید و دیگر اجزا تشکیل شده است.

این ترکیب تا دمای ۱۲۶۰ درجه ذوب می‌شود. سپس این شیشه ذوب شده تا از حفره‌ای کوچک روی صفحه‌ای از جنس پلاتین ریخته می‌شود.

سپس الیاف شیشه سرد می‌شوند. الیاف کشیده می‌شوند تا مقاومت در جهت مستقیم را افزایش دهند. سپس الیاف برای استفاده در کامپوزیت‌ها به اشکال مختلف بافته می‌شوند.

انواع الیاف شیشه در بافت‌های تک جهته، دو جهته و چند جهته در وزن‌ها و مقاومت‌های مختلف ارائه می‌شوند.

الیاف شیشه با بسیاری از سیستم‌های رزینی نظیر پلی استر اشباع شده، وینیل استر، رزین‌های فنولیک و رزین اپوکسی سازگاری دارد و سیستم کامپوزیتی بسیار مناسبی را شکل می‌دهند.

انواع الیاف شیشه GFRP برحسب ترکیب مواد به کار رفته در تهیه آنها، به انواع گوناگون تقسیم بندی می‌شوند.

**الف - الیاف شیشه (E):** این نوع الیاف شیشه، متداول‌ترین نوع موجود هستند و درصد بالایی از تولیدات GFRP را تشکیل می‌دهد که کم‌ترین مواد قلیایی در ساخت آن‌ها به کار می‌رود.

از این الیاف علاوه بر مقاوم سازی سازه‌ها، در صنعت برق به عنوان مقاومت‌های الکتریکی نیز استفاده می‌گردد. قیمت الیاف شیشه ارزان بوده و کاربرد و فروش الیاف شیشه E-glass نسبتاً بالاست.

**ب) الیاف شیشه (C):** این نوع الیاف شیشه GFRP دارای آهک سود دار به همراه بور و سیلیکات می‌باشد و در محیط‌هایی که مواد شیمیایی خورنده وجود داشته باشند، کاربرد فراوان دارند.

الیاف شیشه به صورت الیافی برای مسلح کردن بتن به کار می‌روند. این نوع الیاف در مقابل خوردگی اسیدی مقاومت بسیار خوبی را فراهم می‌کنند و کاربرد اصلی آنها در پوشش سطحی خطوط لوله و پوشش سطحی مخازن است.

**ج) الیاف شیشه (A):** این نوع الیاف شیشه GFRP که درصد مواد قلیایی موجود در آن‌ها بسیار زیاد است، امروزه از چرخه تولید خارج گردیده‌اند.

**د) الیاف شیشه (S):** این دسته از الیاف شیشه GFRP، مقاومت و مدول الاستیسیته بسیار زیادی دارند و بیش تر در صنایع هوا فضا و تحقیقات فضایی و هوایی برای پوشش موشک‌ها و قطعات هواپیمایی به کار می‌روند.

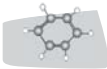
این الیاف عملکرد حرارتی مناسبی دارند و نیاز به کنترل کیفیت خاص در زمان تولید دارد. قیمت الیاف شیشه خیلی بالا بوده و گران قیمت‌ترین نوع GFRP می‌باشند. به همین دلیل فروش این نوع شیشه پایین می‌باشد.

تفاوت الیاف شیشه با پشم شیشه در این است که قطر تارها در پشم شیشه غیر یکنواخت و طول آن محدود است.

همچنین در پروسه تولید پشم شیشه به خاطر تفاوت در نوع سرد شدن، ساختمان شیشه شکننده است. این تفاوت به طوری است که از الیاف شیشه در بالا بردن مقاومت کششی و مقاوم سازی کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود ولی پشم شیشه را به عنوان عایق حرارتی مورد استفاده قرار می‌دهند.

البته استفاده از الیاف شیشه به عنوان عایق حرارتی





نیز رواج دارد.

تفاوت الیاف شیشه با پشم شیشه در این است که قطر تارها در پشم شیشه غیر یکنواخت و طول آن محدود است. همچنین در پروسه تولید پشم شیشه به خاطر تفاوت در نوع سرد شدن، ساختمان شیشه شکننده است. این تفاوت به طوری است که از الیاف شیشه در بالا بردن مقاومت کششی و مقاوم سازی کامپوزیتها استفاده می شود ولی پشم شیشه را به عنوان عایق حرارتی مورد استفاده قرار می دهند. البته استفاده از الیاف شیشه به عنوان عایق حرارتی نیز رواج دارد.

### الیاف آرامید (AFRP)

آرامید فرم کوتاه شده برای پلی آمید بودار است. علامت تجاری معروف الیاف آرامید کولار است. الیاف آرامید اولین الیاف آلی هستند که به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت های پیشرفته با مدول کششی و مقاومت کافی استفاده می شود. آنها خواص مکانیکی بسیار بهتری نسبت به الیاف فولاد و شیشه بر اساس وزن برابر دارند. الیاف آرامید ذاتاً در برابر حرارت و شعله مقاوم هستند که این خواص را در دماهای بالا حفظ می کنند. مدول الیاف ۷۰-۲۰۰ GPa با حداکثر ازدیاد طول ۵-۱۰٪ بسته به کیفیت الیاف است. آرامید انرژی شکستگی بالایی دارد و از این رو برای کلاه ایمنی و لباس ضد گلوله استفاده می شود. این الیاف به درجه حرارت بالا، رطوبت و اشعه ماورا بنفش حساس بوده و بنابراین به طور گسترده ای در کاربردهای مهندسی عمران استفاده نمی شوند. در

نهایت، الیاف آرامید مشکلاتی در حالت تنش خوردگی ایجاد می کنند. الیاف آرامید خواص مکانیکی بسیار بهتری نسبت به الیاف فولاد و شیشه بر اساس وزن برابر دارند و این الیاف به درجه حرارت بالا، رطوبت و اشعه ماورا بنفش حساس بوده و بنابراین به طور گسترده ای در کاربردهای مهندسی عمران استفاده نمی شوند. در نهایت، الیاف آرامید مشکلاتی در حالت تنش خوردگی ایجاد می کنند.

### انواع FRP آری پی در تقویت سازه

#### ۱- میلگردهای FRP در تقویت سازه :

میلگردهای FRP آری پی از انواع FRP می باشند که قابلیت انعطاف پذیری و تغییر شکل ندارند اما بدلیل مقاومت بالای آنها در برابر خوردگی و برخی دیگر از عوامل تجزیه کننده ی محیطی، جایگزین مناسبی برای میلگردهای فولادی متداول هستند؛ به همین جهت میلگردهای FRP در ساختمان هایی استفاده می شوند که ضعف عمده ی آنها عدم مقاومت در برابر خوردگی و زنگ زدگی باشد. در صورت استفاده از میلگردهای FRP به جای میلگردهای فولادی لازم است پیش از طراحی سازه خصوصیات متفاوت میلگردهای FRP نسبت به میلگردهای فولادی متداول که در سیستم مقاوم سازی تاثیر گذار هستند، در نظر گرفته شود و تهمیدات لازم برای آنها صورت پذیرد.

۲- شبکه های کامپوزیتی FRP در تقویت سازه : شبکه های کامپوزیت FRP یکی دیگر از انواع FRP می باشند که مدل های مختلف دارند.

یکی از کاربردهای شبکه های کامپوزیتی FRP برای تقویت سازه یا مقاوم سازی سازه های بتنی است. شبکه های کامپوزیتی FRP از اتصال میلگردهای FRP به یکدیگر تشکیل شده اند. این شبکه های کامپوزیتی در چند نوع دو بعدی یا سه بعدی وجود دارند.

#### ۳- الیاف مسلح کننده FRP :

یکی دیگر از انواع FRP، الیاف مسلح کننده FRP است.

وظیفه اصلی الیاف FRP آری پی تامین سختی و مقاومت در عضو تقویت شده می باشد. الیاف FRP در دو نوع الیاف یک جهته و دو جهته وجود دارند، این الیاف FRP پس از آغشته شدن به چسب های اپوکسی یا همان چسب FRP آری پی، سبب ترمیم، تعمیر و تقویت اعضای باربر در ساختمان یک سازه می شوند.

#### ۴- پروفیل های FRP در تقویت سازه :

پروفیل های FRP که یکی از انواع FRP می باشند، جایگزین مناسبی برای تقویت کننده های فولادی متداول به ویژه در سازه هایی که در معرض خوردگی و زنگ زدگی وجود دارند محسوب می شوند.

پروفیل های FRP در انواع و اشکال مختلف پروفیل های I شکل، پروفیل های T شکل، پروفیل های ناودانی و نبشی وجود دارند.

۵- کابل های FRP : کابل های FRP که از انواع FRP هستند در واقع همان میلگردهای شکل پذیر FRP آری پی می باشند که برای تقویت سازه های آبی یا در معرض عوامل خورنده کاربرد دارند.