

ترجمه: آزاده موحد

و کمپانی‌های Jushi و Johns Manville کارخانجات جدیدی را در آمریکا احداث کرده‌اند. کمپانی Şişecam Group نیز کارخانه جدیدی را در ترکیه تاسیس کرده و کمپانی Taishan نیز در هند سرمایه‌گذاری‌هایی انجام داده است. بزرگ‌ترین بازارهای مقصد برای الیاف شیشه بازارهای حمل و نقل، ساخت و ساز، لوله و مخزن است. علاوه بر آن الیاف شیشه مهم‌ترین و رایج‌ترین تقویت‌کننده در عرصه انرژی‌های بادی به شمار می‌رود.

### توربین‌های بادی

الیاف شیشه به صورت‌های مختلفی از منسوجات در بخش‌های گوناگون توربین بادی نظیر پره‌ها، دکل و غیره و همچنین ناسل‌رپوشش خارجی مجموعه توربین، شاسی و سیستم دوران حول محور برج) به کار می‌روند. پیتر گتورگ، مشاور ارشد در کمپانی انگلیسی اف ام جی می‌گوید: «الیاف شیشه از الیاف کربن سنگین‌تر است و سختی الیاف کربن را نیز ندارد ولی در عوض مقاومت آن در برابر ضربه بیشتر بوده و ازدیاد طول تا حد پارگی آن هم بزرگ‌تر است. این الیاف بسته به نوع شیشه، قطر فیلامنت، ساختار شیمیایی روکش و شکل الیاف دارای خواص و کارکردهای مختلفی می‌باشند.»

او اضافه کرد: «اندازه و کارایی یک توربین بادی با افزایش طول پره‌ها بیشتر می‌شود. سختی پره‌ها باید همواره به اندازه‌ای باشد که به برج ضربه وارد نکند. این امر از طریق طراحی توربین با پره‌های ضخیم‌تر و استفاده از مواد اولیه‌ای نظیر کربن به جای شیشه و مورفولوژی مواد اولیه برای مثال استفاده از پارچه‌های چندمحوری به جای تارهای پودی ممکن می‌شود. هر اقدامی به ویژه استفاده از کربن گران قیمت باید از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد چون هدف نهایی تامین کارایی با هزینه کمتر است.

### کاربرد در صنعت هوافضا

در مواردی نظیر بال یا بدنه ایرباس‌های جدید یا هواپیماهای بوئینگ تنها می‌توان از ساختارهای بر پایه کربن گران قیمت و با کارایی بالا و دارای مهندسی پیشرفته استفاده کرد.

الیاف کربن ماده اولیه‌ای است که از الیاف بسیار ظریف با قطر حدود  $0.10 \text{ mm}$  تا  $0.05 \text{ mm}$  تشکیل می‌شود و بیشتر آن را اتم‌های کربن تشکیل می‌دهد. این اتم‌ها درون بلورهای میکروسکوپی به یکدیگر متصل هستند و کم و بیش در راستای محور الیاف قرار می‌گیرند. این هم‌ترازی بلورها باعث می‌شود الیاف به نسبت سایز خود بسیار مستحکم باشند.

حداقل ۹۰ درصد الیاف کربن را کربن تشکیل می‌دهد که از پیرولیز کنترل شده فرایند ترموشیمیایی ترکیبات آلی در دماهای بالا و بدون حضور اکسیژن به دست می‌آید. واژه الیاف گرافیت در مورد الیافی به کار می‌رود که محتوای کربن آن بیش از ۹۹ درصد باشد.

الیاف کربن یک ماده اولیه غیرایزوتوپ است که یعنی تمامی الیاف در هنگام اعمال

بر اساس گزارشی از Textile Media services، ارزش بازار جهانی کامپوزیت‌ها در سال ۲۰۱۹ حدود ۹۶ میلیارد دلار بوده است. در حالی که اجزای تقویت‌شده با الیاف کربن در صنعت هوا فضا و مسابقات اتومبیل رانی فرمول یک بسیار مورد توجه هستند، سهم الیاف شیشه در بازار از نظر حجمی ۹۰ درصد و از نظر ارزشی بیشتر از ۷۵ درصد می‌باشد. سایر الیاف که دارای کاربردهای خاص و ویژه‌ای هستند عبارتند از پاراآرامیدها، UHMWPE (پلی اتیلن با وزن ملکولی بسیار زیاد) و بازالت. علاقه به کتان و سایر الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده کامپوزیت‌ها نیز در حال بیشتر شدن است.

### الیاف شیشه

الیاف فیلامنتی شیشه می‌توانند حاوی ترکیبی از شن سیلیس، کربنات سدیم، سنگ آهک، کائولینیت و دولومیت باشند. این ترکیب پس از ذوب شدن در کوره در دمای تقریبی  $1500^{\circ}\text{C}$  به شیشه مذاب با ویسکوزیته یکنواخت تبدیل می‌شود. شیشه مذاب سپس از درون یک بوشینگ چند حفره‌ای مقاوم در برابر حرارت کشیده می‌شود و شیشه از درون حفره‌های آن بیرون می‌آید و فیلامنت‌های نازک شکل می‌گیرد. قطر فیلامنت‌ها بین ۵ تا  $30 \mu\text{m}$  متغیر است. فرایندهای آهارزنی مختلفی روی این فیلامنت‌ها انجام می‌شود تا در حین بافندگی آسیبی به آن‌ها وارد نشود. آهارزنی همچنین بر میزان چسبندگی الیاف شیشه به رزین‌های مختلف تاثیرگذار است و در نتیجه خصوصیات و کیفیت الیاف مورد استفاده در موارد مختلف به انجام فرایندهای بیشتر بر روی آن‌ها بستگی دارد.

تولیدکنندگان مطرح الیاف فیلامنتی شیشه در جهان عبارتند از کمپانی‌های Owens Corning، China Jushi Group، Chongqing Polycom International Corporation، Johns Manville، Nippon Electric Glass، Şişecam Group و tric Glass.

در طول دو سال گذشته ظرفیت تولید الیاف شیشه افزایش چشمگیری داشته است برای مثال کمپانی Owens Corning در فرانسه و هند گسترش پیدا کرده است





اند. کمپانی DowAksa نیز با سرمایه ۵۴۵ میلیون دلاری در حال احداث کارخانه ای با ظرفیت ۱۳۴۰۰ تن در ترکیه است که در سال ۲۰۲۳ فعالیت خود را آغاز خواهد کرد. کمپانی Hyosung در کره جنوبی اعلام کرده که در حال انجام یک سرمایه گذاری بلند مدت به مبلغ ۸۲۸ میلیون دلار است که ظرفیت تولید الیاف کربن آن تا سال ۲۰۲۸، ۲۴۰۰۰ تن خواهد بود. محرک کمپانی هیوسانگ برای این اقدام رشد تقاضا برای حمل و نقل هیدروژن و گاز طبیعی است چون مخازن ذخیره کردن این گازها از کامپوزیت های الیاف کربن ساخته می شود. نخستین خط تولید هیوسانگ به زودی شروع به کار خواهد کرد.

تاکنون بلندپروازانه ترین طرح مربوط به کمپانی چینی Kangle Group بوده که اعلام کرده برای احداث یک کارخانه تولید الیاف کربن با ظرفیت تولید سالانه ۶۶۰۰۰ تن مبلغ ۷/۳ میلیارد دلار سرمایه گذاری کرده است. این ظرفیت تولید معادل تقریباً ۴۴ درصد بازار جهانی فعلی می باشد و کارخانه فوق را با فاصله زیادی از کارخانه Toray که در حال حاضر تولید کننده برتر الیاف کربن در جهان است، پیش خواهد انداخت. در فاز اول دو خط تولید الیاف کربن و چندین ساختمان زیربنایی به صورت هم زمان ساخته می شوند که طبق جدول زمانی ساخت آن ها باید تا سال ۲۰۲۳ تکمیل شود. وجود بی نظمی در امور مالی در کمپانی مادر و همچنین اختلافات حقوقی، سرعت اولیه این ساخت و سازها را تحت الشعاع خود قرار داده که احتمالاً باعث می شود اعداد و ارقام ارایه شده در این پروژه غیرواقعی به نظر برسد.

#### الیاف طبیعی

در نهایت کنفدراسیون کتان و کنف در اروپا (CELC) که یک سازمان کشاورزی-صنعتی می باشد که حدود ۱۰۰۰۰ کمپانی مختلف فعال در عرصه های مختلف تولید و حمل و نقل الیاف طبیعی را گرد هم آورده است، گزارش می کند که الیاف طبیعی با موفقیت وارد بازار کامپوزیت ها شده اند و این روند همچنان نیز ادامه دارد. استفاده از کتان و کنف به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت ها باعث بهره برداری از ویژگی های مفید آن ها می شود از جمله رفتار ماده در برابر خستگی و زیست تجزیه پذیری. علاوه بر خصوصیات فوق باید به وضعیت کشت الیاف طبیعی هم اشاره کرد. تولید کتان در اروپا باعث جذب حدود ۲۵۰۰۰۰ تن دی اکسید کربن در سال می شود که معادل دی اکسید کربنی است که یک ماشین سدان با اندازه معمولی پس از ۶۲۰۰۰ بار رانندگی دور دنیا تولید می کند.

#### مرجع:

Adrian Wilson, "High performance fibers for composite reinforcement" International Fiber Journal, March 2020

الیاف کربن همچنین در مقایسه با الیاف شیشه دارای سختی مخصوص بالاتری است و از نظر میرایی لرزش و عایق بودن نیز از شیشه بهتر است.

نیرو باید در یک جهت قرار بگیرند در غیر این صورت بر کارایی آن ها تاثیر منفی گذاشته می شود. چوب نیز یک ماده غیرایزوتوپ است در حالی که آلومینیوم و مس نیستند. استحکام مخصوص الیاف کربن بسیار بالاتر از سیلیکون کربید، آرامیدها، آلیاژهای آلومینیوم و فولاد است و دانسیته آن نیز بسیار کمتر از فولاد می باشد و در نتیجه برای مواردی که نیاز است وزن ماده اولیه کم باشد، ایده آل است. به همین خاطر است که استفاده از کربن در بخش هوا فضا بسیار موفقیت آمیز بوده است. گئورگ می گوید: «در صنعت هوا و فضا بالا بودن نسبت استحکام به وزن تمامی مواد اولیه الزامی است. برای حداکثر شدن اثربخشی الیاف گران قیمت مورد استفاده در این بخش نظیر کربن و آرامیدها از پارچه های چندمحوری و تک جهته که الیاف به کار رفته در آن مستقیم و غیرمجدد است، استفاده می شود. مهندسی پارچه ها به گونه ای است که فاکتورهای اصلی و مهم مورد نیاز در این بخش را از نظر استحکام، دوام، مقاومت در برابر آتش و خستگی تامین کند. یکی از مزایای مهم استفاده از کامپوزیت های در صنعت هوا فضا در مقایسه با مواد اولیه متداول به جز نسبت استحکام به وزن بالا، کاهش هزینه های مربوط به تعمیر و نگهداری است چون در مجموع پایداری و دوام این مواد بیشتر از مواد اولیه رایج است.»

#### ظرفیت تولید کربن

بر اساس گزارش اخیر انجمن صنایع آلمان، ظرفیت جهانی تولید الیاف کربن در سال ۲۰۱۹ از نظر تئوری، ۱۵۹۰۰۰ تن بوده است که حدود ۹۰ درصد آن به ده تولیدکننده برتر این الیاف اختصاص داشته است. کمپانی ژاپنی Toray با ظرفیت تقریبی ۵۰۰۰۰ تن در صدر تولیدکنندگان الیاف کربن قرار دارد و ظرفیت آن نیز پس از مالکیت کمپانی Zoltek در سال ۲۰۱۴ روز به روز بیشتر شده است. دومین تولیدکننده بزرگ الیاف کربن در سال ۲۰۱۹ کمپانی SGL Carbon با ظرفیت ۱۵۰۰۰ تن می باشد و پس از آن نیز کمپانی های Teijin، Mitsubishi Chemical، Hexcel، Formosa Plastics، Solvay (Cy-DowAska و tec)، Zhongfu-Shenyang، Jiangsu Hengshen قرار می گیرند.

#### افزایش ظرفیت

در حال حاضر با وجود نیاز به سرمایه گذاری های عظیمی که برای گسترش ظرفیت تولید الیاف کربن نیاز است، تولید ۴۴۱۰۰ تن دیگر از این الیاف توسط چند کمپانی مهم برنامه ریزی شده است. کمپانی Toray همچنان به گسترش کارخانجات تولیدی خود مشغول است و از طریق کسب مالکیت واحدهای تولید کامپوزیت کربن به دنبال ادغام و یکی شدن می باشد. کمپانی های دیگری نظیر Teijin، Hexcel و Zhongfu-Shenyang نیز اعلام کردند که ظرفیت تولید خود را گسترش داده