

**بررسی انواع فیبرهای کربن و مزیت های آن ها نسبت به یکدیگر**

**استاد: دکتر محمد ریاحی**

**دانشجو: امیر محمد عالمیان**

**بهار ۱۳۹۹**

۳.....	پیش گفتار
۳.....	خصوصیات فیزیکی فیبر کربن
۴.....	تاریخچه مختصر از فیبر کربن
۴.....	مصارف فیبر کربن
۶.....	ساخت فیبر کربن
۶.....	مواد سازنده فیبر کربن
۷.....	دسته بندی فیبر کربن ها بر اساس سختی
۹.....	رویه ساخت فیبر کربن
۱۰.....	چالش های ساخت فیبر کربن
۱۱.....	فیبر کربن در برابر فولاد
۱۱.....	فیبر کربن ماده جادویی
۱۲.....	مراجع

## پیش گفتار

امروزه فیبر کربن ( Carbon Fiber )، ماده ای بسیار پر کاربرد می باشد و چه در مقیاس آزمایشگاهی و چه صنعتی، تولید می شود. در مقیاس صنعتی، از فیبر کربن در صنایع هوافضا، هواپیمایی، اتوموبیل، صنایع نظامی، ورزشی و ... استفاده می شود. به دلیل پرکاربرد بودن این ماده، امروزه فیبر کربن، از جمله ماده های بسیار مهم در طبیعت شناخته می شود که توانسته است صنعت ساخت و تولید را دگرگون کند. در این تحقیق سعی شده است خصوصیات فیبر کربن شرح داده شود و مشخص شود دقیقا به چه ماده فیبر کربن گفته می شود. همچنین تلاش در جهت شناخت مواد پیش سازه و روش های تولید آن ماده صورت گرفته است.

## خصوصیات فیزیکی فیبر کربن

فیبر کربن ماده ایست که از رشته های بسیار نازک ولی با استحکام کربن کریستالی<sup>(۱)</sup> ساخته شده است و به دلیل اینکه از کربن تشکیل شده است، به رنگ سیاه دیده می شود. فیبر کربن می تواند حتی از یک شاخه موی انسان نیز نازک تر باشد ولی زمانی که چندین رشته از فیبر کربن در کنار هم مجتمع شوند تا یک نخ را به وجود بیاورند، استحکام بسیار بالایی پیدا می کنند. سپس این نخ ها را می توان به یکدیگر بافت تا یک پارچه از جنس فیبر کربن بدست آید و حتی اگر بخواهیم یک شکل خاصی به خود بگیرد که تغییر نکند، فیبر کربن را می توان در یک قالب ریخت یا به وسیله آن سطح یک پلاستیک یا یک رزین را پوشاند.

پنج مورد از ویژگی هایی که باعث شده است فیبر کربن ماده ای بسیار خاص و کاربردی در صنعت بشود

عبارت است از:

۱- سختی بسیار زیاد ( بعضی از انواع فیبر کربن ثابت یانگ بسیار بالایی دارند)

۲- قدرت تحمل نیرویی کششی بسیار بالا

۳- نسبت وزن به قدرت تحمل نیرو بسیار کوچک

۴- مقاوت بالایی در برابر اثرات مواد شیمیایی

۵- مقاومت در برابر حرارت بالا

۶- انبساط کم در برابر افزایش دما

به دلیل همین ویژگی ها است که فیبر کربن در صنایع هوایی، خودرو، نظامی و تفریحی استفاده بالایی دارد. همچنین فیبر کربن می تواند هم به عنوان یک نیمه های و هم به عنوان یک هادی عمل کند که این ویژگی آن باعث شده است امروزه در صنایع الکترونیکی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

## **تاریخچه مختصر از فیبر کربن**

تاریخچه تولید و استفاده فیبر کربن به سال ۱۸۷۹ میلادی باز می گردد. اولین بار توماس ادیسون بود که فیبر کربن را تولید کرد. ایشان برای تولید این ماده ابتدا الیاف کتان و ابریشم بامبو را حرارت داد و به این وسیله آن الیاف را به الیاف کربن، کربونیزه ( Carbonize ) کرد. کربونیزه کردن فرایندی است که در اثر حرارت دادن به یک ماده آلی، آن را به کربن تبدیل کنیم.

در سال ۱۹۵۸، اولین فیبر کربن با خصوصیات بهتر در شهر کلیولند آمریکا ساخته شد اما همچنان این فیبر کربن ها قابلیت استفاده بالایی نداشتند. فیبر کربن ها تولید شده در آن سال تنها شامل حدود ۲۰ درصد کربن بودند و قدرت و سختی خیلی کمی داشتند. اما جرقه ای در ذهن مهندس های شیمی و مکانیک زد تا بیشتر روی این ماده تحقیق کنند.

در سال ۱۹۶۹ در یک مرکز تحقیق بریتانیایی، یک روش تولید جدید برای فیبر کربن ابداع شد که توانست سختی و قدرت این ماده را به نمایش بگذارد.

## **مصارف فیبر کربن**

تقریباً هرچیزی! بله از فیبر کربن می توان در ساخت هر چیز که در اطرافتان می بینید استفاده کرد. چه وسایل ساده ای مثل بدنه یک گوشی تلفن تا مصارف پیشرفته آن مثل ساخت یک پهپاد ضد رادار. چند مورد از وسایلی که به وسیله فیبر کربن در مقیاس وسیع ساخته شده اند عبارت اند از:

۱- بدنه دوچرخه

۲- بال هواپیما

۳- محور و بدنه اتوموبیل

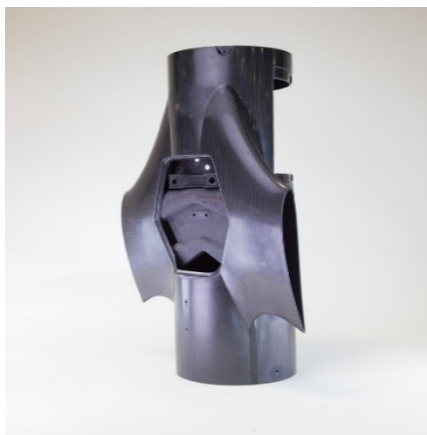
۴- لوله های کربنی چه در مقیاس نانو متر و بزرگ تر

۵- ظروف

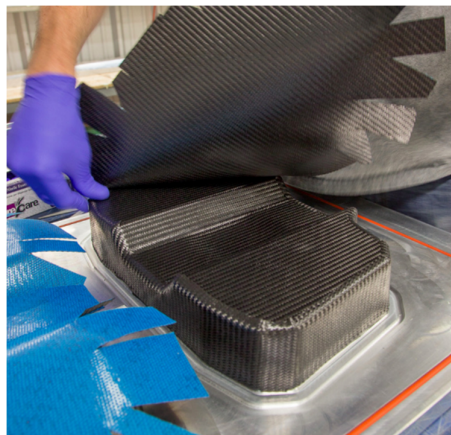
۶- پره های پروانه و ملخ ( توربین های بادی و...)

۷- اجزای ماشین آلات

از فواید استفاده از فیبر کربن در ماشین آلات می توان استفاده آن در بنده خودرو ها را مثال زد. با بهره بردن از چنین ماده ای میتوان وزن خودرو ها را تا ۵۰ درصد کاهش داد و این امر سبب شتاب گیری بهتر و سریع تر خودرو، عملکرد بهتر فرمان پذیری ماشین سر پیچ ها، کاهش مصرف سوخت تا ۳۵ درصد و نهایتا کمتر شدن استهلاک خودرو می شود. در زیر چند عکس از فیبر کربن و مشتقات حاصل از آن به نمایش در آمده است.



یک قطعه خودرو ساخته شده از فیبر کربن



پوشاندن سطح فلز به وسیله پارچه های کربنی

فیبر های کربن به دلیل وزن کم و مقاومت بلایی که دارند امروزه از آن ها در رفع نقص عضو نیز استفاده می شود و آن ها را به صورت ایمپلنت هایی از اعضا درون بدن افراد دارای عضو می گذارند. هرچند این روش هنوز به شدت سایر روش ها در حال انجام نیست اما دارای آینده ای روشن است.

## ساخت فیبر کربن

فرایند ساخت فیبر کربن یک فرایند دقیق و پیچیده شیمیایی است که باید به دقت اندازه گیری شود تا خلوص بالایی از فیبر کربن با ویژگی های مورد نظر بدست آید. فیبر کربن از چندین ماده مختلف مثل PAN ، قیر های ایزوتروپیک و غیر ایزوتروپیک و گاز های مواد آلی بدست می آید که هر کدام از مواد نام برده یک نوع فیبر کربن با خصوصیات متفاوت را می سازند.

روش ها مختلفی نیز برای ساخت این ماده وجود دارد که دو مورد از پرکاربرد ترین آن ها روش کربنیزه مواد آلی و دیگری سنتز مستقیم از گاز های آلی می باشد. در ادامه به صورت گسترده تر در مورد مواد نام برده شده و روش های تولید بحث می شود.

## مواد سازنده فیبر کربن

به طور عمده، فیبر کربن هایی که امروزه تولید می شوند به سه دسته کلی تقسیم می شوند. دسته اول فیبر کربن هایی که ماده سازنده آن ماده پلی آکریلونیتریل یا به اختصار PAN می باشد. دسته دوم فیبر کربن هایی که ماده سازنده آن ها قیر است که خود به دو دسته کوچک تر قیر های ایزوتروپیک و آنایزوتروپیک تقسیم می شود و دسته سوم فیبر کربن هایی که ماده اصلی سازنده آن ها گاز های هیدروکربونی مثل بنزن یا حتی اتان می باشند. هر کدام از این فیبر کربن ها با مواد سازنده مختلف، دارای ویژگی های منحصر به فردی هستند که باعث شده است هر کدام برای مصارف خاصی مورد استفاده قرار گیرند در جدول زیر فیبر کربن ها و مواد سازنده آن ها و مختصری از ویژگی های آن ها آورده شده است که در بخش بعدی به طور تفصیلی درباره ویژگی هر کدام از این فیبر کربن ها بحث می شود.

ویژگی ها	فیبر کربن	ماده سازنده
انواع زیادی از فیبر کربن ها را به وجود می آورد	فیبر کربن بر پایه PAN	پلی آکریلونیتریل
دسته GP	فیبر کربن بر پایه قیر ایزوتروپیک	قیر ایزوتروپیک
دسته HP و HM	فیبر کربن بر پایه قیر غیر آنایزوتروپیک	قیر آنایزوتروپیک در حالت بین مایع-جامد
انواع زیادی از فیبر کربن ها را به وجود می آورد	فیبر کربن های گاز پرورده	گاز های هیدروکربنی

ایزوتروپیک و آنایزوتروپیک دو خاصیت مواد در رابطه با جهت گیری آن ها می باشد. مواد ایزوتروپیک به جهت وابسته نیستند مثل شیشه و کریستال های مکعبی متقارن. مواد آنایزوتروپیک بر عکس دسته قبلی به جهت وابستگی دارند مثل کامپوزیت ها و چوب.

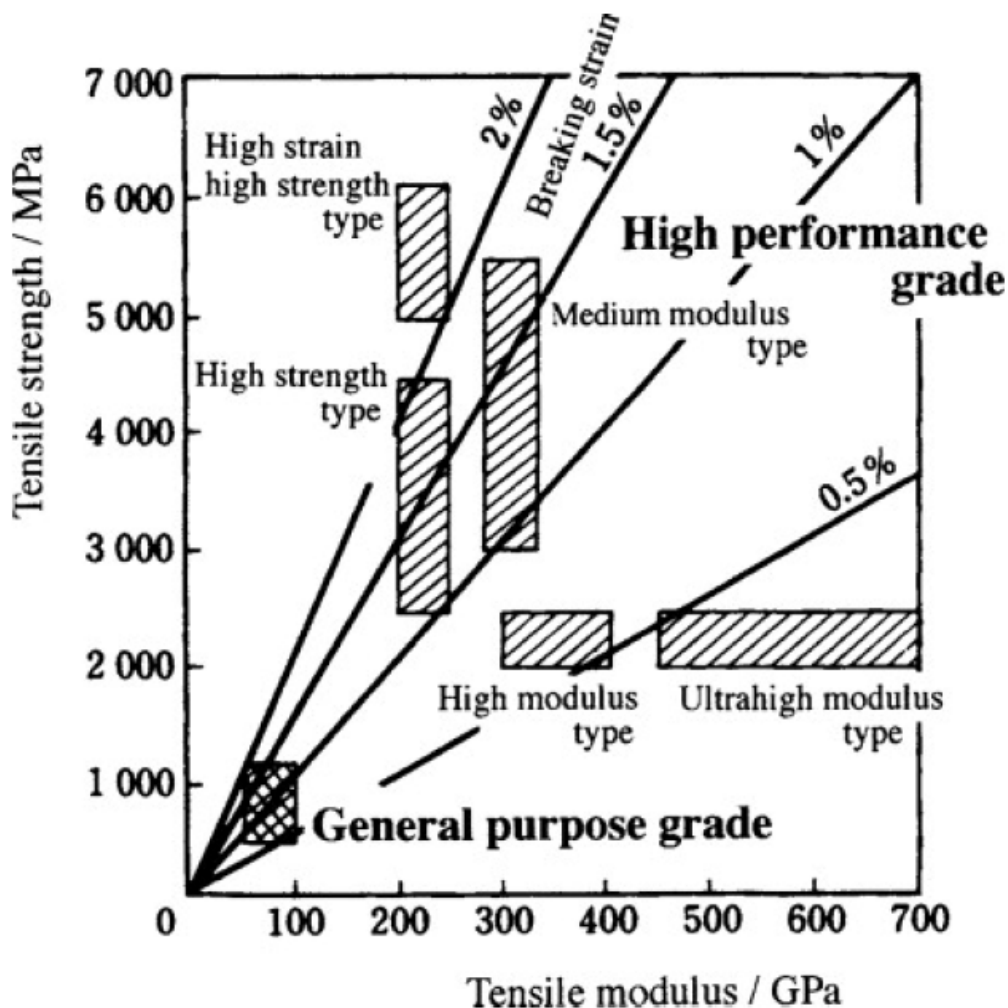
### دسته بندی فیبر کربن ها بر اساس سختی

فیبر های کربن بر اساس کارایی مکانیکی، سختی و مقدار ثابت یانگ نیز دسته بندی می شوند. دلیل این دسته بندی آن است که یکی از بیشتر و مهم ترین مصارف استفاده از فیبر کربن در زمینه تقویت و بالابردن استحکام و سختی مواد دیگر می باشد به همین علت میزان سختی و ثابت یانگ هر دسته از فیبر کربن ها برای ما مهم است و نیاز داریم که متناسب با نیازمان دسته مخصوص از فیبر کربن ها را انتخاب کنیم. هر کدام از دسته ها برتری ها و ضعف هایی نسبت به دسته دیگر دارد و با توجه به متعادل بودن هزینه تولید و روش ساخت از هر کدام در پروژه های بخصوص استفاده می شود.

فیبر کربن هایی که ثابت یانگ و مقاومت کشسانی به نسبت کمی را دارند، در دسته اول ینی دسته عام فیبر کربن ها قرار می گیرند (General Purpose grade carbon fibers or GP-grade). این دسته از فیبر کربن ها دارای ثابت یانگی در بازه ۱۰۰۰ MPa تا ۱۰۰ GPa می باشند. فیبر کربن های بر پایه قیر ایزوتروپیک و بعضی فیبر کربن های بر پایه PAN از این دسته می باشند. این دسته به دلیل سبک وزنی خود مورد استفاده زیادی قرار می گیرند و عایق گرمایی بسیار خوبی نیز می باشند به همین دلیل از آن ها در عایق بندی گرمایی کوره ها استفاده می کنند. یکی از جدید ترین موارد استفاده از این این دسته از فیبر کربن ها در تقویت سیمان و استفاده آن در مصالح ساختمانی است.

فیبر کربن هایی که ثابت بالاتری نسبت به دسته عام دارند، در دسته با کارامدی بالا تقسیم می شوند (High Performance grade or HP-grade). خود این دسته نیز به دو دسته فراتری با نام های فیبر کربن هایی با سختی بالا (High-strength type or HT-type) و فیبر کربن هایی با ثابت بالا (High-modulus type or HM) تقسیم می شود. بیشتر فیبر کربن هایی که در صنعت بر پایه PAN ساخته می شوند، از دسته HT می باشند. همچنین فیبر کربن هایی که از پایه قیر های آنایزتروپیک هستند در دسته HM قرار می گیرند. در تولید فیبر کربن های بر پایه PAN تلاش بر آن است که فیبر کربن هایی با ثابت یانگ بالا و یا نسبتا بالایی تولید شود در حالی که در تولید فیبر کربن های بر پایه قیر آنایزتروپیک تمام تلاش بر روی بدست آمدن سختی بالا متمرکز می شود.

دسته دیگر فیبر کربن ها مستقیم از سنتز گاز های آلی به دست می آیند که از آن ها برای ساخت نانو لوله های کربنی با کیفیت بسیار بالایی استفاده می شود. نانو لوله کربنی یکی دیگر از موادی است که از کربن ساخته شده است و ویژگی های فوقالعاده ای نظیر قدرت کشسانی بالا، رسانایی الکتریکی و وزن کم را داراست. این نانولوله ها دارای قطری بین ۰.۵ تا ۱.۵ میکرون می باشند که در اثر اعمال نیرو یا فشار قابل تغییر است و این ویژگی آن ها باعث شده است که در ساخت مواد هوشمند مورد استفاده قرار گیرند.





امروزه ۹۰ درصد فیبر کربن های تولید شده در جهان، بر پایه PAN می باشند و باقی آن از قیر یا روش های دیگر تولید می شود. دلیل این محبوبیت فیبر کربن های ساخته شده بر پایه PAN هزینه کمتر آن نسبت به سایر روش ها و همچنین قدرت بالای فیبر کربن های ساخته شده از این روش می باشد.

## رویه ساخت فیبر کربن

ساخت فیبر کربن هردو روش های شیمیایی و مکانیکی را طلب می کند. در حالت جامد مثل PAN، مواد خام به صورت رشته های نازک و طولی در می آیند سپس آن ها را در عدم حضور اکسیژن حرارت می دهند. این حرارت بالا باعث می شود که این رشته ها شروع به ارتعاش کرده و درصد بسیار بالایی از مواد غیر کربنی از آن ها خارج شود و در پایان رشته های از کربن باقی می ماند که به این عملیات کربنیزه کردن می گویند.

پس از آنکه عملیات کربنیزه کردن به طور کامل تمام شد، رشته باقی مانده از کربن های به شدت به هم تنیده و مقدار بسیار ناچیزی از اتم ها غیر کربنی تشکیل شده است. البته اگر فرایند بسیار با دقت و عالی پیش برود رشته ها می توانند تماما عاری از هر اتم دیگر باشند. سپس این رشته ها را به صورت پارچه یا با قالب گیری به شکل ها دلخواه خود در می آورند. در پایین پنج بخش از فرایند ساخت فیبر کربن بر پایه PAN گفته می شود.

- **ریسیدن:** PAN با سایر مواد مخلوط می شود سپس به صورت فیبر هایی رشته می شود. پس از آن شسته و کشیده می شوند.

- **تثبیت:** رشته ها در مواد شیمیایی قرار می گیرند تا پیوند ها تثبیت شوند.

- **کربنیزه کردن:** همان طور که گفته شد رشته ها بدون حضور اکسیژن در معرض حرارت بالا قرار می گیرند تا ناخالصی هایی مثل هیدروژن سیانید و موادی که قبلا به آن اضافه کردیم از آن خارج شود. این فرایند باعث می شود کربن ها آرایشی منظم بگیرند و شبکه ای کیریستالی را تشکیل بدهند. در ابتدای فرایند دما را تا ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد بالا می برند سپس به طور آرام ولی پیوسته دما را افزایش می دهند تا در نهایت به ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد برسد و در نهایت فیبر هایی با ۹۰٪ خلوص کربن بدست می آید. در مواردی پیشرفته تر با شرایط خاص تر می توان دما را تا ۱۹۰۰ تا ۲۴۸۰ درجه سانتی گراد بالا برد که در نتیجه درصد خلوص تا

۹۹٪ افزایش می یابد. همچنین در اثر این فرایند قطر و ابعاد رشته ها کاهش می یابد. زمان این فرایند در حدود دقیقه است.

- **اکسید کردن:** سطح فیبر کربن هارا با اکسیژن اکسید می کنند تا پیوند ها متسحکم تر شوند. در طی این فرایند فیبر کربن هارا نیز حرارت داده و در دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه بسته به شرایط نگهداری می کنند. سپس آن تار هارا در مجاورت اکسیژن قرار می دهند تا پیوند ها بین اتم ها متسحکم تر شود. این کار باعث می شود که چگالی فیبر های نهایی بیشتر شود و از عدد ۱,۱۸ g/cc به ۱,۳۸ g/cc تغییر کند. این فرایند بشدت گرما ده است و انرژی آزاد شده از آن به طور تقریبی برابر ۲۰۰ kJ/kg می باشد که می تواند خطر آتش سوزی را بوجود آورد با حتی باعث ذوب شدن تار ها شود. برای جلوگیری از این اتفاق باید کوره هایی که برای اکسیداسیون استفاده می شود، یک سیستم پیشرفته پراکنده سازی حرارت و جریان هوا داشته باشند. زمان این فرایند در حدود ساعت است.

- **عملیات بر روی سطح:** در این مرحله فیبر کربن ها را در یک حمام از مواد الکتروشیمیایی یا الکترولیتی مانند سدیم هیپوکلریت یا نیتریک اسید می خوابانند تا سطوح آن به وسیله گروه های واکنش پذیر مثل کربوکسیلیک اسید پوشانده شود. این کار را زمانی انجام میدهند که بخواهند فیبر کربن را با سایر مواد ادغام کنند تا کامپوزیت هایی بوجود آورند

- **بافتن:** در این مرحله ابتدا فیبر های کربن را با ماده خاصی می پوشانند تا در فرایند بافتن و شکل دهی آسیب نبینند. سپس آن ها دور قرقره هایی می پیچانند. سپس آن ها را در دستگاه ریسنده قرار می دهند که از آن ها پارچه یا نخ با ابعاد مختلف تولید کند. همچنین می شود این فیبر ها را به استفاده از حرارت، فشار و خلا به یک پلیمر چسباند و به صورت کامپوزیت در آورد.

## چالش های ساخت فیبر کربن

فیبر کربن به دلیل هزینه بر بودن فرایند تولیدش با موانعی رو در رو است. با اینکه امروزه مصارف فیبر کربن زیاد شده است ولیکن شرکت های سازنده آن نمی توانند حجم بسیار زیادی از آن را تولید کنند زیرا وسایلی که با این ماده ساخته می شوند مثل وسایل ورزشی و یا ماشین ها، قیمت بالایی دارد و به گونه ای نیست که عامه مردم بتوانند از پس هزینه خرید همچنین وسایلی بر بیایند و تقاضا برای همچنین وسایلی زیاد نیست به همین دلیل فیبر کربن هنوز با قدرت زیاد وارد زندگی مردم نشده است.

یکی دیگر از چالش هایی که در مسیر تولید فیبر کربن است، فرایند اکسیداسیون می باشد. این فرایند باید با دقت و نظم بالایی صورت بگیرد تا باعث بوجود آمدن گودال هایی بر روی سطح فیبر ها نشود. این گودال ها در اثر بوجود آمدن می توانند ویژگی های فیبر کربن را تضعیف و یا حتی از بین ببرند. همچنین فیبر های کربن نیازمند فرایند کنترل کیفیت بالایی هستند. دلیل این فرایند مصارف حساس فیبر کربن نظیر مصارف پوششی می باشد و باید حتما کنترل شوند که باعث حساسیت های پوستی و غیره نشوند. همچنین

به دلیل رسانایی بالایی که دارند می توانند باعث اتصال کوتاه یا حتی قوص الکتریکی در وسایل الکترونیکی شوند.

## **فیبر کربن در برابر فولاد**

اکنون برای آنکه قدرت و استحکام فیبر کربن را درک کنیم، آن را با یکی از قوی ترین مواد ساخت بشر یعنی فولاد مقایسه می کنیم. فیبر کربن برخلاف فولاد در برابر برش مقاومت بالایی ندارد و می توان آن را خیلی راحت برید حتی با یک چاقوی تیز اما فولاد در این زمینه بسیار قوی تر است و به راحتی بریده نمی شود. فیبر کربن حدود ۵ برابر سبک تر از فولاد است و در عین حال ۱۰ برابر قدرت تحمل نیروی بیشتری در وزن یکسان داراست. هزینه ساخت یک کیلو گرم فیبر کربن ۲۰ دلار است در حالی که هزینه ساخت یک کیلو گرم فولاد تنها ۳ دلار است.

## **فیبر کربن ماده جادویی**

امروزه در صنعت برای ساخت یک قطعه به چند فاکتور اساسی توجه می شود که یکی از آن ها هزینه می باشد. هیچکس در دنیا شک ندارد که فیبر کربن ماده ای بسیار قدرتمند و مناسب برای ساخت بسیاری از قطعه ها می باشد اما امروزه بیشتر وسایلی که از فیبر کربن ساخته شده اند حالتی لوکس و قیمت بالایی دارند. ماشین هایی که از فیبر کربن در ساختشان اسفاده شده، خودرو هایی نیستند که همه مردم بخواهند از آن استفاده کنند و همچنان استفاده از سایر موادی مثل آهن و آلومینیوم نسبت به فیبر کربن بیشتر است. شاید در آینده روش های بهتری برای ساخت این ماده بوجود آمد که هزینه ها را بسیار کمتر کرد و ما شاهد وارد شدن این ماده جادویی در زندگی هایمان باشیم.

علاوه بر فیبر کربن، از کربن برای ساخت مواد استثنایی دیگری نیز استفاده می شود. موادی مثل نانولوله های کربنی، نانو توپ های کربنی که امروزه از آن ها برای حمل مواد شیمی درمانی درون خود و آزاد سازی آن در محل دقیق تومور استفاده می شود.

## مراجع

١. MICHIO INAGAKI, New Carbons - Control of Structure and Functions
٢. L.M. Manocha, in Encyclopedia of Materials: Science and Technology
٣. Jens Pusch, Bernd Wohlmann, in Inorganic and Composite Fibers
٤. Energy.gov website