

CARBOGENE

نشریه علمی تخصصی مواد کربنی و فناوری های نوین مهندسی و علم مواد

انجمن علمی دانشکده مهندسی مواد
دانشگاه صنعتی اصفهان

شماره ۳ پاییز ۱۴۰۴



Atmospheric Purity: 99.8%



Graphene Sensor Grid: Active

آنچه در این شماره میخوانید:

- هوش مصنوعی در مهندسی مواد
- گرافن در روانکارهای هوشمند
- گرافن در کمین آلودگی هوا



شناسنامه

صاحب امتیاز انجمن علمی مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی اصفهان

امید حمله داری

مدیر مسئول و سردبیر

یوسف صفایی نایینی

مشاور

تیم تحریریه یوسف صفایی نایینی- مهساحری- نادیا پوریافرانی- امیرعباس صادقی

روزبه پارسا- مهساسادات عادل- بهنام انصاری- پوریا بختیاری

تیم تحریریه

مرجان محمودی- سینا عابدینی نیا- فرید احمدی

تیم تحریریه

پوریا بختیاری- روزبه پارسه- نادیا پوریافرانی

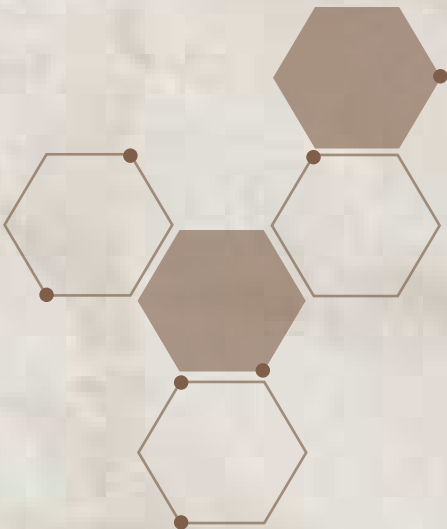
تیم ویراستار

تارا شاهوردی- فاطمه خراسانی زاده

تیم مصاحبه

حدیثه رحیمی- امید حمله داری

تیم گرافیک



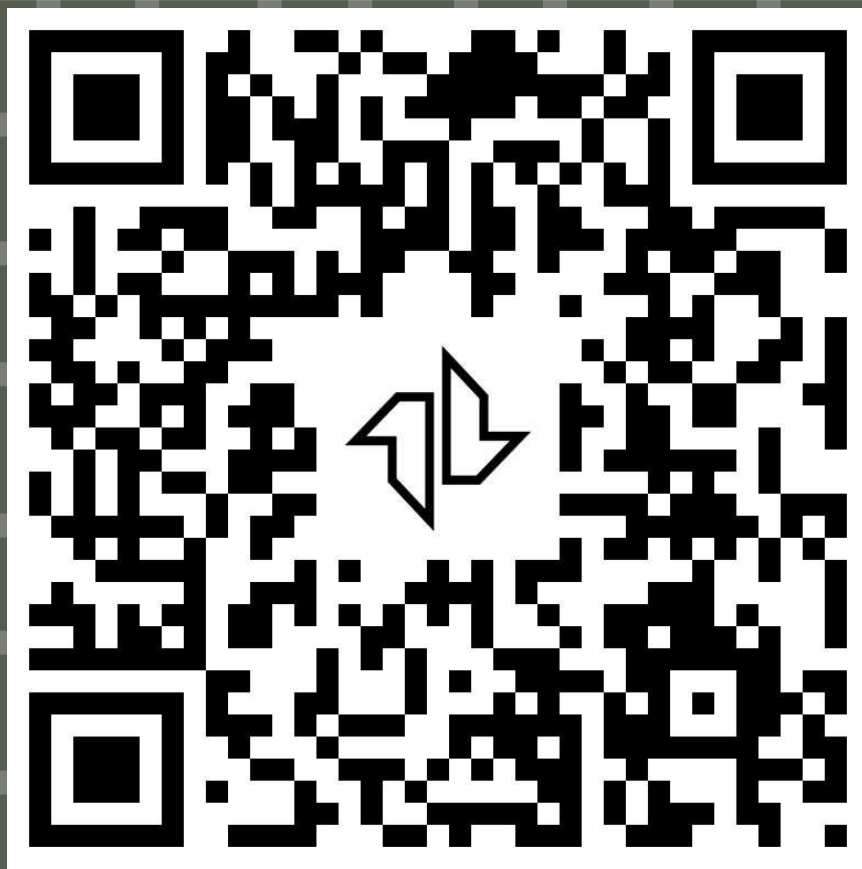


فہرست

- 06 کیمیاگرے دیجیٹال
- 10 چرخش پر مدارا کربن
- 14 نانہ لہلہ معاے کربنے
- 18 باترے معاے کرافنے
- 22 کرافن درو انکار معاے صوے شمند
- 26 کربن خوراکی
- 30 میزگفتہ کپہ
- 34 کرافن در کمین آلہدکے صوے
- 40 ابر خازن معاے کرافنے
- 44 سکوت حرارتے
- 48 معرفے کتاب
- 52 معرفے فیلم
- 54 پیشنهاد شنیدنے



ما را در شبکه های اجتماعی دنبال کنید.



به نام خالق ساختار، ماده و معنا

مهندسی مواد امروز بیش از هر زمان دیگری به قلب فناوری‌های نوین نزدیک شده است. موادی که زمانی صرفاً به عنوان عناصر سازه‌ای شناخته می‌شدند، اکنون نقشی فعال در تصمیم‌گیری، پایش، ذخیره انرژی و حتی بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها ایفا می‌کنند. در این مسیر، کربن و ساختارهای پیشرفته آن به یکی از مهم‌ترین محورهای پژوهش و صنعت تبدیل شده‌اند؛ موادی که با تغییر در مقیاس و آرایش، می‌توانند رفتارهایی کاملاً جدید از خود نشان دهند.

در شماره سوم نشریه کربوژن، تلاش کرده‌ایم نگاهی واقع‌بینانه و کاربردمحور به این تحولات داشته باشیم. از سامانه‌های ذخیره انرژی که با تکیه بر ساختارهای کربنی، سریع‌تر و کارآمدتر می‌شوند، تا موادی که در مقیاس نانو می‌توانند اصطکاک را کاهش دهند، عمر قطعات را افزایش دهند و عملکرد سیستم‌های مکانیکی را بهبود بخشند. در کنار این‌ها، حضور حسگرهای پیشرفته‌ای که با دقت بالا کیفیت محیط پیرامون را پایش می‌کنند، نشان می‌دهد که مواد دیگر صرفاً منفعل نیستند، بلکه به بخشی از سامانه‌های هوشمند شهری و صنعتی بدل شده‌اند.

هم‌زمان، نقش داده و هوش مصنوعی در مهندسی مواد پررنگ‌تر از گذشته شده است. امروز، طراحی و انتخاب مواد تنها بر پایه آزمون و خطا انجام نمی‌شود؛ بلکه تحلیل داده‌ها، شبیه‌سازی و یادگیری ماشین به ابزارهایی جدی برای کشف و بهینه‌سازی مواد نوین تبدیل شده‌اند. این تغییر رویکرد، افق‌های تازه‌ای را پیش روی پژوهشگران و مهندسان قرار داده و مسیر توسعه مواد پیشرفته را کوتاه‌تر و دقیق‌تر کرده است.

شماره سوم نشریه تلاشی است برای روایت این گذار؛ گذاری از ماده به سامانه، از خواص به عملکرد، و از آزمایشگاه به کاربردهای واقعی. امیدواریم مطالب این شماره بتواند تصویری روشن‌تر از جایگاه مهندسی مواد در فناوری‌های امروز و فردا ارائه دهد و الهام‌بخش نگاه‌های دقیق‌تر و پرسش‌های عمیق‌تر در این حوزه باشد.

با احترام

امید حمله داری

مدیر مسئول فصلنامه علمی-تخصصی کربوژن

کیمیاگر دیجیتال

چکیده

یک مهندس مواد به عنوان توسعه‌دهنده فناوری‌های نوین، همواره با چالش‌های ناشی از پیچیدگی روابط میان ساختار، فرایند و خواص مواد روبرو می‌شود. روش‌های سنتی اکتشاف مواد، که اغلب متکی بر آزمون و خطای تجربی یا شبیه‌سازی‌های محاسباتی زمان‌بر هستند، دیگر پاسخگوی سرعت بالای نیازهای صنعتی امروز نیستند. در دهه اخیر، ظهور **هوش مصنوعی** و زیرشاخه‌های آن نظیر یادگیری ماشین^۱ و یادگیری عمیق^۲، پارادایم چهارمی - چارچوب فکری غالب و روش نگاه به علم - را در علم مواد رقم زده است که بر مبنای داده‌کاوی استوار است.

این نوشتار به بررسی جامع دو کاربرد مهم هوش مصنوعی در مهندسی مواد می‌پردازد. ابتدا نقش الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تسریع کشف مواد جدید از طریق غربالگری سریع و طراحی معکوس بررسی می‌شود. سپس، کاربرد **شبکه‌های عصبی پیچشی** در تحلیل تصاویر میکروسکوپی و خودکارسازی فرایند مشخصه‌یابی مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، چالش‌های کلیدی نظیر کمبود داده‌های ساختاریافته و تفسیرپذیری مدل‌ها، در کنار چشم‌انداز آزمایشگاه‌های خودران^۳ تشریح خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که ادغام هوش مصنوعی با دانش مواد، می‌تواند چرخه تحقیق و توسعه را از چندین دهه به چند سال کاهش دهد.

مقدمه

از عصر برنز و آهن تا عصر سیلیکون و نانو مواد، تاریخ علم مواد همواره با کشفیات بزرگی همراه بوده که تمدن بشری را به جلو رانده است. به طور سنتی، کشف یک ماده جدید متکی بر «روش ادیسونی» یا همان آزمون و خطای آزمایشگاهی بود. اگرچه این روش موفقیت‌آمیز بوده، اما بسیار پرهزینه و کند است. با پیشرفت فیزیک محاسباتی، روش‌هایی مانند نظریه تابعی چگالی^۴ امکان پیش‌بینی خواص مواد را پیش از سنتز فراهم کردند، اما این روش‌ها نیز به دلیل هزینه محاسباتی بالا، برای سیستم‌های پیچیده و بزرگ محدودیت دارند.

امروزه ما در آستانه یک تحول بنیادین هستیم که اغلب از آن به عنوان «**پارادایم چهارم علم**» یاد می‌شود: علم مبتنی بر داده. حجم عظیم داده‌های تولید شده توسط شبیه‌سازی‌های کوانتومی و آزمایش‌های پیشرفته، بستری را فراهم کرده است تا الگوریتم‌های هوش مصنوعی بتوانند الگوهای پنهان در رفتار مواد را شناسایی کنند. هدف اصلی **انفورماتیک مواد** استفاده از تکنیک‌های آماری و یادگیری ماشین برای درک و پیش‌بینی رابطه چهارگانه اساسی در مهندسی مواد است: ساختار، فرایند، خواص و کارایی. هوش مصنوعی نه تنها می‌تواند نتایج آزمایش‌های انجام نشده را پیش‌بینی کند، بلکه قادر است مسیرهای سنتز بهینه را پیشنهاد داده و خطای انسانی را در تحلیل داده‌ها به حداقل برساند.

1 Machine Learning

2 Deep Learning

3 Convolutional Neural Network

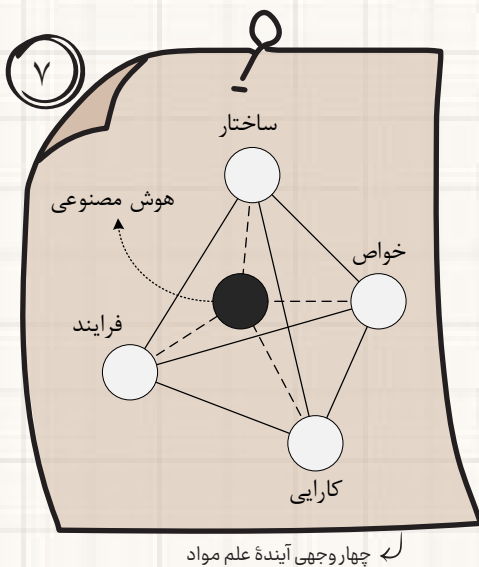
4 Self-driving Labs

5 Density Functional Theory

6 Data-driven Science

7 Materials Informatics

همیشه در کشف و طراحی مواد جدید



کشف ترکیبات و ساختارهای جدید با خواص برتر، قلب تپنده تحقیقات مهندسی مواد است. هوش مصنوعی در این بخش سه رویکرد کارآمد ارائه می‌دهد:

غربالگری سریع

فضای شیمیایی مواد تقریباً نامتناهی است. برای مثال، بررسی تک تک ترکیبات ممکن برای یافتن یک ماده جدید باتری یا یک ابررسانا، عملاً غیرممکن است. مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند به عنوان یک فیلتر هوشمند عمل کنند. در روش غربالگری سریع، ابتدا مدل با داده‌های موجود از پایگاه‌های داده‌ای آموزش

می‌بیند تا رابطه بین ترکیب شیمیایی و یک خاصیت هدف (مانند گاف انرژی یا مدول یانگ) را یاد بگیرد. سپس، این مدل می‌تواند هزاران یا میلیون‌ها ترکیب کاندیدا را در چند ثانیه بررسی کرده و تنها امیدوارکننده‌ترین آن‌ها را برای شبیه‌سازی دقیق یا آزمایش عملی پیشنهاد دهد. این رویکرد در کشف

طراحی معکوس

رویکرد سنتی در علم مواد «طراحی مستقیم» است. به این معنی که: «اگر من این ساختار را داشته باشم، چه خواصی خواهد داشت؟». اما سوال مهندسان مواد معمولاً برعکس است: «من به این خواص نیاز دارم، برای رسیدن به آن، چه ساختاری باید بسازم؟». هوش مصنوعی از طریق مدل‌های مولد مانند شبکه‌های مولد متخاصم و خود رمزگذاری‌های متغیر امکان طراحی معکوس را فراهم می‌کند. این الگوریتم‌ها قادر هستند فضای نهان ساختارهای مواد را یاد گرفته و ساختارهای بلوری جدیدی را تولید کنند که دقیقاً خواص مورد نظر مهندس مواد را برآورده می‌کنند؛ حتی اگر آن ساختارها هرگز پیش از این در طبیعت دیده نشده باشند.

پتانسیل‌ها میان اتمی یادگیری ماشین

در اینجا منظور از پتانسیل، یک فرمول یا تابع ریاضی است که به ما می‌گوید اتم‌ها چگونه به هم نیرو وارد می‌کنند. شبیه‌سازی دینامیک مولکولی برای بررسی رفتار اتم‌ها در طول زمان ضروری است. روش‌های دقیق کوانتومی (مثل Ab-initio) بسیار دقیق اما کند هستند و فقط برای چند صد اتم قابل اجرا می‌باشند. از سوی دیگر، پتانسیل‌های کلاسیک سریع اما کم دقت هستند. پتانسیل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، شکاف بین این دو را پر کرده‌اند. این مدل‌ها با یادگیری سطح انرژی پتانسیل از داده‌های کوانتومی، اجازه می‌دهند شبیه‌سازی‌هایی با دقت نزدیک به کوانتوم اما با سرعتی هزاران برابر بیشتر و برای میلیون‌ها اتم انجام شود. این پیشرفت برای مطالعه شکست، خوردگی و رفتار مواد در دمای بالا قابل توجه است.

همیشه در تحلیل و مشخصه‌یابی

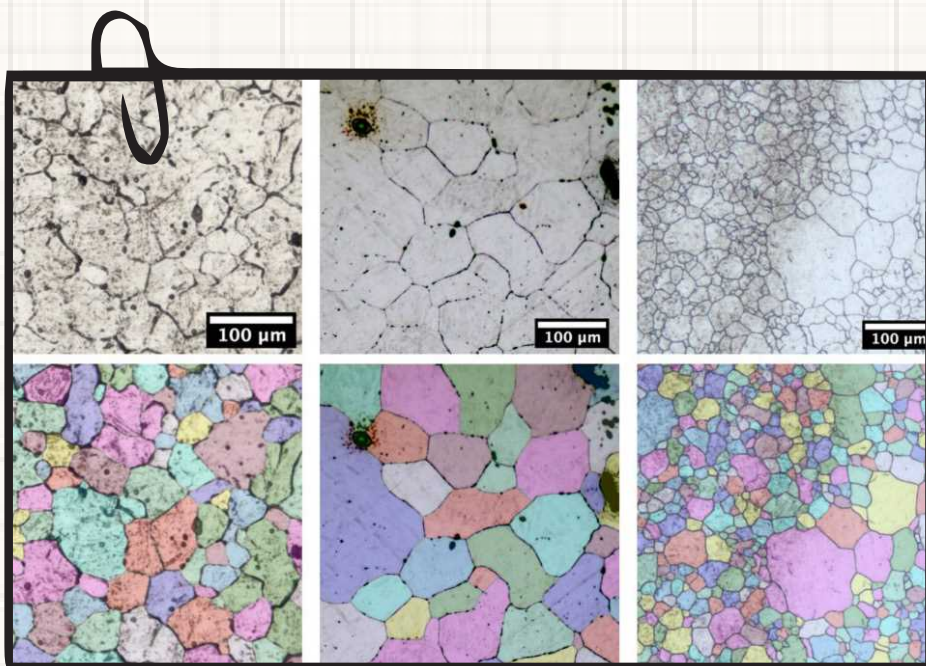
آزمایشگاه‌های مواد روزانه هزاران تصویر میکروسکوپی و طیف‌های آنالیزی تولید می‌کنند. تفسیر این داده‌ها اغلب زمان‌بر، کیفی و وابسته به نظر مسئول آزمایش است. بینایی ماشین^{۱۸} این حوزه را دگرگون کرده است.

استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق، به ویژه شبکه‌های عصبی پیچشی، استاندارد جدیدی در تحلیل ریزساختار ایجاد کرده است. کاربردهای اصلی عبارتند از:

بخش بندی معنایی: مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند پیکسل به پیکسل تصویر را بررسی کرده و فازهای مختلف (مثلاً آستنیت و فریت در فولاد)، رسوبات و حفرات را با دقتی فراتر از چشم انسان تفکیک کنند.

تشخیص مرزدانه: شناسایی مرزدانه‌ها در تصاویر میکروسکوپی، به ویژه وقتی کنتراست تصویر پایین است، دشوار است. هوش مصنوعی می‌تواند به طور خودکار مرزدانه‌ها را شناسایی کرده و توزیع اندازه دانه را محاسبه کند.

حذف نویز و افزایش کیفیت: الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند تصاویر میکروسکوپی با رزولوشن پایین یا نویز بالا را بازسازی کرده و جزئیاتی را آشکار کنند که در تصویر اولیه به سختی قابل رویت بوده باشد. این امر اجازه می‌دهد زمان اسکن میکروسکوپ کاهش یابد و آسیب کمتری به نمونه‌های حساس به پرتو وارد شود.



کاربرد یادگیری عمیق در خودکارسازی تحلیل ریزساختار:

ردیف بالا، ریزنگاره‌های اصلی حکاکی شده را نشان می‌دهد که به دلیل نویز ناشی از آماده‌سازی نمونه، دارای مرزهای دانه مبهم و مصنوعات مختلف هستند که تحلیل دستی آن‌ها را دشوار می‌کند.

ردیف پایین، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بخش‌بندی مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق را نشان می‌دهد. این الگوریتم توانسته است با دقت بالا، مرزهای دانه را شناسایی و تفکیک کرده و هر دانه را با رنگی مجزا مشخص نماید.

تحلیل طیف سنجی

در آنالیزهایی مانند پراش پرتو ایکس^{۱۹}، شناسایی فازها در مخلوط‌های پیچیده یا محلول‌های جامد کاری دشوار است. الگوریتم‌های خوشه‌بندی^{۲۰} و طبقه‌بندی می‌توانند الگوهای پراش را آنالیز کرده، اثرات جابجایی پیک^{۲۱} ناشی از تنش را تشخیص دهند و فازهای موجود را حتی در غلظت‌های بسیار پایین شناسایی کنند.

علی‌رغم پیشرفت‌های شگرف، ادغام هوش مصنوعی در مهندسی مواد با چند مانع جدی روبرو می‌باشد:

۲۳ معضل داده‌های کوچک

برخلاف حوزه‌هایی مثل تشخیص چهره که میلیون‌ها تصویر برچسب‌دار دارند، در مهندسی مواد داده‌های تجربی تمیز و استاندارد کمیاب هستند. آزمایش‌ها گران هستند و داده‌ها اغلب پراکنده یا در فرمت‌های ناسازگار ذخیره شده‌اند. تکنیک‌هایی مانند یادگیری انتقالی^{۲۴} - استفاده از دانشی که مدل در حل یک مسئله به دست آورده برای حل مسئله‌ای دیگر - برای غلبه بر این مشکل در حال توسعه هستند.

۲۵ تفسیرپذیری

تفسیرپذیری یعنی توانایی مدل در توضیح دادن علت تصمیم خود به زبان انسان. برای یک دانشمند مواد، تنها پیش‌بینی دقیق کافی نیست، او باید بداند چرا مدل چنین پیش‌بینی‌ای کرده است تا فیزیک مسئله را درک کند. توسعه هوش مصنوعی قابل توضیح^{۲۶} یکی از زمینه‌های داغ تحقیقاتی در این زمینه است.

آزمایشگاه‌های خودران

چشم‌انداز نهایی، ترکیب رباتیک و هوش مصنوعی در آزمایشگاه‌های خودران است. در این آزمایشگاه‌ها، الگوریتم هوش مصنوعی یک فرضیه را طراحی می‌کند؛ ربات، مواد را ترکیب و سنتز می‌کند، سپس مشخصه‌یابی انجام شده و داده‌ها به الگوریتم بازمی‌گردد تا آزمایش بعدی طراحی شود. این چرخه بسته می‌تواند ۲۴ ساعته و بدون دخالت انسان کار کند و سرعت اکتشاف مواد را به طرز باورنکردنی افزایش دهد.



یان زنگ، محقق آزمایشگاه برکلی، در حال نظارت بر نقطه شروع در A-Lab است. این آزمایشگاه جدید، خودکارسازی و هوش مصنوعی را برای تسریع در کشف مواد در علم مواد با هم ترکیب می‌کند. تصویر از Marilyn Sargent، آزمایشگاه برکلی.

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی دیگر یک ابزار صرفاً تئوریک در مهندسی مواد نیست، بلکه به ضرورتی برای بقا و پیشرفت در رقابت‌های علمی و صنعتی تبدیل شده است. از طراحی آلیاژهای سبک‌وزن برای هواپیمای گرفته تا توسعه کاتالیزورهای کارآمد برای انرژی‌های پاک، ردپای الگوریتم‌های یادگیری ماشین دیده می‌شود. با گذار از روش‌های سنتی به رویکردهای داده‌محور، مهندسان مواد قادر خواهند بود پیچیدگی‌های طبیعت را سریع‌تر رمزگشایی کنند. اگرچه چالش‌هایی در زمینه داده‌ها و تفسیرپذیری باقی است، اما هم‌افزایی هوش انسانی و مصنوعی، افق‌های جدیدی را در علم مواد خواهد گشود.

نویسنده: روزبه پارسه (مقطع کارشناسی - دانشگاه تهران)

23 Small Data

24 Transfer Learning

25 Interpretability

26 Explainable Artificial Intelligence

چرخش بر مدار کربن

چگونه موتورهای پیش کربنی تسلا مسیر خود را در مدار الکتریکی را تغییر می دهند؟

مقدمه

آینده پیچیده در الیاف کربن

در دنیای امروز، رقابت برای توسعه موتورهای برقی سبک تر، پرتوان تر و با بازده بالاتر به نقطه ای رسیده که مرزهای نوآوری در طراحی، مهندسی مواد و فناوری های ساخت را در هم شکسته است. یکی از نمونه های شاخص این تحول، استفاده تسلا از موتورهای ((پیچیده شده با فیبر کربنی)) در موتورهای مدل Plaid است. اما این تنها یک انتخاب ساده نیست؛ بلکه یک نوآوری عمیق در بطن مهندسی مواد است، با پیامدهایی که می تواند آینده صنعت خودروهایی الکتریکی را تغییر دهد.



((Tesla Model S Plaid))

چرا پیش فیبر کربنی؟

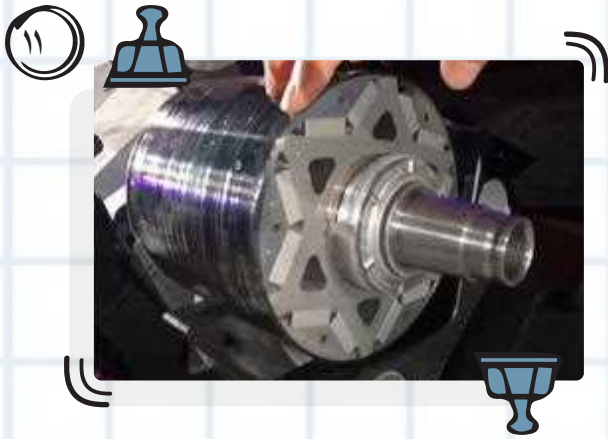
در قلب این فناوری، روتوری قرار دارد که با لایه هایی از **فیبر کربن** احاطه شده است. در موتورهای الکتریکی با دور بالا، به ویژه در نمونه هایی مثل موتور تسلا Plaid که تا ۲۰ هزار دور بر دقیقه می چرخد، نیروی گریز از مرکز شدید، می تواند منجر به شکافتگی یا تغییر شکل روتور شود. پوشش فیبر کربنی، به صورت مارپیچی و با تنش اعمال شده روی روتور پیچیده می شود، تا نه تنها ساختاری سبک تر فراهم کند، بلکه مقاومت مکانیکی بسیار بالاتری نیز در برابر تنش های دینامیکی ایجاد نماید. این فرآیند نیازمند دقت بالاست؛ چرا که هم خواص مکانیکی فیبر کربن، و هم جهت گیری و زاویه پیش آن نسبت به محور روتور، بر عملکرد نهایی موتور اثر مستقیم دارد. در اینجا است که فناوری **AFP** یا قراردعی خودکار الیاف وارد عمل می شود. در این مقاله، به بررسی ساختار و عملکرد موتور کربن پوش تسلا پرداخته شده و نقش فناوری AFP در تحقق این طرح از دیدگاه مواد و ساخت، مورد تحلیل قرار می گیرد.

1 Rotor

2 Carbon-Wrapped Motor

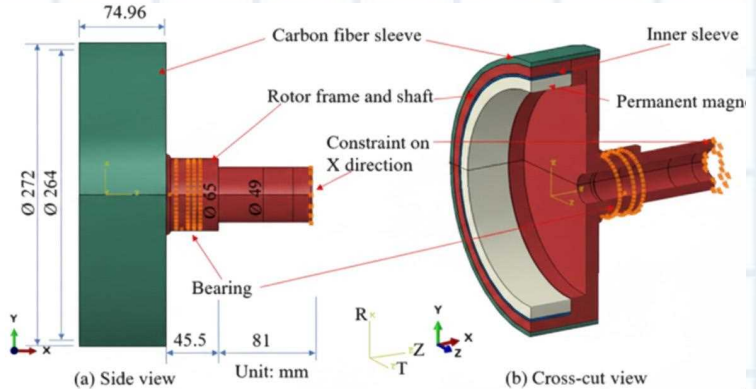
3 Automated Fiber Placement

بررسی ساختار و عملکرد موتور کربن پوش تسلا



در مرکز طراحی نوآورانه‌ی موتورهای الکتریکی جدید شرکت تسلا، روکش فیبر کربنی قرار دارد که به منظور تقویت عملکرد روتور در موتورهای آهنربای دائم^۴ طراحی شده است. برای درک بهتر نقش این مؤلفه، لازم است ابتدا اجزای اصلی این موتورها به اختصار معرفی شود:

- **استاتور^۵:** بخش بیرونی ثابت موتور که شامل سیم‌پیچ‌ها و میدان مغناطیسی متغیر است.
- **روتور^۶:** بخش داخلی چرخنده موتور که حاوی آهنرباهای دائمی با توان مغناطیسی بالا است.
- **شکاف هوایی^۷:** فاصله میان روتور و استاتور که تأثیر مستقیمی بر چگالی شار مغناطیسی و بازده انرژی دارد.



در این طراحی، یک غلاف نازک از فیبر کربن با **مقاومت کششی بالا**، به صورت دقیق به دور روتور پیچیده می‌شود. این پوشش، علاوه بر مهار سازه‌ی روتور در برابر نیروهای گریز از مرکز در سرعت‌های بالا، شرایط عملکردی بهینه‌تری را نیز فراهم می‌سازد.

مزایای مهندسی روکش فیبر کربنی

به کارگیری روکش فیبر کربنی در موتورهای PM^۸، چندین مزیت فنی و عملکردی قابل توجه به همراه دارد:

افزایش بازده انرژی

روکش فیبر کربنی امکان کاهش ابعاد شکاف هوایی را فراهم می‌سازد که بهبود در کوپل مغناطیسی را در پی دارد. نتیجه‌ی این فرآیند، افزایش بازده تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی است.

افزایش چگالی توان

در طراحی‌های سنتی، محدودیت استحکام غلاف‌های فلزی، سرعت روتور را کاهش می‌دهد؛ در حالی که مواد پیشرفته با استحکام بالا امکان چرخش در سرعت‌های بالاتر و افزایش چگالی توان را فراهم می‌کنند.

بهبود مدیریت حرارتی

اتلاف حرارت یکی از چالش‌های رایج در موتورهای سنتی به شمار می‌رود؛ در مقابل، فیبر کربن با برخورداری از ویژگی‌های هدایت حرارتی قابل توجه، نقش مؤثری در دفع گرمای تولیدشده در شرایط عملکردی سنگین ایفا می‌کند و به پایداری حرارتی و عملکردی موتور در سیستم‌های پیشرفته کمک می‌نماید.

4 Permanent Magnet Motors (PMMs)

5 Stator

6 Rotor

7 Air Gap

8 Permanent Magnet Motor

کاهش وزن کله

در حالی که در طراحی‌های سنتی برای دستیابی به توان بالاتر، افزایش حجم و وزن موتور اجتناب‌ناپذیر است، استفاده از فیبر کربن به جای **سامانه‌های مهار فلزی** در طراحی‌های نوین — همچون آنچه در موتور تسلا دیده می‌شود — با کاهش چشمگیر وزن موتور، امکان تولید توان بالا را در حجمی فشرده و با بهره‌وری انرژی بیشتر فراهم می‌سازد.

افزایش دوام و عمر مفید

مقاومت بالا در برابر خستگی و شکست، موجب افزایش طول عمر موتور و کاهش نیاز به تعمیرات یا تعویض زودهنگام می‌شود.

نقش فناوری‌های خودکار الیاف کربن در ساخت موتورهای الکتریکی

آشنایی با فناوری AFP

جای‌گذاری خودکار الیاف یک فناوری پیشرفته در حوزه ساخت سازه‌های کامپوزیتی پیچیده است که انقلابی در فرآیندهای تولید صنعتی ایجاد کرده است. این فناوری امکان جای‌گذاری دقیق و خودکار الیاف تقویتی پیوسته - عمدتاً الیاف کربن - را بر روی سطوح فراهم می‌سازد و دقت، یکنواختی و تکرارپذیری بی‌نظیری در تولید قطعات کامپوزیتی ایجاد می‌کند. فرآیند AFP شامل مراحل زیر است:

۱. آماده‌سازی مواد: مواد کامپوزیتی، معمولاً به صورت نوارهای باریک پیش‌آغشته، در دستگاه AFP بارگذاری می‌شوند.

۲. جای‌گذاری خودکار: یک بازوی رباتیک، نوارهای پیش‌آغشته را با دقت بالا و مطابق با مسیر از پیش تعریف‌شده، بر سطح هدف قرار می‌دهد.

۳. تراکم و فشرده‌سازی: همزمان با جای‌گذاری، یک غلطک مخصوص فشار لازم را اعمال می‌کند تا چسبندگی مناسب تأمین و حباب‌های هوا از میان برداشته شود.

۴. گرمادهی حین فرآیند: بسیاری از سیستم‌های AFP دارای منبع گرمایی هستند که طی جای‌گذاری، عملیات پخت جزئی را انجام داده و ماده را موقتاً در جای خود تثبیت می‌کند.

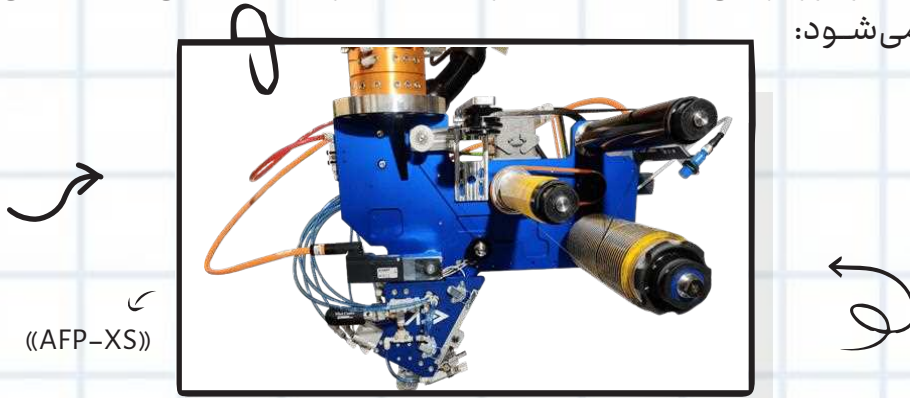
۵. برش خودکار: سیستم‌های AFP به ابزارهای برش مجهز هستند که امکان شکل‌دهی دقیق به الیاف و جلوگیری از اتلاف مواد را فراهم می‌سازند.

این فناوری در حال حاضر به عنوان یکی از پیش‌رسان‌های اصلی در ساخت اجزای کامپوزیتی دقیق و پیچیده، به ویژه در صنایع هوافضا، انرژی، و خودروسازی شناخته می‌شود.

نقش AFP در تولید موتورهای نسل آینده

فناوری AFP با امکان ساخت غلاف‌های فیبر کربنی دقیق، مستحکم و با عملکرد بالا، به یکی از ارکان کلیدی در پاسخ‌گویی به نیازهای پیچیده **موتورهای الکتریکی** مدرن تبدیل شده است. این فناوری نه تنها فرآیند تولید را تسریع می‌بخشد، همچنین دوام قطعات را نیز تضمین می‌کند.

ترکیب این قابلیت‌ها، سیستم AFP-XS را به ابزاری منحصر به فرد برای تحقق طرح‌های پیشرفته در طراحی موتور، مانند موتور کربنی تسلا، تبدیل کرده است. در ادامه، نقش کلیدی این فناوری در چنین طراحی‌هایی مرور می‌شود:



«AFP-XS»

- ساخت غلاف‌هایی مقاوم در برابر دمای بالا و تنش‌های دینامیکی
 - قابلیت ارتقای **ربات‌های صنعتی** موجود، مسیر پیاده‌سازی سریع و مقرون به صرفه‌ی فناوری را هموار می‌سازد.
 - بهینه‌سازی دقیق فرآیند پیچش و کنترل دقیق پارامترهای تولید را فراهم می‌آورد.
 - تشخیص خودکار عیوب، استانداردهای سخت‌گیرانه کیفیت را در صنعت خودرو برآورده می‌سازد.
- با بهره‌گیری از AFP-XS، تولیدکنندگان می‌توانند طراحی‌های نوآورانه را از مرحله مفهوم به واقعیت تبدیل کنند. این سیستم، نه تنها تولید موتورهایی با عملکرد بهتر را ممکن می‌سازد، بلکه راه را برای توسعه نسل جدیدی از وسایل نقلیه الکتریکی با بازدهی بالاتر، توان بیشتر و پایداری فنی بهتر، هموار می‌کند.

جمع‌بندی و افق‌های آینده: نقطه تلاقی نوآوری، بهره‌وری و پایداری

همان‌گونه که در این مقاله به تفصیل بررسی شد، موتورهای الکتریکی پوشیده شده با الیاف کربن که با بهره‌گیری از فناوری پیشرفته (AFP) تولید می‌شوند، در آستانه تحول‌آفرینی بنیادین در صنعت خودروسازی قرار دارند. این نوآوری نه تنها مرزهای عملکرد فنی را جابه‌جا کرده، بلکه افق‌های نوینی را در زمینه **پایداری زیست‌محیطی**، بهره‌وری تولید و تحول دیجیتال در صنایع مختلف ترسیم می‌کند.

موتورهای روتور کربنی را می‌توان نماد جهشی چشمگیر در طراحی و ساخت نسل آینده موتورهای الکتریکی دانست. این موتورها با ارائه چگالی توان بالاتر، بازدهی انرژی بیشتر، و مدیریت حرارتی پیشرفته، امکان عملکرد مؤثرتر و کارآمدتر را در خودروهای برقی فراهم می‌آورند. در نتیجه، برد حرکتی خودروها افزایش یافته و نیاز به باتری‌های بزرگ و پرهزینه کاهش می‌یابد. از منظر زیست‌محیطی، این ویژگی‌ها کاملاً هم‌راستا با اهداف جهانی کاهش مصرف انرژی و توسعه حمل‌ونقل پایدار هستند.

فراتر از عملکرد فنی، استفاده از فناوری AFP در ساخت این موتورها نشان‌دهنده ظرفیت بالای فناوری‌های کامپوزیتی در بازتعریف شیوه‌های تولید صنعتی است. این تحول فناورانه تنها به صنعت خودروسازی محدود نمی‌شود و کاربردهای بالقوه‌ای در حوزه‌هایی مانند هوافضا، ماشین‌آلات صنعتی، انرژی‌های تجدیدپذیر و سایر صنایع پیشرفته نیز دارد. با گسترش استفاده از این فناوری و افزایش مقیاس تولید، کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش بهره‌وری اقتصادی در سطح کلان نیز قابل دستیابی خواهد بود.

در مجموع، فناوری AFP و کاربرد آن در تولید موتورهای الکتریکی پیشرفته، نمونه‌ای درخشان از هم‌گرایی فناوری‌های نوین، نیازهای صنعتی و اهداف زیست‌محیطی است. این مسیر، نه فقط آینده صنعت خودرو، بلکه آینده انرژی، تولید و تحرک پایدار را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد.

نانوله‌ها چگونه کار می‌کنند

✓ معرفی نانومواد

نانوتکنولوژی، حوزه‌ای میان‌رشته‌ای برجسته در علوم مواد و مهندسی، بر مطالعه مواد در مقیاس ۱-۱۰۰ نانومتر تمرکز دارد. ریشه آن به سخنرانی **ریچارد فاینمن** در ۱۹۵۹ پازمی‌گردد و از ۱۹۹۰ شتاب گرفته، به پارادایم^۱ انقلابی تبدیل شده است. بر اساس تعریف **IUPAC**، نانومواد ساختارهایی با حداقل یک بعد نانویی هستند که پدیده‌های کوانتومی، سطحی و اندازه‌ای خواص نوظهوری ایجاد می‌کنند.

در ۲۰۲۳-۲۰۲۵، پیشرفت‌هایی مانند **جایزه نوبل شیمی** ۲۰۲۳ برای نقاط کوانتومی (تنظیم خواص نوری-الکترونیکی) و نوبل پزشکی برای نانوذرات لیپیدی در واکسن‌های mRNA^۲ مشهود است. بیش از ۱.۳ میلیون سند علمی، با تمرکز بر تشخیص پیشرفته، کاتالیزورها و ذخیره انرژی از سال ۲۰۱۹ منتشر شده است. **نانوتکنولوژی سبز**، مانند سنتز نانوذرات نقره با عصاره گیاهی برای کاهش سمیت، روند غالب است. ادغام با هوش مصنوعی فرآیند کشف را تسریع کرده، مانند بهینه‌سازی بتن هوشمند یا کاتالیزورهای CO₂، با رشد ۱.۴-۱.۷ برابری انتشارات. چالش‌ها شامل سمیت و اکوتوکسیکولوژی^۳ -سم شناسی و بوم‌شناختی - است که تحقیقات را به سنتز سبز سوق می‌دهد. **نانوتکنولوژی** به صنعتی چندتریلیون دلاری تکامل یافته، با پتانسیل حل تغییرات اقلیمی و بیماری‌های مزمن.

✓ ویژگی‌ها و خواص

نانومواد به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، خواص متمایزی نشان می‌دهند که از تعاملات سطحی، اثرات کوانتومی و وابستگی اندازه ناشی می‌شود. این ویژگی‌ها ظرفیت کاتالیتیک^۴، ذخیره‌سازی انرژی و پاکسازی محیطی را افزایش می‌دهد؛ **خواص الکتریکی** (رسانایی بالا، باند گاف^۵ قابل تنظیم) برای حسگرها و ذخیره‌سازها مفید است؛ در زیست پزشکی^۶، تخلخل برای تحویل دارو و تشخیص مولکولی؛ و **خواص مکانیکی** (مدول بالا، چگالی پایین) برای کامپوزیت‌ها.

✓ معرفی نانوله‌ها چگونه کار می‌کنند

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در علم مواد و فناوری نانو نه تنها مرزهای دانش را گسترش داده‌اند، بلکه به یکی از محرک‌های اصلی تحول در صنایع و فناوری‌های نوظهور تبدیل شده‌اند. وقتی از «مواد پیشرفته» صحبت می‌کنیم، منظور موادی است که **فرا تراز نمونه‌های سنتی** عمل می‌کنند؛ موادی که خواص جدید و مهندسی‌شده دارند و در کارایی و عملکرد، به شکل قابل توجهی ارتقا یافته‌اند. این مواد شامل **نانومواد**، **مواد هوشمند**، **بیومواد** و **کامپوزیت‌های چندکاره** هستند و هدف از توسعه آن‌ها، ارائه راهکارهایی پایدار، ایمن و کارآمد برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و فناوری‌های نوظهور است. مواد پیشرفته را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد؛ نخست، مواد فعال و هوشمند که توانایی پاسخ به **محرک‌های محیطی** مانند دما، نور یا pH را دارند و می‌توانند عملکرد خود را به صورت خودکار تنظیم کنند. دوم، مواد ساختاری که برای دستیابی به حداکثر **استحکام و دوام** طراحی شده‌اند.

1 Richard Feynman

2 Paradigm

3 International Union of Pure and Applied Chemistry

4 mRNA vaccines work by introducing a piece of mRNA that corresponds to a viral protein, usually a small piece of a protein found on the virus's outer membrane

5 Ecotoxicology

6 Catalytic

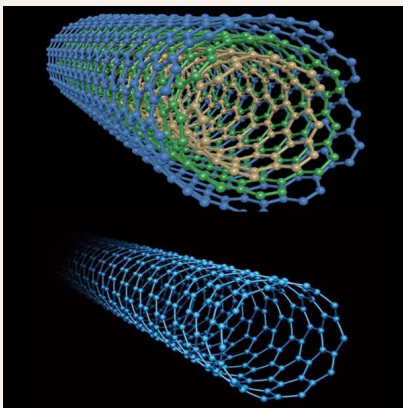
7 Gap

8 Biomedical

سوم، فرآیندهای ساخت نوین که با استفاده از فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی و نانوساخت، مواد جدید خلق می‌کنند و چهارم، کامپوزیت‌ها و نانومواد که با ترکیب دو یا چند فاز، خواص چندمنظوره و همزمان ایجاد می‌کنند. در میان همه این دسته‌ها، **نانومواد هوشمند** جایگاه ویژه‌ای دارند؛ موادی که قادرند محیط خود را حس کنند و واکنش مناسب ارائه دهند. نمونه‌هایی از آن‌ها را می‌توان در **پزشکی** برای رهایش هدفمند دارو، در حسگرهای الکترونیکی پاسخ‌گو به نور و حرارت و همچنین در **کشاورزی** برای کنترل آزادسازی مواد مغذی مشاهده کرد. بررسی داده‌های علمی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که پژوهش در حوزه نانو مواد هوشمند همواره در حال رشد است، اما سهم این بخش تنها ۳ تا ۵ درصد از کل تحقیقات مواد پیشرفته است؛ این موضوع نشان می‌دهد که هنوز فضای زیادی برای نوآوری و توسعه وجود دارد و فرصت‌های تجاری قابل توجهی پیش روی پژوهشگران است.

در میان نانومواد، نانولوله‌های کربنی^۹ به عنوان یکی از برجسته‌ترین و مهیج‌ترین مواد پیشرفته شناخته می‌شوند. این نانوساختارها که در سال ۱۹۹۱ کشف شدند، از همان ابتدا نقطه عطفی در علم نانو به حساب آمدند. آنها استوانه‌هایی از اتم‌های کربن با آرایش **شش‌ضلعی** هستند که می‌توانند به شکل تک‌دیواره^{۱۰} یا چنددیواره^{۱۱} ظاهر شوند. این ساختار منحصر به فرد باعث شده است که ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی و حرارتی فوق‌العاده‌ای داشته باشند. استحکام کششی بسیار بالا، رسانایی الکتریکی و حرارتی عالی و سطح ویژه زیاد، آن‌ها را به **گزینه‌ای جذاب** برای استفاده در طیف وسیعی از کاربردها تبدیل کرده است؛ از کامپوزیت‌ها و الکترونیک گرفته تا انرژی و پزشکی.

ساختار نانو لوله‌های کربنی، نقش کلیدی در خواص آن‌ها دارد. ساختار شکل‌های تک دیواره آن، از یک لایه نازک گرافنی رول شده ساخته شده‌اند، در حالی که چند دیواره‌ها، شامل چندین لایه متحد‌المرکز هستند. پارامترهایی مانند قطر، طول، نسبت طول به قطر^{۱۲}، کایرالیته^{۱۳} - شیوه رول شدن ورقه گرافن - و جهت‌گیری ساختاری، خواص نانولوله‌ها را تعیین می‌کنند. آرایش sp^2 اتم‌های کربن در شبکه شش‌ضلعی و پیوندهای بسیار محکم، باعث می‌شود نانو لوله‌ها، **رفتارهای مکانیکی و الکتریکی** متفاوتی نسبت به مواد سه‌بعدی ارائه دهند. به دلیل ساختار یک‌بعدی و پیوندهای قوی، این نانولوله‌ها می‌توانند بارهای بزرگ را تحمل کنند و استحکام کششی آن‌ها چندین برابر فولاد است.



رسانایی نانو لوله‌های کربنی نیز شگفت‌انگیز است؛ در برخی ترکیب‌ها، رسانایی الکتریکی بین 10^3 تا 10^6 S/cm گزارش شده که نشان‌دهنده توان بالقوه آن‌ها در **الکترونیک و انتقال حرارت** است. سطح ویژه بالا و نسبت طول به قطر زیاد امکان برهم‌کنش گسترده با ماتریس پیرامون را فراهم می‌کند، از جمله **پرکردن ترک‌های میکروسکوپی، انتقال بار و تشکیل پل‌های نانو و میکرو**.

((شمایی از نانولوله‌های کربنی))

9 Carbon Nanotube (CNT)

10 Single-walled Carbon Nanotubes (SWCNT)

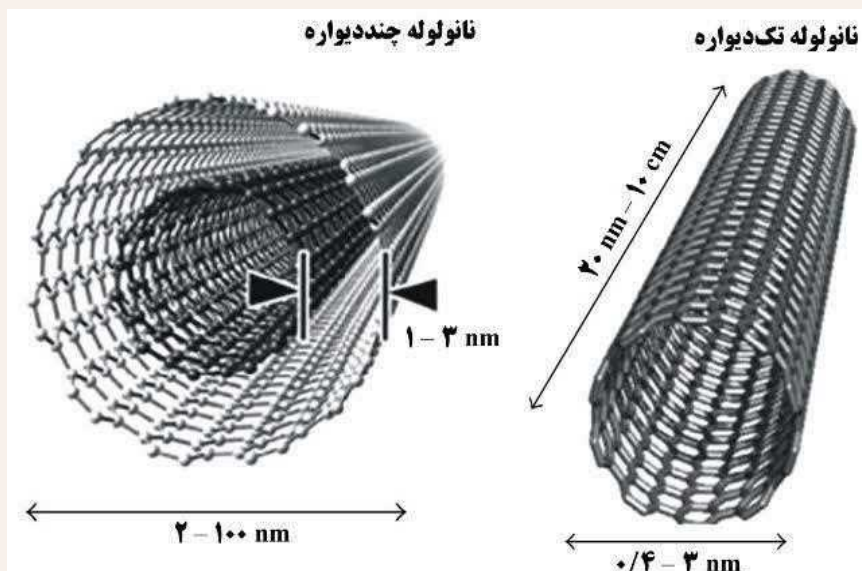
11 Multi-walled Carbon Nanotubes (MWCNT)

12 Aspect Ratio

13 Chirality

انعطاف‌پذیری و قابلیت ترکیب با دیگر نانومواد مانند گرافن، نانو سلولز یا چارچوب‌های فلزی-آلی، راه را برای **خلق مواد چندکارکردی هوشمند** باز می‌کند، و مقاومت شیمیایی و پایداری در شرایط مختلف، آن‌ها را برای کاربردهای صنعتی و زیستی مناسب می‌سازد. همچنین در زمینه کاربرد، آنها طیف وسیعی دارند. در حوزه کامپوزیت‌ها، افزودن مقادیر اندک نانو لوله کربنی به ماتریس‌های پلیمری، فلزی یا سیمانی باعث **بهبود استحکام، چقرمگی، سختی، رسانایی و مقاومت در برابر ترک** می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تمرکز علمی از سنتز آنها، به کاربردهای ترکیبی و عملکردی تغییر یافته و آن‌ها اکنون در فناوری‌های ذخیره انرژی، حسگرها، الکترونیک منعطف و ترکیب با دیگر نانومواد به کار می‌روند. در **ذخیره انرژی**، این نانو لوله‌ها، در باتری‌های لیتیوم-یون^{۱۴}، ابرخازن‌ها^{۱۵} و سلول‌های سوختی عملکرد مهمی دارند و در حسگرهای پوشیدنی و خودحسگری^{۱۶} نیز نقش حیاتی ایفا می‌کنند. در صنعت ساختمان، پژوهش‌هایی بر استفاده از آنها نیز در بتن و مصالح مقاوم انجام شده و در زیست‌پزشکی، کاربردهایی مانند حامل‌های دارو، ایمپلنت‌ها و درمان نوری-حرارتی^{۱۷} **سرطان** بررسی شده است.

با وجود مزایا، مسیر توسعه نانو لوله‌های کربنی، چالش‌هایی نیز دارد. کنترل دقیق ساختار، قطر و زاویه پیچش شبکه کربن تعیین‌کننده خواص مکانیکی و الکتریکی آنهاست؛ برخی از این نانو لوله‌ها، رفتار فلزی و برخی نیمه‌رسانا دارند و کنترل این پارامترها برای کاربردهای **صنعتی حیاتی** است. پراکنش یکنواخت در ماتریس^{۱۸}، جلوگیری از تجمع نانولوله‌ها، هزینه تولید، مقیاس‌پذیری و اثرات زیست‌محیطی از دیگر چالش‌های اصلی محسوب می‌شوند. با این حال، ترکیب آنها با مواد نو مانند گرافن، نانوسلولز^{۱۹} یا MXene^{۲۰} می‌تواند مسیر توسعه مواد چندکارکردی هوشمند^{۲۱} را شتاب دهد؛ این ترکیب‌ها قادرند به‌طور همزمان در ذخیره انرژی، انتقال حرارت و تشخیص زیستی عملکرد داشته باشند و به همین دلیل در فناوری‌های آینده، از اینترنت اشیا تا انرژی پاک، نقش کلیدی ایفا می‌کنند.



((نمایی از نانو لوله‌های کربنی تک‌دیواره و چند دیواره))

14 Lithium-ion Battery

15 Supercapacitor

16 Wearable Sensors and Self-sensing

18 Uniform Distribution in the Matrix

19 Nanocellulose

20 A family of Two-Dimensional (2D) Inorganic Compounds

21 Smart Multifunctional Materials

۱۷ فوتورمال یک فناوری تصویربرداری حرارتی است که برای تشخیص و نمایش تفاوت‌های حرارتی در اجسام و محیط استفاده می‌شود.

نانولوله‌های کربنی نه تنها نمونه‌ای برجسته از مواد پیشرفته هستند، بلکه نشان می‌دهند چگونه یک کشف بنیادی می‌تواند مسیر فناوری را در صنایع مختلف تغییر دهد. امروز آنها از آزمایشگاه به مقیاس صنعتی رسیده‌اند و در محصولاتی از الکترودهای باتری تا حسگرهای زیستی حضور دارند. با رشد چشمگیر پژوهش‌ها و سرمایه‌گذاری‌های صنعتی، آینده مواد نانوساختار به ویژه نانو لوله‌های کربنی روشن و امیدوارکننده است؛ اما توسعه آنها باید همزمان با رعایت **اصول ایمنی، پایداری و اخلاق علمی** پیش برود. آنها دیگر تنها یک ماده تحقیقاتی نیستند؛ بلکه زبان مشترک نوآوری، پایداری و عملکرد در مقیاس نانو هستند و نشان می‌دهند که علم و خلاقیت می‌توانند دست به دست هم دهند تا دنیای ما را به مکانی بهتر تبدیل کنند.

ویژگی	نانولوله کربنی تک جداره (SWCNT)	نانولوله کربنی چندجداره (MWCNT)
ساختار	یک لایه استوانه‌ای از گرافن	چندین لایه هم‌مرکز از SWCNT
قطر	حدود ۰٫۴ تا ۲ نانومتر	۲ تا ۱۰۰ نانومتر
خواص الکتریکی	می‌تواند فلزی یا نیمه‌رسانا باشد بسته به ساختار (n,m)	عمدتاً فلزی، با خواص الکتریکی کمتر قابل تنظیم
استحکام مکانیکی	مقاومت کششی بسیار بالا	مقاومت بالا ولی کمتر از SWCNT
رسانایی گرمایی	بسیار بالا	بالا ولی کمتر از SWCNT
کاربردها	نانو الکترونیک، حسگرها، دارورسانی	بالا ولی کمتر از کامپوزیت‌ها، جاذب‌ها، الکترودها SWCNT
قیمت و تولید	گران‌تر و دشوارتر در تولید	بالا ولی کمتر از SWCNT ارزان‌تر و آسان‌تر در تولید انبوه

«مقایسه نانولوله‌های تک جداره و چند جداره»

✓ چشم انداز

چشم‌انداز آینده نانولوله‌های کربنی بیش از هر زمان دیگری هیجان‌انگیز است. هر قدمی که در فهم ساختار و ترکیب این نانو لوله‌ها برداشته می‌شود، دری تازه به روی فناوری‌هایی باز می‌کند که تا چند سال پیش فقط در حد خیال بودند. اگر روند کنونی ادامه پیدا کند، آنها می‌توانند **قلب تپنده** نسل جدید دستگاه‌های پوشیدنی، حسگرهای هوشمند، باتری‌های فوق‌سبک و سازه‌هایی باشند که در برابر فشار و ضربه تقریباً شکست‌ناپذیرند. حتی در پزشکی هم آینده‌ای درخشان پیش روی آنهاست؛ از حامل‌های داروی هوشمند گرفته تا درمان‌های دقیق و هدفمند. شاید جذاب‌ترین بخش ماجرا این باشد که هر بار ترکیب جدیدی از نانو لوله‌ها با مواد دیگر آزمایش می‌شود، یک ویژگی تازه و غیرمنتظره پدید می‌آید؛ انگار این ماده هنوز تمام رازهای خودش را رو نکرده است. با وجود چالش‌هایی مانند **هزینه تولید و نگرانی‌های زیستی**، سرعت پیشرفت نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی به‌زودی یکی از ستون‌های اصلی فناوری‌های فردا خواهند شد. آینده‌ای که در آن مواد نه فقط «کار» می‌کنند، بلکه «پاسخ می‌دهند»، «سازگار می‌شوند» و حتی «یاد می‌گیرند».

باتری‌های کارآمدی نسل آینده ذخیره‌ساز انرژی



مقدمه



باتری‌ها نخستین بار در **قرن هجدهم** توسط آلساندرو ولتا توسعه داده شدند. این فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، در مقایسه با ابرخازن‌ها، توانایی ذخیره‌سازی انرژی بسیار بالاتری دارند؛ هرچند توان خروجی آن‌ها کمتر است. عملکرد باتری بر پایه واکنش‌های الکتروشیمیایی استوار است که در هنگام تخلیه، الکترون تولید کرده و جریان الکتریکی ایجاد می‌کنند. این فرایند می‌تواند در یک سلول منفرد یا مجموعه‌ای از سلول‌های متصل به یکدیگر رخ دهد.

باتری‌ها در گستره وسیعی از **ابعاد و ظرفیت‌ها** تولید می‌شوند و قادرند از حدود ۱۰۰ وات تا چندین مگاوات انرژی ذخیره کنند. راندمان شارژ و دشارژ آن‌ها — که شاخص بازده ذخیره‌سازی و آزادسازی انرژی است — معمولاً در بازه ۶۰ تا ۸۰ درصد قرار دارد و به نوع سامانه الکتروشیمیایی و شرایط چرخه کاری آن وابسته است.

با افزایش تقاضا برای **منابع انرژی کارآمد**، تلاش‌های گسترده‌ای در راستای توسعه سامانه‌های پیشرفته ذخیره‌سازی و تبدیل انرژی انجام شده است. برای بهبود چگالی انرژی و چگالی توان در این سامانه‌ها، پژوهشگران تمرکز ویژه‌ای بر **سنتز مواد الکترودی** پیشرفته با ساختار، ترکیب و مورفولوژی^۳ مهندسی شده داشته‌اند. در این میان، طراحی نانو ساختارها درون ماتریس‌های بسیار رسانا، بستر مناسبی برای دستیابی به ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، توان‌دهی مطلوب و طول عمر عملیاتی بیشتر فراهم کرده است. گرافن، به عنوان یک ورقه دوبعدی متشکل از اتم‌های کربن تک‌لایه با هیبریداسیون^۴ sp^2 و **آرایش شبکه لانه‌زنبوری**، به دلیل سطح ویژه بسیار بالا، انعطاف‌پذیری، پایداری شیمیایی و رسانایی الکتریکی و حرارتی برجسته، توجه گسترده پژوهشگران را به خود جلب کرده است. این ویژگی‌ها باعث شده‌اند گرافن و مواد مبتنی بر آن به گزینه‌هایی ایده‌آل برای استفاده به عنوان الکتروود در سامانه‌های الکتروشیمیایی ذخیره‌سازی انرژی تبدیل شوند.



«آلساندرو ولتا- نخستین توسعه دهنده باتری»



«اولین باتری ساخته شده توسط آلساندرو ولتا»

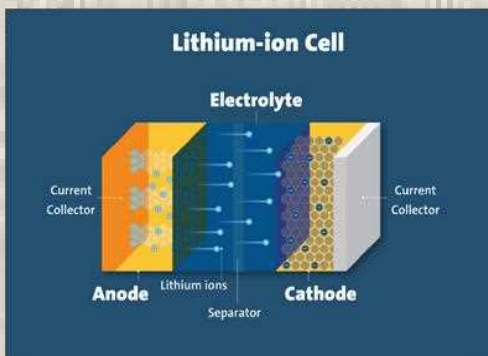


« شماتیک باتری گرافنی به همراه ساختار لانه زنبوری یا شش ضلعی لایه های دو بعدی گرافن»



مواد مبتنی بر گرافن برای باتری‌های لیتیوم-یون

← شماتیک باتری لیتیوم - یون



باتری **لیتیوم-یون (LIB)** به‌عنوان یک دستگاه کارآمد ذخیره‌سازی انرژی الکتروشیمیایی، به دلیل **چگالی انرژی بالا**، طول عمر بیشتر و ایمنی بهتر در مقایسه با باتری‌های سنتی توسعه یافته، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. با این حال، با وجود چگالی انرژی بالا، باتری‌های لیتیوم-یون هنوز با مشکل چگالی توان بسیار پایین مواجه است. دستیابی هم‌زمان به توان بالا و چگالی انرژی زیاد همراه با سرعت‌های شارژ و دشارژ بسیار سریع، همچنان یک چالش بزرگ علمی

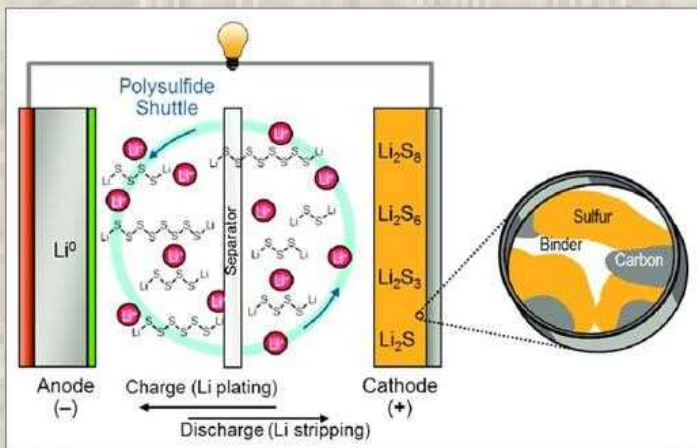
و مهندسی برای توسعه این باتری‌ها باقی مانده است. در این زمینه، گرافن به دلیل رسانایی الکتریکی فوق‌العاده، انعطاف‌پذیری مکانیکی عالی، پایداری شیمیایی مناسب و سطح ویژه بسیار بالا گزینه‌ای بسیار مطلوب محسوب می‌شود. با این حال، گزارش شده است که باتری‌های لیتیوم-یون با آند گرافن خالص نمی‌توانند خروجی پتانسیل پایدار ارائه دهند، که این موضوع **مانعی** برای کاربردهای عملی آن ایجاد می‌کند.



مهندسی گرافن و کامپوزیت‌های گرافنی در طراحی الکترودهای لیتیوم-سولفور

مطالعه باتری لیتیوم-سولفور (Li-S) از دهه ۱۹۴۰ آغاز شد. از آن زمان تاکنون، تلاش‌های فراوانی برای تجاری‌سازی آن انجام شده است. مزایای باتری‌های لیتیوم-سولفور شامل **فراوانی طبیعی، هزینه پایین و میزان سمیت کم عنصر گوگرد** است. برای مواد الکترودی مبتنی بر گرافن، طراحی منطقی ریزساختار از اهمیت حیاتی برخوردار است تا بتوان از تمام مزایای آن در باتری لیتیوم-سولفور استفاده کرد. یکی از روش‌های قرار دادن گوگرد روی گرافن، استفاده از برهم‌کنش قوی میان گوگرد و کربن و آغشته‌سازی مستقیم ورقه‌های تجمع‌یافته گرافن با گوگرد ذوب‌شده است. این روش ثابت کرده است که تنها در افزایش رسانایی الکتریکی مؤثر است، اما در مهار واسطه‌های **پلی‌سولفید** چندان کارآمد نیست؛ زیرا این ترکیبات همچنان می‌توانند از حفره‌های نامنظم ناشی از تجمع ورقه‌های گرافن خارج شوند و در نتیجه پایداری سلول را تضعیف کنند.

اصلاح شیمیایی ساختار سطحی یکی دیگر از راهبردهای مهمی است که برای افزایش برهمکنش میان گرافن و گونه‌های گوگرد-پلی‌سولفید و دستیابی به عملکرد بهینه در باتری‌های لیتیوم-سولفور توسعه یافته است.



شما تیک باتری لیتیوم - سولفور

گرافن؛ بازیگر اصلی در پیشرفت باتری‌های لیتیوم-اکسیژن

به‌عنوان دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی نسل آینده، باتری‌های لیتیوم - اکسیژن ($Li+O_2$) الکترودهای بین‌لایه‌ای موجود در باتری‌های لیتیوم-یون سنتی را کنار می‌گذارند. در این باتری‌ها، یون‌های لیتیوم به‌طور مستقیم با **اکسیژن** در یک الکتروود متخلخل واکنش می‌دهند. در بیشتر موارد، گرافن به‌عنوان یک بستر به‌کار گرفته می‌شود تا پخش مناسب فلز یا اکسیدهای فلزی را فراهم کرده و انتقال بار را در طی فرایند شارژ و تخلیه بهبود دهد. از سوی دیگر، چون گرافن تهیه‌شده به روش‌های شیمیایی دارای تعداد زیادی لبه و نواحی نقص است، برخی پژوهشگران تلاش کرده‌اند تا **اثر کاتالیستی** خود گرافن را بدون افزودن مواد فعال دیگر (مانند نانوذرات فلز یا اکسید فلز) بررسی کنند. به این نوع مواد گرافن بدون فلز گفته می‌شود.



شما تیک باتری لیتیوم - اکسیژن

اما چگونه گرافن ردپای زیست‌محیطی باتری‌ها را کاهش می‌دهد؟



شما تیک باتری گرافنی جهت ذخیره‌سازی انرژی الکتریسیته و دوستی با محیط زیست

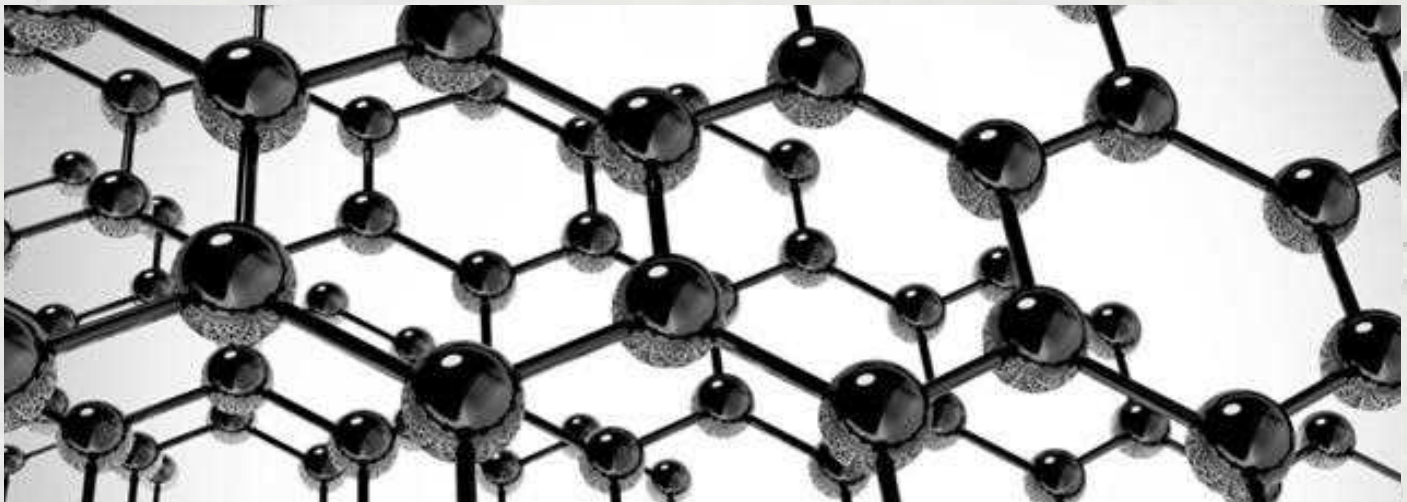
بعد از زیست‌محیطی ذخیره‌سازی انرژی مبتنی بر گرافن، به‌ویژه در زمینه توسعه پایدار و گذار جهانی به فناوری‌های پاک‌تر، توجه روزافزونی را برانگیخته است. گرافن تولیدشده از منابع زیست‌توده یا کربن حاصل از پسماند، در مقایسه با روش‌های شیمیایی متداول، ردپای **زیست‌محیطی** به‌مراتب کمتری دارد. مسیرهای سنتز سبز که بهره‌گیری از محصولات جانبی کشاورزی - از جمله پوسته برنج یا پوست پرتقال - تکیه دارند، کاهش چشمگیری در مصرف انرژی و تولید پسماندهای شیمیایی نشان داده‌اند؛ در حالی‌که مواد حاصل، **کیفیت و کارایی لازم** برای استفاده در ابرخازن‌ها و باتری‌های لیتیوم-یونی را فراهم می‌کنند.

گرافن در روانکارها و مایعات صنعتی

کاهش اصطکاک و افزایش بازده سیستم مکانیکی

۷ مقدمه

در سال‌های اخیر، گرافن به عنوان یک نانوماده با خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی منحصر به فرد، توجه قابل توجهی در حوزه روانکارها جلب کرده است. توانایی گرافن در **کاهش اصطکاک و سایش**، هدایت حرارت و تشکیل لایه‌های محافظ پایدار، آن را به یک افزودنی بالقوه برای بهبود عملکرد روانکارهای مایع، گریس‌ها و حتی تماس‌های الکتریکی تبدیل کرده است. پژوهش‌های آزمایشگاهی و گزارش‌های صنعتی نشان می‌دهند که گرافن می‌تواند عمر روانکارها را افزایش دهد، راندمان موتورها را بهبود بخشد و مصرف انرژی را کاهش دهد. با این حال، **چالش‌هایی** مانند پراکندگی پایدار، هزینه تولید، پایداری عملکرد در درازمدت و اثرات زیست‌محیطی، هنوز محدودیت‌هایی برای استفاده گسترده از گرافن در صنعت به شمار می‌آیند. در این بررسی، کاربردهای گرافن در روانکارهای مختلف، تأثیر آن بر کاهش اصطکاک و سایش، و همچنین مسیرهای تحقیقاتی آینده جهت تحقق پتانسیل کامل صنعتی آن، مورد بحث قرار گرفته است.

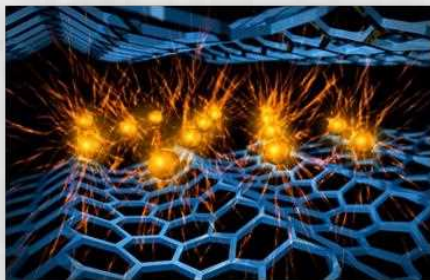


«ساختار ۶ ضلعی گرافن در دو بعد»

۱. گرافن در روانکارها و مایعات: کاهش اصطکاک و سایش

گرافن تک‌لایه یا چندلایه نازک، زمانی که به عنوان افزودنی به روانکارهای مایع اضافه می‌شود، عملکرد قابل توجهی در **کاهش ضریب اصطکاک** و فرسایش سطحی از خود نشان می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهند که گرافن، همچنین یک مسیر مؤثر برای انتقال حرارت فراهم می‌کند و گرمای حاصل از اصطکاک را به صورت کارآمد دفع می‌نماید؛ موضوعی که پایداری و دوام روانکار را افزایش می‌دهد. با این حال، چالش‌هایی همچنان پابرجا است. هزینه بالای تولید گرافن، لزوم حفظ پایداری پراکنش آن در روغن پایه و نیاز به بهینه‌سازی ساختار گرافن از مهم‌ترین محدودیت‌های مطرح شده هستند.

۳. گرافن در رابط‌های الکتریکی و تماس لغزشی



«تصویری دو بعدی از گرافن در حضور جریان الکتریکی»

علاوه بر کاربرد در روانکارهای سنتی و گریس، گرافن در سال‌های اخیر برای **روانکاری تماس‌های الکتریکی** - روانکاری در نقاطی که جریان الکتریکی عبور می‌کند - نیز مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که گرافن می‌تواند بهبود مقاومت در برابر سایش الکتریکی، عمر تماس و عملکرد روانکاری در رابط‌هایی مانند مس و آلیاژهای آن را فراهم آورد. همچنین گرافن نه تنها مانع تماس فلز با فلز می‌شود، بلکه با تشکیل **لایه محافظ نانویی**، از تخریب سطحی در حضور جریان‌های الکتریکی جلوگیری می‌کند. بنابراین، در کاربردهای الکترو-مکانیکی^۱، گرافن می‌تواند نقش بسیار حیاتی داشته باشد.

بررسی‌های تجربی انجام شده با استفاده از **آزمون چهار گوی** نشان می‌دهد که حتی در غلظت‌های بسیار پایین، مانند ۰.۳۵ wt.٪، افزودن گرافن می‌تواند کاهش قابل توجهی در رفتار اصطکاکی-سایشی ایجاد کند؛ به طوری که ضریب اصطکاک حدود ۰.۸٪ کمتر شده و قطر ناحیه سایش نیز نزدیک به ۰.۴٪ کاهش می‌یابد. این نتایج بیانگر آن است که گرافن، قادر به ایجاد یک **لایه لغزشی پایدار** میان سطوح فلزی است و با کاهش تماس فلز با فلز، موجب بهبود چشمگیر رفتار اصطکاکی - سایشی می‌شود.

۴. گرافن در گریس‌ها و روانکارها پیچیده‌تر



«بلبرینگ آغشته در گریس»

۴. کاربرد صنعتی و پتانسیل اقتصادی



«روان کننده GR AR 555 (Made in Germany)»

کاربردهای صنعتی گرافن در روانکارها طی سال‌های اخیر وارد مرحله‌ای عملیاتی‌تر شده و شواهد تجربی نشان می‌دهد که این ماده می‌تواند عملکرد انواع روانکارها را در مقیاس واقعی به طور چشمگیری ارتقا دهد. در کاربردهایی مانند **روغن موتور خودرو** و **دیزل‌های سنگین**، افزودن گرافن منجر به کاهش ۳ تا ۷ درصدی مصرف سوخت و افزایش عمر

در حوزه روانکارها، به ویژه گریس‌هایی که برای **یاتاقان‌ها، چرخ‌دنده‌ها** و کاربردهای تحت فشار زیاد استفاده می‌شوند، گرافن اصلاح شده با ترکیبات یونی به خوبی در گریس پایه لیتیوم با ساختار ترکیبی پراکنده شده و پایداری آن را افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این گرافن اصلاح شده موجب کاهش حدود ۱۸،۸۴٪ در ضریب اصطکاک و کاهش تقریباً ۶۷،۳۴٪ در میزان فرسایش سطح می‌شود. به این ترتیب، یک لایه نازک و پیوسته گرافنی بر سطح تشکیل می‌شود که همراه با گریس چسبنده، عملکرد روانکاری را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. همچنین محققان نشان داده‌اند که پارامترهایی مانند **اندازه ذره گرافن، غلظت، اصلاح شیمیایی و نوع گریس پایه**، تأثیر عمیقی بر عملکرد نوری و اصطکاکی - سایشی دارند.

- 2 Four-ball
- 4 Grease
- 6 Gears
- 8 Electromechanical
- 3 Tribological
- 5 Bearings
- 7 Electrical Sliding contacts

موتور تا حدود ۵۰ درصد شده است. این ماده در گریس‌های دما بالا تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد نیز عملکرد قابل توجهی داشته و به‌عنوان جایگزینی پایدار و کارآمد برای MoS_2 در **توربین‌های گازی و محیط‌های حرارتی شدید** مطرح شده است.

در حوزه روانکاری، حداقل مقدار استفاده از افزودنی‌های گرافنی باعث کاهش ۴۰ تا ۶۰ درصدی مصرف سیال برشی در فرآیندهای ماشین‌کاری می‌شود. در گل حفاری صنعت نفت و گاز نیز افزودن گرافن موجب کاهش ۳۰ درصدی گشتاور حفاری و بهبود پایداری امولسیون شده است. علاوه بر این، در روانکارهای زیستی، ترکیب گرافن با روغن‌های گیاهی عملکردی بالاتر از روانکارهای معدنی متداول ارائه می‌دهد و مسیر تولید روانکارهای پایدارتر را هموار می‌سازد.

از منظر تجاری و صنعتی، اخیراً شرکت‌ها نیز پیشرفت‌هایی در کاربرد عملی گرافن در روانکارها داشته‌اند. برای مثال، **GR Lubricant** که یک افزودنی گرافنی است و توسط شرکت GMG تولید می‌شود، می‌تواند عمر عملیاتی روانکار پایه را تا بیش از ۲۴ برابر افزایش دهد. این شرکت ادعا می‌کند که استفاده از گرافن باعث کاهش ضریب اصطکاک تا ۷۰٪ شده است، که منجر به کاهش سایش و افزایش دوام روانکار می‌گردد. همچنین با استفاده از این نوع روانکار گرافنی در موتورهای دیزلی، مصرف سوخت تا ۸٫۴٪ کاهش یافته است.

مطالعات نشان داده‌اند که افزودن گرافن به **روغن موتور** و آزمایش آن در شرایط واقعی عملکرد موتور خودرو، علاوه بر کاهش سایش در آزمون چهار توپ، موجب بهبود راندمان موتور نیز می‌شود. این یافته‌ها بیانگر پتانسیل واقعی صنعتی گرافن برای افزایش بهره‌وری و کاهش تلفات انرژی در موتورهای **احتراق داخلی** هستند.

مطالعات مستقل آزمایشگاهی و آزمون‌های میدانی نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند و نشان می‌دهند که افزودن گرافن به روغن موتور موجب **کاهش سایش، افزایش راندمان و کاهش تلفات انرژی** در موتورهای احتراق داخلی می‌شود. این نتایج، مسیر روشن و قابل اتکایی را برای استفاده صنعتی گسترده‌تر از گرافن در نسل آینده روانکارها ترسیم می‌کند.

۵. چالش‌های مسیرهای تحقیقاتی آینده

اگرچه دستاوردهای اخیر بسیار امیدوارکننده‌اند، اما هنوز **موانعی** برای استفاده گسترده‌تر از گرافن در روانکارها وجود دارد:

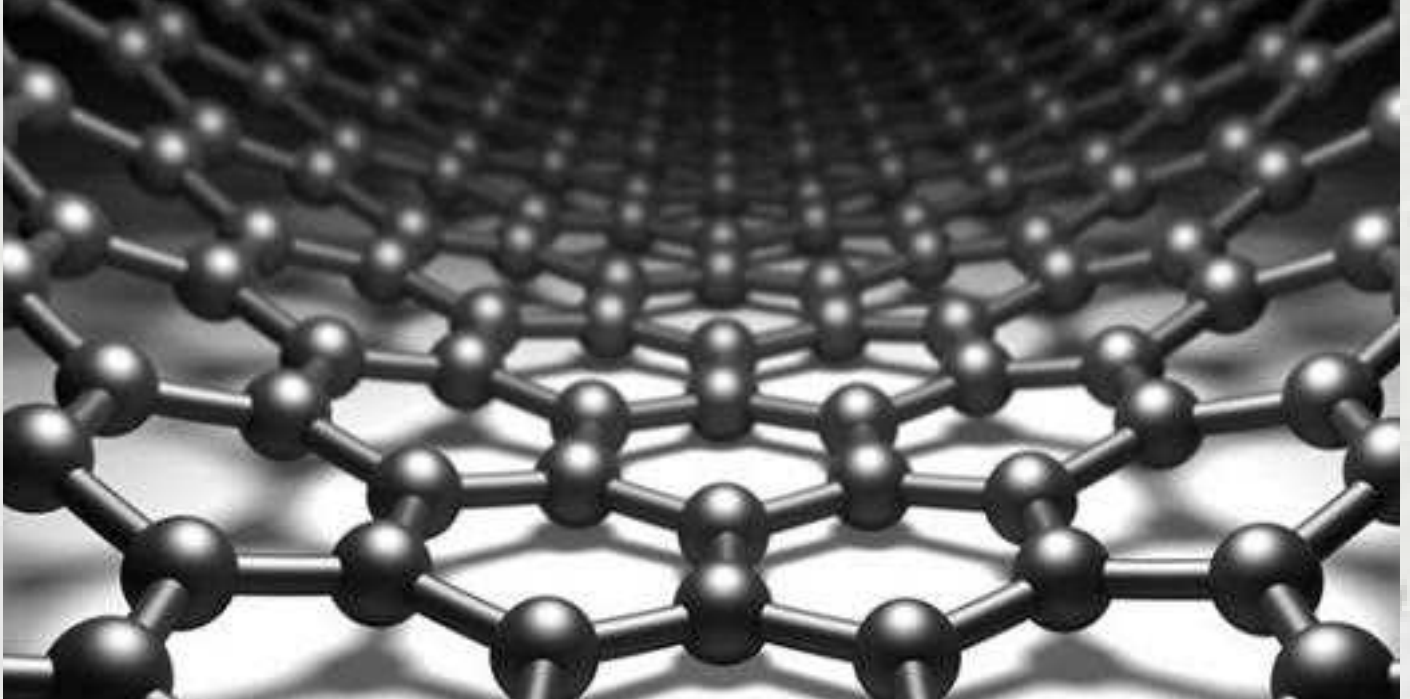
۱. پراکندگی پایدار گرافن: بسیاری از مطالعات بر اهمیت کنترل تجمع ذرات گرافن تأکید کرده‌اند. اصلاح شیمیایی سطح گرافن، بهبود خواص سطحی آن یا استفاده از سطح‌های فعال، می‌تواند راهکارهای مؤثری برای ایجاد پراکندگی پایدار باشند.

۲. هزینه تولید: تولید گرافن خالص با کیفیت بالا همچنان هزینه‌بر است و این موضوع می‌تواند مانع استفاده اقتصادی از آن در کاربردهای صنعتی شود، به‌ویژه زمانی که غلظت افزودنی گرافنی باید پایین باشد تا مزایای سایشی-اصطکاکی حفظ گردد.

۳. پایداری طولانی‌مدت و عمر عملکرد: گزارش‌های صنعتی نشان‌دهنده افزایش قابل توجه عمر روانکارها با افزودن گرافن هستند.

با این حال، انجام مطالعات طولانی مدت شامل چرخه‌های کاری، دماهای مختلف و بارهای عملیاتی ضروری است تا اطمینان حاصل شود که عملکرد روانکار در شرایط واقعی پایدار باقی می‌ماند.

۴. ایمنی و اثرات زیست‌محیطی: با افزایش کاربرد گرافن، بررسی اثرات زیست‌محیطی، سمیت احتمالی و مدیریت بازیافت نانو مواد اهمیت حیاتی پیدا می‌کند.



«شمای دو بعدی اتم‌های کربن در گرافن»

✓ جمع‌بندی

پیشرفت‌های علمی بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که گرافن و مشتقات آن در آستانه تبدیل شدن به استاندارد صنعتی روانکارهای با عملکرد بالا هستند. توانایی گرافن در کاهش چشمگیر اصطکاک، تشکیل فیلم محافظ سایشی-اصطکاکی، افزایش دوام و کاهش آسیب سطحی، آن را به یکی از امیدبخش‌ترین افزودنی‌های نسل آینده روانکارها تبدیل کرده است. شواهد آزمایشگاهی و گزارش‌های صنعتی این روند را تأیید می‌کند.

برآورد می‌شود بازار جهانی افزودنی‌های گرافنی تا سال ۲۰۳۰ از مرز ۲ میلیارد دلار عبور کند و با بهبود بازده سیستم‌های سایشی-اصطکاکی نقش مؤثری در کاهش انتشار جهانی CO_2 داشته باشد. با این حال، انتقال این فناوری از مقیاس آزمایشگاهی به صنعت همچنان نیازمند پژوهش و توسعه هدفمند است. چالش‌های کلیدی شامل بهینه‌سازی پراکندگی، کاهش هزینه تولید، اطمینان از پایداری عملکرد در درازمدت و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و ایمنی است. مسیر آینده می‌تواند بر طراحی گرافن اصلاح‌شده، ترکیب آن با نانوذراتی مانند MoS_2 یا پوسته‌های نانویی، استانداردسازی تولید، آزمون‌های میدانی بلندمدت و توسعه روانکارهای کاملاً زیستی متمرکز شود.

اگر این مسیر پیگیری شود، گرافن می‌تواند تا دهه آینده جایگاه خود را به عنوان ستون اصلی فناوری روانکاری پیشرفته تثبیت کند.

نویسندگان: فرید احمدی (مقطع کارشناسی-دانشگاه صنعتی اصفهان)
بهنام انصاری (مقطع کارشناسی ارشد-دانشگاه صنعتی اصفهان)



کربن خوراکی به عنوان یکی از مواد عملکردی نو ظهور در صنایع غذایی، دارویی و سیستم‌های تصفیه زیستی، طی سال‌های اخیر توجه فراوانی را به خود جلب کرده است. ساختار متخلخل گسترده، سطح ویژه بسیار بالا (بین 500 تا 2500 g/m^2)، **قابلیت جذب انتخابی، پایداری شیمیایی و ایمنی مصرف خوراکی** باعث شده این ماده به یک عنصر کلیدی در فناوری‌های نوین پردازش و حفاظت غذایی تبدیل شود. از سوی دیگر، افزایش نگرانی‌ها در مورد ایمنی غذایی، باقی‌مانده سموم، مواد شیمیایی ناخواسته، آفلاتوکسین‌ها، فلزات سنگین و ترکیبات اکسیداتیو، موجب شده است، پژوهشگران به دنبال راهکارهایی پایدار، طبیعی و مؤثر باشند. کربن‌های فعال خوراکی، به دلیل **منشاء زیست‌توده‌ای** و قابلیت استفاده گسترده، یکی از بهترین گزینه‌ها برای پاکسازی طبیعی و ایمن ترکیبات ناخواسته در مواد غذایی محسوب می‌شوند.

منابع و تولید کربن فعال خوراکی

منابع زیست‌توده‌ای

تولید کربن فعال خوراکی عمدتاً از **پسماندها و زیست‌توده‌های طبیعی** انجام می‌شود. این منابع شامل پوسته نارگیل، هسته زیتون، چوب، پوست برنج، پوست بادام، بقایای نیشکر و ضایعات حاصل از فرآوری میوه‌ها و سبزیجات هستند. بهره‌گیری از این مواد اولیه، نقش مؤثری در پایداری زیست‌محیطی و کاهش ضایعات کشاورزی ایفا می‌کند و در چارچوب رویکردهای اقتصاد چرخشی و تولید سبز، از اهمیت بالایی برخوردار است.

نارگیل، یکی از منابع طبیعی اصلی برای تولید کربن فعال خوراکی؛ پوسته آن پس از فرآیند کربونیزه‌سازی و فعال‌سازی حرارتی به ماده‌ای با سطح جذب بالا تبدیل می‌شود.



نوشیدنی حاوی کربن فعال خوراکی؛ نمونه‌ای از کاربرد این ترکیب در محصولات غذایی و نوشیدنی‌های سم‌زدا با ترکیب لیمو و یخ برای بهبود طعم و پذیرش مصرف‌کننده.

- 1 Edible Activated Carbon
- 2 Aflatoxins
- 3 Oxidative

فرایندهای فعال سازی

فرایند فعال سازی شامل دو روش اصلی است:

فعال سازی فیزیکی

در این روش کربن سازی اولیه در دمای $400-600^{\circ}\text{C}$ انجام شده و سپس مواد در حضور بخار و یا CO_2 ، تا دمای $800-1000^{\circ}\text{C}$ فعال سازی می شوند. این روش تمایلی به ایجاد میکروپورهایی^۴ با قطری کمتر از 2nm دارد.

فعال سازی شیمیایی

فعال سازی با مواد شیمیایی مانند ZnCl ، KOH ، H_3PO_4 یا حتی اسیدسیتریک^۶ صورت می گیرد. این روش معمولاً سطح ویژه بالاتری ایجاد کرده و کنترل بهتری بر ساختار منافذ فراهم می کند. فعال سازی با H_3PO_4 خصوصاً برای تولید کربن خوراکی مطلوب است زیرا باقی مانده های آن قابل حذف و غیرسمی هستند.



مقایسه بصری میان تکه های کربن فعال و فرم پودری آن در قاشق؛ تأکید بر این نکته که سطح ویژه در فرم پودری به دلیل اندازه ذرات کوچکتر، به مراتب بالاتر بوده و کارایی جذب را افزایش می دهد.

ویژگی های فیزیکی-شیمیایی

کربن فعال خوراکی دارای ویژگی های زیر می باشد که این ویژگی ها عملکرد جذب قوی و گزینشی این ماده را تعیین می کنند.

- سطح ویژه بالا
- تخلخل چند مقیاسی
- قطبیت سطح کنترل شده
- وجود گروه های عاملی اکسیژنی
- پایداری حرارتی بالا
- عدم ایجاد طعم یا بوی نامطلوب در ماده غذایی

مکانیسم های جذب در کربن فعال خوراکی

جذب فیزیکی:

در جذب فیزیکی، نیروهای **واندروالس**^۷، پدیده نفوذ در منافذ و برهم کنش های سطح - مولکول نقش اصلی را ایفا می کنند. وجود میکروپوره های باریک موجب می شود، مولکول های کوچک مانند MDA^۸، آفلاتوکسین و ترکیبات آلی فرار به راحتی در ساختار کربن گیر ایفا می کنند.

جذب شیمیایی:

در برخی موارد، گروه های عاملی مانند: کربوکسیلات ها^۹، فنول ها^{۱۰}، گروه های کربونیل^{۱۱}، باعث جذب اختصاصی و ایجاد پیوندهای ضعیف شیمیایی می شوند. این حالت بیشتر برای جذب فلزات سنگین یا برخی سموم کاربرد دارد.

برهم کنش های الکترو استاتیکی:

ساختار گرافیتی شده کربن فعال، زمینه ای مناسب برای جذب ترکیبات **آروماتیک**^{۱۲} مانند پلی فنول ها^{۱۳}، آفلاتوکسین ها و رنگ های طبیعی فراهم می کند.

4 Micropores
5 Nanometre
6 Citric acid

7 Van der Waals Force
8 Methyleneoxyamphetamine
9 Carboxylate
10 Phenols

11 Carbonyl
12 Aromaticity
13 Polyphenols

((نمایش عملکردهای کلیدی کربن فعال خوراکی؛ شامل توانایی آن در حذف سموم قارچی، زدودن بو، حفظ آنتی‌اکسیدان‌ها، حذف رنگ و کاربرد آن در بسته‌بندی‌های فعال.))



کاربردهای صنعتی در حوزه غذا

حذف سموم قارچی (آفلاتوکسین‌ها)

آفلاتوکسین B₁ یکی از خطرناک‌ترین متابولیت‌های قارچی^{۱۴}

است. تحقیقات نشان داده‌اند که کربن فعال خوراکی قادر است

بیش از ۹۲٪ آلودگی آفلاتوکسین را در محلول‌های غذایی **کاهش** دهد؛ که این ویژگی برای صنایع لبنیات، غلات، خوراک دام، آجیل و دانه‌های روغنی اهمیت فراوان دارد.

رنگبری در نوشیدنی‌ها و شربت‌ها

کربن فعال در صنایع نوشیدنی به منظور **حذف رنگ‌های ناخواسته** به کار می‌رود و در فرآوری محصولاتی مانند آب‌میوه‌ها، عسل، شربت ذرت و عصاره‌های گیاهی برای حذف ترکیبات فنولی و رنگدانه‌های طبیعی، عملکرد مؤثری از خود نشان داده است.

حذف بو و ترکیبات ناخواسته

کربن فعال قادر است ترکیباتی مانند: ترکیبات گوگردی، کتون‌ها^{۱۵}، آلدهیدهای فرار را جذب کرده و **کیفیت حسی محصول** را بهبود دهد.

کاهش محصولات اکسیداسیون چربی

کربن فعال خوراکی قادر است مالون‌دی‌آلدهید^{۱۶} و سایر ترکیبات حاصل از اکسیداسیون را جذب کرده و در نتیجه، ماندگاری روغن، کیفیت گوشت و پایداری محصولات سرخ‌شده را بهبود دهد.

استفاده در بسته‌بندی‌های فعال

ترکیب کربن فعال با پلیمرهای زیست‌پایه مانند: آلژینات^{۱۷}، ژلاتین^{۱۸} و پلی‌لاکتیک‌اسید^{۱۹}، سبب ایجاد بسته‌بندی‌های هوشمند برای جذب رطوبت، گازهای نامطلوب و ترکیبات **مضر** می‌شود.

تصفیه آب و نوشیدنی‌ها

کربن فعال خوراکی نیز قادر است کلر، تری‌هالومتان‌ها^{۲۰}، بنزن^{۲۱} و همچنین فلزات سنگین را بدون تأثیر بر طعم یا ارزش تغذیه‌ای حذف کند.

14 Fungal Metabolites

15 Ketones

16 MDA

17 Alginic

18 Gelatin

19 Polylactic acid (C₃H₄O₂)

20 Trihalomethanes (THMs)

21 Benzene (C₆H₆)

چالش‌ها و محدودیت‌ها

در کنار مزایا و کاربردهای گسترده کربن فعال خوراکی در صنایع غذایی و نوشیدنی، توجه به چالش‌ها و محدودیت‌های فنی، اقتصادی و ایمنی آن نیز ضروری است. شناخت این ملاحظات نقش مهمی در انتخاب صحیح شرایط فرآیندی، تضمین کیفیت محصول نهایی و انطباق با الزامات بهداشتی و استانداردهای بین‌المللی دارد. در ادامه، مهم‌ترین چالش‌های مرتبط با تولید و استفاده از کربن فعال خوراکی مورد بررسی قرار می‌گیرند:

- خطر جذب مواد مغذی: کربن فعال می‌تواند ویتامین‌ها یا ترکیبات مفید را کاهش دهد.
- هزینه تولید به نسبت بالا در مقیاس نانو

آینده کربن‌های فعال خوراکی

افق پیش روی این حوزه شامل موارد زیر خواهد بود:

- توسعه کربن‌های سبز با استفاده از ضایعات کشاورزی
- تولید کربن‌های خوراکی هوشمند با قابلیت تشخیص فساد مواد غذایی
- استفاده در فرمولاسیون‌های درمانی و مکمل‌های دتوکس^{۲۲}
- کاربرد در فیلتراسیون صنعتی پیشرفته
- گسترش استفاده در بسته‌بندی‌های فعال و زیست‌پایه

کربن‌های فعال خوراکی در حال تبدیل شدن به یکی از ابزارهای کلیدی در ایمنی غذایی، فرآوری مدرن و بسته‌بندی هوشمند هستند. ساختار متخلخل، پایداری حرارتی بالا و قابلیت جذب مؤثر، آن‌ها را به راهکاری مطلوب برای رفع چالش‌های صنایع غذایی تبدیل کرده است. با این حال، توسعه فناوری‌های **زیست‌پایه و تولید سبز**، آینده‌ای روشن برای کاربرد صنعتی و توسعه پایدار این مواد فراهم می‌آورد.



مجموعه‌ای از میوه‌ها و مغزها شامل پسته، گردو، انار، زردآلو و شلیل؛ ترکیبات طبیعی غنی از آنتی‌اکسیدان که در مطالعات تغذیه‌ای گاه به همراه کربن فعال خوراکی برای بررسی اثرات سم‌زدایی و بهبود متابولیسم مصرف می‌شوند.

نویسنده: مهسا حری (مقطع کارشناسی - دانشگاه صنعتی اصفهان)



میز گفت و گو

«مصاحبه با خانم دکتر سارا بنی جمالی، رئیس انجمن سرامیک ایران و عضو هیئت علمی پژوهشگاه مواد و انرژی»

چه چیزی باعث شد که به رشته ی مهندسی مواد و گرایش سرامیک علاقه مند شوید و این مسیر را چگونه پیمودید؟

ورود من به رشته مهندسی مواد بسیار اتفاقی بود. من در سال ۱۳۷۵ در مقطع کارشناسی رشته مهندسی مواد و متالورژی، گرایش سرامیک در دانشگاه علم و صنعت ایران پذیرفته شدم. در آن زمان گرایش سرامیک مهندسی مواد در مقطع کارشناسی دانشجو می پذیرفت. از طریق یکی از دوستانم که همین گرایش و رشته را در دانشگاه علم و صنعت تحصیل می کردند با این رشته آشنا شدم. مشوق من برای ادامه تحصیل کادر برجسته اساتید حوزه سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران بودند و همینطور علاقه شخصی ای که در آن بازه زمانی به این رشته و گرایش پیدا کرده بودم.

از دید شما، کدام زیرشاخه های علم سرامیک — از سرامیک های سنتی تا سرامیک های نوظهور و پیشرفته مانند زیست سرامیک ها و نانوسرامیک ها — بیشترین پتانسیل رشد را در ایران دارند؟

در حوزه سرامیک های سنتی که صنایع آن ها به صورت بالفعل در کشور وجود دارد — مانند: شیشه، کاشی، چینی بهداشتی و نسوز — به دلیل برخورداری نسبی از زیرساخت های تکنولوژیکی و نیروی انسانی متخصص، ظرفیت رشد در مقیاس کلان کاملاً قابل توجه است. در مقابل، در زمینه سرامیک های مدرن، هنوز توان لازم برای سرمایه گذاری های کلان و توسعه گسترده در سطح صنعتی به طور کامل فراهم نیست. با این حال، با توجه به افزایش تعداد فارغ التحصیلان این گرایش و همچنین ظرفیت بالای توسعه شرکت های دانش بنیان، زمینه بسیار مناسبی برای رشد سرامیک های پیشرفته در قالب شرکت های نوپا و دانش بنیان وجود دارد.

آینده مواد پیشرفته سرامیکی را در صنایع حساس مانند انرژی، پزشکی و هوافضا چگونه می بینید؟

سرامیک های پیشرفته در طیف بسیار گسترده ای از کاربردها حضور دارند؛ به گونه ای که به سختی می توان صنعتی را نام برد که در بخشی از آن از سرامیک ها استفاده نشده باشند. با این حال، میزان اثرگذاری و آینده دار بودن این مواد در صنایع حساس، به طور مستقیم به میزان بستر سازی صنعتی و زیرساخت های موجود وابسته است.

در حوزه‌هایی مانند هوافضا و صنایع دفاعی، با توجه به نیازهای راهبردی کشور و سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه انجام شده، وضعیت توسعه و به‌کارگیری سرامیک‌های پیشرفته نسبتاً مطلوب است. در مقابل، در صنایعی همچون انرژی و مهندسی پزشکی، اگرچه پژوهش‌های ارزشمند و قابل توجهی در سطوح مختلف دانشگاهی انجام شده، اما این دستاوردها کمتر به مرحله صنعتی‌سازی رسیده‌اند؛ موضوعی که نشان‌دهنده نیاز جدی به بسترسازی هدفمند و سرمایه‌گذاری گسترده‌تر در این حوزه‌هاست.

✓ به نظر شما همکاری صنعت و دانشگاه در حوزه سرامیک تا چه حد مؤثر بوده و چگونه می‌توان آن را تقویت کرد؟

این همکاری‌ها قطعاً مؤثر بوده اما اینکه آیا کافی بوده یا نه، می‌توانم به یقین بگویم که کافی نبوده. به این علت که ارتباط مؤثر بین دانشگاه و صنعت سرامیک هنوز به درستی محقق نشده است اما اینکه چطور می‌توان این را تقویت کرد، قطعاً بسترسازی و ایجاد ارتباط مؤثر بین این نهادها کمک کننده است.

✓ به نظر شما مهم‌ترین کمبودهای علمی یا فناورانه در حوزه سرامیک کشور که نیازمند توجه و اقدام جدی هستند، کدام‌اند؟

با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی و کاهش تعداد دانشجویان در حال تحصیل، همچنین حذف گرایش مهندسی سرامیک در مقطع کارشناسی، و با در نظر گرفتن اهمیت مباحث انرژی در حوزه سرامیک و نیاز این رشته به نیروی انسانی ماهر، این موارد از جمله خلأهایی هستند که نیازمند توجه جدی می‌باشند.

✓ اگر بخواهید مهم‌ترین چالش پیش‌روی صنعت سرامیک ایران را مشخص کنید، کدام مورد را برجسته می‌کنید؟

قطعاً همه عوامل با هم مرتبط و مهم هستند، اما به نظر من افت توان مالی شرکت‌ها و صنایع فعال در این حوزه مهم‌ترین مانع محسوب می‌شود.

✓ ارزیابی شما از کیفیت آموزش دانشگاهی در حوزه سرامیک چیست و چه اصلاحاتی لازم است؟

کیفیت آموزشی در مقاطع ارشد و دکتری بسیار خوب است اما احیای رشته مهندسی سرامیک در مقطع کارشناسی برای تربیت مهندس‌های متخصص در حوزه سرامیک بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا که فارغ‌التحصیلان این رشته در مقطع کارشناسی می‌توانند خیلی از نیازهای صنعت سرامیک را برآورده کنند.

✓ برای جذب دانشجویان با انگیزه به این رشته چه اقداماتی باید انجام شود؟

به نظر من، اطلاع رسانی و آگاهی بخشی را باید از دبیرستان شروع کرد؛ زیرا در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد دانشجویان با گرایش های مهندسی مواد کمابیش آشنایی کاملی دارند و می توانند حوزه تخصصی خود را انتخاب کنند. اما آشنایی دانش آموزان از سال های آخر دبیرستان با مهندسی مواد و گرایش های آن می تواند بسیار مفید واقع شود.

✓ انجمن سرامیک ایران در حال حاضر چه مأموریت های کلیدی را دنبال می کند و مهم ترین اولویت های آن برای سال های آینده چیست؟

یکی از رسالت های انجمن سرامیک ایران، مانند سایر انجمن های علمی، ایجاد پیوند میان آموزش و صنعت است. از این رو، از جمله مأموریت هایی که دنبال کرده و همچنان پیگیری می کنیم، می توان به برقراری ارتباط مؤثرتر با بخش صنعت، شرکت در نمایشگاه های تخصصی سرامیک و برگزاری بوت کمپ های تخصصی این حوزه اشاره کرد. علاوه بر این، تقویت دانشجویان رشته سرامیک که با انجمن در ارتباط هستند و آماده سازی آن ها برای ورود به صنعت، از دیگر فعالیت های بارز انجمن محسوب می شود.

✓ به عنوان یک مدیر و استاد برجسته خانم، وضعیت حضور زنان در حوزه سرامیک را چگونه ارزیابی می کنید و چه راهکاری برای پررنگ تر شدن نقش زنان در مدیریت علمی و صنعتی در این حوزه دارید؟

اگر چند سال پیش این سؤال از من پرسیده می شد، پاسخ من متفاوت بود و وضعیت را چندان مطلوب ارزیابی نمی کردم. اما با افزایش علاقه و ادامه تحصیل خانم های جوان در این رشته و گرایش، به تدریج شاهد افزایش حضور خانم ها در حوزه سرامیک بوده ایم. تنها توصیه ای که به خانم هایی که در این رشته فعالیت می کنند دارم، تقویت خودباوری و تلاش مستمر است. با توجه به پررنگ تر شدن نقش خانم ها در سرامیک، بدون شک در آینده شاهد افزایش حضور آن ها در حوزه های مدیریتی خواهیم بود.

✓ در دوره مدیریت شما چه برنامه های جدیدی برای توسعه فعالیت های انجمن سرامیک ایران تعریف شده است؟

کنگره چینی زرین را برگزار کردیم که هدف آن جذب مخاطبان صنعتی بود و برای اولین بار، نمایشگاه جانبی، کنگره را با استاندارد بسیار بالا برگزار نمودیم. علاوه بر این، تعداد قابل توجه کارگاه های آموزشی برگزار شده توسط انجمن نیز حائز اهمیت است. سال آینده نیز برگزاری مجدد کنگره سرامیک در برنامه انجمن قرار دارد.

پیام یا توصیه شما به دانشجویان و پژوهشگران حوزه سرامیک چیست؟

مطمئن باشند که این رشته را به درستی انتخاب کرده اند. زمینه فعالیت گسترده ای در این رشته فراهم است. همچنین مد نظر داشته باشند که "خود اشتغالی" در این رشته بسیار پررنگ می باشد؛ به این صورت که به راحتی و با داشتن سرمایه ای نه چندان زیاد، می توان اشتغال ایجاد کرد.

راه های ارتباطی با انجمن سرامیک ایران چیست؟

راه های ارتباطی انجمن سرامیک ایران شامل شبکه های اجتماعی تلگرام، اینستاگرام و لینکدین، همچنین وبسایت رسمی انجمن است. دفتر انجمن نیز در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران مستقر می باشد.



@IranianCeramicSociety



@icers.official



Iranian-ceramic-society



www.icers.ir

نویسندگان: تارا شاهوردی (مقطع کارشناسی - دانشگاه صنعتی اصفهان)
فاطمه خراسانی زاده (فارغ التحصیل کارشناسی ارشد - دانشگاه علم و صنعت ایران)



گرافن

کار در کمین آلودگی هوا

نسل تازه حسگرهاست نانویی که می تواند
شهرها را از آلودگی تعریف کند!

قابلیت کلیدی گرافن در اجازه دادن به حسگرها برای عملکرد در دمای اتاق، آن را برای دستگاه‌های قابل حمل و شبکه‌های سنجش توزیع شده‌ای که به دنبال بهینه‌سازی انرژی هستند، ایده‌آل ساخته است.

وقتی گرافن باز عارض می‌گردد

اساس کار حسگرهای شیمی مقاومتی^۱ مانند گرافن و اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا، تغییر مقاومت الکتریکی بر اثر تغییر چگالی حامل‌های بار^۲ است. هنگام برهم‌کنش مولکول‌های گاز با سطح این حسگرها، انتقال بار^۳ سطحی رخ می‌دهد.

با وجود شباهت در اصل عملکرد، اکسیدهای فلزی برای فعالیت بهینه به دماهای بالا نیاز دارند. در این مواد، جذب اکسیژن و تبدیل آن به گونه‌های یونیزه شده روی سطح، انرژی فعال‌سازی بالایی می‌طلبد و واکنش گاز با این گونه‌های سطحی در دمای پایین بسیار کند است. افزون بر این، تحرک حامل‌های بار در ساختار اکسیدهای فلزی در دماهای پایین محدود است و فرآیندهای انتقال بار را تضعیف می‌کند. در مقابل، گرافن به دلیل **تک‌اتمی بودن**، رسانایی بسیار بالا و تراکم حالت پایین، حتی با جذب سطحی ضعیف نیز تغییر قابل توجهی در چگالی حامل‌ها ایجاد می‌کند. از آنجا که اتصال بسیاری از مولکول‌ها به گرافن عمدتاً از نوع فیزیکی^۴ و کم‌انرژی است، این تغییرات بدون نیاز به دماهای بالا رخ می‌دهند.

نفس شهرها در **خطر** است! تهدید فزاینده آلودگی هوا یک چالش حیاتی و چند وجهی برای سلامت عمومی و پایداری محیط زیست در قرن بیست و یکم محسوب می‌شود؛ تا جایی که بر اساس گزارش رسمی سازمان یونسف^۵، آلودگی هوای آزاد و محیط بسته، سالانه منجر به بیش از ۸ میلیون مرگ زودرس در جهان می‌شود. مقابله مؤثر با این بحران سلامت، نیازمند ایجاد سامانه‌های پایش لحظه‌ای و با دقت بالا است. این ضرورت، اهمیت توسعه شهرهای هوشمند و شبکه‌های توزیع شده پایش کیفیت هوا را برجسته می‌سازد؛ سامانه‌هایی که تنها با استفاده از **حسگرهای گاز نسل جدید** که دارای ابعاد کوچک، مصرف انرژی بهینه، و حساسیت بالا هستند، قابل تحقق‌اند.

با این حال، بسیاری از فناوری‌های سنتی سنجش گاز — از جمله حسگرهای مبتنی بر اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا^۶، که به دمای عملیاتی بالا و مصرف انرژی زیاد نیاز دارند، و همچنین حسگرهای مبتنی بر پلیمرهای رسانا که از پایداری حرارتی و رطوبتی مطلوبی برخوردار نیستند — با محدودیت‌های جدی مواجه‌اند و امکان استقرار گسترده آن‌ها در شبکه‌های هوشمند را کاهش می‌دهند.))

اینجاست که گرافن^۷ به عنوان یک ماده کربنی دو بعدی^۸ با خواص مکانیکی و شیمیایی شگفت‌انگیز، مانند: مساحت سطح بالا، انعطاف‌پذیری و رسانایی الکتریکی خارق‌العاده، به عنوان کاندیدای اصلی برای غلبه بر این محدودیت‌ها معرفی می‌شود.

1 UNICEF
2 Metal Oxide Semiconductor (MOS)
3 Gheraphane
4 2D

5 Chemiresistive
6 Charge Carriers
7 Doping
8 Physisorption

در نتیجه، حسگرهای گرافنی برخلاف حسگرهای اکسید فلزی می‌توانند در دمای اتاق با حساسیت بالا عمل کنند.

با این وجود، برای دستیابی به حسگرهای گرافنی با عملکرد بهینه، تنها تکیه بر خواص ذاتی گرافن کافی نیست. چالش‌هایی مانند حساسیت پایین به برخی گازها، گزینش‌پذیری^۹ پایین و زمان پاسخ طولانی، پژوهشگران را به سوی **هیبریدسازی**^{۱۰} گرافن با نانومواد دیگر سوق داده است. این رویکرد که در تحقیقات اخیر برجسته شده، امکان ترکیب ویژگی‌های گرافن و نانومواد را فراهم می‌کند و حسگرهایی کارآمدتر برای پالایش کیفیت هوا در شهرهای هوشمند می‌سازد.

مهندسی گزینش‌پذیری در عصر گرافن: از عامل دار کردن تا معماری دو بعدی که مرزها و حسگر را جابه‌جا می‌کند:

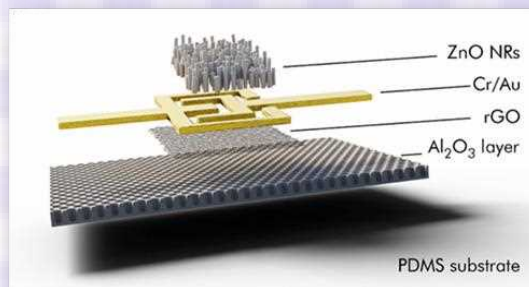
بسیاری از پژوهشگران، مواد هیبریدی را به‌عنوان راهکاری امیدبخش برای توسعه حسگرهای گازی با حساسیت بالا، مصرف توان پایین و پایداری عملکرد در دمای محیط مطرح می‌کنند. در این رویکرد، مزیت‌های دو حوزه در مقیاس نانو در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و یک اثر هم‌افزایی^{۱۱} شکل می‌گیرد: از یک سو رسانایی چشمگیر مواد کربنی دو بعدی، و از سوی دیگر گزینش‌پذیری نانومواد مبتنی بر فلزات، نیمه‌رساناها یا ترکیبات آلی.

معماری دو بعدی: ترکیب ایده آل خواص و عملکرد در دنیا و مواد

در ترکیب گرافن با نانو مواد، نانو ماده جذب شده روی سطح گرافن با تعامل خاص با اجزای گاز، به‌عنوان یک واسطه عمل می‌کند و اطلاعات مربوط به ترکیب گاز را جمع‌آوری کرده و سیگنال حسگر را تقویت می‌کند. این ترکیب نسبت سطح به جرم بالایی ایجاد می‌کند که مکان‌های اتصال بیشتری فراهم کرده و گزینش‌پذیری را بهبود می‌بخشد.

در عمل، هیبرید سازی^{۱۲} دو بعدی، یعنی ترکیب گرافن با دیگر مواد نانویی دو بعدی، مانند TMDCs، مزایای چشم‌گیری نشان داده است. این ساختارها از طریق **اثرهای هندسی** (جلوگیری از انباشت لایه‌ها و افزایش سطح فعال)، **اثر الکتریکی** (انتقال بار بهتر) و **اثر شیمیایی** (کاتالیز واکنش‌ها) گزینش‌پذیری را ارتقا می‌دهند.

به‌عنوان مثال، حسگرهای مبتنی بر ترکیب گرافن ناقص/گرافن خالص^{۱۳} در دمای اتاق قادر هستند، ۱۰۰ppm نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) — غلظتی که در ترافیک سنگین شهری رایج است — را با تغییر مقاومت ۲۴۸٪ شناسایی کنند. این هیبریدها، چالش گزینش‌پذیری محدود گرافن خالص را برطرف کرده و پایداری حسگر را در محیط‌های مرطوب به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند.



«شماتیک ترکیب rGO با ZnO NR»

9 Selectivity

10 Hybridization

11 Synergistic Effect

12 Transition Metal Dichalcogenides

13 Defective Graphene / Pristine Graphene Hybrid

باز کردن از مسیر پیدما: مکانیسم ها

کلید در عملکرد نانومواد ترکیبی



«حسگر انعطاف پذیر گرافن»

حسگرهای سنتی که بر بسترهای صلب و شکننده مانند: **سیلیکون**^{۱۴} ساخته می‌شوند، برای یکپارچه‌سازی در محیط‌های شهری، سطوح نامنظم، یا زیرساخت‌های پوشیدنی مناسب نیستند. اینجاست که مزایای مکانیکی گرافن وارد میدان می‌شود. گرافن، فراتر از خواص الکتریکی، یک ماده ذاتاً انعطاف‌پذیر با پایداری ساختاری و مکانیکی بالا است. این ویژگی‌ها امکان توسعه نسل جدیدی از حسگرهای سبک، منعطف و پوشیدنی را فراهم می‌کند که می‌توانند بدون کاهش عملکرد، تحت خمش یا کشش قرار گیرند.

نانه‌الیاف: معماری ایده آل برای نسل نهمین

حسگرها

یکی از امیدوارکننده‌ترین رویکردها برای بهره‌برداری همزمان از مزایای مکانیکی و شیمیایی گرافن، تبدیل آن از یک صفحه دوبعدی به یک ساختار فیبری است. مواد فیبری مبتنی بر گرافن، به دلیل برخورداری از مساحت سطح عظیم، مزایای متعددی را ارائه می‌دهند. این ساختارها نه تنها انعطاف‌پذیری لازم برای دستگاه‌های پوشیدنی را فراهم می‌کنند، بلکه با ایجاد یک **شبکه متخلخل** سه بعدی، نفوذ مولکول‌های گاز به مراکز فعال را به شدت تسهیل کرده و عملکرد حسگر را ارتقا می‌دهند.

یکی از مکانیسم‌های کلیدی نیز، تشکیل سد پتانسیل^{۱۴} در محل اتصال گرافن با نانو مواد است. این ساختارها، که پیوند **هتروجانکشن**^{۱۵} نامیده می‌شوند، می‌توانند سدهای شاتکی^{۱۶} بین گرافن—که نیمه فلز است— و یک نیمه‌رسانای دیگر ایجاد کنند.

این سد مانند یک دروازه الکترونیکی عمل کرده و انتقال بار را برای گازهای خاص تنظیم می‌کند. به‌عنوان مثال، در ترکیب گرافن با فلزاتی مانند سرب^{۱۷} یا پلاتین^{۱۸}، گازهای اکسیدکننده مثل NO₂ به راحتی عبور کرده و سیگنال قوی ایجاد می‌کنند، در حالی که گازهای احیاکننده مانند CO مسدود می‌شوند. علاوه بر این، کاتالیز شیمیایی سطحی با کمک نانوذرات فلزی مانند سرب یا پلاتین، واکنش گازها را به‌طور مؤثری تسریع می‌کند. این نانوذرات به‌عنوان مراکز کاتالیستی عمل کرده و گزینش‌پذیری را نسبت به گازهای خاص مانند H₂، CO و NO₂ به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند. حسگرهای هیبریدی می‌توانند بر روی سطوح شهری—مانند ساختمان‌ها، خودروها یا حتی لباس‌های شهروندان— نصب شده و داده‌های لحظه‌ای از آلاینده‌هایی مانند NO₂ و CO جمع‌آوری کنند. ادغام این حسگرها با هوش مصنوعی، امکان تحلیل هوشمند الگوهای آلودگی و اتخاذ تصمیمات دقیق برای مدیریت پایدار کیفیت هوا در شهرهای هوشمند را فراهم می‌آورد.

از آزمایشگاه تا خیابان: مسیر تحول حسگرها

فیبر از انعطاف‌پذیر تا تولید انبوه

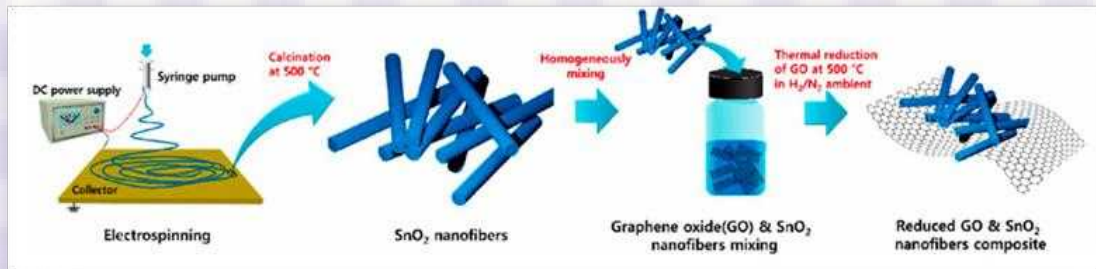
در حالی که معماری نانویی دو بعدی، چالش گزینش‌پذیری را در مقیاس آزمایشگاهی حل می‌کند، استقرار گسترده این حسگرها در یک شهر هوشمند نیازمند غلبه بر یک مانع مهندسی دیگر است؛ شکل‌پذیری^{۱۹}.

14 Potential Barrier
15 Heterojunction
16 Shottky
17 plumbum

18 Platinum
19 Form Factor
22 Silicone
21 Fibrous Structure

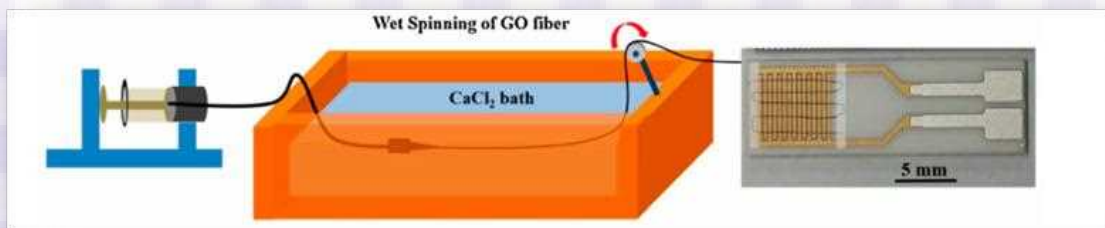
تولید انبوه نانوالیاف زیر ذره بین: Electro-Spining یا Wet-Spinning^{۲۲}

برای آنکه این حسگرها از آزمایشگاه خارج شده و به تولید انبوه برسند، روش ساخت اهمیت کلیدی دارد. در حال حاضر، الکتروریسی^{۲۳} یکی از محبوبترین روشها برای تولید نانوالیاف کامپوزیتی گرافن است. این تکنیک به دلیل سادگی، مقرون به صرفه بودن و قابلیت کنترل دقیق قطرالیاف، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، **الکتروریسی** با چالشهایی نظیر نرخ تولید آهسته و مشکلات مربوط به حفظ یکنواختی در مقیاس صنعتی مواجه است که تجاری سازی آن را دشوار می سازد.



← «تولید نانوفیبرهای کامپوزیتی (SnO₂ و rGO)»

در مقابل، وت-اسپینینگ^{۲۴} یا ریسندگی مرطوب، به عنوان یک تکنیک نوظهور و بسیار کارآمد برای تولید صنعتی فیبرهای گرافنی مطرح شده است. در این فرآیند، یک **سوسپانسیون**^{۲۵} غلیظ و یکنواخت از ورقه های اکسید گرافن (GO) مستقیماً به درون یک حمام شیمیایی تزریق می شود. برهم کنش شیمیایی فوری باعث می شود ورقه های نانویی گرافن به سرعت به یکدیگر متصل شده و از فاز مایع به یک لیف جامد^{۲۶} و پیوسته منعقد شوند. مزیت کلیدی این روش، توانایی تولید فیبرهای ماکروسکوپی و پیوسته به صورت مداوم است که به دلیل مقیاس پذیری آسان تر، مسیر تولید انبوه حسگرهای فیبری را هموار می سازد.



← «شماتیک وت اسپینینگ»

پایش محیطی پیشین: حسگرهای تعبیه شده در تارهای پلیمری ساخت ما^{۲۷}

ترکیب دو نوآوری هیبریدهای گزینش پذیر و فیبرهای انعطاف پذیر منجر به خلق منسوجات الکترونیکی^{۲۸} می شود. تحقیقات نشان داده اند که پوشش دهی نخ های تجاری (مانند نخ پنبه، پلی استر یا حتی نخ های الاستیک) با کامپوزیت های اکسید گرافن کاهش یافته و MoS₂، حسگرهایی ایجاد می کند که می توانند مستقیماً در پارچه بافته شوند. این حسگرهای نساجی قادرند گازهایی مانند NO₂ را حتی در حالت کشیدگی تا ۲۰٪ با حساسیت بالا تشخیص دهند.

این پیشرفت، چشم‌انداز آینده شهرهای هوشمند را ترسیم می‌کند: جایی که حسگرهای پایش کیفیت هوا دیگر ابزارهای جداگانه‌ای نیستند، بلکه بخشی نامرئی از لباس شهروندان، پرده‌های ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری خواند بود.



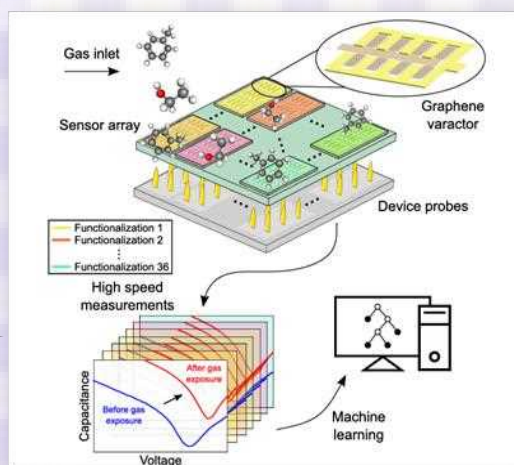
«شبكة ZnO و rGO بافته شده در لباس»

هوشمندسازی شبکه: غلبه بر چالش‌های محیطی با AI و E-Nose^{۲۹}

حسگرهای گرافنی که اکنون کم مصرف، گزینش‌پذیر، انعطاف‌پذیر و قابل تولید انبوه هستند، بلوک‌های سازنده ایده‌آل برای شبکه‌های پایش توزیع‌شده^{۳۰} محسوب می‌شوند. با این حال، استقرار این حسگرها در یک محیط واقعی شهری چالش جدیدی را در سطح سیستم ایجاد می‌کند: پیچیدگی داده‌ها.

در دنیای واقعی، حسگرها با یک گاز خالص مواجه نیستند، بلکه با ترکیبی پیچیده از آلاینده‌ها و بخارات آلی^{۳۱} و مهم‌تر از آن، با عوامل مخدوش‌کننده فیزیکی^{۳۲} مواجه‌اند. تغییرات مداوم رطوبت و دما در محیط، می‌تواند پاسخ الکتریکی حسگرها را به شدت تحت تاثیر قرار داده و منجر به حساسیت متقابل^{۳۳} شود؛ پدیده‌ای که در آن، سیگنال ناشی از تغییر رطوبت با سیگنال گاز هدف مانند: NO₂، تداخل می‌کند و قابلیت اطمینان داده‌ها را از بین می‌برد.

« شماتیک هوشمندسازی شبکه »



29 Electronic Nose

30 Distributes Sensor Networks

31 Volatile Organic Compounds- VOCs

32 Physical Confounding Factors

33 Cross-Sensitivity

راه حل این چالش، نه در سطح ماده، بلکه در سطح پردازش داده نفهته است. اینجاست که حسگرهای منفرد به یک سیستم هوشمند به نام بینی الکترونیکی^{۳۴} تبدیل می‌شوند. این بینی، مجموعه‌ای از آرایه‌های حسگری است که هر حسگر، یک عنصر گرافنی است که با یک عامل شیمیایی متفاوت (مانند: هیبریدهای مختلف) پوشش داده شده است. به این ترتیب، هر حسگر پاسخ متفاوتی به گازهای محیطی می‌دهد و یک الگوی سیگنالی یا اثر انگشتی برای بو^{۳۵} ایجاد می‌کند که حاوی اطلاعات پیچیده‌ای از ترکیب گاز است.

در این مرحله، هوش مصنوعی^{۳۶} و یادگیری ماشین^{۳۷} وارد عمل می‌شوند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین دو وظیفه حیاتی را انجام می‌دهند:

۱. جبران‌سازی^{۳۸}: هوش مصنوعی به عنوان یک استراتژی جبران عمل کرده و الگوی ناشی از تغییرات رطوبت و دما را از سیگنال اصلی فیلتر می‌کند.
۲. تشخیص الگو: الگوریتم با تحلیل اثر انگشت پیچیده آرایه، می‌تواند بین چندین گاز مختلف با ساختار شیمیایی بسیار شبیه، تمایز قائل شود.



((تصویر ساخته شده با هوش مصنوعی از هوشمندسازی شبکه و غلبه بر چالش‌های محیطی با AI و E-Nose))

مطالعات نشان داده‌اند که این رویکرد، یعنی ترکیب آرایه‌های حسگر گرافنی با هوش مصنوعی، می‌تواند به دقت طبقه‌بندی خیره‌کننده ۸۹٪ تا ۹۸٪ در تشخیص ترکیبات آلی فرار مختلف، حتی در غلظت‌های متفاوت، دست یابد.

این یکپارچه‌سازی سیستماتیک، گزینش‌پذیری را از سطح یک حسگر واحد، به سطح یک شبکه هوشمند ارتقا داده و مسیر تحقق پایش لحظه‌ای و دقیق کیفیت هوا در شهرهای هوشمند را هموار می‌سازد.

گرافن، با قابلیت‌های کم‌مصرف خود، نقطه آغازین انقلاب در پایش محیطی بود و حسگرها را از محدودیت‌های حرارتی فناوری‌های سنتی آزاد کرد. نوآوری در **نانوهیبریدها**، چالش‌های بنیادین گزینش‌پذیری و سرعت پاسخ را به کمک مکانیسم‌هایی چون سد پتانسیل مرتفع ساخت. این دستاوردهای فنی، با شکل‌پذیری فیبری انعطاف‌پذیر، برای تولید انبوه و ادغام نامحسوس در زیرساخت‌ها آماده شدند. پیوند این حسگرهای نسل جدید با هوش مصنوعی و بینی الکترونیکی، امکان رمزگشایی دقیق از پیچیده‌ترین الگوهای آلودگی و جبران عوامل مخدوش‌کننده محیطی را فراهم آورد. این هم‌افزایی، افق پایش لحظه‌ای کیفیت هوا را برای تحقق کامل شهرهای هوشمند، روشن می‌سازد.

ابرخازن‌ها و گرافنی

نیرو محرکه وسایل نقلیه فردا

Supercapacitors



ابرخازن‌ها

ابرخازن

ابرخازن یک وسیله‌ی الکتروشیمیایی است که از دو الکتروود با منافذ بسیار ریز تشکیل می‌شود. این الکتروودها معمولاً از کربن فعال شده تشکیل شده‌اند و در محلول الکترولیت غوطه‌ور هستند و بار الکتریکی را به صورت الکترواستاتیک^۳ ذخیره می‌کنند. این آرایش، دو خازن کارآمد ایجاد می‌کند که هر یک روی یکی از الکتروودهای کربنی قرار گرفته و در نهایت به صورت سری به یکدیگر متصل می‌شوند.

ابرخازن‌هایی با ظرفیت صد ها فاراد در ابعاد بسیار کوچک ساخته شده‌اند که می‌توانند چگالی انرژی بسیار بالاتری نسبت به باتری‌ها فراهم کنند. با این حال، ولتاژ نامی هر ابرخازن، در حدود ۳ ولت است که مقدار نسبتاً کمی محسوب می‌شود. به همین دلیل، برای دستیابی به ولتاژهای بالاتر، لازم است چندین ابرخازن به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل شوند تا ولتاژ و ظرفیت مفید مورد نیاز فراهم گردد.

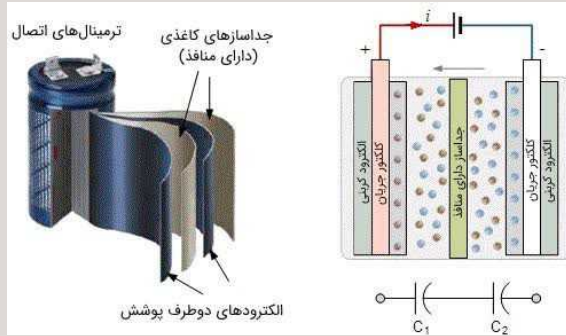
وسایل نقلیه برقی^۱، به عنوان ستون فقرات سامانه‌های حمل‌ونقل پایدار در آینده، به شدت به سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی نیاز دارند که از قابلیت شارژ سریع، طول عمر بالا و چگالی توان چشمگیر برخوردار باشند. اگرچه باتری‌های لیتیوم-یون در حال حاضر فناوری غالب به شمار می‌روند، اما همچنان با محدودیت‌هایی در سرعت شارژ و تعداد چرخه‌های شارژ و دشارژ آن مواجه‌اند. ابرخازن‌ها^۲، به ویژه انواع مبتنی بر گرافن، خواص الکتریکی برجسته و مکانیسم مؤثر ذخیره‌سازی بار سطحی در گرافن، آن را به گزینه‌ای نوید بخش برای بهبود کارایی سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی تبدیل می‌کند. این مقاله به بررسی ساختار، سازو کار عملکرد و چالش‌های بنیادین ابرخازن‌های گرافنی در کاربردهای مرتبط با وسایل نقلیه برقی نسل آینده می‌پردازد و ظرفیت آن‌ها را به عنوان فناوری مکمل یا حتی جایگزین باتری‌ها تبیین می‌کند.



یک خودروی اسپرت برقی، در حال شتاب‌گیری. این تصویر، نشان‌دهنده چگالی توان بالا و همچنین شارژ و دشارژ بسیار سریع است.

1 EVs
2 Supercapacitors
3 Electrostatics

ابرخازن‌ها می‌توانند به‌عنوان وسایل ذخیره‌سازی انرژی مشابه باتری‌ها مورد استفاده قرار گیرند؛ با این تفاوت که ابرخازن‌ها قادر به ارائه چگالی توان بسیار بالاتر در بازه‌های زمانی کوتاه در مقایسه با باتری‌ها هستند. این ویژگی سبب شده است که در بسیاری از خودروهای هیبریدی^۴ و همچنین خودروهای الکتریکی^۵ مجهز به سلول سوختی^۶، از آن‌ها استفاده شود. زیرا امکان تخلیه سریع انرژی در ولتاژهای بالا و سپس شارژ مجدد سریع را فراهم می‌کنند. در نتیجه، به‌کارگیری ابرخازن‌ها در کنار سلول‌های سوختی و باتری‌ها کمک می‌کند تا اوج تقاضای توان و تغییرات ناگهانی بار، با کارایی و کنترل‌پذیری بیشتری مدیریت شود.

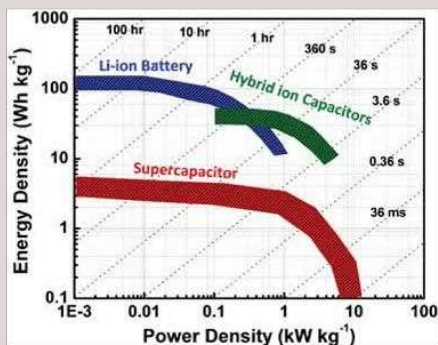


باتری استوانه‌ای: ساختار داخلی باتری لیتیومی ترمینال‌ها، جدا سازهای عایق دار و الکترودهای پوشش دار برای ذخیره‌سازی پایدار انرژی
 طرح شماتیک ابرخازن: الکترودهای مثبت و منفی با الکترولیت مایع، آماده پاسخ‌گویی سریع به تغییرات توان

نیاز به نسل جدید ذخیره‌سازها انرژی

انتقال جهانی به سمت وسایل نقلیه برقی نه تنها یک تغییر در فناوری حمل و نقل است، بلکه یک دگرگونی اساسی در معماری سیستم‌های مدیریت انرژی مورد نیاز است. در حال حاضر، باتری‌های لیتیوم-یون^۷، استاندارد طلایی هستند، اما در کاربردهای دینامیک بالا مانند شتاب‌گیری‌های قوی یا ترمز احیاکننده^۸ در وسایل برقی نسل آینده، با محدودیت‌های ذاتی مواجه می‌شوند.

این محدودیت‌ها عمدتاً ناشی از مکانیسم ذخیره‌سازی مبتنی بر نفوذ یون‌ها هستند که منجر به کندی در نرخ شارژ و دشارژ، چگالی توان پایین و تخریب ساختاری پس از چند چرخه می‌شوند. ابرخازن‌ها که عمدتاً بر مکانیزم الکترواستاتیک و ذخیره‌سازی بار در سطح مشترک الکتروکترولیت کار می‌کنند، چگالی توان بسیار بالاتری نسبت به باتری‌ها ارائه می‌دهند. با این حال، چگالی انرژی پایین تاریخی آن‌ها، کاربردشان را به سیستم‌هایی با نیاز به توان بالا و کوتاه‌مدت، مانند تثبیت‌کننده‌های ولتاژ، محدود کرده است.



هدف: (نشان دادن تقابل باتری و ابرخازن)
 نمودار رگونی^۹ که چگالی انرژی در مقابل چگالی توان را نشان می‌دهد.

	Li-ion Battery (LIB)	Supercapacitor (SC)	Hybrid ion capacitor (HIC)
Storage Mechanism	Chemical	Physical	Chemical + Physical
Internal Resistance	High	Low	Medium
Minimum Operating Voltage (V _{min})	2.5	0	2.2
Maximum Rated Voltage (V _{max})	4.1 - 4.3	2.3 - 3.0	3.8
Specific Energy (Wh kg ⁻¹)	75 - 250	2.5 - 15	10 - 100
Specific Power (W kg ⁻¹)	150 - 315	500 - 10,000	300 - 5000
Cycle Life	1000 - 10000	100,000 - 1,000,000	10000 - 100,000
Operating Temperature Range	-20 - 60°C	-40 - 70°C	-25 - 85°C
Self-discharge	Very Low (0.1 - 0.3 % Energy/day)	Very High (20 - 40 % Energy/day)	Low
Safety	Safety consideration required	Highly Safety	Highly Safety

اما ظهور نانو مواد کربنی، به ویژه گرافن، این معادله را تغییر داده است. گرافن، یک لایه منفرد از اتم‌های کربن با ساختار لانه زنبوری، دارای سطح ویژه تئوری بسیار بالا، حدود تحرک الکترونی فوق العاده و پایداری شیمیایی و مکانیکی عالی است. ترکیب این ویژگی‌ها با اصول ابرخازن، مسیر را برای توسعه ابرخازن‌های گرافنی^{۱۰} با چگالی انرژی قابل رقابت با باتری‌ها و حفظ چگالی توان بسیار بالا هموار ساخته است.

4 Hybrid Vehicle
 5 Electric Vehicle
 6 Fuel Cell

7 LIBs
 8 Braking Regenerative
 9 Ragone Plot

10 GSCs - Supercapacitors based-Graphene

چالش‌های ساختار: پشته‌شدگی^{۱۶}

بزرگترین مانع در استفاده از پتانسیل کامل گرافن، تمایل قوی ذاتی آن به تجمع و پشته شدن به دلیل نیروهای قوی واندروالسی^{۱۷} بین لایه‌های گرافن است. به این صورت که، هنگامی که لایه‌ها روی هم قرار می‌گیرند، سطح فعال قابل دسترس برای الکترولیت به شدت کاهش یافته و ساختار متراکم می‌شود که منجر به کاهش شدید ظرفیت و افزایش مقاومت داخلی می‌شود.

راهکارهای مقابله با پشته‌شدگی:

■ **استفاده از واسطه‌ها:** قرار دادن نانو ذرات اکسید فلزی یا نانو ذرات کربنی دیگر مانند نانو لوله‌های کربنی یا کربن فعال بین لایه‌های گرافن. این واسطه‌ها مانند ستون عمل کرده و فاصله بین لایه‌ها را حفظ می‌کنند و ساختارهای منظم سه بعدی ایجاد می‌کنند.

■ **سنتر گرافن اکسید کاهش یافته** به شکل شبکه‌های متخلخل سه بعدی، مانند هواژل‌ها یا فوم‌ها، که ساختار اولیه خود را به صورت ذاتی حفظ می‌کنند و مسیرهای طولانی و بدون مانع برای نفوذ الکترولیت فراهم می‌آورند.

■ **گرافن نانوریبون:** این ساختارها که دارای لبه‌های تعریف شده هستند، می‌توانند از پشته شدن کامل جلوگیری کرده و رفتارهای شبه خازنی در لبه‌ها ایجاد کنند که ظرفیت را افزایش می‌دهد.

عملکرد در وسایل نقلیه برقی

سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی در وسایل نقلیه برقی باید قادر باشند انرژی کافی برای رسیدن به برد مناسب را ذخیره کنند و در عین حال توان لازم برای شتاب‌گیری و بازیابی انرژی را به سرعت تأمین یا جذب نمایند. ابرخازن‌های گرافنی در محور چگالی توان، عملکرد فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهند.

مبانی نظریه ابرخازن‌های گرافنی

ابرخازن‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: خازن‌های دولایه الکتریکی^{۱۱} و خازن‌های کاذب^{۱۲}. ابرخازن‌های گرافنی عمدتاً بر پایه مکانیسم EDLC^{۱۳} کار می‌کنند؛ جایی که ذخیره انرژی از طریق تجمع یون‌های الکترولیت در لایه‌های سطحی الکتروود کربنی انجام می‌شود.

نقش گرافن در الکتروودها

گرافن به دلیل پتانسیل ذاتی برای ارائه بالاترین سطح ویژه در میان تمام مواد کربنی، ماده ایده آل برای به حداکثر رساندن در فرمول فوق است. مزایای ساختاری گرافن عبارت است از:

۱. **سطح ویژه بالا:** امکان تعامل حداکثری بین یون‌های الکترولیت و سطح الکتروود
۲. **رسانایی الکتریکی عالی:** مسیرهای هدایت کوتاه‌تر و کارآمدتر برای انتقال الکترون‌ها، که به طور مستقیم انعطاف‌پذیری ساختاری گرافن را به چگالی توان بالا تبدیل می‌کنند.
۳. **توانایی تبدیل به شکل‌های ۳ بعدی:** میتوان آن را به اشکال سه بعدی (مانند هواژل‌ها^{۱۴} یا فوم‌ها) مهندسی کرد که مسیرهای نفوذ یون را بهبود می‌بخشند و از نفوذ عمقی الکترولیت پشتیبانی می‌کنند. با این حال، یک الکتروود ایده آل مبتنی بر گرافن باید رسانایی الکترون‌ها را از طریق شبکه حفظ کند و هم‌زمان نفوذ یون‌ها را تسهیل نماید. این الزامات، توسعه ساختارهای پیچیده‌ای مانند گرافن متخلخل یا نانوریبون‌های گرافنی^{۱۵} را به دنبال داشته است.



تصویر شماتیک ساختار گرافن (شبکه شش ضلعی)

11 EDLC

12 Pseudocapacitors

13 Electrochemical Double Layer Capacitor (an energy storage system based on electrostatic effects that occur between two carbon electrodes with high specific surface areas per volume, e.g. activated carbons)

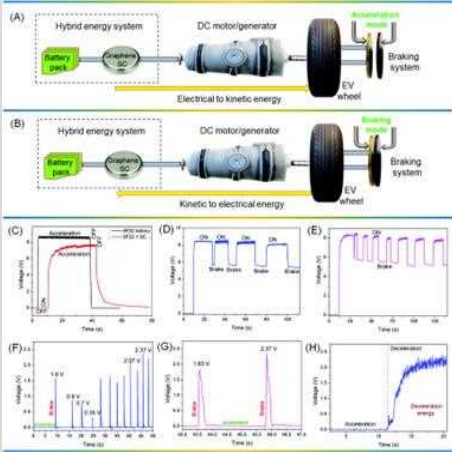
14 Aerogel

15 Graphene Nanoribbons (GNRs)

16 Stacking

17 Van der Waals force

ترمزگیری احیاکننده یک فرآیند دینامیک است که طی آن انرژی جنبشی خودرو هنگام کاهش سرعت به انرژی الکتریکی تبدیل شده و به سیستم ذخیره‌سازی بازگردانده می‌شود. این فرآیند نیازمند نرخ شارژ بسیار بالا است، که باتری‌های سنتی به دلیل خطر تخریب ناشی از جریان بیش از حد قادر به مدیریت آن در مدت زمان طولانی نیستند. در این میان، ابرخازن‌های گرافنی به دلیل سطح ویژه عظیم و رسانایی الکترونیکی عالی قادرند جریان‌های بسیار بالا را برای مدت زمان کوتاه جذب کرده و بازدهی بالایی در ترمز احیاکننده ارائه دهند.



بصری‌سازی نحوه بازیابی سریع انرژی

چالش‌های فنی و مسیرهای تحقیقاتی آینده

علی‌رغم پتانسیل اثبات شده، انتقال ابرخازن‌های گرافنی از آزمایشگاه به تولید انبوه در مقیاس وسایل نقلیه برقی با موانع متعددی روبرو است:

۱. دستیابی به چگالی انرژی قابل رقابت:

برای جایگزینی کامل باتری‌های لیتیوم-یونی، ابرخازن‌های گرافنی باید چگالی انرژی خود را به سطحی نزدیک به مقادیر این باتری‌ها افزایش دهند. در مقایسه با مقادیر فعلی ابرخازن‌های کربنی، این هدف مستلزم استفاده از:

■ **الکترولیت‌های پیشرفته:** گذار از الکترولیت‌های آبی یا آلی به الکترولیت‌هایی با ولتاژ کاری گسترده، مانند سیستم‌های مبتنی بر نمک‌های مذاب یا الکترولیت‌های جامد نازک‌لایه، که امکان دستیابی به ولتاژ عملیاتی بالاتر را فراهم می‌آورند.

■ **توسعه ابرخازن‌های هیبریدی:** این‌ها ترکیبی از مواد فعال با خواص شبه‌خازنی، مانند اکسیدهای فلزی یا پلیمرهای رسانا، با ساختار گرافنی هستند که موجب افزایش چگالی انرژی با کاهش اندک چگالی توان می‌شوند.

۲. **فرآیند تولید مقیاس پذیر و مقرون به صرفه:** سنتز گرافن خالص با لایه‌های کم و ساختار باز به منظور جلوگیری از پشته‌شدگی، فرآیندی پرهزینه است، مانند روش‌های رسوب‌دهی شیمیایی از فاز بخار یا سنتز شیمیایی دقیق هواژل. توسعه روش‌هایی مانند اکسیداسیون شیمیایی در مقیاس بزرگ و رسوب‌دهی الکتروشیمیایی کنترل‌شده برای کاهش هزینه نهایی مواد الکتروود، امری حیاتی به شمار می‌رود.

۳. **مهندسی رابط:** بهبود انتقال یون‌ها در مرز بین ساختار گرافنی و الکترولیت امری ضروری است. بنابراین، تحقیقات باید بر اصلاح شیمیایی سطح گرافن با اتم‌های نیتروژن یا بور متمرکز شوند. این فرآیند می‌تواند خواص الکترواستاتیکی سطح را تغییر داده و ظرفیت شبه‌خازنی جزئی را از طریق جابجایی بار القا شده افزایش دهد.

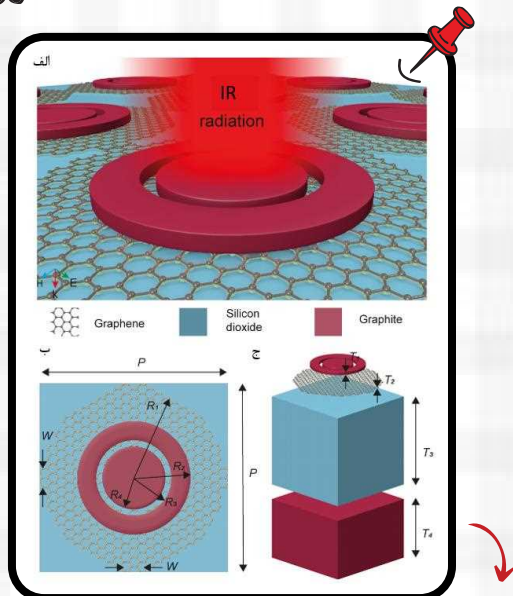
نتیجه‌گیری

ابرخازن‌های گرافنی به‌عنوان یک فناوری ذخیره‌سازی انرژی با پتانسیل عظیم، به ویژه برای تأمین توان پیک و افزایش پایداری چرخ‌ها در وسایل نقلیه برقی ظهور کرده‌اند. رسانایی الکتریکی برتر و سطح ویژه نظری بالای گرافن، آن‌ها را به جایگزینی ایده‌آل برای بهبود بازیابی انرژی در ترمز احیاکننده تبدیل می‌کند. چالش اصلی در حال حاضر، غلبه بر مشکل پشته‌شدگی به منظور آزادسازی کامل پتانسیل سطح و افزایش چگالی انرژی تا سطوح قابل قبول برای برد بلند است. با پیشرفت در مهندسی ساختار سه‌بعدی گرافن، توسعه الکترولیت‌های با ولتاژ بالا و ادغام موفقیت‌آمیز در سیستم‌های هیبریدی ذخیره‌سازی انرژی، ابرخازن‌های گرافنی نقش محوری در شکل‌دهی به معماری توان‌رسانی کارآمد و با دوام وسایل نقلیه برقی در دهه‌های آینده ایفا خواهند کرد.

سطح حرارتی

چگونه مواد کربنی مواد رسانا نامرئی می‌کنند؟

مواد مبتنی بر کربن و شاخص‌های عملکردشان در طیف‌های مختلف همواره از مواد معمولی برتر بوده‌اند. شواهد حاکی از آن است که ابعاد ساختاری ماده نقش کلیدی در تطابق بهینه با کاربرد دارد؛ نانولوله‌های کربنی یک‌بعدی برابر کمتر از Au-black در گستره‌ی فرابنفش تا مادون قرمز را فراهم می‌کنند؛ نانولوله‌های کربنی (WCNT) قابلیت‌های تحریک‌پذیر سامانه‌های گسیلندگی با دامنه‌ی تنظیم ۰٫۴۵۳ تا ۰٫۸۳۳ دارد؛ و ساختارهای سه‌بعدی سلسله‌مراتبی همزمان نور مرئی با جذب بیش از ۹۹٫۶ درصد و جذب مادون قرمز در بازه‌ی ۹۷٫۵ تا ۹۹٫۶ درصد را تضمین می‌کنند. برای مدیریت حرارتی، کامپوزیت‌های مبتنی بر کربن توانسته‌اند کاهش دما تا ۶۶ درجه سلسیوس در پلتفرم‌های حرارتی با دمای عملیاتی ۱۹۰ درجه سلسیوس فراهم آورند و در عین حال رسانایی حرارتی بسیار پایین ۰٫۰۱۸ وات بر متر-کلوین را حفظ کنند.

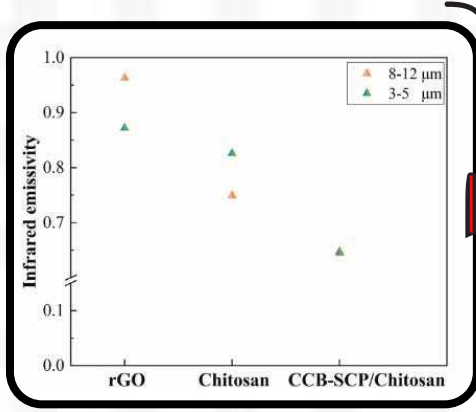


نمودار شماتیک ساختار جاذب پهن باند (الف) ساختار سه‌بعدی، (ب) نمای بالایی یک سلول واحد، و (ج) نمودار تفکیک شده‌ی یک سلول واحد.

استتار مادون قرمز برای سامانه‌های هوانوردی به این دلیل حیاتی است که امروزه بیش از ۷۰ درصد سامانه‌های کشف و ردیابی در پلتفرم‌های پدافندی و هوافضایی بر پایه شناسایی اثرات حرارتی عمل می‌کنند. موتورهای جت، آگوز داغ، اصطکاک آیرودینامیکی و حتی الکترونیک داخلی، یک نشانه حرارتی قابل تشخیص تولید می‌کنند که حسگرهای IR، دوربین‌های حرارتی و جستجوگرهای موشک‌های هدایت حرارتی آن را از فاصله‌های چندین کیلومتری تشخیص می‌دهند. کاهش یا پنهان‌سازی این تابش مادون قرمز، نه تنها احتمال کشف و قفل راداری-اپتیکی را به طور چشمگیری کم می‌کند، بلکه زمان واکنش، بقاپذیری و توان عملیاتی هواگرد را نیز افزایش می‌دهد. به همین دلیل، توسعه‌ی مواد جاذب IR با وزن کم، پاسخ‌گستره‌ی وسیع و توان جذب بالا به یکی از محورهای کلیدی در فناوری‌های نوین پنهان‌کاری حرارتی تبدیل شده است. مواد مبتنی بر کربن دارای پتانسیل بالا برای جذب امواج مادون قرمز در زمینه‌های مدیریت حرارتی و پوشش‌دهی الکترومغناطیسی هستند؛ این مواد قادر به جذب بیش از ۹۵ درصد امواج و رسانایی حرارتی تا ۰٫۰۱۸ وات بر متر-کلوین (W/m.K) می‌باشند. بعد ساختاری مواد مانند نانولوله‌های یک‌بعدی برای پوشش‌های الکترومغناطیسی، گرافن دوبعدی برای گسیلندگی قابل تنظیم، و ساختارهای سه‌بعدی سلسله‌مراتبی برای جذب پهن باند چندطیفی تعیین می‌کند که این مواد چگونه به بهترین شکل با کاربردهای موردنظر سازگار شوند. با این حال، هنوز هم پیدا کردن راهی برای به کارگیری همزمان چند عملکرد در یک سامانه‌ی واحد، چالشی بزرگ باقی مانده است.

مزیت‌های اصلی که پشتیبانی‌کننده تجاری‌سازی هستند، شامل چگالی کم (۰٫۶۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، مواد اولیه اقتصادی مانند **سوکروز و کیتوزان**، و روش‌های ساخت سریع مانند سنتز مادون قرمز و فناوری‌های پلازما است که امکان یکپارچه‌سازی روی بسترهای انعطاف‌پذیر را فراهم می‌آورد. با این حال، همزمان دستیابی به ظرفیت حفاظت الکترومغناطیسی و استتار مادون قرمز در فیلم‌های تک‌جزئی هنوز چالش برانگیز است، زیرا میان‌رسانایی و جذب مادون قرمز نوعی تبادلاتی وجود دارد و ظاهر سیاه رنگ ذاتی مواد کربنی کاربردهای استتار در طیف مرئی را بدون نیاز به پوشش‌های اضافی محدود می‌کند. این محدودیت‌ها با مهندسی نقص، ساخت کامپوزیت‌های نانوذرات فلزی، و طراحی ساختاری سلسله‌مراتبی در حال برطرف شدن هستند و مواد مبتنی بر کربن را به نامزدهای برتر برای کاربردهای جذب چندطیفی در زمینه‌های پنهان‌کاری نظامی، مدیریت حرارتی شخصی، و مخابرات نسل ۶ تبدیل می‌کنند.

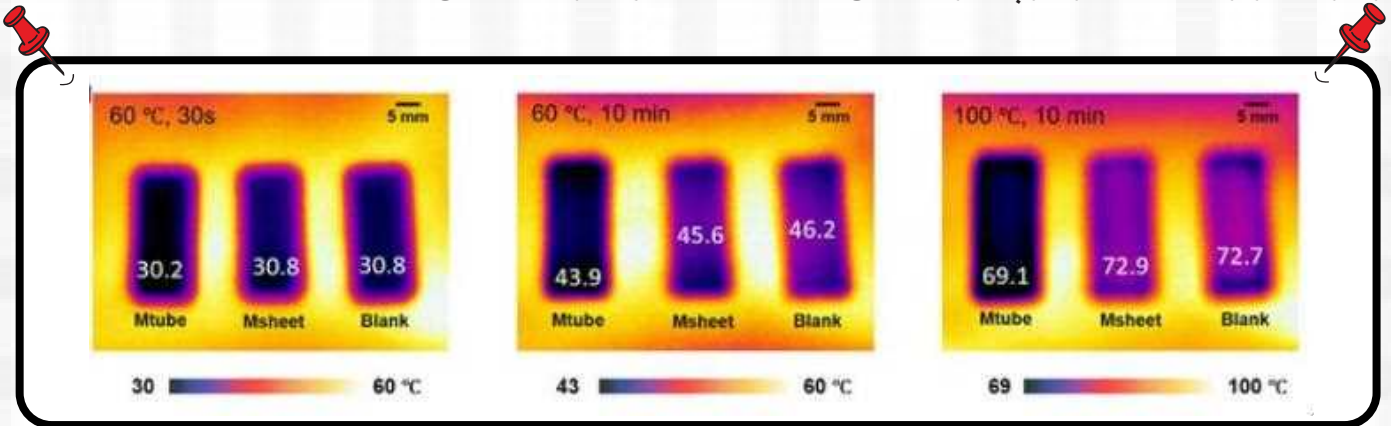
تصویر CCBSCP/Chitosan که روی یک پرچم گل ایستاده است.



گسیلندگی مادون قرمز نمونه‌ها در بازه‌های ۵-۳ میکرومتر و ۱۲-۸ میکرومتر.

مطالعات مورد بررسی انواع مختلفی از مواد کربنی را در تمامی رده‌های بُعدی در بر می‌گیرند. قابل توجه است که از سوکروز کم‌ارزش به عنوان پیش‌ماده برای سنتز گرافن متخلخل و از چارچوب‌های آلی پیوند هیدروژنی برای ایجاد ساختارهای فوق‌سیاه کربنی سلسله‌مراتبی استفاده شده است، که نشان‌دهنده رویکردهای متنوع در تأمین مواد اولیه است.

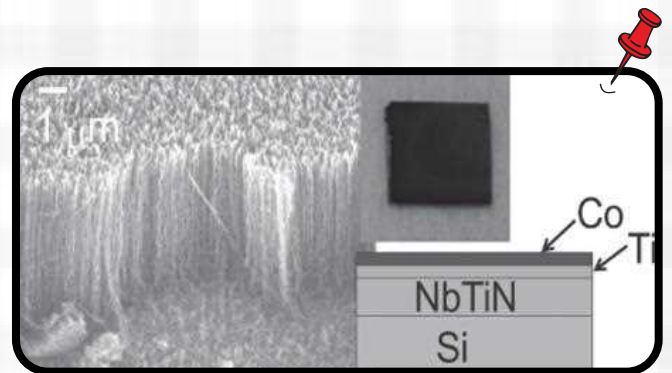
داده‌های کمی چند الگوی قابل توجه را نشان می‌دهند. برای جذب پهن‌بند در چندین ناحیه طیفی، ساختارهای سلسله‌مراتبی فوق‌سیاه کربنی عملکردی استثنایی ارائه می‌کنند، به طوری که جذب نور مرئی بیش از ۹۹٫۶ درصد و جذب مادون قرمز در بازه ۹۷٫۵ تا ۹۹٫۶ درصد در ناحیه‌های بلندموج، میان‌موج و کوتاه‌موج حاصل می‌شود. آرایه‌های نانولوله‌های کربنی چنددیواره نیز بازتابندگی ای ۱۰۰ برابر کمتر از Au black را در پنجره طیفی ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهند.



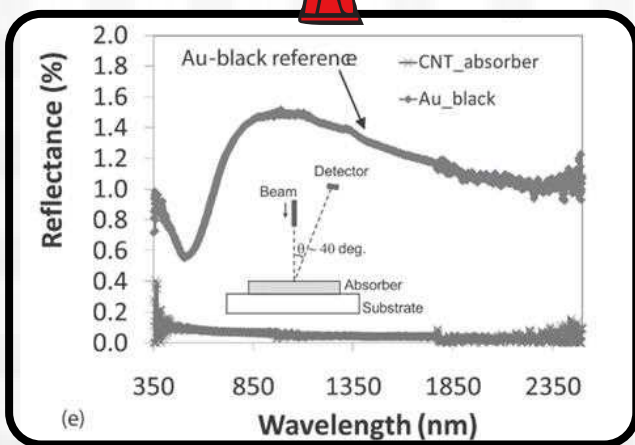
تصاویر حرارتی مادون قرمز از نمونه‌های Mtube، Msheet و توده‌های PDMS خالص در دماهای محیطی روبه‌افزایش که کارایی چشمگیر ضد رانش حرارتی را نشان می‌دهند.

محدودیت‌های شناخته شده در سه دسته اصلی قرار دارند. این محدودیت‌ها شامل چالش‌هایی در عملکرد هستند، مثل مشکل در جذب چندطیفی در طی موج‌هایی که پنج برابر بزرگی گستره پوشش دارند، محدودیت در رسانایی در **فیلم‌های کربنی تک‌جزئی** که کارایی دوگانه را مختل می‌کند، و ظاهر سیاه ذاتی مواد کربنی که کاربردهای استتاری در نور مرئی را محدود می‌سازد.

در تحقیقانی نشان داده شد که آرایه‌های چندجداره نانولوله‌های کربن‌بیا جهت‌گیری عمودی (MWCNT) نشان‌دهنده بازده جذب بسیار بالا با بیش از ۹۹٫۹۸ درصد جذب در طیف ۳۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر و کم‌ترین میزان بازتابش تا ۰٫۲ درصد هستند. در مقابل، **فیلم‌های پلیمری** پراکنده شده با نانولوله‌های کربنی تا ۹۵ درصد جذب در مادون قرمز را نشان دادند. سازوکارهای اصلی این عملکردها کاملاً متفاوت است: در آرایه‌های عمودی، کوپلینگ ضعیف الکترونی با تابش وارد شده منجر به کاهش پراکندگی پس‌رو و تسهیل نفوذ نور به ساختار متخلخل و جذب آن می‌شود؛ در حالی که سامانه‌های پلیمری پراکنده بر ترکیبی از بازتاب سطحی کم و جذب حجمی بالا تکیه دارند که نتیجه پراکندگی یکنواخت نانولوله‌ها است.



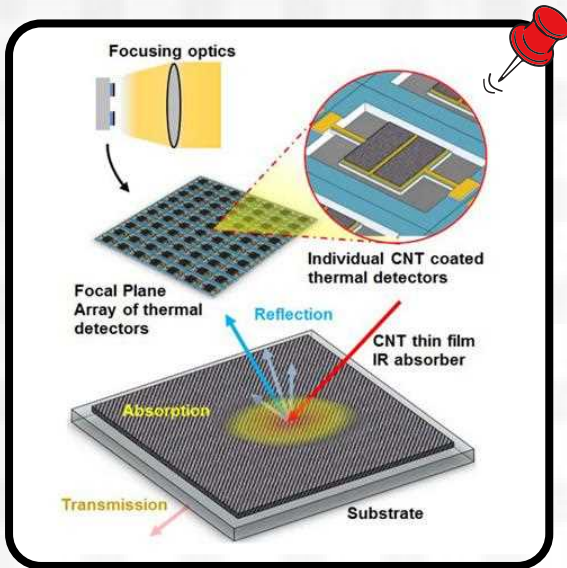
این شکل نشان می‌دهد که یک آرایه پرچگالی از نانولوله‌های کربنی چنددیواره (MWCNT) نور ورودی را جذب می‌کند و بازتاب را کاهش می‌دهد. رشد نانولوله‌های چنددیواره در حضور نیتريد فلزی دیرگداز، مانند NbTiN، برای پایدار نگه داشتن نانوذره‌های کاتالیزور و جلوگیری از نفوذ و آلیاژسازی آن‌ها با زیرلایه Si در دماهای بالا اهمیت دارد.



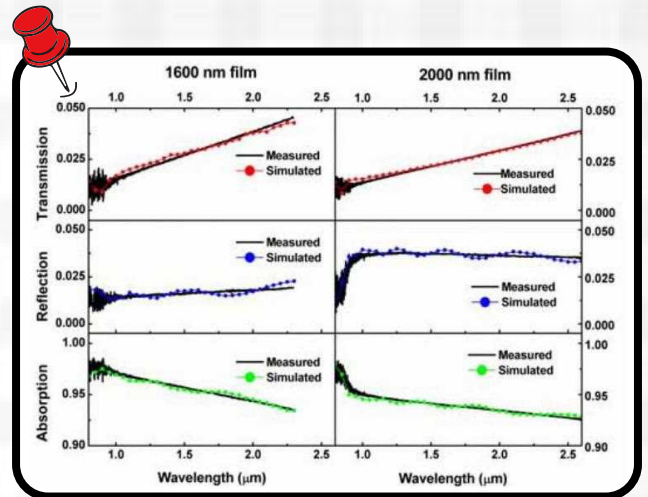
بازتابندگی در بازه‌ی طول‌موج حدود ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را برای جذب MWCNT و نمونه‌ی مرجع جذب Au black نشان می‌دهد. نمونه‌ی مرجع Au black حدوداً ۱۰۰ برابر بازتابندگی بیشتری دارد؛ به طوری که مقدار R برای نمونه‌ی CNT تقریباً ۰٫۲ درصد و برای Au black حدود ۱/۱ درصد در طول موج نزدیک به ۲۰۰۰ نانومتر است.

چالش‌های ساخت شامل ماهیت دشوار روش‌های متداول تهیه گرافن و دشواری دستیابی به آرایش عمودی نانولوله‌های کربنی با طول کمتر از ۱۰ میکرومتر است. چالش‌های یکپارچه‌سازی نیز بر دشواری دستیابی هم‌زمان به ظرفیت پوشش‌دهی و استتار مادون قرمز در فیلم‌های تک‌جزئی متمرکز است.

در پژوهشی نشان داده شد که فیلم‌های کامپوزیتی پلیمری شامل نانولوله‌های کربنی و نانوالماس می‌توانند تا حدود ۹۵ درصد جذب در ناحیه فرورسرخ نزدیک و کوتاه‌موج را داشته باشند؛ که برای بهبود کارایی در حسگرهای بدون نیاز به خنک‌سازی و سیستم‌های جمع‌آوری انرژی خورشیدی-حرارتی مناسب هستند. این فیلم‌ها استقلال از قطبش، جذب در زوایای مختلف، و مقاومت مکانیکی نشان دادند و با **فرآیندهای پسااستتاری** نیز سازگار بودند؛ ویژگی‌هایی که کاربردهای عملی آن‌ها را در زمینه فناوری‌های الکترونیکی تقویت می‌کند.



یک طرح شماتیک نشان می‌دهد که یکی از کاربردهای موردنظر برای پوشش مبتنی بر نانولوله کربنی، نانوالماس یا پلیمر است. این پوشش شامل آرایه‌ای در صفحه‌ی کانونی است که آشکارسازهای مادون قرمز تشدیدی را در بر می‌گیرد. هر آرایه از چندین «پیکسل» آشکارساز حرارتی تشکیل شده است که به صورت مستقل اشاره می‌شوند و در کل سیستم یک تصویربرداری با تفکیک‌پذیری مکانی بالا را فراهم می‌کنند. این آشکارسازها با لایه‌ای جاذب پوشانده شده‌اند؛ لایه‌ای که تابش فرودی را به طور مؤثر به گرما تبدیل می‌کند.



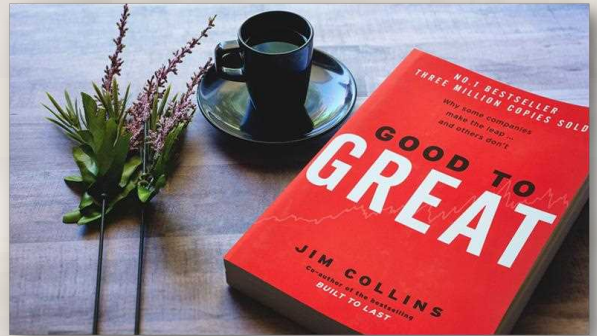
داده‌های اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده برای تابش عمودی در فیلم‌های با ضخامت ۱۶۰۰ نانومتر و ۲۰۰۰ نانومتر، که تطابق بسیار خوبی را نشان می‌دهند. این موضوع به ما اجازه می‌دهد از مدل COMSOL برای تحلیل‌های بیشتر استفاده کنیم. منحنی‌های شبیه‌سازی برای مد TE و TM یکسان هستند، زیرا این فیلم‌ها ایزوتروپی صفحه‌ای دارند.

مسیرهای توسعه آینده شامل چند حوزه می‌شوند. کاربردهای کوتاه‌مدت شامل ادغام با دستگاه‌های پوشیدنی حوزه سلامت، سامانه‌های مدیریت حرارتی و بهره‌برداری خورشیدی - حرارتی است. چشم‌اندازهای میان‌مدت در ادغام با سامانه‌های مخابراتی و حسگری نسل ششم و فناوری‌های اکتشاف فضایی قرار دارند. پتانسیل بلندمدت مربوط به توسعه **جذب‌کننده‌های چندطیفی** نسل آینده است که از طریق پارادایم‌های نوین در طراحی مواد، شکل می‌گیرد. چشم‌اندازهای مقیاس‌پذیری با چندین عامل تقویت می‌شوند که شامل تهیه کم‌هزینه با استفاده از پیش‌ماده‌های در دسترس مانند ساکاروز، روش‌های ساخت سریع از جمله سنتز به کمک امواج میکروویو و سازگاری با یکپارچه‌سازی روی بسترهای انعطاف‌پذیر. قابلیت تجاری نیز با ماهیت مقاوم و آسیب‌ناپذیر فیلم‌های مبتنی بر نانولوله کربنی و سهولت نشان‌داده‌شده ساخت در چندین سامانه مواد پشتیبانی می‌شود.

جمع‌بندی

ترکیبات کربنی با ساختارهای نانومتری، از گرافن و نانولوله‌ها تا آنروژل‌ها و پوشش‌های فوق‌سیاه، یکی از امیدبخش‌ترین مسیرها برای تحقق پنهان‌کاری حرارتی در سامانه‌های هوانوردی هستند. این مواد با جذب گسترده در طیف مادون قرمز، پایداری حرارتی بالا، وزن کم و قابلیت مهندسی ساختار، امکان کاهش مؤثر نشانه حرارتی هواگرد و ارتقای بقاپذیری آن را فراهم می‌کنند. توسعه معماری‌های سلسله‌مراتبی، بهینه‌سازی تخلخل، کنترل نواقص و تلفیق مواد کربنی با پلیمرها و ماتریس‌های سرامیکی، چشم‌انداز روشنی برای طراحی جاذب‌های مادون قرمز پیشرفته ایجاد کرده است. در کنار این مزایا، چالش‌هایی مانند پایداری طولانی‌مدت، عملکرد در شرایط محیطی سخت و مقیاس‌پذیری تولید همچنان نیازمند پژوهش و نوآوری‌اند. با این حال، روند رو به رشد تحقیقات و پیشرفت در سنتز و مهندسی نانو ساختارها نشان می‌دهد که مواد کربنی می‌توانند به یکی از عناصر کلیدی در نسل آینده پوشش‌های پنهان‌کاری مادون قرمز برای کاربردهای هوانوردی و هوافضا و دیگر حوزه‌ها تبدیل شوند.

معرفی کتاب



عنوان: کتاب از خوب به عالی

نویسنده: جیم کالینز | Jim Collins

کتاب "از خوب به عالی" بر پایه یک پژوهش ۵ ساله و تحلیل ۱۵,۰۰۰ داده اقتصادی نوشته شده و نشان می‌دهد که سازمان‌ها و افراد، تنها زمانی از سطح معمولی عبور می‌کنند که مجموعه‌ای از عادت‌ها، نگرش‌ها و ساختارهای درونی را در خود تثبیت کنند. پیام اصلی کتاب این است که: عالی شدن یک اتفاق نیست؛ یک فرآیند است. فرآیندی کند، اما پیوسته؛ شبیه چرخ‌طیار عظیمی که با فشارهای کوچک و مداوم، شتاب می‌گیرد و به سرعت بالا می‌رسد.

کالینز نشان می‌دهد که سازمان‌ها و افراد، تنها زمانی از سطح متوسط عبور می‌کنند که مجموعه‌ای از عادت‌ها، ساختارها و نگرش‌های درونی را در خود تثبیت کنند. این پایه‌گذاری است که مسیر «خوب به عالی» را ممکن می‌سازد. او سپس عناصر کلیدی این مسیر را معرفی می‌کند:

۱. مسیر سطح پنج:

تمام شرکت‌هایی که به سطح عالی رسیده‌اند، رهبرانی داشته‌اند که ترکیبی کمیاب از فروتنی عمیق و اراده پولادین را در خود جمع کرده‌اند. این رهبران دنبال بزرگ‌کردن خود نیستند؛ تمام تمرکزشان بر ساختن سازمانی بزرگ‌تر از خودشان است. موفقیت را به تیم نسبت می‌دهند و مسئولیت شکست‌ها را بر عهده می‌گیرند. سخت‌کوش‌اند، آرام‌اند و عمل‌گرا. این رهبر، اهل نمایش نیست؛ عمل‌گرا، آرام، سخت‌کوش و در عین حال متواضع است. این رهبران موفقیت را به تیم نسبت می‌دهند و شکست‌ها را بر عهده می‌گیرند.

۲. اصل خارپشته:

کالینز دریافت که تمام شرکت‌های عالی از اصل خارپشته استفاده می‌کنند. در واقع با پرسیدن سه سوال اصلی و پیدا کردن فصل اشتراک آن‌ها مسیر خوب به عالی بودن را طی می‌کنند. این اصل می‌گوید مانند خارپشت از یک استراتژی ساده پیروی کن و آن را به خوبی انجام بده.

خارپشت، از روش‌ها و متدهای گوناگون برای بقا استفاده نمی‌کند بلکه یک روش خاص برای خودش دارد که آن را هم خوب بلد است و صرفاً بر روی آن تمرکز می‌کند؛ او تعدادی خار دارد و تمام تمرکزش استفاده درست از همین یک ویژگی است. درست به همین دلیل است که خارپشت در نبرد با حیواناتی مانند شغال و پلنگ که روش‌های متعددی برای جنگ دارند، پیروز می‌شود. در نگرش خارپشته، مفاهیم ساده‌سازی می‌شوند و روی آن‌ها تمرکز و تاکید می‌شود. این مفهوم در تلاقی سه پرسش قرار می‌گیرد:



تصویر یک خارپشت

- چه کاری را می‌توانند واقعاً بهترین انجام دهند؟
- به چه کاری عمیقاً اشتیاق دارند؟
- چه کاری موتور اقتصادی‌شان را می‌چرخاند؟

این همان استراتژی خارپشتی است: توانمندی واحدی که به جای صد مسیر پراکنده، انرژی و تمرکز را روی یک خط قدرتمند متمرکز می‌کند.

۳. اول فرد مناسب، بعد حرکت

رهبران سطح پنج ابتدا افراد درست را انتخاب می‌کنند و بعد به تدوین مسیر می‌پردازند. وقتی افراد توانمند و مسئولیت‌پذیر در جایگاه مناسب قرار بگیرند، خود سازمان مسیر رشد را پیدا می‌کند. به تعبیر کالینز: اول آدم‌های درست را سوار اتوبوس کن؛ بعد تصمیم بگیر کجا بروی. افراد خوب، تیم خوب، فرهنگ درست پیش‌نیاز عالی شدن.

۴. فرهنگ انضباط

موفقیت پایدار با سخت‌گیری بیرونی ایجاد نمی‌شود؛ با انضباط درونی ساخته می‌شود: انضباط در عمل، انضباط در فکر و انضباط در شفاف‌سازی اولویت‌ها. سازمان‌های عالی افراد خارق‌العاده ندارند؛ فرهنگ منظم دارند.

۵. پذیرش واقعیت‌های سخت

شرکت‌های عالی با خوش‌بینی توخالی حرکت نمی‌کنند. آن‌ها طبق «پارادوکس استوک‌دیل»^۲ عمل می‌کنند: واقعیت‌های تلخ را دقیق و بدون انکار می‌بینند، اما ایمان به پیروزی نهایی را هرگز از دست نمی‌دهند. این ترکیب نادر-واقع‌بینی همراه با امید پایدار-ستون پیشرفت حقیقی است.

۴. شتاب‌دهنده چرخ‌طیار^۳

هیچ‌کس با یک اقدام انقلابی عالی نمی‌شود. رشد واقعی از تصمیم‌های کوچک، رفتارهای مداوم و پیگیری ادامه‌دار شکل می‌گیرد. این تراکم حرکت‌هاست که ناگهان چرخ‌طیار را به انفجار سرعت می‌رساند. در نهایت، کالینز از دل این مفاهیم، تصویری روشن از فرد عالی ارائه می‌دهد: کسی که تمرکز دارد، فروتن است اما پیگیر، واقع‌محور اما امیدوار، منظم در فکر و عمل، متکی بر انباشت پیشرفت‌های کوچک، و مسئولیت‌پذیر. فردی که به جای چند مهارت پراکنده، یک توانمندی کلیدی را در خود عمیق می‌کند.

به بیان ساده‌تر:

عالی شدن حاصل شخصیت، نظم، تمرکز و استمرار است؛ نه شانس و جهش‌های ناگهانی.

2 Stockdale Theory

3 FlyWheel

۸. فرهنگ انضباط

تحقیقات کالینز نشان داد که فرهنگ نظم خیلی بهتر از بازرسی‌های انضباطی است. با سخت‌گیری و کنترل و اجبار نمی‌توان کارکنان را منظم کرد، این نظم موقت است. در صورتی که باید در شرکت‌ها فرهنگ مبتنی بر نظم را ایجاد کرد. برای ایجاد فرهنگ نظم در سازمان باید شرکت و کارکنان برنامه‌های مشخصی داشته باشند و همه در راستای اهداف شرکت در واقع همان مفهوم خاریشتی حرکت کنند. افراد عالی، کاریزماتیک یا نابغه نیستند؛ افراد منظم هستند:

- انضباط در عمل
 - انضباط در فکر
 - انضباط در شفاف‌سازی اولویت‌ها
- این انضباط است که به پیشرفت گام‌به‌گام، عمق و ثبات می‌دهد.

۸. پذیرش واقعیت‌های سخت (اصل آجر سرد)

شرکت‌هایی که مسیر خوب به عالی را با موفقیت طی کردند، مشکلات فراوانی را پشت سر گذاشته‌اند. این شرکت‌ها طبق نتایج حتما در معرض اتفاقات تلخ قرار گرفته‌اند. باید مطابق پارادوکس استوک دیل عمل کرد. یعنی در کنار وجود مشکلات مطمئن باشید که سرانجام موفق خواهید شد و با این تفکر با بدترین و ناخوشایندترین شرایط زندگی، بدون خیال‌پردازی روبه‌رو شوید. شرکت‌های عالی ایمان محکم خود را به پیروزی نهایی همواره حفظ می‌کنند و شرایط را واقع بینانه می‌پذیرند. افراد عالی با خوش‌بینی توخالی جلو نمی‌روند. آن‌ها واقعیت‌های تلخ را می‌پذیرند، بدون اینکه ایمانشان به موفقیت نهایی از بین برود.

۹. شتاب‌دهنده چرخ‌طیار

هیچ‌کس با یک حرکت انقلابی عالی نمی‌شود. رشد واقعی از:

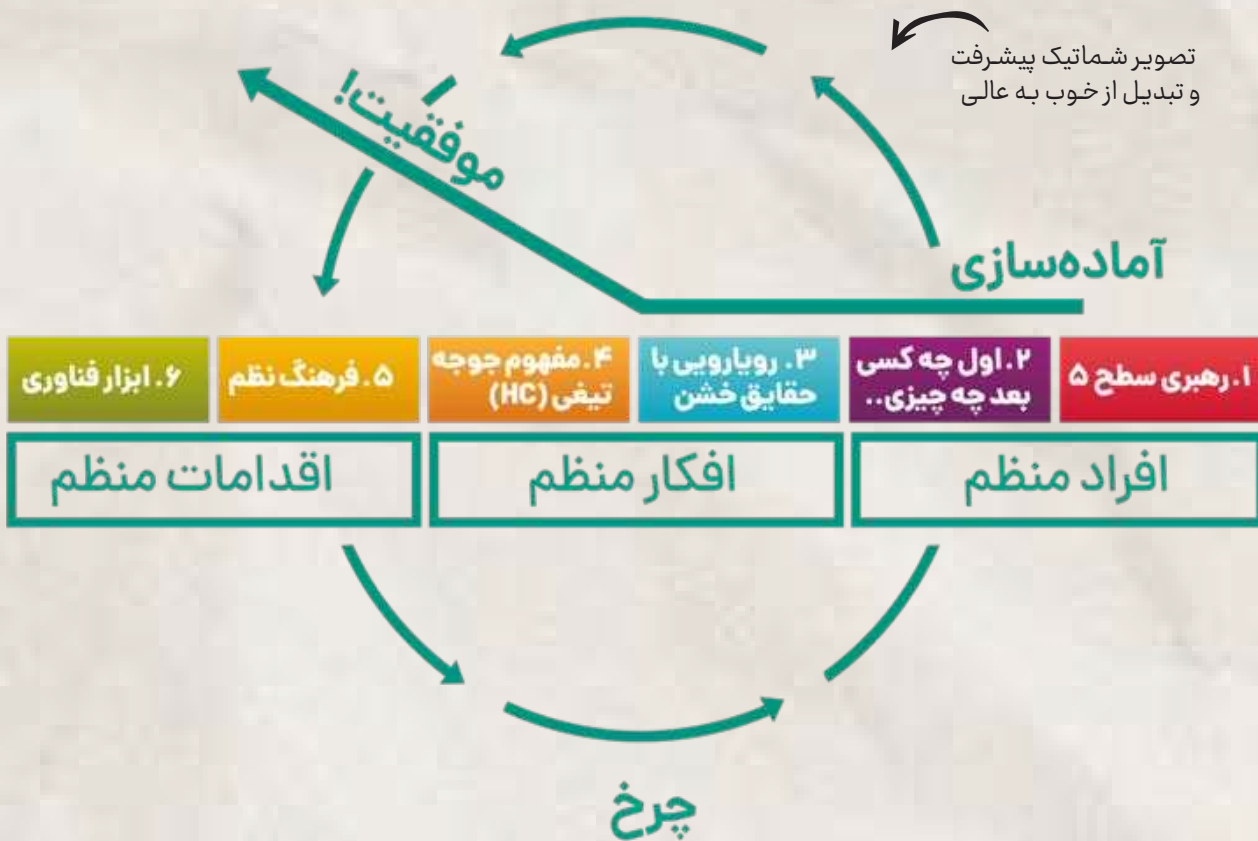
- تصمیم‌های کوچک
 - رفتارهای تکرارشونده
 - پیگیری ادامه‌دار
- به وجود می‌آید؛ درست مانند چرخ‌طیار عظیمی که با فشارهای کوچک اما پیوسته، یک‌باره به حرکت شگفت‌انگیز می‌رسد.

در نهایت، «فرد عالی» چه کسی است؟

- فردی است که:
- تمرکز دارد (می‌داند بهترین خودش در چیست).
 - فروتن است اما بی‌رحمانه پیگیر هدف.
 - واقعیت‌محور اما امیدمحور.
 - منظم در فکر و عمل.
 - به جای هیجان‌های لحظه‌ای، روی تراکم پیشرفت‌های کوچک حساب می‌کند.
 - به جای بهانه‌جویی، مسئولیت‌پذیر است.
 - به جای چند مهارت پراکنده، یک توانمندی شاه‌کلیدی را در خودش عمیق می‌کند.



به زبان ساده‌تر:
عالی بودن حاصل شخصیت + نظم + تمرکز + استمرار است.





معرفی فیلم

King's Speech؛ وقتی ترس، نقطه شروع رشد می شود.

فیلمی درباره شهامت، غلبه بر نقص، و تبدیل ضعف به قدرت... سخنرانی پادشاه ساخته سال ۲۰۱۰ میلادی تنها یک روایت تاریخی نیست؛ یک درس عمیق در خودسازی و توسعه فردی است. فیلم داستان شاه جرج ششم را روایت می کند که سال ها از لکنت شدید، اضطراب اجتماعی و احساس ناتوانی در سخن گفتن رنج برده است. هنگامی که کشور در آستانه جنگ جهانی دوم قرار می گیرد، او باید مهم ترین سخنرانی زندگی اش را انجام دهد؛ سخنرانی ای که قرار است امید یک ملت باشد.

در این مسیر، او با لیونل لوگ^۱ درمانگری غیر متعارف، صمیمی و بی تکلف آشنا می شود. رابطه میان آن ها، هسته احساسی و روان شناختی فیلم را شکل می دهد. لوگ نه تنها تکنیک های گفتاری آموزش می دهد، بلکه به پادشاه کمک می کند ریشه های احساسی ترس را شناسایی و بازسازی کند؛ از کودکی سخت گرفته تا تصویری که از خودش دارد. این فیلم نشان می دهد که «عالی شدن»، از مسیر پذیرش نقص، کمک گرفتن، تمرین مداوم و شجاعت آسیب پذیر بودن عبور می کند. درسی که از فیلم می گیریم:

اعتماد به نفس یک هدیه نیست؛ یک ساختن چند مرحله ای است.



داستان فیلم ساده و سراسر است؛ فیلم با یک بلندگو آغاز می شود و با همان نیز پایان می یابد. اما تمام جذابیت آن در این است که تماشاگر را در دل درامی تأثیرگذار، همراه با یکی از چهره های مهم تاریخ معاصر بریتانیا پیش می برد و فرآیند «شدن» او را به تصویر می کشد. می بینیم چگونه مردی ترسو، خجول، عصبی، منفعل و بی صدا، به صدایی برای اتحاد یک ملت بدل می شود؛ و در این مسیر، جز «زبان» هیچ ابزار دیگری ندارد.

نکته جالب آن جاست که بر اساس تاریخ، بریتانیا دوران جنگ جهانی دوم را با پادشاهی و نخست‌وزیری چرچیل پشت سر گذاشت؛ هر دو با مشکل لکنت زبان. این تضاد زمانی برجسته‌تر می‌شود که در سوی دیگر جنگ، یکی از تأثیرگذارترین سخنرانان تاریخ ایستاده است: آدولف هیتلر؛ کسی که تنها با اتکای به قدرت کلام و ملی‌گرایی افراطی، بخش بزرگی از اروپا را زیر سلطه کشاند. در پایان فیلم، هنگامی که پادشاه برای انجام سخنرانی نهایی‌اش پیش می‌رود، چرچیل^۴ او را همراهی می‌کند و می‌گوید: «من هم چنین مشکلی داشتم و از پیشش برآمدم.»

گویی کارگردان نیز به ما یادآوری می‌کند که این بار هم، با وجود همه فراز و فرودها، پادشاه در همان مسیری قدم می‌گذارد که سال‌ها پیش چرچیل پیموده بود: مسیر «شدن».

مسیر تبدیل شدن به انسانی که می‌خواهد ملتی را رهبری کند؛ انسانی که می‌خواهد زندگی کند؛ مسیری که با پذیرش ناتوانی‌ها آغاز می‌شود و از دل همین پذیرش، امکان رشد و شکوفایی پدید می‌آید. این، مسیر دستیابی به صدایی اصیل است؛ مسیری برای یافتن زبانی که نه علیه خود، بلکه در خدمت هدفی والاتر به کار گرفته می‌شود: مسیر شدن.



عوامل اصلی فیلم

ژانر: تاریخی، درام، زندگینامه‌ای

سال انتشار: ۲۰۱۰

جوایز و افتخارات:

■ جایزه اسکار^{۱۱} ۲۰۱۱

■ گلدن گلوب^{۱۲}

■ جوایز بفتا^{۱۳}

■ بهترین فیلم سال

■ بهترین کارگردانی

کارگردان: تام هوپر^۵

نویسنده: دیوید سیدلر^۶

بازیگران:

■ کالین فیرث^۷ در نقش جورج ششم

■ جفری راش^۸ در نقش لیونل لوگ

■ هلنا بونهام کارتر در نقش ملکه

الیزابت^۹

نویسنده: یوسف صفایی نایینی (مقطع دکتری - دانشگاه صنعتی اصفهان)

3 Adolf Hitler

4 Winston Churchill

5 Tom Hooper

6 David Seidler

7 Colin Firth

8 Geoffrey Rush

9 Helena Bonham Carter

10 Queen Elizabeth The Queen Mother

11 Academy Awards

12 Golden Globes

13 BAFTA Awards

پیش نهاد ششیدنی

پادکست رخ: روایت انسان‌هایی که تاریخ را ساختند.



هر زندگی پر از راز و رمزها و فراز و نشیب‌هایی است که گاهی از دل آن‌ها انسان‌هایی برجسته و تاریخ‌ساز زاده می‌شوند؛ انسان‌هایی که مسیر بشریت را تغییر داده‌اند. پادکست رخ، داستان زندگی همین انسان‌هاست.

پادکست رخ مجموعه‌ای روایت‌محور است که زندگی شخصیت‌های بزرگ ایران و جهان را از دل تاریخ بیرون می‌کشد و با زبانی ساده، صمیمی و در عین حال دقیق، برای شنونده روایت می‌کند. رخ تنها یک پادکست تاریخی نیست؛ نه کاملاً علمی و نه صرفاً ادبی. بلکه تلفیقی از روایت‌هایی الهام‌بخش درباره انسان‌هایی است که در حوزه‌های مختلف اثرگذار بوده‌اند. از دانشمندانی همچون: انیشتین^۱، داروین^۲، مریم میرزاخانی^۳ و نیکولا تسلا^۴ گرفته تا شاعران و ادیبان بزرگی چون: حافظ، سعدی و فردوسی؛ و حتی رهبران و سیاستمدارانی مانند کوروش^۵، آتاتورک^۶ و چرچیل^۷. این گستره وسیع از شخصیت‌ها باعث شده رخ برای هر شنونده‌ای — به ویژه دانشجویان و پژوهشگران — به منبعی جدی برای الهام و یادگیری تبدیل شود. روایت‌ها در رخ بر پایه پژوهش تاریخی دقیق تهیه می‌شوند؛ اما لحن کاملاً داستانی، روان و درگیرکننده است. همین ویژگی باعث می‌شود مخاطب خود را در دل زندگی شخصیت‌ها ببیند؛ با تردیدها، شکست‌ها، انتخاب‌ها و موفقیت‌هایشان همراه شود و مسیر تحولشان را حس کند.

1 Albert Einstein

2 Charles Darwin

3 Maryam Mirzakhani

4 Nikola Tesla

5 Great the Cyrus

6 Mustafa Kemal Atatürk

7 Winston Churchill

بخش مهمی از اپیزودها به دانشمندان و متفکران بزرگ می‌پردازد — چهره‌هایی مانند مریم میرزاخانی، داروین و انیشتین — و برای مخاطبان علمی نشریه کربوژن جذابیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا نشان می‌دهد پشت هر کشف بزرگ، سال‌ها تلاش، خطا، پشتکار و جسارت ایستاده است. از سوی دیگر، روایت شاعران و ادیبان ایرانی — حافظ، فردوسی، سعدی و دیگر بزرگان — به مخاطب یادآور می‌شود که علم و هنر، دو بال اصلی رشد انسان‌اند و شناخت چهره‌های ادبی، درکی عمیق‌تر از فرهنگ و هویت ایرانی به ما می‌دهد.

تاریخ‌سازان سرتاسر جهان

زندگی زیسته افراد، گاه منبع الهام و یادگیری و گاه عبرت است. اما این شناخت نیازمند مطالعه کتاب‌های متعدد و مواجهه با روایت‌هایی است که در درستی برخی از آن‌ها تردید وجود دارد. ما این پژوهش‌ها را در پادکست رخ انجام می‌دهیم و داستان زندگی بزرگان ایران و جهان، از گذشته‌های دور تا امروز را با بیانی شیوا و قابل اعتماد روایت می‌کنیم. وجه مشترک تمام این اپیزودها یک چیز است:

انسان‌هایی که با فکر، اراده و کارشان، جهان را تغییر داده‌اند.

پادکست رخ، برخلاف بسیاری از برنامه‌های تاریخی یا علمی، صرفاً مجموعه‌ای از اطلاعات نیست؛ بلکه چراغی است برای شناخت مسیر زندگی، دیدن تجربه دیگران و یافتن الهام برای ساختن آینده.

چگونه پادکست رخ را بشنویم؟

پادکست رخ روی همه پلتفرم‌های رایج پخش پادکست یه صورت رایگان و به سادگی در دسترس است:

- Castbox
- Spotify
- Apple Podcasts
- Google Podcasts
- Podbean

■ وبسایت رسمی: hamibash.com/rokhpodcast

■ کانال تلگرام: @rokhpodcast



«منابع این شماره از نشریه کریپژن»

قیمت: ۵۹۰ هزار تومان