



# نانو کامپوزیت تحول بزرگ در مقیاس کوچک

تهیه و تنظیم: دکتر فرناز نایب‌مراد

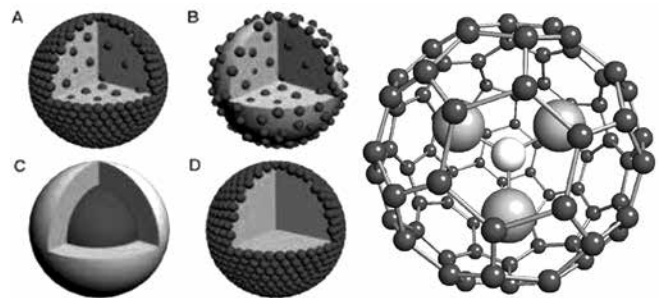
هدف از ایجاد کامپوزیت، به دست آوردن ماده‌ای ترکیبی با خواص دلخواه است.

نانو کامپوزیت، همان کامپوزیت در مقیاس نانومتر است. نانو کامپوزیت‌ها در دو فاز تشکیل می‌شوند. در فاز اول ساختاری بلوری در ابعاد نانو ساخته می‌شود که زمینه یا ماتریس کامپوزیت به شمار می‌رود. این زمینه ممکن است از جنس پلیمر، فلز یا سرامیک باشد. در فاز دوم ذراتی در مقیاس نانو به عنوان تقویت‌کننده برای استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی و... به فاز اول یا ماتریس افزوده می‌شود.

بسته به اینکه زمینه نانو کامپوزیت از چه ماده‌ای تشکیل شده باشد، آن را به سه دسته پلیمری، فلزی و سرامیکی تقسیم می‌کنند. کامپوزیت‌های پلیمری به علت خواصی مانند استحکام، سفتی و پایداری حرارتی و ابعادی، چندین سال است که در ساخت هواپیماها به کار می‌روند. با رشد فناوری نانو، کامپوزیت‌های پلیمری بیش از پیش به کار گرفته خواهند شد.

تقویت پلیمرها با استفاده از مواد آلی یا معدنی بسیار مرسوم است. از نظر ساختاری، ذرات و الیاف معمولاً باعث ایجاد استحکام ذاتی می‌شوند و ماتریس پلیمری می‌تواند با چسبیدن به مواد معدنی، نیروهای اعمال شده به کامپوزیت را به نحو یکنواختی به پُرکن یا تقویت‌کننده منتقل کند.

در این حالت، خصوصیاتِ چون سختی، شفافیت و تخلخلِ ماده درون کامپوزیت تغییر می‌کند. ماتریس پلیمری همچنین می‌تواند سطح پُرکن را از آسیب دور نماید و ذرات را طوری جدا از هم نگه



مواد و توسعه آنها از پایه‌های تمدن به شمار می‌روند. به طوری که دوره‌های تاریخی را با مواد نام‌گذاری کرده‌اند: عصر سنگ، عصر برنز، عصر آهن، عصر فولاد، عصر سیلیکون و عصر کربن. ما اکنون در عصر کربن و عصر نانو به سر می‌بریم. عصر جدید با شناخت یک ماده جدید به وجود نمی‌آید، بلکه با بهینه کردن و ترکیب چند ماده می‌توان پا در عصر نوین گذاشت. دنیای نانو مواد، فرصتی استثنایی برای انقلاب در مواد کامپوزیتی است.

کامپوزیت، ترکیبی است از چند ماده متمایز، به طوری که اجزای آن به‌آسانی قابل تشخیص از یکدیگر باشند. یکی از کامپوزیت‌های آشنا بتُن است که از دو جزء سیمان و ماسه ساخته می‌شود.

برای تغییر دادن و بهینه کردن خواص فیزیکی و شیمیایی مواد، آنها را کامپوز یا ترکیب می‌کنیم. به طور مثال، پلی اتیلن که در ساخت چمن‌های مصنوعی از آن استفاده می‌شود، رنگ‌پذیر نیست و بنابراین، رنگ این چمن‌ها اغلب مات به نظر می‌رسد. برای رفع این عیب، به این پلیمر ویتیل استات می‌افزایند تا خواص پلاستیکی، انعطافی و رنگ‌پذیری آن اصلاح شوند. در واقع،



جایگزین کردن آنها در صنعت، به علت خصوصیات عالی مکانیکی و رسانایی الکتریکی آنها است. (رسانندگی الکتریکی این نانولوله‌ها در حد فلزات است).

اما در دسترس بودن و تجاری بودن نانولوله‌های چنددیواره، باعث شده است که پیشرفت بیشتری در این زمینه صورت بگیرد. تا حدی که اکنون می‌توان از محصولاتی نام برد که در آستانه تجاری شدن تولید هستند. برای نمونه، نانولوله‌های کربنی چنددیواره در پودرهای رنگ به کار رفته‌اند.

استفاده از این نانولوله‌ها باعث می‌شود که رسانایی الکتریکی در مقدار کمی از فاز تقویت‌کننده به دست آید. از نظر نظامی نیز فراهم کردن هدایت الکتریکی فرصت‌های انقلابی به وجود خواهد آورد. به عنوان مثال، از پوسته‌های الکتریکی - مغناطیسی گرفته تا کامپوزیت‌های رسانای گرما و لباس‌های سربازان آینده!

### ۳- نانوکامپوزیت خاک رُس - پلیمر

نانوکامپوزیت خاک رُس - پلیمر یک مثال موردی از محصولات فناوری نانو است. در این نوع ماده، از خاک رُس به عنوان پُرکننده برای بهبود خواص پلیمرها استفاده می‌شود. خاک رُس‌های نوع اسمکتیت، ساختار لایه‌لایه دارند و هر لایه تقریباً یک نانومتر ضخامت دارد.

صدها یا هزاران عدد از این لایه‌ها به وسیله یک نیروی واندروالسی ضعیف روی هم انباشته می‌شوند تا یک جزء رُسی را تشکیل دهند. با یک پیکرندی مناسب، این امکان وجود دارد که رُس‌ها را به اشکال و ساختارهای گوناگون، درون یک پلیمر به شکل سازمان‌یافته قرار دهیم.

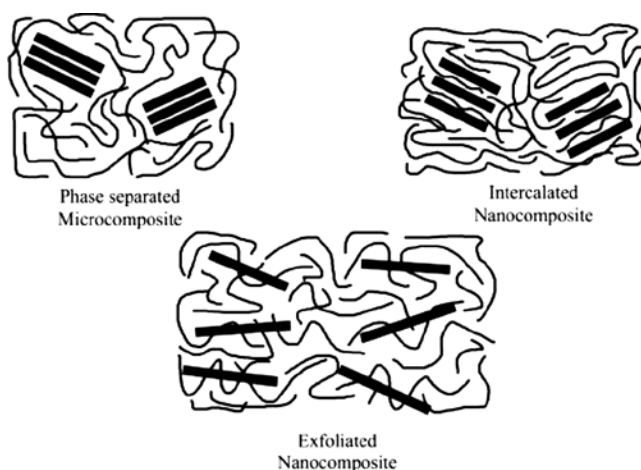
معلوم شده است که بسیاری از خواص مهندسی، هنگامی که در ترکیب ما از میزان کمی - معمولاً چیزی کمتر از ۵ درصد وزنی - پُرکننده استفاده شود، بهبود قابل توجهی می‌یابد.

امتیاز دیگر نانوکامپوزیت‌های خاک رُس - پلیمر این است که تأثیر قابل توجهی بر خواص اپتیکی (نوری) پلیمر ندارند. ضخامت یک لایه رُس منفرد، بسیار کمتر از طول موج نور مرئی است. بنابراین، نانوکامپوزیتی که خوب ورقه شده باشد، از نظر اپتیکی شفاف است.

از طرفی، با توجه به اینکه امروزه حجم وسیعی از کالاهای مصرفی جامعه را پلیمرهایی تشکیل می‌دهند که به راحتی می‌سوزند یا گاهی در مقابل شعله فاجعه می‌آفرینند، لزوم تحقیق در خصوص مواد دیرسوز احساس می‌شود. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که میزان آتش‌گیری در این نانوکامپوزیت‌های پلیمری حدود ۷۰ درصد نسبت به پلیمر خالص کمتر است. در عین حال، اغلب خواص کاربردی پلیمر نیز تقویت می‌شوند.

دارد که رشد تَرک به تأخیر افتد. گذشته از تمام این خصوصیات فیزیکی، اجزای مواد نانوکامپوزیتی می‌توانند بر اثر تعامل بین سطح ماتریس و ذرات پُرکن، ترکیبی از خواص هر دو جزء را داشته باشند و بهتر عمل کنند.

کامپوزیت‌هایی که بستر فلزی دارند، کم‌وزن و سبک‌اند و به علت استحکام و سختی بالا، کاربردهای وسیعی در صنایع خودرو و هوا - فضا پیدا کرده‌اند. اما این کاربردها به لحاظ ضعف در قابلیت کشیده شدن در چنین کامپوزیت‌هایی، محدود شده‌اند. تبدیل کامپوزیت به نانو کامپوزیت سبب افزایش بازده استحکامی و رفع ضعف بالا می‌شود.



### ۱- نانوکامپوزیت‌های نانوذرهای

در این کامپوزیت‌ها از نانوذراتی همچون (خاک رس، فلزات، و...) به عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود. برای مثال، در نانوکامپوزیت‌های پلیمری، از مقادیر کمی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) ذرات نانومتری استفاده می‌شود. این ذرات علاوه بر افزایش استحکام پلیمرها، وزن آنها را نیز کاهش می‌دهند. مهمترین کامپوزیت‌های نانوذرهای، سبک‌ترین آنها هستند.

### ۲- نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای

نانولوله‌های کربنی در دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند: نانولوله‌های تک‌دیواره و نانولوله‌های چنددیواره. در این نوع از کامپوزیت‌ها، این دو گروه از نانولوله‌ها در بستری کامپوزیتی توزیع می‌شوند. در صورتی که قیمت نانولوله‌ها پایین بیاید و موانع اختلاط آنها رفع شود، کامپوزیت‌های نانولوله‌ای موجب رسانایی و استحکام فوق‌العاده‌ای در پلیمرها می‌شوند و کاربردهای حیرت‌انگیزی همچون آسانسور فضایی برای آن قابل تصور است. تحقیقات در زمینه توزیع نانولوله‌های کربنی در پلیمرها بسیار جدید هستند. علاقه به نانولوله‌های تک‌دیواره و تلاش برای



پوشش نانوکامپوزیتی به ضخامت ۲۰ میکرون به عنوان پوسته داخلی است که باعث می‌شود هوای محبوس در داخل توپ ضمن ضربه خوردن خارج نگردد، درحالی‌که توپ‌های معمولی از جنس لاستیک و در برابر هوا نفوذپذیرند.

#### ۶- جدیدترین خودرو نانوکامپوزیتی



این خودرو توسط شرکت جنرال موتورز طراحی شده و به علت استفاده از مواد نانوکامپوزیتی در قسمت‌های مختلف آن، حدود ۸ درصد سبک‌تر از نمونه‌های مشابه قبلی است و علاوه بر سبک بودن، در برابر تغییرات دمایی هم مقاومت می‌کند.

#### ۷- الیاف نانو، تحولی در صنعت نساجی

امروزه ساخت کامپوزیت‌های تقویت‌شده به وسیله نانوالیاف پیشرفت چشمگیری کرده است. لیفچه‌های کربنی جامد و توخالی با چند میکرون طول و دو تا بیش از صد نانومتر قطر خارجی خلق شده‌اند که مصارفی در مواد کامپوزیت و روکش دارند. یکی از دانشجویان کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه امیرکبیر، دستگاه تولید نانوالیاف از محلول پلیمری را طراحی کرده و ساخته است.

این دستگاه در فیلتراسیون مایعات، گازها و مولکول‌ها، امور پزشکی مانند مواد آزادکننده دارو در بدن، پوشش زخم، ترمیم پوست، نانوکامپوزیت‌ها، نانوحسگرها، لباس‌های محافظ نظامی و غیره کاربرد دارد.

مهمترین تأثیر نانوکامپوزیت‌ها در آینده کاهش وزن محصولات خواهد بود. ابتدا کامپوزیت‌های سبک‌وزن و بعد تجهیزات الکترونیکی کوچکتر و سبکتر در ماهواره‌های فضایی.

اولین کاربرد تجاری نانوکامپوزیت‌های خاک رُس - نایلون ۶ به عنوان روکش نوار زمان‌سنج برای ماشین‌های توپ‌ت، در سال ۱۹۹۱ بود. در حال حاضر نیز از این نانوکامپوزیت در صنعت لاستیک استفاده می‌شود. با افزودن ذرات نانومتری خاک رُس به لاستیک، خواص آن به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود پیدا می‌کند که از جمله می‌توان در آنها به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش مقاومت لاستیک در برابر سایش
- افزایش استحکام مکانیکی
- افزایش مقاومت گرمایی
- کاهش قابلیت اشتعال
- کاهش وزن لاستیک

#### ۴- نانوکامپوزیت الماس - نانولوله

محققان توانسته‌اند سخت‌ترین ماده شناخته‌شده در جهان (الماس) را با نانولوله‌های کربنی ترکیب کنند و کامپوزیتی با خصوصیات جدید به دست آورند. اگرچه الماس سختی زیادی دارد، ولی به طور عادی هادی جریان الکتریسیته نیست. از طرفی، نانولوله‌های کربن به شکلی باورنکردنی سخت و نیز رسانای جریان الکتریسیته‌اند. با یکپارچه کردن این دو فرم کربن با یکدیگر در مقیاس نانومتر، کامپوزیتی با خصوصیات ویژه به دست خواهد آمد.

این کامپوزیت می‌تواند در نمایشگرهای مسطح کاربرد داشته باشد. الماس می‌تواند نانولوله‌های کربنی را در مقابل از هم‌گسیختگی حفظ کند. در حالی که به طور طبیعی، وقتی نمایشگر را فقط از نانولوله‌های کربنی بسازند، ممکن است از هم گسیخته شوند. این کامپوزیت همچنین در ردیابی‌های زیستی کاربرد دارد. نانولوله‌ها به مولکول‌های زیستی می‌چسبند و به عنوان حسگر عمل می‌کنند. الماس نیز به عنوان یک الکتروود فوق‌العاده حساس رفتار می‌کند.

#### ۵- توپ تنیس نانوکامپوزیتی



شرکت ورزشی ویلسون، یک توپ تنیس دو لایه به بازار عرضه کرده که عمر مفید آن حدود چهار هفته است - در حالی که توپ‌های معمولی عمر مفیدشان در حدود دو هفته است - ولی از نظر خاصیت ارتجاعی و وزن تفاوتی بین این دو مشاهده نمی‌شود. علت مهم و اصلی دوام توپ‌های نانوکامپوزیتی، وجود یک لایه



که قیمت تمام‌شده محصول را خیلی افزایش ندهد. (مواد افزودنی باید ارزان قیمت باشند).

مواد افزودنی به پلیمرها باید به آسانی با پلیمر فرآیند شود. مواد افزوده‌شده به پلیمر نباید در خواص کاربردی پلیمر تغییر قابل ملاحظه ایجاد کند. زباله‌های این مواد نباید مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند.

با توجه به این موارد، خاک رس از جمله بهترین مواد افزودنی به پلیمرها محسوب می‌شود که می‌تواند آتش‌گیری آنها را به تأخیر بیندازد و سبب ایمنی بیشتر وسایل و لوازم شود. مزیت دیگر خاک رس فراوانی آن است که استفاده از این منبع خدادادی را آسان می‌کند.

#### ۹- ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌های پلیمر - خاک رس

خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلیمر-نایلون ۶ که از نظر حجمی فقط حاوی پنج درصد سیلیکات است، بهبود فوق‌العاده‌ای را نسبت به نایلون خالص از خود نشان می‌دهد. مقاومت کششی این نانوکامپوزیت ۴۰ درصد بیشتر، مدول کششی آن ۶۸ درصد بیشتر، انعطاف‌پذیری آن ۶۰ درصد بیشتر و مدول انعطاف آن ۱۲۶ درصد بیشتر از پلیمر اصلی است. دمای تغییر شکل گرمایی آن نیز از ۶۵ درجه سانتی‌گراد به ۱۵۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. در حالی که در برابر همهٔ این تغییرات مناسب، فقط ۱۰ درصد از مقاومت ضربه آن کاسته شده است.

نتایج تحقیقات حاکی از آن است که میزان آتش‌گیری در این نانوکامپوزیت پلیمری حدود ۷۰ درصد نسبت به پلیمر خالص کاهش نشان می‌دهد و این در حالی است که اغلب خواص کاربردی پلیمر نیز تقویت می‌شود. البته کاهش در میزان آتش‌گیری پلیمرها از قدیم مورد بررسی بوده است. بشر با ترکیب مواد افزودنی به پلیمر میزان آتش‌گیری آن را کاهش داد، ولی متأسفانه خواص کاربردی پلیمر هم متناسب با آن کاهش یافته است.

در واقع کاهش در آتش‌گیری هم‌زمان با بهبود خواص کاربردی پلیمرها ویژگی منحصر به فرد فناوری نانو است، خصوصاً اینکه تنها با افزودن ۶ درصد ماده افزودنی به پلیمر تا ۷۰ درصد آتش‌گیری آن کاهش می‌یابد.

برخی نانوکامپوزیت‌های پلیمر - خاک رس پایداری حرارتی بیشتری از خود نشان می‌دهند که اهمیت ویژه‌ای برای بهبود مقاومت در برابر آتش‌گیری دارد. این مواد همچنین نفوذپذیری کمتری در برابر گاز و مقاومت بیشتری در برابر حلال‌ها از خود نشان می‌دهند.

سازمان فضایی آمریکا (ناسا) در حمایت از فناوری نانو بسیار فعال است. بزرگترین تأثیر فناوری نانو در فضاپیماها، هواپیماهای تجاری و حتی فناوری موشک، کاهش وزن مواد ساختمانی سازه‌های بزرگ درونی و بیرونی، جدارهٔ سیستم‌های درونی، اجزای موتور راکت‌ها یا صفحات خورشیدی خواهد بود.

در مصارف نظامی نیز کامپوزیت‌ها موجب ارتقا در نحوه حفاظت از قطعات الکترونیکی حساس در برابر تشعشع و خصوصیات دیگر همچون ناپیدایی در رادار می‌شوند.

کامپوزیت‌های نانوذره سیلیکاتی به بازار خودروها وارد شده‌اند. در سال ۲۰۰۱ هم جنرال موتورز و هم تویوتا شروع به تولید محصول با این مواد را اعلام کردند.

فایده آنها افزایش استحکام و کاهش وزن است که مورد آخر صرفه‌جویی در سوخت را به همراه دارد. علاوه بر این، نانوکامپوزیت‌ها به محصولاتی همچون بسته‌بندی غذاها راه یافته‌اند تا سدی بزرگ‌تر در برابر نفوذ گازها باشند (مثلاً با حفظ نیتروژن درون بسته یا مقابله با اکسیژن بیرونی). همچنین خواص تعویق آتش‌گیری کامپوزیت‌های سیلیکات نانوذره‌ای، می‌تواند در رخت‌خواب، پرده‌ها و غیره کاربردهای بسیاری پیدا کند.

#### ۸- نانوکامپوزیت‌های دیرسوز

با توجه به این که امروزه حجم وسیعی از کالاهای مصرفی هر جامعه‌ای را پلیمرهایی تشکیل می‌دهند که به راحتی می‌سوزند یا گاهی در مقابل شعله فاجعه می‌آفرینند، لزوم تحقیق در خصوص مواد دیرسوز احساس می‌شود. بر همین اساس، در کشورهای صنعتی، تلاش گسترده‌ای برای ساخت موادی با ایمنی بیشتر در برابر شعله آغاز شده است و در این زمینه نتایج مطلوبی هم به دست آمده است.

بر همین اساس و با توجه به تدوین استانداردهای جدید ایمنی، به نظر می‌رسد، استانداردهای ساخت مربوط به پلیمرهای مورد استفاده در خودروسازی، صنایع الکترونیک، صنایع نظامی و تجهیزات حفاظتی و حتی لوازم خانگی، در حال تغییر به سوی مواد دیرسوز است.

از طرف دیگر مدتی است که نانوکامپوزیت‌های پلیمر - خاک رس به عنوان موادی با خواص مناسب مثل تأخیر در شعله‌وری، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. بنابراین به نظر می‌رسد که نانوکامپوزیت‌های پلیمر - خاک رس می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد پلیمری معمولی باشند؛ برای تهیه پلیمرهای دیرسوز، علاوه بر رفتار آتش‌گیری، عوامل زیادی باید مورد توجه واقع شوند؛ از جمله اینکه از افزودنی‌هایی استفاده شود