مروری بر نانو کامپوزیت‌ها

اشکان عباسی نیکو[۱]، سعید جامعی[۲]، رامین صالح پور[۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی معماری کشتی (طراحی سازه)، دانشگاه خلیج فارس؛ ashkanabbasinikoo@gmail.com

[۲] استادیار گروه مهندسی دریا، دانشگاه خلیج فارس؛ jammeisa@pgu.ac.ir

[۳] کارشناس ارشد مهندسی معماری کشتی (طراحی سازه)، دانشگاه خلیج فارس؛ salehpour.ramin@mehr.pgu.ac.ir

چکیده:

گذشت زمان و پیشرفت علم و نیاز به مواد با کارایی خاص در صنعت، منجر به ساخت موادی با خواص مشخص شده که در آن عیوب و نقاط ضعف یک ماده توسط ماده‌ای دیگر بهبود پیدا می‌کند. در واقع این مواد مرکب که تحت عنوان کامپوزیت شناخته می‌شوند از یک جزء به نام زمینه یا ماتریکس و جزئی دیگر به نام تقویت‌کننده تشکیل شده است. حال اگر ابعاد یکی از اجزای تشکیل‌دهنده کامپوزیت در مقیاس نانو باشد؛ به این مواد نانو کامپوزیت گفته می‌شود. در این مقاله در ابتدا به تعریف کامپوزیت‌ها و نانو کامپوزیت‌ها پرداخته شده و چگونگی پیدایش آن‌ها بازگو و در ادامه به دسته‌بندی کامپوزیت‌ها از جنبه طبیعی یا مصنوعی بودن پرداخته می‌شود؛ سپس نانو کامپوزیت‌ها بر اساس پایه یا زمینه آن‌ها تقسیم‌بندی خواهد شد. در بخش بعدی در مورد مواد نانوکامپوزیت پلیمری و نوع خاص آن یعنی نانو لوله‌های کربنی توضیحاتی ارائه می‌شود و به انواع نانو لوله‌های کربنی و نقاط قوت و ضعف آن‌ها پرداخته شده و در پایان به چالش‌های پیش رو در ساخت مواد نانو کامپوزیت پلیمری اشاره خواهد شد.

واژه‌های کلیدی:

کامپوزیت، نانو کامپوزیت، نانو کامپوزیت پلیمری، نانو لوله کربنی

An overview of nanocomposites

Ashkan Abbasi Nikoo [1], Saeed Jamei[2], Ramin Salehpour[3]

1- MSc, Naval architecture Engineering-Ship Structure, Persian Gulf University

2-Assistant Professor, Department of Marine Engineering, Persian Gulf University

3- MSc, Naval architecture Engineering-Ship Structure, Persian Gulf University

Abstract:

The passage of time and the progress of science and the need for materials with special efficiency in the industry have led to the creation of materials with specified properties in which the defects and weaknesses of one material are improved by another material. In fact, these composite materials, which are known as composites, consist of one component called the matrix or another component called the reinforcement. Now, if the dimensions of one of the constituent components of the composite are on the nanoscale, these materials are called nanocomposite. In this article, firstly, the definition of composites and nanocomposites is discussed and how they appear, and then the classification of composites is discussed in terms of whether they are natural or artificial; Then nanocomposites will be divided based on their base or context. In the next section, explanations are provided about polymer nanocomposite materials and its special type, i.e. carbon nanotubes, and the types of carbon nanotubes and their strengths and weaknesses are discussed, and at the end, the challenges ahead in the manufacture of polymer nanocomposite materials will be mentioned.

Keywords:

Composite, nanocomposite, polymer nanocomposite, carbon nanotube

۱- مقدمه

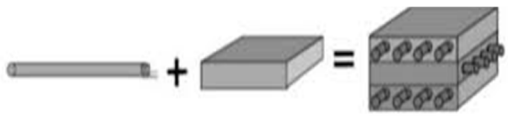
مواد و توسعه آن‌ها از پایه‌های تمدن بشر به شمار می‌آیند؛ به طوری که دوره‌های تاریخی را با مواد نام گذاری کرده‌اند مانند: عصر سنگ، عصر برنز، عصر آهن، عصر فولاد، عصر سیلیکون و عصر کربن. ما اکنون در عصر کربن به سر می‌بریم. عصر جدید با شناخت یک ماده جدید به وجود نمی‌آید، بلکه با بهینه‌کردن و ترکیب چند ماده می‌توان پا در عصر نوین گذاشت. استفاده از کامپوزیت‌های مدرن در حقیقت از اوایل سال ۱۹۴۰ شروع شد که برای اولین بار از الیاف شیشه جهت تقویت پلاستیک های مصرفی در ساخت پوشش پلاستیکی آنتن رادار هواپیما استفاده شد [1]. در پی آن اولین کامپوزیت فایبرگالس-پلاستیک در سال ۱۹۴۱ ساخته شد و طی جنگ جهانی دوم و بلافاصله پس از کاربرد پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف در هواپیماسازی، کامپوزیت‌ها موارد استفاده بیشتری یافتند و از سال ۱۹۵۶ صنایع فضایی نیز استفاده وسیع از آنها را آغاز کردند.

۱-۱ تعریف کامپوزیت

قبل از تعریف نانو کامپوزیت ابتدا باید کامپوزیت را تعریف کرد. کامپوزیت به ماده‌ای اطلاق می‌شود که از دو یا چند جزء تشکیل شده است؛ به طوری که این اجزا در مقیاس ماکروسکوپی با هم خصوصیتی را ایجاد کنند که به تنهایی در هیچ یک از آن اجزا موجود نباشد (شکل ۱). در ابتدای امر می‌توان بصورت یک مثال ساده به بیان این موضوع پرداخت. کاه‌گل یکی از اولین و مرسوم‌ترین کامپوزیت‌های مورد استفاده بشر می باشد. برای مثال اگر برای ساخت یک دیوار، از گل به تنهایی استفاده می‌شد ما دیواری شکننده داشتیم که این نتیجه مطلوبی را حاصل نمی‌کرد پس برای بهبود خاصیت مکانیکی گل و استحکام دیوار؛ کاه را به عنوان تقویت کننده، به زمینه که گل باشد اضافه نمودند و با این کار نقص موجود در زمینه (گل) را بر طرف کردند[1].

۱-۲ تعریف نانوکامپوزیت

این دسته از کامپوزیت‌ها به عنوان مواد راهگشا برای غلبه بر محدودیت‌های میکروکامپوزیت‌ها و مواد یکپارچه پدیدار گشتند. درک عمومی از خصوصیات آنها هنوز هم ادامه دارد؛ اما اولین تولید کاربردی از آنها در اوایل ۱۹۹۲ گزارش شد [2,3]. در صورتی که حداقل ابعاد یکی از اجزا تشکیل‌دهنده در مقیاس نانو متری قرار گیرد به چنین ماده‌ای نانو کامپوزیت گفته می‌شود، یعنی حداقل یکی از اجزا تشکیل‌دهنده آن در ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. فاز اول یک ساختار بلوری است که در واقع پایه یا ماتریس نانو کامپوزیت محسوب می‌شود و فاز دوم نیز ذراتی در مقیاس نانومتر می‌باشند که به عنوان تقویت کننده به منظور اهداف خاص از قبیل استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی، خواص مغناطیسی و... درون فاز اول توزیع می‌شوند.



شکل ۱: کامپوزیت از اضافه کردن جزء تقویت‌کننده به زمینه به منظور بهبود خواص به دست می‌آید [1]

۲- مزایای کلی نانو کامپوزیت‌ها

یکی از مشکلاتی که در ساخت کامپوزیت‌ها مطرح است؛ نیاز به افزودن مقادیر زیادی از جزء تقویت‌کننده به زمینه است که باعث می‌شود خاصیت قطعه کامپوزیت حاصله تفاوت قابل توجهی با خواص زمینه داشته باشد که این تفاوت در بسیاری از موارد یک عیب به شمار می‌رود. برای مثال فرض کنید که با افزودن پودر فلزی مثل مس به زمینه پلیمری به دنبال ایجاد رسانایی الکتریکی در کامپوزیت حاصله هستیم. ایجاد رسانایی الکتریکی با مقادیر بالا در این کامپوزیت نیازمند مقادیر بالایی از پودر مس است. در این صورت قطعه کامپوزیتی به‌دست آمده به ناچار وزن بسیار بالاتری نسبت به پلیمر زمینه خواهد داشت که این مورد در مکان‌هایی که از پلیمرها استفاده می‌شود بسیار غیر مطلوب است. هم‌چنین در این حالت خواص مکانیکی کامپوزیت حاصله نسبت به زمینه پلیمری افت خواهد کرد؛ برای مثال ازدیاد طول و ضربه پذیری در این قطعه کامپوزیتی به‌طور قابل توجهی کمتر از زمینه پلیمری آن می‌باشد.

حال در صورتی که به جای تقویت‌کننده عادی با ابعاد بزرگ، از نانوساختارهای رسانای الکتریکی مثل نانولوله کربنی استفاده شود این اشکال پیش نمی‌آید. در این

حالت با مقادیر بسیار کمتری از جزء تقویت‌کننده (مثلاً حدود ۲ درصد وزنی در مقایسه با ۲۰ درصد وزنی پودر فلزی) رسانایی الکتریکی بالا حاصل می‌شود. در نتیجه این امر، به علت کمتر بودن مقدار جزء تقویت‌کننده در حالت نانوکامپوزیت عملاً خواص ذاتی مطلوب زمینه نیز حفظ می‌شود و صرفاً خاصیت رسانایی الکتریکی که مدنظر بود به آن اضافه می‌شود. در نتیجه در این حالت علاوه بر افزایش رسانایی الکتریکی، ازیاد طول و ضربه‌پذیری به مقدار کمتری افت می‌کند و هم‌چنین وزن نانوکامپوزیت نیز افزایش نمی‌یابد که در کاربردهای صنعتی بسیار مورد نیاز است. در واقع در این حالت با مقادیری بسیار کمتر از جزء نانومتری می‌توان به خاصیت مورد نظر دست یافت. هم‌چنین با استفاده از مقادیر کمتری از جزء تقویت‌کننده قیمت تمام شده نیز در اکثر موارد کاهش می‌یابد؛ چراکه معمولاً جزء تقویت‌کننده قیمت بالاتری را نسبت به جزء زمینه دارد و کم‌کردن مقدار آن از لحاظ اقتصادی بسیار به صرفه است.

به صورت کلی می‌توان گفت نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با کامپوزیت‌ها خواص ویژه بالاتری دارند. منظور از خواص ویژه، میزان یک خاصیت تقسیم بر چگالی آن ماده است. در واقع خاصیت ویژه بیان می‌کند که با درنظرگرفتن وزن یکسان بین دو یا چند ماده کدام یک خاصیت مورد نظر بالاتری دارد. برای مثال منظور از استحکام کششی ویژه بین دو ماده این است که در وزن یکسان از آن دو ماده کدام یک استحکام کششی بالاتری دارد. همانطور که بیان شد در نانوکامپوزیت‌ها به دلیل استفاده از مقادیر بسیار کمتری از جزء تقویت‌کننده، معمولاً وزن سبک‌تر است.

به دلیل مزایای مذکور یکی از اصلی‌ترین حوزه‌هایی که فناوری نانو در آن ورود پیدا کرده و بازار نیز روی خوشی به آن نشان داده است؛ در حوزه نانوکامپوزیت‌ها می‌باشد.

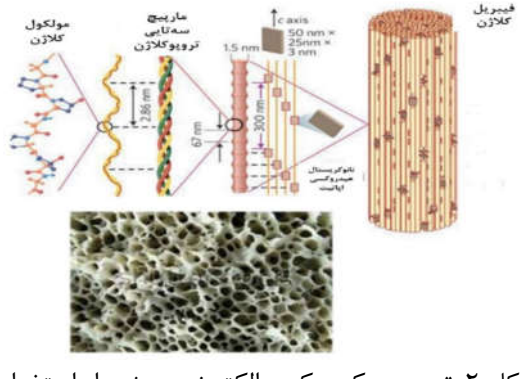
اما دلیل استفاده از مقادیر کمتری از جزء تقویت‌کننده در حالت نانو چیست؟ علت این امر نسبت سطح به حجم بالای نانومواد است. در این حالت به علت نسبت سطح به حجم بسیار بالا، برهم کنش بین جز تقویت‌کننده و زمینه بسیار بالاست و با مقادیر بسیار کم نیز برهم کنش کافی بین تقویت‌کننده و زمینه اتفاق می‌افتد (البته به شرط پخش یکنواخت). همچنین خواص ویژه در نانومواد مثل انتقال بالستیک الکترون یا فوتون، خواص نوری و مغناطیسی ویژه نیز که در اثر افزایش سطح به حجم و یا تبدیل نوارهای انرژی به ترازهای انرژی اتفاق می‌افتد نیز باعث ایجاد کاربردهای ویژه‌ای از نانومواد در نانوکامپوزیت‌سازی شده‌است.

۳- دسته بندی نانو کامپوزیت‌ها

نانو کامپوزیت‌ها را از چندین جنبه می‌توان دسته بندی نمود:

۳-۱ نانو کامپوزیت طبیعی و مصنوعی

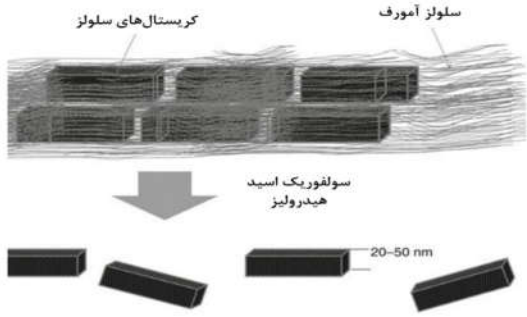
از معروف‌ترین نانوکامپوزیت‌های طبیعی می‌توان به چوب و استخوان اشاره کرد. استخوان را می‌توان مجموعه‌ای از فیبریل‌های کلاژنی در نظر گرفت. خود این فیبریل‌های کلاژنی از مارپیچ‌هایی از مولکول‌های کلاژن تشکیل شده‌اند که بر روی آنها نانوکریستال‌های هیدروکسی آپاتیت به عنوان اجزای تقویت‌کننده خواص مکانیکی قرار دارند. این ساختار ویژه استخوان است که مجموعه‌ای از خواص مکانیکی عالی را مثل استحکام مکانیکی بالا و مقاومت به ضربه بالا را حاصل کرده‌است. در شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ساختار استخوان و همین‌طور تصویر شماتیک واحدهای تشکیل‌دهنده استخوان آورده شده است.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از استخوان و تصویر شماتیک از اجزای تشکیل‌دهنده استخوان

هم‌چنین از چوب نیز می‌توان به عنوان یک نانوکامپوزیت طبیعی دیگر نام برد. در چوب زمینه‌ای از سلولز آمورف و چسب طبیعی وجود دارد که توسط نانوکریستال‌های سلولزی تقویت شده است. این نانوکریستال‌های سلولزی بر خلاف سلولز آمورف، استحکام مکانیکی بالایی دارند و به زمینه که دارای ضربه‌پذیری بالاست، مدول الاستیک و استحکام مکانیکی بالایی نیز می‌بخشند. در شکل ۳ تصویر شماتیک اجزا تشکیل‌دهنده چوب آورده شده است. قابل ذکر است که مطابق این شکل، در صورت هیدرولیز

چوب با اسید، قسمت‌های آمورف که مقاومت کمتری دارند از بین می‌روند و جزء تقویت‌کننده نانویی که نانوکریستال‌های سلولز است باقی می‌ماند.

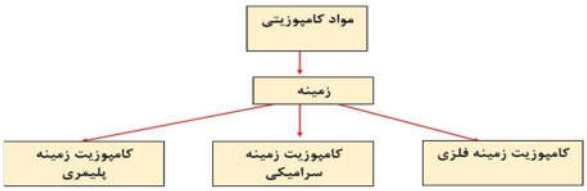


شکل ۳: تصویر شماتیک اجزا تشکیل‌دهنده چوب و هیدرولیز اسیدی چوب

۳-۲ بر اساس زمینه

جنبه دیگر تقسیم بندی نانوکامپوزیت‌ها (و کامپوزیت‌ها) که بسیار مرسوم است؛ تقسیم‌بندی آنها بر اساس نوع زمینه است. بر طبق این دسته‌بندی، نانوکامپوزیت‌ها به سه دسته نانوکامپوزیت‌های زمینه فلزی، زمینه پلیمری و زمینه سرامیکی تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۴). اضافه‌کردن جزء تقویت‌کننده نانویی به هریک از این زمینه‌ها به دلیل رفع نقوص اصلی آنهاست. در پلیمرها این نقوص می‌توانند استحکام مکانیکی کم، مقاومت حرارتی پایین، رسانایی الکتریکی و حرارتی بسیار پایین و تخریب در برابر نور فرابنفش خورشید باشد که بدین منظور می‌توان از تقویت‌کننده‌های نانویی مختلفی استفاده نمود. [۵،۴]

در فلزات، این نقوص می‌توانند مدول الاستیک یا استحکام مکانیکی پایین، مقاومت کم در برابر خزش یا استحکام شکست پایین باشد که معمولاً برای فلزات سبکی مثل آلومینیوم، تیتانیوم یا منیزیم صدق می‌کند. در سرامیک‌ها نیز نقص اصلی مرتبط با چقرمگی یا تافنس پایین زمینه سرامیکی است که سعی می‌شود با افزودن نانومواد، آن را بهبود بخشید.



شکل ۴: دسته‌بندی کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌ها بر حسب فاز زمینه (فلز، پلیمر یا سرامیک)

۳-۲-۱ بررسی نانوکامپوزیت‌های مختلف بر طبق زمینه

در اینجا به بررسی مباحث مهم در هریک از نانوکامپوزیت‌ها پرداخته می‌شود:

در نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری هدف استفاده از جزء نانو همان‌طور که در بالا اشاره شد رفع نقوص ذاتی پلیمرها مثل استحکام مکانیکی کم، مقاومت حرارتی پایین، رسانایی الکتریکی و حرارتی کم و نهایتاً تخریب در برابر امواج فرابنفش می‌باشد. از نانومواد در هر دو نوع پلیمر گرما نرم و گرما سخت استفاده می‌شود که از زمینه‌های متداول گرما نرم می‌توان به پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی آمید، پلی کربنات و پلی استایرن نام برد و از گرما سخت‌ها نیز می‌توان از اپوکسی، پلی استر، وینیل استرها نام برد. از نانومواد که اکثراً در این زمینه‌های پلیمری استفاده می‌شود می‌توان به نانو لوله کربنی، گرافن، کربن بلک، تیتانیا، کربنات کلسیم و نانورس اشاره کرد. برای مثال با نانو لوله کربنی و گرافن می‌توان به زمینه پلیمری رسانایی الکتریکی، رسانایی حرارتی، خاصیت کند سوزی و در مواردی بهبود خواص مکانیکی بخشید. هم چنین از نانو تیتانیا به عنوان جاذب فرابنفش نور خورشید و سفید کننده در زمینه‌های پلیمری استفاده می‌شود. هم‌چنین از نانوذرات کربنات کلسیم نیز می‌توان به عنوان پرکننده (جهت کاهش استفاده از پلیمر) استفاده نمود که در مواردی بهبود خواص مکانیکی مثل استحکام مکانیکی را منجر می‌شود. هم‌چنین نانورس نیز در بهبود خواص مکانیکی زمینه‌های پلیمری و همچنین کند سوز کردن آنها در اثر خاصیت سد گری (برای مثال جلوگیری از ورود اکسیژن به بسته بندی مواد غذایی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از نانو ساختارها است که می‌توان قطعات پلیمری با کاربردهای مهندسی و خواص ویژه تولید کرد.

در بسیاری از کاربردها که نیاز به وزن کم و یک خاصیت ویژه هست؛ این نانوکامپوزیت‌ها بهترین گزینه هستند چرا که به خاطر زمینه پلیمری؛ وزن بسیار کمی دارند و از طرف دیگر نیز میزان تقویت کننده کمی در آنها به کار رفته است و بهبود خواص نیز به علت نانوساختار بودن آن قابل توجه است.

در استفاده از نانوساختارها در زمینه‌های فلزی اکثراً منظور فلزات سبک؛ یعنی آلومینیوم، تیتانیوم و منیزیم است. این فلزات به علت وزن سبکی که دارند گزینه بسیار مناسبی در حوزه‌هایی که حرکت وجود دارد مثل هوافضا و خودروسازی هستند؛ که در این بین اصلی‌ترین گزینه مطرح؛ آلومینیوم است که قیمت مناسب‌تری هم دارد. اما مشکلی که این فلزات دارند این است که خواص مکانیکی مطلوبی برای این کاربردها مثل فولاد ندارند و استحکام تسلیم، مدول و استحکام کششی پایینی دارند. با استفاده از نانومواد مثل نانولوله کربنی، کاربید سیلیسیوم، آلومینا و گرافن می‌توان خواص مکانیکی این فلزات را بهبود بخشید. هم‌چنین در مواردی نیز از این نانومواد به دلیل جلوگیری از خزش (در یک تنش ثابت و در دمای بالا) در زمینه فلزی استفاده می‌شود.

در زمینه‌های سرامیکی نیز مهم‌ترین مشکل چقرمگی یا تافنس پایین آن است. به همین دلیل سرامیک‌ها بسیار شکننده هستند و قابلیت تغییر شکل پلاستیک پایینی دارند. یکی از راهکارهای بهبود چقرمگی سرامیک‌ها استفاده از نانومواد در آنهاست. این نانو مواد با جلوگیری از رشد ترک به افزایش تافنس زمینه سرامیکی و به تعویق انداختن شکست در آن کمک می‌کنند. از جمله این موارد می‌توان به استفاده از نانوذرات آلومینا یا سیلیکا در زمینه سرامیکی زیرکونیا یا سرامیک دوجزئی زیرکونیا-آلومینا اشاره کرد.

حتی در صورتی که این افزایش تافنس قابل توجه باشد می‌توان نانوکامپوزیت زمینه سرامیکی با قابلیت سوپرپلاستیسیته ساخت؛ در این صورت می‌توان آن قطعه نانوکامپوزیتی را به اشکال دلخواه تغییر شکل داد. با استفاده از این راهکار بوده است که در حال حاضر می‌توان چاقوهای سرامیکی تولید کرد. درصورتی که تا قبل از این امکان تغییر شکل و ماشینکاری سرامیک‌ها برای ایجاد شکل تیغه چاقو به علت شکنندگی بالای آنها فراهم نبود [۶].

۴- نانو کامپوزیت پلیمری

در بین نانوکامپوزیت‌ها بیشترین توجه به نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری معطوف است. یکی از دلایل گسترش نانوکامپوزیت‌های پلیمری، خواص بی‌نظیر مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی آن است. نانوکامپوزیت‌های پلیمری عموماً دارای استحکام بالا، وزن کم، پایداری حرارتی بالا، رسانایی الکتریکی بالا و مقاومت شیمیایی بالایی هستند [۷].

برخلاف تقویت‌کننده‌های مرسوم که در مقیاس میکرون می‌باشند، در کامپوزیت‌های نانوساختاری، فاز تقویت‌کننده در مقیاس نانومتر می‌باشد. توزیع یکنواخت این نانوذرات در فاز زمینه پلیمری باعث می‌شود فصل مشترک فاز زمینه و فاز تقویت‌کننده در واحد حجم، مساحت بسیار بالایی داشته باشد. برای مثال مساحت فصل مشترک ایجاد شده با توزیع سیلیکات لایه‌ای در پلیمر بیشتر از ۷۰۰ خواهد بود. علاوه بر این؛ فاصله بین ذرات فاز نانومتری تقویت‌کننده با اندازه ذرات قابل مقایسه خواهد بود. برای مثال برای یک صفحه با ضخامت ۱ نانومتر فاصله بین صفحات در حدود ۱۰ نانومتر در فقط ۷ درصد حجمی از فازتقویت‌کننده می‌باشد. این مورفولوژی از ویژگی‌های ابعاد نانومتری می‌باشد.

در کامپوزیت‌ها کارایی مورد نیاز، خواص مکانیکی، هزینه و قابلیت فرآوری از موضوعات بسیار مهم می‌باشد. نانوکامپوزیت‌های پلیمری بر این محدودیت‌ها غلبه کرده است. برای مثال پیشرفت سریع نانوکامپوزیت‌های پلیمر-سیلیکات لایه‌ای را درنظر بگیرید. تلاش‌های ده سال اخیر باعث شده است که مدول کششی و استحکام این کامپوزیت‌ها دو برابر شود؛ بدون اینکه مقاومت به ضربه آنها کاهش یابد. مثلاً برای تعداد زیادی از رزین‌های ترموپلاستیک مثل نایلون و اولفین و همچنین رزین‌های ترموست مثل اورتان، اپوکسی و سیلوگزان با افزایش مقدار کمی مثلاً ۲٪ حجمی از سیلیکات لایه‌ای می‌توان به این خواص رسید.

سیلیکات‌های لایه‌ای تا به امروز بیشترین کاربرد را در ساخت نانوکامپوزیت ها داشته‌اند اخیراً به شدت از نانولوله‌های کربنی نیز در ساخت این نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود. از انواع رزین‌های مورد استفاده به عنوان زمینه نانوکامپوزیت‌ها، رزین‌های ترموپلاستیک و ترموست می‌باشد.

۴-۱ نانو لوله کربنی

برخلاف تحقیقات ۲۵ ساله بر روی توزیع سیلیکات‌های لایه‌ای در پلیمرها، تحقیقات در زمینه توزیع نانولوله‌های کربنی در پلیمرها بسیار جدید می‌باشد.

توسعه نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری و افزایش تحقیقات در این زمینه، کشف نانو لوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱ میلادی است. استحکام و خواص الکتریکی نانو لوله‌های کربنی به طور قابل ملاحظه‌ای با نانولایه‌های گرافیت و دیگر مواد پرکننده تفاوت دارد. نانولوله‌های کربنی در حین افزایش و بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پلیمرها، باعث می‌شوند که خواص الکتریکی و گرمایی رزین‌ها نیز بهبود یابد. قطر این نانولوله‌ها می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد و نسبت وجهی (طول به قطر) بیشتر از ۱۰۰ یا حتی ۱۰۰۰ باشد. مانند سیلیکات‌های لایه‌ای ماهیت غیرهمسانگردی این لوله‌ها باعث می‌شود که در کسر حجمی کمی از نانولوله‌ها رفتار جالبی در این نانوکامپوزیت‌ها پیدا شود [۸،۷].

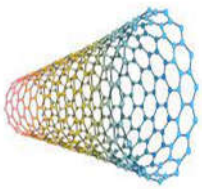
۴-۱-۱ نانو لوله کربنی تک دیواره و چند دیواره

نانولوله‌های کربنی در دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند. نانولوله‌های تک‌دیواره (شکل ۵) و نانولوله‌های چنددیواره (شکل ۶). علت علاقه به نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و تلاش برای جایگزین‌کردن آن‌ها در صنعت براساس محاسبات تئوری و تأییدات آزمایشگاهی بر خصوصیات عالی مکانیکی و رسانایی الکتریکی آنها مانند فلزات می‌باشد.

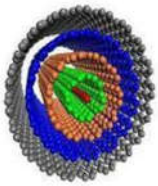
رقابت بر روی توسعه روش‌های ساخت با هزینه کم، فرآوری نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و همچنین پایداری خصوصیات این نانولوله‌ها در حین فرآوری پلیمر- نانولوله، از موانعی هستند که سرعت پیشرفت در تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری پرشده با نانولوله‌های کربنی را محدود کرده‌اند.

برعکس در دسترس‌بودن و تجاری‌بودن نانولوله‌های کربنی چنددیواره باعث شده است که پیشرفت‌های بیشتری در این زمینه داشته باشیم. تا حدی که محصولاتی در آستانه تجاری‌شدن تولید شده است. به عنوان مثال از نانولوله‌های کربنی چند دیواره جایگزین Carbon-black در پودرهای رنگ استفاده شده است. استفاده از این نانولوله‌ها باعث می‌شود که رسانایی الکتریکی در مقدار کمی از فاز تقویت‌کننده حاصل شود و کاربرد آنها در پوشش دادن قطعات اتومبیل می‌باشد. یکی ازمعایب نانولوله‌های چند دیواره نسبت به تک دیواره این است که استحکام دهی آنها کمتر می‌باشد زیرا پیوندهای صفحات داخلی ضعیف می‌باشند. در هر حال، درحال حاضر کاربردهایی که باعث استفاده از نانولوله‌ها در تقویت‌دادن پلیمرها می‌شود، بهبود خواص گرمایی و الکتریکی می‌باشد تا بهبود خواص مکانیکی. بنابراین کاربرد نانولوله‌های کربنی چنددیواره بسیار زیاد می‌باشد.

از نظر نظامی نیز فراهم‌کردن هدایت الکتریکی و یا الکتریکی در فیلم‌ها و فایبرهای پلیمری فرصت‌های انقلابی بوجود خواهد آورد. به عنوان مثال از پوسته‌های الکتریکی-مغناطیسی گرفته تا کامپوزیت‌های رسانای گرما و لباس سربازان.



شکل ۵: نانو لوله کربنی تک دیواره



شکل ۶: نانو لوله کربنی چند دیواره

۵- چالش‌های پیش رو

در نانوکامپوزیت‌های پلیمری هدف نهایی، توزیع یکنواخت فاز تقویت‌کننده نانومتری می‌باشد [۸]. اساساً ۴ روش برای تولید نانوکامپوزیت‌های یکنواخت وجود دارد: فرآوری محلولی، پلیمریزاسیون درجا، فرآوری مزوفازها و فرآوری مذاب. تحقیقات بسیاری در مورد این فرآیندها برای بررسی پارامترهای کنترل‌کننده مورفولوژی نانوکامپوزیت حاصله با این روش‌ها وجود دارد.

عملگری سطحی و عناصر نانویی به‌کاررفته در پلیمرها باید به گونه‌ای باشد که نرخ پلیمریزاسیون و محل شروع پلیمریزاسیون قابل کنترل باشد. زیرا درحین پلیمریزاسیون ممکن است عناصر نانویی تقویت‌کننده آگلومره شوند.

نقطه کلیدی در تمام این فرآیندها مهندسی فصل مشترک بین پلیمر و نانوذره می‌باشد. برای این فرآیندها عموماً از سورفکتانت‌ها استفاده می‌شود. برای مثال از مولکول‌هایی که بصورت یونی با سطح نانوذرات پیوند

داشته باشند (در سیلیکات‌های لایه‌ای) استفاده می‌شود و درمورد نانولوله‌های کربنی از پلیمرهایی که بصورت فیزیکی به آنها متصل می‌شوند استفاده می‌شود. این بهسازی‌های سطحی باعث می‌شوند که عکس‌العمل بین فصل مشترک‌ها بهبود یابد. بیشترین تلاش‌ها در حال حاضر بر روی بهسازهایی شده است که باعث می‌شود توزیع نانوذرات تسهیل یافته و بصورت یکنواخت توزیع شوند.

در حال حاضر موضوعات با درجه بالای اهمیت در تحقیقات عبارتند از: درک دقیق و عمیق از منطقه فصل مشترک فاز تقویت‌کننده و پلیمر، وابستگی خصوصیات فصل مشترک به شیمی سطح نانوذره، آرایش اجزاء و ارتباط بین منطقه فصل مشترک و خصوصیات نانوکامپوزیت‌ها. همچنین درک کلی از ارتباط مورفولوژی و خصوصیات حاصله در رفتار مکانیکی، گرمایی و مقاومتی بسیار کم می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

مطابق توضیحاتی که گفته شده مشاهده می‌شود که با استفاده از نانو مواد در زمینه‌های مختلف پلیمری، سرامیکی و فلزی می‌توان به خواص ویژه بالایی رسید. در این حالت می‌توان نانوکامپوزیت‌هایی با وزن کم و خواص مکانیکی یا الکتریکی و یا حرارتی بالا بدست آورد. این امر ناشی از نسبت سطح به حجم بالای نانومواد و برهمکنش زیاد آن‌ها با زمینه و همین طور خواص ذاتی ویژه نانومواد است. در هر کدام از زمینه‌ها به دلیل نقوص ذاتی آن زمینه با توجه به کاربرد مورد نظر نانو ساختارهای مختلفی می‌توان استفاده نمود. در بعضی از کاربردها باید دقت کرد که درصد وزنی نانوساختار مورد استفاده کافی باشد و اصطلاحاً بیشتر از آستانه تراوش آن در زمینه مورد انتخاب باشد.

۷- مراجع

[۱] رحیمی ا، (۱۳۹۸) "آشنایی با پلیمرها و کاربرد آنها" جلد اول، چاپ دوم، انتشارات پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ص ۵۲.

[2] Callister W.D. (2003), “Materials science and engineering, an introduction”, Vol. 1, Wiley, New York, pp. 124.

[3] Lubin, George. Handbook of composites. Springer Science & Business Media, 2013.

[4] Ajayan, Pulickel M., Linda S. Schadler, and Paul V. Braun. Nanocomposite science and technology. John Wiley & Sons, 2006.

[5] Venkatesan, Jayachandran, and Se-Kwon Kim. "Nano-hydroxyapatite composite biomaterials for bone tissue engineering—a review." Journal of biomedical nanotechnology10.10 (2014): 3124-3140.

[6] Oksman, Kristiina, et al. "Review of the recent developments in cellulose nanocomposite processing." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 83 (2016): 2-18.

[7] Astrom, B. Tomas. Manufacturing of polymer composites. Routledge, 2018.

[8] https://paper.nano.ir/print/1/987