

نانوکامپوزیت‌های بسیاری؛ نسل جدیدی از کامپوزیت‌ها

شبنم فرخنده ماسوله، جواد صفری*

دانشگاه کاشان، پردیس علوم، دانشکده شیمی

چکیده

نانوکامپوزیت‌ها طبقه‌ای جدیدی از مواد چندسازه با به هم فشردگی فیزیکی فاز آلی و فاز معدنی چندنانومتری می‌باشند. این مواد به دلیل این که دارای ریخت‌شناختی خوب، خواص یکنواخت و پتانسیل کاربردی متعدد در زمینه‌هایی از قبیل اپتیک، الکترونیک، مکانیک، غشاء، پوشش‌های محافظ، کاتالیزورها، حس‌گرها و ... هستند، در سال‌های اخیر بسیار جلب توجه کرده‌اند. نانوکامپوزیت‌ها بسته به نوع فاز پیوسته به انواع گوناگونی با خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی متفاوت تقسیم می‌شوند: نانوکامپوزیت‌های سرامیکی، نانوکامپوزیت‌های پلیمری و نانوکامپوزیت‌های فلزی. نانوکامپوزیت‌های پلیمری از نظر تجاری موادی با اهمیت هستند که به دلیل فرایندپذیری و خواص مناسب فازهای پیوسته‌ی پلیمری از کاربردهای زیادی برخوردارند. پژوهش‌ها نشان داده است که تنها استفاده از مقدار بسیار کمی از نانوپرکننده‌ها (۱-۲ درصد وزنی) در پلیمرها سبب بهبود و تقویت خواص مواد پلیمری نسبت به ماکروکامپوزیت‌های مشابه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، نانوکامپوزیت، نانوکامپوزیت بسیاری.

safari@kashanu.ac.ir

۱- کامپوزیت

۳- نانوکامپوزیت‌های بسیاری

نانوکامپوزیت‌های بسیاری سیستم‌های دوفازی هستند که از یک فاز پیوسته‌ی بسیاری (ماتریس) و نانوذرات معدنی (به عنوان فاز تقویت کننده) تشکیل می‌شوند.

نانوکامپوزیت‌های بسیاری را می‌توان با بسپارهای ترموست و یا ترموپلاست (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌آمیدها، پلی‌استایرن و پلی‌متیل متاکریلات) تولید کرد [۳]. نانوکامپوزیت‌های بسیاری از نظر تجاری موادی با اهمیت هستند که به دلیل فرایندپذیری و خواص مناسب فازهای پیوسته‌ی بسیاری از کاربردهای زیادی برخوردارند.

پژوهش‌ها نشان داده است که تنها استفاده از مقدار بسیار کمی از نانوپرکننده‌ها^۱ (۳-۶ درصد وزنی) در بسپارها سبب بهبود و تقویت خواص مواد بسیاری نسبت به ماکروکامپوزیت‌های مشابه می‌شود [۳]. که برخی از خواص بهبود یافته به صورت زیر است:

۱. خواص مکانیکی و حرارتی [۱]
۲. هدایت الکتریکی [۴]
۳. پایداری شیمیایی [۵]
۴. مقاومت مناسب نسبت به عبور مایع و گاز [۱]
۵. خواص نوری و الکتریکی [۵]
۶. تاخیر در اشتعال‌زایی [۵]
۷. خواص ضد باکتری و ضد میکروب

به‌طور کلی تمام خواص ذکر شده در نانوکامپوزیت‌های بسیاری وابسته به مقدار نانو پرکننده، میزان برهم‌کنش بین نانو پرکننده و زنجیرهای ماکرومولکول و درجه‌ی پراکنش^۲ ذرات نانو در بستر بسیار می‌باشد. هم‌چنین شکل هندسی و نسبت منظر^۳ (نسبت بزرگ‌ترین بعد پرکننده به کوچک‌ترین بعد پرکننده) نانوذرات از جمله پارامترهای اصلی جهت تقویت خواص مواد بسیاری محسوب می‌شود. پرکننده‌های با نسبت منظر بالا، سطح ویژه بالاتری دارند که خواص تقویت شده‌ی بهتری را فراهم می‌کنند. هم‌چنین هرچه نانوذرات به کار رفته به عنوان پرکننده اندازه‌ی کوچکی داشته باشند، توزیع آن‌ها در فاز پیوسته (ماتریس) بسیاری مشکل‌تر خواهد بود زیرا نانوذرات بسیار ناپایدارند و تمایل زیادی به تجمع و کلوخه‌ای شدن دارند و کلوخه‌ای شدن نانوذرات یک نقطه‌ی ضعف برای ماتریس بسیاری محسوب می‌شود [۹].

واژه‌ی کامپوزیت^۱ از کلمه‌ی انگلیسی Compose به معنی ترکیب کردن، ساختن و مخلوط کردن مشتق شده است. کامپوزیت از ترکیب و اختلاط دو یا چند ماده حاصل می‌شود. در این‌جا منظور ترکیب و اختلاط فیزیکی است نه شیمیایی، به طوری که اجزای تشکیل‌دهنده ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را به طور کامل حفظ می‌کنند. اگرچه در برخی کامپوزیت‌های پیشرفته برای بهبود خواص، انجام اصلاح شیمیایی سطح در مورد مواد تشکیل‌دهنده الزامی است. در واقع کامپوزیت‌ها مواد جامدی هستند که از دو یا چند جزء یا فاز تشکیل شده‌اند که از نظر شیمیایی یا فیزیکی کاملاً متفاوت هستند و به صورت منظم یا پراکنده کنار هم قرار گرفته‌اند و لایه‌ی مشترکی بین آن‌ها وجود دارد. بنابراین کامپوزیت‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که هیچ یک از فازهای تشکیل‌دهنده به تنهایی نمی‌توانند آن‌ها را داشته باشند.

۲- نانوکامپوزیت

تهیه‌ی بسیاری از مواد جالب توجه در مقیاس نانو و توسعه‌ی روش‌های تهیه‌ی آن‌ها یکی از گسترده‌ترین چالش‌ها را در قرن حاضر برای شیمی‌دانان به وجود آورده است. در این میان یکی از مواردی که توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است، تهیه‌ی کامپوزیت‌هایی در مقیاس نانومتری است. این مواد که به آن‌ها نانوکامپوزیت گفته می‌شود، به‌طور شگفت‌انگیزی ویژگی‌های متفاوت با همتای خود در مقیاس ماکرو دارند. نانوکامپوزیت به ماده‌ای گفته می‌شود که دارای یک فاز پراکنده^۲ با ابعاد نانومتری است که در بستر یک فاز پیوسته^۳ توزیع شده است [۱]. فاز پراکنده می‌تواند به صورت نانومواد مانند نانوذرات، نانولوله‌ها^۴، نانوسیم‌ها^۵ و نانوالیاف^۶ در بستر فاز پیوسته‌ی سرامیکی، بسیاری و یا فلزی پراکنده شود. نانوکامپوزیت‌ها با توجه به نوع فاز پیوسته به انواع گوناگونی با خواص مکانیکی، حرارتی و شیمیایی متفاوت تقسیم می‌شوند [۲]:

- نانوکامپوزیت‌های سرامیکی
- نانوکامپوزیت‌های بسیاری
- نانوکامپوزیت‌های فلزی

۱-۳- روش‌های تهیه نانوکامپوزیت‌های بسپاری [۲]

1) Intercalation Method a) Polymer or Pre-polymer Intercalation from Solution (Fig 1) b) In-situ Intercalative Polymerization (Fig 2) c) Melt Intercalation (Fig 3)
2) Sol-Gel Method
3) Molecular Composite Formation Method a) Liquid Crystal Polymer Alloy Formation Method
4) Nanofiller Direct Dispersion Method

۲-۳- کاربردهای نانوکامپوزیت‌های بسپاری

نانوکامپوزیت‌های بسپاری ابتدا در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت خودروسازی تویوتا بر پایه پلی‌آمید ۶ به صورت تجاری تهیه شدند [۵]. نانوکامپوزیت‌های بسپاری به دلیل خواص منحصر به فردی که دارند، کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون دارند. پژوهش‌ها نشان داده است که نانوکامپوزیت‌های بر پایه نانوآکساک رس^۱، پلی‌الفین‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن و نیز آلایزهای الاستومری به همراه نانولوله‌های کربنی به دلیل خواص مکانیکی و هدایت الکتریکی مناسب در صنعت خودروسازی و هوافضا از کارایی چشم‌گیری برخوردارند. همچنین نانوسلیکات‌های لایه‌ای رس به دلیل کاهش ضریب تراوایی و بهبود خواص عبورپذیری^{۱۱} فیلم‌های بسپاری، اهمیت ویژه‌ای را در صنعت بسته‌بندی فیلم‌های بسپاری^{۱۱} مانند پلی‌آمیدها، پلی‌استایرن، پلی‌الفین‌ها و نشاسته در مصارف غذایی و دارویی امروزه به خود اختصاص داده‌اند. حضور نانوذرات نقره و همچنین نانو تیتانیوم‌دی‌اکسید به عنوان نانو پرکننده‌ی فعال زیست محیطی و ضد باکتری با خاصیت ویژه فتوکاتالیست خود به همراه بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر^{۱۳} مانند پلی‌لاکتاید [۶]، پلی‌کاپرولاکتون [۱۰] و کیتوسان مورد توجه فراوانی برای تهیه مواد ضد میکروب و تجهیزات پزشکی قرار گرفته‌اند [۹]. از جمله کاربردهای عمده نانوکامپوزیت‌های بسپاری به شرح زیر می‌باشند (شکل ۴):

۱. باتری‌های لیتیومی [۱]
۲. فیلم‌های بسته‌بندی مقاوم نسبت به گاز در صنایع غذایی [۱۰ و ۱۱]
۳. ذخیره‌سازی گاز [۱]
۴. ذخیره‌سازی اطلاعات [۵]
۵. ارتباطات [۵]
۶. صنایع هوافضا و سامانه‌های موشکی [۵]
۷. صنایع روکش [۵]
۸. وسایل ورزشی [۵]
۹. پزشکی و سلامت [۵]
۱۰. گریس [۳]
۱۱. رنگ [۳]
۱۲. لوازم آرایشی [۳]
۱۳. جوهر [۳]

۱-۱-۳- کاربرد نانوکامپوزیت‌های بسپاری در مهندسی بافت

امروزه رویکرد درمانی و میان‌رشته‌ای به نام مهندسی بافت در حال پیدایش است که چیزی شبیه قطعات یدکی و استفاده از آن‌ها در وسایل ماشینی است. در این زمینه همانند ساختمان‌سازی ابتدا یک داربست در ابعاد سلولی

ساخته می‌شود و سپس از آن جهت لانه‌گزینی و تکثیر سلول‌ها استفاده می‌گردد. در واقع مهم‌ترین هدف مهندسی بافت، بازسازی بافت و بهبود عملکرد اعضا از طریق ساخت داربست‌های سه‌بعدی است. جنس مواد به کار رفته در مهندسی بافت بسیار متنوع و شامل مواد طبیعی، صنعتی، نیمه صنعتی، زیست‌تخریب‌پذیر و یا پایدار می‌باشد. در حال حاضر، یکی از گروه‌هایی که برای ساخت داربست‌ها در مهندسی بافت مورد توجه هستند، بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر سنتزی می‌باشند که خواص مکانیکی نسبتاً ضعیفی دارند. بنابراین، این محدودیت در آزمایش‌های کشت درون بدن^{۱۱} ایجاد مشکل می‌کند زیرا داربست‌های سلولی باید در طول مدت شکل‌گیری بافت جدید، شکل خود را حفظ کنند. برای برطرف کردن این عیب، این دسته از مواد را با نانوذرات و یا نانوفیبرهایی مانند شیشه‌ی زیست‌فعال^{۱۵} یا هیدروکسی آپاتیت که خواص زیست‌فعال بسیار خوبی دارند ترکیب می‌کنند. با ساخت این نانوکامپوزیت‌ها علاوه بر برطرف کردن نقص فوق یعنی بهبود خواص مکانیکی، سینتیک تخریب را نیز می‌توان کنترل کرد [۷ و ۱۱].

۴- نتیجه‌گیری

نانوکامپوزیت‌های بسپاری را می‌توان با بسپارها و نانوذرات متنوعی تهیه کرد که پتانسیل‌های کاربردی فراوانی دارند و می‌توانند طیف وسیعی از مشکلات پیش روی بشر را در زمینه‌های گوناگون مرتفع کنند. بنابراین با توجه به اهمیت این مواد، پژوهش‌ها در این زمینه که از سال ۱۹۹۰ شروع شده، تاکنون ادامه دارد و هر روز کاربردهای جدیدی از این مواد به دنیا معرفی می‌گردد.

۵- منابع

1. P. Meneghetti, S. Qutubuddin, "Synthesis, thermal properties and applications of polymer-clay nanocomposites", *Thermochimica Acta.*, 2006, 442, 74-77.
2. T. Tanaka, G. C. Montanari, R. M^ulhaupt, "Polymer Nanocomposites as Dielectrics and Electrical Insulation-perspectives for Processing Technologies Material Characterization and Future Application", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.*, 2004, 11, No. 5.
3. H. A. Patel, R. S. Somani, H. C. Bajaj, R. V. Jasra, "Nanoclays for polymer nanocomposites, paints, inks, greases and cosmetics formulations, drug delivery vehicle and waste water treatment", *Bull. Mater. Sci.*, 2006, 29, No. 2, 133-145.
4. I. Ahmad, M. Hussain, K-S. Seo, Y-H. Choa, "Synthesis and Characterization of Polymer-Nanoclay Conductive Nanocomposites", *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 116, 314-319.
5. F. Hussain, M. Hojjati, M. Okamoto, R. Gorga, "Review article: Polymer-matrix Nanocomposites,



Advances in Polymer Technology., 2006, 25, No. 4, 270-285.

۹. پویا کتباب، تهیهی بیونانو کامپوزیت‌های ضد باکتری با ضریب تراوایی کاهش یافته نسبت به اکسیژن بر پایه پلی اتیلن LDPE / هیبرید نانو اکسید تیتانیوم - نانو خاک رس اصلاح شده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
۱۰. آزاده آصف‌نژاد، فریبا اورنگ، شاهین بنگدار، بررسی خواص نوعی داربست زیست‌تخریب‌پذیر پلی‌استر یورتانی بر پایه پلی‌کاپرولاکتون جهت کاربرد در مهندسی بافت، سیزدهمین کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۲ و ۳ اسفند ۱۳۸۵.
۱۱. بهمن ترابی نژاد، سنتز و بررسی کوپلیمرهای سه‌قطعه‌ای از L-L-لاکتاید و ε کاپرولاکتون و تهیه نانو کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت از آن‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

Processing, Manufacturing, and Application: An Overview”, Journal of Composite Materials., 2006, 40, No. 17.

6. H-W. Kim, H-H. Lee, G-S. Chun, “Bioactivity and osteoblast responses of novel biomedical nanocomposites of bioactive glass nanofiber filled poly (lactic acid)”, Journal of Biomedical Materials Research Part A., 2007, 651-663.
7. A .S. Mistry, S. H. Cheng, T. Yeh, E. Christenson, J. A. Jansen, A. G. Mikos, “Fabrication and in vitro degradation of porous fumarate-based polymer/ alumoxane nanocomposite scaffolds for bone tissue engineering”, Journal of Biomedical Materials Research Part A., 2008, 68-79.
8. Q. T. Nguyen, D. G. Baird, “Preparation of Polymer-Clay Nanocomposites and Their Properties”,