



NAISL

Volume 3, Number 4, 2020

Pages: 45-51

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

Website: shaajournal.msrt.ir

A new approach to decrease electron microscopes utilization: Optical microscope and image analyzing technique using to investigate the dispersion and distribution of nano-particles within the polymer matrix

Ayub Karimzad-Ghavidel ^{1*}, Gholamreza Kiani²

Abstract

Polymer base nanocomposite production such is nano-particles applications. The properties of these nanocomposites are directly dependent on dispersion and separation of nano-particles within the polymer matrix. In the major part of researches, scanning and transmission electron microscopes are used for this aim. Whole nanocomposite matrix scanning impossibility for imaging by electron microscope causes to need for supplementary spectroscopy analysis. On the other hand, accessibility to these microscope is limited and the science centers in where get services to researchers by these microscopes, the dispersion and separation study of nano-particles within the polymer matrix increases their works. In many cases, researchers have to tolerate a long time for imaging. This paper is trying by a new approach to present: the comprehensive, scientific and very cheap method to study the dispersion and distribution of nano-particles within the polymer matrix used optical microscope that researchers access them in the all labs, approximately. For identifying and explanation of this method, poly methyl methacrylate/ carbon nanotubes nanocomposite produced by solution casting technique is selected as case-study. In the first stage, a method is presented to facilitate the nanocomposite thin film production without microtome and then dispersion and distribution will be investigated by optical microscope and ImageJ software utilization.

Key Words:

Dispersion and distribution,
nano-particles,
Optical microscope,
Polymer based nanocomposite,
Cheap technique

(*) Corrospounding author

1. Instructor, department of Engineering Science, Tabriz Branch, Faculty of Tabriz Technical and Vocational University (TVU), Tabriz, Iran.

E-mail: a-karimzad@vu.ac.ir

Tel: 04134779011

2. Associate Professor Department of Emerging Technologies Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: g.kiani@tabrizu.ac.ir

Tel: 04133393853

رویکردی نوین جهت کاهش استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی: بکارگیری میکروسکوپ‌های نوری و تکنیک پردازش تصویر جهت بررسی پخش و توزیع نانوذرات در بسترهای پلیمری

ایوب کریم‌زاد قویدل^{۱*}، غلامرضا کیانی^۲



نشریه رویکردهای نوین در
آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال سوم، شماره ۴، ۱۳۹۸
صفحات: ۴۵-۵۱
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وبسایت: shaajournal.msrt.ir

از جمله کاربردهای نانوذرات تولید نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری است. خواص این نانوکامپوزیت‌ها مستقیماً وابسته به پخش و جدایش نانوذرات در بستر پلیمر است. در اکثریت پژوهش‌ها برای بررسی توزیع و پخش نانوذرات از میکروسکوپ‌های روبشی و عبوری الکترونی استفاده می‌شود. عدم امکان روبش تمام زمینه نانوکامپوزیت جهت تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی سبب می‌شود تا جهت مطالعه توزیع و پخش، نیاز به آزمون‌های تکمیلی طیف‌نگاری باشد. از سوی دیگر دسترسی به میکروسکوپ‌های الکترونی با محدودیت مواجه است و در مراکز علمی مجهز به این میکروسکوپ‌ها که به پژوهشگران خدمات ارائه می‌نمایند، مطالعه توزیع و پخش نانوذرات در بستر پلیمری بر ترافیک کاری آن‌ها افزوده است و در بسیاری از موارد پژوهشگران، مدت زمان زیادی را جهت تصویربرداری از نمونه‌های خود در انتظار به سر می‌برند. مقاله حاضر با رویکردی نوین در تلاش است روشی جامع، علمی و بسیار ارزان قیمت برای مطالعه توزیع و پخش نانوذرات در بسترهای پلیمری ارائه نماید که در این تکنیک از میکروسکوپ‌های نوری معمولی استفاده می‌گردد که تقریباً در تمام آزمایشگاه‌ها در دسترس پژوهشگران قرار دارد. برای معرفی و تشریح این روش، نانوکامپوزیت پلی‌متیل متاکریلات/نانولوله‌های کربنی که با روش انحلالی تهیه می‌شود بعنوان مورد تحت مطالعه انتخاب شده است. در گام نخست روشی جهت تسهیل تهیه لایه نازک نانوکامپوزیت بدون نیاز به دستگاه میکروتوم ارائه شده و سپس با میکروسکوپ نوری و بکارگیری نرم افزار ImageJ، پخش و توزیع نانولوله‌های کربنی بررسی خواهد شد.

چکیده



ایوب کریم‌زاد قویدل غلامرضا کیانی

واژگان کلیدی:

پخش و توزیع،
نانوذرات،

میکروسکوپ نوری،

نانوکامپوزیت پایه پلیمری،

روش ارزان.

(*) مسئول مکاتبات.

۱. هیات علمی گروه علوم مهندسی دانشکده فنی و حرفه‌ای شماره یک تبریز، دانشگاه فنی و حرفه‌ای تبریز، ایران.

ایمیل: a-karimzad@vu.ac.ir

تلفن: ۰۴۱۳۴۷۷۹۰۱۱

۲. هیات علمی گروه مهندسی نانوفناوری - نانوالکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

ایمیل: g.kiani@tabrizu.ac.ir

تلفن: ۰۴۱۳۳۳۹۳۸۵۳

۱ مقدمه

کاربرد نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری بدلیل خواص منحصر به فرد و بهبود یافته مکانیکی و الکتریکی در حال توسعه روز افزون است [۱-۲]. از جمله عواملی که نقش تعیین کننده‌ای بر این خواص دارند، نحوه پخش و توزیع نانوذرات در بستر پلیمرهاست [۳-۵]. پژوهشگران معمولاً پس از تولید نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی به بررسی ساختار آن‌ها و چگونگی پخش، جدایش و همچنین توزیع ذرات در بستر می‌پردازند [۶-۷]. برای بهره‌گیری از این تکنیک محدودیت‌های متعددی را می‌توان بر شمرده که تعدادی از آن‌ها در زیر بیان شده است:

(الف) برای تهیه نمونه‌های لازم جهت بررسی با میکروسکوپ روبشی الکترونی^۱ لازم است نمونه بصورت شکست تردد از مقطع شکسته شود که نیاز به یک مرحله نگهداری در نیتروژن مایع است که خود مستلزم صرف هزینه و زمان است [۸].

(ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی تنها قابلیت روبش سطح را داشته و نتایج بکارگیری آن جهت بررسی توزیع و پخش نمی‌تواند به کل حجم نمونه بسط داده شود.

(ج) چنانچه میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری^۲ جهت مطالعه هدف مذکور مد نظر باشد، نیاز به تهیه لایه نازک از نمونه است که روش دشوار، محدود و گران قیمتی بشمار می‌رود.

(د) در هر دو نوع میکروسکوپ روبشی و عبوری الکترونی نیاز به پوشش‌دهی نمونه با طلاست.

(ه) در هر دو میکروسکوپ، تنها می‌توان نقاط بسیار محدودی از نانوکامپوزیت را مورد رصد قرار داد و قطعا برای تکمیل آنالیز، نیاز به تست‌های نظیر الگوی پراش اشعه ایکس^۳ و یا سایر روش‌های طیف‌نگاری^۴ است که خود بر هزینه‌ها خواهد افزود و از سوی دیگر دسترسی به این تجهیزات خود محدودیت دیگری است [۶-۹].

در سالیان گذشته تعدادی از پژوهش‌ها روشی را ارایه نمودند که در آن با تهیه لایه نازک از نانوکامپوزیت و روبش توسط میکروسکوپ نوری^۵ عبوری می‌توان وضعیت آن‌ها را از نظر پخش و توزیع نانوذرات حاضر و یا کلوخه‌ای شدن آن‌ها و سایز کلوخه‌ها بررسی نمود [۱۰]. در این روش که اساس آن بر استاندارد بررسی رنگ سیاه پلیمرهای پایه پلی الفینی (رنگ دانه‌ها و دوده) ISO18553:2002 استوار است، لایه‌های نازک با ضخامت تقریبی $80\mu\text{m}$ -^۶ توسط دستگاه میکروتوم^۶ با چاقوی شیشه‌ای تهیه می‌شود. این بازه ضخامت بر اساس استاندارد مذکور است ولی پژوهش‌ها معتبر در این زمینه از ضخامت‌های زیر $20\mu\text{m}$ استفاده کردند و در گذر زمانی نسبت کاهش ضخامت مبادرت

مبادرت ورزیده‌اند [۳]. علت این مهم افزایش کیفیت تصاویر و دقت این روش است. در گام بعدی با قراردادن لایه بر روی لام تصاویری توسط میکروسکوپ نوری در چندین نقطه از هر لایه نازک گرفته می‌شود. تصاویر بدست آمده با روش پردازش تصویر مورد مطالعه قرار می‌گیرند [۱۰]. پردازش تصویر کمک می‌کند تا مدت زمان کار با میکروسکوپ عبوری نوری کاهش یافته و اطلاعات بیشتری از پردازش استخراج می‌گردد. در این راستا در عمده منابع معتبر از نرم‌افزار ImageJ جهت پردازش تصاویر و استخراج داده‌ها استفاده شده است [۳]. بدیهی است با توجه به محدودیت ذاتی میکروسکوپ‌های نوری تنها ذرات کلوخه‌ای با سایز بزرگ‌تر از 400nm قابل رویت است و می‌توان با اندازه‌گیری ذرات کلوخه و تعداد آن‌ها اطلاعات مفیدی از وضعیت پخش و جدایش و توزیع آن‌ها بدست آورد. برای اطلاع از شرایط کلوخه‌ها و نانوذرات با سایز کوچک‌تر از 400nm در پژوهش‌ها از نسبت شفافیت لایه نازک به لام استفاده کرده‌اند. استناد این مراجع بر جذب نور توسط ذرات کوچکتر از 400nm پایه ریز شده است و ادعا می‌گردد که در صورت جدایش بیشتر کلوخه‌ها و پخش و توزیع نسبت معرفی شده افزایش می‌یابد [۱۱]. تهیه نمونه‌های نازک از نانوکامپوزیت‌ها توسط دستگاه میکروتوم با استفاده از روش چاقوی الماسی و شیشه‌ای صورت می‌پذیرد که این روش‌ها به ترتیب جهت استحصال لایه‌ها با مقیاس نانومتری و میکرومتری است. روش چاقوی شیشه‌ای که در تهیه نمونه‌ها برای مطالعه پخش به روش میکروسکوپ نوری کاربرد دارد [۱۰]، روش ارزان قیمتی در مقایسه با روش چاقوی الماسی^۷ است ولی تهیه لایه نازک در هر دو روش دشوار بوده و نیاز به نمونه با ابعاد معلوم است و تمامی نمونه‌های حاصل قابل استفاده نیست و جهت تهیه نمونه مطلوب، نیاز است عمل برش چندین بار تکرار شود.

هدف مقاله حاضر بررسی علمی و عملی گام به گام روش بررسی توزیع، پخش و جدایش با میکروسکوپ نوری و ارایه روشی جهت تسهیل تهیه نمونه‌های لایه نازک بدون نیاز به دستگاه میکروتوم، جهت ترویج بیشتر آن در راستای کاهش ترافیک‌کاری میکروسکوپ‌های الکترونی و همچنین کاهش هزینه‌ها و زمان انتظار پژوهشگران این عرصه است.

^۱Scanning Electron Microscope(SEM)

^۲Transmission Electron Microscope(TEM)

^۳X-ray Diffraction(XRD)

^۴Spectroscopy

^۵Optical Microscope(OM)

^۶Microtome

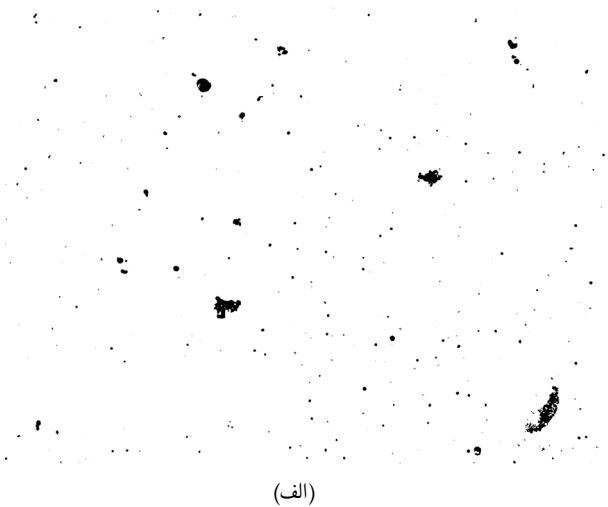
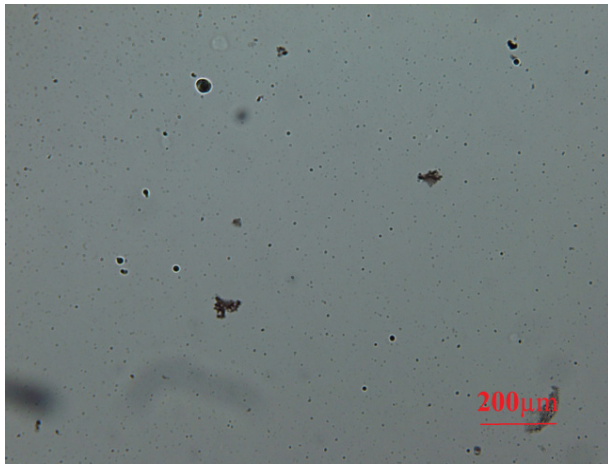
^۷Diamond Knife



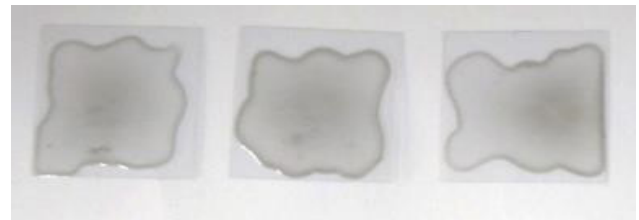
مواد و روش‌ها

جامد در می‌آید [۳۱].

جهت بررسی توزیع و پخش نمونه‌ها تعداد ۵ عدد از آن‌ها توسط میکروسکوپ Olympus BX۶۱ با بزرگ‌نمایی‌های ۱۰۰X و ۲۰۰X در ۲۰ نقطه مختلف تصویربرداری شد. پس از حصول تصاویر میکروسکوپی و تبدیل آن‌ها به تصاویر ۳۲ بیتی عمل پردازش تصاویر و استخراج سایز و توزیع کلوخه‌ها توسط نرم‌افزار ImageJ انجام شد. شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر میکروسکوپی نمونه در نقاط مختلف و همچنین تصویر تبدیل شده ۳۲ بیتی آن‌ها را نشان می‌دهد.



در این مقاله نانوکامپوزیت پلی‌متیل‌متا-آکریلات^۱ (PMMA)/ نانولوله‌های کربنی^۲ (CNTs) برای مطالعه و معرفی روش انتخاب شده است. PMMA شرکت Chimi تایوان و نانولوله‌های کربنی چند دیواره شرکت نانوسیل بلژیک (NC7000) در تهیه این نانوکامپوزیت استفاده شد. نخست ۰/۰۰۰۲ گرم از نانولوله‌های کربنی به ۲ میلی‌لیتر از کلروفوم خالص (تولیدی شرکت مرک) اضافه شده و با پروب التراسونیک (شرکت توسعه فناوری مافوق صوت 200W) با توان ۲۰ وات و زمان اعمال امواج ۳ ثانیه و خاموشی بین پالس ۳ ثانیه به مدت ۱۰ دقیقه پخش شد. سپس ۰/۳ گرم از گرانول‌های PMMA به این مخلوط اضافه شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. این زمان اجازه می‌دهد تا پلی‌مرها به شکل کامل از هم جدا شده و در اطراف نانولوله‌های کربنی پیچیده و بدین ترتیب پایداری و پخش بهتری حاصل شود. نانوکامپوزیت بدست آمده مجدداً به مدت ۲ دقیقه با شرایط مذکور، التراسونیک شده تا کلوخه‌های احتمالی شکل گرفته از هم گسیخته شوند. بلافاصله ۱۲۰ میکرون از نانوکامپوزیت بر روی لامل به ابعاد ۲۰*۲۰ mm با روش قطره‌گذاری در سطح کاملاً افقی گرفت. رقت پایین و فشاربخار پایین سبب می‌گردد تا کلروفورم^۳ با سرعت بالایی تبخیر شده و لایه نازک جامد نانوکامپوزیت به وجود آید و بدین ترتیب از کلوخه شدن مجدد ذرات ممانعت شود [۲]. ضخامت لایه نازک بدست آمده با استفاده از میکرومتر فک بشقابی Mitutoyo در چندین نقطه بطور میانگین در حدود ۱۰ میکرون اندازه‌گیری شد. شکل ۱ نمونه‌ای از لایه‌های نازک نانوکامپوزیتی تهیه شده بر روی لامل را نشان می‌دهد.



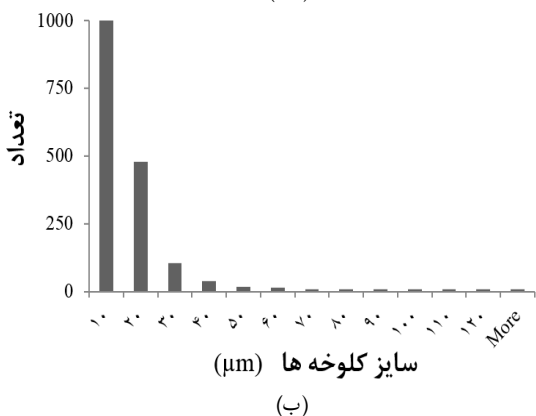
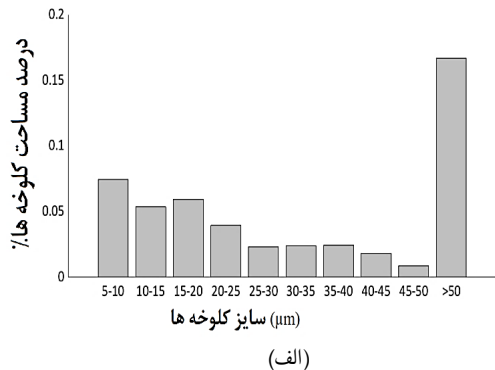
شکل ۱ نمونه‌های لایه نازک نانوکامپوزیتی بر روی لامل

روش مشروح در واقع مراحل آماده‌سازی نانوکامپوزیت به روش انحلالی است. روش کنونی آماده‌سازی لایه نازک می‌تواند، برای نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با روش ذوبی نیز بکارگرفته شود که در این صورت وزن معلوم و ناچیزی از نمونه در حلال پلیمر پایه نانوکامپوزیت حل شده سپس با روش قطره‌گذاری و تبخیر حلال به شکل لایه نازک

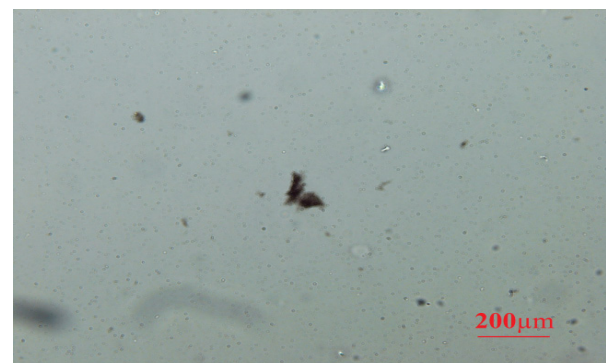
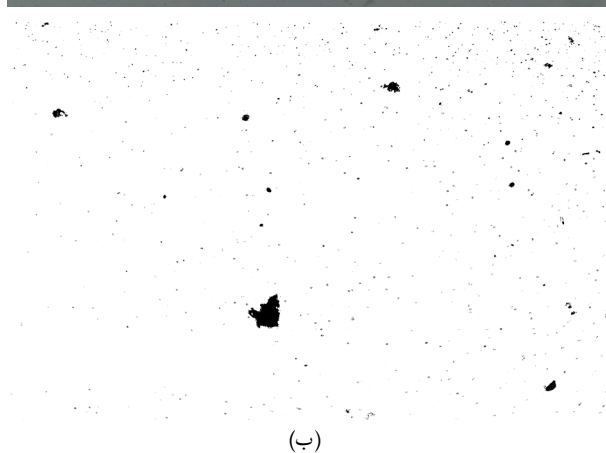
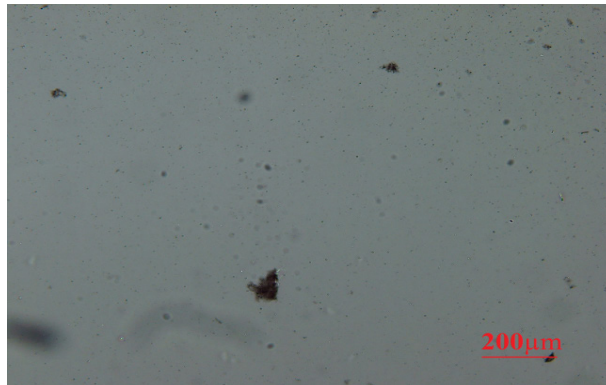
^۱Poly methyl methacrylate^۲Carbon nanotubes^۳Choloroforme

بحث و نتایج

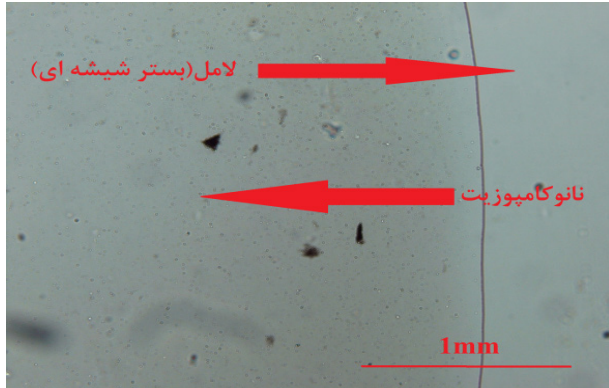
نمونه‌ای از تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها و همچنین فرمت ۳۲ بیتی این تصاویر در چندین نقطه مختلف در شکل ۲ مشاهده می‌شود. در این تصاویر نقاط کلوخه‌ای نانولوله‌های کربنی با اندازه‌های مختلف به وضوح دیده می‌شود. جهت استخراج شرایط توزیع و پخش و جدایش لازم است این تصاویر با نرم افزار ImageJ مورد پردازش قرار گیرند. برای این منظور، نخست باید تصاویر به فرمت ۳۲ بیت تبدیل شوند که این عمل نیز توسط خود نرم‌افزار ImageJ انجام می‌پذیرد. تصاویر ۳۲ بیتی با استفاده از امکانات و ابزارهای Particle Analysis نرم‌افزار ImageJ مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت اندازه ذرات کلوخه و مساحت هر ذره توسط نرم‌افزار اندازه‌گیری شد. در مراجع جهت بررسی دقیق تعداد مشارکت و سایز کلوخه‌ها معمولا از فاکتور تناسب سطح کلوخه‌ها به سطح کل تصاویر مطالعه شده استفاده می‌شود [۸]. همچنین کلوخه‌هایی با سایز بزرگتر از $5\mu\text{m}$ که مساحتی معادل $19/256\mu\text{m}^2$ دارند، در ارزیابی نهایی نتایج مشارکت داده می‌شوند. شکل ۳ نمودار حاصل از آنالیز تصاویر است که درصد نسبی سطح کلوخه‌ها با توجه به سایز آن‌ها در شکل (الف) و تعداد کلوخه‌ها در شکل (ب) نشان داده شده است.



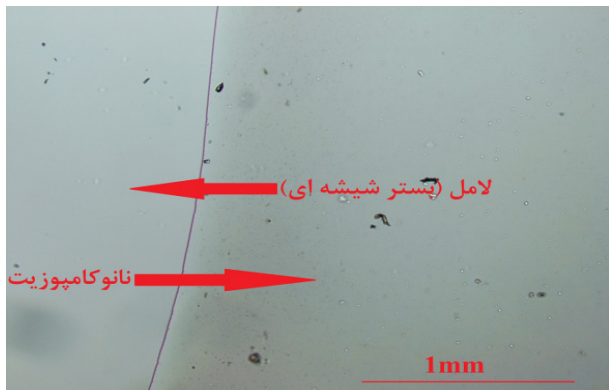
شکل ۳ نتایج حاصل از پردازش تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها - (الف) درصد نسبی سطح کلوخه‌ها با توجه به سایز آن‌ها - (ب) تعداد کلوخه‌ها بر مبنای سایز



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها و فرمت ۳۲ بیتی (تصاویر سیاه و سفید) آن‌ها - (الف)، (ب)، (ج) نقاط مختلف از نمونه‌ها



(الف)



(ب)

شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی تهیه شده از نانوکامپوزیت جهت ارزیابی نسبت شفافیت- (الف) و (ب) دو نقطه متفاوت

جدول ۱ نتایج بدست آمده از آنالیز شفافیت نانوکامپوزیت را نشان می‌دهد. نسبت شفافیت برای نمونه مطالعه شده $0/898$ بدست آمده است. این نسبت همیشه عددی بین صفر و یک بوده و کاهش آن به سمت صفر بعنوان فاکتور معرف پخش و جدایش بیشتر نانوذرات در بستر پلیمر تلقی می‌شود.

جدول ۱ نتایج آنالیز تناسب شفافیت نانوکامپوزیت به لامل

نقطه	مقدار شفافیت	شفافیت لامل	نسبت شفافیت نهایی (میانگین)	نتیجه
۱	۱۸۴/۷۵	۰/۹۷۷		
۲	۱۶۵/۷۱	۰/۸۷۷		
۳	۱۶۹/۵۸	۰/۸۹۷	۰/۸۹۸	
۴	۱۶۹/۳۶	۰/۸۹۶		
۵	۱۵۹/۰۷	۰/۸۴۲		

همانگونه که در تصویر (ب) مشاهده می‌شود توزیع اندازه کلوخه‌های نانولوله‌های کربنی از 10° تا 120° میکرومتر است که بیشتر کلوخه‌ها با سایز کوچک‌تر از $60\mu\text{m}$ در نمونه حاضر هستند و بخش ناچیزی از کلوخه‌ها بزرگتر از این سایز وجود دارند. در شکل (الف) نیز مشاهده می‌شود مساحت کثیری از ماتریس زمینه را کلوخه‌ها با سایز کوچک‌تر از $25\mu\text{m}$ به خود اختصاص داده‌اند. نتایج بدست آمده از این آنالیز بیشتر از نتایج میکروسکوپ‌های الکترونی قابل اعتماد هستند زیرا برای استخراج توزیع ذرات در این روش حجم قابل توجهی از نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه موردی کنونی تعداد 20 نمونه با ابعاد تقریبی $1\text{mm} \times 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ و حجم تقریبی 4mm^3 آنالیز شده است که در صورت جایگزینی میکروسکوپ‌های الکترونی نیاز به صرف هزینه و زمان قابل توجه است. بنابراین علاوه بر صرفه‌جویی در زمان و هزینه و دسترسی آسان به تکنیک پیشنهادی، نیازی به انجام تست‌های طیف‌نگاری جهت تصدیق نتایج نیز نیست که خود نکته قوت برای روش معرفی شده به حساب می‌آید.

برای تعیین شرایط پخش و جدایش کلوخه‌ها با سایز بزرگ‌تر از 400nm نیز از نسبت شفافیت نمونه در نقاط فاقد کلوخه مشهود به لام یا لامل که نمونه نازک بر روی آن قرار گرفته استفاده می‌شود. بدیهی است این تکنیک بصورت مقایسه‌ای بین نمونه‌ها قابل استفاده بود و یا مقادیر استاندارد و معینی برای نانوکامپوزیت‌ها با نانوذرات متفاوت از منابع استخراج شده و نتایج حاصل می‌تواند با آن مقایسه شود. در حالت کلی افزایش این نسبت بیانگر افزایش تعداد نانوذرات جداگانه و کلوخه‌هایی با سایز کوچکتر از 400nm است [۸]. برای اندازه‌گیری این نسبت بهتر است تصاویر میکروسکوپی با بزرگ‌نمایی‌های کوچک‌تر در لبه کامپوزیت تهیه شود بنحوی که هم بستر شیشه‌ای و هم نانوکامپوزیت در تصویر مشهود باشد. سپس درصد شفافیت یا همان تیرگی که با فاکتور Gray value معرفی می‌شود اندازه‌گیری شده و نسبت آن‌ها استخراج شود. در شکل ۴ نمونه تصاویر میکروسکوپی مطلوب برای استخراج شفافیت نشان داده شده است. پیشنهاد می‌گردد جهت افزایش دقت اندازه‌گیری این کار حداقل در ۵ نقطه از نمونه انجام شده و میانگین بعنوان نتیجه نهایی معرفی گردد.

- Vauthier, C. (2016). Multimodal dispersion of nanopar
- [7]. Bai, S., Jiang, L., Xu, N., Jin, M., & Jiang, S. (2018). Enhancement of mechanical and electrical properties of graphene/cement composite due to improved dispersion of graphene by addition of silica fume. *Construction and Building Materials*, 164, 433-441.
- [8]. Li, Y., & Shimizu, H. (2004). Novel morphologies of poly (phenylene oxide)(PPO)/polyamide 6 (PA6) blend nanocomposites. *Polymer*, 45(22), 7381-7388.
- [9]. Okamoto, M., Morita, S., Kim, Y., Kotaka, T., & Tateyama, H. (2001). Dispersed structure change of smectic clay/poly (methyl methacrylate) nanocomposites by copolymerization with polar comonomers. *Polymer*, 42(3), 1201-1206.
- [10]. Kasaliwal, G. R., Pegel, S., Gödel, A., Pötschke, P., & Heinrich, G. (2010). Analysis of agglomerate dispersion mechanisms of multiwalled carbon nanotubes during melt mixing in polycarbonate. *Polymer*, 51(12), 2708-2720.
- [11]. Arjmand, M., Chizari, K., Krause, B., Pötschke, P., & Sundararaj, U. (2016). Effect of synthesis catalyst on structure of nitrogen-doped carbon nanotubes and electrical conductivity and electromagnetic interference shielding of their polymeric nanocomposites. *Carbon*, 98, 358-372.
- [12]. Bhardwaj, R. (2010). An investigation of the evaporation of a droplet on a solid surface: evaporation, self-assembly of colloidal deposits, and interfacial heat transfer. Columbia University.
- [13]. Sukumaran, S. K., Kobayashi, T., Takeda, S., Khosla, A., Furukawa, H., & Sugimoto, M. (2019). Electrical conductivity and linear rheology of multiwalled carbon nanotube/acrylonitrile butadiene styrene polymer nanocomposites prepared by melt mixing and solution casting. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(9), B3091-B3095.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر تکنیک ارزیابی پخش، جدایش و توزیع نانوذرات در بسترهای پلیمری با استفاده از میکروسکوپ های نوری معمولی جهت کاهش هزینه‌ها و زمان پژوهشگران معرفی گردید و جهت آشنایی بهتر با این تکنیک نانوکامپوزیت PMMA/MWCNTs با روش انحلالی تهیه شده و لایه‌های نازک از آن توسط پروسه قطره‌گذاری مهیا شد. بر اساس نتایج بدست آمده:

محدودیت تهیه لایه نازک با استفاده از میکروتوم با روش انحلالی معرفی شده در این پژوهش از بین می‌رود.

میکروسکوپ‌های نوری می‌توانند بعنوان ابزاری مفید در جهت تعیین پخش و جدایش نانو ذرات در بسترهای پلیمری بکارگرفته شوند و بدین طریق از ترافیک‌کاری میکروسکوپ‌های الکترونی مستقر در مراکز پژوهشی کاسته شود. همچنین بکارگیری تصاویر میکروسکوپ‌های الکترونی جهت بررسی شرایط و توزیع نانوذرات برخلاف تصاویر میکروسکوپ‌های الکترونی می‌تواند پژوهشگران را از انجام آنالیزهای طیف‌نگاری بی‌نیاز نماید چراکه در این روش وسعت بیشتری از نمونه مورد ارزیابی واقع شده و قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به نتایج وجود دارد.

مراجع

- [1]. Xie, W., & Huang, M. (2018). Immobilization of *Candida rugosa* lipase onto graphene oxide Fe₃O₄ nanocomposite: Characterization and application for biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 159, 42-53.
- [2]. Yao, L., Pan, Z., Zhai, J., & Chen, H. H. (2017). Novel design of highly [110]-oriented barium titanate nanorod array and its application in nanocomposite capacitors. *Nanoscale*, 9(12), 4255-4264.
- [3]. Hoseini, A. H. A., Arjmand, M., Sundararaj, U., & Trifkovic, M. (2017). Significance of interfacial interaction and agglomerates on electrical properties of polymer-carbon nanotube nanocomposites. *Materials & Design*, 125, 126-134.
- [4]. Kumar, A., Ghosh, P., Yadav, K., & Kumar, K. (2017). Thermo-mechanical and anti-corrosive properties of MWCNT/epoxy nanocomposite fabricated by innovative dispersion technique. *Composites Part B: Engineering*, 113, 291-299.
- [5]. Tang, L.-C., Wan, Y.-J., Yan, D., Pei, Y.-B., Zhao, L., Li, Y.-B., Wu, L.-B., Jiang, J.-X., & Lai, G.-Q. (2013). The effect of graphene dispersion on the mechanical properties of graphene/epoxy composites. *Carbon*, 60, 16-27.
- [6]. Varenne, F., Makky, A., Gaucher-Delmas, M., Violleau, F.,

