

NAISL Volume3, Number 2, 2019 Pages: 11-17 Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X Website: shaajournal.msrt.ir

Abstract

Key Words:

Carbon nanotubes, Length distribution, Hot bed. Agglomeration, Length fracture, Scanning electron microscope.

Experimental investigation of carbon nanotube length distribution by utilization of scanning electron microscope

Gholamrezah Kiyani^{1*}, Ayoub Karimzad Ghavidel²

ue to the special properties, carbon nanotubes(CNT) are attended by many researchers and their applications have been commercialized in many tasks. The high length to diameter ratio called aspect ratio is one of the main difference between CNTs and other nano-particles. Thermal properties of nanofluid and mechanical and electrical properties of polymer based contain CNTs are directly dependent on their length. The current methods for dispersing and separating of nano-particles agglomerations by exerting the damage on the CNTs structure change significantly their length distribution. So, the length distribution after CNTs dispersing and separating have a superior importance. The aim of this paper is the presentation of quick and confident method to prepare the sample and measurement technique for extracting CNTs length distribution by considering economical conditions and time saving. To reach this goal, CNTs were dispersed in chloroform by ultrasonic probe and their length distribution were analyzed by three methods of dynamic light scattered (DLS) atomic force (AFM) and electron scanning microscope(SEM). To prepare the required samples to analyze, the technique was offered named hot bed to prevent re-congesting of CNTs. It was cleared at the end of investigations that CNTs length distribution measurement by using SEM with picture analyzer software like ImageJ is an appropriate method according to this research purpose.

2. Instructor, Department of Engineering Science, Tabriz Branch, Faculty of Tabriz, Technical and Vocational University (TVU), Tabriz, Iran. E-mail: a-karimzad@tvu.ac.ir Tel: 04134779011

^(*) Corrosponding author

^{1.} Associate Professor, Department of Emerging Technologies Engineering, Faculty of electrical and computer engineering, University of Tabriz, Iran. E-mail: g.kiani@tabrizu.ac.ir Tel: 04133393853

بررسی تجربی توزیع طول نانولوله های کربنی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

غلامرضا كياني "، ايوب كريمزاد قويدل

نانولوله های کربنی بدلیل خواص منحصر به فرد، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است و در بسیاری از موارد نتایج حاصل بصورت محصول تجاری سازی شده است. یکی از تمایزهای اصلی آنها با سایر نانوذرات در نسبت بسیار بالای طول به قطر آنهاست که نسبت وجهی نامیده می شود. خواص هدایت حرارتی نانو سیالهای و خواص مکانیکی و الکتریکی نانوکامپوزیتهای پایه پلیمری حاوی آنها مستقیما تابعی از طول نانولوله هاست. روشهای رایج پخش و جدایش نانو ذرات واردن کردن آسیبهایی به ساختار نانولوله ها، موجب تغییرات قابل ملاحظه ای در توزیع طول آنها می شود. از این حیث بررسی توزیع طول پس از پخش موجب تغییرات از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف مقاله حاضر ارایه تکنیکی سریع و مطمئن، جهت آماده سازی نمونه و نحوه اندازه گیری و استخراج توزیع طول نانولوله ها با صرف حداقل هزینه و زمان است. برای این منظور نانولوله ها از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف مقاله حاضر ارایه تکنیکی سریع و مطمئن، جهت مرای این منظور نانولوله ها از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف مقاله حاضر ارایه تکنیکی سریع و مطمئن، جهت برای این منظور نانولوله ها از اهمیت عاصی برخوردار است. هدف مقاله حاضر ارایه تکنیکی سریع و مطمئن، جهت ماده سازی نمونه و نحوه اندازه گیری و استخراج توزیع طول نانولوله ها با صرف حداقل هزینه و زمان است. سه روش آنالیز تفرق دینامیکی نور، میکروسکوپ نیروی اتمی و روبشی الکترونی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برای آماده سازی نمونه لازم جهت آنالیز، روشی تحت عنوان بستر داغ ارایه شده تا به کمک این روش از تجدید تراکم نانولوله مامانعت بعمل آید. در پایان بررسی ها معین گردید، اندازه گیری توزیع طول این روش از تجدید تراکم نانولوله ها مانعت بعمل آید. در پایان بررسی ها معین گردید، اندازه تریری توزیع طول



نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاههای علمی ایران سال سوم، شماره ۲، ۱۳۹۸ مفحات ۱۷–۱۱ ۲۵۸۸-۶۴۰۱ شاپای چاپی: ۶۴۰۱ ۲۵۸۸-۶۴۱۲ شاپای الکترونیکی: shaajournal.msrt.ir







ايوب كريمزاد قويدل

غلامرضا كياني



نانولوله−های کربنی، توزیع طول، بستر داغ، کلوخه، شکست طول، میکروسکوپ الکترونی روبشی.

(*) مسئول مكاتبات.

 ۱۰ هیات علمی گروه مهندسی نانوفناوری – نانوالکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. ایمیل: g.kiani@tabrizu.ac.ir تلفن: ۴۱۳۳۳۹۳۸۵۳ ه

۲. هیات علمی گروه علوم مهندسی دانشکده فنی و حرفهای شماره یک تبریز، دانشگاه فنی و حرفهای تبریز ، تبریز، ایران. ایمیل: a-karimzad@tvu.ac.ir تلفن: ۱۱۹۰۴۱۳۴۷۷۹۰

۱ مقدمه

نانولولههای کربنی بدلیل خواص منحصر به فرد، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته و در بسیاری از موارد نتایج حاصل بصورت محصول تجاری سازی شده است [۱-۳]. یکی از تمایزهای اصلی این نانو ذرات با سایر نانو ذرات در نسبت بسیار بالای طول به قطر آنهاست که نسبت وجهی نامیده میشود [2]. خواص هدایت حرارتی نانو سیالهای حاوی این نانو ذرات وابستگی مستقیمی با طول آنها دارد. خواص مکانیکی و الکتریکی موادی نظیر پلیمرها که با کامپوزیتسازی توسط نانولولههای کربنی بهبود مییابد نیز تابع مستقیمی از نسبت وجهی نانولولههاست[٥]. روشهای رایج پخش و جدایش نانو ذرات در بسترهای پلیمری نظیر فرایندهای ذوبی-اختلاطی (اکسترودر) و در بسترهای مایع مانند استفاده از امواج التراسونیک با واردن کردن آسیبهایی به ساختار نانولولهها، موجب تغییرات قابل ملاحظهای در توزیع طول آنها میشود [٦-٨]. از این حیث بررسی توزیع طول پس از پخش و جدایش نانولولهها از اهمیت خاصی برخوردار است. استفاده از روشهای طیف نگاری امکان اندازهگیری مستقیم طول نانولولهها را فراهم نمی آورد لذا به ناچار بایستی از روشهای تصویربرداری و اندازهگیری مستقیم برای طول نانولولهها استفاده نمود [۹]. انداز،گیری آنلاین توسط میکروسکوپ روبشی الکترونی از جمله این روشهاست ولى با توجه به محدوديتهايي نظير دسترسي به اين نوع میکروسکوپ و هزینه نسبتا بالای تصویربرداری لازم است اولا تکنیکی معین جهت آمادهسازی و اندازهگیری طولها در دسترس باشد، ثانیا اندازهگیری با توجه به محدودیتهای موجود بطور آفلاین با روش پردازش تصویر انجام گیرد. هدف مقاله حاضر ارایه تکنیکی سریع و مطمئن، جهت آمادهسازی نمونه و نحوه اندازهگیری و استخراج توزیع طول نانولولهها با میکروسکوپ الکترونی روبشی با حداقل صرف هزینه و زمان است تا محدودیت های این روش تقلیل یابد. در مقاله حاضر، برای ارزیابی و معرفی دقیقتر مزیت این تکنیک، نخست، توزیع طول نانولولههای پخش شده در بستری مایع، با دو تکنیک متفاوت آنالیز تفریق ديناميكي نور و ميكروسكوپ نيروي اتمي مورد ارزيابي قرار گرفته و محدودیتهای هر روش ارایه میشود، سپس با معرفی روش مورد نظر این مقاله به مزایای آن در مقایسه با سایر روشها پرداخته خواهد شد.

> ۱- آماده سازی نمونه و انجام آنالیزها ۱-۱- مواد و روشها

نانولولههای چند دیواره کربنی ساخت شرکت نانوسیل بلژیک با گرید تجاری ۱۳۷۰ ۰۰ NC۷ با قطر تقریبی ۹mn و میانگین طول ۱۳µ به وزن ۰۳۰۰٬۰۳ گرم در ۲cc کلروفورم (تولیدی شرکت مجللی با خلوص بالای ۹۹٪) توسط التراسونیک پروب با توان ۲۰ وات و مدت زمان ۱۰ دقیقه پخش شد. سپس

مقالات علمي

جهت کاهش غلظت نانولولههای کربنی و رویت جداگانه آنها در تکنیکهای ارزیابی، ۲۰میکرولیتر از این محلول در ۲cc رقیق گردید. برای آنالیز تفرق دینامیکی نور از این سوسپانسیون استفاده گردید. برای انجام آنالیز تفرق دینامیکی نور از دستگاه Microtrac استفاده شد. همچنین میکروسکوپ نیروی اتمی Nanosurf و دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی Tescan-Mira3 برای تصویربرداری از نانولولهها استفاده شد.

۱–۲– آمادهسازی نمونه به روش بستر داغ

برای آمادهسازی نمونه میکروسکوپ الکترونی روبشی و نیروی اتمی معمولا یک قطره از سوسپانسیون بر روی فویل آلومینیومی و یا لام قرار میگیرد. در این شرایط تا زمان تبخیر کامل حلال نانولولهها فرصت کافی برای بهم چسبیدن و تشکیل مجدد کلوخهها را دارند. برای از بین رفت این مشکل پیشنهاد میشود از روش بستر داغ استفاده گردد. برای این منظور، تکهای از شیشه لام به ابعاد ٥×٥ میلیمتر که قبلا آماده شده بود بر روی همزن مغناطیس تا دمای °20 داغ گردید و یک قطر از این سوسپانسیون بر روی آن قرار گرفت. این تکنیک سبب میگردد تا حلال رمان برای تشکیل مجدد نقاط کلوخه فراهم نشود. البته حذف کامل کلوخهها بدلیل حضور آنها در سوسپانسیون اجتناب ناپذیر است. روش مشروح تنها از شکلگیری مجدد آن ها جلوگیری مینماید.

۳-۱- استفاده از آنالیز تفرق دینامیکی نور جهت تعیین توزیع طول نانولولهها

تفرق دینامیکی نور که با نام انحصاری 'DLS شناخته میشود روشی بسیار رایج برای اندازهگیری توزیع سایز نانو ذرات است [۱۰, ۱۱]. اساس این تکنیک برای ذرات کروی طراحی شده است ولی میتواند بر اندازهگیری نانولولههای کربنی پخش شده در بستر مایع، نیز بکار گرفته شود. نانولولههای کربنی هنگامی که بشکل سوسپانسیون در یک بستر مایع وجود دارند با توجه به شعاع ژیراسیونی که برای آنها تعریف میشود به شکل یک کرم ظاهر میگردند [۱۲].



^{&#}x27;Dynamic Light Scattering

اگر یک کره ای فرضی در اطراف این ذره تجسم گردد که ذره درون آن قرار گرفته است، تست DLS قابلیت اندازه گیری قطر این کره را دارد. البته قطر اندازه گیری شده با این روش برابر با قطر کره مفروض نیست زیرا با توجه به ماهیت این تست، که توسط نور انجام می پذیرد، تداخل و تفرق نور با ذره، علاوه بر خود آن، می تواند با ابر الکترونی اطراف آن (فضای احتمال حضور الکترون) نیز صورت پذیرد. بنابراین اندازه قطر کره ی محاط بر ذره که توسط این تست ارایه می شود مجموع اندازه مشهور است. نتیجه می شود که استفاده از آنالیز تفرق دینامیکی نور برای تعیین طول نانولوله ما مطلوب نبوده چرا که این تست تنها قادر به ارایه قطر هیدرودینامیکی مربوط به نانولوله هاست که هم طول و هم قطر نانولوله در این اندازه دخیل بوده و قابل تفکیک از همدیگر نیستند [۱۳].

شکل ۱ نمودار توزیع قطر هیدرودینامیکی نمونه را نشان میدهد.



تعیین توزیع طول نانولوله ها میکروسکوپ نیروی اتمی قادر است ابعاد مشخصی از نمونه تحت عنوان فریم را تصویربرداری نماید. اگر نانولوله-های کربنی بر روی یک بستر

جامد مانند شیشه لام قرار گیرد، و تصویری از آن توسط ۲AFM تهیه گردد میتوان طول نانولولهها را توسط نرم افزار میکروسکوپ و یا سایر نرم



نرمافزارهای پردازش تصویر اندازهگیری نمود و توزیع طول در فریم موجود را تعیین نمود[۱٤]. شکل ۲ تصویر بدست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی برای نمونه را نشان میدهد. در این تصویر ابعاد فریم روبش شده برابر با ۲٫۲۳×۲٫۲۳۳ است. تصویر حاصل مربوط به کلوخهای از نانولولههای کربنی در یک نقطه از نمونه است که وضوح مطلوبی نداشته و به جهت تفسیر آن نیاز به تخصص کافی است. بر اساس این تصویر، محدودیتهای اساسی این روش را میتوان بشکل زیر خلاصه کرد:

الف) توزیع طول تنها در یک فریم نمیتواند معیاری مطلوب برای کل سیستم در نظر گرفته شود زیرا ابعاد فریم محدود است. جهت نسبت دادن توزیع حاصل از تصویربرداری AFM به کل نانولولهها، لازم است تصویربرداری در چندین نقطه انجام پذیرد و اندازهگیری توزیع طولها در تمامی فریمها طرح گردد. که با توجه به سرعت پایین تصویربرداری و تنظیمات اولیه که محدودیت ذاتی AFM محسوب میگردد، زمان بسیار زیادی برای تصویربرداری از چندین نقطه لازم است.

ب) تشخیص اینکه تصویربرداری از نقاط کلوخهای انجام میشود و یا نانولولههای جداگانه، تنها پس از اتمام تصویربرداری ممکن است.

ج) تصاویر AFM معمولا وضوح بالایی نداشته و امکان خطا در اندازهگیری بالاست.

د) چناچه طول نانولولهها بزرگتر از سایز فریم تصویربرداری باشد امکان اندازهگیری و مشارکت طول آن در توزیع وجود ندارد و تصویر برداری باید از نقطه دیگر مجددا انجام گردد و این عمل بطور مکرر تا حصول نتیجه تداوم یابد.

و) اگرچه اخیرا میکروسکوپهای نیروی اتمی با قابلیت تصویربرداری از مایعات تجاریسازی شده ولی تعداد در دسترس آنها بسیار محدود است و برای میکروسکوپهای اتمی رایج، لازم است سوسپانسیون نانولولهها بر بستر جامد قرار گرفته و حلال مربوطه تبخیر شود. در حلالهایی که فشار بخار بالایی دارند معمولا یک لایه چربی بر روی نانولولهها باقی میماند که تصویربرداری را با مشکل مواجه میکند.

ی) در نقاط کلوخه تشخیص طول غیر ممکن بوده و اندازهگیری را کاملا محدود می سازد.

^rAtomic Force Microscope

در جمعبندی میتوان گفت استفاده از AFM روشی مطلوب برای اندازهگیری توزیع طول نیست.







شکل۲ تصویر بدست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی (الف) توپوگرافی سه بعدی (ب) گراف دو بعدی

۱-٥- استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت
 تعیین توزیع طول نانولولهها

میکروسکوپ الکترونی روبشی در تحقیقات مقیاس نانومتری ابزاری مفید است که میتواند در برسی توزیع طول نانولولهها با صرفهجویی در زمان و هزینه بکار گرفته شود[۱۵]. در این راستا دوچالش اصلی وجود دارد:

الف) آمادهسازی نمونهای که امکان مشاهده نانولولههای تکی در شرایط مطلوب و بدون کلوخه شدن، جهت اندازهگیری طول، وجود داشته باشد[۱۲]. برای حل این چالش از تکنیک مشروح در این مقاله تحت عنوان روش بستر داغ میتوان

بهره برد. برای نمونه در شکل ۳، تصاویر SEM تهیه شده از نمونهای که بر روی بستر داغ آماده نشدهاند، ارایه شده است. در آمادهسازی این نمونه یک قطره از سوسپانسیون نانولولههای کربنی در کلروفورم (مشروح در بخش۱–۱) بر روی لام قرار داده شده و تا زمان کامل تبخیر حلال، در دمای محیط قرار گرفته است. مشاهده می شود چون زمان کافی برای تشکیل نقاط پرتراکم بدلیل جذب سطحی نانولولهها در اثر نیروی واندوالسی قوی فراهم شده است[۱۷]، تراکم در اکثر نقاط نمونه افزایش یافته و بدین ترتیب امکان اندازه گیری طول نانولولهها از روی تصاویر از بین رفته است. علاوه بر این یک لایه از حلال به شکل چربی دیده می شود که در اثر عدم تبخیر کامل حلال شکل گرفته است و مانعی برای اندازه گیری دقیق طول نانولولهها است.







شکل ۳ تصاویر SEM نمونههای تهیه شده با روش تبخیر حلال در دمای محیط (الف) و (ب) دو نقطه متفاوت بر روی نمونه



شکل ٤ تصاویر SEM نمونه همان سوسپانسیون را نشان میدهد که توسط روش بستر داغ، تهیه شده است. در این تصاویر نانولولههای تکی با قابلیت اندازهگیری مطلوب بوضوح قابل مشاهد است.





شکل ٤ تصاویر SEM نمونههای تهیه شده با بستر داغ (الف) و (ب) دو نقطه متفاوت بر روی نمونه

بری به می با توجه به اینکه نانولولهها به شکل یک کرم در تصاویر دیده می شوند به اندازه گیری مستقیم طول توسط SEM مستلزم زمان زیادی است که با رقح توجه به محدودیت هایی نظیر هزینه و دسترسی به این ابزار خود چالشی نقطه از نمونه که امکان رویت نانولوله ها با قابلیت اندازه گیری طول وجود دارد، عمل تصویر برداری انجام شود و طول نانولوله ها در این تصاویر با استفاده از نرمافزار ImageJ اندازه گیری شود. در این شرایط صرفا عمل تصویر برداری با SEM انجام می گیرد و از اتلاف زمان برای اندازه گیری طول ها بر روی دستگاه جلوگیری می شود [۱۹، ۱۸].



فصلنامه رويكردهاي نوين در



شکل ۵ نمودار توزیع طول نانولولههای کربنی اندازهگیری شده توسط نرمافزار JegamI از روی تصاویر SEM در ۱۰ نقطه مختلف از نمونه تهیه شده به روش بستر داغ

۲- نتیجهگیری

در مقاله حاضر سه تکنیک مختلف DLS و SEM ر SEM برای تعیین توزیع طول نانولولههای کربنی پخش شده در یک بستر مایع مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل نشان میدهد:

استفاده از DLS تنها قادر به ارائه قطر هیدرودینامیکی نانولولههای کربنی مستقیما در درون بستر مایع است و امکان استخراج توزیع طول از اطلاعات بدست آمده نیست.

بکارگیری AFM جهت بررسی توزیع طول نانولوله-های کربنی پخش شده در بستر مایع پس از تبخیر مایع و باقی ماندن نانولوله ها بر روی بستر جامد نیز بنابر محدودیت-هایی نظیر عدم تشخیص اولیه تصویربرداری از نانولوله-های تکی و یا کلوخه شدن، سرعت تصویربرداری پایین، وضوح نامطلوب و محدودیت ابعاد فریم تصویربرداری، توصیه نمی شود.

پیشنهاد مقاله حاضر باتوجه به بررسیهای بعمل آمده استفاده از تصاویر SEM و آنالیز تصاویر با استفاده از یک نرم افزار پردازش تصویر نظیر JegamI جهت اندازهگیری توزیع طول نانولولهها است. همچنین جهت حصول نتیجه مطلوب لازم است حتما در نمونههای مورد آنالیز، جهت جلوگیری از افزایش تراکم نانولولهها از تکنیک بستر داغ استفاده شود.

۳- مراجع

 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.

- hydrodynamic diameter on the sieving of waterborne carbon nanotubes by porous membranes. Journal of membrane science, 470, 470-478.
- [12]. Arrigo, R., Teresi, R., Gambarotti, C., Parisi, F., Lazzara, G., & Dintcheva, N. (2018). Sonicationinduced modification of carbon nanotubes: Effect on the rheological and thermo-oxidative behaviour of polymer-based nanocomposites. Materials, 11(3), 383.
- [13]. Pabisch, S., Feichtenschlager, B., Kickelbick, G., & Peterlik, H. (2012). Effect of interparticle interactions on size determination of zirconia and silica based systems–A comparison of SAXS, DLS, BET, XRD and TEM. Chemical physics letters, 521, 91-97.
- [14]. Wang, S., Liang, Z., Wang, B., & Zhang, C. (2006). Statistical characterization of single-wall carbon nanotube length distribution. Nanotechnology, 17(3), 634.
- [15]. Song, P., Liu, C., & Fan, S. (2006). Improving the thermal conductivity of nanocomposites by increasing the length efficiency of loading carbon nanotubes. Applied Physics Letters, 88(15), 153111.
- [16] Li, J., & Zhang, Y. (2006). Cutting of multi walled carbon nanotubes. Applied surface science, 252(8), 2944-2948.
- [17]. Akita, S., Nishijima, H., & Nakayama, Y. (2000). Influence of stiffness of carbon-nanotube probes in atomic force microscopy. Journal of Physics D: Applied Physics, 33(21), 2673.
- [18]. 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.
- [19] Kasaliwal, G. R., Pegel, S., Göldel, 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.

- [2]. Manchado, M. L., Valentini, L., Biagiotti, J., & Kenny, J. (2005). Thermal and mechanical properties of single-walled carbon nanotubes-polypropylene composites prepared by melt processing. Carbon, 43(7), 1499-1505.
- [3]. Arjmand, M., Mahmoodi, M., Gelves, G. A., Park, S., & Sundararaj, U. (2011). Electrical and electromagnetic interference shielding properties of flow-induced oriented carbon nanotubes in polycarbonate. Carbon, 49(11), 3430-3440.
- [4]. Wen, Q., Qian, W., Nie, J., Cao, A., Ning, G., Wang, Y., ... Wei,
 F. (2010). 100 mm Long, Semiconducting Triple-Walled Carbon Nanotubes. Advanced Materials, 22(16), 1867-1871.
- [5]. Guo, J., Liu, Y., Prada-Silvy, R., Tan, Y., Azad, S., Krause, B., ... Grady, B. P. (2014). Aspect ratio effects of multi-walled carbon nanotubes on electrical, mechanical, and thermal properties of polycarbonate/MWCNT composites. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 52(1), 73-83.
- [6]. Pötschke, P., Dudkin, S. M., & Alig, I. (2003). Dielectric spectroscopy on melt processed polycarbonate—multiwalled carbon nanotube composites. Polymer, 44(17), 5023-5030.
- [7]. Jiang, Y., Song, H., & Xu, R. (2018). Research on the dispersion of carbon nanotubes by ultrasonic oscillation, surfactant and centrifugation respectively and fiscal policies for its industrial development. Ultrasonics sonochemistry, 48, 30-38.
- [8]. O'connell, M. J., Bachilo, S. M., Huffman, C. B., Moore, V. C., Strano, M. S., Haroz, E. H., . . . Kittrell, C. (2002). Band gap fluorescence from individual single-walled carbon nanotubes. Science, 297(5581), 593-596.
- [9]. Oueiny, C., Berlioz, S., Patout, L., & Perrin, F. (2016). Aqueous dispersion of multiwall carbon nanotubes with phosphonic acid derivatives. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 493, 41-51.
- [10]. Krause, B., Mende, M., Pötschke, P., & Petzold, G. (2010). Dispersability and particle size distribution of CNTs in an aqueous surfactant dispersion as a function of ultrasonic treatment time. Carbon, 48(10), 2746-2754.
- [11]. Ajmani, G. S., Abbott-Chalew, T., Teychene, B., Wang, Y., Jacangelo, J. G., & Huang, H. (2014). Effect of

1 Y



فصلنامه رويكردهاي نوين در آزمايشگاههاي علمي ايران

بررسی تجربی توزیع طول نانولولههای کربنی با استفاده از میک وسکه ب الکت ونر رویشی