

بررسی اثر حضور نانوذرات نقره بر بلورینگی پلی اتیلن

مریم ابارشی^{۱*}، سکینه مسگر شاهرودی^۲

۱- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد، شیمی فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*Abareshi@pnu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸)

چکیده

در این تحقیق، به منظور بررسی نقش نانوذرات نقره در بلورینگی پلی اتیلن، ابتدا نانوذرات نقره به روش کاهش شیمیایی ساخته و با کمک روش‌های الگوی پراش پرتو X^۱، طیف سنجی مرئی-فرابنفش^۲ و میکروسکوپ الکترونی عبوری^۳ شناسایی شدند. میانگین اندازه‌ی نانوبلورک های نقره ۲۱٫۷ نانومتر تعیین شد. سپس ترکیب‌های مختلفی از نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن-نقره^۴ شامل ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی نانوذرات نقره به روش آسیاکاری مکانیکی تهیه شدند. پس از شناسایی نمونه‌ها به کمک الگوی پراش پرتو X^۵ و میکروسکوپ الکترونی روبشی^۵، اثر حضور نانوذرات نقره بر درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن به روش نارا و کومیا^۶ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش درصد وزنی نانوذرات نقره، درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند، به طوری که با افزودن نانوذرات نقره از صفر تا ۳۰ درصد وزنی، درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن از ۶۳٫۶۴ به ۷۷٫۶۷ درصد افزایش می‌یابد.

واژه های کلیدی:

نانوکامپوزیت پلی اتیلن-نقره، آسیاکاری مکانیکی، درجه‌ی بلورینگی.

۱- مقدمه

بیشترین کاربرد را به عنوان زمینه در تولید مواد نانوکامپوزیتی دارا هستند [۲]. تاکنون نانوکامپوزیت‌های پلیمری متنوع و بی شماری تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است. به طور معمول سه روش اختلاط مستقیم^۷، فرآوری محلول^۸ و پلیمریزاسیون درجا^۹ برای تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های پلیمری وجود دارد [۳]. علاوه بر این سه روش مرسوم، روش آسیاکاری مکانیکی نیز یکی از روش‌های شناخته شده‌ای است که جهت ساخت مواد نانوکامپوزیتی مورد استفاده قرار گرفته است. در عملیات مکانیکی که با آسیاکاری انجام می‌شود ذرات پودری شکل به

نانوکامپوزیت به ماده‌ای گفته می‌شود دارای دو یا چند جز که حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده‌ی آن در یک جهت دارای بعد نانو باشد. ابعاد فاز تقویت کننده در نانو کامپوزیت‌ها معمولاً بین ۱-۱۰۰ nm است. توزیع یکنواخت تقویت کننده در فاز پلیمری باعث می‌شود که فصل مشترک فاز زمینه و فاز تقویت کننده در واحد حجم، مساحت بسیار بالایی داشته باشد و در نتیجه خواص نانوکامپوزیت بهبود یابد [۱]. مواد پلیمری به علت خواص منحصر به فردی مانند وزن پایین، هزینه‌ی اندک در فرایند تولید و مقاومت در مقابل مواد شیمیایی و خوردگی

پلیمری به طور منظم و لایه لایه و در نواحی آمورف به طور کاملاً بی‌نظم قرار گرفته‌اند.

درجه‌ی بلورینگی پارامتر مهمی برای پلیمرهای نیمه بلورین است و بسیاری از خواص فیزیکی و مکانیکی این پلیمرها وابسته به درجه‌ی بلورینگی آن‌ها است. با کمک روش‌های فیزیکی مانند پراش پرتو X (XRD)، گرماسنج تفاضلی روبشی^{۱۳} (DSC)، طیف سنجی زیر قرمز^{۱۴} (IR) و رزونانس تشدید مغناطیسی هسته^{۱۵} (NMR) می‌توان درجه‌ی بلورینگی پلیمرها را تعیین نمود [۹]. عباسی و همکارانش [۱۰] نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن-نقره را به کمک اولتراسونیک تهیه کردند. آن‌ها اثرات زمان و دمای واکنش، قدرت پرتو اولتراسونیک و معرف کاهنده را بر رشد و مورفولوژی نانوذرات نقره مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش قدرت پرتو دهی اولتراسونیک، اندازه‌ی ذرات کوچک‌تر و با افزایش دمای واکنش، اندازه‌ی ذرات پخش شده بر سطح پلی اتیلن نیز بزرگ‌تر و در نتیجه بلورینگی نانوذرات نقره بیشتر می‌شود. رفتار بلورینگی نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن-خاک رس تهیه شده به روش آسیاکاری توسط ابارشی و همکارانش [۱۱] در زمان‌های مختلف آسیاکاری (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۰۰ ساعت) و همچنین در حضور مقادیر مختلفی از خاک رس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان آسیاکاری و افزایش درصد وزنی خاک رس، بلورینگی نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با پلی اتیلن خالص کاهش یافت.

نانوذرات نقره به علت ویژگی‌های منحصر به فردی همچون فعالیت کاتالیزوری، خواص الکترونیکی، مغناطیسی و نوری، پایداری حرارتی زیاد و بویژه فعالیت ضد میکروبی مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار دارند. از طرفی پلی اتیلن به علت خواص مطلوبی از جمله مقاومت در برابر فرسایش و خستگی، انعطاف پذیری مکانیکی، مقاومت بالای شیمیایی و ارزان قیمت بودن، یکی از مرسومترین پلیمرها در صنعت و پزشکی است. بنابراین افزودن نانوذرات نقره به عنوان پرکننده به زمینه پلی

علت نیروهای ضربه‌ای مکرر، برخورد بین گلوله و پودر، در معرض تغییر شکل شدیدی قرار می‌گیرند. خواص مواد حاصل تابعی از تعداد زیادی پارامتر در فرایند آسیاکاری می‌باشد. از جمله دلایل استفاده از این روش در تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌ها، می‌توان مصرف کم انرژی و بنابراین مقرون به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی، سازگاری زیاد زیست محیطی، سادگی روش، قابل استفاده برای مواد مختلف، کارایی بالا و تولید نانوکامپوزیت‌ها در مقیاس صنعتی را عنوان کرد. در حقیقت روش آسیاکاری مکانیکی فرایند منحصر به فردی است که طی آن واکنشی در حالت جامد بین سطوح جدید پودرهای مواد واکنش دهنده در دمای اتاق اتفاق می‌افتد [۴-۵]. کو^{۱۱} و همکارانش [۶] نانوکامپوزیت‌های پلی وینیل پیرولیدین-سیلیکات را به روش آسیاکاری تهیه کردند و خواص اپتیکی آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نانوکامپوزیت تهیه شده به دلیل ذرات ریز به دست آمده در اثر آسیاکاری شفافیت بهتری دارد. خروسونوا^{۱۱} و همکارانش [۷] نیز نانوکامپوزیت $Mg_2Ni_{0.8}Co_{0.2}$ را به روش آسیاکاری تهیه و خواص هیدروژن دار شدن این ترکیبات را بررسی کردند. داده‌های اندازه‌گیری مغناطیسی آن‌ها نشان داد که ذرات سوپرپارامغناطیسی نیکل و کبالت به عنوان مراکز فعال برای جذب سطحی شیمیایی هیدروژن عمل می‌کنند. این نتایج را می‌توان به کمک اثر خاصیت کاتالیزوری حدواسط $Mg_2Ni_{0.8}Co_{0.2}$ و حضور خوشه‌های نیکل و کبالت بر روی سطح و همچنین استفاده از فرایند آسیاکاری مکانیکی توضیح داد. لی^{۱۲} و همکارانش [۸] نیز نانوکامپوزیت Ni/Al_2O_3 را به همین روش تهیه کردند. نتایج نشان داد که آسیاکاری مکانیکی می‌تواند به طور چشمگیری واکنش بین NiO و Al را بهبود بخشد.

پلیمر نیمه بلورین را می‌توان به عنوان ترکیبی از دو ماده‌ی بلورین و غیر بلورین که رفتار شکننده و انعطاف‌پذیری را از خود نشان می‌دهد در نظر گرفت. در ناحیه‌ی بلورین، زنجیره‌های

رنگ محلول از بی رنگ به قهوه ای تغییر پیدا کرد. در ادامه نانوذرات تهیه شده به وسیله سانتریفوژ جدا گردید. رسوبات تشکیل شده پس از شستشوی چندباره با آب مقطر، در دستگاه آون خلا در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۱۲ ساعت کاملاً خشک شد. در این روش از سدیم بور هیدرات به عنوان عامل کاهنده و PVP به عنوان یک عامل محافظت کننده استفاده شده است.

جهت تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - نقره روش آسیاکاری مکانیکی استفاده شد. ابتدا پودر پلی اتیلن با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی نانوذرات نقره مخلوط گردیده و همگی نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با شرایط یکسان یعنی نسبت وزنی گلوله به پودر ۳/۵ (۴۰ گلوله با قطر ۳ میلیمتر و ۲۰ گلوله با قطر ۵ میلیمتر) و در فرکانس 20Hz با دستگاه mixer mill mm400 آسیاکاری شدند. گلوله‌های مورد استفاده و ظرف آسیا از جنس استیل زنگ نزن بود.

الگوی پراش پرتو X نانوذرات نقره، پلی اتیلن و نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از پراش سنچ پرتو X مدل Bruker/D8ADVANCED با تابش $\text{Cu-K}\alpha$ و طول موج ۰/۱۵۴۰۶ نانومتر در گستره ی ۲۰ بین ۱۰ تا ۸۰ درجه با گام ۰/۰۴ درجه بدست آمد. طیف مرئی-فرابنفش نانو ذرات نقره با استفاده از طیف سنچ مدل Lambda 35 شرکت سازنده Perkin Elmer ثبت شد. برای بررسی اندازه‌ی نانوذرات و مشاهده‌ی میزان توزیع نانوذرات نقره در زمینه‌ی پلی اتیلن از میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل CM-TEM 120 شرکت سازنده Philips Holland و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1450 VP استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

در قسمت‌های الف و ب شکل ۱، به ترتیب الگوی پراش پرتو X و تصاویر SEM پلی اتیلن در بزرگنمایی‌های مختلف نشان داده شده است. شکل ۱- الف نشان می‌دهد که پلی اتیلن دارای دو پیک بلورین در 2θ های $21/4^\circ$ و $23/9^\circ$ به ترتیب متناظر با دسته صفحات (۱۱۰) و (۲۰۰) و یک پیک آمورف در $19/5^\circ$

اتیلن موجب دستیابی به نانوکامپوزیت‌هایی با ویژگی‌های بهبود یافته و کاربردهای متنوع می‌شود [۱۲-۱۴].

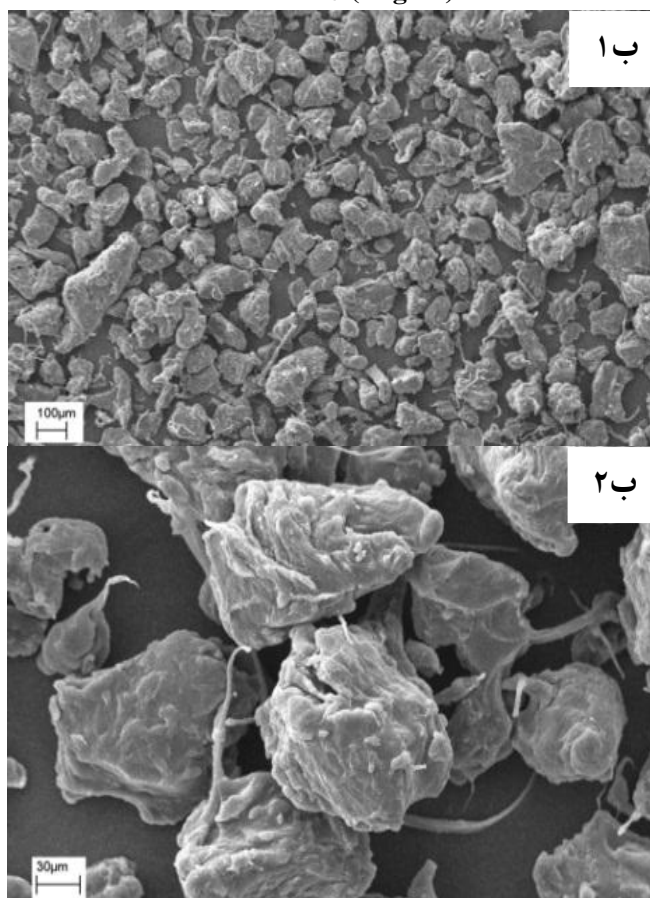
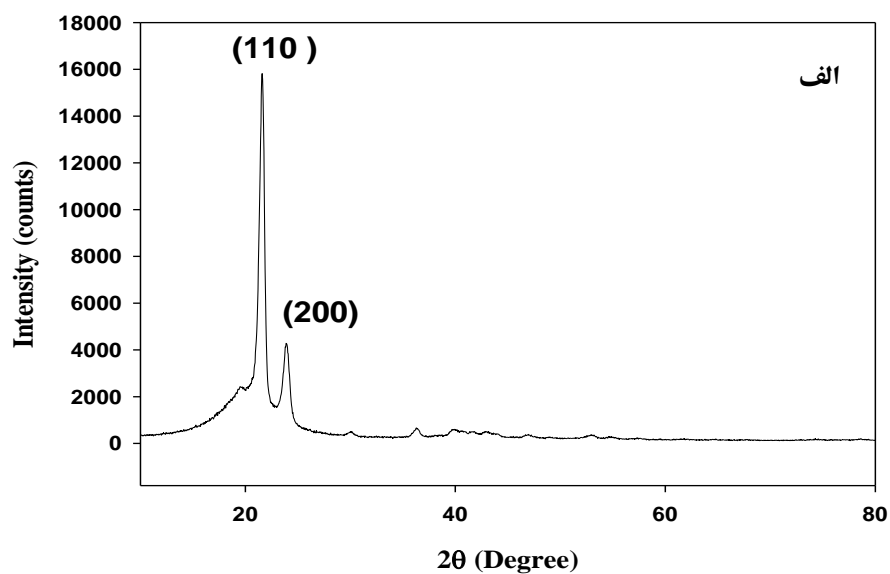
علی‌رغم تحقیقات گسترده در زمینه‌ی تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های پلیمر-نقره و بررسی خواص آن‌ها، گزارش‌های اندکی در رابطه با نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - نقره وجود دارد [۱۲، ۱۴-۱۶]. همچنین در مورد اثر نانوذرات نقره بر بلورینگی پلی اتیلن با دانسیته متوسط گزارشی ارائه نشده است. بنابراین هدف این تحقیق تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - نقره به روش آسیاکاری مکانیکی و بررسی تغییرات درجه‌ی بلورینگی پلی-اتیلن به عنوان یک پلیمر نیمه بلورین، در حضور درصد‌های وزنی مختلفی از نانوذرات نقره، به کمک روش XRD است.

۲- مواد و روش تحقیق

به منظور تهیه‌ی نانوکامپوزیت پلی اتیلن-نقره، از پلی اتیلن با دانسیته‌ی متوسط به عنوان فاز زمینه (خریداری شده از شرکت پتروشیمی تبریز) و از نانوذرات نقره به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شد. برای ساخت نانوذرات نقره از مواد اولیه زیر استفاده شد: نقره نترات (AgNO_3)، Sigma-Alderich، با درصد خلوص ۹۹٪، پلی وینیل پیرولیدین (PVP)، Sigma-Alderich، با وزن مولکولی میانگین ۴۰۰۰۰، و سدیم بور هیدرات (NaBH_4)، Merck KGaA همه مواد شیمیایی با خلوص اولیه دریافت شده و بدون خالص‌سازی مجدد استفاده شدند.

یکی از رایج ترین روش‌ها برای تهیه نانوذرات نقره روش کاهش شیمیایی است. این روش نسبت به دیگر روش‌ها دارای مزایایی همچون مصرف کم انرژی، سادگی روش تولید، توانایی کنترل شکل و اندازه ذرات و بازده زیاد است [۱۷-۱۸]. در این تحقیق، نانوذرات نقره به روش کاهش شیمیایی ساخته شدند. بدین منظور ابتدا ۲۵۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر به مخلوطی از ۱/۵۳ گرم نترات نقره با ۰/۹۳۳ گرم پلی وینیل پیرولیدین اضافه شد. محلول مورد نظر به کمک همزن مغناطیسی هم زده شد تا دو ماده به طور کامل حل شوند. با افزودن سدیم بور هیدرات، نانوذرات نقره پس از همزدن در زمان معینی تشکیل گردید و

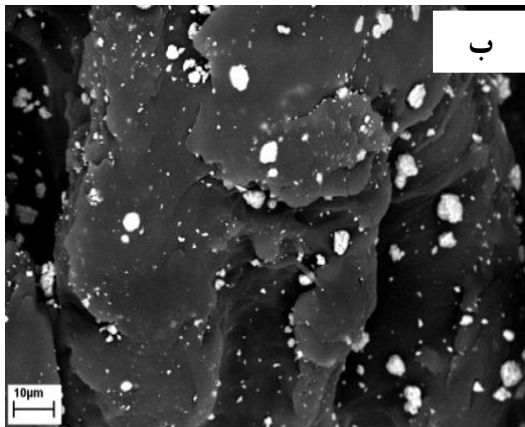
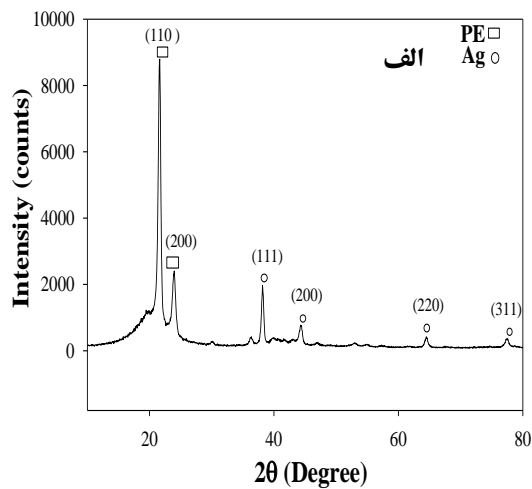
است و شکل ۱-ب نشان می‌دهد که پودر پلی‌اتیلن دارای مورفولوژی منظم، اما با اندازه‌ی ذرات متفاوت است. میانگین اندازه‌ی ذرات پودر پلی‌اتیلن خالص بین ۴۰ تا ۲۰۰ میکرومتر است.



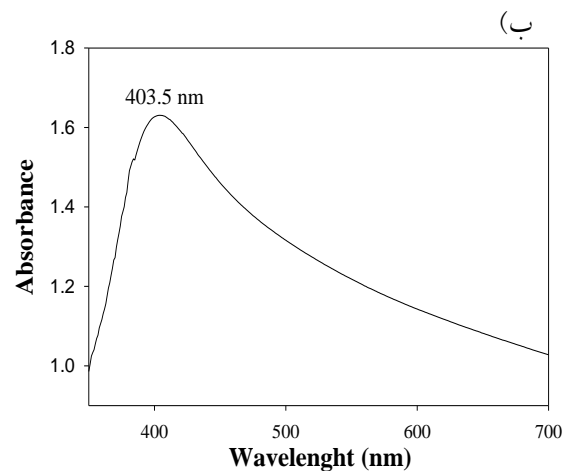
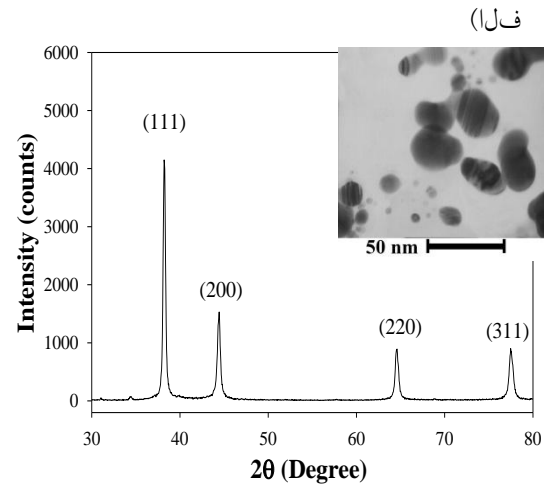
شکل (۱): (الف): الگوی پراش پرتو X پلی‌اتیلن خریداری شده و (ب): مورفولوژی پلی‌اتیلن خالص خریداری شده قبل از آسیابکاری بازرگمایی‌های (۱): ۱۰۰ و

(۲): ۵۰۰ برابر

های نانوذرات نقره با توجه به پهن‌شدگی پیک‌ها به کمک رابطه‌ی دبای-شرمحاسبه گردید. طبق این محاسبه اندازه‌ی میانگین نانوبلورک‌های نقره برابر ۲۱٫۷ نانومتر تخمین زده می‌شود. تصویر TEM نانوذرات نقره در داخل شکل ۲-الف این نتیجه را تایید می‌کند. شکل ۲-ب طیف مرئی-فرابنفش نانوذرات نقره را نشان می‌دهد. در مطالعات قبلی گزارش شده است که نانوذرات کروم نقره در طول موج حدود ۴۰۰ نانومتر پیک جذبی دارند [۱۹]. در این تحقیق، بیشینه پیک جذبی در ۴۰۳٫۵ نانومتر مشاهده می‌شود که تشکیل نانوذرات کروم نقره را نشان می‌دهد.



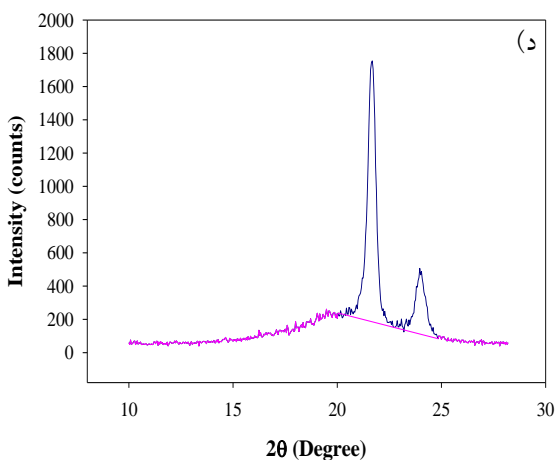
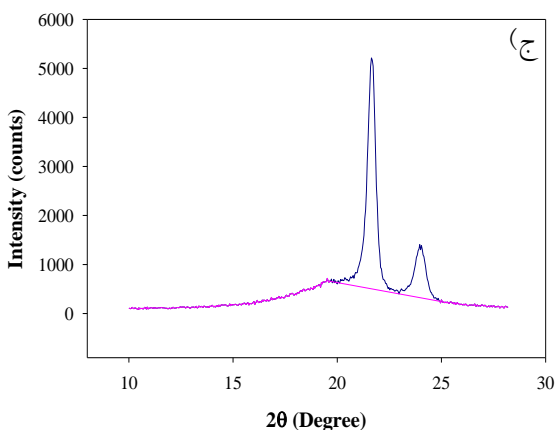
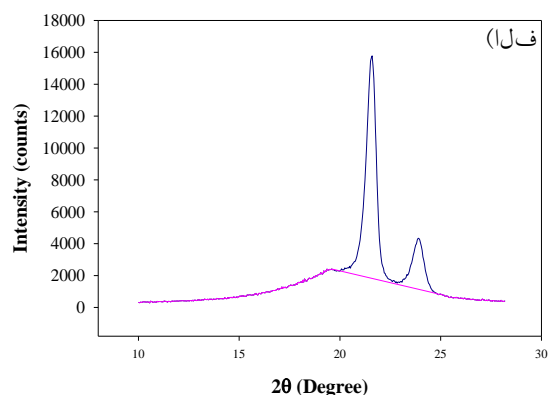
شکل (۳): (الف): الگوی پراش پرتو X نمونه‌ی PESN5. (ب): تصویر SEM نمونه‌ی PESN20 در بزرگنمایی ۲۵۰۰



شکل (۲): (الف): الگوی پراش پرتو X، داخل تصویر TEM نانوذرات نقره و (ب): طیف مرئی-فرابنفش نانوذرات نقره

شکل ۲-الف الگوی پراش پرتو X نانوذرات نقره را نشان می‌دهد. با توجه به شکل الگوی پراش پرتو X نانوذرات نقره دارای چهار پیک در 2θ های ۳۸٫۱، ۴۴٫۳، ۶۴٫۴ و ۷۷٫۴ درجه می‌باشند که به ترتیب متناظر با دسته صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) هستند. از آنجا که پیک‌ها کاملاً کشیده می‌باشند، می‌توان استنباط کرد که نمونه کاملاً بلورین است. همچنین عدم وجود هر گونه پیک اضافی در الگوی پراش پرتو X، حاکی از آن است که نانوذرات نقره بدون هر گونه فاز ناخالصی شکل گرفته‌اند. تمام پیک‌های پراش موجود در الگوی XRD را می‌توان به فاز مکعبی وجه مرکز دار نقره نسبت داد [۱۹]. اندازه‌ی بلورک-

مشاهده نمی‌شود می‌توان نتیجه گرفت که ساختار پلی‌اتیلن در حضور درصدهای مختلفی از نانوذرات نقره هیچگونه تغییری پیدا نکرده و به عبارتی حضور نانوذرات نقره تغییری در ساختار پلی‌اتیلن ایجاد نمی‌کند.

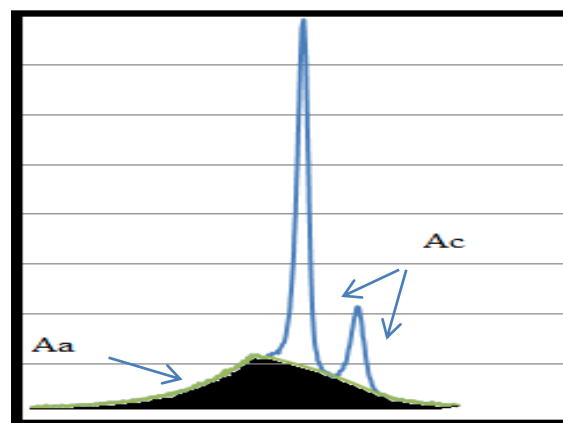


شکل (۵): بخش‌های آمورف و بلورین مربوط به: (الف): PE، (ب): PESN5، (ج): PESN10 و (د): PESN30.

در شکل ۳-الف الگوی پراش پرتو X نمونه‌ی حاوی ۵ درصد وزنی نانوذرات نقره (PESN5) و در قسمت ب) تصویر SEM نمونه‌ی حاوی ۲۰ درصد وزنی نانوذرات نقره (PESN20) مشاهده می‌شود. عدم وجود هرگونه پیک اضافی در الگوی پراش پرتو X، حاکی از آن است که نمونه بدون هرگونه فاز ناخالصی تهیه شده است (قسمت الف) و همان‌طور که در شکل ۳-ب قابل مشاهده است، در اثر آسیاکاری نانوذرات نقره (نقاط سفیدرنگ) به طور کاملاً یکنواختی در سراسر زمینه‌ی پلی‌اتیلن پخش شده‌اند. درجه‌ی بلورینگی با کمک روش نارا و کومیا با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه شده است [۹]:

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} \quad (1)$$

در این رابطه X_c نشان دهنده‌ی درجه‌ی بلورینگی و A_c و A_a به ترتیب نشان دهنده‌ی سطح زیر پیک های بلورین و سطح زیر پیک آمورف هستند. در شکل ۴ بخش‌های آمورف و بلورین یک پلیمر نیمه بلورین نشان داده شده است.



شکل (۴): بخش‌های آمورف و بلورین یک پلیمر نیمه بلورین

طرحی از بخش‌های آمورف و بلورین گرفته شده از الگوی پراش پرتو X نمونه‌های PE، PESN5، PESN10 و PESN30 به ترتیب در منحنی‌های الف، ب، ج و د شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل، از آنجا که جابه‌جایی در مکان پیک‌ها

کربنی چند دیواره و اکسید گرافن را در ۲/۵ درصد وزنی بر بلورینگی این پلیمر با استفاده از روش XRD بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که همه پرکننده‌ها سبب افزایش بلورینگی این پلیمر شدند. به طوری که افزایش ۲/۵ درصد نانوذرات نقره به این پلیمر سبب افزایش درصد بلورینگی از ۳۷ درصد به ۳۹ درصد می‌شود. این در حالی است که ودنیک^{۱۸} [۲۲] و همکارانش نتیجه متفاوتی را برای اثر نانوذرات نقره بر بلورینگی پلی وینیل الکل گزارش نمودند. آن‌ها بلورینگی این نانوکامپوزیت را با دو روش XRD و DSC بررسی کرده و کاهش بلورینگی را نسبت به پلیمر اولیه مشاهده نمودند. ودنیک و همکارانش این کاهش بلورینگی پلیمر را به کاهش پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی بین زنجیره‌های پلی وینیل الکل در اثر حضور نانوذرات نقره نسبت دادند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پس از سنتز نانوذرات نقره، نانوکامپوزیت پلی-اتیلن-نقره به روش آسیاکاری مکانیکی به عنوان روشی ساده، کارآمد و با بازدهی بالا تهیه شد. سپس با استفاده از نتایج و داده‌های الگوی پراش پرتو X، بلورینگی پلی اتیلن در حضور درصد‌های مختلفی از نانوذرات نقره به روش نارا و کومیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به علت حضور عامل جوانه‌زای نانوذرات نقره، همزمان با افزایش مقدار نانوذرات نقره، میزان درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن نیز افزایش می‌یابد.

۵- مراجع

- [1] F. Hussian & M. Hojjati, "Polymer-Matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview", J. Comos. Mater, Vol. 40, pp. 1511-1575, 2006.
- [2] K. Friedrich, S. Fakirov & Z. Zhang, "Polymer Composites from Nano- to Macro-Scale", New York, Springer, 1945.
- [3] P. M. Ajayan, L. S. Schadler & P. V. Braun, "Nanocomposite Science and Technology", WILEY-VCH Verlag, Germany, 2003.

مقدار درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن در حضور درصد‌های مختلفی از نانوذرات نقره با استفاده از رابطه‌ی ۱، از الگوی XRD شکل ۵، استخراج و نتایج در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول (۱): درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن و نانوکامپوزیت‌های پلی اتیلن - نقره با

درصد‌های وزنی مختلف

نمونه‌ها	PE	PESN5	PESN10	PESN30
درجه‌ی بلورینگی	۶۳٫۶۴	۶۳٫۷۴	۶۹٫۵۶	۷۷٫۶۷

داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهند درجه‌ی بلورینگی پلی اتیلن همزمان با بالا رفتن مقدار درصدوزنی نانوذرات نقره در زمینه‌ی پلی اتیلن افزایش یافته‌است. همچنین این داده‌ها نشان می‌دهند که بیشترین افزایش حدود ۱۴ درصد در نمونه‌ی PESN30 است. افزایش مشاهده شده بدین علت است که نانوذرات نقره به عنوان عامل جوانه‌زا عمل کرده، همزمان با افزایش درصد وزنی نانوذرات نقره، مناطق جوانه‌زنی نیز افزایش می‌یابد که در نهایت باعث افزایش درجه‌ی بلورینگی می‌شود. نتایج مشابهی در مورد اثر نانوذرات نقره بر بلورینگی پلیمرهای مختلف گزارش شده است. از جمله فورتانیتی^{۱۶} و همکارانش [۲۰] مطالعاتی بر عملکرد فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی لاکتیک اسید در حضور نانوبلورک‌های سلولز و نانوذرات نقره انجام دادند و بلورینگی پلی لاکتیک اسید خالص و نانوکامپوزیت‌ها را با روش DSC محاسبه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که حضور عامل فعال سطحی بر روی سطح بلورک‌ها به پخش یکنواخت پرکننده در زمینه‌ی پلیمر کمک می‌کند و به طور آشکارا جوانه‌زنی و میزان بلورینگی را افزایش می‌دهد. در مطالعه آن‌ها درجه‌ی بلورینگی پلی لاکتیک اسید ۹٫۲ درصد گزارش شده است که به ۱۲ درصد برای نانوکامپوزیت پلی لاکتیک اسید-۱ درصد وزنی نقره و ۱۸٫۵ درصد برای نانوکامپوزیت پلی لاکتیک اسید-۵ درصد وزنی سلولز افزایش می‌یابد. پاپاچرجیو^{۱۷} [۲۱] و همکارانش بلورینگی پلی بوتیلن سوکسینات و اثر پرکننده‌های مختلفی همچون نانوذرات نقره، سیلیس (SiO₂)، نانولوله‌های

- [14] M. Jokar, R. Abdul Rahman, N. A. Ibrahim, L. C. Abdullah & C. P. Tan, "Melt production and antimicrobial efficiency of low density polyethylene (LDPE)-silver nanocomposite film", *Food Bioprocess Technol*, Vol. 5, pp. 719-728, 2012.
- [15] M. Jouni, A. Boudenne, G. Boiteux, V. Massardier, B. Garnier & A. Serghei, "Electrical and thermal properties of polyethylene/silver nanoparticle composites", *Polym. Compos*, Vol. 34, pp.778-786, 2013.
- [16] S. Azlin-Hasim, M. C. Cruz-Romero, M. A. Morris, E. Cummins & J. P. Kerry, "Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets", *Food Packaging and Shelf Life*, Vol. 4, pp. 26-35, 2015.
- [17] J. Liu, X. Li & X. Zeng, "Silver nanoparticles prepared by chemical reduction-protection method, and their application in electrically conductive silver nanopaste", *J. Alloy. Compd*, Vol. 494, pp. 84-87, 2010.
- [18] Z. Khan, S. A. Al-Thabaiti, A. Y. Obaid & A. O. Al-Youbi, "Preparation and characterization of silver nanoparticles by chemical reduction method", *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, Vol. 82, pp. 513-517, 2011.
- [19] M. B. Ahmad, M. Y. Tay, K. Shameli, M. Z. Hussein & J. J. Lim, "Green Synthesis and Characterization of Silver/Chitosan/Polyethylene Glycol Nanocomposites without any Reducing Agent", *In. J. Macromol. Sci*, Vol. 12, pp. 4872-4884, 2011.
- [20] E. Fortunatia, I. Armentano, Q. Zhou, A. Iannonia, E. Saino, L. Visai, L. A. Berglund & J. M. Kenny, "Multifunctional bionanocomposite films of poly(Lactic Acid), cellulose nanocrystals and silver nanoparticles", *Carbohydr. Polym*, Vol. 87, pp. 1596-1605, 2012.
- [21] D. G. Papageorgiou, K. Chrissafis, E. Pavlidou, E. A. Deliyanni, G. Z. Papageorgiou, Z. Terzopoulou & D. N. Bikiaris, "Effect of nanofiller's size and shape on the solid state microstructure and thermal properties of poly(butylene succinate) nanocomposites", *Thermochim. Acta*, Vol. 590, pp. 181-190, 2014.
- [4] M. S. El-Eskandarany, "Mechanical alloying for fabrication of advanced engineering materials", New York, U.S.A. NOYESPUBLICATIONS, 2001.
- [5] J. B. Tracy, "Magnetic nanoparticles: synthesis, characterization, applications and a systematic study of exchange biasing", Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [6] C. M. Koo, H. T. Ham, M. Choi, H. M. Kim & I. Chung, "Characteristics of polyvinylpyrrolidone-layered silicate nanocomposites prepared by attrition ball milling", *Polymer* Vol. 44, pp. 681-689, 2003.
- [7] M. Khrussanova, T. Mandzhukova, E. Grigorova, M. Khristov & P. Peshev, "Hydriding properties of the nanocomposite 85 wt.% Mg-15 wt.% Mg₂Ni_{0.8}Co_{0.2} obtained by ball milling", *J. Mater. Sci*, Vol. 42, pp. 3338-3342, 2007.
- [8] J. Li, F. Li & K. Hu, "Preparation of Ni/Al₂O₃ nanocomposite powder by high-energy ball milling and subsequent heat treatment", *J. Mater. Process. Technol*, Vol. 147, pp. 236-240, 2004.
- [9] M. Abareshi, "Study on the morphology, crystallinity, and thermal stability of polyethylene-clay nanocomposites fabricated using high energy ball milling method", (doctoral dissertation), Ferdowsi University, 2010.
- [10] R. Abbasi, H. Kalantary, M. Yousefi, A. Ramazani, and A. Morsali, "Synthesis and characterization of Ag nanoparticles @ polyethylene fibers under ultrasound irradiation", *Ultrason. Sonochem*, Vol. 19, pp. 853-857, 2012.
- [11] M. Abareshi, S. M. Zebarjad & E. K. Goharshadi, "Method crystallinity behavior of MDPE-clay nanocomposites fabricated using ball milling", *J. Compos. Mate*, Vol. 43, pp. 2821-2830, 2009.
- [12] S. Dehnavi, A. Aroujalian, A. Raisi & S. Fazel, "Preparation and characterization of polyethylene/silver nanocomposite films with antibacterial activity", *J. Appl. Polym. Sci*, Vol. 127, pp. 1180-1190, 2013.
- [13] L. A. Tamayo, P. A. Zapata, F. M. Rabagliati, M. I. Azocar, L. A. Munoz, X. Zhou, G. E. Thompson & M. A. Paez, "Antibacterial and non-cytotoxic effect of nanocomposites based in polyethylene and copper nanoparticles", *J. Mater. Sci: Mater. Med*, Vol. 26, pp. 1-5, 2015.

- [22] V. V. Vodnik, Z. Saponjic, J. V. Dzunuzovic, U. Bogdanovic, M. Mitric & J. Nedeljkovic, "Anisotropic silver nanoparticles as filler for the formation of hybrid nanocomposites", Mater. Res. Bull, Vol. 48, pp. 52–57, 2013.

۶- پی نوشت

- [1] X-ray Diffraction Pattern (XRD)
[2] UV-Visible Spectroscopy
[3] Transmission Electron Microscopy (TEM)
[4] Polyethylene-Silver Nanocomposite (PESN)
[5] Scanning Electron Microscopy (SEM)
[6] Nara and Komiya
[7] Direct Mixing
[8] Solution Mixing
[9] In-situ Polymerization
[10] Koo
[11] Khrussanova
[12] Li
[13] Differential Scanning Calorimetry (DSC)
[14] Infrared Spectroscopy (IR)
[15] Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
[16] Fortunatia
[17] Papageorgiou
[18] Vodnik