



## تهیه و بررسی خصوصیات الیاف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با نانو کلی

حسین علیی<sup>۱\*</sup>، احمدبیگدلی<sup>۲</sup>

### چکیده

در این مقاله به بررسی اصلاح فرآیندپذیری و خواص پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی جهت تولید الیاف پرداخته شده است. در این راستا تحقیقات انجام شده بر روی عوامل موثر بر تشکیل ساختار و خواص نمونه های نانو کامپوزیتی پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با نانو کلی که به روش اختلاط مذاب توسط مخلوط کننده داخلی تهیه شده اند متمرکز گردید. در نهایت این نانوکامپوزیتهای تولید شده بوسیله فرآیند ذوب ریسی به الیاف تبدیل شدند. خصوصیات الیاف نانو کامپوزیتی حاصل از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بوسیله تکنیکهای تفرق اشعه ایکس (XRD)، کالریمتری (DSC)، میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و استحکام سنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد پخش مناسب صفحات نانو کلی در ماتریس پلیمری بیشترین تاثیر را بر ارتقا خصوصیات الیاف دارا می باشد. خواص مکانیکی الیاف حاصل بواسطه حضور نانو کلی ارتقا پیدا می کند ولی با این حال چگرمگی الیاف مورد نظر کاهش می یابد. جهت یافتن ارتباطی بین خواص مکانیکی هر نمونه از الیاف نانوکامپوزیتی بازیافتی حاصل و ساختار مولکولی آن به بررسی خواص حرارتی، مورفولوژیکی، ساختاری و مکانیکی پرداخته شد.

**کلمات کلیدی:** پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی، نانو کلی، نانو ساختار، الیاف نانو کامپوزیتی.

### Abstract

In this work modification of processing and properties of recycled Poly (ethylene terephthalate) fibers is presented. In this way experimental study were carried out to investigate effects of parameters on structure forming and its properties of recycled Poly (ethylene terephthalate) /nano clay nano composites were prepared by melt mixing. These nano composites were produced to fibers through melt spinning. The resulting nano composite fibers were characterized by X-ray diffraction (XRD), differential scanning calorimeter (DSC) and scanning electron microscopy (SEM). Fine dispersion of nanoclay platelets in polymer is the most effective parameters to evaluate properties of the organoclay nanocomposite fibers were significantly increased with decrease of ductility. In order to find the relationship between mechanical properties and structures of these nanocomposite fibers, thermal properties, morphology, nano structure and tensile properties were compared.

**Keywords:** Recycled poly(ethylene terephthalate), Nano clay, Nano structure, Nano composite fiber.

۱. گروه مهندسی نساجی، دانشگاه آزاداسلامی واحد اراک، اراک، ایران. مسئول مکاتبات: Haliee1356@yahoo.com

۲. گروه مهندسی نساجی، دانشگاه آزاداسلامی واحد اراک، اراک، ایران.

## ۱. مقدمه

با تولید روزافزون بطری های PET مسئله زیست محیطی ایجاد شده نگرانی های بسیاری را برای طرفداران حفظ محیط زیست ایجاد کرده است. مواد پلاستیکی مانند PET جهت بازگشت به چرخه طبیعت نیاز به زمان بسیار طولانی دارد بنحویکه در صورت عدم بازیافت این مواد در آینده فضای بسیار وسیعی را اشغال خواهند کرد [۱].

بسیاری از دانشمندان برآنند که که بوسیله استفاده از پلیمرهای زیست سازگار این مشکل را حل کنند به همین دلیل توجه بسیاری به سمت پلی استرهای خطی معطوف شده است [۲].

تعدادی دیگر از محققان بر این عقیده اند که بوسیله استفاده از نانو ذرات معدنی در ساختار می توان زمان تخریب پلیمرها را کاهش داد. استفاده از مواد معدنی مانند نانو ذرات کلی علاوه بر اینکه باعث افزایش سرعت تخریب تحت شرایط جوی می شوند باعث ارتقا خصوصیات مکانیکی و کنترل بهتر پارامترهای فرایندی نیز می گردند [۳].

موفقیت چشمگیر استفاده از نانو ذرات در ماتریس های پلیمری جهت ارتقا خصوصیات مواد پلیمری برای کاربردهای مختلف و دستیابی به فن آوری تولید نانوکامپوزیت های پیشرفته و شناخت ویژگی های رئولوژیکی و خواص فیزیکی مکانیکی استثنایی آنها در سالهای اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در نیم قرن اخیر تعداد قابل توجهی از پلیمرها با ساختار متفاوت برای کاربردهای مختلف تولید و مورد مصرف قرار گرفته اند ولی با این حال پیشرفت سریع تکنولوژی در زمینه های گوناگون موارد کاربردی فراوانی را بوجود آورده است بطوریکه نیاز روز افزون به ارتقا خواص پلیمرها وجود دارد.

پلی اتیلن ترفتالات که پرمصرف ترین لیف حال حاضر می باشد دارای خصوصیات بالقوه ای است که هر روز آن را بیش از پیش در کانون توجه قرار می دهد و با ورود آن به دنیای نانو افقهای جدیدی از کاربردها را می توان برای آن متصور شد [۴].

بطور کلی موادی را نانو کامپوزیت می گویند که یک جز آن دارای بعدی کمتر از ۱۰۰ نانو متر باشد. در نانو کامپوزیت ها جز نانو باعث استحکام و ایجاد خصوصیات جدید در ماتریس پلیمری می گردد. انواع مختلفی از نانو ذرات مانند کربن نانو تیوب، کربن نانو فایبر و نانو کلی وجود دارند که هر کدام به ماتریس پلیمری یک سری خصوصیات خاص می بخشد.

نانو ذرات کلی از مجموعه آلومینوسیلیکاتها می باشند که به دو دسته کلی سیلیکاتهای لایه ای طبیعی مانند مونت موریلونیت و سیلیکاتهای لایه ای سنتزی مانند مگادیت، میکا، لاپونیت و فلوروهکتویت تقسیم بندی می شوند.

هر کدام از این مواد دارای ساختار کریستالی و ترکیب شیمیایی متفاوتی هستند که خصوصیات خاصی را به ماتریس پلیمری می بخشد. نانو ذرات مونت موریلونیت بدلیل اینکه از خلوص بالاتری نسبت به سایر نانو مواد برخوردار بوده و در طبیعت به وفور یافت می شود بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند [۵].

مونت موریلونیت یک سیلیکات لایه ای نوع ۲:۱ می باشد که این نوع لایه های سیلیکاتی از یک اکتاهدرال آلومینا که بین دو پوسته تتراهیدرال سیلیکا فرا گرفته است تشکیل شده است. پوسته های سیلیکا دارای یونهای مثبت سدیم، کلسیم و پتاسیم روی سطح خود می باشند که جهت اختلاط مناسب با پلیمر باید این یونهای معدنی را با یونهای آلی جایگزین کرد. با قرار گرفتن یونهای آلی که معمولاً یونهای کاتیونی آلکیل آمونیوم می باشند تمایل فاز آلی به قرار گرفتن بین صفحات نانو بیشتر شده و اختلاط بهتری انجام می گیرد. این اصل کلی وجود دارد که هر چه اختلاط نانو ذرات در ماتریس پلیمری بهتر انجام گیرد و ذرات نانو بطور یکنواخت تر در سرتاسر ماتریس پلیمری پخش شوند خصوصیات بهتر از نانو کامپوزیت حاصل بدست می آید [۶].

علاوه بر این ایجاد سازگاری مناسب بین ماتریس پلیمری و نانو ذرات، سطح مشترک قوی بین اجزا نیز در شکل گیری خواص مکانیکی مطلوب حائز اهمیت می باشد [۷].

نانو کامپوزیتهای تقویت شده بوسیله نانو ذرات کلی از آن لحاظ بسیار مهم می باشند که ماتریس پلیمری که فاز آلی است بوسیله نانو ذرات معدنی تقویت می شود که حاصل آن یکی از مهمترین کلاسه های مواد مصنوعی است که هم مزایای مواد آلی مانند سبکی، انعطاف پذیری، فرآیندپذیری مطلوب را دارا می باشد و هم از خصوصیات مواد معدنی مانند استحکام بالا، پایداری حرارتی مناسب و مقاومت شیمیایی قابل قبول را برخوردار می باشد. این کلاس از مواد مهندسی که یک هیبرید آلی-غیر آلی می باشد توانایی ارائه موادی را دارند که با مقدار کمی تقویت کننده معدنی خصوصیات قابل قبولی را به محصول می دهد. به دلیل سطح زیاد صفحات نانو ذرات معدنی کلی این پلیمرها قابلیت ممانعت عبور گاز را دارا می باشند. از دیگر قابلیت‌های این مواد استحکام بالا، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در خراشیدگی و سایش و پایداری حرارتی می باشد [۸].

شیوه های گوناگونی جهت تولید نانو کامپوزیت تولید شده بوسیله استفاده از نانو ذرات معدنی کلی وجود دارد که می توان به روشهای اضافه کردن نانو ذرات به پلیمر محلول، قرار دادن لایه های نانو کلی در زمان پلیمریزاسیون و مخلوط کردن در مذاب اشاره کرد [۹].

در تولید الیاف بازیافتی PET بدلیل اینکه باید قابلیت صنعتی بودن نیز برای آن در نظر گرفت تنها شیوه مخلوط در مذاب را می توان بکار برد. در این شیوه بوسیله استفاده از مخلوط کننده های داخلی و یا اکسترودرهای دو پیچه نانو ذرات کلی با ماتریس پلیمر در حالت مذاب مخلوط شده و در نهایت نانو کامپوزیت مورد نظر بدست می آید. در این روش بوسیله حرارت و نیروهای برشی اعمال شده نانو ذرات از همدیگر جدا شده و بواسطه پارامترهای ترمودینامیک در ماتریس پلیمری پخش می شوند [۱۰].

هنگامیکه نانو ذرات کلی در ماتریس پلیمری پخش می شوند با توجه به سازگاری و نحوه پخش شدن این صفحات در ماتریس سه حالت مختلف پیش می آید که هر کدام خصوصیات متفاوتی را به نانو کامپوزیت حاصل می دهند. در حالت اول ماتریس پلیمری قابلیت جدا کردن صفحات نانو کلی را از هم نداشته و در این سیستم ناسازگاری با توده ای از نانو ذرات کلی مواجه خواهیم بود. در حالت دیگر ماتریس پلیمری توانایی محدودی در باز کردن صفحات کلی از یکدیگر داشته و مقداری از زنجیره های پلیمری در بین صفحات کلی نفوذ کرده و فضای بین صفحات بیشتر می گردد ولی این صفحات بطور کامل از هم جدا نمی شوند. در حالت سوم بدلیل نفوذ بالای زنجیره های پلیمری بین صفحات و پخش یکنواخت نانو ذرات کلی بصورت مجزا در سرتاسر ماتریس بهترین خصوصیات مورد نظر از نانو کامپوزیت حاصل می گردد [۱۱].

پس از آن که نانو کامپوزیت حاصل تهیه شد باید بتوانیم این نانو ساختار خاص را از روزه های رشته ساز عبور داده و بصورت الیاف درآورد. در این حالت بدلیل تغییر رفتار پلیمر تمام پارامترهای فرآیندی تغییر کرده و اطلاع کامل از خصوصیات کاربردی نانو کامپوزیت حاصل امکان تولید الیاف نانو کامپوزیتی مورد نظر را ایجاد می کند [۱۲].

در این مقاله درباره چگونگی تولید الیاف نانو کامپوزیتی بوسیله استفاده از نانو ذرات کلی به عنوان تقویت کننده ماتریس پلیمری PET بازیافتی پرداخته شده است.

## ۲. مواد و آزمایشات

در این پروژه از بطری های PET خرد شده و به صورت پرک درآمده به عنوان ماده اولیه تولید الیاف استفاده شده است. مقدار از این مواد در شکل ۱ نشان داده شده است. یک نوع نانو کلی اصلاح شده بوسیله نمکهای چهار ظرفیتی آلکیل آمونیوم با نام شیمیایی مونت موریلونت و نام تجاری CLOISITE15A ساخت شرکت Southern Clay Production به عنوان تقویت کننده مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از پلی پروپیلن عامل دار شده با انیدریدمالئیک ساخت شرکت میتسوئی و اپوکسی ساخت شرکت شل به عنوان سازگار کننده استفاده گردید.



شکل ۱. پرک پلی اتیلن ترفتالات که از خوردکردن بطری های PET بدست می آید.

### ۱.۲. تهیه نانو کامپوزیتها

نمونه های نانو کامپوزیت با استفاده از روش اختلاط مذاب در داخل یک مخلوط کننده داخلی آزمایشگاهی مجهز به چرخنده هایی با طرح بن بوری ساخت شرکت برابندر تهیه گردیدند. مواد تشکیل دهنده هر یک از نمونه ها در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱. نانو کامپوزیت های تهیه شده

| کد   | نام                      | درصد نانو | ماده سازگار کننده      | درصد سازگار کننده |
|------|--------------------------|-----------|------------------------|-------------------|
| NCF۱ | PET + 2% Clay            | ۲         | -----                  | -----             |
| NCF۲ | PET + 4% Clay            | ۴         | -----                  | -----             |
| NCF۳ | PET + 2% Clay + 4% Epoxy | ۲         | اپوکسی                 | ۴                 |
| NCF۴ | PET + ۴% Clay + 4% Epoxy | ۴         | اپوکسی                 | ۴                 |
| NCF۵ | PET + 2% Clay + 4% MPP   | ۲         | پلی پروپیلن<br>مالئیکه | ۴                 |
| NCF۶ | PET + 4% Clay + 4% MPP   | ۴         | پلی پروپیلن<br>مالئیکه | ۴                 |

جهت تهیه نانو کامپوزیت ها ابتدا پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و نانو ذرات به همراه سازگار کننده های مورد استفاده با ترکیب درصد های وزنی مشخص که در جدول ۱ آورده شده است توزین گردیدند. سپس مواد مورد استفاده در هر نمونه وارد محفظه مخلوط کن داخلی ساخت شرکت برابندر (WSOE, PL2000) می گردند. اختلاط در حدود ۳ تا ۵ دقیقه تا یکنواخت شدن منحنی گشتاور-زمان که توسط نرم افزار دستگاه ارائه می گردد در دمای ۲۷۵ درجه سانتی گراد و با سرعت ۵۰ دور در دقیقه ادامه یافته و سپس نانو کامپوزیت های تهیه شده از دستگاه تخلیه و در معرض هوای سرد قرار می گیرند.

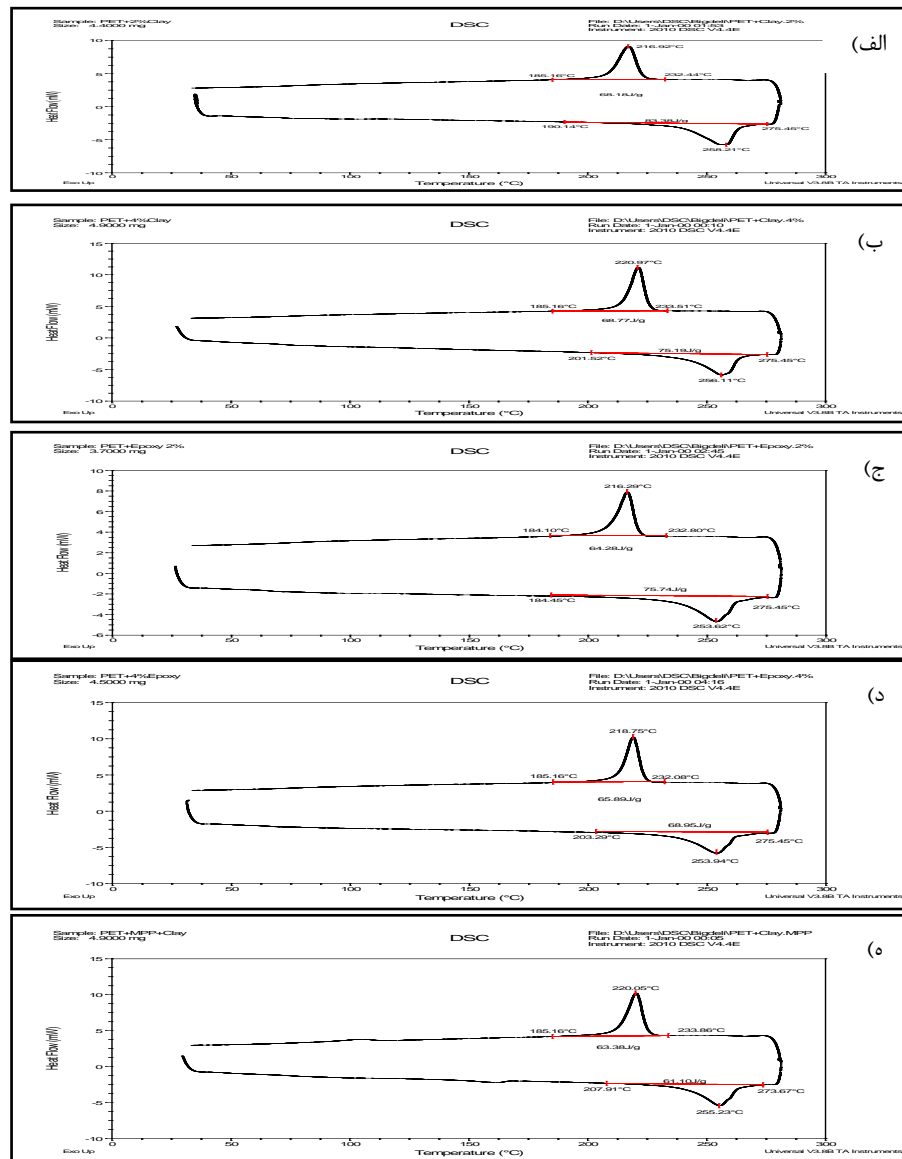
### ۲.۲. تولید الیاف و منوفیلامنت بوسیله ریسندگی مذاب

فرآیند ریسندگی مذاب پلیمر پایه پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و نانو کامپوزیت های تهیه شده با استفاده از یک اکسترودر تک پیچه با  $L/D:25$  ساخت شرکت برابندر که مجهز به یک رشته ساز و دستگاه پیچش مناسب بود انجام پذیرفت. برای تنظیم سرعت بوبین که بیانگر سرعت برداشت الیاف بود از یک موتور سه فاز با قابلیت تغییر دور که با استفاده از یک اینورتر قابل تنظیم بود استفاده شد. رشته ساز مورد استفاده دارای ۲۰ روزنه با قطر ۰/۵ میلی متر بوده و دمای زونهای حرارتی اکسترودر از منطقه خوراک دهی تا ناحیه رشته ساز ۲۱۰، ۲۵۰، ۲۶۰ و ۲۷۰ درجه سانتی گراد انتخاب گردید. الیاف پس از خروج از رشته ساز و سرد شدن و توسط یک دستگاه کشش که بوسیله یک هیتر الیاف را گرم می کرد در دمای تقریبی ۸۰ درجه سانتی گراد تحت عملیات کشش قرار گرفتند. جهت تولید منوفیلامنتها از سیستم افقی استفاده گردید بطوریکه منوفیلامنت خارج شده بر روی یک نوار نقاله با سرعت ثابت قرار گرفت و با تنظیم سرعت نوار نقاله کشش دلخواه به دست آمد.

### ۳. نتایج و مباحث

#### ۱.۳. رفتار حرارتی نانو کامپوزیت های پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با نانوکلی

شکل ۲ ترموگرام های حاصل از نتایج DSC پلیمر پایه پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و نانو کامپوزیت های حاصل از آن را نشان می دهد.



شکل ۲. گرافهای DSC پلیمر پایه PET و نانوکامپوزیت های، الف) PET/ ۲% Clay، ب) PET/ ۴% Clay، ج) Epoxy ۴% /

د) PET/ ۲% clay / ۴% Epoxy، ه) PET/ ۴% clay / ۴% MPP

نتایج بیانگر این موضوع است که با افزایش درصدنانو کلی دمای ذوب کاهش یافته و نقش سازگارکننده نیز در کاهش دمای ذوب قابل توجه می باشد. دلیل این موضوع ممانعتی است که نانو ذرات و سازگار کننده های مورد استفاده برای حرکت زنجیره های پلیمری پلی اتیلن ترفتالات به سمت کریستالها ایجاد می کنند. شاهد این موضوع کاهش می باشد که در درصد کریستالی مشاهده می گردد.

افزودن ۲ درصد نانو کلی بدلیل ظهور خاصیت هسته زایی باعث کاهش دمای کریستالی شدن می گردد ولی با افزودن ۴ درصد نانو کلی به ماتریس پلیمری نقش هسته زایی نانو ذرات بواسطه گیرافتادن زنجیره های پلیمری بین صفحات کلی بی اثر شده و تغییری در دمای کریستالی ایجاد نمی شود. افزودن اپوکسی به عنوان سازگار کننده بدلیل باز کردن بهتر صفحات نانو کلی از یکدیگر باعث کاهش دمای کریستالی شدن نسبت به پلیمر پایه می شود ولی پروپیلن مالئیکه در این امر موفق نمی باشد.

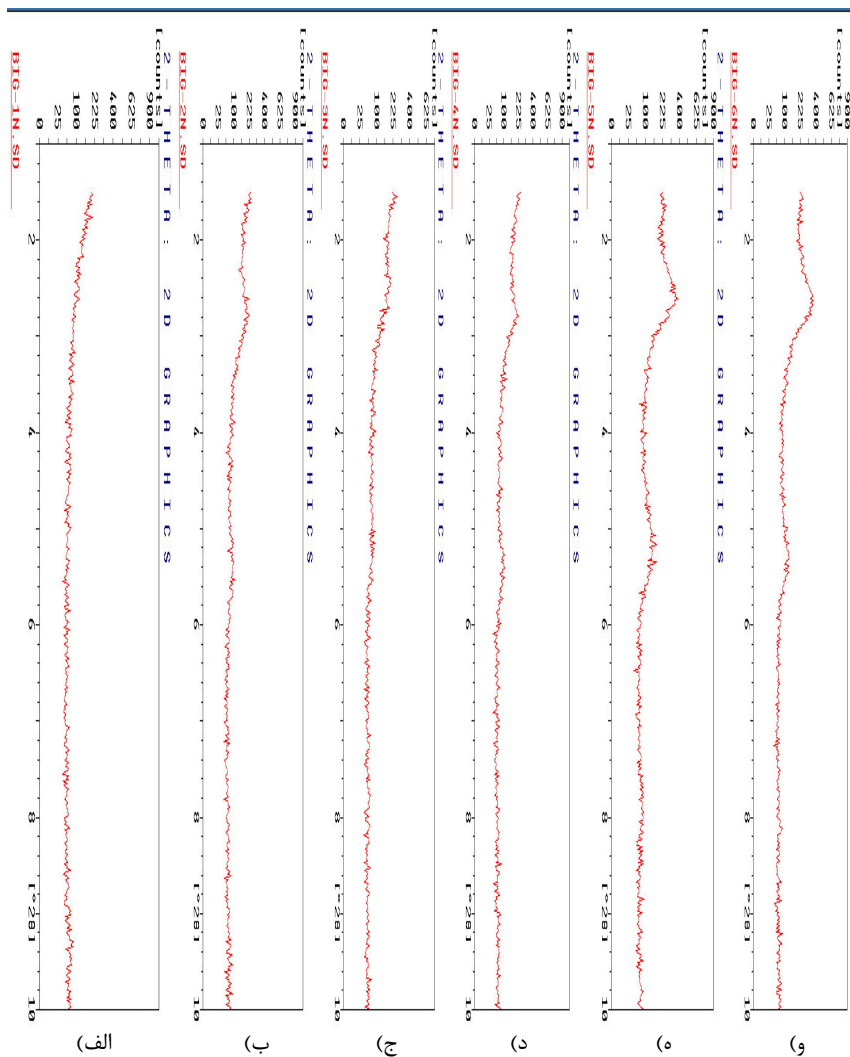
در بررسی درصد کریستالی نیز این نکته به خوبی مشخص است که باز نشدن صفحات نانو کلی از یکدیگر در هنگام استفاده از سازگار کننده پلی پروپیلن مالئیکه نقش هسته زایی نانو ذرات را کاهش داده که این مسئله منجر به کاهش درصد کریستالی شده است.

### ۲،۳. مطالعه ساختار نانو کامپوزیتهای پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با نانو کلی

شکل ۳ نمودارهای تفرق اشعه ایکس پلیمر پایه پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و نانو کامپوزیتهای حاصل از آن را نشان می

دهد.





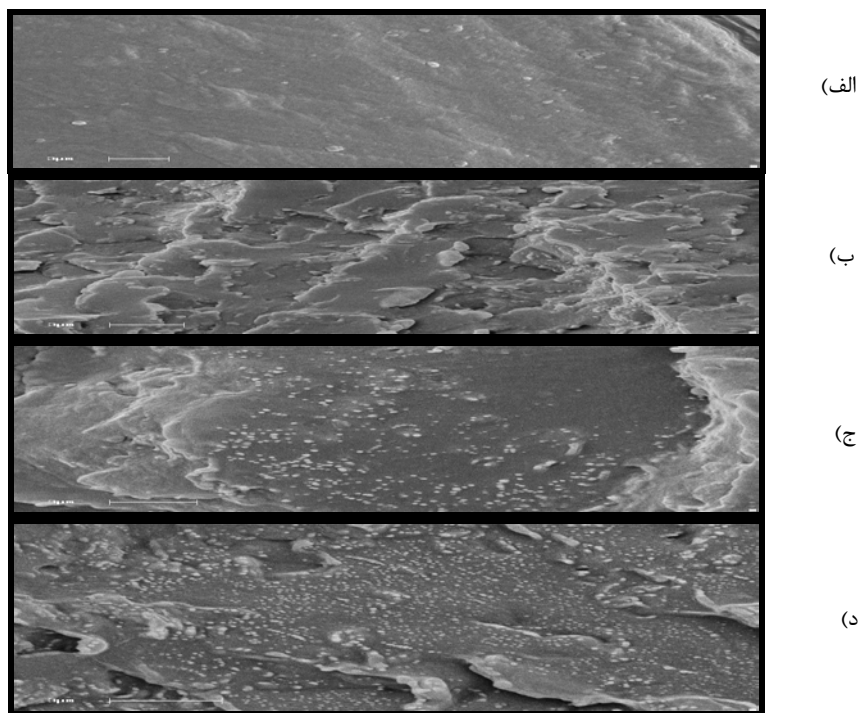
شکل ۳. نمودارهای XRD پلیمر پایه PET (الف) PET/ ۲٪ Clay ، (ب) PET/ ۴٪ Clay ، (ج) PET/ ۲٪clay / ۴٪ Epoxy ، (د) PET/ ۴٪clay / ۴٪Epoxy ، (ه) PET/ ۲٪clay / ۴٪MPP و (و) PET/ ۴٪clay / ۴٪MPP

در پلیمر پایه پلی اتیلن ترفتالات هیچگونه پیکی مشاهده نمی شود که علت آن عدم حضور نانو ذرات کلی در ساختار می باشد. با اضافه شدن ۲ درصد نانو کلی به پلیمر پایه یک پیک در زاویه دو تتا مساوی ۲/۸ مشاهده می گردد که بیانگر این موضوع می باشد که فاصله بین صفحات نانو کلی ساختار به ۱۵/۹ آنگستروم رسیده است. افزودن ۴ درصد نانو کلی پیکی در زاویه دو تتا مساوی ۲/۵۴ می دهد که فاصله بین لایه ای ۱۷/۰۸ آنگستروم را برای صفحات نشان می دهد. موضوع مهم دانسیته پیک مشاهده شده است که در نمونه حاوی ۴ درصد نانو کلی بیشتر از نمونه ۲ درصد نانو کلی می باشد که دلیل آن تجمع بیشتر نانو ذرات در درصدهای بالاتر می باشد. علت این است که در درصدهای بالاتر پخش نانو ذرات دشوارتر و احتمال ایجاد تجمع بیشتر می شود که این موضوع باعث شده است تا درصدهای پایین افزودن نانو ذرات به ماتریس پلیمری مورد

توجه قرار گیرد. حضور سازگار کننده اپوکسی توانسته است که فاصله بین صفحات نانو را نسبت به نمونه ای که سازگار کننده ندارد افزایش دهد. علت این موضوع بیشتر ایجاد امکان ورود راحت تر زنجیره های پلیمری در بین صفحات بدلیل سازگاری بیشتر نانو ذرات کلی با فاز آلی می باشد.

### ۳،۳. مطالعات مورفولوژیکی پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با نانوکلی

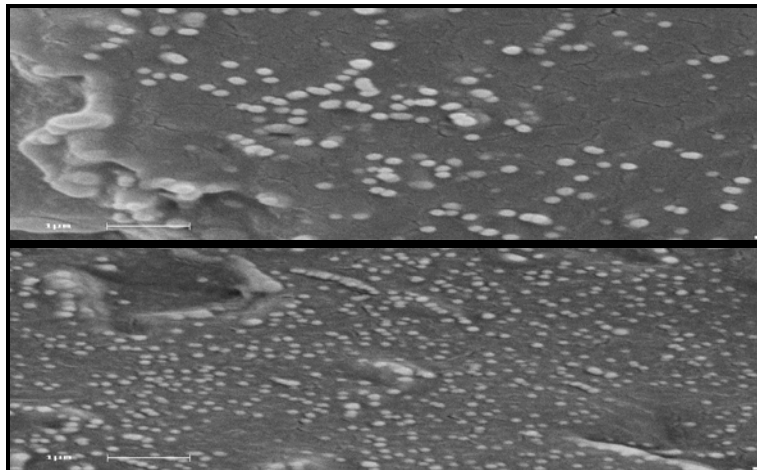
شکل ۴ میکروگرافهای SEM بدست آمده برای نانو کامپوزیتهای تولید شده با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می گردد در نانو کامپوزیتهای تقویت شده با ۲ درصد نانو کلی تجمع خاصی از نانو ذرات مشاهده نمی گردد ولی در نانو کامپوزیتهای تقویت شده با ۴ درصد نانو کلی، ذرات نانو کلی که بیانگر تجمع می باشند در میکروگرافها قابل رویت است. نکته قابل توجه اثر سازگار کننده پلی پروپیلن مالئیکه و اپوکسی در نمونه ها می باشد که با حضور این سازگار کننده ها پخش بهتری از نانو ذرات در ماتریس پلیمری مشاهده می شود.



شکل ۴. میکروگرافهای (SEM) مربوط به شکست نمونه های، (الف) PET/ ۲ Clay ، (ب) PET/ ۴ Clay/ ۲ MPP ، (ج) PET/ ۲ Clay/ ۴ Epoxy

۱۰۰۰۰ بزرگنمایی PET/ ۴ Clay/ ۲ MPP

شکل ۵ میکروگرافهای SEM نانو کامپوزیتهای تقویت شده با ۴ درصد نانو کلی می باشد که دارای بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ هستند. همانگونه که مشاهده می گردد با اضافه شدن سازگار کننده اپوکسی میزان تجمع یافتگی نانو ذرات کمتر شده و همچنین توانایی پخش بیشتر با اندازه های کوچکتر نانو ذرات ایجاد می شود.



(الف)

(ب)

شکل ۵. میکروگرافهای (SEM) مربوط به شکست نمونه های الف) PET/4Clay ، ب) PET/4Clay/4Epoxy با

بزرگنمایی ۳۰۰۰۰

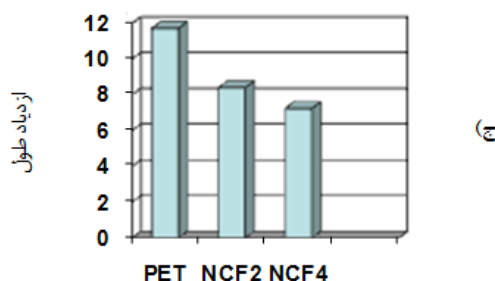
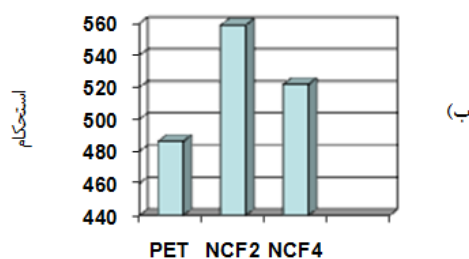
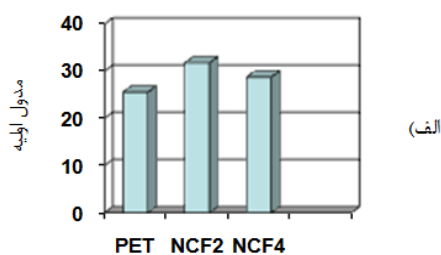
۴،۳. مطالعه خواص مکانیکی الیاف و منوفیلامنت های نانو کامپوزیتی پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تقویت شده با

نانو

بدلیل ایجاد نانو ساختارهای مختلف این انتظار وجود دارد که خواص گوناگونی از الیاف و منوفیلامنت های تولید شده مشاهده شود. خصوصیات مکانیکی بوسیله دستگاه استحکام بدست آمده به نحوئیکه هر آزمایش ۱۵ بار تکرار شد و میانگین نتایج بدست آمده جهت مقایسه خصوصیات استفاده شد. شکل ۶ رفتار مکانیکی شامل استحکام، مدول و ازدیاد تا حد پارگی الیاف مورد آزمایش را به صورت نمودار نشان می دهد. نکته قابل توجه اثر سازگار کننده بر روی خواص مکانیکی می باشد که به علت متفاوت بودن از ماتریس پلیمری تغییراتی متفاوتی را بر روی خواص مکانیکی ایجاد می کند.

در بررسی نقش سازگار کننده ها بر خصوصیات مکانیکی الیاف نانو کامپوزیتی حاصل از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مشاهده شد که با وجود کمک آنها به پخش بهتر نانو ذرات در ماتریس پلیمری این مواد باعث کاهش خواص مکانیکی شدند. علت این موضوع پایین تر بودن مکانیکی این مواد نسبت به ماتریس پلیمری و ایجاد پیوندهای درون ساختاری می باشد به نحوئیکه این مسئله باعث شکننده تر شدن الیاف اصل از نانو کامپوزیت تقویت شده با نانو کلی می شود.

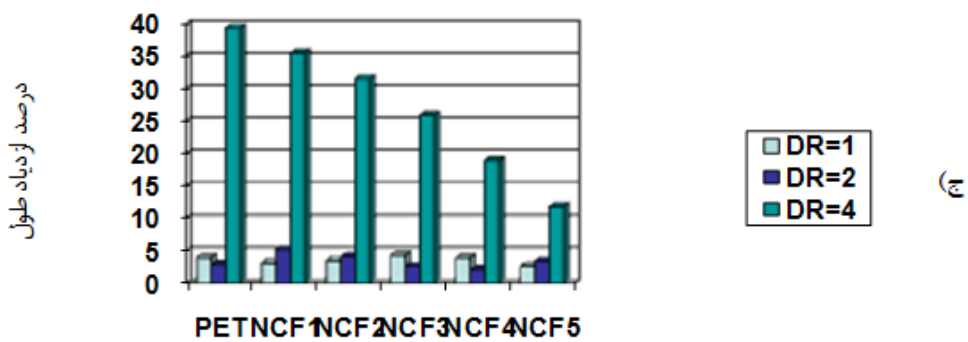
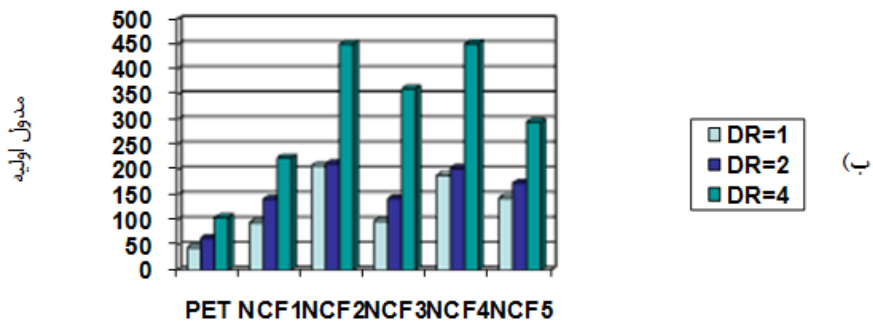
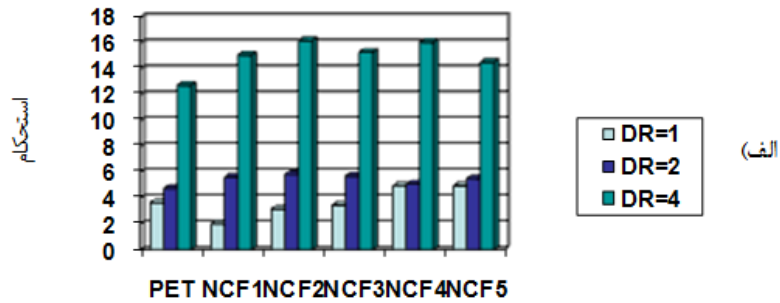
شکل ۷ به مقایسه خصوصیات مکانیکی انواع منوفیلامنتهای تولید شده با نسبتهای کشش گوناگون می پردازد. در این شکل مشاهد می گردد که با افزایش درصد نانو کلی استحکام افزایش یافته و اثر قابل توجهی از سازگار کننده بر روی افزایش استحکام مشاهده نمی گردد.



شکل ۶. مقایسه متوسط، (الف) مدول اولیه، (ب) استحکام و (ج) ازدیاد طول تا پارگی الیاف پایه PET با الیاف نانوکامپوزیتی

در بررسی مدول این نکته مشخص می شود که بدلیل پایین تر بودن خواص مکانیکی پلی پروپیلن مالئیکه حضور این ماده به عنوان سازگارکننده مدول را بسیار کاهش می دهد. همانطور که در بررسی نتایج ساختاری مشخص شد حضور سازگار کننده اپوکسی در نمونه حاوی ۲ درصد نانو کلی کمک شایانی در پخش نانو ذرات در ساختار بود که این موضوع در افزایش مدول NCF3 نسبت به NCF1 مشاهده می شود. کاهش ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه ها بیانگر میزان شکنندگی و درگیری ساختاری بیشتر می باشد که در مطالعه نمودار متوسط ازدیاد طول تا پارگی منوفیلامنتهای نانو کامپوزیتی، این

موضوع که با افزایش درصد نانو ذرات درگیریهایی درون ساختاری بیشتر شده و نقش سازگار کننده در میزان شکنندگی مشخص می شود.



شکل ۷. مقایسه متوسط الف) استحکام، ب) مدول اولیه و ج) درصد ازدیاد طول منوفیلامنت های نانوکامپوزیتی حاصل در

سرعت ۲۵۰ m/min

#### ۴. نتیجه گیری

الیاف نانو کامپوزیتی پلی اتیلن ترفتالات تقویت شده بوسیله نانو ذرات کالی بوسیله شیوه اختلاط در مذاب تولید شد. بدلیل آسیبهای وارده بر ساختار بواسطه عملیات های بازیافتی، از نانو ذرات کالی که قابلیت لایه لایه شدن در ساختار پلیمری و قرار دادن زنجیره های پلیمری بین صفحات خود را جهت ارتقا خصوصیات فرآیند دارا می باشد استفاده شد.

بدلیل حضور نانو ذرات در ساختار و تغییر خواص رئولوژیکی تعدادی از پارامترهای فرآیندی در پروسه های اختلاط و تولید الیاف تغییر می کند. در بررسی خواص حرارتی مشاهده شد که حضور نانو ذرات کالی دارای دو نقش اصلی هسته زایی و درگیر کردن زنجیره های پلیمری جهت ممانعت از حرکت آنها به سمت سلولهای کریستالی می باشند.

در مواردی که نقش هسته زایی غالب است درصد کریستالی افزایش و دمای بلورینگی کاهش می یابد. مطالعات ساختاری مشخص کننده میزان باز شدن صفحات نانو کالی از هم و چگونگی پخش آنها در ساختار است که این نکته مشاهده شد که در درصدهای پایین بارگذاری نانو تجمع کمتری از نانو ذرات در ساختار ایجاد می شود ولی با این حال در درصدهای بالا همچنان اثر پارامتر افزایش درصد نانو ذره بر ارتقا خصوصیات مشاهده می شود. پخش نانو ذرات بواسطه حضور سازگار کننده بهتر انجام می گیرد ولی با این حال پیوندهای درون ساختاری و پایین بودن خواص مکانیکی سازگار کننده باعث می شود که نقش قابل قبولی در ارتقا خواص مکانیکی مشاهده نشود.

بطور کلی بواسطه حضور نانو ذرات کالی در ماتریس پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی افزایش استحکام، مدول و کاهش ازدیاد طول تا پارگی الیاف و منوفیلانمنت مشاهده می شود.

#### ۵. منابع

- [1] T.Ochi, S.Okubo, K.Fukui., European Polymer Journal., Vol.43., pp.2819–2835.,2007.
- [2] L.T.Lim, R.Auras, M.Rubino., Progress in polymer science., pp.4139–4147., 2005.
- [3] G.D.Barber, B.H.Calhoun, R.B.Moore., Polymer., Vol.46., pp.6706–6714., 2005.
- [4] C.Dazhu, Y.Haiyang, H.Pingsheng, Z.Weian., Composites Science and Technology., Vol.65., pp.1593–1600., 2005.
- [5] G.Zhang, T.Shichi, K.Takagi., Materials Letters., Vol.57., pp.1858–1862., 2003.

- 
- [6] J.H.Changa, S.J.Kima, Y.L.Joob., *Polymer.*, Vol.**45.**, pp.919–926., 2004.
- [7] H.Ma, J.Zeng, M.L.Realff, S.Kumar, D.A.Schiraldi., *Processing, Structure, and Properties of Fibers from Polyester/Carbon nanofiber Composites.*, School of Textile and Fiber Engineering., Georgia Institute of Technology., Atlanta., USA., 2003.
- [8] J.H.Changa, S.J.Kima, Y.L.Joob., Seungsoon Imc.Poly(ethylene terephthalate) Nanocomposites by in Situ Interlayer Polymerization: the Thermo-mechanical Properties and Morphology of the Hybrid fibers., USA., 2004.
- [9] M.C.Lai, K.C.Changa, W.C.Huanga, S.C.Hsua, J.M.Yeha., *Journal of Physics and Chemistry of Solids.*, Vol.**69.**, pp.1371–1374., 2008.
- [10] Q.H.Zeng, A.B.Yu, G.Q.M.Lu, D.R.Paul., *Journal of Nanoscience and Nanotechnology.*, Vol.**5.**, pp.1574-1592., 2005.
- [11] A.Ammala, C.Bell, K.Dean., *Composites Science and Technology.*, Vol.**68.**, pp.1328–1337., 2008.
- [12] M.Ghiass, A.D.Rey., MONTE CARLO SIMULATION OF POLYMER – NANOFILLER NANOCOMPOSITES. National Science Foundation Under Award EEC., 9731680.