جلد 4، شماره 4، اسفند 96، ص‌ص 386- 390

نشریه علمی پژوهشی

علوم و فناوری **کامپوزیت**

http://jstc.iust.ac.ir

بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید تیتانیوم بر استحکام ضربه، استحکام کششی و مدول الاستیک ترکیبات پایه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم

فرامرز آشنای قاسمی[1*]، اسماعیل قاسمی[2]، سجاد دانش پایه[3]

1- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
2- استاد، مهندسی مواد، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، تهران
3- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
*تهران، صندوق پستی 16785-136، f.a.ghasemi@srttu.edu

اطلاعات مقاله

دریافت: 95/04/28
پذیرش: 95/08/05

کلیدواژگان:
نانو کامپوزیت‌ها
مدول الاستیک
استحکام ضربه
نانو ذرات اکسید تیتانیوم

چکیده

در این تحقیق، خواص مکانیکی، شامل مدول الاستیک، استحکام کششی و استحکام ضربه نانوکامپوزیت‌های بر پایه آلیاژ پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم، در حضور نانوذرات اکسید تیتانیوم، به روش اختلاط مذاب در یک اکسترودر دو مارپیچه هم‌سوگرد تهیه گردید. بدین منظور، به ترتیب 0، 2 و 4 درصد وزنی نانو ذرات اکسید تیتانیوم به ترکیبات پایه پلی‌پروپیلن/پلی اتیلن خطی با چگالی کم با نسبت ثابت 40/60 درصد وزنی افزوده شده و ترکیبات نهایی تهیه شد. آزمون‌های کشش و ضربه به ترتیب برای تعیین مدول الاستیسیته، استحکام کششی و استحکام ضربه ترکیبات انجام شد. مشاهده شد که افزودن نانو ذرات اکسید تیتانیوم تا 2 درصد وزنی مدول الاستیسیته و استحکام ضربه نسبت به ترکیب پایه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم را افزایش می‌دهد اما تأثیر چندانی بر استحکام کششی ندارد. حضور بیش از 2 درصد وزنی نانو ذرات (تا 4 درصد وزنی) باعث کاهش خواص مذکور می‌شود. همچنین مشاهده گردید که حضور نانو ذرات با درصد وزنی کم (حدود 2 درصد وزنی)، تقریباً 7 درصد استحکام ضربه و مدول الاستیک ترکیبات را افزایش می‌دهد.

DOI: 10.22068/jstc.2018.23928

An investigation of titanium dioxide nanoparticles effect on the impact strength, tensile strength and elastic modulus of polypropylene/linear low density polyethylene (PP/LLDPE) blends

Faramarz Ashenai Ghasemi[1*], Ismail Ghasemi[2], Sajjad Daneshpayeh[1]

1- Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2- Department of polymer Engineering, Polymer and Petrochemical Institute (IPPI), Tehran, Iran
* P.O.B. 16785-136, Tehran, Iran, f.a.ghasemi@srttu.edu

Keywords

Nanocomposites analytical
Elastic modulus
Impact strength
Titanium dioxide

Abstract

In this study, mechanical properties, including elastic modulus, impact and tensile strengths of nanocomposites based on polypropylene and polyethylene linear low-density blends, in the presence of titanium oxide nanoparticles have been studied. Here, 0, 2 and 4 wt% titanium dioxide nanoparticles were added to the basic ingredients polypropylene / polyethylene linear low density with a fixed ratio of 60/40 wt. % to reach the final composition that was prepared using an extruder. Tensile and impact tests were carried out in order to determine the elastic modulus and impact strength of compounds. It was observed that the presence of titanium dioxide nanoparticles at 2 wt. %, elastic modulus and impact strength compared to the basic polypropylene/polyethylene linear low-density increase and the presence of higher level of titanium dioxide nanoparticles up to 4 wt. % decrease mechanical properties of compounds. It was also seen that usilng low weight percent of nano particles, increase impact strength of the samples up to 7 percenrt.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Ashenai Ghasemi, F. Ghasemi, I. and Daneshpayeh, S., "An investigation of titanium dioxide nanoparticles effect on the impact strength, tensile strength and elastic modulus of polypropylene/linear low density polyethylene (PP/LLDPE) blends", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 4, No. 4, pp. 386-390, 2018.

1- مقدمه

پلیمرهای تقویت شده با نانوذرات معدنی، یکی از مهمترین گروه از نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری محسوب می‌شوند. این نانوکامپوزیت‌ها خواص فوق‌العاده‌ای مانند خواص مکانیکی بالا، نفوذپذیری کم و پایداری حرارتی، نسبت به ساختارهای معمولی مشابه دارند [1-2]. انواع مختلفی از پلی‌اتیلن‌ها مانند، پلی‌اتیلن چگالی پایین[1]، پلی‌اتیلن چگالی بالا[2] و پلی‌اتیلن خطی چگالی پایین[3] برای اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی پلی‌پروپیلن[4] بکار گرفته شده‌اند [3]. از دیگر برتری‌های نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌توان به فرآیندپذیری آسان، تنوع روش‌های ساخت و سبکی آن‌ها اشاره نمود [4]. هدف از افزودن پرکننده‌های غیرآلی به پلیمرها، بهبود خواص کاربردی آن‌ها مانند سفتی، پایداری ابعادی، سختی و چقرمگی‌شان است [5-7]. خواص نانوکامپوزیت‌های پلیمری به اندازه، شکل، بارگذاری، پیوند بین‌فازی و پراکندگی پرکننده‌ها بستگی دارد [8-9].

پلی‌پروپیلن یکی از مرسوم‌ترین پلیمرهاست که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیندپذیری خوب، خواص مکانیکی نسبتاً بالا، قابلیت بازیافت آسان و هزینه پایین، دامنه‌ی وسیعی از کاربردها مانند کالاهای خانگی، بسته‌بندی‌ها و صنایع اتومبیل‌سازی را برای پلی‌پروپیلن به وجود آورده است [10-11]. پلی پروپیلن در کنار خواص خوبی که دارد، استحکام ضربه (به‌خصوص در دمای پایین) و مدول یانگ پایینی دارد که کاربردهای آن را تا حدودی محدود کرده است [12-14].

آمیزه‌های پلی‌پروپیلن/ پلی‌اتیلن از جمله ترکیبات پلیمری هستند که به‌وسیله محققان مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [15-17].پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن خطی چگالی پایین به صورت عملی در هم مخلوط می‌شوند ولی امتزاج پذیر نیستند و معمولاً خواص ضعیفی را ارائه می‌دهند. استفاده از یک عامل سازگار کننده، امتزاج پذیری را دو پلیمر را تقویت می‌کند. یکی از اهداف آلیاژکردن پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن، افزایش استحکام ضربه پلی‌پروپیلن ، به‌ویژه در دماهای پایین است [18].

یکی از راه‌های بهبود و اصلاح خواص پلیمرها، افزودن ذرات غیرآلی به آن‌ها می‌باشد [1]. با افزودن مقدار کمی از پرکننده‌ها، به ویژه در مقیاس نانو و تشکیل نانوکامپوزیت‌های پلیمری، می‌توان افزایش چشمگیری در استحکام ضربه و کششی آن‌ها ایجاد کرد. استفاده از پرکننده‌های غیرآلی ابزاری مناسب برای بهبود سفتی، چقرمگی، سختی، مقاومت شیمیایی و پایداری ابعادی پلی‌پروپیلن است [10]. البته باید اشاره کرد که کلوخه‌شدن پرکننده و به دنبال آن پراکندگی نامناسب آن در ماتریس پلیمری، منجر به خواص مکانیکی ضعیف در مواد نانوکامپوزیت می‌شود [19-20]. مسئله دیگر، کاهش استحکام ضربه، بدلیل سفتی مواد غیرآلی است. محققان برای رفع این مشکل از مواد الاستومری نرم جهت افزایش چقرمگی نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌کنند [21-22].

در میان پرکننده‌های معدنی مختلفی که برای بهبود خواص پلیمرها بکار می‌روند، کربنات کلسیم [16،23]، اکسید روی [24] و اکسید تیتانیوم [12،25] بیشترین استفاده را دارند. اخیراً برخی محققان بهبود خواص مکانیکی پلیمرهای پرشده با ذرات اکسید تیتانیوم به شکل نانوکامپوزیت و میکروکامپوزیت‌های دوتایی با فرآیند اختلاط مذاب را گزارش کرده‌اند [6].

گارسیا و همکارانش [2] در سال 2004 با افزودن نانو ذرات سیلیکا به ماتریس پلیمری پلی‌پروپیلن، افزایش 30 درصدی مدول یانگ و 68 درصدی استحکام ضربه را گزارش کرده‌اند. سلوین و همکارانش [4] در سال 2003 ذرات اکسید تیتانیوم را به ماتریس پلیمری پلی‌استایرن افزودند و مشاهده کردند که مدول یانگ و استحکام کششی این پلیمر افزایش می‌یابد. سیریرات و همکارانش [5] در سال 2009 با افزودن نانو ذرات اکسید تیتانیوم به پلی‌پروپیلن، افزایش مدول یانگ، استحکام کششی و استحکام ضربه پلی‌پروپیلن را به ازای مقادیر کم نانو ذرات اکسید تیتانیوم (حدود 1 درصد وزنی) گزارش کردند. آلتان و همکارش [21] در سال 2010 ابتدا نانوذرات اکسید تیتانیوم را با کمک استایرن- اتیلن-بوتیلن- استایرن g-MA مخلوط کرده و سپس آن‌ها را با ماتریس پلیمری پلی‌پروپیلن ، توسط فرآیند اختلاط مذاب ترکیب کردند. نتایج حاصل، افزایش استحکام کششی و مدول یانگ (به‌ازای 3 درصد وزنی) و کاهش استحکام ضربه ماتریس پلیمری پلی‌پروپیلن را نشان داد.

مطالعه رفتار آلیاژهای پلیمری تقویت شده با پرکننده‌های صلب جهت حاصل شدن نانوکامپوزیت‌های سه‌تایی ایده‌ای نسبتاً جدید است [26]. در نانوکامپوزیت‌های سه‌تایی نیز مانند نانوکامپوزیت‌های دوتایی، استحکام کششی و ضربه نانوکامپوزیت حاصل، به‌ازای افزودن مقادیر کمی از پرکننده‌ها بهبود می‌یابد. از تشکیل نانوکامپوزیت‌های سه‌تایی یا سه‌فازی، یک سامانه شامل ماتریس پلیمری، الاستومر و پرکننده ایجاد می‌شود که می‌تواند ماده مناسبی برای بسیاری از کاربردهای مهندسی باشد [20].

لیو و همکارانش [27] در سال 2005 با افزودن نانو ذرات اکسید تیتانیوم به آمیزه‌های پلی اتیلن خطی چگالی پایین/پلی اتیلن چگالی پایین متوجه شدند که به دلیل اثر تقویت‌کنندگی نانو ذرات مذکور، افزودن تا 3 درصد وزنی نانوذرات، استحکام کششی ترکیبات مذکور را افزایش می‌دهد. همچنین ابوقالیا و همکارانش [20] در سال 2010 با افزودن نانو ذرات کربنات کلسیم به ترکیبات پایه پلی پروپیلن/پلی اتیلن خطی چگالی پایین، به‌طور کلی بهبود خواص مکانیکی ترکیبات پلی پروپیلن/پلی اتیلن خطی چگالی پایین را گزارش کرده‌اند.

آشنای قاسمی و همکارانش [28] نیز تأثیر حضور همزمان نانوذرات کربنات کلسیم و پلی‌پروپیلن پیوند شده با انیدرید مالئیک (پروپیلن-g-MA) بر روی استحکام ضربه و مدول یانگ پلی‌پروپیلن را به صورت تجربی بررسی کردند. آن‌ها تأثیر اصلاح سطح نانوذرات و همچنین حضور پروپیلن-g-MA در چگونگی پراکندگی نانوذرات کربنات‌کلسیم درماتریس پلی‌پروپیلن ، بااستفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که اصلاح سطحی نانوذرات کربنات‌کلسیم و حضور پلی پروپیلن-g-MA تأثیر بسزایی در بهبود توزیع و پراکندگی نانوذرات در ماتریس پلی‌پروپیلن دارد. همچنین، افزودن نانوذرات کربنات‌کلسیم موجب بهبود استحکام ضربه و مدول یانگ پلی‌پروپیلن شده، اما افزودن پروپیلن-g-MA باعث افزایش استحکام ضربه و کاهش مدول یانگ می‌شود.

در تحقیق حاضر نانوکامپوزیت پایه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم/ نانو ذرات اکسید تیتانیوم به روش اختلاط مذاب در یک اکسترودر دو مارپیچه هم‌سوگرد تهیه گردید. درصدهای وزنی مختلفی از نانو ذرات (0، 2 و 4) در ماتریس پایه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم استفاده شد.

[1] Low density polyethylene
[2] High density polyethylene
[3] Linear low density polyethylene
[4] Polypropylene

آنگاه تأثیر این نانو ذرات بر خواص مکانیکی، شامل مدول الاستیسیته و استحکام ضربه بررسی شد.

2- مواد و روش تحقیق

2-1- مواد

در تحقیق حاضر از پلی‌پروپیلن با نام تجاری Z30S با شاخص جریان مذاب 25g/10 min محصول شرکت پتروشیمی اراک و پلی‌اتیلن خطی چگالی پایین با نام تجاری 0209 با شاخص جریان مذابی برابر با 0.9g/10 min محصول شرکت پتروشیمی اراک استفاده شده است. نانوذارت تیتانیوم دی‌اکسید با ساختار بلوری روتایل و اندازه متوسط 30 nm خریداری شده از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان به عنوان پرکننده مورد استفاده قرار گرفت.

2-2-تهیه نمونه‌ها

پس از آماده شدن مواد اولیه، می‌بایست در 3 حالت مختلف با همدیگر ترکیب می‌شدند. طی این سه حالت به ترتیب 0، 2 و 4 درصد وزنی نانو ذرات اسید تیتانیوم به ترکیبات پایه افزوده می‌شدند. جهت حصول حداقل 5 نمونه از هر ترکیب یک حالت فیزیکی اولیه 400 گرمی در نظر گرفته شد.

بنابراین مواد در 3 حالت به صورت فیزیکی با همدیگر ترکیب شدند. سپس توسط یک اکسترودر همسوگرد با نام ZSK20 با محدوده‌ی دمایی 170 تا 190 درجه سانتی‌گراد و سرعت حرکت پیچه‌های 250 rpm به‌صورت گرانول با همدیگر ترکیب نهایی شدند. از گرانول آماده شده برای تهیه دست‌کم 5 نمونه‌ی انجام آزمون مکانیکی کشش بر اساس استاندارد D638 (با ابعاد mm^3 165×19×3.2) و ضربه بر اساس استاندارد D256 (با ابعاد mm^3 63.5×12.7×6.35) از هر ترکیب، به وسیله‌ی یک دستگاه قالب‌گیری تزریقی(ایمن ماشین) با توزیع دمایی 190-200-210 درجه‌ی سانتی‌گراد، سرعت بارگیری 45 rpm، فشار تزریق 90 bar و زمان سرمایش 40s، استفاده شد.

2-3- روش‌های انجام آزمون های مکانیکی

برای انجام آزمون کشش دستگاه زوییک/رول مدلZ100 ساخت آلمان مورد استفاده قرار گرفت و این آزمون در دمای اتاق و با سرعت فک متحرک 50mm/min و تعداد 5 تکرار از هر ترکیب انجام شد. کشش نمونه ها تا زمان گسیختگی کامل آن‌ها ادامه پیدا می‌کرد. نتیجه‌ی نهایی حاصل از آزمون کشش برای هر ترکیب از میانگین 5 عدد ناشی از 5 تکرار بدست آمد. مدول الاستیسیته نمونه‌ها از نتیجه‌ی نهایی حاصل از آزمون کشش برای هر ترکیب از میانگین 5 عدد ناشی از 5 تکرار حاصل شد. آزمون کشش نمونه‌ها بر اساس استاندارد D638 انجام شد.

تصاویر سطح شکست نمونه‌های شکسته شده در نیتروژن مایع جهت مشاهده نحوه پراکندگی نانوذرات اکسید تیتانیوم در ماتریس دوفازی، به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] با نام وگاتکسان[2] ساخت کشور چک تهیه شد (سطح شکست نمونه‌ها به کمک طلا به ضخامت حدود 10 میکرومتر روکش‌دهی شده بودند).

آزمون ضربه به روش آیزود فاق‌دار توسط دستگاه رزیل ایمپکتور ساخت شرکت کشور ایتالیا با وزنه 7.5 ژول، در دمای اتاق، بر اساس استاندارد D256 و تعداد 5 تکرار از هر ترکیب انجام شد.

[1] Scaninig electron microscopy(SEM)
[2] Vegatescan

3- بحث و بررسی

3-1 ریخت شناسی

به منظور مشخص شدن چگونگی پراکندگی نانو ذرات اکسید تیتانیوم در ماتریس پلیمری از سطح شکست نمونه‌های آزمون ضربه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شدند. به‌طور کلی اکثر مطالعات ساختارشناسی و پراکندگی نانو ذرات در ماتریس‌های پلیمری نشان می‌دهد که نانو ذرات با درصدهای پایین معمولاً پراکندگی خوبی از خود نشان می‌دهند [29]. این در حالی است که حضور درصدهای وزنی بالای نانو ذرات در ماتریس‌های پلیمری احتمال کلوخه شدن آن‌ها را افزایش می‌دهد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده از سطح شکست ترکیبات شامل 2 و 4 درصد وزنی نانو ذرات اکسید تیتانیوم به ترتیب در شکل‌های 1 و 2 نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل 1 مشاهده می‌شود نمونه‌ی شامل 2 درصد وزنی نانو ذرات اکسید تیتانیوم پراکندگی مناسبی را نشان می‌دهد. در شکل 1 فلش‌ها نانو ذرات را نشان می‌دهند. در حالی که نمونه‌ی شامل 4 درصد وزنی نانو ذرات اکسید تیتانیوم (شکل 2) نانو ذرات به‌هم چسبیده و کلوخه شده‌اند. که تجمع و کلوخه شده نانو ذرات منجر به خواص مکانیکی ضعیفی می‌شود. قسمت‌های کلوخه شده به کمک فلش‌هایی در شکل 2 نشان داده شده است.

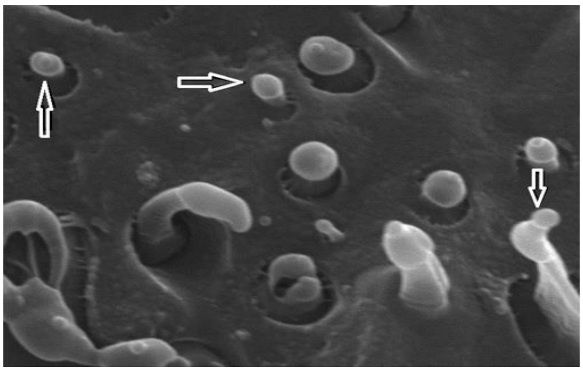

Fig. 1 A Sample with 2 wt. % titanium dioxide nanoparticles. Arrows show nanoparticles

شکل 1 نمونه‌ی نانو کامپوزیتی شامل 2 درصد وزنی نانو ذات تیتانیوم دی‌اکسید. فلش‌ها نانو ذرات را نشان می‌دهند

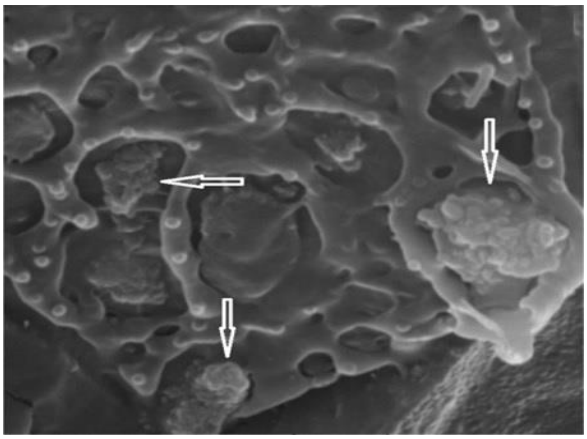

Fig. 2 A Sample with 4 wt. % titanium dioxide nanoparticles .Arrows indicate nanoparticle agglomerates

شکل 2 نمونه‌ی نانو کامپوزیتی شامل 4 درصد وزنی نانو ذات تیتانیوم دی‌اکسید. فلش‌ها کلوخه های نانو ذرات را نشان می‌دهند

3-2- استحکام ضربه

شکل 3 تغییرات استحکام ضربه ترکیبات پایه پلی پروپیلن/پلی اتیلن خطی با چگالی کم در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزودن نانو ذارت تیتانیوم دی‌اکسید به ماتریس پلیمری، تغییرات چشم‌گیری در استحکام ضربه حاصل می‌شود، به‌گونه‌ای که استحکام ضربه ابتدا افزایش می‌یابد و سپس دچار کاهش می‌شود.

افزایش استحکام ضربه، به‌دلیل پراکندگی خوب نانوذرات به ازای 2 درصد وزنی در ماتریس پلیمری است. به نظر می‌رسد که نانوذرات در ماتریس پلیمری می‌توانند به عنوان یک عامل حفره‌ساز عمل کنند. از آنجایی‌که تولید حفره با مصرف انرژی همراه است، مقاومت ضربه ترکیب بالا می‌رود. البته این ساز و کار به شکل هندسی ذرات بسیار وابسته بوده و برای ذرات کروی شکل مانند کربنات کلسیم توسط محققین گزارش شده است [20،14]. از طرفی افزایش میزان نانو ذرات تا 4 درصد وزنی به‌دلیل کلوخه شدن باعث کاهش استحکام ضربه ترکیبات شده است. البته استحکام ضربه ترکیبات در حضور 4 درصد وزنی نانو ذرات همچنان از حالت نبود نانو ذرات بیشتر است.

3-3-استحکام کششی

شکل 4 تغییرات استحکام کششی ترکیبات پایه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزودن نانو ذارت تیتانیوم دی‌اکسید به ماتریس پلیمری به طور کلی استحکام کششی ترکیبات کاهش می‌یابد.

افزودن نانو ذارت به میزان 2 درصد وزنی تأثیر آنچنانی بر استحکام کششی نانو ذرات ندارد اما در ادامه و با افزایش نانو ذارت تا 4 درصد وزنی، استحکام کششی ترکیبات کاهش می‌یابد. به خوبی مشخص است که استحکام کششی ترکیبات با افزودن پرکننده‌های نانو بدلیل پیوند ضعیف بین نانو ذرات و ماتریس پلیمری دچار کاهش می‌شود. این بدین معناست که استحکام کششی ترکیبات در حضور نانو ذرات نمی‌تواند بیشتر از حالت خالص باشد زیرا ذرات پرکننده نمی‌توانند هیچ کسری از بار خارجی وارده را تحمل کنند [6].

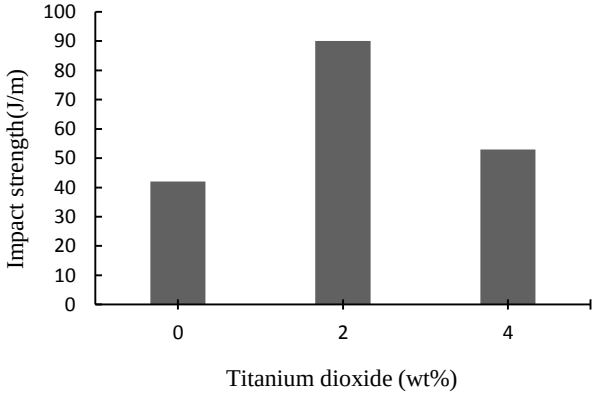

Fig. 3 Impact strength changes versus different titanium dioxide contents 0, 2 and 4 wt. %

شکل 3 تغییرات استحکام ضربه در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات اکسید تیتانیوم شامل0، 2 و 4 درصد وزنی

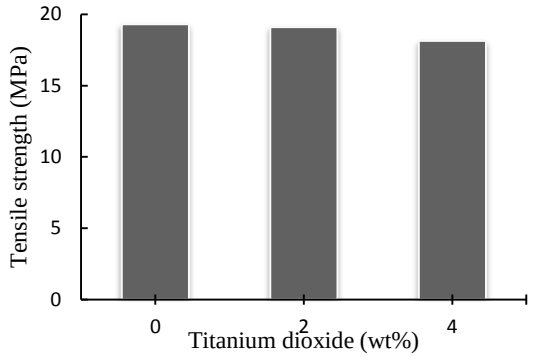

Fig. 4 Tensile strength changes versus different titanium dioxide contents 0, 2 and 4 wt. %

شکل 4 تغییرات استحکام کششی در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات اکسید تیتانیوم شامل0، 2 و 4 درصد وزنی

3-4- مدول الاستیک

شکل 5 تغییرات مدول الاستیسیته ترکیبات پایه پلی‌پروپیلن/پلی اتیلن خطی با چگالی کم در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزودن نانو ذارت تیتانیوم دی‌اکسید به ماتریس پلیمری مدول الاستیسیته افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد، ولی هنوز نسبت به مقدار خالص بیشتر است.

افزودن حتی 2 درصد وزنی از نانوذرات اکسید تیتانیوم به ترکیبات پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم، مدول الاستیسیته ترکیبات را افزایش می‌دهد. مدول کلی یک ترکیب همواره وابسته به مدول اجزا است، در حالی که استحکام کششی بیشتر وابسته به سطح مشترک است. دلیل این افزایش، پراکندگی خوب نانو ذرات با 2 درصد وزنی(شکل1) و به دنبال آن چسبندگی مناسب بین نانوذرات و ماتریس پلیمری است. این در حالی است که افزودن بیشتر از 2 درصد وزنی نانوذرات اکسید تیتانیوم تا 4 درصد، مدول الاستیسیته ترکیبات را کاهش می‌دهد. دلیل این امر همانا تجمع و کلوخه شدن (شکل2) درصد اضافی نانو ذرات در برخی از ترکیبات به صورت یک نقص عمل می‌کند و در نهایت مدول الاستیسیته ترکیبات را کاهش داده است. این نتیجه با یافته های آلتان و همکارش، که افزایش مدول الاستیک را در صورت افزودن نانو ذرات اکسید تیتانیوم به ماتریس پلیمری پلی‌پروپیلن گزارش کرده‌اند، منطبق است [21].

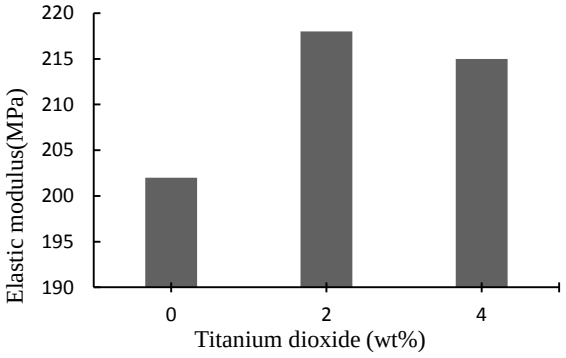

Fig. 5 Elastic modulus changes versus different titanium dioxide contents 0, 2 and 4 wt. %

شکل 5 تغییرات مدول الاستیک در مقابل مقادیر مختلف نانو ذرات اکسید تیتانیوم شامل0، 2 و 4 درصد وزنی

4 - نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مدول الاستیک و استحکام ضربه نانوکامپوزیت‌هایی شامل ماتریسی از دو فاز پلیمری پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم، تقویت شده با نانو ذرات اکسید تیتانیوم بررسی شده است. نتایج نشان داد:

1- افزودن نانو ذرات اکسید تیتانیوم تا 2 درصد وزنی، افزایش 10 درصدی مدول الاستیک نسبت به ترکیبات را به دنبال دارد. اما حضور 4 درصد وزنی از نانوذرات باعث کاهش مدول الاستیک می‌شود. البته مدول الاستیک در حضور 4 درصد وزنی از نانوذرات در مقایسه با نبود نانوذرات بیشتر است.

2- حضور نانو ذرات با درصد وزنی کم، تقریباً 7 درصد استحکام ضربه ترکیبات را افزایش می‌دهد.

3- به‌طور کلی با افزودن بیش از 2 درصد وزنی نانو ذرات اکسید تیتانیوم استحکام کششی ترکیبات دچار کاهش می‌شود.

5- مراجع

[1] Anjana, R. and George, K.E., "Reinforcing effect of nano kaolin clay on PP/HDPE blends", International Journal of Engineering Research and Applications, Vol.2, No. 4, pp.868-872,2012.

[2] Garcia, M. Vilet, G.V. and Jain,S.,"Polypropylene/SiO_2 nanocomposites with improved mechanicalproperties", Journal reviews on advanced materials science. Vol. 6, No. 2, pp. 169-175,2004.

[3] Chen, J.H. Zhong, J.C. Cai, Y.H. Su, W.B. and Yang Y.B., "Morphology and thermal properties in the binaryblends of poly (propylene-co-ethylene) copolymer andisotactic polypropylene with polyethylene", Polymer, Vol. 48, No. 1, pp. 2946–2957,2007.

[4] Koo, Joseph,"Polymer nanocomposites processing, characterization, and applications," McGraw-Hill, New York, 2006.

[5] Selvin, T.P. and Kuruvilla, J. "Mechanical properties of titanium dioxide filled Polystyrene microcomposites", Material letters, Vol. 58, No. 1, pp. 291-289,2004.

[6] Wacharawichananat, S. Thongyai, S. and Tipsri, T.,"Effect of mixing conditions and particle sizes of titanium dioxide on mechanical and morphological properties of Polypropylene/Titanium dioxide composites", Iranian Polymer Journal, Vol. 18, No. 8, pp. 607-616,2009.

[7] AdulKaleel, S.H. and Bijal, K.B.,"Thermal and Mechanical properties of Polyethylene/Doped-TiO_2 nanocomposites synthesized using in situ polymerization", Journal of nanomaterials Vol, No. 65, pp.65-75,2011.

[8] Jongsomjit, B. Chaichana, E. and Praserthdam, P.,"LLDPE/nano-silica composites synthesized via in situpolymerization of ethylene/1-hexene withMAO/metallocenecatalyst", Journal of Materials Science, Vol. 40, No. 8, pp.2043–2045,2005.

[9] Dikobe, D.G. and Lyut, A.S.,"Comparative stady of the morphology and properties of PP/LLDPE/WoodpowderandMAPP/LLDPE/woodpowder polymer blend composites", EXPRESS Polymer Letters, Vol. 4, No. 11, pp. 729-741,2010.

[10] Selvakumar, V. Palanikumar, K. and Palanivelu, K., "Studies of mechanical characterization of Polypropylene/Na^+-MMT nanocomposites", Journal of Minerals & Materials characterization &Engineering, Vol. 9, No. 8, pp.671-681,2010.

[11] Bikiaris, D.,"Microstracture and properties of polypropylene/carbon nanotube nanocomposites", Materials, Vol. 3, No. 4, pp. 2884-2946,2010.

[12] Wang, Y. Zou, H. Fu, Q. Zhang, G. Shen, K. and Thomann, R.,"Shear-induced morphological change in PP/LLDPEblend", Macromolecular Rapid Communications, Vol. 23, No. 13, pp. 749–752,2002.

[13] Huerta, B.M. Ramirez, E. Medellín, F.J. and Garcia R.C.,"Compatibility mechanisms between EVA and complex impact heterophasicPP-EPx copolymers as a function of EP content",EuropeanPolymer Journal, Vol. 41,No. 3, pp. 519–525,2005.

[14] González, J. Albano, C. Ichazo, M. and Díaz B.,"Effects of coupling agents on mechanical and morphological behavior of the PP/HDPE blend with two different $CaCO_3$", European Polymer Journal, Vol. 38, No. 12, pp. 2465–2475,2002.

[15] Zhang, X.M. and Ajji, A.,"Oriented structure of PP/LLDPE multilayer and blends films", Polymer, Vol. 46, No. 10, pp. 3385–3393,2005.

[16] Nitta, K.H. Shin, Y.W. Hashiguchi, H. Tanimoto, S. and Terano M.,"Morphology and mechanical properties in the binary blends of isotactic polypropylene and novelpropylene-co-olefin random copolymers with isotactic propylene sequence Ethylene-propylene copolymers, Polymer, Vol. 46, No. 3, pp. 965–975,2005.

[17] Nedkov, T. and Lednický, F.,"Morphologies of polyethylene-ethylene/propylene/diene monomer particles inpolypropylene-rich polyolefin blends", Flake Structure Journal of Applied Polymer Science, Vol. 90, No. 11, pp. 3087–3092,2003.

[18] Long, Y. Shanks, R.A. and Stachurski, Z.H.,"Time dependent morphologies of immiscible polymer blends", Journal of Material Science Letters, Vol. 15, No. 17, pp. 610–612,2006.

[19] Durmus, A. Kasgoz, A. and Macosko, C.W.,"Mechanical properties of linear low density polyethylene(LLDPE)/Claynanocomposites",Estimation of Aspect ratio and interfacial strength by composite models, Journal of MacromolecularScience, part B: Physic, Vol.47, No. 3, pp. 608-619,2008.

[20] Ghalia, M.A. Hassan, A. and Yussuf, A.,"Mechanical and Thermal properties of Calcium Carbonate filled PP/LLDPE Composite", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 121, No. 4, pp. 2413-2421,2011.

[21] Altan, M. and Yildirim, H.,"Mechanical and Morgholigical properties of Polypropylene and High density polyethylene matrix composites reinforced with surface modified nano sized TiO_2 particles", Engineering and Technology, Vol. 70, No. 5, pp. 289,2010.

[22] Mehrabzadeh, M. and Ghasemi, E.,"Study of mechanical properties, thermal behavior and morphology of PP/HDPE and PP/LDPE blends" In Persian, Iranian journal of polymer science and technology, Vol. 10, No. 2, pp. 75-81,1997.

[23]Salemane, M.G. and Luyt, A.S.,"Thermal and mechanical properties of polypropylene-wood powder composites", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 100, No. 5, pp. 4173–4180,2006.

[24] Suarez, J.C.M. Coutihno, F.M.B. and Sydentricker, T.H.,"SEM studies of tensile fracture surfaces of polypropylene-sawdust composites", Polymer Testing, Vol. 22, No. 7, pp. 819–824,2003.

[25] Amash, A. and Zugenmaier, P.,"Morphology and properties of isotropic and oriented samples of cellulosefibre-polypropylene composites", Polymer, Vol. 41, No. 4, pp. 1589–1596,2000.

[26] Premphet, K. and Horanont, P.,"Phase structure of ternary polypropylene/elastomer/filler composites effect ofelastomer polarity", Polymer, Vol. 41, No. 26, pp. 9283-9290,2000.

[27] Gang, L. Feng, L.Y. Yuan, Y.F. Xing, Z.Z., and ji, X.Q.,"Effect of nanoscale SiO_2 and TiO_2 as the fillers on the mechanical properties and aging behavior of Linear Low Density Polyethylene/Low Density Polyethylene blends", Journal of Polymers and the Environment, Vol.13, No.4, pp. 339-348,2005.

[28] AshenaiGhasemi, F. Payganeh, G.h. and Rahmani, M.,"The effect of stearic acid surface-modified calcium carbonate nanoparticles and PP-g-MA on the mechanical properties of PP/CaCO3/PP-g-MA nanocomposites" In Persian, Journal of Modares Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 139-152,2013.

[29] Nguyen, V.G. Linsmeier, C. and Jang M.K.,"Preparation of Polypropylene/TiO_2 nanocompositesusingmodified TiO_2 nanoparticles", Science and Technology, No. 18, pp. 63-67,2012.