جلد.7، شماره 4، زمستان 99، ص‌ص 1189-1196

نشریه علمی پژوهشی

علوم و فناوری **کامپوزیت**

http://jstc.iust.ac.ir

مطالعه تجربی خواص مکانیکی، شکل شناسی و جریان پذیری در نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT

میلاد آقالاری[1]، فرشاد حیدری[1]، کریم شلش نژاد[2*]، نوید تاج بخش چاخرلو[3]

1- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

* تبریز، کد پستی 5166616471، shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

دریافت: 1398/12/18

پذیرش: 1399/11/10

کلیدواژگان:

نانوکامپوزیت،

نانولوله کربنی،

خواص مکانیکی،

جریان پذیری ذوب،

چکیده

پلیمر اکریلونیترایل-بوتادین-استایرن (ABS) به دلیل برخورداری از خواص نسبتاً خوب مکانیکی، کاربرد های زیادی در تولید محصولات پلاستیکی دارد. از سوی دیگر، جریان پذیری پایین ABS، امکان قالبگیری محصولات نازک را سلب می کند. در این پژوهش، برای افزایش فرایندپذیری، پلیمر پلی بوتیلن ترفتالات (PBT) به ABS افزوده شد. افزون بر این، از نانولوله های کربنی (CNT) برای بهبود مقاومت مکانیکی استفاده شد. آمیخته‌های ABS/PBT در سه درصد وزنی مختلف (90/10, 80/20, 70/30) و نانوکامپوزیت های بر پایه آمیخته (80/20) ABS/PBT حاوی 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی با استفاده از دستگاه اکسترودر دوپیچه و دستگاه قالب‌گیری تزریقی تولید شد. خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی، خمشی و ضربه‌ای، و نیز شکل شناسی و جریان پذیری نمونه‌های مختلف مطالعه شد. افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT به ABS، شاخص جریان مذاب (MFI) را به ترتیب 25، 58 و 78 درصد نسبت به ABS خالص افزایش داد. حضور فاز PBT در زمینه ABS باعث افزایش استحکام کششی و خمشی شد، ولی مقاومت به ضربه شکافدار را کاهش داد. بکارگیری نانولوله های کربنی در ABS/PBT باعث بهبود خواص مکانیکی شد. بیشترین مقاومت کششی در نانوکامپوزیت حاوی 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی، و بیشترین مقاومت خمشی و ضربه ای نیز در نانو کامپوزیت حاوی 0.3 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی مشاهده شد. نتایج آزمون های شکل شناسی، اثر قابل توجه نانولوله های کربنی بر شکل شناسی شکست نمونه های نانوکامپوزیتی را نشان داد.

Experimental study on the mechanical properties, morphology and fluidity of ABS/PBT/CNT nanocomposites

Milad Aghalari, Farshad Heidari, Karim Shelesh-Nezhad*, Navid Tajbakhsh Chakherlou

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
* Tabriz 5166616471, Iran, shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir

Keywords

ABS/PBT blend,
Nanocomposite,
Carbon nanotube,
Mechanical properties,
Melt fluidity,

Abstract

Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) polymer owing to its relatively good mechanical properties is broadly used in the production of plastic products. However, ABS low fluidity prevents molding of thin-walled products. In this study, poly (butylene terephthalate) (PBT) was applied into ABS to enhance fluidity. In addition, carbon nanotubes utilized to promote mechanical performances. ABS/PBT blends of three different weight percentages (90/10, 80/20, 70/30) and nanocomposites based on ABS/PBT (80/20) blend containing 0.1, 0.3 and 0.5 wt. % of carbon nanotubes were prepared by employing a twin-screw extruder and an injection molding machine. The mechanical properties including tensile, flexural and impact resistance along with morphology and fluidity of different samples were investigated. The presence of 10, 20 and 30 wt.% PBT in ABS elevated the melt flow index as much as 25, 58 and 78% respectively as compared to pure ABS. The inclusion of PBT enhanced tensile and flexural strengths but reduced notched impact resistance. The existence of carbon nanotubes in ABS/PBT improved mechanical properties. The highest tensile strength was observed in nanocomposite containing 0.5 wt.% carbon nanotubes. The maximum flexural strength and impact resistance were observed in nanocomposite containing 0.3 wt.% carbon nanotubes. SEM studies showed the significant effect of CNT inclusion on the fracture morphology of nanocomposite samples

1- مقدمه

پلیمر ABS[1] از خواص نسبتاً خوبی برخوردار است [1، 2]. از سوی دیگر، ویسکوزیته نسبتاً زیاد ABS، امکان قالبگیری محصولات نازک را محدود یا غیرممکن می سازد [1]. پلیمر PBT[2] در مقایسه با ABS دارای خواص کششی، خمشی و جریان پذیری بهتری است[3]. یک آمیخته پلیمری به‌عنوان مخلوطی از حداقل دو نوع پلیمر مختلف تعریف می‌شود.

[1] Acrylonitrile butadiene styrene

[2] Polybutylene terephthalate

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Aghalari, M., Heidari, F., Shelesh-Nezhad, K., Tajbakhsh chakherlou, N., "Experimental study on the mechanical properties, morphology and fluidity of ABS/PBT/CNT nanocomposites", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 7, No. 4, pp. 1189-1196, 2021.

دلیل اصلی برای استفاده از آمیخته‌های پلیمری، رفع معایب و بهبود خواص مختلف پلیمرها به‌وسیله اختلاط آنها با یکدیگر و برقراری تعادل مناسبی از خواص است[4، 5]. اختلاط ABS با PBT می‌تواند خواص مکانیکی و حرارتی را بهبود بخشد و جریان پذیری را افزایش دهد [6]. با این‌حال، حساسیت زیاد به شکاف در پلیمر PBT می‌تواند مقاومت ضربه‌ای شکاف دار در آمیخته ABS/PBT را کاهش دهد. تانگ[1] و همکاران[3] در تحقیق خود نشان دادند بکارگیری PBT در زمینه ABS، باعث افزایش جزیی در استحکام کششی و خمشی و افزایش قابل توجه در شاخص جریان مذاب می شود. از طرفی دیگر، به دلیل ترد بودن PBT، از استحکام ضربه شکاف دار آمیخته پلیمری کاسته شد. همچنین اضافه کردن 3 درصد وزنی سازگار کننده ASG[2]، باعث افزایش استحکام به ضربه شکاف دار ولی کاهش بسیار زیاد در شاخص جریان مذاب شد. سوارز[3] و همکاران[7] در تحقیق خود اثر افزودن پلی کربنات[4](PC) به ABS را مورد بررسی قرار دادند. افزودن PC به ABS باعث بهبود استحکام کششی و مدول یانگ به ترتیب تا 35 و 15 درصد شد. جانگ[5] و همکاران [8] در تحقیق خود نشان دادند به کارگیری PA6[6] درآمیخته پلیمری ABS/PA6، باعث افزایش استحکام کششی، استحکام خمشی، سختی راکول و دمای تغییرشکل حرارتی می شود، ولی استحکام ضربه شکاف دار کاهش پیدا می‌کند. افت مقاومت ضربه ای به حساسیت به شکاف PA6 نسبت داده شد.

نانوکامپوزیت ها طبقه‌بندی جدیدی از مواد می باشند که از دو فاز اصلی تشکیل شده اند. فاز اول، زمینه نانوکامپوزیت محسوب می‌شود و می تواند از جنس فلز، پلیمر یا سرامیک می‌باشد. فاز دوم نیز ذراتی در مقیاس نانومتری، زیر 100 نانومتر، می باشند که به‌عنوان تقویت‌کننده یا مواد پرکننده در درون فاز اول یا ماده زمینه توزیع می‌شوند [9, 10]. نانولوله‌های کربنی[7](CNT) نوعی نانومواد هستند که به دلیل دارا بودن خواص منحصر بفرد شامل وزن مخصوص پایین، نسبت منظر، استحکام مکانیکی و هدایت الکتریکی بسیار زیاد به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته‌اند [11]. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که خواص مکانیکی مواد با افزودن نانولوله‌های کربنی می‌تواند به میزان قابل‌توجهی افزایش یابد. بهبود در خواص تا حد زیادی بستگی به نحوه توزیع نانولوله‌های کربنی در درون زمینه کامپوزیت دارد [12]. کاپور[8] و همکاران [13] اثر افزودن نانولوله های کربنی به ABS را بر خواص مکانیکی و حرارتی مطالعه کردند و نشان دادند که بکارگیری 5 درصد وزنی CNT در ABS، مقادیر مدول الاستیک، مدول ذخیره و سختی را به ترتیب 90 ، 153 و 99 درصد افزایش می دهد. دوریگاتو[9] و همکاران [14] نشان دادند که بکارگیری نانولوله های کربنی در ABS باعث افزایش استحکام کششی، هدایت الکتریکی و حرارتی می شود. پیسویچ[10] و همکاران [15] در تحقیق خود نشان دادند که افزودن 0.3 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی به PBT باعث افزایش استحکام کششی به میزان 20 درصد، مدول یانگ به میزان 10 درصد و ازدیاد طول به میزان 5 برابر نسبت به PBT خالص می‌شود. بوس[11] و همکاران [16] در تحقیق خود اثر افزودن نانولوله‌های کربنی چند دیواره بر خواص مکانیکی و حرارتی آمیخته پلیمری PA6/ABS (50/50) را بررسی کردند. وجود نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری و در فصل مشترک دو فاز پلیمری باعث افزایش استحکام و مدول کششی و نیز افزایش مدول ذخیره شد.

هنوز پژوهشی در زمینه مطالعه خواص و عملکرد نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT گزارش نشده است. در این تحقیق برای بهبود جریان پذیری ABS، پلیمر PBT به آن اضافه شد. در مرحله بعد، برای افزایش مقاومت مکانیکی در آمیخته ABS/PBT، از نانولوله های کربنی استفاده شد. جریان پذیری، خواص کششی، خمشی و ضربه‌ای و نیز شکل شناسی میکروسکوپی در آمیخته ABS/PBT و نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT مورد مطالعه قرار گرفت.

2- بخش تجربی

2-1 مواد مورد استفاده

از پلیمر ABS با نام تجاری ABS-N50 ساخت شرکت قائد بصیر گلپایگان با شاخص جریان مذاب 35 g/10min (220°C,10 kg) استفاده شد. پلیمر PBT با نام تجاری Tecodur-PB70nl محصول شرکت یوروتک[12] ترکیه با شاخص جریان مذاب 45 g/10min (270°C, 2.16 kg) بکار گرفته شد. از نانولوله های کربنی چند دیواره با قطر خارجی متوسط 25 نانومتر و طول متوسط 20 میکرومتر، عامل دار نشده، محصول شرکت تحقیقاتی نانو مواد آمریکا[13] استفاده شد.

2-2 تجهیزات

رطوبت‌گیری مواد اولیه پلیمری با استفاده از کوره کربولایت[14] ساخت کشور انگلستان انجام شد. وزن کردن مواد اولیه شامل ABS و PBT و نیز نانولوله های کربنی با استفاده از ترازوی مدل اند[15] ساخت کشور ژاپن با دقت 0.001g انجام شد. برای تولید گرانول های آمیخته‌های پلیمری و نانوکامپوزیتی به روش اختلاط ذوبی، از دستگاه اکسترودر دومارپیچه همسوگرد ZSK ساخت کشور آلمان با قطر مارپیچ 25 mm و نسبت طول به قطر 40 استفاده گردید. نمونه‌های استاندارد آزمون‌های کشش، خمش و ضربه شکاف دار با استفاده از دستگاه تزریق پلاستیک شرکت ماشین سازی اصلانیان مدل EM80 با ظرفیت تزریق 125 g تولید شد. آزمون های کشش و خمش با استفاده از دستگاه انیورسال زوئیک[16] Z-10 ساخت آلمان و آزمون ضربه شکاف دار با استفاده از دستگاه زوئیک HIT25P ساخت آلمان انجام شد. برای مطالعه شکل شناسی نمونه ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی[17] مدل MIRA3 ساخت کشور جمهوری چک استفاده

[1] Tang
[2] Acrylonitrile–styrene–glycidyl methacrylate
[3] Suarez
[4] Polycarbonate
[5] Jang
[6] Polyamide6
[7] Carbon nano-tube
[8] Kapoor
[9] Dorigato
[10] Piesowicz
[11] Bose
[12] Eurotec
[13] US Nanomaterials Inc.
[14] Carbolite
[15] And
[16] Zwick
[17] Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)

گردید. آزمون جریان پذیری مذاب[1] با به کارگیری دستگاه تعیین شاخص جریان مذاب مدل ری-ران[2] ساخت انگلستان انجام شد.

3-2 آماده سازی نمونه ها

پلیمرهای ABS و PBT هرکدام به مدت 8 ساعت در دمای 110°C در کوره برای رطوب گیری قرار داده شدند. سپس، مواد اولیه مطابق جدول 1 برای نمونه های مختلف توزین شد. در مرحله بعد، آمیخته های پلیمری و نمونه های کامپوزیتی در ابتدا مخلوط مکانیکی شدند و سپس با استفاده از اکسترودر دومارپیچ مخلوط ذوبی شدند. برای تولید آمیخته ها و نانوکامپوزیت ها، سرعت دورانی مارپیچ های اکسترودر برابر با 200 rpm و دمای گرم کن های اکسترودر از محل تغذیه تا قالب به ترتیب 220، 230، 235، 240 و 240 °C تنظیم شد. نمونه های استاندارد آزمون های کشش (ASTM D-638)، خمش (ASTM D-790) و ضربه (ASTM D-256) به روش قالبگیری تزریقی تهیه شدند. مقادیر فشار و دمای تزریق به ترتیب 80 MPa و 240°C تنظیم شد. پیش از قالب گیری نمونه ها، گرانول های پلیمری و نانوکامپوزیتی به مدت 8 ساعت و در دمای 110°C رطوبت گیری شدند.

4-2 آزمون ها

آزمون شاخص جریان مذاب، مطابق استاندارد ASTM-D1238، با وزنه 3.8 Kg و در دمای 240 °C انجام شد. آزمون کشش، طبق استاندارد ASTM-D638، با سرعت 5 mm/min بر روی نمونه هایی با ابعاد $57\times13\times3$ mm^3 در ناحیه گیج، انجام شد. آزمون خمش سه نقطه، مطابق استاندارد ASTM-D790، با سرعت 5 mm/min بر روی نمونه هایی با ابعاد $100\times12\times4$ mm^3 و تحت فاصله تکیه گاهی 50 mm انجام شد. آزمون ضربه شکاف دار طبق استاندارد ASTM-D256 با انرژی تنظیمی 5.5 J بر روی نمونه هایی با ابعاد $65\times13\times5$ mm^3 و شکافی با زاویه 45° و عمق 2 mm انجام پذیرفت. همه آزمون ها در شرایط محیط و با سه بار تکرار انجام شد.

جدول 1 نامگذاری و ترکیب نمونه ها

Table 1. Nomenclatures and compositions of samples.

Sample code	ABS (wt.%)	PBT (wt.%)	CNT (wt.%)
ABS	100	0	**0**
ABS/PBT (90/10)	90	10	**0**
ABS/PBT (80/20)	80	20	**0**
ABS/PBT (70/30)	70	30	**0**
ABS/PBT/CNT (80/20/0.1)	79.9	20	**0.1**
ABS/PBT/CNT (80/20/0.3)	79.7	20	**0.3**
ABS/PBT/CNT (80/20/0.5)	79.5	20	**0.5**

3- نتایج و بحث

1-3 شاخص جریان مذاب

شکل های 1 و 2، مقادیر شاخص جریان مذاب برای آمیخته های مختلف پلیمری و نانوکامپوزیت های حاوی نانولوله های کربنی را نشان می دهند. طبق شکل 1، با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT به ABS شاخص جریان مذاب به ترتیب 25، 58 و 78 درصد نسبت به ABS خالص افزایش می یابد. PBT جریان پذیری بیشتری نسبت به ABS خالص دارد و بنابراین افزودن آن به ABS می تواند جریان پذیری آمیخته پلیمری ABS/PBT را افزایش دهد. بکارگیری 20 درصد وزنی PBT اثربخشی بیشتری در بهبود جریان پذیری دارد، زیرا نسبت افزایش شاخص جریان به درصد وزنی استفاده شده از PBT در این حالت بیشتر از دو آمیخته دیگر است. در مرحله بعد، آمیخته پلیمری ABS/PBT (80/20) به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و اثر بکارگیری نانولوله های کربنی در این آمیخته بر رفتار جریان مذاب مطالعه شد. مطابق شکل 2، افزودن نانولوله های کربنی با 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی به آمیخته پلیمری ABS/PBT (80/20)، شاخص جریان مذاب را به ترتیب 7، 10 و 17 درصد نسبت به آمیخته پلیمری کاهش داد. وجود نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری، تحرک زنجیره های پلیمری و در نتیجه جریان پذیری ذوب را کاهش می دهد. افزون براین، نانولوله های کربنی می توانند با اتصال دو فاز پلیمری ABS و PBT به یکدیگر باعث کاهش جریان پذیری ذوب شوند. با وجود این، مقادیر شاخص جریان مذاب نانوکامپوزیت ها نسبت به ABS خالص بیشتر است. نتایج مشابهی در مطالعه اثر افزودن نانولوله های کربنی به آمیخته پلیمری PBT/TPU بر جریان پذیری گزارش شده است[17].

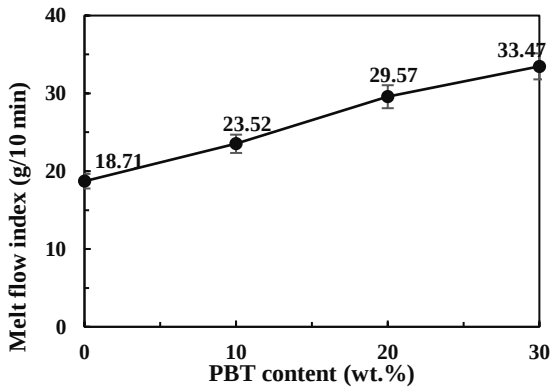

Fig 1. MFI for ABS/PBT blends vs. PBT contents

شکل 1 آزمون شاخص جریان مذاب برای آمیخته های ABS/PBT بر حسب درصد PBT

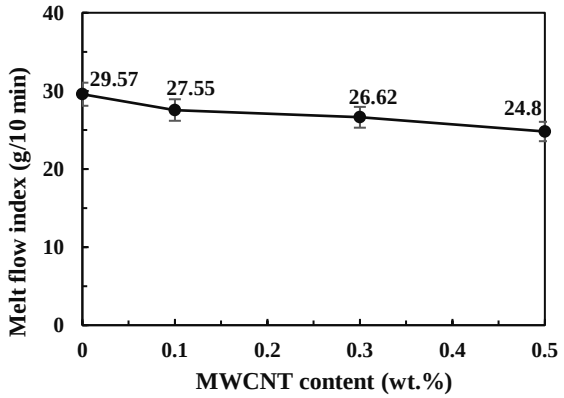

Fig 2. MFI for ABS/PBT/CNT nanocomposites vs. CNT contents

شکل 2 آزمون شاخص جریان مذاب برای نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT بر حسب درصد CNT

[1] Melt Flow Index (MFI)
[2] Ray-Ran

2-3 شکل شناسی

شکل های 3 و 4 به ترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع شکست نمونه های ضربه ABS خالص و آمیخته پلیمری (80/20) ABS/PBT را با بزرگنمایی 10000 برابر نشان می دهند. مطابق شکل 4، پلیمرهای ABS و PBT با یکدیگر سازگار نیستند و یک شکل شناسی ناپیوسته با فاز پخش شده PBT در زمینه ABS مشاهده می‌شود. با این حال، وجود و پخش ذرات ریز PBT با ابعاد کمتر از 0.5 میکرون در زمینه ABS، نشان دهنده اختلاط ذوبی نسبتاً خوب در این آمیخته ناسازگار می باشد (شکل 4). شکل های 5 تا 7 تصاویر میکروسکوپی نانو کامپوزیت های حاوی 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی نانولوله های کربنی را با بزرگنمایی 10000 برابر نشان می دهند. وجود نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری ABS/PBT با پیکان مشخص شده است. اضافه کردن نانولوله‌های کربنی (با طول حدود 20 میکرون) باعث تغییر قابل توجه در شکل شناسی مقطع شکست شد و سطح شکست نسبتاً زبرتر و شکل پذیرتر بدست آمد. وجود نانولوله کربنی می‌تواند اتصال بین دو فاز پلیمری را بهبود دهد [17] و باعث افزایش تغییر شکل پلاستیک در نمونه نانوکامپوزیتی شود.

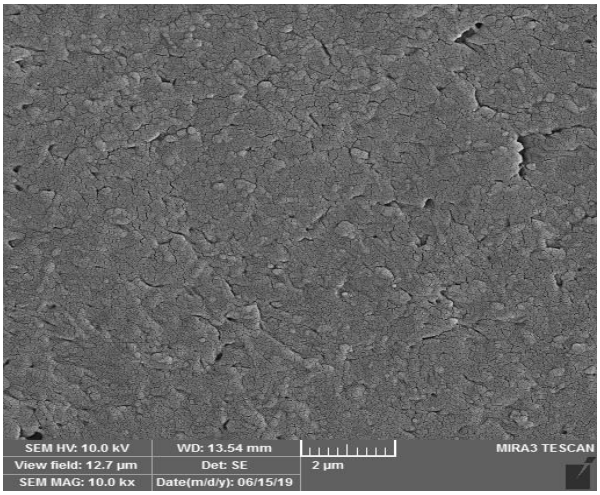

Fig 3. SEM image of pure ABS

شکل 3 تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ABS خالص

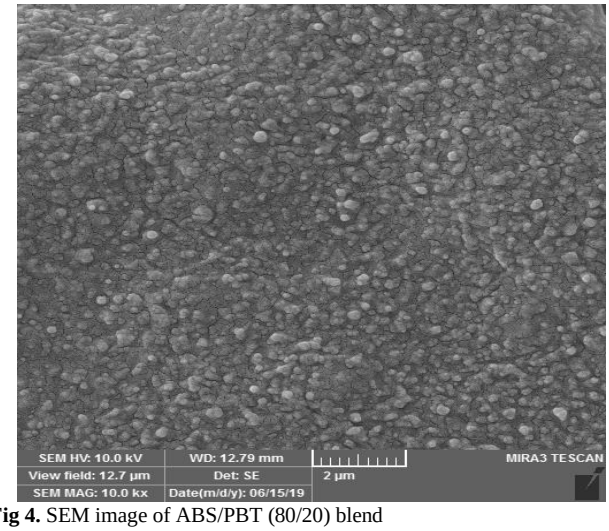

Fig 4. SEM image of ABS/PBT (80/20) blend

شکل 4 تصویر میکروسکوپی الکترونی آمیخته ABS/PBT (80/20)

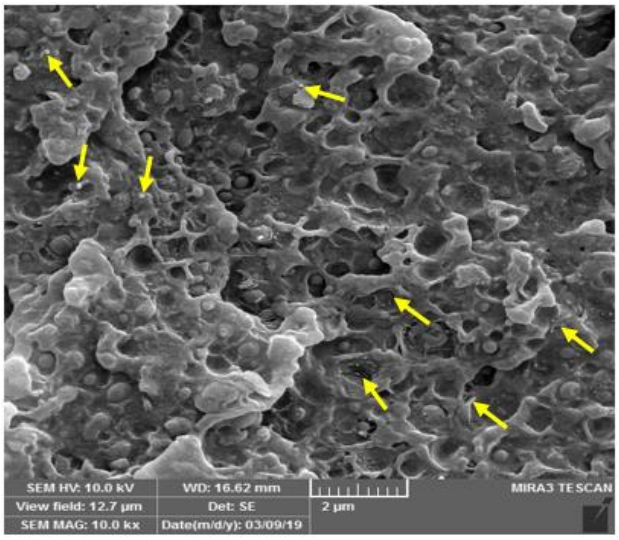

Fig 5. SEM image of ABS/PBT/CNT (80/20/0.1) nanocomposite

شکل 5 تصویر میکروسکوپی الکترونی نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT (80/20/0.1)

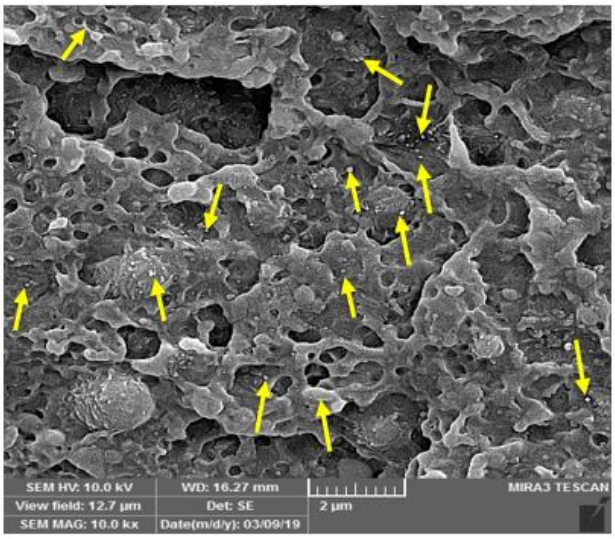

Fig 6. SEM image of ABS/PBT/CNT (80/20/0.3) nanocomposite

شکل 6 تصویر میکروسکوپی الکترونی نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT (80/20/0.3)

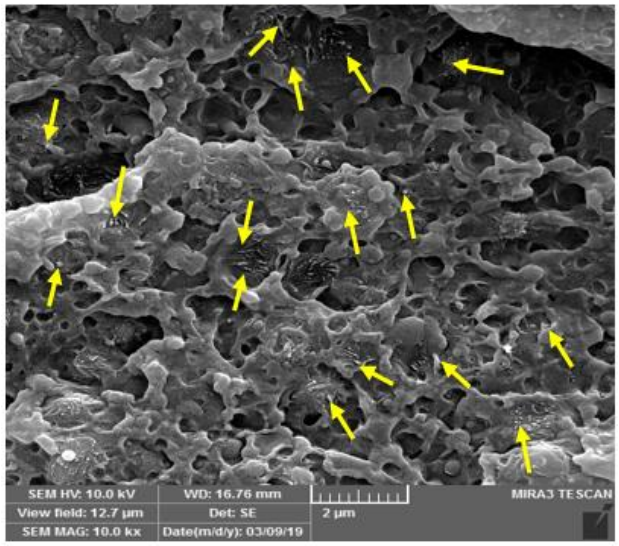

Fig 7. SEM image of ABS/PBT/CNT (80/20/0.5) nanocomposite

شکل 7 تصویر میکروسکوپی الکترونی نانوکامپوزیت ABS/PBT/CNT (80/20/0.5)

شکل 8، وجود نانولوله کربنی و اتصال آن به زمینه پلیمری را با بزرگنمایی 70000 برابر نشان می دهد. نانولوله کربنی مانند یک پل در زمینه پلیمری عمل کرده است. طبق شکل 8، قطر نانولوله نشان داده شده حدود 89 نانومتر است، درحالی که قطر نانولوله‌های بکار گرفته شده حداکثر 30 نانومتر می‌باشد. آثار باقی مانده از پلیمر بر روی سطح نانولوله کربنی نشان دهنده چسبندگی و انتقال تنش در فصل مشترک پلیمر-نانولوله کربنی است. این شرایط می تواند منجر به بهبود خواص مکانیکی شود [18, 19].

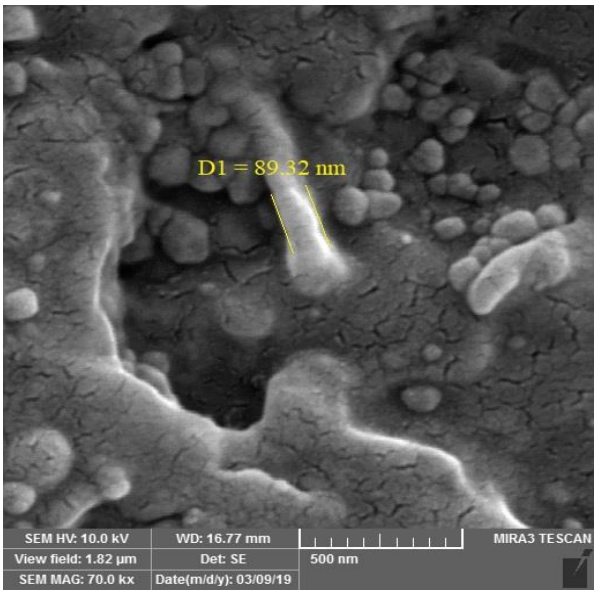

Fig 8. SEM image of polymer matrix adhesion to CNT

شکل 8 تصویر میکروسکوپی الکترونی از چسبندگی پلیمر زمینه به نانولوله کربنی

3-3 نتایج آزمون کشش

شکل 9 منحنی تنش-کرنش و شکل 10 میانگین نتایج استحکام کششی و کرنش شکست برای ABS خالص و آمیخته های پلیمریABS/PBT را نشان می دهند. طبق شکل 9، با افزودن PBT به ABS، مقدار کرنش شکست و نیز سطح کل زیر منحنی تنش-کرنش کاهش یافته و تمایل ماده به رفتار ترد بیشتر شده است. طبق شکل 10، استحکام کششی آمیخته پلیمری ABS/PBT نسبت به ABS خالص با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT، به ترتیب 7.6، 11.5 و 15.5 درصد افزایش می‌یابد. PBT به دلیل برخورداری از استحکام کششی بالاتر نسبت به ABS خالص [3] هنگامی‌که به ماده ABS اضافه می‌شود می‌تواند باعث افزایش استحکام کششی گردد. اما از طرف دیگر، مقدار ازدیاد طول در نقطه پارگی در یک آمیخته، تا حد زیادی بستگی به چسبندگی در فصل مشترک دو فاز پلیمری دارد [16]. بنابراین، ناسازگاری PBT با ABS، باعث کاهش کرنش در نقطه پارگی در ABS/PBT در مقایسه با ABS خالص شده است.

در مرحله بعد، آمیخته پلیمری ABS/PBT (80/20) به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و اثر بکارگیری نانولوله های کربنی در این آمیخته بر رفتار کششی مطالعه شد. شکل 11 نمودار تنش-کرنش و شکل 12 استحکام کششی و کرنش شکست نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT را نشان می دهد. با افزودن 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی، استحکام کششی به ترتیب به میزان 2.5، 6 و 7 درصد نسبت به آمیخته پلیمری ABS/PBT (80/20) افزایش یافته است. بیشترین استحکام کششی مربوط به نمونه نانوکامپوزیتی حاوی 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی می‌باشد. افزودن نانولوله‌های کربنی با درصدهای وزنی 0.1، 0.3 و 0.5 باعث افزایش کرنش شکست به ترتیب به مقدار 7، 39 و 43 درصد و نیز افزایش چقرمگی (سطح زیر منحنی تنش-کرنش) به ترتیب به مقدار 12، 61 و 74 درصد نسبت به آمیخته پلیمری(80/20) ABS/PBT شد. پراکندگی یکنواخت نانولوله‌ها در زمینه پلیمری (شکل های 5 تا 7) و چسبندگی مناسب نانولوله ها به زمینه پلیمری (شکل 8) از عوامل مهم در بهبود خواص مکانیکی می باشند [20-22]. نسبت منظر و سطح ویژه زیاد در نانولوله کربنی باعث تعامل مکانیکی زیاد بین نانولوله و زمینه پلیمری می شود. افزون براین، مطابق شکل 8، نانولوله کربنی می تواند به عنوان یک پل در زمینه پلیمری عمل کرده و چسبندگی بین دو فاز پلیمری ABS و PBT را بهبود دهد و باعث افزایش کرنش شکست در نمونه نانوکامپوزیتی شود.

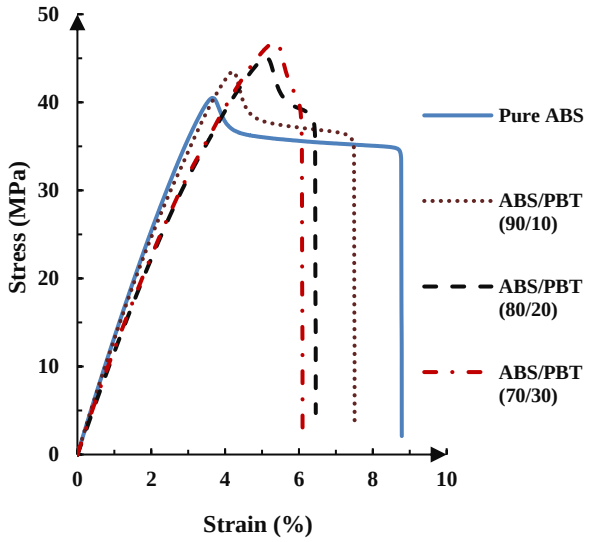

Fig 9. Stress-strain curve of ABS/PBT blends

شکل 9 منحنی تنش-کرنش آمیخته های ABS/PBT

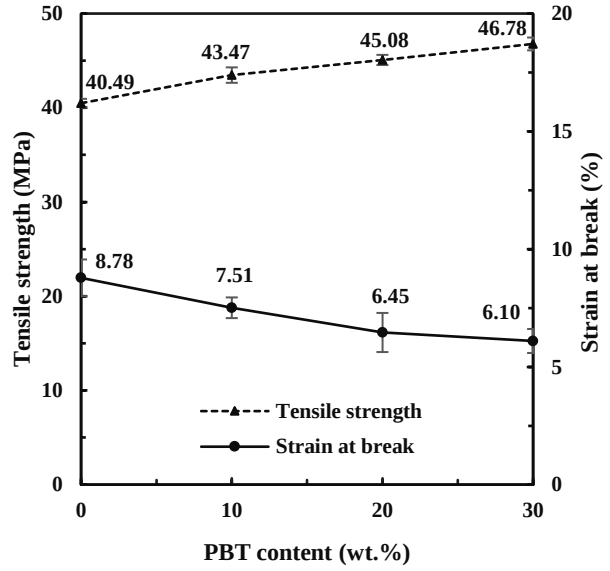

Fig 10. Tensile strength and strain at break for ABS/PBT blends

شکل 10 استحکام کششی و کرنش شکست آمیخته های ABS/PBT

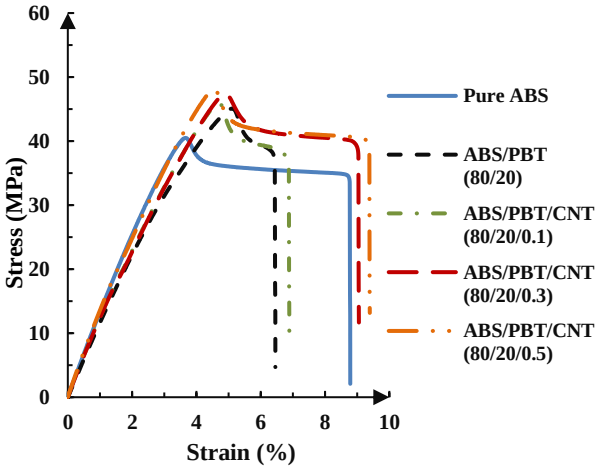

Fig 11. Stress-Strain curve of ABS/PBT/CNT nanocomposites

شکل 11 منحنی تنش-کرنش نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT

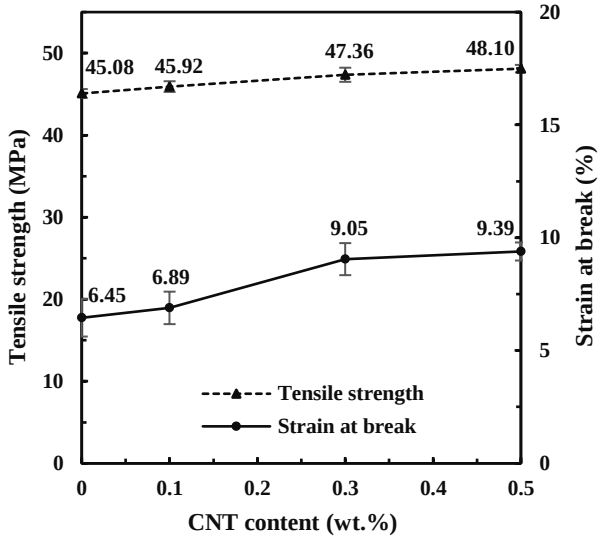

Fig 12. Tensile strength and strain at break for ABS/PBT/CNT nanocomposites

شکل 12 استحکام کششی و کرنش شکست نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT

4-3 نتایج آزمون خمش سه نقطه

شکل 13، مقادیر مدول و استحکام خمشی برای ABS خالص و آمیخته های پلیمری ABS/PBT و شکل 14 میانگین مقاومت خمشی نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT را نشان می دهند. طبق شکل 13، استحکام خمشی آمیخته پلیمری ABS/PBT نسبت به ABS خالص با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT، به ترتیب 6، 10 و 10.6 درصد افزایش یافته است. مدول خمشی آمیخته پلیمری ABS/PBT نیز نسبت به ABS خالص با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT به ترتیب 1.4، 3.5 و 7.5 درصد افزایش می یابد. PBT دارای مقاومت خمشی بیشتری در مقایسه با ABS است [3, 23] و بنابراین به کارگیری آن در ABS می تواند خواص خمشی را بهبود دهد.

مطابق شکل 14، افزودن نانولوله‌های کربنی با درصدهای وزنی 0.1، 0.3 و 0.5، به آمیخته پلیمری ABS/PBT (80/20) باعث افزایش استحکام خمشی به ترتیب تا 10.6، 12.5 و 10 درصد، و افزایش مدول خمشی به ترتیب تا 19، 20.5 و 11 درصد می شود. نسبت منظر بالای نانولوله های کربنی، پخش یکنواخت آنها در زمینه پلیمری و برهمکنش مناسب بین پلیمر و نانولوله های کربنی، از تحرک زنجیره های پلیمری کاسته و باعث افزایش مقاومت خمشی می شود [21].

5-3 نتایج آزمون ضربه شکاف دار

شکل 15 استحکام ضربه ABS خالص و آمیخته های پلیمری ABS/PBT و شکل 16 استحکام ضربه نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT را نشان می دهد. با توجه به شکل 15، وجود PBT به دلیل پایین بودن مقاومت به ضربه شکاف دار آن [6]، باعث افت قابل توجه مقاومت ضربه درآمیخته های ABS/PBT شده است. مقاومت به ضربه آمیخته پلیمری ABS/PBT نسبت به ABS خالص با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT، به ترتیب 35، 39 و 47 درصد کاهش یافته است. یک کاهش قابل‌توجه در مقاومت به ضربه شکاف دار با اضافه کردن 10 درصد وزنی PBT به ABS خالص مشاهده می شود. ولی در درصدهای وزنی زیادتر PBT (20 و 30 درصد وزنی)، این آهنگ کاهش کمتر می‌شود.

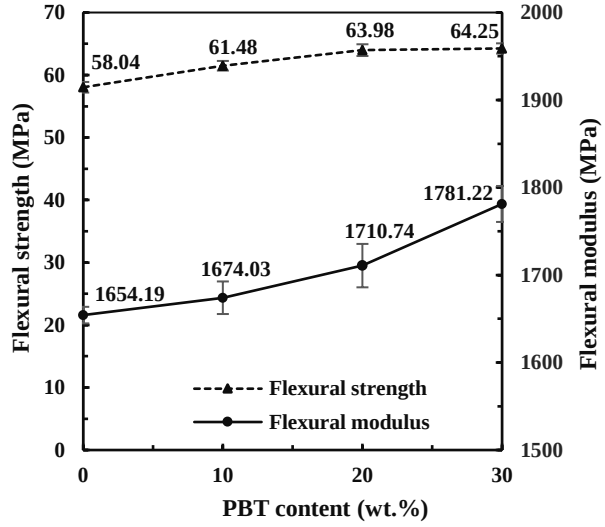

Fig 13. Flexural strength and moduli of ABS/PBT blends

شکل 13 استحکام و مدول خمشی آمیخته های ABS/PBT

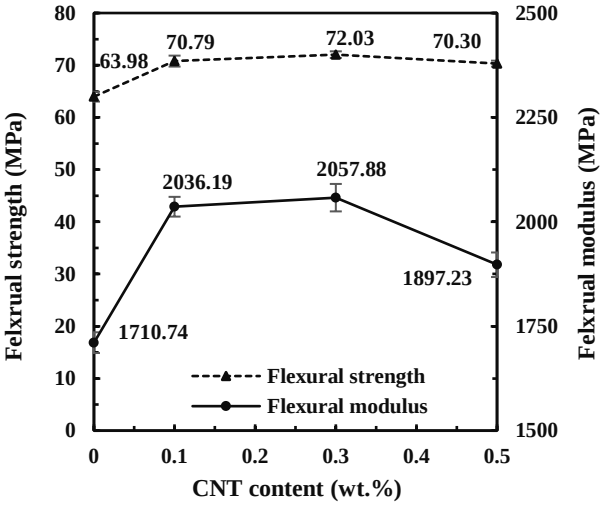

Fig 14. Flexural strength and moduli of ABS/PBT/CNT nanocomposites

شکل 14 استحکام و مدول خمشی نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT

طبق شکل 16، بکارگیری نانولوله‌های کربنی در آمیخته ABS/PBT باعث بهبود مقاومت به ضربه شکاف دار شد. افزودن 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری (80/20) ABS/PBT، مقاومت به ضربه شکاف دار را به ترتیب تا 13، 27 و 23 درصد افزایش داد. بکارگیری نانولوله های کربنی، افت مقاومت به ضربه ناشی از افزودن PBT را تا حدی جبران کرد. پخش یکنواخت نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری و چسبندگی مناسب بین پلیمر و نانولوله ها (شکل 8)، باعث پخش انرژی ضربه، ازدیاد تغییر شکل پلاستیک در زمینه پلیمری و افزایش اتلاف انرژی ضربه در نمونه های نانوکامپوزیتی شد.

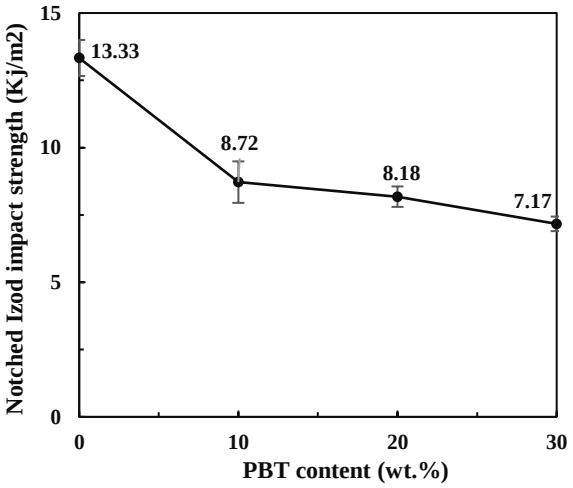

Fig 15. Impact resistance of ABS/PBT blends

شکل 15 مقاومت ضربه ای در آمیخته های ABS/PBT

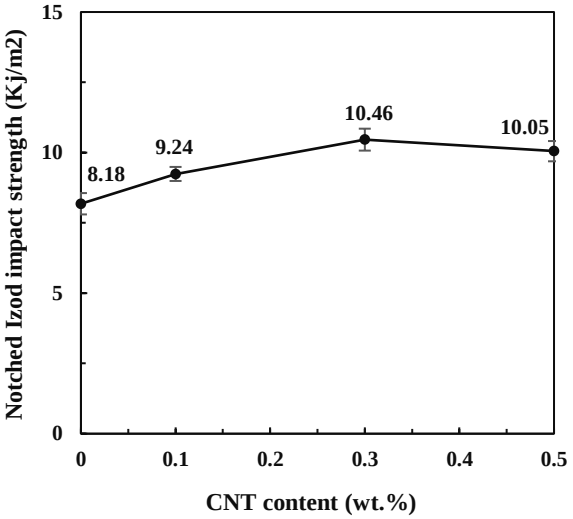

Fig 16. Impact resistance of ABS/PBT/CNT nanocomposites

شکل 16 استحکام ضربه ای در نانوکامپوزیت های ABS/PBT/CNT

4- نتیجه گیری

در این پژوهش، خواص آمیخته های پلیمری ABS/PBT (90/10, 80/20, 70/30) و اثر افزودن نانولوله های کربنی در سه درصد وزنی 0.1، 0.3 و 0.5 به آمیخته پلیمری (80/20) ABS/PBT مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمون‌های میکروسکوپی نشان می دهد که آمیخته پلیمری ABS/PBT دارای شکل شناسی ناپیوسته است و ذرات ریز PBT با اندازه کمتر از 0.5 میکرون به طور نسبتاً یکنواخت در زمینه ABS پخش شده است. آزمون های میکروسکوپی نشان‌دهنده توزیع نسبتاً یکنواخت نانولوله‌های کربنی در زمینه پلیمری ABS/PBT و نیز چسبندگی پلیمر به نانولوله های کربنی می‌باشد. سطح شکست در آمیخته پلیمری ABS/PBT نسبتاً ترد بوده، اما با اضافه کردن نانولوله‌های کربنی، شکست شکل پذیر بدست آمده است. افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی PBT به ABS، شاخص جریان مذاب را به ترتیب 25، 58 و 78 درصد نسبت به ABS خالص افزایش داد. به کارگیری 20 درصد وزنی PBT در ABS، باعث افزایش استحکام کششی و خمشی به ترتیب به مقدار 11.3 و 10.2 درصد شد، ولی مقاومت به ضربه شکاف دار را کاهش داد. افزودن نانولوله‌های کربنی به ABS/PBT باعث بهبود خواص مکانیکی شد. بطوریکه، افزودن 0.3 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی به آمیخته ABS/PBT (80/20)، مقاومت به ضربه شکافدار و چقرمگی کششی را به ترتیب به مقدار 27.9 و 61.8 درصد افزایش داد.

5- مراجع

[1] Richardson, T. L. and Lokensgard, E., "Industrial Plastics: Theory and Applications", Cengage Learning, 2004.

[2] Baraheni, M., Shelesh-Nezhad, K., Miralami, A. Adli, A. R. and Hashemi Soudmand, B., "Experimental Studies on Morphology and Impact Behavior of Pa6/ABS/CaCO3 Nanocomposites", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 3, No. 1, pp. 43-50, 2016.

[3] Tang, L., Wang, L., Chen, P., Fu, J., Xiao, P., Ye, N. and Zhang, M., "Toughness of ABS/PBT Blends: The Relationship between Composition, Morphology, and Fracture Behavior", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 135, No. 13, pp. 46051, 2018.

[4] Utracki, L., "History of Commercial Polymer Alloys and Blends (from a Perspective of the Patent Literature)", Polymer Engineering & Science, Vol. 35, No. 1, pp. 2-17, 1995.

[5] Utracki, L. A. and Wilkie, C. A., "Polymer Blends Handbook", Springer, 2002.

[6] Hage, E., Hale, W., Keskkula, H. and Paul, D., "Impact Modification of Poly (Butylene Terephthalate) by ABS Materials", Polymer, Vol. 38, No. 13, pp. 3237-3250, 1997.

[7] Suarez, H., Barlow, J. and Paul, D., "Mechanical Properties of ABS/Polycarbonate Blends", Journal of applied polymer science, Vol. 29, No. 11, pp. 3253-3259, 1984.

[8] Jang, S. P. and Kim, D., "Thermal, Mechanical, and Diffusional Properties of Nylon 6/ABS Polymer Blends: Compatibilizer Effect", Polymer Engineering & Science, Vol. 40, No. 7, pp. 1635-1642, 2000.

[9] Yang, W., Hu, Y., Tai, Q., Lu, H., Song, L. and Yuen, R. K., "Fire and Mechanical Performance of Nanoclay Reinforced Glass-Fiber/PBT Composites Containing Aluminum Hypophosphite Particles", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 42, No. 7, pp. 794-800, 2011.

[10] Bashiri-Goodarzi, H., "An Experimental Study of the Effects of Carbon Nanotube and Graphene Addition on the Impact Strength of Epoxy/Basalt Fiber Composite", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. In Press.

[11] Khan, S. U. and Kim, J. K., "Impact and Delamination Failure of Multiscale Carbon Nanotube-Fiber Reinforced Polymer Composites: A Review", International Journal of Aeronautical and Space Sciences, Vol. 12, No. 2, pp. 115-133, 2011.

[12] Eslami-Farsani, R. Shahrabi-Farahani., A. Khosravi, H.and Zamani, M. R., "A Study on the Flexural Response of Grid Composites Containing Multi-Walled Carbon Nanotubes", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 4, No. 1, pp. 101-108, 2017.

[13] Kapoor, S., Goyal, M. and Jindal, P., "Enhanced thermal, static, and dynamic mechanical properties of multi-walled carbon nanotubes-reinforced acrylonitrile butadiene styrene nanocomposite", Journal of Thermoplastic Composite Materials, In Press, DOI: 10.1177/0892705719886012.

[14] Dorigato, A., Moretti, V., Dul, S., Unterberger, S. and Pegoretti, A., "Electrically conductive nanocomposites for fused deposition modelling", Synthetic Metals, Vol. 226, pp. 7-14, 2017.

[15] Piesowicz, E., Irska, I., Bryll, K., Gawdzińska, K. and Bratychak, M., "Poly (Butylene Terephthalate/Carbon Nanotubes Nanocomposites. Part Ii. Structure and Properties", Polimery, Vol. 61, 2016.

[16] Bose, S., Bhattacharyya, A. R., Häußler, L. and Pötschke, P., "Influence of Multiwall Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties and Unusual Crystallization Behavior in Melt-Mixed Co-Continuous Blends of Polyamide6 and Acrylonitrile Butadiene Styrene", Polymer Engineering & Science, Vol. 49, No. 8, pp. 1533-1543, 2009.

[17] Tehran, A. C., Shelesh-Nezhad, K. and Barazandeh, F. J., "Mechanical and Thermal Properties of TPU-Toughened PBT/CNT Nanocomposites", Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 32, No. 6, pp. 815-830, 2019.

[18] Coleman, J. N., Cadek, M., Ryan, K. P., Fonseca, A., Nagy, J. B., Blau, W. J. and Ferreira, M. S., "Reinforcement of Polymers with Carbon Nanotubes. The Role of an Ordered Polymer Interfacial Region. Experiment and Modeling", Polymer, Vol. 47, No. 26, pp. 8556-8561, 2006.

[19] Pötschke, P., Fornes, T. and Paul, D. R., "Rheological Behavior of Multiwalled Carbon Nanotube/Polycarbonate Composites", Polymer, Vol. 43, No. 11, pp. 3247-3255, 2002.

[20] Gorrasi, G., Sarno, M., Di Bartolomeo, A., Sannino, D., Ciambelli, P. and Vittoria, V., "Incorporation of Carbon Nanotubes into Polyethylene by High Energy Ball Milling: Morphology and Physical Properties", Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, Vol. 45, No. 5, pp. 597-606, 2007.

[21] Bagotia, N., Choudhary, V. and Sharma, D., "Studies on Toughened Polycarbonate/Multiwalled Carbon Nanotubes Nanocomposites", Composites Part B: Engineering, Vol. 124, pp. 101-110, 2017.

[22] Lim, J. W., Hassan, A., Rahmat, A. R. and Wahit, M. U., " Morphology, Thermal and Mechanical Behavior of Polypropylene Nanocomposites Toughened with Poly (Ethylene‐Co‐Octene)" , Polymer International, Vol. 55, No. 2, pp. 204-215, 2006.

[23] Thomas, S. and Visakh, P., "Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics, Volume 3: Polyethers and Polyesters", John Wiley & Sons, 2011.