جلد 7، شماره 3، پاییز 99، ص‌ص 1040-1046

نشریه علمی پژوهشی

علوم و فناوری **کامپوزیت**

http://jstc.iust.ac.ir

# مطالعه‌ی رفتار مکانیکی و شکل شناسی نانوکامپوزیت های ABS/TPU/CNT

**فرشاد حیدری[1]، میلاد آقالاری[1]، کریم شلش نژاد[2]***

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

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

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

**اطلاعات مقاله:**

دریافت: 98/10/27

پذیرش: 99/10/03

**کلیدواژگان**

ABS/TPU

نانولوله‌های کربنی چند دیواره

خواص مکانیکی

شکل شناسی

جریان پذیری ذوب

**چکیده**

پلیمر اکریلونیترایل بوتادین استایرن (ABS) از خواص مکانیکی نسبتاً خوبی برخوردار است، اما جریان پذیری ذوب پائین آن، امکان قالبگیری تزریقی قطعات نازک را محدود می کند. در این تحقیق، آمیخته‌های پلیمری اکریلونیترایل بوتادین استایرن-پلی یورتان گرمانرم (ABS/TPU) و نمونه‌های نانوکامپوزیتی بر پایه آمیخته پلیمری ABS/TPU حاوی نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT) با استفاده از اکسترودر دو مارپیچه و قالب‌گیری تزریقی تولید شد. شکل‌شناسی مقاطع شکست نمونه‌ها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مطالعه شد. خواص کششی، خمشی و ضربه‌ای و نیز جریان پذیری مذاب برای نمونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. افزودن TPU به ABS، نمایه جریان مذاب (MFI) را تا حد زیادی افزایش داد، اما باعث افت خواص مکانیکی شد. وجود نانولوله‌های کربنی درآمیخته ABS/TPU باعث بهبود خواص مکانیکی و توسعه تغییر شکل پلاستیک در سطوح شکست نمونه‌ها شد. بیشترین استحکام کششی و خمشی به ترتیب در نانوکامپوزیت های حاوی 0.3 و 0.5 درصد وزنی CNT مشاهده شد. استحکام ضربه ای شکاف دار در نمونه محتوی 0.1 درصد وزنی CNT، یک افزایش حدود 95 درصدی نسبت به آمیخته های ABS/TPU را نشان داد. شرایط مناسب پخش نانولوله های کربنی و چسبندگی آنها به زمینه پلیمری به عنوان مهمترین عوامل اثر گذار در بهبود خواص مکانیکی شناخته شد.

# Study on the mechanical behavior and morphology of ABS/TPU/CNT nanocomposites

**Farshad Heidari, Milad Agalari, Karim Shelesh-Nezhad***

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* Tabriz 5166616471, Iran, shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir

**Keywords**

ABS/TPU

Multi-walled carbon nanotube

Mechanical properties

Morphology

Melt fluidity

**Abstract**

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) has comparatively good mechanical properties, but its low fluidity limits the injection molding of thin parts. In this research, acrylonitrile butadiene styrene/thermoplastic polyurethane (ABS/TPU) blends and ABS/TPU nanocomposites containing multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) were prepared by employing a twin-screw extruder and injection molding. The morphology of fracture surfaces was studied by scanning electron microscopy. The tensile, flexural and impact properties as well as melt fluidity of different specimens were evaluated. The addition of TPU to ABS substantially increased the melt flow index (MFI), but decreased the mechanical properties. The presence of carbon nanotubes in ABS/TPU blend improved mechanical properties and expanded the plastic deformation of fractured surfaces. The maximum tensile and flexural strengths were obtained by applying 0.3 and 0.5 wt.% MWCNT, respectively. The notched impact strength in nanocomposite containing 0.1 wt.% CNT showed about 95% increase in comparison with ABS/TPU blends. The appropriate dispersion of carbon nanotubes and their adhesion to polymer matrix were considered as the most important factors in improving mechanical properties.

**برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:**

**Please cite this article using:**

Heidari, F. Agalari, M. and Shelesh-Nezhad, K , "Study on the mechanical behavior and morphology of ABS/TPU/CNT nanocomposites", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 7, No. 3, pp. 1040-1046, 2020.

## 1- مقدمه

اکریلونیترایل بوتادین استایرن (ABS) یک ماده پلیمری گرمانرم است که به دلیل برخورداری از استحکام و سفتی نسبتاً خوب، حساسیت کم به شکاف و مقاومت ضربه‌ای بالا به عنوان یک پلیمر مهم شناخته شده است [1]. اما، گرانروی بالا و جریان پذیری کم، استفاده از ABS در قالب‌گیری قطعات نازک را محدود کرده است. یکی دیگر از پلیمرهای مهم، پلی یورتان گرمانرم (TPU) می باشد که از مزیت های تغییرشکل‌پذیری و جریان پذیری زیاد برخوردار است. اختلاط ABS با TPU می‌تواند منجر به بهبود فرآیند پذیری شود [2]. سازگاری ABS و TPU در آمیخته ABS/TPU، با بکارگیری آزمون های طیف سنجی FTIR و میکروسکوپی، توسط لئون و همکارانش مطالعه شد. نتایج FTIR نشان دهنده تعامل زنجیره های پلیمری دو فاز با تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های قطبی TPU و اکریلونیترایل در ABS بود. نتایج آزمون ها نشان دهنده سازگاری خوب دو فاز پلیمری برای مقادیر 10 و 20 درصد وزنی TPU بود. اما، وجود 30 درصد وزنی TPU باعث تشکیل فاز پیوسته TPU در ABS/TPU شد. نتایج آزمون های کشش و میکروسکوپی نشان داد که وجود TPU در ABS باعث کاهش مقاومت کششی و افزایش تغییر شکل پلاستیک می شود [3].

امروزه، تقویت کننده های معدنی با ساختارهای مختلف بطور متداول برای بهبود خواص پلیمرها بکار می روند [4]. شرایط ساختاری فاز تقویت‌کننده، پخش آن در زمینه پلیمری و نیز چسبندگی آن با پلیمر، عواملی مهم در تعیین خواص در کامپوزیت‌ها می‌باشند [5]. نانولوله کربنی از زمان ابداع در سال 1991 به دلیل دارا بودن ابعاد کوچک، چگالی کم، نسبت منظر[1] بالا و همچنین خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی منحصر به فرد مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و در کاربردهای مختلفی استفاده شده اند [6]. یکی از کاربردهای مهم نانولوله های کربنی، استفاده از آنها در ساخت نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری می‌باشد. اثر نانولوله‌های کربنی چند دیواره بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت ABS/MWCNT توسط جی یوتی و همکاران مطالعه شد. با بکارگیری نانولوله های کربنی در زمینه ABS، استحکام کششی با افزایش 30 درصدی به حدود 70 MPa رسید. وجود CNT در زمینه ABS باعث افزایش تردی و کاهش ازدیاد طول در نقطه شکست شد [7]. چلبی و همکاران نشان دادند که بکارگیری 0.1 تا 0.5 درصد وزنی نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری PBT/TPU باعث بهبود قابل توجه در خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی و خمشی می شود [8]. شرایط پخش نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری بطور مستقیم بر عملکرد نانوکامپوزیت اثر می گذارد. با توجه به تمایل زیاد نانولوله های کربنی به کلوخه ای شدن، بکارگیری درصد های وزنی زیاد نانولوله های کربنی معمولاً باعث افت خواص مکانیکی می شود [10, 9].

در این تحقیق، برای افزایش جریان پذیری ماده پایه پلیمری ABS، پلیمر TPU به ABS افزوده شد. در مرحله بعد، برای بهبود خواص مکانیکی آمیخته ABS/TPU، از نانولوله های کربنی استفاده شد. خواص کششی، خمشی، ضربه‌ای و شکل شناسی میکروسکوپی و نیز جریان پذیری ذوب در آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU و نانو کامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT مورد مطالعه قرار گرفت.

[1] Aspect ratio

## 2- بخش تجربی

### 2-1-مواد مورد استفاده

پلیمر زمینه مورد استفاده در تولید آمیخته‌ها و نانوکامپوزیت‌ها در این پژوهش، اکریلونیترایل بوتادین استایرن(ABS) محصول شرکت قائد بصیر با نام تجاری ABS-50 و شاخص جریان مذاب 35 g/10 min (220 °C 10 Kg,) و نیز پلی یورتان گرمانرم (TPU) محصول شرکت کویم[2] ایتالیا بانام تجاری LPR-9025 استفاده شد. نانولوله‌های کربنی چند دیواره، با قطر خارجی 30-20 نانومتر و طول 30-10 میکرون، محصول شرکت نانومتریال آمریکا[3] به کار گرفته شد.

### 2-2-تجهیزات

برای حذف رطوبت موجود در مواد اولیه و مخلوط‌های پلیمری تولید شده، از کوره مدل کربولیت[4] ساخت کشور انگلستان استفاده شد. برای اختلاط ذوبی آمیخته های پلیمری و نانوکامپوزیتی، از دستگاه اکسترودر دو مارپیچه همسو گرد ZSK-25 ساخت شرکت کوپرین[5] کشور آلمان با قطر مارپیچ 25 mm و نسبت طول به قطر 40 استفاده شد. برای تهیه نمونه‌های استاندارد آزمون‌های کشش، خمش و ضربه شکافدار، از دستگاه تزریق پلاستیک ساخت شرکت ماشین‌سازی اصلانیان مدلEM80 با ظرفیت 125 g استفاده شد. آزمون های کشش و خمش با بکارگیری دستگاه اونیورسال Z-10 شرکت زوئیک[6] کشور آلمان و آزمون ضربه شکافدار با استفاده از دستگاه ضربه HIT25P زوئیک آلمان انجام شد. تعیین نمایه جریان مذاب با استفاده از دستگاه ری-ران[7] ساخت انگلستان انجام شد. برای مطالعه شکل شناسی مقاطع شکست نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل تی ای اسکن[8] ساخت کشور جمهوری چک استفاده شد.

### 2-3-ساخت نمونه

مواد اولیه پلیمری در دمای 85 °C به مدت 3 ساعت رطوبت‌زدایی شدند. مواد اولیه با درصدهای وزنی مختلف (جدول 1) ابتدا به‌صورت مکانیکی مخلوط شدند. در آماده‌سازی نانو کامپوزیت‌ها، برای دستیابی به شرایط مطلوب تری از پخش نانولوله ها، ابتدا نانولوله‌های کربنی و پلی یورتان بطور مکانیکی مخلوط شدند، سپس ABS به آن‌ها اضافه شد. در مرحله بعد، اختلاط ذوبی با بکارگیری اکسترودر انجام شد. دمای اکسترودر از ناحیه تغذیه مواد تا قالب به ترتیب 255-250-245-240-230 °C و دور مارپیچ اکسترودر روی 250 rpm تنظیم شد. پس از اختلاط ذوبی، رطوبت‌زدایی به مدت 24 ساعت در دمای 85 °C انجام شد. نمونه‌های آزمون های کشش، خمش و ضربه شکافدار به ترتیب مطابق استانداردهای ASTM-D638، ASTM-D790، ASTM-D256 به روش قالبگیری تزریقی در دمای 240 °C و فشار 80 bar تولید شدند.

### 2-4-آزمون‌ها

آزمون های کشش و خمش به ترتیب طبق استانداردهای ASTM-D638 و ASTM D-790 با سرعت $5\ mm\ min^{-1}$ انجام شد. آزمون ضربه شکافدار به

[2] COIM
[3] US Nanomaterials Inc.
[4] Carbolite
[5] Coperion
[6] Zwick/Roell
[7] Ray-Ran
[8] TE-SCAN

**جدول1** فرمولبندی نمونه های مختلف

**Table** 1 Formulations of different samples

| Sample | ABS (wt.%) | TPU (wt.%) | CNT (wt.%) |
|---|---|---|---|
| ABS | 100 | 0 | 0 |
| ABS/TPU(90/10) | 90 | 10 | 0 |
| ABS/TPU(80/20) | 80 | 20 | 0 |
| ABS/TPU(70/30) | 70 | 30 | 0 |
| ABS/TPU/0.1CNT | 90 | 9.9 | 0.1 |
| ABS/TPU/0.3CNT | 90 | 9.7 | 0.3 |
| ABS/TPU/0.5CNT | 90 | 9.5 | 0.5 |

روش آیزود[1] طبق استاندارد ASTM D-256 و با انرژی تنظیمی 5.5 J انجام شد. همه آزمون‌های مکانیکی در دمای محیط انجام و سه بار تکرار شدند. آزمون تعیین نمایه جریان مذاب طبق استاندارد ASTM-D1238 و با وزنه 3.8 Kg و در دمای 220 °C انجام شد. آزمون های میکروسکوپی الکترونی روبشی برای بررسی ریزساختار مقاطع شکست نمونه‌های ضربه، شرایط پراکندگی نانولوله‌های کربنی و تعامل آن‌ها با زمینه پلیمری انجام شد.

## 3-نتایج و بحث

### 3-1- نمایه جریان مذاب (MFI)

شکل 1 اثر افزودن TPU بر نمایه جریان مذاب آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU را نشان می‌دهد. با افزودن 10، 20 و 30 درصد وزنی TPU به ABS، نمایه جریان مذاب به ترتیب حدود 110، 460 و 1100 درصد نسبت به ABS خالص افزایش یافت. TPU دارای جریان پذیری زیادی است و با افزودن آن به ABS، جریان پذیری آمیخته پلیمری ABS/TPU به‌شدت افزایش می یابد. مطابق شکل 2، افزودن نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری ABS/TPU(90/10)، نمایه جریان مذاب را بطور جزئی کاهش می دهد.

### 3-2- شکل شناسی

شکل های 3 و 4 به ترتیب مقاطع شکست نمونه های ضربه شکاف دار برای ABS خالص و آمیخته ABS/TPU (90/10) را نشان می‌دهند. پلیمر های ABS و TPU از لحاظ اختلاط پذیری دارای سازگاری نسبتاً خوبی هستند [3]. ماهیت اجزای تشکیل دهنده و شرایط اختلاط آنها بطور مستقیم بر شکل شناسی و خواص مکانیکی یک آمیخته اثر می گذارد [11]. نتایج شکل شناسی نمونه های ضربه نشان می دهد که آمیخته ABS/TPU دارای سطح شکست صاف تر و شکل پذیری کمتر در مقایسه با ABS خالص است (شکل های 3 و 4). شکل‌های 5 تا 7، سطح مقطع شکست نمونه های ضربه برای نانو کامپوزیت‌ها را نشان می‌دهد. اضافه کردن نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری باعث افزایش شکل پذیری شده است. وجود نانولوله کربنی در زمینه پلیمری می تواند باعث افزایش اتلاف انرژی ضربه شود [12]. شرایط پخش نانولوله‌های کربنی و تعامل آن‌ها با زمینه پلیمری، عواملی اساسی در تعیین خواص مکانیکی این نانوکامپوزیت‌ها محسوب می شوند. مطابق شکل های 5 و 6، در نانوکامپوزیت‌های حاوی 0.1 و 0.3 درصد وزنی نانولوله کربن، پخش نسبتاً یکنواخت نانولوله‌های کربنی اتفاق افتاده است. با افزایش مقدار نانولوله

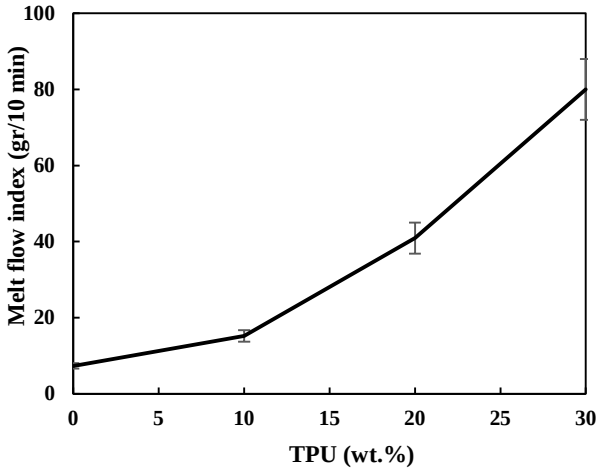


**Fig. 1** The effect of TPU inclusion on the MFI of ABS/TPU blends

**شکل1** اثر افزودن TPU بر نمایه جریان مذاب آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU

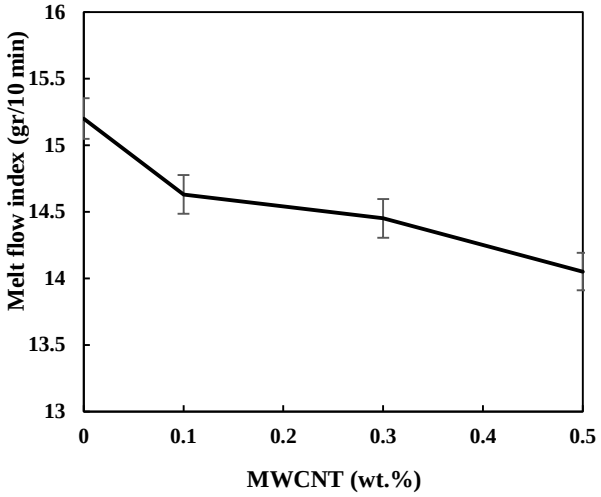


**Fig. 2** The effect of CNT addition on the MFI of ABS/TPU/CNT nanocomposites

**شکل2** اثر بکارگیری CNT بر نمایه جریان مذاب نانوکامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT

های کربنی به 0.5 درصد وزنی، کلوخه شدن نانولوله ها مشاهده می‌شود (شکل 7). پخش ناهمگن نانولوله‌های کربنی در پلیمر می‌تواند بر عملکرد نانولوله‌های کربنی در انتقال تنش و اتلاف انرژی اثر گذارد [13]. افزایش استحکام در نانوکامپوزیت به شرطی حاصل می‌شود که چسبندگی مناسبی بین نانو ذرات و زمینه پلیمری وجود داشته باشد[14, 15]. طبق شکل 8، پس از شکست نمونه، نانولوله های کربنی بیرون کشیده شده از زمینه پلیمری هنوز با لایه ای از پلیمر پوشیده شده و دارای قطر 55 تا 71 نانومتر می‌باشند. این در حالی است که قطر اولیه نانولوله‌های کربن استفاده شده تا حداکثر 30 نانومتر است. شکل 9 تصویر واضح تری از نانولوله کربنی بیرون کشیده شده از زمینه پلیمری را نشان می‌دهد. چسبندگی کامل پلیمر روی نانو لوله کربنی بطور واضح مشاهده می شود. این می تواند باعث افزایش انتقال و جذب انرژی در فصل مشترک پلیمر-نانولوله های کربنی شود [8].

[1] Izod

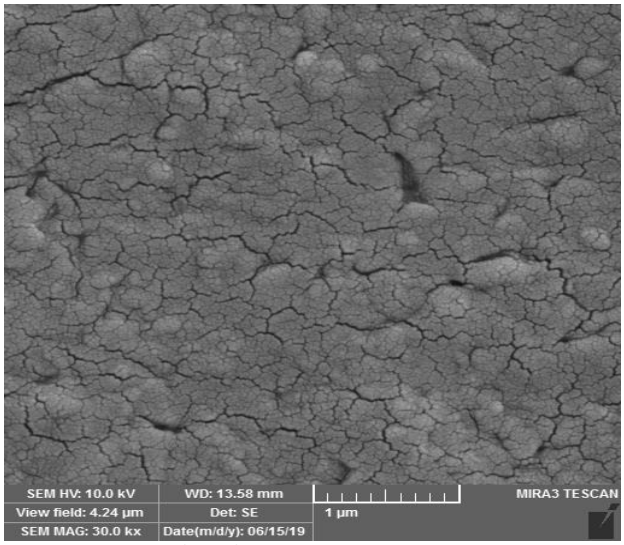


**Fig. 3** Fracture surface of pure ABS

**شکل3** سطح مقطع شکست ABS خالص

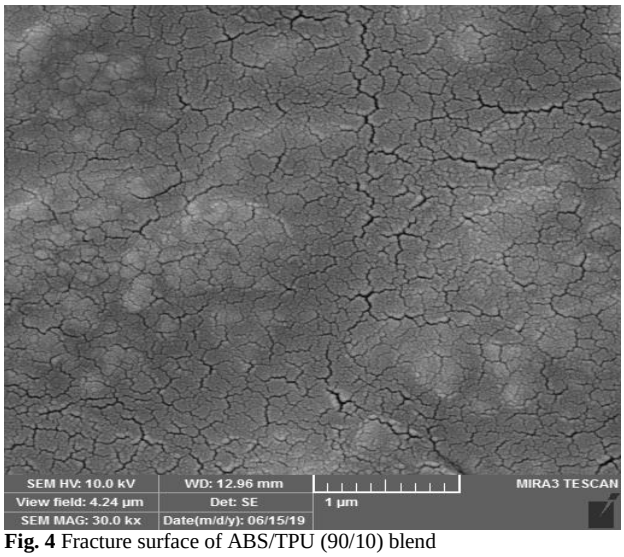


**Fig. 4** Fracture surface of ABS/TPU (90/10) blend

**شکل4** سطح مقطع شکست آمیخته ABS/TPU (90/10)

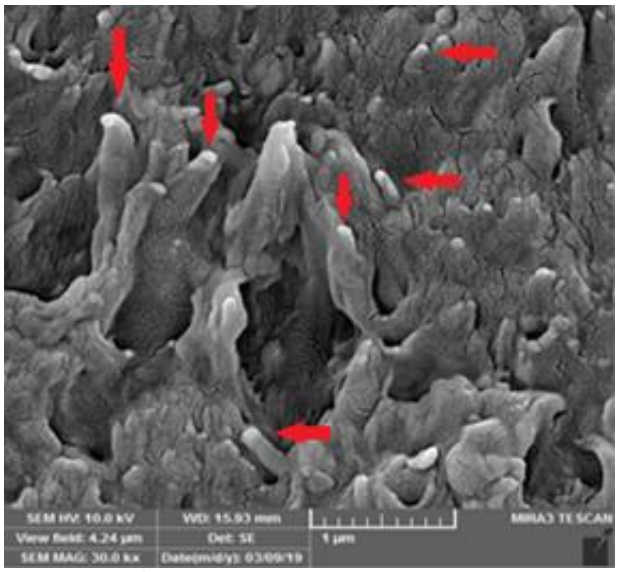


**Fig. 5** Image of nanocomposite containing 0.1wt% CNT

**شکل 5** سطح مقطع شکست نانوکامپوزیت حاوی 0.1 درصد وزنی CNT

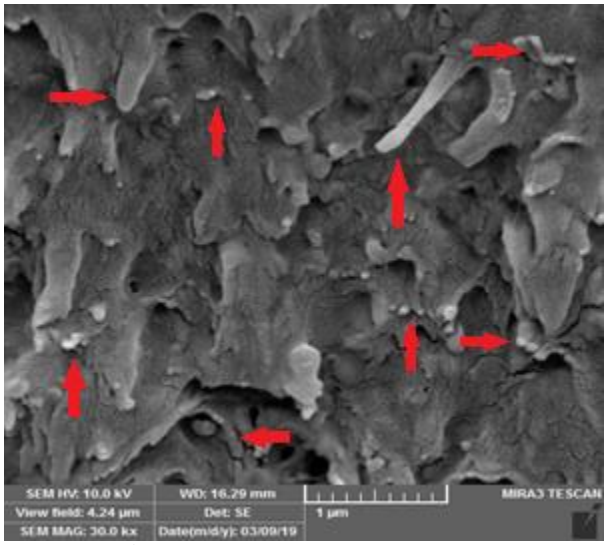


**Fig. 6** Image of nanocomposite containing 0.3wt% CNT

**شکل6** مقطع شکست نانوکامپوزیت حاوی 0.3 درصد وزنی CNT

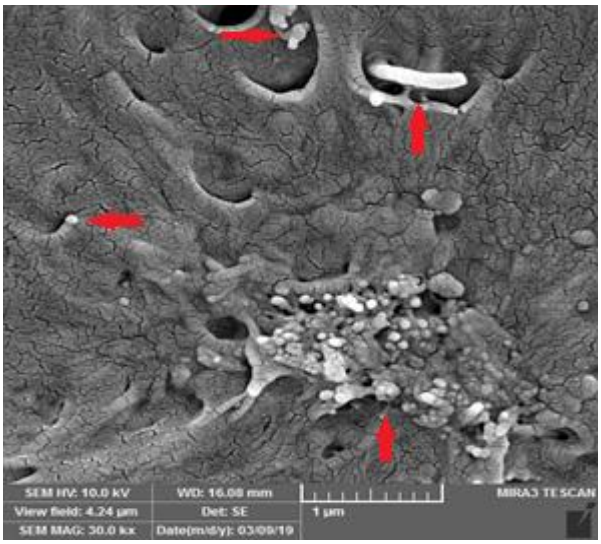


**Fig. 7** Image of nanocomposite containing 0.5wt% CNT

**شکل 7** مقطع شکست نانو کامپوزیت حاوی 0.5 درصد وزنی CNT

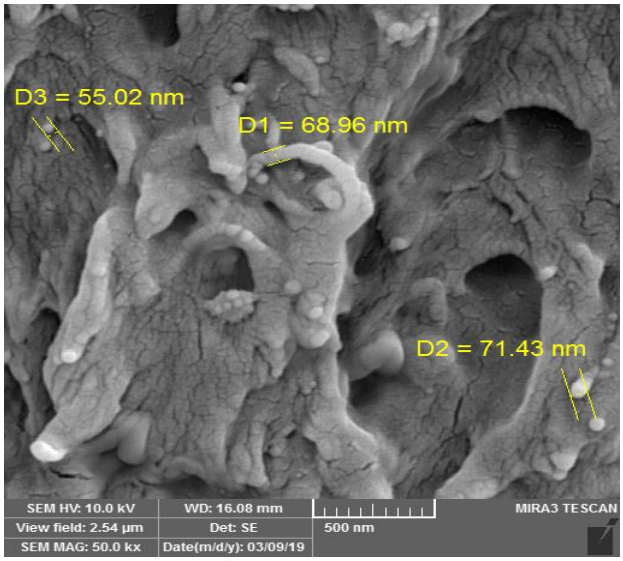


**Fig. 8** Pulled-out CNTs' diameters

**شکل 8** قطر نانولوله های کربنی بیرون کشیده شده

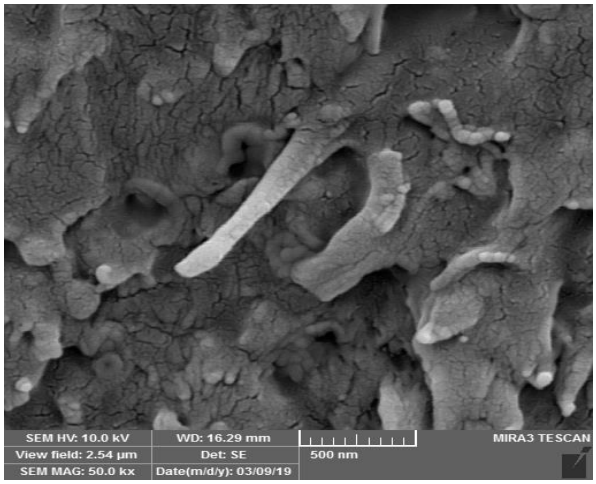


**Fig. 9** The adhesion of polymer to pulled-out CNT

**شکل 9** چسبندگی پلیمر به نانولوله کربنی بیرون کشیده شده

**3-3-خواص کششی**

شکل 10 نمودارهای تنش-کرنش برای ABS خالص و آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU را نشان می دهد. با افزودن الاستومر TPU به ABS، استحکام و مدول کششی کاهش می یابد (شکل 11). بکارگیری 10، 20 و 30 درصدوزنی TPU در ABS به ترتیب باعث کاهش حدود 5، 15 و 30 درصدی استحکام کششی شده است. استحکام و سفتی پایین در TPU، باعث کاهش خواص کششی در ABS/TPU شده است. آمیخته حاوی 10 درصد وزنی TPU در مقایسه با سایر آمیخته ها دارای بیشترین استحکام و مدول کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست است. این آمیخته به عنوان آمیخته مبنا در نظر گرفته شد و در مرحله بعد اثر بکارگیری نانولوله های کربنی در این آمیخته بر خواص کششی مطالعه شد. شکل های 12 و 13، اثر بکارگیری نانولوله های کربنی در زمینه پلیمری ABS/TPU(90/10) بر رفتار کششی را نشان می دهند. با افزودن نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری ABS/TPU، استحکام و مدول کششی افزایش یافت. بهبود خواص کششی در نمونه‌های نانو کامپوزیتی را می‌توان به ساختار نانولوله‌های کربن، پخش یکنواخت نانولوله‌ها درزمینه پلیمری (شکل های 5 و 6) و چسبندگی خوب بین فاز پلیمری و نانولوله‌ها (شکل های 8 و 9) نسبت داد. کاهش مقاومت کششی در نانوکامپوزیت محتوی 5 درصد وزنی نانولوله های کربن را می توان به تمایل به کلوخه ای شدن نانولوله ها نسبت داد (شکل 7).

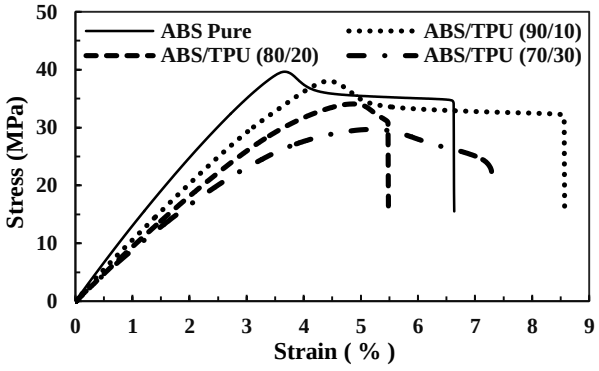


**Fig. 10** Stress-strain diagrams of neat ABS and ABS/TPU blends

**شکل10** نمودارهای تنش-کرنش ABS خالص و آمیخته‌های ABS/TPU

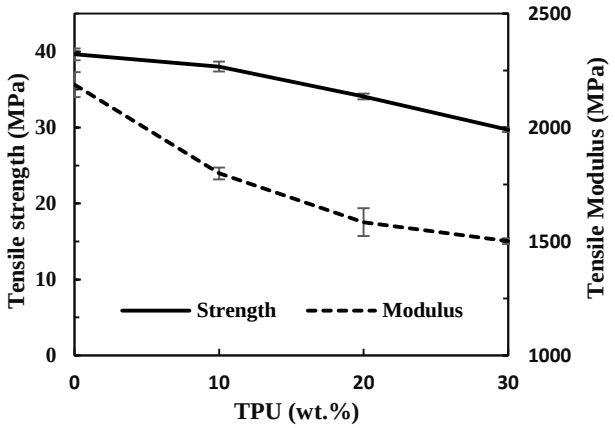


**Fig 11.** Tensile strengths and moduli of ABS/TPU blends vs. TPU contents

**شکل11** استحکام و مدول کششی آمیخته‌های ABS/TPU بر حسب مقدار TPU

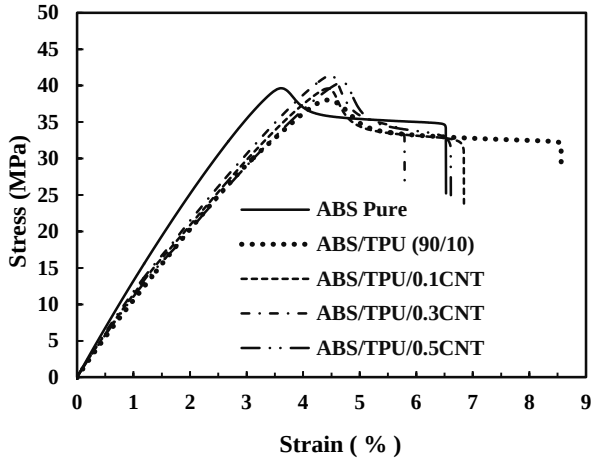


**Fig. 12** Stress-strain diagrams of ABS/TPU/CNT nanocomposites

**شکل12** نمودارهای تنش-کرنش نانوکامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT

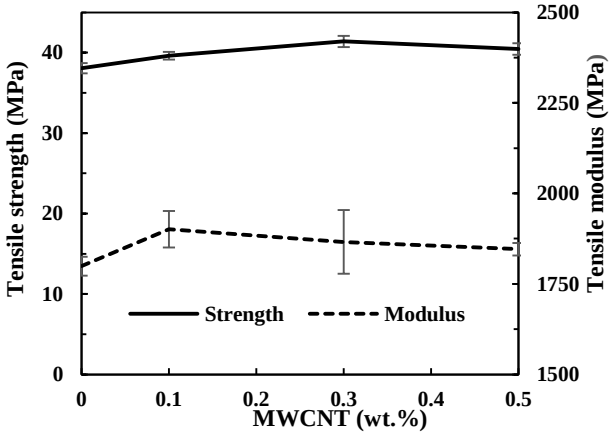


**Fig. 13** Tensile strengths and moduli of ABS/TPU/CNT nanocomposites vs. CNT contents

**شکل 13** استحکام و مدول کششی نانو کامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT بر حسب مقدار CNT

**3-4-استحکام خمشی**

شکل 14 استحکام خمشی آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU را بر حسب مقدار بکارگیری TPU نشان می‌دهد. استحکام خمشی در آمیخته های پلیمری ABS/TPU محتوی 10، 20 و 30 درصد وزنی TPU، به ترتیب حدود 3، 6 و 14 درصد نسبت به ABS خالص کاهش یافت (شکل 14). کاهش استحکام خمشی در آمیخته‌های پلیمری ABS/TPU را می‌توان به مقاومت کم پلی یورتان در مقابل تغییر شکل نسبت داد. آمیخته حاوی 10 درصد وزنی TPU در مقایسه با سایر آمیخته ها، دارای بیشترین استحکام خمشی است. این آمیخته به عنوان آمیخته مبنا در نظر گرفته شد و در مرحله بعد اثر بکارگیری نانولوله های کربنی در این آمیخته بر خواص خمشی مطالعه شد. مطابق شکل 15، با افزودن نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری ABS/TPU (90/10)، استحکام خمشی روندی افزایشی را نشان داد. با بکارگیری 0.1، 0.3 و 0.5 درصد وزنی نانولوله‌های کربنی، استحکام خمشی به ترتیب حدود 14، 35 و 40 درصد بهبود یافت. نسبت منظر بالای نانولوله‌های کربنی، پخش یکنواخت آنها در زمینه پلیمری و چسبندگی خوب آنها با پلیمر باعث بهبود استحکام خمشی شده است.

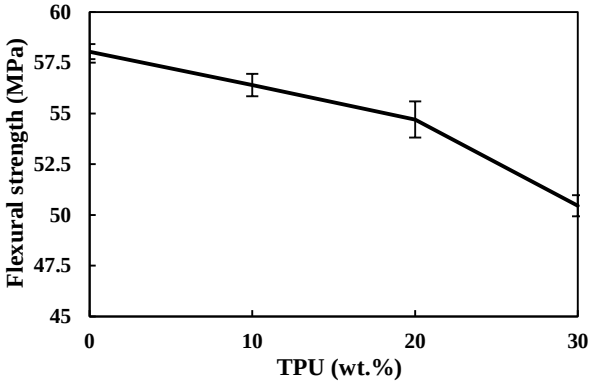


**Fig. 14** Flexural strengths of ABS/TPU blends vs. TPU contents

**شکل14** استحکام خمشی آمیخته‌های ABS/TPU بر حسب مقدار TPU

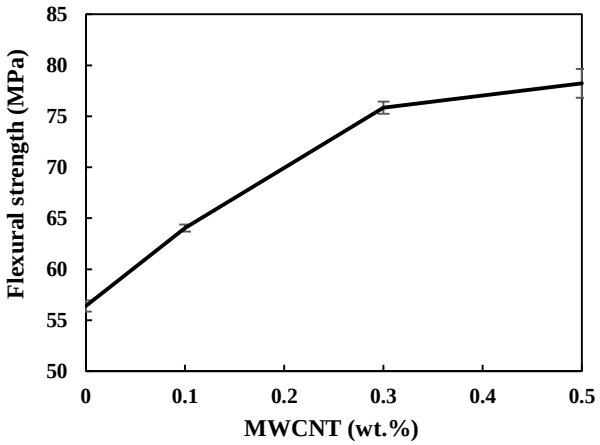


**Fig. 15** Flexural strengths of ABS/TPU/CNT nanocomposites vs. CNT contents

**شکل 15** استحکام خمشی نانوکامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT بر حسب مقدار CNT

**3-5-استحکام ضربه ای شکاف دار**

مطابق شکل 16، استحکام ضربه‌ای شکافدار در ABS خالص بطور ذاتی نسبتاً بالا است. افزودن TPU به ABS باعث افت قابل توجهی در مقاومت ضربه ای شده است. با افزودن 10 درصد وزنی TPU به ABS، استحکام ضربه‌ای با کاهش 45 درصدی از مقدار 13.35 به 7.45 KJ $m^{-2}$ تنزل پیدا کرده است. کاهش استحکام ضربه‌ای شکاف دار در ABS/TPU را می‌توان به دخالت فاز TPU در رفتار جذب انرژی ضربه شکاف دار ABS نسبت داد.

مطابق شکل 17، افزودن نانولوله‌های کربنی به آمیخته پلیمری ABS/TPU، استحکام ضربه‌ای را بطور قابل توجه ای افزایش داد. با بکارگیری 0.1 درصد وزنی نانولوله های کربنی در آمیخته پلیمری، استحکام ضربه‌ای تا حدود 95% افزایش یافت. با بیشتر شدن مقدار CNT درآمیخته پلیمری تا 0.5 درصد وزنی، از روند افزایشی استحکام ضربه‌ای کاسته شد. وجود نانولوله‌های کربنی در آمیخته پلیمری ABS/TPU، توانست نقش اصلاح کننده خواص ضربه‌ای را ایفا کند. وجود نانولوله‌های کربنی در ABS/TPU می‌تواند بر شرایط اختلاط ذوبی اثر گذارد. پراکندگی مناسب نانوذرات در زمینه پلیمری نیز می تواند باعث پخش انرژی ضربه شود [17, 16]. افزون بر این، چسبندگی مناسب پلیمر زمینه به نانولوله های کربنی (شکل های 8 و 9) باعث افزایش انرژی لازم برای بیرون کشیده شدن نانولوله ها از زمینه پلیمری، گسترش تغییر شکل پلاستیک و در نتیجه افزایش اتلاف انرژی ضربه می شود [18].

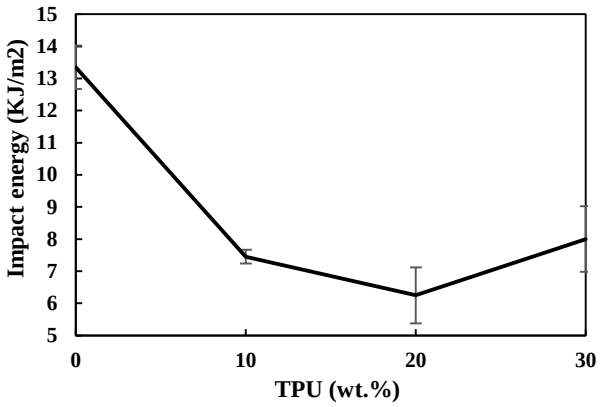


**Fig. 16** Notched impact strengths of ABS/TPU blends vs. TPU contents

**شکل 16** استحکام ضربه‌ای شکاف دار آمیخته‌های ABS/TPU بر حسب درصد TPU

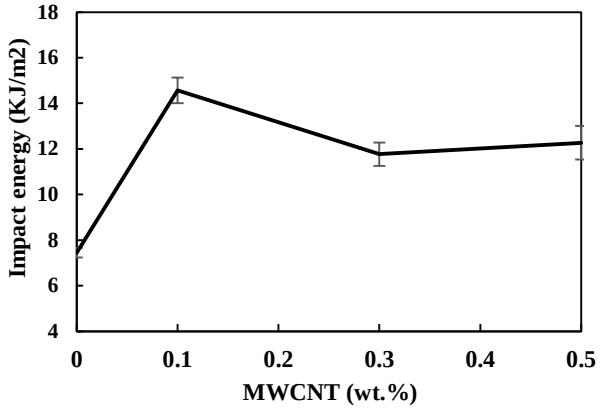


**Fig. 17** Notched impact strengths of ABS/TPU/CNT nanocomposites vs. CNT contents

**شکل17** استحکام ضربه‌ای شکاف دار نانوکامپوزیت‌های ABS/TPU/CNT بر حسب درصد CNT

## 4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر افزودن پلی یورتان گرمانرم و نانولوله‌های کربنی به ABS بر خواص مکانیکی، شکل شناسی و نیز جریان پذیری مذاب مطالعه شد. افزودن پلی یورتان به ABS، نمایه جریان مذاب را بطور قابل توجه ای افزایش داد، اما خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی، خمشی و ضربه ای شکافدار کاهش یافت. افزودن نانولوله های کربنی به ABS/TPU باعث بهبود مقاومت مکانیکی شامل استحکام کششی، خمشی و ضربه ای شد. وجود 0.1 درصد وزنی نانولوله های کربنی در آمیخته پلیمری (90/10) ABS/TPU، استحکام ضربه‌ای را تا حدود 95% بهبود داد. پراکندگی نسبتاً یکنواخت نانولوله‌های کربنی در زمینه پلیمری و برهمکنش خوب بین پلیمر و نانولوله های کربنی به عنوان مهمترین عوامل در بهبود خواص در نانوکامپوزیت ABS/TPU/CNT شناخته شدند.

## 5- مراجع


[1] Vishwakarma, S. K., Pandey, P. and Gupta, N. K., "Characterization of Abs Material: A Review", Journal of Research in Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 5, pp. 13-16, 2017.

[2] Utracki, L. A., "Polymer Blends Handbook", First ed, Kluwer Academic Publishers, pp. 1045-1070, 2002.

[3] León, A.S.d., Domínguez-Calvo, A., Molina, S.I., "Materials with Enhanced Adhesive Properties Based on Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)/Thermoplastic Polyurethane (TPU) Blends for Fused Filament Fabrication (FFF) ", Journal of Materials and Design, Vol. 182, pp. 108044, 2019.

[4] Thakur, V. K., Thakur, M. K. and Kessler, M. R., "Handbook of Composites from Renewable Materials, Nanocomposites: Science and Fundamentals", John Wiley & Sons, 2017 .

[5] Mazumdar, S., "Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering", CRC press, 2001 .

[6] Grady, B. P., "Carbon Nanotube-Polymer Composites: Manufacture, Properties, and Applications", John Wiley & Sons, 2011 .

[7] Jyoti, J., Basu, S., Singh, B. P. and Dhakate, S., "Superior Mechanical and Electrical Properties of Multiwall Carbon Nanotube Reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene High Performance Composites", Composites Part B: Engineering, Vol. 83, pp. 58-65, 2015.

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

[9] Islam M. E., Mahdi, T. H., Hosur, M. V. and Jeelani, S., "Characterization of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites Modified with Nanoclay and Carbon Nanotubes", Procedia Engineering, Vol. 105, pp. 821–828, 2015.

[10] Vahedi, F., Shahverdi, H., Shokrieh, M. and Esmkhani, M., "Effects of Carbon Nanotube Content on the Mechanical and Electrical Properties of Epoxy-Based Composites", New Carbon Materials, Vol. 29, No. 6, pp. 419-425, 2014.

[11] Kang, T. K., Kim, Y., Lee, W. K., Park, H. D., Cho, W. J. and Ha, C. S., "Properties of Uncompatibilized and Compatibilized Poly (Butylene Terephthalate)–LDPE Blends", Journal of applied polymer science, Vol. 72, No. 8, pp. 989-997, 1999.

[12] Rejisha, C., Soundararajan, S., Sivapatham, N. and Palanivelu, K., "Effect of MWCNT on Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Polybutylene Terephthalate/Polycarbonate Blends", Journal of Polymers, Vol. 2014, 2014.

[13] Setoodeh, A. R. S., N. and Zebarjad, S.M, "Theoretical and Experimental Study on the Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Improving the Tensile Properties and Toughness of Vinyl Ester Resin", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 5, No. 4, pp. 539-550, 2019.

[14] 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.

[15] Shahbakhsh, S., Khosravi, H. and Tohidlou, E., "Improvement in Interlaminar Shear Strength and Flexural Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composite using Surface-Modified Carbonate Calcium", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 6, No. 3, pp. 343-350, 2019.

[16] 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.

[17] Gorrasi, G., Sarno, M. and Di Bartolomeo, A. "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.

[18] Sun, L., Gibson, R. F., Gordaninejad, F. and Janghwan, S. "Energy absorption capability of nanocomposites: A review", Composites Science and technology, Vol. 69, pp. 2392-2409, 2009.