

بررسی تجربی تأثیر نانو لوله های کربنی چند جداره بر خواص مکانیکی و گرمایی نانو کامپوزیت PC/ABS/MWCNT

استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، mrshabgard@tabrizu.ac.ir
کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، saeedh77712@gmail.com

محمد رضا شبگرد*
سعید حشمتی گنبر

چکیده

پلی کربنات از جمله پلاستیک های مهندسی با رفتاری از نوع داکتیل با چقرمگی بسیار بالا می باشد. با این حال، حساسیت نسبتا بالای این پلیمر نسبت به حضور شکاف های ریز استفاده از این پلیمر را در بسیاری از کاربردها محدود می نماید و همچنین جریان پذیری پایین پلی کربنات^۱ (PC)، امکان قالب گیری محصولات نازک را نیز سلب می کند. در این پژوهش برای افزایش استحکام ضربه ای و فرایند پذیری، پلیمر آکریلونیتریل بوتادین استایرن^۲ (ABS) به پلی کربنات افزوده شد. افزون بر این، از نانو لوله های کربنی (CNT)^۳ برای بهبود استحکام مکانیکی و گرمایی استفاده شد. آمیخته های PC/ABS در دو درصد وزنی مختلف (۵۰/۵۰ و ۷۰/۳۰) و نانو کامپوزیت های بر پایه آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS حاوی ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی نانو لوله های کربنی با استفاده از دستگاه مخلوط کن و دستگاه پرس گرم تهیه گردید. نتایج آزمایشهای مربوط به تصاویر SEM از سطح شکست نمونه های آزمون ضربه شکاف دار نشان دهنده توزیع مناسب فاز ABS در زمینه PC در آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS و همچنین توزیع یکنواخت نانو لوله های کربنی در نانو کامپوزیت (۷۰/۳۰/۰/۳) PC/ABS/MWCNT می باشد، و همچنین نتایج آزمایشهای مربوط به خواص مکانیکی نشان داد که افزودن ۳۰ درصد از ABS در زمینه PC، باعث افزایش استحکام خمشی، استحکام ضربه ای، مدول کششی و مدول خمشی به ترتیب به میزان ۱/۱، ۳۰/۲، ۱۵/۲ و ۱/۱۵ درصد شد، ولی استحکام به کشش به میزان ۳/۳ درصد کاهش یافت و همچنین بکارگیری نانو لوله های کربنی با درصد وزنی ۰/۳ درصد در زمینه آمیخته PC/ABS باعث افزایش مدول کششی، مدول خمشی و استحکام به ضربه به ترتیب به میزان ۱۳/۴، ۲۰/۸ و ۱۰۷/۱ درصد و کاهش استحکام کششی و نیروی خمشی به ترتیب به میزان ۱۶/۶ و ۱۶/۵ درصد نسبت به آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS شده است. طبق آزمون گرمایی DSC، با افزودن ۰/۲ درصد از نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS دمای اکسید شدن فاز پلی بوتادین ABS به میزان ۱۰ درجه سلسیوس افزایش یافته است و با افزودن ۰/۳ درصد از نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS دمای انتقال شیشه ای PC به میزان ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است.

واژه های کلیدی: پلی کربنات؛ نانو کامپوزیت؛ نانو لوله های کربنی؛ آکریلونیتریل بوتادین استایرن؛ پرس گرم؛ آمیخته های PC/ABS

Experimental investigation of the effect of multi-walled carbon nanotubes on mechanical and thermal properties of PC/ABS/MWCNT nanocomposite

M. R. Shabgard
S. Heshmati Gonbar

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

Abstract

Polycarbonate is one of the engineering plastics with ductile behavior and very high toughness. However, the relatively high sensitivity of this polymer to the presence of fine cracks limits the use of this polymer in many applications, and the Down flowability of polycarbonate (PC) also deprivation the possibility of molding thin products. In this research, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer was added to polycarbonate to increase impact strength and processability. In addition, carbon nanotubes (CNT) were used to improve mechanical and thermal strength. PC/ABS blends in two different weight percentages (50/50 and 70/30) and nanocomposites based on PC/ABS blend (70/30) containing 0.2 and 0.3 weight percent of carbon nanotubes using a mixer and a hot press were prepared. The results of the tests related to the SEM images of the fracture surface of the Slotted impact test samples indicating the appropriate distribution of the ABS phase in the PC context in the PC/ABS blend (70/30) and also uniform distribution of carbon nanotubes in the PC/ABS/MWCNT(70/30/0.3) nanocomposite. Also, the results of the tests related to mechanical properties showed The addition of 30% of ABS in the base of PC increased the bending strength, impact strength, tensile modulus, and bending modulus by 1.1%, 30.2%, 15.2% and 1.15% respectively. But the tensile strength decreased by 3.3%. Also, the use of carbon nanotubes with a weight percentage of 0.3% in the base of PC/ABS mixture increases the tensile modulus, bending modulus and impact strength by 13.4%, 20.8% and 107.1%, respectively, and reducing the strength Tensile and bending strength by 16.6% and 16.5%, respectively, compared to the PC/ABS (70/30) mixture. According to the DSC thermal test, by adding 0.2% of carbon nanotubes to the PC/ABS mixed base, the oxidation temperature of ABS polybutadiene phase has increased by 10 degrees Celsius, and by adding 0.3% of carbon nanotubes to the PC/ABS mixed base increased the glass transition temperature of PC by 25°C.

Keywords: Polycarbonate, Nano Composite, Carbon NanoTube, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Hot Press, PC/ABS mixture.

¹ Polycarbonate

² Acrylonitrile Butadiene Styrene

³ Carbon nanotubes

۱- مقدمه

پلی کربنات یکی از پلیمرهای مهندسی با خواص مکانیکی و گرمایی بالا می باشد [۱]. از سوی دیگر حساسیت نسبتاً بالای این پلیمر نسبت به حضور شکاف های ریز^۱ و لزجت مذاب بالا استفاده از این پلیمر را در بسیاری از کاربردها محدود می نماید [۲، ۱]. آکریلونیتریل بوتادی ان استایرن یکی از ترموپلاستیکهایی است که دارای خواص فیزیکی مناسبی می باشد [۳، ۴]. پلیمر ABS در مقایسه با PC دارای استحکام ضربه ای و جریان پذیری بهتری است [۴]. یک آمیخته پلیمری به عنوان مخلوطی از حداقل دو نوع پلیمر مختلف تعریف می شود. دلیل اصلی برای استفاده از آمیخته های پلیمری، رفع معایب و بهبود خواص مختلف پلیمر ها به وسیله اختلاط آنها با یک دیگر و برقراری تعادل مناسبی از خواص است [۵، ۶]. اختلاط ABS با PC می تواند سختی و سفتی، چقرمگی و استحکام به ضربه و جریان پذیری را افزایش دهد [۴]. نانو کامپوزیت ها طبقه بندی جدیدی از مواد می باشند که از دو فاز اصلی تشکیل شده اند. فاز اول، زمینه نانو کامپوزیت محسوب می شود و می تواند از جنس فلز، پلیمر یا سرامیک می باشد. فاز دوم نیز ذراتی در مقیاس نانومتری، زیر ۱۰۰ نانومتر، می باشند که به عنوان تقویت کننده یا مواد پر کننده در درون فاز اول یا ماده زمینه توزیع می شوند [۷، ۸]. نانو لوله های کربنی (CNT) موادی هستند که به دلیل دارا بودن خواص منحصر بفرد شامل وزن مخصوص پایین، نسبت طول به قطر، استحکام مکانیکی و هدایت الکتریکی بسیار زیاد به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته اند [۹، ۱۰]. سوارز و همکاران [۱۱] در تحقیق خود اثر افزودن پلی کربنات به ABS را مورد بررسی قرار دادند. ایشان گزارش نمودند افزودن PC به ABS باعث بهبود استحکام کششی و مدول یانگ به ترتیب به میزان ۳۵ و ۱۵ درصد شد. کاپور و همکاران [۱۲] اثر افزودن نانو لوله های کربنی به ABS را برخواص مکانیکی و گرمایی مطالعه کردند و نشان دادند که بکارگیری ۵ درصد وزنی CNT در ABS، مقادیر مدول الاستیک، مدول ذخیره و سفتی به ترتیب به میزان ۹۰، ۱۵۳ و ۹۹ درصد افزایش می دهد. دوریگاتو و همکاران [۱۳] نشان دادند که بکارگیری نانو لوله های کربنی در ABS باعث افزایش استحکام کششی، رسانایی الکتریکی و گرمایی می شود. گرانا و همکاران [۱۴] تأثیر عامل دار شدن نانولوله های کربنی بر خواص نانوکامپوزیت PC/ABS/MWCNT را مورد بررسی قرار دادند، ایشان گزارش دادند که عاملدارسازی نانولوله ها باعث افزایش سفتی و استحکام ضربه ای و گرمایی نانوکامپوزیت ها شدند. طاهری و همکاران [۱۵] به بررسی نانوکامپوزیت های PC/ABS/MWCNT تحت بارگذاری ضربه ای پرداختند. ایشان گزارش نمودند که جذب انرژی، سرعت محدود و مدول کششی برای نمونه های نانوکامپوزیت PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۲) به ترتیب تقریباً ۱۲۱، ۵۲ و ۱۰۳ درصد افزایش یافته است. هدف این مقاله بهبود خواص مکانیکی، گرمایی و استحکام ضربه ای آمیخته PC/ABS با استفاده از نانو لوله های کربنی چند جداره می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

از پلی کربنات با نام تجاری PC-۱۱۰۰UV محصول شرکت LOTTE با شاخص جریان مذاب (۳۰۰°C/۱/۲ Kg)، پلیمر ABS با نام تجاری ABS-SD۰۱۵۰ (به صورت پودر) محصول پتروشیمی تبریز با شاخص جریان مذاب (۲۰۰°C/۵Kg)، (۱/۸gr/۱۰ min) به کار گرفته شد [۱۷]. از نانو لوله های کربنی چند دیواره با قطر خارجی ۳۰-۲۰ نانومتر و طول ۳۰-۱۰ میکرومتر، عامل دار نشده استفاده شد [۱۸].

۲-۲- تجهیزات

رطوبت گیری مواد اولیه پلیمری با استفاده از آون خلاء مدل VO-۲۷ ساخت شرکت هان یانگ انجام شد. برای تولید گرانول های آمیخته های پلیمری و نانو کامپوزیتی به روش اختلاط ذوبی، از دستگاه مخلوط کن استفاده گردید. نمونه های استاندارد آزمون های کشش، خمش و ضربه با استفاده از دستگاه پرس گرم^۲ مدل ۲۰۰T Polystat تولید شدند. آزمون های کشش بر روی نمونه های استاندارد، از دستگاه کشش Zwick/Roell مدل Z۰۱۰ و آزمون های خمش، از دستگاه خمش SANTAM مدل STM-۲۰ و آزمون های ضربه، از دستگاه تست ضربه آیزود چارپی مدل GT-۷۰۴۵ انجام شد. برای مطالعه شکل شناسی نمونه ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مدل MIRA۳ استفاده گردید. جهت انجام آنالیز حرارتی، از دستگاه گرماسنج افتراقی مدل SHIMADZU DSC-۶۰ استفاده گردید.

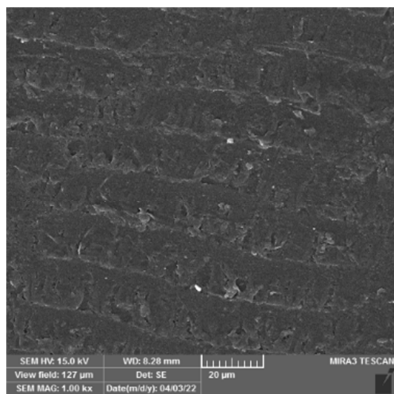
۲-۳- آماده سازی نمونه ها

پلیمرهای PC و ABS هر کدام به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس در آون خلاء برای رطوبت گیری قرار داده شدند. سپس مطابق جدول ۱ و رابطه ۱ وزن تمامی نمونه ها برای اختلاط با دستگاه مخلوط کن محاسبه شدند. بعد از محاسبه وزن نمونه ها، آمیخته های PC/ABS و نانو کامپوزیت های آن توسط دستگاه مخلوط کن اختلاط ذوبی شدند. دمای اختلاط ۲۲۰ درجه سلسیوس و سرعت ۶۰ دور در دقیقه تنظیم شده است.

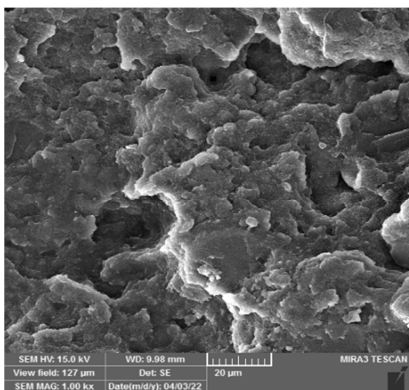
$$46/75 = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} \quad [2] \quad (1)$$

نمونه های استاندارد آزمون های کشش (ASTM D-۶۳۸)، خمش (ASTM D-۷۹۰) و ضربه (ASTM D-۲۵۶) توسط دستگاه پرس گرم تهیه شدند. دمای قالب ۲۴۰°C و فشار ۳۰ Bar تنظیم شده است.

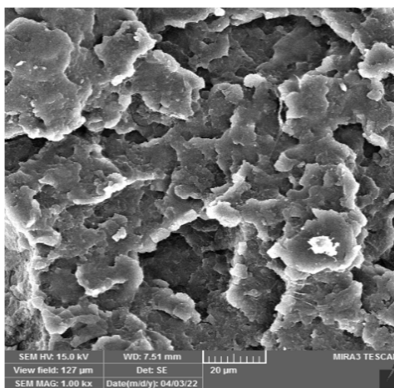
^۲ Hot Press^۱ notch



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی رویشی از پلی کربنات خالص.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی آمیخته (۵۰/۵۰) PC/ABS.



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS.

در آمیخته (۵۰/۵۰) PC/ABS (شکل ۴)، ABS ماتریس است و پلی کربنات در زمینه ABS پراکنده شده است. و همچنین در آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS (شکل ۵) پلی کربنات ماتریس می باشد و ABS به صورت فاز متفرق در زمینه PC پخش شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه های تهیه شده برای انجام آزمون های

مکانیکی

درصد وزنی MWCNT	درصد وزنی PC	درصد وزنی ABS	کد شناسایی نمونه ها
۰	۱۰۰	۰	PC
۰	۷۰	۳۰	A
۰/۲	۷۰	۲۹/۸	A۲
۰/۳	۷۰	۲۹/۷	A۳
۰	۵۰	۵۰	B

۴-۲- آزمون ها

آزمون کشش، طبق استاندارد ASTM D۶۳۸، با سرعت 5 mm/min بر روی نمونه هایی با ابعاد $2 \times 10 \times 45\text{ mm}^3$ در ناحیه گیج^۱، انجام شد. آزمون خمش سه نقطه، مطابق استاندارد ASTM D۷۹۰، با سرعت 5 mm/min بر روی نمونه هایی با ابعاد $6 \times 13 \times 63\text{ mm}^3$ و تحت فاصله تکیه گاهی 40 mm به عمل آمد. آزمون ضربه شکاف دار طبق استاندارد ASTM D۲۵۶ با انرژی تنظیمی 5 J بر روی نمونه هایی با ابعاد $6 \times 13 \times 63\text{ mm}^3$ و شکافی با زاویه 45° و عمق 2 mm انجام پذیرفت [۱۹]. همه آزمون ها در شرایط محیط و با دو بار تکرار انجام شد.

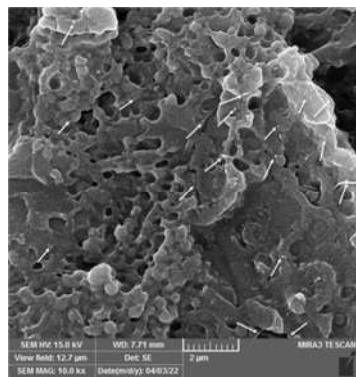
آزمون DSC بر روی نمونه های مختلف با وزن یکسان (۱۲ میلی گرم) با نرخ گرم شدن 10°C درجه سلسیوس بر دقیقه و بازه دمایی 23°C تا 400°C درجه سلسیوس به عمل آمد.

۳- نتایج و بحث

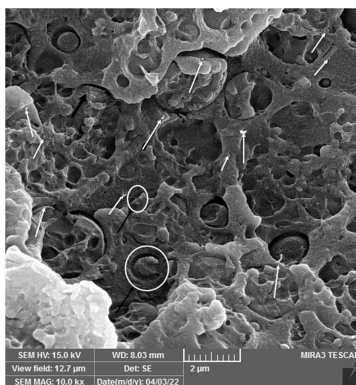
۳-۱- شکل شناسی

شکل های ۱ تا ۳ به ترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع شکست نمونه های ضربه پلی کربنات خالص و آمیخته های PC/ABS (۵۰/۵۰) و PC/ABS (۷۰/۳۰) را نشان می دهد. با مقایسه تصاویر می توان نتیجه گرفت که پلی کربنات خالص (شکل ۱) چون دارای سطوح صافی است لذا شکست تردی داشته و چقرمگی کم تری نسبت به آمیخته های PC/ABS دارد. همچنین با مشاهده شکل های ۲ و ۳ میتوان نتیجه گرفت که نواحی سفید که نشان دهنده تغییر شکل پلاستیک است و این مقدار در نمونه PC/ABS (۷۰/۳۰) از نمونه PC/ABS (۵۰/۵۰) بیشتر است همچنین با مقایسه بین آمیخته های PC/ABS می توان نتیجه گرفت که با توجه به سطوح چین خورده ای که دارند هر چه نواحی سفید بیشتری در تصاویر وجود داشته باشد تغییر شکل پلاستیک آنها بیشتر بوده و نمونه ها چقرمه تر هستند.

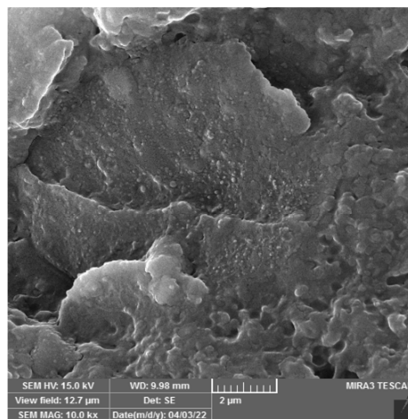
^۱gage



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی (۷۰/۳۰/۰،۳) PC/ABS/MWCNT

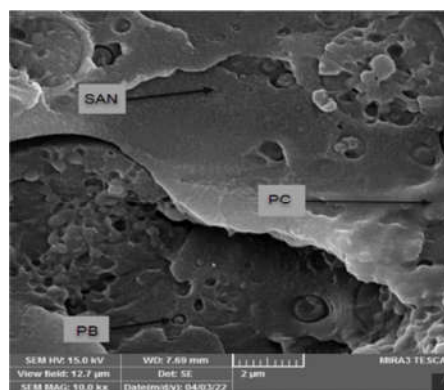


شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی (۷۰/۳۰/۲،۰) PC/ABS/MWCNT



شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی آمیخته (۵۰/۵۰) PC/ABS با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

مطابق شکل ۵ پلی کربنات دارای سطح صاف است پلی استایرن-کو-آکریلونیتریل (SAN) دارای سطح خشن و با ساختارهای کروی، پلی بوتادین قابل تشخیص است [۲۰، ۲۱].



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی آمیخته (۷۰/۳۰) PC/ABS با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

۲-۳- بررسی تأثیر نانو لوله های کربنی بر روی خواص مکانیکی

۳-۲-۱- نتایج آزمون کشش

شکل های ۸ و ۹ مقادیر استحکام کششی و مدول کششی برای PC خالص و آمیخته های پلیمری PC/ABS و نانو کامپوزیت های PC/ABS/MWCNT را نشان می دهد. طبق شکل ۸، استحکام کششی آمیخته های پلیمری PC/ABS نسبت به PC خالص با افزودن ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی ABS به زمینه PC، به ترتیب به میزان ۳/۳ و ۶۱/۵ درصد کاهش یافته است، دلیل این امر می تواند به دلیل ماهیت ذاتی پلیمر ABS باشد، ABS به دلیل برخورداری از استحکام کششی پایین تر نسبت به PC خالص هنگامی که به ماده PC اضافه می شود باعث کاهش استحکام کششی می گردد.

در مرحله بعد، آمیخته پلیمری PC/ABS (۷۰/۳۰) به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و اثر به کارگیری نانو لوله های کربنی در این آمیخته بر رفتار کششی مطالعه شد. با افزودن ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی نانو لوله های کربنی، استحکام کششی به ترتیب به میزان ۱۱ و ۱۶/۶ درصد نسبت به آمیخته پلیمری PC/ABS (۷۰/۳۰) کاهش یافته است علت این امر نیز می تواند به دلیل عامل دار نبودن نانو لوله های کربنی مورد استفاده باشد [۲۲-۲۴]. با عامل دار کردن نانو لوله ها که منجر به ایجاد گروه های عاملی مانند هیدروکسیل، کربونیل، استر و نیتریل می شود

همان گونه که شکل های ۶ و ۷ نشان می دهند در نانو کامپوزیت PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۰،۳) نانو لوله های کربنی به طور یکنواخت در ماتریس پلی کربنات پراکنده شده اند اما در نانو کامپوزیت PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۰،۲) نانو لوله ها به علاوه در ماتریس پلی کربنات در فاز پلی بوتادین نیز تجمع یافته اند دلایل پخش نانو لوله ها در فاز پلی بوتادین می تواند ترتیب اختلاط اجزاء نانو کامپوزیت باشد و همچنین به دلیل کم بودن درصد ABS، نانو لوله ها در فاز پلی بوتادین کلوخه شده اند.

جدول ۲- نتایج آزمون کشش نمونه های مختلف.

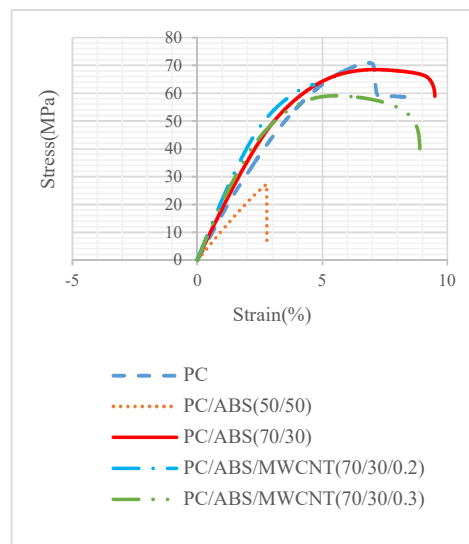
نام نمونه	استحکام کششی (MPa)	درصد ازدیاد طول (%)
PC	۷۰/۸۹	۶/۹۲
PC/ABS(۷۰/۳۰)	۶۸/۴۸	۷/۱۶
PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۰.۲)	۶۳/۰۳۵	۴/۶۳
PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۰.۳)	۵۹/۰۸۵	۵/۵۹
PC/ABS(۵۰/۵۰)	۲۷/۲۵	۲/۷۶

۳-۲-۲- نتایج آزمون خمش

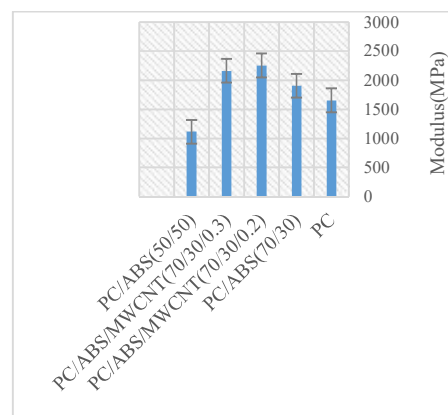
شکل های ۱۰ و ۱۱ مقادیر نیروی خمشی و مدول خمشی برای PC خالص و آمیخته های پلیمری PC/ABS و نانو کامپوزیت های PC/ABS/MWCNT را نشان می دهند. مطابق شکل ۱۰، نیروی خمشی با افزودن ۳۰ درصد از ABS به زمینه PC به میزان ۱/۱ درصد نسبت به PC خالص افزایش یافته و با افزودن ۵۰ درصد از ABS به زمینه PC منجر به کاهش نیروی خمشی به میزان ۶۱/۴ درصد نسبت به PC خالص شده است که علت این امر می تواند عدم سازگاری فازهای پلیمری و چسبندگی ضعیف بین اجزاء پلیمر در این مقدار از آمیخته پلیمری باشد. با افزودن نانو لوله های کربنی با درصد های وزنی ۰/۲ و ۰/۳ درصد به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) نیروی خمشی به ترتیب به میزان ۱۲/۴ و ۱۶/۵ درصد نسبت به آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) کاهش یافته است علت این امر نیز می تواند به دلیل عامل دار نبودن نانو لوله های کربنی مورد استفاده باشد.

مطابق شکل ۱۱ ملاحظه می گردد که با افزودن ABS به زمینه PC مدول خمشی نسبت به پلی کربنات خالص افزایش یافته است، به گونه ای که در آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) شاهد افزایش ۴/۵ درصدی و در آمیخته PC/ABS(۵۰/۵۰) شاهد افزایش ۷/۹ درصدی مدول خمشی نسبت به پلی کربنات خالص هستیم علت این امر می تواند به دلیل ماهیت ذاتی پلیمر ABS باشد که مدول خمشی آن نسبت به پلی کربنات بالاتر است، با افزودن نانو لوله های کربنی با درصدهای وزنی ۰/۲ و ۰/۳ درصد به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) مدول خمشی به ترتیب به میزان ۱/۲ و ۵۶ درصد نسبت به آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) افزایش یافته است با توجه به اینکه نانو لوله های کربنی مدول بسیار بالاتری دارند لذا افزودن آن به زمینه پلیمری منجر به افزایش مدول خمشی شده است.

که به صورت کووالانسی بر روی ساختار کربن پیوند می خورند و باعث افزایش چسبندگی بین نانو مواد و زمینه پلیمری می گردند.



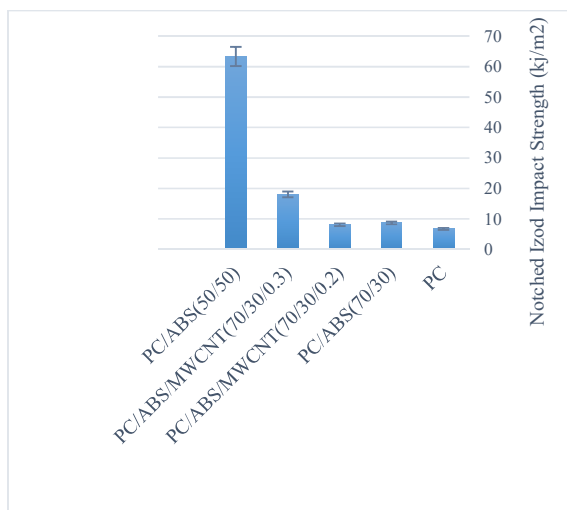
شکل ۸- نمودار تنش- کرنش حاصل از آزمون کشش.



شکل ۹- نمودار مقایسه ای مدول کششی نمونه های مختلف.

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می گردد، با افزودن ۳۰ درصد از ABS به زمینه PC، مدول کششی به میزان ۱۵/۲ درصد نسبت به PC خالص افزایش یافته است، و با افزودن نانو لوله های کربنی با درصد های وزنی ۰/۲ و ۰/۳ به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) مدول کششی به ترتیب به میزان ۱۸/۲ و ۱۲/۴ درصد نسبت به آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰) افزایش یافته است دلیل این امر می تواند به دلیل ماهیت ذاتی نانو لوله های کربنی مورد استفاده باشد که مدول بسیار بالاتری دارند و با افزودن آنها به زمینه های پلیمری منجر به افزایش مدول کششی خواهد شد. و با افزودن ۵۰ درصد از ABS به زمینه PC، مدول کششی به میزان ۳۲/۶ درصد نسبت به پلی کربنات خالص کاهش یافته است، دلیل این امر نیز می تواند به دلیل عدم سازگاری فازهای پلیمری در این درصد از آمیخته پلیمری باشد.

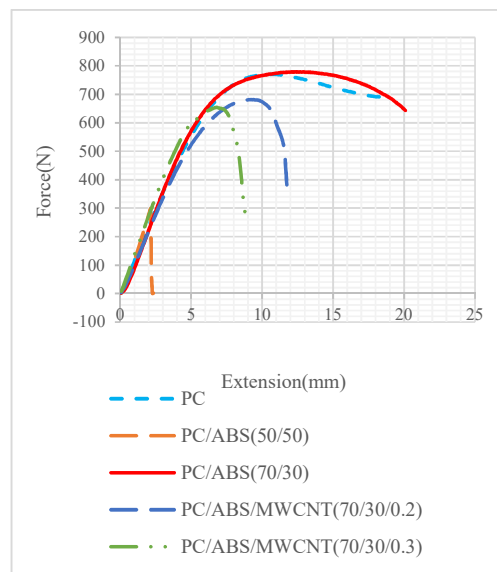
PC/ABS(۷۰/۳۰) افزایش یافته است دلیل این امر نیز می تواند باتوجه به مورفولوژی نانو کامپوزیت (نتایج SEM شکل ۶) که نانو لوله ها در ماتریس پلی کربنات پراکنده شده اند باشد.



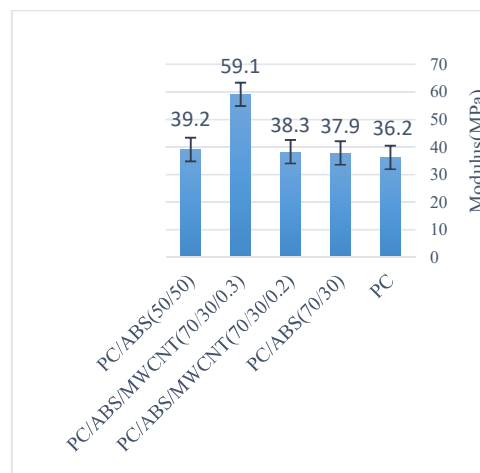
شکل ۱۲- نمودار مقایسه ای مقاومت ضربه ای نمونه های مختلف.

۳-۳- بررسی تأثیر نانو لوله های کربنی بر روی خواص گرمایی

شکل ۱۳ خواص گرمایی پلی کربنات خالص و آمیخته های PC/ABS را نشان می دهد. با توجه به این نمودار در پلی کربنات خالص اولین پیک در محدوده دمایی ۱۴۷ درجه سلسیوس مربوط به دمای انتقال شیشه پلی کربنات است. با افزودن ۳۰ درصد از ABS به زمینه پلی کربنات اولین پیک در محدوده دمایی ۱۴۵ درجه سلسیوس مربوط به دمای انتقال شیشه ای پلی کربنات است که با افزودن فاز ABS به زمینه پلی کربنات دمای انتقال شیشه ای تقریباً ۲ درجه سلسیوس کاهش یافته است و پیک دوم در محدوده دمایی ۱۸۰ درجه سلسیوس دمای اکسید شدن فاز پلی بوتادین پلیمر ABS می باشد. همچنین در آمیخته PC/ABS(۵۰/۵۰) با توجه به نتایج SEM (شکل ۴)، در این آمیخته ماتریس ABS بوده و پلی کربنات در زمینه ABS پراکنده شده است بنابراین در این نمودار دمای انتقال شیشه ای پلی کربنات قابل تشخیص نبوده و تنها یک قله گرماگیر در محدوده دمایی ۱۸۰ درجه سلسیوس قابل تشخیص است که مربوط به اکسید شدن فاز پلی بوتادین پلیمر ABS می باشد.



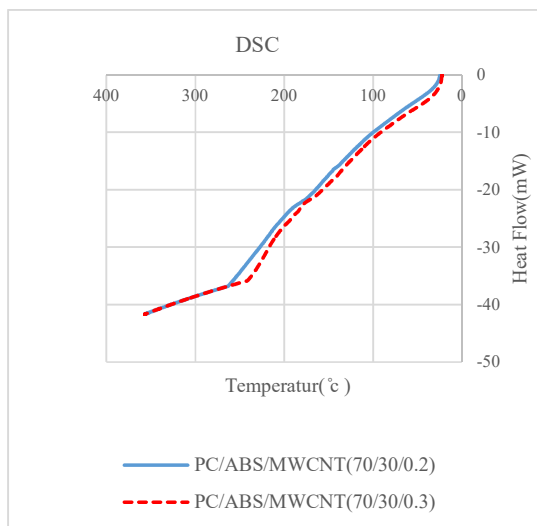
شکل ۱۰- نمودارهای نیرو - جابجایی حاصل از آزمون خمشی.



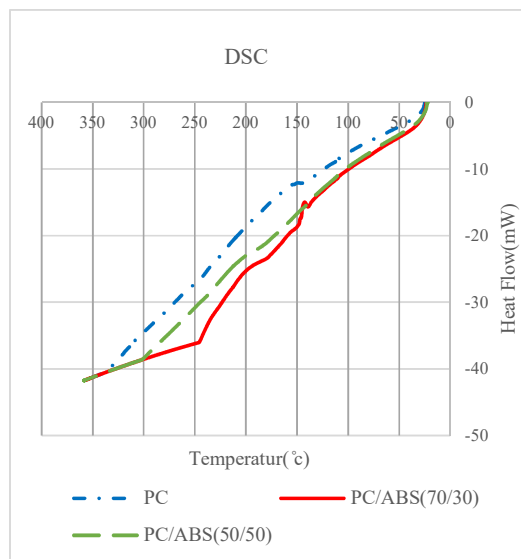
شکل ۱۱- نمودار مقایسه ای مدول خمشی نمونه های مختلف.

۳-۲-۳- نتایج آزمون ضربه

شکل ۱۲ مقادیر استحکام ضربه ای برای PC خالص و آمیخته های پلیمری PC/ABS و نانو کامپوزیت های PC/ABS/MWCNT را نشان می دهد. طبق شکل ۱۲، استحکام ضربه ای آمیخته های پلیمری PC/ABS نسبت به PC خالص با افزودن ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی ABS به زمینه PC، به ترتیب به میزان ۳۰/۲ و ۸۴۵/۹ درصد افزایش می یابد، دلیل این امر می تواند به دلیل ماهیت ذاتی پلیمر ABS باشد که استحکام به ضربه آن بیشتر از پلی کربنات می باشد. و با افزودن ۰/۲ درصد وزنی نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰)، استحکام ضربه ای به میزان ۷/۱ درصد کاهش یافته است، دلیل این امر می تواند با توجه به نتایج SEM مربوط به مورفولوژی نانو کامپوزیت ها باشد که در این نمونه نانو کامپوزیتی نانو لوله ها در فاز ABS (فاز پلی بوتادین) پراکنده شده اند و با افزودن ۰/۳ درصد وزنی نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰)، استحکام ضربه ای به میزان ۱۰۷/۱ درصد نسبت به آمیخته پلیمری



شکل ۱۴- نمودارهای DSC نانوکامپوزیت های PC/ABS/MWCNT



شکل ۱۳- نمودارهای DSC پلی کربنات خالص و آمیخته های PC/ABS

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، خواص آمیخته های پلیمری (۵۰/۵۰) و PC/ABS(۷۰/۳۰) و اثر افزودن نانو لوله های کربنی در دو درصد وزنی ۰/۲ و ۰/۳ به آمیخته پلیمری PC/ABS(۷۰/۳۰) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمون های میکروسکوپی نشان می دهد که آمیخته PC/ABS نسبت به PC خالص چقرمه تر می باشد و همچنین نشان دهنده پراکندگی یکنواخت نانو لوله های کربنی در ماتریس پلی کربنات در نمونه حاوی ۰/۳ درصد وزنی نانو لوله های کربنی، و تجمع نانو لوله ها در فاز پلی بوتادین پلیمر ABS در نمونه حاوی ۰/۲ درصد وزنی نانو لوله های کربنی می باشد بنابراین ترتیب اختلاط اجزاء نانو کامپوزیت می تواند یکی از عوامل تأثیر گذار بر مورفولوژی نانو کامپوزیت ها باشد. افزودن ۳۰ درصد ABS به زمینه PC، باعث افزایش استحکام خمشی، استحکام ضربه ای، مدول کششی و مدول خمشی به ترتیب به میزان ۱/۱، ۳۰/۲، ۱۵/۲ و ۴/۵ درصد شد ولی استحکام کششی به میزان ۳/۳ درصد کاهش یافت. با افزودن ۰/۳ درصد وزنی نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS(۷۰/۳۰)، مدول کششی، مدول خمشی و استحکام ضربه ای به ترتیب به میزان ۱۳/۴، ۵۶ و ۱۰۷/۱ درصد افزایش یافت ولی استحکام کشش و خمشی به ترتیب به میزان ۱۶/۶ و ۱۶/۵ درصد کاهش یافت. طبق آزمون گرمایی DSC، با افزودن ۰/۲ درصد از نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS دمای اکسید شدن فاز پلی بوتادین ABS به میزان ۱۰ درجه سلسیوس افزایش یافته است و با افزودن ۰/۳ درصد از نانو لوله های کربنی به زمینه آمیخته PC/ABS دمای انتقال شیشه ای از ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. بنابراین نمونه های تقویت شده با نانو لوله های کربنی مقادیر بیشتری از دمای انتقال شیشه ای^۱ (Tg) را نشان می دهند که این پدیده نشان دهنده برهمکنش قوی با ماتریس پلیمری است، نانو لوله ها باعث ایجاد امتزاج پذیری در آمیخته PC/ABS می شوند حضور نانو پرکننده ها باعث افزایش Tg در هر دو فاز پلی کربنات و ABS به دلیل کاهش تحرک زنجیره ها ناشی از برهمکنش سطحی بین پلیمر و تقویت کننده ها می گردند [۱۴، ۲۶].

۵- سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت گاز استان آذربایجان شرقی به خاطر حمایت های ارزنده شان نهایت تشکر و قدردانی می نمایند.

با توجه به شکل ۱۴ در نانو کامپوزیت (۷۰/۳۰/۰،۲) PC/ABS/MWCNT پیک گرما گیر در محدوده دمایی ۱۹۰ درجه سلسیوس مربوط به دمای اکسید شدن فاز پلی بوتادین پلیمر ABS می باشد که با افزودن نانو لوله های کربنی دمای اکسید شدن پلی بوتادین تقریباً به میزان ۱۰ درجه سلسیوس افزایش یافته است و همچنین در نانو کامپوزیت PC/ABS/MWCNT (۷۰/۳۰/۰،۳) اولین پیک گرماگیر در محدوده دمایی ۱۷۰ درجه سلسیوس مربوط به دمای انتقال شیشه ای پلی کربنات است که با افزودن نانو لوله ها به میزان ۲۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است. بنابراین نمونه های تقویت شده با نانو لوله های کربنی مقادیر بیشتری از دمای انتقال شیشه ای^۱ (Tg) را نشان می دهند که این پدیده نشان دهنده برهمکنش قوی با ماتریس پلیمری است، نانو لوله ها باعث ایجاد امتزاج پذیری در آمیخته PC/ABS می شوند حضور نانو پرکننده ها باعث افزایش Tg در هر دو فاز پلی کربنات و ABS به دلیل کاهش تحرک زنجیره ها ناشی از برهمکنش سطحی بین پلیمر و تقویت کننده ها می گردند [۱۴، ۲۶].

^۱Glass transition temperature

۶- مراجع

- [24] Marcin W, Benedito A, Gimenez E. Preparation and characterization of extruded nanocomposite based on polycarbonate/butadiene-acrylonitrile-styrene blend filled with multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014. 131(10).
- [25] Bagotia N, Choudhary V, Sharma D. Studies on toughened polycarbonate/multiwalled carbon nanotubes nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 2017. 124, 101-110.
- [26] Maiti S, Shrivastava N.K, Khatua B. Reduction of percolation threshold through double percolation in melt-blended polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene/multiwall carbon nanotubes elastomer nanocomposites. *Polymer composites*, 2013. 34(4), 570-579.
- [1] Kroschwitz J.I. Concise encyclopedia of polymer science and engineering. Wiley New York, Vol. 5. 1990.
- [۲] کوکی م. مهندسی پلاستیک (ویرایش سوم). دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، تهران، ۱۳۷۷.
- [2] Kulich D. M, et al. Acrylonitrile-butadiene-styrene polymers. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2002. 1.
- [4] Taşdemir M. Properties of acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate blends with styrene-butadiene-styrene block copolymer. *Journal of applied polymer science*, 2004. 93(6), 2521-2527.
- [5] Utracki L. History of commercial polymer alloys and blends (from a perspective of the patent literature). *Polymer Engineering & Science*, 1995. 35(1), 2-17.
- [6] Utracki L.A, Wilkie C.A. *Polymer blends handbook*, Kluwer academic publishers Dordrecht, Vol. 1. 2002.
- [7] Yang W, et al. Fire and mechanical performance of nanoclay reinforced glass-fiber/PBT composites containing aluminum hypophosphite particles. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2011. 42(7), 794-800.
- [8] Bashiri Goodarzi H, Yarmohammad Tooski M. An experimental study of the effects of carbon nanotube and graphene addition on the impact strength of Epoxy/Basalt fiber composite. *Journal of Science and Technology of Composites*, 2019. 6(3), 411-418.
- [9] Khan S.U, Kim J.K. Impact and delamination failure of multiscale carbon nanotube-fiber reinforced polymer composites: a review. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 2011. 12(2), 115-133.
- [۱۰] رحمانی اهرنجانی ر، قربان پور آرائی ع، راستگو ع. مقدمه ای بر نانو کامپوزیت ها و نانو لوله ها. نشر کتاب دانشگاهی، تهران، ۱۳۹۳.
- [11] Suarez H, Barlow J, Paul D. Mechanical properties of ABS/polycarbonate blends. *Journal of applied polymer science*, 1984. 29(11), 3253-3259.
- [12] Kapoor S, Goyal, Jindal P. Enhanced thermal, static, and dynamic mechanical properties of multi-walled carbon nanotubes-reinforced acrylonitrile butadiene styrene nanocomposite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2022. 35(2): p. 216-280.
- [13] Dorigato A, et al. Electrically conductive nanocomposites for fused deposition modelling. *Synthetic Metals*, 2017. 226: p. 7-14.
- [14] Granada J.E, et al. Effect of carbon nanotubes functionalization on properties of their nanocomposites with polycarbonate/poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021. 138(21), 50471.
- [15] Taheri S, et al. Investigation of polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene/multiwall carbon nanotube nanocomposites under impact loading. *Polymers for Advanced Technologies*, 2016. 27(10), 1355-1362.
- [16] Chemical L. Polycarbonate resin Data Sheet(PC-1100U). 2021. p. 2.
- [17] Petro Chemical T. ABS Data Sheet(SD0150). 2021. 10.
- [18] US Research Nanomaterials I. <https://nanosany.com/product/mwcnts-10-20nm/>.
- [۱۹] یآوری ع، قائمی م. شیمی و تکنولوژی پلاستیکها. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۰.
- [20] Wegrzyn M, et al. Effect of Processing Method on Mechanical Properties of PC/ABS-MWCNT Nanocomposites. in *Macromolecular Symposia*, Wiley Online Library, 2012.
- [21] Taheri S, Nakhband E, Nazockdast H. Microstructure and multiwall carbon nanotube partitioning in polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene/multiwall carbon nanotube nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2013. 52(3), 300-309.
- [22] Castillo F.Y, et al. Electrical, mechanical, and glass transition behavior of polycarbonate-based nanocomposites with different multi-walled carbon nanotubes. *Polymer*, 2011. 52(17): p. 3835-3845.
- [23] Poosala A, et al. The effect of oxygen-plasma treated graphene nanoplatelets upon the properties of multiwalled carbon nanotube and polycarbonate hybrid nanocomposites used for electrostatic dissipative applications. *Journal of Nanomaterials*, 2015.