

## Evolution of Co-continuous Morphology along the Screw Length in a Co-rotating Twin-screw Extruder and Its Effect on Impact Strength of Compatibilized PA6/ABS Blend

S.H. Jafari<sup>1\*</sup>, H.A. Khonakdar<sup>2</sup>, and L. As'habi<sup>1</sup>

1. School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran,

P.O. Box: 11155-4563, Tehran, Iran

2. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965-115, Tehran, Iran

Received 3 October 2009, accepted 3 May 2010

### ABSTRACT

An ultra-glide twin screw extruder is employed to allow the quick and easy removal of the screws from the fixed processing section within few seconds, probing the current degree of the melting state, the dispersive and distributive processing steps and finally the level of morphology development along extruder screws. For morphological studies the molten samples, collected from different points along the screw length, were quickly frozen in liquid nitrogen and observed under a scanning electron microscope. The morphology development along screws was studied for the compatibilized PA6/ABS blends with different ABS contents. It was observed that the co-continuous morphology was formed in an initial stage of mixing, which then transformed into a refined co-continuous structure and developed along the extruder. The level of co-continuity decreased at higher ABS content. In addition the effect of processing condition on morphology development was studied. In view of the mechanical properties, the effect of morphology on the impact strength could be elucidated. It was found that not only the co-continuous morphology but also the level of co-continuity plays an important role in determination of ultimate impact properties. The impact strength was lowered to 35 kJ/m<sup>2</sup> from initial value of 47 kJ/m<sup>2</sup> by increasing the ABS content from 60 to 70 wt%.

#### Key Words:

co-continuous structure,  
morphology evolution,  
PA6/ABS blend,  
impact strength,  
extruder

(\*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: shjafari@ut.ac.ir

# توسعه شکل شناسی به هم پیوسته در طول اکسترودر دومارپیچی همسوگرد و اثر آن بر خواص استحکام ضربه ای آمیخته سازگار شده PA6/ABS

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،  
سال بیست و سوم، شماره ۱،  
صفحه ۵۲-۴۱، ۱۳۸۹  
ISSN : 1016-3255

سید حسن جعفری\*<sup>۱</sup>، حسین علی خنکدار<sup>۲</sup>، لادن اصحابی<sup>۱</sup>

۱- تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۴۵۶۳-۱۱۱۵۵

۲- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

دریافت: ۸۸۷/۱۱، پذیرش: ۸۹/۲/۱۳

## چکیده

در این پژوهش، با استفاده از یک اکسترودر دو مارپیچی Ultra-glide وضعیت مذاب، فرایند توزیع و پراکنش (اختلاط) و در نهایت مراحل توسعه شکل شناسی در طول مارپیچ مطالعه شده است. برای مطالعات شکل شناسی، نمونه مذاب در نقاط مختلفی از طول مارپیچ نمونه گیری و به کمک میکروسکوپ الکترونی شکل شناسی آن بررسی شده است. شکل گیری و توسعه شکل شناسی به هم پیوسته برای آمیخته سازگار شده PA6/ABS با ترکیب درصدی وزنی متفاوت از ABS بررسی شده است. نتایج بیانگر تشکیل شکل شناسی به هم پیوسته در اولین مرحله اختلاط و توسعه تدریجی آن به همراه کاهش اندازه فازها در طول اکسترودر است. هم چنین، کاهش مقدار به هم پیوستگی شکل شناسی با افزایش ترکیب درصد ABS مشاهده شد. در ادامه، اثر شرایط فرایند نظیر دور مارپیچ و سرعت خوراک دهی بر توسعه شکل شناسی بررسی شد. برای بررسی اثر شکل شناسی بر چقرمگی آمیخته سازگار شده PA6/ABS، آزمایش استحکام ضربه ای نیز انجام شد. نتایج بیانگر اثر مقدار به هم پیوستگی شکل شناسی نهایی بر استحکام ضربه ای آمیخته است، به نحوی که استحکام ضربه ای ایزود شکاف دار با افزایش ترکیب درصد ABS از ۶۰ به ۷۰ درصد وزنی از ۴۷ به ۳۵ kJ/m<sup>۲</sup> کاهش یافته است.

## واژه های کلیدی

ساختار به هم پیوسته،  
توسعه شکل شناسی،  
آمیخته PA6/ABS،  
استحکام ضربه ای،  
اکسترودر

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

## مقدمه

آمیخته چندجزیی سازگار شده پلی آمید ۶ (PA6) و آکریلونیتریل - بوتادی ان - استیرن (ABS) از لحاظ تجاری بسیار مورد توجه است. این امر به دلیل کارایی زیاد این آمیخته و با توجه به برخورداری از استحکام ضربه ای مناسب در دمای پایین، کیفیت سطح عالی، فرایندپذیری آسان، مقاومت شیمیایی خوب، پایداری گرمایی و خواص صوتی مناسب است [۱].

پلی آمید به واسطه داشتن گروه های بسیار قطبی آمیدی با ABS سازگار نیست. بنابراین، به منظور بهبود چسبندگی میان پلی آمید و SAN (زمینه ABS) و اصلاح خواص بین سطحی نیاز به یک سازگارکننده واکنشی نظیر پلیمر سه جزئی استیرن - آکریلونیتریل - مالتیک انیدرید (SANMA) است. این پلیمر با جزء کوپلیمر استیرن - آکریلونیتریل (SAN) پلیمر ABS سازگار است. به بیان دیگر، بخش های مالتیک انیدرید این پلیمر سه جزئی که در سطح مشترک قرار گرفته اند، قابلیت واکنش با گروه های آمین پلی آمید و تشکیل کوپلیمرهای پیوندی در حین اختلاط واکنشی را دارد. نتایج این برهم کنش در پایدارسازی سطح مشترک به شکل کاهش انعطاد، کاهش تنش بین سطحی، افزایش گرانیوی و چسبندگی است. از انواع دیگر سازگارکننده های مورد استفاده در آمیخته PA6/ABS می توان به استیرن - مالتیک انیدرید، آکرلیک ایمیدی (IA) و پلی بوتادی ان عامل دار شده اشاره کرد.

از زمان تجاری شدن آمیخته PA6/ABS در سال ۱۹۶۱ تاکنون پژوهش های گسترده ای در این زمینه انجام شده است. مطالعه شکل شناسی این آمیخته و اثر عواملی نظیر سازگارکننده بر رفتار شکل شناسی، خواص رئولوژیکی و تبلور از جمله مطالعات گسترده شکل گرفته در این زمینه است. در کارهای پژوهشی پیشین نقش هر یک از اجزای آمیخته بر خواص رئولوژیکی و تبلور آمیخته PA6/ABS بررسی شد [۲،۳]. نتایج این پژوهش ها حاکی از بهبود خواص رئولوژیکی (نظیر مدول ذخیره، مدول اتلاف و افزایش گرانیوی مختلط)، کاهش اندازه فازها و در نهایت پایداری شکل شناسی به هم پیوسته در پی استفاده از سازگارکننده است. از سایر پژوهش های انجام شده در این زمینه می توان به بررسی رفتار وارونگی فازی، اندازه ذرات فاز پراکنده و رفتار تنش - کرنش این آمیخته با استفاده از دو سازگارکننده SANMA و IA اشاره کرد [۴-۶].

طبق نتایج منتشر شده توسط Paul و همکاران، افزایش IA به آمیخته PA6/SAN باعث انتقال وارونگی فازی به کسر حجمی های بیشتر PA6 می شود. در حالی که افزایش SANMA، وارونگی فازی را به آرامی به کسر حجمی های کمتر PA6 منتقل می کند. اثر سایر سازگارکننده ها نظیر اکسازولین و پلی بوتادی ان عامل دار شده نیز بر

آمیخته های PA6/ABS و PA6/SAN مطالعه شده است [۷-۹]. نتایج بیان گر واکنش تراکمی میان گروه نیتریل در SAN و آمینو اتانول و تبدیل آن به گروه اکسازولین است. شکل شناسی آمیخته های پلیمری ناسازگار موضوع پژوهش های جذاب سال های اخیر به شمار رفته و توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. پژوهش های زیادی در زمینه توسعه شکل شناسی در آمیخته های ناسازگار انجام شده است [۱۰-۲۱]. از آن جا که اکسترودر دوماریچی همسوگرد یکی از مناسب ترین و رایج ترین تجهیزات اختلاط در زمینه تولید آمیخته های پلیمری است، مطالعات پیشین شامل بررسی توسعه شکل شناسی آمیخته های ناسازگار در طول اکسترودر دوماریچی و هم چنین بررسی اثر عواملی نظیر نسبت گرانیوی های دو فاز و سازگارکننده است [۱۰-۱۲]. توسعه شکل شناسی در سامانه های مختلفی نظیر PA6/PP [۱۳-۱۵]، PS/HDPE [۱۶-۱۷]، PC/PE [۱۸] و PBT/HDPE [۱۹] بررسی شده است. تشکیل شکل شناسی PA6/ABS در اکسترودر دوماریچی به روش میکروسکوپی و شیمیایی توسط Weber و Heckman [۲۱] بررسی شده است. نتایج بیان گر تشکیل شکل شناسی به هم پیوسته در اولین مرحله اکستروژن است. هم چنین، ارتباطی میان اختلاط فیزیکی، مقدار پراکنش و زمان اقامت مشاهده شده است.

از آن جا که تشکیل شکل شناسی به هم پیوسته وابسته به شرایط فرایند است و رسیدن به خواص مکانیکی و گرمایی عالی در گرو رسیدن به این شکل شناسی است، در این کار با استفاده از یک اکسترودر دوماریچی Ultra-glide که در آن خارج کردن سریع و آسان ماریچ ممکن است، مراحل اختلاط، وضعیت مذاب، چگونگی شکل گیری شکل شناسی و در نهایت خواص چقرمگی در طول ماریچ برای آمیخته هایی با ترکیب درصد ABS متفاوت در شرایط فرایند مختلف مطالعه شده است. این نوع مطالعات شکل شناسی در طول ماریچ می تواند مبنای بهینه برای شبیه سازی فرایند در سامانه های چندجزیی باشد.

## تجربی

### مواد

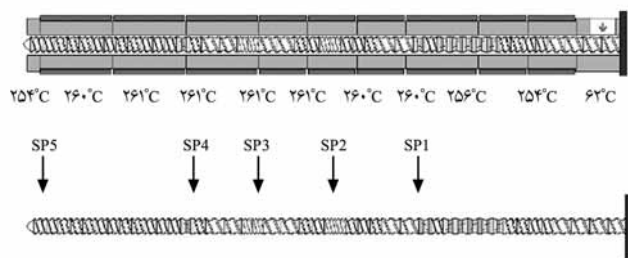
تمام مواد استفاده شده در این مطالعه، ABS [Novodur] Graft (SAN-g-PB)، PA6 [Durethan B29] و SANMA از شرکت Bayer آلمان تهیه شد. آکریلونیتریل - بوتادی ان - استیرن متشکل از دو جزء حاوی یک پلیمر پیوندی SAN-g-PB نوع P60 و کوپلیمر استیرن - آکریلونیتریل نوع Lustran® M80 به نسبت وزنی ۲ است. این مواد از محصولات حواسط شرکت Bayer هستند. سازگارکننده مصرفی، پلیمر سه جزیی

جدول ۱ - ترکیب درصد اجزای آمیخته ها و شرایط فرایند تهیه نمونه ها.

سرعت ماریچ (rpm)	سرعت خوراک دهی (kg/h)	مقدار ABS (%)	آمیخته
۳۰۰	۱۰	۶۰/۶۵/۷۰	۱
۲۰۰	۱۰	۶۰/۶۵/۷۰	۲
۱۰۰	۱۰	۶۰/۶۵/۷۰	۳
۳۰۰	۲۰	۶۰/۶۵/۷۰	۴
۲۰۰	۲۰	۶۰/۶۵/۷۰	۵
۱۸۰	۲۰	۶۰/۶۵/۷۰	۶
۳۰۰	۲۵	۶۰/۶۵/۷۰	۷

طول ماریچ اکسترودر در شکل ۱ نشان داده شده است. ماریچ استفاده شده در این پژوهش، شامل ۳ واحد اختلاط است. این واحدها سبب افزایش زمان اختلاط مواد با یکدیگر و افزایش برش اعمالی بر مواد می شود. به منظور آسان کردن حرکت مذاب پلیمر به سمت جلو قرص های موجود در داخل واحدهای اختلاط به طور یک در میان در زوایای مختلف قرار گرفته اند. نسبت طول به قطر ماریچ مورد استفاده (L/D) ۲۵ بود. در این اکسترودر امکان خارج کردن ماریچ از بدنه در مدت زمان کوتاه (کمتر از ۱ min) وجود دارد. نمونه گیری از پنج موقعیت SP در طول ماریچ اکسترودر انجام شد. همان طور که در شکل ۱ نمایان است، یکی از نمونه گیری های انجام شده از سر حدیله (SP5) است. به منظور تعیین اثر موقعیت مکانی در طول ماریچ بر شکل شناسی، تصاویر میکروسکوپ الکترون پویشی از نمونه ها تهیه شد.

در ابتدا، اثر ترکیب درصد ABS بر توسعه شکل شناسی و پس از آن اثر شرایط فرایند بررسی شده است.



شکل ۱ - طرح کلی ماریچ و موقعیت های نمونه گیری مذاب PA6/ABS در طول ماریچ اکسترودر.

تصادفی متشکل از استیرن - آکریلونیتریل - مائیک انیدرید بوده و جزء سازگارکننده های واکنشی است. این ماده با نام DMN<sup>®</sup> 100 از محصولات حد واسط شرکت Bayer است. این سازگار کننده متشکل از ۶۷٪ استیرن و ۳۳٪ آکریلونیتریل با شاخص پراکندگی (PDI) ۲/۱ است که با حدود ۷۳٪ انیدرید مائیک عامل دار شده است.

لازم به ذکر است، دو جزء ABS به طور جداگانه به اکسترودر اضافه شدند. به کمک این اکسترودر امکان نمونه گیری در نقاط مختلف ماریچ در حین فرایند اختلاط برای بررسی رفتار شکل شناسی نمونه ها وجود داشت.

### دستگاه ها و روش ها

به منظور مطالعات شکل شناسی، نمونه های مذاب جمع آوری شده از نقاط مختلف در طول ماریچ و هم چنین رشته های جمع آوری شده از سر حدیله، به سرعت در نیتروژن مایع سرد شدند. به منظور افزایش تباین بین فازی و خارج کردن فاز پلی آمید ۶، تمام نمونه ها در فرمیک اسید ۹۸٪ به مدت ۴ h نشانه گذاری شدند.

برای تأیید وجود شکل شناسی به هم پیوسته در برخی از نمونه ها از حلال THF برای انحلال فاز ABS استفاده شد. سپس، سطح نمونه های نشانه گذاری شده به کمک دستگاه لایه نشانی با طلا پوشش یافته و به کمک میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM) مدل LEO 435 VP LEO Germany, Elektronenmikroskopie مشاهده شد.

آزمون استحکام ضربه ای ایزود شکاف دار به کمک دستگاه آزمون ضربه ساخت Ceast در دمای محیط انجام شد. در هر یک از حالت ها، آزمون ضربه روی ۵ نمونه انجام شد. انحراف از معیار آزمون ضربه کمتر از ۱٪ بود.

### تهیه نمونه ها

آمیخته های پلی آمید ۶ - آکریلونیتریل بوتادی ان - استیرن با ترکیب درصد متفاوت ABS با استفاده از یک اکسترودر دوماریچی ZE25 Ultra-glide در شرایط فرایند متفاوت مطابق جدول ۱ در دمای ۲۶۰°C تهیه شدند. لازم به ذکر است، دمای فرایند اختلاط برای این آمیخته در حدود ۲۴۰-۲۶۰°C است. از آن جا که دمای ذوب ABS بر اساس داده های ارائه شده از طرف شرکت سازنده حدود ۲۵۰°C است، دمای تهیه این آمیخته ۲۶۰°C در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

#### توسعه شکل شناسی

طرح کلی ماریچ و موقعیت های نمونه گیری مذاب PA6/ABS در

### اثر ترکیب درصد ABS

در شکل ۲ عکس های SEM مربوط به آمیخته سازگار شده PA6/ABS با ۶۰ درصد وزنی ABS نشان داده شده است. نتایج بیان گر توسعه سریع شکل شناسی به هم پیوسته در طول ماریج است، اگر چه در انتهای بخش اختلاط (SP4) هنوز شکل شناسی کامل نشده است. به بیان دیگر، نمونه هایی که در موقعیت های ابتدایی ماریج (SP1، SP2 و SP3) جمع آوری شده اند، دارای شکل شناسی به هم پیوسته با اندازه فازهای بزرگ است. اما، به تدریج با رسیدن به انتهای ماریج اندازه فازها کاهش یافته و شکل شناسی تا حدودی پایدار شده است [۲].

عکس های SEM مربوط به آمیخته های با ۶۵ و ۷۰ درصد وزنی ABS به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ آمده است. همان طور که مشاهده می شود همانند سامانه پیشین، اندازه فازها در نمونه های انتهایی ماریج در مقایسه با نمونه های ابتدایی کمتر است. این امر بیان گر توسعه شکل شناسی به هم پیوسته در انتهای ماریج است.

با مقایسه شکل شناسی آمیخته های PA6/ABS (شکل های ۴-۲) می توان دید که افزایش ترکیب درصد ABS اثر محسوسی بر توسعه شکل شناسی نداشته است. این افزایش تنها سبب کاهش مرتبه به هم پیوستگی شکل شناسی و تمایل به شکل شناسی قطره ای به دلیل کاهش ترکیب درصد PA6 می شود. در شکل ۴ نمایان است، آمیخته PA6/ABS با ۷۰ درصد وزنی ABS دارای پیوستگی داخلی بین فازی خوبی نیست و شکل شناسی از حالت به هم پیوسته به قطره ای تغییر یافته است. این امر بیان گر عدم توسعه کامل و ناپایداری شکل شناسی به هم پیوسته است. از لحاظ ترمودینامیکی شکل شناسی به هم پیوسته معمولاً در آمیخته هایی رخ می دهد که ترکیب درصد اجزای آن نزدیک نقطه وارونگی فازی است. مدل های گوناگونی برای تخمین ترکیب درصد وارونگی فازی از روی گرانیروی اجزای آمیخته، در کار پژوهشی پیشین ارائه شده است [۲]. مطابق مدل های ارائه شده، وارونگی فازی در آمیخته سازگار شده PA6/ABS در محدوده ترکیب درصد ۶۰-۴۰ است و جابه جایی وارونگی فازی به کسر حجمی های بیشتر یا کمتر PA6 باعث رفتار نامتقارن می شود. زیرا، معمولاً با افزایش کسر حجمی فاز پراکنده به دلیل افزایش احتمال به هم پیوستگی ذرات، متوسط اندازه ذرات افزایش می یابد.

### اثر شرایط فرایند

به منظور بررسی اثر شرایط فرایند بر توسعه شکل شناسی آمیخته PA6/ABS، نمونه گیری در سه سرعت خوراک دهی (۲۰، ۱۰ و ۲۵ kg/h) و سرعت های ماریج ۱۸۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ rpm طبق جدول ۱ انجام شد. تنها

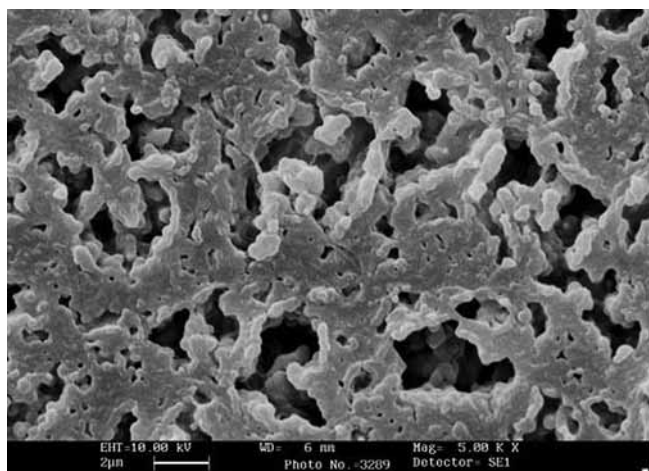
در آمیخته PA6/ABS با ۷۰ درصد وزنی ABS در سرعت ماریج rpm ۱۸۰ به دلیل مشکلات خوراندن پودر استیرن - آکریلونیتریل به اکسترودر امکان فرایند و نمونه گیری موجود نبود.

در شکل ۵، اثر سرعت ماریج و سرعت خوراک دهی بر شکل شناسی نهایی آمیخته PA6/ABS با ۶۰ درصد وزنی ABS نشان داده شده است. همان طور که از عکس های میکروسکوپی نمایان است، با افزایش سرعت ماریج در یک سرعت خوراک دهی ثابت تغییرات محسوسی در شکل شناسی دیده نمی شود. بهترین حالت پرشدگی ماریج در سرعت ماریج زیاد و سرعت خوراک دهی کم (۲۰ kg/h و rpm ۱۸۰) دیده شده است. هر چند به نظر می رسد، توسعه شکل شناسی به هم پیوسته مستقل از مقدار پرشدگی ماریج است. هم چنین در یک دور ماریج ثابت با تغییر سرعت خوراک دهی، شکل شناسی نهایی دارای ساختار به هم پیوسته با اندازه فازی ریز و یکنواخت است. این امر نشان دهنده پایداری شکل شناسی نهایی و فرایندپذیری مناسب این آمیخته در شرایط فرایندی مختلف است. هم چنین می توان گفت، به دلیل پایداری شکل شناسی نهایی تغییر شرایط فرایند اثر محسوسی بر تغییرات خواص مکانیکی ندارد. اگر چه می توان گفت، مقدار به هم پیوستگی و ارتباط فازها با هم در سرعت خوراک دهی ۲۰ kg/h نسبت به سایر سرعت های خوراک دهی بیشتر است.

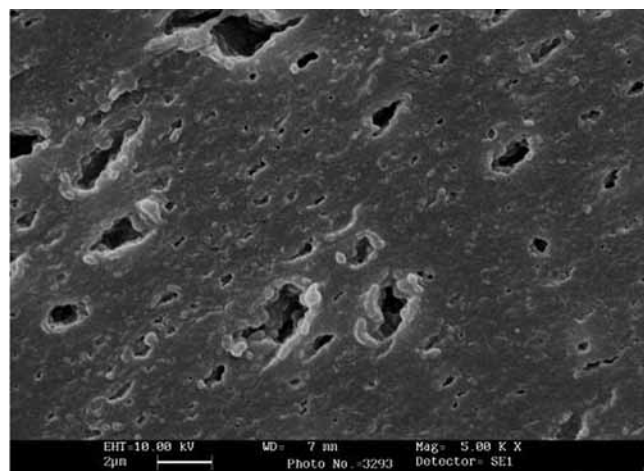
در شکل های ۶ و ۷ اثر شرایط فرایند بر شکل شناسی نهایی آمیخته های PA6/ABS با ترکیب درصدهای بیشتر ABS (۷۰-۶۵ درصد) آمده است. در این آمیخته ها نیز مشابه نمونه پیشین شرایط فرایند اثر چندانی بر شکل شناسی نهایی ندارد و تنها با افزایش درصد ABS، میزان به هم پیوستگی به دلیل کاهش درصد وزنی PA6 کاهش می یابد. در این آمیخته ها نیز در یک سرعت خوراک دهی ثابت تغییرات دور ماریج اثر چندانی بر شکل شناسی نهایی ندارد. تنها در آمیخته های با ترکیب درصد ۷۰ درصد وزنی ABS، سرعت ماریج rpm ۱۵۰/۱۸۰ برای خوراندن پودر به اکسترودر مناسب نیست.

### خواص مکانیکی

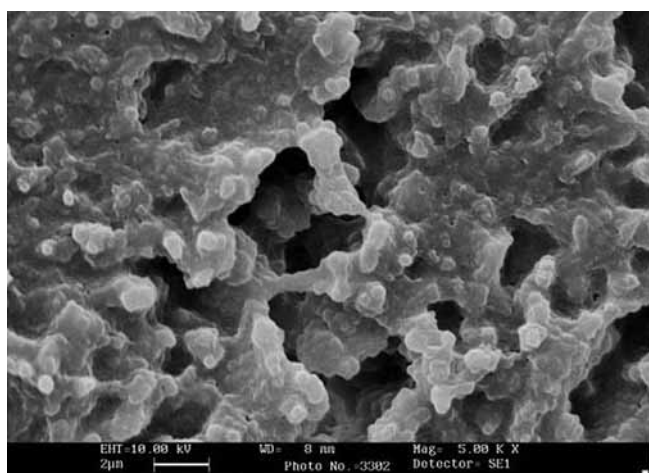
به منظور بررسی اثر شکل شناسی بر خواص نهایی آمیخته، آزمون استحکام ضربه ای ایزود برای تعیین مقدار چقرمگی نمونه های تهیه شده انجام شد. شکل شناسی به هم پیوسته به علت ایجاد نوعی از شبکه های فیزیکی به هم پیوسته اثر بسزایی بر افزایش مقدار مدول کشسانی آمیخته های پلیمری دارد و از این خاصیت (مدول) می توان به خوبی نحوه اثر شکل شناسی بر سایر خواص نهایی آمیخته را نیز مورد بررسی قرار داد. اما، یکی از دلایل اصلی آمیخته سازی PA6 و ABS



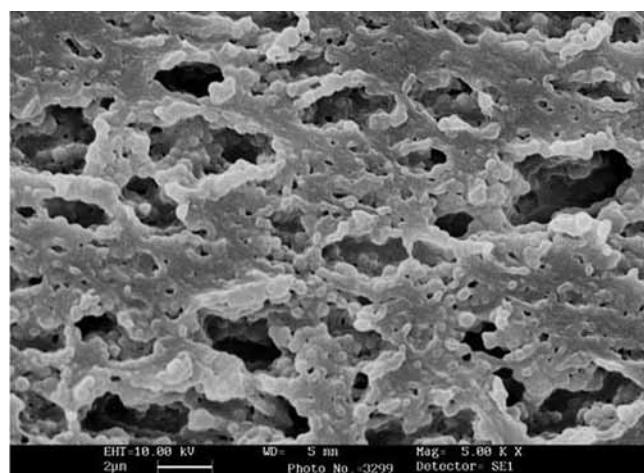
SP2



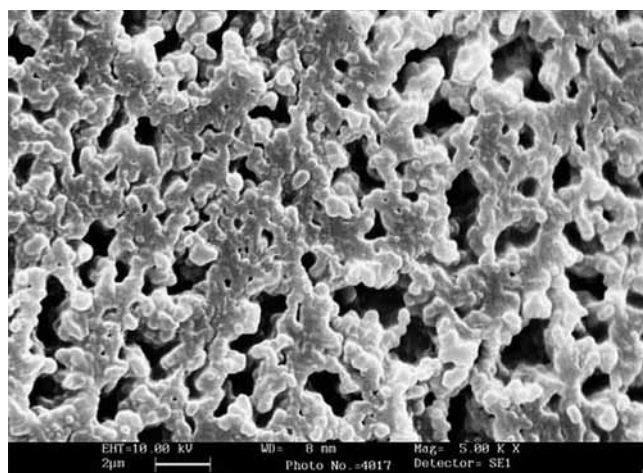
SP1



SP4

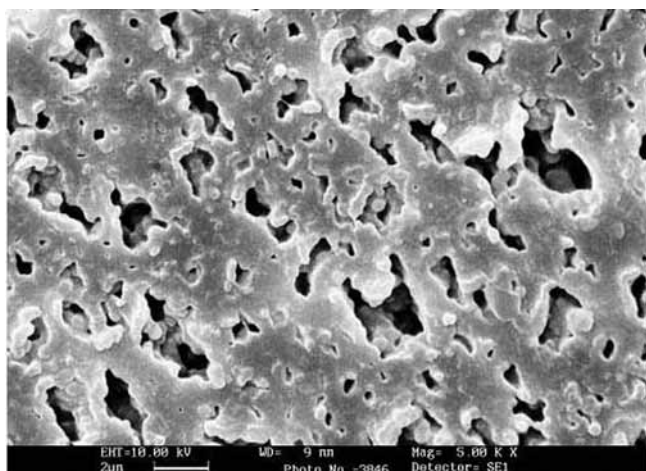


SP3

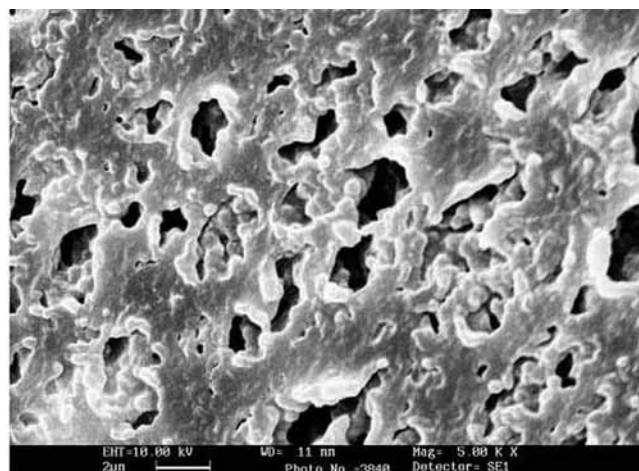


SP5

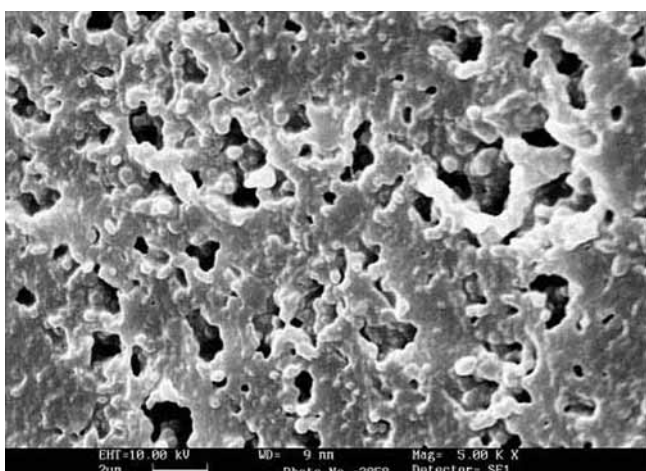
شکل ۲- توسعه شکل‌شناسی آمیخته PA6/60%ABS در طول اکسترودر در سرعت خوراک دهی ۱۰ kg/h و دور ماریج ۲۰۰ rpm (بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰).



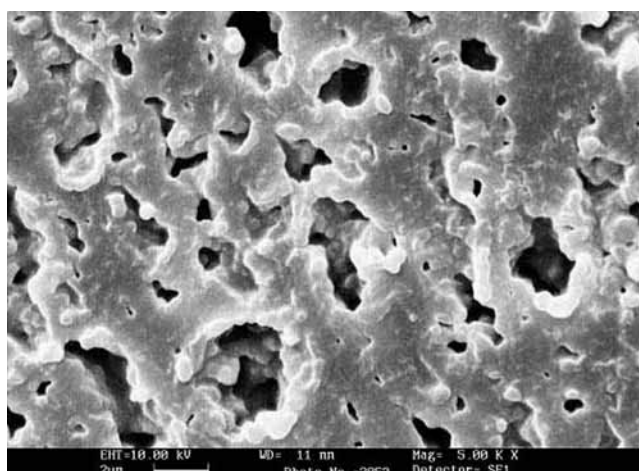
SP2



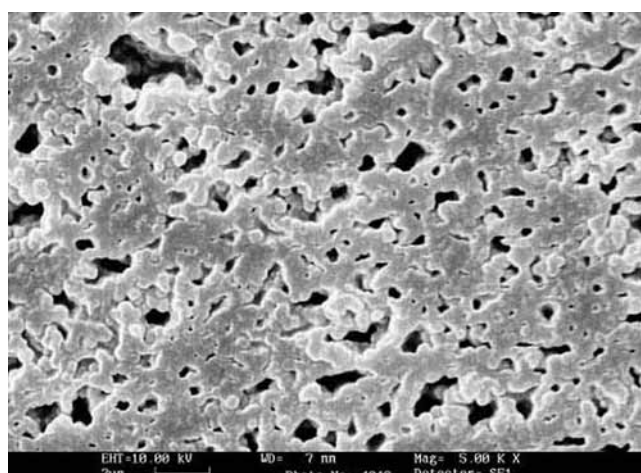
SP1



SP4

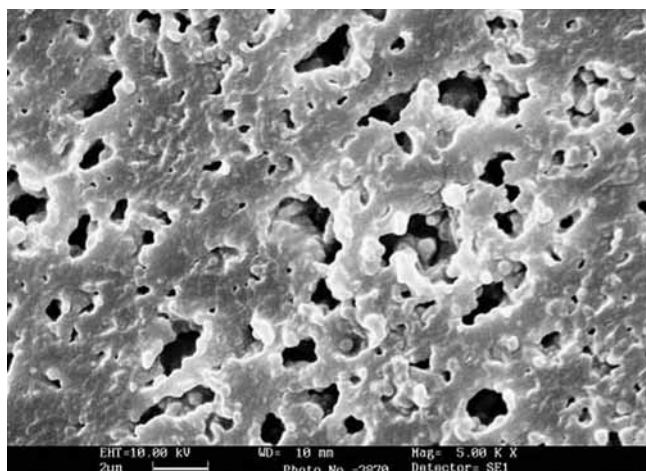


SP3

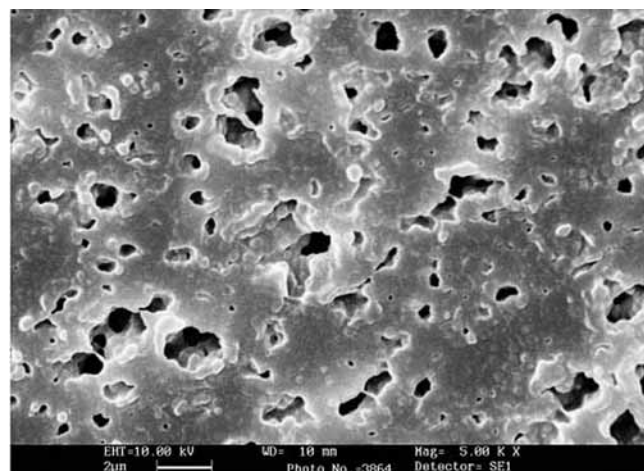


SP5

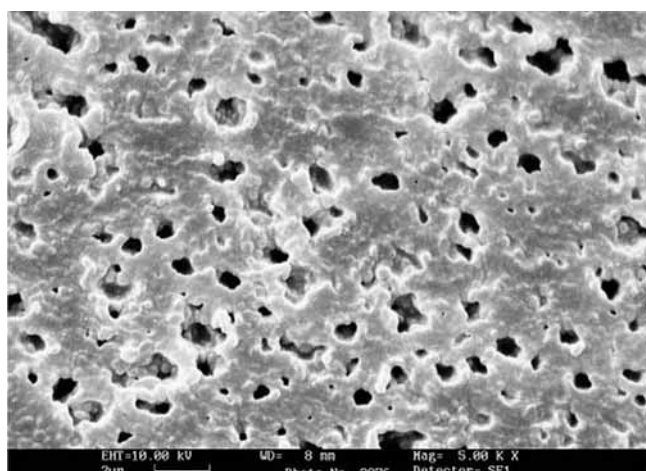
شکل ۳- توسعه شکل شناسی آمیخته PA6/65%ABS در طول اکسترودر در سرعت خوراک دهی ۱۰ kg/h و دور ماریپی ۲۰۰ rpm (بزرگ نمایی ۵۰۰۰).



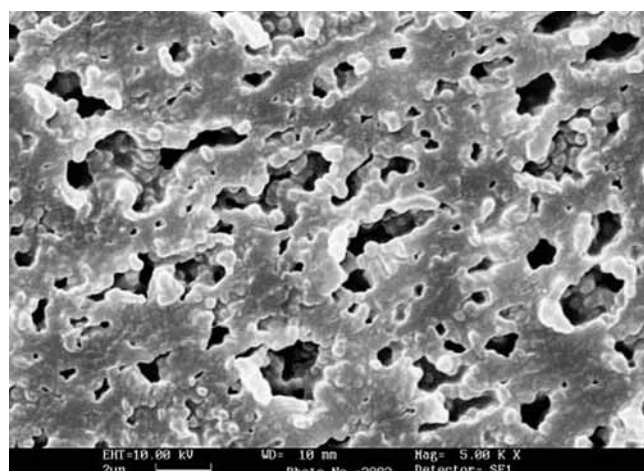
SP2



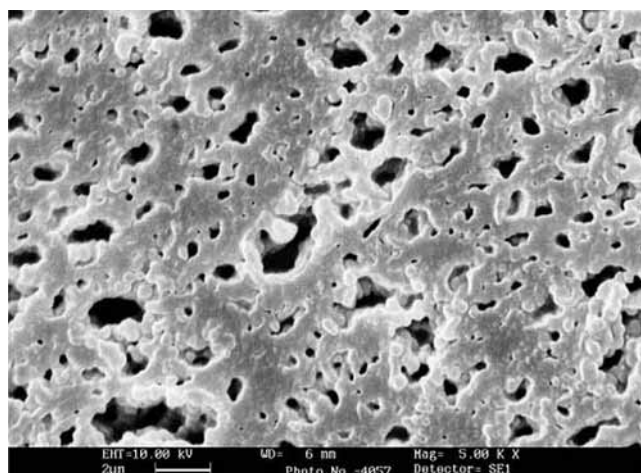
SP1



SP4



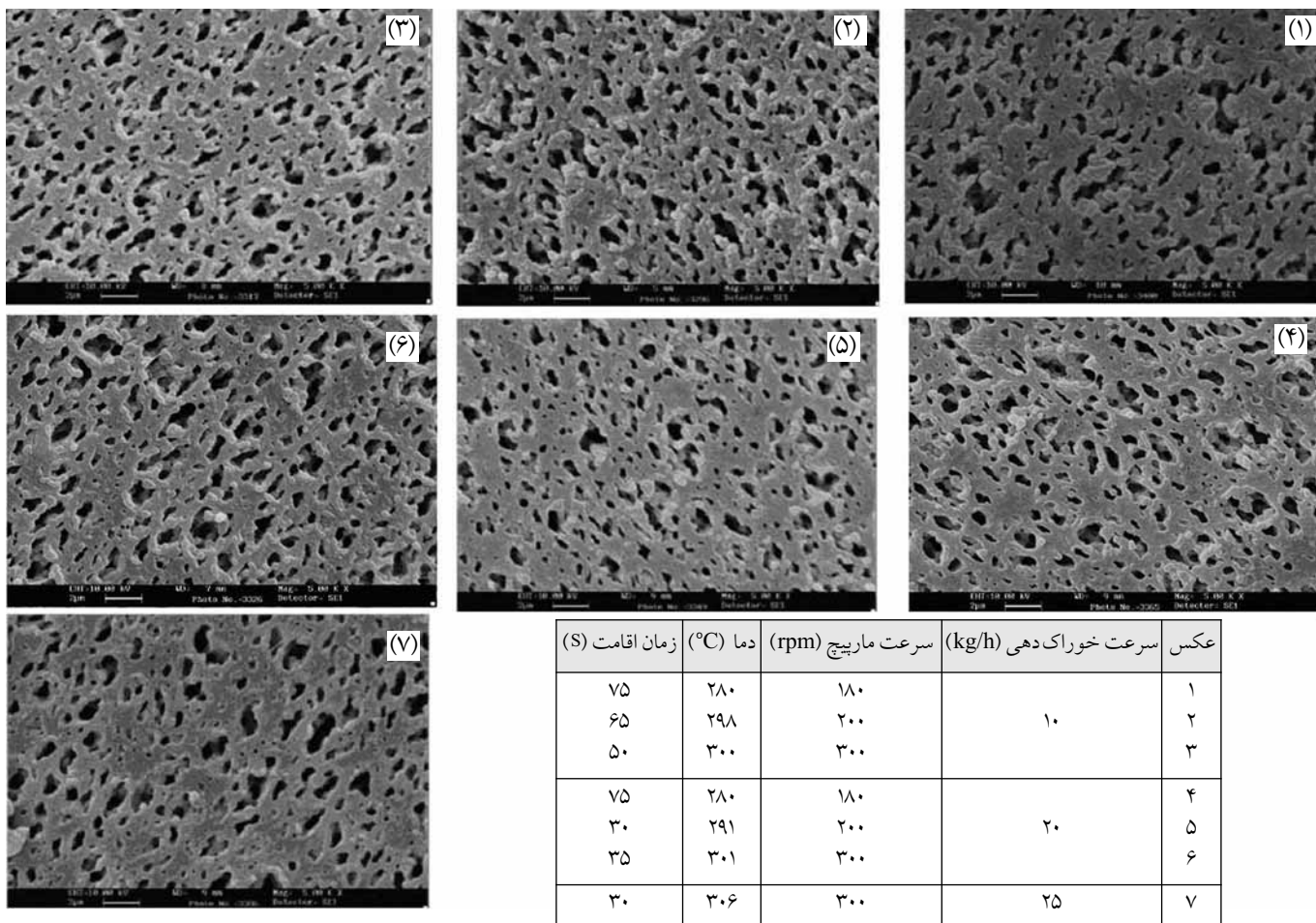
SP3



SP5

شکل ۴- توسعه شکل شناسی آمیخته PA6/70%ABS در طول اکسترودر در سرعت خوراک دهی ۱۰ kg/h و دور ماریج ۲۰۰ rpm (بزرگ نمایی ۵۰۰۰).



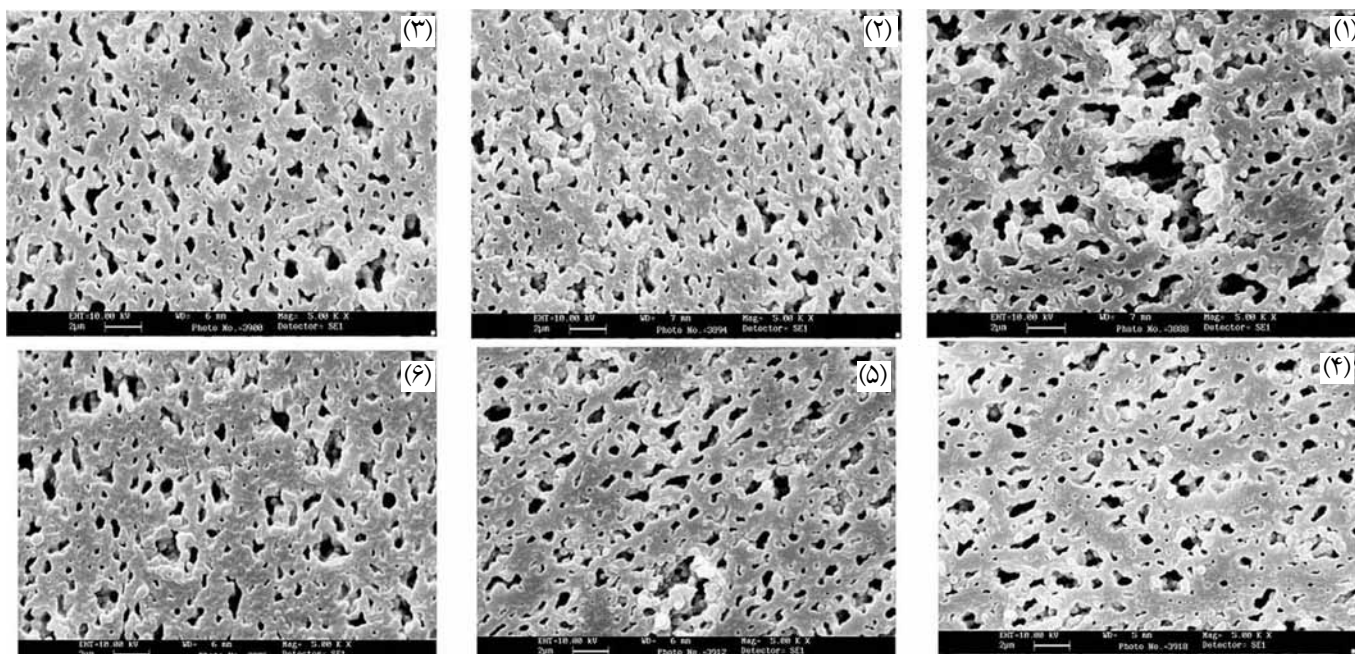


شکل ۵- شکل‌شناسی نهایی آمیخته PA6/ABS/SANMA با ۶۰ درصد وزنی ABS در شرایط مختلف فرایند (بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰).

از شکل ۸ نمایان است، با وجود تشکیل شکل‌شناسی به هم پیوسته در تمام نمونه‌ها با افزایش درصد ABS، مقدار به هم پیوستگی تا حدودی کاهش می‌یابد. همین امر بر مقدار استحکام ضربه‌ای آمیخته اثر گذاشته و استحکام ضربه‌ای ایزود شکاف دار با افزایش مقدار ABS از ۶۰ به ۷۰ درصد از ۴۷ به  $۳۵ \text{ kJ/m}^2$  کاهش می‌یابد. این امر بیان‌گر نقش مهم مقدار به هم پیوستگی و اندازه فازها بر چقرمگی آمیخته است. از این رو می‌توان گفت، ترکیب درصد وزنی ABS به دلیل قرار داشتن در محدوده وارونگی فازی و تمایل به تشکیل شکل‌شناسی به هم پیوسته در مقایسه با شکل‌شناسی قطره‌ای، سبب نشان دادن خواص ضربه‌ای بهتری در مقایسه با سایر ترکیب درصدها می‌شود. هم‌چنین، در ترکیب درصدهای زیاد ABS پیوستگی میان فازها کاهش یافته و شکل‌شناسی به هم پیوسته کاملاً توسعه نیافته است [۲]. به منظور بررسی اثرگذاری سرعت ماریچ بر شکل‌شناسی و در نهایت خواص استحکام ضربه‌ای، نمونه‌هایی در سرعت‌های متفاوت ماریچ تهیه شدند.

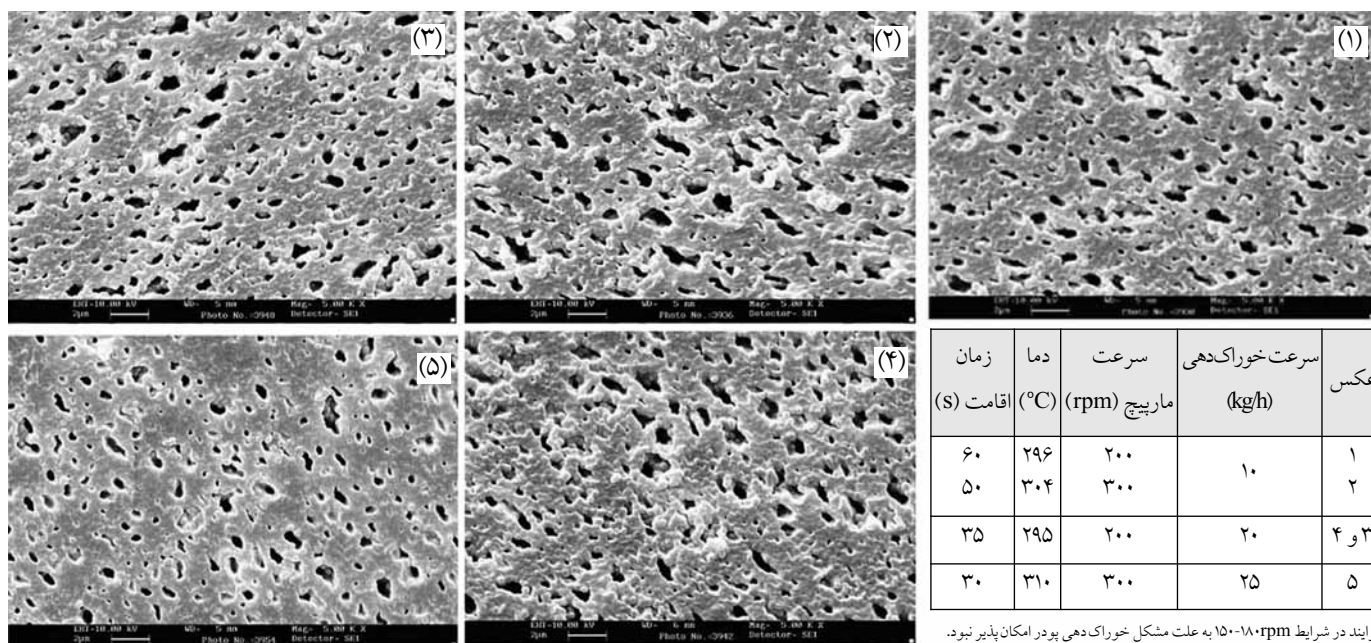
بهبود خاصیت استحکام ضربه‌ای، به ویژه در دماهای پایین است. استحکام ضربه‌ای به شدت به فاز پیوسته و نحوه تغییر شکل آن بستگی دارد. یکی از مزایای تشکیل شکل‌شناسی به هم پیوسته نسبت به شکل‌شناسی قطره‌ای، افزون بر بهبود خواص مکانیکی آمیخته نظیر مدول و استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی، افزایش مقدار استحکام ضربه‌ای است.

با افزایش مقدار به هم پیوستگی و کاهش اندازه فازها، خواص مکانیکی از جمله استحکام ضربه‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین، با نزدیک شدن به شکل‌شناسی قطره‌ای، که در آن فاز پراکنده به شکل قطره‌های بسیار درشت در فاز زمینه پراکنده است، افت استحکام ضربه‌ای مشاهده می‌شود [۱۰]. در این بخش نیز اثر پارامترهایی نظیر ترکیب درصد ABS و شرایط فرایند بر استحکام ضربه‌ای آمیخته بررسی شده است. در شکل ۸، نتایج حاصل از اثر ترکیب درصد بر شکل‌شناسی و داده‌های حاصل از آزمون ضربه آورده شده است.



عکس	سرعت خوراک دهی (kg/h)	سرعت ماریچ (rpm)	دما (°C)	زمان اقامت (s)
۱	۱۰	۱۸۰	۲۸۰	۷۵
۲	۱۰	۲۰۰	۲۹۸	۶۵
۳	۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۵۰
۴	۲۰	۱۸۰	۲۸۰	۷۵
۵	۲۰	۲۰۰	۲۹۱	۳۰
۶	۲۰	۳۰۰	۳۰۱	۳۵
۷	۲۵	۳۰۰	۳۰۷	۳۰

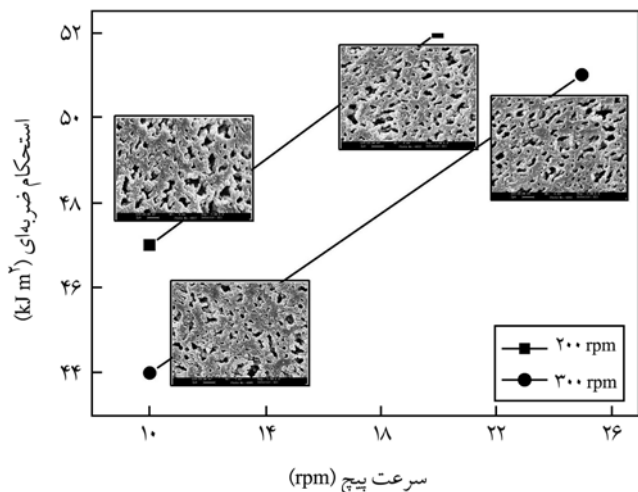
شکل ۶- شکل شناسی نهایی آمیخته PA6/ABS/SANMA با ۶۵ درصد وزنی ABS در شرایط مختلف فرایند (بزرگ نمایی ۵۰۰۰).



عکس	سرعت خوراک دهی (kg/h)	سرعت ماریچ (rpm)	دما (°C)	زمان اقامت (s)
۱	۱۰	۲۰۰	۲۹۶	۶۰
۲	۱۰	۳۰۰	۳۰۴	۵۰
۳ و ۴	۲۰	۲۰۰	۲۹۵	۳۵
۵	۲۵	۳۰۰	۳۱۰	۳۰

فرایند در شرایط ۱۸۰-۱۵۰ rpm به علت مشکل خوراک دهی پودر امکان پذیر نبود.

شکل ۷- شکل شناسی نهایی آمیخته PA6/ABS/SANMA با ۷۰ درصد وزنی ABS در شرایط مختلف فرایند (بزرگ نمایی ۵۰۰۰).

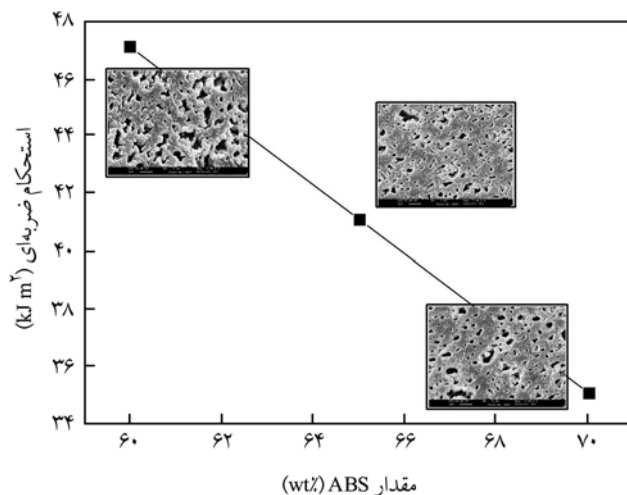


شکل ۱۰- اثر شرایط فرایند بر شکل شناسی نهایی.

امر می‌تواند ناشی از تشکیل شکل شناسی به هم پیوسته با اندازه فازهای ریز در سرعت خوراک‌دهی زیاد به علت افزایش ضریب پرکنندگی کانال باشد.

### نتیجه‌گیری

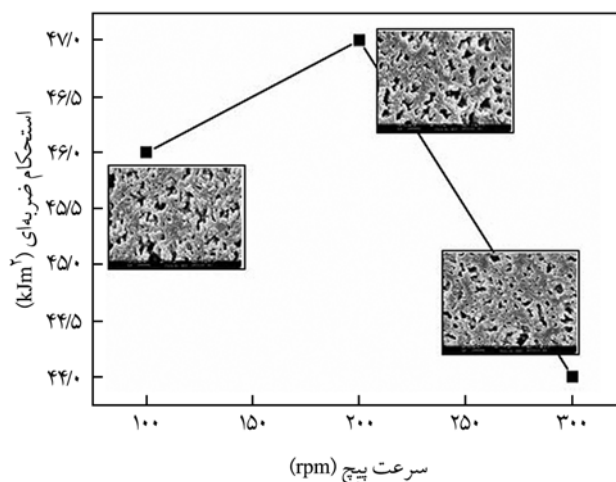
در این پژوهش، توسعه شکل شناسی آمیخته PA6/ABS با استفاده از یک اکسترودر دوماریچی Ultra-glide مطالعه شد که در آن امکان خارج کردن سریع و آسان ماریچ بود. این نوع مطالعات شکل شناسی در طول ماریچ می‌تواند مبنای بهینه برای شبیه‌سازی فرایند در سامانه‌های چندجزیی باشد. هم‌چنین، اثر ترکیب درصد ABS و شرایط فرایند بر توسعه شکل شناسی و خواص استحکام ضربه‌ای بررسی شد. نتایج بررسی توسعه شکل شناسی در طول اکسترودر بیان‌گر تشکیل سریع شکل شناسی به هم پیوسته در ابتدای ماریچ است، اگرچه در انتهای بخش اختلاط (SP4) هنوز شکل شناسی کامل نشده است. افزایش ترکیب درصد ABS در آمیخته‌ها سبب کاهش مقدار به هم پیوستگی شده است. در واقع، تشکیل شکل شناسی به هم پیوسته و اندازه فازهای آن به ترکیب درصد اجزای آمیخته وابسته است. هم‌چنین، نتایج بیان‌گر عدم تاثیر محسوس شرایط فرایند مختلف بر توسعه شکل شناسی است. می‌توان گفت، شرایط سرعت ماریچ 200 rpm و سرعت خوراک‌دهی 20 kg/h برای تولید این آمیخته بهینه است. نتایج حاصل از آزمون استحکام ضربه‌ای نیز بیان‌گر اثر زیاد شکل شناسی به هم پیوسته و مقدار به هم پیوستگی بر چقرمگی آمیخته‌های PA6/ABS بود. به نحوی که



شکل ۸- اثر ترکیب درصد ABS بر استحکام ضربه‌ای ایزود (بزرگ‌نمایی ۵۰۰).

در شکل ۹ مشاهده می‌شود، استحکام ضربه‌ای نمونه تهیه شده در سرعت ماریچ 100 rpm، 46 kJ/m<sup>2</sup> تفاوت محسوسی با استحکام ضربه‌ای نمونه‌های تهیه شده در سایر سرعت‌های ماریچ ندارد. افت جزئی چقرمگی در نمونه تهیه شده در سرعت ماریچ 300 rpm می‌تواند ناشی از کاهش زمان اقامت آمیخته در اکسترودر و تمایل به شکل شناسی قطره‌ای باشد.

نتایج حاصل از اثر سرعت خوراک‌دهی بر استحکام ضربه‌ای در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که از این شکل نمایان است، افزایش سرعت خوراک‌دهی سبب بهبود چقرمگی آمیخته می‌شود. این



شکل ۹- اثر دور ماریچ بر شکل شناسی نهایی در سرعت خوراک‌دهی 10 kg/h.

در مقایسه با سایر نمونه ها از خود نشان داد.

آمیخته شامل ۶۰ درصد وزنی ABS به دلیل برخورداری از شکل شناسی به هم پیوسته با اندازه فازهای ریز، چقرمگی و استحکام ضربه ای بهتری

## مراجع

1. *Triax Blends of ABS and Polyamide, Bayer Engineering Thermoplastic: Products and Applications*, 1 st ed., 47-51, 1998.
2. Jafari S.H., Pötschke P., Stephan M., Warth H., and Alberts H., Multi Component Blends Based on Polyamide 6 and Styrenic Polymer: Morphology and Melt Rheology, *Polymer*, **43**, 6985-6992, 2002.
3. Jafari S.H., Pötschke P., Stephan M., Warth H., and Alberts H., Thermal Behavior and Morphology of Polyamide 6 Based Multicomponent Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **84**, 2753-2759, 2002.
4. Kitayama N., Keskkula H., and Paul D.R., Reactive Compatibilization of Nylon 6/Styrene-Acrylonitrile Copolymer Blends, Part I: Phase Inversion Behavior, *Polymer*, **41**, 8041-8052, 2000.
5. Kitayama N., Paul D.R., and Keskkula H., Reactive Compatibilization of Nylon 6/Styrene-Acrylonitrile Copolymer Blends, Part 2: Dispersed Phase Particle Size, *Polymer*, **41**, 8053-8060, 2000.
6. Kitayama N., Paul D.R., and Keskkula H., Reactive Compatibilization of Nylon 6/Styrene-Acrylonitrile Copolymer Blends, Part 3: Tensile Stress-Strain Behavior, *Polymer*, **42**, 3751-3759, 2001.
7. Liu X., La Mantia F., and Scaffaro R., Oxazoline-containing Compatibilizers for Polyamide/SAN and Polyamide/ABS Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 449-455, 2002.
8. Lai S. M., Liao Y.C., and Chen T.W., The Preparation and Properties of Compatibilized Nylon6/ABS Blend Using Functionalized Polybutadiene, Part I: Impact Properties, *Polym. Eng. Sci.*, **45**, 1461-1470, 2005.
9. Mohammadian-Gezaz S., Ghasemi I., and Oromiehie A., Study of the Properties of Compatibilized ABS/PA6 Blends Using Response Surface Methodology, *J. Vinyl. Additive Technol.*, **15**, 191-198, 2009.
10. Sundararaj U., Macosko C.W., Rolando R.J., and Chan H.T., Morphology Development in Polymer Blends, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 1814-1823, 1992.
11. Pötschke P. and Paul D.R., Formation of Co-continuous Structures in Melt-Mixed Immiscible Polymer Blends, *Polym. Rev.*, **43**, 87-141, 2003.
12. Utracki L.A. and Shi Z.H., Development of Polymer Blend Morphology during Compounding in a Twin-screw Extruder, Part I: Droplet Dispersion and Coalescence-A Review, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 1824-1833, 1992.
13. Huneault M.A., Shi Z.H., and Utraki L.A., Development of Polymer Blend Morphology during Compounding in a Twin-Screw Extruder, Part IV: A New Computational Model with Coalescence, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 115-127, 1995
14. Cartier H. and Hu G.H., Morphology Development of In-situ Compatibilized Semicrystalline Polymer Blends in a Co-rotating Twin-Screw Extruder, *Polym. Eng. Sci.*, **39**, 996-1013, 1999
15. Huang H.X., Detecting Blend Morphology Development during Melt Blending Along an Extruder, *Polym. Test.*, **26**, 770-778, 2007.
16. Potente H., Bastian M., Gehring A., Stephan M., and Pötschke P., Experimental Investigation of the Morphology Development of Polyblends in Corotating Twin-Screw Extruders, *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 708-721, 2000.
17. Lee J.K. and Han C.D., Evolution of Polymer Blend Morphology during Compounding in a Twin-Screw Extruder, *Polymer*, **41**, 1799-1815, 2000.
18. Bordereau V., Carrega M., Shi Z.H., Utracki L.A., and Sammut P., Development of Polymer Blend Morphology during Compounding in a Twin-screw Extruder, Part III: Experimental Procedure and Preliminary Results, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 1846-1856, 1992.
19. Yin B., Zhao Y., Yu R.Z., An H.N., and Yang M.B., Morphology Development of PC/PE Blends during Compounding in a Twin-screw Extruder, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 14-25, 2007.
20. Canto L.B., Mantovani G.L., Covas J.A., Hage Jr.E., and Pessan L.A., Phase Morphology Development during Processing of Compatibilized and Uncompatibilized PBT/ABS Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **104**, 102-110, 2007.
21. Weber M., Heckman W., and Goedel A., Styrenics/Polyamide-Blends-Reactive Blending and Properties, *Macromol. Symp.*, **233**, 1-10, 2006.