

# بررسی تجربی میزان جذب انرژی و خواص مورفولوژیکی فوم میکروسلولی ABS

احسان صائمی<sup>۱\*</sup>، عبدالحسین فریدون<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان.

۲- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان.

\* سمنان، صندوق پستی ۵۵۷۷۸-۳۵۱۹۷ ehsan\_saemi@yahoo.com

## چکیده

فومهای میکروسلولی (Microcellular Foams) به آن دسته از فومها اطلاق می‌شود که دارای تعداد بسیاری سلولهای ریز در اندازه های حدود ۱۰ میکرون می‌باشند. در این فومها از گاز خنثی (نیتروژن یا دی اکسید کربن) بعنوان ماده پف دهنده استفاده می‌شود. بدلیل کوچکی سلولهای این فومها خواص مکانیکی و فیزیکی برتری (مانند: استحکام خستگی، استحکام به ضربه، خواص حرارتی و دی الکتریکی) حتی نسبت به پلاستیک فوم نشده دارند. در این تحقیق به بررسی خواص مکانیکی فومهای میکروسلولی ABS پرداخته شده است. میزان چگالی نسبی، تعداد سلولها، اندازه سلولها، ساختار فوم و همچنین استحکام کششی و استحکام در برابر ضربه فوم مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که برای بدست آوردن ساختار بهینه، دما و زمان فوم کردن پلیمر باید به دقت تحت کنترل قرار گیرد. این شرایط در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد و زمان ۸۰ ثانیه می‌باشد. همچنین استحکام کششی نمونه های فوم شده نسبت به فوم نشده کاهش و میزان جذب انرژی نمونه های فوم شده به فوم نشده افزایش چشمگیری داشته است.

## کلیدواژگان

فومهای میکروسلولی، فوم ABS، خواص مکانیکی، خواص ساختاری، دی اکسید کربن

## THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ENERGY ABSORBED AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF ABS.

Ehsan saemi<sup>1\*</sup>, abdoilhossein fereidoon<sup>2</sup>

1. Graduate Student, group of Mechanical Engineering, Azad Semnan University, Semnan

2. Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan.

## Abstract

The Microcellular foams are a group of foams which have a lot of micro cells in the size of about 10 microns. In these foams, neutral gases (Nitrogen or Carbon dioxide) are used as a foaming material. Because of their small sizes, these foams have better mechanical and physical properties (such as fatigue strength, yield strength and de-electrical and thermal properties) than non-foamed plastics. In this study, the mechanical properties of polystyrene microcellular foams have been studied. The rate of relative density, the size of the cells, the structure of the foams and yield and fatigue strength have been studied and measured. To achieve an optimal structure, the results show that temperature and time of foaming should be controlled carefully. This condition is in the temperature of about 100° c and the time of 100 second. Also, the tensile strength of the foamed sample has been reduced and the rate of energy absorption has been significantly increased.

## Keywords

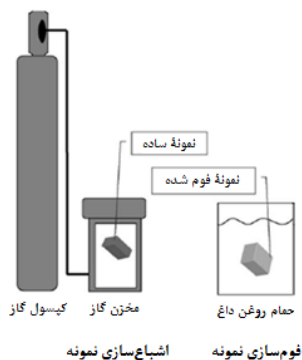
Microcellular foams, ABS, Mechanical properties, Morphological properties, Carbon dioxide

از فومها اطلاق می‌شود که توسط جوانه زنی گاز در ترموپلاستیکها ایجاد می‌شوند و دارای تعداد بسیار زیادی از سلولهای ریز (معمولا بیش از ۱۰<sup>۸</sup> سلول در سانتیمتر مکعب) می‌باشند که قطر سلولها از مرتبه ۱۰ μm می‌باشد [۱]. اساس این پدیده این است که اگر به اندازه کافی حبابهایی کوچکتر از ترکهای بحرانی در قطعه ایجاد شوند، چگالی بدون از دست دادن خواص مکانیکی مطلوب کاهش خواهد یافت. به این ترتیب پلاستیکهای میکروسلولی می‌توانند بدون لطمه به محیط زیست و بدون کاهش خواص مکانیکی، جایگزین فومهای سنتی یا حتی پلاستیکهای فوم نشده گردند. ضمن اینکه برخی از خواص را بهبود می‌بخشند. یک قطعه تولید شده و فوم شده با روش میکروسلولی می‌تواند تا ۷۰ درصد صرفه جویی در ماده اولیه داشته باشد. ضمن اینکه خواصی نظیر استحکام به ضربه و عایق بودن پلیمر فوم شده بهبود می‌یابد. اگر چه فومهایی با چگالی نسبی ۰/۱ تا ۱ با این روش تولید

## ۱- مقدمه

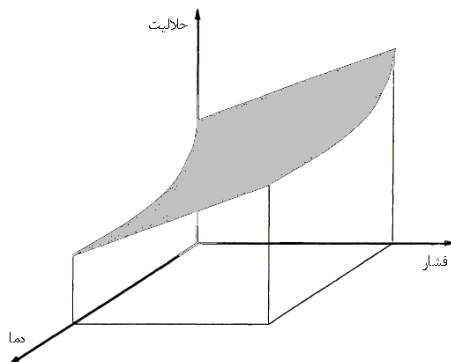
درسال های اخیر باتوجه به افزایش جمعیت و کاهش منابع طبیعی و همچنین صرفه اقتصادی و سود جویی بیشتر سبب شده تا محققان و پژوهشگران دست به تولیدفوم های میکرو سلولی بزنند. اهمیت کاهش مصرف منابع طبیعی با توجه به محدودیت این منابع قابل توجه می‌باشد. روش تولید فوم با ایجاد حبابها یکی از روشهای کاهش مواد مصرفی می‌باشد به شرطی که شرایط کاری را تامین نماید. تحقیقات نشان داده است که یک قطعه ساخته شده از پلاستیکی های فوم شده به روش سنتی، خواص مکانیکی بسیار ضعیف تری نسبت به یک قطعه ساخته شده از پلاستیک فوم نشده دارد [۱-۳]. بنابراین برای کاربردهایی که نیاز به استحکام کششی، استحکام به ضربه، چقرمگی، مقاومت به شکست خوب و سفتی مناسب وجود دارد، استفاده از فومهای سنتی پیشنهاد نمی‌شود. فومهای میکروسلولی به آن دسته

تا یک ورق نازک پلاستیکی اشباع شود. این زمان به جنس پلاستیک، قابلیت نفوذ گاز استفاده شده در پلاستیک، ضخامت، دمای اشباع و فشار گاز بستگی دارد.



شکل ۱ مراحل تولید فوم به روش توده ای حالت جامد [۲]

شکل ۲ نمودار حلالیت - دما - فشار را نشان می دهد [۲]. همانطور که مشاهده می شود حلالیت گاز با ازدیاد فشار اشباع گاز و با کاهش دما افزایش می یابد.



شکل ۲ نمودار حلالیت-دما-فشار [۲]

در فرآیند شکل ۱، پس از اشباع نمونه در فشار بالا شیر خروج گاز باز شده و فشار مخزن بصورت آبی به فشار محیط افت پیدا می کند. سپس نمونه در داخل ظرف حاوی گلیسرول که دمای آن تحت کنترل است انداخته می شود. این دو ناپایداری ترمودینامیکی، افت فشار و افزایش دما، دو نیروی رانش اصلی برای جوانه زنی سلولها هستند [۷].

اگرچه دمای بالاتر نفوذ گاز در پلاستیک را شتاب می بخشد، ولی با توجه به اینکه حلالیت گاز در پلیمر با دما رابطه معکوس دارد و در دمای اتاق مقدار بیشتری گاز حل خواهد شد لذا مرحله اشباع معمولاً در دمای اتاق انجام می شود. پس از آنکه پلیمر اشباع گردید آنرا از مخزن تحت فشار بیرون آورده تا در مرحله بعد فوم شود. در این مرحله نمونه اشباع شده تا دمای فوم شدن گرم می شود. این دما کمتر از دمای گذار شیشه‌ای پلیمر خالص است که برای پلیمر ABS تقریباً برابر ۹۵ درجه می باشد. در طی این مرحله تعداد بسیاری هسته تشکیل شده و رشد می کنند. رشد حبابها با نگهداری در دمای فوم شده با طول زمانی مشخص کنترل می شود که به آن زمان فوم کردن می گویند.

غلظت لحظه ای گاز حل شده در پلیمر توسط رابطه زیر بدست می آید [۱۱]:

شده اند، اما به نظر می رسد که فومهایی با چگالی نسبی ۰/۳ تا ۰/۷ مقرون به صرفه تر هستند [۴]. از طرفی در تولید فومهای سنتی اغلب از کلورو فلورو کربن های (HCFCs و CFCs) مضر برای لایه ازن و هیدروکربن های قابل اشتعال، بعنوان عوامل تولید کننده حباب استفاده می شود. در حالی که در تولید فومهای میکروسلولی بعلاوه استفاده از گازهای خنثی (نیتروژن و دی اکسید کربن) مضرات مذکور وجود نخواهد داشت.

این مواد در بسیاری از صنایع از قبیل بسته بندی، خودروسازی، لوازم خانگی، اسباب بازی، هوافضا، اعضاء مصنوعی و صنایع پزشکی و غیره تاثیر بسزایی دارد.

خواص ساختاری و مکانیکی بهبود یافته، کاهش تناژ (برای تعداد مشخصی قطعه) و زمان تزریق و کاهش نیروی کلمپ، کاهش قیمت و وزن محصول و امکان تولید فوم با ضخامت بسیار کم از دیگر مزایای فومهای میکروسلولی می باشد [۵].

ایده تولید حبابهای بسیار ریز توسط جوانه زنی گاز در پلاستیکها ابتدا توسط مارتینی (Martini) در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) در اوایل دهه ۱۹۸۰ بعنوان راهی برای کاهش قیمت بسیاری از پلاستیکهای تولید دسته ای، ارائه گردید [۱]. روش تولید توده ای فومهای میکروسلولی، تئوری های تشکیل و رشد حبابها و نرخ جوانه زنی در سیستم فوق اشباع گاز - پلیمر توسط مارتینی بررسی شد [۱]. وی همچنین رشد سلول و اندازه آن بعنوان تابعی از زمان را بررسی نمود [۶]. کلتن نیز جوانه زنی در ترموپلاستیکهای بی شکل و حضور عامل جوانه زا را مطالعه کرد [۷]. کومار سینتیک تولید قطعات میکروسلولی با هندسه مشخص و ساختار میکروسلولی را بررسی کرد [۳]. تحقیقات زیادی بر روی فومهای میکروسلولی تولید شده به روش توده ای بین سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ صورت پذیرفت. با توجه به اهمیت فرآیندهای معمول پلاستیک مانند اکستروژن و قالبگیری تزریقی، کار بر روی فرآیند تولید فوم میکروسلولی به روش اکستروژن توسط پارک [۲] آغاز شد و با تحقیق به روش [۸ و ۹] ادامه یافت. در این تحقیقات نحوه ایجاد مخلوط یکنواخت، هسته زایی و رشد سلولها برای بدست آوردن چگالی پایین بررسی و آزمایش رشد و تولید صنعتی فومهای میکروسلولی تجربه گردید.

## ۲- هدف تحقیق

هدف از انجام تحقیق بررسی تجربی خواص ساختاری و مکانیکی فوم میکروسلولی می باشد. در این مقاله تحقیق بر روی فوم میکروسلولی ABS (Abs) انجام شده است. ABS در صنایع مختلف مورد استفاده می باشد مانند: بدنه کامپیوتر، اجزا داخلی خودرو، اثاث و لوازم منزل و مصالح ساختمانی. در بسیاری از این کاربردها می توان فومهای میکروسلولی ABS را جایگزین ABS نمود. هر چند در خصوص خواص ساختاری و همچنین فرآیند ساخت فومهای میکروسلولی کارهای زیادی انجام شده است ولی تا کنون در خصوص خواص مکانیکی این نوع فومها گزارش دقیق منتشر نشده است [۱۰].

## ۳- تئوری

فوم کردن میکروسلولی بطور کلی شامل سه مرحله می باشد: جذب گاز، جوانه زنی و رشد سلول. در روش توده ای (Batch) در مرحله اول نمونه پلیمری توسط گاز خنثی و با فشار بالا در یک مخزن تحت فشار همانند شکل ۱ اشباع می شود. با گذشت زمان مولکولهای گاز در پلیمر نفوذ کرده تا پلیمر از گاز اشباع گردد. پس از اشباع جذب متوقف شده و توزیع گاز درون قطعه یکنواخت می شود. بطور معمول چندین ساعت تا چندین روز زمان لازم است

در این تحقیق ۶۰ نمونه مربعی از جنس ABS به ابعاد ۳\*۲۰\*۴۰ mm برای بررسی ساختار فوم و تست کشش مطابق استاندارد ASTM-D638-III به روش توده ای تولید شد و مورد استفاده قرار گرفت.

برای انجام آزمایشها سامانه شکل ۱ ساخته و نصب شد. یک ترازی دقیق با ریزسنجی ۰/۰۰۰۱ گرم برای اندازه گیری چگالی به روشن نیوتن و یک دستگاه تست کشش SANTAM (STM 400) برای اندازه گیری استحکام کششی مورد استفاده قرار گرفت. سپس از مقطع نمونه های آماده شده، توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل PhiliAbs XI30 برای بررسی ساختاری فوم (اندازه و تعداد سلولها) تصویربرداری صورت گرفت.

#### ۵- روش انجام آزمایش

در فرآیند فوم کردن میکروسلولی چهار متغیر مختلف برای کنترل فرآیند وجود دارد که عبارتند از: زمان اشباع، فشار اشباع، زمان فوم کردن و دمای فوم کردن. پارامترهای متغیر در این تحقیق دمای فوم کردن و زمان فوم کردن بودند. ابتدا نمونه تحت آزمایش در مخزن دی اکسید کربن با فشار ۹MPa قرار گرفت. پس از مدت قابل قبول (اندازه گیری شده) با اطمینان از اشباع، فشار مخزن با باز کردن شیر به طور لحظه ای به صفر کاهش داده شد. سپس نمونه در حمام گلیسرول در دمای تعیین شده قرار گرفت و زمان نگهداری نیز اندازه گیری شد. پس از فوم شدن چگالی آن توسط روش ارشمیدس اندازه گیری شده و در ادامه پس از انجام آماده سازی های مورد نیاز جهت تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونیکی ساختار سطح نمونه فوم شده مشاهده گردید و تعداد سلولها و اندازه آنها به دست آمدند.

زمان لازم برای اشباع نمونه مطابق فرمول (۴)  $(D=19.2 \times 10^{-8} \text{ CM}^2/\text{S})$  برابر با ۸ ساعت می باشد [۱۵]. برای بدست آمدن زمان اشباع بصورت تجربی در زمانهای مختلف وزن نمونه های در حال اشباع شدن خوانده شده و زمان لازم برای اشباع نمونه ها و همچنین درصد افزایش وزن نمونه ها به دست آمد. برای انجام آزمایشها فشار اشباع ثابت گرفته شد و زمان اشباع نیز ۲۴ ساعت انتخاب شد تا نمونه ها کاملا اشباع شوند. به این ترتیب دو پارامتر دمای فوم کردن و زمان فوم کردن بررسی شدند. برای بررسی این دو پارامتر دماهای تنظیم شده حمام گلیسرول عبارتند از: ۱۰۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ درجه سانتیگراد و زمان های نگهداری (غوطه وری نمونه ها) در هر دما عبارتند از: ۱۰۰، ۶۰، ۸۰، ۴۰ و ۱۲۰ ثانیه. بنابراین تعداد سطوح آزمایش ۲۰ عدد بوده است که در هر سطح آزمایش حداقل سه نمونه مربعی و دمبلی مورد آزمایش قرار گرفتند. بعنوان مثال ۱۵ نمونه مربعی و ۱۵ دمبلی اشباع شده در دمای ۶۰ درجه قرار داده شدند و سه نمونه مربعی و سه نمونه دمبلی شکل دیگر پس از ۴۰ ثانیه، سه نمونه مربعی و سه نمونه دمبلی شکل دیگر پس از ۶۰ ثانیه، سه نمونه مربعی و سه نمونه دمبلی شکل باقیمانده پس از ۸۰ ثانیه، سه نمونه مربعی و سه نمونه دمبلی شکل باقیمانده پس از ۱۰۰ ثانیه و بالاخره سه نمونه مربعی و سه نمونه دمبلی شکل باقیمانده پس از ۱۲۰ ثانیه از حمام ۶۰ درجه خارج شدند. در سایر دماها نیز به همین ترتیب عمل شد. در نهایت ۶۰ نمونه مربعی و ۶۰ نمونه دمبلی شکل فوم شده بدست آمد. چگالی این نمونه ها بدست آمد و نمودار چگالی آنها نسبت به چگالی نمونه فوم نشده در زمان و دمای مختلف (نمودار دانسیته نسبی) رسم شد. همچنین نتایج آزمون کشش و ضربه در زمان و دماهای مختلف رسم گردید.

#### ۶- نتایج و بحث

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \exp\left[-\frac{D(2m+1)^2 \pi^2 t}{h^2}\right] \quad (1)$$

که در آن D قابلیت نفوذ بر حسب  $(\text{cm}^2/\text{s})$ ،  $M_t$  جرم پس از زمان t بر حسب (g)، h ضخامت نمونه بر حسب (cm)،  $M_\infty$  جرم تعادلی پس از زمان بی نهایت بر حسب (g) و t زمان سپری شده بر حسب (s) می باشد. حداکثر مقدار گاز حل شده در پلیمر را که به فشار و دمای سیستم بستگی دارد، می توان توسط قانون هنری (Henry) تخمین زد [۱۲].

$$C_s = H \times P_s \quad (2)$$

که  $C_s$  قابلیت انحلال گاز در پلیمر  $(\frac{\text{CM}^3}{\text{S}})$ ، H ثابت هنری  $(\text{STP})/(\text{g-pa})$  و  $P_s$  فشار اشباع (Pa) می باشد. H تابعی از دما می باشد که بصورت زیر بیان می شود [۱۲]:

که در آن R ثابت گاز  $(\text{J/K})$ ، T دما (K)،  $H_0$  ضریب حلالیت  $(\text{STP})/(\text{g-pa})$  و  $\Delta H_s$  گرمای مولار جذب (J) می باشد که در اکثر سیستم های گاز - پلیمر منفی می باشد. می توان از گازهای بی اثر مختلفی استفاده نمود اما استفاده از نیتروژن و دی اکسید کربن رایج تر است چون حلالیت آنها در پلیمرها بالاست و هزینه آنها نیز کم می باشد. گاز دی اکسید کربن نرخ حلالیت و نفوذ متفاوتی با نیتروژن دارد. در اغلب مواد نرخ نفوذ CO2 حدود ۲۰٪ بیشتر از نیتروژن است. بطوریکه در اغلب سیستمهای میکروسلولی، دس اکسید کربن جذب شده از لحاظ وزنی ۳/۵ برابر نیتروژن می باشد [۱۳]. همانطور که قبلا اشاره شد نرخ نفوذ گاز به داخل پلیمر بسیار پایین است. زمان مورد نیاز برای نفوذ گاز در پلیمر توسط رابطه زیر تخمین زده می شود [۴]:

$$t \approx \frac{h^2}{D} \quad (4)$$

که در آن h ضخامت قطعه بر حسب cm و D ضریب نفوذ بر حسب  $\text{CM}^2/\text{S}$  می باشد. (مقدار R را می توان بصورت تجربی بدست آورد و یا از جدول موجود استخراج نمود). در اینصورت t بر حسب ثانیه بدست می آید. برای بررسی تعداد سلولها از روش تعداد سلول در واحد حجم پلیمر فوم شده، تعداد سلول ایجاد شده در واحد به آن چگالی سلول می گویند و می توان آنرا از فرمول زیر بدست آورد [۲]:

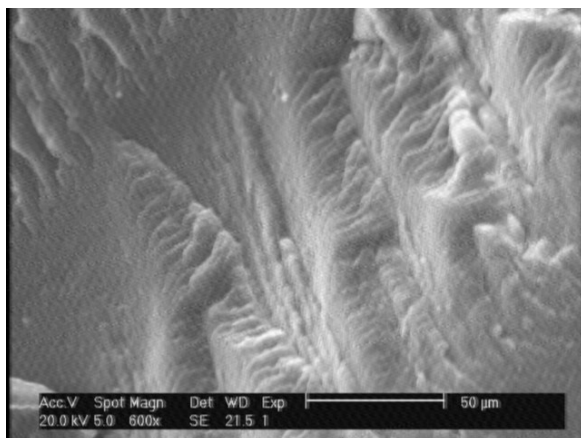
$$N = \left(\frac{n}{l^2}\right)^{3/2} \frac{\rho_p}{\rho_F} \times 10^{12} \quad (5)$$

که در آن n تعداد حبابها در سطحی با ابعاد  $l \times l$  (برابر حسب میکرون) می باشد.  $\rho_p$  چگالی پلیمر فوم نشده و  $\rho_F$  چگالی فوم بدست آمده می باشد. اندازه سلولها از تصویر میکروسکوپ الکترونی قابل اندازه گیری می باشد. در صورت یکنواختی توزیع اندازه ها می توان به راحتی اندازه سلولها را با خطای قابل قبولی برداشت نمود در صورت تنوع اندازه ها می توان از رابطه زیر برای محاسبه قطر حبابها استفاده نمود [۱۴]:

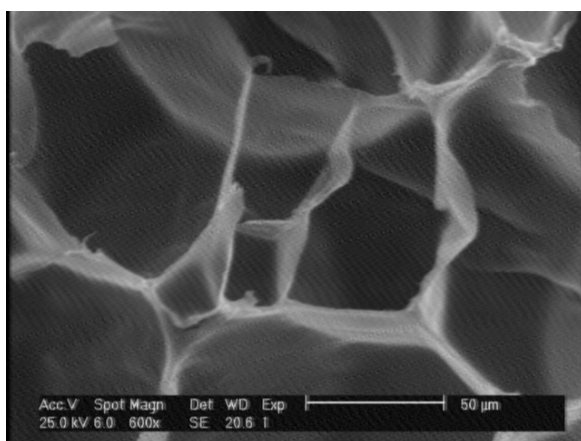
$$d = \sqrt[3]{\frac{6(\rho_p - \rho_F)}{\pi N \rho_F}} \quad (6)$$

که N از رابطه (۵) بدست می آید.

#### ۴- مواد موردآزمون و تجهیزات



شکل ۵ پلیمر فوم نشده ABS

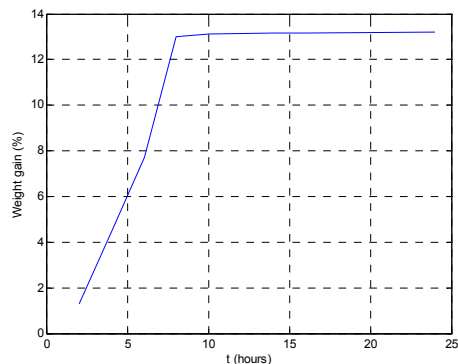


شکل ۶ ساختار نمونه فوم شده ABS در حالت بهینه

برای تعیین چگالی سلول، نمونه های فومی به مدت ۳۰ دقیقه در نیتروژن مایع غوطه ور شده و سپس شکسته شدند. سطوح شکسته شده با طلا پوشش داده شوند. در نهایت به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی با بزرگ نمایی ۲۰۰۰ برابر و ولتاژ ۲۵kV از سطح مقطع عرضی نمونه ها عکس برداری شد. چگالی سلول ها با شمارش تعداد سلول های موجود در یک عکس از معادله ۵ تعیین میشود.

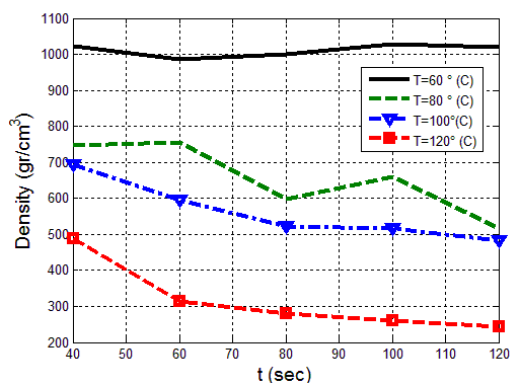
قابل ذکر است که ابعاد متوسط سلول ها نیز با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و توسط نرم افزار پردازش تصویر microstructure measurement تعیین شدند (شکل ۷).

زمان لازم برای اشباع نمونه ها توسط گاز در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار مشاهده می شود زمان لازم برای اشباع تقریباً ۸ ساعت می باشد که با عدد به دست آمده از فرمول ۴ مطابقت دارد این نمودار همچنین نشان می دهد که حداکثر افزایش نسبی وزن نمونه تقریباً ۰/۱۳ وزن نمونه است.



شکل ۳ زمان لازم برای اشباع نمونه ها

در شکل ۴ نتایج چگالی قطعات فوم شده بر حسب دمای فوم کردن و زمان فوم کردن داده شده است.



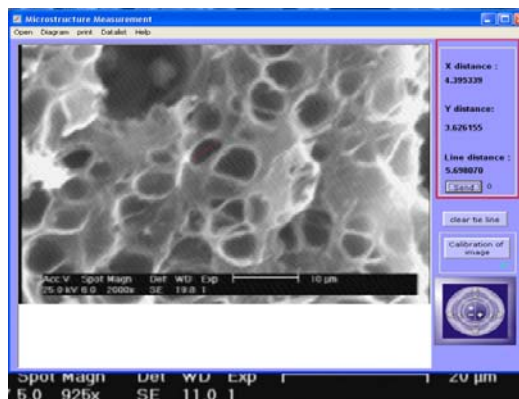
شکل ۴ نمودار چگالی نسبی- زمان فوم ps

همانطور که از نمودار چگالی نسبی شکل ۴ مشاهده می شود بیشترین میزان فوم شدگی در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد و زمان ۱۲۰ ثانیه اتفاق افتاده است. اما از لحاظ انعطاف پذیری در روش تولید در دمای ۱۲۰ درجه کنترل فرآیند کمی مشکل است. زیرا همانطور که ملاحظه می شود چگالی قطعه با افزایش دما کاهش می یابد، ولی اعوجاج نمونه در دمای ۱۲۰ درجه قابل ملاحظه است. از طرفی نمودار چگالی نسبی نشان می دهد که در دمای ۱۰۰ درجه و زمان ۸۰ ثانیه نیز می توان فومی با درصد چگالی نسبی پایین بدست آورد به گونه ای که قابلیت کنترل بهتری در فرآیند حاصل می شود. نتایج نشان می دهند که حجم نمونه ها تا ۴ برابر افزایش یافته است (حجم نمونه فوم شده به حجم نمونه فوم نشده).

شکل های ۵ تا ۶ نمونه های انتخاب شده از تصاویر SEM با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر را نشان می دهد به طوری که نمودار ۵ مربوط به پلیمر فوم نشده و نمودار ۶ مربوط به نمونه بهینه فوم شده می باشد.

جدول ۱- مقایسه نتایج آزمون کشش پلیمر و فوم ABS

خواص	پلیمر Abs	فوم Abs
ماکزیمم تنش نهایی (Mpa)	۳۷,۲۲۴	۱۰,۴۷۱۹
تنش تسلیم (Mpa)	۲۲,۸۷۷۶	۵,۹۳۳۵
مدول الاستیسیته (Mpa)	۳۵۹,۸۵۵۶	۱۰۷,۵۹۸۳



شکل ۷ بررسی اندازه سلول فوم Abs

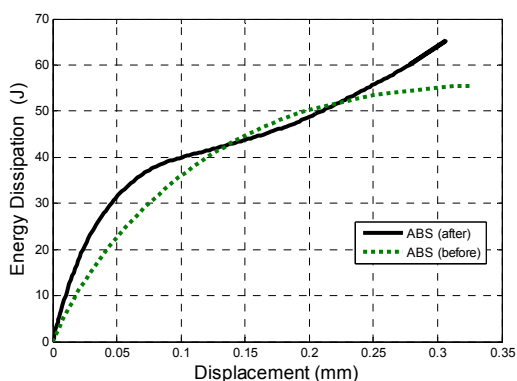
در شکل ۶ مشاهده می گردد تعداد حفره های موجود در طول خط مقایسه تقریباً برابر ۱۰ حفره میباشد که این به معنای طول مناسب سلولهای فوم تولیدی میباشد.

اندازه نشان داده شده انتخابی در شکل ۷ (۵,۶μ) نیز بیانگر اندازه سلول فوم Abs می باشد که اندازه این سلول کمتر از اندازه ترکهای بحرانی در پلاستیک (۱۰μ) می باشد که این امر باعث جلوگیری از تمرکز تنش در فوم های تولیدی با این اندازه سلولی می شود.

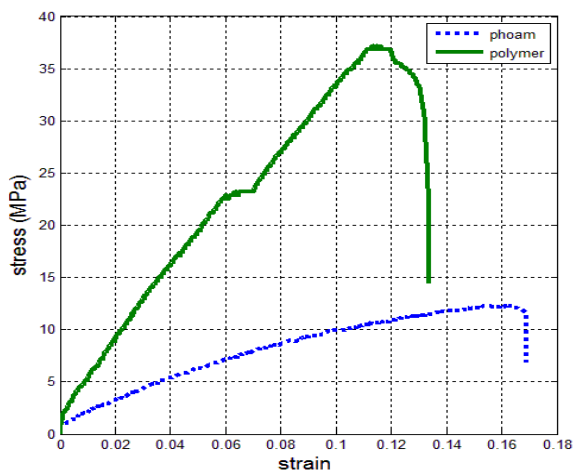
در شکل ۸ منحنی تنش - کرنش پلیمر ABS و فوم ABS بایکدیگر مقایسه شده است. همانطور که از شکل مشاهده میگردد مقادیر تنش تسلیم و استحکام کششی فوم متناسب با میزان کاهش چگالی کاهش یافته است و این به معنای کاهش استحکام فوم پلیمری نسبت به پلیمر فوم نشده میباشد. ضمناً نتایج آزمون کشش پلیمر ABS و فوم ABS در جدول ۱ مشاهده میگردد.

در مورد استحکام به ضربه تصور می شود که با افزایش مقاومت در برابر رشد ترک توسط حفره های میکرونی که از ترک بحرانی کوچکترند و سبب رشد ترک نمی شوند، استحکام به ضربه بهبود می یابد.

هر چند که استحکام کششی فوم کاهش می یابد ولی با افزایش درصد افزایش طول نمونه های فوم شده تحت آزمون کشش، سطح زیر منحنی تنش - کرنش افزایش یافته و انرژی جذب شده توسط نمونه ها در آزمایش ضربه مطابق شکل ۹ افزایش می یابد. درصد افزایش جذب انرژی برای فوم ABS نسبت به پلیمر اولیه ۱۸ درصد می باشد. همچنین حفره های میکرونی سبب کند شدن ترک ایجاد شده در پلیمر گشته و جلو رشد ترک را می گیرد.



شکل ۹ مقایسه میزان جذب انرژی فوم و پلیمر ABS



شکل ۸ منحنی تنش - کرنش پلیمر ABS و فوم ABS

[10] Kumar, V., Nedella, K.V., Handbook of Polymer Foams, Chapter 11, RAPRA Technology, UK 2004.

[11] Crank, J. and Park, G.S., Diffusion in Polymers Academic Press Inc., Newyork.N.Y, 1968.

[12] Van krevelen, D.w., Properties of Polymers, Elsevier Scientific Publishers Company, 1990.

[13] Hwang, Y.D., cha, S.W., polymer testing 21,pp269-275,2002.

[14] Matuana, L., park, C.B., Balatinez, j.j., polymer Eng. And Science, july 1997,vol.37,no. 7 , pp1137-1147

[15] Kumar, V., Weller, j., Murray, R., Microcellular foams, ANTEC 95,pp2202-2207

## ۷- نتیجه گیری

بررسی ساختاری و مکانیکی بر روی نمونه های فوم شده میکروسلولی ABS به روش توده ای انجام گرفت. با توجه به اثر قابل توجه ساختار سلولی بر خواص نهایی محصول، اندازه سلول سلولهای ایجاد شده حائز اهمیت می باشد. با عنایت به کاربرد گسترده ABS در صنایع مختلف خصوصاً خودروبی بررسی پدیده فوم میکروسلولی بر روی این ماده انجام گرفت و نتایج ذیل بدست آمد:

۱. با کنترل دمای فوم شدگی و زمان فوم شدگی میتوان به محدوده وسیعی از چگالی نسبی با خواص مکانیکی مطلوب دست یافت.
۲. فشار ۹۰ بار، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و زمان ۸۰ ثانیه شرایط بهینه برای تولید فوم میکروسلولی ساده ABS میباشد.
۳. استحکام کششی فوم میکروسلولی تولیدی نسبت به پلیمر فوم نشده به مراتب پایین تر است. اما در قیاس با پلیمر معمولی نتایج رضایت بخش است.
۴. استحکام به ضربه فوم های پلیمری و جذب انرژی آن به مراتب بالاتر از فوم های سنتی رایج و پلیمر فوم نشده میباشد.
۵. ابعاد حباب های فوم های تولیدی، به شدت تحت تاثیر دما و زمان فوم شدگی میباشد.
۶. محور شدن سلولها (که می تواند عمدتاً به دلیل فرار گاز از درون قطعه به فضای محیط باشد) می تواند تعداد سلولها را کاهش داده و در عین حال چگالی قطعه فوم شده را افزایش دهد.
۷. با افزایش دما، میزان کاهش چگالی قابل توجه بوده لیکن با افزایش بیش از حد دما و زمان چگالی افزایش می یابد. همین پدیده برای تعداد سلولها می باشد.

## مراجع

- [1] Martini, J.E., The production and Analysis of Microcellular Form, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering, MIT, January 1981.
- [2] Park, C.B., Baldwin, D.F. and Suh, N.P., SME, Cellular and Microcellular Materials, MD-Vol. 53, PP. 109- 124, 1994.
- [3] Kumar, V. and Suh,N.P., SPE ANTEC Tech. Papers, Vol.39,pp.715-718,1993.
- [4] Cole, T.J., Manufacturability of Microcellular Foamed Plastics, Ph.D. thesis in Mechanical Engineering, MIT, Juan 1991.
- [5] Hyde, L.J., Kishbaugh, L.A. (Trexel Inc.), Katterman, J.A. (Delphi Automotive Systems Corp.), SAE 2002 World Congress Detroit, Michigan, Martini 2002.
- [6] Martini, J.E., waldman, F.A. and Suh, N.P., ANTEC 82,28674.
- [7] Colton, J.S. and Suh,N.P., Pplym. Eng. And Sci., Mid-Apr., Vol 27,NO.7,pp. 485-499,1987.
- [8] Park, C.B., Behraves, A.H., Jaani, S. and Venter, R.D., Recent Advances in Polymeric Foam, Chapter 8, Khemani, K., ed., ACS, Washington, pp. 115-129(1996).
- [9] Behraves, A.H., Park, C.B., and Venter R.D., "Challenge to Production of low-Density, Fine cell HDPE Foams using CO2," Cellular Polymers. Vol.17,NO.5,pp.309-326(1998).