

## اسفنجهای پلی اتیلن

Investigation of the Effect of Formulation and Process Variables on Polyethylene Foams Preparation

مهدی باریکانی<sup>۱\*</sup>، مهرآسا سرائی<sup>۲</sup>

۱- تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۱۵/۱۴۹۶۵-۲، دانشگاه علوم و فنون مازندران

دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳

### چکیده

اسفنجهای پلی اتیلنی دارای خواص بی نظیری نسبت به سایر اسفنجهای متداول اند که از جمله این خواص می توان به مقاومت سایشی، مقاومت شیمیایی، عایق بودن الکتریکی و گرمایی و قابلیت جذب آب کم اشاره کرد. خواص خوب و قیمت ارزان این اسفنجها باعث توسعه و گسترش روزافزون مصرف آنها در کاربردهای گوناگون مانند صنایع بسته بندی، خودرو، نظامی، دریایی، کابل سازی و ورزشی شده است. در این پژوهش با استفاده از پلی اتیلن سبک و سنگین داخلی و با کمک روش قالبگیری فشاری اسفنجها تهیه و نقش متغیرهای فرمولبندی مانند عوامل پفزا، ایجاد پیوند عرضی، کلسیم کرینات، روی استئارات و روی اکسید و همچنین، نقش متغیرهای فرایند مانند گرما، زمان و فشار روی چگالی و اندازه سلول بررسی شده است.

واژه های کلیدی: اسفنج، پلی اتیلن، متغیرهای فرمولبندی، متغیرهای فرایند، چگالی و اندازه سلولها

Key Words: foam, polyethylene, formulation variables, process variables, density and size of cells

### مقدمه

پلی استیرن، پلی اولفینها می توانند بدون تغییر شکل و پاره شدن سلولها تا میزان ۸۰ درصد فشرده شوند [۶] و این خاصیت، بکارگیری آنها را در صنایع نقلیه به عنوان جاذب ضربه در قاب درها و سپر توجیه می کند. اسفنجهای پلی اولفینی به روشهای مختلفی مانند قالبگیریهای تزریقی، فشاری و اکستروژن [۹] و با استفاده از عوامل پفزای مختلف اعم از فیزیکی یا شیمیایی تهیه می شوند [۱۰] که با توجه به ساختار سلولی و چگالی در زمینه های مختلف صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. این اسفنجها را با توجه به فرایند ساخت به سه دسته اسفنجهای اکستروژن شده، اسفنجهای شبکه ای و اسفنجهای قالبگیری شده تقسیم می کنند. اسفنجهای پلی اولفینی اکستروژن شده را در سال ۱۹۵۸ شرکت شیمیایی داو، اسفنجهای پلی اتیلن شبکه ای در اواسط دهه ۱۹۶۰

پلی اولفینها موادی چقرمه، انعطاف پذیر و مقاوم در برابر سایش و عوامل شیمیایی اند و اسفنجهای تهیه شده از آنها نیز همین خواص را دارند. اگر این دسته از اسفنجها جزء اسفنجهای نیمه سخت محسوب شوند، پلی اولفینها در مقایسه با یورتانها از استحکام بیشتری برخوردارند. اغلب اسفنجهای اولفینی دارای ساختار سلولی بسته اند و داشتن خواصی چون سبکی، قابلیت شناوری، دوام خوب، مقاومت شیمیایی و عایق بودن گرمایی و صوتی موجب می گردد تا از آنها در صنایعی چون اتومبیل سازی، حمل و نقل، ساختمانی، ورزشی، پزشکی، دریایی و بسته بندی استفاده شود [۱-۵]. برخلاف اسفنجهای

\*ستول مکانات، پیام نگار: M.Barikani@proxy.ipi.ac.ir

هسته‌زها ضروری است. این مواد معمولاً پودرهای میکرونیزه آلی، معدنی یا فلزی‌اند.

هسته‌زها عموماً با عوامل پفزای فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند و عوامل پفزای شیمیایی خود معمولاً پودرهای میکرونیزه‌اند که به عنوان عامل هسته‌ز نیز عمل می‌کنند.

#### مواد افزودنی

بکارگیری مواد افزودنی در تهیه اسفنجها نیز از اهمیت زیادی برخوردار است و در بسیاری موارد تولید قطعات پلیمری بدون وجود این مواد امکان‌پذیر نیست. در تولید اسفنجهای پلی‌اولفینی نیز استفاده از برخی مواد افزودنی اجتناب‌ناپذیر است. این مواد را به عنوان آسان‌کننده یا کنترل‌کننده مراحل تولید و بهبود دهنده خواص فیزیکی - مکانیکی محصول بکار می‌برند که شامل روان‌کننده‌ها، پایدارکننده‌ها از جمله: پایدارکننده در برابر UV، گرما، اوزون، مواد اکسند، آتش، باکتری و قارچ، کاهش دهنده الکتریسته ساکن، مواد پرکننده و تقویت‌کننده، مواد رنگی و مواد رهاکننده‌اند.

هدف از اجرای این پژوهش تولید اسفنجهای پلی‌اتیلن سبک و سنگین با استفاده از مواد تولیدی داخل کشور بوده است. با بکارگیری پلی‌اتیلنهای تولیدی پتروشیمی بندر امام و با استفاده از روش قالبگیری، اسفنجهای سخت و نیمه سخت با ساختار سلولی بسته تهیه و خواص آنها بررسی و نقش متغیرهای فرمولندی و فرایند از جمله، نقش عامل پف‌دهنده و اثر عامل ایجاد پیوندهای عرضی، روی استئارات، کلسیم کربنات، روی اکسید، گرما، زمان و فشار مطالعه شده است.

#### تجربی

##### مواد

مشخصات مواد مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

##### تهیه آمیزه‌ها

عمل اختلاط مواد در بتوری انجام شد و تهیه نمونه‌ها از طریق قالبگیری فشاری صورت گرفت [۱۲، ۱۴، ۱۵]. عامل پفزای مورد استفاده در شرایط کنترل شده دمایی قادر به آزادسازی گاز است که می‌تواند مذاب پلیمری را به صورت اسفنج درآورد. پس از سرد شدن پلی‌اتیلن، گاز ایجاد شده در اثر تجزیه عامل پف‌دهنده در درون سلولها محبوس می‌شود و سیستم به صورت اسفنج باقی می‌ماند. طرح ۱ این مطلب را نشان می‌دهد [۲].

را ژاپنیا و اسفنجهای پلی‌اتیلن تهیه شده به روش قالبگیری را در اوایل دهه ۱۹۷۰ شرکت آلمانی BASF تولید و به بازار عرضه کردند.

از میان پلی‌اولفینها، پلی‌اتیلن برای تولید اسفنج مورد توجه بیشتری قرار دارد که دلیل آن چگالی کم، فرایندپذیری خوب، خواص مکانیکی مناسب و قیمت ارزان است. به واسطه ماهیت ناقطبی پلی‌اتیلن میزان جذب آب آن نیز در حد پایینی است. اغلب اسفنجهای شبکه‌ای به روش شرکتهای ژاپنی سکی سو و فورااکاوا تهیه می‌شوند [۱۱]. شرکت شیمیایی کانگافوجی در ژاپن نیز یک فرایند شیمیایی برای شبکه‌ای کردن و تولید اسفنج پلی‌اتیلن ابداع کرده است [۱۲، ۱۳].

معمولاً برای تهیه این اسفنجها از فرایند همزمان انبساط و شبکه‌ای کردن استفاده می‌شود و برای این منظور یک عامل ایجاد پیوندهای عرضی از خانواده پروکسیدها انتخاب می‌گردد. استفاده از شیوه پرتودهی پرتوزی نیز برای ایجاد پیوندهای عرضی مرسوم است، اما به دلیل پیچیدگیهای خاص این روش کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی در فرایند تولید محصولات پیوسته همچون روکش کابلها از این فن استفاده می‌شود.

بطور کلی، تشکیل اسفنج و فرایند انبساط دارای سه مرحله است [۸-۶] که عبارتند از:

- ۱- تشکیل حباب،
- ۲- رشد حباب و
- ۳- پایداری حباب.

فرایند انبساط به عنوان فرایند اصلی تولید اسفنجها شناخته می‌شود و برای اجرای آن استفاده از یک عامل پف‌دهنده و مواد دیگر ضروری است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

#### عوامل پفزا

برای تولید اسفنجها می‌توان از عوامل پفزای گوناگون بهره جست. این عوامل با معیارهای متعددی طبقه بندی می‌شوند که بهترین آنها، طبقه بندی بر اساس مکانیسم آزادسازی گاز به وسیله این ترکیبات است. بر همین مبنا عوامل پف‌دهنده دو دسته شیمیایی و فیزیکی تقسیم بندی می‌شوند. عوامل پفزای فیزیکی در یک فرایند صرفاً فیزیکی تولید گاز می‌کنند. این فرایند فیزیکی می‌تواند در نتیجه کاهش فشار یا افزایش دما باشد. مواد پفزای فیزیکی اغلب مایعات با دمای جوش پایین‌اند، هرچند که در برخی موارد برای تولید اسفنجهای پلیمری از تزریق مستقیم گاز در داخل مذاب پلیمر هم استفاده می‌شود.

#### هسته زها

برای تولید ساختار اسفنجی یکنواخت با سلولهای ریز استفاده از

نام ماده	مشخصات ماده	منبع تهیه	مورد استفاده
پلی اتیلن سنگین	نام تجاری شاخص جریان مذاب چگالی	پتروشیمی بندر امام	ماده پلیمری
	LBX۰۳۵ $0/8-1 (g/10min)$ $0/952-0/955 (g/cm^3)$		
پلی اتیلن سبک	نام تجاری شاخص جریان مذاب چگالی	پتروشیمی بندر امام	ماده پلیمری
	LHX۰۰۷۵ $0/067-0/83 (g/10min)$ $0/919 (g/cm^3)$		
پلی اتیلن سبک	نام تجاری شاخص جریان مذاب چگالی	پتروشیمی بندر امام	ماده پلیمری
	LHX۰۰۴۵ $4-5 (g/10min)$ $0/924 (g/cm^3)$		
آزودی کربن آمید	درصد خلوص دمای تجزیه جرم مولکولی	فلوکا	عامل پفزا
	۹۸ $210-220^{\circ}C$ ۱۱۶/۰۸		
سدیم بی کربنات	—	—	بهبود فرایند
دی کومیل پروکسید	—	—	عامل ایجاد پیوندهای عرضی
روی استارات	—	مرکت	فعال کننده، عامل پفزا، روان کننده
کلسیم کربنات	—	فلوکا	پرکننده و هسته‌زا

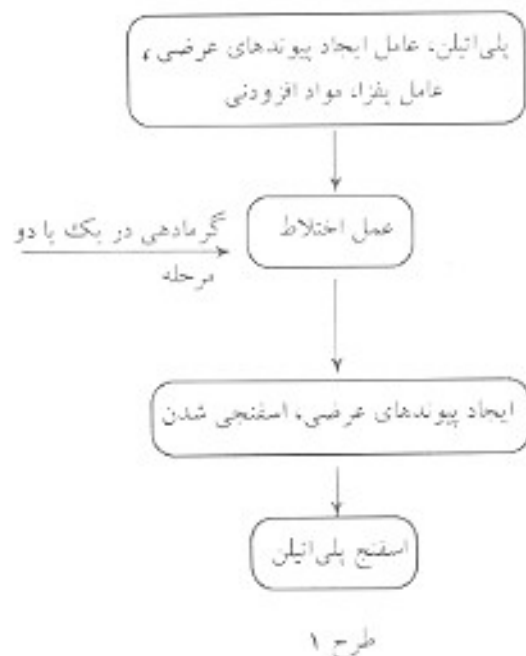
کننده و برخی مواد افزودنی دیگر است. طبیعی است که اختلاط همگن و یکپارچه اجزای آمیزه در داخل بستر پلیمری از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا در صورت عدم یکپارختی در توزیع مواد سوپوزر عوامل ایجاد پیوندهای عرضی و پفزا، محصول تولید شده دارای ناهمگنی در ساختار سلولی و در نتیجه ناهمگنی خواص در نقاط مختلف خواهد بود. اگر به نمونه خارج شده از قالب در آون یا اتوکلاو دوباره گرما داده شود، اسفنج ایجاد شده انبساط بیشتری را بدست خواهد آورد.

## نتایج

### الو مقدار و نوع عامل پفزا

برای تهیه نمونه‌های اسفنج، عامل پفزای آزودی کربن آمید مصرف شد. برای افزایش مقدار گاز تولید شده از کلسیم بی کربنات به عنوان عامل پفزای کمکی استفاده گردید. در عمل نیز اضافه کردن این ماده موجب بهبود وضعیت اسفنجی نمونه‌ها شد.

فرمولبندی و نتایج حاصل از تغییر میزان عامل پفزا در اسفنج پلی اتیلن سبک و سنگین در جدولهای ۲ و ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش مقدار آزودی کربن آمید موجب



در روش قالبگیری فشاری تولید اسفنج به صورت دو مرحله‌ای یا یک مرحله‌ای انجام می‌شود. بدین ترتیب که با قرار گرفتن نمونه آمیزه در داخل قالب و اعمال فشار و گرما اسفنج تولید می‌شود. آمیزه اسفنج شامل پلیمر، عامل ایجاد پیوندهای عرضی، عامل پفزا، روان کننده، فعال

جدول ۲- فرمولبندی و نتایج حاصل از تغییر میزان عامل پف‌دهنده در اسفنج پلی اتیلن سبک (شرایط عمل: دما  $180^{\circ}\text{C}$ ، فشار  $150\text{ kg/cm}^2$  و زمان ۱۰ دقیقه).

آمیژه	۱	۲	۳	۴	۵
اجزای خواص آمیزه‌ها					
پلی اتیلن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آزودی کربن آمید	۱۰	۲۰	۲۵	-	-
سدیم بی‌کربنات	۵	۵	۵	۲۵	۲۵
دی کومیل پروکسید	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۴/۵
روی استئارات	۲	۲	۲	۲	۲
کلسیم کربنات	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۲	۰/۲۱
اندازه سلول (mm)	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۲۷	-	۰/۲۲

پروکسیدها، سیلانها، پروتوها و ترکیبات آزو.

برای تولید نمونه‌های مورد نظر از دی کومیل پروکسید (DCP)

به عنوان عامل ایجاد پیوندهای عرضی استفاده شد. نتایج حاصل از اثر مقدار پروکسید بر چگالی و اندازه سلولی در جدولهای ۴ و ۵ آورده شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که مقدار عامل ایجاد پیوندهای عرضی تا حد مشخصی (حداکثر ۲/۵ تا ۳ phr) موجب کاهش اندازه سلول و افزایش چگالی اسفنج می‌گردد و در بالاتر از این مقدار، ساختار سلولها نامنظم شده و دیواره آنها نازکتر می‌شوند.

شکلهای ۱ و ۲ عکسهای SEM آمیزه‌های ۱۳ و ۱۴ را نشان می‌دهد. آمیزه ۱۳ بدون DCP و آمیزه ۱۴ دارای ۱ phr DCP است.

جدول ۴- فرمولبندی و نتایج حاصل از تغییر مقدار عامل ایجاد پیوندهای عرضی در اسفنج پلی اتیلن سبک (شرایط عمل: دما  $200^{\circ}\text{C}$ ، فشار  $150\text{ kg/cm}^2$  و زمان ۱۵ دقیقه).

آمیژه	۹	۱۰	۱۱	۱۲
اجزای خواص آمیزه‌ها				
پلی اتیلن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آزودی کربن آمید	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
سدیم بی‌کربنات	۵	۵	۵	۵
دی کومیل پروکسید	۱	۳/۵	۴/۵	۵/۵
روی استئارات	۳	۳	۳	۳
کلسیم کربنات	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۳
اندازه سلول (mm)	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۳

افزایش اندازه سلولی و کاهش چگالی شده و به همراه این تغییرات، ساختار سلولی نیز نامنظم شده است.

در آزمایشی که تنها از سدیم بی‌کربنات استفاده شد، اسفنج بدست آمده نرم و نامعطاف پذیر بود، ولی از نظر ساختار سلولی شکل منظمی نداشت و تعداد سلولهای سالم در ساختار اسفنج بسیار کم بود. در این مرحله افزایش مقدار پروکسید موجب یکپارچه‌تر شدن ساختار سلولی اسفنج شده و یکت اسفنج سلول بسته با سلولهای درشت و تقریباً هم شکل بدست آمد.

اثر مقدار عامل ایجاد پیوندهای عرضی

برای افزایش الاستیسیته پلیمر لازم است تا با استفاده از روشهای گوناگون در زنجیر پلیمر پیوندهای عرضی ایجاد کرد. برای شبکه‌ای کردن پلی اتیلن روشهای متفاوتی وجود دارد که عبارتند از: استفاده از

جدول ۳- فرمولبندی و نتایج حاصل از تغییر مقدار عامل پف‌دهنده در اسفنج، پلی اتیلن سنگین (شرایط عمل: دما  $200^{\circ}\text{C}$ ، فشار  $150\text{ kg/cm}^2$  و زمان ۱۵ دقیقه).

آمیژه	۶	۷	۸
اجزای خواص آمیزه‌ها			
پلی اتیلن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آزودی کربن آمید	۱۰	۲۰	-
سدیم بی‌کربنات	۵	۵	۱۰
دی کومیل پروکسید	۰/۵	۰/۵	۱
روی استئارات	۲	۲	۲
کلسیم کربنات	-	-	-
چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )	۰/۴۴	۰/۲	۰/۴۱
اندازه سلول (mm)	۰/۱۴	-	-



پلی‌انیلین سبک نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، افزایش کلسیم کربنات موجب کاهش اندازه سلولی و افزایش چگالی شده است و بدون وجود کلسیم کربنات تشکیل سلولها یگواخت نبوده و سلولهای بزرگی بر اثر پاره شدن دیواره سلولها بوجود می‌آید. شکلهای ۳ و ۴ به ترتیب عکسهای SEM آمیزه‌های ۱۵ و ۱۶ را نشان می‌دهد. آمیزه ۱۵ بدون کلسیم کربنات است، در حالی که آمیزه ۱۶ دارای ۲phr از این ترکیب است. با اضافه کردن این ترکیب سلولها ریزتر شده و ساختار اسفنج یگواخت‌تر می‌گردد، اما در مقادیر بیشتر از ۵ phr شکل سلولها نامنظم می‌شود.

#### اثر روی استنارات

همان‌طور که اشاره شد، روی استنارات دارای خاصیت روان‌کنندگی است و موجب بهبود جریان مذاب پلیمر در داخل قالب می‌گردد. در مراجع گزارش شده است که در اسفنجهای پلی‌اولفینی به جای این ترکیب می‌توان از روی اکسید و استاریک اسید نیز استفاده کرد. آمیزه‌هایی برای بررسی این مطلب تهیه شد، ولی اسفنجهای بدست آمده دارای ساختار سلولی یگواخت نبود. روی استنارات علاوه بر نقش روان‌کنندگی به عنوان فعال‌کننده عامل پف‌دهنده نیز عمل می‌کند و استفاده از آن به مقدار عامل پف‌دهنده بستگی دارد.

#### اثر منبهرهای فرایند

برای بررسی اثر دما، فشار و زمان بر اندازه سلول و چگالی اسفنج

جدول ۵- فرمولبندی و نتایج حاصل از تغییر مقدار عامل ایجاد پیوندهای عرضی در اسفنج پلی‌انیلین سنگین (شرایط عمل مشابه جدول ۳ است).

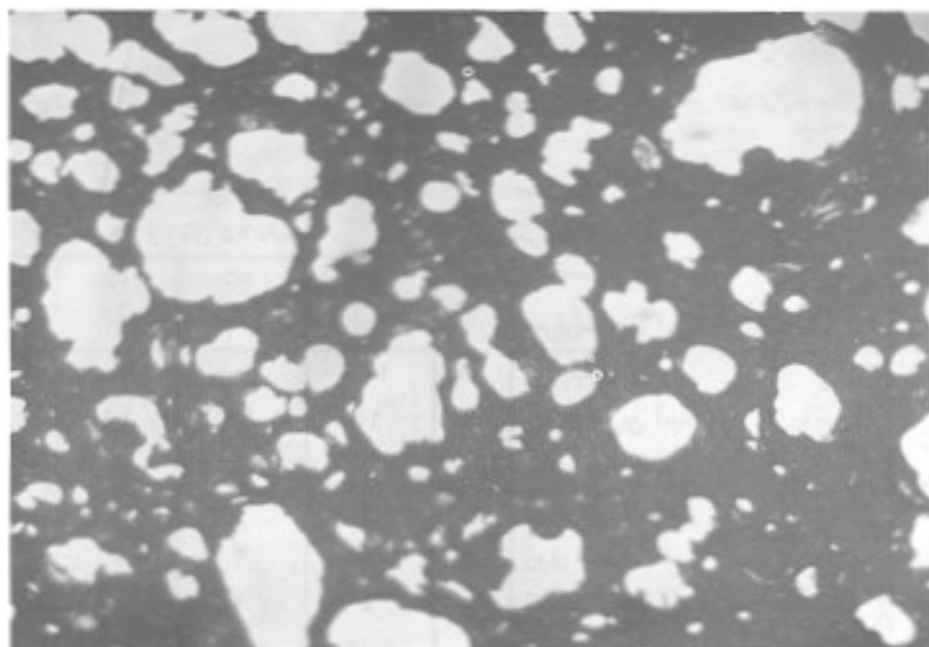
آمیژه	۱۳	۱۴
اجزای خواص آمیزه‌ها		
پلی‌انیلین	۱۰۰	۱۰۰
آزودی‌کربن آمید	۱۰	۱۰
سدیم بی‌کربنات	۵	۵
دی‌کوبیل پروکسید	-	۱
روی استنارات	۲	۲
کلسیم کربنات	-	-
چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۲۳	۰/۵۳
اندازه سلول (mm)	۰/۱۸	-

#### اثر کلسیم کربنات

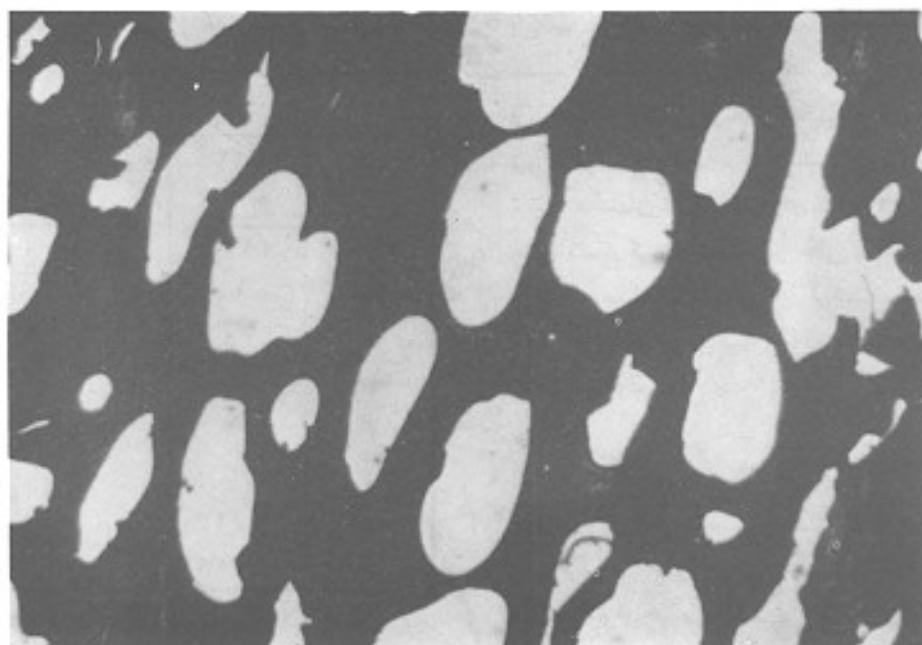
کلسیم کربنات نقش پرکننده را دارد و افزایش مصرف آن افزایش چگالی را به دنبال دارد که این امر احتمالاً به دلیل محدود شدن فرایند انبساط و همچنین جذب گاز به وسیله کلسیم کربنات است.

برای نشان دادن اثر مقدار کلسیم کربنات بر خواص اسفنج پلی‌انیلین سبک و سنگین آمیزه‌های ۱۵ تا ۱۸ تهیه شد. نتایج حاصل در جدولهای ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول ۶ اثر افزایش کلسیم کربنات را بر اسفنج تهیه شده از



شکل ۱- عکس SEM آمیزه ۱۳ بدون DCP با بزرگمایی ۱۰۰.



شکل ۲- عکس SEM آمیزه ۱۴ دارای DCP به مقدار ۱ phr با بزرگنمایی ۱۰۰.

دیواره سلولها و به هم پیوستن آنها گردید. افزایش زمان فرایند نیز روی چگالی و اندازه سلولها اثر می‌گذارد و موجب کاهش چگالی و افزایش اندازه سلولها شده است.

### بحث

#### اثر متغیرهای فرایند

در این بخش اثر متغیرهای فرایند مانند دما، زمان قالبگیری، فشار،

جدول ۷- اثر کلسیم کربنات بر خواص اسفنج پلی اتیلن سنگین (شرایط عمل مشابه جدول ۳ است).

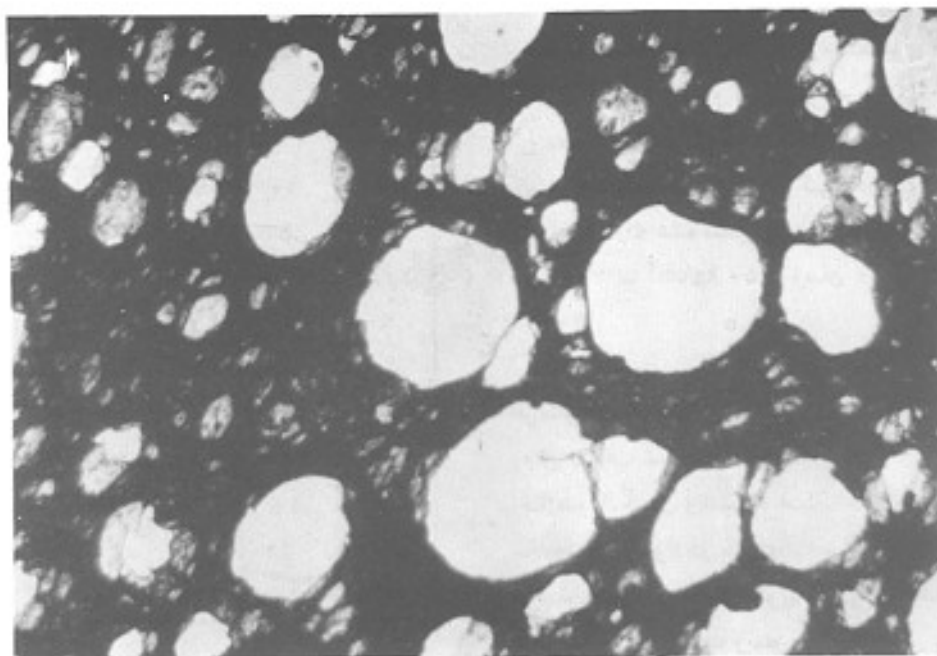
آمیژه ۱۸	آمیژه	اجزاء خواص آمیزه‌ها
۱۰۰		پلی اتیلن
۱۰		آزودی کربن آمید
۱۰		سدیم بی‌کربنات
۱		دی‌کومیل پروکسید
۲		روی استئارات
۶		کلسیم کربنات
۰/۲۵		چگالی ( $g/cm^3$ )
۰/۱۴		اندازه سلول (mm)

آمیژه‌های ۲۰ تا ۲۳ تهیه شدند و نمونه‌های اسفنج در شرایط متفاوت بدست آمد. نتایج حاصل در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات بدست آمده در دمای  $170^{\circ}C$  تعداد سلولهای تشکیل شده کم و اندازه آنها نیز کوچک است. این امر می‌تواند به دلیل عدم تجزیه کامل عامل پف‌دهنده یا عامل ایجاد پیوندهای عرضی باشد. در هر دو حالت امکان تشکیل، رشد و پایداری سلولها کاهش می‌یابد. با افزایش دما سلولهای بیشتری تشکیل می‌شود و پایداری آنها نیز افزایش می‌یابد.

کاهش فشار نیز، همان‌گونه که انتظار می‌رفت، باعث پارگی

جدول ۶- اثر کلسیم کربنات بر خواص اسفنج پلی اتیلن سبک (شرایط عمل: دما  $180^{\circ}C$ ، فشار  $150 kg/cm^2$  و زمان ۱۵ دقیقه).

آمیژه	۱۵	۱۶	۱۷	اجزاء خواص آمیزه‌ها
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	پلی اتیلن
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	آزودی کربن آمید
۵	۵	۵	۵	سدیم بی‌کربنات
۲	۲	۲	۲	دی‌کومیل پروکسید
۳	۳	۳	۳	روی استئارات
-	۲	۵	۵	کلسیم کربنات
۰/۲	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲	چگالی ( $g/cm^3$ )
۰/۲۱	۰/۱۱	-	-	اندازه سلول (mm)



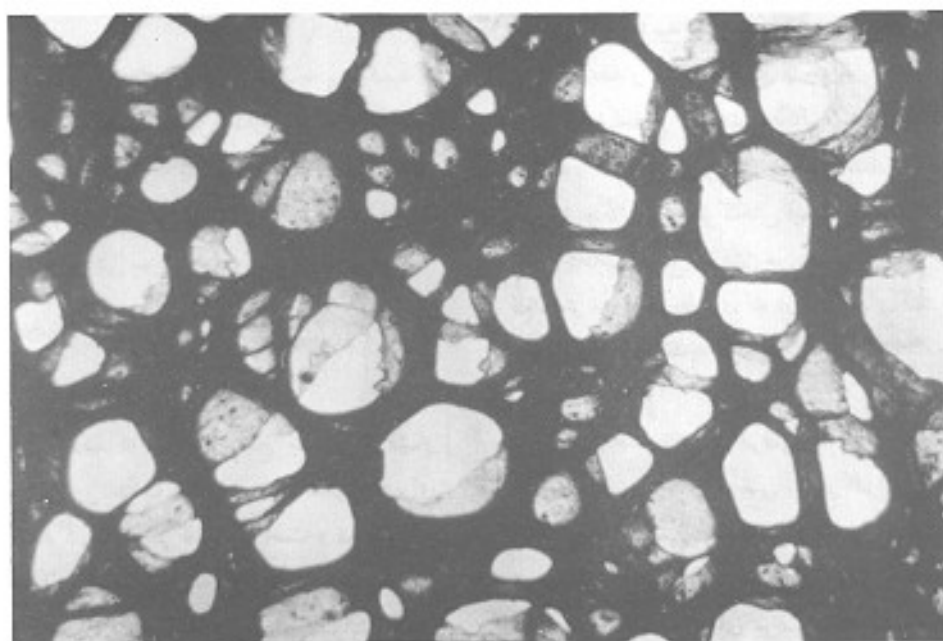
شکل ۳- عکس SEM آمیزه ۱۵ بدون کلسیم کربنات با بزرگنمایی ۱۰۰.

اولاً درصد عامل پفزی تجزیه شده در این شرایط افزایش می‌یابد، ثانیاً گرانروی مذاب کاهش پیدا می‌کند. همچنین، بالا رفتن دما موجب افزایش میزان تجزیه پروکسید می‌شود و در نتیجه اندازه سلولها کاهش زیادی پیدا می‌کند. از طرف دیگر، دمای قالب از حد مشخصی نمی‌تواند بالاتر رود. چون در دماهای بالاتر، چنانچه سرعت تجزیه

متغیرهای فرمولندی، عوامل پفزا، عامل ایجاد پیوندهای عرضی، کلسیم کربنات، روی استنارات و روی اکسید بر خواص اسفنج به ترتیب بررسی می‌شود.

اثر دما

با افزایش دمای قالبگیری، چگالی اسفنج کاهش می‌یابد، چون



شکل ۴- عکس SEM آمیزه ۱۶ دارای  $\text{CaCO}_3$  به مقدار ۲phr با بزرگنمایی ۱۰۰.

جدول ۸- اثر متغیرهای فرایند بر ساختار اسفنج پلی اتیلن سبک.

آزمیه	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
جزایر خواص آبروها				
پلی اتیلن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آزودی کربن آمید	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
سدیم بی کربنات	۵	۵	۵	۵
دی کومیل پروکسید	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
روی استارات	۲	۲	۲	۲
کلسیم کربنات	۲	۲	۲	۲
دما (°C)	۱۷۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
فشار (kg/cm <sup>۲</sup> )	۱۵۰	۱۵۰	۱۲۰	۱۵۰
زمان (min)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵
چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲	۰/۱۸
اندازه سلول (mm)	۰/۱۲	۰/۲	۰/۱۷	۰/۲۲

عامل پف دهنده بیشتر از سرعت تجزیه عامل ایجاد پیوندهای عرضی شود، ساختار سلولی اسفنج صدمه خواهد دید. در مجموع افزایش دما به دلیل پایین آوردن چگالی موجب کاهش مقاومت مکانیکی اسفنج می گردد و افزایش تجزیه پروکسید و کاهش اندازه سلولها جریان کننده افت مقاومت مکانیکی نیست. بالا بردن دما بیش از حد مشخصی موجب تخریب پلیمر می گردد. در عمل نیز دمای بیشتر از ۲۲۰°C موجب افت شدید در خواص و تخریب مواد می شود.

#### اثر زمان قالبگیری

نفس افزایش زمان، مشابه دماست و بالا رفتن میزان تجزیه پروکسید و عامل پف دهنده موجب کاهش چگالی، افزایش اندازه سلولها و کاهش سختی می گردد. افزایش زمان تا تجزیه شدن تمام مواد موجب کاهش چگالی می شود و بعد از آن تأثیری در این امر ندارد و حتی به دلیل بالا رفتن میزان تجزیه پروکسید و افزایش پیوندهای عرضی می تواند موجب افزایش آن نیز گردد.

#### اثر فشار

بررسیهای انجام شده نشان می دهد که چگالی اسفنج مستقل از فشار قالبگیری است و در عمل نیز این مطلب صادق بود. اما فشار زیاد برای تشکیل محصول ابر سبک شده گاز در پلیمر ضروری است و در صورتی که فشار پرس کمتر از حد لازم باشد، منجر به نفوذ گاز و تجمع آن در یک نقطه و پارگی دیواره سلولها می شود. افزون بر این افزایش فشار قالبگیری منجر به کاهش اندازه سلولها نیز می گردد. همان گونه که نشان داده شد، متغیرهای فرایند نیز نقش مؤثری بر خواص نهایی اسفنج دارد.

#### اثر متغیرهای فرمولبندی

روش انتخاب شده برای انجام کار عملی در این طرح شامل سه مرحله اختلاط، قالبگیری و انبساط است. اختلاط یکنواخت را می توان با مخلوط کردن مواد در بنوری بدست آورد، که این امر در نهایت موجب یکنواختی ساختار سلولها می گردد. قالب مورد استفاده نیز باید به شکل ساده طراحی شده و سطوح آن با تفلون پوشش داده شود. در غیر این صورت، اسفنج تولید شده شکل ظاهری خوبی نخواهد داشت. نمونه های با شکل ظاهری مطلوب را می توان با قرار دادن مقدار کمتری از آمیزه در داخل قالب بدست آورد. بدین ترتیب، انبساط در داخل قالب کامل می شود و محصول بدست آمده پس از سرد شدن از قالب خارج می گردد. با این روش می توان محصولاتی کاملاً یک شکل و هم اندازه و با چگالی یکسان بدست آورد.

#### اثر عامل پفزا

آزودی کربن آمید ترکیب کاملاً مناسبی برای تولید این نوع اسفنج است که مقدار آن به چگالی و خواص مورد نظر بستگی دارد. برای نرم تر شدن اسفنج و کاهش چگالی می توان از سدیم بی کربنات به میزان ۵ phr به عنوان عامل پفزای کمکی استفاده کرد. این امر علاوه بر پایین آوردن چگالی، از نظر کاهش قیمت نیز بسیار مهم است. با افزایش عامل پفزا، چگالی اسفنج کاهش می یابد و به همان نسبت ساختار سلولی نیز نامنظم تر می شود، بطوری که در چگالیهای کمتر از ۰/۱ g/cm<sup>۳</sup> پارگی سلولها و کاهش شدید مقاومت فشاری مشاهده می شود.

#### اثر عامل ایجاد پیوندهای عرضی

عامل ایجاد پیوندهای عرضی نیز در افزایش کشسانی مذاب پلیمر و ایجاد پیوند عرضی مؤثر است و مقدار آن به مقدار عامل پف دهنده و درصد انبساط بستگی دارد. هر چه درصد انبساط بیشتر باشد مقدار مورد نیاز عامل ایجاد پیوندهای عرضی نیز بیشتر خواهد بود تا بدین وسیله از تخریب دیواره سلولها در زمان تشکیل اسفنج جلوگیری گردد. پروکسیدهای مختلفی برای ایجاد پیوندهای عرضی مورد استفاده قرار



می‌شود. باید توجه داشت که این ماده علاوه بر نقش روان‌کنندگی برای جلوگیری از چسبیدن قطعه به قالب، به عنوان فعال‌کننده عامل پفزا نیز عمل می‌کند. افزایش بیش از حد روی استتارات موجب افت مقاومت مکانیکی اسفنج می‌شود.

### نتیجه‌گیری

متغیرهای فرایند مانند دما، زمان و فشار نقش موثری روی خواص نهایی اسفنجها دارند و در عمل باید این متغیرها را با توجه به مقدار و نوع عوامل پف‌دهنده و ایجاد پیوند عرضی معین کرد. نقش متغیرهای فرمولندی مانند عامل پفزا، عامل ایجاد پیوند عرضی، پرکننده و روان‌کننده در تهیه اسفنجهای پلی‌اتیلن مهم است. آزودی‌کربن آمید ترکیب مناسبی برای تولید این اسفنجهاست که می‌توان از سدیم بی‌کربنات نیز به عنوان عامل پفزی کمکی استفاده کرد. دی‌کومیل پروکسید به عنوان عامل ایجاد پیوند عرضی برای فرمولبندی بکار رفته مناسب است که مقدار مصرفی آن به مقدار عامل پفزا، دما و زمان قالبگیری بستگی دارد.

کلسیم کربنات نیز به عنوان عامل هسته‌زا و پرکننده مصرف شده که افزایش مقدار آن موجب کاهش اندازه سلولها و افزایش چگالی شده است. استفاده از روی استتارات موجب تسهیل فرایند اختلاط و جلوگیری از چسبندگی قطعه به قالب شده است.

### مراجع

1. Eaves D.E., Ethylene Homo and Copolymer Foams; *Cellular Polym.*; 7, 4, 1988.
2. Kuwabara H. and Naito M., Expanded Particles of Modified Polyethylene and Foamed Articles Obtained Therefrom; US Pat. 4769, 393; 1988.
3. Brown R., Pre-expanded Particles of Non-Crosslinked Linear Low Density Polyethylene and Process for Producing Cellular Materials Therefrom; Eur. Pat. 0,212,204; 1987.
4. Joel Frados, *Plastics Engineering Handbook*, Chap 20, 1976.
5. Mills N.J. and Hwang A.M.H., The Multiple-Impact Performance of High Density Polyethylene: Foam; *Cellular Polym.*; 8, 4, 1989.

می‌گیرند. به هنگام انتخاب عامل ایجاد پیوندهای عرضی باید عواملی چند از جمله شرایط فرایند و دمای مراحل مختلف آن مورد توجه قرار گیرد. در ضمن، دمای تجزیه پروکسید باید کمتر از دمای تجزیه عامل پف‌دهنده باشد. دی‌کومیل پروکسید به عنوان عامل ایجاد پیوندهای عرضی برای سیستم بکار گرفته شده مناسب است. حساسیت مقدار مجاز پروکسید همچون حساسیت مقدار مجاز عامل پف‌دهنده نبوده و به اندازه آن در تعیین چگالی و ساختار سلولی نقشی ندارد، اما باید در تعیین مقدار پروکسید دقت کافی اعمال گردد. در صورتی که مقدار پروکسید مصرفی بیش از حد مجاز باشد، به دلیل افزایش چگالی پیوندهای عرضی و ماهیت کشسان مذاب انبساط بخوبی انجام نمی‌گیرد. ضمن آنکه مقدار قابل ملاحظه‌ای پروکسید به صورت تجزیه نشده در محصول باقی می‌ماند که می‌تواند سبب تسریع فرایند تخریب اکسایشی محصول در حین کاربرد و در نتیجه موجب کاهش طول عمر آن شود. برعکس، در حالتی که پروکسید مصرفی کمتر از حد لازم باشد، به دلیل عدم پایداری کافی، جداره سلولها در مرحله انبساط پاره می‌شود و تشکیل حفره و ایجاد ساختار سلولی ناهمگن اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. مقدار پروکسید مصرفی به چند عامل بستگی دارد که مهمترین آنها عبارتند از مقدار عامل پفزا، دمای قالبگیری و زمان پرس محصول. هر چه مقدار عامل پف‌دهنده بیشتر شود، باید بر مقدار عامل ایجاد پیوندهای عرضی نیز افزوده شود، زیرا با افزایش حجم و در نتیجه فشار گاز تولیدی لازم است که پایداری جداره سلولها و ماهیت کشسان مذاب افزایش یابد.

### اثر کلسیم کربنات

کلسیم کربنات علاوه بر نقش پرکننده به عنوان عامل هسته‌زا نیز عمل می‌کند. افزایش مقدار کلسیم کربنات موجب کاهش اندازه سلول و افزایش چگالی می‌شود. بطور کلی، کلسیم کربنات نقش پرکننده را دارد و بازپاد شدن مقدار آن افزایش چگالی مشاهده می‌شود. این امر احتمالاً به واسطه محدود شدن فرایند انبساط و جذب گاز به وسیله کلسیم کربنات است. پرکننده‌ها اغلب برای کاهش قیمت تمام شده محصول یا بهبود خواصی همچون کاهش میزان جمع‌شدگی، بهبود کیفیت سطحی، کنترل اندازه سلول و برخی خواص دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بجای کلسیم کربنات می‌توان از ترکیبات سیلیسی، خاک اره، تالک و نظایر آن نیز استفاده کرد. مصرف مقادیر زیاد این مواد موجب افت خواص مکانیکی محصول نهایی می‌شود.

### اثر روی استتارات و روی اکسید

از روی استتارات و روی اکسید به مقدار ۲phr استفاده شد. این ماده برای آسان شدن فرایند اختلاط اجزای مختلف آمیزه بکار گرفته

- Foamed Polyethylene, US Pat. 4,761,328, Aug. 2, 1988.
12. Puri R.R. and Collington K.T.; The Production of Cellular Crosslinked Polyolefins, Part I, *Cellular Polym.*, **7**, 1, 1988.
  13. Stastny F. et al., Production of Chlorinated Polyethylene Foams; US pat. 3,819,543; June 25, 1974.
  14. Meltzerm Y. L.; *Foamed Plastics*; Noyes Data Corporation, New Jersey, USA, 1976.
  15. Sitting M.; *Polyolefin Production Process*; Noyes Data Corporation, New Jersey, USA, 1976.
  6. Klempner and Frisch; *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*; Hanser, Munich, 1991.
  7. Nurse R. H., Fundamentals of Polymers and Formulation; chap 6, *Technology of Polyethylene*.
  8. Gerharts W.; Foamed Plastics; *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*; **A11**, VCH, Weinheim, 1988.
  9. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering; **3**, *Cellular Materials*, John Wiley and sons, New York, 1985.
  10. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering; *Cellular Materials*, **2**, John Wiley and Sons, New York, 1984.
  11. Shin Yong W., Process for Producing a Low Density