

بررسی پارامترهای مؤثر بر خواص فوم‌های پلی‌پروپیلن پودر چوب تهیه شده با استفاده از روش توده‌ای

مرجان شاهقلیان

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی) دانشگاه نجف‌آباد اصفهان

چکیده

در این مقاله تأثیر مقدار آرد چوب و شرایط فرایند بر خواص فیزیکی، مکانیکی فوم کامپوزیت پلی‌پروپیلن / پودر چوب مطالعه شده است. فوم کامپوزیت با روش توده‌ای و با استفاده از گاز CO_2 به عنوان عامل پف فیزیکی تهیه گردیده است. نمونه‌ها در دما و زمان متفاوت تهیه و سپس خواص مکانیکی و مورفولوژی فوم بررسی شده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مقدار پرکننده آرد چوب روی چگالی، خواص مکانیکی و مورفولوژی کامپوزیت‌های فوم شده به روش توده‌ای با استفاده از آزمون تعیین چگالی، آزمون کشش و آنالیز تحلیلی SEM می‌باشد. پارامترهای دمای فوم ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان فوم ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌ها بیانگر این است که با افزایش درصد پودر چوب از ۳۰ به ۴۰ و با افزایش دما و زمان فوم کردن چگالی کاهش می‌یابد؛ بنابراین افزایش مقدار پودر چوب تا ۴۰ درصد وزنی سبب بهبود فوم کامپوزیت می‌شود. همچنین استحکام و مدول کششی با افزایش دما کاهش و متوسط سائز سلول فوم‌های کامپوزیت توسط افزایش کسر خالی و اضافه کردن پودر چوب بهبود یافته است. در نهایت نتیجه‌گیری شده که مورفولوژی سلولی از فوم کامپوزیت pp/wf به شدت تابع مقدار پودر چوب و شرایط فوم بوده.

واژه‌های کلیدی: فوم کامپوزیت آرد چوب پلی‌پروپیلن، چگالی، اندازه سلول، روش توده‌ای

مقدمه

تعریف کامپوزیت

یک ماده کامپوزیت^۱، مخلوط فیزیکی در مقیاس ماکروسکوپی است که از دو یا چند ماده مختلف به دست آمده است. این مواد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ کرده ولی در مجموع، مخلوط خواص بهتری از هر یک از اجزا تشکیل دهنده‌ی خود را دارا می‌باشد [۱].

ترموپلاستیک‌ها

ترموپلاستیک‌ها یا گرمانرم به پلیمرهایی گفته می‌شود که با افزایش دما بدون تغییر شیمیایی ذوب می‌شوند. این پلیمرها را می‌توان به دفعات ذوب و دوباره جامد نمود. چنین پلیمرهایی در حالت مذاب مانند مایعات جاری می‌شوند و از این لحاظ با پلیمرهای دارای اتصالات عرضی متمایزند. گرمانرم‌ها در دمای بیش از دمای انتقال شیشه‌ای خود، منعطف هستند.

پلی پروپیلن

پلی پروپیلن با چگالی پایین، مقاومت شیمیایی، حرارتی و آب بالا، قابلیت پردازش خوب و نسبت عملکرد به هزینه بالا [۸]، استحکام بالا، غیر هیدروکسی و قیمت نسبی پایین [۱۱] صلبیت و مقاومت خوب در برابر پدیده خستگی به طور وسیعی برای تولید کامپوزیت پلیمر/الیاف طبیعی استفاده شده. مهمترین پرکننده های پلی پروپیلن: الیاف شیشه، تالک، میکا، کربنات کلسیم و الیاف چوب می‌باشند [۷].

خواص عمومی:

به صورت جامد سفید رنگ شفاف می‌باشد که در حلال های آلی سرد نامحلول و در دی کالین داغ، تتراکلریدان جوشان محلول است. همچنین قابل احتراق نیز می‌باشد پلی پروپیلن دارای نقطه ذوب °C ۱۶۸-۱۷۱ و وزن مولکولی بیشتر از ۴۰،۰۰۰ است.

مزایا: پایداری ابعادی و مقاومت به رطوبت، مقاومت در برابر ترک تنشی، استحکام کششی زیاد، خواص الکتریکی و عایقی خوب، مقاومت شیمیایی، مقاومت در برابر حلال های آلی در دماهای پائین
معایب: مقاومت کم در برابر نور UV و اکسایش (که برای افزایش پایداری آن از افزودنی^۲ های جاذب UV و ضد اکسیداسیون استفاده می کنند)، حلال در بنزن، بنزین، الکل. [۱۳]

ترموست‌ها

پلیمرهایی هستند که در آن ها زنجیرهای مولکولی توسط پیوندهای عرضی به هم متصل هستند و در نتیجه شبکه‌ای از پیوند-های سه بعدی به وجود می‌آورند.

الاستومرها

این دسته از پلیمرها واسط بین ترموست ها و ترموپلاستیک‌ها هستند و در آنها تعداد پیوندهای عرضی ایجاد شده کم است از این رو تحت تأثیر تنش و درجه حرارت معمولی محیط خاصیت کشسان پیدا می کنند و به همین دلیل به آنها الاستومر می گویند. این مواد با افزایش دما از حالت کشسان به حالت پلاستیک تغییر وضعیت می دهند. [۱۴ و ۱]

اهمیت فوم کامپوزیت چوب پلیمر:

کامپوزیت چوب پلاستیک از الیاف‌های چوب و پلیمرها ساخته و تجاری شده است و در کاربردهای جایگزین چوب رشد سریع داشته. به علاوه از آنها به عنوان محصولات ساختمان، در بسیاری از خودروها، زیر بنا و دیگر کاربردهای صنعتی استفاده شده است. به طور کلی، کامپوزیت چوب پلاستیک دوام بالاتر، هزینه نگهداری پایین تر، رنگ دائمی [۶]، ثبات ابعادی بهبود یافته، مقاومت بهتر به رطوبت و تخریب بیولوژیکی، هزینه پایین (از کامپوزیت‌ها با الیاف دیگر) و قابلیت بازیافت بهتر را دارا می باشند.

¹ - WPCs

² - Additive

مواد

مواد مورد استفاده در این تحقیق استفاده شده پلی پروپیلن، آرد چوب، سازگار کننده و گاز CO₂ می باشد که هر کدام جداگانه توضیح داده خواهد شد.

پلی پروپیلن (PP)

پلی پروپیلن استفاده شده در این تحقیق از شرکت پلی پروپیلن جم، با نام تجاری Jampilen EP440L تهیه شده است که یک کوپلیمر ضربه پذیر با سیالیت متوسط و خصوصیات مکانیکی بهبود یافته می باشد. این گرید سختی بالا و مقاومت ضربه چشم گیر در دماهای پایین دارد و به خصوص برای کاربرهای قالب گیری تزریقی طراحی شده است. در مقایسه با کوپلیمرهای معمولی با جریان مذاب و استحکام یکسان، ۳۵٪ چقرمگی بالاتر نشان می دهد. هم چنین برای بسیاری از کاربردها در صنایع بسته بندی، خودرو و کالاهای مصرفی مناسب می باشد. کاربردهای معمول این گرید شامل چمدان ها، سطل های رنگ، ظروف، صندوق ها، باتری ها و اسباب بازی های بزرگ می باشد.

جدول (۱): خواص فیزیکی پلی پروپیلن [۳۹]

خواص / ویژگی PP	مقدار
فیزیکی	
سرعت جریان مذاب (230 ° C, 2/16 Kg)	g/10 min
چگالی	0.9 g/cm ³
مکانیکی	
مدول خمشی	1400 N/mm ²
مقاومت کششی در نقطه تسلیم	26 N/mm ²
تغییر طول کششی در نقطه تسلیم	9%
مقاومت ضربه ایزود قطعه ناچ دار (23 ° C)	170 kJ/m ²
سختی	68
حرارتی	
دمای نرمی	152 ° C

پرکننده

در این تحقیق از آرد چوب (درخت صنوبر) به عنوان پرکننده در ترکیب چند سازه استفاده شد. پس از آسیاب کردن، ذرات از مش ۴۰ عبور کرده و باقی مانده روی مش ۱۰۰ به عنوان پرکننده سلولزی مورد استفاده قرار گرفته شد.

عامل سازگار کننده

مواد سازگار دهنده میان دو فاز جهت بهبود پیوند میان پلی پروپیلن که ماده ای غیرقطبی و آب ناخواه است و چوب که ماده ای قطبی و جاذب آب است به کار می رود که باعث بهبود خواص مکانیکی می شود. مالئیک آنیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن محصولات شرکت بلژیکی solvay با شاخص جریان مذاب 64 g/10min و نام تجاری Priex20070 بوده. پلی پروپیلن اصلاح شده با آنیدرید مالئیک به عنوان یک ترکیب شیمیایی واسطه برای سازگاری میان الیاف سلولزی و PP کاربرد دارد. به این ترتیب که گروه هیدروکسیل چوب (OH) و گروه کربونیل آنیدرید (O-C) پیوند داده در پلی پروپیلن اصلاح شده در نقش یک پل میان زنجیره های فاز ماتریس و الیاف چوب را جفت می کند.

انتخاب گاز:

سیال فوق بحرانی ماده ای است که در دما و فشار خاصی بالاتر از (نقطه بحرانی) فاز گاز و مایع وجود ندارد. آن می تواند از جامدات خارج شود مانند گازها و مواد را حل کند شبیه به مایعات. به علاوه نزدیک به نقطه بحرانی تغییرات کوچک در فشار

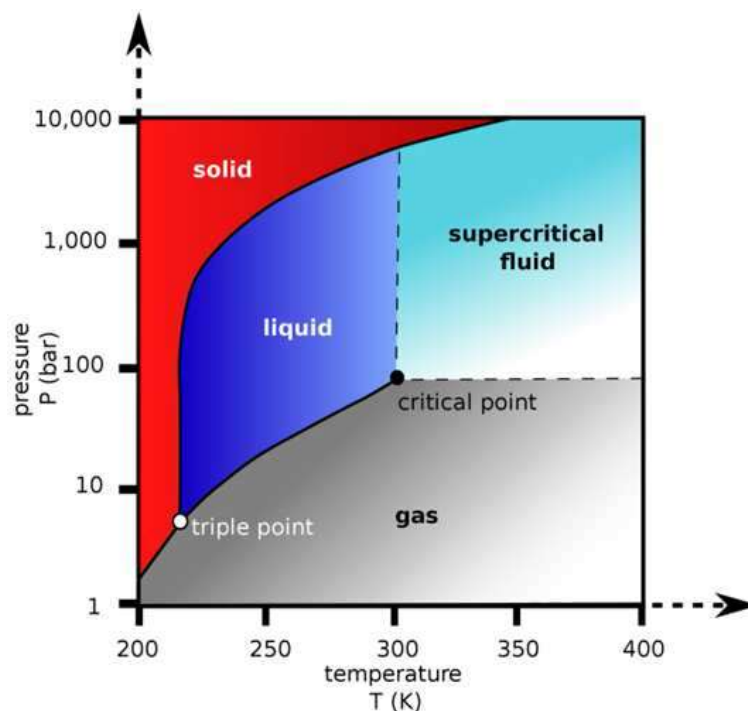
یا دما سبب تغییرات بزرگ در چگالی می شود. نیتروژن و CO_2 سیال های فوق بحرانی هستند که عمدتاً در پردازش فوم میکروسلولی استفاده شده اند [۴۰ و ۴۱]. با این حال انتخاب نوع عامل پف دهنده مورفولوژی حباب محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می دهد. به دلیل حلالیت بیشتر CO_2 در پلیمر، تغییر شکل پذیرتروآستانه فشار پایین تر نسبت به N_2 [۴۲ و ۴۳] و هم چنین ویژگی هایی همچون غیر سمی بودن، اشتعال ناپذیری و بی خطر بودن است [۴۴ و ۴۱ و ۲۳]. در این پروژه از گاز کربن دی اکسید در دمای ۴۵ درجه و فشار ۴۵ مگاپاسکال و زمان ۹۶ ساعت استفاده گردیده است.

جدول (۲): مشخصات گاز CO_2 استفاده شده. [۴۰]

حلال	وزن مولکولی g/mol	دمای بحرانی (K)	فشار بحرانی (atm)	چگالی بحرانی g/cm ³
CO_2	44.01	304.1	7.38(72.8)	0.469

جدول (۳): تخمین ماکزیمم حلالیت گاز در ۲۰۰ درجه سانتی گراد و ۲۷،۶ مگاپاسکال. [۴۰]

$\text{N}_2\%$	$\text{CO}_2\%$	پلیمر
4	11	PP



شکل (۱): دیاگرام فاز دما- فشار دی اکسید کربن. [۴۰]

تجهیزات

الک

جهت مش بندی پودر چوب از غربال هایی با مش ۴۰ و ۱۰۰ استفاده شده است.

آون خشک کن

جهت حذف رطوبت پودر چوب از آون با دمای ۸۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت جهت آماده سازی، استفاده گردید.

اکسترودر دو مادونه

اکسترودرها را می توان به سه دسته ی کلی یک پیچه، دو پیچه و چند پیچه تقسیم کرد. هم چنین از منظر دیگر می توان اکسترودرها را به دو دسته ی شکل دهنده و مخلوط کننده تقسیم کرد، که در اینجا اکسترودر مخلوط کننده مورد نظر است.

از مزایای این نوع از اکسترودرها نسبت به اکسترودر تک پیچه می‌توان به زمان اقامت کمتر، اختلاط همگن‌تر، قابلیت خود پاک‌کن بودن^۳ و فضای مرده^۴ کم‌تر و همچنین بازدهی این اکسترودرها ۳ برابر اکسترودر تک پیچه بوده اشاره کرد. اکسترودرهای دو پیچه را به دو نوع همسوگرد^۵ و غیر همسوگرد^۶ طبقه بندی نمود [۴۶] جهت آماده‌سازی مواد قبل از ساخت، عمل اختلاط نمونه‌ها توسط دستگاه کولین واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. این دستگاه یک اکسترودر دو مارپیچه غیرهمسوگرد، ساخت کشور آلمان است. اکسترودر دارای پنج نقطه حرارتی با دماهای ۱۵۰، ۱۶۷، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد است. این دستگاه ظرفیت مخلوط سازی 400 گرم مواد در هر نوبت را دارد و با سرعت گردش ۸۰ دور بر دقیقه کار می‌کند. نسبت $L/D = 16$ می‌باشد.

دستگاه خرد کن

پس از اختلاط، مواد خروجی از اکسترودر به صورت مفتولی ضخیم از دستگاه خارج می‌شوند که پس از خنک و سخت شدن، به منظور تهیه گرانول برای استفاده در دستگاه تزریق، از دستگاه خردکن نیمه صنعتی Wieser مدل WG_Ls200 ساخت کشور آلمان واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد.

دستگاه تزریق

برای ساخت نمونه‌ها از دستگاه قالب‌گیری تزریقی نیمه صنعتی مدل PAYA ساخت شرکت ایمن ماشین در سال 1376 استفاده شد. طراحی قالب تزریق به گونه‌ای است که در هر بار تزریق، نمونه‌های استاندارد آزمون کششی (نمونه‌های دمبلی)، خمشی (نمونه‌های ساده) و آزمون ضربه (نمونه‌های فاق‌دار) و جذب آب به‌دست آمدند. دمای سیلندر تزریق ۱۷۰، ۱۷۰، ۱۶۰، سرعت بارگیری ۶۰ دور بر دقیقه، فشار تزریق ۸۰ بار و زمان دوره تزریق کمتر از 20 ثانیه در نظر گرفته شد و نمونه‌ها پس از ۳-۲ دقیقه از قالب بیرون آورده شدند.

مخزن فشار بالا

در تولید فوم میکروسلولی به روش توده‌ای از یک مخزن فشار بالا برای اشباع کردن پلیمر با گاز کربن دی اکسید استفاده شده. مخزن شامل یک شیر ورودی گاز و نشانگر فشار می‌باشد که برای این منظور ساخته شده است.

روش طراحی آزمایش

طراحی آزمایشات روشی برای انجام نظام مند مجموعه‌ای از آزمایش‌ها است. هدف این روش بدست آوردن نتایج قابل اطمینان و مناسب بر مبنای تعداد محدودی مشاهده است. طراحی آزمایشات برای این منظور از ابزارهای آماری استفاده می‌کند. عمده‌ترین ابزارهای این حوزه به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از ابزارهای طراحی و تحلیل آزمایشات، در حوزه‌ی طراحی آزمایشات روش‌هایی مثل روش فاکتوریل کامل، روش‌های مبتنی بر مربع لاتین و غیره وجود دارند و در حوزه‌ی تحلیل آزمایشات تحلیل واریانس و مشتقاتش و همین‌طور تحلیل رگرسیون از مهمترین ابزارها هستند [۴۸]. برای تعیین متغیرهای اثرگذار در پاسخ می‌توان از تکنیک‌های مربوط به طراحی آزمایش و برای مرحله بهینه‌سازی می‌توان از مباحث روش‌شناسی رویه پاسخ RSM استفاده نمود.

این روش یک مجموعه از تکنیک‌های آماری و ریاضیات کاربردی برای ساخت مدل‌های تجربی است. هدف در این گونه طرح‌ها بهینه‌سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که متأثر از چندین متغیر مستقل (متغیرهای ورودی) می‌باشد. یک آزمایش یک سری از آزمون‌هاست که اجرا نامیده می‌شود. در هر آزمایش تغییرات در متغیرهای ورودی به منظور تعیین علل تغییرات در متغیر پاسخ ایجاد می‌شوند. در اصل RSM برای مدل پاسخ‌های تجربی توسعه داده شد و سپس به سمت مدل کردن آزمایشات عددی سوق پیدا کرد. در آزمایشات فیزیکی، اشتباه در آزمایشات می‌تواند به صورت‌های مختلفی رخ دهد برای مثال ارزیابی خطاها هنگامی که بی‌نظمی یا خطا بر اثر یک همگرایی اشتباه باشد (مثلاً خواب آلوده بودن آزمایشگر یا خستگی او و

³ self-cleaning

⁴ dead zone

⁵ Co-Rotating

⁶ Counter Rotating

یا ناهمگن بودن مواد آزمایشی) و یا اینکه یک پدیده فیزیکی پیوسته را به صورت گسسته تعریف کنیم در صورتی که نتوان در واقعیت چنین کاری را انجام داد. در RSM فرض می‌شود که خطاها تصادفی هستند. کاربرد RSM برای بهینه‌سازی طرح، در کاهش هزینه روش‌های تحلیل گرانتیمت و بی‌نظمی‌های عددی مرتبط با آنها می‌باشد (مانند تحلیل CFD یا عنصر محدود). در RSM همگرایی به سمت عنصر بهینه است زیرا آنها اثرات عوامل بی‌نظمی را کاهش می‌دهند. یک جنبه مهم RSM طراحی آزمایشات است که عموماً به‌عنوان DOE شناخته می‌شود. این استراتژی در اصل برای برازش مدل‌های آزمایشی توسعه داده شد اما می‌تواند برای آزمایشات عددی نیز به کار رود. هدف DOE انتخاب نقاطی است که پاسخ باید مورد ارزیابی قرار گیرد. انتخاب طرح‌های آزمایش می‌تواند تأثیر زیادی بر روی صحت تخمین و هزینه ساخت مدل سطح پاسخ داشته باشد. روش‌های سطح پاسخ می‌توانند بسته به کاربردها در طرح آزمایش به روش‌های متفاوتی طرح شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان CCD، D-Optimal و Box-Behnken را نام برد. کاربرد روش‌های سطح پاسخ در صنایع بسیار وسیع است از جمله می‌توان به صنایع شیمیایی، پتروشیمی، غذایی، دارویی، میکروبیولوژی اشاره نمود. در این تحقیق طراحی آزمایش به روش باکس بنکن انجام شده است. از ویژگی‌های این نوع طراحی اعمال تعداد سه سطح، آزمایشات کمتر و چرخش پذیری (به این معنی است که هم‌اکنون نقاط موجود در طراحی آزمایش دارای فاصله یکسانی از نقطه مرکزی میباشند و این موضوع باعث یکسان بودن تغییرات خطا در همه نقاط می‌باشد). را می‌توان نام برد. [۴۹ و ۵۰]

مراحل بهینه‌یابی چند پاسخ در چارچوب RSM را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد

۱- تعریف دقیق مسئله

۲- مشخص نمودن مهمترین مشخصه‌های کیفی محصول مورد نظر

۳- مشخص نمودن متغیرهای تأثیرگذار و مشخص نمودن متغیرهای قابل کنترل از میان آنها

۴- انتخاب طرح آزمایشی مناسب، تعیین سطوح عوامل و جمع‌آوری اطلاعات در چارچوب آن

۵- بدست آوردن رویه‌های سطح پاسخ

۶- بهینه‌یابی مشخصه‌های کیفی از روش سطح پاسخ

۷- انجام آزمایش‌های تأییدی و تنظیم فرایند بر اساس جواب به دست آمده [۵۱]

در این روش چگالی به‌عنوان متغیر پاسخ و درصد چوب، دما و زمان فوم‌سازی سه عامل اثرگذار اولیه انتخاب شدند. لذا درصد چوب، دما و زمان فوم‌سازی به‌عنوان متغیرهای قابل کنترل در تهیه فوم کامپوزیت در نظر گرفته شد؛ و سطوح انتخابی آنها نیز از برای پودر چوب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، برای دمای فوم‌سازی ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای زمان فوم‌سازی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در ادامه توسط نرم افزار minitab تعداد ۱۵ آزمایش طراحی شد. برای به دست آوردن متغیر پاسخ که همان حداقل چگالی می‌باشد از روش باکس بنکن استفاده شده است. به‌عنوان مثال در آزمایش شماره ۱ در فوم کامپوزیت، ۴۰ درصد پودر چوب، دمای فوم‌سازی ۱۰۰ درجه و زمان فوم‌سازی ۵۰ ثانیه لحاظ گردیده است. این آزمایش‌ها در سه سطح به منظور دستیابی به پارامترها طراحی شد در جدول (۴) طراحی آزمایش بر اساس سه متغیر دما، زمان و درصد پودر چوب آمده است.

جدول (۴): سطوح مختلف در طراحی آزمایش

متغیرها	B	C	D
درصد آرد چوب	20	30	40
زمان فوم‌سازی (S)	40	50	60
دمای فوم‌سازی (°C)	80	90	100
اعداد در نظر گرفته شده در RSM	-1	0	+1

تهیه نمونه‌های کامپوزیتی

برای تهیه ماده مورد نظر ابتدا آرد چوب در یک آون با ۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت جهت اطمینان از خشک بودن نگه داری شد. فرآیند اختلاط مواد بر پایه جدول (۵) توسط دستگاه اکسترودر با دما و سرعت ذکر شده در بالا انجام گردیده. با پایان یافتن ۱۵ دقیقه از آغاز اختلاط، دستگاه متوقف و مخلوط به شکل مفتولی ضخیم از دستگاه خارج شده. جهت خرد کردن در مرحله بعدی به دستگاه خرد کن انتقال داده شده. به منظور حذف رطوبت و آماده سازی برای تزریق به مدت ۲۴ ساعت درخشک کن با دمای ۸۵°C قرار داده شدند. با تزریق گرانول‌ها به درون قالبی مطابق استاندارد ASTM-D638 تحت پارامترهای ثابت تزریق شامل فشار تزریق ۸۰ بار، دمای سیلندر تزریق ۱۷۰، ۱۷۰، ۱۶۰، سرعت بارگیری ۶۰ دور بر دقیقه، و زمان دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد و نمونه‌ها پس از ۳-۲ دقیقه از قالب بیرون آورده شدند. در هر مرحله تزریق ۴ نمونه به دست آمده.

جدول (۵): درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده نمونه‌های کامپوزیتی

درصد سازگار کننده	درصد آرد چوب	درصد پلی پروپیلن	تیمار
۰	۰	۱۰۰	۱
۲٪	۲۰	۷۸	۲
۳٪	۳۰	۶۷	۳
۴٪	۴۰	۵۶	۴

تهیه نمونه فوم

برای تبدیل PP/WF به فوم از روش توده‌ای استفاده می‌کنیم؛ زیرا در این روش هیچ گونه ناخالصی به ماده مورد نظر اضافه نمی‌شود و از طرفی ماده مورد نظر دست خوش ترکیب یا واکنش با مواد دیگر نمیشود. انتخاب دما برای تبدیل PP/ WF بسیار مهم می‌باشد زیرا اگر دما بالا باشد ممکن است نمونه روی سطح دچار حبابهای برجسته شود که نامناسب بوده و از طرفی اگر دما بسیار کم باشد نمونه به صورت کامل فوم نشده و در نتیجه خواص مکانیکی مطلوب را نخواهد داشت. برای انجام آزمایش فشار اشباع ثابت در نظر گرفته شد و زمان اشباع نیز ۹۶ ساعت انتخاب شد. پس از اشباع دو پارامتر زمان فوم کردن و دمای فوم کردن بررسی شدند. برای این کار پس از اینکه نمونه‌ها را از مخزن تحت فشار بیرون آوردیم بلافاصله یک مخزن حاوی گلیسرین آماده شده. گلیسرین مایعی زلال، بی‌رنگ، بی‌بو و چسبناک است و در حضور گرما و مواد آب‌گیر آب از دست داده به آلدئید دود کننده با بوی بد که مخاط را به شدت آزار می‌دهد تبدیل می‌شود و در معرض هوا به آرامی رطوبت جذب می‌کند و گرانیروی بالایی دارد. برای بررسی این دو پارامتر دماهای تنظیم شده گلیسرین عبارتند از: ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه سانتی گراد و زمان های نگهداری (غوطه وری نمونه‌ها) عبارتند از: ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ثانیه. ابتدا ظرف حاوی گلیسرین تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد گرم کردیم و مطابق باروش طراحی آزمایش مورد نظر ۴ نمونه را به مدت زمان تعیین شده در ترتیب استاندارد فوم نمودیم. سپس دمای گلیسرین را به ۹۰ درجه سانتی گراد کاهش داده و ۷ نمونه را مطابق با جدول فوم کردیم. در مرحله آخر دما را به ۸۰ درجه رسانده و چهار نمونه دیگر را فوم کردیم.

جدول (۶): ترتیب استاندارد جهت فوم کردن نمونه‌های کامپوزیتی

دما	زمان	درصد پودر چوب	شماره نمونه‌ها	ترتیب استاندارد
۹۰	۵۰	۳۰	1	۱۴
۱۰۰	۶۰	۳۰	2	۱۲
۸۰	۵۰	۲۰	3	۱
۸۰	۴۰	۳۰	4	۹
۹۰	۵۰	۳۰	5	۱۳

۵	6	۲۰	۴۰	۹۰
۱۱	7	۳۰	۶۰	۸۰
۶	8	۴۰	۴۰	۹۰
۷	9	۲۰	۶۰	۹۰
۱۰	10	۳۰	۴۰	۱۰۰
۲	11	۴۰	۵۰	۸۰
۴	12	۴۰	۵۰	۱۰۰
۱۵	13	۳۰	۵۰	۹۰
۳	14	۲۰	۵۰	۱۰۰
۸	15	۴۰	۶۰	۹۰

آزمون ها و تجهیزات نمونه‌های فوم شده

اندازه گیری چگالی

برای اندازه گیری چگالی نمونه‌ها، از ترازوی ارشمیدس استفاده شد. تفاوت این ترازو با سایرین این است که دارای زیر کش می‌باشد؛ یعنی توسط اهرمی که از زیر به ترازو متصل می‌گردد می‌توانیم قطعات را به ترازو آویزان کنیم. میز ارشمیدس از چندین بخش اصلی تشکیل شده است. ۱- پایه میز ارشمیدس ۲- ترازوی ارشمیدس ۳- سطل ارشمیدس ۴- سبد دانسیته

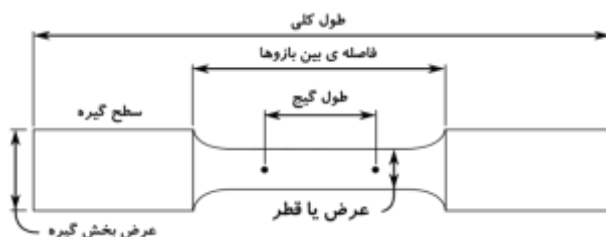
برای اندازه گیری چگالی فوم (ρ_f) مطابق روش ارشمیدس، ابتدا نمونه فوم شده به جرم M_f و حجم V_f را توسط ترازوی دقیق وزن می‌کنیم و جرم آنرا که بر حسب گرم می‌باشد ثبت می‌کنیم. سپس نمونه را درحالی‌که در آب به چگالی مشخص (ρ_w) غوطه ور کرده ایم به طوری که تمام سطوح آنرا آب فرا گرفته است وزن میکنیم دراینصورت ترازو تغییر جرم (ΔM) نشان خواهد

جدول (۷): چگالی نمونه‌های فوم شده

چگالی	درصد ρ_f / ρ_w	آزمایشات
۰,۸۹	۰	۱
۰,۹۷	۲۰	۲
۰,۹۸	۳۰	۳
۰,۹۹	۴۰	۴

آزمون کشش

آزمایش کشش برای تعیین رفتار تغییر شکل ماده در اثر اعمال نیرو می‌باشد. نمونه کششی، یک نمونه با سطح مقطع استاندارد است که دو بازو و یک گیج (مقطع) در میانه دارد. بازو ها بزرگ بوده تا بتوانند به راحتی و به صورت محکم توسط گیره ها گرفته شوند، در حالیکه بخش گیج سطح مقطع کمتری دارد به طوریکه تغییر شکل و شکست در این ناحیه رخ می‌دهد. هر دو انتهای نمونه باید طول و شرایط سطحی یکسانی را در طی آزمون محکم دارا باشند.



شکل (۲): نمونه کشش استاندارد

طول اولیه گیج (Lo) استاندارد شده است و بسته به اندازه قطر (Do) یا سطح مقطعی (Ao) تغییر می کند. دستگاه باید قابلیت های مناسب را برای نمونه در حال آزمایش داشته باشد. ۳ پارامتر اصلی وجود دارد: ظرفیت فشار، سرعت و دقت. ظرفیت فشار به این حقیقت اشاره دارد که دستگاه باید قادر به تولید نیروی کافی برای شکست نمونه باشد. این نیرو باید به اندازه کافی سریع یا آرام باشد تا بتواند شرایط حقیقی را شبیه سازی کند. برای مثال یک دستگاه بزرگ که برای اندازه گیری کشش های طویل طراحی شده ممکن است با یک ماده ی شکننده که کشش های کوتاه قبل از شکستن را تجربه کرده کار نکند.

تنظیم نمونه تست یک موضوع مهم به شمار می رود. چرا که اگر نمونه به طور نادرست تنظیم شده باشد یعنی تحت زاویه یا افست بسته شده باشد باعث می شود که دستگاه یک نیروی اضافی خمشی نیز به آن وارد کند. این مخصوصاً برای مواد شکننده بد است زیرا که به طور زیادی در نتایج باعث بروز خطا می شود. این وضعیت می تواند با استفاده از نشیمنگاه های کروی یا مفصل های همه کاره بین گیره ها و ماشین تست به حداقل برسد.

در آزمایش کشش نمونه ها داخل گیره هایی قرار می گیرند که یکی از آنها امکان حرکت را دارد. دستگاه نمونه ها را تا جایی که گسیخته شوند می کشد و بار اعمال شده به نمونه را همراه با مقدار تغییر طول نمونه اندازه می گیرد. فرایند آزمایش نیاز به گیره های مخصوص، نیروسنج و وسیله ای جهت اندازه گیری جابه جایی برای هر نوع ماده دارد. نیروسنج ترانس د یوسری است که به خوبی کالیبره شده تا مقدار بار اعمال شده را بسیار دقیق اندازه گیری کند. تغییر طول نمونه توسط دستگاه خاصی اندازه گیری می شود که در دو حالت قرار دارد. حالت اول توسط وسایل بسیار دقیق می باشد و حالت دوم که برای نمونه های با تغییر شکل بالاست، از جابه جایی گیره ها استفاده می شود. خواص مکانیکی از نمودار تنش _ کرنش که خروجی دستگاه می باشد تعیین می شوند. آزمایش کشش یک آزمایش مخرب است. آزمایش کشش تک محور در این تحقیق توسط دستگاه Hounsfield مدل h25ks ساخت کشور تایوان با لودسل ۲۵۰ کیلو نیوتن و سرعت ۵ mm/min روی نمونه کشش به ضخامت ۱/۵ mm انجام شده است.

تنشی که تحت آن نمونه شروع به تسلیم می کند، تنش تسلیم (σ_Y Yield Stress) و تنشی که تحت آن نمونه گسیخته می شود، تنش گسیختگی (σ_B Breaking Stress) و تنشی که در آن ماکزیمم بار به نمونه وارد شود، تنش نهایی (σ_U Ultimate Stress) نامیده می شود. در مصالح ترد نظیر چدن، شیشه و سنگ گسیختگی نمونه بدون تغییرات محسوس در تغییر طول پدید می آید. در نتیجه تفاوتی بین σ_U و σ_B وجود ندارد [۵۲].

فرایند آزمون شامل قرار دادن نمونه تست داخل دستگاه و اعمال کشش به آن تا زمان گسیختگی است.

اسپاتر کوتر^۷

از این دستگاه جهت آماده سازی نمونه هایی که نیمه رسانا و یا نارسا هستند، استفاده شد، چون با برخورد بیم الکترونی به نمونه، الکترون ها متجمع شده و پدیده ای به نام شارژ رخ داده که هم زمان باعث انحراف بیم الکترونی از مسیر مستقیم آن می گردد. این پدیده به شکل نقاط بسیار روشن در نمونه دیده می شود؛ به همین علت، نمونه ها توسط لایه بسیار نازکی از یک ماده رسانا که معمولاً طلا، پالادیوم، پلاتین و یا کربن هستند، پوشش داده می شوند. ابتدا نمونه ها برای شکست به مدت ۱۵ ثانیه درون نیتروژن مایع قرار داده شد. سپس نمونه های شکسته شده در دستگاه اسپاتر کوتر مدل AGAR ساخت

^۷ - Sputer cutter

کشور انگلستان به مدت ۱۵۰ ثانیه قرار گرفت و خلأی حدود ۴۰-۳۰ میلی بار ایجاد شد. پلاسمای موجود سبب کنده شدن اتم های طلا از تارگت طلا، گردید و هاله ای با ضخامت ۱۰-۷ میکرومتر، دور نمونه را گرفت.

میکروسکوپ الکترونی روبشی^۸

میکروسکوپ الکترونی روبشی برای مشاهده مورفولوژی و ساختار سلول از کامپوزیت های فوم شده به کار می رود. ساخت SEM سبب شد تا محققان بتوانند نمونه ها را به سادگی و با وضوح بیشتر مطالعه کنند. بمباران نمونه با پرتوی الکترونی سبب می شود تا از نمونه الکترون ها و فوتون هایی خارج و به سمت آشکارسازها رها شوند که در آن قسمت تبدیل به سیگنال می شوند. حرکت پرتو بر روی نمونه مجموعه ای از سیگنال ها را فراهم می کند که بر این اساس میکروسکوپ می تواند تصویر متقابل از سطح نمونه را به صورت لحظه به لحظه بر صفحه نمایش دهد؛ بنابراین مکانیزم عملکرد SEM با میکروسکوپ های نوری کاملاً متفاوت است. در این تحقیق از یک ماشین SEM (شرکت لئو، مدل 435-vp - انگلستان) استفاده شده است. در SEM، پرتوهای الکترونی ورودی به نمونه معمولاً حاوی الکترون هایی با انرژی ۱ تا ۵۰ الکترون ولت هستند که هنگام برخورد با ماده، رفتار بسیار متفاوتی از خود نشان می دهند. در برهمکنش نمونه و الکترون، الکترون می تواند: ۱- بی تأثیر بوده و از نمونه عبور نماید ۲- به طور الاستیکی پراکنده شود تغییری در انرژی آن به وجود نیامده، اما جهت آن تغییر نماید؛ ۳- پراش یافته و انکسار و در یک جهت ترجیحی که توسط ساختار بلوری نمونه تعیین می شود، پخش گردد؛ ۴- به طور غیرالاستیکی پراکنده و در انرژی و جهت آن تغییر ایجاد گردد ۵- جذب شود. لیزرها در مسیر حرکت الکترونی باعث کاهش قطر اشعه می شوند و یک اشعه متمرکز شده با قطر کم را به سمت نمونه می فرستند. اشعه الکترونی با منطقه ای روی سطح نمونه تا عمق حدود ۱ میکرومتر فعل و انفعال و سیگنال هایی تولید می کند که باعث تولید عکس می شود. هر چه اندازه اشعه کوچکتر باشد (قطر آن کمتر باشد) وضوح عکس بهتر خواهد بود. در SEM مانند میکروسکوپ الکترونی عبوری یک پرتو الکترونی به نمونه می تابد. منبع الکترونی معمولاً از نوع انتشار ترمیونیکی فیلامان یا رشته تنگستنی است اما استفاده از منابع گسیل میدان برای قدرت تفکیک بالاتر افزایش یافته است. معمولاً الکترون ها بین ۱۳۰ کیلوولت شتاب داده می شوند سپس دو یا سه عدسی متمرکز کننده پرتو الکترونی را کوچک می کنند تا حدی که در موقع برخورد با نمونه قطر آن حدوداً بین ۱۰-۲۱ nm است. محدودیت اندازه توسط طراحی میکروسکوپ های الکترونی روبشی موجود تعیین می شود. معمولاً نمونه هایی با بزرگی ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر را می توان در میکروسکوپ قرار داد ولی نمونه ۴-۸ سانتی متر را می توان بدون جابه جاکردن نمونه بررسی کرد [۵۲] همچنین یک ستون الکترونی برای همگرا کردن باریکه الکترونی و پدید آوردن تغییرات لازم در شرایط کاری آن نیز وجود دارد. نمونه هایی که داخل دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی قرار می گیرند باید کاملاً خشک، عاری از هرگونه خواص مغناطیسی، دارای رسانایی بالا و در ابعاد مناسب باشند تا هم به نتیجه موردنظر دست یافت و هم دستگاه را از هرگونه آسیبی حفظ کرد. در مورد نمونه هایی که نیمه رسانا و یا نارسانا هستند، با برخورد بیم الکترونی به نمونه، الکترون ها متجمع شده و پدیده ای به نام شارژ رخ داده که هم زمان باعث انحراف بیم الکترونی از مسیر مستقیم آن می گردد. این پدیده به شکل نقاط بسیار روشن در نمونه دیده می شود؛ به همین علت، به صورت کلی، آماده سازی نمونه های میکروسکوپ الکترونی روبشی به ترتیب زیر می باشد:

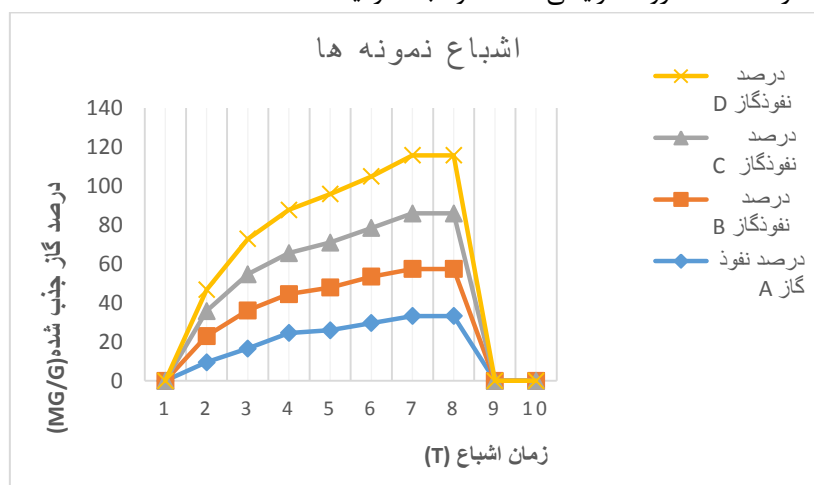
- ۱- نمونه برداری مناسب ۲- آماده سازی خاص نمونه های مختلف بر حسب اندازه، شکل و جنس نمونه ۳- تمیز و خشک کردن نمونه ۴- چسباندن نمونه ها روی جانمونه ای ۵- پوشش دهی نمونه در صورت نیاز ۶- ایجاد اتصال الکتریکی بین نمونه و جانمونه ای

نتایج اشباع نمونه ها و نفوذ گاز CO₂

دو روش اساسی برای تخمین یا محاسبه مقدار کل CO₂ جذب شده توسط پلیمر وجود داشته است. ۱- اشباع نمونه در اتوکلاو به صورت مرحله ای و اندازه گیری اضافه وزن نمونه تا زمانی که تغییری در وزن مشاهده نشود [۵۲، ۳۵، ۳۶، ۳۷] ۲- ابتدا نمونه را طی زمانی مشخص (مقادیر معمولاً از روش اول به دست می آیند) در اتوکلاو اشباع کرده و سپس کاهش وزن نمونه را در

⁸ - SEM

زمان های خاص به دست آورده تا وقتی که ثابت شود [۱۳]. در این تحقیق از روش اول استفاده گردیده است؛ بنابراین برای این منظور ابتدا نمونه های کامپوزیت که با در صد های وزنی ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ پودر چوب تهیه شده بودند را در زمان های متفاوت ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۹۷، ۹۹، ۱۰۰ ساعت، تحت فشار ۴۵bar گاز CO₂ در دمای محیط داخل مخزن قرار داده شد. همان طور که گفته شد پس از هر سیکل زمانی نمونه ها توسط ترازوی دقیق با دقت ۰,۰۰۰۱ گرم اندازه گیری شدند و مشاهده گردید نرخ جذب گاز در ۹۷ تا ۱۰۰ ساعت مشابه با ۹۶ ساعت بوده؛ بنابراین ۹۶ ساعت را به عنوان زمان اشباع لحاظ نمودیم و سپس نمودار جذب گاز نمایش داده شد. شکل (۳) نشان می دهد که درصد جذب گاز در نمونه ۴۰٪ پودر چوب بیشتر بوده. این می تواند ناشی از افزایش پودر چوب که باعث ایجاد حفره هایی بین سطح مشترک الیاف و ماتریس پلیمر و یا خود الیاف چوب شود که سبب می شود مولکول های گاز بیشتری را در خود جای دهد و هم چنین مشاهده شده که نرخ جذب گاز نمونه ها در ۹۶ ساعت روند افزایشی نداشته و ثابت گردیده است. [۱۱]



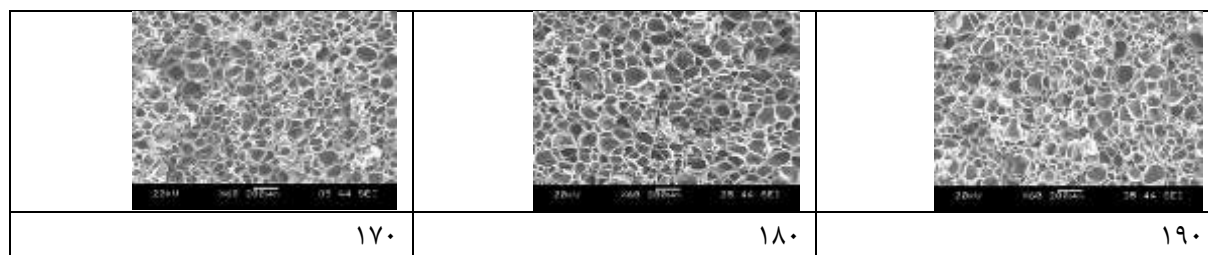
شکل (۳): نمودار اشباع نمونه های کامپوزیت و PP خالص تحت فشار 45 bar

نتایج چگالی نمونه های فوم شده

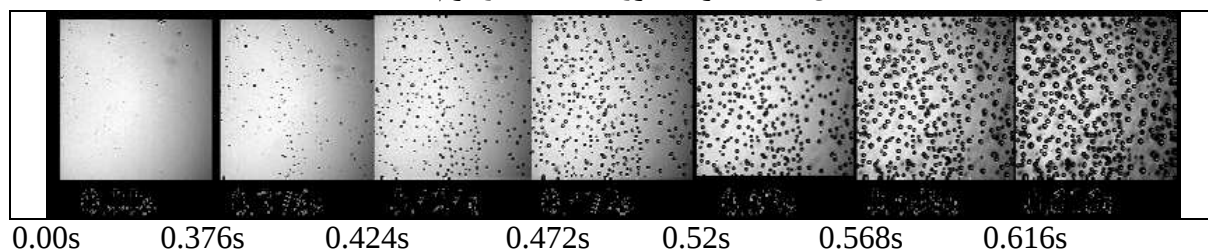
چگالی فوم یکی از پارامترهای ساختاری است. با توجه به رابطه چگالی، که برابر است با جرم تقسیم بر حجم مشخص است که اگر جرم یک ماده ثابت باشد با افزایش حجم جسم، چگالی ماده کاهش میابد [۵۲]. در فرآیند توده ای تشکیل هسته عمدتاً توسط فشار اشباع کنترل شده که به طور ناگهانی به فشار اتمسفر کاهش می یابد در حالی که رشد سلول توسط درجه حرارت و زمان نظارت می شود؛ بنابراین هسته زایی سلول و چگالی فوم مستقل از یکدیگر کنترل شده به این معنا که درجه حرارت فوم می تواند برای کنترل آسان مراحل رشد سلول تا حد امکان پایین قرار گیرد [۱۳]. زمانی که نمونه ها داخل گلیسرین داغ قرار گرفته تعداد زیادی از هسته ها شروع به رشد کرده و سپس منبسط شده (بسته به مقدار گاز اضافه شده یا تولید شده) و فضای درون ماتریس را پر می کنند. دیوارهای حباب ها ممکن است آنقدر نازک و کشیده شود تا گسسته شوند. این بستگی به میزان فوم دارد (مقدار گاز موجود در مخلوط) حباب های هم سایه ادغام و تشکیل حباب بزرگتر غیر کرومی را خواهند داد که، گاز را از حباب های کوچک تر خارج می سازد اما این میزان فرار گاز تا دمایی مشخص به یک مقدار ثابت می رسد. همان طور که در شکل (۴) دیده می شود چگالی سلول با افزایش دما به دلیل این که به هم آمیختگی سلولی ناشی از استحکام پایین مذاب در دماهای بالا به وجود آمده یک تمایل به کاهش را نشان می دهد ولی افزایش زمان فوم هم سبب بالا رفتن چگالی شده که می تواند ناشی از ادغام سلول ها باشد [۴۱]. هم چنین افزایش پودر چوب از ۳۰٪ به ۴۰٪ سبب کاهش چگالی شده است که این می تواند به دلیل افزایش حجم و کاهش کسر خالی نمونه باشد. در فوم پلیمر با عامل پف فیزیکی سه مکانیزم مهم: هسته حباب، کامل شدن حباب و به هم پیوستن حباب شناخته شده است. این ها چگالی حباب نمونه های فوم شده را تعیین می کنند [۱۳، ۴۱، ۱۱]. کمترین چگالی مربوط به نمونه ۲۰٪ الیاف چوب با دمای ۹۰ درجه و زمان ۴۰ ثانیه بوده. به دلیل مشکلات مبهم در اندازه گیری، مقدار از دست دادن گاز در فرآیند میکروسلولی شناسایی تأثیر دما و زمان روی چگالی فوم آسان نبوده و نیاز به مطالعات بیشتر می باشد.

جدول (۸): ترتیب استاندارد نمونه‌های فوم شده

چگالی	زمان	دما	درصد پودر چوب	شماره نمونه‌ها	ترتیب استاندارد
۰,۹۱	۵۰	۹۰	۳۰	1	۱۴
۰,۹	۶۰	۱۰۰	۳۰	2	۱۲
۰,۹۳	۵۰	۸۰	۲۰	3	۱
۰,۹۴	۴۰	۸۰	۳۰	4	۹
۰,۹	۵۰	۹۰	۳۰	5	۱۳
۰,۸	۴۰	۹۰	۲۰	6	۵
۰,۹۵	۶۰	۸۰	۳۰	7	۱۱
۰,۹۳	۴۰	۹۰	۴۰	8	۶
۰,۸	۶۰	۹۰	۲۰	9	۷
۰,۸۹	۴۰	۱۰۰	۳۰	10	۱۰
۰,۹	۵۰	۸۰	۴۰	11	۲
۰,۹۲	۵۰	۱۰۰	۴۰	12	۴
۰,۸۱	۵۰	۹۰	۳۰	13	۱۵
۰,۹۵	۵۰	۱۰۰	۲۰	14	۳
۰,۹۳	۶۰	۹۰	۴۰	15	۸



شکل (۴): تأثیر دما بر رشد حباب در فوم EVA



شکل (۵): تأثیر افزایش زمان بر رشد حباب [۵۳]

از نتایج مشاهده می‌شود که کمترین چگالی مربوط به نمونه فوم شده در زمان ۴۰ ثانیه و بیشترین چگالی مربوط به نمونه در زمان ۵۰ و ۶۰ ثانیه می‌باشد. از شکل (۴) مشاهده می‌شود که کاهش چگالی در نمونه ۲۰٪ پودر چوب و افزایش چگالی در نمونه ۳۰٪ اتفاق افتاده است. طبق بررسی‌های ماتا و همکاران در ارتباط بین مورفولوژی سلول و خواص مکانیکی بر فوم کامپوزیت چوب / PVC، نتیجه گرفتند که افزایش دما سبب کاهش چگالی سلول‌ها می‌شود [۳۱]. ما نیز در این تحقیق شاهد کاهش چگالی به طور قابل توجهی پس از رسیدن دمای فوم بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد هستیم. افزایش زمان فوم

سبب افزایش چگالی و افزایش دمای فوم سبب کاهش چگالی شده است.

نتایج آزمون کشش

به منظور تعیین خواص کششی ماده مانند استحکام کششی، مدول الاستیک و کرنش در نقطه شکست نمونه‌های پلی‌پروپیلن پودر چوب فوم شده با درصد‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. در این آزمایش نمونه تحت نیروی کششی یک بعدی که به طور پیوسته زیاد می‌شود قرار دارد و این در حالی است که ازدیاد طول نیز به طور همزمان مشاهده می‌شود. آزمایش کشش تک محوره توسط دستگاه *house filed* مدل *h25ks* با سرعت *5mm/min* روی نمونه‌های کشش به ضخامت *1/5 mm* انجام شده است. با دقت در نمودار زیر مشاهده می‌شود که در ابتدای فرایند کشش با ثابت بودن نیرو کرنش نیز افزایش یافته است. ابتدای این نمودار به صورت خطی می‌باشد اما پس از گذشت از منطقه الاستیک وارد منطقه پلاستیک شده و نشان می‌دهد که ماده به صورت ترد شکسته نشده و شکست نرم اتفاق افتاده است. شیب نمودار بیان کننده ی مدول کششی نمونه می‌باشد و بدین معنی است که نمونه در برابر تغییر شکل از خود مقاومت نشان می‌دهد و مشاهده می‌گردد که شیب تند نمودار در نمونه فوم نشده نمایانگر مدول کششی بالای آن نسبت به نمونه فوم شده بوده است. با دقت در نمودار نمونه شماره ۱۰ که در ۱۰۰ درجه سانتی گراد تحت آزمون کشش قرار گرفت دیده شد که ناحیه پلاستیک و هم چنین ازدیاد طول افزایش یافت. افزایش دما سبب کاهش استحکام کششی و افزایش ازدیاد طول در نمونه شماره ۱۰ شد. در نمونه شماره ۲ دیده شد کاهش دمای فوم و افزایش زمان فوم سبب افزایش استحکام کششی گردید. همان طور که دیده می‌شود کاهش زمان فوم در نمونه ۱۳ و کاهش دمای فوم در نمونه ۱۱ باعث بهبود استحکام نشده است. اینگونه نتیجه‌گیری شد که دما و زمان فوم تأثیر چشمگیری در استحکام و مدول کششی داشته است.

با دقت در نتایج نمونه فوم نشده نتیجه‌گیری می‌شود که با زیاد شدن درصد پودر چوب از ۳۰ به ۴۰ درصد در نمونه کامپوزیت، مدول کششی به دلیل بالا بودن مدول چوب نسبت به مدول پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد استحکام کششی و مساحت زیر نمودار تنش، کرنش برای نمونه فوم نشده کاهش می‌یابد که این حاکی از کاهش در ازدیاد طول و پایین آمدن جذب انرژی می‌باشد. با توجه به این موضوع که ازدیاد طول بیشتر قبل از شکست به نمونه اجازه تغییر شکل می‌دهد و انرژی راهبر می‌دهد و بنابراین شکست نمونه دیرتر اتفاق می‌افتد.

اکنون اگر به رفتار نمونه‌های فوم شده در دما و زمان‌های متفاوت توجه کنیم، بیشترین استحکام کششی در دمای ۸۰ درجه و زمان ۵۰ ثانیه اتفاق افتاده است زیرا افزایش دما سبب تلفیق سلول‌ها باهم و در نتیجه افزایش استحکام و ازدیاد طول می‌گردد ولی افزایش دمای بالاتر سبب رشد سلول‌ها و ریختن دیواره‌های سلولی و کاهش استحکام و ازدیاد طول شده است. تأثیر افزایش زمان فوم نیز بر روی استحکام و ازدیاد طول نیز به همین صورت بوده است. کاهش گرانیروی مذاب و استحکام کششی شده است. هم چنین ناحیه پلاستیک در نمونه‌های فوم شده افزایش که نشان دهنده قابلیت تغییر شکل بسیار زیاد می‌باشد. مدول کششی در نمونه‌های فوم شده نسبت به نمونه‌های ۲۰ و ۳۰ درصد پودر چوب، به دلیل کاهش زمینه پلیمری کاهش یافته است.

جدول (۹): خواص مکانیکی نمونه‌های فوم شده

مدول الاستیسیته Mpa	ازدیاد طول در شکست %	استحکام کششی در شکست Mpa	نمونه
1071	0	17/45	PP
2309	3/79	21/02	B شاهد
1704	5/54	17/67	B2
1454	5/80	15/65	B10
1745	2/79	17/22	B11
1492	4/96	16/18	B13
2382	2/66	21/72	C شاهد
1525	2/36	15/65	C3

C5	15/65	2/36	1525
C6	14/67	2/54	1662
C9	16/82	3/30	1739
C12	16/92	2/18	1801
C14	15/70	2/58	1700
C15	12/61	2/80	1350
D شاهد	20/55	1/98	2457
D1	15/86	4/80	1432
D4	17/12	7/68	1468
D7	16/93	4/6	1532
D8	17/79	5	1415

همان طور که در جدول (۹) آمده، با افزودن (۲۰، ۳۰ و ۴۰) درصد آرد چوب در نمونه‌های شاهد (B، C و D) به ترتیب، استحکام کششی و ازدیاد طول و مدول الاستیسیته در شکست، نسبت به نمونه PP خالص افزایش یافته است. همان طور که در نتایج دیده می‌شود استحکام کششی نمونه فوم شده، با افزایش ۳۰ درصد چوب، کاهش یافته است و سپس با افزایش ۴۰٪ پودر چوب افزایش می‌یابد. هم چنین افزایش دما سبب کاهش استحکام کششی گردیده و با افزایش زمان فوم استحکام کششی افزایش یافته است. این رویداد را می‌توان این گونه تفسیر نمود که با افزودن پودر چوب تا ۴۰ درصد حفره‌هایی بین سطح مشترک الیاف و ماتریس پلیمر و یا خود الیاف چوب به وجود آمده که سبب شده مولکول‌های گاز بیشتری را در خود جای دهند و حلالیت افزایش یافته است ومنتج به کاهش چگالی [۱۱] در نتیجه باافزایش حجم استحکام افزایش یافته است حال این که با افزایش دما ویسکوزیته کاهش یافته و امکان تجمع سلول‌ها به یکدیگر و سبب تمرکز تنش و کاهش استحکام شده و افزایش زمان فوم سبب تلفیق سلول‌ها و کاهش غیر یکنواختی وافزایش استحکام شده است.

از طرفی استحکام و خواص فیزیکی_ مکانیکی کامپوزیت با توجه به درصد الیاف تغییر می‌کند. کاهش استحکام کششی با افزایش مقدار چوب می‌تواند ناشی از عدم کفایت مواد جفت کننده باشد؛ بنابراین در صورت عدم حضور ماده واسطه به میزان مناسب وعدم یکنواختی در پخش مواد واسطه، می‌توان انتظار داشت که در برخی نواحی چسبندگی مناسب بین الیاف چوب و ماتریس پلیمری وجود نداشته باشد. این نواحی سبب ایجاد ترک یا حفره و در نتیجه تمرکز تنش شده و در نهایت باعث شکست زودرس ماده خواهد شد. [۴] اما مطابق با قانون ساده مخلوط‌ها استحکام فوم‌ها باید کمتر از مواد فوم نشده باشد (از فوم ایزو استاتیک). قابل توجه است که با افزودن عامل فوم ساز چگالی کامپوزیت کاهش یافته و با توجه به حضور حفره‌ها استحکام کششی و مدول کششی کاهش می‌یابد [27] فوم شدن در حالی که چگالی کاهش می‌یابد استحکام کششی، مدول، ازدیاد طول کاهش یافته است.

مدول الاستیسیته مقیاسی است از شیب منطقه الاستیک منحنی و در نتیجه سفتی ماده. از آنجایی که کرنش مهندسی بدون بعد است E دارای همان واحدی است که تنش σ دارد. هر چه مقدار E بزرگتر باشد، میزان باری که برای کشیدن نمونه لازم است به همان اندازه بیشتر می‌شود و در نتیجه ماده سفت تر است. یعنی الاستیسیته یک ماده قدرت بازگشت به حالت اولیه آن پس از تغییر شکل یافتن است، هنگامی که تنش‌ها یا بارهای خارجی وارد بر آن از ماده خارج شوند. این خاصیت، یک خاصیت کششی برای مواد محسوب می‌شود [۳۲].

نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش پودر چوب مدول کششی ابتدا کمی افزایش و سپس به شدت کاهش یافته است که این می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش پودر چوب جدایی بین زمینه و الیاف با کاهش درصد حجمی زمینه پلیمری اتفاق افتاده بنابراین نیروی لازم برای گسستگی کامپوزیت کاهش بیشتری نسبت به درصد ازدیاد طول یافته است [۴] تأثیر افزایش دما و زمان فوم نیز مشابه با استحکام کششی بوده است.

ازدیاد طول نهایی برای هر نوع ماده‌ای حائز اهمیت است، و عبارت است از مقداری که می‌توان نمونه را پیش از شکست کشید. ازدیاد طول برگشت پذیر درصد ازدیاد طولی است که می‌توان بدون تغییر شکل دائمی و بازگشت ناپذیر نمونه بدان دست یافت [۳۳ و ۳۴]

(۱) $L/L_0 * 100 =$ ازدیاد طول

نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد چوب تا ۳۰٪ ازدیاد طول کاهش یافته است چون استحکام نیز کم شده. وبا افزایش تا ۴۰٪ به دلیل بالارفتن استحکام، شاهد افزایش در ازدیاد طول هستیم. با افزایش دما ازدیاد طول ابتدا افزایش و سپس کاهش میابد که این می تواند به دلیل گسستگی دیواره های سلول در اثر افزایش دما باشد. با افزایش زمان میزان ازدیاد طول کاهش یافته است

ریخت شناسی

برای دستیابی به دید کلی در مورد ساختار میکروسلولی چند سازه PP/WF/MAPP عکس برداری با میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل (LEO435VP) انجام شده است. به همین منظور نمونه ها در آغاز درون نیتروژن مایع تا زیر دمای انتقال شیشه (۱۹۶°C-) برده شد، سپس شکسته شدند. به دلیل شکست در حالت یخ زدگی و سرما، تأثیرگذاری منفی ناشی از کشیده شدن و انعطاف ناشی از شکست در دمای معمولی اتاق، ایجاد نخواهد شد و ماتریس پلیمری و الیاف سلولزی در حالت تثبیت، و خشکی ناشی از دمای پایین دچار شکست و جدایی می شوند.

در چندسازه سبک شده جهت مشخص شدن نقش ذرات چوب در فوم PP بر روی مورفولوژی فوم و اثر آنها براندازه و شکل حفره های فوم تولیدی، تصاویری از SEM تهیه شدند. مورفولوژی سلول ها با افزودن ذرات چوب تغییر می کند یعنی تعداد حفره ها نسبت به حالت فوم خالص بیشتر شده و هم زمان اندازه آن ها کوچکتر می شود. در تصاویر مشاهده می شود که توزیع سلول ها شدیداً تحت تأثیر ذرات چوب می باشند و در صورتی که ذرات چوب به خوبی توزیع نشده باشند اندازه ذرات تحت تأثیر می باشند و یک ساختار سلولی نامنظم را تشکیل می دهند. در این قسمت با نرم افزار MIP4 اندازه ۳۰ سلول از بزرگترین تا کوچکترین سلول اندازه گیری شده و سپس میانگین اندازه سلول ها محاسبه گردید و تأثیر اندازه سلول بر استحکام کششی، چگالی، کسر خالی بررسی شد.

اگرچه به نظر می رسد کاهش اندازه ذرات در صورت توزیع یکنواخت، بایستی سبب افزایش استحکام گردد (به دلیل افزایش سطح مؤثر بین ذرات چوب و ماتریس پلیمری) و نتایج نیز همین را نشان می دهند انتظار می رود که این کاهش با چگونگی توزیع الیاف نسبت داشته باشد. بدین معنی که اندازه ذرات بیان گر سطح مؤثر آنها می باشد و هر قدر اندازه ذرات بزرگتر باشد سطح مؤثر مجموع کمتر می شود در نتیجه به دلیل کاهش جاذبه سطحی ذرات نسبت به یکدیگر، تجمع و غیر یکنواختی افزایش می یابد و سبب کاهش استحکام می شود. [۴]

همانطور که در نتایج آمده توزیع کیفی استحکام کششی با بالا رفتن میانگین سایز سلولی کاهش می یابد بیشترین استحکام کششی مربوط به نمونه شماره ۸ دارای ۴۰٪ آرد چوب که در دمای ۸۰ درجه و زمان ۵۰ ثانیه فوم شده است که این نمونه دارای کوچکترین اندازه سلولی می باشد. هم چنین ملاحظه می گردد که در نمونه شماره ۱۵ استحکام برابر با ۱۲/۶۱ مگاپاسکال علیرغم اینکه سایز سلول نیز پایین بوده، بسیار کاهش یافته است. دلیل این امر این است که افزایش دمای فوم تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد سبب بهم آمیختگی سلول ها و ریختن دیواره ها و کاهش سایز سلول می شود [۳۵]

تأثیر درصد چوب، دما و زمان روی اندازه سلول

با افزایش درصد ذرات چوب اندازه سلول ها ابتدا کاهش یافته که این امر به دلیل افزایش گرانیروی مذاب پلیمری در اثر افزایش پودر چوب بوده که این گرانیروی به عنوان یک مانع در مسیر رشد سلول ها عمل می کند [۳]. هم چنین دیده شده که با افزایش پودر چوب تا ۴۰٪ سایز سلول ها افزایش یافته که این به دلیل کاهش چگالی و فرار گازها می باشد زیرا حفره های گازی بیشتر سبب ایجاد سلول های بزرگتر می شود. با افزایش زمان فوم سلول ها تمایل به یکی شدن داشته در نتیجه سایز آنها افزایش یافته که زمان طولانی تر سبب فروپاشی دیواره ها و کاهش سایز سلول شده است [۳۵].

با افزایش دما، ویسکوزیته مذاب کاهش یافته در نتیجه در اثر هسته زایی تعداد سلول ها افزایش میابد که سبب کاهش سایز سلول ها شده هرچه دما بالاتر می رود به هم پیوستگی سلول ها افزایش یافته و اندازه سلول ها به علت افزایش غلظت حفره ها افزایش میابد [۶].

نتایج نشان می دهد کوچکترین میانگین سایز سلولی مربوط به نمونه ۴۰٪ پودر چوب با چگالی ۰,۹ gr/cm³ که در دمای

۹۰ درجه سانتی گراد و زمان ۴۰ ثانیه فوم شده است. بزرگترین سایز سلولی نیز مربوط به نمونه ۴۰٪ پودر چوب با چگالی 0.81 gr/cm^3 که در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ۵۰ ثانیه فوم شده است. این نشان می دهد کوچکترین و بزرگترین سایز سلولی در محدوده ۴۰٪ پودر چوب اتفاق می افتد زیرا با افزایش پودر چوب از ۳۰ به ۴۰ درصد ابتدا گرانیروی مذاب کاهش یافته و سبب سرعت هسته زایی گردیده و سایز سلول کاهش میابد. سپس با کاهش دما و افزایش زمان فوم تا ۵۰ ثانیه، شاهد افزایش در سایز سلول، یعنی $1/34$ هستیم که این تأثیر زمان فوم را بر رشد هسته نشان می دهد. حال با افزایش دما تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد و ثابت نگه داشتن زمان در ۵۰ ثانیه دیده شده که سایز سلول افزایش می یابد و به ماکزیمم مقدار $1/5 \text{ mm}$ رسیده و در نهایت با کاهش دما به ۹۰ درجه سانتی گراد و افزایش زمان تا ۶۰ ثانیه، کاهش چشمگیر سایز سلول را خواهیم داشت. این هم به دلیل تأثیر طولانی تر شدن زمان فوم و در نتیجه به هم آپارگی دیواره های نازک سلولی می باشد.

تأثیر دما، زمان و درصد چوب روی کسر خالی

از نتایج مشاهده می گردد که با افزایش درصد پودر چوب، کسر خالی افزایش یافته است زیرا حفره هایی در اثر افزایش پودر چوب در سطح مشترک الیاف و زمینه و یا در خود ساختار چوب ایجاد می گردد که سبب نفوذ گاز بیشتر در داخل سلول ها شده و کسر خالی افزایش می یابد [۱۱]. در این زمینه ماتا و همکاران نشان دادند که کسر خالی از نمونه فوم شده به شدت توسط مقدار گاز خارج شده از پوسته فوم در درجه حرارت های مختلف تحت تأثیر قرار گرفته. [۳۶] با افزایش زمان فوم تا ۵۰ ثانیه کاهش سریع کسر خالی اتفاق افتاده زیرا سبب فرو ریختن فوم و کاهش حجم آن شده و پس از آن کاهش چشم گیری دیده نمی شود. در درجه حرارت بالا، استحکام مذاب پلیمر و گرانیروی کششی به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. رشد سلول در نتیجه پراکنده شدن گاز در ماتریس پلیمری و کاهش گرانیروی رخ می دهد که توسط افزایش دما تسریع یافته و سبب نازک شدن دیواره های سلولی می گردد در نتیجه ابتدا کسر خالی افزایش می یابد و سپس در دمای بیشتر به دلیل فرو ریختن دیواره های سلولی و خروج گاز به محیط و انقباض فوم، کاهش کسر خالی مشاهده می شود [۳۵].

تأثیر سایز سلول بر کسر خالی

حجم خالی سلول توسط کنترل کردن زمان و یا دمای فوم ایجاد می شود. هم چنین سایز سلول نیز وابسته به زمان و دمای فوم می باشد. باید توجه داشت که اندازه سلول یک پارامتر مستقل از چگالی توده سلولی و کسر خالی (یا نرخ انبساط حجمی) نیست. هنگامی که انعقاد در سرتاسر می باشد چگالی توده سلول تغییر نمی کند و اندازه سلول تنها وابسته به کسر خالی می باشد. در این مورد سایز سلول با کسر خالی افزایش میابد [۳۵]. بهراوش و همکاران نشان دادند که حباب های خالی از یک نمونه فوم شده میکروسلولی به شدت توسط مقدار گاز خارج شده از رویه فوم در درجه حرارت های مختلف تحت تأثیر قرار گرفته [۳۶] هم چنین با زمان فوم ثابت کسر خالی با افزایش دما تا دمای بهینه افزایش یافته و سپس به دلیل از دست دادن گاز کاهش می یابد [۳۵].

تست جذب آب

مقدار جذب آب نمونه های فوم شده PP/WF توسط غوطه ور نمودن در آب مقطر در مدت زمان های معین و اندازه گیری جرم توسط ترازوی با دقت ۰,۰۰۰۱ محاسبه شد. نتایج نشان داده که چوب به دلیل گروه هیدروکسیل متفاوت OH تمایل به واکنش با مولکول های آب با پیوند هیدروژنی دارد؛ بنابراین برخلاف الیاف شیشه با آب نه تنها در سطح بلکه در حجم نیز واکنش می کند؛ و هم چنین به دلیل وجود سه ناحیه مهم: حفره سلولی درون گیاه لومن (مجرا)، دیواره سلول و درز بین الیاف چوب و PP هنگام چسبندگی ضعیف سطح مشترک دیده شده که با افزایش زمان و مقدار الیاف چوب جذب آب نیز افزایش می یابد [۵۵].

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر پارامترهای فرآیند و اثر اضافه کردن پودر چوب بر روی ماتریس PP و تبدیل آن به فوم و تأثیر آن بر روی خواص مورفولوژی، مکانیکی فوم PP/WF مطالعه گردید. پس از تهیه نمونه های کامپوزیتی و اشباع آن ها از گاز CO₂، نمونه ها را در مخزن حاوی گلیسیرین در دماهای ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ درجه سانتی گراد و زمان های ۴۰، ۵۰، ۶۰ ثانیه قرار دادیم و تبدیل

به فوم نمودیم. سپس آزمایش مکانیکی تست کشش و آزمون تحلیلی SEM را انجام دادیم. وبه بررسی تأثیر درصد چوب، دما و زمان روی چگالی نمونه فوم شده، تأثیر این پارامترها روی استحکام کششی، مدول کششی ازدیاد طول و اندازه سلول پرداخته شد و نتایج زیر حاصل شد.

۱- از نتایج چگالی استنباط می‌شود که کمترین چگالی نمونه فوم شده مربوط به نمونه ۲۰٪ پودر چوب در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و زمان ۴۰ ثانیه بوده. در واقع آنچه در فرآیند فوم شدن توسط عامل پفزا، فوم می‌شود، ماتریس پلیمر است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که هرچه درصد پلیمر در نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک بیشتر و درصد الیاف کمتر باشد، درصد فوم شدن افزایش می‌یابد.

در نتیجه با آزاد شدن حفرات گازی بیشتر، سلول‌های بزرگتر با چگالی سلولی کمتری تشکیل می‌شود. به همین دلیل کاهش چگالی در نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک فوم شده دارای ۲۰ درصد الیاف نسبت به نمونه‌های چندسازه فوم شده دارای ۴۰ و ۳۰ درصد الیاف بیشتر صورت گرفته است. [۳]

کم شدن چگالی با افزایش پودر چوب تا ۴۰٪ نیز اتفاق افتاده زیرا افزایش پودر چوب حفره‌هایی تو خالی در سطح مشترک ماتریس پلیمر و الیاف و یا درون ساختار چوب که کاملاً در طی فرآیند حفظ شده، ایجاد کرده. این احجام خالی می‌توانند مولکول‌های گاز بیشتری را در خود جای داده و بنابراین قابلیت انحلال را در کامپوزیت افزایش داده و سبب کاهش چگالی می‌شود [۱۱]

همان‌طور که انتظار می‌رود با افزایش دما و زمان فعالیت‌های مولکولی زیاد شده، گاز بیشتری از نمونه خارج شده، تعداد مولکول‌ها در واحد حجم کم شده و بنابراین چگالی و وزن مخصوص کاهش می‌یابد. [۳۱ و ۵۲]

با افزایش زمان فوم چگالی افزایش یافته است. بالدوین و همکاران این تأثیر زمان را روی چگالی سلول توسط ادعایی که اگر سنتتیک هسته زایی و سنتتیک رشد در مقیاس زمانی یکسان باشند یا اگر مورفولوژی سلول از طریق انعقاد سلول‌ها ضعیف شود و تأثیرات مربوطه در طی فرایند رشد، توضیح دادند. با این حال برای زمان فوم طولانی تر به دلیل پارگی دیوارهای نازک جداساز سلول‌ها به هم آمیختگی رخ خواهد داد و در نتیجه چگالی کاهش می‌یابد [۳۵]

۲- شکست در ساختار ممکن است دونوع باشد ۱- trans cell ۲- شکست مرزی سلول. حالت اول منتج به شکست ترد که منجر به تغییر قابل توجهی در سائز و چگالی سلول نمی‌شود ولی در حالت دوم شکست نرم و تغییر شکل پلاستیک اتفاق می‌افتد [۴۱]

در طی ساخت چند سازه های چوب پلاستیک مواد ترکیبی باید قدرت پیوند زنی داشته باشند و بتوانند فضاهای خالی را پرکنند. ساختار سفت و سخت الیاف بکر مانع از این پدیده می‌شوند و با تجمع و عدم پراکندگی مناسب به صورت توده های کوچک در یک منطقه تجمع کرده و نقش انتقال تنش را به خوبی انجام نمی‌دهند و فضاهای خالی بین دو ماده پلیمر و الیاف زیاد می‌شود در نهایت خاصیت پیوند یابی هم به دلیل فاصله زیاد کاهش می‌یابد این عوامل باعث کاهش مقاومت های مکانیکی می‌شوند [۵۴]

. از طرفی استحکام و خواص فیزیکی مکانیکی کامپوزیت با توجه به درصد الیاف تغییر می‌کند. کاهش استحکام کششی می‌تواند ناشی از عدم کفایت مواد جفت کننده باشد؛ بنابراین در صورت عدم حضور ماده واسط به میزان مناسب وعدم یکنواختی در پخش مواد واسط، می‌توان انتظار داشت که در برخی نواحی چسبندگی مناسب بین الیاف چوب و ماتریس پلیمری وجود نداشته باشد. این نواحی سبب ایجاد ترک یا حفره و در نتیجه تمرکز تنش شده و در نهایت باعث شکست زودرس ماده خواهد شد. [۴]

- از نتایج تست کشش این‌گونه نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش پودر چوب (تقویت کننده شکننده) استحکام کششی و مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد در حالی که با کاهش درصد ماده واسط سبب از هم گسستگی ماتریس و الیاف شده و ترکهای ریز و حفره های کوچک را ایجاد نموده که باعث تمرکز تنش شده و مقاومت به ضربه و چقرمگی کاهش می‌یابد همچنین از نتایج می‌توان نتیجه گرفت که هرچه مقدار چگالی بیشتر کاهش یابد استحکام کششی افزایش میابد و دیده شده که در نمونه‌های ۲۰ و ۴۰ درصد استحکام کششی افزایش یافته است؛ بنابراین در نمونه فوم، با وجود حفره‌های گازی ایجاد

شده و کاهش درصد حجمی زمینه پلیمری کاهش استحکام کششی مشاهده نشده.

هم چنین دیده شده باافزایش درصد پودر چوب در نمونه فوم، مدول کششی کاهش می‌یابد که این می‌تواند به علت جدایی بین الیاف و زمینه باشد که با فوم شدن تشدید می‌یابد [۴].

۳- در نتایج دیده شده که در چندسازه های چوب پلاستیک فوم شده، آرد چوب به عنوان عامل هسته گذار ناهمگن عمل می‌کند. از این رو افزایش آن موجب به وجود آمدن هسته های بیشتر با اندازه کوچکتر و چگالی سلولی بیشتر و در نتیجه کم شدن گاز موجود برای شمار زیادی سلول می‌شود. دلیل دیگر به افزایش گرانیوی مذاب پلیمری در اثر افزایش میزان آرد چوب مربوط است. گرانیوی بیشتر مذاب می‌تواند به عنوان یک مانع در مسیر رشد سلول ها عمل کند و دلیل دیگر می‌تواند به انرژی آزاد گیبس هسته گذاری مربوط شود. با توجه به اینکه انرژی هسته گذاری در سطح چوب و پلیمر کمتر از انرژی هسته گذاری در پلیمر خالص می‌باشد بنابراین با افزایش درصد آرد چوب، انرژی آزاد گیبس کاهش می‌یابد. در نتیجه اندازه سلول های حاصله کاهش و چگالی سلول ها افزایش می‌یابد [۳] این اتفاق با افزودن ۳۰٪ پودر چوب مشاهده شده ولی در ناحیه 30-40٪ پودر چوب خلاف این اتفاق افتاده.

از نتایج اندازه سلول می‌توان نتیجه گرفت که مکانیزم رشد سلول توسط سختی ماتریس پلیمر/گاز، میزان نفوذ گاز و مقدار گاز از دست رفته در هر مرحله از دما و زمان فوم کنترل می‌شود. زمانی که محلول گاز/پلیمر بالای دمای انتقال شیشه ای گرم شود، سلول آغاز به رشد خواهد کرد و رشد سلول ادامه پیدا خواهد کرد تا گاز کاملاً از مذاب پلیمر تخلیه شود سائز نهایی سلول توسط مقدار گاز وارد شده برای رشد سلول تعیین می‌شود. اندازه سلول به شدت وابسته به دما و زمان فوم می‌باشد و هم چنین یک پارامتر مستقل از چگالی توده سلولی و کسر خالی (یا نرخ انبساط حجمی) نیست؛ بنابراین روند افزایشی سائز سلول ممکن است به علت تلفیق سلول ها، افزایش کسر خالی و یا هردوی آنها باشد. [۳۵]. هم چنین افزایش دما بالاتر از بهینه سبب فعال شدن به هم آمیختگی سلولی و پایین آمدن استحکام مذاب و در نتیجه افزایش سائز سلول می‌شود. [۳۱].

نتایج اشاره دارد که مورفولوژی سلول از فوم های کامپوزیت توسط افزایش کسر خالی و اضافه کردن الیاف سلولز بهبود می‌یابد. تأثیر پودر چوب بر کسر خالی نشان می‌دهد، زمانی که ۰٪ سلولز استفاده شود به علت فقدان عامل هسته ساز، هسته زایی سلول ضعیف شده و وقتی ۲۰٪ سلولز استفاده شده این باور وجود دارد که انرژی مانع برای هسته زایی سلول کاهش یافته و رشد سلول از گازهای از قبل موجود در سطح مشترک بین الیاف سلولز و ماتریس PP اتفاق می‌افتد و هم چنین رشد سلول یا به هم پیوستن سلول ها توسط خنک کاری در طی فرایند متوقف می‌شود. [۲۸].

ویسکوزیته پلیمر حل شده با CO₂ کاهش می‌یابد که منتج به پردازش آسانتر می‌شود. از آنجا که هسته زایی و رشد حباب هر دو مراحل رقابتی در طی فرایند فوم هستند، نرخ هسته زایی بالا باعث کاهش رشد حباب می‌شود که منجر به کوچکتر شدن سائز سلول خواهد شد. هم چنین CO₂ فوق بحرانی حلالیت بیشتر و اثر پلاستیک دارد ولی نیتروژن فوق بحرانی قدرت هسته زایی سلولی بهتری را نشان می‌دهد [۴۱].

پارامترهای پردازش بحرانی که بر مورفولوژی سلول فوم نهایی تأثیر می‌گذارد شامل: غلظت پلاستیک، رفتار سطح الیاف چوب و زمان و دمای فوم می‌باشد. با درست کردن این پارامترها، کسر خالی، چگالی سلول و اندازه سلول مطلوب می‌تواند به دست آید [۳۵]. از طرفی رشد سلول می‌تواند به عنوان یک نتیجه از پراکنده شدن گاز در ماتریس پلیمری، کاهش ویسکوزیته و نازک شدن دیواره سلولی و در نتیجه ویسکوزیته کاهش یافته نرخ نفوذ از طریق دیواره های سلولی را تسریع و گاز به سرعت به محیط خارج شده و حجم فوم منقبض می‌شود [۳۵].

۴- حضور حفره ها منجر به اختلالات پردازش یا تخلخل کامپوزیت های ایجاد شده از آرد چوب روی حساسیت آنها به جذب آب مورد ملاحظه بوده است [۵۶]. هم چنین رطوبت جذب شده در الیاف چوب بر تخلخل درون کامپوزیت تأثیر داشته و سبب کاهش خواص مکانیکی و در سمت دیگر الیاف چوب را نرم می‌کند و به عنوان یک کمک فرایند به شمار آید [۵۵]. از آنجا که مقدار زیاد رطوبت در الیاف چوب ممکن است ساختار سلول را از نظر: اندازه سلول، گیریکنواختی و کیفیت سطح ضعیف کند بنابراین حذف یا کاهش رطوبت گازهای فرار از الیاف چوب برای بهبود این خصوصیات یک مسئله حیاتی می‌باشد [۱۱]

پیشنهادهای

به منظور غلبه بر کاستی‌های فرایند توده‌ای، از فرایند میکروسلولی مقرون به صرفه (قالب‌گیری تزریقی، اکستروژن و قالب گیری فشاری) استفاده شود. از پسماندهای کشاورزی به جای الیاف چوب استفاده گردد.

منابع

- [1] - رضائی آ، " کامپوزیت‌های زمینه پلیمری " پاییز ۱۳۹۰
- [2] - کرد، ب، " استفاده از ذرات نانو رس در بهبود خواص کاربردی کامپوزیت چوب-پلاستیک "، مجله مواد مهندسی، جلد ۱، شماره ۴، صفحات ۳۶۹ - ۳۷۷، آبان ۱۳۸۸
- [3] کُرد. ب، پورعباسی.س، کیائی فر، آ، پاییز ۱۳۸۹ بررسی اثر مقدار و نوع ماده تقویت کننده لیگنوسلولوزی بر ویژگیهای فیزیکی_ مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره سوم، ص ۵۸
- [4] امیر حسین بهروش و همکاران بهمن ماه ۱۳۸۱، بررسی فرایند پارامترهای تولید کامپوزیت پلی پروپیلن و چوب به روش اکسترودر دو ماردر، پنجمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران، ص ۲۳
- [5] B Kord, " Preparation and characterization of lignocellulosic material filled polyethylene composite foams ", Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2011
- [6] پوست فروش، م، " بررسی خواص فیزیکی مکانیکی فوم های کامپوزیتی چوب - پلی اتیلن با دانسیته بالا "، مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، ۱۳۸۶
- [7] "انواع گریدهای پلی پروپیلن و کاربرد آن ها"، شرکت اریا پلیمر پیشگام
- [8] پروپیلن " شرکت گسترش صنایع پایین دستی پتروشیمی.
- [9] دانشنامه پلیمر ایران، " پلی پروپیلن"،
- [10] O. Faruk, A. K. Bledzki, L. M. Matuana, "Microcellular Foamed Wood-Plastic Composites by Different Processes a Review: Macromolecular Journal, NO.292,PP.115-116. 2007
- [11] G G U O, "Wood polymer composite foams " Wood, polymer composites foams", 227-252, 2008
- [12] H.Teymoorzadeh, D. Rodrigue, " Morphological mechanical, and thermal properties of injection molded polylactic acid foams/composites based on wood flour ", Journal of Cellular Plastics, ۲۰۱۶
- [13] C. Okolieocha, D Raps, K Subramaniam, V Altstädt " Microcellular to nanocellular polymer foams: Progress (2004–2015) and future directions -A review", European Polymer Journal, NO.73,PP.505-506
- [14] Y. H. Lee Kevin, "FOAMING OF WOOD FLOUR/POLYOLEFIN/LAYERED SILICATE COMPOSITES", for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Forestry, 2008
- [15] Sônia Marlí Bohrz Nachtigall* Franciela Arenhart Soares, " Effect of chemical and physical foaming additives on the properties of PP/wood flour composites", Polymer Testing, Chemistry Institute, Federal University of Rio Grande do Sul Av., 2013, 32, 640–646
- [16] Zhen-Xiu Zhang. Changyun Gao, Zhen Xiang Xin, Jin Kuk Kim, " Effects of extruder parameters and silica on physico-mechanical and foaming, Composites "School of Nano and Advanced Materials Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam, Jinju 660-701, South Korea, 2012, 43, 2047–2057

- [17] شاکرمی، کیومرث؛ طاهر ازدست و علی دنیوی، ۱۳۹۰، بررسی تجربی خواص ساختاری فوم میکروسلولی ترموپلاستیک الاستومر پلیوینیلکلراید/ نیترا بوتادینر با روش توده‌ای، دوازدهمین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید ایران، تهران، انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- [18] الیاسی، عبدالله؛ دوست حسینی، کاظم؛ تجویدی، مهدی؛ بهروش، امیرحسین، بررسی انواع ماده پرکننده و کاربرد ماده کف زابر خواص فیزیکی و مکانیکی چند سازه چوب پلاستیک، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران (علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران)، ۱۳۹۱، جلد ۲۸، صفحه ۶۱۲-۵۹۷
- [19] مسعودی فر، مسیح؛ نصرتی ششکل، بابک؛ منصوری، حمیدرضا؛ محبی گرگری، رحیم؛ تأثیر نوع تیمار شیمیایی ماده چوبی بر خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت شناسی چندسازه هیبریدی آرد چوب / پلی پروپیلن، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران (دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل)، 1393، جلد 30، شماره 1، صفحه ۱۳۱-۱۱۹.
- [20] نوربخش، امیر؛ کارگرفرد، ابوالفضل؛ بررسی خواص مکانیکی نوع و درصد جف تکننده در چندسازه باگاس پلی پروپیلن؛ فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران (بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران)، 1393، جلد 30، شماره 1، صفحه 96-85
- [21] S Ghanbar, O Yousefzade, F Hemmati and H Garmabi , Microstructure and thermal stability of polypropylene/ bagasse composite foams: Design of optimum void fraction using response surface methodology, Journal of optimum void fraction using response surface methodology, 1-18 , 2014
- [22] M Ardanuy , M Antunes , J Ignacio Velasco "Vegetable fibres from agricultural residues as thermo-mechanical reinforcement in recycled polypropylene-based green foams" ۲۵۷-۲۵۶ , Waste Management , Available online 17 October 2011
- [23] J-Biao Bao , A Nyantakyi Junior , G-Sheng Weng , J Wang , Y-Wei Fang , G-Hua Hu "Tensile and impact properties of Microcellular isotactic polypropylene (PP) foams obtained by supercritical carbon dioxide " , 5-6 , J. of Supercritical Fluids , 21-1-2016
- [24] C-Chung Kuo, L-Chang Liu, W-Chung Liang, H-Chu Liu, C-Ming Chen, " Preparation of polypropylene (PP) composite foams with high impact strengths by supercritical carbon dioxide and their feasible evaluation for electronic packages" , ۱ of 5, Composites Part B , 22 April 2015
- [25] Bo Xie, Yi-hua Cui, Juan Xu, Xin-xin Wang, Hui-hui Zhang, Zhi-dan Zhang , " Investigation on Microstructure and Properties of Foamed (Wood Fiber)/(Recycled Polypropylene) Composites " JOURNAL OF VINYL & ADDITIVE TECHNOLOGY, PP. 1-2 , 2012
- [26] مطلبی، ر، " تنش و کرنش ، بارگذاری محوری " ، مقاومت مصالح ، ویرایش چهارم ، دانشگاه پیام نور.
- [27] Franciela Arenhart. S, Sônia Marlí Bohrz.N, " Effect of chemical and physical foaming additives on the properties of PP/wood flour composites", journal homepage , Polymer Testing , 32 , 640-646 , 2013
- [28] T Kuboki , "Mechanical properties and foaming behavior of injection molded cellulose fiber reinforced polypropylene composite foams " , Journal of Cellular Plastics , 50(2) , 129-130 , 2013
- [29] Composites: Manufacture and Application , Bethany Middleton , 2016
- تجهیزات اختلاط پلیمرها [30]
- [31] A. BŁDZKI, O FARUK, H KIRSCHLING, J KŁHN , A JASZKIEWICZ , " Microcellular polymers and composites", POLIMERY, nr 10, pa.698, 2006
- [32] تالیف: دکتر الیپس مسیحی و مهندس مریم رونق ، کتاب فناوری ها و ها و فرآیند های تولید
- [33] Odian, George; Principles of Polymerization, 3rd ed., J. Wiley, New York, 1991.

- [34] Jang, B. Z.; Advanced Polymer Composites: Principles and Applications, ASM International, Materials Park, OH, 1994.
- [35] LAURENT M. MATUANA , CHUL B. PARK, JOHN J. BALATINECZ, "Processing and Cell Morphology Relationships for Microcellular Foamed pvc/ wood fiber composites" , POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 37, No. 7, JULY 1997
- [36] DOROUDIAN'I S, CHUL B. PARK, " Processing and Characterization of Microcellular Foamed High-Density Polyethylene/Isotactic Polypropylene Blends", POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 38, No. 7, JULY 1998
- [37] Z. Xiu Zhang, J. Zhang, Bi-Xue Lu, Z. Xiang Xin, C. Ki Kang, J. Kuk Kim, "Effect of flame retardants on mechanical properties, flammability and foamability of PP/wood-fiber composites" , journal Elsevier , Composites: Part B 43 150–158, (2012)
- [38] T Kuboki," Foaming behavior of cellulose fiber-reinforced polypropylene composites in extrusion " , Journal of Cellular Plastics , 113–128 , 2014
- [39] C. Zhou, P. Wang, W. Li, "Fabrication of functionally graded porous polymer via supercritical CO2 foaming", journal homepage, Composites: Part B 42, 318–325, (2011)
- [40] S Sun, Y Ueda, H Suganaga, M Haruki, Sh Kihara ,ShTakishima , "Pressure drop threshold in the foaming of low-density polyethylene, polystyrene, and polypropylene using CO2 and N2 as foaming agents " , The Journal of Supercritical Fluids, 103, 38–47, (2015)
- [41] Wypych, George , "Handbook of foaming and blowing agents" , 2017
- [42] Hu Guanghong and Wang Yue, "Microcellular Foam Injection Molding Process" , National Engineering Research Center of Die & Mold CAD.