

## بررسی اثر میزان ماده کف زای شیمیایی و آرد چوب بر ویژگیهای مکانیکی، چگالی و ریخت شناسی چندسازه سبک شده هیبریدی پلی اتیلن سنگین/ اتیلن وینیل استات/ آرد چوب

سارا پورعباسی<sup>۱\*</sup>، بهروز کرد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر

### چکیده

در این تحقیق تأثیر میزان ماده کف‌زای شیمیایی و آرد چوب بر ویژگیهای مکانیکی، چگالی و ریخت شناسی چندسازه سبک شده هیبریدی پلی اتیلن سنگین/ اتیلن وینیل استات/ آرد چوب مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، چندسازه‌ها با استفاده از فرآیند اختلاط در یک مخلوط کن داخلی تهیه و سپس به روش تک مرحله‌ای (Batch) فوم شدند. سپس خواص مکانیکی شامل مقاومت خمشی، مدول خمشی و کششی و چگالی اندازه‌گیری شدند. ریخت شناسی نمونه‌ها نیز با عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش میزان آرد چوب، مقاومت خمشی، مدول خمشی و کششی و چگالی افزایش یافت. در حالی‌که با افزایش میزان ماده کف‌زای شیمیایی و EVA، خواص مکانیکی و چگالی چندسازه‌های فوم شده کاهش یافت. همچنین آرد چوب به عنوان عامل هسته‌گذار عمل کرده و منجر به کاهش اندازه سلولی و افزایش چگالی سلولی گشت. از طرفی، EVA با افزایش گرانشی مذاب ماتریس پلیمری، نقش مهمی را در فرآیند فوم شدن ایفاء نمود. به گونه‌ای که نمونه‌های دارای میزان EVA بیشتر، دارای بیشترین میزان چگالی سلولی و کمترین اندازه سلولی گشتند.

**واژه‌های کلیدی:** ماده کف‌زای شیمیایی، ریخت شناسی، EVA، فوم کردن به روش (Batch)، چندسازه سبک شده هیبریدی.

## مقدمه

در دهه اخیر علاقه‌مندی فزاینده‌ای برای تولیدکنندگان مواد پلیمری بوجود آمده است تا با بکارگیری مواد مناسب و تولید چندسازه‌ها، خواص مهندسی آنها را اصلاح نمایند. در این راستا در راه تکامل مواد مهندسی، بهره‌گیری از الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده با برتری‌های فراوانی از جمله قابلیت بازیافت، چگالی کمتر، مدول و مقاومت ویژه بالاتر، ساینده‌گی نسبی کم در دستگاه‌های فرآیند و آسان بودن اصلاح سطح الیاف، در ساخت چندسازه‌های الیاف و پلیمرهای گرمانرم مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و نیز بخش عمده‌ای از صنعت قرار گرفته است [۱،۴۴].

کاربردهای متنوع فرآورده‌های چوب پلاستیک در صنایع ساختمانی و نیز در محوطه‌های درونی و بیرونی به سرعت رو به گسترش است. ولی یکی از مشکلات اساسی چندسازه‌های چوب پلاستیک، چگالی و سنگینی بسیار زیاد آنها است. به همین خاطر در سالهای اخیر بهره‌گیری از ترکیبات شیمیایی جدیدی تحت عنوان مواد کفزا به منظور کاهش وزن مواد مرکب چوب پلاستیک و کاربردی کردن آنها برای بهره‌گیری در صنایع بویژه ساختمانی و خودرو سازی از ضرورت و اهمیت بسیار بالایی برخوردار شده است [۱،۲۳]. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر کاربری چندسازه‌های سبک شده می‌باشد [۱۷]. بطور کلی ماده کفزای شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و خواص ریخت‌شناسی چندسازه‌های چوب-پلاستیک تأثیرگذار است. در اثر فوم کردن، خواص فیزیکی (چگالی) و مکانیکی (خمش و کشش) کاهش می‌یابد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز مؤید این مطلب است که ماده کفزا باعث ایجاد تخلخل در

ساختار سلولی می‌شود [۲۵،۲۶ و ۴۷]. احمد<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) در بررسی اثر میکروسفرهای گرمانرم<sup>۲</sup> به عنوان عوامل کفزا بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فرآورده‌های مرکب چوب-پلاستیک، به این نتیجه رسید که چندسازه‌های فوم شده دارای ۲۰ تا ۳۰ درصد آرد چوب با غلظت حدود ۳ درصد میکروسفر گرمانرم، کاهش چگالی برابر با ۳۸ درصد در مقایسه با چندسازه‌های فوم نشده دارند. با افزایش مقدار چوب، چگالی و مدول خمشی چندسازه‌های حاصله افزایش می‌یابد [۲]. بلدزکی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) در بررسی فوم شدن چندسازه‌های پلیمری تقویت شده با استفاده از الیاف چوب و کف به روش قالب‌گیری تزریقی، گزارش نمودند که شرایط فرآورش مانند سرعت، دما و فشار فرآیندی بر عملکرد عامل کفزا تأثیرگذار است [۹]. جیانگ و کامدم<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) در تحقیقی بیان نمودند که خواص مکانیکی چندسازه‌های چوب-PVC فوم شده، به شدت به ریخت‌شناسی سلول (اندازه و چگالی سلولی) و مقدار درصد تیمار سطحی الیاف چوب بستگی دارد [۲۰]. ژانگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) در بررسی تأثیر عامل سازگارکننده، مقدار آرد چوب (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) و مقدار عامل کفزا را بر روی ساختار سلولی چندسازه حاصل از آرد چوب- پلی پروپیلن، به این نتیجه رسیدند که افزودن عامل سازگارکننده قابلیت عامل کفزا را در کاهش چگالی چندسازه‌های حاصله بهبود می‌بخشد. علاوه بر این رطوبت چوب نیز بعنوان عامل مؤثر ثانویه می‌تواند بر عملکرد ماده کفزا تأثیرگذار باشد [۴۸]. شن و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۵) در بررسی خواص ریخت‌شناسی نانوچندسازه‌های

<sup>1</sup> Ahmad

<sup>2</sup> Thermoplastic Microspheres

<sup>3</sup> Bledzki et al

<sup>4</sup> Jiang & Kamdem

<sup>5</sup> Zhang et al

<sup>6</sup> Shen et al

پلی اورتان فوم شده، افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. این در حالی است که در اثر فوم شدن، مقاومت‌های فشاری و کششی نمونه‌های فوم شده کاهش یافته است [۴۵].

این پژوهش از نظر افزودن ماده کف زا، ماده اتیلن وینیل استات (EVA) و برطرف نمودن سنگینی وزن (کاهش چگالی) ماده مرکب چوب پلاستیک و کاربرد آن‌ها برای استفاده مطلوب در صنایع داخل کشور به ویژه ساختمانی و خودرو سازی بسیار جدید می‌باشد.

افزودن EVA به HDPE منجر به بهبود ترک‌زایی تنش محیطی<sup>۱۰</sup>، چقرمگی، شفافیت، انعطاف پذیری و مقاومت ضربه بالا می‌شود. در نتیجه این آمیخته توجه بسیار زیادی را هم از نقطه نظر فناوری و هم از نظر اقتصادی که مربوط به ارائه کارایی زیاد در کنار قیمت کم آن است، به خود معطوف کرده است. EVA نسبت به HDPE ظرفیت بیشتری برای شبکه‌ای شدن دارد. به طوری که هر اندازه میزان EVA بیشتر باشد، درجه شبکه‌ای شدن و اتصال‌های عرضی در آمیخته بیشتر خواهد بود [۳۵]. برقراری اتصال‌های عرضی به معنای افزایش جرم مولکولی و همچنین شاخه‌دار شدن زنجیر پلیمری است. در نتیجه تأثیر بسزایی بر روی استحکام مذاب و به دنبال آن بر روی فرآیند فوم شدن دارد. به علاوه مقایسه چگالی سلولی فوم آمیخته HDPE/EVA با فوم HDPE نشان می‌دهد که فوم آمیخته چگالی سلولی بیشتری نسبت به فوم پلیمر خالص دارد. این امر را می‌توان دلیلی بر استفاده از آمیخته HDPE/EVA به جای پلیمر خالص HDPE دانست [۳۵].

این تحقیق به منظور بررسی اثر مقدار ماده کف زای شیمیایی و آرد چوب بر ویژگی‌های مکانیکی، چگالی و ریخت شناسی چندسازه فوم شده هیبریدی پلی اتیلن سنگین/ اتیلن وینیل استات/ آرد چوب صورت گرفته است.

پلی استایرن فوم شده با استفاده از نانو ذرات کربن بعنوان عوامل هسته گذار، بیان نمودند که با افزودن مقدار کمی نانوذرات کربن، اندازه سلول‌های حاصله کاهش و چگالی سلولها افزایش می‌یابد [۳۹]. راجتاناپون و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۴) در تحقیقی چنین گزارش نمودند که پلیمر پلی اتیلن سنگین خالص تحت شرایط فرآیندی، به خوبی فوم نمی‌شود. در حالی که استفاده از پلی پروپیلن همراه با پلی اتیلن سنگین بعنوان ماتریس پلیمری، نتایج خوبی را از لحاظ خواص مکانیکی بویژه مقاومت به ضربه و ریخت شناسی سلولی در نمونه‌های فوم شده در بردارد. بگونه‌ای که با حضور آمیخته HDPE/PP ساختار میکروسلولی یکنواخت‌تر و بهبود یافته‌ای با سلول‌های کوچکتر و چگالی سلولی بیشتر ایجاد می‌شود [۳۲]. وانگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۸) در بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از الیاف چوب- پلیمر فوم شده، نتیجه گرفتند که عامل‌های میزان فوم زا، مقدار رزین و دمای پرس گرم بیشترین تأثیر را بر روی مدول خمشی (MOR)، مدول کشسانی (MOE) و مقاومت به ضربه می‌گذارند. با افزایش مقدار عامل کف‌زای شیمیایی از ۲۰٪ تا ۴۰٪، مقاومت‌ها و مدول‌ها با سرعت کاهش می‌یابند. در حالی که با افزایش دمای فرآیند از ۸۰ تا ۱۲۰ درجه، فوم شدن چندسازه‌ها بهتر و سریعتر انجام شده و میزان مقاومت‌ها، مدول‌ها و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت به طور چشمگیری بهبود می‌یابد [۴۲]. یان و شی<sup>۹</sup> (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر افزودن آرد چوب بر روی خواص مکانیکی چندسازه‌های چوب- پلی اورتان فوم شده، به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار درصد آرد چوب، مقاومت‌های فشاری و کششی چندسازه‌های چوب-

<sup>7</sup> Rachtanapun et al

<sup>8</sup> Wang et al

<sup>9</sup> Yuan & Shi

<sup>10</sup> Environmental stress cracking

## مواد و روش‌ها

## مواد

در این تحقیق از پلی اتیلن سنگین (HDPE) تولید شده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب  $10\text{min } 6/8\text{ g}$  و چگالی  $0/956\text{g/cm}^3$  با نام تجاری HDPE EA6070 به عنوان ماده پلیمری، از اتیلن وینیل استات از محصولات شرکت سامسونگ کره با شاخص جریان مذاب  $10\text{min } 2\text{ g}$  و چگالی  $0/93\text{g/cm}^3$  با نام تجاری EVA، از پلی اتیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید (MAPE) تولید شده توسط شرکت گیتی پسند با شاخص جریان مذاب  $10\text{min } 5\text{g}$  و چگالی

$0/93\text{g/cm}^3$  به عنوان عامل سازگارکننده، از آزو دی کربن آمید (ADC) از محصولات شرکت Anhui Huishang LTD در کشور چین به عنوان عامل کف زای شیمیایی، و از اکسید روی به عنوان فعال کننده آزو دی کربن آمید و اسید استئاریک به عنوان روان کننده خارجی برای بهبود اختلاط در مخلوط کن داخلی، و از آرد چوب به عنوان تقویت کننده لیگنوسولوزی تهیه شده از شرکت سلولز آریا، مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه ترکیبات شیمیایی این تقویت کننده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی آرد چوب راش مورد استفاده

نمونه	سلولز (%)	لیگنین (%)	همی سلولز (%)	خاکستر (%)	مواد استخراجی (%)
آرد چوب	۳۸/۱	۲۶/۷	۳۲/۴	۰/۹	۱/۹

## روش‌ها

## فرآیند اختلاط

فرآیند اختلاط مواد بر پایه جدول ۲ توسط دستگاه مخلوط کن داخلی<sup>۱۱</sup> در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با حجم مفید محفظه اختلاط  $300\text{cm}^3$ ، دمای اختلاط  $120^\circ\text{C}$  و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه به شرح زیر انجام شد [۳۵]:

- پس از تنظیم دما و دور چرخانه، با توجه به منحنی گشتاور زمان نمایش داده شده بر روی نمایشگر دستگاه، در آغاز مواد پلی اتیلن سنگین، اسید استئاریک، به درون مخلوط کن ریخته شد تا مخلوط ذوب شود.

- پس از ۲ دقیقه ذوب شدن و رسیدن به گشتاور ثابت، HDPE-g-MA و EVA اسید استئاریک اضافه شد.

- با گذشت ۵ دقیقه از زمان آغاز اختلاط، آرد چوب درون محفظه ریخته شد.

- با گذشت ۵ دقیقه دیگر از افزودن آرد چوب، ADC و ZnO همزمان به مخلوط اضافه شدند و تا رسیدن به گشتاور ثابت، عملیات اختلاط به طور مستمر انجام شد. با پایان یافتن ۱۵ دقیقه از آغاز اختلاط، دستگاه متوقف و مخلوط از درون مخلوط کن خارج شد.

پس از اختلاط مواد، چند سازه بی شکل تولید شده پس از سرد شدن، به منظور حذف رطوبت و آماده سازی برای پرس به مدت ۲۴ ساعت در خشک کن با دمای  $85^\circ\text{C}$  قرار داده شدند. سپس از محصول تهیه شده به میزان لازم درون قالب با ابعاد مشخص قرار گرفت. آنگاه نمونه قرار گرفته در قالب، بین دو ورق کاغذ سلولزی قرار داده شد تا به صفحه‌های پرس نچسبد و در دستگاه پرس با دمای  $180^\circ\text{C}$  و فشار  $50\text{bar}$  به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. پس از پایان ۱۵ دقیقه، سامانه گرمایش پرس

<sup>11</sup> Haake

لازم به یادآوری است که برای انجام این تحقیق، ۱۸ شماره نمونه آزمونی در سه تکرار با مشخصات جدول ۲ تهیه شدند.

خاموش شد و نمونه در اثر عبور آب سرد، به مدت ۳ دقیقه خنک شده و سپس با برداشتن فشار، نمونه از درون پرس خارج شد. و نمونه های مورد نظر تهیه شد.

جدول ۲- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده تیمارهای مختلف

شماره	کد تیمار	مقدارالیاف (%)	پلی اتیلن سنگین (HDPE%)	اتیلن وینیل استات (EVA%)	سازگارکننده (MAPE%)	ماده کفزا (ADC%)
۱	30%WF 5%EVA 2%ADC	30	61	5	2	2
۲	30%WF10%EVA 2%ADC	30	56	10	2	2
۳	40%WF 5%EVA 2%ADC	40	51	5	2	2
۴	40%WF10%EVA 2%ADC	40	46	10	2	2
۵	50%WF5%EVA 2%ADC	50	41	5	2	2
۶	50%WF10%EVA 2%ADC	50	36	10	2	2
۷	30%WF 5%EVA 4%ADC	30	61	5	2	۴
۸	30%WF10%EVA 4%ADC	30	56	10	2	۴
۹	40%WF 5%EVA 4%ADC	40	51	5	2	۴
۱۰	40%WF10%EVA 4%ADC	40	46	10	2	۴
۱۱	50%WF5%EVA 4%ADC	50	41	5	2	۴
۱۲	50%WF 10%EVA 4%ADC	50	36	10	2	۴
۱۳	30%WF 5%EVA 6%ADC	30	61	5	2	۶
۱۴	30%WF 10%EVA 6%ADC	30	56	10	2	۶
۱۵	40%WF 5%EVA 6%ADC	40	51	5	2	۶
۱۶	40%WF 10%EVA 6%ADC	40	46	10	2	۶
۱۷	50%WF 5%EVA 6%ADC	50	41	5	2	۶
۱۸	50%WF 10%EVA 6%ADC	50	36	10	2	۶

۳ تکرار توسط دستگاه اینسترون مدل ۴۴۸۶ با سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه انجام گرفت.

#### اندازه گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه ای و آزمون کشش به ترتیب برابر استاندارد ASTM D 790 و ASTM D 638 [۱۴] و با

## اندازه‌گیری چگالی

دانشیته نمونه‌های فوم شده بر پایه استاندارد ASTM D1622-03 [۱۹] توسط دستگاه چگالی‌سنج مدل KERN ALJ 220-4NM بر پایه نیروی شناوری و با اندازه‌گیری وزن و حجم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

## ریخت شناسی

برای دستیابی به دید کلی در مورد ساختار میکروسلولی چندسازه سبک شده هیبریدی پلی اتیلن سنگین/ اتیلن وینیل استات/ آرد چوب، ریخت شناسی چندسازه‌های ساخته شده بوسیله عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل XL30 انجام شد. به همین منظور، نمونه‌ها در آغاز درون نیتروژن مایع تا زیر دمای انتقال شیشه ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) 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.

پس از شکستن، سطح مقطع شکست پوشش دهی طلا داده شد. و نمونه‌ها مورد آزمون قرار گرفتند. برای ارزیابی ریخت شناسی فوم‌ها، اندازه و چگالی سلول‌ها اندازه‌گیری شد. اندازه سلول‌ها با اندازه‌گیری مستقیم قطرهای سلول و میان‌گیری از آن‌ها انجام شد. چگالی سلول که با شمار سلول‌ها در واحد حجم تعریف می‌شود، با استفاده از روابط زیر محاسبه شد [۳، ۲۴ و ۴]:

$$V_f = \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$N_f = \left( \frac{nM^2}{A} \right)^{3/2} \left[ \frac{1}{1 - V_f} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه‌ها،  $V_f$  کسر حفره‌ها،  $\rho_p$  چگالی نمونه پیش از فوم شدن،  $\rho_f$  چگالی نمونه پس از فوم شدن،  $n$  شمار

سلول‌ها،  $A$  مساحت تصویر با واحد  $\text{cm}^2$  و  $M$  بزرگنمایی است.

## تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمون فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. همچنین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ برای مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

## نتایج

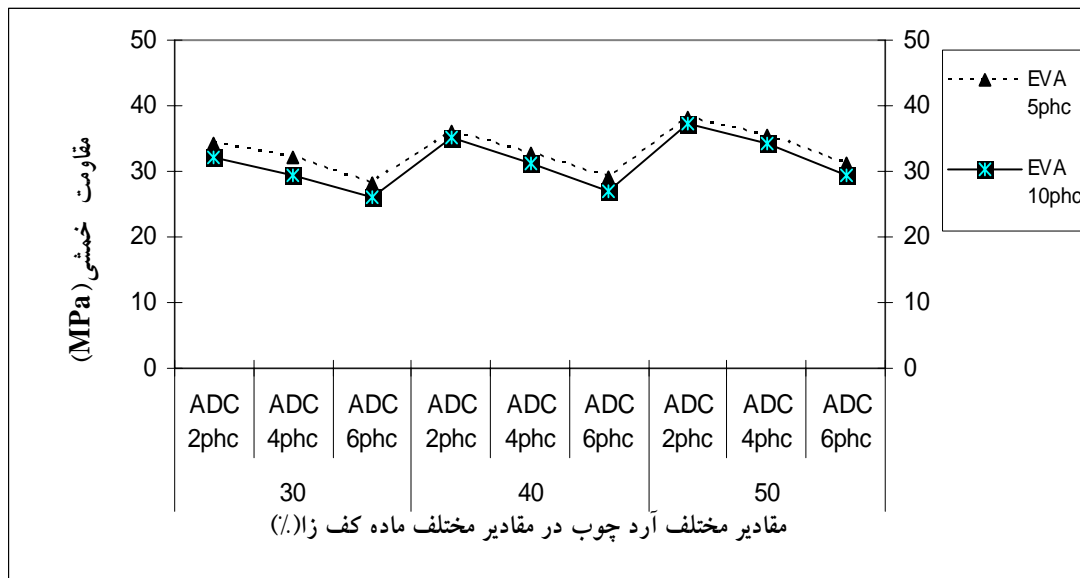
### خواص مکانیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مقدار آرد چوب، مقدار ماده کفزا و میزان EVA بر خواص مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار است. همان‌طوری که در شکل ۱ الی ۳ دیده می‌شود با افزایش میزان درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت و مدول خمشی و مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده افزایش می‌یابد. در حالی که با افزایش میزان ماده کفزا از ۲ به ۶ درصد و افزایش میزان EVA از ۵ به ۱۰ درصد، مقاومت و مدول خمشی و مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده کاهش می‌یابد. بنابراین بالاترین میزان مقاومت و مدول خمشی و مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده مربوط به استفاده از ۵۰٪ آرد چوب، و ۲٪ ماده کفزا و ۵٪ EVA به ترتیب برابر با ۳۸/۲ MPa و ۱۸۴۶/۵ MPa و ۲۴۸۴/۳ MPa و کمترین میزان در هنگام استفاده از ۳۰٪ آرد چوب، ۶٪ ماده کفزا و ۱۰٪ EVA به ترتیب برابر با ۲۶/۱ MPa و ۹۶۶/۴ MPa و ۱۰۱۳/۱ MPa می باشد.

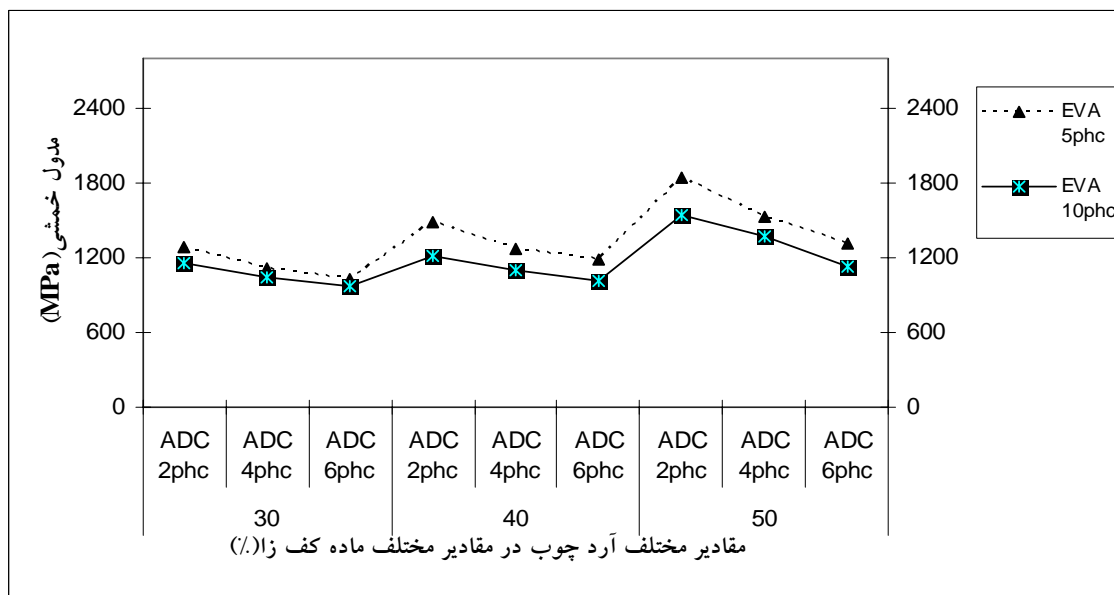
جدول ۳- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر خواص مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
مقاومت خمشی (مگاپاسگال)	میزان آرد چوب	۲	۱۳۹/۱۴۳	۶۹/۵۷۲	۱۸۳۱/۷۲۵*
	میزان ماده کفزا	۲	۴۴۲/۸۷۰	۲۲۱/۴۳۵	۵۸۳۰/۰۷۲*
	میزان EVA	۱	۴۳/۰۷۷	۴۳/۰۷۷	۱۱۳۴/۱۴۶*
	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا	۴	۶/۲۳۰	۱/۵۵۷	۴۱/۰۰۶*
	میزان آرد چوب × میزان EVA	۲	۱/۶۷۸	۰/۸۳۹	۲۲/۰۸۸*
	میزان ماده کفزا × میزان EVA	۲	۱/۲۴۴	۰/۶۲۲	۱۶/۳۸۲*
	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا × میزان EVA	۴	۱/۲۳۶	۰/۳۰۹	۸/۱۳۸*
	خطا	۳۶	۱/۳۶۲	۰/۰۳۸	-
	کل	۵۴	۵۶۴۲۷/۳۸۶	-	-
	مدول خمشی (مگاپاسگال)	میزان آرد چوب	۲	۱۱۹۵۰۰۸/۰۷۸	۵۹۷۵۰۴/۰۳۹
میزان ماده کفزا		۲	۸۸۱۳۲۴/۷۲۴	۴۴۰۶۶۲/۳۶۲	۱۴۹۳۲۳/۱۷۳*
میزان EVA		۱	۳۸۴۳۳۷/۴۱۲	۳۸۴۳۳۷/۴۱۲	۱۳۰۲۳۶/۸۵۹*
میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا		۴	۱۱۲۵۳۳/۳۹۷	۲۸۱۳۳/۳۴۹	۹۵۳۳/۲۸۸*
میزان آرد چوب × میزان EVA		۲	۴۱۰۵۶/۲۸۲	۲۰۵۲۸/۱۴۱	۶۹۵۶/۱۸۱*
میزان ماده کفزا × میزان EVA		۲	۳۲۲۱۵/۹۶۸	۱۶۱۰۷/۹۸۴	۵۴۵۸/۳۶۳*
میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا × میزان EVA		۴	۳۲۶۹/۳۱۳	۸۱۷/۳۲۸	۲۷۶/۹۶۰*
خطا		۳۶	۱۰۶/۲۳۸	۲/۹۵۱	-
کل		۵۴	۸۸۰۹۶۵۳۲/۹۳۹	-	-
مدول کششی (مگاپاسگال)		میزان آرد چوب	۲	۵۲۰۶۸۷۵/۸۸۴	۲۶۰۳۴۳۷/۹۴۲
	میزان ماده کفزا	۲	۳۳۰۲۸۸۸/۳۰۸	۱۶۵۱۴۴۴/۱۵۴	۸۹۰/۵۱۲*
	میزان EVA	۱	۳۸۵۶۵۱/۲۴۴	۳۸۵۶۵۱/۲۴۴	۲۰۷/۹۵۶*
	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا	۴	۲۰۸۲۶۴/۷۶۸	۵۲۰۶۶/۱۹۲	۲۸/۰۷۶*
	میزان آرد چوب × میزان EVA	۲	۱۰۳/۴۳۵	۵۱/۷۱۷	۰/۰۲۸
	میزان ماده کفزا × میزان EVA	۲	۱۰۷۳۶/۳۵۲	۵۳۶۸/۱۷۶	۲/۸۹۵
	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا × میزان EVA	۴	۵۲۱۸۳/۲۳۱	۱۳۰۴۵/۸۰۸	۷/۰۳۵*
	خطا	۳۶	۶۶۷۶۱/۶۰۰	۱۸۵۴/۴۸۹	-
	کل	۵۴	۱۸۹۷۰۹۴۹۳/۱۵۱	-	-

\* - معنی دار در سطح ۵ درصد

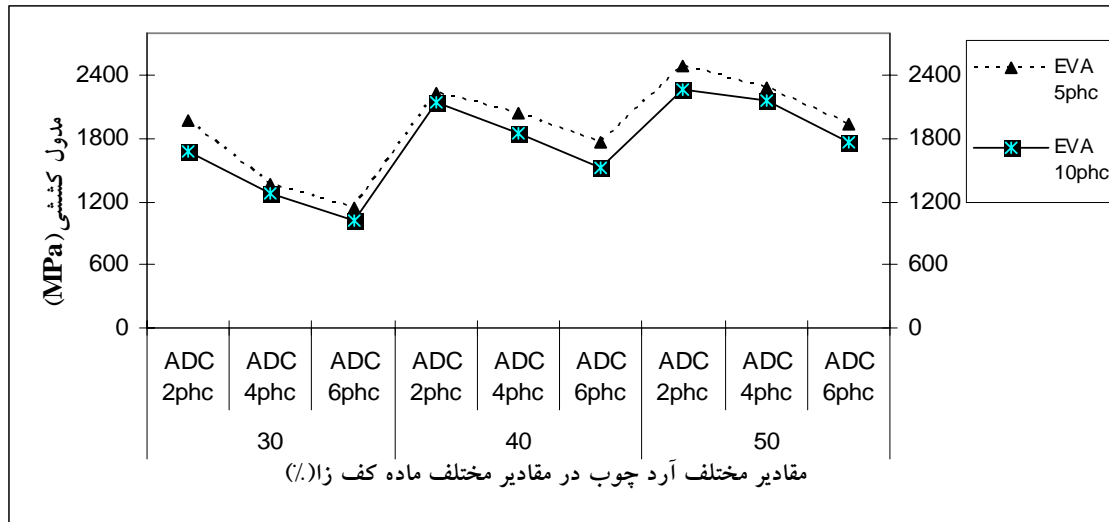


شکل ۱- تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر مقاومت خمشی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده



شکل ۲- تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر مدول خمشی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده





شکل ۳- تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر مدول کششی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده

درصد و افزایش میزان EVA از ۵ به ۱۰ درصد، چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده کاهش می یابد. بنابراین بالاترین مقدار چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده مربوط به استفاده از ۵۰٪ آرد چوب، ۲٪ ماده کفزا و ۵٪ EVA برابر با  $0.756 \text{ g/cm}^3$  و کمترین مقدار در هنگام استفاده از ۳۰٪ آرد چوب، ۶٪ ماده کف-زا و ۱۰٪ EVA برابر با  $0.520 \text{ g/cm}^3$  می باشد.

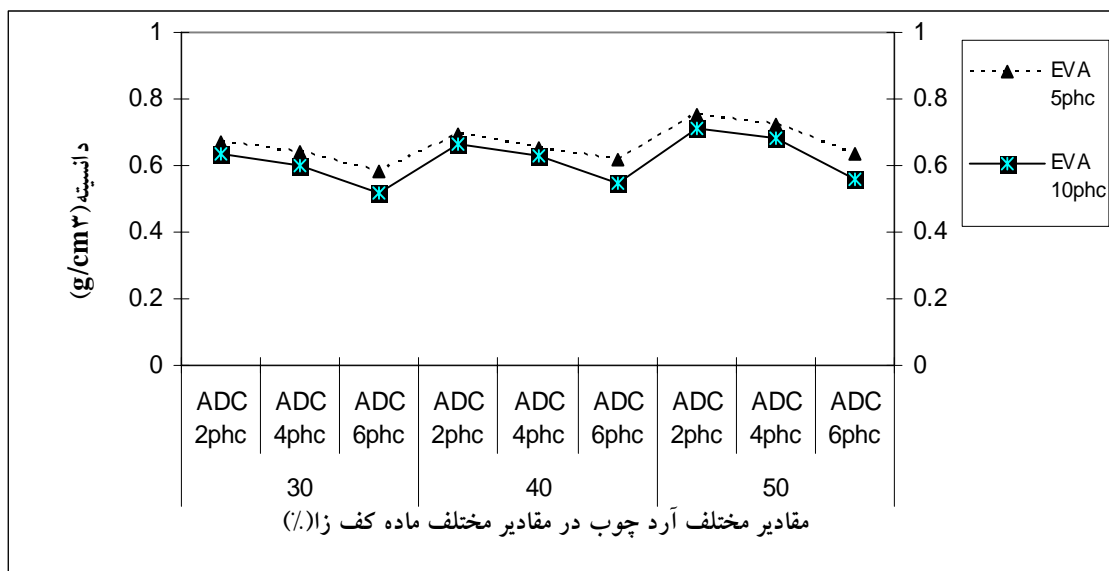
### چگالی

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که تأثیر میزان آرد چوب، میزان ماده کفزا و مقدار EVA بر چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی دار است. همان طوری که در شکل ۴ دیده می شود با افزایش میزان درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد، چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده افزایش می یابد. در حالی که با افزایش مقدار ماده کفزا از ۲ به ۶

جدول ۴- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر دانسیته کامپوزیت چوب پلاستیک فوم شده

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات	ویژگی
۴۱۷۸/۶۴۳*	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۲	مقدار آرد چوب	دانسیته
۱۱۴۰۸/۵۹۰*	۰/۰۶۰	۰/۱۲۰	۲	مقدار ماده کفزا	( $\text{g/cm}^3$ )
۵۸۷۱/۰۹۹*	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۱	مقدار EVA	
۱۹۸/۱۶۳*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۴	مقدار آرد چوب × مقدار ماده کفزا	
۳۴/۳۱۸*	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲	مقدار آرد چوب × مقدار EVA	
۳۳۸/۶۱۱*	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۲	مقدار ماده کفزا × مقدار EVA	
۵/۷۹۲*	۳/۰۴E -۰۰۵	۰/۰۰۰	۴	مقدار آرد چوب × مقدار ماده کفزا × مقدار EVA	
-	۵/۲۴E -۰۰۶	۰/۰۰۰	۳۶	خطا	
-		۲۲/۳۵۰	۵۴	کل	

\*- معنی دار در سطح ۵ درصد



شکل ۴- تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده

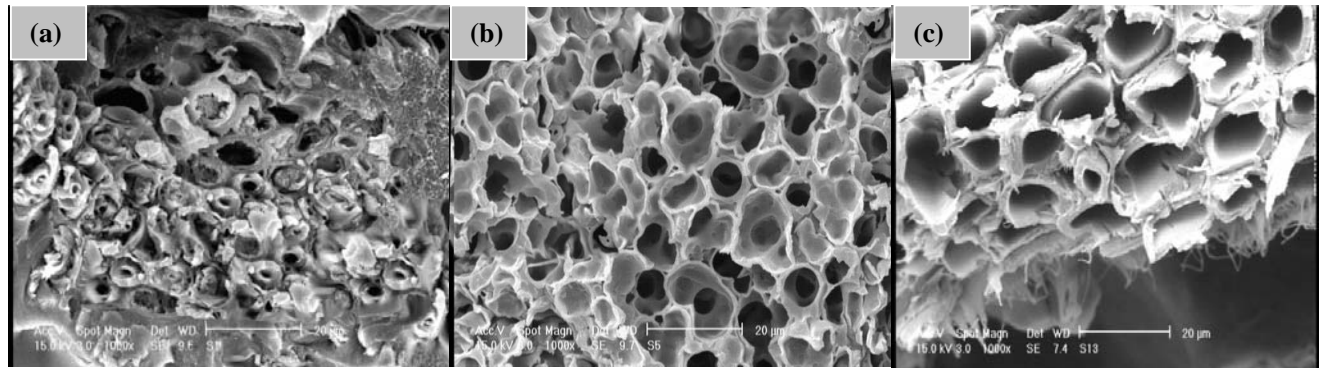
چگالی سلول افزایش می‌یابد. در حالی که با افزایش مقدار ماده کفزا از ۲ به ۶ درصد اندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده افزایش و چگالی سلول کاهش می‌یابد.

بنابراین بالاترین میزان اندازه سلول و کمترین مقدار چگالی سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده مربوط به استفاده از ۳۰٪ آرد چوب، ۶٪ ماده کفزا و ۵٪ EVA ترتیب برابر با  $14/61 \mu\text{m}$  و  $1/1E+08 \text{ Cells/cm}^3$  و کمترین میزان اندازه سلول و بیشترین میزان چگالی سلول در هنگام استفاده از ۵۰٪ آرد چوب، ۲٪ ماده کفزا و ۱۰٪ EVA به ترتیب برابر با  $2/60 \mu\text{m}$  و  $5/5E+08 \text{ Cells/cm}^3$  می‌باشد.

#### ریخت شناسی

#### بررسی ساختاری چندسازه‌های چوب پلاستیک فوم شده بوسیله SEM

شکل ۵، ریزنگارهای SEM سطوح شکست چندسازه‌های فوم شده هیبریدی پلی اتیلن سنگین / اتیلن وینیل استات / آرد چوب با مقادیر مختلف ماده کفزا را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر میزان آرد چوب، میزان ماده کفزا و میزان EVA بر اندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار است. همان‌طوری که در شکل‌های ۶ و ۷، دیده می‌شود با افزایش میزان درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد و افزایش میزان EVA از ۵ به ۱۰ درصد، اندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده کاهش و

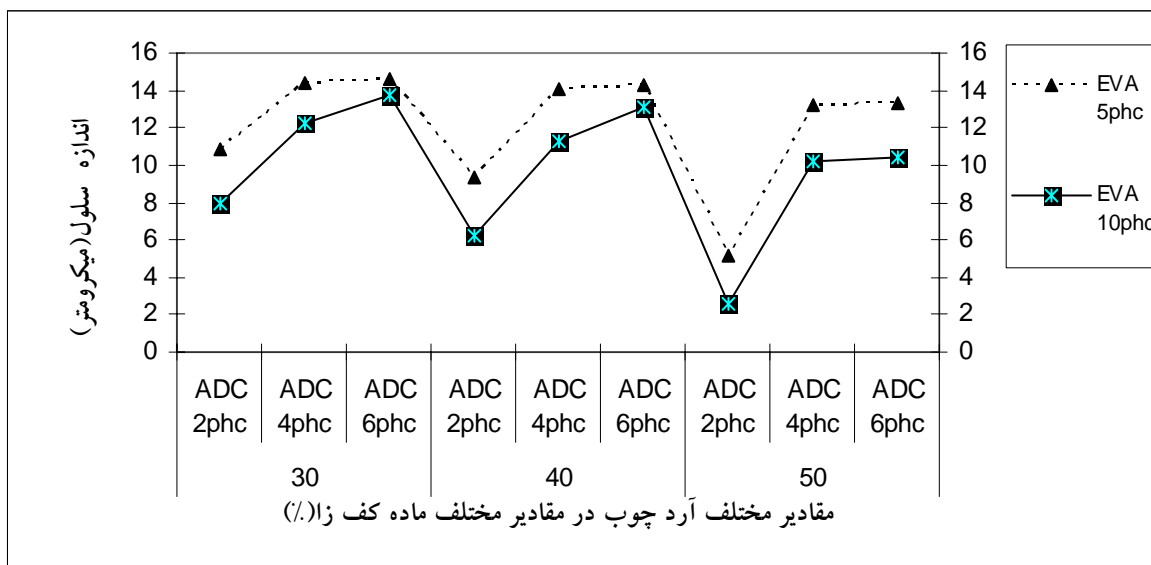


شکل ۵. ریزنگارهای SEM، سطوح شکست چندسازه‌های چوب پلاستیک فوم شده،  
 (a) نمونه‌های دارای ۲٪ ماده کفزا (40% WF 42% HDPE 5% EVA 2% MAPE 2% ADC)،  
 (b) نمونه‌های دارای ۴٪ ماده کفزا (40% WF 42% HDPE 5% EVA 2% MAPE 4% ADC)،  
 (c) نمونه‌های دارای ۶٪ ماده کفزا (40% WF 42% HDPE 5% EVA 2% MAPE 6% ADC)

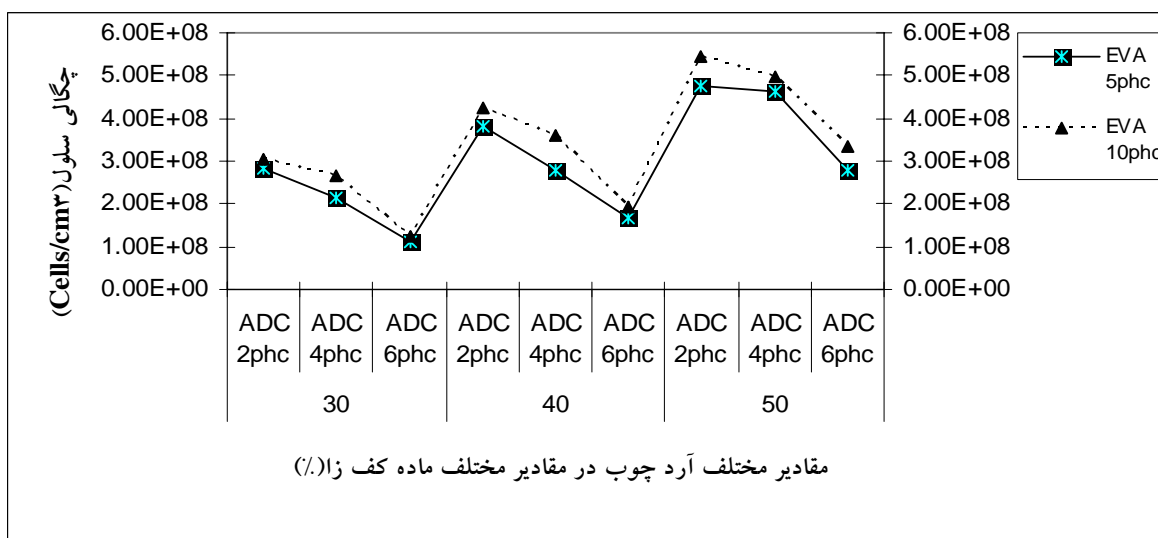
جدول ۵- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA بر اندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات	ویژگی
۴۶/۲۵*	۴۶/۸۸۸	۹۳/۷۷۶	۲	میزان آرد چوب	
۱/۶۸۶*	۲۱۰/۵۵۱	۴۲۱/۱۰۳	۲	میزان ماده کفزا	
۲۰۷					
۱/۸۵۲*	۷۶/۸۹۸	۷۶/۸۹۸	۱	EVA میزان	
۷۵					
۶/۷۵۲*	۶/۸۴۵	۲۷/۳۸۰	۴	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا	اندازه سلول (μm)
۰/۷۴۰	۰/۷۵۰	۱/۵۰۰	۲	میزان آرد چوب × میزان EVA	
۱/۹۳۱	۱/۹۵۷	۳/۹۱۴	۲	میزان ماده کفزا × میزان EVA	
۰/۶۹۱	۰/۷۰۰	۲/۸۰۱	۴	میزان آرد چوب × میزان ماده کفزا × میزان EVA	
-	۱/۰۱۴	۳۶/۴۹۷	۳۶	خطا	
-	-	۷۱۲۰/۶۵۸	۵۴	کل	

\*- معنی دار در سطح ۵ درصد



شکل ۶- تأثیر میزان آرد چوب، ماده کفزا و EVA براندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده



شکل ۷- تأثیر میزان آرد چوب، مقدار ماده کفزا و مقدار EVA بر چگالی سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده

### بحث و نتیجه‌گیری

ازاینرو خواص مکانیکی چندسازه‌های فوم شده به میزان عوامل هسته گذار و تشکیل هسته در فرآیند فوم شدن بستگی دارد [۳۸]. در واقع در چندسازه‌های چوب پلاستیک فوم شده، آرد چوب به عنوان عامل هسته‌گذار ناهمگن عمل می‌کند. از اینرو افزایش آن موجب به وجود آمدن هسته‌های بیشتر با اندازه کوچکتر و چگالی سلولی بیشتر و در نتیجه کم شدن گاز موجود برای شمار زیادی

۱- با افزایش میزان درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقاومت و مدول خمشی، مدول کششی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه مشخصه‌های ریخت شناسی نظیر اندازه سلول و چگالی سلول بر خواص مکانیکی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده بسیار مؤثر می‌باشند،

میزان ماده کفزا، باعث آزاد شدن حفره‌های گازی بیشتر در فرآیند فوم شدن شد. با پراکنش پیوسته گازهای ایجاد شده بوسیله ماده کفزا، هنگامی که غلظت این گازها در پلیمر به یک میزان مشخص رسید، حبابهای گازی جدیدی پیرامون عوامل فوم کننده، ایجاد می‌شوند و به رشد ادامه می‌دهند و به صورت حبابهای بزرگتر در می‌آیند و در نتیجه سلول‌های بزرگتری با چگالی سلولی کمتر ایجاد می‌شود [۱۷، ۴۶]. همچنین درصد فوم شدن با افزودن میزان عامل فومزا، افزایش می‌یابد [۲]. با توجه به وابستگی خواص مکانیکی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده به مشخصه‌های ریخت شناسی، در واقع ایجاد سلول‌های بزرگتر، منجر به کم شدن جاهای هسته گذاری و کاهش بازده هسته گذاری در فرآیند فوم شدن می‌شود. از طرف دیگر سلول‌های بزرگتر، مانند نقاط نقص و تمرکز تنش در هنگام وارد آمدن کشش و خمش بر نمونه عمل می‌کنند و میزان تنش و کرنش در نقطه شکست را کاهش می‌دهند [۳۶، ۳۵]. به همین دلیل کاهش خواص مکانیکی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده با افزایش مقدار ماده کفزا از ۲٪ به ۶٪، ناشی از افزایش اندازه سلول‌ها و کاهش چگالی سلولی است [۲۶، ۶، ۲، ۷، ۳۰، ۸، ۴۲ و ۲۷].

۳- با افزایش میزان EVA از ۵٪ به ۱۰٪، مقاومت و مدول خمشی، مدول کششی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده کاهش یافت. زیرا افزایش EVA منجر به ایجاد شاخه‌های جانبی بیشتر در ساختار سلولی و در نتیجه افزایش گرانیوی مذاب پلیمر شد [۳۶، ۳۴]. از طرفی افزودن EVA موجب کاهش مدول استاتیک و دینامیک، افزایش ضریب اتلاف و افزایش انبساط گرمایی شد [۳۶، ۳۵]. در واقع با شاخه‌های جانبی بیشتر ایجاد شده بوسیله EVA، گرانیوی مذاب پلیمر افزایش یافته و سلول‌های بیشتر و پایدارتری با اندازه سلولی کوچکتر در مرحله هسته گذاری سلول‌ها تشکیل شدند [۳۳، ۳۵، ۳۶ و ۱۵]. گرانیوی بیشتر مذاب می‌تواند به عنوان یک مانع در مسیر رشد سلول‌ها عمل کند [۳۶].

بنابراین میزان EVA بر روی مرحله پایداری سلول‌ها در فرآیند فوم شدن تأثیر می‌گذارد و به عبارت دیگر

سلول می‌شود. که این امر منجر به افزایش مقاومت و مدول خمشی، کششی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده می‌گردد [۲۰، ۴۵ و ۸، ۵، ۶، ۳۸]. دلیل دیگر به افزایش گرانیوی مذاب پلیمری در اثر افزایش میزان آرد چوب مربوط است [۴۹]. گرانیوی بیشتر مذاب می‌تواند به عنوان یک مانع در مسیر رشد سلول‌ها عمل کند [۳۶]. دلیل دیگر می‌تواند به انرژی آزاد گیبس هسته‌گذاری مربوط شود. با توجه به اینکه انرژی هسته‌گذاری در سطح چوب و پلیمر کمتر از انرژی هسته‌گذاری در پلیمر خالص می‌باشد [۳۶]. بنابراین با افزایش درصد آرد چوب، انرژی آزاد گیبس کاهش می‌یابد. در نتیجه اندازه سلول‌های حاصله کاهش و چگالی سلول‌ها افزایش می‌یابد [۱۱، ۱۲]. بنابراین میزان مقاومت‌های خمشی، کششی و چگالی کامپوزیت‌های فوم شده بهبود می‌یابد. از طرفی، از آنجائیکه بین مدول کشسانی چندسازه‌ها و مدول اجزای تشکیل دهنده آنها رابطه مستقیمی وجود دارد، می‌توان گفت با در نظر گرفتن مدول کشسانی بالاتر آرد چوب، افزایش مدول کشسانی در چندسازه صورت می‌پذیرد [۳۱، ۳۱ و ۴۰]. همچنین لازم به یادآوری است که کاهش چگالی در نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک فوم شده دارای ۵۰ درصد الیاف نسبت به نمونه‌های چندسازه فوم شده دارای ۳۰ درصد الیاف کمتر است. در واقع آنچه در فرآیند فوم شدن توسط ماده کفزا، 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 ۳۰ درصد الیاف نسبت به نمونه‌های چندسازه فوم شده دارای ۵۰ درصد الیاف بیشتر صورت گرفته است.

۲- با افزایش میزان ماده کفزا از ۲٪ به ۶٪، مقاومت و مدول خمشی، مدول کششی و چگالی کامپوزیت چوب پلاستیک فوم شده کاهش یافت. زیرا افزایش درصد

دیگر را میتوان به انرژی آزاد گیبس هسته‌گذاری مرتبط دانست. با توجه به اینکه انرژی هسته‌گذاری در سطح چوب و پلیمر کمتر از انرژی هسته‌گذاری در پلیمر خالص می‌باشد. بنابراین با افزایش درصد الیاف، انرژی آزاد گیبس کاهش می‌یابد و در نتیجه اندازه سلول‌های حاصله کاهش و چگالی سلول‌ها افزایش می‌یابد [۳۵، ۳۶]. تأثیر افزایش میزان EVA بر ریخت شناسی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده را می‌توان با توجه به ایجاد شاخه‌های جانبی بیشتر در ساختار سلولی و افزایش گرانیوی مذاب پلیمر مورد بحث قرار داد. که منجر به تشکیل سلول‌های بیشتر و پایداری با اندازه سلولی کوچکتر در مرحله هسته‌گذاری سلول‌ها می‌شوند [۱۵]. در حالی که با افزایش مقدار ماده کف‌زا از ۲٪ به ۶٪، اندازه سلول چندسازه چوب پلاستیک فوم شده افزایش و چگالی سلول کاهش می‌یابد [۲۸، ۴۲، ۵۰، ۱۰، ۴۸، ۸، ۲۲ و ۳۷]. زیرا با افزایش میزان ماده کف‌زا، حبابهای گازی بیشتری در فرآیند فوم شدن آزاد می‌شود و منجر به تشکیل سلول‌های بزرگتری با چگالی سلولی کمتر، می‌شود. از طرفی درصد فوم شدن نیز با افزودن میزان عامل فوم‌زا، افزایش می‌یابد [۶، ۷].

افزایش میزان EVA، فرآیند فوم شدن را تسهیل نموده و درصد فوم شدن را افزایش می‌دهد [۱۳]. به همین دلیل با افزایش میزان EVA از ۵٪ به ۱۰٪، خواص مکانیکی و چگالی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده کاهش یافته است.

۴- بررسی‌های ریخت شناسی چندسازه چوب پلاستیک فوم شده با تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) نشان داد که با افزایش میزان درصد آرد چوب از ۳۰ به ۵۰ درصد و افزایش میزان EVA از ۵٪ به ۱۰٪، اندازه سلول چندسازه فوم شده کاهش و چگالی سلول افزایش یافت. [۴۱، ۴۸، ۳۸، ۲۷، ۱۸، ۴۳ و ۳۴]. زیرا آرد چوب به عنوان عامل هسته‌گذار ناهمگن عمل می‌کند. از اینرو افزایش آن موجب به وجود آمدن هسته‌های بیشتر با اندازه سلولی کوچکتر و چگالی سلولی بیشتر و در نتیجه کم شدن گاز موجود برای شمار زیادی سلول می‌شود. این امر یکی از دلایل کم شدن اندازه سلول‌ها با افزایش میزان الیاف لیگنوسولزی می‌باشد. دلیل دیگر به افزایش گرانیوی مذاب پلیمری در اثر افزایش میزان الیاف لیگنوسولزی مربوط می‌شود [۴۹]. که می‌تواند به عنوان یک مانع در مسیر رشد سلول‌ها عمل کند [۳۶]. دلیل

## منابع

- 1- Agarwal, B. D., Broutman, L. J., 1980. Analysis and performance of fiber composites, John Willy & Sons. Inc., USA.
- 2- Ahmad, M., 2004. Thermoplastic microspheres as foaming agent for wood plastic Composites. In: WPC Conference, Vienna, Austria., pp. 1-12.
- 3- Baldwin, D. F., Park, C. B., Suh, N. P., 1996., J. Polym. Erg. Sci., 36: 1437.
- 4- Baldwin, D. F., Park, C. B., Suh, N. P., 1996., J. Polym. Eng. Sci. 36: 1446.
- 5- Bledzki, A. K., Gassan, J., Zhang, W., 1999. Impact Properties of Natural Fiber-Reinforced Epoxy Foams, Journal of Cellular Plastics, 35(6), 550-562.
- 6- Bledzki, A. K.; Faruk, O., 2002. Microcellular wood fibre reinforced polypropylene composites in an injection moulding process, J. Cell. Polym., 21, 417-429.
- 7- Bledzki, A. K., Faruk, O., 2002. Soc Plast Eng Annu Tech Conf Tech Pap., 2: 1897.
- 8- Bledzki, A. K. and O. Faruk., 2005. Effects of the chemical foaming agents, Injection Parameters, and melt- flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection molded wood- fiber/ polypropylene composites, Journal of Applied Polymer Science, 97: 1090-1096.
- 9- Bledzki, A. K., Zhang, W., Faruk, O., 2005. Microfoaming of flax and wood fibre reinforced polypropylene composites, Holz als Roh- und werkstoff., 63: 30-37.
- 10- Bledzki, A. K., Faruk, O., 2006. Effect of chemical foaming agent content on cell

- morphology and physico-mechanical properties, *J. Cellular. Plast.*, 42: 63-76.
- 11- Colton, J. S., Suh, N. P., 1987. The Nucleation of Microcellular Thermoplastic Foam with Additives; Part I: Theoretical Considerations, *Polym. Eng. Sci.*, 27: 485-492.
- 12- Colton, J. S., Suh, N.P., 1987. Nucleation of Microcellular Foam: Theory and practice, *Polym. Eng. Sci.*, 27: 500-507.
- 13- Dalai, S., Wenxiu, C., 2002. Radiation Effects on HDPE/EVA Blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 86, 553–558.
- 14- Evaluating Mechanical and Physical properties of wood-plastic composites products, American Society For Testing And Materials. , ASTM Standard, D 790, D 638, 2006.
- 15- Faker, M., Razavi Aghjeh, M. K., Ghaffari, M., Seyyedi, S. A., 2008. Rheology, morphology and mechanical properties of polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer (PE/EVA) blends, *Europ. Polym.*, 44: 1834-1842.
- 16- Faruk, O., Bledzki, A. K., Matuana, L. M., 2007. Microcellular Foamed Wood-Plastic Composites by Different Processes: a Review, *Macromol. Mater. Eng.*, 292: 113–127.
- 17- Guo, G., Rizvi, M., Park, C. B., Lin, W. S., 2005. Influence of different endothermic foaming agents on microcellular injection moulded wood fibre reinforced HDPE composites, *Journal of Polymer Composites*, 22(8) :162.
- 18- Guo, G., Wang, K. H., Park, C. B., Kim, Y. S., Li, G., 2007. Effect of nanoparticles on the density reduction and cell morphology of extruded metallocene polyethylene/wood-fiber Nanocomposites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 104: 1058-1063.
- 19- Handbook of plastics testing and failure analysis. Third edition, by Vishu Shah, ASTM Standard, D 1622-03, 2007.
- 20- Jiang, H. and Kamdem D. P., 2004 .Development of Poly(vinyl chloride)/Wood Composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 10(2): 59-69.
- 21- Kokta, B.V., and Maladas, D., 1990. Composites of Polyvinyl Chloride wood fibers, *Journal of Polymer Plastic Technology*, 20 (1-2): 87-118.
- 22- Li, Q., Matuana, L. M., 2003. Foam extrusion of high density polyethylene/ wood-flour Composites using chemical foaming agent, *J. Appl. Polym. Sci.*, 88: 3139-3150.
- 23- Martinez, J., Matias, M.C., Dela ordeu, M.U., Lechung munguia, M. and Gonzalez, S., 2000. Effects of coupling agents on the oxidation and darkening of cellulose materials used reinforcements of thermoplastic matrixs in composites, *Polymer Engineering and Science*, 40(2) :407-417pp.
- 24- Matuana, L. M., Park, C. B., Balatinecz, J. J., , 1997. Processing and cell morphology Relationships for microcellular foamed PVC/wood fiber composites, *J. Polym. Eng. Sci.*, 37(7): 1137-1147.
- 25- Matuana, L. M.; Park, C. B.; Balatinecz, J.J., 1998. *J. Cell. Polym.*, 17(1).
- 26- Matuana, L. M., Park, C. B., Balatinecz, J.J., 1998. Cell morphology and property relationships of microcellular foamed PVC/wood fibre composites, *J. Polym. Eng. Sci.*, 38(11), 1862-1872.
- 27- Matuana, L. M., 2008. Solid state microcellular foamed poly(lactic acid): Morphology and property characterization, *Journal of Bioresource Technology*, 99: 3643-3650.
- 28- Matuana, L. M., Faruk, O., Diaz, C. A., 2009. Cell morphology of extrusion Foamed poly(lactic acid) using endothermic chemical foaming agent, *Journal of Bioresource Technology*, 100, 5947–5954.
- 29- Mengelloglu, F., Matuana, L. M., 2001., *J. Vinyl Addit Technol.*, 7, 142.
- 30- Mengelloglu, F., Matuana, L. M., 2003. Mechanical Properties of Extrusion-Foamed

- Rigid PVC/Wood-Flour Composites, *J. Vinyl Addit Technol.*, 9(1): 26-31.
- 31- Oksman, K., and Clemon, C. 1998. Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 67(9): 503-1513.
- 32- Rachtanapun, P., Selke, S. E. M., Matuana, L. M., 2004. Relationship Between Cell Morphology and Impact Strength of Microcellular Foamed High-Density Polyethylene/Polypropylene Blends. *Polym. Eng. Sci.*, 44(8): 1551-1560.
- 33- Ramirez-Vargas, E., Navarro-Rodriguez, D., Medellin- Rodriguez, F. J. , Huerta-Martinez, B. M., Lin, J. S., 2000. Morphological and Mechanical Properties of Polypropylene [PP]/Poly(Ethylene Vinyl Acetate) [EVA] Blends. I. Homopolymer PP/EVA Systems. *Polym. Eng. Sci.*, 21(7): 567-586.
- 34- Ray, S. S., Okamoto, M., 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites, a review from Preparation to processing, *Prog. J. Polym. Sci.*, 28: 1539-1641.
- 35- Riahinezhad, M., 2009. Investigation of Foamability and physical and mechanical properties of nanocomposite foams Based on low-density polyethylene(LDPE) and ethylene vinyl acetate(EVA) blends, M. Sc. Thesis, Iran Polymer and petrochemical institute(IPPI), 110 pages.
- 36- Riahinezhad, M., Ghasemi, I., Karrabi, M., Azizi, H., 2010. An Investigation on the correlation between rheology and morphology of nanocomposite foams Based on low-density polyethylene(LDPE) and ethylene vinyl acetate(EVA) blends, *J. Polym. Compos.*, 31(10),1808-1816.
- 37- Rizvi, G. M., Pop-Iliev, R. , Park, C. B., 2002. A Novel System Design for Continuous Processing of Plastic/Wood-Fiber Composite Foams with Improved Cell Morphology, *J. Cell. Plast.*, 38(5): 367-383.
- 38- Rodrigue, D., Souici, S., Twite-Kabamba, E., 2006. Effect of wood powder on polymer foam nucleation, *J. Viny. Addit. Technol.*, 19-24.
- 39- Shen, J., Zeng, C., Lee L. J., 2005. Synthesis of polystyrene-carbon nanofibers nanocomposite foams, *Polymer*, 46: 5218-5224.
- 40- Stark, N.M., Rowlands, R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites, *Wood and Fiber Science* 35(2):167-174.
- 41- Turng, L. S., Yuan, M., Kharbas, H., 2003. Seventh International Conference on Wood fiber-Plastic Composites, May 19-20, Madison, Wisconsin, USA, p. 217.
- 42- Wang, Z., Gao, L., Zhang, G., Chang, L., 2008. Microscopic structure and properties of wood-based foaming composites, *J. Front. For. China.*, 3(3): 375-379.
- 43- Westerman, B., Stringfellow, P. M., Eccleston, J. A., Harbrow, D. J., 2001. EVA closed -cell foam and its effect on transmitted forces in mouthguard material, 42:189-191.
- 44- Wolcott, M. P., 2003. Characterization fiber composites, *Journal of Cellular Plastic*, 32 (5) :449-467pp.
- 45- Yuan, J., Shi, Sh. Q., 2009. Effect of the Addition of Wood Flours on the Properties of Rigid Polyurethane Foam, *J. Appl. Polym. Sci.*, 113: 2902-2909.
- 46- Zakaria, Z., 2007. Characterization of polyethylene foam and its structure-properties relationship in shock absorbing application. M. Sc. Dissertation, University Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.
- 47- Zhang, H., G. M. Rizvi, C. B. Park. 2004. Development of an extrusion system for producing finecelled HDPE/Wood- fiber composite foams using CO<sub>2</sub> as a blowing agent. *Journal of Polymers Technology*, 23(4): 263-276.



- 48- Zhang, S., Rodrigue, D., Riedl, B., 2005. Preparation and Morphology of Polypropylene/Wood Flour Composite Foams via Extrusion, *J. Polym. Compos.*, 26: 731-738.
- 49- Zhou, Z., Zhang, Y., Zhang Y., Yin, N., 2008. Rheological behavior of polypropylene/octavinyl polyhedral oligomeric silsesquioxane composites, *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.*, 46: 526-533.
- 50- Zhu, Z. and Park, C. B., Zong, J., 2006. Challenges to the formation of nano-cells in foaming processes. *SPE ANTEC*, 2780-2784.

## **Investigation on the Effect of Chemical Foaming agent and Wood Flour content on Mechanical Properties, Density and Cell morphology of HDPE/EVA/ Wood Flour Hybrid Foamed Composites**

**Sara Pourabbasi<sup>\*1</sup>, Behrooz kord<sup>2</sup>**

### **Abstract**

In this research, the effects of chemical foaming agent and wood flour content on cell morphology, density and mechanical properties of HDPE/EVA/ Wood Flour hybrid foamed composites were investigated. For this aim, composites were prepared via melt mixing in an internal mixer, then foamed using single-stage batch foaming method. Then mechanical properties such as flexural strength, flexural and tensile modulus and density were measured. Morphology of the samples was also evaluated by scanning electron microscopy (SEM). The results of this study have indicated that the flexural strength, flexural and tensile modulus and density increases with the increase of wood flour content. However, with addition of chemical foaming agent content and EVA content, mechanical properties and density of foamed composites decreased. Moreover, wood fiber acted as nucleating agents that substantially reduced cell size and increased cell density. In addition, EVA plays an important role in foaming process by increasing the melt viscosity of the polymer matrix, in a way that samples with higher content of EVA have the highest cell density and the lowest cell size.

**Keywords:** Chemical Foaming Agent, Morphology, EVA, Batch foaming Method, Hybrid Foamed Composites.

---

\* Corresponding author: Email: sarapourabbasi@yahoo.com