



دانشگاه گیلان، دانشکده مهندسی چوب

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳
<http://jwfst.gau.ac.ir>

اثر مقدار نانورس و ماده کفزا شیمیایی بر ساختار سلولی و خواص مکانیکی چندسازه‌های کاه گندم / پلی اتیلن سنگین

* محمد فارسی^۱، سیداسحاق بابایی^۲، مصطفی معدنی پور^۳ و آرش فرج پور^۳

^۱ استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری، ایران،

^۲ کارشناس ارشد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، ایران،

^۳ استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۶

چکیده

در این پژوهش تأثیر مقدار ماده کفزا (۰، ۲ و ۴ درصد) و مقدار نانورس (۰، ۲ و ۵ درصد) بر ساختار سلولی و خواص مکانیکی نانوچندسازه فوم‌شده پلی اتیلن سنگین / کاه گندم مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از مالیک انیدرید پیوندشده با پلی اتیلن (MAPE) در سطح ثابت ۳ درصد به‌عنوان جفت‌کننده استفاده گردید. آرد کاه گندم، پلی اتیلن سنگین، نانورس، ماده کفزا و MAPE در دستگاه مخلوط‌کن داخلی (HAAKE) با یکدیگر مخلوط شده و گرانول‌های تولیدی پس از آسیاب، در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به روش قالب‌گیری تزریقی به نمونه‌های فوم‌شده الیاف-پلاستیک تبدیل شدند. نتایج نشان داد که متوسط اندازه و دانسیته سلول چندسازه‌ها با افزایش ماده کفزا افزایش و اندازه سلول با اضافه شدن نانورس کاهش یافت. همچنین با اضافه شدن ۴ درصد عامل کفزا، دانسیته چندسازه فوم‌شده پلی اتیلن سنگین / کاه گندم ۲۱/۷ درصد سبک شد. با اضافه شدن عامل کفزا مقاومت‌های مکانیکی نیز کاهش یافت؛ اما افزودن نانورس تا حد ۲ درصد موجب بهبود مقاومت کششی و کاهش مقاومت به ضربه گردید. شواهد بیش‌تری از اثر ماده کفزا و نانورس بر روی خصوصیات نانوچندسازه‌های فوم‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: نانوچندسازه، نانورس، ماده کفزا، خصوصیات فیزیکی، ساختار سلولی

* مسئول مکاتبه: moh_farsi@iausari.ac.ir

مقدمه

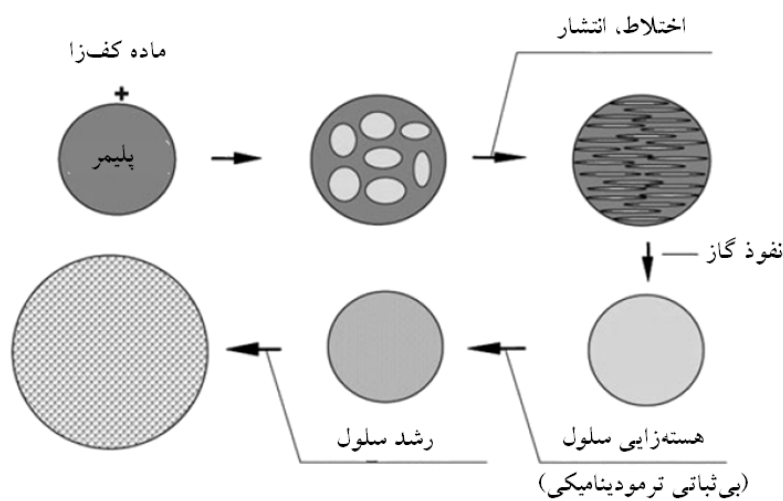
بر خلاف تمامی عیب‌های شناخته‌شده الیاف طبیعی در تولید چندسازه‌ها، مانند دمای مجاز پایین برای اختلاط با پلیمرها، پراکنده‌شدن ضعیف در زمینه پلیمری، ناسازگاری با پلیمر آبریز و احتمال جذب رطوبت توسط الیاف (رول، ۱۹۹۷؛ فارسی، ۲۰۱۰)، با این حال امروزه جایگزینی الیاف طبیعی به جای الیاف مصنوعی (الیاف شیشه، کربن و...) به عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده در چندسازه‌های پلیمری به دلیل دانسیته پایین، انعطاف‌پذیری در طی فرآیند تولید بدون صدمه‌زدن به دستگاه‌ها و تجهیزات، قیمت مناسب، تجدیدپذیری و از همه مهم‌تر دوست‌دار بودن محیط زیست (بلدزکی و گاسان، ۱۹۹۹؛ فارسی، ۲۰۱۲)، چهره‌ای جذاب از این ماده در دنیای "شیمی سبز" به وجود آورده است و با توجه به رشد روزافزون کاربرد چندسازه‌های الیاف-پلاستیک در دهه‌های اخیر، پژوهش‌های بسیاری در راستای بهبود خواص این نوع از چندسازه‌ها انجام شده است. یکی از عیب‌های اصلی چندسازه‌های الیاف-پلاستیک دانسیته بالای این فرآورده‌ها در مقایسه با پلاستیک‌های خالص می‌باشد (لی و ماتوانا، ۲۰۰۳)؛ که تلاش‌های فراوانی نیز برای کاهش وزن این نوع چندسازه‌ها به کمک فرآیند فوم‌سازی انجام شده است (منگلوگلو و ماتوانا، ۲۰۰۳؛ بلدزکی و فاروک، ۲۰۰۶؛ بلدزکی و همکاران، ۲۰۰۵؛ حمصی و همکاران، ۲۰۱۱؛ توسلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ لی، ۲۰۰۸).

به طور اساسی فوم‌های پلیمری^۱ به عنوان مواد شامل حفرات پر شده با گاز تعریف می‌شوند؛ که توسط زمینه پلیمری متراکم‌تر احاطه شده‌اند (کلمپنر و فریش، ۱۹۹۱). فوم‌نمودن فرآورده‌های پلاستیکی می‌تواند دانسیته و هزینه را کاهش داده و خصوصیات مهندسی این فرآورده‌ها را بهبود بخشد. به دلیل این خصوصیات منحصر به فرد، پلاستیک‌های فوم‌شده را می‌توان در کاربردهای صنعتی مانند قطعات سبک با مقاومت بالا در صنایع خودرو و هواپیماسازی، بسته‌بندی، لوازم ورزشی و عایق‌های حرارتی و الکتریکی مورد استفاده قرار داد (فاروک و همکاران، ۲۰۰۷).

با توجه به بافت‌های فیزیکی متفاوت سلول به دست آمده در فرآیند فوم‌سازی، می‌توان فوم پلیمری را به صورت فوم‌های سلول بسته^۲ یا فوم‌های سلول باز^۳ تعریف نمود. با انتخاب مواد کف‌زا و فرآیندهای مختلف تولید فوم، می‌توان تشکیل سلول‌های باز یا بسته را کنترل نمود. در مقایسه با

- 1- Green Chemistry
- 2- Polymeric Foams
- 3- Closed Cell Foams
- 4- Open Cell Foams

فوم‌های سلول بسته، معمولاً فوم‌های سلول باز دارای ظرفیت جذب^۱ و نفوذپذیری^۲ بالاتر و دارای توانایی بهتر تضعیف صدا^۳ هستند (کیم و پال، ۲۰۱۰). با توجه به پژوهش‌های کیم و پال (۲۰۱۰) فرآیند تولید فوم‌سازی شامل ۳ مرحله (۱) تشکیل مخلوطی از پلیمر و ماده کفزا، (۲) هسته‌زایی سلول^۴ و (۳) رشد سلول^۵ می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- مراحل مختلف فرآیند فوم‌سازی.

براساس تخمین‌های ارائه شده در سال ۲۰۰۵، ۱۵۹ میلیون کیلوگرم عوامل کفزا در محصولات گرمانرم استفاده شده است که ۴۶ درصد از آن در چین، ۲۳ درصد در سایر کشورهای آسیایی، ۱۷ درصد در اروپا، ۶ درصد در آمریکای شمالی و بقیه در سایر کشورها استفاده شدند (پاکدل، ۱۳۸۷). به‌طورکلی دو نوع عامل کفزای فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. معمولاً عوامل کفزای شیمیایی ترکیباتی هستند که در دمای فرآیند تجزیه شده و در نتیجه گازهایی مانند CO_2 و یا N_2 تولید می‌کنند. عوامل کفزا به دو دسته گرماگیر و گرمازا تقسیم می‌شوند. نتایج پژوهش‌های بلدیزکی و

- 1- Absorptive Capacity
- 2- Permeability
- 3- Sound Damping
- 4- Cell Nucleation
- 5- Cell Growth

فاروک (۲۰۰۶) نشان داد که ماده کفزای شیمیایی گرمازا بیش از نوع گرماگیر آن در کاهش وزن و افزایش مقاومت کششی مؤثرند (پچواتانا و کواویساروچ، ۲۰۱۱). آزودی کربونامید یکی از پرمصرف‌ترین عوامل کفزای شیمیایی گرمازا است و به‌علت راندمان بالای گاز تولیدی و قیمت به‌نسبت پایین، به‌طور گسترده در صنایع مختلف مانند پلاستیک، صنعت کفش و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده زرد رنگ بیش از ۸۵ درصد از بازار جهانی فوم را به‌دلیل تولید گاز زیاد و سازگاری فراوان با انواع پلیمرها در اختیار دارد. دمای تجزیه آن ۲۱۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است و پس از تجزیه ۶۵ درصد نیتروژن، ۳۲ درصد منوکسیدکربن و ۳ درصد دی‌اکسیدکربن تولید می‌کند.

به‌طور اساسی ماده کفزای شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و خواص ریخت‌شناسی چندسازه‌های الیاف-پلاستیک تأثیرگذار است. به‌عنوان مثال نتایج پژوهش‌های فاروک و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که فوم‌نمودن چندسازه‌های چوب-پلاستیک باعث می‌شود تا قابلیت نگهداری مکرر پیچ و میخ آن‌ها نسبت به نمونه‌های فوم‌نشده بهبود یابد. در همین راستا بلدزکی و فاروک (۲۰۰۴) فوم‌نمودن چندسازه‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف چوب و کف را به روش قالب‌گیری تزریقی مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با افزودن ماده کفزا، دانسیته چندسازه الیاف چوب-پلی‌پروپیلن و چندسازه کتان-پلی‌پروپیلن به‌ترتیب به‌میزان ۲۰ و ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. به‌طورکلی در اثر تولید فوم دانسیته و خواص مکانیکی (مقاومت خمشی و کشش) کاهش می‌یابد. منتهی خصوصیات مکانیکی نهایی چندسازه‌های فوم‌شده به‌شدت به ساختار سلولی فوم‌های تولیدی وابسته است (قاسمی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین تولید سلول‌های یک‌شکل و ظریف در طی فرآیند تولید فوم در بهبود خصوصیات مکانیکی چندسازه‌ها مؤثر خواهد بود (ماتوانا و همکاران، ۱۹۹۸a؛ ماتوانا و همکاران، ۱۹۹۸b) و نشان‌دهنده توزیع مناسب ماده کفزای فعال در زمینه پلیمری می‌باشد (بلدزکی و فاروک، ۲۰۰۶؛ شنتون و همکاران، ۲۰۰۲). در همین راستا بلیر و همکاران (۱۹۶۷) و توسلی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که با افزایش اندازه سلول در چندسازه‌های فوم‌شده، مقاومت کششی و فشاری چندسازه‌ها کاهش می‌یابد. ترکیباتی که می‌توانند در تولید ساختارهای ظریف و سلول‌های کوچک در چندسازه‌های فوم‌شده مؤثر باشند، نانوذرات هستند که در تولید نانوحندسازه‌ها به‌کار می‌روند.

نانوحندسازه‌های پلیمری گروه جدیدی از مواد مرکب هستند که دارای ذراتی با ابعاد نانومتر می‌باشند و نانوحندسازه‌های حاصله حداقل شامل ۱۰-۵ درصد از این ترکیبات هستند. هر چند این

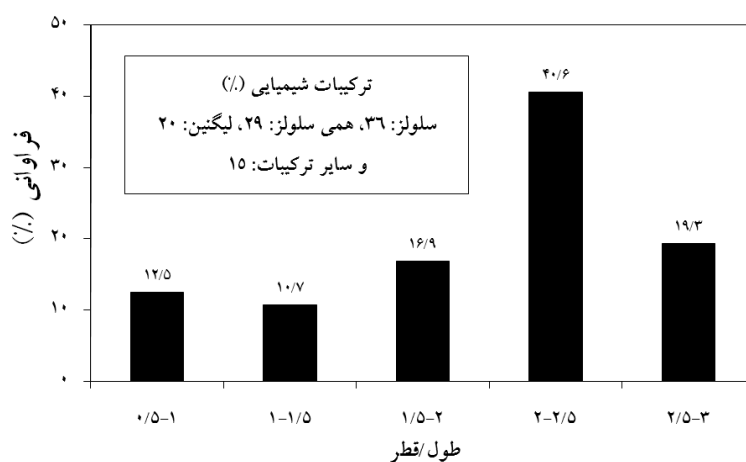
فرآورده‌ها به تازگی وارد صنعت شده‌اند اما در این بین، چندسازه‌های پرشده با نانورس و نانوکربن رشد سریعی در این صنعت یافته‌اند (گالگالیا و همکاران، ۲۰۰۵) و بسیاری از پژوهش‌ها بیانگر اثر مثبت این نانوذرات بر بهبود مقاومت مکانیکی چندسازه‌هاست (نوذری و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ نوربخش و عشوری، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷). برخی از پژوهش‌ها بیانگر بررسی اثر نانوذرات در تولید چندسازه‌های فوم‌شده نیز می‌باشد. به‌عنوان مثال: گو و همکاران (۲۰۰۷) ساختار سلول و خصوصیات دینامیکی چندسازه فوم‌شده پلی‌پروپیلین/ نانورس به روش قالب‌گیری تزریقی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با اضافه نمودن نانورس به‌عنوان عامل هسته‌زا، ساختار سلولی یکنواخت‌تر با دانسیته سلول بالاتر و ابعاد سلول کوچک‌تر به‌دست آمد؛ همچنین لی (۲۰۰۸) و لی و همکاران (۲۰۰۹) عنوان داشتند که به‌کارگیری نانورس در چندسازه‌های خوب-پلاستیک ریخت‌شناسی سلول و توسعه فوم را بهبود می‌بخشد. توسلی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در تولید چندسازه‌های فوم‌شده خوب-پلاستیک از نانولوله‌های کربنی استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری نانوذرات موجب افزایش دانسیته سلول و کاهش اندازه سلول می‌شود؛ اما به‌کارگیری ماده کف‌زا با ایجاد فضای خالی در چندسازه، موجب افزایش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامتی نانوجندسازه‌های فوم‌شده گردید.

هر چند پژوهش‌های زیادی در تولید چندسازه‌های فوم‌شده الیاف-پلاستیک در منابع خارجی دیده می‌شود؛ اما اثر ماده کف‌زا و درجه بهبود در سیستم‌های مختلف متفاوت است و گروه‌های تحقیقاتی نتایج متفاوتی را گزارش نموده‌اند. بنابراین تولید چندسازه‌های الیاف-پلاستیک فوم‌شده در ابتدای راه پژوهش و توسعه قرار دارد. هدف از این پژوهش نیز بررسی اثر مقدار نانورس و ماده کف‌زای شیمیایی بر روی خصوصیات مکانیکی و ریخت‌شناسی نانوجندسازه‌های فوم‌شده پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) با شاخص جریان مذاب ۲۳ گرم در ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب از شرکت پتروشیمی مارون خریداری و به‌عنوان ماده زمینه انتخاب شد. از مالئیک انیدرید پیوندشده با پلی‌اتیلن (MAPE) محصول شرکت کیمیا جاوید سپاهان به‌عنوان جفت‌کننده استفاده گردید. کاه گندم از مزارع شمال ایران تهیه و توسط آسیاب آزمایشگاهی خرد شد و پس از

عبور از الک با مش ۶۰ و باقی‌مانده بر روی مش ۸۰ به‌عنوان پرکننده لیفی مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی کاه گندم براساس استاندارد TAPPI و ضریب ظاهری آن توسط میکروسکوپ نوری تعیین گردید (شکل ۲). همچنین از پودر نانورس تولیدشده توسط شرکت Southern-Clay آمریکا با نام تجاری Cloisite 15A و از آزودی کربونامید محصول شرکت Anhui Huishang Group چین به‌عنوان ماده کفزای شیمیایی با دمای تجزیه ۲۱۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و از اکسید روی به‌عنوان کاتالیزور استفاده گردید. در این حالت گاز اصلی تولید شده نیتروژن بوده و به ۳۰۰ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌رسد. آرد کاه گندم تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت در اتو خشک شد تا به رطوبت زیر ۱ درصد برسد. بقیه مواد به محض رسیدن مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۲- خصوصیات شیمیایی و ابعادی کاه گندم.

تهیه چندسازه: فرمول چندسازه‌های تهیه شده در جدول ۱ آمده است. مقدار آزودی کربن‌امید و نانورس به‌ترتیب ۲، ۰ و ۴ درصد و ۲، ۰ و ۵ درصد و کاه گندم به مقدار ثابت ۴۰ درصد برای همه نمونه‌ها انتخاب شد. عملیات اختلاط مواد در دستگاه مخلوط‌کن HAAKE در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۶۰ دور در دقیقه انجام شد. این دما زیر دمای تجزیه آزودی کربن‌امید می‌باشد. بنابراین ماده کفزا در طی عمل آمیزه‌سازی تجزیه نخواهد شد. نخست پلی‌اتیلن سنگین به دستگاه

اضافه گردید و پس از ذوب آن عامل جفت‌کننده و نانورس به آن افزوده شد. پس از ۳ دقیقه ماده کفزا و پس از گذشت ۷ دقیقه کاه گندم اضافه شد. کل عملیات آمیزه‌سازی ۱۲ دقیقه به طول انجامید. پس از اختلاط مواد، آمیزه تولیدشده توسط خردکن نیمه‌صنعتی WIESER آسیاب و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی انتقال یافت و نمونه‌های آزمونی با فشار نازل ۱۰ مگاپاسکال و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شدند. در نهایت نمونه‌ها برای کلیماتیزه شدن، طبق استاندارد ASTM D۶۱۸-۹۹ حداقل به مدت ۴۰ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد قرار گرفتند.

جدول ۱- ترکیب نانوچندسازه مورد مطالعه.

شماره تیمار	کاه گندم (درصد)	HDPE (درصد)	نانورس (درصد)	ماده کفزا (درصد)	MAPE (درصد)
۱	۵۰	۴۷	۰	۰	۳
۲	۴۸	۴۷	۲	۰	۳
۳	۴۵	۴۷	۵	۰	۳
۴	۵۰	۴۵	۰	۲	۳
۵	۴۸	۴۵	۲	۲	۳
۶	۴۵	۴۵	۵	۲	۳
۷	۵۰	۴۳	۰	۴	۳
۸	۴۸	۴۳	۲	۴	۳
۹	۴۵	۴۳	۵	۴	۳

آزمون مکانیکی: در این پژوهش مقاومت کششی توسط دستگاه‌های آزمون مکانیکی Instron مدل ۱۱۸۶ و براساس آئین‌نامه D۶۳۸ استاندارد ASTM انجام شد. آزمون براساس سرعت بارگذاری ۵ دقیقه در میلی‌متر انجام پذیرفت. دستگاه پاندولی Zwick مدل ۵۱۰۲ آلمان برای آزمون مقاومت به ضربه فاقدار آیزود استفاده گردید. تمامی نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D۲۵۶ تست شدند.

ساختار سلول: متوسط اندازه سلول براساس استاندارد ASTM D۳۵۷۶ اندازه‌گیری شد. اندازه سلول نمونه‌های فوم‌شده براساس اندازه‌گیری متوسط قطرهای سلول در فاصله مشخصی از ریزنگارهای به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) انجام شد. چندسازه‌های فوم‌شده در نیتروژن مایع و دمای ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد یخ زده و سپس سطوح شکسته‌شده نمونه‌ها با طلا پوشش‌دهی شد. برای

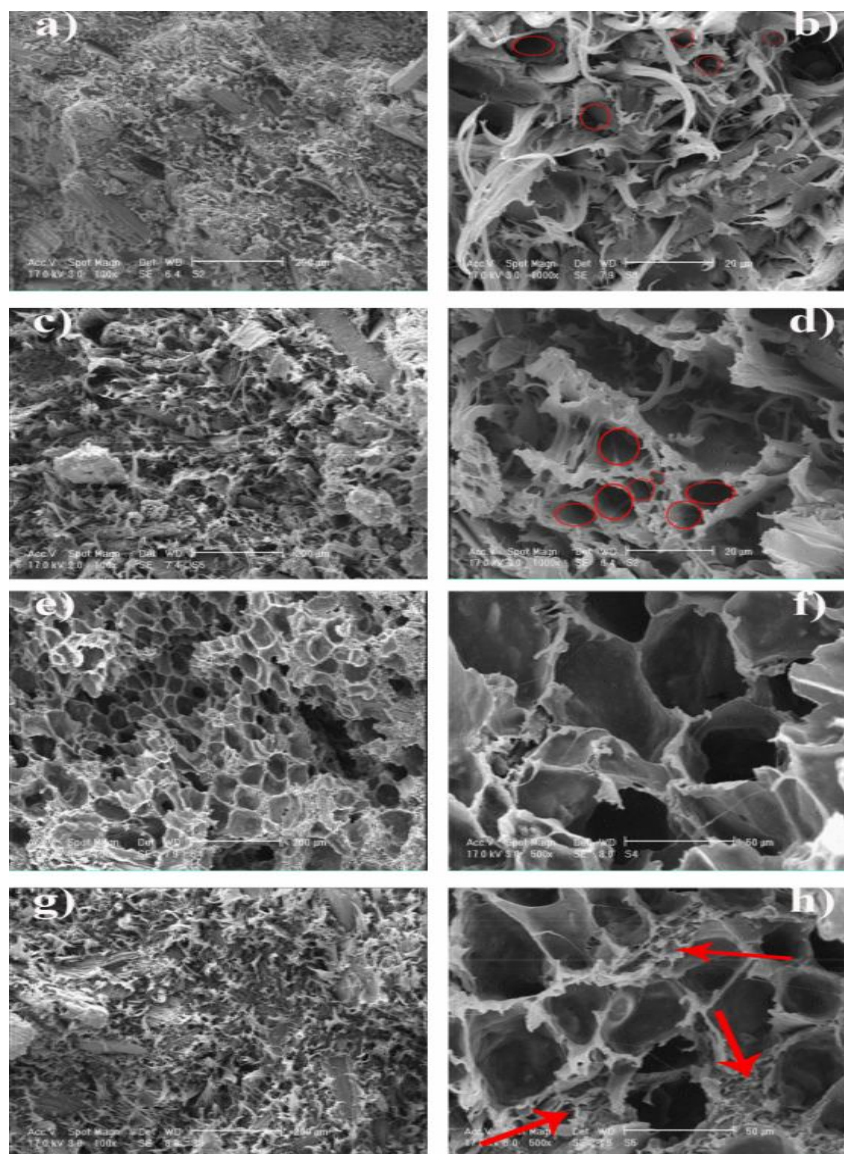
اندازه‌گیری اندازه و دانسیته سلول، تصاویر SEM با استفاده از نرم‌افزار Microstructure Measurement مورد ارزیابی قرار گرفت. کوچک‌ترین بعد به‌عنوان قطر و میانگین آن‌ها به‌عنوان اندازه سلول ثبت شد. تعداد سلول در واحد حجم نمونه‌های فوم‌شده (NC) به‌عنوان تابعی از اندازه سلول بوده و به‌عنوان دانسیته نمونه‌های فوم‌شده می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$NC \approx \frac{10^4 \left[1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right]}{d^3} \quad (1)$$

که در آن، NC: تعداد سلول در مترمکعب نمونه فوم‌شده، ρ_f : دانسیته فوم به گرم بر سانتی‌مترمکعب و ρ_p : دانسیته زمینه پلیمری به گرم بر سانتی‌مترمکعب و d : میانگین اندازه سلول به میلی‌متر است. **دانسیته چندسازه:** دانسیته نمونه‌های فوم‌شده و فوم‌نشده براساس میانگین جرم بر روی حجم نمونه‌ها به‌دست آمد. اندازه‌گیری از ۵ نمونه برای هر تیمار براساس استاندارد ASTM D1622-98 انجام شد. **ریخت‌شناسی:** برای بررسی ریخت‌شناسی نانوچندسازه‌ها از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) Philips مدل XL-30 بهره‌گیری شد. نمونه‌ها با نیتروژن مایع منجمد شده و سپس شکسته شدند. سطوح شکسته با لایه نازکی از طلا در دستگاه پوشاننده یونی پوشانده شد. سپس ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی با بهره‌گیری از ولتاژ ۱۷ کیلوولت تهیه شدند. **تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمون فاکتوریل با ۳ تکرار استفاده شد و برای تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نانورس و ماده کفزای شیمیایی، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اندازه و دانسیته سلول: برای توجیه تغییرات فیزیکی و مکانیکی، بررسی ریخت‌شناسی فوم با استفاده از پارامترهایی مانند اندازه و دانسیته سلول مفید می‌باشد. شکل ۳ ریزنگارهای SEM نانوچندسازه فوم‌شده با مقادیر مختلف عامل کفزا و نانورس را نشان می‌دهد. براساس ریزنگارها تمامی نمونه‌ها دارای سلول بسته بوده و اندازه سلول و پراکنش اندازه سلول تحت تأثیر میزان ماده کفزای شیمیایی و نانورس می‌باشد (شکل ۳).



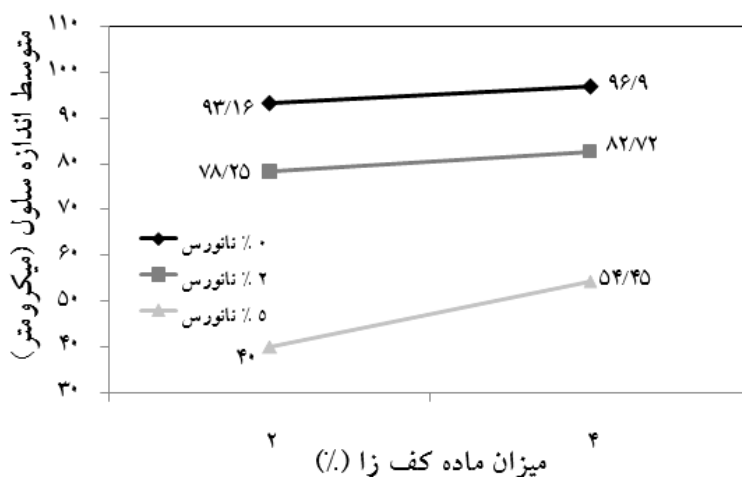
شکل ۳- ریزنگارهای SEM نانوجندسازه فوم شده با مقادیر مختلف عامل کفزا و نانورس:

- (a) بدون نانورس و ۲ درصد ماده کفزا (X۱۰۰۰)، (b) بدون نانورس و ۲ درصد ماده کفزا (X۱۰۰)، (c) بدون نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۱۰۰۰)، (d) بدون نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۱۰۰)، (e) ۲ درصد نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۵۰۰)، (f) ۲ درصد نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۱۰۰)، (g) ۵ درصد نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۵۰۰)، (h) ۵ درصد نانورس و ۴ درصد ماده کفزا (X۱۰۰).

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر هم‌زمان مقدار نانورس و ماده کف‌زا بر اندازه سلول چندسازه الیاف-پلاستیک فوم‌شده پلی‌اتیلن سنگین/کاه گندم در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. اما اثر مستقل میزان ماده کف‌زای شیمیایی بر اندازه سلول چندسازه‌های فوم‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. اثر هم‌زمان مقدار ماده کف‌زای شیمیایی و نانورس بر روی متوسط اندازه سلول در چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/کاه گندم در شکل ۴ نیز خلاصه شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس خواص مورد مطالعه نانوجندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/کاه گندم.

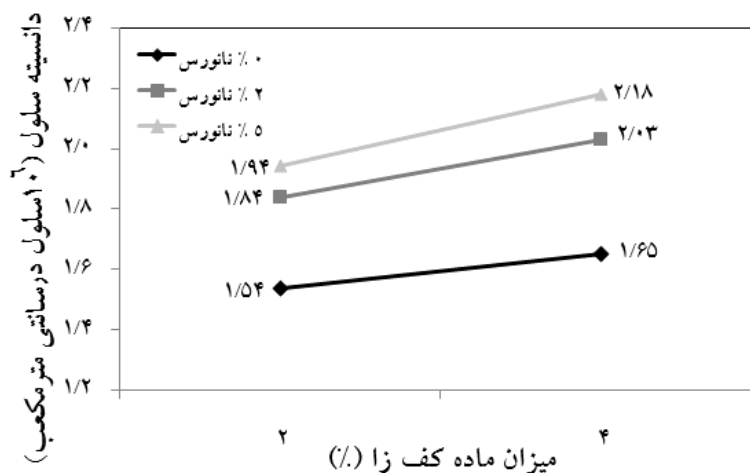
مقدار F					درجه آزادی	منبع تغییرات
مقاومت مدول	مقاومت کششی	دانسیتته دانسیته	اندازه سلول	اندازه سلول		
مقاومت به ضربه <td>کششی <td>کششی <td>دانسیتته سلول <td>سلول <td>۲ <td>نانورس (A)</td> </td></td></td></td></td>	کششی <td>کششی <td>دانسیتته سلول <td>سلول <td>۲ <td>نانورس (A)</td> </td></td></td></td>	کششی <td>دانسیتته سلول <td>سلول <td>۲ <td>نانورس (A)</td> </td></td></td>	دانسیتته سلول <td>سلول <td>۲ <td>نانورس (A)</td> </td></td>	سلول <td>۲ <td>نانورس (A)</td> </td>	۲ <td>نانورس (A)</td>	نانورس (A)
۳۷/۹۲۳*	۴۶/۷۶۹*	۵۴/۸۰۱*	۴/۰۳۶ ^{ns}	۷۴/۵۷۷*	۶۷/۶۶۷*	ماده کف‌زا (B)
۱۹/۳۴۲*	۶۸/۰۳۹*	۳۷/۷۹۵*	۷/۱۸۸ ^{ns}	۵۸/۱۶۲*	۶/۶۳۳ ^{ns}	A×B
۲۲/۴۵۶*	۲۹/۵۰۵*	۶۱/۹۰۱*	۰/۲۹۴ ^{ns}	۲۳/۴۸۹*	۳۵/۴۹۱*	خطا
					۱۸	
					۲۶	کل



شکل ۴- متوسط اندازه سلول نانوجندسازه فوم‌شده با مقادیر مختلف عامل کف‌زا و نانورس.

بزرگ‌ترین اندازه سلول (۹۶/۹ میکرومتر) در چندسازه‌های بدون نانورس شامل بیش‌ترین مقدار عامل کفزا (۴ درصد) مشاهده می‌شود (شکل ۴). این موضوع قابل انتظار است زیرا غلظت بیش‌تر آزودی کربونامید به معنی تولید بیش‌تر گاز N_2 در اثر تخریب حرارتی عامل کفزا در زمینه چندسازه می‌باشد؛ که در نتیجه تعداد سلول‌های هسته‌زایی شده در واحد حجم افزایش می‌یابد (حمصی و همکاران، ۲۰۱۱؛ توسلی و همکاران؛ ۲۰۱۱). این موضوع در ریزنگارهای a تا d شکل ۳ که به ترتیب با بزرگ‌نمایی یکسان $X100$ و $X1000$ تهیه شده‌اند نیز به روشنی و با تعداد بیش‌تر حفرات مشخص شده، دیده می‌شود. اندازه متوسط سلول در چندسازه‌های فوم‌شده کاه گندم / پلی‌اتیلن سنگین بدون نانورس و شامل ۴ درصد ماده کفزا در مقایسه با چندسازه‌های بدون نانورس و شامل ۲ درصد ماده کفزا حدود ۴ درصد بیش‌تر می‌باشد که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بی‌معنی است (جدول ۲). با توجه به ابعاد سلولی در این مطالعه و طبقه‌بندی موجود برای چندسازه‌های فوم‌شده (کیم و پال، ۲۰۱۰)، چندسازه فوم‌شده کاه گندم / پلی‌اتیلن سنگین در این پژوهش از نوع میکروسلولی بوده که ابعاد ۱۰-۱ میکرومتر دارند. همچنین در ریزنگارهای e تا h شکل ۳ مشاهده می‌شود که در سطح ثابت عامل کفزا، با افزایش نانورس از ۵-۲ درصد، میزان ابعاد سلولی کاهش یافت. متوسط ابعاد سلول در شکل ۴ بیانگر آن است که با اضافه شدن ۲ درصد نانورس، متوسط ابعاد سلول برای چندسازه‌های شامل ۲ و ۴ درصد آزودی کربونامید نسبت به نمونه‌های بدون نانورس متناظر، به ترتیب ۱۹ و ۱۷/۱ درصد کاهش یافت. این موضوع مربوط به ابعاد ریز و ضریب ظاهری بالای نانورس می‌باشد که به‌عنوان سایت‌های هسته‌زایی عمل کرده و موجب تولید سلول‌های ظریف‌تری می‌شوند (لی، ۲۰۰۸؛ توسلی و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه ویسکوزیته مخلوط پلیمری افزایش یافته و با افزایش نانورس از ۲ به ۵ درصد در مقابل رشد سلولی مقاومت نموده و سلول‌هایی با ابعاد کوچک‌تر تولید می‌نماید. در این پژوهش کم‌ترین ابعاد سلول به نمونه‌های شامل ۵ درصد نانورس و ۲ درصد عامل کفزای شیمیایی (۴۰ میکرومتر) تعلق دارد (شکل ۴).

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر مقدار نانورس و ماده کفزا بر دانسیته سلول چندسازه الیاف-پلاستیک فوم‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. شکل ۵ به روشنی بیانگر تغییر اندازه دانسیته سلول با تغییر میزان ماده کفزا می‌باشد.

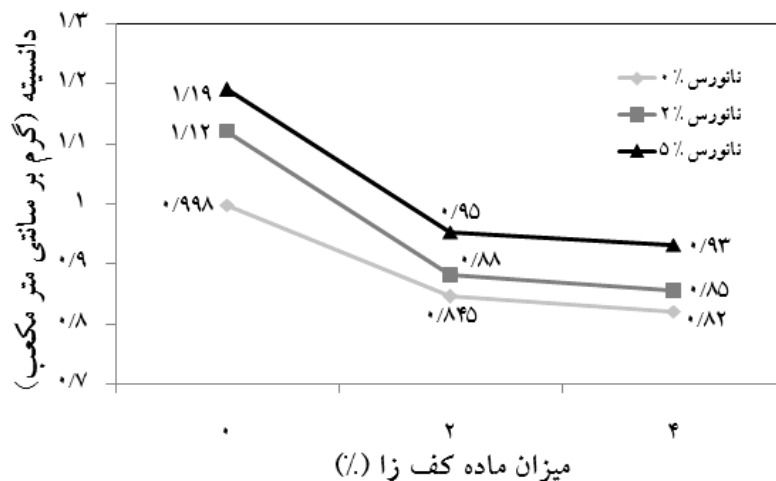


شکل ۵- متوسط دانسیته سلول نانوجندسازه فوم شده با مقادیر مختلف عامل کفزا و نانورس.

با افزایش میزان آزودی کربونامید از ۲ به ۴ درصد در چندسازه‌های فوم شده الیاف- پلاستیک بدون نانورس، دانسیته سلول از $1/54 \times 10^6$ سلول در سانتی‌مترمکعب به $1/65 \times 10^6$ سلول در سانتی‌مترمکعب افزایش یافت (شکل ۵)؛ که علت آن تولید حباب و میزان سلول فوم شده بیش‌تر در زمینه پلیمری است. همچنین با اضافه شدن نانورس روند افزایش دانسیته سلول ادامه یافت و در مقدار ثابت ۲ درصد نانورس، زمانی‌که عامل کفزا از ۲ به ۴ درصد افزایش پیدا کرد؛ میزان دانسیته سلول افزایش چشم‌گیری پیدا کرد و از $1/84 \times 10^6$ سلول در سانتی‌مترمکعب به $2/03 \times 10^6$ سلول در سانتی‌مترمکعب رسید. علت این موضوع بیش‌تر مربوط به اثر هسته‌زایی نانورس بوده که تعداد عمل هسته‌زایی را افزایش داده و رشد سلول بیش‌تر می‌شود (زکریا و همکاران، ۲۰۰۹). از آن‌جا که دانسیته سلول نشان‌دهنده تعداد سلول در واحد حجم چندسازه از مخلوط پلیمر و الیاف طبیعی است، بنابراین هر چقدر ابعاد سلول کوچک‌تر باشد، دانسیته سلول نیز افزایش خواهد یافت. بیانگر این مطلب افزایش دانسیته سلول همراه با کاهش متوسط ابعاد سلول با افزایش میزان نانورس در چندسازه‌های الیاف- پلاستیک شامل مقدار ثابتی از عامل کفزای شیمیایی می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). علت اصلی آن ابعاد کوچک و سطح بسیار زیاد ترکیبات نانورس بوده که به تولید مراکز هسته‌زایی بیش‌تر در پلیمر کمک می‌کند که در نتیجه در منطقه بین‌فازی بین الیاف و پلیمر؛ به دلیل حضور کم‌تر گازهای در دسترس، حباب‌ها رشد کم‌تری داشته و ابعاد سلول کاهش و دانسیته سلول بهبود می‌یابد (توسلی و

همکاران، ۲۰۱۱). بیش‌ترین دانسیته سلول به چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم شامل ۴ درصد عامل کف‌زا و ۵ درصد نانورس به‌میزان $2/18 \times 10^6$ سلول در سانتی‌مترمکعب تعلق داشته (شکل ۵) که نسبت به نانوچندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم شامل ۲ درصد عامل کف‌زا و ۵ درصد نانورس، ۱۲/۳ درصد رشد دارد که از نظر آماری نیز در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است.

دانسیته چندسازه‌ها: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر مقدار نانورس و ماده کف‌زا بر دانسیته چندسازه الیاف-پلاستیک فوم‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. شکل ۶ دانسیته چندسازه پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم شامل مقادیر مختلف نانورس و عامل کف‌زای شیمیایی را نشان می‌دهد.

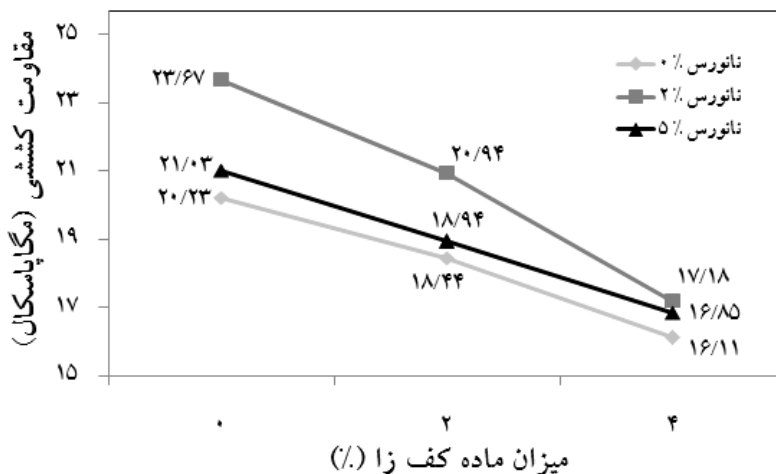


شکل ۶- دانسیته نانوچندسازه فوم‌شده با مقادیر مختلف عامل کف‌زا و نانورس.

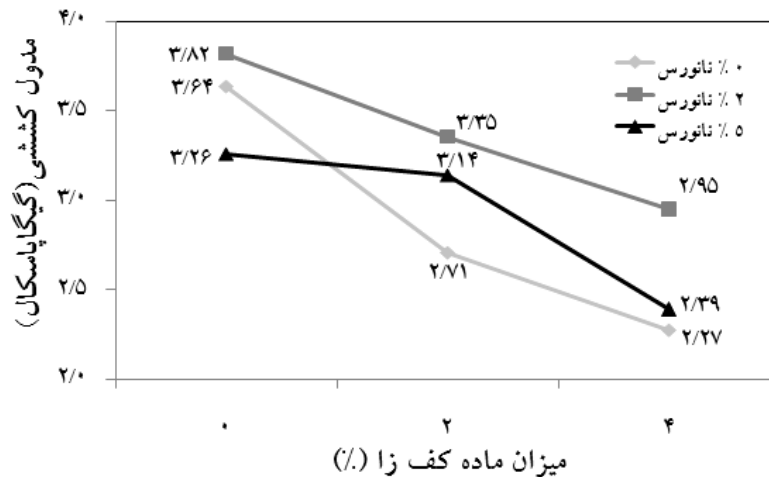
زمانی که آزودی کربونامید اضافه شد، دانسیته چندسازه‌های فوم‌شده پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم کاهش یافت (شکل ۶)؛ به‌گونه‌ای که با اضافه شدن ۴ درصد عامل کف‌زا ۲۱/۷ درصد از دانسیته چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم کم شد. نتایج پژوهش‌های بلدیزکی و همکاران (۲۰۰۵) بیانگر کاهش تقریباً ۲۵-۲۰ درصدی دانسیته چندسازه با اضافه شدن ۴ درصد عامل کف‌زای شیمیایی در زمینه پلی‌پروپیلن می‌باشد؛ که این موضوع با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. در واقع دانسیته چندسازه بیانگر اثر جرم و یا به‌طور معکوس، تخلخل موجود در زمینه به‌دست آمده از مواد

تشکیل‌دهنده چندسازه می‌باشد. اضافه شدن آزودی کربونامید به‌عنوان عامل کف‌زا از طریق رشد حباب موجب کاهش دانسیته می‌گردد. همچنین اضافه نمودن نانورس با پرکردن فضای خالی موجود در زمینه پلیمری و تولید سلول‌های ظریف با حفره کوچک، موجب افزایش نسبی دانسیته می‌شود. به‌عنوان مثال در مقدار ثابت ۲ درصد آزودی کربونامید با افزایش میزان نانورس تا حد ۵ درصد، دانسیته چندسازه نسبت به نمونه‌های بدون نانورس به‌میزان ۱۲/۸ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۶). بیش‌ترین دانسیته به چندسازه پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم فوم‌نشده شامل ۵ درصد نانورس به‌میزان ۱/۱۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب و کم‌ترین میزان دانسیته به چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین/ کاه گندم شامل ۴ درصد عامل کف‌زا و بدون نانورس به‌میزان ۰/۸۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب تعلق دارد. با این‌حال اثر نانورس و ماده کف‌زای شیمیایی از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر دانسیته نانوچندسازه‌های فوم‌شده حاصله ندارند. این نتایج با پژوهش‌های توسلی و همکاران (۲۰۱۱) که از ماده کف‌زا و نانولوله‌های کربنی استفاده نمودند، هم‌خوانی دارد.

مقاومت کششی: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر مقدار نانورس و ماده کف‌زای شیمیایی بر مقاومت و مدول چندسازه الیاف-پلاستیک فوم‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. مقاومت و مدول کششی چندسازه‌های شامل مقادیر متفاوت نانورس و ماده کف‌زا به‌ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارایه شده است.



شکل ۷- مقاومت کششی نانوچندسازه فوم‌شده با مقادیر مختلف عامل کف‌زا و نانورس.

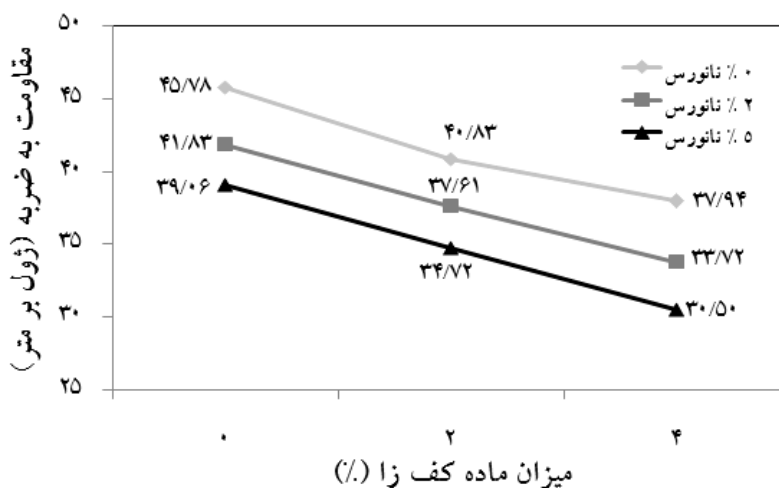


شکل ۸- مدول کششی نانوجندسازه فوم شده با مقادیر مختلف عامل کفزا و نانورس.

شکل های ۷ و ۸ نشان می دهند که اضافه شدن آزودی کربونامید به عنوان عامل کفزا در نمونه های بدون نانورس موجب کاهش میزان مقاومت و مدول کششی چندسازه های پلی اتیلن سنگین / کاه گندم می شود. الیاف طبیعی در فرآیند فوم سازی فاز جامد بوده و فوم نمی شود و گاز نیز در الیاف طبیعی حل نمی گردد (ماتوانا و همکاران، ۱۹۹۷)، بنابراین حلالیت گاز تنها محدود به پلیمر می شود. بنابراین مناطق بین فازی الیاف طبیعی و پلیمر به خوبی خیس نشده و این مناطق ممکن است کانال هایی برای حرکت سریع گاز فراهم کنند (ماتوانا و همکاران، ۱۹۹۸) که فاصله بین الیاف و پلیمر را افزایش می دهند و در نتیجه احتمالاً با اضافه شدن آزودی کربونامید به عنوان عامل کفزا و به پیروی از آن ایجاد حباب در ماده زمینه، اتصال مناسب بین الیاف لیگنوسلولزی و پلیمر در منطقه بین فازی صورت نمی گیرد. کاهش تدریجی مقاومت و مدول کششی چندسازه های بدون نانورس به ترتیب از ۲۰/۲۳ تا ۱۶/۱۱ مگاپاسکال و از ۳/۶۴ تا ۲/۲۷ گیگاپاسکال با افزایش آزودی کربونامید از ۲ به ۴ درصد بیانگر این مطلب است. اما با اضافه شدن نانورس، میزان مقاومت و مدول چندسازه به صورت چشم گیری افزایش می یابد. پژوهش های متعددی نشان می دهد که نانورس به دلیل ضریب ظاهری بالا و ابعاد بسیار کوچک (ضخامت حدود ۱ نانومتر و ضریب ظاهری بین ۱۰۰۰-۱۰)؛ به دلیل انتقال بهتر تنش در منطقه بین فازی، موجب بهبود مقاومت و مدول الاستیسیته می شود (لیانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ لشکری و همکاران ۲۰۱۳؛ نوربخش و عشوری، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷).

به‌عنوان مثال در این پژوهش با افزایش میزان نانورس تا حد ۲ درصد میزان مقاومت و مدول الاستیسیته کششی افزایش یافت. اما با افزایش نانورس تا سطح ۵ درصد شاهد کاهش محسوسی در مقاومت و مدول الاستیسیته نانوجندسازهای پلی‌اتیلن سنگین / کاه‌گندم هستیم (شکل‌های ۷ و ۸)؛ که احتمالاً علت آن مهاجرت نانورس به فضای خالی بین الیاف و پلی‌اتیلن سنگین و کاهش اتصال در منطقه بین‌فازی و تشکیل کلوخه‌های نانورس می‌باشد. این کلوخه‌ها به‌عنوان نقص یا عیب در داخل چندسازه‌ها عمل کرده و موجب به‌وجود آمدن شکست نابهنگام می‌شود و چسبندگی در منطقه بین‌فازی را دچار مشکل می‌سازند (عشوری و نوربخش، ۲۰۰۹). همچنین در ریزنگار h شکل ۳ نیز به روشنی مشخص شده است که با افزایش نانورس تا حد ۵ درصد میزان کلاپس سلولی افزایش می‌یابد که در شکل با فلش مشخص شده است. نتایج به‌دست آمده از مقاومت و مدول کششی چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین / کاه‌گندم در شکل‌های ۷ و ۸ بیانگر آن است که چندسازه‌های فوم‌نشده شامل ۲ درصد نانورس دارای بهترین مقاومت (۲۳/۶۷ مگاپاسکال) و مدول الاستیسیته (۳/۸۲ مگاپاسکال) کششی هستند.

مقاومت به ضربه Izod: شکل ۹ مقاومت به ضربه Izod چندسازه‌های ساخته شده از مقادیر متفاوت نانورس و عامل کف‌زای شیمیایی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نیز بیانگر آن است که تأثیر مقدار نانورس و ماده کف‌زای شیمیایی بر مقاومت به ضربه چندسازه الیاف-پلاستیک فوم‌شده در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است.



شکل ۹- مقاومت به ضربه نانوجندسازه فوم‌شده با مقادیر مختلف عامل کف‌زا و نانورس.

به‌طورکلی انرژی مورد نیاز برای توسعه ترک در چندسازه‌ها توسط مقاومت به ضربه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. نتایج آزمون مقاومت به ضربه در شکل ۹ نشان داد که در عدم حضور نانورس، مقاومت به ضربه چندسازه‌های شامل ۲ و ۴ درصد آزودی کربونامید به ترتیب به میزان ۱۷/۱۱ و ۱۰/۸ درصد کم‌تر از نمونه‌های فوم‌نشده است. به‌طورکلی مقاومت به ضربه نشان‌دهنده مقاومت مواد در مقابل شکست و توسعه ترک در نقاط ضعیف چندسازه‌هاست؛ که در واقع نقاط پیونددهنده بین الیاف لیگنوسلولزی و پلیمر می‌باشند (یونسی و فارسی، ۲۰۱۳). بنابراین آزودی کربونامید با تولید گازهای نیتروژن و مونوکسیدکربن و رشد حباب مانع از اتصال مناسب بین پلیمر و الیاف طبیعی شده و شروع و ادامه ترک را توسعه می‌دهد. این موضوع با پژوهش‌های منگلوگلو و ماتوانا (۲۰۰۱) هم‌خوانی دارد. با اضافه‌شدن نانورس تا حد ۵ درصد مقاومت به ضربه نسبت به نمونه‌های بدون نانورس به مقدار بیش‌تری کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند مربوط به افزایش نقاط مستعد ترک باشد؛ که با افزایش کلوخه‌های نانورس مناطق تمرکز تنش را تولید می‌کنند؛ که برای توسعه تنش به انرژی کم‌تری نیاز دارند (لیانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پارک و باندارو، ۲۰۱۰). به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده از مقاومت به ضربه نشان داد که بیش‌ترین مقاومت به ضربه به چندسازه‌های فوم‌نشده پلی‌اتیلن سنگین / کاه گندم بدون نانورس به میزان ۴۵/۷۸ ژول بر متر و کم‌ترین مقاومت به ضربه به نمونه‌های شامل ۵ درصد نانورس و ۴ درصد ماده کف‌زای شیمیایی به میزان ۳۰/۵ ژول بر متر تعلق دارد (شکل ۹).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر عامل کف‌زا و نانورس بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین / کاه گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از خصوصیات مکانیکی (مقاومت و مدول کششی و مقاومت به ضربه) نانوچندسازه‌های فوم‌شده بیانگر آن است که میزان عامل کف‌زا و نانورس بر خصوصیات نانوچندسازه‌های حاصله اثر دارد. در حضور آزودی کربونامید به‌عنوان ماده کف‌زا، دانسیته و اندازه سلول افزایش یافت. با تحلیل ریزنگارهای تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) می‌توان دریافت که با اضافه‌شدن نانورس به ترکیب چندسازه، ساختار سلولی ظریف‌تری نسبت به نمونه‌های فوم‌نشده تولید گردید که متأثر از عمل هسته‌زایی نانورس می‌باشد. عامل کف‌زای شیمیایی و نانورس اثر منفی بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها داشتند؛ در حالی‌که افزودن نانورس موجب بهبود مقاومت و مدول کششی نمونه‌ها شد. همچنین نتایج آماری

بیانگر آن است که اثر ماده کف‌زا بر دانسیته چندسازه‌های فوم‌شده بی‌تأثیر می‌باشد. اما با افزایش نانورس تا ۵ درصد دانسیته نمونه‌های فوم‌شده افزایش چشم‌گیری یافت. نتایج کلی به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر آن است که با افزودن ۴ درصد آزودی کربونامید می‌توان نانوجندسازه‌های پلی‌اتیلن سنگین / کاه گندم را ۲۱/۷ درصد سبک‌تر نمود و به دانسیته حدود ۰/۸۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب دست یافت.

منابع

1. Ashori, A. and Nourbakhsh, A. 2009. Effects of nanoclay as a reinforcement filler on the physical and mechanical properties of wood-based composite. *J. Compos. Mater.* 43: 18. 1869-1875.
2. Blair, E.A. 1967. Structure of foamed plastics: Resinography cell plastics, ASTM-Special technical publication 414, 84p.
3. Bledzki, A.K. and Faruk, O. 2006. Injection molded microcellular wood fiber-polypropylene composites. *Compos. Part A.* 37: 9. 1358-1367.
4. Bledzki, A.K., Zhang, W. and Faruk, O. 2005. Micro foaming of flax and wood fiber reinforced polypropylene composite. *Holz Roh Werkst J.* 63: 1. 30-37.
5. Bledzki, A.K. and Faruk, O. 2004. 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. *J. Appl. Polym. Sci.* 97: 3. 1090-1096.
6. Bledzki, A.K. and Gassan, J. 1999. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog. Polym. Sci.* 24: 2. 221-274.
7. Farsi, M. 2012. Thermoplastic matrix reinforced with natural fibers: a study on interfacial behavior. In: Wang, J. (eds). Some critical issues for injection molding. 1st ed. Rijeka: In Tech. Pp: 225-250.
8. Farsi, M. 2010. Wood-plastic composites: influence of wood flour chemical modification on the mechanical performance. *J. Reinf. Plast. Comp.* 29: 24. 3587-3592.
9. Faruk, O., Bledzki, A.K. and Matuana, L.M. 2007. Microcellular foamed wood plastic composites by different process. *Micromol. Mater. Eng. J.* 292: 2. 113-117.
10. Galgala, G., Agarwal, S. and Lelea, A. 2005. Effect of clay orientation on the tensile modulus of polypropylene-nanoclay composites. *Polym.* 45: 17. 6059-6069.
11. Ghasemi, I., Farsheh, A.T. and Masoomi, Z. 2012. Effects of multi-walled carbon nanotube functionalization on the morphological and mechanical properties of nanocomposite foams based on poly(vinyl chloride)/(wood flour)/(multi-walled carbon nanotubes). *J. Vinyl. Addit. Tech.* 18: 3. 161-167.
12. Guo, M.C., Heuzey, M.C. and Carreau, P.J. 2007. Cell structure and dynamic properties of injection molded polypropylene foams. *Polym. Eng. Sci.* 47: 7. 1070-1081.

13. Hemmasi, A., Khademieslam, H., Pourabbasi, S., Ghasemi, I. and Talaiepour, M. 2011. Cell morphology and physicomechanical properties of HDPE/EVA/ rice hull hybrid foamed composites. *BioResources*. 6: 3. 2291-2308.
14. Kim, J.K. and Pal, K. 2010. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, *Engineering Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 176p.
15. Klempner, D. and Frisch, K.C. 1991. *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*. Oxford University, New York, 584p.
16. Lashgari, A., Eshgh, A. and Farsi, M. 2013. A Study on Some Properties of Polypropylene Based Nanocomposites Made Using Almond Shell Flour and Organoclay. *Asian J. Chemist*. 25: 2. 1043-1049.
17. Lee, Y., Sain, M., Kuboki, T. and Park, C. 2009. Extrusion Foaming of Nano-Clay-Filled Wood Fiber Composites for Automotive Applications. *SAE Int. J. Mater. Manuf.* 1: 1. 641-647.
18. Lee, Y.H. 2008. Foaming of wood flour/polyolefin/layered silicate composites. PhD Thesis, Faculty of Forestry, University of Toronto, 175p.
19. Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F. and Xu, Y. 2007. Influence of nanoclay on properties of HDPE/wood composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 106: 6. 3958-3966.
20. Li, Q. and Matuana, L.M. 2003. Foam extrusion of high density polyethylene/wood-flour composites using chemical foaming agents. *J. Appl. Polym. Sci.* 88: 14. 3139-3150.
21. Liany, Y., Tabei, A., Farsi, M. and Madanipour, M. Effect of Nanoclay and Magnesium Hydroxide on Some Properties of HDPE/Wheat Straw Composites. *Fibers Polym.* 14: 2. 304-310.
22. Mengeloglu, F. and Matuana, L.M. 2003. Mechanical Properties of Extrusion-Foamed Rigid PVC/Wood- Flour Composites. *J. Vinyl. Add. Tech.* 9: 1. 26-31.
23. Mengeloglu, F. and Matuana, L.M. 2001. Foaming of rigid PVC/wood flour composites through a continuous extrusion process. *J. Vinyl. Add. Tech.* 7: 3. 142-148.
24. Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J. 1998a. Cell morphology and property relationships of microcellular foamed pvc/wood-fiber composites. *Polym. Eng. Sci.* 38: 11. 1862-1872.
25. Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J. 1998b. Structures and Mechanical Properties of Microcellular Foamed Polyvinyl Chloride. *Cell. Polym.* 17: 1. 1-16.
26. Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J. 1998c. Characterization of Microcellular Foamed Plastic/Cellulosic Fiber Composites. *SPE, ANTEC Technical Papers*, 44: 1968-1974.
27. Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J. 1997. Processing and cell morphology relationships for microcellular foamed PVC/wood-fiber composites. *Polym. Eng. Sci.* 37: 7. 1137-1147.

28. Nourbakhsh, A. and Ashori, A. 2009. Influence of nanoclay and coupling agent on the physical and mechanical properties of polypropylene/bagasse nanocomposite. *J. Appl. Polym. Sci.* 112: 3. 1386-1390.
29. Nozari, O., Madanipour, M., Farsi, M. and Tabei, A. 2013. Mechanical Properties and Water Uptake of Nanoclay/Wood Flour/Ldpe Composites After Fiber Surface Mercerization. *Cellulose Chem. Technol.* 47: 3-4. 295-301.
30. Pakdel, A.S. 2008. Methods to reduce costs expand the use of chemical foaming agents. *polym.* 10: 6. 56-59.
31. Park, S.H. and Bandaru, P.R. 2010. Improved mechanical properties of carbon nanotube/polymer composites through the use of carboxyl-epoxide functional group linkages. *Polym.* 51: 22. 5071-5077.
32. Petchwattana, N. and Covavisaruch, S. 2011. Influences of particle sizes and contents of chemical blowing agents on foaming wood plastic composites prepared from poly(vinyl chloride) and rice hull. *Mater. Design.* 32: 5. 2844-2850.
33. Rowell, R.M. 1997. *Paper and Composites from Agro-Based Resources*. 1st ed. New York: CRC Press, 464p.
34. Shenton, H.W., Wool, R.P., Hu, B., O'Donnell, A., Bonnaillie, L., Can, E. et al. 2002. An all natural composite material roof system for residential construction. In: *Proceedings of the international conference on advances in building technology, Hong Kong*, Pp: 255-262.
35. Tavasoli, F.A., Talaeipour, M., Hemmasi, A.H., Khademislam, H. and Ghasemi, I. 2011. Investigation on the mechanical and Morphological properties of foamed nanocomposites based on wood flour/PVC/Multi-walled carbon nanotubes. *Bioresource*, 6: 1. 841-52.
36. Younesi Kordkheili, H., Farsi, M. and Rezazadeh, Z. 2013. Physical, mechanical and morphological properties of polymer composites manufactured from carbon nanotubes and wood flour, *Compos. Part B.* 44: 1. 750-755.
37. Zakaria, Z., Ariff, Z.M. and Sipaut, C.S. 2009. Effects of parameter changes on the structure and properties of low-density polyethylene foam. *J. Vinyl. Addit. Techn.* 15: 2. 120-128.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (3), 2014
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Effect of Nanoclay and Foaming Agent Contents on Cell Structure and Mechanical Properties of Wheat Straw/HDPE Composites

***M. Farsi¹, S.I. Babaei², M. Madanipour³ and A. Farajpoor³**

¹Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Islamic Azad University, Sari Branch, Sari, Iran, ²M.Sc., Faculty of Wood and Paper Engineering, Islamic Azad University, Astara Branch, Astara, Iran, ³Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Islamic Azad University, Astara Branch, Astara, Iran

Received: 08/14/2013; Accepted: 10/18/2014

Abstract

In this study, the effect of foaming agent content (0, 2 and 4%) and the amount of nanoclay (0, 2 and 5%) on cell structure and mechanical properties of high density polyethylene (HDPE)/wheat straw nanocomposites foam was investigated. Also maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) was used as coupling agent on fixed level of 3%. Wheat straw flour, HDPE, nanoclay, foaming agent and MAPE compounded in the internal mixer (HAAKE) and then milled granules were manufactured fiber-plastic foam samples by injection molding method at 180 °C. Results show that with increasing foaming agent, average cell size and cell density increased and by adding nanoclay cell size decreased. Also by adding 4% foaming agent, foam density of HDPE/wheat straw composite decreased to 21.7%. The mechanical properties of HPDE/Wheat straw composite were reduced by adding the foaming agent, but tensile strength was improved by adding 2% of nanoclay and impact strength decreased. Further evidences of foaming agent and nanoclay effects on the properties of nanocomposite foams were observed by scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: Nanocomposites, Nanoclay, Foaming agent, Mechanical properties, Cell structure

* Corresponding Authors; Email: moh_farsi@iausari.ac.ir

