بررسی امکان اصلاح خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نانو چندسازه‌های چوب-پلاستیک با پرتو ریزموج

امیر امینی[۱]
محمد فارسی[۲*]
مجید کیایی[۳]
فاطمه معاشی ثانی[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

[۳] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

[۴] دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران

مسئول مکاتبات:
mfarsi2008@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثر تیمار حرارتی ریزموج بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از آرد چوب، نانو سیلیس و پلی‌اتیلن‌سنگین می‌باشد. بدین منظور نانوسیلس در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد مورداستفاده قرار گرفت. ابتدا مواد در اکسترودر دو مارپیچه با هم مخلوط و پس از آسیاب توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی به نمونه‌های چوب-پلاستیک تبدیل شدند. همچنین جهت اصلاح خصوصیات چندسازه‌ها از پرتو ریزموج استاندارد باقدرت ۹۰۰ وات استفاده شد. نمونه‌ها پس از اعمال پرتو ریزموج تحت آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش نانو سیلیس تا ۳ درصد، مدول و مقاومت خمشی افزایش و مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها کاهش یافت. نتایج کلی حاکی از اثر مثبت پرتو ریزموج در بهبود چسبندگی در منطقه بین فازی و افزایش مدول و مقاومت خمشی و کاهش جذب آب نمونه‌ها بود. همچنین مقاومت به ضربه نمونه‌ها با اعمال تیمار ریزموج کاهش یافت. این نتایج توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز مورد تائید قرار گرفت.

واژگان کلیدی: نانو سیلیس، امواج ریزموج، جذب آب، مقاومت و مدول خمشی، تصویر میکروسکوپ الکترونی.

مقدمه

چندسازه چوب - پلاستیک[1](WPC) از پلاستیک‌های بازیافتی و ضایعات چوبی ساخته می‌شود. پیش‌بینی‌ها برای گردش مالی این بازار در کل جهان تا سال ۲۰۲۶ میلادی ۱۳/۴۷ میلیارد دلار است که به‌تنهایی سهم بسیار بزرگی از صنایع پلاستیک را تشکیل خواهد داد؛ در آسیا نیز چین به‌تنهایی ۶۱/۸ درصد از بازار این محصول را در دست دارد [۱]. مزیت عمده چندسازه چوب-پلاستیک، تجدید پذیری، دوستدار محیط‌زیست، هزینه پائین، سبکی و خصوصیات مطلوب مکانیکی آن‌هاست [۲]. نانو چندسازه پلیمری گروه جدیدی از چندسازه‌ها هستند که دارای ذراتی با ابعاد نانومتر بوده و فرآورده حاصله حداقل حاوی ۱ الی ۵ درصد از این ترکیبات هستند. هرچند این فرآورده‌ها به‌تازگی وارد صنعت شده‌اند؛ اما دراین‌بین، چندسازه‌های پرشده با نانورس، نانو سیلیس و نانولوله کربنی رشد سریع‌تری از سایر فرآورده‌ها در این صنعت یافته‌اند و بسیاری از تحقیقات حاکی از اثر مثبت این نانو ذرات بر بهبود مقاومت مکانیکی چندسازه است؛ و این نکته استفاده از این پرکننده‌ها برای بهبود خصوصیات چندسازه‌ها را جذاب‌تر می‌کند [۳-۴]. در بین چندسازه‌های پلیمری نانو سیلیس یکی از پرمصرف‌ترین پرکننده‌هاست. نانو سیلیس می‌تواند خواص مکانیکی و حرارتی را در چندسازه‌ها افزایش دهد [۵]. نانو سیلیس تخلخل و سطح تماس زیادی دارد و می‌تواند به‌طور گسترده‌ای در مواردی مانند پرکننده‌ها، مواد دارویی، کاتالیزورها، کروماتوگرافی و ... استفاده شود. این نانو پرکننده‌ها

[1] Wood Plastic Composite

توانایی بهبود مقاومت‌ها، به‌خصوص مقاومت به ضربه و کشش را دارا هستند. همچنین سیلیس ازنظر شیمیایی ماده‌ای بی‌اثر و مقاوم‌به‌گرما بوده و سازگاربامحیط‌زیست نیز است [۵]. در پژوهش‌های انجام‌شده، بهبود قابل‌توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرهای ترموست و ترموپلاستیک پرشده با سیلیکات لایه‌ای در مقدار پایین پرکننده گزارش شده است. به‌عنوان مثال Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های پرشده با ۰ تا ۳ درصد نانو سیلیس پرداختند. نتایج حاکی از افزایش مقاومت و مدول خمشی با اضافه شدن نانو سیلیس بود[۶]. Lin و همکاران (۲۰۰۶) از نانو سیلیس به مقدار ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد در زمینه رزین اوره فرمالدئید استفاده نمودند. همچنین جهت سازگاری رزین و نانو ذرات از جفت کننده نانو سیلیسی استفاده شد. نتایج حاکی از این بود که با افزایش نانو سیلیس زیر ۱/۵ درصد، مقدار فرمالدئید آزاد کاهش، ویسکوزیته و مقاومت خمشی نمونه‌ها افزایش یافت[۷]. Farsi (۲۰۱۷) اثر مقدار نانو سیلیس و آرد پوست چوب بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب-پلاستیک را بررسی نمودند. نسبت وزنی آرد چوب به آرد پوست به ترتیب (۵۰ به ۰)، (۳۰ به ۲۰)، (۱۰ به ۴۰) و (۰ به ۵۰) بود. همچنین از ۰، ۱، ۲ و ۴ درصد نانو سیلیس نیز درزمینهٔ پلی‌اتیلن سنگین استفاده شد. جهت بهبود سازگاری بین الیاف چوبی و پلیمر زمینه از جفت کننده مالئیکی در تمامی فرمولاسیون‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش آرد پوست چوب میزان خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کاهش داشت؛ اما با افزایش نانو سیلیس میزان مقاومت مکانیکی افزایش یافت. افزایش نانو سیلیس بر روی مقاومت به ضربه نمونه‌ها اثر غیرقابل‌پیش‌بینی داشت[۸]. ویژگی‌های مهم مربوط به کاربرد سیلیس در نانو چندسازه پلیمری، استحکام و سفتی بالای آنها، پیوندهای شیمیایی قوی، ضریب ظاهری بالا، فراوانی در طبیعت، قیمت پایین و قابلیت جذب بسیار قوی آن‌هاست [۹-۱۰]. در روش‌های معمول حرارت دهی، گرما اساساً از طریق هدایت، همرفت و تشعشع جریان پیدا می‌کند. بدین ترتیب، خواص ذاتی مواد و سرعت گرمایش، بر تغییر دما در ماده تأثیر می‌گذارد. سوختن فیبر، توزیع غیریکنواخت دما، آسیب‌دیدگی شیمیایی الیاف، زمان پخت طولانی‌تر، شیب حرارتی بیشتر، راندمان ضعیف، مصرف انرژی بالا، تولید زباله و تجهیزات پرهزینه برخی از معایب مربوط به تکنیک‌های حرارتی معمول مورداستفاده برای ساخت چندسازه پلیمری هستند [۱۱]. عمل‌آوری با تابش ریزموج پتانسیل زیادی برای بهبود روش‌های کنونی تولید و فرآوری چندسازه‌ها دارد. توانایی پرتوهای ریزموج در نفوذ و برهمکنش مستقیم با مواد سبب شده است تا از این امواج در صنایع غذایی و دارویی به وفور استفاده شود و اخیراً در تولید چندسازه‌ها در ابعاد آزمایشگاهی بکار گرفته‌شده است. گرمایش حاصل از پرتو ریزموج در چندسازه، ضمن کاهش گرادیان حرارتی و انتقال سریع حرارت در سرتاسر ضخامت مواد، زمان و بهره‌وری تولید را نیز بهبود می‌بخشد [۱۲]. گرمادهی با پرتو ریزموج به شکل حجمی است و تنها به سطوح محدود نمی‌شود؛ درنتیجه، مواد پلیمری گرمانرم می‌توانند با پرتو ریزموج سریع‌تر فرآوری شوند [۱۳]. فرآوری با امواج ریزموج در چندسازه، به روش انتقال گرمایی همرفتی، دارای چندین مزیت است که شامل گرمادهی سریع‌تر، افزایش بیشتر چسبندگی الیاف به ماده زمینه و کنترل‌پذیری بیشتر آنها است. گرمادهی با امواج ریزموج به‌شدت به مقدار خواص دی‌الکتریک ماده نیز بستگی دارد؛ هنگامی‌که یک میدان الکترومغناطیسی در حال نفوذ به یک ماده دی‌الکتریک، مانند چوب یا هر الیاف طبیعی است، انرژی به دلیل قطبیت به‌تدریج توسط ماده جذب می‌شود. بنابراین قدرت میدان الکترومغناطیسی در سطح به‌طور تصاعدی در طی نفوذ کاهش‌یافته و توسط ماده جذب می‌شود [۱۴]. بنابراین انرژی پرتو ریزموج به‌طور مستقیم به داخل لایه‌مرزی بسیار نازک مواد زمینه‌ای پلیمری، منتقل می‌شود [۱۵]. البته تحقیقات کمی در خصوص اثر امواج ریزموج بر نانو مواد وجود دارد. تحقیقات اخیر نیز حاکی از این است که اکثر نانو مواد دارای ضریب دی‌الکتریک بالایی هستند لذا می‌توانند مانند تسهیل‌کننده جذب امواج الکترومغناطیس در مواد عمل کرده و موجب انتقال گرما به مواد می‌شوند. به‌عنوان مثال دما روی سطح نانولوله کربنی می‌تواند در طول فرآیند ریزموج به ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد. این ویژگی استثنایی نانولوله‌های کربنی آنها را قادر می‌سازد در جوشکاری ترموپلاستیک‌ها و همچنین هدف قرار دادن تومورهای سرطانی مورداستفاده قرار گیرند[۱۶]. Zhang و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به بررسی اثر امواج ریزموج بر خواص خمشی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی/چوب - پلاستیک با روش جوش لیزری انتخابی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که امواج ریزموج برای کمتر از ۶۰ ثانیه می‌تواند مقاومت خمش را بهبود بخشد. آنها دلیل این امر را اثر نانولوله کربنی تحت تابش ریزموج دانسته که می‌تواند گرمای شدید را آزاد کند و آن را به زمینه پلیمری منتقل کند[۱۷]. یکی از کاربردهای دیگر پرتو ریزموج اصلاح خصوصیات چندسازه پس از فرآیند تولید آن می‌باشد. برخی از تحقیقات در سال‌های اخیر به این موضوع پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال از پرتو ریزموج جهت اصلاح الیاف کربن غوطه‌ورشده در آب استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که پس از اعمال پرتو ریزموج، زبری سطح الیاف کربن

زیاد شده و تعداد زیادی از گروه‌های حاوی اکسیژن بر روی الیاف کربن نشستند. همچنین تعدادی برجستگی نانو نیز در سطح فیبر کربنی تشکیل شد. اگرچه مقاومت کششی الیاف کربن پس از اعمال امواج ریزموج کمی کمتر شده بود؛ اما مقاومت برشی الیاف کربن در چندسازه حاصل از رزین اپوکسی، به میزان قابل‌توجهی افزایش یافت [۱۸]. Chavoshi و همکاران (۱۳۹۱) نیز پس از تولید چندسازه آرد MDF[1]– پلی‌پروپیلن از پرتو ریزموج جهت بررسی بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی استفاده نمودند. نتایج نشان داد خواص مکانیکی نمونه‌های عمل آوری شده با تابش ریزموج نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری‌نشده بهتر بود. همچنین، ذرات آردMDF به‌طور بهینه‌تر با فاز زمینه پلیمری ترکیب‌شده و عمل در برگرفتن ذرات به‌وسیله پلیمر بهتر انجام‌شده است [۱۹]. Zlobina و همکاران (۲۰۱۸) از اصلاح تقویتی پرتو ریزموج جهت بهبود خصوصیات چندسازه الیاف کربن و شیشه برای کاربردهای هوانوردی استفاده نمودند و مقاومت‌ها را با نمونه شاهد مقایسه نمودند. اثر پرتو ریزموج بر روی چندسازه شکل‌گرفته در یک سطح توان مشخص برای هر ماده، باعث افزایش مقاومت خمشی شد. درعین‌حال، پرتو ریزموج تغییرات قابل‌توجهی در ریزساختار چندسازه ایجاد کرد. آنها متوجه شدند که با انجام تیمار ریزموج همگنی و چگالی چندسازه نیز افزایش می‌یابد [۲۰]. امروزه یکی از کاربردهای مهم امواج ریزموج در حوزه چندسازه‌ها استفاده از این امواج پس از ساخت چندسازه جهت بهبود نواقص احتمالی در طی فرآیند تولید است. لذا هدف پژوهش حاضر جهت بررسی روند بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و ریخت‌شناسی چندسازه‌های تیمار شده با پرتو ریزموج و اثر نانو سیلیس بر خصوصیات چندسازه می‌باشد؛ لذا از آرد چوب، پلی‌اتیلن‌سنگین و نانو سیلیس (۰، ۱، ۲ و۳ درصد) جهت ساخت چندسازه چوب-پلاستیک استفاده شد. سپس پیش از انجام آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی، نمونه‌ها در معرض پرتو ریزموج با قدرت ۹۰۰ وات به مدت ۷ دقیقه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

مواد

پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)[2]گرید ۵۲۱۸ با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم در۱۰ دقیقه و نقطه ذوب۱۹۰درجه سانتی‌گراد از شرکت پتروشیمی تبریز خریداری و به‌عنوان ماده زمینه انتخاب شد. از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن (MAPE)[3] محصول شرکت Merck آلمان به‌عنوان جفت کننده با شاخص جریان مذاب ۰/۴ در ۱۰ دقیقه و میزان مالئیک انیدرید ۰/۸درصد استفاده گردید. چوب راش موردنیاز این تحقیق از کارخانه تخته فشرده شمال واقع در شهر ساری تهیه و توسط آسیاب آزمایشگاهی چرخشی پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران خرد و پس از عبور از الک با مش ۶۰ و باقیمانده بر روی مش ۸۰، به‌عنوان پرکننده فیبری مورداستفاده قرار گرفت. ضریب ظاهری آرد راش حدود ۳/۲ می‌باشد علت انتخاب چوب راش میزان بالای ضریب دی‌الکتریک آن نسبت به سایر چوب-های مشابه است که می‌تواند در جذب پرتو ریزموج مؤثر باشد [۲۱]. نانو سیلیس محصول شرکت Evonik Degussa، آلمان، به‌عنوان پرکننده غیر فیبری برای این کار استفاده شد. مشخصات نانو سیلیس در جدول ۲ آمده است. طول نانو سیلیس حدود ۲/۵ میکرومتر و قطر آن حدود ۱۲ نانومتر است لذا نسبت طول به قطر (ضریب ظاهری) نانو سیلیس حدود ۲۰۸ خواهد بود. مواد لیگنوسلولزی قبل از استفاده در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. میزان رطوبت مواد لیگنوسلولزی کمتر از ۱ درصد وزنی بود.

[1] Medium Density Fiberboard

[2] High Density Polyethylene

[3] Maleic Anhydried grafted Polyethylene

جدول ۲-مشخصات نانو سیلیس

دانسیته (g/cm^3)	سطح ویژه (m^2/g)	ضریب ظاهری	خلوص (٪)	اسیدیته	دمای ذوب (°C)	رطوبت (٪)
۲/۲	۲۰۰	۲۰۸	۹۹/۸	۳/۷-۴/۵	۱۷۰۰	>۱

تهیه چندسازه

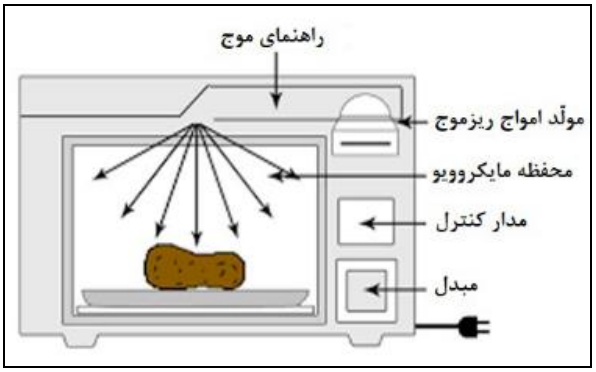
فرمول چندسازه‌های تهیه‌شده در جدول ۱ آمده است. مقدار نانو سیلیس به ترتیب ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد و آرد چوب به مقدار ثابت ۵۰ درصد برای همه نمونه‌ها انتخاب شد. همچنین در تمامی نمونه‌ها از جفت کننده MAPP به مقدار ثابت ۳ درصد استفاده گردید. عملیات اختلاط مواد در دستگاه اکسترودر دو مارپیچه ناهمسوگرد (دکتر کولین، آلمان) با ۶ منطقه گرمایی به ترتیب۱۵۰، ۱۵۵، ۱۵۵، ۱۵۵، ۱۵۰ و ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد و با سرعت۶۰ دور در دقیقه و فشار ۱۵۰۰ مگا پاسکال در منطقه خروجی اکسترودر (دای)، انجام شد. پس از اختلاط مواد، آمیزه تولیدشده توسط خردکن نیمه‌صنعتی WIESER WGL مدلS200/200 ساخت کشور آمریکا آسیاب و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی ساخت شرکت ایمن ماشین انتقال یافت. نمونه‌های آزمونی با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت بارگیری ۴۵ rpm، فشار تزریق ۸۰bar، زمان خنک شدن ۷۵ ثانیه، فشار بارگیری ۲۰۰۰ بار و از هر تیمار ۵ نمونه ساخته شد. درنهایت نمونه‌ها جهت کلیماتیزه‌شدن، طبق استاندارد ASTM D618-99 حداقل به مدت ۴۰ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد قرار گرفتند.

جدول ۱-ترکیب فرمول نمونه‌های مورد ارزیابی

شماره	فرمول چندسازه	میزان HDPE (٪)	میزان آرد چوب (٪)	میزان نانو سیلیس (٪)	میزان جفت کننده (٪)
۱	47HDPE/50WF/0NS/3M	۴۷	۵۰	۰	۳
۲	46HDPE/50WF/1NS/3M	۴۶	۵۰	۱	۳
۳	45HDPE/50WF/2NS/3M	۴۵	۵۰	۲	۳
۴	44HDPE/50WF/3NS/3M	۴۴	۵۰	۳	۳
۵	47HDPE/50WF/0NS/3M*	۴۷	۵۰	۰	۳
۶	46HDPE/50WF/1NS/3M*	۴۶	۵۰	۱	۳
۷	45HDPE/50WF/2NS/3M*	۴۵	۵۰	۲	۳
۸	44HDPE/50WF/3NS/3M*	۴۴	۵۰	۳	۳

*** تیمار شده با پرتو ریزموج**

پس از تولید چندسازه‌ها و به جهت فرآوری مجدد نمونه‌ها از دستگاه مایکروویو مدل NN-CD997S شرکت پاناسونیک با توان ۹۰۰ وات و فرکانس ۶۰ هرتز استفاده شد (شکل ۱). ابعاد داخلی دستگاه مایکروویو، ۴۷۰ میلی‌متر عرض و ۴۷۰ میلی‌متر عمق با ارتفاع ۲۷۸ میلی‌متر بود. باهدف یافتن بهترین زمان تابش پرتو ریزموج و بر اساس مطالعات انجام‌شده قبلی، ابتدا تعدادی نمونه آزمایشی به مدت ۵، ۷ و ۱۰ دقیقه در معرض تابش پرتو ریزموج قرار گرفتند. پس‌ازآن، بر اساس مطالعات چاووشی و همکاران [۱۹] و به‌صورت آزمون‌وخطا، تغییر رنگ از قهوه‌ای به سمت قهوه‌ای سوخته و مشاهده سوختگی سطحی و تغییر حالت و شکل نمونه‌ها بررسی و بر این اساس تابش ۷ دقیقه‌ای پرتو ریزموج به‌عنوان زمان تابش بهینه انتخاب شد.



شکل ۱-تصویر دستگاه مایکروویو و اجزای تشکیل‌دهنده آن

اندازه‌گیری جذب آب و واکشیدگی ضخامت کوتاه‌مدت

جذب آب و واکشیدگی ضخامت کوتاه‌مدت نمونه‌های آزمونی مطابق آیین‌نامه ASTM D۷۰۳۱-۰۴ اندازه‌گیری شد. تعداد و ابعاد نمونه‌های آزمونی به ترتیب از هر اختلاط پنج نمونه به ابعاد ۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر می‌باشد.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه‌نقطه‌ای با طول دهانه ۱۱ cm و سرعت بارگذاری ۵ mm/min مطابق با آیین‌نامه ASTM D۶۰-۹۰ برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. تعداد نمونه خمشی ۳عدد و ابعاد آن ۲ mm×۲۵×۱۵۰ بود. برای این آزمون از دستگاه Instron 1186 استفاده گردید. آزمون ضربه بدون فاق مطابق با آیین‌نامه ASTM D۲۵۶ انجام شد. از دستگاه Zwick 5102 برای آزمون ضربه استفاده گردید. تعداد نمونه ضربه ۵ عدد و ابعاد آن ۲ mm×۲۵× ۶۰ بود.

ریخت‌شناسی نانو چندسازه‌ها

برای بررسی ریخت‌شناسی نانو چندسازه‌ها از میکروسکوپ الکترونی پویشی[1] مدل SEM, LEO Oxford-440ساخت کشور انگلستان مستقر در دانشکده مهندسی مواد و متالوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات بهره‌گیری شد. نمونه‌ها با نیتروژن مایع منجمد شده و سپس شکسته شدند. سطوح شکسته با لایه‌نازکی از طلا در دستگاه پوشاننده یونی، پوشانده شد. سپس ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی با بهره‌گیری از ولتاژ ۲۶ کیلوولت تهیه شدند.

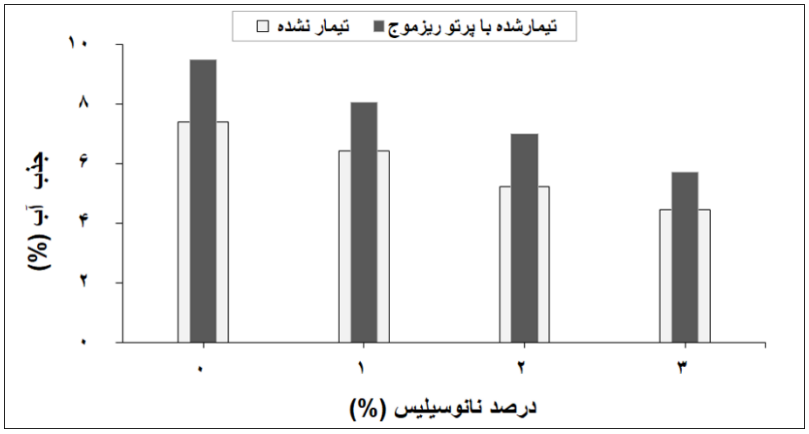
نتایج و بحث

خصوصیات جذب آب و واکشیدگی ضخامت

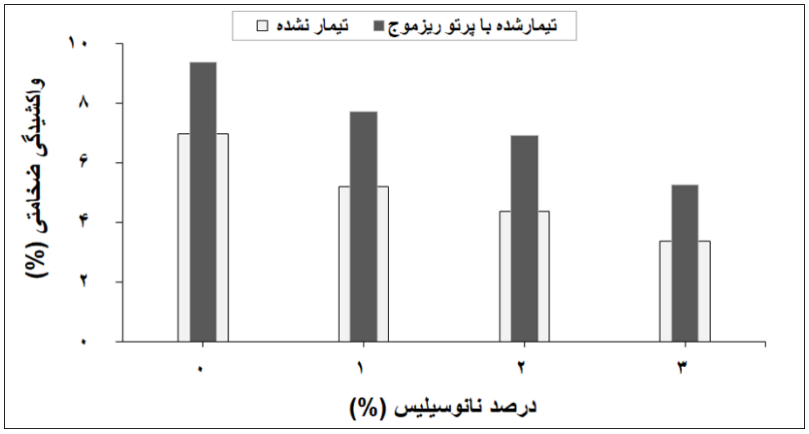
شکل ۲ و ۳ به ترتیب جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۴۸ ساعته نانو چندسازه حاصل از آرد چوب، نانو سیلیس و پلی‌اتیلن سنگین را در دو حالت تیمار نشده و تیمار شده با امواج ریزموج نشان می‌دهد. چون مقدار الیاف چوبی در تمامی ترکیب‌ها ثابت (۵۰ درصد) بود مقادیر متفاوت جذب آب و واکشیدگی ضخامت به نقش نانو سیلیس و کاربرد پرتو ریزموج مربوط می‌شود. می‌توان مشاهده نمود نانو چندسازه بدون نانو سیلیس نسبت به نمونه حاوی نانو سیلیس بیشترین جذب آب و واکشیدگی ضخامت را دارند.

دلیل این امر این است که ذرات نانو سیلیس باعث تشکیل پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب می‌شود (شکل ۴) و در این حالت گروهای هیدروکسیل در دسترس مولکول‌های آب، جهت تشکیل پیوندهای هیدروژنی کاهش می‌یابد. به‌بیان‌دیگر نوعی رقابت بین گروهای هیدروکسیل آرد چوب و گروه‌های هیدروکسیل نانو سیلیس برای تشکیل پیوند هیدروژنی برقرار است. بنابراین پیوند بین آرد چوب و نانو سیلیس از شانس مولکول‌های آب در این رقابت می‌کاهند. ازنظر شیمیایی و بر طبق رابطه (۱)، ذرات نانو سیلیس دارای گروه‌های شیمیایی هیدروکسیل، هیدروژن متصل به گروه‌های هیدرو کسی و گروه‌های سیلوکسان است. دو ترکیب اول آبدوست و سومی آبگریز است. بنابراین باید انتظار داشت که نانو سیلیس دارای خاصیت قطبی و آبدوست باشد. اگرچه نانو سیلیس دارای خاصیت جذب رطوبت می‌باشد؛ اما در صورت تشکیل پیوند هیدروژنی بین نانو سیلیس و آرد چوب، گروه‌های هیدروکسیل هر دو ماده عملاً از دسترس خارج می‌شوند؛ لذا جذب آب چندسازه کاهش می‌یابد [۵].

[1] Scanning Electron Microscope (SEM)



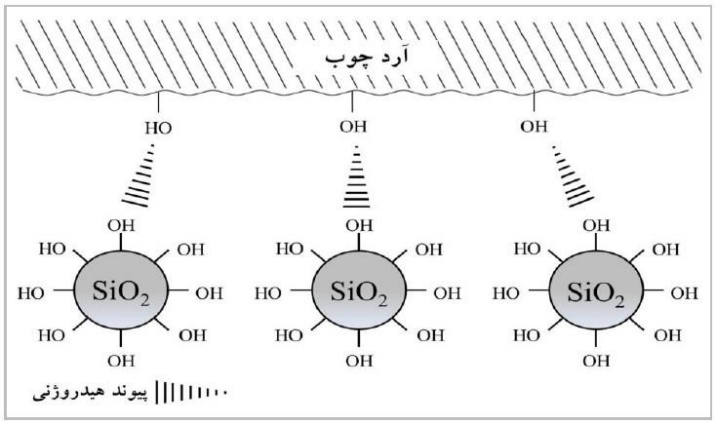
شکل ۲- اثر نانو سیلیس و تیمار ریزموج بر جذب آب نانو چندسازه چوب-پلاستیک



شکل ۳-اثر نانو سیلیس و تیمار ریزموج بر واکشیدگی ضخامت نانو چندسازه چوب-پلاستیک

(۱)

$$Si(OC_2H_5)_4 + H_2O \rightarrow Si(OC_2H_5)_3OH + C_2H_5OH \rightarrow \equiv Si - O - Si \equiv + H_2O \equiv Si - O - H + H - O - Si \equiv \rightarrow$$
$$Si - O - Si \equiv + C_2H_5OH \equiv Si - OC_2H_5 + H - O - Si \equiv$$



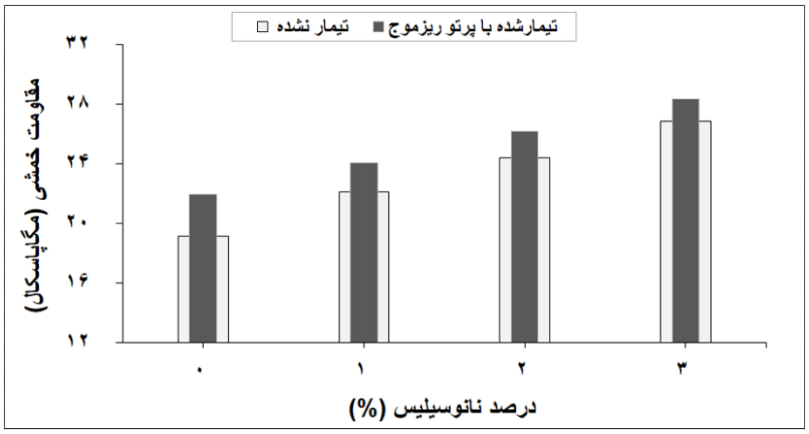
شکل ۴- شیوه پیوند گروه‌های آب‌دوست نانو سیلیس با گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب [۵]

ازنظر Espert و همکاران [۲۲] جذب آب در چندسازه‌های الیاف - پلاستیک از طریق جذب رطوبت توسط دیواره سلولی ماده لیگنوسلولزی و یا جذب آب به‌وسیله فرآیند مویینگی از طریق فواصل و شکاف‌های موجود در حدفاصل بین پلاستیک و الیاف چوب و خلل و فرج موجود درزمینهٔ پلیمری انجام می-شود؛ که اولین مورد به دلیل خصوصیات ذاتی الیاف سلولزی و

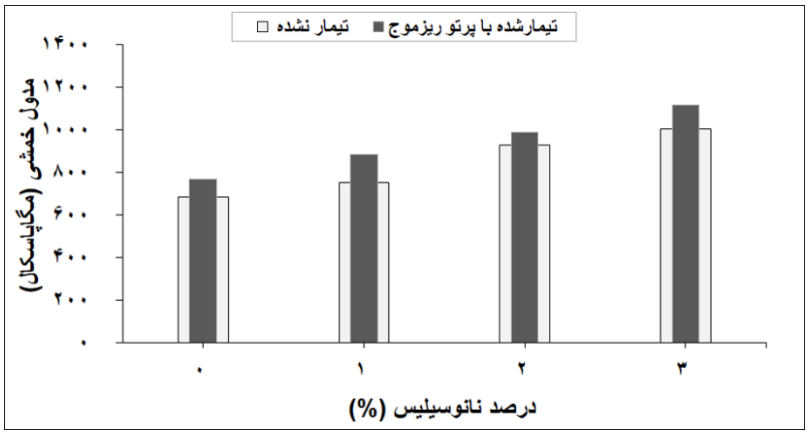
دومی به دلیل تعامل ضعیف بین الیاف چوب و پلاستیک و نقص‌های احتمالی به وجود آمده در طی فرآیند تولید آن است. در بین نمونه‌های تیمار نشده با پرتو ریزموج، کمترین میزان واکشیدگی ضخامت مربوط به نمونه‌های حاوی ۳ درصد نانو سیلیس می‌باشد که علت آن ابعاد بسیار کوچک نانو سیلیس بوده که با نسبت طول به قطر بالا می‌توانند فضای خالی موجود در ماده زمینه را پرکرده و تعداد زیادی از لوله‌های مویین را مسدود کنند [۲۳]. لذا حضور ترکیبات نانو در داخل این فضاهای خالی و رقابت با آب جهت تشکیل پیوندهای هیدروژنی جذب آب چندسازه را کاهش می‌دهد. این نتایج با تحقیقات Ismaeilimoghadm و همکاران (۲۰۱۶) وHosseini و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد[۲۳ و ۲۶]. همچنین شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهند که با انجام عمل تیمار ریزموج جذب آب و واکشیدگی ضخامت بیشتر کاهش می‌یابد، در اثر پرتو ریزموج ماده پلیمری ترموپلاستیک، مجدداً نرم شده و الیاف سلولزی را بهتر محصور و کپسوله می‌کند [۱۹] و میزان خلل و فرج ماده زمینه و حفرات لوله‌های مویین الیاف سلولزی که نقاط نفوذ آب هستند، بسته می‌شود. در شکل ۲ نیز می‌توان مشاهده نمود که چندسازه تیمارشده با امواج ریزموج و حاوی ۳ درصد نانو سیلیس با جذب آب حدود ۴ درصد در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده و بدون نانو سیلیس ۶۶ درصد کاهش جذب آب را نشان می‌دهد.

مقاومت و مدول خمشی

متوسط مقادیر مقاومت و مدول خمشی نانو چندسازه‌های چوب - پلاستیک حاوی مقادیر مختلف نانو سیلیس در دو حالت تیمار نشده و تیمارشده با پرتو ریزموج به ترتیب در شکل ۵ و ۶ ارائه‌شده است. شکل ۵ نشان می‌دهد که اضافه شدن نانو سیلیس موجب افزایش مدول خمشی می‌گردد.



شکل ۵- اثر نانو سیلیس و تیمار ریزموج بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب-پلاستیک



شکل ۶- اثر نانو سیلیس و تیمار ریزموج بر مدول خمشی نانو چندسازه چوب-پلاستیک

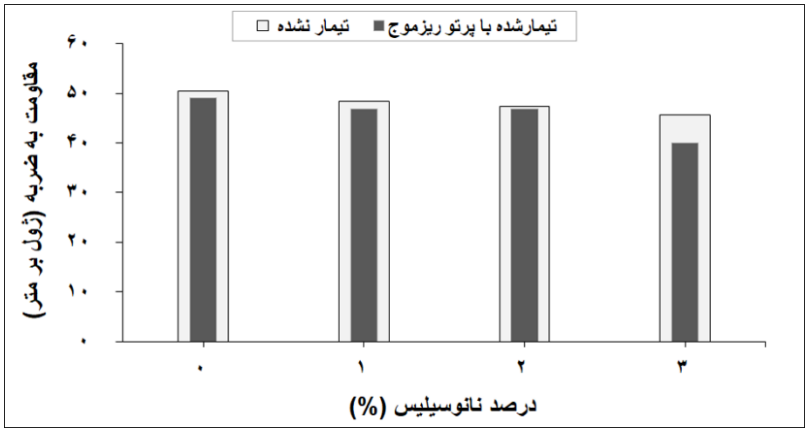
به‌گونه‌ای که در شکل ۵ دیده می‌شود بیشترین مدول خمشی در نانو چندسازه‌های تیمارشده با پرتو ریزموج و حاوی ۳ درصد نانو سیلیس به مقدار ۱۱۱۶/۸۶ مگا پاسکال می‌باشد. در حالی که کمترین مدول خمشی به نمونه‌های تیمار نشده و بدون نانو سیلیس (نمونه شاهد) به مقدار ۷۶۹/۸۴ مگا پاسکال تعلق دارد. مدول الاستیسیته چندسازه به فاکتورهای زیادی مانند میزان الیاف مورداستفاده، جهت‌یابی الیاف، اتصال الیاف و ماده زمینه پلیمری در منطقه بین فازی، مدول الاستیسیته اجزای تشکیل‌دهنده و دانسیته آن بستگی دارد [۶]. طبق اطلاعات مندرج در بسته نانو سیلیس، مدول الاستیسیته نانو سیلیس بین ۶۶/۳ تا ۷۴/۸ گیگاپاسکال گزارش شده است. بنابراین جایگزینی الیاف چوب با مدول الاستیسیته حدود ۵ تا ۸ گیگاپاسکال، با نانو سیلیس می‌تواند تأثیر مهم و محسوسی روی مدول خمشی نانو چندسازه داشته باشد و از طرفی نسبت طول به قطر (L/d) بالای نانو سیلیس مورداستفاده در این تحقیق و سطح ویژه فوق‌العاده زیاد، سهم بسیار مهم و چشمگیری در افزایش مدول خمشی چندسازه چوب-پلاستیک دارد. این نتایج با تحقیقات Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد[۶]. همچنین با به‌کارگیری پرتو ریزموج نسبت به نمونه شاهد، مدول خمشی از ۶۸۵/۷۲ مگاپاسگال به ۱۱۱۶/۸۶ مگا پاسکال افزایش‌یافته است. این نتایج با تحقیقات Zlobina و همکاران (۲۰۱۸) همسو می‌باشد[۲۰]. دلیل دیگر، بهبود اتصال بین الیاف و ماده زمینه بخصوص در چندسازه‌های تقویت‌شده با الیاف چوبی؛ توسعه پخت ماده زمینه در طی فرآوری مجدد با پرتو ریزموج می‌باشد که از سطح الیاف به حجم داخلی چندسازه انتقال می‌یابد [۲۱]. در فرآیند پخت توسط پرتو ریزموج، الیاف چوب و نانو سیلیس به دلیل ثابت دی‌الکتریک بالا [۱۶ و ۲۱]. مقدار زیادی از قدرت مایکروویو را به‌صورت گرما جذب کنند و گرما از سطح خارجی الیاف به حجم ماده زمینه پلیمری منتقل شود. این موضوع منجر به تشکیل منطقه بین فازی بدون تنش در اطراف الیاف می‌شود [۲۴-۲۵]. مدول خمشی نانو چندسازه‌های فرآوری شده با پرتو ریزموج در حالت ۱، ۲ و ۳ درصد نانو سیلیس به ترتیب ۲۹/۳، ۴۴ و۶۲/۸۷ درصد بیشتر از نمونه شاهد است (شکل ۶). نمونه‌های تیمارشده حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد نانو سیلیس به ترتیب دارای مدول خمشی ۱۷/۶۵، ۶/۱۴ و ۱۰/۹۳ درصد بیشتر از نمونه‌های تیمار نشده می‌باشند. در ارتباط با اثر ترکیبات نانو بر عملکرد امواج ریزموج نتایج تحقیقات Chavooshi و همکاران[۱۹] نشان داد که این امواج به همراه نانورس موجب بهبود خصوصیات مکانیکی می‌شوند. از طرف دیگر مواد نانو جاذب عالی امواج ریزموج بوده و به دلیل ثابت دی‌الکتریک بالا، امکان جذب الکترومغناطیس را داشته و انرژی خالص را در مواد به‌صورت گرما پراکنده می‌کنند [۱۶]. نتایج این تحقیق توسط Zhang و همکاران (۲۰۲۰) تائید می‌شود [۱۷]. در همین راستا اثر مثبت نانو سیلیس و عمل‌آوری توسط پرتو ریزموج بر مقاومت خمشی در شکل ۵ نشان داده‌شده است. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود با اضافه شدن نانو سیلیس تا سطح ۳ درصد مقاومت خمشی ۴۰/۴ درصد بهبودیافته است. به‌گونه‌ای که مقاومت خمشی از ۱۹/۱۳ مگا پاسکال در نمونه‌های شاهد به ۲۶/۸۶ مگا پاسکال در نانو چندسازه‌های حاوی ۳ درصد نانو سیلیس افزایش می‌یابد. با به‌کارگیری تیمار ریزموج، چندسازه‌های حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد نانو سیلیس نسبت به نمونه‌های متناظر شاهد و تیمار نشده، به ترتیب ۹/۳۸، ۱۹و ۲۹/۱ درصد بهبود در مقاومت خمشی را نشان می‌دهند. مقاومت خمشی چندسازه‌ها به پیوند بین اجزای آن بستگی دارد. افزایش مقاومت خمشی با اعمال تیمار ریزموج به دلیل کاهش ویسکوزیته پلیمر و خیس شدن بهتر الیاف می‌باشد؛ درنتیجه چسبندگی و مقاومت در منطقه بین فازی مابین الیاف و ماده زمینه پلیمری بهبود می‌یابد [۱۹]. این نتایج با تحقیقات Chavooshi و همکاران (۲۰۱۲) در یک راستا می‌باشد[۱۹]. نانو سیلیس نیز به علت داشتن ابعاد بسیار کوچک و همچنین مقاومت مکانیکی و نسبت طول به قطر بالا می‌تواند در چندسازه چسبندگی محکمی در منطقه بین فازی با اجزای چندسازه ایجاد نمایند. نتایج این تحقیق با پژوهش‌های Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۱) وFarsi (۲۰۱۶) همخوانی دارد[۶ و ۸]. به‌طورکلی نتایج آزمون خمش نشان داد که بیشترین میزان مدول و مقاومت خمشی به ترتیب با مقادیر ۱۱۱۶/۸۶ و ۲۵/۳۸ مگا پاسکال در چندسازه‌های حاوی ۳ درصد نانو سیلیس و تیمارشده با پرتو ریزموج دیده می‌شود.

مقاومت به ضربه

مقاومت به ضربه بدون فاق نانو چندسازه موردمطالعه در شکل ۷ نشان داده‌شده است. نتایج قابل‌مشاهده در شکل ۷ حاکی از آن است که به‌طورکلی چندسازه‌های تیمارشده با پرتو ریزموج دارای مقاومت به ضربه کمتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده می‌باشند اما این تفاوت چندان محسوس نیست. اثر مقدار نانو سیلیس بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه‌های تیمار نشده نشان می‌دهد که نمونه‌های بدون نانو سیلیس در مقایسه با نمونه‌های حاوی نانو سیلیس دارای مقاومت بیشتری هستند که احتمالاً به دلیل حضور ذرات نانو سیلیس و تشکیل نقاط جذب انرژی می‌باشد [۶ و ۸]. البته بسیاری از تحقیقات ازجملهFarsi (۲۰۱۶) و Hosseini و همکاران (۲۰۱۴) معتقدند

اضافه شدن نانو سیلیس منجر به نتایج متفاوت مثبت و منفی در چندسازه شده است و مقاومت به ضربه طبیعت غیر قابل پیش‌بینی دارد [۸ و ۲۶].

همچنین در نمونه‌های تیمار نشده با امواج ریزموج، مقاومت به ضربه چندسازه‌های حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد نانو سیلیس به ترتیب ۳/۹، ۶/۰۳ و ۹/۲ درصد کمتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. با انجام تیمار ریزموج و افزایش میزان نانو سیلیس از ۱ تا ۳ درصد، میزان مقاومت به ضربه بدون فاق چندسازه‌های موردمطالعه در مقایسه با نمونه‌های شاهد و تیمارشده با پرتو ریزموج به ترتیب ۴/۳، ۴/۳ و ۱۸/۵ درصد کاهش می‌یابد که با نتایج Chavooshi و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی ندارد [۱۹].

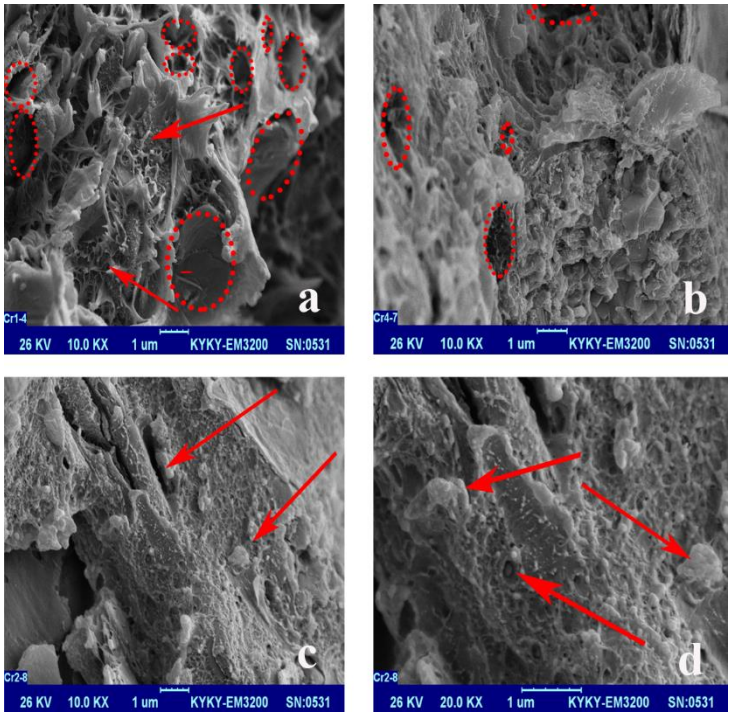


شکل ۷-اثر نانو سیلیس و تیمار ریزموج بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب-پلاستیک

مقاومت به ضربه بدون فاق نشان‌دهنده مقاومت ماده در برابر شکست و شروع ترک می‌باشد و ترک همیشه در ضعیف‌ترین نقطه چندسازه یعنی سطوح مشترک بین ماده لیگنوسلولوزی و پلیمر اتفاق می‌افتد. افزایش بیش‌ازحد نانو سیلیس نیز در چندسازه‌ها می‌تواند به‌عنوان نقاط جذب انرژی و توسعه ترک در این منطقه عمل کند[۸]. لذا با افزایش نانو سیلیس مقاومت به ضربه چندسازه کاهش می‌یابد. این نتایج توسط Hosseini و همکاران (۲۰۱۴) نیز مورد تائید قرارگرفته است[۲۶]. همچنین نتایج آزمون به ضربه نشان می‌دهد که چندسازه بدون نانو سیلیس و تیمار نشده با پرتو ریزموج بیشترین مقاومت به ضربه را دارد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی

تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی وسیله مناسبی جهت توجیه خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها هستند. همیشه بین خواص مواد مرکب و ساختار درونی آنها رابطه وجود دارد. شکل ۸-a مربوط به نمونه‌های حاوی ۳ درصد نانو سیلیس و بدون تیمار ریزموج می‌باشد که با بزرگنمایی ۱۰kx نشان داده‌شده است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود ماده زمینه در محل شکست ازهم‌گسیخته شده و در بین آن ذرات نانو سیلیس بارها مشاهده می‌گردد. در بعضی از نقاط نیز الیاف چوبی از ماده زمینه جدا شده و به‌جای آن منافذ خالی دیده می‌شود (فلش) که نشان از اتصال ضعیف بین الیاف و ماده زمینه پلیمری در این نقاط می‌باشد، همان‌گونه که در شکل‌های ۵ و ۶، مربوط به مقاومت و مدول خمشی نیز مشاهده شد؛ نمونه تیمار نشده نسبت به نمونه‌های تیمارشده دارای مقاومت-های پایین‌تری بوده و همچنین به همین دلیل جذب آب آنها نیز بیشتر است. شکل ۸-b چندسازه حاوی ۲ درصد نانو سیلیس و تیمارشده با پرتو ریزموج با بزرگنمایی ۱۰ kx را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، با انجام تیمار ریزموج، سطح نمونه یکنواخت‌تر شده و ماده زمینه به‌طور کامل الیاف را کپسوله کرده است؛ که حاکی از اثر مثبت تیمار ریزموج بر روی کاهش ویسکوزیته ماده زمینه پلیمری و در برگیری بهتر الیاف و به‌تبع آن بهبود مقاومت‌ها می‌باشد [۱۷]. همان‌گونه که در شکل ۸-b ملاحظه می‌شود تعداد حفرات موجود در سطح نیز کاهش‌یافته است که هم‌زمان با این مسئله جذب آب نمونه نیز کم‌تر شده است. این مسئله در شکل ۸-c با بزرگنمایی ۱۰ kx مشهودتر است، همان‌گونه که در این شکل نیز دیده می‌شود سطح الیاف با ماده زمینه پلیمری که در اثر اعمال تیمار ریزموج ذوب‌شده، پوشیده و حفرات از بین رفته است، همچنین افزایش میزان نانو سیلیس از ۲ به ۳ درصد در شکل ۸-d با بزرگنمایی ۲۰ kx حاکی از تجمع بیش‌ازحد نانو سیلیس روی سطح بوده که نقاط تمرکز تنش و توسعه ترک را تشکیل می‌دهد (فلش)؛ لذا موجب کاهش مقاومت به ضربه شده است.



شکل ۸: ریز نگارهای میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های شکسته شده نانو کامپوزیت چوب-پلاستیک: a) ۳ درصد نانو سیلیس؛ بدون تیمار ریزموج؛ بزرگنمایی X۱۰۰۰۰، b) ۲ درصد نانو سیلیس؛ با تیمار ریزموج؛ با بزرگنمایی X۱۰۰۰۰، c) ۳ درصد نانو سیلیس؛ با تیمار ریزموج؛ با بزرگنمایی X۱۰۰۰۰، d) ۳ درصد نانو سیلیس؛ با تیمار ریزموج با بزرگنمایی X۲۰۰۰۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر هم‌زمان به‌کارگیری تیمار ریزموج و مقادیر مختلف نانو سیلیس روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب -پلاستیک موردبررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده نتیجه‌گیری زیر حاصل شد.

۱- با افزایش نانو سیلیس تا سطح ۳ درصد، مقاومت و مدول خمشی نانو چندسازه‌ها بهبود چشمگیری یافت.

۲- مقاومت به ضربه بدون فاق نانو چندسازه‌ها با افزایش نانو سیلیس تا سطح ۳ درصد، کاهش یافت.

۳- استفاده از نانو سیلیس سبب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های چوب-پلاستیک شده و با افزایش میزان نانو سیلیس این کاهش بیشتر نیز می‌گردد.

۴- به‌کارگیری پرتو ریزموج در جهت فرآوری مجدد چندسازه‌های چوب-پلاستیک موجب افزایش مقاومت و مدول خمشی و کاهش مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت می‌شود.

۵- نتایج کلی حاکی از اثر مطلوب نانو سیلیس بر روی مواد مرکب می‌باشد. بر این اساس بیشترین میزان مقاومت و مدول الاستسیته و کمترین میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت مربوط به نانو چندسازه‌های حاوی ۳ درصد نانو سیلیس و تیمارشده با پرتو ریزموج می‌باشد. بیشترین مقاومت به ضربه نیز به چندسازه‌های بدون نانو سیلیس و تیمار نشده با امواج ریزموج تعلق دارد. تصاویر SEM نمونه‌ها نیز نتایج حاضر را تائید می‌کند.

منابع

[1] Haider, A. and Eder, A., 2010. Markets, applications, and processes for wood polymer composites (WPC) in Europe. Processing technologies for the forest and biobased product industries, 146-151.

[2] Eichhorn, S.J., Baillie, C.A., Zafeiropoulos, N., 2001. Current international research into cellulosic fibers and composites. Journal of Materials Science, 36(9): 2107-2131.

[3] Galgali, G., Agarwal, S. and Lele, A., 2004. Effect of clay orientation on the tensile modulus of polypropylene–nanoclay composites. Polymer, 45(17):6059-6069.

[4] Emampour, M., Khademieslam, H., Faezipour, M.M. and Talaeipoor, M., 2021. The investigation of surface properties of Populus nigra wood coated with silica nanoparticles. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12(1):133-143 (In Persian).

[5] Ismaeilimoghadm, S., Najafi, A., Shahraki, A. and Malekian, B., 2016. Long--term water absorption and thickness swelling and determination of their characteristics in wood flour//polypropylene//Nano SiiO2 nanocomposite. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(2):241-254.

[6] Nourbakhsh, A., Baghlani, F.F., and Ashori, A., 2011. Nano-SiO2 filled rice husk/polypropylene composites: Physico-mechanical properties. Industrial Crops and Products, 33(1):183-187.

[7] Lin, Q., Yang, G., Liu, J. and Rao, J., 2006. Property of nano-SiO2/urea formaldehyde resin. Frontiers of Forestry in China, 1(2):230-237.

[8] Farsi, M., 2017. Effect of nano-SiO2 and bark flour content on the physical and mechanical properties of wood–plastic composites. Journal of Polymers and the Environment, 25(2):308-14.

[9] Zou, H., Wu, S. and Shen, J., 2008. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications. Chemical reviews, 108(9):3893-3957.

[10] J. Shi, J., Li, J., Zhou, W. and Zhang, D., 2007. Improvement of wood properties by urea-formaldehyde resin and nano-SiO2. Frontiers of Forestry in China, 2(1):104-109.

[11] Naik, T.P., Singh, I. and Sharma, A.K., 2022. Processing of polymer matrix composites using microwave energy: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 156:106855-106870.

[12] Nuhiji, B., Bower, M.P., Swait, T., Phadnis, V., Day, R.J. and Scaife, R.J., 2021. Simulation of carbon fibre composites in an industrial microwave. Materials Today: Proceedings, 34:82-92.

[13] Sgriccia, N. and Hawley, M.C., 2007. Thermal, morphological, and electrical characterization of microwave processed natural fiber composites. Composites Science and Technology, 67(9):1986-1991.

[14] Farajallahpour, M., Layeghi, M., Dosthosseini, K. and Edalat, H., 2017. The effect of layer's moisture content and pre-heating by microwave radiation on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 8(1):39-51.

[15] Papargyris, D.A., Day, R.J., Nesbitt, A. and Bakavos, D., 2008. Comparison of the mechanical and physical properties of a carbon fibre epoxy composite manufactured by resin transfer moulding using conventional and microwave heating. Composites Science and Technology, 68(7-8):1854-1861.

[16] Kravchenko, O.G., Solouki Bonab, V. and Manas-Zloczower, I., 2019. Spray-Assisted Microwave Welding of Thermoplastics Using Carbon Nanostructures with Enabled Health Monitoring. Polymer Engineering & Science, 59(11):2247-2254.

[17] Zhang, Y., Cui, Y., Wang, S., Zhao, X., Wang, F. and Wu, G., 2020. Effect of microwave treatment on bending properties of carbon nanotube/wood plastic composites by selective laser sintering. Materials Letters, 267:127547-127551.

[18] Yuan, J.M., Fan, Z.F., Yang, Q.C., Li, W. and Wu, Z.J., 2018. Surface modification of carbon fibers by microwave etching for epoxy resin composite. Composites Science and Technology, 164:222-228.

[19] Chavooshi, A., Madhoushi, M., Saei, A.M. and Shakeri, A., 2012. Effect of Nanoclay and Microwave Thermal Treatment on Mechanical Properties of MDF Dust-PP Nanocomposite. Science and Technology, 25(4):323-331 (In Persian).

[20] Zlobina, I.V., Bekrenev, N.V., Teterin, D.P. and Slonov, V.N., 2018. Studying the reinforcing microwave modification of aeronautical-purpose structural components made of composite materials. In 1st international conference on mechanical and materials science engineering. 5–6 July Maharashtra, India, p 040108-040113.

[21] Sahin, H. and Ay, N., 2004. Dielectric properties of hardwood species at microwave frequencies. Journal of Wood Science, 50(4):375-80.

[22] Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson, S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. Composites Part A: Applied science and manufacturing, 35(11):1267-1276.

[23] Ismaeilimoghadam, S., Shamsian, M., Kashkoli, A.B. and Kord, B., 2015. Effect of chemical modification of wood flour on properties of polypropylene-nano SiO2 hybrid nanocomposite. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30(4):674-689 (In Persian).

[24] Agrawal, R.K. and Drzal, L.T., 1989. Effects of microwave processing on fiber-matrix adhesion in composites. The Journal of Adhesion, 29(1-4):63-79.

[25] Hook, K.J., Agrawal, R.K. and Drzal, L.T., 1990. Effects of microwave processing on fiber-matrix adhesion. II. Enhanced chemical bonding of epoxy to carbon fibers. The Journal of Adhesion, 32(2-3):157-170.

[26] Hosseini, S.B., Hedjazi, S., Jamalirad, L. and Sukhtesaraie, A., 2014. Effect of nano-SiO2 on physical and mechanical properties of fiber reinforced composites (FRCs). Journal of the Indian Academy of Wood Science, 11(2):116-21.

Investigation on the Possibility of Modification of Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Nanocomposites by Microwave Radiation

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of microwave heat treatment on the physical and mechanical properties of composites made of wood flour, nano silica, and HDPE. For this purpose, nano silica was used in four levels of 0, 1, 2, and 3%. First, the materials were mixed together in a twin-screw extruder and then ground into wood-plastic samples by the injection molding machine. Also, to modify the properties of the composites, standard microwave radiation with a power of 900 watts was used. The samples were subjected to physical and mechanical tests after applying microwave radiation. The results showed that with increasing nanosilica up to 3wt%, the flexural modulus and strength increased whereas the impact strength, water absorption, and swelling thickness of the samples decreased. The overall results showed the positive effects of microwave radiation on improving interfacial adhesion, flexural modulus and strength and water absorption of the samples; however, the impact strength of the samples was reduced due to the given treatment. These results were also confirmed by scanning electron microscopy.

Keywords: Nanosilica, Microwave radiation, Water absorption, Modulus and flexural bending, electron microscope images.

A. Amin[1]
M. Farsi[2*]
M. Kiaei[3]
F. H Maashi Sani[4]

[1] M.Sc. Graduated Student in Wood and Paper Science, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

[2] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

[3] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

[4] Ph.D. Graduated Student of Industrial Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran

Corresponding author:
moh_farsi@iausari.ac.ir

Received: 2022/06/18
Accepted: 2022/08/22