بررسی تاثیر ذرات نانوگرافن بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین – آرد ساقه کلزا

زهرا یاری فیروزآبادی[۱*]
وحید وزیری[۲]
بهزاد کرد[۳]
لعیا جمالی راد[۴]

[۱] کارشناسی ارشد فرآورده‌های چند سازه چوبی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

[۲] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

[۳] استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، گروه پژوهشی سلولزی و بسته بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

[۴] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

مسئول مکاتبات:
Zahra.yar.1990sss@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

چکیده

در این پژوهش، اثر مقدار ذرات نانوگرافن بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن سنگین و آرد ساقه کلزا مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، آرد ساقه کلزا و پلی اتیلن سنگین با نسبت وزنی ۵۰ درصد، به همراه ماده سازگارکننده (۳phc) و نانوگرافن (در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲phc) توسط دستگاه مخلوط کن داخلی با یکدیگر ترکیب شده و نمونه های آزمونی توسط دستگاه قالبگیری تزریقی ساخته شد. سپس آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی شامل جذب آب، واکشیدگی ضخامت، استحکام کششی و خمشی، و مقاومت به ضربه فاقدار بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. همچنین به منظور مطالعه نحوه پراکنش نانوذرات گرافن در چندسازه از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش مقدار نانوگرافن مدول کششی، مدول خمشی، مقاومت کششی و مقاومت خمشی چندسازه افزایش می یابد، درحالی‌که مقاومت به ضربه، جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه ها کاهش می یابد. میکروگراف های تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) نشان داد که استفاده از ۱درصد نانوگرافن سبب بهبود چسبندگی بین پرکننده و پلیمر شده است، و در درصدهای بالاتر، ذرات نانوگرافن تمایل به تجمع و تشکیل کلوخه را نشان دادند.

واژگان کلیدی: آرد ساقه کلزا، نانوگرافن، استحکام مکانیکی، ریخت شناسی.

مقدمه

چندسازه چوب پلاستیک از مخلوط پلیمر، الیاف لیگنوسلولزی و افزودنی‌هایی مانند روان‌کننده، سازگارکننده، رنگ‌دانه، ضد خوردگی، ضد اشعه فرابنفش، ضد میکروبی، در فرآیندهایی مانند اکستروژن، قالب تحت فشار و تزریق تولید می‌شود [۱]. در ساخت این فرآورده محدوده وسیعی از پلیمرها مانند پلی‌پروپیلن[۱] پلی‌اتیلن[۲] پلی وینیل کلراید[۳] و ... همراه با پرکننده‌های سلولزی نظیر آرد و الیاف چوب، مواد لیگنوسلولزی مانند کتان، کنف، بامبو، کاه و کلش و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. با ورود فناوری نانو در عرصه علم مواد، پلیمرهای تقویت شده با فاز نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته است. از نظر علمی موضع جدیدی در پژوهش‌ها در

[1] Polypropylene

[2] Polyethylene
[3] Polyvinyl chloride

مقیاس حد واسط مطالعات در مقیاس‌های مولکولی و میکرو، گشوده شده و شناخت رفتار و برهم‌کنش مواد در محدوده نانو در زمره اولویت‌های پژوهشی قرار گرفته است. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر خواص پلیمرها است [۲]. از این رو نانوچندسازه‌ها در واقع طبقه جدیدی از چندسازه‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آنها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].که از جمله این نانوذرات می‌توان به نانوگرافن اشاره کرد. گرافن نانوذره‌ای با ساختار صفحه‌ای و دو بعدی و ضخامتی در حدود یک اتم کربن است. در این صفحات، اتم‌های کربن در یک شبکه شش ضلعی با یکدیگر پیوند خورده‌اند [۴]. نانوذرات گرافن به دلیل خواص مکانیکی و الکتریکی و همچنین فراوانی ماده اصلی تشکیل دهنده آن یعنی گرافیت در طبیعت، جایگزین مناسبی برای نانو لوله‌های کربنی به منظور تولید نانوچندسازه‌های پلیمری محسوب می‌شوند [۵]. ازسوی دیگر، با توجه به خواص منحصر به فرد گرافن از جمله خواص الکتریکی، گرمایی، الکترو-شیمیایی و سطح ویژه زیاد، قابلیت استفاده از این ماده در بسیاری از کاربردها مانند حسگرها، کاتالیزورها، منابع ذخیره انرژی و انواع چندسازه‌ها افزایش چشمگیری داشته است [۴]. با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به سوی نانوچندسازه‌ها و ناشناخته بودن ساز و کار این مواد، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در راستای شناسایی خواص نانوچندسازه‌های پلیمری و توسعه کاربردی این گروه مواد شکل گرفته است. در این راستا Sabet و Soleimani (۲۰۱۸) در پژوهشی اثر افزوده شدن گرافن را بر خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه LDPE–گرافن بررسی کردند. نتایج بررسی آنان نشان می‌دهد که توزیع ذرات گرافن در ماتریس پلیمر، ثبات حرارتی و افزایش در خواص مکانیکی چندسازه LDPE[1]–گرافن را به همراه داشته است [۶]. Beigloo و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تأثیر افزودن نانوگرافن به چندسازه آرد چوب-پلی‌اتیلن بازیافتی با دانسیته بالا را بررسی کردند. نسبت اختلاط آرد چوب به پلی‌اتیلن بازیافتی با دانسیته بالا (۷۰:۳۰) و مقدار ماده جفت کننده مالئیک انیدرید گرافت شده به پلی‌اتیلن (۳ درصد) از عوامل ثابت و نانوگرافن (چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد بر اساس وزن پلیمر) از عوامل متغییر این پژوهش بودند. نتایج نشان داد با افزودن نانوگرافن تا سطح ۰/۵ درصد، مقاومت خمشی، مدول خمشی و مقاومت به ضربه نانوکامپوزیت افزایش یافت اما در مقادیر بالاتر (۲/۵ درصد)، این ویژگی-ها کاهش یافت. علاوه براین، افزودن نانوگرافن به چندسازه، ثبات حرارتی را به دنبال داشته است. همچنین نتایج آزمون میکروسکوپ الکترونی حاکی از آن بود که، نمونه حاوی ۰/۵ درصد نانوگرافن در مقایسه با دیگر نمونه‌ها، تخلخل کمتری داشته و از سطح صاف‌تری برخودار می‌باشد [۷]. Kord و همکاران (۲۰۱۶) اثر نانوتیوپ‌های کربن چندجداره را بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک چندسازه پلی‌پروپیلن-آرد نی بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن نانوتیوپ‌های کربن چندجداره سبب افزایش در مدول ذخیره چندسازه شد. اما در فاکتور اتلاف مکانیکی چندسازه با افزودن نانوتیوپ‌های کربن، روند کاهشی مشاهده شد. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌ها، نشان داد که توزیع نانوتیوپ‌های کربن در چندسازه غالباً همگن و یکنواخت بود [۸]. Chaharmahali و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی تأثیر افزودن نانوگرافن به چندسازه باگاس-پلی-پروپیلن را بررسی کردند. نسبت اختلاط باگاس به پلی-پروپیلن (دو سطح ۸۵:۱۵ و ۷۰:۳۰) و نانوگرافن (شش سطح ۰، ۰/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد بر اساس وزن پلیمر) از عوامل متغییر این پژوهش بودند. نتایج نشان داد که بالاترین خواص کششی و خمشی در چندسازه حاوی ۰/۱۰ درصد نانوگرافن و ۳۰ درصد الیاف باگاس مشاهده شد [۹].

طبق مطالعات انجام شده نانوچندسازه‌های پلیمر-گرافن دارای خواص و عملکردی بسیار مطلوب‌تر و بهتر در مقایسه با موارد مشابه از نانوچندسازه‌های پلیمری حاوی دیگر پرکننده‌های نانو نظیر خاک رس[2]و نانولوله‌های کربنی[3]می‌باشد [۱۰و ۱۱] و در حقیقت امروزه با کشف خواص مختلف از گرافن به جرات می‌توان گفت که تحول

[1] Low density polyethylene

[2] clay

[3] Carbon Nano Tubes

عظیمی در صنایع مختلف به وجود آمده است. هم‌چنین با توجه به کاهش جهانی گیاهان جنگلی، امروزه استفاده از مازاد گیاهان کشاورزی و سایر منابع لیگنوسلولزی مورد توجه قرار گرفته است .استفاده از ضایعات گیاهان کشاورزی نه تنها جایگزین مناسبی برای بخشی از مواد خام چوبی مورد استفاده برای ساخت فرآورده‌های مرکب چوبی است بلکه باعث ایجاد ارزش افزوده برای پسماندهای گیاهان کشاورزی نیز می‌گردد. از مهمترین منابع لیگنوسلولزی تولید شده در کشور برای استفاده در صنایع چوب و کاغذ میتوان به ساقه کلزا اشاره نمود. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ذرات نانوگرافن بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین- آرد ساقه کلزا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از پلی اتیلن سنگین (HDPE)، محصول شرکت آیتک پلیمر با شاخص جریان مذاب ۱۸ g/10min و چگالی ۰/۹۵۲ g/cm^3 به عنوان ماده زمینه پلیمری و از ساقه کلزا تهیه شده از زمین‌های زراعی دانشگاه گنبدکاووس به عنوان تقویت کننده استفاده شد. از مالئیک انیدرید پیونده شده با پلی‌اتیلن (MAPE) با درصد خلوص ۹۸درصد محصول شرکت کرانگین ایران به عنوان عامل سازگارکننده و از پودر نانوگرافن نوع AO- 4 با ضخامت ۷-۳ میکرون و ابعاد ۶۰-۳۰ نانومتر از شرکت آزمیران با نام تجاری گرافن سوپر مارکت[1]ایالات متحده آمریکا استفاده گردید. چهار روش برای ساخت نانوچندسازه‌های گرافن وجود دارد که عبارتند از: ۱. اختلاط مذاب[2] ۲. اختلاط محلولی[3] ۳. پلیمریزاسیون درجا[4] ۴. ترکیب‌کردن شیرابه‌ای[5] در این پژوهش از آنجایی که چند سازه ساخته شده سه جزئی و متشکل از آرد ساقه کلزا، پلی اتیلن سنگین (پلیمر گرمانرم) و نانوگرافن می باشد بهترین روش ساخت به منظور پراکنش مناسب نانوذرات گرافن، روش اختلاط مذاب می باشد.

فرآیند اختلاط

همچنین به منظور بررسی اثر میزان ذرات نانوگرافن بر خواص چندسازه چوب پلاستیک حاصل از پلی‌اتیلن سنگین- آرد ساقه کلزا، نانوگرافن در پنج سطح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲phc مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). فرآیند اختلاط مذاب مواد با دستگاه مخلوط کن داخلی در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران (مدل SYS90 ساخت شرکت HAAKE از کشور آلمان) با دمای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه انجام شد، که پس از اختلاط مواد، چندسازه بی شکل تولید شده پس از سرد شدن دوباره آسیاب شده و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی[6] (مدل EM80 ساخت ایران) منتقل شده و این دستگاه پس از ذوب مجدد، ماده مذاب را به درون قالب‌هایی تزریق نموده و نمونه های مورد نظر برای آزمون‌های مکانیکی تهیه می‌شوند.

جدول ۱- درصد وزنی اجزای ماده مرکب چوب پلاستیک در تیمارهای مختلف

شماره تیمار	کد تیمار	آرد ساقه کلزا (٪)	پلی‌اتیلن سنگین (٪)	سازگارکننده (phc)	نانوگرافن (phc)
۱	A_0	۵۰	۵۰	۳	۰
۲	A_1	۵۰	۵۰	۳	۰/۵
۳	A_2	۵۰	۵۰	۳	۱
۴	A_3	۵۰	۵۰	۳	۱/۵
۵	A_4	۵۰	۵۰	۳	۲

[1] Graphene Supermarket

[2] Melt blending
[3] Solution mixing
[4] In situ polymerization
[5] Latex blending
[6] Injection Molding

اندازه گیری خواص فیزیکی

برای ارزیابی ویژگی های فیزیکی نمونه ها روند جذب آب و واکشیدگی ضخامت مطابق استاندارد ASTM D 7031 مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ابتدا نمونه ها به مدت ۲ و ۲۴ ساعت در دمای ۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی گراد در داخل آون خشک شدند. پس از آن وزن و ضخامت نمونه های خشک شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم و میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی متر اندازه گیری شدند، سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای معمولی اتاق قرار داده شدند و در پایان این فاصله زمانی نمونه ها را از آب خارج کرده و سطح آن ها را با دستمال کاغذی خشک کرده و بلافاصله وزن و ضخامت آن ها اندازه گیری شد. در نهایت میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$WA = \frac{W-WO}{WO} \times 100$$ (رابطه جذب آب)

در این رابطه:

WA= درصد جذب آب (درصد وزنی) /W= وزن نمونه بعد از غوطه وری (گرم) / WO= وزن نمونه قبل از غوطه وری (گرم)

$$TS = \frac{T-TO}{TO} \times 100$$ (رابطه واکشیدگی ضخامت)

در این رابطه:

TS= واکشیدگی ضخامت (درصد) / T= ضخامت نمونه بعد از غوطه‌وری در آب (میلی‌متر) /TO= ضخامت نمونه قبل از غوطه‌وری در آب (میلی‌متر)

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش مطابق روش سه نقطه ای تعریف شده در استاندارد ASTM D 790 توسط دستگاه تست مکانیکی(اینسترون مدل ۴۴۸۶) با نرخ کرنش ۰/۰۱ میلی متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه در آزمایشگاه مکانیک چوب دانشگاه تهران انجام شد. ابعاد اسمی نمونه ها ۵ × ۱۳ × ۱۰۰ میلی متر و طول دهانه ۸۰ میلی متر بوده است. همچنین آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 بر روی نمونه های دمبلی شکل با ابعاد ۳ × ۱۰ × ۱۶۷ میلی متر توسط دستگاه تست مکانیکی (اینسترون مدل ۴۴۸۶) در آزمایشگاه مکانیک دانشگاه تهران انجام شد. در آزمون کشش طول دهانه ۱۰۰ میلی متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. مقاومت به ضربه فاقدار نمونه براساس استاندارد ASTM D 256 توسط دستگاه ضربه مدل ۵۱۰۲ ساخت شرکت Zwick در دمای محیط در آزمایشگاه مکانیک دانشگاه تهران اندازه گیری شد. آزمون های مکانیکی برای هر تیمار با ۳ تکرار انجام شد.

ریخت‌شناسی

مطالعه ریخت شناسی چندسازه های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) مدل Mira3 Tescan ساخت کشور چک در مرکز پژوهش متالوژی رازی انجام شد. برای انجام این کار ابتدا نمونه ها درون نیتروژن مایع تا زیر دمای منفی ۱۹۶ درجه سانتیگراد برده شده و شکسته شدند، سپس سطح شکست نمونه های آزمونی با لایه نازکی از طلا جهت وضوح بهتر تصویر پوشش داده شد. تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۱۵ کیلو ولت بررسی شدند.

تجزیه و تحلیل نتایج

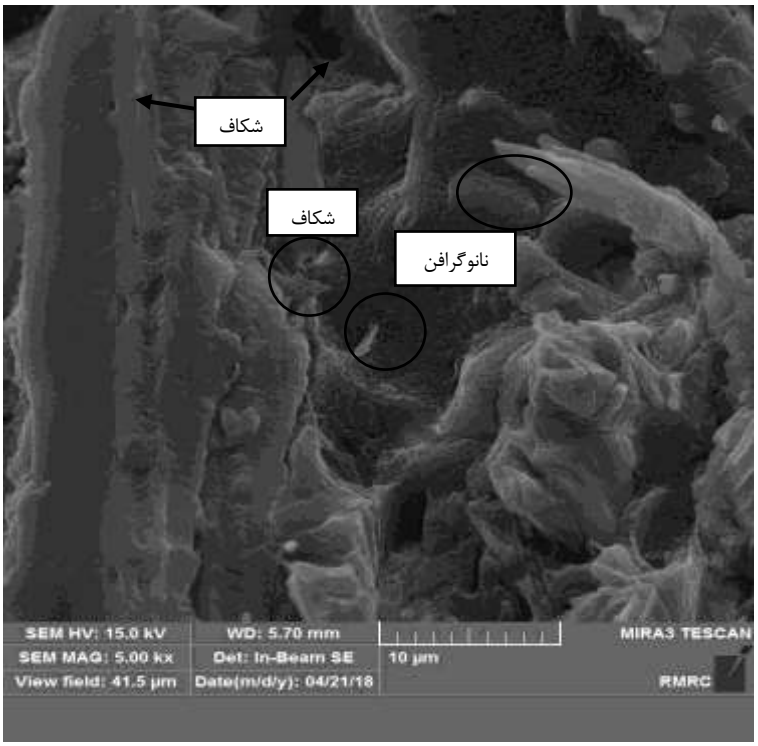
نتایج با استفاده از نرم افزار آماری SPSS در قالب طرح تجزیه واریانس یک‌طرفه در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.. در صورت وجود اختلاف معنی دار، مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

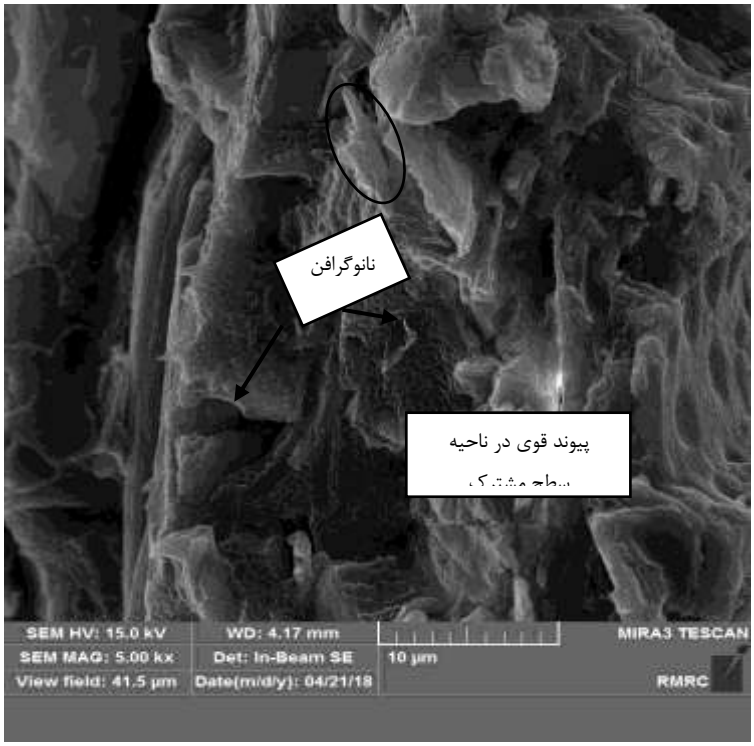
ریخت‌شناسی

تصاویر مربوط به سطح شکست نمونه‌ها با درصدهای متفاوت نانوگرافن در شکل‌های ۱ تا ۵ ارائه شده است. منافذ و ترک‌ها در شکل ۱، پراکنش بهتر و یکنواخت ذرات نانوگرافن در مقادیر وزنی پایین در شکل‌های ۲ تا ۴ و تشکیل کلوخه در مقادیر بالای نانوگرافن را می‌توان به وضوح در شکل ۵ مشاهده نمود. دیگر آنچه که می‌توان از تصاویر برداشت نمود.

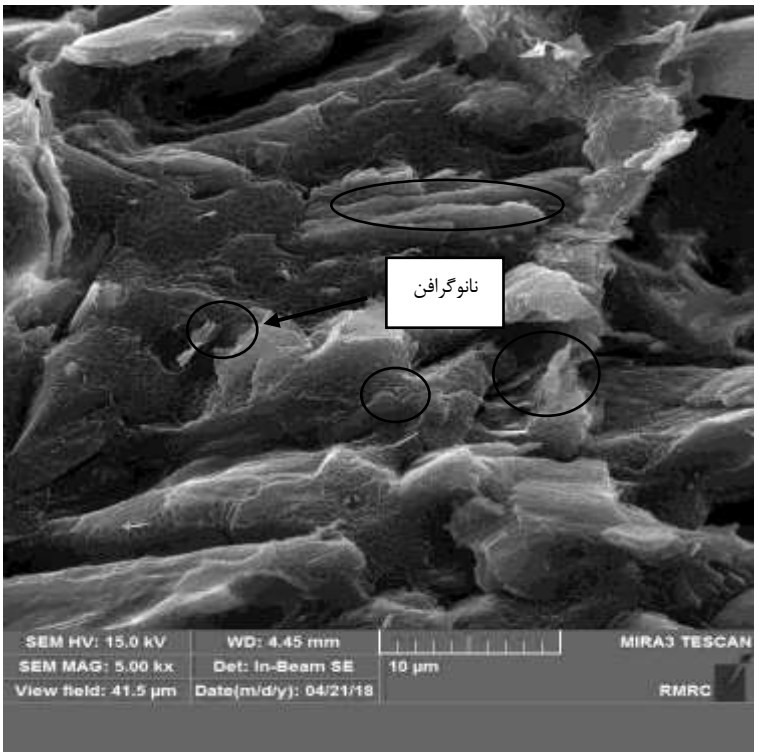
شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی FESEM نانو چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین (فاقد نانوگرافن)



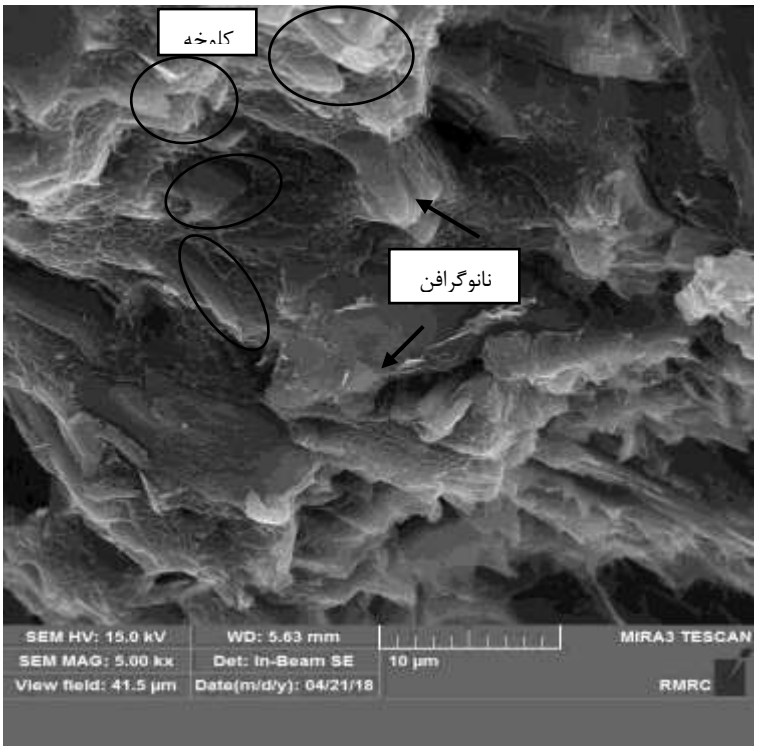
شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی FESEM نانو چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین (حاوی ۰/۵ phc نانوگرافن)



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی FESEM نانو چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین (حاوی phc ۱ نانوگرافن)



شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی FESEM نانو چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین (حاوی phc ۱/۵ نانوگرافن)

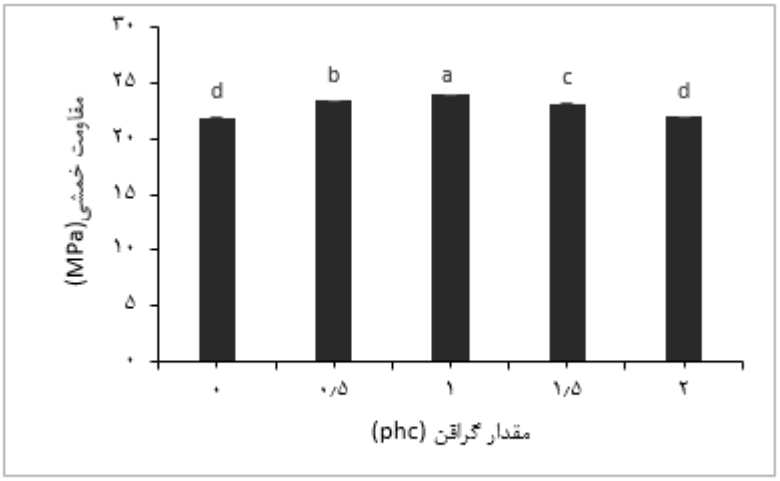


شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی FESEM نانو چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین (حاوی phc ۲ نانوگرافن)

خواص مکانیکی

مقاومت خمشی

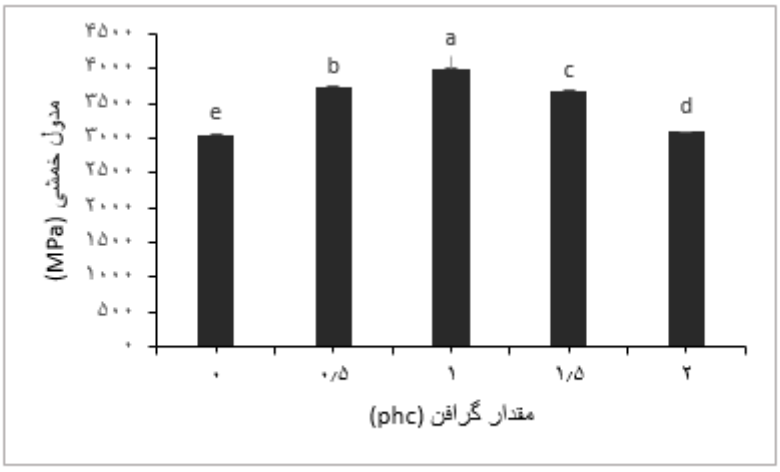
نتایج نشان داد بین مقادیر مقاومت خمشی در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود بالاترین مقدار مقاومت خمشی (۲۴/۰۱ مگاپاسکال) مربوط به نمونه‌های ساخته شده با یک درصد گرافن می‌باشد که نسبت به نمونه‌ی شاهد ۹/۵ درصد بیشتر می‌باشد، ولی بعد از آن با بیشتر شدن گرافن تا سطح ۲درصد مقاومت خمشی روند کاهشی داشته است و همانطور که در شکل ۵ نشان می‌دهد علت این روند کاهشی تجمع و کلوخه شدن نانوگرافن می‌باشد که سبب ترد و شکنندگی چندسازه می‌شود. Sheshmani و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ایی نشان دادند که با افزودن نانوذرات گرافن تا ۰/۸ درصد وزنی به چندسازه الیاف چوب-پلی‌پروپیلن، مقاومت‌های مکانیکی آن افزایش می‌یابد ولی با بیشتر شدن گرافن تا ۵ درصد وزنی، خواص مذکور کاهش پیدا می‌کنند [۱۲]. در تحقیق دیگری Chaharmahali و همکاران (۲۰۱۴) نانوگرافن را در شش سطح (۰، ۰/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد) به چندسازه باگاس- پلی‌پروپیلن افزودند و مشاهده کردند که بالاترین خواص خمشی مربوط به چندسازه‌ای است که حاوی ۰/۱۰ درصد نانوگرافن است [۹].



شکل ۶- تاثیر نانوگرافن بر میزان مقاومت خمشی چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

مدول خمشی

نتایج نشان داد بین مقادیر مدول خمشی در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود بالاترین مقدار مدول خمشی (۴۰۰۹/۴۵ مگا پاسکال) مربوط به تیمار ساخته شده با یک درصد نانوگرافن است که نسبت به تیمار شاهد (فاقد گرافن) ۳۱درصد بیشتر می‌باشد. مدول الاستیسیته مواد مرکب در درجه اول به مدول اجزای تشکیل دهنده آنها وابسته می‌باشد [۳]. از آنجایی که نانوگرافن دارای مدول نسبتاً بالایی می‌باشد، طبیعتاً مقدار مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود می-بخشد[۱۳].

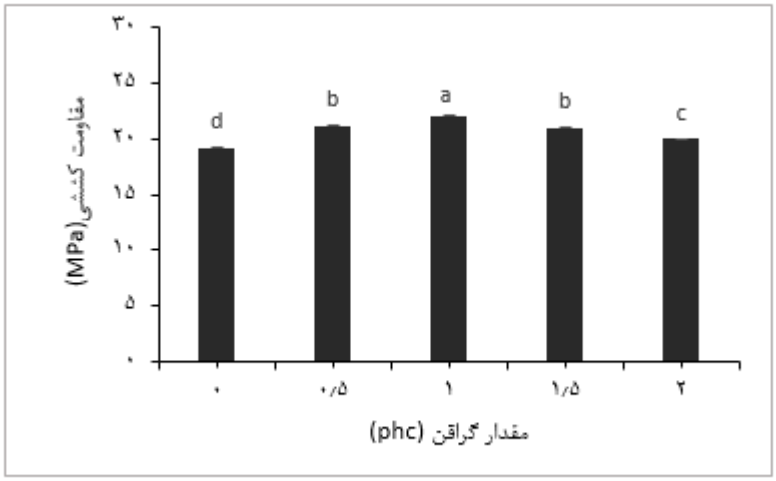


شکل ۷- تاثیر نانوگرافن بر میزان مدول خمشی چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

مقاومت کششی

نتایج نشان داد بین مقادیر مقاومت کششی در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود بالاترین مقدار مقاومت کششی (۲۲/۱۱ مگاپاسکال) مربوط به تیمار ساخته شده با یک درصد نانوگرافن می‌باشد که نسبت به نمونه‌ی شاهد ۱۵ درصد بیشتر می‌باشد، ولی بعد از آن با بیشتر شدن نانوگرافن تا سطح ۲درصد مقاومت کششی روند کاهشی داشته است. نتایج بدست آمده از تحقیقات Sheshmani و همکاران (۲۰۱۳) این موضوع را تائید می‌کند [۱۲]. در تحقیق دیگری Zahedi و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده کردند که با افزایش درصد نانورس در چندسازه پلی‌پروپیلن-آرد چوب از صفر به ۳ درصد مقاومت کششی افزایش یافت اما

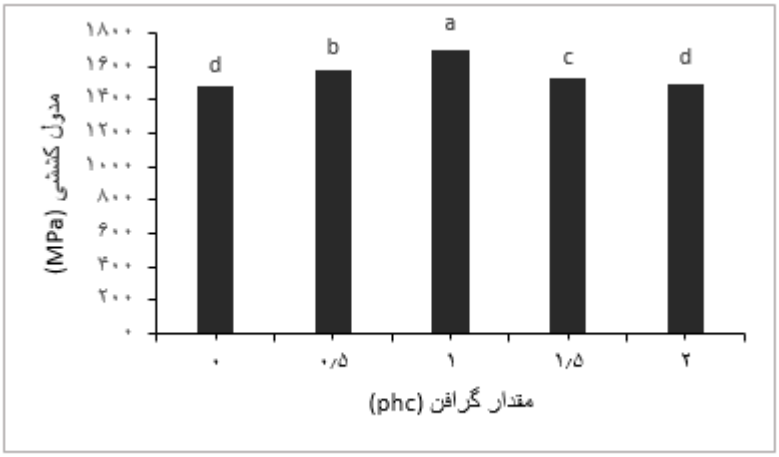
با افزایش نانورس تا سطح ۵ درصد کاهش یافت [۱۴]. دلیل کاهش چشمگیر مقاومت کششی چندسازه در فاصله ۱ تا ۲ درصد نانوگرافن با توجه به تصاویر ۳تا ۵ به توزیع نایکنواخت و کلوخه شدن نانوذرات گرافن در پلیمر زمینه مرتبط می‌باشد، چون این وضعیت سبب بوجود آمدن نقاط ناپیوسته در ریزساختار چندسازه می‌شود. این نقاط ناپیوسته عامل ضعف انتقال تنش و تشدید تراکم تنش در ساختار چندسازه هستند و ظرفیت تحمل تنش آن را کاهش می‌دهند.



شکل ۸- تاثیر نانوگرافن بر میزان مقاومت کششی چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

مدول کششی

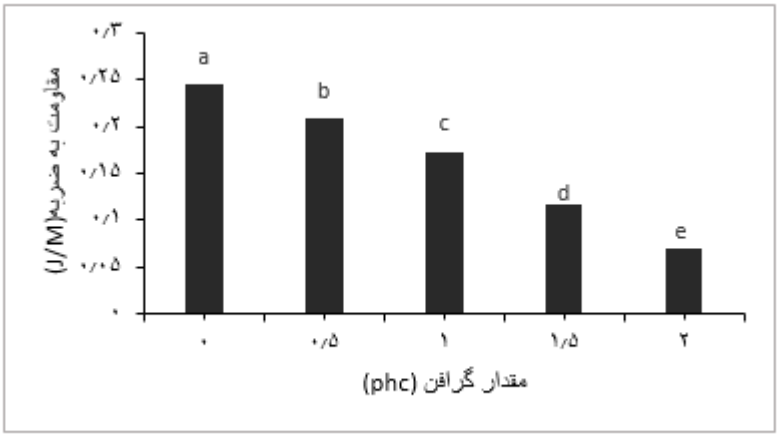
نتایج نشان داد بین مقادیر مدول کششی در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود بالاترین مقدار مدول کششی (۱۷۰۰ مگاپاسکال) مربوط به تیمار ساخته شده با یک درصد نانوگرافن می‌باشد که نسبت به نمونه‌ی شاهد ۱۵ درصد بیشتر می‌باشد، ولی بعد از آن با بیشتر شدن نانوگرافن تا سطح ۲درصد مدول کششی روند کاهشی داشته است. مدول الاستیسیته مواد مرکب در درجه اول به مدول اجزای تشکیل دهنده آنها وابسته می‌باشد [۳]. بالا رفتن مدول الاستیسیته معرف کمتر شدن تغییر شکل ماده مرکب تحت بار است که در سازه‌های مهندسی که باید بار زیادی را بدون تغییر شکل تحمل کنند، عامل مثبتی به شمار می‌آید [۸] . از آنجایی که آرد ساقه کلزا و نانوگرافن دارای مدول نسبتاً بالایی می‌باشند، طبیعتاً مقدار مدول الاستیسیته ماده مرکب را بهبود می‌بخشند.



شکل ۹- تاثیر نانوگرافن بر میزان مقاومت کششی چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

مقاومت به ضربه

نتایج نشان داد بین مقادیر مقاومت به ضربه در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مقاومت به ضربه (۰/۲۵مگاپاسکال) مربوط به تیمار شاهد که فاقد نانوگرافن(نمونه شاهد) می‌باشد و کمترین مقدار آن (۰/۰۷۰۰مگاپاسکال) مربوط به استفاده از ۲ درصد نانوگرافن می‌باشد. با افزودن نانوگرافن در سطح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد مقاومت‌ها نیز به ترتیب ۱۵، ۳۰، ۴۲ و ۷۱ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته اند. نتایج پژوهش Chaharmahali و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که با افزودن نانوگرافن به چندسازه باگاس-پلی‌پروپیلن مقاومت به ضربه چندسازه کاهش یافت اما این کاهش از روند منظمی برخودار نبود [۹]. تمامی‌نمونه‌های دارای نانوگرافن به‌طور معنی‌دار مقاومت به ضربه پایین‌تری از نمونه‌ی فاقد نانوگرافن داشتند. همانطور که در تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شود (شکل ۱ تا ۵) حضور ذرات نانوگرافن سبب ایجاد نقاط تمرکز تنش در ماتریکس شده و باعث تردتر شدن می‌شود که این امر عامل ایجاد مناطقی برای شروع شکست و کاهش مقاومت به ضربه می‌باشند. از آنجایی‌که نمونه فاقد نانوگرافن مقاومت به ضربه بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی گرافن نشان داد می‌توان چنین نتیجه گرفت که ذرات نانوگرافن نتوانسته‌اند در اختلاط با ماده زمینه پلیمری جای‌گیری مناسبی تشکیل دهد از این رو نقاط با تمرکز تنش بالا در تمام درصدهای وزنی آن موجب افت مقاومت به ضربه می‌گردد.

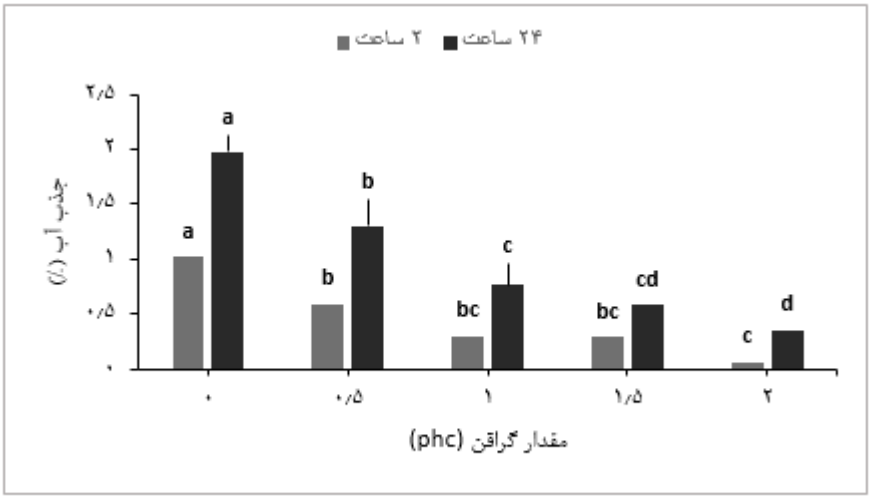


شکل ۱۰- تاثیر نانوگرافن بر میزان مقاومت به ضربه چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

خواص فیزیکی

جذب آب

نتایج نشان داد تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که بین مقادیر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میزان جذب آب (۲ و ۲۴ ساعت) به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و ۲phc نانوگرافن می‌باشد. Sheshmani و همکاران (۲۰۱۳) و Chaharmahali و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاهش جذب آب چندسازه‌های چوب پلاستیک را با افزودن نانوذرات گرافن گزارش کردند [۹ و ۱۲]. به نظر می‌رسد ویژگی نفوذناپذیری ذرات نانوگرافن مانع از نفوذ آب به درون ماتریس پلیمری می‌گردد.



شکل ۱۱- تاثیر نانوگرافن بر میزان جذب آب چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

واکشیدگی ضخامت

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بین مقادیر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت در تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همانگونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میزان واکشیدگی ضخامت (۲ و ۲۴ ساعت) به ترتیب مربوط به نمونه‌های شاهد و کمترین میزان مربوط به تیمار با ۲درصد نانوگرافن می‌باشد. Sheshmani و همکاران (۲۰۱۳) و Chaharmahali و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که با افزایش درصد گرافن در چندسازه‌های چوب پلاستیک، درصد واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها کاهش می‌یابد [۹ و ۱۰].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر مقدار ذرات نانوگرافن بر ویژگی-های مکانیکی و فیزیکی چوب پلاستیک حاصل از پلی-اتیلن سنگین و آرد ساقه کلزا مورد بررسی قرار گرفت. و نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:

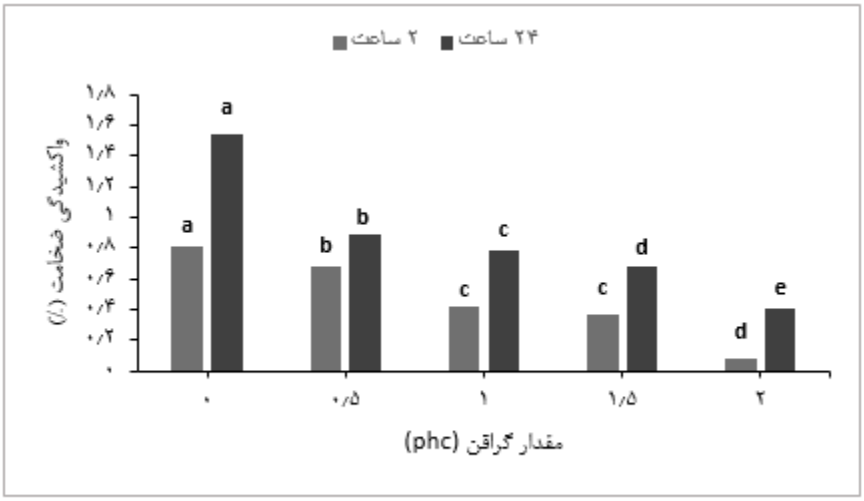
۱- با افزایش مقدار ذرات نانوگرافن، مقاومت و مدول خمشی افزایش یافت.

۲- با افزایش مقدار ذرات نانوگرافن، مقاومت و مدول کششی افزایش یافت.

۳- افزودن ذرات نانوگرافن سبب کاهش مقاومت به ضربه گردید.

۴- جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزودن ذرات نانوگرافن کاهش یافت.

۵- مطالعات ساختاری نانوکامپوزیت‌ها از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) نشان داد که استفاده از ۱درصد نانوگرافن سبب بهبود چسبندگی بین پرکننده و پلیمر شده است و در درصدهای بالاتر، ذرات نانوگرافن تمایل به تجمع و تشکیل کلوخه را نشان دادند.



شکل ۱۲- تاثیر نانوگرافن بر میزان واکشیدگی ضخامت چندسازه حاصل از آرد ساقه کلزا- پلی‌اتیلن سنگین

منابع

[1] Rangavar, H., Nourbakhsh, A. and Haji Hatamlo, S., 2016. The effect of nano-wollastonite on physical and mechanical properties of wood plastic composites made with sunflower stem waste and alder wood. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(4):684-694. (In Persian).

[2] Sepidehdam, M .J., 2011. Characteristics of plastic wood composites in packaging. Journal of Packaging Science and Techniques. 2(5dam,): 62-73. (In Persian).

[3] Marouf, B.T. and Bagheri, R., 2007. Studies on the Mechanical Behavior of Epoxy-clay Nanocomposite. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 20(1):59-64. (In Persian).

[4] Ramezani, H., Sharif, M. and Khorram Shokooh, A., 2014. Graphene-Based Polymer Nanocomposites. Polymerization, 4(3):86-107. (In Persian).

[5] Kotov, N.A., 2006. Materials Science: Carbon Sheet Solutions. Nature, 442:254–255.

[6] Sabet, M. and Soleimani, H., 2018. Broad studies of graphene and low-density polyethylene composite. Journal of Elastomers & Plastics, 51(6): 527- 561.

[7] Beigloo, J., Khademi Eslam, H., Hemmasi, A.H., Bazyar, B. and Ghasemi, I., 2017. Effect of Nanographene on Physical, Mechanical, and Thermal Properties and Morphology of Nanocomposite Made of Recycled High Density Polyethylene and Wood Flour. Bioresources, 12(1):1382-1394.

[8] Kord, B., Jamshidi, M. and Hosseinihashemi, Kh., 2016. Efect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Viscoelastic Properties of PP/Reed Flour Composites. Journal of Polymers and the Environment, 25(4):1313–1320.

[9] Chaharmahali, M., Hamzeh, Y., Ebrahimi, G., Ashori, A. and Ghasemi, I., 2014. Effects of nano-graphene on the physico-mechanical properties of bagasse/polypropylene composites. Polymer. Bull, 71:337–349.

[10] Rajabi, M., Zareie, D.and Rashed, Gh.,2012 A review of the structure and properties of graphene polymer nanocomposites. Journal of Studies in the Color World. 2:17-28. (In Persian).

[11] Joong Yoon, H., Han Jun, D. Ho Yang, J., Zhou, Z., Sik Yang, S. and Cheng Cheng, M. , 2011. Carbon dioxide gas sensorusing a graphene sheet. Sens. Actuators, 157:310-313.

[12] Sheshmani, S., Ashori, A. and Arab Fashapoyeha, M., 2013. Wood plastic composite using graphene nanoplatelets. International Journal of Biological Macromolecules, 58:1-6.

[13] Mittal, V., 2012. Polymer-Graphene Nanocomposites, RSCPublishing, Cambridge, 266 p.

[14] Zahedi1, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of nanoclay (Montmorillonite) on the physical-mechanical properties of polypropylene / wood flour composites. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 20(3):95-110. (In Persian).

Investigation the effect of nanographene particles on physical and mechanical properties of high density polyethylene-rapeseed stalk flour composites

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of graphene nanoparticles (NG) on mechanical properties of composites made from rapeseed stalk flour (RSF) and high density polyethylene (HDPE). To meet this objective, the RSF and HDPE at 50 wt%, coupling agent (3phc) and various amounts of NG (0, 0.5, 1, 1.5 and 2 phc) were mixed via hake internal mixer, and then the specimens were prepared using injection molding. The morphology of samples was characterized using field emission scanning electron microscope (FE-SEM). The physical and mechanical characterization including water absorption, thickness swelling, tensile, flexural strength, and unhocked impact resistance were performed. In addition, the field emission scanning electron microscope (FE-SEM) was used to study the distribution of graphene nanoparticles in the composite. The results showed that by increasing the amount of nanographene the tensile modulus, flexural modulus, tensile strength, and flexural strength of the composite were increased while the impact strength, water absorption and thickness swelling of the samples decreased. FE-SEM micrographs showed that the using of 1 wt% NG improved the adhesion between the filler and the polymer matrix. However, in the higher amount contents (>1%), nanographene particles tend to accumulate.

Keywords: rapeseed stalk flour, nanographene, mechanical strength, morphology.

Z. Yari Firouzabadi[1*]
V. Vaziri[2]
B. Kord[3]
L. Jamalirad[4]

[1] M.Sc. student, Wood composite products, Gonbad Kavous university, Gonbad Kavous, Iran

[2] Assistant Prof, Wood and paper science and technology, Gonbad Kavous university, Gonbad Kavous, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Cellulosic Materials and Packaging, Chemistry and Petrochemistry Research Center, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran.

[4] Assistant Prof, Wood and paper science and technology, Gonbad Kavous university, Gonbad Kavous, Iran

Corresponding author:
Zahra.yar.1990sss@gmail.com

Received: 2019/10/15
Accepted: 2019/12/17