استفاده‌از ذرات نانو رس در بهبود خواص کاربردی کامپوزیت چوب_پلاستیک

بهزاد کرد*

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، دانشکدهٔ کشاورزی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۷/۳/۱۵، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده:** ۱۳۸۸/۲/۱۶، **تاریخ پذیرش قطعی:** ۱۳۸۸/۳/۵

چکیده در این تحقیق، اثر مقدار نانو ذرات رس بر ویژگی‌های کاربردی کامپوزیت چوب_پلاستیک حاصل از پلی پروپیلن وآرد چوب مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، آرد چوب با نسبت وزنی ۵۰ درصد با پلی پروپیلن مخلوط شد و نانورس نیز با نسبت وزنی ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد و مادهٔ سازگارکنندهٔ مالئیک انیدرید اصلاح‌شده با پلی پروپیلن به میزان ۲ درصد در تمام ترکیب‌ها استفاده شد. سپس نانوکامپوزیت چوب_پلاستیک بااستفاده‌از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته و خواص مختلف فیزیکی، مکانیکی، ویسکوالاستیک وآتشگیری مطابق استاندارد ASTM بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار نانو ذرات رس از ۰ به ۳٪، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی، ازدیاد طول، مدول ذخیره، مدول اتلاف، مقدار زغال باقی‌مانده و زمان سوختن نانوکامپوزیت حاصله افزایش می‌یابد. درصورتی‌که مقاومت به ضربه فاق‌دار، مقدار سوختن، مقدار حرارت آزاد شده، مقدار کل دود تولید شده، جذب آب و واکشیدگی ضخامت نانوکامپوزیت چوب_پلاستیک با افزایش مقدار نانورس کاهش می‌یابد. همچنین بررسی نوع فازها و مورفولوژی نانوکامپوزیت چوب_پلاستیک به‌کمک روش پراش اشعهٔ ایکس و میکروسکوپ الکترونی انتقالی نشان داد که توزیع نانو ذرات رس در زمینهٔ پلیمری از نوع ساختار بین لایه‌ای است و با افزایش مقدار نانو ذرات رس، فاصلهٔ بین لایه‌ها افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی فرآوردهٔ چوب_پلاستیک، نانورس، خواص کاربردی، میکروسکوپ عبوری الکترونی، اشعهٔ ایکس.

Improvement of Practical Properties of Wood Polymer Composite with Nanoclay Particles

B. Kord*

Group of Wood Science and Paper Technology, Department of Agriculture and Natural Resources, Chalous Branch, Islamic Azad University

Abstract In this study, the effect of nanoclay particles content on practical properties of wood polymer composite made of polypropylene and wood flour were investigated. For this aim, wood flour were compund with polypropylene at 50% by weight, and nanoclay with 0, 1, 2 and 3% respectivly, also 2% of MAPP was used as the coupling agent in all formulatins. Then samples were made in injection molding, and physical, mechanical, viscoelastic and flammability properties were tested according to ASTM standard. Results indicated flexural strength, tensile strength, flexural modulus, tensile modulus, elongation, storage modulus, loss modulus, char residue and time to ignition incraesd with nanoclay loading. However impact strength, burning rate, heat release rate, total smoke production, water absorption and thickness swelling were decreased by increasing of nanoclay particles content. Also the morphological study with XRD and TEM showed that nanoclay distributed as intercalation structure in polymer matrix, and the d-spacing of layers were increased with increasing of nanoclay particles content.

Keywords Wood Polymer Composite, Nanoclay, Practical Properties, TEM, XRD.

***عهده‌دار مکاتبات**

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، دانشکدهٔ کشاورزی، گرو ه علوم و صنایع چوب و کاغذ.

تلفن: ۰۱۹۱_۲۲۱۵۹۳۵، **دورنگار:** ۰۱۹۱_۲۲۱۵۹۳۵، **پیام‌نگار:** behzad_k8498@yahoo.com

۱_ مقدمه

کامپوزیت چوب-پلاستیک[1] که به اختصار WPCs نامیده می‌شود، گروه جدیدی از مواد هستند که در طی سالیان اخیر، مورد توجه بسیاری از محققان و نیز بخش عمده ای از صنعت قرار گرفته است. در ساخت این کامپوزیت‌ها، محدودهٔ وسیعی از پلیمرهای گرمانرم از قبیل: پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌استایرن و پلی‌استر به‌همراه مواد لیگنوسلولزی یا بازماندهٔ کشاورزی (آردچوب، خاک اره، پوست، کاغذ، کارتن، مقوا، ضایعات کارخانجات چوب‌بری، کاه و کلش برنج، کتان، کنف و....) مورداستفاده قرار می گیرند. تقویت کننده های لیگنوسلولزی (طبیعی) در مقایسه با دیگر تقویت کننده های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده های معدنی دارای مزیت های فراوانی از جمله دانسیتهٔ کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر، سایش نسبی کم و سهولت اصلاح سطح الیاف بوده و ضمناً به‌طور گسترده‌ای دردسترس می باشند. همچنین این الیاف از الیاف مصنوعی ارزان‌تر بوده و می‌توانند در بسیاری از کاربردهایی که در آن‌ها صرفه‌جویی در هزینه برروی خواص مقاومتی محصول ارجح است، جایگزین الیاف مصنوعی شوند [۱]. مهم‌ترین معایب الیاف طبیعی در کامپوزیت‌ها عبارت‌اند از: دمای مجاز پایین‌تر برای فراوری، دشواری پراکنده کردن و پخش این پرکننده‌ها در مادهٔ زمینه پلیمری، ناسازگاری الیاف طبیعی آب دوست و پلیمرهای آب گریز و احتمال جذب رطوبت توسط الیاف و به‌دنبال آن کامپوزیت ساخته شده [۲].

امروزه با ورود فناوری نانو در علم مواد، پلیمرهای تقویت شده با پرکننده های نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته و از نظر علمی موضوع جدیدی در پژوهش‌ها در مقیاس حدواسط مطالعات در مقیاس های میکرو، گشوده شده و شناخت رفتار و برهم‌کنش مواد در محدودهٔ نانو در زمرهٔ اولویت‌های پژوهشی قرار گرفته است. از دیدگاه صنعتی آنچه باعث جلب‌توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر خواص کامپوزیت ها است. بنابراین نانوکامپوزیت‌ها درواقع طبقهٔ جدیدی از کامپوزیت‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آنها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد، که از جمله این نانوذرات می‌توان به نانو ذرات رس[2] اشاره کرد که به‌علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری[3] بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری می‌شوند. به همین‌دلیل در طی سال‌های اخیر استفاده از خاک رس اصلاح‌شده به‌عنوان پرکنندهٔ نانو در ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری در حجم قابل توجهی مورد استفاده قرار می گیرد، به‌طوری‌که مصرف مقادیر اندکی از آن سبب افزایش مدول، استحکام، مقاومت گرمایی، کاهش نفوذپذیری گاز، مقاومت در برابر اشتعال و بهبود خواص فیزیکی می‌گردند، همچنین این افزایش خواص در اکثر مواقع باعث کاهش خواص در موارد دیگر نمی شوند [۵،۴،۳]. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به سوی نانوکامپوزیت ها و ناشناخته بودن سازوکار این مواد، در سال های اخیر مطالعات بسیاری در راستای شناسایی خواص نانوکامپوزیت های پلیمری-خاک رس و توسعهٔ کاربردی این گروه از مواد شکل گرفته است [۴].

فو و ناگویب[4] در تحقیقی با عنوان بررسی تأثیر نانورس بر خصوصیات مکانیکی کامپوزیت‌ها بیان کردند که تنها ۰/۵ درصد مادهٔ مونتمورولینیت به خاطر داشتن ضریب ظاهری بالا و تشکیل ساختار لایه لایه‌ای[5] و بین‌لایه‌ای[6] باعث افزایش قابل ملاحظه ای در مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و ازدیاد طول در نقطه شکست کامپوزیت می شود. البته آنها عنوان کردند که افزایش بیش از حد مجاز نانو ذرات، موجب کاهش مقاومت مکانیکی در کامپوزیت‌ها می‌شود. بر

1. Wood Polymer Composites.
2. Nanoclay.
3. Aspect Ratio.
4. Fu and Naguib.
5. Exfoliation.
6. Intercalation.

این اساس و بهترین مقدار مصرف نانورس را بین ۴ـ۵٪ گزارش کردند [۶].

بروسیاک[7] و همکاران در مطالعهٔ کامپوزیت های چوب‌ـ پلی پروپیلن دریافتند که به‌هنگام استفاده از ترکیبات نانورس مقدار حرارت آزاد شده[8]، مقدار کاهش وزن[9] و تولید گازهای سمی نانوکامپوزیت به‌هنگام احتراق و آتشگیری به‌طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و زمان سوختن[10] افزایش می‌یابد [۷].

وو و همکاران[11] دریافتند که با اضافه نمودن تنها ۲٪ پرکنندهٔ نانورس به نانوکامپوزیت حاصل از آرد چوب کاج و پلی اتیلن سنگین[12]، مقاومت خمشی از ۱۹/۶٪ به ۲۴٪ و مقاومت کششی از ۱۱/۸٪ به ۱۳٪ افزایش می یابد در صورتی که مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت به میزان ۵ـ۷٪ کاهش می‌یابد. همچنین آنها بیان کردند که دمای انتقال شیشه‌ای[13]، مدول اتلاف[14]، مدول ذخیره[15] و سطح کریستالیته شدن کامپوزیت چوب‌ـپلاستیک به‌واسطهٔ هیبرید شدن با نانو ذرات رس افزایش قابل ملاحظه یافته و در نهایت بهبود پایداری حرارتی و مقاومت در برابر آتشگیری را به‌همراه دارد [۸].

هدف اصلی این پژوهش، بررسی خصوصیات کاربردی نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک حاصل از آرد چوب‌ـپلی‌پروپیلن و نانورس برای مصارف صنعتی بوده است.

۲ـ نحوهٔ انجام آزمایش

۲ـ۱ـ مواد

در این تحقیق، از پلی‌پروپیلن تولید شده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۸g/۱۰min و چگالی ۰/۹g/cm^3 با نام تجاری Moplen V30S به‌عنوان مادهٔ پلیمری، از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن از محصولات شرکت بلژیکی Solvay با شاخص جریان مذاب ۶۴g/۱۰min و نام تجاری Priex۲۰۰۷۰ به عنوان عامل سازگارکننده، و آرد چوب راش تولید شده توسط شرکت صنعت سلولز آریا، با ابعاد ۱۰۰ میکرون استفاده شد. همچنین از پودر نانورس تولیدشده توسط شرکت Southern-Clay کشور آمریکا با نام تجاری Cloisite 30B (d_{001}= 18.5 A^0) استفاده شده است.

۲ـ۲ـ فرآیند اختلاط

برای بررسی اثر میزان نانو ذرات رس بر خواص کامپوزیت چوب‌ـپلاستیک حاصل از پلی پروپیلن و آرد چوب، نانورس کلویزیت ۳۰B در چهار سطح ۰٪، ۱٪، ۲٪ و ۳٪ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). فرآیند اختلاط مواد با دستگاه مخلوط کن داخلی[16] در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با دمای اختلاط ۱۸۰°C، سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه انجام شد، که پس از اختلاط مواد، چند سازه بی‌شکل تولید شده پس از سرد شدن دوباره آسیاب و به دستگاه قالب گیری تزریقی[17] منتقل شده و این دستگاه پس از ذوب مجدد، مادهٔ مذاب را به درون قالب‌هایی تزریق نموده و نمونه‌های مورد نظر تهیه می‌شود.

۲ـ۳ـ اندازه‌گیری خواص نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک

ویژگی های مکانیکی شامل آزمون‌های خمش، کشش و ضربه فاقدار به ترتیب مطابق استانداردهای شماره D 747، D 638 و D 256 آیین نامه ASTM مورد ارزیابی قرار گرفت [۹].

اندازه‌گیری خواص ویسکوالاستیک شامل مدول اتلاف و مدول ذخیره براساس تحلیل دینامکی‌ـگرمایی‌ـمکانیکی DMTA انجام شد [۹].

7. Broysiak.
8. Heat Release Rate.
9. Mass Loss Rate.
10. Time to Ignition.
11. Wu, et al.
12. High Density Polyethylene.
13. Glass Transition Tempreature.
14. Loss Modulus
15. Storage Modulus.
16. Haake.
17. Injection Molding.

جدول ۱. درصد وزنی اجزای ماده مرکب چوب پلاستیک در نمونه‌های مختلف.

شمارهٔ نمونه	کد نمونه	آردچوب(٪)	پلی‌پروپیلن(٪)	سازگارکننده(٪)	نانورس(٪)
۱	50%WF-50%PP-2%MAPP	۵۰	۵۰	۲	۰
۲	50%WF-50%PP-2%MAPP-1%NANO	۵۰	۵۰	۲	۱
۳	50%WF-50%PP-2%MAPP-2%NANO	۵۰	۵۰	۲	۲
۴	50%WF-50%PP-2%MAPP-3%NANO	۵۰	۵۰	۲	۳

WF = Wood Flour, PP = Polypropylene, MAPP= Maleic Anhydride Grafted Polypropylene, Nano= Nanoclay

آزمون های مختلف آتشگیری مقدار زغال باقی مانده، مقدار سوختن، زمان سوختن و مقدار حرارت آزاد شده به ترتیب مطابق استانداردهای شمارهٔ E 1354، D 635، D1929 و UL 94 آیین‌نامهٔ ASTM مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۰].

خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت به ترتیب مطابق استاندارد شمارهٔ D703 آیین نامهٔ ASTM اندازه‌گیری شد [۹].

۲ـ۴ـ ریخت‌شناسی

۲ـ۴ـ۱ـ آزمون تفرق اشعه ایکس (XRD)

پراش پرتو اشعهٔ ایکس، امکان شناخت نوع ساختار کریستالوگرافی (ساختار لایه لایه‌ای و بین لایه‌ای) نانو ذرات رس در نانوکامپوزیت های پلیمری و چگونگی توزیع خاک رس را در زمینهٔ پلیمری فراهم می کند. از کاربردهای بسیار مهم این روش، محاسبهٔ فاصلهٔ بین لایه ها می باشد که با استفاده از رابطهٔ براگ به صورت زیر محاسبه می شود [۵،۴،۳]:

رابطه (۱) $$d= n\lambda /2\sin\theta$$

که در رابطهٔ فوق، d فاصله صفحات، n عدد صحیح، θ زاویه پراگ و λ طول موج اشعه ایکس می‌باشد.

در این مقاله، پراش اشعهٔ ایکس توسط دستگاه XRD با تشعشع لامپ CuKa، طول موج λ=1.54 nm، گام ۰/۰۲ درجه، سرعت ۰/۳ درجه بر دقیقه و زاویهٔ پراش (2θ) در دامنهٔ ۰–۱۲ درجه انجام شد. نمونه ها به صورت ورقه ای با ابعاد ۱۰×۱۰×۱mm برای این آزمون تهیه شدند.

۲ـ۴ـ۲ـ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

برای تصویربرداری نانوکامپوزیت، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل EM 208، ساخت شرکت PHILIPS هلند با شدت ولتاژ ۱۰۰kV استفاده شد. البته نمونه برداری با چاقوی الماسه دستگاه اولترامیکروتوم مدل Leica Ultracut UCT ساخت کشور آلمان با ضخامت ۶۰–۱۰۰ نانومتر از نمونه انجام شد.

۲ـ۴ـ۵ـ محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل داده ها بااستفاده از نرم‌افزار آماری SPSS Version 13 در قالب طرح آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه بندی میانگین‌ها به‌کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ خواص مکانیکی

نتایج نشان داد که تأثیر ۵٪ نانو ذرات رس برروی ویژگی های مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک قابل ملاحظه است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳٪، مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و ازدیاد طول نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک افزایش یافته، در حالی که مقاومت به ضربهٔ فاقدار کاهش می‌یابد. تأثیر نانو ذرات رس بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های پلیمری به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار، ساختار بلوری، کیفیت و مقدار پراکنش پراکنده شدن نانو ذرات رس و نحوه اتصال آنها با پلیمر در سطح اتصال بستگی دارد [۸،۳]. از این رو می توان افزایش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت را هنگام استفاده از ۳٪ نانورس، به ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای در نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک مرتبط دانست. ضریب ظاهری بالای نانو ذرات رس در قابلیت تقویت کنندگی بالای نانو ذرات رس در کامپوزیت نقش دارد و موجب می‌شود تا سطح مشترک بین دو فاز افزایش پیدا کرده و درنتیجه مقاومت مکانیکی کامپوزیت افزایش یابد. همچنین تشکیل ساختار در نانوکامپوزیت به دلیل تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و نانو ذرات رس و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه ای موجب افزایش ازدیاد طول کامپوزیت می‌شود.

ازطرفی به نظر می‌رسد تجمع و تراکم توده‌های رس در تشکیل مناطق با تمرکز تنش بالا از یک طرف و عدم تشکیل ساختار ورقه‌ای از طرف دیگر از جمله دلایل کاهش مقاومت به ضربهٔ فاقدار کامپوزیت باشند.

جدول ۲. تأثیر مقدار نانو درات رس بر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک.

نانورس (درصد وزنی)	مقاومت خمشی (مگاپاسگال)	مدول خمشی (مگاپاسگال)	مقاومت کششی (مگاپاسگال)	مدول کششی (مگاپاسگال)	ازدیاد طول (درصد)	مقاومت به ضربه فاقدار (مگاپاسگال)
۰	۳۱/۶	۱۵۲۰	۱۸/۰۹	۱۹۵۰	۲/۱۸	۴/۶۶
۱	۳۵/۸۵	۱۶۱۰	۲۱/۰۲	۲۱۸۰	۲/۵۳	۴/۳۱
۲	۳۶/۸۳	۱۶۹۰	۲۱/۹۵	۲۲۳۰	۲/۷۴	۴/۲۴
۳	۳۷/۷۹	۱۷۲۰	۲۲/۴۶	۲۳۰۰	۲/۸۶	۴/۲۳

۳ـ۲ـ خواص ویسکوالاستیک

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳٪، مدول اتلاف و مدول ذخیره نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک افزایش یافته است، زیرا نانو ذرات رس به‌علت داشتن خاصیت جوانه‌زنی[18] موجب تشکیل ساختار بلوری در کامپوزیت شده که این امر منجر به بالارفتن دمای تخریب حرارتی در نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک و بهبود خاصیت حرارتی آن می‌شود [۷].

۳ـ۳ـ خواص آتشگیری

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود با افزایش مقدار نانو ذرات رس از ۰ به ۳٪، در نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک، مقدار زغال باقی‌مانده برروی سطح و زمان سوختن افزایش یافته، درحالی‌که مقدار سوختن و مقدار حرارت آزاد شده کاهش می یابد. به‌نظر می رسد هنگامی که پلیمر حاوی خاک رس می‌سوزد، لایهٔ زغال توسط رس بر سطح خارجی پلاستیک تشکیل می شود که این امر سبب عایق کردن لایهٔ زیرین و جلوگیری از سوخته شدن کامپوزیت می شود.

جدول ۳. تـأثیر مقـدار نـانو ذرات رس بـر ویژگـی‌هـای ویسکوالاسـتیک کامپوزیت چوب‌ـپلاستیک.

نانورس (درصد وزنی)	مدول ذخیره (گیگاپاسگال)	مدول اتلاف (گیگاپاسگال)
۰	۱/۷۵	۰/۱۵
۱	۱/۸۵	۰/۱۶
۲	۱/۹۱	۰/۱۷
۳	۱/۹۶	۰/۱۸

همچنین نانو ذرات رس به خاطر داشتن ضریب ظاهری بالا، موجب افزایش دمای تجزیهٔ حرارتی و پایداری حرارتی در کامپوزیت حاصله می شود، زیرا افزایش پایداری حرارتی در نانوکامپوزیت به دست آمده ناشی از ورقه شدن لایه های سیلیکاتی رس وتشکیل ساختارهای لایه‌لایه‌ای و بین‌لایه‌ای است که نفوذ اکسیژن به درون قالب پلیمر را به تعویق می‌اندازند. از طرفی به‌واسطهٔ افزودن نانو ذرات رس به کامپوزیت چوب‌ـپلاستیک، میزان نفوذ اکسیژن به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۱]. همچنین میزان تخریب حرارتی از طریق کاهش انتشار اکسیژن و خروج بهتر گازها و ممانعت از تجزیه گازهای فرار به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می یابد [۱۲]. به‌طورکلی نانو ذرات رس به‌علت بالا بردن درجه حرارت، موجب بهبود پایداری حرارتی نانوکامپوزیت خواهد شد.

۳ـ۴ـ خواص فیزیکی

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می شود، با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳٪، جذب آب و واکشیدگی ضخامت نانوکامپوزیت چوب‌ـپلاستیک کاهش می یابد. به نظر می رسد ویژگی نفوذناپذیری نانو ذرات رس مانع از نفوذ آب به درون زمینه پلیمری می شود. برای این منظور سه مکانیزم مختلف وجود دارد: مکانیزم اول مرتبط با طبیعت آب‌گریز سطح رس می باشد که این ویژگی موجب غیرفعال‌شدن رطوبت می‌شود. مکانیزم دوم مرتبط به این ویژگی است که لایه‌های سیلیکاتی ذرات رس به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا، باعث طولانی تر و پرپیچ و خم شدن مسیر عبور مولکول‌ها در زمینهٔ پلیمری می شوند، که این امر موجب به تعویق انداختن نفوذ آب به داخل کامپوزیت می‌شود. مکانیزم سوم نیز بر این موضوع دلالت دارد که نانو ذرات رس به علت داشتن خاصیت جوانه زنی، موجب تشکیل ساختار بلوری در کامپوزیت می شوند [۱۵،۱۴،۱۳]. که این امر نیز به نوبه خود باعث کاهش روند جذب

18. Nucleating Agent.

جدول ۴. تأثیر مقدار نانو ذرات رس بر ویژگی‌های آتشگیری مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک.

نانو رس (درصد وزنی)	زمان سوختن (ثانیه)	مقدار سوختن (دقیقه/میلیمتر)	حرارت آزاد شده (مترمربع /کیلووات)	زغال باقیمانده بر سطح (درصد)
۰	۲۵	۱۹۵۰	۲/۱۸	۴/۶۶
۱	۳۸	۲۱۸۰	۲/۵۳	۴/۳۱
۲	۶۰	۲۲۳۰	۲/۷۴	۴/۲۴
۳	۷۱	۲۳۰۰	۲/۸۶	۴/۲۳

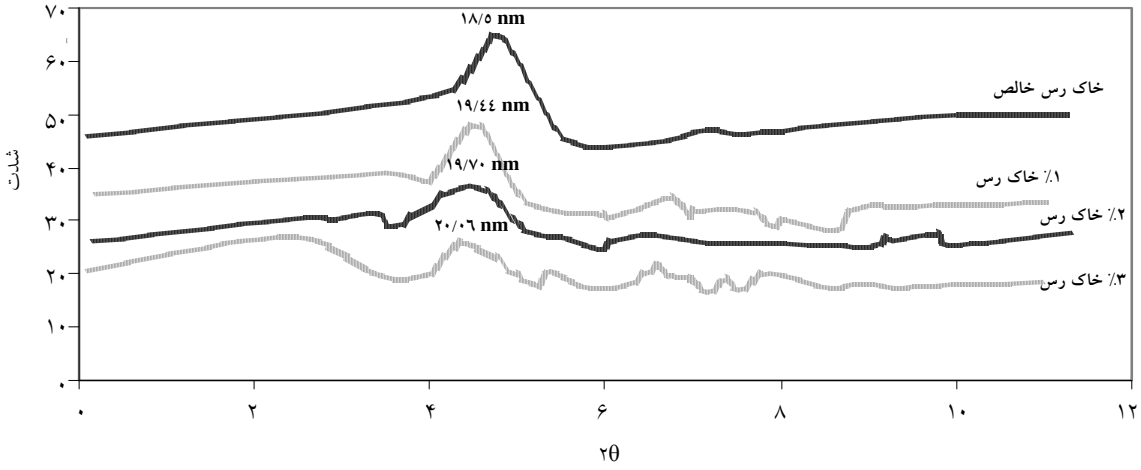
جدول ۵. تأثیر مقدار نانو ذرات رس برر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک.

نانورس (درصد وزنی)	جذب آب (درصد)	واکشیدگی ضخامت (درصد)
۰	۲/۶۳	۰/۸۳
۱	۲/۱۹	۰/۶۹
۲	۱/۹۸	۰/۶۱
۳	۱/۸۵	۰/۵۹

آب می‌شود.

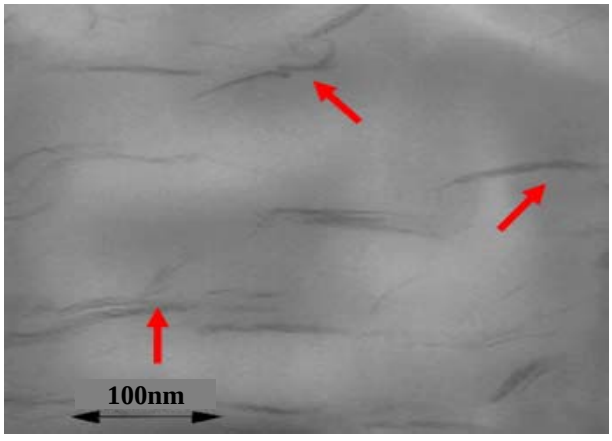
شکل ۱ پراش پرتو اشعه ایکس نانو ذرات رس را در کامپوزیت چوب-پلاستیک حاصل از پلی پروپیلن و آرد چوب نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۳٪، فاصلهٔ بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته و پیک پراش اشعه ایکس نانورس اصلاح شده کلویزیت ۳۰B در زاویهٔ $2\theta=4/76^0$ با فاصلهٔ بین لایه‌ای $d_{001}=18/5$ nm ایجاد می‌شود، که با افزایش مقدار نانورس تا ۳٪ پیک پراش اشعهٔ ایکس در نانوکامپوزیت به سمت عقب شیفت کرده که مربوط به فاصلهٔ بین لایه‌ای $d_{001}=20/06$nm است. همانطور که در شکل۱ مشاهده می‌شود نانوکامپوزیت تشکیل شده از نوع بین لایه‌ای می‌باشد، زیرا قلهٔ مربوط به ناحیهٔ بلوری نانورس کاملاً از بین نرفته و فقط به سمت عقب و 2θهای پایین‌تر کاهش یافته است. به عبارت دیگر، فاصلهٔ بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته ولی ازهم گسیختگی کامل لایه‌های رس رخ نداده است. این درحالی است که اگر ساختار نانوکامپوزیت از نوع ساختار لایه لایه‌ای باشد، به دلیل متلاشی شدن ساختار بلوری هیچ قله‌ای در منحنی باقی نخواهد ماند.

به‌منظور مشاهدهٔ ساختار نانوکامپوزیت و تأیید نتایج



شکل ۱. پراش پرتو اشعهٔ ایکس ذرات نانورس در نانوکامپوزیت چوب پلاستیک.

آزمون اشعهٔ ایکس، از تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شد. در شکل ۲، تصویر مربوط به نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک حاصل از پلی‌پروپیلن و آرد چوب حاوی ۳٪ نانورس نشان داده شده است. در این شکل، خطوط تاریک مربوط به لایه‌های نانورس و نواحی روشن نشان دهندهٔ زمینهٔ پلیمری است. همانطور که مشاهده می‌شود لایه‌های رس به‌طور کامل از یکدیگر جدا نشده‌اند و این عدم جدایش کامل لایه‌ها موجب ایجاد ساختار بین لایه‌ای در نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک شده است، که صحت این تصاویر توسط نتایج آزمون اشعهٔ ایکس نیز تأیید شد.



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک حاوی ۳٪ نانورس.

۴- نتیجه‌گیری

۱. خواص مکانیکی نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک شامل مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و ازدیاد طول با افزایش مقدار نانو ذرات رس افزایش یافته، درصورتی‌که مقاومت به ضربه فاقدار کاهش می‌یابد. خواص ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک شامل: مدول ذخیره و مدول اتلاف با افزایش مقدار نانو

ذرات رس افزایش می‌یابد.

خواص آتشگیری نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک شامل مقدار زغال باقی‌مانده و زمان سوختن با افزایش مقدار نانو ذرات رس افزایش یافته، در صورتی که مقدار سوختن، مقدار حرارت آزاد شده و مقدار کل دود تولید شده کاهش می‌یابد.

۲. خواص فیزیکی نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزایش مقدار نانو ذرات رس کاهش می‌یابد.

۳. بررسی نانوکامپوزیت چوب-پلاستیک به کمک روش پراش اشعهٔ ایکس و میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که توزیع نانو ذرات رس در زمینهٔ پلیمری از نوع ساختار بین لایه‌ای است و با افزایش مقدار نانو ذرات رس فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد.

مراجع

1. Rozman, H.D., Hazlan, A., Abubakar, A., "Preliminary Study on Mechanical Stability of Rice Husk-Glass Fiber Hybrid Polyester Composites", ***Polymer-Plastics Technology and Engineering***, Vol. 43 No. 4 (2004) 1129-1140.
2. Rowel, R.M., Sandi, A.R., Gatenholm, D.F. and Jacobson, R.E., Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problem and Opportunities in Lignocrllulosic Composites, Edited by Leao, A.L., Carvalho, F.X. and Frollini, E., University of Rio de Janiro, (1997) 23-51.
3. Tjong, S.C., "Structural and Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites", ***J. of Material Science and Engineering***, Vol. 53 No. 3-4 (2006)73-197.
4. Viswanathan, V., Laha, T., Balani, K., Agarwal, A. and Seal, S., "Challenges and Advances in Nanocomposite Processing Techniques; A Review", ***J. of Material Science and Engineering***, Vol. 54 Issues 5-6 (2006) 121–285.
5. Ray, S. and Okamoto, M., "Polymer/Layered Silicate Nanocomposites; A Review from Preparation to Pprocessing", ***J. of Program Polymer Science***, Vol. 28 Issue 11 (2003) 1539–1641.
6. Fu, J. and Naguib, H.E., "Effect of Nanoclay on the Mechanical Properties of PMMA/Clay Nanocomposites Foams", ***J. of Cellular Plastic***, Vol. 42 No. 4 (2006) 325-342.
7. Broysiak, S., Paukszta, D. and Helwig, M. "Flammability of wood-polypropylene nanocomposites", ***J. of Polymer Degardation and Stability***, Vol. 91 Issue 12 (2006) 3339-3343.
8. Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, Y. and Lian, K., "Properties of HDPE/Clay/Wood Nanocomposites", ***J. of Plastic Technology***, Vol. 27 No. 2 (2007) 108-115.
9. Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composites Products, American Society for Testing and Materials ASTM D7031, (2006).
10. The Standard for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances, Handbook of Polymer Science and Technology, Chapter 8, (2003) 199-229.
11. Khunova, V., Kelnar, I., Simon, P., Duchon, M., Turekova, I. and Balog, K., "Effect of Nanoclays on the Flame Retardancy of Polymer Nanocomposites", ***J. of Chemistry Listry***, Vol. 101 (2007) s1-s72.
12. Guo, G., Park, C.B., Lee, Y.H., Kim, Y.S. and Sain, M. "Flame Retarding Effects of Nanoclay on Wood-Fiber Composites", ***J. of Polymer Engineering Science***, Vol. 47 Issue 3 (2007) 330-336.
13. Rana, H.T., Gupta, R.K., GangaRao, H.V.S and Sridhar, L.N. "Measurement of Moisture Diffusivity through Layered-Silicate Nanocomposites", ***AIChE Journal***, Vol. 51 No. 12 (2005) 3249-3256.
14. Alexandre, B., Marais, S., Langevin, S., Médéric, P. and Aubry, T., "Nanocomposite-Based Polyamide 12/Montmorillonite: Relationships between Structures and Transport Properties", ***Desalination***, Vol. 199 Issues 1-3 (2006) 164–166.
15. Bharadwaj, R.K., Mehrabi, A.R, Hamilton, C., Trujillo, C., Murga, M., Fan, R., Chavira, A. and Thompson, A.K., "Structural Property Relationship Crosslinked Polyester Clay Nanocomposites", ***Polymer***, Vol. 43 Issue 13 (2002) 3699-3705.