

تأثیر هوازدهی بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب پلی اتیلن حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم، تثبیت کننده نوری و چوب تیمار حرارتی شده

محمد دهمرده قلعه نو^{*۱}

محمد رضا ماستری فراهانی^۲

محراب مدهوشی^۳

داود رسولی^۴

علی رضا شاکری^۵

اسماعیل قاسمی^۶

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲ دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۳ دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۴ استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۵ دانشیار گروه شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۶ استاد گروه پلیاستیک، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

mmdahmardeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

هوازدهی چندسازه چندسازه چوب پلاستیک از نگرانی‌های اصلی است. هوازدهی به علت نور فرابنفش و رطوبت باعث تخریب چندسازه چندسازه چوب پلاستیک می‌شود. در این مطالعه، تأثیر هوازدهی بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چندسازه چوب پلی اتیلن با دانسیته بالای حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم، تثبیت کننده نوری (تینوین ۳۲۸) و چوب تیمار حرارتی شده بررسی گردید. عوامل متغیر شامل میزان ماده نانو دی اکسید تیتانیوم (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد)، نوع ماده اولیه (چوب تیمار حرارتی شده و چوب بدون تیمار)، تینوین ۳۲۸ (۰ و ۱ درصد) و مدت زمان هوازدهی (۰ و ۱۵۰۰ ساعت) بودند. تأثیر هوازدهی از طریق تغییرات در خواص مکانیکی، زاویه تماس و مرفولوژی سطح چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بعد از هوازدهی مقاومت خمشی، مقاومت کششی و زاویه تماس همه نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. ترک‌های سطحی نیز بر روی نمونه‌های هوازده شده با میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد. طبق نتایج به دست آمده چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده و تینوین ۳۲۸ (تثبیت کننده نوری) کاهش کمتر خواص مکانیکی و زاویه تماس و ترک‌های سطحی کمتری را بعد از هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان دادند.

واژگان کلیدی: نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده، تینوین ۳۲۸، هوازدهی.

مقدمه

تمایل و کشش به سمت چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک به علت گسترش علاقه‌مندی به موادی با خصوصیات جدید که می‌توانند جایگزین مواد قدیمی‌تر از قبیل چوب و پلاستیک شوند در حال افزایش است [۱].

چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک مزایایی همچون ثبات ابعادی خوب و دوام در برابر قارچ‌ها و حشرات در طول سرویس‌دهی در مقایسه با چوب دارند [۲]. با این حال، این چندسازه‌ها مستعد به تخریب در برابر هوازدهی هستند [۳]. تخریب نوری

افزایش شکنندگی ماتریس پلیمر می‌شوند [۶ و ۱۴]. ترک‌های ریز تشکیل شده به دلیل واکنش‌دهی ترکیبات چوب، نفوذ عمیق‌تر اشعه فرابنفش و رطوبت را به داخل چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک آسان‌تر نموده و سایت‌های بیشتری را برای تخریب فراهم می‌آورد [۱۴]؛ بنابراین، بهبود خصوصیات ثبات نوری و آب‌گریزی چوب به منظور جلوگیری از ضعیف شدن چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک برای کاربردهای بیرون از ساختمان ضروری به نظر می‌رسد. تیمار حرارتی قادر است چوب را برای استفاده در محیط‌های بیرون با کاهش خصوصیت هیگروسکوپیک آن مناسب سازد که این امکان، به علت اصلاحاتی است که در ترکیبات شیمیایی چوب تحت تأثیر درجه حرارت‌های بالا اتفاق می‌افتد [۱۵]. همچنین چوب تیمار حرارتی شده بعد از قرارگیری در معرض هوازدهی، ترک‌های سطحی کمتر، واکنش‌دهی حجمی کمتر و خواص فیزیکی بهتر را نسبت به نمونه‌های بدون تیمار حرارتی از خود نشان داده است [۱۶]. با توجه به موارد ذکر شده امکان بهبود خواص مقاومتی چندسازه‌های چندسازه چوب پلاستیک در برابر هوازدهی با استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده و تثبیت‌کننده نوری تینوین ۳۲۸ وجود دارد. از طرف دیگر با توجه به اطلاعات مقاومت به هوازدهی چندسازه‌های چندسازه چوب پلاستیکی که در آن از نانو دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شده باشد، بررسی نشده است. مقاومت به هوازدهی چندسازه چوب پلاستیکی که در آن از چوب تیمار حرارتی شده استفاده شده باشد، نیز بررسی نشده است؛ بنابراین هدف از کار ما بررسی اثرات نانو دی‌اکسید تیتانیوم، تثبیت‌کننده نوری و تیمار حرارتی چوب بر روی مقاومت به هوازدهی چندسازه چوب-پلی اتیلن با دانسیته بالا بوده است.

مواد و روش‌ها

پلیمر مورد استفاده در این مطالعه پلی اتیلن با دانسیته بالا با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم در ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۵۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب محصول شرکت پتروشیمی جم بود. تینوین ۳۲۸ از شرکت سیگما آلد ریچ کشور آمریکا، نانو دی‌اکسید تیتانیوم نوع روتایل از شرکت

چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک ترکیبی از تخریب ماتریس ترموپلاستیک و ترکیبات چوب است. ترکیبات چوب یعنی سلولز، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی در محیط بیرون از ساختمان تحت تخریب فوتوشیمیایی ناشی از نور فرابنفش قرار می‌گیرند. این تخریب ابتدا در لیگنین اتفاق می‌افتد که دلیلی برای تغییرات رنگ و علت زبرتر و آب‌دوست تر شدن سطوح چوب است. از کل مقدار اشعه فرابنفش جذب شده به وسیله چوب، لیگنین ۸۰ تا ۹۵ درصد را جذب می‌کند [۴]. پلیمرها نیز مانند چوب مستعد به هوازدهی تحت تأثیر اشعه فرابنفش و اکسایش هستند. تخریب نوری پلی اولفین‌ها عمدتاً به وجود کروموفورها و گروه‌های عاملی که به سادگی نور را جذب کرده و شامل بقایای کاتالیزورها، گروه‌های هیدروپروکسید، گروه‌های کربونیل و پیوندهای دوگانه می‌باشند، مربوط است [۵].

مطالعات نشان داده است که استفاده از جاذب‌های نوری می‌تواند به افزایش مقاومت به هوازدهی چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک کمک کند [۶ و ۷]. تینوین ۳۲۸ از جمله تثبیت‌کننده‌های نوری است که می‌تواند باعث بهبود مقاومت به هوازدهی چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک شود [۸]. در میان بیشتر مواد مورد استفاده در ساخت نانو کامپوزیت‌ها، نانو دی‌اکسید تیتانیوم به علت غیر سمی بودن، خنثی بودن از لحاظ شیمیایی، مقاومت به خوردگی، داشتن شاخص انکساری بالا، داشتن ظرفیت فیلتراسیون اشعه فرابنفش و سختی بالا به طور فزاینده‌ای در حال بررسی هستند [۹]. نانو دی‌اکسید تیتانیوم جذب‌کننده اشعه فرابنفش بوده [۹ و ۱۰] و خاصیت ضد قارچی و ضد باکتریایی دارد [۱۱]. نتایج مطالعات همچنین نشان داده است که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم قابلیت کاربرد به عنوان یک ماده حفاظتی در چوب را نیز دارا می‌باشند [۱۱ و ۱۲].

علاوه بر این چندسازه‌های چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده معمولاً مقاومت به جذب آب ضعیفی از خود نشان می‌دهند که علت آن به خصوصیات ذاتی فیزیکی-شیمیایی چوب مربوط است [۱۳]. حضور مولکول‌های آب، واکنش‌های اکسیداسیون را تسریع بخشیده و باعث

درآمده و سپس با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شدند. در مرحله بعد آرد چوب، الک شده و ذرات با اندازه ۶۰-۴۰ مش برای ساخت نمونه‌ها جداسازی شدند. پس از آن آرد چوب مش بندی شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و برای ساخت نمونه‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. برای ساخت نمونه‌ها با شرایط ساخت ذکر شده در جدول ۱، از دستگاه مخلوط‌کن داخلی HAAKE و پرس آزمایشگاهی متعلق به پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده گردید. فرآیند اختلاط مواد در دستگاه مخلوط‌کن داخلی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه انجام شد. پرس گرم نیز در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و فشار ۲۰ مگا پاسکال انجام گرفت.

US Research Nanomaterials کشور آمریکا، ترموود گونه کاج (*Pinus sylvestris*) از شرکت لوناوود فنلاند و گرده‌بینه کاج (*Pinus sylvestris*) بدون تیمار از شهرستان گرگان تهیه گردیدند. عوامل متغیر مورد مطالعه شامل میزان ماده نانو دی‌اکسید تیتانیوم در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد وزن کل مواد تشکیل‌دهنده چندسازه چوب پلاستیک، تینوین ۳۲۸ در دو سطح ۰ و ۱ درصد وزن کل مواد تشکیل‌دهنده چندسازه چوب پلاستیک، نوع ماده اولیه در دو سطح چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) و چوب بدون تیمار حرارتی (۵۰ درصد وزن کل مواد تشکیل‌دهنده چندسازه چوب پلاستیک) و مدت زمان هوازگی در دو سطح ۰ و ۱۵۰۰ ساعت می‌باشند. چوب‌ها ابتدا به وسیله دستگاه کف رند به صورت پوشال

جدول ۱- نسبت اجزای سازنده کامپوزیت‌ها (درصد وزنی)

کد نمونه	چوب بدون تیمار (%)	ترموود (%)	تینوین ۳۲۸ (%)	ماده نانو (%)	پلی اتیلن (%)
C	۵۰	-	-	-	۵۰
W/N1	۵۰	-	-	۱	۴۹
W/N2	۵۰	-	-	۲	۴۸
W/N3	۵۰	-	-	۳	۴۷
W/T	۵۰	-	۱	-	۴۹
W/T/N1	۵۰	-	۱	۱	۴۸
W/T/N2	۵۰	-	۱	۲	۴۷
W/T/N3	۵۰	-	۱	۳	۴۶
TW	-	۵۰	-	-	۵۰
TW/N1	-	۵۰	-	۱	۴۹
TW/N2	-	۵۰	-	۲	۴۸
TW/N3	-	۵۰	-	۳	۴۷
TW/T	-	۵۰	۱	-	۴۹
TW/T/N1	-	۵۰	۱	۱	۴۸
TW/T/N2	-	۵۰	۱	۲	۴۷
TW/T/N3	-	۵۰	۱	۳	۴۶

آب مقطر در سطح نمونه‌ها در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. آزمون مقاومت کششی نمونه‌ها مطابق با استاندارد ۳-۰۳ - ASTM D ۶۳۸ [۱۸] با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه و آزمون خمش سه نقطه‌ای مطابق با استاندارد ۱۰-۱ - ASTM D ۷۹۰ [۱۹] با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه توسط دستگاه HOUNS مدل H-25-KS دانشگاه زابل انجام گرفت. میزان نگهداری مقاومت مکانیکی (مقاومت خمشی و

آزمون هوازگی به وسیله دستگاه QUV Accelerated Weathering Tester پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران مطابق استاندارد ASTM G154-06 [۱۷] (۴ ساعت تحت تابش UV ۳۱۳ در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و ۴ ساعت در رطوبت نسبی ۱۰۰٪ و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد) به مدت ۱۵۰۰ ساعت انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری زاویه تماس نمونه‌ها از دستگاه زاویه‌سنج مدل kruss G10 و روش قطره گذاری محلول

مقاومت کششی) نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در معرض هوازدهی مصنوعی از رابطه زیر به دست آمد:

$$100 \times (\text{مقاومت مکانیکی قبل از هوازدهی} / \text{مقاومت مکانیکی بعد از هوازدهی}) = \text{میزان نگهداری مقاومت مکانیکی [۲۰]}$$

معنی‌دار بین آن‌ها از آزمون دانکن استفاده می‌گردد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر خواص مکانیکی و زاویه تماس نمونه‌ها در جدول ۲، ارائه شده است. مشاهده می‌شود تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم، ترموود و تینوین ۳۲۸ بر روی مقاومت خمشی و مقاومت کششی نمونه‌ها در طی دوره هوازدهی در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است.

ویژگی‌های سطح نمونه‌ها قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدهی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه تصاویر الکترونی، ابتدا سطح نمونه‌ها به وسیله طلا پوشش داده شد. سپس تصاویر توسط دستگاه SEM شرکت TESCAN مدل VEGA در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه گردیدند.

تجزیه و تحلیل نتایج و بررسی اثر مستقل و متقابل فاکتورها در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی صورت پذیرفت. به منظور مقایسه میانگین‌ها در صورت اختلاف

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر خواص مکانیکی و زاویه تماس نمونه‌ها

محاسباتی F			منابع تغییر
زاویه تماس	مقاومت کششی	مقاومت خمشی	
۶/۵۱۹*	۱۱۴/۱۴۰*	۱۹۳/۸۷۸*	هوازدهی
۱۲/۸۴۹*	۲۷/۲۵۰*	۳۳/۴۹۵*	نانو
۹۴۴/۷۹۰*	۴۲/۴۳۹*	۵۹/۳۸۶*	ماده اولیه
۸/۱۳۰*	۱۲/۵۷۵*	۱۶/۲۱۳*	تینوین
۲۶/۱۷۹*	۴/۴۸۶*	۴/۹۷۸*	هوازدهی × نانو
۳۰/۱۹۲*	۸/۸۸۸*	۱۱/۱۵۴*	هوازدهی × ماده اولیه
۱۷۷/۸۹۳*	۶/۹۸۰*	۱۴/۵۸۹*	هوازدهی × تینوین
۱/۲۶ ^{NS}	۲/۲۴۴ ^{NS}	۱/۱۴۳ ^{NS}	نانو × ماده اولیه
۱/۷۰۵ ^{NS}	۰/۳۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	نانو × تینوین
۰/۱۲۴ ^{NS}	۱/۵۴۷ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	ماده اولیه × تینوین
۰/۰۳۹ ^{NS}	۰/۱۸۶ ^{NS}	۰/۰۰۸ ^{NS}	هوازدهی × نانو × ماده اولیه
۰/۱۳۳ ^{NS}	۰/۳۲۱ ^{NS}	۰/۳۴۱ ^{NS}	هوازدهی × نانو × تینوین
۲/۰۳۶ ^{NS}	۰/۲۷۵ ^{NS}	۰/۳۴۸ ^{NS}	هوازدهی × ماده اولیه × تینوین
۱/۵۱۸ ^{NS}	۰/۰۸۳ ^{NS}	۰/۰۳۱ ^{NS}	نانو × ماده اولیه × تینوین
۰/۲۰۶ ^{NS}	۰/۱۷۱ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	هوازدهی × نانو × ماده اولیه × تینوین

* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ^{NS} غیر معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

مختلف تیمار متفاوت است. بیشترین کاهش مقاومت خمشی و مقاومت کششی برای نمونه C (نمونه بدون نانو، ترموود و تینوین) اتفاق افتاده است. کاهش خواص مکانیکی بعد از هوازدهی می‌تواند به علت اکسیداسیون سطح چندسازه‌های چوب پلاستیک و تخریب سطح مشترک اتصال الیاف چوب با پلی اتیلن به علت جذب رطوبت باشد [۲۱]. کاهش در وزن مولکولی (برش زنجیر)

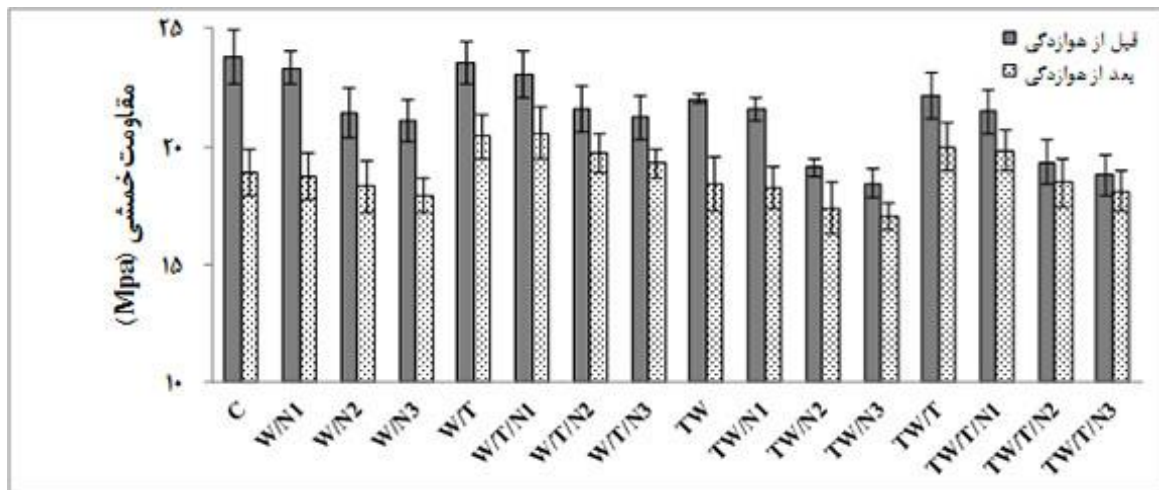
مقدار مقاومت خمشی و مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده تحت شرایط مختلف تیمار قبل و بعد از قرارگیری در معرض هوازدهی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقاومت خمشی و مقاومت کششی همه نمونه‌ها بعد از هوازدهی کاهش پیدا کرده است. این میزان کاهش در بین چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده در شرایط

در جلوگیری از هوازگی چندسازه‌های پلیمر PVC داشته و از برش زنجیره پلیمری در طی هوازگی کاسته‌اند. در این تحقیق عنوان شده است که TiO_2 به‌عنوان یک جذب‌کننده عالی نور فرابنفش عمل می‌کند [۲۵]. قابل‌ذکر است که استفاده از ۲ و ۳ درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم در ساخت چندسازه‌ها باعث کاهش معنی‌دار خواص مکانیکی شده است که علت آن می‌تواند به کلوخه شدن و خوب پراکنده نشدن ذرات نانو دی‌اکسید تیتانیوم در چندسازه‌ها مربوط باشد که با تمرکز تنش در ناحیه کلوخه شده باعث افت خواص مکانیکی شده است. مطالعات نشان داده است که استفاده از ذرات نانو در مقدار بالا به علت کلوخه شدن باعث افت خواص مکانیکی چندسازه‌ها می‌شوند [۹].

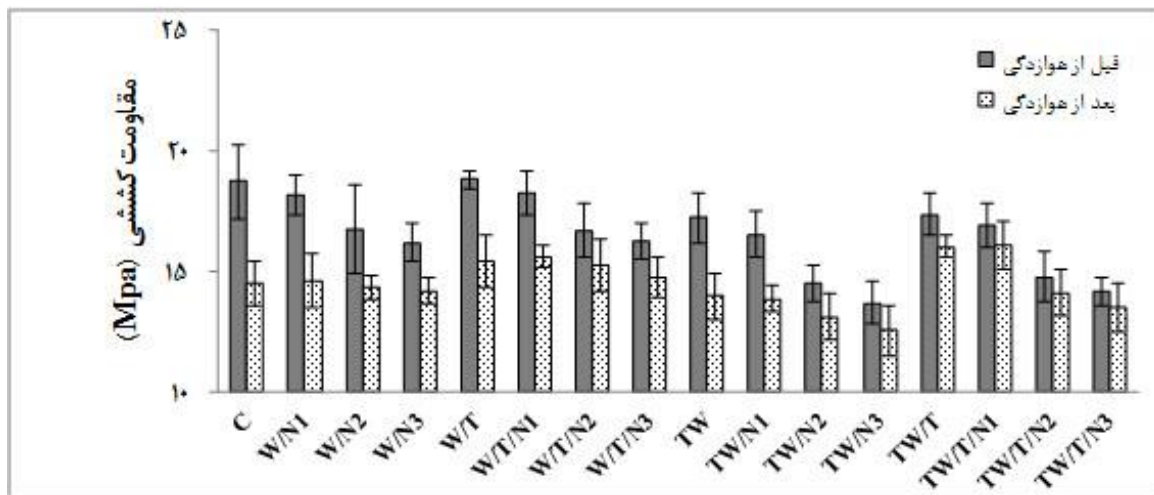
نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ماده تینوین ۳۲۸ نیز نقش مؤثری در جلوگیری از افت خواص مکانیکی نمونه‌ها بعد از هوازگی نسبت به نمونه شاهد داشته است. نمونه‌های دارای تینوین ۳۲۸ بعد از قرارگیری در معرض هوازگی کاهش کمتری در مقاومت‌های خمشی و کششی نسبت به نمونه شاهد تجربه کرده‌اند (شکل‌های ۱ و ۲). در جداول ۳ و ۴، تفاوت بین میزان نگهداری مقاومت‌های خمشی و کششی این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد بعد از طی هوازگی خلاصه شده است. علت افزایش میزان نگهداری مقاومت‌های مکانیکی این نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد این است که تینوین ۳۲۸ به‌عنوان یک ماده جاذب نور فرابنفش عمل کرده و نقشی مهم در ثبات نمونه‌ها در برابر تخریب نوری داشته است. Ping و همکاران (۲۰۱۲) عنوان نمودند که بعد از اضافه نمودن جاذب نور فرابنفش چندسازه‌های چوب پلاستیک توانایی بهتر در جلوگیری از کاهش خواص مکانیکی بعد از هوازگی از خود نشان داده‌اند [۲۶]. Li و همکاران (۲۰۱۴) نیز بر این باورند که جاذب نور فرابنفش (تینوین ۳۲۶) یک ماده مؤثر در جلوگیری از تخریب نوری چندسازه‌های چوب پلاستیک در طی دوره هوازگی بوده است [۲۷].

پلی‌اتیلن در اثر تابش اشعه فرابنفش منجر به زنجیره‌های پلیمری کوتاه‌تر و متعاقب آن کاهش خواص مکانیکی شده است [۲۲]. تخریب نوری الیاف چوب مربوط به تخریب ترکیبات آن شامل سلولز، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی است [۷]. علاوه بر تخریب نوری، رطوبت نیز به‌طور منفی بر خصوصیات چندسازه‌های چوب پلاستیک تأثیر می‌گذارد. رطوبت اکسیداسیون نوری را تسریع کرده و باعث افزایش تخریب نوری می‌شود [۲۳]. علاوه بر این، رطوبت باعث واکنش الیاف چوب و ایجاد ترک در سطح نمونه‌ها می‌شود. ترک‌های ریز تشکیل شده در اثر تابش اشعه فرابنفش و رطوبت بر سطح چندسازه‌های چوب پلاستیک، انتقال مؤثر تنش از پلیمر به الیاف چوب را محدود کرده و باعث کاهش خواص مکانیکی شده است [۲۴]. میزان تخریب سطحی چندسازه‌های چوب پلاستیک بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازگی را می‌توانیم در شکل ۳، مشاهده نماییم.

میزان نگهداری مقاومت خمشی و مقاومت کششی نمونه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازگی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. در نمونه شاهد (نمونه C) میزان نگهداری مقاومت خمشی و مقاومت کششی از همه نمونه‌های آزمونی کمتر و به ترتیب ۷۹/۴۶٪ و ۷۷/۲۶٪ بوده است. در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم تأثیر قابل‌توجهی در جلوگیری از کاهش مقاومت‌های مکانیکی نسبت به نمونه شاهد داشته است. در جداول ۳ و ۴ نیز مشاهده می‌شود که میزان نگهداری مقاومت‌های خمشی و کششی نمونه‌های دارای نانو دی‌اکسید تیتانیوم بعد از هوازگی بیشتر از نمونه شاهد (نمونه C) است. در تحقیقات مختلف از نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان یک ماده جذب‌کننده نور فرابنفش نام برده شده است [۹ و ۱۰]. نانو دی‌اکسید تیتانیوم با جذب اشعه فرابنفش از شدت اشعه فرابنفش موردنیاز برای اکسیداسیون نمونه‌ها کاسته و تأثیر مثبت در جلوگیری از کاهش خواص مکانیکی نمونه‌ها بعد از هوازگی نسبت به نمونه شاهد داشته است. Yang و همکاران (۲۰۱۴) عنوان نمودند که ذرات TiO_2 تأثیر مثبت



شکل ۱- مقاومت خمشی نمونه‌ها تحت شرایط مختلف تیمار



شکل ۲- مقاومت کششی نمونه‌ها تحت شرایط مختلف تیمار

اصلاح شده لیگنین در چوب تیمار حرارتی شده می‌تواند تا حدودی از واکنش‌های رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در اثر تابش اشعه فرابنفش و تشکیل محصولات تخریب شده با وزن مولکولی پایین از قبیل کینون‌ها جلوگیری کند [۳۰]. جذب رطوبت نیز که باعث کاهش خواص مقاومتی چندسازه‌های چوب پلاستیک می‌شود مقدار آن در نمونه‌های دارای ترموود کم شده است. درصد رطوبت پایین‌تر چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) که مربوط به کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل است از شسته شدن محصولات تخریب شده طی هوازدهی جلوگیری کرده است [۳۱]؛ بنابراین استفاده از ترموود باعث افزایش میزان نگهداری مقاومت‌های مکانیکی نمونه‌ها بعد از فرارگیری در معرض هوازدهی نسبت به نمونه شاهد شده است. Segerholm و همکاران (۲۰۱۲) عنوان نمودند که

استفاده از ترموود نیز به‌عنوان ماده اولیه در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک نقش مثبت در ثبات نوری نمونه‌ها داشته و از افت مقاومت‌های مکانیکی آن‌ها بعد از هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد کاسته است (شکل‌های ۱ و ۲). اشعه فرابنفش و رطوبت دو فاکتور مهم در هوازدهی هستند. گزارش شده است که تیمار حرارتی، چوب را نسبت به تأثیرات تخریب در شرایط محیط بیرون نسبت به نمونه‌های بدون تیمار حرارتی مقاوم‌تر کرده است [۲۸]. یکی از علل این‌که در مطالعه اخیر میزان نگهداری مقاومت‌های خمشی و کششی در نمونه‌های دارای ترموود بعد از هوازدهی در مقایسه با نمونه‌های بدون ترموود بیشتر بوده است (جدول ۳ و ۴) این است که حضور آنتی‌اکسیدان در لیگنین بعد از تیمار حرارتی از تخریب ناشی از اشعه فرابنفش جلوگیری کرده است [۲۹]. ساختار

انجام شده است کمتر بوده است [۳۲]. در شکل ۳ه، مشاهده می‌شود میزان ترک‌های سطحی در چندسازه دارای ترموود در مقایسه با نمونه شاهد بعد از هوازدگی کمتر بوده است. Fang و همکاران نیز گزارش نمودند که تیمار حرارتی الیاف بامبو، خواص مقاومتی چندسازه‌های ساخته‌شده از آن‌ها را در برابر اشعه فرابنفش افزایش داده و خصوصیات جذب آب و ثبات ابعادی آن‌ها را نیز بهبود بخشیده است [۳۳].

چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته‌شده با آرد اصلاح حرارتی شده و آرد استیله شده بعد از قرار گرفتن در شرایط رطوبت نسبی ۹۰ درصد و دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ ماه، ترک‌های سطحی کمتری از خود نشان دادند. آن‌ها بر این باورند که ترک‌های ریز سطحی مربوط به جابجایی ترکیبات چوب تحت تأثیر رطوبت است که در نمونه‌های اصلاح حرارتی و نمونه‌های استیله شده این جابجایی مواد تحت تأثیر رطوبت به‌واسطه اصلاحی که

جدول ۳- میزان نگهداری مقاومت خمشی نمونه‌ها بعد از هوازدگی (درصد)

میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه
۹۰/۱۶	M	۸۳/۵۲	I	۸۶/۶۷	E	۷۹/۴۶	A
۹۲/۲۲	N	۸۴/۵۶	J	۸۹/۲۷	F	۸۰/۲۱	B
۹۵/۴۴	O	۹۰/۹۴	K	۹۱/۳۳	G	۸۵/۲۲	C
۹۶/۴۸	P	۹۲/۲۹	L	۹۰/۸۶	H	۸۴/۸۴	D

جدول ۴- میزان نگهداری مقاومت کششی نمونه‌ها بعد از هوازدگی (درصد)

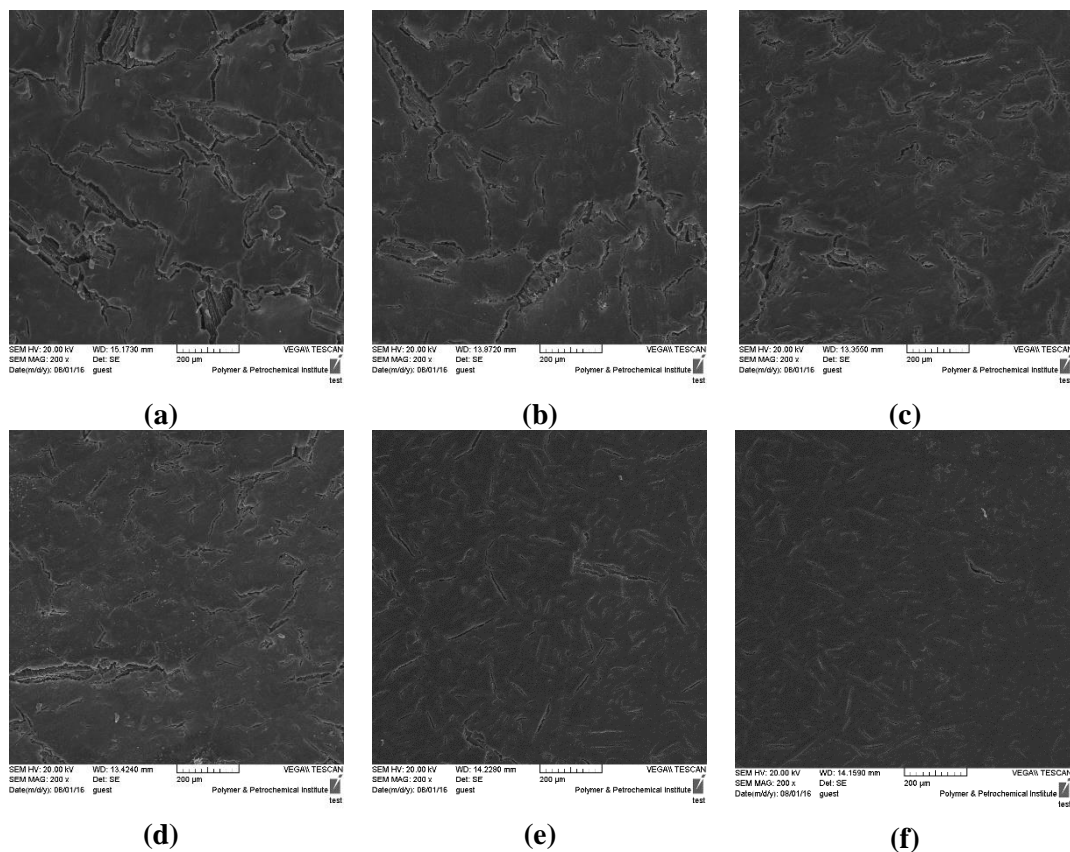
میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه	میزان نگهداری	کد نمونه
۹۲/۱۱	M	۸۱/۱۲	I	۸۱/۹۷	E	۷۷/۲۶	A
۹۵/۰۹	N	۸۳/۹۶	J	۸۵/۵۵	F	۸۰/۳۹	B
۹۵/۷۳	O	۹۰/۴۷	K	۹۱/۵۵	G	۸۵/۴۵	C
۹۵/۱۲	P	۹۱/۵۳	L	۹۰/۶۴	H	۸۷/۷۷	D

جدول ۵- میانگین زاویه تماس (درجه) نمونه‌ها تحت شرایط مختلف تیمار

کد نمونه	چوب بدون تیمار (%)	ترموود (%)	تینوین (%)	ماده نانو (%)	پلی اتیلن با دانسیته بالا (%)	زمان هوازدگی (ساعت)		
						۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
A	۵۰	-	-	-	۵۰	۴۷/۴۹	۵۰/۹۶	۵۷/۲۰
B	۵۰	-	-	۱	۴۹	۴۸/۹۸	۵۲/۱۸	۵۷/۹۱
C	۵۰	-	-	۲	۴۸	۵۱/۱۶	۵۳/۳۴	۵۸/۴۵
D	۵۰	-	-	۳	۴۷	۵۰/۹۴	۵۳/۲۳	۵۸/۵۳
E	۵۰	-	۱	-	۴۹	۸۶/۰۵	۶۵/۹۳	۶۷/۹۵
F	۵۰	-	۱	۱	۴۸	۸۵/۹۶	۶۶/۳۸	۶۸/۰۴
G	۵۰	-	۱	۲	۴۷	۸۳/۳۰	۶۷/۹۵	۶۹/۴۳
H	۵۰	-	۱	۳	۴۶	۸۳/۱۹	۶۷/۳۹	۶۸/۷۶
I	-	۵۰	-	-	۵۰	۸۱/۲۰	۵۵/۷۳	۶۰/۰۵
J	-	۵۰	-	۱	۴۹	۸۱/۶۷	۵۶/۸۹	۶۰/۳۰
K	-	۵۰	-	۲	۴۸	۷۹/۲۴	۵۸/۹۰	۶۱/۵۹
L	-	۵۰	-	۳	۴۷	۷۸/۵۲	۵۶/۲۱	۶۰/۵۵
M	-	۵۰	۱	-	۴۹	۸۸/۵۳	۷۰/۲۵	۷۱/۵۹
N	-	۵۰	۱	۱	۴۸	۸۹/۰۸	۷۱/۴۰	۷۲/۴۸
O	-	۵۰	۱	۲	۴۷	۸۵/۹۱	۷۰/۳۳	۷۲/۵۲
P	-	۵۰	۱	۳	۴۶	۸۵/۱۱	۷۱/۴۶	۷۲/۳۶

دیگر بیشتر است که تخریب بیشتر اجزای سازنده نمونه مذکور را نشان می‌دهد. استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم، تینوین ۳۲۸ و ترموود باعث شد زاویه تماس نمونه‌ها بعد از هوازُدگی کاهش کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشته باشند. نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تینوین ۳۲۸ به‌عنوان مواد جاذب نور اشعه فرابنفش و ترموود نیز به علت اصلاحاتی که در ترکیبات آن طی تیمار حرارتی انجام شده است همان‌طور که در بخش خواص مکانیکی عنوان شد از شدت تخریب نمونه‌های در طی هوازُدگی کاسته و باعث شده است ترک‌های کمتری در سطح نمونه‌ها ایجاد شود، بنابراین این مواد از کاهش مقدار زاویه تماس نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد بعد از هوازُدگی کاسته‌اند.

زاویه تماس نمونه‌های ساخته‌شده تحت شرایط مختلف تیمار در جدول ۵، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زاویه تماس کلیه نمونه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازُدگی کاهش یافته است. این پدیده نشان می‌دهد که سطح چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته‌شده بعد از هوازُدگی آب‌دوست تر شده است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Spiridon و همکاران (۲۰۱۵) [۳۴] و Li و همکاران (۲۰۱۴) [۲۷] همخوانی دارد. کاهش زاویه تماس نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در معرض هوازُدگی به علت تغییرات شیمیایی سطح و افزایش غلظت گروه‌های آب‌دوست است [۳۵]. ترک‌های ایجادشده در سطح نیز در کاهش زاویه تماس نمونه‌ها نقش دارند [۳۵]. مقدار کاهش زاویه تماس بعد از هوازُدگی در نمونه C (نمونه شاهد) نسبت به نمونه‌های



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از سطح چندسازه‌ها بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازُدگی: (a) نمونه شاهد، (b) ۱٪ نانو، (c) ۲٪ نانو، (d) ۳٪ نانو، (e) ترموود، (f) تینوین ۳۲۸

داشته است (جدول ۵). علت این افزایش احتمالاً این است که ترکیبات تخریب‌شده و آب‌دوست چوب از سطح

نتایج به‌دست‌آمده همچنین نشان می‌دهند که زاویه تماس نمونه‌ها از ۵۰۰ ساعت هوازُدگی به بعد افزایش

کمتر و بهبود خصوصیات مقاومتی آن در برابر تخریب نوری باعث شده است در طی هوازگی ترک‌های سطحی کمتری در آن‌ها ایجاد شود.

نتیجه‌گیری

در مطالعه اخیر، اثرات نانو دی‌اکسید تیتانیوم، تثبیت‌کننده نوری (تینوین ۳۲۸) و تیمار حرارتی چوب بر روی مقاومت به هوازگی چندسازه چوب- پلی‌اتیلن با دانسیته بالا بررسی گردید. نتایج نشان داد که نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تینوین ۳۲۸ با جذب اشعه فرابنفش از شدت اکسیداسیون و تخریب نمونه‌ها تحت تأثیر اشعه فرابنفش کاسته و تأثیر مثبت در جلوگیری از کاهش خواص مکانیکی و همچنین کاهش زاویه تماس نمونه‌ها بعد از هوازگی نسبت به نمونه شاهد داشته است. میزان ترک‌های سطحی را نیز در مقایسه با نمونه شاهد کاهش داده‌اند. استفاده از ترموود نیز در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک به واسطه جذب رطوبت کمتر و بهبود خصوصیات مقاومتی آن در برابر تخریب نوری باعث شده است از افت خواص مکانیکی و زاویه تماس و ایجاد ترک‌های سطحی بعد از هوازگی کاسته شود.

چندسازه‌های چوب پلاستیک به واسطه رطوبت شسته شده و سطح غنی از پلیمر (آبگریزتر) باقی‌مانده است که این پدیده موجب افزایش زاویه تماس نمونه‌ها شده است. این نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات محققین دیگر نیز همسویی دارد [۲۷ و ۳۶].

برای مشخص شدن میزان تخریب سطح چندسازه‌ها بعد از هوازگی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) در شکل ۳، ارائه شده است. مشاهده می‌شود که بعد از هوازگی ترک‌هایی بر روی سطح نمونه‌ها به وجود آمده است. ترک‌های ایجاد شده در سطح نمونه‌ها می‌تواند به برش زنجیر پلیمر و سیکل جذب و دفع رطوبت بین سطح و بخش‌های داخلی چندسازه‌ها در طی دوره هوازگی مربوط باشد [۳۷]. با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که میزان ترک‌ها در نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های دیگر بعد از قرار گرفتن در معرض هوازگی بیشتر بوده است. استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌ویژه ۲ و ۳ درصد و تینوین ۳۲۸ به واسطه جذب اشعه فرابنفش از تخریب نوری چندسازه‌ها در طی هوازگی در مقایسه با نمونه شاهد کاسته‌اند و ترک‌های سطحی کمتری در سطح آن‌ها مشاهده می‌شود. استفاده از ترموود نیز در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک به واسطه جذب رطوبت

منابع

- [1] Turku, I. and Karki, T., 2014. Research progress in wood-plastic nanocomposites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(2):180-204.
- [2] Kamdem, P.D., Jiang, H., Cui, W., Freed, J. and Matuana, L.M., 2004. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3):347-355.
- [3] Teaca, C., Rosu, D., Bodirlau, R. and Rosu, L., 2013. Structural changes in wood under artificial irradiation determined by FTIR spectroscopy and color measurement. *BioResource*, 8(1):1478-1507.
- [4] Defosse, M., 2003. Wood composites are expanding among sectors. *Modern Plastics*, 80(1):25-30.
- [5] Gugnumus, F., 1990. *Light stabilizers, plastics additives handbook*, Hanser Publishers, New York, 3:129-262.
- [6] Kord, B. and Kord, B., 2016. Influence of type and content of chemical foaming agent on the dynamic mechanical properties of high density polyethylene-flax fiber composites. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 7(2):179-191. (In Persian).
- [7] Muasher, M. and Sain, M., 2006. The efficacy of photostabilizers on the color change of wood filled plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(5):1156-1165.

- [8] Rasouli, D., Faezipour, M., Masteri Farahani, M.R. and Tajvidi, M., 2013. The effect of zinc borate and additives on weathering performance of wood-high density polyethylene composite. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(2):41-58.
- [9] Deka, K.P. and Maji, T.K. 2011. Effect of TiO₂ and nanoclay on the properties of wood polymer nanocomposite. *Composites*, 42:2117-2125.
- [10] Hayle, S.T. and Gonfa. G.G, 2014. Synthesis and characterization of titanium oxide nanomaterials using sol-gel method. *American Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2(1):1-7.
- [11] Filpo, G.D., Palermo, A.M. and Rachiele, F., 2013. Preventing fungal growth in wood by titanium dioxide nanoparticles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85:217-222.
- [12] Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Boluk, Y. and Pichette, A., 2012. Study of the degradation behavior of heat-treated jack pine (*Pinus banksiana*) under artificial sunlight irradiation. *Polymer Degradation Stability*, 97:1197-1214.
- [13] Ismaeilimoghadam, S., Masoudifar, M., Shamsian. M., Nosrati, B., 2016. The effect of chemical treatment of wood flour on some of properties of wood plastic composite. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 7(3):449-462. (In Persian).
- [14] Stark, N.M., 2006. Effect of weathering cycle and manufacturing method on performance of wood flour and high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(4):3131-3140.
- [15] Olarescu, M.C., Campean, M., Ispas, M. and Cosereanu, C., 2014. Effect of thermal treatment on some properties of lime wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72:559-562.
- [16] Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Boluk, Y. and Pichette, A., 2012. Study of the degradation behavior of heat-treated jack pine (*Pinus banksiana*) under artificial sunlight irradiation. *Polymer Degradation Stability*, 97:1197-1214.
- [17] Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, ASTM G154 -06, 2006.
- [18] Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. American Society for Testing and Materials, D 638-03, 2004.
- [19] Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. American Society for Testing and Materials, D 790-10, 2010.
- [20] Hung, K.C., Chen, Y.L. and Wu, J.H., 2012. Natural weathering properties of acetylated bamboo plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 97:1680-1685.
- [21] Stark, N.M., Matuana, L.M. and Clemons, C.M., 2004. Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3):1021-1030.
- [22] Fabiyi, J.S., McDonald, A.G. and McIlroy, D., 2009. Wood modification effects on weathering of HDPE-based wood plastic composites. *Journal of Polymer Environment*, 17:34-48.
- [23] Stark, N.M., 2007. Considerations in the weathering of wood-plastic composites. In: *Proceedings, 3rd wood fibre polymer composites international symposium, Bordeaux, FRANCE; March 26-27.*
- [24] Homkhiew, C., Ratanawilai, T. and Thongruang, W., 2014. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced with rubberwood flour. *Industrial Crops and Products*, 56:52-59.

- [25] Yang, T.C., Noguchi, T., Isshiki, M. and Wu, J.H., 2014. Effect of titanium dioxide on chemical and molecular changes in PVC sidings during QUV accelerated weathering. *Polymer Degradation and Stability*, 104:33-39.
- [26] Ping, X, Mingyin, J., Kejian, W., Yun D. and Linna, W., 2012. Effect of photostabilization on surface color and mechanical property of wood-flour/HDPE composites after weathering. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater, Science Education*, 27(4):621-627.
- [27] Li, H., Zhang, Z., Song, K., Lee, S., Chun, S.J., Zhou, D. and WU, Q., 2014. Effect of durability treatment on ultraviolet resistance, strength, and surface wettability of wood plastic composite. *BioResources*, 9(2):3591-3601.
- [28] Yildiz, S., Yildiz, U. and Tomak, E.D., 2011. The effects of natural weathering on the properties of heat treated alder wood. *BioResources*, 6(3):2504-2521.
- [29] Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B. and Merlin, A., 2003. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61:221-226.
- [30] Nuopponen, M., Wikberg, H., Vuorinen, T., Maunu, S.L., Jamsa, S. and Viitaniemi, P., 2004. Heat treated softwood exposed to weathering. *Journal of Applied Polymer Science*, 91:2128-2134.
- [31] Kocaeffe, D., Poncsak, S. and Boluk, Y., 2008. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. *BioResources*. 3(2):517-537.
- [32] Segerholm, B.K., Ibach, R.E. and Westin, M., 2012. Moisture sorption, biological durability and mechanical performance of WPC containing modified wood and polylactates. *BioResources*, 7(4):4575-4585.
- [33] Fang, H., Wu, Q., Hu, Y., Wang, Y. and Yan, X., 2013. Effects of thermal treatment on durability of short bamboo-fibers and its reinforced composites. *Fibers and Polymers*, 14(3):436-440.
- [34] Spiridon, I., Leluk, K., Resmerita, A.R. and Darie, R.N., 2015. Evaluation of PLA-lignin bioplastics properties before and after accelerated weathering. *Composites*, 69:342-349.
- [35] Matuana, L.M. and Kamdem, D.P., 2002. Accelerated ultra violet weathering of PVC/wood flour composites. *Polymer Engineering and Science*, 42(8):1657-1666.
- [36] Stark, N.M. and Matuana, L.M., 2007. Characterization of weathered wood-plastic composite surfaces using FTIR spectroscopy, contact angle, and XPS. *Polymer Degradation and Stability*, 92:1883-1890.
- [37] Fabiyi, J.S., McDonald, A.G., Wolcott, M.P. and Griffiths, P.R., 2008. Wood plastic composites weathering: Visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability*, 93:1405-1414.

Effect of weathering on mechanical and physical properties of wood-polyethylene composite containing titanium dioxide nanoparticles, photo stabilizer and heat treated wood

Abstract

Weathering of wood plastic composite is of major concerns. Weathering due to UV light and moisture results in the degradation of wood plastic composite. In this study, effect of weathering on mechanical and physical properties of wood-polyethylene composites containing titanium dioxide nanoparticles, photo stabilizer (tinuvin 328) and heat treated wood were investigated. The variable factors were titanium dioxide nanoparticles content (0, 1, 2 and 3%), raw material type (heat treated wood and untreated wood), tinuvin 328 (0 and 1%) and weathering time (0 and 1500h). The impact of weathering was investigated through the changes in the mechanical properties, contact angle and surface morphology of wood plastic composites. The result showed that flexural strength, tensile strength and contact angle of all samples decreased after weathering. Also, surface cracks on the weathered composites were observed with a scan electron microscope. According to the results, wood plastic composites containing titanium dioxide nanoparticles, heat treated wood and tinuvin 328 (photo stabilizer) showed less loss of mechanical properties and contact angle and fewer surface cracks after weathering compared with the control sample.

Keywords: titanium dioxide nanoparticles, heat treated wood, tinuvin 328, weathering.

M. Dahmardeh Ghalehno^{1*}
M.R. Masteri Farahani²
M. Madhoushi³
D. Rasouli⁴
A. Shakeri⁵
I. Ghasemi⁶

¹ Assistant prof., Department of wood and paper sciences and technology, University of Zabol, Zabol, Iran

² Associate prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran

³ Associate prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran

⁴ Assistant prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran

⁵ Associate Prof., Department of chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran

⁶ Professor, Department of plastic, Iran polymer and petrochemical institute, Tehran, Iran

Corresponding author:
mmdahmardeh@yahoo.com

Received: 2016/09/12
Accepted: 2016/11/23