

## تأثیر هوازدهی بر خواص سطح چندسازه‌های چوب- پلی اتیلن با دانسیته بالا

## چکیده

در این مطالعه، تأثیر هوازدهی بر خواص سطح چندسازه‌های چوب- پلی اتیلن با دانسیته بالا بررسی شد. عوامل متغیر شامل میزان ماده نانوذرات اکسید تیتانیوم (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد)، نوع ماده اولیه (چوب تیمار حرارتی شده و چوب بدون تیمار) و تثبیت‌کننده نوری (۰ و ۱ درصد) بودند. شاخص روشنایی ( $L^*$ ) و تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) در زمان‌های ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ساعت بررسی گردیدند. تغییرات شیمیایی و تخریب سطحی که در نتیجه هوازدهی به وجود آمدند نیز با استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی (SEM) قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدهی آنالیز شدند. طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) چندسازه‌های چوب پلاستیک نشان داد که بعد از هوازدهی، شاخص کربونیل افزایش و شاخص چوب کاهش پیدا کرد. میکروسکوپ الکترونی (SEM) نیز نشان داد که نمونه‌های هوازده شده دچار تخریب سطحی شده‌اند. چندسازه‌های چوب پلاستیک حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ترموود (چوب تیمار حرارتی شده) و تینوین ۳۲۸ (تثبیت‌کننده نوری)، ترک‌های سطحی کمتری بعد از هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان دادند. تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب نمونه‌های حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ترموود و تینوین ۳۲۸، بعد از هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد کاهش پیدا کرد. نتایج همچنین نشان داد که شاخص روشنایی و تغییر رنگ نمونه‌ها بعد از هوازدهی افزایش پیدا کرد. با استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ترموود و تینوین ۳۲۸، ثبات رنگ چندسازه‌های چوب پلاستیک بهبود بخشیده شد.

**واژگان کلیدی:** نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، ترموود، تینوین ۳۲۸، هوازدهی.

محمد دهمرده قلعه نو<sup>۱\*</sup>

محمد رضا ماستری فراهانی<sup>۲</sup>

محراب مدهوشی<sup>۲</sup>

داود رسولی<sup>۳</sup>

علی‌رضا شاکری<sup>۴</sup>

اسماعیل قاسمی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار گروه شیمی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۵</sup> استاد گروه پلاستیک، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

[mmdahmardeh@yahoo.com](mailto:mmdahmardeh@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

## مقدمه

چندسازه چوب پلاستیک نام رایج برای ماتریس پلیمر تقویت‌شده با الیاف چوب است [۱]. این چندسازه‌ها مزایایی از قبیل دانسیته پائین، مقاومت و سفتی بالا، نیاز به نگهداری کم و مقاومت خوب در برابر تخریب زیستی دارند [۲]. چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌طور

چشمگیری در ساختمان‌سازی، حمل‌ونقل، مبلمان، پنجره، قاب درب و دیگر تولیدات ساختمانی جایگزین چوب به علت مقاومت به ضربه خوب، ثبات ابعادی خوب، مقاومت به قارچ، خصوصیات حرارتی عالی و جذب رطوبت کمتر استفاده می‌شوند [۳ و ۴]. چندسازه‌های چوب پلاستیک معمولاً برای کاربردهای بیرون از ساختمان استفاده شده و

بنابراین عملکرد آن‌ها متأثر از شرایط آب و هوایی پیرامونشان است [۵]. در محیط بیرون، خطر تخریب به‌وسیله هوازدگی وجود دارد. مقاومت به هوازدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌طور کلی ضعیف است و تغییر رنگ، ایجاد ترک و تغییر ابعاد به وجود آمده مهم‌ترین مشکل استفاده از آن‌ها در شرایط محیط بیرون از ساختمان است [۶]. پروسه هوازدگی معمولاً متأثر از فاکتورهای محیطی از قبیل نور خورشید، رطوبت، تغییرات دمایی و غیره بوده و انرژی بالای اشعه ماورای بنفش به‌عنوان یک اکسیدکننده قوی باعث تغییرات شیمیایی در پلیمر و چوب می‌شود [۵]. هوازدگی ناشی از اشعه ماورای بنفش و رطوبت باعث تخریب ماتریس فیبر- پلیمر می‌شود [۷]. تخریب نوری پلی اولفین‌ها عمدتاً به وجود کروموفورها و گروه‌های عاملی که به‌سادگی نور را جذب کرده و شامل بقایای کاتالیزورها، گروه‌های هیدروپروکسید، گروه‌های کربونیل و پیوندهای دوگانه می‌باشند، مربوط است [۸]. ترکیبات چوب یعنی سلولز، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی نیز در محیط بیرون از ساختمان تحت تخریب فوتوشیمیایی ناشی از نور ماورای بنفش قرار می‌گیرند. در میان ترکیبات تشکیل‌دهنده چوب، لیگنین حساس‌ترین ماده به نور است. از کل مقدار اشعه ماورای بنفش جذب‌شده به‌وسیله چوب، لیگنین ۸۰ تا ۹۵ درصد را جذب می‌کند [۹]. علاوه بر تخریب فوتوشیمیایی، بیشترین کاهش مقاومت چندسازه‌های چوب پلاستیک در طی هوازدگی به علت تأثیرات رطوبت است [۶]. حضور مولکول‌های آب، واکنش‌های اکسیداسیون را تسریع بخشیده و باعث افزایش شکنندگی ماتریس پلیمر می‌شوند [۶ و ۱۰]. ترک‌های ریز تشکیل‌شده به دلیل واکنش‌های ترکیبات چوب، نفوذ عمیق‌تر اشعه ماورای بنفش و رطوبت را به داخل چندسازه چوب پلاستیک آسان‌تر نموده و سایت‌های بیشتری را برای تخریب در اختیار می‌گذارد [۶]؛ بنابراین، بهبود خصوصیات ثبات نوری و آب‌گریزی چوب به‌منظور جلوگیری از ضعیف شدن چندسازه‌های چوب پلاستیک برای کاربردهای بیرون از ساختمان ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات نشان داده است که استفاده از جاذب‌های نوری می‌تواند به افزایش مقاومت به

هوازدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک کمک کند [۱۰ و ۱۱]. تینوین ۳۲۸ از جمله تثبیت‌کننده‌های نوری است که می‌تواند باعث بهبود مقاومت به هوازدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک شود [۱۲]. 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 ماورای بنفش و سختی بالا به‌طور فزاینده‌ای در حال بررسی هستند [۱۳]. نانو دی‌اکسید تیتانیوم جذب‌کننده نور اشعه ماورای بنفش بوده [۱۳ و ۱۴] و خاصیت ضد قارچی و ضد باکتریایی دارد [۱۵]. نتایج مطالعات همچنین نشان داده است که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم قابلیت کاربرد به‌عنوان یک ماده حفاظتی در چوب را نیز دارا می‌باشند [۱۵ و ۱۶]. Yang و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر مرفولوژی سطح و خواص مکانیکی چندسازه پلی وینیل کلراید در طی هوازدگی تسریع شده را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که بعد از ۱۹۲۰ ساعت هوازدگی سطح آن‌ها ناهموار و شکننده شد. علاوه بر این خواص مکانیکی نمونه‌ها با افزایش زمان هوازدگی به علت شکنندگی سطح نمونه‌ها کاهش معنی‌داری پیدا کرد. خصوصیات مکانیکی چندسازه پلی وینیل کلراید بعد از هوازدگی با افزایش مقدار ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بهبود بخشیده شد [۱۷]. Butylina و همکاران (۲۰۱۵) خواص هوازدگی چندسازه الیاف خمیر کاغذ- پلی پروپیلن حاوی رنگ‌دانه‌های اکسید آهن، دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند. در بین رنگ‌دانه‌های استفاده‌شده، چندسازه‌های دارای دی‌اکسید تیتانیوم ثبات رنگ بهتر نسبت به چندسازه‌های ساخته‌شده با دیگر رنگ‌دانه‌ها بعد از هوازدگی از خود نشان دادند [۱۸]. تیمار حرارتی چوب نیز می‌تواند 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 [۱۹]. Ayrlimis و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر تیمار حرارتی الیاف چوب در سه دمای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه بر خواص

تغییرات رنگ، شاخص روشنایی و ترک‌های سطحی) بعد از هوازُدگی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته باشد، انجام نشده است. با توجه به پیش‌بینی بهبود ثبات نوری چندسازه‌های چوب پلاستیک در اثر استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تینوین ۳۲۸ و بهبود ویژگی جذب آب و همچنین ثبات نوری آن‌ها در اثر استفاده از ترموود پیش‌بینی می‌شود مقاومت به هوازُدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک در هنگام استفاده هم‌زمان از این مواد بهبود قابل ملاحظه‌تری یابد؛ بنابراین هدف از کار ما بررسی تأثیر هوازُدگی بر ویژگی‌های سطح چندسازه چوب-پلاستیک دارای نانو دی‌اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) و تینوین ۳۲۸ است.

### مواد و روش‌ها

پلیمر مورد استفاده در این مطالعه پلی‌اتیلن 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 آلدردیج کشور آمریکا، نانو دی‌اکسید تیتانیوم نوع روتایل از شرکت US Research Nanomaterials کشور آمریکا، ترموود گونه کاج از شرکت لوناوود فنلاند و گرده‌بینه کاج 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، تینوین ۳۲۸ در دو سطح ۰ و ۱ درصد و نوع ماده اولیه در دو سطح چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) و چوب بدون تیمار حرارتی می‌باشند. شاخص روشنایی ( $L^*$ ) و تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) در زمان‌های ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ساعت بررسی گردیدند. تغییرات شیمیایی و تخریب سطحی که در نتیجه هوازُدگی به وجود آمدند نیز با استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز و میکروسکوپ الکترونی (SEM) قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازُدگی آنالیز شدند.

چوب‌ها ابتدا به وسیله دستگاه کف رند به صورت پوشال 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 سانتی‌گراد به

چندسازه چوب پلاستیک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که واکنش‌پذیری ضخامتی و جذب آب چندسازه‌های چوب پلاستیک به طور معنی‌داری با افزایش درجه حرارت و زمان حرارت دهی الیاف چوب کاهش پیدا کرد [۲۰]. Arwinfar و همکاران (۲۰۱۶) نیز به بررسی خواص مکانیکی و مرفولوژی چندسازه چوب پلاستیک تولید شده از چوب تیمار حرارتی شده تحت دمای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه پرداختند. نتایج خواص مکانیکی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که در چندسازه‌های ساخته شده از چوب تیمار حرارتی شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳۰ دقیقه، تعامل و چسبندگی بین الیاف و ماتریس پلیمری بهتر بود [۲۱]. Kallakas و همکاران (۲۰۱۶) در ساخت چندسازه چوب پلی‌پروپیلن از آرد چوب تیمار حرارتی شده استفاده کرده و عنوان نموده‌اند که استفاده از چوب تیمار حرارتی شده می‌تواند خواص مکانیکی چندسازه‌ها را بهبود بخشد. نتایج تحقیقاتشان نشان داد که چندسازه‌های دارای چوب تیمار حرارتی شده مقاومت به ضربه بیشتری نسبت به چندسازه‌های دارای چوب بدون تیمار از خود نشان دادند [۲۲]. گزارش شده است چوب تیمار حرارتی شده بعد از قرارگیری در معرض هوازُدگی، ترک‌های سطحی کمتر، واکنش‌پذیری حجمی کمتر و خواص فیزیکی بهتر نسبت به نمونه‌های بدون تیمار حرارتی از خود نشان داده است [۱۶]. Tomak و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تغییرات سطح و خواص مکانیکی چوب تیمار حرارتی شده بعد از قرارگیری در معرض هوازُدگی طبیعی اظهار داشتند که درصد رطوبت چوب تیمار حرارتی شده در تمام دوره هوازُدگی نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. نتایج همچنین نشان داد که تیمار حرارتی باعث بهبود ثبات رنگ و کیفیت سطح نمونه‌ها بعد از هوازُدگی شده است [۲۳]. با توجه به موارد ذکر شده امکان بهبود خواص مقاومتی چندسازه چوب پلاستیک در برابر هوازُدگی با استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) و تثبیت‌کننده نوری تینوین ۳۲۸ وجود دارد. از طرف دیگر با توجه به اطلاعات ما هوازُدگی چندسازه چوب پلی‌اتیلن با دانسیته بالایی که در آن از ترموود همراه با مواد نانو از جمله نانو دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شده و تخریب سطح (تغییرات شیمیایی،

مطابق استاندارد ASTM G154-06 [۲۴] (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.

سنجش رنگ نمونه‌ها بر اساس استاندارد ۲۲۴۴ ASTM [۲۵] توسط دستگاه Mini scan XE PLUS به روش سیستم رنگ CIE L\*a\*b\* صورت گرفت. در سیستم رنگ CIE L\*a\*b\*، L\* شاخص روشنایی بوده و از ۱۰۰ (سفید) به صفر (خاکستری) متغیر است. a\* شاخص قرمزی (+a\*) به سبزی (-a\*) و b\* شاخص زردی (+b\*) به آبی (-b\*) است. مقدار تغییر رنگ با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

که  $\Delta L^*$ ،  $\Delta a^*$  و  $\Delta b^*$  تفاوت بین مقادیر اولیه (قبل از هوازدگی) و نهایی (بعد از هوازدگی)  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  را به ترتیب نشان می‌دهد.

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. نحوه اختلاط مواد در دستگاه مخلوط‌کن بدین صورت بود که ابتدا پلی اتیلن با دانسیته بالا به داخل دستگاه مخلوط‌کن با دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه ریخته شد. پس از مدت زمان ۲ دقیقه مواد افزودنی (نانو دی اکسید تیتانیوم و تینوین ۳۲۸) وارد دستگاه مخلوط‌کن شد، در نهایت آرد چوب اضافه گردید و فرآیند اختلاط تا رسیدن به گشتاور ثابت ادامه پیدا کرد. پرس گرم نیز در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و فشار ۲۰ مگا پاسکال انجام گرفت. نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک آزمایشگاهی با ۳ تکرار ساخته شدند.

آزمون هوازدگی به وسیله دستگاه QUV Accelerated Weathering Tester پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

جدول ۱- نسبت اجزای سازنده کامپوزیت‌ها (درصد وزنی)

کد نمونه	چوب بدون تیمار (%)	ترموود (%)	تینوین ۳۲۸ (%)	ماده نانو (%)	پلی اتیلن (%)
A	۵۰	-	-	-	۵۰
B	۵۰	-	-	۱	۴۹
C	۵۰	-	-	۲	۴۸
D	۵۰	-	-	۳	۴۷
E	۵۰	-	۱	-	۴۹
F	۵۰	-	۱	۱	۴۸
G	۵۰	-	۱	۲	۴۷
H	۵۰	-	۱	۳	۴۶
I	-	۵۰	-	-	۵۰
J	-	۵۰	-	۱	۴۹
K	-	۵۰	-	۲	۴۸
L	-	۵۰	-	۳	۴۷
M	-	۵۰	۱	-	۴۹
N	-	۵۰	۱	۱	۴۸
O	-	۵۰	۱	۲	۴۷
P	-	۵۰	۱	۳	۴۶

(SEM) مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه تصاویر الکترونی، ابتدا سطح نمونه‌ها به وسیله طلا پوشش داده

ویژگی‌های سطح نمونه‌ها قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

برش زنجیر مولکول و متعاقب آن تغییر در وزن مولکولی اتفاق می‌افتد نیز در روشن شدن رنگ چندسازه‌ها نقش داشته است [۳۱]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش شاخص روشنایی در بین نمونه‌های هوازده شده را نمونه شاهد تجربه کرده است. میزان افزایش تغییر رنگ در نمونه شاهد بعد از قرارگیری در معرض هوازدگی ۲۸/۶۵٪ درصد است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش در میزان روشنایی در ۵۰۰ ساعت اولیه هوازدگی اتفاق افتاده است که این نشان می‌دهد تخریب ترکیبات رنگی چوب و برش زنجیر مولکول‌های پلی‌اتیلن در مراحل اولیه هوازدگی بیشتر بوده است. استفاده از نانودی اکسید تیتانیوم به‌خصوص به میزان ۲ و ۳ درصد باعث شده است که میزان افزایش شاخص روشنایی نمونه‌ها در طی هوازدگی نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرده و ثبات رنگ چندسازه‌ها بهبود بخشیده شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از تینوین ۳۲۸ و ترموود نیز نقش مثبت در جلوگیری از افزایش روشنایی نمونه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازدگی داشته است. روند تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) نمونه‌ها، با و بدون نانو دی‌اکسید تیتانیوم، تینوین ۳۲۸ و ترموود در طی دوره هوازدگی در شکل ۱، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود میزان تغییر رنگ نمونه شاهد (A) نسبت به سایر نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی بیشتر بوده است. اضافه نمودن نانو دی‌اکسید تیتانیوم توانسته است ثبات نوری چندسازه‌ها را بهبود بخشد. با توجه به شکل ۱، مشاهده می‌شود که مقدار تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) با اضافه شدن نانو دی‌اکسید تیتانیوم به ترکیب در مقایسه با نمونه شاهد کمتر شده است که نشان می‌دهد نانو دی‌اکسید تیتانیوم توانسته است به‌طور مؤثری اشعه ماورای بنفش را جذب کرده و از افزایش تغییر رنگ نمونه‌ها جلوگیری کند. بیشترین بهبودی در ثبات رنگ و کاهش تغییر رنگ در مقدار ۲ و ۳ درصد نانو مشاهده می‌شود. در تحقیقات مختلف از نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان یک ماده جذب‌کننده نور اشعه ماورای بنفش نام‌برده شده است [۱۳] و Yang [۱۴] و همکاران (۲۰۱۴) عنوان نمودند که دی‌اکسید تیتانیوم تأثیر مثبت در جلوگیری از هوازدگی چندسازه‌های پلیمر پلی‌وینیل کلراید داشته و از برش زنجیره پلیمری در طی هوازدگی کاسته است [۳۲].

شد. سپس تصاویر توسط دستگاه SEM شرکت TESCAN مدل VEGA در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه گردیدند.

برای بررسی تغییرات شیمیایی سطح، از طیف‌سنجی ATR-FTIR (Bruker مدل EQUINOX55) در محدوده  $4000-650 \text{ cm}^{-1}$  استفاده شد. از طیف‌های به‌دست‌آمده برای محاسبه مقادیر شاخص چوب و شاخص کربونیل [۲۶] استفاده گردید.

= شاخص چوب

$$= 100 \times \frac{I_{1715}}{I_{2912}} = 100 \times \frac{I_{1300}}{I_{2912}}$$

علت انتخاب پیک  $2912 \text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش کششی C-H

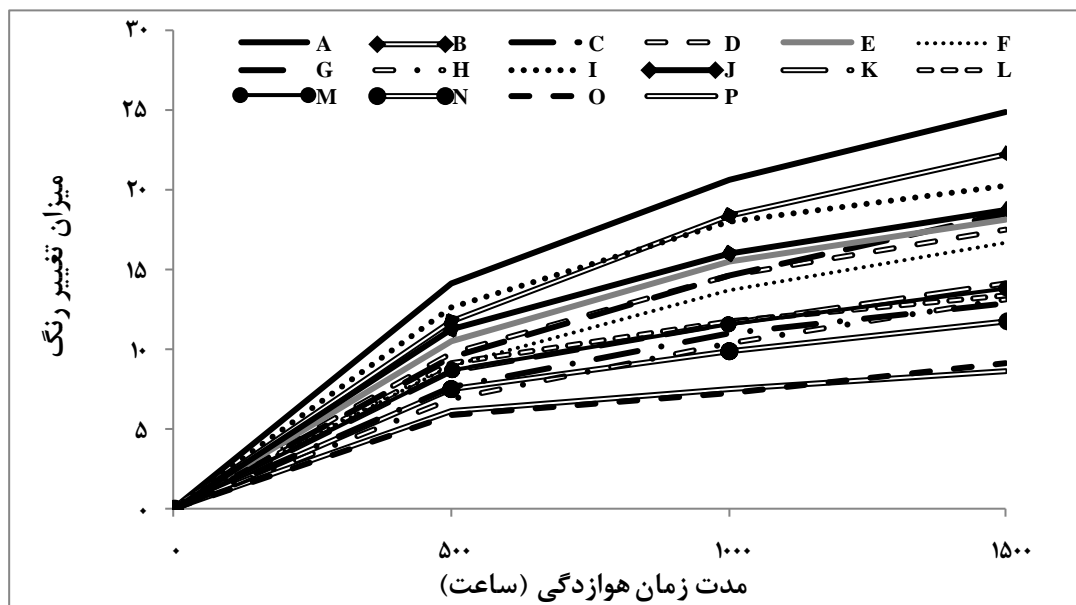
گروه متیل پلی‌اتیلن) به‌عنوان پیک مرجع، تغییرات کم آن در طی دوره هوازدگی بوده است [۲۶].

## نتایج و بحث

تأثیر هوازدگی بر روشنایی ( $L^*$ ) نمونه‌ها در جدول ۲، نشان داده شده است. به‌وضوح مشاهده می‌شود که نمونه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازدگی دچار تغییر رنگ شده و میزان روشنایی آن‌ها افزایش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج مطالعات Peng و همکاران (۲۰۱۴) [۲۷]، Turku و Karki (۲۰۱۶) [۵] و Taib و همکاران (۲۰۱۰) [۱۰] همسویی دارد. افزایش روشنایی چندسازه‌های چوب پلاستیک در اثر هوازدگی عمدتاً متأثر از ترکیبات چوب، به‌ویژه لیگنین است [۲۸] در میان ترکیبات تشکیل‌دهنده چوب، لیگنین حساس‌ترین ماده به نور است [۵] وقتی چوب در معرض اشعه ماورای بنفش قرار می‌گیرد می‌تواند تحت تخریب نوری که عمدتاً شامل تخریب لیگنین به مواد محلول در آب است قرار گیرد. این پدیده منجر به روشن شدن رنگ چندسازه‌ها شده است. در مطالعه به‌وسیله Fabiyi و همکاران (۲۰۰۸) یک رابطه قوی بین روشن شدن رنگ چندسازه‌های چوب پلاستیک و تخریب لیگنین چوب مشاهده شده است [۲۹]. دلیل احتمالی دیگر که روشنایی نمونه‌های ساخته‌شده بیشتر شد، مواد استخراجی محلول در آب به‌وسیله رطوبت است که بخش رنگی چوب را تشکیل می‌دهند [۲۸ و ۳۰]. روشن شدن رنگ پلی‌اتیلن در طی هوازدگی که به علت

جدول ۲- میزان روشنایی نمونه‌ها تحت شرایط مختلف تیمار

کد نمونه	چوب بدون تیمار (%)	ترموود (%)	تینوین (%)	ماده نانو (%)	پلی اتیلن با دانسیته بالا (%)	زمان هوازدگی (ساعت)			
						۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
A	۵۰	-	-	-	۵۰	۵۵/۹۵	۶۸/۱۱	۷۴/۳۲	۷۸/۴۲
B	۵۰	-	-	۱	۴۹	۶۵/۹۳	۷۶/۲۳	۸۲/۳۸	۸۶/۳۷
C	۵۰	-	-	۲	۴۸	۷۱/۵۱	۷۹/۹۹	۸۴/۸۲	۸۸/۸۰
D	۵۰	-	-	۳	۴۷	۷۳/۶۰	۸۲/۳۲	۸۶/۹۹	۸۹/۹۲
E	۵۰	-	۱	-	۴۹	۵۷/۶۳	۶۷/۴۹	۷۲/۲۰	۷۴/۷۹
F	۵۰	-	۱	۱	۴۸	۶۶/۳۴	۷۴/۷۵	۷۹/۱۳	۸۱/۹۱
G	۵۰	-	۱	۲	۴۷	۷۳/۲۶	۸۰/۵۵	۸۳/۸۱	۸۵/۵۰
H	۵۰	-	۱	۳	۴۶	۷۴/۱۳	۸۰/۶۸	۸۴/۱۲	۸۶/۶۸
I	-	۵۰	-	-	۵۰	۱۶/۶۸	۲۷/۷۷	۳۲/۸۹	۳۵/۰۶
J	-	۵۰	-	۱	۴۹	۳۲/۰۴	۴۲/۲۸	۴۶/۶۳	۴۹/۴۵
K	-	۵۰	-	۲	۴۸	۳۹/۲۹	۴۷/۶۱	۵۰/۳۰	۵۲/۴۷
L	-	۵۰	-	۳	۴۷	۳۹/۸۴	۴۸/۶۴	۵۰/۹۸	۵۲/۵۸
M	-	۵۰	۱	-	۴۹	۱۷/۵۴	۲۵/۶۸	۲۸/۲۱	۳۰/۳۷
N	-	۵۰	۱	۱	۴۸	۳۱/۷۵	۳۹/۰۳	۴۱/۱۳	۴۲/۹۴
O	-	۵۰	۱	۲	۴۷	۴۰/۹۵	۴۶/۷۴	۴۷/۹۳	۴۹/۶۷
P	-	۵۰	۱	۳	۴۶	۴۳/۸۰	۴۹/۷۵	۵۰/۹۶	۵۲/۰۶



شکل ۱- میزان تغییر رنگ نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی

چوب پلاستیک مقدار تغییر رنگ و افزایش روشنی را نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است. این پدیده نشان می‌دهد که تینوین ۳۲۸ به‌عنوان یک ماده جاذب نور ماورای بنفش

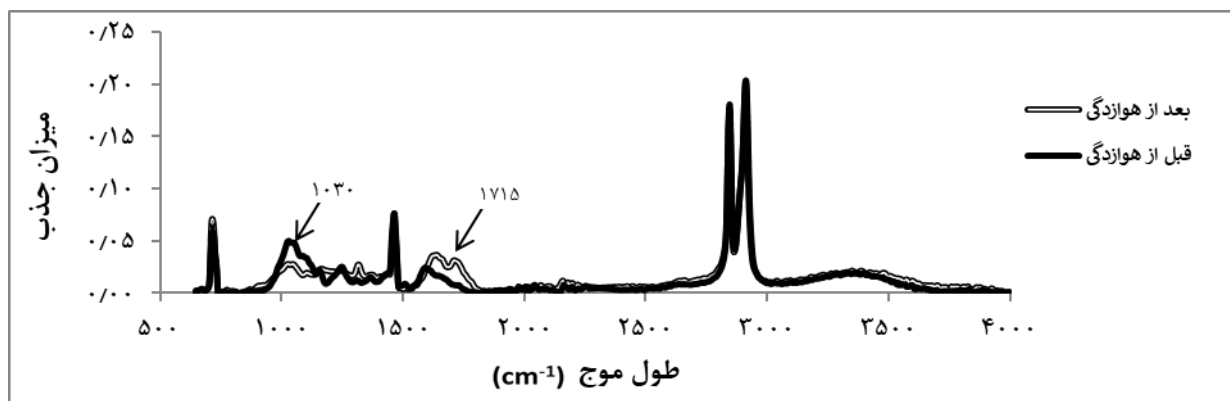
طبق نتایج به‌دست‌آمده برای تأثیر تینوین ۳۲۸ بر میزان روشنایی و تغییر رنگ نمونه‌ها در طی هوازدگی مشاهده می‌شود که استفاده از این ماده در چندسازه‌های

پایین تر چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) که مربوط به کاهش تعداد گروه‌های هیدروکسیل است از شسته شدن محصولات تخریب‌شده طی هوازگی جلوگیری کرده است [۳۹]. بنابراین ترموود توانسته است به کاهش تغییر رنگ و جلوگیری از افزایش روشنایی چندسازه‌های چوب پلاستیک بعد از هوازگی در مقایسه با نمونه شاهد کمک کند.

برای بررسی تغییرات شیمیایی سطح چندسازه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازگی از طیف‌سنجی ATR-FTIR استفاده شده است. طیف ATR-FTIR سطح چندسازه چوب پلاستیک بدون تیمار در محدوده  $4000-650\text{ cm}^{-1}$  قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازگی در شکل ۲، نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بعد از هوازگی شدت پیک مربوط به گروه کربونیل ( $1715\text{ cm}^{-1}$ ) افزایش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج مطالعات محققین دیگر نیز همخوانی دارد [۵، ۱۲، ۴۰ و ۴۱]. همچنین مشاهده می‌شود که شدت پیک مربوط به چوب ( $1030\text{ cm}^{-1}$ ) بعد از هوازگی کاهش یافته است. این کاهش شدت پیک را محققین دیگر نیز در مطالعات خود گزارش نموده‌اند [۴۰-۴۲]. برای مشاهده تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم، تینوین ۳۲۸ و ترموود بر شدت پیک مربوط به گروه کربونیل و پیک مربوط به چوب چندسازه‌ها، شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. شکل ۳، شدت پیک مربوط به گروه کربونیل ( $\text{C}=\text{O}$ ) و شکل ۴، شدت پیک مربوط به چوب (ارتعاش کششی پیوند  $\text{C}-\text{O}$ ) در چندسازه‌های ساخته‌شده در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

عمل کرده و از تخریب چندسازه‌ها در طی دوره هوازگی کاسته است. تثبیت‌کننده‌های نوری گروه هیدروکسی فنیل بنزو تریازول که تینوین ۳۲۸ نیز جزء همین گروه است خود باز ساز بوده و پس از استفاده به اصل خود برمی‌گردند و بدین‌وسیله از تخریب نوری جلوگیری می‌کنند [۳۳]. به‌محض جذب انرژی، انرژی به‌صورت گرما پراکنده می‌شود و جذب‌کننده اشعه ماورای بنفش به حالت پایه خود برمی‌گردد [۳۴]. Li و همکاران (۲۰۱۴) ذکر نموده‌اند که جاذب نور اشعه ماورای بنفش (تینوین ۳۲۶) یک ماده مؤثر در جلوگیری از تخریب نوری چندسازه‌های چوب پلاستیک در طی دوره هوازگی بوده است [۳۵].

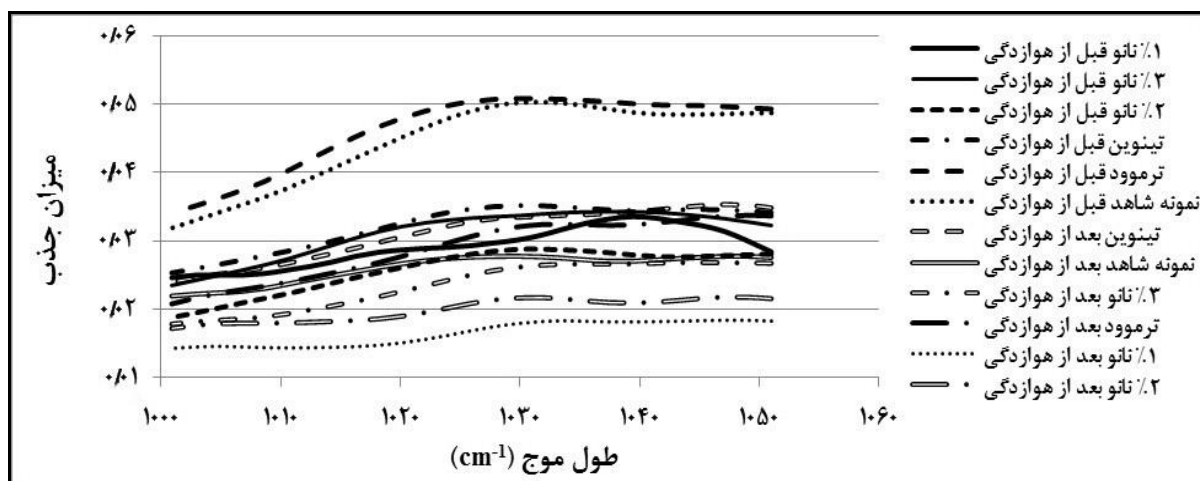
طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲ و شکل ۱، استنباط می‌شود که نمونه‌های دارای ترموود ثابت رنگ بهتری نسبت به نمونه شاهد بعد از هوازگی از خود نشان داده‌اند. از آنجایی که لیگنین حساس‌ترین ترکیب چوب به نور ماورای بنفش است، تأثیر ترموود در ثابت رنگ (جلوگیری از افزایش روشنایی و تغییر رنگ) چندسازه‌ها می‌تواند به علت افزایش ثابت لیگنین در طی تیمار حرارتی باشد [۳۶ و ۳۷]. حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدان در لیگنین بعد از تیمار حرارتی می‌تواند از تخریب ناشی از اشعه ماورای بنفش جلوگیری کند [۳۷]. ساختار اصلاح‌شده لیگنین در چوب تیمار حرارتی شده می‌تواند تا حدودی از واکنش‌های رادیکال‌های آزاد ایجادشده در اثر تابش اشعه ماورای بنفش و تشکیل محصولات تخریب‌شده با وزن مولکولی پایین از قبیل کینون‌ها جلوگیری کند [۳۸]. جذب رطوبت نیز که باعث کاهش خواص مقاومتی چندسازه‌های چوب پلاستیک می‌شود مقدار آن در نمونه‌های دارای ترموود کم شده است. درصد رطوبت



شکل ۲- طیف ATR-FTIR سطح چندسازه چوب پلاستیک بدون تیمار قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازگی



شکل ۳- طیف ATR-FTIR سطح چندسازه‌ها در محدوده  $1680-1800\text{ cm}^{-1}$  قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی



شکل ۴- طیف ATR-FTIR سطح چندسازه‌ها در محدوده  $1000-1050\text{ cm}^{-1}$  قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی

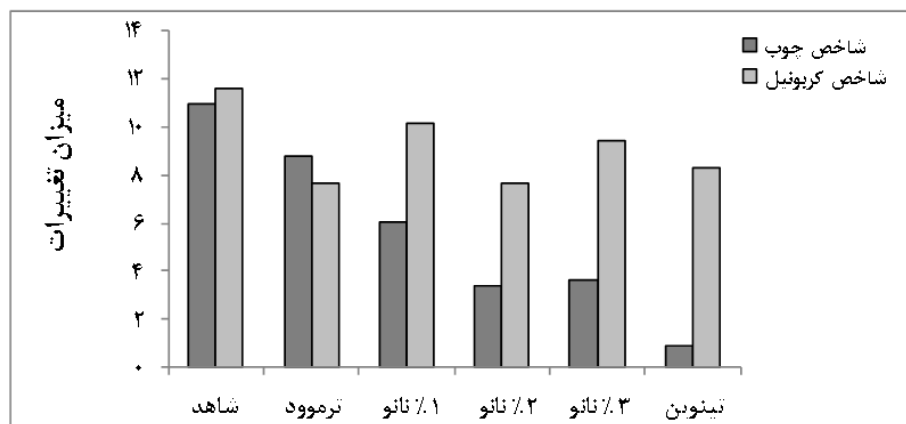
چندسازه بعد از هوازدگی با تشکیل گروه کربونیل و کاهش پیک مربوط به چوب همراه بوده است. شاخص کربونیل بالاتر و شاخص چوب کمتر نشان‌دهنده میزان تخریب بیشتر چندسازه‌ها است. با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب در نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های دیگر بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی بیشتر بوده است. افزایش میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب بعد از هوازدگی با استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم کمتر شده است. مشاهده می‌شود که در چندسازه‌های دارای ۲ و ۳ درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به ۱ درصد نانو و

در این مطالعه میزان تخریب سطحی چندسازه‌ها بعد از هوازدگی با استفاده از شاخص کربونیل و شاخص چوب بررسی شد. شاخص کربونیل متداول‌ترین پارامتر استفاده شده برای تعیین درجه تخریب بعد از هوازدگی است [۴۳]. مشاهده می‌شود شدت پیک مربوط به گروه کربونیل هرکدام از چندسازه‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی افزایش و شدت پیک مربوط به چوب هرکدام از آن‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی کاهش داشته است. میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب چندسازه‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی در شکل ۵، نشان داده شده است. تخریب



بازی کند. از طرف دیگر چون خاصیت جذب آب ترموود در طی تیمار حرارتی کاهش پیدا کرده است، میزان جذب آب و در نتیجه تخریب چندسازه چوب پلاستیک دارای ترموود نسبت به نمونه شاهد کمتر شده است؛ بنابراین با توجه به موارد ذکر شده استفاده از ترموود باعث جلوگیری از افزایش میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب شده است. استفاده از تینوین ۳۲۸ نیز نقش چشمگیری در جلوگیری از افزایش میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب داشته است. تینوین ۳۲۸ همان طور که در قبل توضیح داده شد به عنوان یک جذب کننده نور ماورای بنفش، از تخریب نوری چندسازه‌ها در طی هوازدهی کاسته و در نتیجه از میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب جلوگیری کرده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح چندسازه‌ها بعد از هوازدهی نیز مؤید نقش مثبت نانو دی اکسید تیتانیوم، تینوین ۳۲۸ و ترموود در جلوگیری از تخریب سطحی چندسازه‌ها در اثر هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشند (شکل ۶).

نمونه بدون نانو، افزایش میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب کمتر بوده است که نقش تثبیت کنندگی نوری نانو دی اکسید تیتانیوم در طی دوره هوازدهی را نشان می‌دهد. نانو دی اکسید تیتانیوم توانسته است نقش جذب کننده نور ماورای بنفش را بازی کرده و از تخریب و برش زنجیر مولکول‌های پلی اتیلن و همچنین تخریب نوری لیگنین و دیگر ترکیبات تشکیل دهنده چوب جلوگیری کند و در نتیجه میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب را کاهش دهد. همچنین طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق مشاهده می‌شود که میزان افزایش شاخص کربونیل و کاهش شاخص چوب چندسازه دارای ترموود نیز نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده است. با توجه به اصلاحاتی که در ترموود در طی تیمار حرارتی حاصل شده است، ترموود می‌تواند از واکنش‌های رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در اثر تابش اشعه ماورای بنفش که باعث تخریب اجزای سازنده چوب پلاستیک می‌شود کاسته و نقش تثبیت کنندگی نوری را در چندسازه چوب پلاستیک



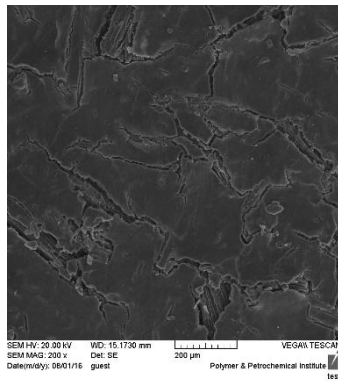
شکل ۵- میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب چندسازه‌ها بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدهی

چندسازه‌های چوب پلاستیک بعد از هوازدهی مشاهده نموده‌اند [۵، ۱۲، ۲۹ و ۴۲]. با توجه به شکل ۶، مشاهده می‌شود که میزان ترک‌ها در نمونه شاهد نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشتر است. استفاده از نانو دی اکسید تیتانیوم به‌ویژه ۲ و ۳ درصد و تینوین ۳۲۸ به‌واسطه جذب اشعه ماورای بنفش از تخریب نوری چندسازه‌ها در طی هوازدهی در مقایسه با نمونه شاهد کاسته‌اند و ترک‌های

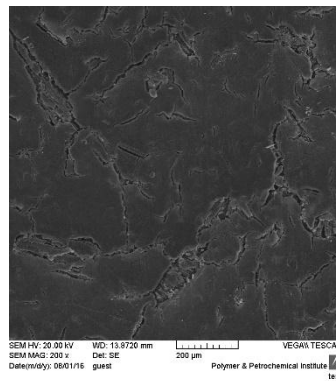
با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) در شکل ۶، مشاهده می‌شود که بعد از هوازدهی ترک‌هایی بر روی سطح نمونه‌ها به وجود آمده است. ترک‌های ایجاد شده در سطح نمونه‌ها می‌تواند به برش زنجیر پلیمر و سیکل جذب و دفع رطوبت بین سطح و بخش‌های داخلی چندسازه‌ها در طی دوره هوازدهی مربوط باشد [۲۹]. تعدادی از محققین دیگر نیز ترک‌هایی بر سطح

آن در برابر تخریب نوری باعث شده است در طی هوازدگی ترک‌های سطحی کمتری در آن‌ها ایجاد شود.

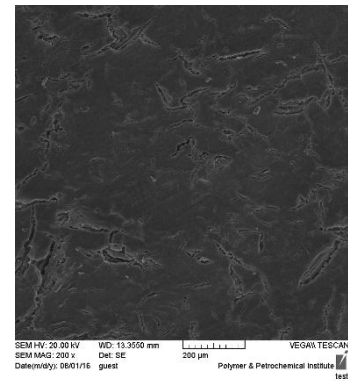
سطحی کمتری در سطح آن‌ها مشاهده می‌شود. استفاده از ترموود نیز در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک به واسطه جذب رطوبت کمتر و بهبود خصوصیات مقاومتی



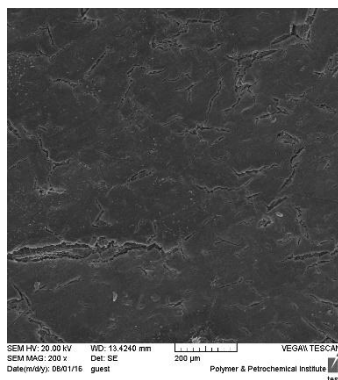
(a)



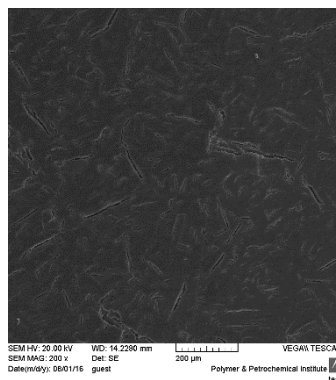
(b)



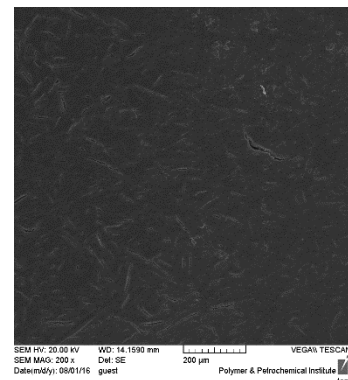
(c)



(d)



(e)



(f)

شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از سطح چندسازه‌ها بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی: (a) نمونه شاهد، (b) ۱٪ نانو، (c) ۲٪ نانو، (d) ۳٪ نانو، (e) ترموود، (f) تینوین ۳۲۸

و مقدار شاخص چوب آن‌ها کاهش نشان داد. شاخص کربونیل بالاتر و شاخص چوب کمتر نشان‌دهنده میزان تخریب بیشتر چندسازه‌ها است. تصاویر میکروسکوپی (SEM) نیز نشان دادند که نمونه‌ها بعد از هوازدگی دچار ترک‌های ریز سطحی شدند. طبق نتایج به‌دست‌آمده مشاهده گردید که نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تینوین ۳۲۸ با جذب اشعه ماورای بنفش از شدت اکسیداسیون و تخریب نمونه‌ها در طی هوازدگی کاسته و نقش تثبیت‌کننده نوری در چندسازه‌ها را داشته‌اند. استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌ویژه ۲ و ۳ درصد باعث

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم، چوب تیمار حرارتی شده (ترموود) و تثبیت‌کننده نوری (تینوین ۳۲۸) بر تخریب سطحی چندسازه چوب- پلی اتیلن با دانسیته بالا بعد از هوازدگی مصنوعی بررسی شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده بعد از قرارگیری نمونه‌ها در معرض هوازدگی، محو شدن رنگ (میزان روشنایی) و تغییر رنگ کلی نمونه‌ها ( $\Delta E$ ) بیشتر شد. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از طیف ATR-FTIR، مقدار شاخص کربونیل نمونه‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی افزایش

هوازدگی کاسته است. علاوه بر موارد ذکر شده، نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌ویژه ۲ و ۳ درصد، تینوین ۳۲۸ و ترموود باعث شده‌اند که میزان ترک‌های سطحی ناشی از قرار گرفتن در معرض هوازدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده از آن‌ها در مقایسه با نمونه شاهد کاهش فراوانی داشته باشند. در پایان با توجه به کاهش خواص مکانیکی و تغییرات جذب آب چندسازه‌های چوب پلاستیک در اثر هوازدگی، پیشنهاد می‌شود تأثیر مواد استفاده شده در این تحقیق بر خواص مکانیکی و خواص جذب آب چندسازه‌ها بعد از قرارگیری در معرض هوازدگی نیز بررسی گردد.

جلوگیری از افزایش شاخص روشنایی و تغییر رنگ نمونه‌ها در طی هوازدگی شده است. میزان تغییرات شاخص کربونیل و شاخص چوب نیز در نمونه‌های دارای نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌ویژه ۲ و ۳ درصد و چندسازه‌های دارای تینوین ۳۲۸، نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده است. استفاده از ترموود در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌واسطه جذب رطوبت کمتر و بهبود خصوصیات مقاومتی آن در برابر تخریب نوری باعث شده است از افزایش میزان روشنایی و تغییر رنگ نمونه‌ها در طی هوازدگی کاسته شود. ترموود همچنین با توجه به خصوصیتی که به چندسازه می‌دهد از افزایش شاخص کربونیل و کاهش میزان شاخص چوب چندسازه چوب پلاستیک در طی

## 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] Bledzki, A.K., Reihmane, S. and Gassan, J., 1998. Thermoplastics reinforced with wood fillers: a literature review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 37:451-468.
- [3] Craig, C., 2002. Wood-plastic Composites in the United States. *Journal of Forest Products*, 52(6):10-18.
- [4] Lu, J.Z. and Duan, X., 2008. Chelating efficiency and thermal, mechanical and decay resistance performances of chitosan copper complex in wood polymer composites. *Bioresource Technology*, 99(13):5906-5914.
- [5] Turku, I. and Karki, T., 2016. Accelerated weathering of fire-retarded wood-polypropylene composites. *Composites*, 81:305-312.
- [6] 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.
- [7] Bajwa, D.S., Bajwa, S.G. and Holt, G.A., 2015. Impact of biofibers and coupling agents on the weathering characteristics of composites. *Polymer Degradation and Stability* 120:212-219.
- [8] Gugnumus, F., 1990. Light stabilizers, plastics additives handbook, chapter 3:129-262, Gachter, R. and Muller, H., Hanser Publishers, New York.
- [9] 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).
- [10] Taib, R.M., Zauzi, N.S.A., Ishak, Z.A.M. and Rozman, H.D., 2010. Effects of photo-stabilizers on the properties of recycled high-density polyethylene (HDPE)/Wood Flour (WF) composites exposed to natural weathering. *Malaysian Polymer Journal*, 5(2):193-203.

- [11] Muasher, M., Sain, M., 2006. The efficacy of photostabilizers on the color change of wood filled plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(5):1156-1165.
- [12] 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.
- [13] Deka, K.P. and Maji, T.K. 2011. Effect of TiO<sub>2</sub> and nanoclay on the properties of wood polymer nanocomposite. *Composites*, 42:2117–2125.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [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 and Stability*, 97:1197-1214.
- [17] Yang T.C., Noguchi, T., Isshiki, M. and Wu, J.H., 2015. Effect of titanium dioxide particles on the surface morphology and the mechanical properties of PVC composites during QUV accelerated weathering. *Polymer Composites*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). 2015 Society of Plastics Engineers.
- [18] Butylina, S., Martikka, O. and Karki T., 2015. Weathering properties of coextruded polypropylenebased composites containing inorganic pigments. *Polymer Degradation and Stability*, 120:10-16.
- [19] 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.
- [20] Ayrilmis, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V. and Bauchongko, P., 2011. Effect of thermal-treatment of woodfibres on properties of flat-pressed wood plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 96:818-822.
- [21] Arwinfar, F., Hosseinihashemi, S.K., Jahan Latibari, A., Lashgari, A. and Ayrilmis, N., 2016. Mechanical properties and morphology of wood plastic composites produced with thermally treated beech wood. *BioResources*, 11(1):1494-1504.
- [22] Kallakas, H., Martin, M., Goljandin, D., Poltimae, T., Krumme, A. and Kers, J., 2016. Mechanical and physical properties of modified wood flour reinforced polypropylene composites. *Agronomy Research*, 14(S1):994-1003.
- [23] Tomak, E.D., Ustaomer, D., Yildiz, S. and Pesman, E., 2014. Changes in surface and mechanical properties of heat treated wood during natural weathering. *Measurement*, 53:30-39.
- [24] 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.
- [25] Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, ASTM D 2244-09a, 2009.
- [26] 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.

- [27] Peng, Y., Liu, R., Cao, J. and Chen Y., 2014. Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin and cellulose. *Applied Surface Science*, 317:385-392.
- [28] Stark, N.M. and Matuana, L.M., 2006. Influence of photostabilizers on wood flour-HDPE composites exposed to xenon-arc radiation with and without water spray. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12):3048-3056.
- [29] 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.
- [30] 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*, 100:3131-3140.
- [31] Stark, N.M. and Matuana, L.M., 2004. Surface chemistry changes of weathered HDPE/wood-flour composites studied by XPS and FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability*, 86:1-9.
- [32] 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.
- [33] Gugumus, F., 2002. Possibilities and limits of synergism with light stabilizers in polyolefins 2. UV absorbers in polyolefins. *Polymer degradation and stability*, 75(2):309-320.
- [34] Chanda, M. and Roy, S.K., 2010. *Plastics fundamentals, properties and testing*. Vol. 74, CRC press, 280p.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Deka, M., Humar, M., Rep, G., Kricej, B., Sentjurc, M. and Petric, M., 2008. Effects of UV light irradiation on color stability of thermally modified, copper ethanolamine treated and non-modified wood: EPR and DRIFT spectroscopic studies. *Wood Science and Technology*, 42:5-20.
- [38] 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.
- [39] Kocaepe, 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.
- [40] Krehula, L.k., Katancic, Z., Sirocic, A.P. and Hrnjak-Murgic, Z., 2014. Weathering of high-density polyethylene-wood plastic composites. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 34:39-54.
- [41] 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.
- [42] Kiguchi, M., Kataoka, Y., Matsunaga, H., Yamamoto, K. and Evans, P.D., 2007. Surface deterioration of wood-flour polypropylene composites by weathering trials. *Journal of Wood Science*, 53:234-238.
- [43] Rajakumar, K., Sarasvathy, V., Chelvan, A.T., Chitra, R. and Vijayakumar, C.T., 2012. Effect of iron carboxylates on the photodegradability of polypropylene. II. Artificial weathering studies, *Journal of Applied Polymer Science*, 123:2968-2976.

## Effect of weathering on surface properties of HDPE-based wood plastic composites

### Abstract

In this study, Effect of weathering on surface properties of HDPE-based wood plastic composites (WPCs) was investigated. The variable factors were titanium dioxide nanoparticles content (0, 1, 2 and 3%), raw material type (heat treated wood and untreated wood) and photo stabilizer (0 and 1%). Lightness index ( $L^*$ ) and color changes ( $\Delta E$ ) were investigated after 0, 500, 1000 and 1500 hours of weathering. Chemical changes and surface deterioration that occurred due to weathering were also analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM) before and after 1500 hours of weathering. FTIR of WPCs showed that carbonyl index increased and wood index decreased after weathering. SEM also showed that weathered samples experienced surface deterioration. Wood plastic composites containing titanium dioxide nanoparticles, thermowood (heat treated wood) and tinuvin 328 (photo stabilizer) showed less surface cracks after weathering compared to the control sample. Carbonyl index and wood index changes of samples containing titanium dioxide nanoparticles, thermowood and tinuvin 328 decreased after weathering compared to the control sample. The results also showed that lightness index and color change of samples increased after weathering. The color stability of WPCs was improved by using wood plastic composites containing titanium dioxide nanoparticles, thermowood and tinuvin 328.

**Key words:** titanium dioxide nano, thermowood, tinuvin 328, weathering.

M. Dahmardeh Ghalehno<sup>1\*</sup>  
M.R. Masteri Farahani<sup>2</sup>  
M. Madhoushi<sup>2</sup>  
D. Rasouli<sup>3</sup>  
A. Shakeri<sup>4</sup>  
I. Ghasemi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Assistant prof., Department of wood and paper sciences and technology, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> Associate prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan University of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Assistant prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan University of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran

<sup>4</sup> Associate prof., Department of chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Professor, Department of plastic, Iran polymer and petrochemical institute, Tehran, Iran

Corresponding author:  
[mmdahmardeh@yahoo.com](mailto:mmdahmardeh@yahoo.com)

Received: 2016/10/07

Accepted: 2016/11/23