

مطالعه اثر حفاظتی نانو اکسید روی در مقابل هوازدگی چندسازه چوب-پلی پروپیلن

داود رسولی^{۱*}، حسین یوسفی^۲ و مهدی مشکور^۲

*۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. پست الکترونیک: rasouli@gau.ac.ir

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

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۰

چکیده

در این بررسی اثر نانو اکسید روی به عنوان جاذب نور فرابنفش بر مقاومت به هوازدگی چندسازه چوب-پلی پروپیلن مطالعه شد. برای این منظور، چندسازه‌های چوب-پلی پروپیلن با افزودن ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد نانو اکسید روی به کمک مخلوطکن داخلی و پرس آزمایشگاهی ساخته شدند. سپس آزمون هوازدگی شدت گرفته به مدت ۱۴۸۰ ساعت (در توالی‌های ۰، ۴۸۰، ۹۶۰ و ۱۴۸۰ ساعت) روی آنها انجام شد. برای مطالعه شدت هوازدگی، از آزمون‌های مقاومت کششی، سختی، رنگ‌سنجی، تصاویر استریومیکروسکوپ و طیف‌سنجی FTIR استفاده شد. نتایج نشان داد که هوازدگی موجب تخریب فیزیکی و شیمیایی سطح نمونه‌ها، تغییر رنگ و کاهش مقاومت‌های کششی و سختی شده است. وجود نانو اکسید روی در ساختار چندسازه توانست تا حدودی از افت مقاومت کششی و سختی نمونه‌ها و همچنین تخریب سطح آنها جلوگیری کند. در مجموع می‌توان گفت که استفاده از ۲ درصد نانو اکسید روی عملکرد بهتری را در برابر هوازدگی نسبت به سایر مقادیر مورد استفاده در این تحقیق داشته است.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب-پلی پروپیلن، هوازدگی، نانو اکسید روی.

مقدمه

استفاده از چندسازه‌های چوب-پلاستیک در تزئینات فضای باز و محصولات ساختمانی به سرعت در حال رشد است. پلی پروپیلن یکی از پرکاربردترین پلیمرهای مورد استفاده در ساخت چندسازه‌های چوب-پلاستیک است که عمدتاً آن را برای ساخت دیوارکوب (Cladding) استفاده می‌کنند (Friedrich & Luible 2016). این ماده در مقایسه با پلی اتیلن دارای مدول و مقاومت خمشی بالاتری است. از دیگر مزیت‌های مهم این پلیمر می‌توان به بالا بودن نقطه نرم‌شوندگی و در نتیجه امکان استفاده در دماهای بالاتر را اشاره کرد. البته این پلیمر به دلیل داشتن کربن نوع سوم به

میزان فراوان در ساختار زنجیره‌های خود، مستعد تخریب نوری نیز است (Saunders 2012, Whelan & Whelan 1994). به طوری که این پلیمر در حضور نور فرابنفش خورشید و اکسیژن با سرعت بیشتری نسبت به پلی اتیلن دچار اکسیداسیون شده و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Tripathi 2002). یکی از عوامل مهم در کاربردهای بیرونی، مسئله دوام چندسازه‌های چوب پلاستیک در برابر هوازدگی و عوامل محیطی مانند تشعشعات فرابنفش حاصل نور خورشید، رطوبت، دما و ... است (Chaochanchaikul et al., 2013). هوازدگی می‌تواند علاوه بر کاهش زیبایی و تغییر

باشد (Rangavar *et al.*, 2017. Kaymakci 2020. Farahani & Banikarim 2013. Xuan *et al.*, 2017). نانو اکسید روی به عنوان ماده نیمه رسانا با باند گپ پهن (~ 3.3 eV) می تواند امواج فرابنفش را در محدوده وسیعی ($380 - 200$ نانومتر) جذب کند و بدین ترتیب لایه حفاظتی مناسبی را در برابر امواج فرابنفش ایجاد نماید (Rasouli *et al.*, 2016. Nguyen *et al.*, 2020). به همین دلیل این ماده به عنوان یک افزودنی مناسب برای کاهش تخریب ناشی از هوازدهی برای چوب، چوب-پلیمر و چندسازه چوب-پلی اتیلن معرفی شده است (Rasouli *et al.*, 2016. Clausen, *et al.*, 2010).

با توجه به مقاومت پایین چندسازه چوب-پلی پروپیلن در برابر هوازدهی و لزوم بهبود آن، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نانو اکسید روی در افزایش مقاومت به هوازدهی این چندسازه انجام شده است.

مواد و روش ها

در این پژوهش، از پلی پروپیلن با نام تجاری V30S (پتروشیمی سازند- با شاخص جریان مذاب 18 g/10 min) به عنوان ماده زمینه و از آرد چوب گونه راش (۶۰ تا ۸۰ مش) به عنوان پرکننده استفاده شد. ماده جفت کننده MAPP حاوی ۱ درصد مالئیک انیدرید (شرکت کیمیا جاوید سپاهان) و جاذب نور نانو اکسید روی (شرکت آلفا ایسر (Alfa Aesar) آمریکا) از دیگر مواد مورد استفاده در این تحقیق بودند.

در این تحقیق نمونه های آزمونی به کمک مخلوط کن داخلی (Brabender مدل ۳۳۰، آلمان) و پرس آزمایشگاهی ساخته شدند. برای این منظور، نخست پلیمر پلی پروپیلن و جفت کننده MAPP به مدت ۲ دقیقه در دمای ۱۸۵ درجه سانتی گراد به وسیله دستگاه مخلوط کن داخلی (سرعت ۶۵ دور در دقیقه) ذوب گردیدند. سپس آرد چوب و نانو اکسید روی به عنوان جاذب نور فرابنفش (به مقدار ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد بر اساس وزن کل چندسازه) به آنها اضافه و عمل اختلاط تا ۴ دقیقه دیگر ادامه پیدا کرد. در

رنگ چندسازه چوب-پلاستیک، خصوصیات مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی آنها را نیز تحت تأثیر قرار دهد (Stark & Matuana 2006, Zhang *et al.*, 2010). تخریب هوازدهی چندسازه چوب-پلاستیک را می توان در دو مرحله، پلیمر زمینه و پرکننده چوبی بررسی کرد. در تخریب نوری پلیمر ماده زمینه، واکنش های برش زنجیره پلیمر و ایجاد پیوند عرضی باهم در رقابت اند. اگر واکنش های برش زنجیره شکل غالب باشند کاهش وزن مولکولی پلیمر اتفاق خواهد افتاد (Chang *et al.*, 2020). فرایند تخریب نوری مرحله چوبی از طریق ایجاد رادیکال های آزاد (احتمالاً با اکسایش گروه های هیدروکسیل فنولی) آغاز می شود و در نتیجه این فرایند، میزان لیگنین و گروه های متوکسل کاهش و میزان اسیدیتته و غلظت گروه های کربوکسیلی چوب افزایش می یابد. مواد حاصل از هوازدهی چوب شامل گازها، آب، اسیدهای آلی، وانیلین، سیرینگ آلدئید و مولکول هایی با وزن مولکولی بالا هستند که قابلیت شستشو دارند (Williams 2005).

برای افزایش مقاومت به هوازدهی چندسازه های چوب-پلاستیک، می توان به پیشنهاد های مختلفی از جمله افزودنی های جاذب های نور فرابنفش، هالزها (Hindered amine light stabilizers) رنگ دانه ها اشاره کرد. مواد جاذب نور با جذب نور فرابنفش و ایجاد اثر پوششی، مانع از رسیدن امواج فرابنفش به چندسازه موجب افزایش مقاومت به هوازدهی می گردد. جاذب های نور فرابنفش را می توان به دو دسته آلی و معدنی تقسیم کرد. نوع معدنی عمدتاً مواد نیمه رسانایی هستند که می توانند امواج فرابنفش را جذب کنند، از جمله این مواد می توان به اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم (شکل روتایل) اشاره کرد (Muasher & Sain 2006. Homkhiew *et al.*, 2014. Du *et al.*, 2010. Fei *et al.*, 2016).

استفاده از نانو ذرات در ساختار چندسازه های چوب-پلاستیک می تواند مزایای زیادی از جمله بهبود مقاومت های فیزیکی، مکانیکی و حرارتی و همچنین کاهش تخریب ناشی از عوامل بیولوژیک و هوازدهی را به همراه داشته

سطح نمونه‌ها بعد از هوازدگی از تصاویر به دست آمده از دستگاه استریو میکروسکوپ (OLYMPUS مدل 8ZX16، ژاپن) استفاده گردید.

در این تحقیق برای هر تیمار، تعداد ۳ عدد تخته آزمونی تهیه گردید. برای بررسی نتایج آزمون‌های کشش و سختی از طرح کاملاً تصادفی و آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج مقاومت کششی داده‌ها قبل از هوازدگی حکایت از آن دارد که افزودنی نانو اکسید روی تأثیر منفی بر این مقاومت داشته، به طوری که حتی استفاده از یک درصد نانو اکسید روی هم باعث کاهش معنی‌دار این مقاومت شده است. هوازدگی نیز موجب افت مقاومت کششی نمونه‌ها شده است، به طوری که در اثر این پدیده کاهش معنی‌دار مقاومت کششی در تیمارها مشاهده می‌گردد (جدول ۱). با توجه به اختلاف معنی‌دار مقاومت کششی تیمارها قبل از هوازدگی، از میزان مقاومت کششی باقیمانده برای بررسی عملکرد تیمارها در طی هوازدگی استفاده شد. مطابق شکل ۱، مقاومت کششی باقیمانده تیمارها در طی هوازدگی روند کاهشی داشته که این کاهش در ۴۸۰ ساعت اول هوازدگی از شدت بیشتری برخوردار بود. همچنین بررسی نمودارها نشان می‌دهد که وجود نانو اکسید روی به عنوان جاذب نور فرابنفش تا حدودی توانسته از کاهش مقاومت کششی نمونه‌ها جلوگیری کند که در این میان، نمونه‌های حاوی ۲ درصد نانو اکسید روی بهترین عملکرد را از خود نشان دادند.

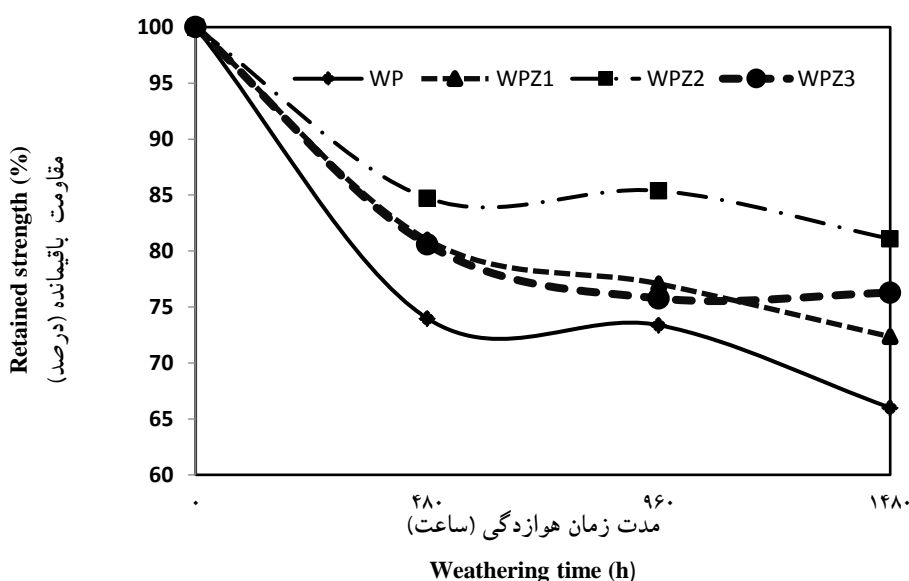
نهایت نمونه‌های آزمونی با ضخامت ۱ و ۳ میلی‌متر به کمک شابلون فلزی و پرس آزمایشگاهی (دمای پرس ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ دقیقه) تهیه شدند. در این تحقیق تمامی نمونه‌ها از ۵۰ درصد آرد چوب، ۴۸ درصد پلی‌پروپیلن و ۲ درصد جفت‌کننده تشکیل شده‌اند. برای سهولت در بررسی نتایج، داده‌های تیمارهای محتوای ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد نانو اکسید روی به ترتیب با علامت اختصاری WPZ1، WPZ2، WPZ3 و WPZ4 ارائه شده است.

آزمون هوازدگی مطابق استاندارد ASTM D4329 و با استفاده از دستگاه QUV Weatherometer ساخت آمریکا (۸ ساعت تابش در دمای ۶۰ درجه و ۴ ساعت در شرایط کندانس در دمای ۵۰ درجه) انجام شد (ASTM 2005b). برای بررسی تغییرات شیمیایی سطح نمونه‌ها قبل و بعد از هوازدگی از طیف‌سنجی ATR-FTIR (دستگاه Bruker مدل Tensor II، آلمان) استفاده و داده‌های به دست آمده از آن در پیک 2912 cm^{-1} (ارتعاش گروه متیل پلیمر) به عنوان پیک مرجع نرمال شدند (Stark & Matuana 2007). مقاومت کششی نمونه‌های مستطیلی شکل به ابعاد $100 \times 10 \times 0.8$ میلی‌متر طبق استاندارد ASTM D ۸۸۲ با سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر در دقیقه توسط دستگاه اینسترون ۴۴۸۶ (ساخت انگلستان) انجام شد (ASTM 2002). برای اندازه‌گیری سختی نمونه‌ها از سختی سنج شور D با وزنه ۵ کیلوگرمی مطابق استاندارد ASTM D ۲۲۴۰ استفاده گردید (ASTM 2005a). تغییرات رنگی نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی به کمک دستگاه TES مدل 135A (ساخت چین) بر اساس سیستم CIE- L*,a*,b* و مطابق استاندارد ASTM D 2244 اندازه‌گیری شد (ASTM). همچنین برای بررسی تغییرات

جدول ۱- میانگین مقاومت کششی (MPa) نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی (حروف کوچک انگلیسی a-e در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$))

Table 1. Mean tensile strength of the samples during the weathering

تیمار Treatment	بدون هوازدگی No weathering	مدت زمان هوازدگی (ساعت) Weathering time (h)		
		1480	960	480
WP	25.75 ^a	19.05 ^c	18.9 ^c	17.02 ^{de}
WPZ1	23.05 ^b	18.72 ^{cd}	17.77 ^d	16.68 ^{de}
WPZ2	20.11 ^c	17.04 ^{de}	17.17 ^{de}	16.3 ^{de}
WPZ3	19.89 ^c	16.03 ^{de}	15.07 ^e	15.17 ^e

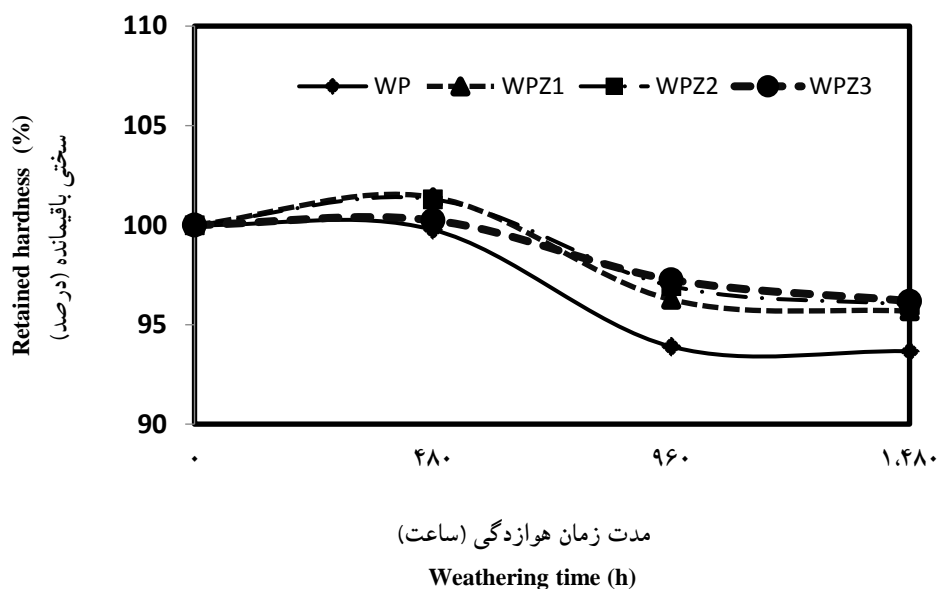


شکل ۱- اثر نانو اکسید روی بر میزان مقاومت کششی باقیمانده نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی

Figure 1. Effect of nano- zinc oxide on the retained tensile strength of samples during the weathering

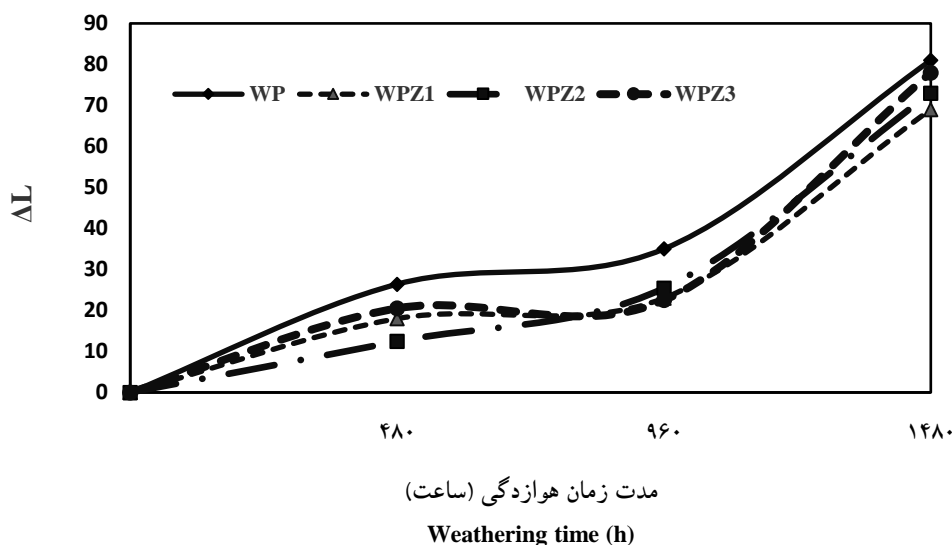
زمان هوازدگی ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هوازدگی موجب افزایش میزان روشنایی در تمامی نمونه‌ها شده است و این افزایش در بازه زمانی ۹۶۰ تا ۱۴۸۰ ساعت با سرعت بیشتری بوده است. در بین تیمارها، بیشترین تغییرات روشنی در نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که استفاده از نانو اکسید روی در ساختار چندسازه توانسته تا حدی از تغییرات روشنی نمونه‌ها جلوگیری کند.

بررسی تغییرات سختی در طی هوازدگی نشان داد که سختی نمونه‌ها بعد از ۴۸۰ ساعت هوازدگی دچار کاهش شده است. در بین نمونه‌ها، بیشترین میزان کاهش در نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی مشاهده شد. استفاده از نانو اکسید روی تا حدودی توانسته از میزان کاهش سختی در طی هوازدگی جلوگیری کند. در شکل ۳ تغییرات شاخص روشنایی نمونه‌ها در مدت



شکل ۲- اثر نانو اکسید بر میزان سختی باقیمانده نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی

Figure 2. Effect of nano- zinc oxide on the retained hardness of samples during the weathering

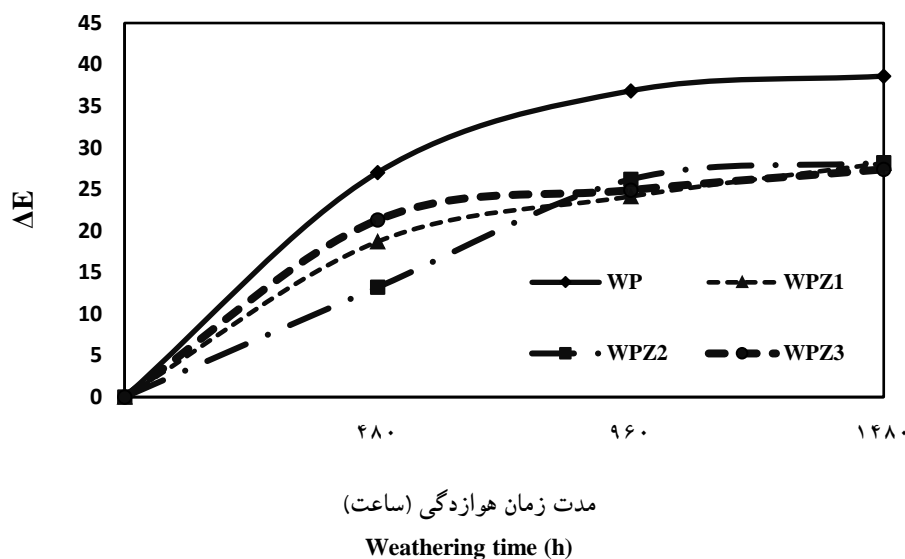


شکل ۳- اثر نانو اکسید روی بر تغییرات روشنی نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی

Figure 3. Effect of nano- zinc oxide on the lightness changes of samples during the weathering

نانو اکسید روی تأثیر مثبتی در کاهش تغییرات رنگی نمونه‌ها داشته است، در این زمینه، نمونه‌های حاوی ۲ درصد نانو اکسید روی عملکرد بهتری را در ۴۸۰ ساعت اول هوازدگی از خود نشان داده است.

نتایج تغییرات رنگی نمونه‌ها در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌ها در اثر هوازدگی دچار تغییرات رنگی شده‌اند. بیشترین میزان تغییرات رنگی در نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی مشاهده می‌شود. استفاده از



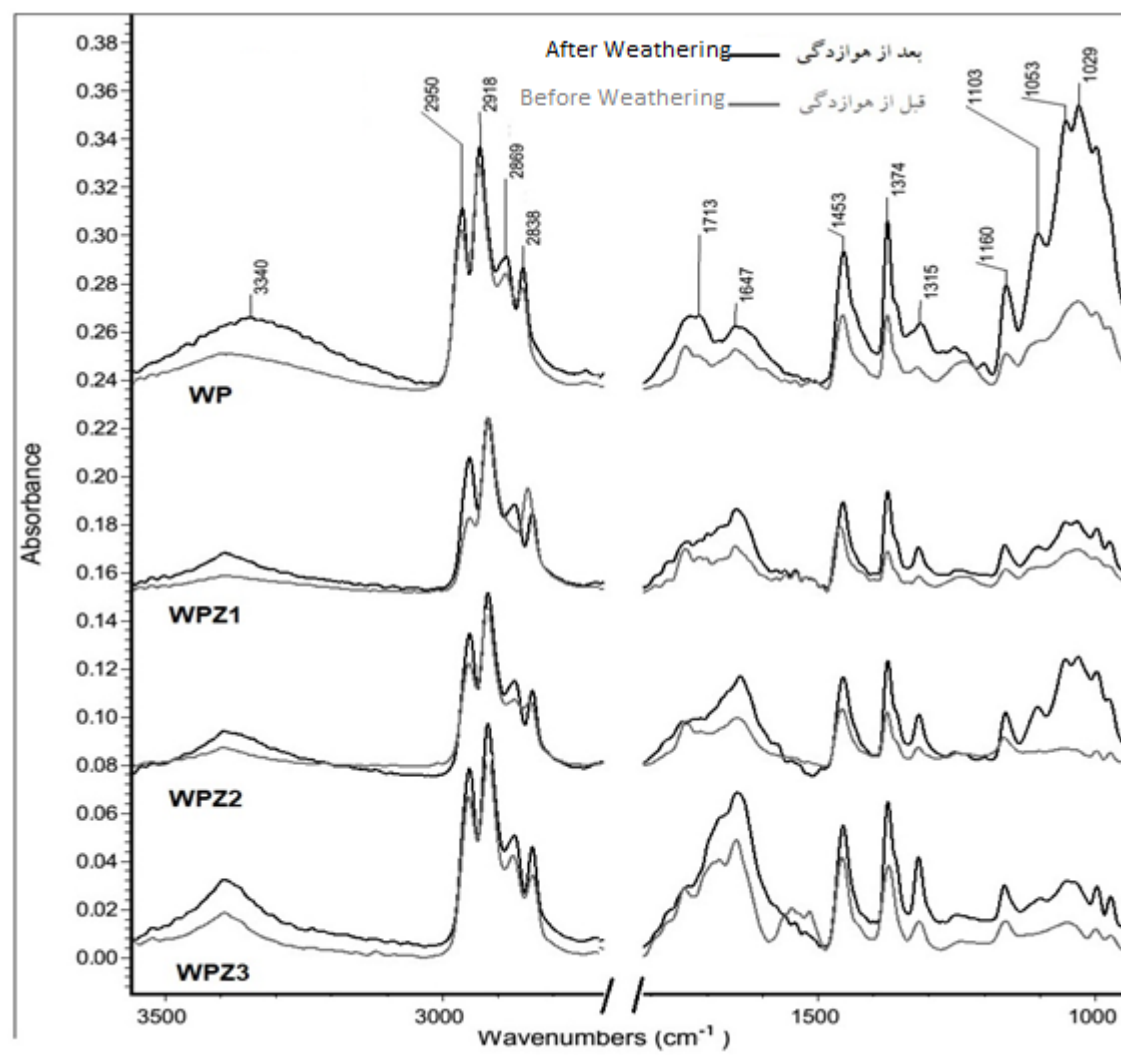
شکل ۴- اثر نانو اکسید روی بر تغییرات رنگی نمونه‌ها در طی دوره هوازدگی

Figure 4. Effect of nano- zinc oxide on the color changes of samples during the weathering

نمونه‌ها شاهد افزایش قابل توجهی در پیک 1640 cm^{-1} هستیم.

برای بررسی میزان تخریب سطوح در معرض هوازدگی، از تصاویر استریومیکروسکوپ استفاده شد (شکل ۶). تصاویر قبل از هوازدگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که لایه‌ای از پلیمر پلی‌پروپیلن سطح چندسازه را پوشانده است. درحالی‌که در تصاویر به‌دست آمده بعد از هوازدگی، پلیمر موجود در سطح نمونه‌ها دچار تخریب شده و علاوه بر ترک‌های فراوان ذرات چوب بیشتری نیز در سطح نمونه‌ها مشاهده می‌شود. البته تخریب و وجود ذرات چوب در سطح نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی (WP) از شدت بیشتری برخوردار است. استفاده از نانو اکسید روی تأثیر مثبتی در این زمینه از خود نشان داده است، به طوری‌که در این تیمارها، میزان پلی‌پروپیلن بیشتری در سطح باقی‌مانده که این موضوع در نمونه‌های حاوی ۳ درصد نانو اکسید روی مشهودتر می‌باشد.

بررسی نتایج طیف‌سنجی ATR-FTIR نشان می‌دهد که در نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی (WP) افزایش قابل ملاحظه‌ای در پیک 1029 cm^{-1} مربوط به ارتعاش C-O، پیک 1374 cm^{-1} مربوط به ارتعاش C-H سلولوز و همی سلولوز، پیک 1453 cm^{-1} مربوط به ارتعاش CH_2 و پیک 3340 cm^{-1} مربوط به ارتعاش O-H سلولوز و هیدروپیرکسید (Pandey & Pitman 2003. Butylina *et al.*, 2012a) دیده می‌شود. همچنین در پیک‌های مربوط به 1713 cm^{-1} و 1647 cm^{-1} (به ترتیب مربوط به ارتعاش گروه وینیل و کربونیل) نیز شاهد افزایش هستیم. از سوی دیگر، تغییراتی در پیک‌های مربوط به لیگنین (پیک‌های 1500 تا 1600 cm^{-1} مربوط به ارتعاش $\text{C}=\text{C}$ لیگنین (Butylina, *et al.*, 2012a)) مشاهده نمی‌شود. استفاده از نانو اکسید روی در ساختار چندسازه باعث شد که پیک‌های مربوط به سلولوز و همی سلولوز چوب در اثر هوازدگی با شدت کمتری افزایش پیدا کنند اما غلظت گروه کربونیل در این نمونه‌ها تغییر محسوسی نداشته است. در این



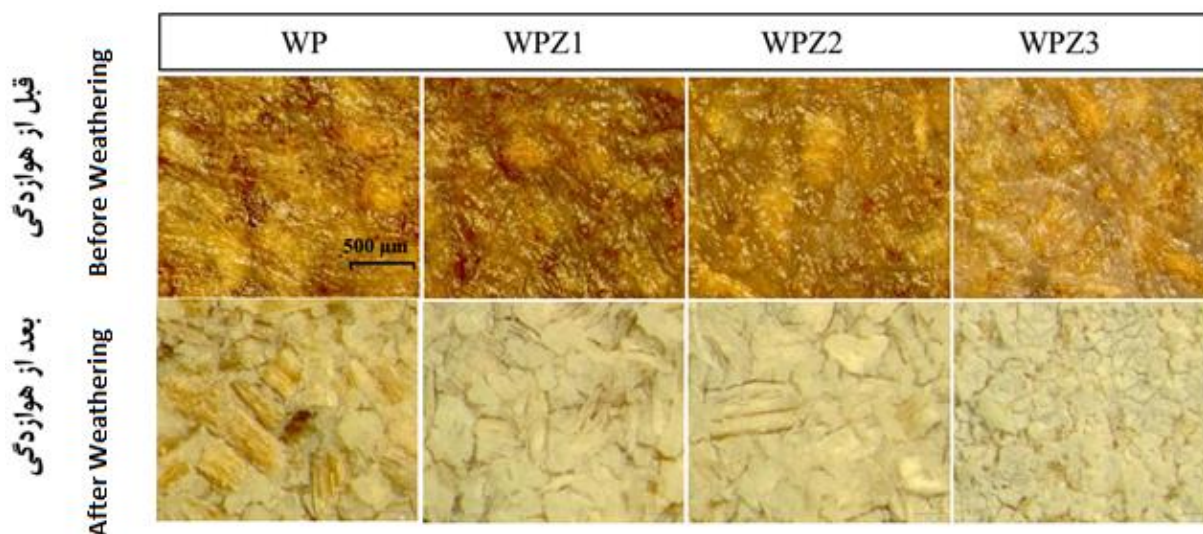
شکل ۵- طیف ATR-FTIR سطح نمونه‌ها قبل و بعد از ۱۴۸۰ ساعت هوازدگی

Figure 5. ATR-FTIR spectra of samples before and after 1480 h of weathering

بحث

ساختار چندسازه چوب- پلی پروپیلن موجب کاهش مقاومت کششی نمونه‌های مربوطه شده است. دلیل این کاهش، تمایل ذرات نانو اکسید روی به تجمع و کلوخه شدن به دلیل داشتن انرژی سطحی بالا در آنهاست. نتایج همچنین نشان داد که هوازدگی نیز موجب کاهش مقاومت کششی نمونه‌ها شده است. علت این موضوع می‌تواند ناشی از کاهش وزن مولکولی زنجیره-های پلیمر، ایجاد ترک در سطح چندسازه و تنش‌های ناشی از جذب رطوبت توسط ذرات چوب در طی دوره هوازدگی باشد (Beg & Pickering 2008, Butylina *et al.*, 2012b.) (Matuana & Kamdem 2002).

با توجه به اهمیت حفظ ظاهر و زیبایی محصولات حاصل از چندسازه‌های چوب- پلاستیک در سرویس، مطالعه عوامل مؤثر بر کاهش زیبایی این محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است. هوازدگی پدیده‌ای است که به شدت بر شکل ظاهری و زیبایی این چندسازه‌ها تأثیر می‌گذارد. از این رو باید با استفاده از افزودنی‌های مناسب، شدت تخریب ناشی از هوازدگی را در این چندسازه‌ها کاهش داد. برای این منظور، در این مطالعه از نانو اکسید روی به عنوان ماده حفاظتی در برابر هوازدگی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از نانو اکسید روی در



شکل ۶- تصاویر استریومیکروسکوپ از سطح نمونه‌ها قبل و بعد از ۱۴۸۰ ساعت هوازدگی

Figure 6. Stereomicroscope images of the sample surface before and after 1480 h of weathering

پدیده دچار اکسیداسیون نوری می‌شود (Butylina *et al.*, 2012a). نتایج این تحقیق نشان داد که در نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی (WP) افزایش قابل ملاحظه‌ای در پیک‌های مربوط به سلولز و همی‌سلولز چوب مشاهده می‌شود. افزایش این پیک‌ها نشان می‌دهد که در طی پدیده هوازدگی، میزان ذره‌های چوب نسبت به پلی‌پروپیلن در سطح چندسازه افزایش یافته است. دلیل این موضوع واکنش‌های برش زنجیری و تخریب پلی‌پروپیلن در اثر اکسیداسیون نوری است. از سوی دیگر، عدم افزایش در پیک‌های مربوط به لیگنین در مقایسه با پیک‌های مربوط به سلولز و همی‌سلولز حکایت از آن دارد که ذرات چوبی موجود در سطح چندسازه نیز دچار تخریب نوری شده‌اند و لیگنین آنها در اثر واکنش‌های اکسیداسیون نوری تخریب و شسته شده است. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که شدت پیک‌های مربوط گروه وینیلی و کربونیل نیز افزایش یافته است. در مطالعات قبلی نیز افزایش غلظت گروه وینیل در پلی‌پروپیلن و همچنین افزایش غلظت گروه کربونیل در پلی‌پروپیلن و چوب در طی پدیده هوازدگی مشاهده و گزارش شده است (Butylina *et al.*, 2012a). استفاده از نانو اکسید روی در ساختار چندسازه باعث شد که پیک‌های مربوط به سلولز و همی‌سلولز چوب در اثر هوازدگی

کاهش کمتر مقاومت کششی نمونه‌های حاوی نانو اکسید روی در اثر هوازدگی، نشان‌دهنده آن است که وجود این ماده موجب کاهش تخریب سطحی نمونه‌ها شده است. نتایج رنگ‌سنجی نشان داد که تمامی نمونه‌ها در اثر هوازدگی دچار تغییرات رنگی شده‌اند (Butylina *et al.*, 2012b). این موضوع می‌تواند ناشی از ایجاد لایه گچی و سفیدرنگ در سطح چندسازه به دلیل اکسیداسیون نوری پلی‌پروپیلن و همچنین تخریب لیگنین، مواد استخراجی و مواد رنگی چوب و در نهایت شسته شدن آنها باشد (Matuana *et al.*, 2011; Beg & Pickering 2008; Andradý 2007; Fabiyi & McDonald 2014).

بررسی نتایج طیف‌سنجی ATR-FTIR نشان می‌دهد که شیمی سطح نمونه‌ها در اثر هوازدگی دچار تغییر شده است. هوازدگی چندسازه-پلی‌پروپیلن را می‌توان در دو مرحله بررسی کرد. مرحله پلی‌پروپیلن که در اثر اکسیداسیون این پلیمر واکنش‌های برش زنجیری و اتصالات عرضی شکل می‌گیرد که این موضوع منجر به ایجاد گروه‌های عاملی گوناگونی از قبیل کربونیل، هیدروپروکسید، کربوکسیلیک اسید، گاما لاکتون و ... می‌شود (Rajakumar *et al.*, 2009). هوازدگی مرحله چوبی که در آن عمدتاً لیگنین در اثر این

- Fluorescent UV Exposure of Plastics.
- ASTM, H., D2244—Standard Test Method for Calculation of Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates.
- Beg, M.D.H. and Pickering, K.L., 2008. Accelerated weathering of unbleached and bleached Kraft wood fibre reinforced polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability* 93 (10): 1939-1946.
- Butylina, S., Hyvärinen, M. and Kärki, T., 2012a. A study of surface changes of wood-polypropylene composites as the result of exterior weathering. *Polymer Degradation and Stability* 97 (3): 337-345.
- Butylina, S., Hyvärinen, M. and Kärki, T., 2012b. Weathering of wood-polypropylene composites containing pigments. *European Journal of Wood and Wood Products* 70 (5): 719-726.
- Chang, B.P., Mohanty, A.K. and Misra, M., 2020. Studies on durability of sustainable biobased composites: a review. *RSC Advances* 10 (31): 17955-17999.
- Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2013. Photodegradation profiles of PVC compound and wood/PVC composites under UV weathering. *Express Polymer Letters* 7 (2).
- Clausen, C.A., Green, F. and Kartal, S.N., 2010. Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano-zinc oxide. *Nanoscale research letters* 5 (9): 1464-1467.
- Du, H., Wang, W., Wang, Q., Zhang, Z., Sui, S. and Zhang, Y., 2010. Effects of pigments on the UV degradation of wood-flour/HDPE composites. *Journal of applied polymer science* 118 (2): 1068-1076.
- Fabiyyi, J.S. and McDonald, M., 2014. Degradation of polypropylene in naturally and artificially weathered plastic matrix composites. *Maderas. Ciencia y tecnología* 16 (3): 275-290.
- Friedrich, D. and Luible, A., 2016. Investigations on ageing of wood-plastic composites for outdoor applications: A meta-analysis using empiric data derived from diverse weathering trials." *Construction and Building Materials* 124: 1142-1152.
- Farahani, M. and Banikarim, F., 2013. Effect of nano-zinc oxide on decay resistance of wood-plastic composites. *BioResources* 8 (4): 5715-5720.
- Fei, P., Xiong, H., Cai, J., Liu, C. and Yu, Y., 2016. Enhanced the weatherability of bamboo fiber-based outdoor building decoration materials by rutile nano-TiO₂. *Construction and Building Materials* 114:307-316.
- Homkhiew, C., Ratanawilai, T. and Thongruang, W., 2014. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced

با شدت کمتری افزایش پیدا کنند که در واقع تأییدی بر اثر حفاظتی این جاذب نور در کاهش تخریب پلی پروپیلن است. همچنین بعد از هوازدگی پیک مربوط به گروه کربونیل در این نمونه‌ها تغییر محسوسی نداشته است اما افزایش قابل توجهی در پیک 1640 cm⁻¹ مشاهده می‌شود. این موضوع حکایت از آن دارد که سازوکار تخریب پلی پروپیلن در اثر وجود نانو اکسید روی دچار تغییر شده است، به طوری که به جای تشکیل گروه‌های وینیلی، کربوکسیلات روی تشکیل شده است (Rasouli *et al.*, 2016).

نتایج تصاویر استریومیکروسکوپی نشان داد که در اثر هوازدگی سطح نمونه‌های فاقد نانو اکسید روی (WP) نسبت به نمونه‌های دارای نانو اکسید روی دچار تخریب بیشتری شده است. البته ایجاد ترک در سطح چندسازه می‌تواند ناشی از واکنش‌های برش زنجیری پلی پروپیلن و تنش‌های ناشی از جذب آب توسط ذرات چوب باشد (Butylina, *et al.*, 2012b; Matuana and Kamdem 2002; Beg & Pickering 2008).

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که چندسازه چوب-پلی پروپیلن در برابر هوازدگی مقاومت مناسبی نداشته و در برابر این پدیده به شدت دچار تخریب و تغییر رنگ می‌گردد؛ بنابراین استفاده از افزودنی‌های مناسب در ساختار این چندسازه‌ها برای استفاده در محیط ضروریست. نتایج این تحقیق نشان داد که نانو اکسید روی با جذب اشعه فرابنفش تا حدودی توانسته از تخریب نمونه‌ها در طی هوازدگی جلوگیری کند.

منابع مورد استفاده

- ASTM D882-02., 2002. In Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken: PA.
- Andrady, A., 2007. "Ultraviolet radiation and polymers. In Physical properties of polymers handbook, 857-866. Springer.
- ASTM, D., 2005a., 2240, Standard test method for rubber property-Durometer hardness.
- ASTM, D., 2005b., 4329-05. Standard Practice for

- Engineering 12 (4): 211-219.
- Rasouli, D., Dintcheva, N.T., Faezipour, M., La Mantia, F.P., Farahani, M. and Tajvidi, M., 2016. Effect of nano zinc oxide as UV stabilizer on the weathering performance of wood-polyethylene composite." *Polymer Degradation and Stability* 133: 85-91.
- Saunders, K.J., 2012. *Organic polymer chemistry: an introduction to the organic chemistry of adhesives, fibres, paints, plastics and rubbers*: Springer Science & Business Media.
- 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 (10): 1883-1890.
- 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.
- Tripathi, D., 2002. *Practical guide to polypropylene*: iSmithers Rapra Publishing.
- Whelan, A. and Whelan, T., 1994. *Polymer technology dictionary*: Springer Science & Business Media.
- Williams, R.S., 2005. Weathering of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites* 7: 139-185.
- Xuan, L., Han, C., Wang, D., Cheng, W. and Li, Q., 2017. Effect of surface-modified TiO₂ nanoparticles on the anti-ultraviolet aging performance of foamed wheat straw fiber/polypropylene composites. *Materials* 10 (5): 456.
- Zhang, Z.M., Du, H., Wang, W.H. and Wang, Q.W., 2010. Property changes of wood-fiber/HDPE composites colored by iron oxide pigments after accelerated UV weathering. *Journal of Forestry Research* 21 (1): 59-62.
- with rubberwood flour. *Industrial Crops and Products* 56: 52-59.
- Kaymakci, A., 2020. Effect of sepiolite clay nanofibers on physical, mechanical, and thermal properties of wood-plastic nanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*
- Matuana, L.M., Jin, S. and Stark, N.M., 2011. Ultraviolet weathering of HDPE/wood-flour composites coextruded with a clear HDPE cap layer. *Polymer Degradation and Stability* 96 (1): 97-106.
- Matuana, L.M. and Kamdem, D.P., 2002. Accelerated ultraviolet weathering of PVC/wood-flour composites. *Polymer Engineering & Science* 42 (8): 1657-1666.
- 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.
- Nguyen, T.V., Dao, P.H., Nguyen, T.A., Dang, V.H., Ha, M.N. and Nguyen, P., 2020. Photocatalytic degradation and heat reflectance recovery of waterborne acrylic polymer/ZnO nanocomposite coating. *Journal of Applied Polymer Science* 137 (37): 49-116.
- Pandey, K.K. and Pitman, A., 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International biodeterioration & biodegradation* 52 (3): 151-160.
- Rajakumar, K., Sarasvathy, V., Chelvan, A.T., Chitra, R. and Vijayakumar, C.T., 2009. Natural weathering studies of polypropylene. *Journal of Polymers and the Environment* 17 (3): 191-202.
- Rangavar, H., Taghiyari, H.R., Oromiehie, A., Gholipour, T. and Safarpour, A., 2017. Effects of nanoclay on physical and mechanical properties of wood-plastic composites. *Wood Material Science &*

A study on the protective effect of nano zinc oxide against weathering of wood-polypropylene composite

D. Rasouli^{1*}, H. Yousefi² and M. Mashkour²

^{1*}-Corresponding author , Assistant Prof, Department of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rasouli@gau.ac.ir

²-Associate Prof, Department of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: Sep., 2021

Accepted: Jan., 2022

Abstract

In this research, the effect of using nano-zinc oxide (nano-ZnO) as a UV absorbent agent on the weathering resistance of wood- polypropylene composite was investigated. For this purpose, composite samples containing 0, 1, 2 and 3% nano-ZnO were manufactured using an internal mixer and a laboratory press. The prepared specimens were exposed to artificial weathering for 1480 hrs (in the periods of 0 ,480, 960 and 1480 hrs). The weathering degradation of specimens was monitored by tensile strength, hardness, colorimetry measurements, as well as Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and, stereomicroscope tests. Results showed that weathering caused color changes, tensile strength and hardness reduction, physical and chemical degradation on the surface of the samples. The use of nano-ZnO partially prevented tensile strength and hardness reduction of samples as well as their surface degradation. In general, the use of 2% nano ZnO has been a better performance against weathering than other values.

Keywords: Wood-Polypropylene composite, weathering, nano-zinc oxide.