



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گنجان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم، شماره دوم، ۱۳۹۲

<http://jwfst.gau.ac.ir>

بررسی اثر بورات روی به همراه افزودنی‌های جاذب نور و آنتی‌اکسیدان بر هواز دگی چندسازه چوب- پلی‌اتیلن دانسیته بالا

* داود رسولی^۱، مهدی فائزی‌پور^۲، محمدرضا ماستری‌فراهانی^۳ و مهدی تجویدی^۴
^۱ دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران،
^۲ استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
^۳ پژوهشگر دانشکده مهندسی، دانشگاه واترلو، کانادا
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۶

چکیده

در این پژوهش، اثر قارچ‌کش بورات روی به همراه افزودنی‌های جاذب نور و آنتی‌اکسیدان در بهبود مقاومت به هواز دگی چندسازه چوب- پلی‌اتیلن دانسیته بالا مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور رنگ‌سنجی و مقاومت کششی نمونه‌ها در زمان‌های ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ساعت هواز دگی، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز و روش گرماسنجی پویشی تفاضلی نمونه‌ها قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هواز دگی بررسی گردید. نتایج نشان داد که بورات روی تأثیری در مقاومت به هواز دگی چندسازه چوب- پلی‌اتیلن دانسیته بالا نداشته است. بررسی طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز و نتایج گرماسنجی پویشی تفاضلی نمونه‌های شامل آنتی‌اکسیدان، نشان‌دهنده اکسایش و تخریب بیش‌تر سطح نمونه‌های نام برده بود. استفاده از جاذب نور باعث بهبود مقاومت به هواز دگی نمونه‌ها شد و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از افت مقاومت کششی و تغییرات رنگی نمونه‌ها در اثر هواز دگی جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب- پلی‌اتیلن دانسیته بالا، هواز دگی، بورات روی، آنتی‌اکسیدان ایرگانوکس
۱۰۱۰، جاذب نور تینوین ۳۲۸

* مسئول مکاتبه: rasouli.ut@gmail.com

مقدمه

در دهه اخیر تمایل به استفاده از چندسازه چوب-پلاستیک به دلیل قیمت تمام شده پایین، وزن سبک‌تر، خصوصیات مکانیکی و سفتی بهتر نسبت به محصولات چوبی رشد چشم‌گیری را داشته است. همچنین با توجه به ممنوعیت اعمال شده در استفاده از محصولات چوبی تیمار شده با ماده حفاظتی CCA (آنا و چانگ، ۲۰۱۰؛ هومر و لسار، ۲۰۰۷)، استفاده از محصولات بالا در محیط‌های بیرونی مانند قاب پنجره، در، پوشش سقف و مبلمان به‌میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

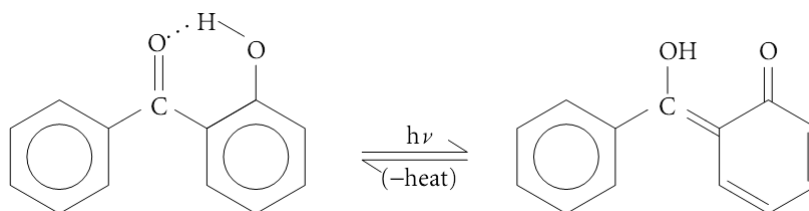
از آنجایی که پلاستیک‌ها به‌طور عموم مقاومت مناسبی را نسبت به جذب آب و حمله قارچی از خود نشان می‌دهند، بنابراین پیش‌فرض اصلی به هنگام تولید چندسازه چوب-پلاستیک بر این اصل استوار بوده که ذرات چوب به‌وسیله پلاستیک پوشانده شده و به دلیل جذب نشدن آب توسط ذرات چوب، پوسیدگی در آن‌ها اتفاق نمی‌افتد. این در حالی است که تعدادی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ذرات چوب به‌طور کامل توسط پلاستیک‌ها پوشیده نشده و در نتیجه رطوبت ذرات چوب می‌تواند به مقدار رطوبت بهینه برای فعالیت بیشتر قارچ‌های مولد پوسیدگی برسد (منکوسکی و مورل، ۲۰۰۰). برای نخستین بار آثار پوسیدگی قهوه‌ای و سفید توسط موریس و کوپر (۱۹۹۸) بر روی چندسازه چوب-پلی‌اتیلن شامل ۵۰ درصد چوب که به مدت ۴ سال در سرویس مورد استفاده قرار گرفته بود، گزارش گردید. پندلتون و همکاران (۲۰۰۲) اثر بورات‌روی را در سطوح ۱۰-۲ درصد در پوسیدگی چندسازه چوب-پلی‌اتیلن بررسی و اعلام کردند که در هیچ‌کدام از نمونه‌های شامل بورات‌روی، آثار پوسیدگی سفید و قهوه‌ای مشاهده نشد. در حالی که نمونه‌های بدون بورات‌روی با درصد چوب بالا دچار پوسیدگی سفید و قهوه‌ای شدند. امروزه برای افزایش مقاومت به تخریب بیولوژیکی چندسازه‌های چوب-پلاستیک مورد استفاده در محیط‌های بیرونی، بیش‌تر تولیدکنندگان از بورات‌روی به‌عنوان ماده حفاظتی در محصولات خود استفاده می‌نمایند (گوزمن، ۲۰۰۴).

چندسازه‌های چوب-پلاستیک مورد استفاده در محیط بیرونی علاوه بر تخریب قارچی، در معرض تخریب نوری و هوازدگی نیز می‌باشند (فالك و همکاران، ۲۰۰۰). این امر موجب کاهش مقاومت مکانیکی، تغییر رنگ و شکل ظاهری آن‌ها می‌شود (فیبی، ۲۰۰۷؛ لوندین و همکاران، ۲۰۰۱).

تخریب نوری چندسازه چوب و پلاستیک را می‌توان در دو فاز بررسی کرد:

تخریب نوری ماده زمینه به دلیل وجود گروه‌های عاملی بوده که قادر به جذب اشعه پراثرژی فرابنفش (۴۰۰-۳۰۰ نانومتر) می‌باشد. این گروه‌ها به‌طور عمده شامل بقایای کاتالیزورها، گروه‌های

هیدروپروکسید، کربونیل و یا پیوندهای دوگانه می‌باشند که در مراحل ساخت پلیمر به ساختار آن وارد شده و با تولید رادیکال‌های آزاد، موجب تخریب پلیمر می‌شوند (وپیچ، ۲۰۰۳). برای اصلاح ساختار پلیمرها، افزودنی‌های متنوعی برای بهبود ویژگی خاص محصول تولید شده اضافه می‌گردد. آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور عمده برای جلوگیری از تخریب حرارتی در هنگام ساخت و هم به‌هنگام مصرف در سرویس استفاده می‌شوند (استارک و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین تخریب گرمایی در فرآیند هوازادگی نیز تأثیرگذار بوده، هر چند که شدت تخریب آن قابل مقایسه با تخریب نوری نمی‌باشد. تخریب حرارتی نیز ناشی از اکسیداسیون گرمایی است که در آن رادیکال‌های آزاد نقش مهمی را ایفا می‌کنند. عوامل جذب نور فرابنفش، از جمله افزودنی‌های متداول برای کاهش تخریب نوری پلیمرها بوده که مکانیسم تثبیت آن‌ها بر پایه تبدیل امواج مخرب اشعه فرابنفش به امواجی با طول موج بلندتر (بی‌ضرر) یا گرما می‌باشد. این دسته از مواد دارای قدرت جذب بالای امواج فرابنفش بوده و در برابر این امواج تخریب نمی‌شوند. هیدروکسی بنزوفنون^۱ و هیدروکسی فنیل بنزوتیرازول‌ها^۲ دو گروه مهم از این مواد می‌باشند. در شکل ۱ نحوه جذب انرژی اشعه فرابنفش در ۲- هیدروکسی بنزوفنون ارائه شده است. این جاذب نور زمانی که در معرض اشعه فرابنفش قرار می‌گیرد تبدیل به انول شده (شکست پیوند هیدروژنی) و با اتلاف انرژی به‌صورت گرما به ساختار قبلی خود باز می‌گردد (چاندا و روی، ۲۰۱۰).



شکل ۱- مکانیسم جذب و دفع اشعه فرابنفش توسط ۲- هیدروکسی بنزوفنون.

فاز پرکننده چندسازه چوب- پلاستیک یعنی چوب خود متشکل از چندین پلیمر زیستی بوده که میزان جذب طیف نور فرابنفش در پلیمرهای تشکیل دهنده آن یکسان نمی‌باشد. پلیمر لیگنین، اصلی‌ترین عامل جذب نور فرابنفش در ساختار چوب می‌باشد و در حدود ۸۰-۹۵ درصد از اشعه فرابنفش

1- Hydroxy Benzophenone

2- Hydroxy Phenyl Benzotriazole

رسیده را جذب می‌کند (هون و مینمورا، ۲۰۰۱). اشعه فرابنفش موجب گسست بخش‌هایی از لیگنین شامل الفا کربونیل، بی‌فیل و حلقه فنولی شامل پیوند دوگانه شده و با تشکیل رادیکال‌های آزاد، باعث تخریب لیگنین، سلولز و همی‌سلولز می‌شود (بوتیلینا و همکاران، ۲۰۱۲).

همان‌طور که در بالا اشاره شد، هوازگی از دلایل اصلی تغییر رنگ و افت مقاومت مکانیکی چندسازه‌های چوب-پلاستیک می‌باشد. از آنجایی که حفظ شکل ظاهری، زیبایی و مقاومت مکانیکی محصولات چوب-پلاستیک مورد استفاده در سرویس از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (مارکارنیان، ۲۰۰۵)، در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی درباره مقاومت به هوازگی چندسازه‌های چوب-پلاستیک و بهبود آن‌ها صورت گرفته است. با توجه به استفاده از ماده بورات‌روی به‌عنوان ماده حفاظتی در ترکیب چندسازه‌های چوب-پلاستیک و با علم به این‌که در محیط‌های بیرونی، این چندسازه‌ها علاوه بر تخریب بیولوژیکی، در معرض هوازگی نیز می‌باشند. تاکنون بررسی در مورد اثر افزودنی بورات‌روی بر هوازگی چندسازه چوب-پلاستیک صورت نگرفته است. بنابراین این پژوهش برای بررسی تأثیر بورات‌روی بر هوازگی چندسازه چوب-پلی‌اتیلن دانسیته بالا و امکان افزایش مقاومت به هوازگی چندسازه شامل بورات‌روی توسط جاذب نور و آنتی‌اکسیدان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پلیمر پلی‌اتیلن دانسیته بالا با نام تجاری HD۵۶۲۰ محصول مجتمع پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۲۰ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۰/۹۵۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌عنوان ماده زمینه استفاده گردید. از آرد چوب گونه راش با اندازه ذرات ۶۰-۸۰ مش که به مدت یک روز در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شده بودند، به‌عنوان پرکننده استفاده گردید. بورات‌روی ۲۳۳۵ از شرکت والاس^۱ انگلستان، آنتی‌اکسیدان ایرگانوکس^۲ ۱۰۱۰ و جاذب نور تینوین^۳ ۳۲۸ از شرکت BASF تهیه گردیدند.

ساخت نمونه‌های آزمون: برای ساخت چندسازه چوب-پلی‌اتیلن از مخلوط‌کن داخلی^۴ برابندر^۵ مدل ۳۳۰ استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا پلیمر پلی‌اتیلن به مدت ۲ دقیقه در داخل محفظه

- 1- Wallace FR Ltd
- 2- Irganox
- 3- Tinuvin
- 4- Internal Mixer
- 5- Brabender

مخلوطکن داخلی با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت چرخش ۷۰ دور بر دقیقه ذوب شد. سپس آرد چوب و افزودنی‌های دیگر به محفظه مخلوطکن اضافه و عمل اختلاط به مدت ۳ دقیقه ادامه پیدا کرد. نمونه‌ها به کمک قاب فلزی و با استفاده از پرس آزمایشگاهی کور^۱ در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰ مگاپاسکال به مدت ۴ دقیقه پرس شد. در نهایت دمای پرس به وسیله آب به زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. نمونه‌های تولیدی برای آزمون کشش دارای ضخامت ۰/۸-۰/۹ میلی‌متر و برای سایر آزمون‌ها دارای ضخامت ۳ میلی‌متر بودند.

برای آزمون هوازدگی از دستگاه QUV Weatherometer (USA) مجهز به ۸ لامپ UV ۳۱۳ و مطابق استاندارد ASTM D ۴۳۲۹ استفاده شد. محدوده طول موج ساطع شده به وسیله این لامپ‌ها ۲۸۰-۳۹۰ نانومتر می‌باشد. دوره قرارگیری نمونه‌ها در معرض تابش پرتوهای فرابنفش ۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۴ ساعت در شرایط کندانس در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. شرایط کندانس برای ایجاد رطوبت در سطح نمونه‌ها بدون نوردی بود که به وسیله قرار گرفتن سطح نمونه‌ها در معرض هوای اشباع شده از رطوبت و سرد شدن پشت آن‌ها با دمای محیط ایجاد گردید. طول مدت هوازدگی در دستگاه بالا برای تمامی نمونه‌ها ۱۵۰۰ ساعت بود.

برای بررسی اثر بورات‌روی بر جذب طیف نور مرئی و فرابنفش از طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش استفاده گردید. به این منظور، فیلم پلی‌اتیلن (ضخامت ۸۰-۹۰ میکرومتر) شامل ۱، ۲ و ۴ درصد بورات‌روی مطابق شرایط ساخت نمونه‌های اصلی تهیه و رفتار نوری آن‌ها در محدوده ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر به وسیله دستگاه طیف‌سنج (UV-Vis) شیمادزو (مدل UV-۲۴۰۱ PC) مورد بررسی قرار گرفت.

سنجش رنگ نمونه‌های چندسازه چوب-پلی‌اتیلن در طی دوره هوازدگی به روش سیستم رنگی CIELAB توسط دستگاه هانتر لب^۲ صورت گرفت. به کمک دستگاه بالا، مقادیر روشنی (L)، a، b برای هر تیمار با ۶ تکرار اندازه‌گیری شد.

مقاومت کششی نمونه‌های چندسازه چوب-پلی‌اتیلن در دمای محیط به وسیله دستگاه اینسترون مدل ۳۳۶۵ با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر در دقیقه مطابق استاندارد ASTM D ۸۸۲ مورد آزمون قرار گرفت. برای هر تیمار، تعداد ۵ نمونه مستطیلی شکل به ابعاد ۱۰۰×۱۰×۰/۸ میلی‌متر به وسیله کلیپر از صفحات تولید شده در پرس تهیه و آزمون کششی روی آن‌ها صورت گرفت.

1- Cavour
2- Hunter Lab

روش گرماسنجی پویایی تفاضلی (DSC)^۱ تکنیکی است که در آن مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه بر حسب مدت زمان یا دما اندازه‌گیری و براساس آن می‌توان اطلاعات مفیدی در مورد خصوصیات پلیمرها مانند دمای شیشه‌ای، دمای ذوب، دمای بلورینگی و میزان بلورینگی به‌دست آورد. برای انجام این آزمون، ابتدا سطح نمونه‌های در معرض هوازدگی به‌وسیله تیغ جراحی تیز در حدود ۱۰۰ میکرومتر خراش داده شد. سپس آزمون DSC به‌وسیله دستگاه پراکین المر^۲ در محیط نیتروژن، مطابق استاندارد ASTM D ۳۴۱۸ بر روی مقدار ۷-۵ میلی‌گرم انجام گرفت. محدوده دمایی مورد استفاده ۱۶۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد و نرخ تغییرات آن ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه بود. برای اطمینان از ذوب کامل پلیمر بعد از پایان هر دوره گرمادهی، مدت ۳ دقیقه نمونه در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. سپس فرآیند سرد شدن نمونه‌ها تا دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انجام گرفت. برای بررسی دمای ذوب پلیمر از منحنی سری دوم گرمادهی استفاده گردید. برای هر تیمار تعداد دو نمونه مورد آزمایش قرار گرفت.

برای بررسی اثر هوازدگی بر مرفولوژی سطح نمونه‌ها، از میکروسکوپ الکترونی رویشی استفاده شد. برای تهیه تصاویر الکترونی، ابتدا سطح نمونه‌ها به‌وسیله طلا در دستگاه لایه‌نشانی پوشش داده شد. سپس تصاویر در بزرگ‌نمایی‌های موردنظر در ولتاژ ۱۵ کیلوولت توسط دستگاه FE-SEM شرکت Hitachi مدل SU8040 تهیه گردیدند.

برای بررسی تغییرات شیمی سطح، از طیف‌سنجی ATR-FTIR (مدل Bruker Vertex 80) در محدوده ۴۰۰۰-۶۰۰ یک بر سانتی‌متر، با تعداد ۱۶ اسکن و قدرت تفکیک ۴ یک بر سانتی‌متر استفاده گردید. طیف‌های به‌دست آمده پس از تصحیح خط پایه توسط نرم‌افزار دستگاه، برای محاسبه مقادیر شاخص‌های چوب (ارتعاش کششی C-O در سلولز و الکل نوع اول لیگنین)، کربونیل (ارتعاش کششی C=O) و وینیل (ارتعاش کششی C=C) مورد استفاده قرار گرفتند (ماتوانا و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\text{Vinyl index} = \frac{I_{1640}}{I_{2912}} \times 100 \quad \text{Carbonyl index} = \frac{I_{1715}}{I_{2912}} \times 100 \quad \text{wood index} = \frac{I_{1050}}{I_{2912}} \times 100$$

دلیل انتخاب پیک ۲۹۱۲ یک بر سانتی‌متر (ارتعاش کششی گروه متیل پلی‌اتیلن) به‌عنوان پیک مرجع به‌خاطر تغییرات کم آن در طی دوره هوازدگی بود (استارک و همکاران، ۲۰۰۳).

1- Differential Scanning Calorimetry

2- Perkin-Elmer

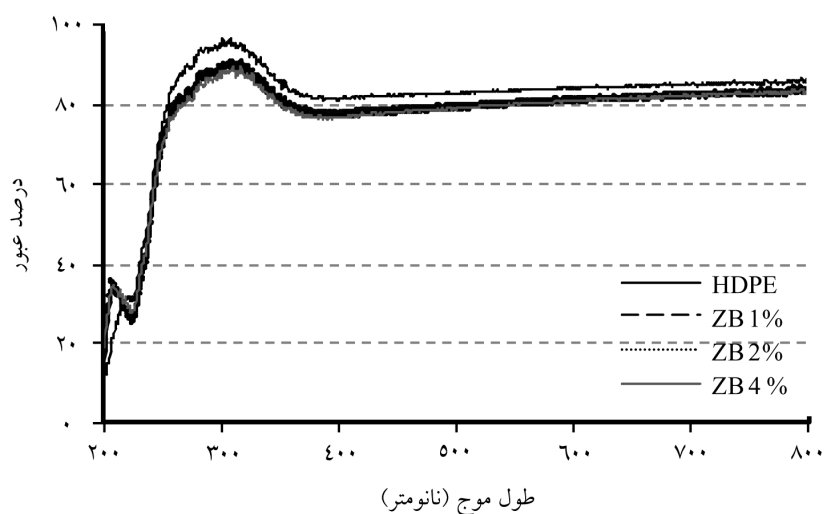
همچنین درصد تغییرات شاخص‌های بالا بعد از هوازدگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\Delta X = X_A \text{ index} - X_B \text{ index}$$

که در آن، $X_A \text{ index}$: مقدار شاخص X بعد از هوازدگی و $X_B \text{ index}$: مقدار شاخص X قبل از هوازدگی.

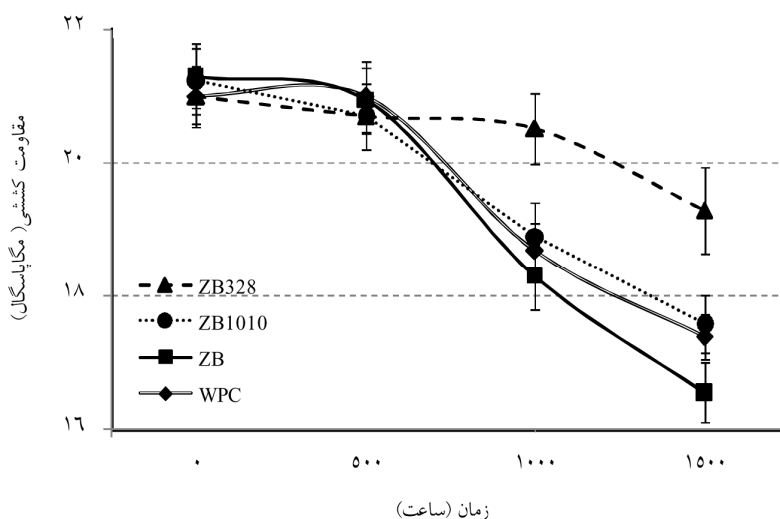
نتایج و بحث

برای بررسی رفتار نوری ماده بورات‌روی، طیف‌سنجی مری-فرابنفش بر روی فیلم‌های پلی‌اتیلن شامل بورات‌روی صورت گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که بورات‌روی و مقدار آن هیچ تأثیری در جذب یا انعکاس نور فرابنفش نداشته است. در واقع استفاده از بورات‌روی در ساختار چندسازه هیچ‌گونه اثر حفاظتی در کاهش میزان اشعه فرابنفش ورودی به ساختار چندسازه در هنگام فرآیند هوازدگی نداشته است (شکل ۲).



شکل ۲- بررسی طیف مری-فرابنفش فیلم پلی‌اتیلن شامل بورات‌روی.

اثر مدت زمان هوازگی بر افت مقاومت کششی در شکل ۳ ارایه شده است همان‌گونه که مشخص است در هر ۴ تیمار، کاهش مقاومت کششی در ۵۰۰ ساعت اول هوازگی ناچیز بوده است. بررسی شیب خط در تیمار WPC، ZB و ZB1۰۱۰ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار کاهش مقاومت کششی در زمان ۵۰۰-۱۰۰۰ ساعت هوازگی اتفاق افتاده است. افزودن بورات‌روی موجب افت بیش‌تر مقاومت در زمان ۱۵۰۰ ساعت نسبت به نمونه‌های بدون بورات‌روی شده است. استفاده از جاذب نور عملکرد بهتری در مقایسه با آنتی‌اکسیدان داشته و از افت مقاومتی نمونه‌های شامل بورات‌روی به‌نحو مؤثری جلوگیری کرده است. این امر بیانگر عملکرد مثبت جاذب نور در کاهش هوازگی می‌باشد.

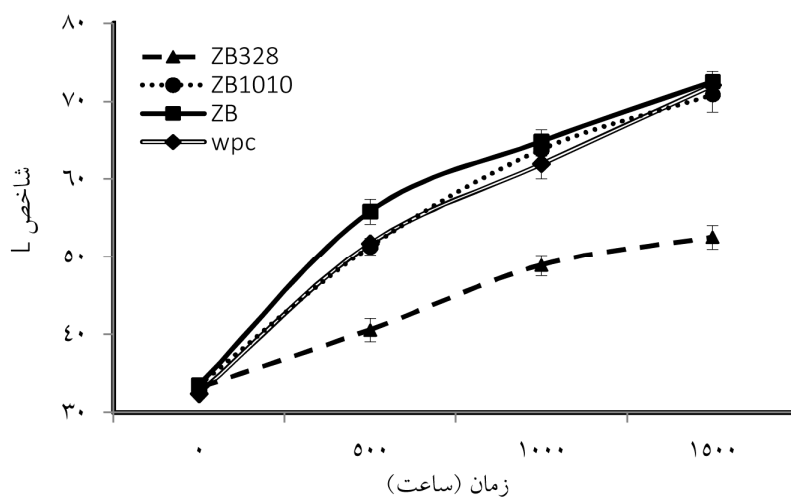


شکل ۳- اثر مدت زمان هوازگی بر کاهش مقاومت کششی چندسازه چوب- پلی اتیلن.

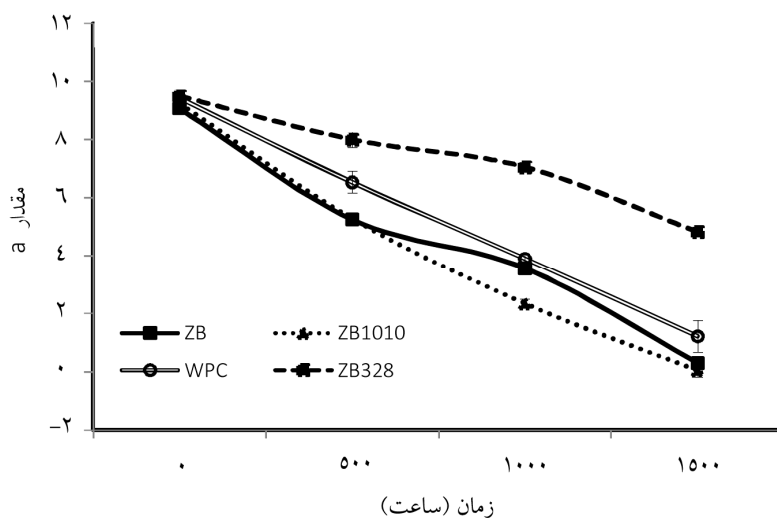
برای هر تیمار طی دوره هوازگی شاخص‌های L ، a ، b اندازه‌گیری گردید. شاخص L نشان‌دهنده میزان روشنی^۱ نمونه است و چنان‌چه تغییرات این شاخص مثبت باشد بیانگر سفیدتر شدن نمونه‌ها بوده و اگر این تغییرات منفی باشد نشان‌دهنده تیره‌تر شدن نمونه‌ها می‌باشد. همان‌گونه که شکل ۴ نشان داده شده است، بورات‌روی تأثیری بر تغییرات روشنی نمونه‌ها نداشته است. همچنین استفاده از آنتی‌اکسیدان نیز بر این امر بی‌تأثیر بوده، اما جاذب نور توانسته به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییرات روشنی نمونه‌ها را کاهش دهد. مقادیر شاخص‌های a و b در طی دوره هوازگی به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶

1- Brightness

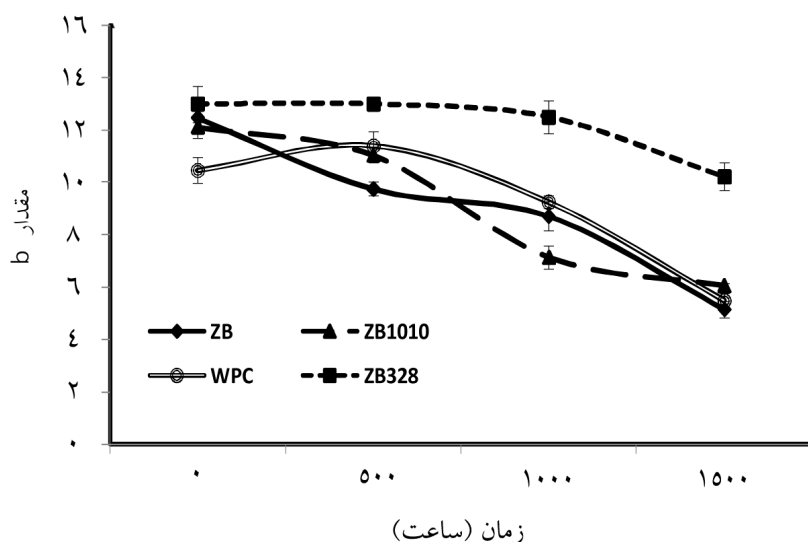
ارایه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود نمونه‌های شامل جاذب نور بهترین عملکرد را در کاهش تغییرات شاخص‌های بالا داشته است. استارک و همکاران (۲۰۰۳) اعلام کردند که استفاده از جاذب نور موجب کاهش تغییرات رنگی چندسازه چوب- پلی اتیلن در هنگام دوره هوازدگی می‌شود.



شکل ۴- اثر مدت زمان هوازدگی بر میزان روشنی چندسازه‌های چوب- پلی اتیلن.



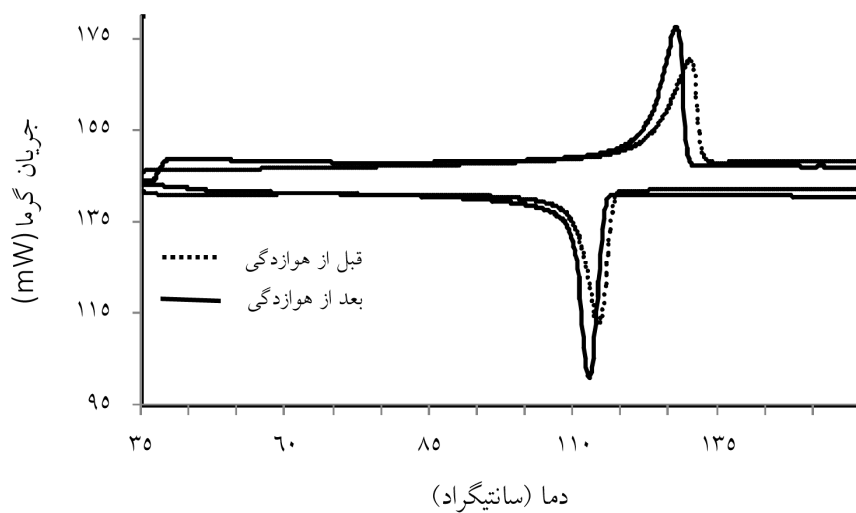
شکل ۵- اثر مدت زمان هوازدگی بر میزان شاخص a چندسازه‌های چوب- پلی اتیلن.



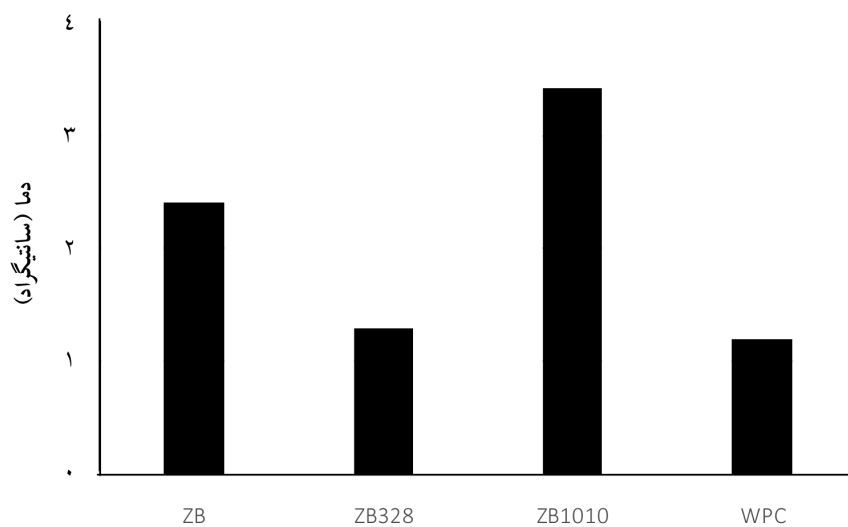
شکل ۶- اثر مدت زمان هوازدگی بر میزان شاخص **b** چندسازه‌های چوب- پلی اتیلن.

در شکل ۷ منحنی DSC برای نمونه شامل ۲ درصد بورات روی ارایه شده است. در این پژوهش برای بررسی اثر هوازدگی در تخریب پلیمر، تغییرات دمای ذوب به دست آمده از پیک منحنی ذوب، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). استفاده از بورات روی در ترکیب چندسازه چوب- پلی اتیلن موجب کاهش بیش‌تر دمای ذوب شده و افزودن آنتی‌اکسیدان به ترکیب بالا، دمای ذوب را به مقدار بیش‌تری هم کاهش داده است. این در حالی است که استفاده از جاذب نور تا حدودی از کاهش دمای ذوب جلوگیری کرده است. دمای ذوب به دست آمده از منحنی ذوب ثانویه، مستقل از فرآیند تولید بوده و کاهش مقدار آن به این دلیل است که کریستال‌های تشکیل شده شامل زنجیره‌های کوتاه‌تر و گروه‌های عاملی جدیدتری (افزوده شدن گروه‌های کربونیل و هیدروپروکسید در هنگام فرآیند تخریب نوری) می‌باشند (سلدن و همکاران، ۲۰۰۴).

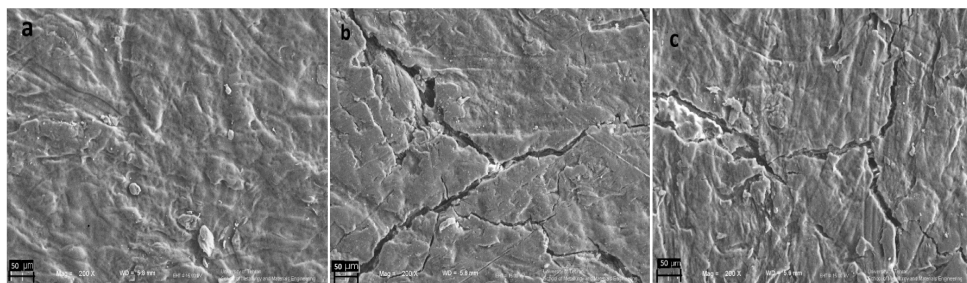
نتایج به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نشان‌دهنده وجود لایه نازکی از پلیمر در سطح چندسازه چوب- پلی اتیلن می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این لایه در اثر هوازدگی ترک برداشته و در بخش‌هایی نیز از سطح جدا شده است (شکل ۹).



شکل ۷- بررسی رفتار گرمایشی پوششی تفاضلی نمونه ZB قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازگی.



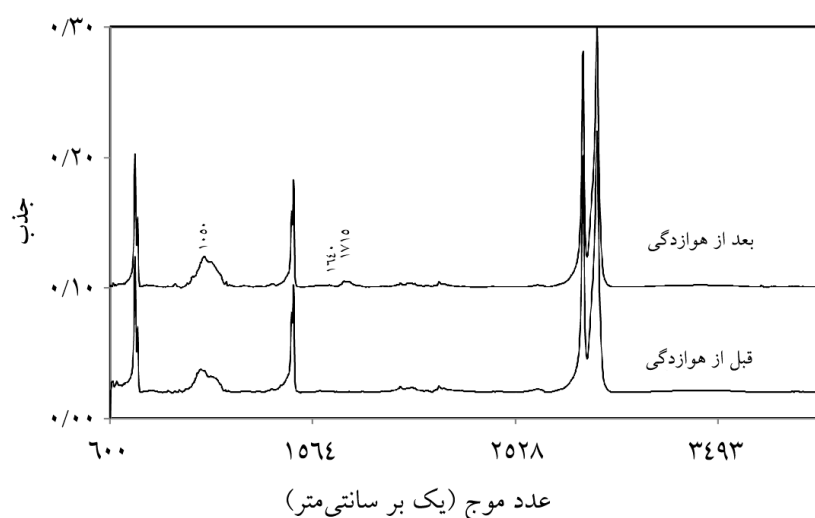
شکل ۸- مقدار کاهش دمای ذوب نمونه‌ها در طی ۱۵۰۰ ساعت هوازگی.



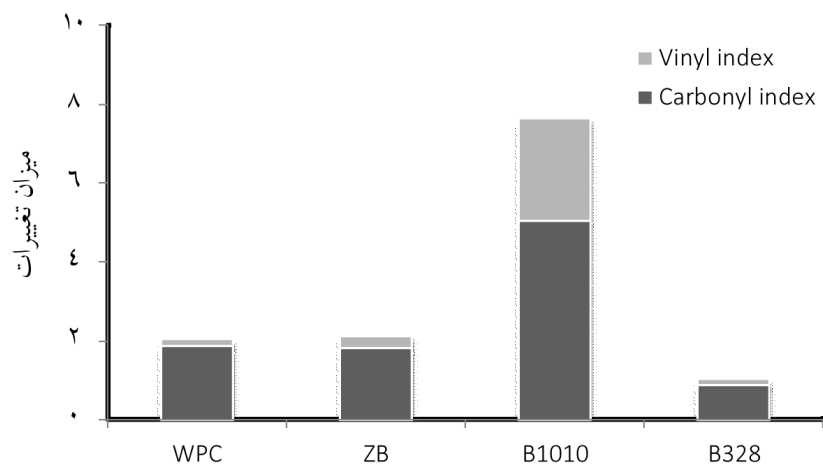
شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌ها با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر (a: سطح نمونه ZB قبل از هوازدگی، b: سطح نمونه WPC بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی، c: سطح نمونه ZB بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی).

برای بررسی شیمی سطح نمونه‌ها در اثر هوازدگی، از طیف FTIR استفاده شد (شکل ۱۰). بر پایه بررسی‌های صورت گرفته، افزایش مقدار گروه‌های کربونیل و وینیل در پلی‌اتیلن دانسیته بالا در طی هوازدگی ناشی از اکسیداسیون نوری پلیمر و کوتاه شدن طول زنجیره‌های آن می‌باشد (استارک ۲۰۰۳). پژوهشگران همچنین بیان کرده‌اند که با مقایسه طیف جذبی گروه کربونیل و گروه وینیلی می‌توان به شدت تخریب چندسازه چوب- پلی‌اتیلن در طی هوازدگی پی برد. به طوری که با افزایش مدت زمان هوازدگی، شدت پیک‌های جذبی کربونیل و وینیل افزایش می‌یابد (استارک و همکاران، ۲۰۰۳؛ فیبی، ۲۰۰۷). بررسی نتایج طیف FTIR به دست آمده نشان می‌دهد که افزودن بورات روی تأثیری در تغییرات پیک جذبی گروه کربونیل و وینیل نسبت به نمونه‌های بدون بورات روی نداشته است. استفاده از آنتی‌اکسیدان ایرگانوکس ۱۰۱۰ به طور معنی‌داری موجب افزایش شاخص کربونیل و وینیل گردید (شکل ۱۱)، که این امر بیان‌کننده تخریب و اکسایش بیشتر سطح نمونه نام برده می‌باشد. دلیل این امر می‌توان به وجود حلقه فنولی و گروه کربونیل در ساختار آنتی‌اکسیدان ایرگانوکس ۱۰۱۰ نسبت داد. براساس پژوهش‌های صورت گرفته، حلقه فنولی و گروه کربونیل از دلایل اصلی جذب اشعه فرابنفش و آغاز واکنش‌های اکسیداسیون نوری می‌باشند (مولر و همکاران، ۲۰۰۳؛ استارک و همکاران، ۲۰۰۳). دارابی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که آنتی‌اکسیدان تأثیری در هوازدگی چندسازه چوب- پلی‌پروپیلن ندارد. افزودن جاذب نور از افزایش شاخص کربونیل و

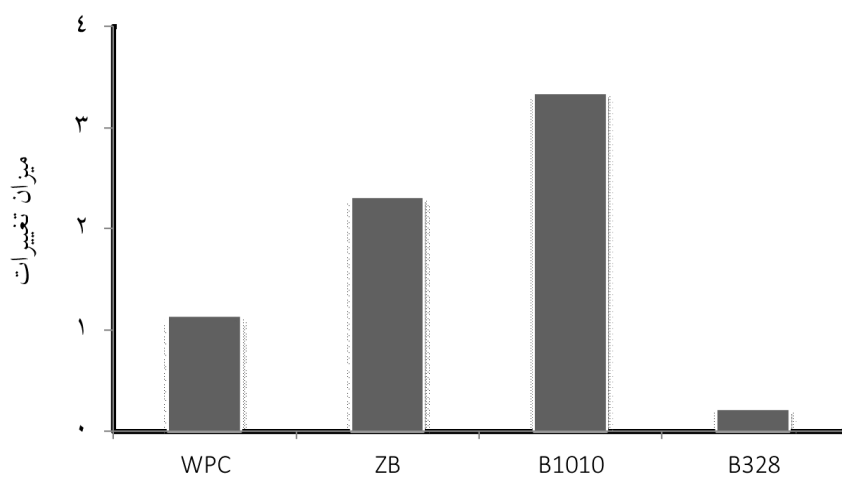
وینیل تا حدودی جلوگیری کرد. جاذب نور با جذب اشعه فرابنفش و اتلاف آن به شکل بی‌ضرر، علاوه بر این که از نفوذ آن به قسمت‌های عمیق‌تر جلوگیری می‌کند، تخریب سطح چندسازه را نیز با هدر دادن انرژی اشعه فرابنفش به تأخیر می‌اندازد (چاندا و روی، ۲۰۱۰). طیب و همکاران (۲۰۱۰) بیان کرده‌اند که افزودن جاذب نور در ساختار چندسازه چوب- پلی‌اتیلن موجب به تأخیر افتادن تخریب آن در هنگام هوازدگی می‌شود. تغییرات شاخص چوب در سطح چندسازه چوب- پلاستیک، بیان‌کننده تغییرات میزان چوب در سطح آن می‌باشد. افزایش شاخص بالا در نمونه‌ها بعد از هوازدگی ناشی از ترک برداشتن و جدا شدن لایه پلیمر موجود در سطح چندسازه و در نتیجه قرار گرفتن میزان بیش‌تری از ذرات چوب در سطح می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است بیش‌ترین میزان افزایش شاخص چوب مربوط به نمونه‌های شامل آنتی‌کسیدان و کم‌ترین آن مربوط به نمونه‌های شامل جاذب نور بوده است.



شکل ۱۰- طیف FTIR به‌دست آمده از سطح نمونه‌های WPC قبل و بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی.



شکل ۱۱- مقدار تغییر شاخص‌های کربونیل و وینیل نمونه‌ها بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی.



شکل ۱۲- مقدار تغییر شاخص چوب نمونه‌ها بعد از ۱۵۰۰ ساعت هوازدگی.

جدول ۱- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده چندسازه چوب- پلی اتیلن در تیمارهای مختلف.

شماره تیمار	علامت اختصاری تیمارها	آرد چوب (درصد)	پلی اتیلن (درصد)	بورات روی (درصد)*	تینوین ۳۲۸ (درصد)*	ایرگانوکس ۱۰۱۰ (درصد)*
۱	WPC	۵۰	۵۰	-	-	-
۲	ZB	۵۰	۵۰	۲	-	-
۳	ZB328	۵۰	۵۰	۲	۱	-
۴	ZB1010	۵۰	۵۰	۲	-	۱

*براساس وزن کل چندسازه (آرد چوب و پلی اتیلن).

براساس نتایج FTIR، میکروسکوپ الکترونی و رنگ سنجی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بورات روی تأثیری در هوازدگی چندسازه چوب- پلی اتیلن دانسیته بالا نداشته است. همچنین نتایج DSC و FTIR نشان دادند آنتی اکسیدان ایرگانوکس ۱۰۱۰ نه تنها تخریب نوری را کاهش نداده، بلکه باعث افزایش آن نیز شده است. بهبود خواص مکانیکی در اثر استفاده از آنتی اکسیدان به خاطر اثر حفاظتی ترکیب مورد اشاره در جلوگیری از تخریب حرارتی نمونه‌ها در دستگاه Weatherometer می‌باشد. استفاده از جاذب نور عملکرد بسیار مناسبی را در جلوگیری از تخریب نوری چندسازه چوب- پلاستیک شامل بورات روی داشت و به طور قابل ملاحظه‌ای اکسیداسیون سطح، افت مقاومت کششی و افزایش روشنی را کاهش داد.

منابع

- Ahn, S.H., Oh, S.C., Choi, I.G., Han, G.S., Jeong, H.S., Kim, K.W. and Yang, I. 2010. Environmentally friendly wood preservatives formulated with enzymatic-hydrolyzed okara, copper and/or boron salts. *J. Hazardous Mater.* 178: 1. 604-611.
- ASTM D882-02. 2002. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- ASTM D 3417-99. 2003. Standard test method for transition temperatures and enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimetry. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- ASTM D 4329-05. 2005. Standard practice for fluorescent UV exposure of plastics. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- Butylina, S., Hyvärinen, M. and Kärki, T. 2012. A study of surface changes of wood-polypropylene composites as the result of exterior weathering. *Polymer Degradation and Stability*, 97: 3. 337-345.

- 6.Chanda, M. and Roy, S.K. 2010. *Plastics fundamentals, properties and testing* (Vol. 74), CRC press, 280p.
- 7.Darabi, P., Abdolzadeh, H., Karimi, A.N., Mirshokraie, A. and Doosthoseini, K. 2010. The investigation of acetylation and anti-oxidant effect on weathering of wood plastic composites By Means of FTIR and Color Metry (Color measurement). *Iran. J. Wood Pap. Sci. Res.* 25: 1. 70-79. (In Persian)
- 8.Fabiyi, J.S. 2007. *Chemistry of wood-plastic composites weathering*. Ph.D. Thesis, University of Idaho, 208p.
- 9.Falk, R.H., Felton, C. and Lundin, T. 2000. Effects of weathering on color loss of natural fiber thermoplastic composites. Paper presented at the Proceeding of the 3rd International Symposium on Natural Polymers and Composites.
- 10.Hon, D. and Minemura, N. 2001. *Color and discoloration. Wood and cellulosic chemistry*, 2nd edn. Marcel Dekker, New York, Pp: 385-442.
- 11.Humar, M. and Lesar, B. 2008. Fungicidal properties of individual components of copper-ethanolamine based wood preservatives. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 62: 1. 46-50.
- 12.Lundin, T., Cramer, S.M., Falk, R.H. and Felton, C. 2004. Accelerated weathering of natural fiber-filled polyethylene composites. *J. Mater. Civ. Engine.* 16: 6. 547-555.
- 13.Mankowski, M. and Morrell, J. 2000. Patterns of fungal attack in wood-plastic composites following exposure in a soil block test. *Wood and Fiber Science*, 32: 3. 340-345.
- 14.Markarian, J. 2005. Wood-plastic composites: Current trends in materials and processing. *Plastics, additives and Compounding*, 7: 5. 20-26.
- 15.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.
- 16.Morris, P. and Cooper, P. 1998. Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi. *For. Prod. J.* 48: 1. 86-88.
- 17.Morton, J., Quarmley, J. and Rossi, L. 2003. Current and emerging applications for natural and wood fiber-plastic composites. Paper presented at the 7th International Conference on wood fiber-plastic composites, Forest Products Society, Madison, WI. Proceedings, 365p.
- 18.Müller, U., Rätzsch, M., Schwanninger, M., Steiner, M. and Zöbl, H. 2003. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 69: 2. 97-105.
- 19.Pendleton, D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B. and Wolcott, M.P. 2002. Durability of an extruded HDPE/wood composite. *For. Prod. J.* 52: 6. 21-27.
- 20.Selden, R., Nyström, B. and Långström, R. 2004. UV aging of poly (propylene)/wood fiber composites. *Polymer composites*, 25: 5. 543-553.

21. Silva Guzman, J.A. 2004. Development of an accelerated method for assessing decay of wood plastic composites. Ph.D. Thesis, Oregon State University, 188p.
22. Simonsen, J., Freitag, C.M., Silva, A. and Morrell, J. 2004. Wood/plastic ratio: Effect on performance of borate biocides against a brown rot fungus. *Holzforschung*, 58: 2. 205-208.
23. Stark, N.M. and Matuana, L.M. 2003. Ultraviolet weathering of photostabilized wood flour filled high density polyethylene composites. *J. Appl. Poly. Sci.* 90: 10. 2609-2617.
24. Taib, R.M., Zauzi, N.A., Ishak, Z.M. and Rozman, H. 2010. Effects of photostabilizers on the properties of recycled high-density polyethylene/wood flour composites exposed to natural weathering. *Malaysian Poly. J.* 5: 2. 193-203.
25. Wypych, G. 1995. Handbook of material weathering, Chem Tec Publishing, 547p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 20 (2), 2013

<http://jwfst.gau.ac.ir>

The effect of zinc borate and additives on weathering performance of wood-high density polyethylene composite

***D. Rasouli¹, M. Faezipour², M.R. Masteri Farahani³ and M. Tajvidi⁴**

¹Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, ²Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, ³Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran,

⁴Researcher, Faculty of Engineering, University of Waterloo, Canada

Received: 01/21/2013; Accepted: 07/17/2013

Abstract

In this study, the effects of zinc borate with or without UV absorbent and antioxidant on the durability of wood-high density polyethylene (HDPE) composites were investigated during artificial weathering. Colorimetry and tensile strength were determined after 0, 500, 1000 and 1500 hrs. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) analyses were also carried out before and after 1500 hrs accelerated weathering. The results indicated that zinc borate had no effects on the weathering resistance of wood-HDPE composite. The use of antioxidant increased surface degradation of the composite evidenced by FTIR and DSC analysis. The color and tensile strength stability and FTIR analysis indicated that the composite was protected by UV absorbent.

Keywords: Wood-high density polyethylene composite, Weathering, Zinc borate, Antioxidant, UV absorbent

* Corresponding Author; Email: rasouli.ut@gmail.com