



دانشگاه گوارز، دانشکده مهندسی پلیمر

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۱، ۱۳۹۵

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

## ارزیابی خواص چندسازه حاصل از آرد کاه برنج و پلی‌پروپیلن بازیافتی در برابر هوازگی تسریع شده

\* بهزاد کرد

استادیار گروه سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌طور فزاینده‌ای برای کاربردهای غیرسازه‌ای در صنایع خودرو، مبلمان و ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که در زمینه ساخت و فناوری تولید این چندسازه‌ها صورت گرفته، کاربرد آن‌ها در محیط خارج ساختمان همچنان به عنوان نگرانی عمده مطرح است. قرار گرفتن چندسازه‌های چوب پلاستیک در معرض شرایط محیطی مختلف نظیر: رطوبت، دما و نور اشعه فرابنفش، باعث ایجاد تغییر در ویژگی‌های ساختاری این چندسازه‌ها می‌شود. در نتیجه تغییر رنگ، افت زیبایی ظاهری، کاهش استحکام مکانیکی و محدودیت عملکردی آن‌ها را به همراه دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هوازگی بر ویژگی‌های مکانیکی، گرمایی و رنگی چندسازه‌های ساخته شده از آرد کاه برنج و پلی‌پروپیلن خام و بازیافتی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آرد کاه برنج با هر یک از دو نوع پلی‌پروپیلن خام و بازیافتی به همراه ماده سازگارکننده مالئیک‌دار در دستگاه مخلوط کن داخلی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۶۰ دور در دقیقه ترکیب شده و سپس نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. آرد کاه برنج با نسبت وزنی ۵۰ درصد با پلی‌پروپیلن مخلوط شد، و ماده سازگارکننده به میزان

\*مسئول مکاتبه: [b.kord@standard.ac.ir](mailto:b.kord@standard.ac.ir)

۲ درصد وزنی در تمام تیمارها به‌کار رفت. فرایند هوازگی تسریع شده بر روی نمونه‌ها توسط دستگاه هوازگی مصنوعی اطلس زنون به مدت ۲۰۰۰ ساعت انجام شد. در نهایت آزمون‌های مکانیکی، گرمایی و رنگ‌سنجی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت و نتایج آن با نمونه‌های شاهد (هوانزده) مقایسه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش مدت‌زمان هوازگی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها کاهش یافت. از طرف دیگر، چندسازه‌ها بعد از هوازگی به شدت دچار تغییر رنگ شدند، به نحوی که میزان روشنی در آن‌ها افزایش یافت. آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی آشکار ساخت که با افزایش مدت‌زمان هوازگی، پایداری گرمایی (دمای ذوب، دمای بلورینگی و درجه بلورینگی) چندسازه‌ها، به دلیل تخریب زنجیره پلیمری ناشی از فرسایش نوری کاهش می‌یابد. بیشترین میزان روشنی و تغییر رنگ در چندسازه‌های حاصل از پلی‌پروپیلن بازیافتی مشاهده شد. در حالی که چندسازه‌های حاصل از پلی‌پروپیلن خام در مقایسه با انواع حاصل از پلی‌پروپیلن بازیافتی، استحکام مکانیکی و پایداری گرمایی بهتری از خود نشان دادند.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های این پژوهش نشان داد که چندسازه‌های ساخته شده از آرد کاه برنج و پلی‌پروپیلن بازیافتی در مقایسه با سایر نمونه‌ها، از دوام کمتری در برابر هوازگی برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌پروپیلن بازیافتی، هوازگی تسریع‌شده، استحکام مکانیکی، پایداری گرمایی، تغییر رنگ

## مقدمه

پلی‌پروپیلن (PP) از جمله پلاستیک‌هایی است که امروزه در دنیا بیشترین رشد تولید سالانه را دارد. یکی از دلایل مصرف زیاد پلی‌پروپیلن قیمت کم، قابلیت بازیافت‌پذیری مناسب، پایداری گرمایی بالا، چقرمه با مقاومت ضربه‌ای خیلی خوب و خواص الکتریکی منحصر به فرد آن می‌باشد (۲۰). در طی سال‌های اخیر چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌طور قابل توجهی مورد توجه بخش‌های علمی و صنعتی قرار گرفته است. این چندسازه‌ها مسیر جدیدی را برای بهره‌برداری مؤثر از مواد لیگنوسلولزی ایجاد کرده و نقش مهمی را در حل مشکلات زیست محیطی ناشی از ضایعات مواد لیگنوسلولزی و

محصولات پلاستیکی ایفا می‌کنند. چندسازه‌های جدید به دلیل داشتن ویژگی‌های مناسب نظیر قیمت پایین، وزن مخصوص کم، استحکام مکانیکی بالا، ثبات ابعادی، قابلیت شکل‌پذیری و ماشین‌کاری مناسب به‌طور فزاینده‌ای برای کاربردهای غیرسازه‌ای در صنایع خودرو، مبلمان و ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱).

در میان صنایع تولیدکننده فرآورده‌های مرکب چوبی کشور، صنعت چوب پلاستیک از رشد نسبتاً قابل توجهی برخوردار بوده است. با این وجود در سال‌های اخیر، برخی کارخانه‌های تولید این محصول بنابر دلایل مختلف که یکی از عمده‌ترین آن‌ها کمبود ماده اولیه چوبی است، با تولیدی کمتر از ظرفیت اسمی خود فعالیت می‌کنند. این در حالی است که با افزایش چشمگیر جمعیت و در نتیجه گسترش ساختمان‌سازی به‌ویژه در کلان‌شهرها، تقاضا برای مصرف فرآورده‌هایی نظیر تخته چوب پلاستیک هرروز در حال افزایش است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که استفاده از چوب‌های تولیدی در دوره‌های بهره‌برداری کوتاه مدت (زراعت چوب) جهت تأمین ماده اولیه مورد نیاز صنایع ذریبط امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۲۱ و ۲۶). از طرفی استفاده از مواد لیگنوسلولوزی غیرچوبی و پسماندهای کشاورزی (نظیر باگاس، کاه گندم، سبوس و ساقه برنج) به جهت نقش تکمیلی در تأمین ماده اولیه و نیز صیانت از جنگل‌ها می‌تواند به‌عنوان یک ضرورت اساسی در توسعه صنایع وابسته به فرآورده‌های جنگلی مدنظر قرار گیرد (۲۱ و ۲۲).

ضایعات پلاستیکی که حجم قابل توجهی از پسماندهای جامد شهری را به خود اختصاص می‌دهد، به دلیل قیمت پایین و سهولت دسترسی، به‌عنوان ماده اولیه مناسب برای تولید چندسازه‌های چوب پلاستیک در سطح جهان مطرح شده است (۶ و ۹). برای مثال، در یک شهر سه میلیون نفری در کشورهای در حال توسعه، روزانه حدود ۴۰۰ تن ضایعات پلاستیکی تولید می‌شود، که سالانه ۲۵ درصد رشد دارد. از این‌رو، توسعه محصولات جدید با ارزش افزوده بالا، با هدف بهره‌برداری از پلاستیک‌های بازیافتی ارزان قیمت مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از پلاستیک‌های بازیافتی در تولید چوب پلاستیک مورد مطالعه گسترده قرار گرفته است (۱۳).

با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که در زمینه ساخت و فناوری تولید چندسازه‌های چوب پلاستیک صورت گرفته، کاربرد آن‌ها در محیط خارج ساختمان همچنان به‌عنوان نگرانی عمده مطرح است. تخریب فیزیکی و تجزیه زیستی چوب و ترکیبات پلیمری موجود در این چندسازه‌ها در هنگام استفاده در شرایط سرویس به دلیل قرار گرفتن در معرض رطوبت، دما و نور اشعه فرابنفش، گسترش

می‌باید (۱). چوب پلاستیک هنگامی که در معرض هوازدهی طبیعی قرار می‌گیرد، دچار فرسایش نوری می‌شود. این فرسایش باعث ایجاد تغییر و نوسان در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی آن می‌شود (۷ و ۸). بعضی از تأثیرگذاری‌های این تخریب بر محصول با تغییر رنگ، ترد و شکننده شدن ماده و کاهش استحکام مکانیکی همراه است. کاهش خواص مکانیکی چندسازه در اثر فرایند هوازدهی ناشی از تغییر ساختار کریستالین ماده زمینه، اکسیداسیون سطح چندسازه و تخریب سطح مشترک آن است (۲۴). در هنگام استفاده از این محصولات، بایستی خواص آن تحت شرایط محیطی مختلف نظیر اشعه ماوراء بنفش، رطوبت و دما مورد ارزیابی قرار گیرد تا عمر مفید آن‌ها در شرایط سرویس تعیین شود (۱۰). یافته‌های حاصل از پژوهش‌های متعدد انجام شده در زمینه تأثیر هوازدهی بر خواص چندسازه پلیمری تقویت شده با الیاف طبیعی نشان داد که عامل اصلی تغییر رنگ چندسازه تخریب و اکسیداسیون ترکیبات رنگی موجود در الیاف (شامل گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین، همی‌سلولز و مواد استخراجی) است. نتایج حاکی از کاهش قابل ملاحظه استحکام مکانیکی چندسازه‌ها در اثر هوازدهی بود، که به ایجاد ترک‌های سطحی و تضعیف کیفیت چسبندگی در سطح مشترک بین الیاف و ماده زمینه نسبت داده شد (۱۴-۱۹).

اگرچه در زمینه تأثیر هوازدهی بر خواص چندسازه‌های الیاف طبیعی و پلیمرهای گرمانرم مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است، با این وجود در خصوص دوام چندسازه‌های ساخته شده از پلاستیک‌های بازیافتی پس از قرار گرفتن در معرض هوازدهی اطلاعات کمی در دسترس است. از این رو، پژوهش اخیر با هدف ارزیابی اثر هوازدهی بر خواص مکانیکی، گرمایی و رنگی چندسازه ساخته شده از آرد کاه برنج- پلی‌پروپیلن بازیافتی انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

**مواد:** در این پژوهش، از پلی‌پروپیلن (PP) درجه تجاری Poliran PI0800 با شاخص جریان مذاب  $8 \text{ g/10 min}$  و چگالی  $0.91 \text{ g/cm}^3$  محصول شرکت پتروشیمی بندر امام استفاده شد. ماده جفت‌کننده مورد استفاده کوپلیمر پلی‌پروپیلن مالتیک‌دار شده (MAPP) حاوی ۱ درصد مالتیک انیدرید، محصول شرکت سیگما آلد ریچ با وزن مولکولی ۹۱۰۰، ویسکوزیته  $40000 \text{ cp}$  در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و چگالی  $0.912 \text{ g/cm}^3$  بود. پلی‌پروپیلن حاصل از سه مرحله بازیافت با شاخص جریان مذاب  $23 \text{ g/10 min}$  مورد استفاده بوده است. این شاخص در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و با

وزنه ۲/۱۵ Kg تعیین شد. ساقه‌های برنج تهیه شده از مزارع کشاورزی شمال کشور به عنوان ماده پرکننده مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا ساقه‌های برنج به قطعاتی با ابعاد ۵۰ میلی‌متر برش داده شده و به مدت یک هفته در گرمخانه با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس با آسیاب چکشی آزمایشگاهی، آسیاب و از الک عبور داده شدند. ذرات ساقه کاه برنج عبوری از الک با مش ۴۰ که بر روی الک با مش ۶۰ باقی ماند، به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در نظر گرفته شد.

### روش‌ها

**فرایند اختلاط و ساخت نمونه‌های آزمونی:** فرایند اختلاط مواد در دستگاه مخلوط کن داخلی (Haake مدل SIS90) در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. نخست پلیمر به دستگاه اضافه و بعد از اطمینان از ذوب شدن آن، ماده سازگارکننده به میزان ۲ درصد وزنی اضافه شد. پس از ثابت شدن گشتاور دستگاه، آرد کاه برنج اضافه شد. وزن هر مخلوط ۲۱۰ گرم بود که در آن نسبت اختلاط آرد کاه برنج به پلیمر ۵۰ درصد وزنی در نظر گرفته شد. آمیزه تولید شده، پس از سرد شدن دوباره آسیاب شد. سپس به دستگاه قالب‌گیری تزریقی (مدل EM80 ساخت شرکت ایمن ماشین) منتقل و نمونه‌های آزمونی با فشار ۱۰۰ MPa در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. برای اطمینان از شرایط یکنواخت دمایی و رطوبتی، تمام نمونه‌های آزمونی به مدت یک هفته در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد قرار داده شدند تا با رطوبت و دمای محیط به تعادل برسند.

**فرایند هوازدگی:** برای انجام فرایند هوازدگی (اشعه ماوراء بنفش و آب) نمونه‌ها در داخل دستگاه هوازدگی مصنوعی اطلس زنون تحت درجه حرارت ۵۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد، تحت اشعه ماوراء بنفش و اشعه مرئی قرار گرفتند. روش کار دستگاه مطابق استاندارد ASTM D 2565، شامل ۱۰۲ دقیقه تابش نور به‌تنهایی و به دنبال آن ۱۸ دقیقه نور و اسپری آب است. فرایند هوازدگی تسریع شده بر روی نمونه‌ها به‌مدت ۲۰۰۰ ساعت انجام شد.

**آزمون مکانیکی:** آزمون خمش سه‌نقطه‌ای مطابق با استاندارد ASTM D 790 توسط دستگاه تست مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) با نرخ کرنش ۰/۰۱ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها ۵ × ۱۳ × ۱۰۰ میلی‌متر و طول دهانه ۸۰ میلی‌متر بوده است. همچنین

آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با ابعاد  $3 \times 10 \times 167$  میلی‌متر توسط دستگاه تست مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) انجام شد. در آزمون کشش طول دهانه ۱۰۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. آزمون‌های مکانیکی برای هر تیمار با ۵ تکرار انجام شد.

آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی: برای انجام این آزمون نمونه‌هایی با وزن تقریبی ۵ تا ۷ میلی‌گرم از تیمارهای مورد مطالعه تهیه، و سپس در محفظه‌های آلومینیومی کوچک به کمک پرس دستی فشرده و در دستگاه قرار داده شد. گرمادهی به صورت ناهم‌دما و به مقدار ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به ترتیب زیر انجام شد:

- گرمادهی از ۲۵ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

- گرمادهی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه برای از بین بردن سابقه گرمادهی اولیه

- خنک کردن از دمای ۳۰۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد

- گرمادهی مجدد از ۲۵ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد.

برای انجام این آزمون از دستگاه Netzsch مدل F2-Maia ساخت کشور آلمان استفاده شد. داده‌های اولین سرمایش و دومین مرحله گرمادهی برای تحلیل نتایج استفاده شدند. از روی الگوی گرمایی به دست آمده، دمای ذوب ( $T_m$ )، گرمای نهان ذوب ( $\Delta H_m$ )، دمای بلورینگی ( $T_c$ ) و گرمای نهان بلورینگی ( $\Delta H_c$ )، تعیین شدند. میزان بلورینگی ( $X_c$ ) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0 \times W} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $\Delta H_m$  گرمای نهان ذوب نمونه،  $\Delta H_m^0$  گرمای نهان ذوب PP صد در صد بلور (که ۱۳۸ ژول بر گرم در نظر گرفته شد) و  $W$  درصد وزنی پلیمر در چندسازه است.

آزمون رنگ‌سنجی: برای سنجش رنگ نمونه‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر Hunter Lab مدل FMS Jansen GmbH ساخت آلمان مجهز به منبع نوری D<sub>65</sub> استفاده شد. داده‌های دستگاه براساس سیستم CIE L\* a\* b\* ارائه می‌شود. که در آن L\* بیانگر سفیدی (+L) تا سیاهی (-L)، a\* قرمزی (+a) تا سبزی (-a)، و b\* زردی (+b) تا آبی بودن (-b) نمونه‌ها است. میزان تغییر رنگ کلی ( $\Delta E$ ) نمونه‌های هوازده با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta l^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)} \quad (2)$$

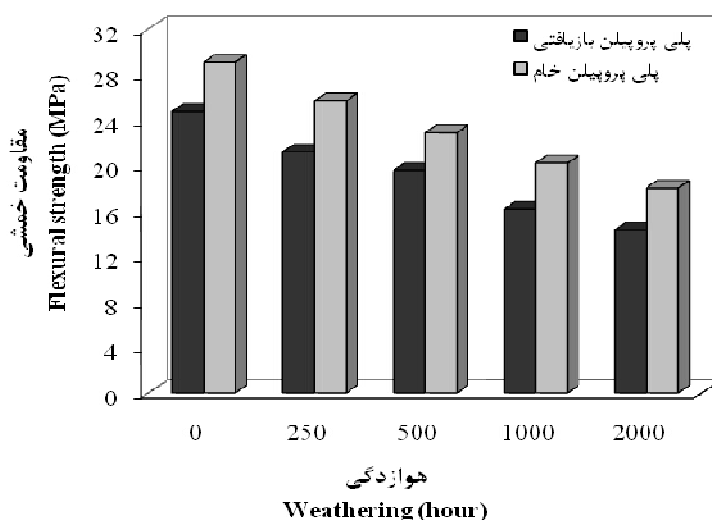
که در آن میزان  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  و  $\Delta b$  به ترتیب از تفاوت موجود بین میزان اولیه و نهایی  $L$ ,  $a$  و  $b$  اندازه گیری شده، به دست آمد.

### نتایج و بحث

**خواص مکانیکی:** تعیین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته برای ارزیابی عملکرد فرآورده در شرایط سرویس ضروری است. اثر هوازگی بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته کششی چندسازه ساخته شده از آرد کاه برنج- پلی پروپیلن (خام و بازیافتی)، در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته کششی در چندسازه های حاصل از پلی پروپیلن خام به مراتب بیشتر از انواع حاصل از پلی پروپیلن بازیافتی است. دلیل این مسئله به شاخص جریان مذاب بالاتر و انعطاف پذیری بیشتر پلی پروپیلن بازیافتی نسبت داده شد (۱۰). افزایش شاخص جریان مذاب نشان دهنده کاهش در وزن مولکولی و گرانشی (ویسکوزیته) مذاب پلیمر، و در نتیجه تخریب زنجیره های آن طی چرخه های شدید گرما و تنش می باشد (۱). از این رو، وزن مولکولی پلی پروپیلن بازیافتی در نتیجه تکرار چرخه بازیافت کاهش یافته و به دلیل کوتاه شدن طول زنجیره پلیمری آن، مقاومت مکانیکی چندسازه کاهش می یابد (۵ و ۶). از طرف دیگر، پلیمر بازیافتی به خاطر عدم تشکیل پیوندهای عرضی مناسب در مقایسه با پلیمر خام نمی تواند استحکام مکانیکی چندسازه را افزایش دهد (۱۲).

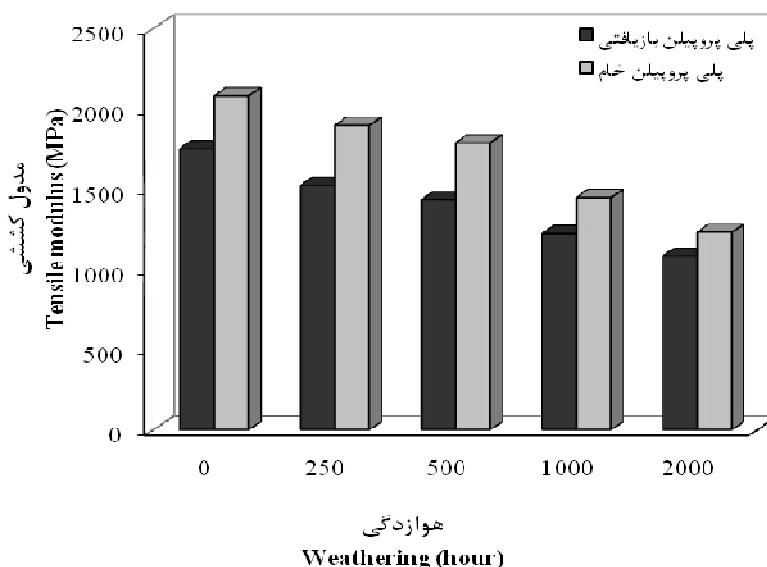
در شکل های ۱ و ۲ مشاهده می شود که استحکام مکانیکی نمونه ها با افزایش مدت زمان هوازگی به شدت کاهش می یابد. دلیل این مسئله را می توان به کاهش چسبندگی در سطح مشترک بین آرد کاه برنج- پلی پروپیلن نسبت داد. فرایند هوازگی در چندسازه های چوب پلاستیک در سه مرحله اتفاق می افتد. مرحله اول با ایجاد ترک های زیادی در سطح چندسازه، مرحله دوم با افزایش تعداد و اندازه ترک ها، و مرحله سوم با گسترش ترک ها همراه است (۸). از این رو، کاهش قابل ملاحظه مقاومت مکانیکی چندسازه ها در اثر افزایش مدت زمان هوازگی را می توان به تشکیل و گسترش ترک ها در سطح آن ها نسبت داد، که باعث نفوذ بیشتر نور و رطوبت به داخل چندسازه شده و تخریب آن را شدت می بخشد (۱۴، ۱۷ و ۲۳). همچنین زنجیره های پلیمری در نتیجه فرسایش نوری تخریب شده و طول آن ها کوتاه تر می شود. شکستن و کوتاه شدن زنجیره پلیمری، تخریب ناحیه کریستالین و کاهش

میزان آن را به‌همراه دارد. از این‌رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش مدت زمان هوازدگی استحکام مکانیکی چندسازه‌ها در نتیجه نقصان ساختار کریستالین کاهش یابد (۱۰، ۱۵ و ۲۳).



شکل ۱- تأثیر هوازدگی بر مقاومت خمشی چندسازه آرد کاه برنج- پلی پروپیلن.

Figure 1. Effect of weathering on the flexural strength of rice straw flour-polypropylene composites.



شکل ۲- تأثیر هوازدگی بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه آرد کاه برنج- پلی پروپیلن.

Figure 2. Effect of weathering on the tensile modulus of rice straw flour-polypropylene composites.



**خواص رنگی:** نتایج حاصل از مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در زمان‌های مختلف هوازدهی در جدول ۱ آورده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش هوازدهی، میزان  $\Delta L$  نمونه‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن بازیافتی افزایش یافته و در مقابل از میزان  $\Delta a$  و  $\Delta b$  آن نسبت به پلی‌پروپیلن خام قبل کاسته شده است. افزایش  $\Delta L$  بیانگر روشن‌تر شدن نمونه‌ها است، در حالی‌که کاهش  $\Delta a$  و  $\Delta b$  به ترتیب بیانگر متمایل شدن رنگ نمونه‌ها به سمت سبز و آبی شدن است.

تغییر رنگ چندسازه در طی فرایند هوازدهی در سه مرحله اتفاق می‌افتد. ابتدا نمونه به سرعت دچار فرسایش نوری شده، سپس تیره شده و سرانجام با افزایش مدت زمان هوازدهی رنگ آن‌ها از تیرگی به روشنی متمایل می‌شود. اساساً فرسایش نوری در چندسازه‌های چوب پلاستیک تحت تأثیر ترکیبات رنگی موجود در ماده لیگنوسولوزی نظیر گروه‌های فعال رنگ‌ساز موجود در لیگنین (شامل گروه‌های فنولی، هیدروکسیلی، پیوندهای دوگانه و گروه‌های کربونیلی) و برخی مواد استخراجی و سایر گروه‌های رنگ‌ساز (اسید کربوکسیلیک، کربونیل‌ها و کینون‌ها) قرار دارد (۱۷ و ۲۴). افزایش روشنیایی نمونه‌ها را می‌توان به شسته شدن مواد استخراجی و همچنین تخریب لیگنین به مولکول‌های کوچکتر و شسته شدن آن در اثر هوازدهی نسبت داد (۷، ۸ و ۱۴). از طرف دیگر، تخریب پلی‌پروپیلن و سفید شدن رنگ (که در اصطلاح گچی شدن نامیده می‌شود) در طی فرایند هوازدهی، روشن‌تر شدن نمونه‌ها را تشدید می‌کند (۸ و ۱۷).

با توجه به جدول ۱ می‌توان مشاهده کرد که چندسازه‌های حاصل از پلی‌پروپیلن خام در مقایسه با انواع حاصل از پلی‌پروپیلن بازیافتی روشنی کمتری دارند. علت آن ممکن است به آغشتگی بهتر آرد کاه برنج توسط پلی‌پروپیلن خام ارتباط داشته باشد (۱۰). این امر موجب پراکنش بهتر و چسبندگی قوی در سطح مشترک بین کاه برنج- پلی‌پروپیلن شده، و به کندتر شدن سرعت رنگبری نوری، ترکیبات رنگی موجود در کاه برنج می‌انجامد.

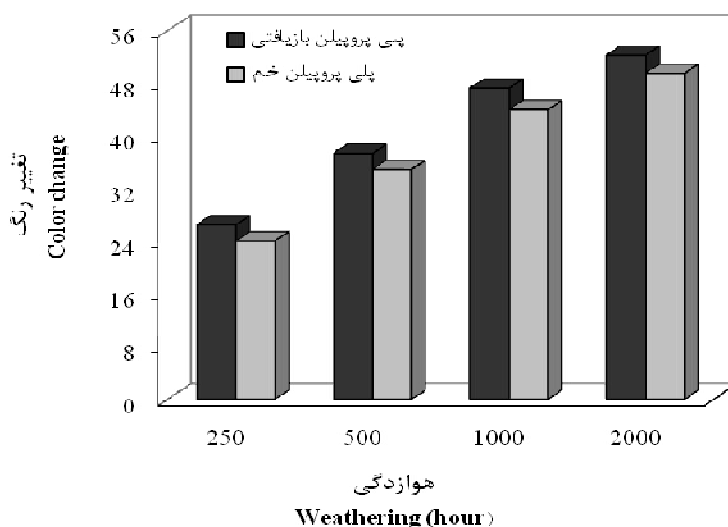
میزان تغییر رنگ کلی ( $\Delta E$ ) نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تغییر رنگ در نمونه‌های هوازده به دلیل حذف ترکیبات رنگی موجود در کاه برنج، ایجاد ترک‌ها، کوتاه‌شدن زنجیره پلیمری و تخریب ساختار کریستالین آن اتفاق می‌افتد. این روند با افزایش مدت زمان هوازدهی شدت می‌یابد (۱۴، ۱۹ و ۲۴). از طرف دیگر بیشترین میزان تغییر رنگ در چندسازه‌های حاصل از پلی‌پروپیلن بازیافتی مشاهده شد. دلیل آن را می‌توان به ساختار قوی‌تر زنجیره پلیمری، پلی‌پروپیلن خام نسبت داد (۱ و ۱۰). به عبارت دیگر، تخریب گرمایی مکانیکی پلی‌پروپیلن بازیافتی، با کاهش درازای زنجیره پلیمری، کاهش وزن مولکولی و تضعیف ساختار کریستالین آن

همراه است. در نتیجه حذف و رنگبری ترکیبات رنگی کاه برنج در چندسازه‌های حاصل از پلی‌پروپیلن بازیافتی با شدت بیشتری انجام شده و میزان تغییر رنگ آن‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۱- شاخص‌های رنگی در تیمارهای مورد مطالعه قبل و بعد از هوازدگی.

Table 2. The color indexes in the studied treatments before and after weathering.

چندسازه آرد کاه برنج - پلی‌پروپیلن بازیافتی Rice straw flour-recycled polypropylene composite						چندسازه آرد کاه برنج - پلی‌پروپیلن خام Rice straw flour-virgin polypropylene composite						هوازدگی (ساعت) Weathering (hour)
$\Delta b$	$\Delta a$	$\Delta L$	b*	a*	L*	$\Delta b$	$\Delta a$	$\Delta L$	b*	a*	L*	
-	-	-	14.26	7.18	48.95	-	-	-	16.81	8.53	43.76	غیر هوازده (control sample)
-5.07	-4.93	24.51	9.19	2.25	73.46	-4.29	-4.36	23.26	12.52	4.17	67.02	250
-9.01	-6.85	35.58	5.25	0.33	84.53	-8.17	-6.24	33.37	8.64	2.29	77.13	500
-12.08	-8.24	42.81	2.18	-1.06	91.76	-11.42	-7.37	41.83	5.39	1.16	85.59	1000
-13.95	-9.35	47.40	0.31	-2.17	96.35	-13.04	-9.07	46.91	3.77	-0.54	90.67	2000



شکل ۳- تأثیر هوازدگی بر تغییر رنگ چندسازه آرد کاه برنج - پلی‌پروپیلن.

Figure 3. Effect of weathering on the color change of rice straw flour-polypropylene composites.

**خواص گرمایی:** اثر هوازگی بر خواص گرمایی چندسازه ساخته شده از آرد کاه برنج- پلی پروپیلن (خام و بازیافتی) در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش مدت زمان هوازگی دمای ذوب نمونه ها کاهش می یابد. دلیل این مسئله را می توان در تخریب زنجیره های پلیمری ناشی از فرسایش نوری چندسازه جستجو کرد. در واقع ناحیه کریستالین در ساختار چندسازه به عنوان عایق عمل کرده و موجب کندی انتقال حرارت می شود، از این رو شکست زنجیره پلیمری و تضعیف ساختار کریستالین، ذوب شدن نمونه در دمای پایین تر را به همراه دارد (۱). کاهش گرمای نهان ذوب، ناشی از کاهش ساختار کریستالین و کوتاه تر شدن طول زنجیره پلیمری در نمونه های هوازده است. با کمتر شدن ساختار کریستالین، گرمای کمتری برای ذوب مورد نیاز است. همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می شود، دمای بلورینگی و درجه بلورینگی نمونه ها هم از روند مشابه دمای ذوب پیروی می کنند. از طرف دیگر چندسازه های حاصل از پلی پروپیلن خام در مقایسه با انواع حاصل از پلی پروپیلن بازیافتی، پایداری گرمایی بالاتری دارند (جدول ۲). به طوری که در اثر حضور پلی پروپیلن بازیافتی در ترکیب چندسازه ها، دمای ذوب، دمای بلورینگی و درجه بلورینگی نمونه ها کاهش نشان داد. دلیل این مسئله را می توان با کاهش وزن مولکولی و کوتاه شدن طول زنجیره پلیمر بازیافتی در اثر تخریب گرمایی و مکانیکی مرتبط دانست. به عبارتی، با افزایش وزن مولکولی پلیمرها، چگالی گره خوردگی زنجیره های پلیمری افزایش یافته و به دلیل کند شدن حرکت مولکولها، پایداری پلیمر در مقابل گسست گرمایی افزایش می یابد (۱). از این رو می توان انتظار داشت، دمای ذوب و بلورینگی در چندسازه های حاصل از پلی پروپیلن بازیافتی به دلیل تعداد بیشتر زنجیره های تخریب شده کاهش یابد. همچنین باید در نظر داشت که پلی پروپیلن خام به واسطه آغشتگی بهتر ذرات آرد کاه برنج توانسته کیفیت چسبندگی در سطح مشترک چندسازه را بهبود بخشیده و از این طریق موجب فعال شدن مکان های هستهزا و رشد سریع بلورسازی و افزایش درجه بلورینگی شود (۱۰).

جدول ۲- پارامترهای گرمایی در تیمارهای مورد مطالعه استخراج شده از منحنی DSC

Table 3. Thermal parameters in the studied treatments from DSC curve.

بعد از ۲۰۰۰ ساعت هوازدگی					قبل از هوازدگی					تیمار Treatment
After 2000 hours weathering					Before weathering					
X <sub>c</sub> (%)	ΔH <sub>c</sub> (J/g)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>m</sub> (J/g)	T <sub>m</sub> (°C)	X <sub>c</sub> (%)	ΔH <sub>c</sub> (J/g)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>m</sub> (J/g)	T <sub>m</sub> (°C)	
40.8	76.5	127.3	56.3	160.6	45.2	80.9	130.3	62.3	163.2	چندسازه آرد کاه برنج- پلی پروپیلن خام Rice straw flour-) (VPP composite
37.2	74.6	124.9	51.3	157.4	41.7	78.4	128.5	57.5	161.8	چندسازه آرد کاه برنج- پلی پروپیلن بازیافتی Rice straw flour-) (RPP composite

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر خام و ضایعاتی بودن ماده زمینه پلیمری بر خواص مکانیکی، گرمایی و رنگی چندسازه ساخته شده از آرد کاه برنج و پلی پروپیلن قبل و بعد از هوازدگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان هوازدگی مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته کششی، دمای ذوب و درجه بلورینگی نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که چندسازه‌های حاصل از پلی پروپیلن خام در مقایسه با انواع حاصل از پلی پروپیلن بازیافتی، استحکام مکانیکی و پایداری گرمایی بهتری دارند. از طرف دیگر بیشترین میزان روشنی و تغییر رنگ در چندسازه‌های حاصل از پلی پروپیلن بازیافتی پس از ۲۰۰۰ ساعت هوازدگی مشاهده شد.

### منابع

1. Adhikary, K.B. 2008. Development of wood flour-recycled polymer composite panels as building materials. Ph.D. Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 229p.
2. ASTM, D. 2565. 2008. Standard practice for xenon-arc exposure of plastics intended for outdoor applications, Philadelphia, PA., USA.
3. ASTM, D. 638. 2011. Standard test method for tensile properties of plastics, Philadelphia, PA., USA.

4. ASTM, D. 790. 2011. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, Philadelphia, PA., USA.
5. Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M.A., Urrutibeascoa, I., and Maspocho, M.L. 2001. Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene. *Journal of Material Science*, 36(11): 2607–2613.
6. Carroll, D.R., Stone, R.B., Sirignano, A.M., Saindon, R.M., Gose, S.C., and Friedman, M.A. 2011. Structural properties of recycled plastic/sawdust lumber decking planks. *Resources Conservation Recycle*, 31(3): 241–251.
7. Darabi, P., Abdolzadeh, H., Karimi, A.N., Mirshokraei, S.A., and Doosthosseini, K. 2010. The investigation of acetylating and anti-oxidant effect on weathering of wood plastic composite by means of FTIR and colorimetry. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(1): 70-79.
8. Fabiyai, J., McDonald, A., Wolcott, M., and Griffith, P. 2008. Wood plastic composites weathering: visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability*, 93: 1405-1414.
9. Farahmand, F., Shokrollahi, P., and Mehrabzadeh, M. 2003. Recycling of commingled plastics waste containing polyvinylchloride, polypropylene. Polyethylene and paper. *Iranian Polymer Journal*, 12(3): 185-190.
10. 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.
11. Ishak, Z., Yow, B., and Ng, B. 2001. Hydrothermal ageing and tensile behavior of injection molded rice husk filler polypropylene composite. *Journal of Applied Polymer Science*, 81: 742–749.
12. Kazemi Najafi, S., Hamidinia, E., and Tajvidi, M. 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 100: 3641–3645.
13. Kazemi Najafi, S., Kiaefar, A., Tajvidi, M., and Hamidina, E. 2006. Water absorption behavior of composites from sawdust and recycled plastics. *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, 26(3): 341-348.
14. Kord, B., Yazdanparast, K., and Tazakorrezaei, V. 2014. Effect of weathering time on the physical- mechanical properties and color change in wood flour/HDPE composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5(1): 75-83.
15. Lee, C.H., Hung, K.H., Chen, Y.L., Wu, T.L., Chien, Y.C., and Wu, J.H. 2012. Effects of polymeric matrix on accelerated UV weathering properties of wood-plastic composites. *Holzforschung*, 66: 981–987.

16. Lopez, J.L., Sain, M., and Gooper, P. 2005. Performance of natural fiber plastic composites under stress for application: effect of moisture, temperature and ultraviolet light exposure. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5): 2570-2577.
17. Mantiam, F., and Morreale, M. 2008. Accelerated weathering of polypropylene/wood flour composites. *Polymer Degradation and Stability*, 93: 1252-1258.
18. Matuana, L.M., and Kamdem, D.P. 2002. Accelerated ultraviolet weathering of PVC/wood-flour composites. *Polymer Engineering Science*, 42(8): 1657-1666.
19. 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 Stability*, 96(1): 97-106.
20. Ndiaye, D., and Tidjani, A. 2012. Effects of coupling agents on thermal behavior and mechanical properties of wood flour/polypropylene composites. *Journal of Composite Materials*, 46(24): 3067-3075.
21. Roohani, M. 2008. Feasibility study of baggase and kenaf fiber using in wood plastic manufacture. M.Sc. Thesis, Tehran University, 158p.
22. Shakeri, A., and Omidvar, A. 2006. Investigation on the effect of type, quantity and size of straw particles on the mechanical properties of crops straw-high density polyethylene composites. *Iranian Journal of Polymer science and Technology*, 19(4): 301-308.
22. Stark, M., Matuana, L., and Clemons, M. 2004. Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 93: 1021-1030.
23. Stark, N.M., and Matuana, L.M. 2004. Surface chemistry and mechanical property changes of wood-flour/high density polyethylene composites after accelerated weathering. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(6): 2263-2273.
25. Stark, M., and Nicole, H. 2006. Effect of weathering cycle and manufactured method on performance of wood flour and high density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100: 3131-3140.
26. Tajvidi, M., and Takemura, M. 2009. Effect of fiber content and type, compatibilizer, and heating rate on thermogravimetric properties of natural fiber high density polyethylene composites. *Polymer Composites*, 30(9): 1226-1233.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 23 (1), 2016

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

## **Properties of rice straw flour and recycled polypropylene composites exposed to accelerated weathering**

**\*B. Kord**

Assistant Prof., Dept., of Paper and Packaging Technology, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute

Received: 06/18/2015 ; Accepted: 02/06/2016

### **Abstract**

**Background and objectives:** Wood-plastic composites (WPCs) are increasingly used for non-structural applications in the automotive, furniture and building industries. Despite remarkable progresses in manufacturing and processing technologies for WPCs products, the application of WPCs in an outdoor environment is still a major concern. Exposure of WPCs to varying environmental conditions such as moisture, temperature and UV radiation results in changes to the structure of these materials. Consequently, the color change, loss of aesthetic appeal and mechanical property, and decrease of their performance applications have been affected. This research was carried out to investigate on the effect of weathering on the mechanical, thermal and color properties of rice straw flour (RF) and virgin/recycled polypropylene (VPP or RPP) composites.

**Materials and methods:** Rice straw flour (RF) was mixed with both virgin and recycled polypropylene (VPP or RPP) and MAPP at 180 °C and 60 rpm in an internal mixer, and the samples were made by injection molding. The ratio of PP was 50% based on oven-dry weight of RF. The amount of coupling agent was fixed at 2% for all formulations. Accelerated weathering of samples was conducted in a xenon arc-type light exposure apparatus for 2000 hours. Finally, the mechanical and thermal properties and color measurement of samples were tested, and compared with control samples (unweathered).

**Results:** Results indicated that the flexural strength and tensile modulus of samples decreased with the increase in weathering exposure time. The color of composites sharply changed after accelerated weathering, and the lightness of samples increased. Differential scanning calorimetry (DSC) test revealed that the thermal stability of composites (the melting temperature, crystallization temperature and crystallinity) decreased with increase in weathering exposure time, due to the polymer chain scission deterioration by photodegradation process. The highest

---

\*Corresponding author: b.kord@standard.ac.ir

lightness and color change in the RF/RPP composites was observed. However, the VPP samples showed higher mechanical strength and thermal stability than RPP.

**Conclusion:** The findings showed that the RF/RPP composites had lower durability against weathering compared with other ones.

**Keywords:** Recycled polypropylene, Accelerated weathering, Mechanical strength, Thermal stability, Color change