

10.22092/ijwpr.2021.356586.1702

شناسه دیجیتال (DOI):

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران

20.1001.1.17350913.1400.37.1.8.9

شناسه دیجیتال (DOR):

جلد ۳۷ شماره ۱، صفحه ۹۸-۸۶ (۱۴۰۱)

تأثیر اشعه گاما بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، مورفولوژی و دوام بیولوژیکی چندسازه چوب پلاستیک

محمد حامد شجاعی^۱، امیر هومن حمصی*^۲، محمد طلابی پور^۳ و اسماعیل قاسمی^۴

۱- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲* - نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،

پست الکترونیک: h_hemmasi@srbiau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استاد، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۰

چکیده

اخیراً استفاده از پرتوهای یونیزه کننده مانند اشعه گاما در پلیمرها به دلیل اصلاح خصوصیات آنها، توجه زیادی از محققان را به خود جلب کرده است. از این رو، در این تحقیق از چند سازه پلی پروپیلن به عنوان ماتریس چندسازه و ماده سازگارکننده مالیک انیدرید (MAPP) و چوب صنوبر را به عنوان پرکننده تحت تابش اشعه گاما با دوزهای مختلف از ۰ تا ۷۵ kGy قرار دادیم. قارچ پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor*) و قارچ پوسیدگی قهوه‌ای (*Gloeophyllum Trabeum*) برای آزمودن پوسیدگی قارچی استفاده شد. هدف اصلی این مطالعه، بررسی مزایای احتمالی تابش اشعه گاما برای بهبود برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها و همچنین بررسی تخریب بیولوژیکی در اثر پوسیدگی قارچی آنها بود. نتایج نشان داد، تابش اشعه گاما خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه را بهبود و دوام بیولوژیکی آنها را در برابر قارچ‌های پوسیدگی سفید و قهوه‌ای افزایش می‌دهد. همچنین یکنواختی میکروگراف‌های حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که با تشعشعات گاما به چندسازه می‌توان شاهد بهبود تعامل بین الیاف پلیمر و چوب بود.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، اشعه گاما، قارچ پوسیدگی، تخریب بیولوژیکی.

مقدمه

خود اختصاص داده‌اند، به‌ویژه پلی‌افلین‌ها از قبیل پروپیلن (PP) که بیش از ۵۰ درصد از تولید پلاستیک جهان را دربرگرفته است. تولید PP بعد از پلی‌اتیلن با بیش از ۳۰ میلیون تن در سال و رشد سالانه ۷ درصد در جایگاه دوم قرار دارد (Martínez-Barrera, 2014). خواص ترموپلاستیک مانند سبکی، خواص الکتریکی، شیمیایی، همراه با هزینه کم و سهولت در استفاده و کاربری، این مواد را به

استفاده از مواد پلاستیکی در زندگی روزمره ما در دهه‌های اخیر رشد زیادی داشته است. آنها هم در کاربری‌های معمولی و ساده و هم در کاربری‌های تکنیکال و پیشرفته زندگی ما را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند (Hamour Noura et al., 2017).

ترموپلاستیک‌ها بیشترین گستره کاربردی در جهان را به

قابل توجه تشعشعات یونیزه کننده (پرتوهای گاما که از منبع کبالت^{۶۰}CO60) و سزیم^{۱۳۷}(Cs137) ساطع می‌شود) از دهه ۱۹۶۰ برای عقیم‌سازی و استریل تجهیزات پزشکی و جراحی و حفظ محصولات غذایی به صورت صنعتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. تشعشعات مذکور با شروع واکنش‌های شیمیایی باعث پلیمریزاسیون و شکست زنجیره در پلیمر و ایجاد رادیکال‌هایی می‌شوند که می‌توانند منجر به کاربردهای مختلفی از جمله تخریب یا عبور از پلاستیک و یا پیوند شوند. پلیمرهای در معرض تابش یونیزه، حتی در دوزهای پایین، اغلب تحت تغییرات ساختاری همراه با اتصال متقاطع یا کاهش وزن مولکولی و ایجاد شکست زنجیره‌ای قرار می‌گیرند (Singh, 2001; Singh *et al.*, 2001; Fintzou *et al.*, 2006). استفاده از پرتوهای گاما در ساخت مواد چندسازه چندین مزیت دارد، مانند: عملکرد مداوم، نیاز به حداقل زمان، آلودگی جوی کمتر، پخت در دمای محیط و انعطاف‌پذیری بالا برای بهبود طراحی کنترل فرایند (Noura *et al.*, 2018). Martínez-Barrera و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که تابش اشعه گاما بر خصوصیات چندسازه پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با فیبر تأثیر داشته و مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته را بهبود می‌بخشد. Khan و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر تابش گاما بر عملکرد چندسازه‌های پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با فیبر جوت را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که چندسازه تحت تابش اشعه گاما از خصوصیات مکانیکی بهتری نسبت به سایر چندسازه‌های غیر اشعه برخوردار است. همچنین Vasco و همکاران (۲۰۱۷) اثر تابش گاما را بر روی چندسازه‌های سیزال / پلی‌اورتان بررسی کردند و به پیشرفتی در مدول خمشی رسیدند. Dumas (۲۰۱۲) با استفاده از تابش اشعه گاما در دوزهای مختلف نشان داد که ابتدا در دوزهای پایین تابش، میزان کریستالی شدن افزایش و بعد در دوزهای بیشتر از ۱۰۰ kGy دچار کاهش تدریجی می‌شوند. برای دوزهای حداکثر ۱۲۰۰ kGy همین روند توسط Nasef و Dahlan (۲۰۰۳) به دست آمده است. اشعه گاما اغلب در چوب آغشته به مونومر به عنوان یک کاتالیزور برای پلیمریزاسیون مونومرها و همچنین برای ایجاد چندسازه چوب پلاستیک برای اصلاح

بهترین انتخاب برای صنایع مختلف از جمله ساخت، بسته‌بندی، اتومبیل، زیست، پزشکی و بسیاری دیگر تبدیل می‌کند (Bengtsson *et al.*, 2007; Ashori, 2008). با وجود مزایای زیاد این مواد، خواص مکانیکی از قبیل مقاومت کششی، خمشی، ضربه و ... از نقاط ضعف آنها به حساب می‌آید، اما این خصوصیات مکانیکی پایین مانع از استفاده محدود از آنها نشده و برای غلبه بر این کاستی‌ها طبقه جدیدی از مواد به نام چندسازه‌های چوب پلاستیک (WPC) بوجود آمدند که سازشی بین خصوصیات و عملکرد و هزینه تمام شده ایجاد شود. استفاده از مواد سلولزی (کتان، کنف، سیسال جوت و ...) به عنوان پرکننده و pp به عنوان ماتریس چندسازه استفاده می‌شود. این چندسازه مزایای بسیاری نسبت به پلیمرهای گرمانرم دارد. چگالی کمتر، سایش کمتر و همچنین قابلیت تجدیدپذیری بیشتر، آنها را به عنوان مواد اکولوژیکی معرفی می‌کند (Hristov *et al.*, 2004; Ashori, 2008). با این حال طبیعت آب‌دوست ماده لیگنوسلولزی، یک نقطه ضعفی است که در یک چندسازه دیده می‌شود. یادآور می‌شود که در بهبود خواص مکانیکی چندسازه‌ها، سطح چسبندگی و یا حالت پراکندگی چوب از نکات کلیدی است. در حقیقت، ذرات چوب از استحکام و مدول بالا با چسبندگی خوب و پراکندگی یکنواخت در چندسازه‌ها، می‌توانند خواص مکانیکی بهتری را به پلیمر میزبان منتقل کنند تا یک چندسازه با خواص بهتری نسبت به پلیمرهای تقویت‌شده به وجود آورند. راه‌حل‌های اصلی یافت شده برای بهبود سازگاری، استفاده از مواد اتصال‌دهنده، پیش‌تیمار الیاف چوب و پلیمر و یا از طریق تیمار پوشش سطحی و یا پیوند کوپلیمرسازی است که باعث بهبود خواص مکانیکی، جذب آب و پراکندگی می‌شود (Bledzki & Faruk, 2003; Karmarkar *et al.*, 2007). بنابراین اصلاح سطوح فیبر و پلیمر برای دستیابی به ماده‌ای با خواص مکانیکی خوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چندین محقق اصلاح چسبندگی سطحی را توسط استیله سازی Nedjma و همکاران (۲۰۱۳)، Asadpour و همکاران (۲۰۱۵) و یا با افزودن ماده سازگارکننده Kaci و همکاران (۲۰۰۷)، Amar و همکاران (۲۰۱۱) انجام داده‌اند. تغییرات

و بسیاری از تحقیقات پیشین نشان دادند که این چندسازه‌ها مستعد پوسیدگی هستند (Ibach & Clemons, 2006; Shir & Wolcott, 2005). در این راستا یکی از قارچ‌هایی که باعث پوسیدگی شدید در چوب و فراورده‌های چوب می‌شود، قارچ سفید نام دارد (*Trametes versicolor*) و از لیگنین چوب تغذیه می‌کند. قارچ رنگین‌کمان قارچ‌های ساپروفیت شایع و خطرناک گونه‌های چوبی به‌ویژه پهن‌برگان است، همچنین قارچ پوسیدگی قهوه‌ای (*Gloeophyllum Trabeum*) برای آزمودن پوسیدگی قارچی استفاده شد. با توجه به تیمارهای مختلف برای کاهش پوسیدگی، هدف از این مطالعه اثر اشعه گاما بر روی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، دوام بیولوژی و مورفولوژی چندسازه ساخته شده از پلی‌پروپیلن، مالیک انیدرید (MAPP) و آرد چوب صنوبر بود.

مواد و روش‌ها

پلیمر مورد استفاده در این تحقیق، پلی‌پروپیلن (مطابق با جدول ۱) تولید پتروشیمی پلی‌نار است.

خصوصیات شیمیایی چوب استفاده می‌شود (Bakraji *et al.*, 2010). موارد احتمالی تأثیر اشعه گاما بر چوب پلاستیک: ۱. به‌عنوان پیش‌تیمار برای اصلاح شیمیایی سلولز، ۲. به‌عنوان کاتالیزور برای شروع پلیمریزاسیون منومرها در زنجیره سلولزی، ۳. به‌عنوان پیش‌تیمار برای فرایند شیمیایی بیشتر برای بهبود حلالیت سلولز (Niang., 2017). به‌طورکلی اتصال متقاطع به دلیل تحرک بیشتر زنجیره‌های پلیمری و در نتیجه احتمال بالاتر پیوند بین رادیکال‌های آزاد در مناطق آمورف رخ می‌دهد. بعضی از رادیکال‌های آزاد می‌توانند برای مدت معینی در مناطق کریستالی پایدار باشند. پرتوهای گاما می‌توانند پیوندهای شیمیایی کووالانسی را بشکنند، اما انرژی آنها برای شکستن پیوندهای شیمیایی درون هسته اتم‌ها (پروتون و نوترون) کافی نیست. با توجه به مستعد بودن لیاف لیگنوسلولزی مورد استفاده در چندسازه‌ها به تخریب توسط عواملی مانند قارچ‌ها و تأثیر زیاد پوسیدگی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آنها، بررسی دوام این محصولات در برابر عوامل مخرب بیولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. البته مطالعه در رابطه با مقاومت به پوسیدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک برای مصارف خارج از ساختمان بسیار مهم و ضروری است

جدول ۱- خصوصیات پلی‌پروپیلن

Table1. Properties of polypropylene

مدول خمشی flexural modulus (N/mm ²)	مقاومت کششی Tensile strength (J/m)	چگالی Density (g/cm ³)	شاخص جریان مذاب MFI (g/10min)	نام محصول Product Name
1500	32	0.9	17	P-YI-180

سپس این قطعات با استفاده از آسیاب پالمن و پس از آن با استفاده از آسیاب کوچک آزمایشگاهی به آرد چوب تبدیل گردید. همچنین با استفاده الک‌هایی با مش ۶۰ و ۸۰ ذرات ریز چوب مورد نیاز جدا شد. نسبت اختلاط آرد چوب و ماتریس پلی‌پروپیلن ۵۸ درصد به ۴۰ درصد و میزان ماده سازگارکننده ۲ درصد بود.

قبل از ترکیب، آرد چوب حداقل ۴۸ ساعت در دمای

مالتیک انیدرید پلی‌پروپیلن (MA-PP) با نام (KARABOND PAM) تولید (شرکت گرانبکین - ایران) با شاخص جریان مذاب ۱۷ (g/10min)، به‌عنوان ماده سازگارکننده استفاده شد. چوب صنوبر یکی از درختان سریع‌الرشد است و به‌همین دلیل بیشتر کاربرد صنعتی دارد. آرد چوب صنوبر نیز از خاک‌اره حاصل از برش چوب صنوبر تهیه گردید و توسط اهر نواری به قطعات کوچک‌تر تبدیل شد.

الکترونی روبشی مدل VEGA3 TESCAN واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه الزهرا مطالعه شد. در ابتدا، نمونه‌ها در نیتروژن مایع قرار گرفتند و بعد شکسته شدند، این کار به دلیل جلوگیری از ایجاد تنش و تغییر ساختار سطحی نمونه‌ها انجام شد. سپس سطح شکست نمونه‌ها با لایه بسیار نازکی از طلا پوشش داده شده و در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی‌های مختلف دیده شد.

خواص فیزیکی

خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM D-730 بررسی شد. ابتدا نمونه‌ها برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای 95°C قرار گرفتند، سپس وزن و ابعاد آنها اندازه‌گیری شد و بعد در ظروف آب مقطر در دمای معمولی اتاق قرار گرفتند. سپس (به صورت کوتاه مدت) در زمان ۷۲ ساعت نمونه‌ها را از آب خارج کرده و سطح خیس آنها را نسبتاً خشک نموده و بلافاصله وزن و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 gr و برای اندازه‌گیری ضخامت آنها از میکرومتر (کولیس) با دقت 0.001 mm استفاده شد.

خواص مکانیکی

آزمون خمش بر روی نمونه‌هایی با ابعاد $5 \times 12 \times 100\text{ mm}$ مطابق با استاندارد ASTM D790 و با سرعت بارگذاری 2 mm/min و آزمون کشش بر روی نمونه‌هایی به شکل دمبل با طول 165 mm و عرض بالای قسمت دمبلی شکل 19 mm و عرض سطح شکست 10 mm و ضخامت 3 mm مطابق با استاندارد ASTM D638 و با سرعت بارگذاری 5 mm/min روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور از دستگاه (INSTRON) مدل ۴۴۸۶ استفاده شد.

آزمون پوسیدگی سفید و قهوه‌ای

بر اساس استاندارد EN113، نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده و نمونه‌های آزمونی به ابعاد

105 درجه سانتی‌گراد در یک آون خشک می‌شود تا رطوبت آن کمتر از 1 درصد باشد. آرد چوب خشک شده در یک ظرف پلاستیکی بسته شده نگهداری می‌شود تا از جذب بخار آب جلوگیری شود. فرایند تولید چندسازه با استفاده از دستگاه مخلوط‌کن Brabender مدل 815802 ساخت آلمان در پژوهشگاه پلیمر انجام شد. دمای اختلاط 145 تا 180 درجه سانتی‌گراد و سرعت اختلاط 60 rpm بوده است. در ابتدا دستگاه تا دمای مدنظر گرم می‌شود، سپس PP به داخل دستگاه ریخته می‌شود تا ذوب گردد. ذوب شدن کامل پلیمر حدوداً 2 دقیقه طول می‌کشد. پس از ذوب شدن پلیمر، آرد چوب (WF) به آن اضافه شد و مواد به مدت 10 دقیقه در داخل دستگاه با یکدیگر در آزمایشگاه پژوهشگاه پلیمر مخلوط شدند. برای ساخت نمونه‌های آزمونی با استفاده از روش قالب‌گیری فشاری، ذرات خرد شده ابتدا به مدت 4 دقیقه در پرس گرم با دمای 180 درجه سانتی‌گراد و فشار 25 مگاپاسکال و پس از آن به مدت 3 دقیقه تحت پرس سرد قرار گرفتند. بعد از آماده‌سازی، نمونه‌های آزمونی برای رسیدن به رطوبت تعادل به مدت 14 روز در دمای 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 3 در اتاق کلیما قرار گرفتند و هر نمونه در سه تکرار ساخته شد.

تابش گاما

نمونه‌ها در دوزهای 25 ، 50 و 75 با میزان دوز $4/8\text{ kGy/h}$ در مجاورت هوا و دمای اتاق با منبع کبالت 60 (به دلیل رایج‌ترین فرستنده گاما و ایمنی عملیات) در سازمان انرژی اتمی ایران تحت تابش قرار گرفتند. سپس اثر تابش گاما بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و حرارتی بررسی شدند. پرتوهای یونیزه به ساختار چوب نفوذ می‌کند و درجه یکنواخت پلیمریزاسیون را ایجاد می‌کند، بنابراین، می‌تواند رادیکال‌هایی را روی زنجیره‌های سلولز ایجاد کند که از آن شاخه وینیل پلیمر می‌تواند رشد کند و به کوپلیمر پیوند ببخشد (Clough, 2001).

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

ریخت‌شناسی چندسازه‌های تولید شده با میکروسکوپ

WI = افت وزن (%)

$W1$ = وزن خشک نمونه قبل از پوسیدگی

$W2$ = وزن خشک نمونه بعد از پوسیدگی

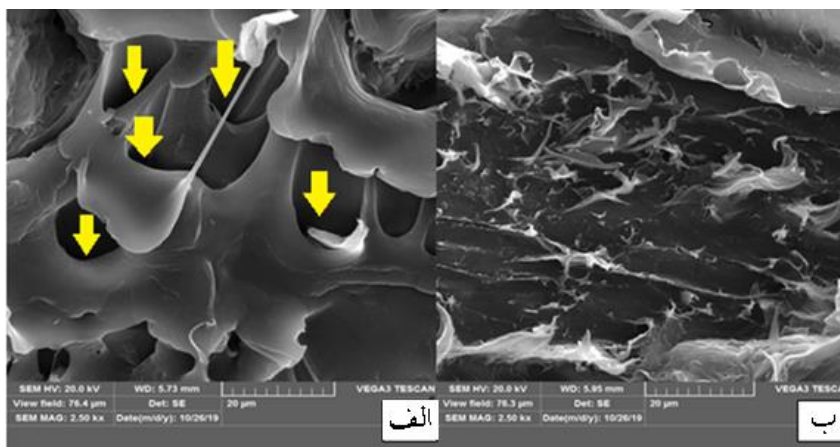
نتایج

میکروسکوپ الکترونی روبشی

شکل ۱ میکروگراف‌های SEM از سطح شکست چندسازه‌های WPC ساخته شده از PP را نشان می‌دهد. همان‌طور که تصاویر نشان می‌دهد، تابش اشعه گاما می‌تواند بر هم‌کنش بین پلیمر-پرکننده تأثیر بگذارد. حفره‌های بین پلیمر و الیاف، به وضوح در نمونه بدون تابش شکل (الف) نشان داده شده است که نشان‌دهنده سطح نامناسب و اتصالات ضعیف است. در چندسازه الیاف چوب/پلیمر بدون تابش شده نشان داد که چسبندگی ضعیفی بین فیبر چوب و ماتریس پلیمر در (الف) وجود دارد و چسبندگی بهتری بین ماتریس چوب/پلیمر در نمونه‌های تابش شده شکل (ب) دیده می‌شود که اثرهای تشعشعات، بستگی به دوز اعمال شده بر روی نمونه‌ها دارد

۲۰×۱۰×۲ میلی‌متر تهیه شدند. نمونه‌ها به وسیله ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. برای تعیین درصد رطوبت نمونه‌ها در آون در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد خشک و بعد توزین شدند. برای آزمون پوسیدگی سفید از قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*) و برای آزمون پوسیدگی قهوه‌ای از قارچ (*Gloeophyllum Trabeum*) استفاده شد. محیط کشت برای قارچ حاوی ۴/۵ گرم مالت اکسترکت، ۱۵ گرم آگار و ۱۰ گرم گلوکز در ۱ لیتر آب بود (Dorado et al., 2000). محیط کشت پس از آماده‌سازی به وسیله اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه استریل شد و پس از خنک شدن در اتاقک مخصوص کشت و در زیر یک هود استریل به پلیت‌ها منتقل گردید. مدت زمان انکوباسیون ۶ ماه در نظر گرفته شد تا میزان تخریب قارچی تعیین گردد. بدین‌منظور، نمونه‌ها ابتدا وزن و بعد در آون خشک شدند تا وزن خشک آنها تعیین شود. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده میزان افت وزن ناشی از تخریب قارچی تعیین شد.

$$WI = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$



شکل ۱- میکروگراف‌های SEM از سطح شکست چندسازه‌های WPC: (الف) نمونه تابش نشده، (ب) نمونه تابش شده

Figure 1. SEM micrographs of the fracture surface of WPC composites: (a) non-irradiated sample, (b) irradiated sample

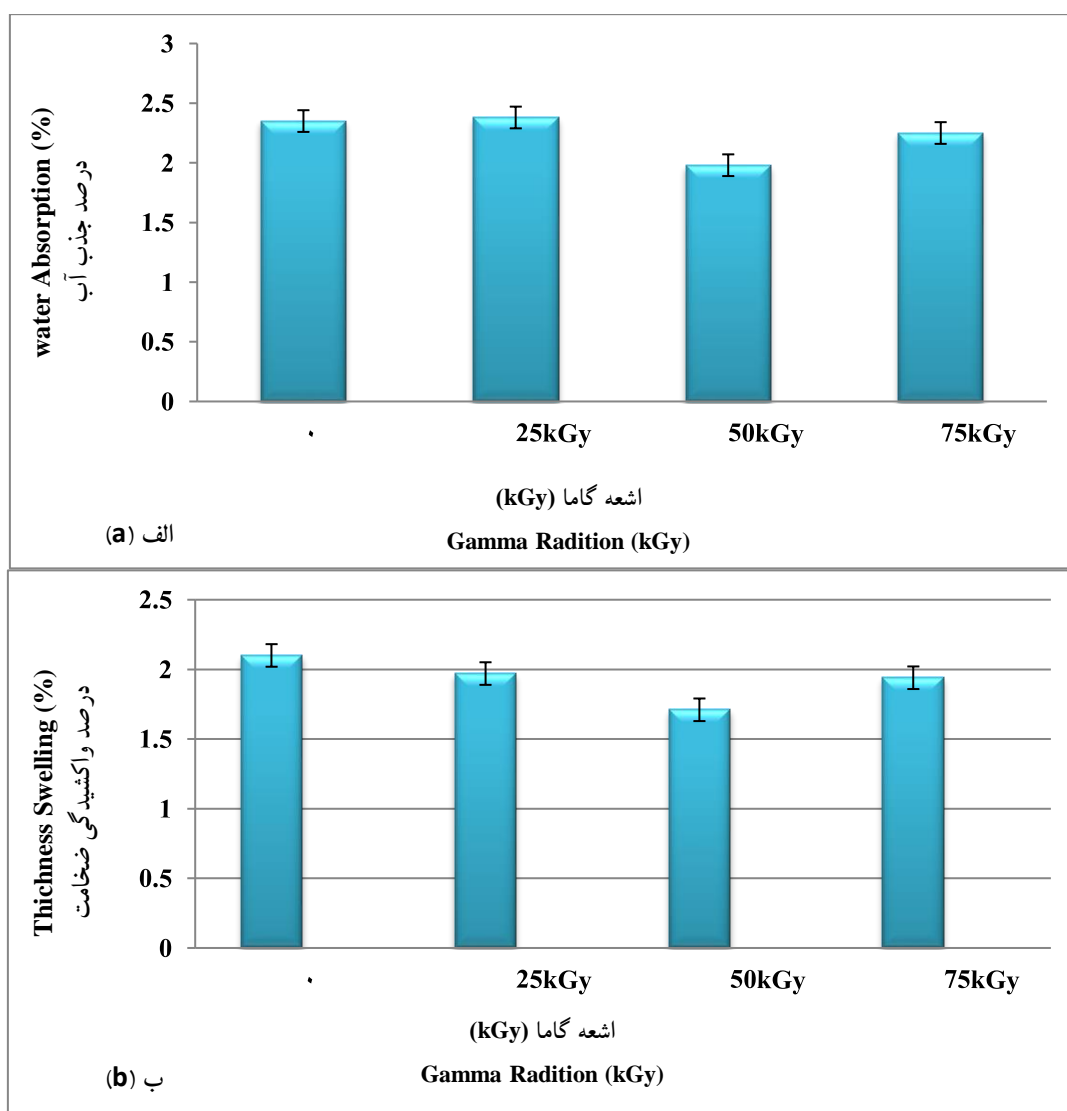
تابش به مدت ۷۲ ساعت زمان غوطه‌وری در بالاترین میزان جذب آب ۲/۳۵ درصد و واکنشیدگی حدود ۲/۱ درصد قرار

خواص فیزیکی

در شکل ۲ (الف) و (ب) مشاهده می‌شود که نمونه بدون

دارای چسبندگی فیبر ماتریسی بهتری بوده که می‌تواند دلیلی بر کاهش جذب آب و واکنشیدگی نسبت به چندسازه‌های بدون تابش باشد. به‌علاوه اشعه گاما باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل و همچنین افزایش منطقه کریستالی از طریق پدیده اتصال متقابل می‌شود که به‌طور پیوسته باعث کاهش مناطق آمورف می‌گردد. (Niang, 2017).

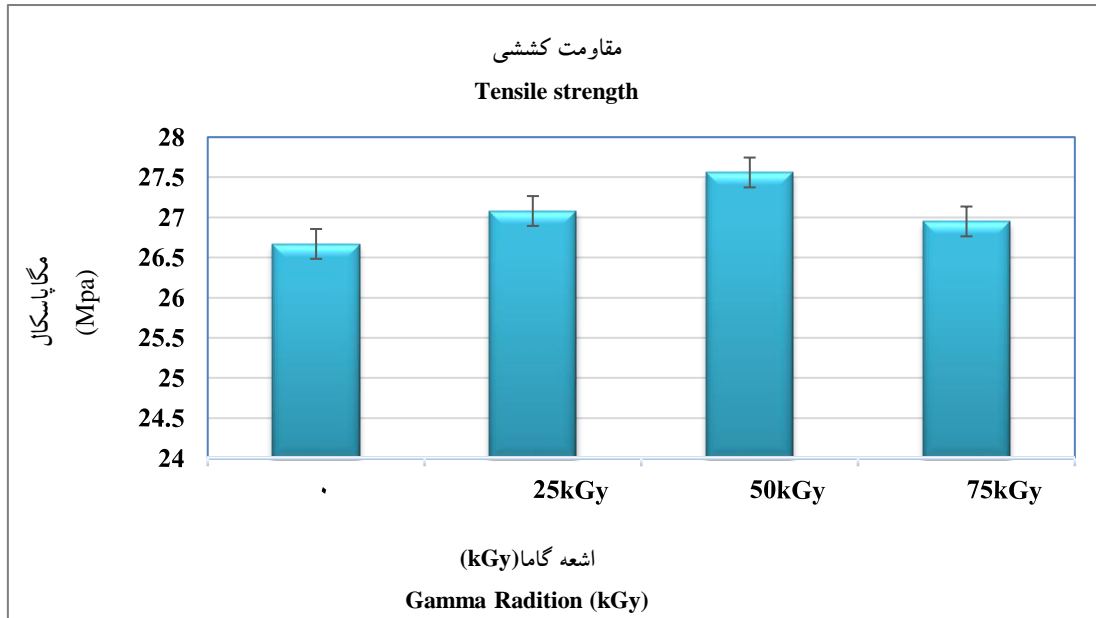
دارد، درحالی‌که کمترین میزان جذب آب ۱/۹۸٪ و ۱/۷۱٪ مربوط به نمونه‌های تحت تیمار با اشعه گاما ۵۰kGy است. یادآوری می‌شود که در نمونه تحت تابش گاما با دوز ۷۵ kGy کمی بیشتر از نمونه مشابه تحت تابش گاما با دوز ۵۰kGy هست که می‌توان دلیل آن را ایجاد شکاف‌های سطحی و تخریب برخی پیوندهای متقابل در چندسازه در دوزهای بالای تابش بیان کرد. چندسازه‌های تحت تابش گاما



شکل ۲- (الف) نمودار میزان جذب آب و (ب) نمودار واکنشیدگی ضخامت نمونه‌های تحت تابش گاما با دوزهای متفاوت و بدون تابش

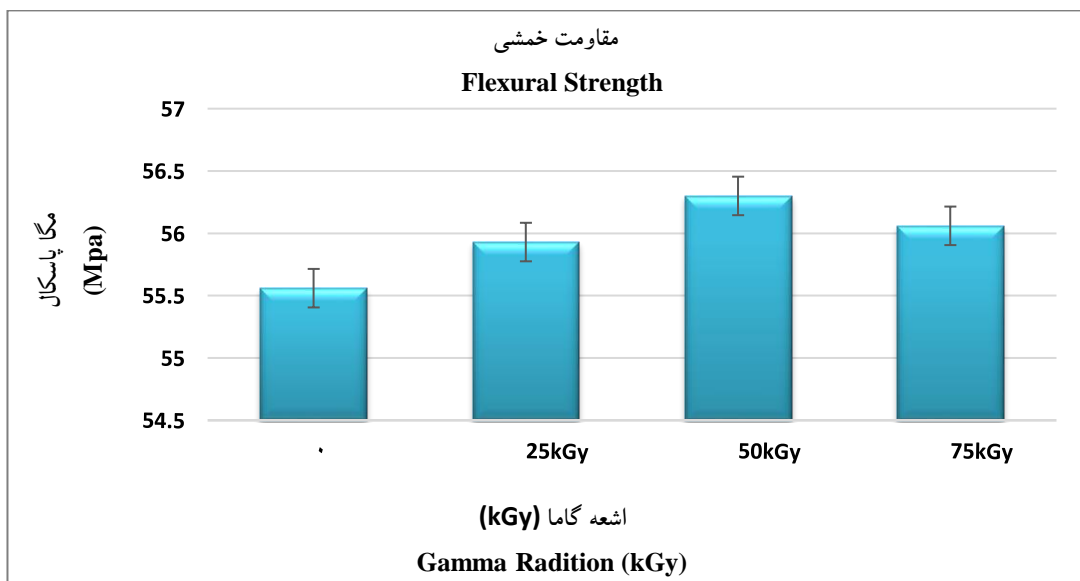
Figure 2. (a) Diagram of water absorption and (b) diagram of swelling thickness of gamma irradiated samples with different doses and without irradiation

خواص مکانیکی



شکل ۳- نمودار میزان مقاومت کششی نمونه‌های تحت تابش گاما و بدون تابش

Figure 3. Graph of tensile strength of gamma irradiated and irradiated samples



شکل ۴- نمودار میزان مقاومت خمشی نمونه‌های تحت تابش گاما و بدون تابش

Figure 4. Graph of flexural strength of gamma irradiated and irradiated samples

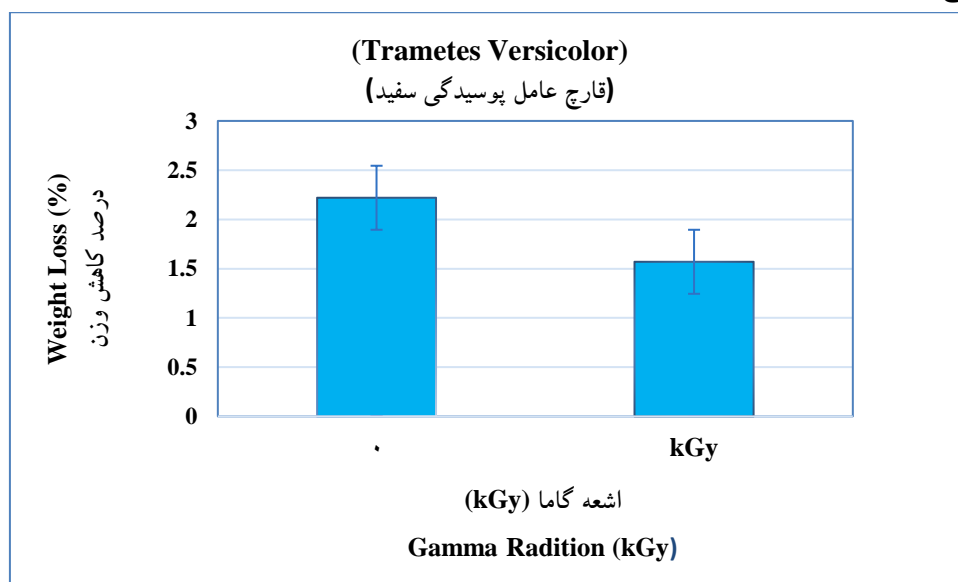
تابش گاما تا ۵۰ kGy بیشتر از نمونه‌های بدون تابش بوده و با دوز بالاتر این میزان رو به کاهش است. بیشترین میزان

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده است، میزان مقاومت کششی و مقاومت خمشی نمونه‌های تحت

مقاومت کششی مربوط به دوز ۵۰ kGy، ۲۷/۵۶ مگاپاسکال می‌باشد و کمترین میزان مقاومت کششی مربوط به نمونه شاهد ۵۵/۵۶ مگاپاسکال است.

مقاومت کششی مربوط به دوز ۵۰ kGy، ۲۷/۵۶ مگاپاسکال می‌باشد و کمترین میزان مقاومت کششی مربوط به نمونه شاهد ۲۶/۶۷ مگاپاسکال است. همچنین بیشترین میزان مقاومت

دوام بیولوژیکی



شکل ۵- نمودار میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی سفید نمونه‌های تحت تابش گاما و بدون تابش

Figure 5. Graph of weight loss due to white rot of gamma irradiated and irradiated samples

اثر معناداری بر روی کاهش وزن به مقدار ۱/۵۷ در اثر حمله قارچ پوسیدگی سفید دارد.

تأثیر قارچ حامل پوسیدگی سفید بر آرد چوب صنوبر ۴۰ درصد در شکل ۵ آورده شده است. مطابق جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل تابش اشعه گاما در دوره ۶ ماهه

جدول ۲- مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از آنالیز واریانس

Table 2. F value and significance level obtained from analysis of variance

نوع آزمون	هفته	تابش شده با گاما	بدون تابش	تابش شده با گاما × بدون تابش
Type of test	week	irradiated with gamma-ray	without radiation	irradiated with gamma-ray × without radiation
(Duncan) دانکن	24	8.36**	4.66**	3.65**

(**): The sig. value is 99%)

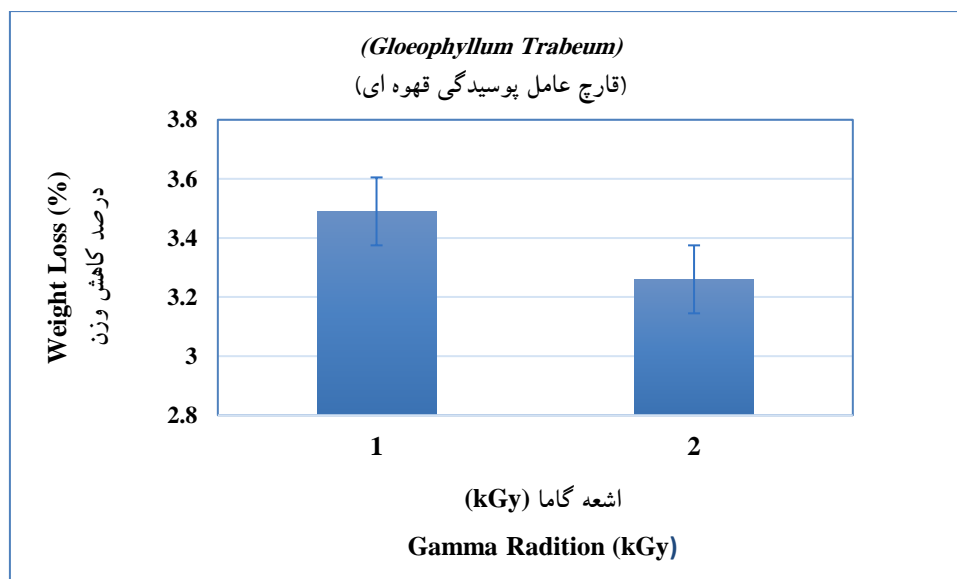
(**): سطح معنی‌داری ۹۹ درصد)

شده بر روی کاهش وزن ناشی از فعالیت متابولیسمی قارچ

بررسی اثر مستقل و متقابل هر یک از فاکتورهای اعمال

معناداری بر روی کاهش وزن ۳/۲۶ درصد در اثر حمله قارچ پوسیدگی قهوه‌ای دارد.

حامل پوسیدگی قهوه‌ای بر آرد چوب صنوبر ۴۰ درصد در شکل ۶ آورده شده است. مطابق جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل تابش اشعه گاما در دوره ۶ ماهه اثر



شکل ۶- نمودار میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی قهوه‌ای نمونه‌های تحت تابش گاما و بدون تابش

Figure 6. Graph of weight loss due to brown rot of gamma irradiated and irradiated samples

جدول ۳ - مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از آنالیز واریانس

Table 3. F value and significance level obtained from analysis of variance

نوع آزمون	هفته	تابش شده با گاما	بدون تابش	تابش شده با گاما × بدون تابش
Type of test	Week	Irradiated with gamma-ray	Without radiation	Irradiated with gamma-ray × without radiation
دانکن (Duncan)	24	4.09**	3.75**	3.67**

(**): The sig. value is 99%)

(**): سطح معنی‌داری ۹۹ درصد)

بحث

میکروگراف‌های SEM نشان می‌دهد که تابش گاما باعث افزایش چسبندگی سطحی بین الیاف چوب و ماتریس می‌شود. علاوه بر این، ۱ درصد کاهش وزن بعد از تابش kGy ۷۵ مشاهده شد و زردی قابل توجهی در نمونه پس از

در این مطالعه تأثیر اشعه گاما با دوزهای kGy (۰.۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۰) بر چندسازه پلی‌پروپیلن و آرد صنوبر بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، مورفولوژی و دوام بیولوژی بررسی شد.

بنابراین تابش گاما با تغییر ساختار پلیمری چندسازه‌ها می‌تواند به بهبود عملکرد و خواص مکانیکی آن کمک کند (Shauddin *et al.*, 2014; Rahman *et al.*, 2018). به‌علاوه تابش گاما می‌تواند رطوبت موجود در چندسازه را از بین ببرد، در نتیجه چسبندگی بهتری بین فیبر و ماتریس ایجاد می‌شود (Khan *et al.*, 2009; Ndiaye *et al.*, 2014). همان‌طور که در شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، خاصیت کششی و خمشی با تابش گاما تا دوز ۵۰kGy افزایش می‌یابد و بعد به دلیل دو پدیده متضاد، یعنی پیوند فتوکراس و تجزیه نوری که به‌طور همزمان تحت اشعه گاما ایجاد می‌شوند، کاهش می‌یابد. رادیکال‌های آزاد طی یک واکنش ترکیبی تحت تابش گاما در دوزهای پایین‌تر تثبیت می‌شوند که نتیجه آن پیوند فتوکراس است. هرچه تعداد مکان‌های فعال تولید شده بر روی بستر پلیمری بیشتر باشد، بازده پیوند بیشتر می‌شود. این اتصال متقابل بین مولکول‌های مجاور توسط پرتوهای گاما، یک مولکول بزرگ‌تر را تشکیل می‌دهد که منجر به بهبود خصوصیات کششی و خمشی می‌گردد (Ndiaye *et al.*, 2014).

علاوه بر آن، در بررسی خواص مکانیکی مشاهده شد که با تابش اشعه گاما تا یک آستانه (در این تحقیق حدود ۵۰kGy) خواص مکانیکی چندسازه‌ها مانند استحکام کششی و مقاومت خمشی بهبود می‌یابد (Mubarak *et al.*, 2009; Abdul Motaleb *et al.*, 2019). در بررسی خواص فیزیکی مشاهده شد که چندسازه‌های تحت تابش گاما دارای چسبندگی فیبر ماتریسی بهتری بوده که می‌تواند دلیلی بر کاهش جذب آب و واکنشیدگی نسبت به چندسازه‌های بدون تابش باشد. همچنین در مورد دوام بیولوژی چندسازه چوب پلاستیک بین دو قارچ عامل پوسیدگی سفید و قهوه‌ای مشاهده شد که درصد کاهش وزن نمونه تحت تابش گاما نسبت به نمونه بدون تابش کمتر بود؛ که می‌توان به همپوشانی بهتر ماتریس با فیبر نسبت داد. بنابراین تابش گاما می‌تواند یک روش مهم برای بهبود خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و کاهش پوسیدگی و همچنین مورفولوژی WPC باشد.

۵۰kGy دیده شد (Ndiaye *et al.*, 2014). این پدیده‌ها احتمالاً نشانه‌های تخریب هستند. Smirnov و Deyun (۱۹۹۹) نشان دادند که متوسط وزن مولکولی PP، هنگامی که تحت تابش گاما قرار می‌گیرد، وقتی دوز تابش زیر ۱۰kGy باشد، تغییرات قابل توجهی نمی‌کند. سطوح نمونه‌های تابش شده صاف‌تر از نمونه‌های بدون تابش بوده و بهبود جزئی یافته است که احتمالاً به دلیل سازمان‌دهی دوباره زنجیره‌های ماتریسی در طول تابش است که در شکل ۱ نتایج قابل مشاهده است. درصد جذب آب چندسازه‌ها به‌طور عمده به خاصیت جذب آب فیبرهای ترکیبی و درجه چسبندگی فیبر ماتریسی بستگی دارد. پدیده جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را می‌توان بر اساس هیدرو دی سلولز گلوکز در ساختار سلولز توضیح داد. الیاف طبیعی حاوی گروه هیدروکسیل (OH-)، در ترکیب شیمیایی آنها تمایل به جذب سریع آب وجود دارد (Raghavendra *et al.*, 2015). تشعشع گاما نوعی منبع تابش یونیزه کننده بسیار قوی است و قدرت نفوذپذیری بسیار خوبی در مواد دارد و می‌تواند بر ساختار داخلی فیبر/ماتریس تأثیر بگذارد. تابش گاما سه نوع واکنشی در چندسازه ایجاد می‌کند که عبارت‌اند از: یونی، رادیکال و گروه‌های پراکسید. این گونه‌ها هنگامی ایجاد می‌شود که پلیمرها در حضور اکسیژن تابش شوند. واکنش یونی پیوندهای داخل زنجیره‌ای در فیبر و ماتریس را افزایش می‌دهد که می‌تواند یک ساختار پلیمری سریع جهت‌دار تولید کند و در پیوند بهتر ماتریس/فیبر نقش داشته باشد. در واکنش گروه‌های پراکسید هم ماتریس پلیمر و هم الیاف سلولزی ممکن است تحت یک شکست زنجیره‌ای قرار بگیرند و در نتیجه مولکول‌های پلیمری به قطعات کوچک‌تر شکسته شوند. در گونه واکنش رادیکال، با استفاده از تجزیه زنجیره سلولز به هیدروژن و هیدروکسیل تبدیل می‌شود. همچنین پرتوهای گاما با شکست برخی پیوندهای کربن-کربن می‌تواند رادیکال آزاد کند. این رادیکال‌های آزاد ممکن است در تغییر ساختار شیمیایی پلیمر و خصوصیات فیزیکی مواد واکنش نشان دهند. همچنین ممکن است تحت اتصال متقابل بین مولکول‌ها برای تشکیل یک مولکول بزرگ‌تر قرار گیرد؛

- Fintzou, A.T., Badeka, J.B., Kontominas, M.G. and Riganakos, K.A., 2006. "Changes in physicochemical and mechanical properties of γ -irradiated polypropylene syringes as a function of irradiation dose." *Radiation Physics and Chemistry* 75(1): 87-97.
- Hristov, V., Lach, R. and Grellmann, W., 2004. "Impact fracture behavior of modified polypropylene/wood fiber composites." *Polymer Testing* 23(5): 581-589.
- Hamour Noura, Boukerrou Amar, Djidjelli Hocine, Yefsah Rabah, Corn Stephane, El Hage Roland and Bergeret Anne (2017). "Effect of gamma irradiation aging on mechanical and thermal properties of alfa fiber-reinforced polypropylene composites: Role of alfa fiber surface treatments", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-18 DOI: 10.1177/0892705717714831
- Ibach, R.E. and Clemons, C.M., 2006. "Effect of acetylated wood flour or coupling agent on moisture, UV, and biological resistance of extruded woodfiber-plastic composites." *Wood protection* 2006: March 21-23, 2006... New Orleans, Louisiana, USA. Madison, WI: Forest Products Society, 2006: Pages 139-147
- Kaci, M., Djidjelli, H., Boukerrou, A. and Zaidi, L., 2007. "Effect of wood filler treatment and EBAGMA compatibilizer on morphology and mechanical properties of low density polyethylene/olive husk flour composites." *Express Polym. Lett* 1(7): 467-473.
- Karmarkar, A., Chauhan, S., Modak, J.M. and Chanda, M., 2007. "Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38(2): 227-233.
- Khan, M.A., Khan, R.A., Haydaruzzaman, Ghoshal, S., Siddiky, M. and Saha, M., 2009. "Study on the physico-mechanical properties of starch-treated jute yarn-reinforced polypropylene composites: Effect of gamma radiation." *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 48(5): 542-548.
- Khan, M.A., Khan, R.A., Haydaruzzaman, Hossain, A. and Khan, A., 2009. "Effect of gamma radiation on the physico-mechanical and electrical properties of jute fiber-reinforced polypropylene composites." *Journal of reinforced plastics and composites* 28(13): 1651-1660.
- Martínez-Barrera, G., 2014. "Polypropylene Fibre Reinforced Polymer Concrete: Effect of Gamma Irradiation." *Polymers & Polymer Composites* Vol. 22.
- Martínez-Barrera, G., Martínez-Hernández, A. L., Velasco-Santos, C., Martínez-López, M., Ortiz-

منابع مورد استفاده

- Amar, B., Salem, K., Hocine, D., Chadia, I. and Juan, M. J., 2011. "Study and characterization of composites materials based on polypropylene loaded with olive husk flour." *Journal of Applied Polymer Science* 122(2): 1382-1394.
- Asadpour, R., Sapari, N.B., Isa, M.H., Kakoei, S. and Orji, K. U., 2015. "Acetylation of corn silk and its application for oil sorption." *Fibers and Polymers* 16(9): 1830-1835.
- Ashori, A., 2008. "Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!" *Bioresource technology* 99(11): 4661-4667.
- Bakrabi, E., Iftas, M., Abdulrahman, A., Issa, H. and Abboud, R., 2010. "X-ray fluorescence analysis for the study of fragments pottery excavated at Tell Jendares site, Syria, employing multivariate statistical analysis." *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry* 285(3): 455-460.
- Bengtsson, M., Le Baillif, M. and Oksman, K., 2007. "Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38(8): 1922-1931.
- Bledzki, A.K. and Faruk, O., 2003. "Wood fibre reinforced polypropylene composites: effect of fibre geometry and coupling agent on physico-mechanical properties." *Applied Composite Materials* 10(6): 365-379.
- Bourmaud, A. and Baley, C., 2009. "Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling." *Polymer degradation and stability* 94(3): 297-305.
- Chiellini, E., Corti, A. and Swift, G., 2003. "Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes." *Polymer degradation and stability* 81(2): 341-351.
- Clough, R., 2001. "High-energy radiation and polymers: A review of commercial processes and emerging applications." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 185(1-4): 8-33.
- Dorado, J., Claassen, F.W., Lenon, G., Van Beek, T. A., Wijnberg, J.B. and Sierra-Alvarez, J. B., 2000. "Degradation and detoxification of softwood extractives by sapstain fungi." *Bioresource technology* 71(1): 13-2.
- Dumas, L., 2012. Post-modification par irradiation γ de polymères à base de fluorure de vinylidène: Applications aux membranes séparatrices de supercapacité.

- polypropylene (PP (composites: comparative study with jute/PP." *Fashion and Textiles* 5(1): 28.
- Raghavendra Supreeth B.S., Vinod, B. and Sudev, L.J., 2015." Effect of Gamma Irradiation on Mechanical Properties of Natural Fibers Reinforced Hybrid Composites" *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering* 4 ISSN 2349-784X
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. and Ahmed, S., 2008. "Biological degradation of plastics: a comprehensive review." *Biotechnology advances* 26(3): 246-265.
- Shauidin, S. M., Shaha, C.K. and Khan, M., 2014. "Effects of fiber inclusion and γ radiation on physico-mechanical properties of jute caddies reinforced waste polyethylene composite." *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry* 2(4): 91-97.
- Singh, A., 2001. "Irradiation of polymer blends containing a polyolefin." *Radiation Physics and Chemistry* 60(4-5): 453-459. -Singh, A., Bahari, K. L. A. Utraki(Ed) (2001). "Polymer Blends Handbook." Kluwer Academic publishers.
- Sivan, A., Szanto, M. and Pavlov, V., 2006. "Biofilm development of the polyethylene-degrading bacterium *Rhodococcus ruber*." *Applied microbiology and biotechnology* 72(2): 346-352.
- Shirp, A. and Wolcott, M.P., 2005. Influence of fungal decay and moisture absorption on mechanical properties of extruded wood-plastic composites. *Wood Fiber Sci.* 37(4):643-652. -Smirnov, L. and Deyun, E., 1999. "Evolution of the molecular mass distribution parameters during γ -radiolysis." *Polymer Science. Series A* 41(5): 506-511.
- Soni, R., Kapri, A., Zaidi, M. and Goel, R., 2009. "Comparative biodegradation studies of non-poritized and poritized LDPE using indigenous microbial consortium." *Journal of Polymers and the Environment* 17(4): 233.
- Vasco, M.C., Claro Neto, S., Nascimento, E.M. and Azevedo, E. 2017. "Gamma radiation effect on sisal/polyurethane composites without coupling agents." *Polímeros* 27(2): 165-170.
- Zahra, S., Abbas, S.S., Mahsa, M.T. and Mohsen, N., 2010. "Biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) by isolated fungi in solid waste medium." *Waste management* 30(3): 396-401.
- Espinoza, J. and Reis, J.M.L.d., 2014. "Polypropylene fibre reinforced polymer concrete: effect of gamma irradiation." *Polymers and Polymer Composites* 22(9): 787-792
- Motaleb A K.Z.M. Islam S. Md. and Milašius R., 2019. "Effect of Gamma Radiation on the Mechanical Properties of Natural Fabric Reinforced Polyester Composites". *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*; 27, 4(136): 88-93.
- Mubarak A. Khan, Ruhul A. Khan, Haydaruzzaman, Sushanta Ghoshal, M. N. A.Siddiky b & M. Saha (2009) "Study on the Physico-Mechanical Properties of Starch-Treated Jute Yarn-Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Gamma Radiation." *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 48:5, 542-548
- Nasef, M. M. and Dahlan, K.Z. M., 2003. "Electron irradiation effects on partially fluorinated polymer films: structure–property relationships." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* . 614-604:(4)201.
- Ndiaye, D., Badji, A. M. and Tidjani, A., 2014. "Physical changes associated with gamma doses on wood/polypropylene composites." *Journal of composite materials* 48(25): 3063-3071.
- Nedjma, S., Djidjelli, H., Boukerrou, A., Benachour, D. and Chibani, N., 2013. "Deinked and acetylated fiber of newspapers." *Journal of Applied Polymer Science* 127(6): 4795-4801.
- Niang, B., 2017. "Gamma-radiation-induced HDPE/Wood Composite: Studies of Morphological, Mechanical and Thermal Properties of the Composites." *Chemical Science International Journal*.
- Noura, H., Amar, B., Hocine, D., Rabah, Y., Stephane, C., Roland, E.H. and Anne, B., 2018. "Effect of gamma irradiation aging on mechanical and thermal properties of alfa fiber–reinforced polypropylene composites :Role of alfa fiber surface treatments." *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 31(5): 598-615.
- Rahman, A.M., Alimuzzaman, S., Khan, R.A. and Hossen, J., 2018. "Evaluating the performance of gamma irradiated okra fiber reinforced

Effect of gamma-ray on the physical, mechanical, morphological and, biological durability properties of WPC composite

M.H. Shojaie¹, A.H. Hemmasi^{2*}, M. Talaiepour³ and E. Ghasemi⁴

1-PHD Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2*-Corresponding Author, Full Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
Email: h_hemmasi@srbiau.ac.ir

3-Associate Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4-Full Prof., Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Received: Oct., 2021

Accepted: Dec., 2021

Abstract

Application of ionizing rays like gamma-ray in polymers to modify their properties has attracted much attention. Therefore, in this study, polypropylene as the composite matrix, maleic anhydride (MAPP) as the compatibilizer material, and poplar wood as the filler were used to make composite and then the composite was placed under the radiation of gamma-ray with different doses from 0 to 75 kGy. The white rot fungi (*Trametes versicolor*) and, brown rot fungi (*Gloeophyllum Trabeum*) were used in fungal decay test. The main purpose of this study is to investigate the probable benefits of gamma-ray radiation for improvement of some of the composites physical and mechanical properties, and also, to investigate the biodegradation in fungal decay and thermal properties. The results indicates that radiation of gamma-ray improves the physical and mechanical properties of some structures, and the decay resistance of the WPCs against brown and white rot fungus according to their weight losses. The uniformity of the micrographs obtained from the scanning electron microscope (SEM) indicated that the interaction between the polymer and wood fibers.

Keywords: Wood polymer composites, gamma radiation, fungal decay, biodegradation.