دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۷۳-۸۹
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2020.17806.1861

بررسی پیش‌تیمار بیولوژیکی چوب ممرز با دو قارچ پوسیدگی سفید و تأثیر آن بر خواص نوری و مقاومتی خمیرکاغذ CMP تولیدی

*سلیمان ظاهری[۱]، قاسم اسدپور اتویی[۲]، حسین رسالتی[۳] و کتی اُهنو[۴]
[۱]دانش‌آموخته کارشناس‌ارشد گروه مهندسی صنایع چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
[۲]دانشیار گروه مهندسی صنایع چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
[۳]استاد گروه مهندسی صنایع چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
[۴]استادیار سازمان جنگل‌ها، آزمایشگاه محصولات جنگلی مدیسون، ویسکانسین، آمریکا
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰٤

چکیده

سابقه و هدف: امروزه به دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی، تهیه خمیرکاغذهای زیستی گسترش یافته است. در این پژوهش، خرده‌چوب‌های گونه ممرز به‌مدت سه هفته در معرض دو قارچ پوسیدگی سفید *Pleurotus eryngii* (شاه‌صدف) و *Irpex lacteus* (دندانی) موجود در جنگل‌های شمال ایران قرار گرفتند و بر اساس استانداردهای مربوطه کشت شدند. پس از پیش‌تیمار قارچی در مدت سه هفته، به‌منظور خروج ریسه‌های قارچ، خرده‌چوب‌ها با آب سرد شست‌وشو و هواخشک شدند. سپس خرده‌چوب‌ها با فرآیند CMP در درجه حرارت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد با نسبت L/W = ۵:۱ و زمان ۹۰ دقیقه به خمیرکاغذ تبدیل و کاغذهای ٦۰ گرمی تهیه شد. ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرهای کاغذ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: ابتدا تخته‌های برش‌خورده از گرده‌بینه‌های ممرز را به‌مدت ۲ ماه در هوای آزاد زیر سایبان خشک گردیدند. آن‌گاه پس از ارزیابی کیفی از نظر عدم وجود معایب ترک و قارچ‌زدگی و نیز چوب واکنشی، تخته‌هایی به ابعاد ۳ × ۳۰ × ۱۵۰ (ضخامت × عرض × طول) سانتی‌متر از برون‌چوب نمونه‌های چوبی به ابعاد ۲ × ۲ × ۰/۷ سانتی‌متر برای آزمون دوام طبیعی برش داده شدند. آن‌گاه نمونه‌های تهیه‌شده به درون محیط کشت منتقل شدند و به‌مدت ۳ هفته در معرض تخریب قارچ‌های مذکور قرار گرفتند تا پس از پایان دوره تخریب، آزمایش‌های مربوط انجام شوند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج روشن شد که قارچ دندانی در دوره تخریب همانند قارچ پوسیدگی سفید شاه‌صدف عمل کرده است. می‌توان گفت که هر دو قارچ از توان تخریب یکسانی برخوردار هستند و چوب‌برون ممرز را حدوداً به یک اندازه تخریب کردند میانگین درصد کاهش وزن نمونه‌ها در چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ دندانی ٤/۱۳ درصد و توسط قارچ شاه‌صدف ۳/۹۵ درصد اندازه‌گیری شده است. نتایج تجزیه واریانس آزمون شاخص کشش کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز پس از ۳ هفته قرار گرفتن در معرض قارچ‌های پوسیدگی سفید نشان می‌دهد که میزان افزایش شاخص کشش توسط قارچ دندانی حدود ۹/٦ درصد بیش از قارچ شاه‌صدف بود. هم‌چنین میانگین درصد کاهش شاخص پاره شدن نمونه‌ها در کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بر

* مسئول مکاتبه: soleiman.zaheri@yahoo.com

اثر تخریب قارچ دندانی ۱٤/۲ درصد کم‌تر از قارچ شاه‌صدف بود؛ و میانگین درصد افزایش شاخص ترکیدگی نمونه‌ها در چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ دندانی ۵/۷٤ درصد بیش از قارچ شاه‌صدف بود. با ملاحظه نتایج مربوط به ویژگی‌های نوری کاغذ می‌توان نتیجه گرفت که ماتی کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمارشده با قارچ دندانی در مقایسه با قارچ صدفی کاهش داشته، هم‌چنین روشنی کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمارشده با قارچ دندانی در مقایسه با قارچ صدفی کاهش بیش‌تری داشته‌اند. بافت فشرده‌تر کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمارشده باعث کاهش انکسار نور در داخل شبکه الیاف کاغذ گشته و همین امر باعث کاهش ماتی شده است.

نتیجه‌گیری: ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرهای کاغذ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی بر روی کاغذ حاصله نشان داد که ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصله در اثر پیش‌تیمار قارچ *Irpex lacteus* بر روی خرده‌چوب‌های ممرز در طول ۳ هفته در مقایسه با قارچ *Pleurotus eryngii* بیش‌تر بود. با ملاحظه نتایج مربوط به ویژگی‌های نوری کاغذ می‌توان نتیجه گرفت که بافت فشرده‌تر کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمارشده باعث کاهش انکسار نور در داخل شبکه الیاف کاغذ گشته و همین امر باعث کاهش ماتی شده است. دلیل اُفت روشنی در تیمارهای قارچی تشکیل گروه‌های کروموفور در طی دوره انکوباسیون و خمیرسازی است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌تیمار قارچی، پوسیدگی سفید، خمیرکاغذ CMP، خواص مقاومتی، خواص نوری

مقدمه

امروزه در جهت نیل به اهداف اقتصادی، کاهش مصرف مواد شیمیایی، بهبود کیفیت محصول و نیز کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در صنایع خمیرکاغذ و انطباق آن‌ها با استانداردهای زیست‌محیطی تکنیک‌های متعددی در بخش اصلاحات درون‌فرآیندی توسعه یافته‌اند. در این راستا با توجه به مشکلات خمیر کاغذسازی شیمیایی، استفاده از روش پیش‌تیمار بیولوژیکی خرده‌چوب‌ها برای دستیابی به کیفیت بهتر خمیرکاغذ و کاغذ، کاهش مصرف مواد شیمیایی در بخش پخت و رنگ‌بری و نیز کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی پیشنهاد شده است. به‌طورکلی پیش‌تیمار مواد لیگنوسلولزی با قارچ‌های مخرب لیگنین قبل از خمیرکاغذسازی، به‌صورت خمیرکاغذسازی بیولوژیکی تعریف می‌شود. این روش که می‌تواند هم برای فرآیندهای شیمیایی و هم برای فرآیندهای مکانیکی به‌کار رود، به‌عنوان پتانسیلی جهت رفع پاره‌ای از مشکلات روش‌های مکانیکی و شیمیایی می‌باشد (۱ و ١٤). از عوامل مهمی که سبب به‌وجود آمدن نوع پوسیدگی سفید می‌گردد، نیتروژن بستره است. هنگامی‌که میزان غلظت نیتروژن بستره زیاد می‌شود، این قارچ‌ها تولید پوسیدگی سفید همبود می‌نمایند که تخریب سلولز، همی‌سلولز و لیگنین با سرعت یکسان رخ می‌دهد (۷). هارتیک اولین شخصی بود که پوسیدگی‌های سفید چوب را بر اساس ماکروسکوپی و میکروسکوپی به پوسیدگی حفره‌ای، پوسیدگی لکه‌ای و پوسیدگی رشته‌ایی طبقه‌بندی نمود (۱۲). پوسیدگی سفید به‌وسیله قارچ‌های رده بازدیومیست‌ها و برخی آسکومیست‌ها ایجاد می‌گردد. در این نوع پوسیدگی‌ها، اگر سرعت تخریب لیگنین بیش‌تر از سلولز و همی‌سلولزها باشد، نوع پوسیدگی را پوسیدگی گزینشی می‌نامند (۱۰ و ۲۰). الگوهای تخریبی مانند لکه‌ها و رگه‌های سیاه در چوب‌های تخریب‌شده از نشانه‌های پوسیدگی سفید است که در ابتدا توسط هارتیگ که از تخریب حاصل از قارچ پوسیدگی سفید

دایره‌ای شده بود، توصیف گردید (۷ و ۱۱). تخریب سلولز، همی‌سلولزها و لیگنین با سرعت یکسان رخ می‌دهد. آنزیم‌هایی که توسط ریسه‌های این قارچ‌ها تولید می‌شود توانایی تخریب ترکیبات چوبی را به‌صورت هم‌زمان دارد (۲۳). پوسیدگی دیواره سلولی به‌وسیله سوراخ‌های ایجادشده در دیواره‌ی ثانویه در اثر رشد ریسه‌ها می‌تواند آغاز شود و در این‌حال با درهم‌پیچیدن ریسه‌ها، حفرات فراخ‌تر می‌شوند. معمولاً ریسه‌ها ابتدا در داخل حفره‌سلولی و در تماس با دیواره داخلی رشد پیدا می‌کند. ریسه‌ها توسط لایه‌های از مایع تخریب‌کننده[1] که فقط در اطراف ریسه‌ها فعال هستند محاصره می‌شود. با افزایش ناحیه تخریب‌شده در اطراف ریسه‌ها، ریسه‌ها شیارهایی را در دیواره ایجاد می‌کنند که ضخامت آن‌ها کاهش یافته‌اند (۱۵). در این قارچ‌ها معمولاً لیگنین و همی‌سلولز در مراحل اولیه پوسیدگی به‌سرعت تخریب می‌شوند و قسمت اعظم سلولز باقی می‌ماند (۲۲). در مراحل خیلی پیشرفته، کاهش وزن تا ۹۷ درصد نیز با این قارچ‌ها گزارش شده است (۲۰).

در روش خمیرکاغذسازی بیومکانیکی، ابتدا در مرحله پیش‌تیمار بیولوژیکی در اثر فعالیت بیولوژیکی، درصدی از لیگنین تخریب می‌شوند و درنتیجه ماده لیگنوسلولزی موردنظر نرم شده و سپس با عملیات مکانیکی الیاف رشته‌رشته شده و خمیرکاغذ مناسب تهیه می‌گردد. در طرف مقابل، در خمیرکاغذسازی بیوشیمیایی، علاوه‌بر این‌که میکروارگانیسم‌ها با عملیات بیولوژیکی درصدی از لیگنین را تخریب می‌نمایند، برای تکمیل این عمل تا حصول نتیجه مطلوب از مواد شیمیایی، پخت نیز انجام می‌شود؛ بنابراین زمان پخت در این روش کوتاه و مصرف مواد شیمیایی نیز کم‌تر خواهد بود (۱٦).

قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید تنها میکروارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند لیگنین موجود در چوب را تجزیه کنند. این قارچ‌ها ساختار چوب را تخریب کرده و باعث کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی در فرآیند خمیرسازی مکانیکی می‌شوند همچنین خواص مقاومتی کاغذهای ساخته‌شده را بهبود می‌بخشد (۲). هم‌چنین قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید تغییراتی در ساختار لیگنین به وجود می‌آورند که این تغییرات در بحث انرژی پالایش، خواص مقاومتی کاغذ، رنگ‌بری خمیرکاغذ و مسائل زیست‌محیطی نتایج مثبتی به همراه دارد (۸). اسکات و همکاران (۱۹۹۸) خرده‌چوب صنوبر را در طول ٤ هفته با قارچ تیمار نمودند و از خرده‌چوب‌های تیمار شده به روش مکانیکی خمیر تهیه کردند. در این پژوهش روشنی خمیرکاغذ کاهش یافت (۲٤). اسکات و همکاران (۱۹۹۸) خرده‌چوب صنوبر را در طول ٤ هفته با قارچ تیمار نمودند و از خرده‌چوب‌های تیمارشده به روش مکانیکی خمیر تهیه کردند. در این پژوهش روشنی خمیر کاغذ کاهش یافت (۲٤).

هرناندزو همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که پیش تیمار ۲ هفته‌ای توسط قارچ روی خرده‌چوب‌های نوئل برای خمیرسازی مکانیکی سبب افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در خواص مقاومتی کاغذ می‌شود (۱۳). بلانچت و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که تیمار ٤ هفته‌ای خرده‌چوب‌های صنوبر توسط قارچ مولد پوسیدگی سفید قبل از خمیرکاغذسازی مکانیکی، سبب کاهش ماتی آن می‌شود (۵).

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه چوبی: ابتدا تخته‌های برش‌خورده از گرده‌بینه‌های ممرز را که از جنگل‌های هفت‌خال

1- Slime layer

واقع در منطقه کیاسر، از ارتفاع برابرسینه استحصال شده بودند، به‌مدت ۲ ماه در هوای آزاد زیر سایبان خشک گردیدند. آنگاه پس از ارزیابی کیفی از نظر عدم وجود معایب ترک و قارچ‌زدگی و نیز چوب واکنشی، تخته‌هایی به ابعاد ۳ × ۳۰ × ۱۵۰ (ضخامت × عرض × طول) سانتی‌متر از برون‌چوب نمونه‌های چوبی به ابعاد ۲ × ۲ × ۰/۷ سانتی‌متر بر اساس روش اتجن و همکاران (۱۹۹٤) برای آزمون دوام طبیعی برش داده شدند (۱۷). آن‌گاه برابر نمونه‌های تهیه‌شده به درون محیط کشت منتقل شدند و به مدت ۳ هفته در معرض تخریب قارچ‌های مورد پژوهش قرار گرفتند تا پس از پایان دوره تخریب، آزمایش‌های مربوط انجام شوند.

قارچ‌های موردمطالعه

قارچ *Pleurotus eryngii*: این قارچ به‌نام قارچ صدفی[1] و قارچ شاه‌صدف[2] معروف می‌باشد. متعلق به راسته آگاریکال‌ها[3]، خانواده پلوروتاسه[4] (۲۵). کلاهک سالیانه، قطر آن ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر، ضخامت آن ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر، بادبزنی یا قیفی‌شکل، شبیه گوش‌ماهی، سطح فوقانی کلاهک صاف (در نگاه اول شبیه پوست حلزون است) (۱۸). قارچ مزبور معمولاً ساپروفیت بوده ولی گاهی به‌صورت انگل زخمی به درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ حمله می‌نماید.

قارچ *Irpex lacteus*: این قارچ به‌نام دندانی[5] معروف است. متعلق به راسته پُلی‌پورال‌ها[6] و خانواده پُلی‌پوراسه[7] (۳). کلاهک‌ها مسطح، پهن، پوسته مانند و اندام باردهی مسطح گسترده شده بر روی زیرلایه و اغلب با ردیف‌های روی هم‌افتاده که ۰/۵ میلی‌متر ضخامت دارند. سطح بالای، پشمی (نمدی) است به رنگ‌های سفید، خاکستری، کرمی یا شیری مایل به اخرایی که در گروه‌های مختلف رنگی طبقه‌بندی‌شده و به‌مرور زمان با افزایش سن چروکیده می‌شود. دارای حاشیه‌های موج‌دار منحنی به‌سمت بالا می‌باشد.

جمع‌آوری قارچ: اندام بارده (کلاهک) قارچ‌های شاه‌صدف و دندانی از جنگل‌های علمدار ده واقع در اطراف ساری از روی کنده‌های افتاده جمع‌آوری شدند.

مراحل تهیه خمیر کاغذ

شست‌وشوی خرده‌چوب‌ها برای پخت: حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم خرده‌چوب برای حذف مواد غیرفیبری و زائد، شست‌وشو شدند.

تعیین مقدار رطوبت خرده‌چوب‌ها: خرده چوب‌های تهیه‌شده با ابعاد ۲ × ۲ × ۰/۷ سانتی‌متر را بعد از هوا خشک شدن به‌منظور جلوگیری از تبادل رطوبت با محیط اطراف در داخل کیسه‌های نایلونی نگه‌داری شدند.

پخت خرده‌چوب‌ها: مایع پخت با مشخصات زیر از کارخانه صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه شده است. برای پخت خرده‌چوب‌ها از دیگ پخت آزمایشگاهی با ظرفیت ۲/۵ لیتر استفاده شد شرایط پخت و مشخصات لیکور مطابق جدول ۱ تعیین گردید.

1- *Oyster*
2- *Oyster mushroom*
3- *Agaricales*
4- *Pleurotaceae*
5- *Rainbow*
6- *Polyporales*
7- *Polyporaceae*

شکل ۱- اندام بارده طبیعی قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید. قارچ شاه‌صدف در سطح جنگل روی چوب راش (چپ)، اندام باردهی قارچ دندانی در سطح جنگل روی چوب ممرز (راست).

Figure 1. Natural fruiting organism of white rot fungi. *Pleurotus eryngii* (PE) fungus in the beech forest area (left), fruiting organism of *Irpex lacteus* (IP) fungus in the hornbeam forest area (right).

جدول ۱- شرایط پخت و مشخصات مایع پخت فرآیند شیمیایی- مکانیکی CMP.

Table 1. Cooking conditions and liquor specifications of CMP process.

مصرف مواد شیمیایی Na_2SO_3 (%)	زمان پخت Cooking time (h)	درجه حرارت پخت Temperatures (°C)	مایع پخت L/W	وزن نمونه بر مبنای خشک Weight (gr)
15	1.5	170	5	100
سدیم اکسید Na_2o g/cm^3	دی‌اکسید گوگرد So_2 g/lit	دانسیته Density g/cm^3	غلظت یون هیدروژن pH	---
103	115	1.2	7	----

پس از پایان پخت خرده‌چوب‌ها، دیگ پخت تخلیه شد و پس از شست‌وشو و حذف مایع پخت باقی‌مانده در یک دفیبراتور آزمایشگاهی به خمیرکاغذ تبدیل شد از طرفی مایع پخت باقی‌مانده خارج‌شده از دیگ پخت جهت اندازه‌گیری pH مورد استفاده قرار گرفت.

آزمون دوام زیستی: برای انجام ارزیابی قدرت تخریب قارچ‌های مزبور نمونه‌های چوب برون ممرز با ابعاد گفته‌شده در بالا با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند و سپس در اتوکلاو و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه استریل گردیدند. پس از ۱۰ روز که ریسه‌های قارچ حدود دو سوم سطح پلیت را احاطه کردند، آن‌گاه نمونه‌های استریل‌شده در شرایط کاملاً استریل به داخل پتری‌دیش‌های ۱۰ سانتی‌متری حاوی میسلیوم قارچ‌های تهیه‌شده، منتقل گردیدند و به‌مدت ۳ هفته در دمای ۲± ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد نگهداری شدند. بعد از ۳ هفته نمونه‌های چوب از درون ظروف خارج و پس از زدودن میسلیوم قارچ‌ها از سطح، نمونه‌ها مجدداً وزن شدند تا میزان درصد کاهش وزن آن‌ها از طریق رابطه ۱ محاسبه گردد. این آزمایش برای هر قارچ در ۲۰ تکرار انجام گرفت.

$$ML(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، ML کاهش وزن (٪)، M_1 وزن خشک قبل از پوسیدگی (gr)، M_2 وزن خشک پس از پوسیدگی (gr) می‌باشد.

تعین بازده خمیرکاغذ: برای تعین راندمان خمیر، یک نمونه ۲۰-۳۰ گرمی از خرده‌چوب‌ها بر مبنای خشک در داخل یک پارچه بسته و در داخل دیگ پخت قرار داده شد پس از انجام عمل پخت، برای تعیین راندمان با استفاده از دستگاه جداکننده الیاف (Disintegrator) کاملاً باز شد و سپس عمل شست‌وشو انجام گرفت و نمونه‌ها به‌مدت ۱۷ ساعت در داخل آون قرار داده شد تا به‌طور کامل خشک شوند. نمونه‌ها پس از این مدت توزین شدند و با استفاده رابطه ۲ راندمان تولید مشخص گردید.

$$\text{راندمان خمیر} = \frac{\text{جرم خمیر خشک}}{\text{جرم خرده‌چوب خشک}} \times ۱۰۰ \text{(درصد)}$$

تهیه کاغذ دست‌ساز: کاغذهای دست‌ساز از خمیرکاغذهای تیمارهای مختلف، با وزن پایه اسمی ٦۰ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد T۲۰۵ -OM۸۸ آیین‌نامه TAPPI با استفاده از دستگاه Hand sheet Maker ساخته شد.

اندازه‌گیری خواص مقاومتی کاغذ

شاخص کششی: مقاومت کششی کاغذها بر طبق استاندارد ۲-۱۹۲٤-ISO اندازه‌گیری شد. برای محاسبه شاخص مقاومت در برابر کشش مقدار مقاومت کششی به وزن پایه تقسیم می‌شود.

شاخص در برابر پاره شدن: اندازه‌گیری مقاومت در برابر پاره شدن مطابق استاندارد ۱۹۷٤-ISO انجام شد و از تقسیم مقاومت در برابر پاره شدن بر وزن پایه نمونه، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن به‌دست آمد.

شاخص در برابر ترکیدگی: مقاومت در برابر ترکیدگی بر اساس استاندارد ۲۷۵۸-ISO اندازه‌گیری و برای محاسبه شاخص مقاومت در برابر ترکیدگی مقدار به‌دست آمده بر وزن پایه کاغذ تقسیم شد.

اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ

درجه روشنی کاغذ: اندازه‌گیری روشنی کاغذ بر طبق استاندارد ۱-۲٤۷۰- ISO اندازه‌گیری شد.

میزان ماتی کاغذ: اندازه‌گیری ماتی کاغذ بر طبق استاندارد ۲٤۷۱- ISO اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری: در این پژوهش از طرح آماری کاملاً تصادفی- متعادل و نیز برای بررسی و مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن بهره گرفته شد و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گردید. از لحاظ آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

نتایج

ارزیابی میزان بازده: نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان بازده خمیر تولیدشده ناشی از قارچ‌های *IP*، *PE* و نمونه شاهد CT در جدول ۲ آمده است. این جدول نشان می‌دهد که میانگین میزان بازده خمیر تولیدشده توسط قارچ‌های مختلف و شاهد از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس بازده خمیر حاصل از خرده‌چوب ممرز تیمارنشده و تیمارشده با قارچ دندانی و شاه‌صدف.

Table 2. Results of variance analysis of pulp yield from untreated and treated Hornbeam chips with *Irpex lacteus* and *Pleurotus eryngii*.

منابع تغییرات Sources of change	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	مقدار F 37	عدد P 0.000	معنی‌داری* Significant
بازده پخت Yield	2	55.50	27.750	---	---	---
داخل گروه‌ها Within groups	6	4.5	0.750	---	---	---
کل Total	8	60	---	---	---	---

* در سطح پنج درصد معنی‌دار و ns عدم معنی‌داری.

نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان می‌دهد که اختلاف میزان بازده خمیر تولیدشده بین نمونه‌های تیمار شده با قارچ دندانی (*IP*) و شاه‌صدف (*PE*) معنی‌دار نبود ولی این مقادیر بین نمونه‌های تیمار شده و نمونه شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود و در دو گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج روشن شد که قارچ دندانی در دوره تخریب همانند قارچ پوسیدگی سفید شاه‌صدف عمل کرده است. میانگین درصد میزان بازده خمیر تولیدشده خمیر چوب ممرز شاهد ۹۰ درصد و نیز خمیر حاصل از تیمار با قارچ دندانی ۸٤/۵ درصد و توسط قارچ شاه‌صدف ۸۵ درصد اندازه‌گیری‌شده است.

کاهش وزن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس کاهش وزن ناشی از قارچ‌های پوسیدگی سفید دندانی و شاه‌صدف در جدول ۳ آمده است. این جدول نشان می‌دهد که میانگین کاهش وزن نمونه‌ها توسط قارچ‌های مختلف از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

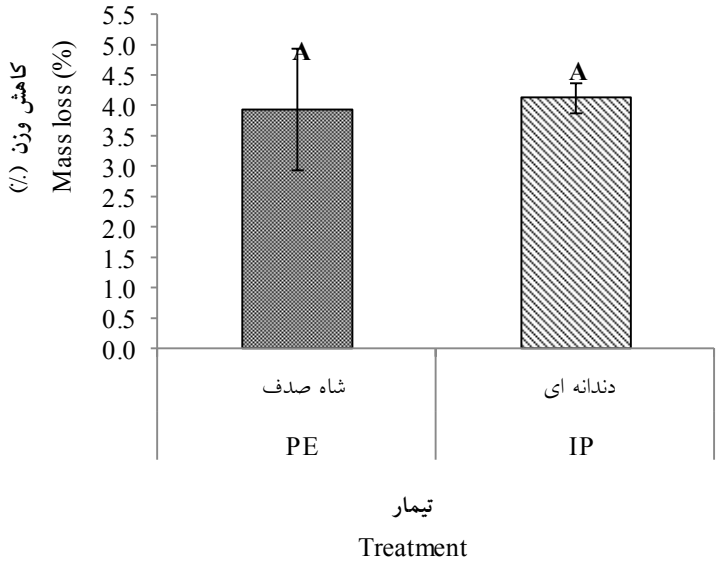
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس کاهش وزن چوب‌برون ممرز پس از ١٦ هفته قرار گرفتن در معرض قارچ‌های پوسیدگی سفید.

Table 3. Results of variance analysis of wood Mass loss in Hornbeam sapwood after 16 weeks of exposure to white rot fungi.

منابع تغییرات Sources of change	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	مقدار *F* 1.44	عدد *P* 0.0001	معنی‌داری* Significant
کاهش وزن Mass loss	2	108.86	54.43	---	---	---
داخل گروه‌ها Within groups	27	0.10	0.00	---	---	---
کل Total	29	108.96	---	---	---	---

* در سطح پنج درصد معنی‌دار و ns عدم معنی‌داری.

نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان می‌دهد که اختلاف کاهش وزن بین نمونه‌های تیمارشده با قارچ دندانی (*IP*) و شاه‌صدف (*PE*) و هم‌چنین بین قارچ‌ها و نمونه شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود و در یک گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج روشن شد که قارچ دندانی در دوره تخریب همانند قارچ پوسیدگی سفید شاه‌صدف عمل کرده است. می‌توان گفت که هر دو قارچ از توان تخریب یکسانی برخوردار هستند و چوب‌برون ممرز را حدوداً به یک اندازه تخریب کردند. میانگین درصد کاهش وزن نمونه‌ها در چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ دندانی ٤/١٣ درصد و توسط قارچ شاه‌صدف ٣/٩٥ درصد اندازه‌گیری شده است (شکل ۲).



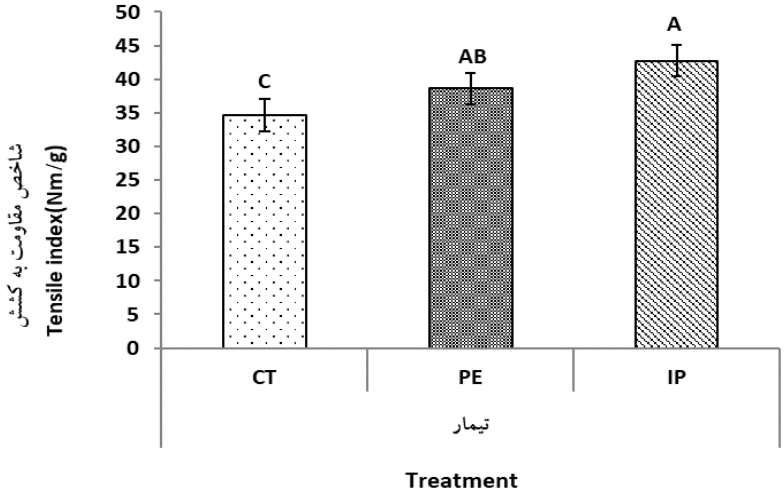
شکل ۲- کاهش وزن نمونه‌های چوب‌برون ممرز پس از ۳ هفته قرار گرفتن در معرض قارچ‌ها.

Figure 2. Weight loss of hornbeam sapwood samples after 3 weeks of exposure to fungi.

ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی

شاخص کشش: نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمون شاخص کشش کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز تیمارشده و تیمارنشده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بین مقاومت نمونه‌های شاهد با نمونه‌های قرارگرفته در معرض هر دو قارچ اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

هم‌چنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که افزایش مقاومت ناشی از تخریب هر دو قارچ در مقایسه با نمونه شاهد قابل‌ملاحظه بود؛ اما در مقایسه دو قارچ با یکدیگر تفاوت اندکی وجود داشت که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به‌نحوی‌که میزان افزایش مقاومت به کشش توسط قارچ دندانی حدود ٩/٦ درصد بیش از قارچ شاه‌صدف بود.

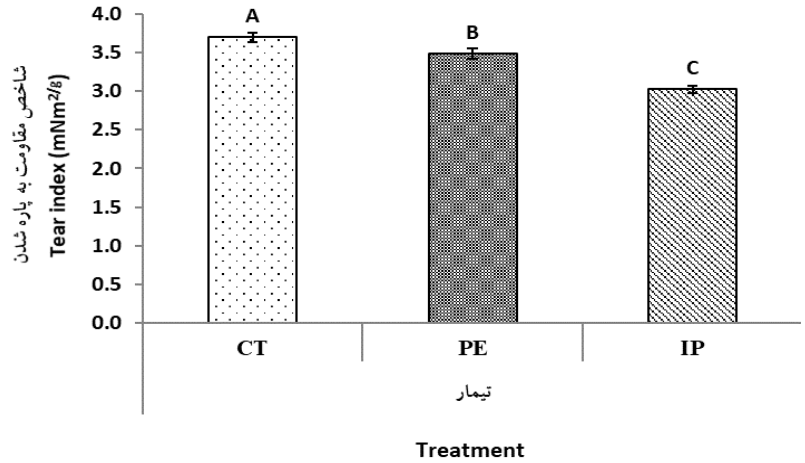


شکل ۳- شاخص کشش خمیر کاغذ حاصل از چوب‌های تیمارنشده (CT) و تیمارشده با قارچ‌های دندانی (IP) و شاه‌صدف (PE) پس از ۳ هفته از معرض‌گذاری.

Figure 3. Tensile index of CMP pulps from untreated (CT) and treated chips with (IP) and (PE) after 3 weeks of exposure.

شاخص پاره شدن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقاومت به پاره شدن کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز تیمارشده و تیمارنشده در جدول نشان داده شده است که هر دو قارچ عامل پوسیدگی، سبب اُفت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد داشت.

هم‌چنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی‌داری نیز در میزان اُفت مقاومت به پاره شدن کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بین نمونه‌های قرار گرفته در معرض هر دو قارچ عامل پوسیدگی سفید مشاهده شد. شکل ٤ نتایج آزمون مقاومت به پاره شدن را نشان می‌دهد. میانگین درصد اُفت مقاومت به پاره شدن نمونه‌ها در کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ شاه‌صدف ٥/٤ درصد و توسط قارچ دندانی ۱۸/۹۱ درصد نسبت به نمونه شاهد اندازه‌گیری شد. این نکته نشان داد که قارچ پوسیدگی سفید دندانی می‌تواند اندکی بیش‌تر شاخص پارگی کاغذ حاصله را نسبت به قارچ شاه‌صدف کاهش دهد.

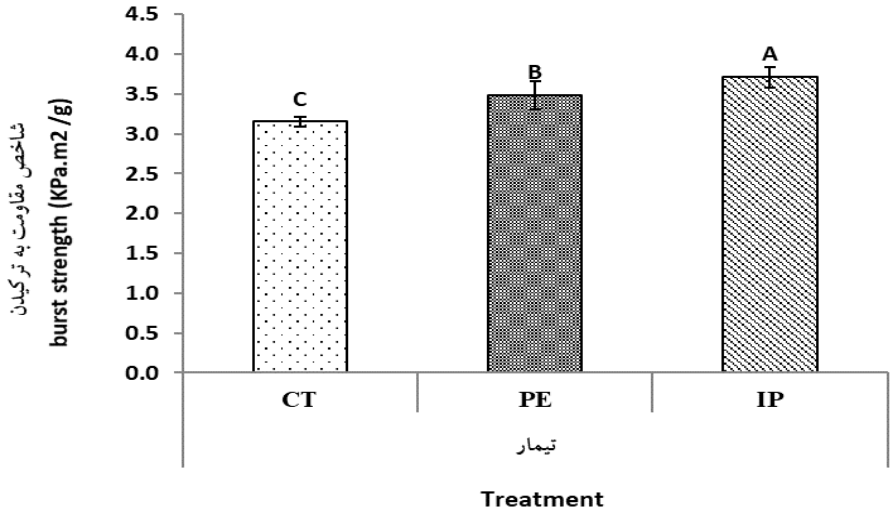


شکل ٤- شاخص پاره‌شدن خمیر کاغذ حاصل از چوب‌های تیمارنشده (CT) و تیمارشده با قارچ‌های دندانی (IP) و شاه‌صدف (PE) پس از ۳ هفته از معرض‌گذاری.

Figure 4. Tear index of CMP pulps from untreated (CT) and treated chips with (IP) and (PE) after 3 weeks of exposure.

شاخص ترکیدگی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقاومت به ترکیدگی کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز تیمارشده و تیمارنشده را نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بین مقاومت نمونه‌های شاهد با نمونه‌های قرار گرفته در معرض هر دو قارچ اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

هم‌چنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که افزایش مقاومت ناشی از تخریب هر دو قارچ در مقایسه با نمونه شاهد قابل‌ملاحظه بود؛ اما در مقایسه دو قارچ با یکدیگر تفاوت اندکی وجود داشت اما از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به‌نحوی‌که میانگین درصد افزایش مقاومت به ترکیدگی نمونه‌ها در چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ شاه‌صدف ۹/۷٤ درصد و توسط قارچ دندانی ۲۰/۱۵ درصد نسبت به نمونه شاهد اندازه‌گیری شد.

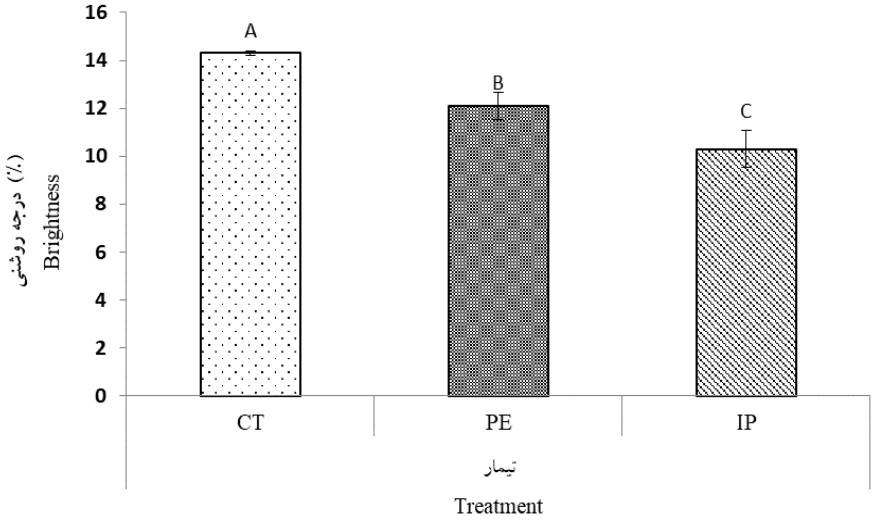


شکل ۵- شاخص ترکیدن خمیر کاغذ حاصل از چوب‌های تیمارنشده (CT) و تیمارشده با قارچ‌های دندانی (IP) و شاه‌صدف (PE) پس از ۳ هفته از معرض‌گذاری.

Figure 5. Burst index of CMP pulps from untreated (CT) and treated chips with (IP) and (PE) after 3 weeks of exposure.

ارزیابی ویژگی‌های نوری

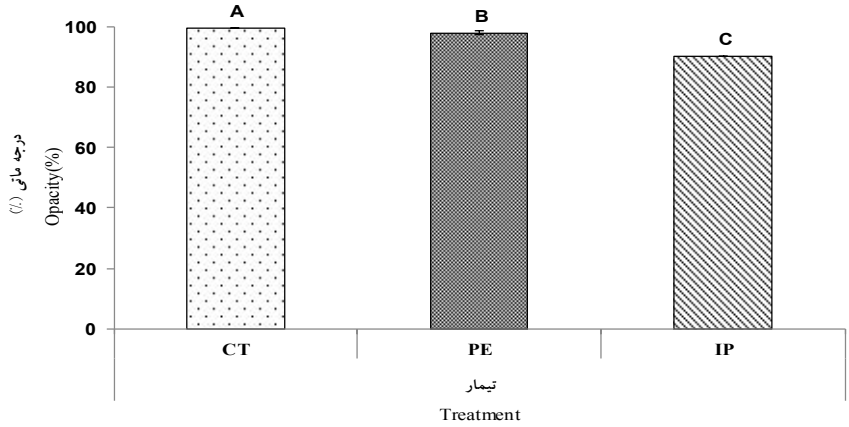
درجه روشنی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمون درجه روشنی کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز تیمارشده و تیمارنشده نشان داد که هر دو قارچ عامل پوسیدگی، سبب کاهش معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد شده‌اند (شکل ٦). هم‌چنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی‌داری نیز در میزان درجه روشنی کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بین نمونه‌های قرارگرفته در معرض هر دو قارچ عامل پوسیدگی سفید مشاهده شد. میانگین درصد کاهش درجه روشنی نمونه‌ها در کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ شاه‌صدف ۱۵/۳۸ درصد و توسط قارچ دندانی ۲۷/۹۷ درصد نسبت به نمونه شاهد اندازه‌گیری شد. این نکته نشان داد که قارچ پوسیدگی سفید دندانی می‌تواند اندکی بیش‌تر درجه روشنی کاغذ حاصله را نسبت به قارچ شاه‌صدف کاهش دهد.



شکل ٦- مقایسه روشنی خمیرکاغذ حاصل از چوب‌های تیمارنشده (CT) و تیمارشده با قارچ‌های دندانی (IP) و شاه‌صدف (PE) پس از ۳ هفته از معرض‌گذاری.

Figure 6. Comparison of brightness of CMP pulps from untreated (CT) and treated chips with (IP) and (PE) after 3 weeks of exposure.

میزان ماتی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمون درجه ماتی کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز تیمارشده و تیمارنشده نشان داد که هر دو قارچ عامل پوسیدگی، سبب اُفت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد شده‌اند (شکل ۷). هم‌چنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی‌داری نیز در میزان درجه ماتی کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بین نمونه‌های قرارگرفته در معرض هر دو قارچ عامل پوسیدگی سفید مشاهده شد. میانگین درصد کاهش درجه ماتی نمونه‌ها در کاغذ حاصل از چوب‌برون ممرز بر اثر تخریب قارچ شاه‌صدف ۱/٦۳ درصد و توسط قارچ دندانی ۳/۲۸ درصد نسبت به نمونه شاهد اندازه‌گیری شد. این نکته نشان داد که قارچ پوسیدگی سفید دندانی نسبت به قارچ شاه‌صدف توانایی بیش‌تری در کاهش درجه ماتی کاغذ حاصله را دارد.



شکل ۷- مقایسه ماتی خمیرکاغذ حاصل از چوب‌های تیمارنشده (CT) و تیمارشده با قارچ‌های دندانی (IP) و شاه‌صدف (PE) پس از ۳ هفته از معرض‌گذاری.

Figure 7. Comparison of opacity of CMP pulps from untreated wood (CT) and treated chips with (IP) and (PE) after 3 weeks of exposure.

بحث

ارزیابی و مقایسه قدرت تخریب و الگوهای پوسیدگی در چوب ممرز توسط هر دو قارچ شاه‌صدف و دندانی نشان داد که قارچ عامل پوسیدگی سفید دندانی از قدرت تخریب و عملکرد مشابهی نسبت به قارچ شاه‌صدف برخوردار است. تشابه میزان افت وزن، بیانگر شدت تخریب یکسان قارچ شاه‌صدف در مقایسه با قارچ دندانی می‌باشد. این در حالی است که از میزان کاهش وزن تولیدشده می‌توان میزان رطوبت حاصل از فعالیت متابولیکی هر دو قارچ را به‌دست آورد. مطابق با استاندارد *EN113* میزان کاهش وزن قابل‌قبول برای قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید باید ۲۰ درصد پس از ۱٦ هفته انکوباسیون باشد. در یک پژوهش مشابه باری و همکاران (۲۰۱٦) نشان دادند که در فازهای اولیه انکوباسیون، میزان کاهش وزن در چوب راش حدود ۷/۰۳ و ۸/۵۰ درصد برای قارچ‌های صدفی و رنگین‌کمان بود (٤). میزان بازده در فرآیند تولید خمیرکاغذ از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طوری‌که بسیاری از خواص کاربردی کاغذ تولیدشده را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. ازاین‌رو، میزان بازده به‌دست‌آمده توسط هر دو قارچ در مقابل خمیر تیمارنشده بسیار قابل‌ملاحظه بود. رسولی گرمارودی (۲۰۱۰) در یک پژوهش جامع نشان داد که بهترین زمان مجاورت‌دهی چوب ممرز در برابر قارچ رنگین‌کمان برای رسیدن به بالاترین بازده، انکوباسیون ۳ هفته‌ای می‌باشد (۱۹). سنجش‌های به‌دست‌آمده از سوی کاغذ تولیدشده توسط خمیرهای تیمارشده و تیمارنشده نشان‌دهنده تأثیر اندک تیمار قارچی روی چوب ممرز می‌باشد.

نتایج ارزیابی مقاومت به کشش نشان داد که اختلاف معناداری بین تیمار شاهد و قارچی وجود نداشت. با این‌که کاغذ حاصله از تیمار قارچی شاه‌صدف اندکی نسبت به قارچ دندانی کاهش یافت. ازسوی‌دیگر، مقاومت کششی در نتیجه تیمار قارچی افزایش می‌یابد. ازسوی‌دیگر مقاومت به کشش در سلول‌ها مرهون زنجیره سلولزی می‌باشد. روشن است که لیگنین مهم‌ترین بسپاری است که در برابر نیروی‌های مکانیکی مقاومت نشان می‌دهد. بنابراین هر گونه کاهش در میزان لیگنین و به‌تبع آن افزایش میزان آزادسازی زنجیره پلیمری سلولز سبب افزایش میزان مقاومت کششی می‌گردد. هنگامی‌که قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید چوب را مورد حمله قرار می‌دهند، بخشی از لیگنین مورد حمله قرار گرفته میزان درصد سلولز بیش‌تری در چوب باقی می‌ماند. بر اساس گزارش‌های یانگ و همکاران (۲۰۰۱) ازسوی‌دیگر اسکات (۱۹۹۵) عنوان نمود که با افزایش تیمار قارچی، طول الیاف خمیرکاغذ نیز افزایش می‌یابد و این می‌تواند دلیلی بر افزایش مقاومت کششی باشد. از این موضوع نتیجه می‌شود که قارچ دندانی نسبت به قارچ شاه‌صدف میزان لیگنین بیش‌تری را مورد حمله قرار داده است (۲٤ و ۲۵).

ارزیابی مقاومت به پاره شدن در نمونه‌های تیمارشده و تیمارنشده بیانگر اختلافات چشمگیری در تیمارها بوده است. مطابق با گزارش‌های پیشین رسولی گرمارودی (۲۰۱۰) با پیش‌تیمار قارچی، مقاومت به پاره شدن کاهش می‌یابد؛ زیرا به‌دلیل تخریب دیواره الیاف و ضعیف‌شدن مقاومت تک‌به‌تک الیاف این مقاومت کاهش می‌یابد. در واقع مقاومت به پاره شدن کاغذ ارتباط مستقیم با مقاومت فیبر منفرد داشته که در این حالت به‌دلیل جدا شدن الیاف از یکدیگر، میزان مقاومت نیز کاهش می‌یابد (۱۹).

نتایج ارزیابی مقاومت به ترکیدگی نشان داد که اختلاف معناداری بین تیمار شاهد و قارچی وجود نداشت. با این‌که کاغذ حاصله از تیمار قارچی شاه‌صدف اندکی نسبت به قارچ دندانی کاهش یافت. ازسوی‌دیگر، مقاومت به ترکیدگی در نتیجه تیمار

قارچی افزایش می‌یابد زیرا در این حالت عمل فیبریله کردن و انعطاف‌پذیری افزایش یافته که در هنگام تشکیل کاغذ عمل درهم‌رفتگی الیاف و اتصال بین آن بیش‌تر خواهد شد (۹ و ۲۱).

انتظار داشتیم با توجه به افزایش مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدگی افزایش یابد که در بررسی فاکتور مقاومت به ترکیدگی دو عامل: ۱) طول فیبر و ۲) اتصالات بین الیاف مؤثرتر هستند که در اثر پیش‌تیمار قارچی و پالایش خمیر، عمل فیبریلاسیون و انعطاف‌پذیری الیاف بهتر شود، این امر باعث می‌شود در هنگام تشکیل کاغذ در روی توری درهم‌رفتگی بهتر الیاف تقویت‌شده، اتصالات بین الیاف بیش‌تر گردیده در نتیجه باعث افزایش این مقاومت می‌شود (٦). بررسی‌ها روی فاکتور درجه روشنی کاغذ حاصل از تیمار شاهد و پیش‌تیمار قارچی بیانگر تغییرات قابل‌توجهی در این خاصیت از کاغذ گردید. به‌طوری‌که میزان درجه روشنی کاغذ تولیدشده در تیمار قارچی در برابر شاهد از کاهش چشم‌گیری برخوردار بود. کاهش روشنی در تیمار ۳ هفته‌ای به‌علت کاهش اتصالاتی است که منجر به تقابل نوری شده است و در نتیجه تفرق و انکسار نور افزایش یافته است نتایج این پژوهش با نتایج اسکات و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت دارد (٢٤). هم‌چنین دلیل کاهش درجه روشنی در تیمارهای قارچی تشکیل گروه‌های کروموفور در طی دوره انکوباسیون و خمیرسازی است که با افزایش تولید کروموفورها سبب کاهش روشنی کاغذهای حاصله گردیده است به‌طوری‌که قارچ دندانی میزان درجه روشنی کم‌تری در کاغذ نسبت به قارچ شاه‌صدف دارد. این موضوع به تغییرات میزان لیگنین موجود در خمیر تولیدشده بستگی دارد (٤ و ۲۰)؛ بنابراین میزان روشنی حاصل در کاغذ تولیدی نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که میزان درجه ماتی نیز کاهش می‌یابد. با افزایش تیمار قارچی میزان نرمه‌ها در پالایش کاهش یافته و سبب کاهش انعکاس نور در شبکه الیاف کاغذ گردیده که بدین‌صورت ماتی کاغذ را کاهش می‌دهد (۱).

نتیجه‌گیری

بر اساس تجزیه‌وتحلیل نتایج می‌توان گفت که قارچ دندانی قابلیت گزینش‌پذیری آن بیش‌تر از قارچ صدفی است و اثربخشی قارچ دندانی در مقایسه با قارچ صدفی در گونه ممرز به‌مراتب بهتر بوده است زیرا بر اساس کاهش وزن خرده‌چوب‌ها قارچ دندانی توانسته در زمان یکسان نفوذ بهتر و بیش‌تری در داخل این چوب داشته و اثر تخریبی بیش‌تری بر روی لیگنین آن داشته باشد بدون این‌که تخریب قابل‌ملاحظه‌ای بر روی کربوهیدرات‌ها به‌جای بگذارد. در اثر پیش‌تیمار قارچی و انجام عمل پالایش، عمل فیبریلاسیون بهترشده که این شرایط به ایجاد اتصالات بین الیاف قوی‌تر کمک نموده و در اثر پرس‌شدن مناسب‌تر کاغذ، باعث افزایش مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدگی می‌شود. بررسی نتایج ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ نمایانگر آن است که ویژگی‌های مقاومتی موردمطالعه در کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های پیش‌تیمارشده ممرز به غیر از مقاومت پارگی افزایش یافته آن‌هم به‌دلیل این‌که اتصالات بین الیاف قوی‌تر ولی مقاومت تک‌تک الیاف کاهش می‌یابد. سنجش‌های به‌دست‌آمده از سوی کاغذ تولیدشده توسط خمیرهای تیمارشده و تیمارنشده نشان‌دهنده تأثیر اندک تیمار قارچی روی چوب ممرز می‌باشد. از بررسی دوام زیستی چوب ممرز تخریب‌شده توسط هر دو نوع قارچ عامل پوسیدگی سفید و مقاومت‌های مکانیکی کاغذ حاصل از چوب ممرز نتایج زیر به‌دست آمدند:

- قارچ صدفی قدرت تخریبی مشابه قارچ دندانی دارد.
- روند و الگوی تخریب در هر دو قارچ شباهت زیادی به یکدیگر دارد.

با ملاحظه نتایج مربوط به ویژگی‌های نوری کاغذ می‌توان نتیجه گرفت که ماتی کاغذ حاصل از خرده چوب‌های تیمارشده با قارچ دندانی در مقایسه با قارچ صدفی کاهش داشته، هم‌چنین روشنی کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمارشده با قارچ دندانی در مقایسه با قارچ صدفی کاهش بیش‌تری داشته‌اند. بافت فشرده‌تر کاغذ حاصل از خرده‌چوب‌های تیمار شده باعث کاهش انکسار نور در داخل شبکه الیاف کاغذ گشته و همین امر باعث کاهش ماتی شده است. دلیل اُفت روشنی در تیمارهای قارچی تشکیل گروه‌های کروموفور در طی دوره انکوباسیون و خمیرکاغذسازی است.

پس بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و تشابه شیوه تخریب می‌توان گفت که این دو قارچ در صورت نیاز می‌توانند جایگزین مناسبی برای انجام پژوهش‌های بعدی و یا کاربرد صنعتی باشند.

منابع

1. Akhtar, M., Attridge, M., and Blanchette, R.A. 1998. The white-rot fungus *Ceriporiopsis subvermispora* saves electrical energy and improve strength properties during biomechanical pulping of wood. 5th international conference on biotechnology in pulp.
2. Akhtar, M. 1994. Biomechanical pulping of aspen wood chips with three strains of Ceriporiopsis subvermisporal. Holz forschung J. 48: 199-202.
3. Bari, E., Tajik Ghanbari, M.A., and Aghajani, R. 2011. The role of wooden root fungi in forest ecosystem development. Third international conference on climate change and tree dendrology of Iran. Sari, 4-5 May1. (In Persian)
4. Bari, E., Taghiyari, H.R., Naji, H.R., Schmidt, O., Ohno, M.K., Clausen, C.A., and Bakar, E.S. 2016. Assessing the destructive behavior of two white-rot fungi on beech wood. International Biodeterioration and Biodegradation. 114: 129-140.
5. Blanchette, R.A., Leatham, G.F., Myers, G.C., and Wegner, T.H. 1990. Biomechanical Pulping of aspen chips: paper strength and optical properties resulting from different fungal treatment, USDA Forest Service, Forest Products, Laboratory, Madison. Wis.53705-2398.
6. Ebrahimpour Kasemani, J., Talaeipour, M., Homsi, A.H., and Samariha, A. 2012. Effect of fungal treatment on chemical-mechanical strength of hornbeam pulp. Iranian Wood and Paper Sciences Research. 11: 18-27. (In Persian)
7. Eriksson, K.E.L. 1998. Biotechnology in pulp and paper industry: An Overview. American Chemical Society, chapter (1), Pp: 2-14.
8. Eriksson, K.L., and Vallander, L. 1982. Properties of pulps from thermo mechanical of chips pretreated with fungi. Svensk Papperstid. 85: 6. 33-38.
9. Fischer, K., Akhtar, M., Blanchette, R.A., Burnes, T.A., Messner, K., and Kirk, T.K. 1994. Reduction of resin content in wood chips during experimental biological pulping processes. Holzforschung-International J. of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood. 48: 4. 285-290.
10. Goodell, B., Nicholas, D.D., and Schulz, T.P. 2003. Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world. ACS Symp Series.
11. Hartig, R. 1878. Die Zersetzungserscheinungen des Holzes der Nadelholzbaume und der Eiche in forstlicher, botanischer und chemischer Richtung. Springer, Berlin Heidelberg, New York. 192p.

12. Hartig, R. 1889. Lehrbuch der Baumkrankheiten. Springer, Berlin Heidelberg New York. 291p.
13. Hernandez, M., Hernández-Coronado, M.J., and Isabel Perez, M. 2005. Biomechanical pulping of spruce wood chips with Streptomyces cyaneus CECT 3335 and hand sheet characterization. Holzforschung. 59: 2. 173-177.
14. Kirk, T.K., Koning, J.W., Burgess, R., Akhtar, M., Blanchette, R., Cameron, D.C., Cullen, D., Kerstin, P., Light foot, E.N., Mayers, G., Sykes, M.B., and Wall, M.B. 1993. Biopulping a glimpse of the future. Madison: Wisconsin. Rep. FPI-RR-523. 4: 72-79.
15. Liese, W. 1973. Ultrastructural aspects of woody tissue disintegration. Holzforschung- International J. of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood. 27: 6. 181-186.
16. Messner, K., Koller, K., Wall, M.B., Akhtar, M., and Scott, G.M. 1998. Fungal treatment of wood chips for chemical pulping. P 385-419. In: RA. Young and M Akhtar (eds). Environmental friendly technologies for the pulp and paper industry. Wiley, New York.
17. Otjen, L., and Blanchette, R.A. 1994. Selective delignification of aspen wood blocks in vitro by three white rot basidiomycetes. Applied Environmental Microbiology. 50: 3. 568-572.
18. Polese, J.M. 2005. Macrofungi species richness and diversity in Dagaga and Gambo plantation and natural forests of Arsi forest enterprise, Oromia, Ethiopia. IJIR J. 3: 1. 1681-1886.
19. Rasoli Garmaroodi, A., Resalati, H., and Feyzabadi, S.M. 2010. Influence of the composition of wood raw material on the properties of chemical-mechanical pulp for newspaper production. Research and Building in Natural Resources. 76: 75-69. (In Persian)
20. Schmidt, O. 2006. Wood and tree fungi. Biology, damage, protection and use. Springer, Berlin, 334p.
21. Schmidt, O. 1995. Occurrence of microorganisms in the wood of Norway spruce trees from pollutes sites. European. J. of forest pathology. 15: 2-10.
22. Schwarze, F.W., Engels, J., and Mattheck, C. 2004. Fungal strategies of wood decay in trees. 2nd ed. Springer-Berlin Heidelberg, New York, 218p.
23. Schwarze, F.W., Engels, J., and Mattheck, C. 2007. Fungal strategies of wood decay in trees. 2nd ed. Springer-Berlin Heidelberg, New York, 218p.
24. Scott, G.G.M., and Swaney, R. 1998. New technology for papermaking: biopulping economics. TAPPI J. 81: 12. 220-225.
25. Unger, A., Schniewind, A.P., and Unger, W. 2001. Conservation of wood artifacts, (A Handbook). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 594p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 27 (1), 2020
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2020.17806.1861

Investigation on biological pre-treatment of hornbeam wood with two white rot fungi and their effects on the optical and strength properties of produced CMP pulp

***S. Zaheri[1], Gh. Asadpour Atouee[2], H. Resalati[3] and K. Ohno[4]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Industrial Engineering Wood and Cellulose Products, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran,
[2]Associate Prof., Dept. of Industrial Engineering Wood and Cellulose Products, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran,
[3]Professor, Dept. of Industrial Engineering Wood and Cellulose Products, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran,
[4]Assistant Prof., Forestry Organization, Madison's Forest Products Laboratory, Wisconsin, USA
Received: 03.13.2020; Accepted: 04.23.2020

Abstract
Background and Objectives: Today, due to environmental and economic reasons, the preparation of biomechanical pulps has expanded. In this study, hornbeam wood chips were exposed to two kinds of white rotting fungi, *Pleurotus eryngii* and *Irpex lacteus* from the forests of northern Iran for three weeks. They were cultivated according to the relevant standards. After three weeks, the chips were washed with cold water to remove fungal residues and after that, the chips air dried. Then, the chips were cooked with CMP process (temperature 170 ˚C, L/W ratio 5:1 and 90 minutes). 60 g/m^2 hand sheets were prepared from produced CMP pulps and the optical and strength properties of pulp were investigated.

Materials and Methods: The sawn boards from the height equal to the chest of hornbeam stems were air dried under the shadow for 2 months. After qualitative evaluation of boards with dimensions of 3×30×150 (thickness × width × length) cm in terms of the absence of cracks and fungal defects as well as reaction woods, from sapwood of boards, samples with dimensions 2×2×0.7 cm were cut for normal durability test. The prepared samples were transferred to the culture medium and exposed to the destruction of the mentioned fungi for 3 weeks so that the relevant tests could be performed after the end of the destruction period.

Results: On the based on the results, it became clear that the *Irpex lacteus* fungus in the period of destruction has acted like the white rot fungus, *Pleurotus eryngii*. It can be said that both fungi have the same destructive power and they destroyed the sapwood of the hornbeam about the same intensity. The average weight loss percentage of hornbeam sapwoods was 4.13% due to the destruction of *Irpex lacteus* and 3.95% by *Pleurotus eryngii*. The results of variance analysis of the tensile index of paper prepared from the hornbeam sapwood after 3 weeks of exposure to decaying white fungi showed that the rate of increase in tensile index by *Irpex lacteus* is about 9.6% more than *Pleurotus eryngii*. Also, the average percentage reduction in the tear index in paper prepared from the hornbeam sapwood due to the destruction of *Irpex lacteus* was 14.2% lower than that of *Pleurotus eryngii*. The average percentage increase in the burst index of samples in paper prepared from the hornbeam sapwood due to the destruction of *Irpex lacteus* was 5.74 more than that of *Pleurotus eryngii*. Considering the results related to the optical properties of the papers, it can be concluded that the opacity of paper obtained from the wood chips treated with *Irpex lacteus* decreased compared to *Pleurotus eryngii*, as well as the

*Corresponding author: soleiman.zaheri@yahoo.com

brightness of the paper from the wood chips treated with *Irpex lacteus* compared to *Pleurotus eryngii* has been further declined. The denser texture of the paper from the treated wood chips reduces the reflection of light inside the paper fiber network, which in turn reduces the opacity.

Conclusion: The optical and strength properties of the pulps have been investigated. Evaluations on the papers showed that the strength properties of the produced papers were higher after the pretreatment of the hornbeam chips with the *Irpex lacteus* over 3 weeks compared to that of pretretead with the *Pleurotus eryngii*. Considering the optical properties of papers, it can be concluded that the opacity reduced because of the more compact texture of the paper obtained from the treated wood chips and therefore the reduction of the light reflection inside the paper fiber network. The reason for the decrease in brightness in fungal treatments is the formation of chromophore groups during the incubation and pulping period.

Keywords: CMP pulp, Fungal pre-treatment, Optical properties, Strength properties, White-rot