

بررسی تغییرات خواص کاغذ حاصل از خمیر CMP ممرز تیمار داده شده توسط قارچ مولد

پوسیدگی سفید *Phanerochaete chrysosporium*

جعفر ابراهیم پور کاسمانی*^۱، احمد ثمریها^۲

چکیده

در این تحقیق خواص مقاومتی کاغذهای حاصل از تیمار ۴ هفته‌ای با قارچ مولد پوسیدگی سفید *Phanerochaete chrysosporium* BKM – 1767 مورد ارزیابی قرار گرفته و با نمونه شاهد مقایسه گردیده است. پس از آماده‌سازی نمونه‌های قارچی، خرده‌چوب‌های ممرز در زمان ۴ هفته‌ای تحت دمای ۳۹°C با رطوبت نسبی ۶۵ درصد تیمار شدند. به منظور تهیه خمیر کاغذ CMP³ از خرده‌چوب‌های تیمار شده، دمای پخت ۱۶۵ درجه سلسیوس، زمان پخت ۸۰ و ۹۰ دقیقه، درصد مواد شیمیایی سولفیت سدیم ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد و نسبت مایع پخت به خرده‌چوب ۷ به ۱ در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های مقاومت به کشش، ترکیدن، پاره‌شدن و تاشدن کاغذ تهیه شده از خرده‌چوب‌های تیمار شده کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: قارچ *Phanerochaete chrysosporium* BKM-1767، خرده‌چوب ممرز، مقاومت به کشش، پاره‌شدن.

۱- استادیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

(مسئول مکاتبات) Jafar_Kasmani@yahoo.com

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

a_samariha@yahoo.com

مقدمه

به دلیل اهمیت روز افزون کاغذ در زندگی انسان و نقش آن به عنوان یک کالای استراتژیک و مورد نیاز همگان، کشورهای مختلف سعی در تولید و تامین نیازهای رو به افزایش خود داشته و در این راه، استفاده از روش‌های مناسب جهت ساخت کاغذ را مورد توجه قرار داده‌اند. خمیرسازی بیولوژیکی به معنی پیش تیمار خرده‌چوب با استفاده از قارچ قبل از انجام خمیرسازی است. از آنجا که چوب از ترکیب‌های پیچیده متفاوتی تشکیل شده است، قارچ‌ها با ایجاد یک سیستم آنزیمی باعث تخریب بافت‌های چوبی می‌گردند. قارچ‌ها قادرند پلیمرهای ساختاری دیواره سلولی یعنی سلولز، همی‌سلولزها، و لیگنین را تخریب کنند و چوب را به دی‌اکسید کربن و آب تجزیه نمایند. قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید جهت استفاده در فرآیندهای متفاوت کاغذسازی در درجه اول توجه قرار دارند. اگر چه عمده این قارچ‌ها توانایی زیادی برای تخریب لیگنین را دارا هستند، ولی برخی از آنها علاوه بر لیگنین، سلولز و همی‌سلولزها را نیز تخریب می‌کنند (Blanchette & Behrendt, 1998). قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید قادر به تخریب بیشتر لیگنین نسبت به دیگر عناصر دیواره سلولی هستند. عمدتاً قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید، لیگنین را به صورت انتخابی تخریب می‌کنند و این همان چیزی است که فرآیندهای کاغذسازی به دنبال آن هستند و این دسته از

قارچ‌ها محور تمرکز تحقیقات خمیرسازی بیولوژیکی قرار گرفته‌اند.

گونه‌هایی از قارچ مولد پوسیدگی سفید که به طور انتخابی میزان لیگنین را کاهش می‌دهند برای خمیرسازی زیستی مفید می‌باشند. سیستم‌های مطلوب برای خمیرسازی زیستی از پتانسیل بالقوه‌ای برای کاهش تاثیر محیطی و کاهش مصرف انرژی برخوردارند. موثرترین گونه‌های یافت شده از قارچ‌ها که برای چوب مفید هستند، عبارتند از: *ceriporiopsis*

phlebis brevispore subvernispore و

Villalba et al. phanerochaete chrysosporium

(al., 2006). (Scott & Swaney (1998) نشان

دادند که تیمار خرده‌چوب‌ها توسط قارچ

مخرب لیگنین، سبب بهبود مقاومت‌های کاغذ

می‌شود. (Wolfaardt et al., 2004) نشان دادند

تیمار قارچی توسط *P. chrysosporium* سبب

افزایش خصوصیات مقاومتی کاغذهای حاصل

می‌شود. (Hernandez et al., 2005) نشان دادند

پیش تیمار ۲ هفته‌ای توسط قارچ روی

خرده‌چوب‌های نوئل برای خمیرسازی

مکانیکی، سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در

خواص مقاومتی کاغذ از قبیل طول پارگی و

کشش می‌شود. همچنین سایر محققین نیز در

این مورد مطالعاتی را انجام دادند (Akhtar et

al., 1997). (Blanchette et al., 1998) با توجه

به مطالعات انجام شده برای این پژوهش قارچ

P. chrysosporium در نظر گرفته شد و فرض

بر آن شد که خواص مقاومتی کاغذ حاصل از

درصد) رسانده شد. بیورآکتور در انکوباتوری با دمای °C ۳۹ و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شد. مدت زمان تیمار توسط قارچ ۴ هفته در نظر گرفته شد. بعد از تیمار قارچی، توسط خرده‌چوب‌های تیمار داده شده با قارچ و همچنین خرده‌چوب‌های تیمار نشده (شاهد)، خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) تهیه شد. برای پخت خمیر کاغذها از لیکور سفید پخت کارخانه چوب و کاغذ مازندران استفاده گردید. پخت خرده‌چوب‌ها با شرایط مندرج در جدول ۱ انجام گرفت.

خرده‌چوب‌های تیمار شده با قارچ تغییر می‌کند که این تغییرات بسته به گونه مورد استفاده و شرایط تیمار متفاوت می‌باشد. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثر تیمار قارچی بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی چوب ممرز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خرده‌چوب‌های ممرز مورد نیاز از یارد خرده‌چوب خط تولید خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی کارخانه چوب و کاغذ مازندران به صورت برداشت تصادفی تهیه شدند. قارچ مورد استفاده قارچ *Phanerochaete chrysosporium* BKM-1767 بود. نمونه‌ی قارچی بر اساس روش کرک^۱ آماده شد (Kirk et al., 1993). بر این اساس، خرده‌چوب‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند تا از آلودگی به میکروارگانیسم‌ها جلوگیری شود. در شرایط استریل حدود ۱۵۰۰ گرم خرده‌چوب (بر مبنای وزن خشک) داخل بیورآکتور ریخته شد. مایع تلقیح با عصاره غذایی ذرت^۲ غیر استریل (۵/۰ درصد وزن خشک) مخلوط شده و روی خرده‌چوب‌ها پاشیده شدند. برای اطمینان از تأثیر مایع تلقیح روی تمام خرده‌چوب‌ها، آنها را زیر و رو کرده و با ریختن آب استریل رطوبت خرده‌چوب‌ها به رطوبت مناسب رشد قارچ‌ها (حدود ۶۰ - ۵۵

¹ Kirk

² Corn steep liquor

جدول ۱- شرایط پخت خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی خرده چوب ممرز

نسبت L:W	۷:۱	مواد شیمیایی مصرفی (%)	۱۴، ۱۸ و ۲۲
زمان پخت (min)	۸۰ و ۹۰	مواد شیمیایی مایع پخت	سولفیت سدیم (Na ₂ SO ₃)
دما (°C)	۱۶۵	(gr/L) Na ₂ O	۱۰۰
pH	۷	فعال SO ₂ (gr/L)	۱۱۵

به منظور مقایسه میانگین‌های نتایج تیمار ۴ هفته‌ای و نمونه شاهد بر مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز از آزمون T استفاده شد.

نتایج

در این تحقیق ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی ممرز تحت شرایط فرآیندی مختلف بررسی شد (جدول ۲). با توجه به اینکه هدف مقایسه خواص مقاومتی کاغذهای ساخته شده از نمونه‌های شاهد و تیمار ۴ هفته‌ای با قارچ می‌باشد، لذا میانگین نتایج حاصل در جدول ۳ خلاصه شدند و از بررسی تاثیرات زمان پخت و درصد مواد شیمیایی صرف نظر شد.

در این پژوهش تیمار قارچی (نمونه شاهد و تیمار ۴ هفته‌ای) به عنوان فاکتور متغیر و درصد مواد شیمیایی (سه سطح ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد) و زمان پخت (دو سطح ۸۰ و ۹۰ دقیقه) به عنوان فاکتورهای ثابت در نظر گرفته شد. پس از پخت و دفیبره کردن خمیر کاغذ حاصل از پخت، خمیر کاغذها طبق استاندارد شماره T248-Om88 آیین‌نامه TAPPI با کوبنده آزمایشگاهی PFI Mill تا رسیدن به درجه روانی حدود ۳۰۰ (CSF) پالایش شد. کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه ۶۰ g/m² طبق دستورالعمل شماره T205-om-88 آیین‌نامه TAPPI تهیه شدند. اندازه‌گیری مقاومت کششی طبق آیین‌نامه TAPPI استاندارد شماره T240-Om92 توسط دستگاه ABL&W Tensile Tester انجام شد. به منظور اندازه‌گیری مقاومت در برابر پاره‌شدن از آیین‌نامه SCAN استاندارد شماره P11:73 توسط L&W Tearing Tester استفاده شد. اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن بر اساس آیین‌نامه TAPPI استاندارد شماره T403-Om91 توسط دستگاه L&W Bursting Strength Tester انجام شد.

جدول ۲- مشخصات فرآیندی پخت شیمیایی- مکانیکی و مقادیر خواص مقاومتی کاغذهای ۶۰ گرمی حاصل از ممرز

مقاومت به تاشدن (تعداد)	شاخص ترکیدن (KPa.m ² /g)	شاخص پاره شدن (mN.m ² /g)	شاخص کشش (N.m/g)	شرایط پخت		
				مواد شیمیایی (%)	زمان (دقیقه)	دما (°C)
شاهد						
۲۹	۲/۷	۷/۱	۰/۶۱	۱۴		
۲۰	۲/۷	۶/۶	۰/۵۷	۱۸	۸۰	
۹۳	۳	۶/۳	۰/۶۴	۲۲		۱۶۵
۳۲	۲/۶	۶/۳	۰/۵۴	۱۴		
۴۷	۲/۸	۶/۸	۰/۵۸	۱۸	۹۰	
۸۶	۳/۱	۶/۴	۰/۶۱	۲۲		
۴ هفته ای						
۱۵	۲/۵	۴/۳	۰/۴۴	۱۴		
۱۴	۲	۴/۴	۰/۴۴	۱۸	۸۰	
۲۶	۲/۳	۴/۷	۰/۵۲	۲۲		۱۶۵
۲۶	۲/۲	۴/۸	۰/۴۹	۱۴		
۲۱	۱/۸	۳/۷	۰/۴	۱۸	۹۰	
۲۵	۲	۴/۳	۰/۴۹	۲۲		

جدول ۳- میانگین خواص مقاومتی کاغذهای ۶۰ گرمی حاصل از ممرز در دو نمونه شاهد و تیمار توسط قارچ در ۴ هفته

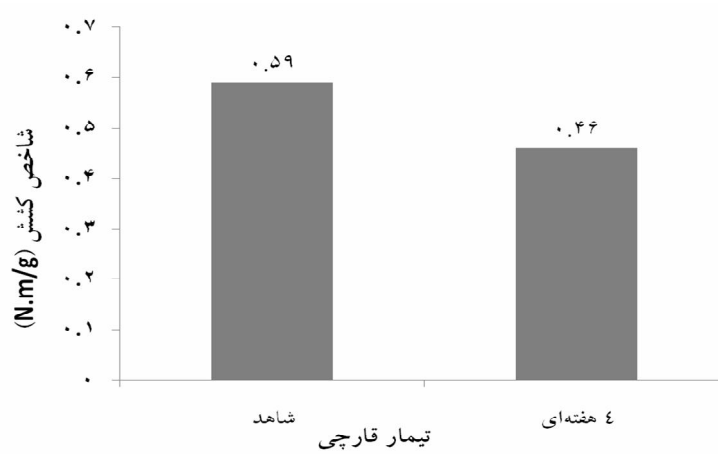
تیمار	شاخص کشش (N.m/g)	شاخص پاره شدن (mN.m ² /g)	شاخص ترکیدن (KPa.m ² /g)	مقاومت به تاشدن (تعداد)
شاهد	۰/۵۹	۶/۶۳	۲/۸۲	۵۱/۱۷
۴ هفته ای	۰/۴۶	۴/۳۷	۲/۱۳	۲۱/۱۶

در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بوده است. میزان شاخص کشش در تیمار شاهد نسبت به تیمار ۴ هفته ای بیشتر است (نمودار

شاخص کشش Tensile Index

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده ها توسط آزمون t نشان داد که تاثیر تیمار شاهد و تیمار ۴ هفته ای با قارچ بر شاخص کشش کاغذ

۱). در اثر تیمار قارچی شاخص کشش کاغذ دست‌ساز کاهش یافت.



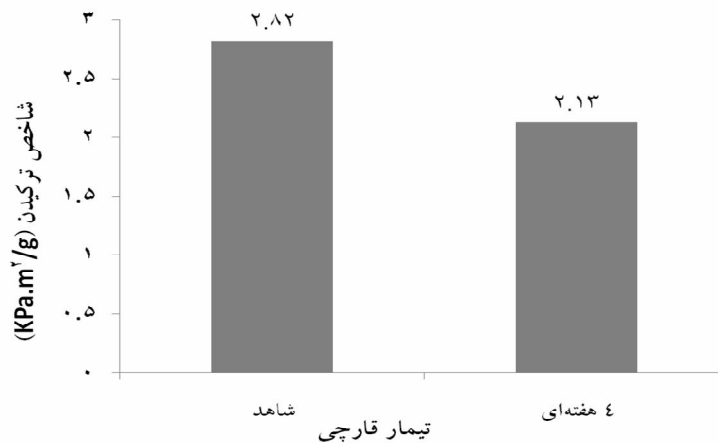
نمودار ۱- اثر تیمار قارچی بر شاخص کشش کاغذ

($t=۷/۴۶۷$)

است. میزان شاخص ترکیدن در تیمار شاهد نسبت به تیمار ۴ هفته‌ای بیشتر است (نمودار ۲). در اثر تیمار قارچی شاخص ترکیدن کاغذ دست‌ساز کاهش یافت.

شاخص ترکیدن Burst Index

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط آزمون t ، نشان داد که تاثیر تیمار شاهد و تیمار ۴ هفته‌ای با قارچ بر شاخص ترکیدن کاغذ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده



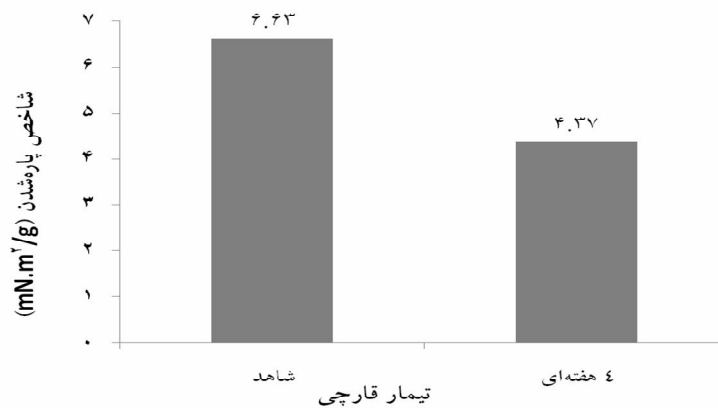
نمودار ۲- اثر تیمار قارچی بر شاخص ترکیدن کاغذ

($t = ۷/۵۲۷$)

شاخص پاره‌شدن Tear Index

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط آزمون t نشان داد که تاثیر تیمار شاهد و تیمار ۴ هفته‌ای با قارچ بر شاخص پاره‌شدن کاغذ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده

است. میزان شاخص پاره‌شدن در تیمار شاهد نسبت به تیمار ۴ هفته‌ای بیشتر است (نمودار ۳). در اثر تیمار قارچی شاخص پاره‌شدن کاغذ دست‌ساز کاهش یافت.



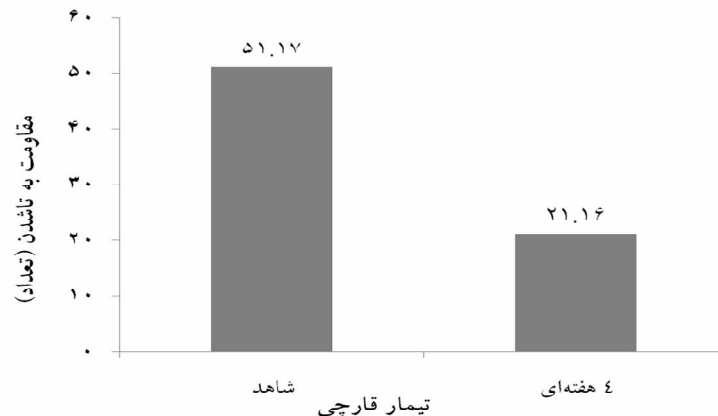
نمودار ۳- اثر تیمار قارچی بر شاخص پاره‌شدن کاغذ

($t = ۱۳/۶۱۱$)

مقاومت به تاشدن Fold endurance

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط آزمون t نشان داد که تاثیر تیمار شاهد و تیمار ۴ هفته‌ای با قارچ بر مقاومت به تاشدن کاغذ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده

است. میزان مقاومت به تاشدن در تیمار شاهد نسبت به تیمار ۴ هفته‌ای بیشتر است (نمودار ۴). در اثر تیمار قارچی مقاومت به تاشدن کاغذ دست‌ساز کاهش یافت.



نمودار ۴- اثر تیمار قارچی بر مقاومت به تاشدن کاغذ

($t = ۳/۵۳۵$)

بحث و نتیجه گیری

اثر پیش تیمار قارچی روی شاخص کشش: مهمترین فاکتورهای موثر بر شاخص کششی کاغذ، مقدار و کیفیت اتصال بین الیاف، مقاومت و طول الیاف است (Villalba et al., 2006). از بین این فاکتورها، اتصال بین الیاف اهمیت بیشتری دارد. پالایش خمیرها تاثیر مثبتی روی خواص مقاومتی کاغذهای ساخته شده دارد. (Akhtar et al., 1997) گزارش دادند که تیمار خرده چوب های کاج تدا توسط قارچ های *Phlebia Hyphoderma setigerum* و *Phlebia tremellosa* و *P. sordida brevispor* قبل از خمیرسازی، به ترتیب سبب کاهش ۱۲، ۹، ۳۶ و ۱۷ درصدی مقاومت به کشش کاغذ حاصل می گردد. (Villalba et al., 2006) گزارش دادند در اثر تیمار ۲ و ۴ هفته ای خرده چوب ها توسط قارچ مولد پوسیدگی سفید، مقاومت به کشش خمیر تهیه شده از خرده چوب تیمار شده بیشتر از خرده چوب تیمار نشده بود. نتیجه این بررسی مغایر با نظر Villalba et al. بوده است. از آنجایی که برای کلیه تیمارها در این تحقیق، رسیدن به درجه روانی CSF ۳۰۰ مدنظر بوده است، در نتیجه کاغذها از خمیر کاغذهایی ساخته شدند که از دوایر پالایش متفاوت، ولی درجه روانی یکسان برخوردار بودند، مقایسه کاغذهای ساخته شده از خرده چوب های تیمار شده و تیمار نشده نشان می دهد کاغذهای حاصل از

خرده چوب های تیمار شده با دور کمتری پالایش شدند (ابراهیم پور کاسمانی، ۱۳۸۹). پالایش کمتر خرده چوب های تیمار شده باعث کاهش مقدار و کیفیت اتصالات بین الیاف، کاهش انعطاف پذیری، و در نتیجه فیبریله شدن کمتر الیاف می شود. بنابراین یکی از دلایل اصلی کاهش شاخص کشش کاغذهای ساخته شده از خرده چوب های تیمار داده شده، این است که میزان پالایش خمیرهای حاصل از این خرده چوب ها کمتر بوده است. به طور طبیعی با کاهش پالایش، شاخص کشش نیز بیشتر کاهش می یابد. ولی در بیشتر تحقیقات قبلی دور پالایش و به عبارتی میزان پالایش برای کلیه خمیرها یکسان بوده است و این امر باعث افزایش مقاومت های کاغذ شده است.

اثر پیش تیمار قارچی روی ترکیدن: در بررسی فاکتور مقاومت به ترکیدن دو عامل: طول فیبر و اتصالات بین الیاف موثرتر هستند. گرچه با افزایش طول فیبر، مقاومت به ترکیدگی افزایش می یابد، اما مقاومت به ترکیدن، بیشتر به اتصال بین الیاف بستگی دارد. همان طور که گفته شد، در این تحقیق خواص مقاومتی کاغذهایی مورد مقایسه قرار گرفتند که میزان پالایش آنها یکسان نبوده است. در واقع خرده چوب های تیمار شده با دور کمتری پالایش شدند و میزان پالایش آنها کمتر بوده است. پالایش کمتر سبب کاهش مقاومت به ترکیدگی کاغذهای حاصل می شود که علت آن کاهش

۱۳۸۹). چنین عواملی سبب شده تا مقاومت به پارگی کاغذهای تهیه شده از خرده‌چوب‌های تیمار شده کمتر از نمونه شاهد گردد، ولی خمیرهای حاصل از خرده‌چوب‌های تیمار نشده، دارای الیاف بلندتر، سالم‌تر و با فیبره شدن بیشتر هستند. به همین منظور مقاومت بیشتری در مقابل پاره شدن و کندن الیاف از خود نشان می‌دهند. بنابر این دلایل، نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق سایر محققین مغایرت دارد به طوری که (Blanchette et al. 1990) گزارش کردند که تیمار ۴ هفته‌ای خرده‌چوب‌های صنوبر توسط قارچ مولد پوسیدگی سفید قبل از خمیرسازی سبب افزایش مقاومت به پارگی کاغذ حاصل می‌گردد. (Akhtar et al. 1997) گزارش دادند که تیمار خرده‌چوب‌های کاج تدا توسط قارچ *C. subvermispora* و قارچ *P. chrysosporium* تأثیری روی مقاومت به پارگی کاغذ ساخته شده نداشته است. (Villalba et al., 2006) گزارش دادند در اثر تیمار ۲ و ۴ هفته‌ای خرده‌چوب‌ها با قارچ مولد پوسیدگی سفید، مقاومت به پارگی خمیر تهیه شده از خرده‌چوب تیمار شده بیشتر از خرده‌چوب تیمار نشده بود.

اثر پیش تیمار قارچی روی تاشدن: یکی از پیچیده‌ترین خواص مکانیکی کاغذ، مقاومت به تاشدن می‌باشد. دو عامل میزان پالایش و طول الیاف در افزایش این مقاومت تأثیر زیادی

انعطاف‌پذیری الیاف و کاهش اتصالات هیدروژنی بین الیاف است و این عامل موجب کاهش پیوند بین الیاف می‌گردد. در خرده‌چوب‌های بدون تیمار، چون میزان پالایش بیشتر بوده است، اتصالات بین الیاف نیز بیشتر گردیده است.

(Akhtar et al. 1997) گزارش دادند که تیمار خرده‌چوب‌های کاج تدا توسط قارچ‌های *Phlebia brevispor*، *P. sordida* و *Phlebia tremellosa* قبل از خمیرسازی، به ترتیب سبب کاهش ۴، ۲۹ و ۱۸ درصدی مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل می‌گردد. (Hernandez et al. 2005) گزارش دادند که پیش تیمار دو هفته‌ای توسط قارچ *Streptomyces cyaneus* بر روی خرده‌چوب‌های نونل برای خمیرسازی، سبب افزایش مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل می‌شود. نتیجه این بررسی مطابق نتیجه (Akhtar et al. 1997) بود در حالی که با نتایج تحقیق (Hernandez et al. 2005) مغایرت دارد.

اثر پیش تیمار قارچی روی پارگی: مهمترین خصوصیت موثر بر شاخص پاره‌شدن، طول فیبر است. با کاهش طول فیبر مقاومت به پارگی کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری طول الیاف خرده‌چوب‌های بدون تیمار و تیمار شده نشان می‌دهد که تیمار قارچی خرده‌چوب‌ها، باعث کاهش طول الیاف آنها شده است و میزان کاهش طول الیاف با افزایش مدت زمان تیمار قارچی بیشتر شده است (ابراهیم پور کاسمانی،

دارند. اگر در خمیر کاغذ میزان الیاف بلند بیشتر باشد، مقاومت به تاشدن کاغذ حاصل از آن نیز افزایش می‌یابد. همان طور که گفته شد در خرده‌چوب‌های تیمار شده طول الیاف کاهش یافته است و تعداد الیاف کوتاه‌تر بیشتر می‌باشد (ابراهیم‌پور کاسمانی، ۱۳۸۹). در نتیجه با کوتاه تر شدن الیاف، میزان مقاومت به تاشدن کاغذهای حاصل از آنها نیز کاهش یافته است. به سبب کوتاه شدن بیشتر الیاف، مقاومت به تاشدن کاغذهای حاصل از آنها افت بیشتری خواهد داشت.

به دلیل انعطاف‌پذیرتر شدن الیاف در اثر پالایش بیشتر، افزایش مقاومت به تاشدن حاصل می‌گردد. بنابراین خمیر حاصل از خرده‌چوب‌های بدون تیمار در اثر پالایش بیشتر، مقاومت به تاشدن بالاتری دارد و خرده‌چوب‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد کمتر پالایش شدند. Scott & Swaney (1998) نشان دادند که تیمار خرده‌چوب‌ها با قارچ سبب بهبود مقاومت به تاشدن کاغذ می‌شود. Hernandez *et al.* (2005) گزارش کردند پیش‌تیمار دو هفته‌ای توسط قارچ *Streptomyces cyaneus* بر روی خرده‌چوب‌های نوئل برای خمیرسازی مکانیکی، سبب افزایش مقاومت به تاشدن کاغذ حاصل می‌شود.

منابع

2) Akhtar, M., Lentz, M. J., Blanchette, R. A., and Kirk, T. k., 1997. Corn steep liquor lowers the amount of inoculums for biopulping. TAPPI Journal, 80 (6): 161-165.

3) 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: 249-255.

4) Blanchette, A. R., and Behrendt, C. D., 1998. A new approach to biopulping: treating logs with *phlebiopsis gigantea*. 7th International Conference on Biotechnology in the pulp and paper industry, Vancouver, Canada, June, 16-19: 51-54.

5) 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. HOLZAZ, 59 (2): 173-177.

6) Kirk, T. K., Koning, J. W., Burgess, R., Akhtar, M., Blanchette, R., Cameron, D. C., Cullen, D., Kerstin, P., Lightfoot, E. N., Mayers, G., Sykes, M. B., and Wall, M. B., 1993. Biopulping a glimpse of the future. Madison: Wisconsin. Rep., FPI- RR: 523.

7) Scott, G. M., and Swaney, R., 1998. New technology for papermaking: biopulping economics. TAPPI Journal, 81 (2): 153-157.

8) Villalba, L. L., Scott, G. M., Schroeder, L. R., 2006. Modification of loblolly pine chips with *ceriporiopsis subvermisporea* Part 2: Kraft Pulping of Treated Chips. Journal of Wood Chemistry and Technology, 26 (4): 349-362.

9) Wolfaardt, F., Taljaard, J. L., and Jacobs, A., 2004. Assessment of wood-inhabiting basidiomycetes for biokraft pulping of softwood chips. Bioresource Technology, 95 (1): 25-30.

۱) ابراهیم پور کاسمانی، ج.، ۱۳۸۹. تاثیر فرآیند خمیرسازی زیستی بر تولید خمیر شیمیایی - مکانیکی (CMP) از چوب ممرز. رساله دکتری رشته مهندسی صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

