Scientific Journal of Packaging Science and Art
Vol. 14, No. 1, Spring 2023, Serial No. 53
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Effects of Biopulping on Optical Properties of Chemical Mechanical Pulping Unbleached from Hornbeam Wood

Jafar Ebrahimpour Kasmani *, Ahmad Samariha

*Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

(Received: 26/08/2022, Revised: 24/12/2022, Accepted: 24/01/2023, Published: 22/05/2023)

DOR: 20.1001.1.22286675.1397.9.33.2.1

ABSTRACT

In this study, optical properties of paper obtained from treatments 1, 2 and 4 weeks with the fungus Phanerochaete chrysosporium BKM - 1767 was evaluated and compared with control samples. After preparing fungal specimens, hornbeam chips three levels 1, 2 and 4 weeks under laboratory conditions were treated. To Chemical Mechanical Pulping from chips treated, 165°C baking temperature, cooking time 80 and 90 minutes and the percentage of sodium sulfite chemicals: 14, 18 and 22 percent compared to the cooking liquid to chips 7 to 1 was considered. In the case of brightness, the duration of treatment is also an important factor for increasing the effect of fungal treatment. The decrease in brightness in the 4-week treatment is significant. This point indicates that in the case of hornbeem, the effect of the fungal treatment on the brightness of the paper occurs only in the 4-week treatment. More increase of yellowness in 2 and 4 week treatments shows that the effectiveness of hornbeem in relation to the yellowness factor occurs with increasing the duration of fungal treatment. The opacity of the papers obtained from the treated wood chips has almost increased, but there is no significant difference between the opacity of the papers prepared in the control treatment and the opacity of the papers prepared in the fungal treatments.

Keywords: Fungus Phanerochaete Chrysosporium BKM - 1767, Chips Hornbeam, Optical Properties

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: Jafar_kasmani@yahoo.com

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۳، بهار ۱۴۰۲؛ ص ۴-۱

شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

علمی – پژوهشی

تأثیر زیست خمیرسازی بر خصوصیات نوری خمیرکاغذ شیمیایی مکانیکی رنگ‌بری نشده چوب ممرز

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی[1*]، احمد ثمریها[2]

۱- دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران ۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1397.9.33.2.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

در این بررسی خواص نوری کاغذهای حاصله در تیمارهای ۱، ۲ و ۴ هفته‌ای با قارچ Phanerochaete chrysosporium BKM – 1767 بررسی شد و با نمونه شاهد مقایسه گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌های قارچی، خرده چوب‌های ممرز در سه سطح ۱، ۲ و ۴ هفته‌ای تحت شرایط آزمایشگاهی تیمار شدند. به‌منظور تهیه خمیر شیمیایی مکانیکی از خرده چوب‌های 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 خرده چوب ۷ به ۱ در نظر گرفته شد. در مورد روشنی نیز عامل مدت‌زمان تیمار، فاکتور مهمی برای افزایش تأثیر تیمار قارچی است. کاهش روشنی در تیمار ۴ هفته‌ای، معنی‌دار است. این نکته بیانگر آن است که در مورد ممرز، تأثیرگذاری تیمار قارچی روی روشنی کاغذ، فقط در تیمار ۴ هفته‌ای اتفاق می‌افتد. افزایش بیشتر زردی در تیمارهای ۲ و ۴ هفته‌ای نشان می‌دهد تأثیرپذیری ممرز در ارتباط با فاکتور زردی، با افزایش مدت‌زمان تیمار قارچی اتفاق می‌افتد. ماتی کاغذهای حاصل از خرده چوب‌های تیمار شده تقریباً افزایش‌یافته است ولی اختلاف معنی‌داری بین ماتی کاغذ تهیه شده در تیمار شاهد و ماتی کاغذهای تهیه شده در تیمارهای قارچی وجود ندارد.

کلیدواژه‌ها: قارچ Phanerochaete chrysosporium BKM-1767، خرده چوب ممرز، خواص نوری

۱- مقدمه

کاغذ یک کالای راهبردی است و نقش حیاتی در توسعه فرهنگی به عهده دارد [۱]. کاغذ و فرآورده‌های کاغذی به‌عنوان یکی از کالاهای مصرفی روزانه، نقش مهمی در زندگی انسان ایفا می‌کنند. طور یکه امروزه مصرف کاغذ به‌عنوان شاخصی از میزان توسعه فرهنگی و اجتماعی جوامع مختلف مطرح است. امروزه کاربرد بیوتکنولوژی در صنعت خمیر و کاغذ به زمینه‌ای فعال و کارآمد در اجرا و تحقیقات درآمده است. زیست خمیرسازی نیز به‌عنوان پیش تیمار خرده چوب‌ها با قارچ‌های تخریب‌کننده لیگنین پیش از خمیرسازی تعریف شده است. این فرایند قادر است مشکلات زیست‌محیطی ناشی از خمیرسازی را کاهش داده و ویژگی‌های الیاف را بهبود بخشد [۲]. گونه‌هایی از قارچ مولد پوسیدگی سفید که به طور انتخابی میزان لیگنین را کاهش می‌دهند برای خمیرسازی زیستی مفید می‌باشند [۳].

سیستم‌های مطلوب برای خمیرسازی زیستی باید پتانسیلی برای کاهش تأثیر محیطی و کاهش مصرف انرژی داشته باشد. موثرترین گونه‌های یافت شده از قارچ‌ها که برای چوب مفید هستند عبارتند از: ceriporiopsis subvermispora، phlebis brevispore و phanerochaete chrysospoium [۴]. باچپای (۲۰۱۸) نشان دادند که پیش تیمار توسط قارچ سبب بهبود خصوصیات نوری در خمیرهای پیش تیمار شده می‌شود [۵]. زهاو و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی اثر پیش تیمار قارچی بر روی قابلیت سفیدسازی خمیرکاغذ حاصل از کاه گندم نشان دادند که پیش تیمار توسط قارچ قبل از خمیرسازی سبب افزایش روشنی به میزان ۴-۵ ٪ (ISO) می‌گردد [۶]. ونبیک و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند تیمار قارچی خرده چوب‌های نوئل با قارچ T.versicolor سبب کاهش مقداری از ویژگی‌های نوری کاغذ می‌شود [۷]. همچنین سایر محققین نیز در این زمینه مطالعاتی انجام دادند [۸-۱۱]. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، جهت انجام این تحقیق قارچ P.chrysosporium در نظر گرفته شد.

* رایانامه نویسنده مسئول: Jafar_kasmani@yahoo.com

هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر تیمار قارچی و مواد شیمیایی بر ویژگی‌های نوری خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی چوب ممرز است.

۲- روش تحقیق

خرده چوب‌های ممرز موردنیاز از یارد خرده چوب خط تولید خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. قارچ مورداستفاده در این تحقیق Phanerochaete chrysosporium BKM-1767 بود. نمونهٔ قارچی بر اساس روش Kirk آماده شد [۱۲]. (کرک و همکاران ۱۹۹۳). بر اساس این روش، خرده چوب‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا از آلودگی به میکروارگانیسم‌ها جلوگیری شود. در شرایط استریل حدود ۱۵۰۰ گرم خرده چوب (بر مبنای وزن خشک) داخل رآکتور زیستی ریخته شد. مایع باروری با عصاره غذایی ذرت[1] غیر استریل (۰/۵ درصد وزن خشک) مخلوط شده و روی خرده چوب‌ها پاشیده شد. برای اطمینان از تأثیر مایع باروری روی تمام خرده چوب‌ها، آنها را زیرورو کرده و با ریختن آب استریل رطوبت خرده چوب‌ها به رطوبت مناسب رشد قارچ‌ها (حدود ٪۶۰ – ۵۵) رسانده شد. رآکتور زیستی با دمای ^{o}c ۳۹ و رطوبت نسبی ٪۶۵ قرار داده شد. مدت‌زمان تیمار با قارچ، سه زمان ۱، ۲ و ۴ هفته و یک نمونه شاهد در نظر گرفته شد. همچنین مواد شیمیایی ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد، بعد از تیمار قارچی و تعیین درصد رطوبت، از خرده چوب‌های تیمار داده شده با قارچ و همچنین خرده چوب‌های تیمار نشده (شاهد)، خمیر شیمیایی - مکانیکی (CMP)[2] تهیه شد. برای پخت خمیرکاغذها از لیکور سفید پخت کارخانه چوب و کاغذ مازندران استفاده گردید. پخت خرده چوب‌ها با شرایط مندرج در جدول (۱) انجام گرفت.

پس از پخت و دفیبره کردن خمیر کاغذ حاصل از پخت، خمیرکاغذها طبق استاندارد شماره T248-Om88 آئین‌نامه TAPPI با کوبنده آزمایشگاهی PFI Mill تا رسیدن به درجه روانی حدود ۳۰۰ (CSF) پالایش شد. کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه g/m^2 ۶۰، طبق دستورالعمل شماره T205-om-88 آئین‌نامه TAPPI تهیه شدند. اندازه‌گیری خصوصیات نوری کاغذها شامل ماتی، روشنی و زردی با استفاده از استانداردهای T 425 om-01 و T 452 om-01 آئین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شد. طرح آزمایشی مورداستفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً تصادفی جهت پردازش نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

1. Corn steep liquor
2 . Chemical Mechanical Pulping

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تجزیه واریانس چند طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روشنی[3]

آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار قارچی و میزان مواد شیمیایی بر روشنی کاغذ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده به‌طوری جدول دانکن میانگین حاصل از اندازه‌گیری روشنی کاغذ، در سه تیمار ۱، ۲ و ۴ هفته‌ای و تیمار شاهد را در دو گروه مجزا قرار داده است میزان روشنی در تیمار شاهد نسبت به سایر زمان‌ها بیشتر است (جدول ۲). همچنین جدول دانکن، میانگین حاصل از اندازه‌گیری روشنی کاغذ در سه سطح مواد شیمیایی ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد را در سه گروه جداگانه قرار می‌دهد. روند تغییرات روشنی کاغذ با افزایش مواد شیمیایی صعودی است (جدول ۲).

اساساً و در اکثر موارد با افزایش زمان پیش تیمار تا دوهفته، گروه‌های عاملی به‌ویژه کربنیل و هگزنورونیک اسید روندی کاهشی داشته و در سه هفته زیاد می‌شوند. این موضوع بیانگر آن است که پیش تیمار قارچی در زمان دوهفته باعث کاهش گروه-های مورد بررسی بر روی زنجیر سلولز گردیده است و از این منظر نتایج سایر تحقیقات در ارتباط با اثرگذاری پیش تیمار قارچی بر روی ویژگی‌های خمیر و کاغذ تأیید می‌گردد [۱۳]. به نظر می‌رسد نتایج این تحقیق با فرضیه فوق و همچنین نتایج بررسی برخی از محققین همخوانی داشته باشد.

جدول (۱): شرایط پخت خرده چوب‌ها

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_2SO_3)
دما (^{o}C)	۱۶۵	(gr/l) Na_2O	۱۰۰
pH	۷	(gr/l) فعال SO_2	۱۱۵

با عنایت به فرضیه یاد شده، تیمار قارچی موجب کاهش گروه‌های کربونیل و هگزونیک اسید شده است و این کاهش سبب کاهش روشنی کاغذهای حاصله گردیده است.

ظاهری و همکاران (۱۳۹۹) کاهش روشنی در تیمار ۳ هفته‌ای را به علت کاهش اتصالاتی که منجر به تقابل نوری شده

3. Brightness

است و در نتیجه تفرق و انکسار نور افزایش‌یافته است نشان دادند [۱۴]. ون‌بیک و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند در اثر پیش تیمار قارچی ۴ هفته‌ای خرده چوب‌های نوئل با قارچ T.versicolor مقداری از روشنی کاغذ حاصل افت می‌کند [۷]. در مورد روشنی نیز عامل مدت‌زمان تیمار، فاکتور مهمی برای افزایش تأثیر تیمار قارچی است. در مدت‌زمان تیمار ۲ هفته‌ای، میزان روشنی کاغذ کاهش می‌یابد ولی این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. ولی کاهش روشنی در تیمار ۴ هفته‌ای، معنی‌دار است. این نکته بیانگر آن است که در مورد ممرز، تأثیرگذاری تیمار قارچی روی روشنی کاغذ، فقط در تیمار ۴ هفته‌ای اتفاق می‌افتد. بالاترین تأثیر در افزایش روشنی متعلق به تیمار شاهد و کمترین تأثیر متعلق به تیمار ۴ هفته‌ای است و تیمارهای ۱ هفته‌ای و ۲ هفته‌ای در بین این دو تیمار قرار دارند. میزان پالایش کمتر در خرده چوب‌های تیمار شده نیز می‌تواند عامل دیگری برای کاهش روشنی کاغذهای حاصل از خرده چوب‌های تیمارها شده باشد. علت آن کاهش اتصالاتی است که منجر به کاهش تقابل نوری شده است و در نتیجه تفرق و انکسار نور افزایش‌یافته است [۱۵].

۳-۲- زردی[1]

آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار قارچی و میزان مواد شیمیایی بر زردی کاغذ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده به‌طوری جدول دانکن میانگین حاصل از اندازه‌گیری زردی کاغذ، در سه تیمار ۱، ۲ و ۴ هفته‌ای و تیمار شاهد را در دو گروه مجزا قرار داده است. میزان زردی در تیمار شاهد نسبت به سایر زمان‌ها کمتر است (جدول ۲). همچنین جدول دانکن، میانگین حاصل از اندازه‌گیری زردی کاغذ در سه سطح مواد شیمیایی ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد را در سه گروه جداگانه قرار می‌دهد. روند تغییرات زردی کاغذ با افزایش مواد شیمیایی کاهشی است (جدول ۲). به نظر می‌رسد با کاهش درصد مواد شیمیایی، اکسیداسیون گروه‌های رنگ‌ساز موجود افزایش‌یافته و گروه‌های رنگ‌ساز جدیدی تشکیل می‌گردد. در نتیجه با افزایش گروه‌های رنگ‌ساز، زردی کاغذها افزایش می‌یابد.

متأسفانه، زردشدن سریع، از مهم‌ترین مشکلات کاغذهای روزنامه تولید شده با فرایند CMP است. زرد شدن کاغذ ناشی از شکل‌گیری گروه‌های رنگ‌ساز در لیگنین است که از مهم‌ترین آنها می‌توان گروه‌های C=O را نام برد. این گروه به‌عنوان گروه فعال نوری در واکنش‌های برگشت رنگ شرکت می‌کند. عوامل متعدد دیگری نیز سبب تغییر رنگ لیگنین می‌شوند این عوامل شامل نور، گرما و نوع فرایند ساخت کاغذ است. در این تحقیق به دلیل ثابت‌بودن عواملی مانند نور، گرما و نوع فرایند برای ساخت کاغذ، از آنها برای تحلیل زردی کاغذ استفاده نمی‌گردد.

ون‌بیک و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند در اثر پیش تیمار قارچی ۴ هفته‌ای خرده چوب‌های نوئل با قارچ T.versicolor زردی کاغذ حاصل افزایش پیدا [۷].

تیمار قارچی ممرز موجب تولید گروه‌های رنگ‌ساز (کروموفورهای) بیشتری در مرحله پخت شده است. پیامد آن افزایش زردی در کاغذهای حاصل از خرده چوب‌های تیمار شده است. افزایش بیشتر زردی در تیمارهای ۲ و ۴ هفته‌ای نشان می‌دهد تأثیرپذیری ممرز در ارتباط با فاکتور زردی، با افزایش مدت‌زمان تیمار قارچی اتفاق می‌افتد.

۳-۳- ماتی[2]

آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار قارچی بر ماتی کاغذ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. میزان ماتی در تیمار شاهد نسبت به سایر زمان‌ها کمتر است (جدول ۲). درحالی‌که آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر میزان مواد شیمیایی بر ماتی کاغذ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. جدول دانکن، میانگین حاصل از اندازه‌گیری ماتی کاغذ در سه سطح مواد شیمیایی ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد را در دو گروه جداگانه قرار می‌دهد. روند تغییرات ماتی کاغذ با افزایش مواد شیمیایی کاهشی است (جدول ۲).

ماتی با مجموع نور عبور کرده از کاغذ تعیین می‌شود. ماتی در کاغذهای چاپ و تحریر نظیر کاغذ روزنامه بسیار اهمیت دارد زیرا سبب می‌شود تا مطالب پشت کاغذ از سمت دیگر دیده نشوند. طبق تئوری Kubelka munk مقدار ماتی کاغذ بستگی به تعداد ذرات جدا و منفکی که در ورق وجود دارند وابستگی دارد. عوامل مؤثر روی ماتی عبارت‌اند از: فاصله الیاف از یکدیگر، ساختار کاغذ، نوع الیاف، مقدار الیاف ریز و کوتاه. در خرده چوب‌های تیمار شده به علت وجود الیاف کوتاه بیشتر فاصله الیاف کمتر شده است [۱۶]. به همین علت ماتی کاغذهای حاصل از خرده چوب‌های تیمار شده تقریباً افزایش‌یافته است ولی اختلاف معنی‌داری بین ماتی کاغذ تهیه شده در تیمار شاهد و ماتی کاغذهای تهیه شده در تیمارهای قارچی وجود ندارد.

افزایش تیمار قارچی میزان نرمه‌ها در پالایش کاهش‌یافته و سبب کاهش انعکاس نور در شبکه الیاف کاغذ گردیده که بدین صورت ماتی کاغذ را کاهش می‌دهد[۱۴]. ون‌بیک و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند در اثر پیش تیمار قارچی ۴ هفته‌ای خرده چوب‌های نوئل با قارچ T.versicolor ماتی کاغذ حاصله کاهش می‌یابد [۷].

1. Yellowness

2. Opacity

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی اثر پیش تیمار قارچی خرده چوب ممرز بر خصوصیات نوری حاصل از آن متمرکز گردید که نتایج آن به طور خلاصه به شرح زیر است:

۱. با افزایش مدت تیمار قارچی، روشنی کاغذ کاهش‌یافته است. زردی کاغذ افزایش‌یافته است و ماتی کاغذ نیز بدون تغییر معنی‌داری بوده است.

۲. با افزایش مواد شیمیایی، روشنی و ماتی و زردی کاغذ کاهش‌یافته است.

پیشنهاد می‌گردد این تحقیق با سایر قارچ‌های مولد پوسیدگی سفید انجام گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود امکان استفاده از خرده چوب‌های غیر استریل برای پیش تیمار مورد آزمایش قرار گیرد.

جدول (۲): آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای اثر مستقل فاکتور تیمار و مواد شیمیایی بر خصوصیات نوری کاغذهای دست‌ساز شیمیایی مقاومتی حاصل از چوب ممرز

		روشنی (٪)	زردی (٪)	ماتی (٪)
تیمار	F محاسباتی	۴/۹۵۱	۲۳/۷۴۷	۰/۸۴۱
	شاهد	۳۱/۳۵^{a}	۲۹/۱۶^{a}	۹۷/۵۸
	۱ هفته‌ای	۳۱/۲۵^{a}	۲۹/۸۴^{a}	۹۷/۹۰
	۲ هفته‌ای	۳۱/۱۵^{a}	۳۱/۶۹^{b}	۹۷/۹۱
	۴ هفته‌ای	۳۰/۶۲^{b}	۳۱/۷۶^{b}	۹۷/۹۸
مواد شیمیایی (درصد)	F محاسباتی	۱۵۹/۸۴۷	۲۳۳/۰۵۹	۱۶/۳۴۷
	۱۴	۲۹/۵۴^{a}	۳۴/۱۲^{c}	۹۸/۴۱^{b}
	۱۸	۳۱/۰۱^{b}	۳۰/۷۳^{b}	۹۸/۰۳^{b}
	۲۲	۳۲/۷۳^{c}	۲۶/۹۹^{a}	۹۷/۰۹^{a}

۵- مراجع

[1] T. Niknejad, H. Resalati, and A. Ghasemian, "Application of cellulase enzyme in waste paper recycling and its role in paper packaging products," J. Packag. Sci. Tech., vol. 4(15) pp 4-13, 2012. (In Persian)

[2] A. Kumar, A. Gautam, and D. Dutt, "Bio-pulping: An energy saving and environment-friendly approach," Phy. Sci. Rev., vol 5(10) pp. 1-9, 2020.

[3] A. Breen and F. L. Singleton, "Fungi in lignocellulose breakdown and biopulping," Curr. Opin. Biotechnol., vol. 10(3), pp. 252-258, 1999.

[4] L. L. Villalba, G. M. Scott, and L. R. Schroeder, "Modification of Loblolly Pine Chips with Ceriporiopsis subvermispora Part 2: Kraft Pulping of Treated Chips," J. Wood Chem. Technol., vol. 26(4), pp. 349-362, 2006.

[5] P. Bajpai, "Biopulping. In Biotechnology for pulp and paper processing," Springer, Singapore, pp. 113-147, 2018.

[6] J. Zhao, X. Li, and Y. Qu, "Application of enzymes in producing bleached pulp from wheat straw," Bioresour. Technol., vol. 97(13), pp. 1470-1476, 2006.

[7] T. A. Van Beek, B. Kuster, F. W. Claassen, T. Tienvieri, F. Bertaud, G. Lenon, and G. R. Sierra-Alvarez, "Fungal bio-treatment of spruce wood with Trametes versicolor for pitch control: Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity," Bioresour. Technol., vol. 98(2), pp. 302-311, 2007.

[8] T. B. Karegoudar and M. H. Vijayakumar, "Production and Application of Laccase in Biotransformation of Lignocellulosic Material and Decolourization of Dyes," J. Adv. Sci. Res., vol. 13(03), pp. 100-106, 2022.

[9] S. Chauhan, S. B. Prasad, S. B. L. Meena, and P. Bhatnagar, "Exploring the Less Travelled Path of Ecofriendly Handmade Production," In Innovations in Environmental Biotechnology Springer, Singapore. pp. 387-414, 2022.

[10] M. J. Reppke, R. Gerstner, E. Windeisen-Holzhauser, K. Richter, and J. P. Benz, "Press water from the mechanical drying of Douglas-fir wood chips has multiple beneficial effects on lignocellulolytic fungi," Fungal Biol. Biotechnol., vol. 9(1), pp. 1-18, 2022.

[11] J. Wang, L. Li, H. Xu, Y. Zhang, Y. Liu, F. Zhang, and W. Wang, "Construction of a fungal consortium for effective degradation of rice straw lignin and potential application in bio-pulping," Bioresour. Technol., vol. 344, pp. 126-168, 2022.

[12] T. K. Kirk, J. W. Koning, R. Burgess, M. Akhtar, R. Blanchette, D. C. Cameron, D. Cullen, P. Kersten, E. N. Light, G. Mayers, M. B. Sykes, and M. B. Wall, "Biopulping A Glimpse of the Future?," Madison: Wisconsin, Rep. FPl- RR- 523, 1993.

[13] A. Potthast, T. H. Rosenau, P. Kosma, A. Saariaho, and T. Vuorinen, "On the nature of carbonyl groups in cellulosic pulps," Cellulose, vol. 12, pp. 43–50, 2005.

[14] S. Zaheri, G. Asadpour, H. Resalati, and K. Ohno, "Investigation of biological pre-treatment of hornbeam wood with two white rot fungi and their effects on the optical and strength properties of CMP pulp," J. Wood Forest Sci. Technol., vol. 27(1), pp. 73-89, 2020.

[15] E. Rasooly Garmaroody, H. Resalati, P. Fardim, S. Z. Hosseini, K. Rahnama, A. Saraeeyan, and S. A. Mirshokraee, "The effects of fungi pretreatment of poplar chips on the kraft fiber properties," Bioresour. Technol., vol. 102, pp. 4165-4170, 2011.

[16] J. Ebrahimpour Kasmani, "The effect of the biopulping process on the production of chemical-mechanical pulp (CMP) from hornbeam wood," PhD Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 2010. (In Persian)