

بررسی تأثیر پالایش در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص خمیر OCC

چکیده

از آنجا که مصرف خمیر کاغذ OCC در دنیا در حال افزایش است، لازم است مطالعات کاربردی در خصوص کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت این نوع خمیر کاغذ و با استفاده از تیمارهای آنزیمی انجام پذیرد. در این تحقیق تأثیر پالایش در عملکرد آنزیم سلولاز بر ویژگی‌های خمیر کاغذ OCC مورد بررسی قرار گرفت. خمیر کاغذ OCC با درصد خشکی ۴ درصد، در شرایط ثابت درجه حرارت ۵۰ درجه سانتیگراد، مدت زمان ۱ ساعت و محدوده pH: ۴-۵ با آنزیم سلولاز در سه سطح ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ (بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ) پیش تیمار شدند. درجه روانی و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بر اساس آئین‌نامه‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی سلولاز باعث افزایش درجه روانی خمیر و بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ شده و این تأثیر، در خمیرهای OCC پالایش نشده بیشتر از خمیرهای OCC پالایش شده، بوده است. در مجموع با تیمار آنزیمی سلولاز می‌توان نسبت به کاهش پالایش خمیر و کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت خمیر کاغذ OCC اقدام نمود.

واژگان کلیدی: خمیر کاغذ OCC، آنزیم سلولاز، ویژگی‌های مکانیکی، محیط زیست، پالایش.

قاسم اسدیپور^{۱*}

هادی بروشکیان^۲

حسین رسالتی^۳

^۱ دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۳ استاد، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:

asadpur2002@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳

مقدمه

با توجه به محدود بودن سطح جنگل‌های جهان و تخریب شدید آن‌ها از یک طرف و افزایش روزافزون مصرف کاغذ و فرآورده‌های کاغذی همگام با ازدیاد جمعیت و پیشرفت فن‌آوری‌ها از سوی دیگر، اهمیت بازیافت کاغذ را در صنایع کاغذسازی بیش از پیش ضروری ساخته است. با هر مرحله بازیابی کاغذ، کیفیت اتصال به لحاظ ساختاری تغییر یافته در نتیجه شکل‌گیری ورقه‌های کاغذ، اتصال بین الیاف و مقاومت ورقه‌های کاغذ نهایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۱].. در حقیقت بازیافت کاغذ با وجود مزیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، موجب کوتاه شدن الیاف خمیر و کاغذ و ایجاد نرمه‌ها و ریزه

الیاف می‌شود و این امر منجر به کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی و همچنین کاهش سرعت آگیری خمیر و کاغذ می‌شود [۱]. امروزه اهداف کلی صنعت خمیر و کاغذ در جهت افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، تکامل فرآیندهای دوست‌دار محیط‌زیست و بهبود کیفیت محصولات است. بیوتکنولوژی فرصت‌های جدیدی را برای بهبود فرآیندهای متداول تولید در صنایع خمیر و کاغذ ایجاد کرده‌است که دارای مزایای زیست‌محیطی و اجرایی می‌باشند [۲]. اغلب کاربردهای زیست فناوریانه پیشنهاد شده برای صنعت خمیر و کاغذ بر پایه استفاده از آنزیم‌ها می‌باشد. عملکرد دقیق آنزیم‌ها، آن‌ها را به ابزارهای منحصر به فردی به منظور اصلاح و بهسازی ترکیبات ویژه

مزایا و توانایی‌های زیاد، با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی همراه است. تلاش‌های مختلفی جهت ارتقاء ویژگی‌های کاغذهای ساخته شده از خمیرهای کاغذ بازیافتی انجام شده‌است. روشهای شناخته شده در بهبود درجه-روانی و بازیابی مقاومت الیاف دست دوم می‌تواند به پالایش بیش‌تر الیاف، تیمارهای شیمیایی حرارتی، کاربرد الیاف بکر، اعمال شرایط پرس و خشک نمودن شدیدتر، استفاده از مواد افزودنی خشک، اصلاحات فرآیندی در کاغذسازی و تیمارهای آنزیمی نام برد [۷]. آنزیم سلولاز، زنجیره سلولز را در دیواره الیاف می‌شکند، البته وضعیت شکست متناسب با نوع سلولاز مورد استفاده می‌تواند در انتهای زنجیره سلولز و یا در وسط آن انجام شود. این پدیده منجر به تفکیک لایه‌ای، فروریزی و لیفچه‌ای شدن دیواره‌های سلولی شده که در واقع همانند فرآیندی است که در آن طی عملیات پالایش مکانیکی الیاف رخ می‌دهد [۸] و [۹]. سازوکار دقیقی که به واسطه آن فیبریلاسیون آنزیمی رخ می‌دهد، هنوز مشخص نشده است اما به نظر می‌رسد سازوکار اصلی آنزیم در پالایش می‌تواند در افزایش واکنش‌دهی و آب‌دوستی الیاف، فیبریلاسیون و اتصال بین الیاف توصیف شود [۱۰]. با توجه به تحقیقات انجام شده در خصوص استفاده از آنزیم سلولاز در بهبود خواص خمیر کاغذ، مطالعات محدودی در خصوص تأثیر آن بر خمیر کاغذ OCC انجام گرفته و هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر آنزیم سلولاز بر بهبود ویژگی‌های کاغذ OCC و تعیین مقدار بهینه آنزیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

خمیر و کاغذ مورد نیاز برای انجام این تحقیق از نوع خمیر و کاغذ کهنه بازیافتی (OCC) تولید شده توسط شرکت چوب و کاغذ مازندران می‌باشد. از خمیر مرطوب مورد استفاده سه نمونه پس از توزین در داخل آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای 2 ± 103 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. بعد از گذشت مدت زمان فوق، در داخل دسیکاتور خنک شدند. وزن نهایی نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد. آنزیم مورد استفاده در این تحقیق آنزیم سلولاز که مایع تجاری سیاه کهربایی با دانسیته $1/20$ -

در خمیر و فرآیندهای آبی در صنعت خمیر و کاغذ مبدل کرده و طبیعت کاتالیزوری آنزیم‌ها، آن‌ها را حتی در مصارف اندک، سودمند ساخته است. بنابراین در دو دهه اخیر کاربردهای آنزیمی به دلیل بی‌خطر بودن از نظر زیست‌محیطی، برای بهبود فرآیندهای تولید توجه جهانی را به خود جلب کرده‌است. صنعت بازیافت الیاف سلولزی نه تنها از لحاظ فنی و اقتصادی به صرفه است بلکه از نظر زیست‌محیطی نیز دارای مزایایی در مقایسه با استفاده از چوب درختان جنگلی در صنعت کاغذسازی می‌باشد [۳]. با مصرف روزافزون کاغذ در صنایع چاپ و بسته‌بندی از یک طرف و محدودیت مواد اولیه چوبی از طرف دیگر، این صنایع به بازیافت کاغذهای مصرف شده روی آورده‌اند. یکی از انواع کاغذهای تولیدی، کاغذهای بسته‌بندی می‌باشد که تداوم تولید و مصرف آن وابسته به بازیافت و یا به عبارتی استفاده مجدد از ضایعات و کاغذهای باطله آن‌ها در چرخه تولید صنایع بازیافت می‌باشد. از مهم‌ترین کاغذهای بسته‌بندی باطله می‌توان به کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) اشاره نمود که تقریباً نیمی از مواد الیافی صنایع بازیافت کاغذ و مقوا در جهان را به خود اختصاص می‌دهد و برای ساخت محصولات بسته‌بندی مختلف مثل تست‌لاینر، لایه میانی کنگره‌ای و کاغذهای بسته‌بندی (مثل ساک کاغذی و...) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. استفاده از الیاف بازیافتی یکی از گزینه‌های مناسب جهت تأمین ماده خام مورد نیاز صنایع کاغذسازی است و همچنین به کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. در میان کاغذهای بازیافتی، کاغذ OCC یکی از مهم‌ترین انواع کاغذ باطله می‌باشد [۵]. الیاف بازیافتی به عنوان جانشین خمیر کاغذ دست اول نقش بسیار مهمی را در صنعت کاغذسازی ایفا می‌کنند به طوری که امروزه در بسیاری از کشورهای دنیا، صنعت کاغذسازی بدون وجود الیاف بازیافتی نمی‌تواند تداوم داشته باشد. مطابق با پیش‌بینی‌های به عمل آمده تا سال ۲۰۲۰، ضریب رشد استفاده از گیاهان غیرچوبی حدود ۲ درصد و در مورد مصرف کاغذهای بازیافتی میزان ۳ درصد مطرح شده‌است و این نشانگر این است که در سال‌های آتی باید بخش عمده مواد اولیه ساخت کاغذ از تکنولوژی بازیافت کاغذهای باطله تأمین شود [۶]، [۲]. بازیافت کاغذ با وجود

استفاده از استاندارد Tappi T227 om-99 اندازه‌گیری شد. تعدادی کاغذ دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ گرم بر متر مربع مطابق با استاندارد T۲۰۵om۸۸ آیین‌نامه TAPPI ساخته شد. تهیه کاغذ دست‌ساز با استفاده از دستگاه کاغذساز آزمایشگاهی انجام گرفت. با توجه به مساحت توری دستگاه (۲۰۰ سانتی‌متر مربع) و وزن پایه کاغذ، ۱/۲ گرم خمیر خشک برای ساخت هر کاغذ مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی خمیر و کاغذ حاصل

پس از اتمام تیمار آنزیمی، از همه نمونه‌های خمیر (خمیر شاهد و خمیرهای تیمار شده پالایش شده و پالایش نشده) کاغذ دست‌ساز تهیه و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بر طبق استانداردهای مربوطه در آیین‌نامه تاپی که در زیر ذکر شده، تعیین شدند.

شاخص مقاومت در برابر مقاومت کشش طبق استاندارد Tappi T404 om-01

شاخص مقاومت در برابر ترکیدن براساس استاندارد Tappi T403 om-02

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن مطابق استاندارد Tappi T414 om-04

تجزیه و تحلیل آماری

جهت تجزیه و تحلیل آماری این پژوهش از نرم‌افزار (SPSS version 20) استفاده شد و داده‌ها با استفاده از طرح‌های فاکتوریل و کاملاً تصادفی و با استفاده از تکنیک تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه بین نمونه‌ها و تیمارهای مختلف بر اساس گروه-بندی میانگین‌ها و به روش آزمون دانکن یک طرفه (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی درجه‌روانی خمیر کاغذ

قابلیت آبدیاری یا درجه‌روانی می‌تواند کیفیت دفیبره شدن الیاف در اثر عمل پالایش و یا مقدار الیاف کوتاه در سوسپانسیون خمیر را نشان می‌دهد. درجه‌روانی اولیه خمیر کاغذ، معرف میزان نگهداری آب توسط خمیر کاغذی است که هیچ گونه عمل‌آوری مکانیکی روی آن صورت

۱/۱۵ گرم برسانتی مترمکعب، محصول شرکت آرجون می‌باشد و میکروارگانسیم تولید کننده آن قارچ بود. مواد شیمیایی مورد استفاده عبارت بودند از اسید سولفوریک با خلوص ۹۸ درصد برای تنظیم pH خمیر کاغذ استفاده شد.

آماده سازی خمیر جهت اضافه کردن آنزیم

در ابتدا خمیر کاغذ بازیافتی کهنه (OCC) با درصد خشکی ۴ درصد تهیه شد.

نحوه انجام پیش تیمار آنزیمی

پالایش نشده

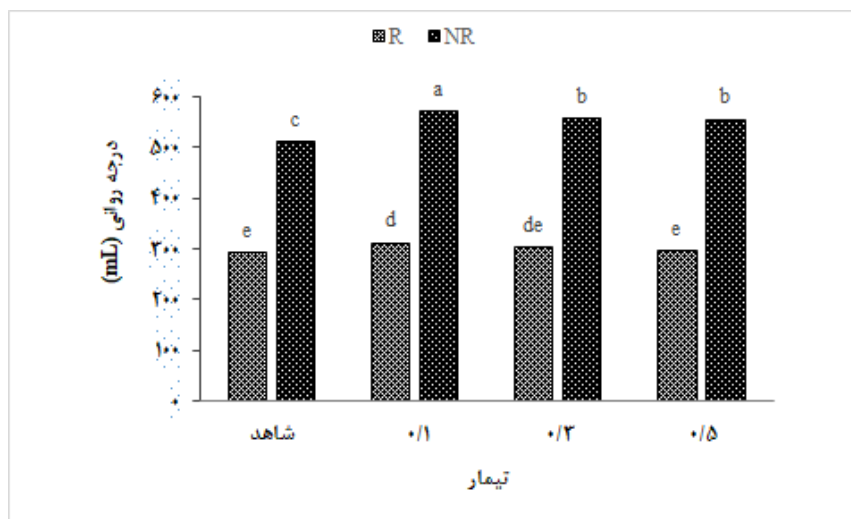
ابتدا خمیر آماده شده با اضافه کردن اسید سولفوریک به pH مورد نظر (۴/۵-۵/۵) رسیده و سپس به درون حمام آب گرم با دمای ۴۵-۵۰ درجه سانتیگراد منتقل شد. سپس مقدار ۱ میلی لیتر آنزیم سلولاز در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر با استفاده از دستگاه هم زن با دور پایین به مدت نیم ساعت حل گردید. در مرحله بعدی مقدار آنزیم سلولاز مورد نظر و با توجه به سه سطح مصرف ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد برحسب وزن خشک خمیر محاسبه و از محلول گرفته شده و به درون بشرهای حاوی خمیر کاغذ با درصد خشکی ۴ درصد افزوده شد. این بشرها به درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد منتقل شدند و به مدت یک ساعت عمل پیش تیمار آنزیمی روی آن‌ها صورت گرفت در حالیکه محتویات بشرها هر ۱۰ دقیقه هم‌زده می‌شدند. سپس، pH اندازه‌گیری شد و با استفاده از صافی با مش ۴۰۰ در چند مرحله با آب مقطر شستشو داده شد تا آنزیم سلولاز حل نشده در خمیر، خارج شود و سپس به خمیر آب اضافه نموده تا حجم آن به ۸ لیتر رسید. در این حالت با اندازه‌گیری درصد خشکی محلول سوسپانسیون جهت تهیه کاغذ دست‌ساز آماده است.

پالایش شده

بعد از پیش تیمار آنزیمی، خمیر کاغذ به درصد خشکی ۱۰ درصد رسید و با تنظیم دور دستگاه (۲۰۰۰)، پالایش انجام گرفت و درجه‌روانی خمیر کاغذ بعد از پالایش و با

مختلف از نظر درجه روانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد، به طوریکه بیشترین مقدار مربوط به خمیر کاغذهای پالایش نشده، در سطح آنزیمی ۰/۱ درصد (۵۷۰ میلی لیتر) و کمترین مقدار مربوط به خمیر کاغذهای شاهد پالایش شده (۲۹۲ میلی لیتر) می باشد، در هر دو سطح تیمار با افزایش مصرف آنزیم درجه روانی کاهش می یابد.

نگرفته باشد. شکل ۱ درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش شده و پالایش نشده را در محدوده pH: ۴/۵ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، تیمار آنزیمی منجر به افزایش درجه روانی خمیر کاغذ در هر دو سطح تیمار می شود، ولی با افزایش درصد مصرف آنزیم درجه روانی کاهش می یابد. بر اساس آزمون دانکن میانگین مقادیر درجه روانی کاغذهای دست ساز در چهار گروه مجزا قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نیز نشان می دهد که بین تیمارهای



شکل ۱- مقادیر درجه روانی خمیرهای OCC تیمار شده با سطوح مختلف آنزیم سلولاز در pH: ۴/۵ (R پالایش شده، NR پالایش نشده)

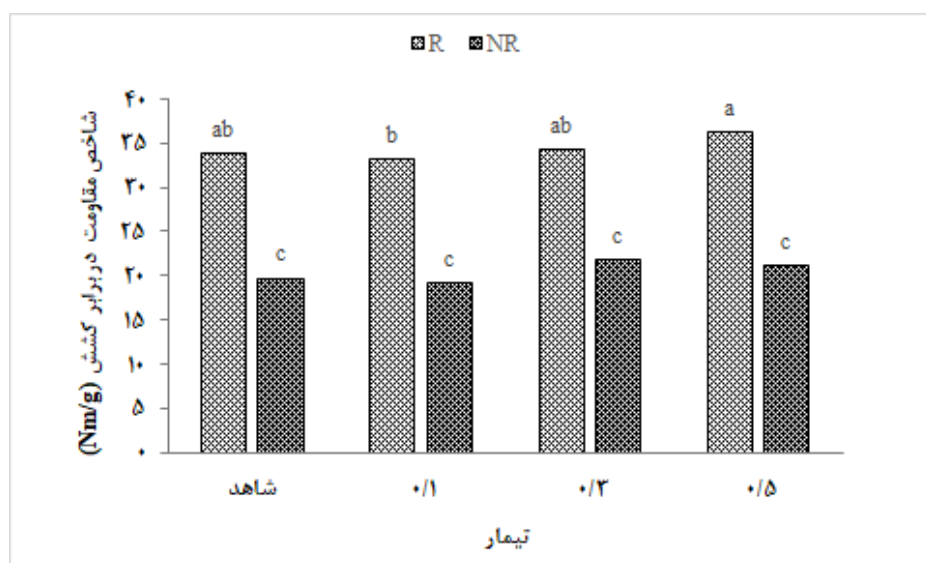
افزایش نرمه های تولیدی و افزایش جذب آب خمیر کاغذ توجیه پذیر می باشد.

بررسی خصوصیات مقاومتی کاغذ

بررسی شاخص مقاومت در برابر کشش

مطابق با شکل ۲، نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین شاخص مقاومت به کشش در دو سطح خمیر کاغذهای پالایش شده و پالایش نشده در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد، اما، تیمار آنزیمی در محدوده pH: ۴/۵ در هر دو سطح خمیر کاغذهای پالایش شده و پالایش نشده منجر به افزایش نامحسوس شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذ می گردد که معنی دار نمی باشد. بیشترین میزان شاخص مقاومت به کشش مربوط به سطح مصرف آنزیم ۰/۵ درصد و در خمیر کاغذهای پالایش شده و کمترین میزان، مربوط به خمیر کاغذهای پالایش نشده در سطح مصرف آنزیم ۰/۱ درصد می باشد.

کمتر بودن درجه روانی خمیر کاغذ پالایش شده نسبت به درجه روانی خمیر کاغذ پالایش نشده را می توان به وجود نرمه های تولید شده توسط پالایش نسبت داد. به طور کلی، آنزیم با عمل هیدرولیز انتخابی نرمه ها و خروج آنها از اجزای خمیر کاغذ موجب بهبود قابلیت درجه روانی خمیر کاغذ می شود. پیش تیمار آنزیمی سلولاز در بهبود درجه روانی خمیر کاغذ مؤثر می باشد. به نظر می رسد کارایی آنزیم سلولاز در هیدرولیز نرمه های خمیر کاغذ به ظاهر بیشتر از نرمه های تولید شده در جریان پالایش بوده و در نتیجه درجه روانی بهبود یافته است. با افزایش مصرف آنزیم سلولاز درجه روانی خمیر کاغذ کاهش یافته است، با توجه به اینکه در جریان پالایش، بخشی از خمیر کاغذ به نرمه تبدیل می شود و بالا رفتن غلظت آنزیم، در نتیجه، کاهش درجه روانی خمیر کاغذ به دلیل



شکل ۲- مقادیر شاخص مقاومت کششی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده pH: ۴/۵ (R پالایش شده، NR پالایش نشده)

متغیرهای فرآیندی مثل مقدار مصرف آنزیم، زمان واکنش و غیره به پالایش الیاف بازیافتی و نیز بهبود این ویژگی مقاومتی کمک کند.

بررسی شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

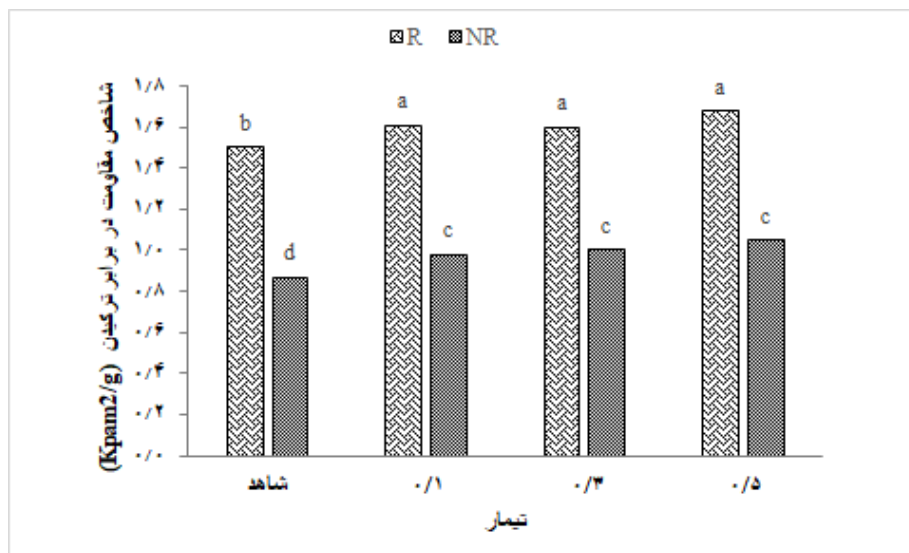
همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در محدوده ۴/۵: pH تیمار آنزیمی در هر دو سطح خمیر کاغذهای پالایش-شده و پالایش‌نشده باعث افزایش شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه‌های شاهد می‌گردد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اختلاف بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در چهار گروه مجزا قرار گرفتند، به‌طوری‌که بیشترین میزان مقاومت به ترکیدن مربوط به میزان مصرف ۰/۵ درصد آنزیم سلولاز در سطح خمیر کاغذ پالایش‌شده و کمترین میزان برای کاغذ شاهد در سطح خمیر کاغذ پالایش‌نشده بوده است.

مقاومت به ترکیدگی کاغذ تحت تأثیر شکل‌گیری کاغذ بوده و با وزن پایه کاغذ متناسب است، همچنین این مقاومت شدیداً تحت تأثیر تغییرات رطوبت قرار می‌گیرد. طول الیاف و اتصال بین الیاف از پارامترهای مؤثر روی مقاومت به ترکیدگی کاغذ می‌باشند. همانگونه که در شکل مذکور ملاحظه می‌شود بالاترین مقدار شاخص مقاومت به

مقاومت کششی یکی از مهم‌ترین مقاومت‌های کاغذ است که آن را در برابر تنش‌های کششی که به آن وارد می‌شود، حفظ می‌کند. مقاومت کششی در واقع نیروی لازم برای پاره کردن یک نوار باریک کاغذ است در هنگامی که طول نوار و سرعت بارگذاری کششی، هر دو به دقت مشخص شده‌اند. بالاترین میزان شاخص مقاومت به کشش مربوط به سطح مصرف آنزیم ۰/۵ درصد و در خمیر کاغذ-های پالایش‌شده و کمترین میزان، مربوط به خمیر کاغذ-های پالایش‌نشده در سطح مصرف آنزیم ۰/۱ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه آنزیم سلولاز زنجیره سلولز را در دیواره الیاف می‌شکند، البته وضعیت شکست متناسب با نوع سلولاز مورد استفاده بوده و می‌تواند در انتهای زنجیره سلولز و یا در میانه آن انجام گردد، این پدیده منجر به تفکیک لایه‌ای، درهم‌ریختگی و لیفچه‌ای شدن دیواره سلولی شده و در واقع همانند فرآیندی است که در طی عملیات پالایش مکانیکی الیاف رخ می‌دهد [۸]، همچنین با افزایش غلظت آنزیم مصرف‌شده از ۰/۱ به ۰/۵ درصد، در خمیر کاغذهای پالایش‌شده، شاخص مقاومت کششی کاغذ بهبود یافته است که دلیل عمده آن این است که در غلظت‌های بیشتر آنزیم مصرفی، فیبریله شدن الیاف بهتر صورت گرفته است. در نتیجه با افزایش آب‌دوستی الیاف، اتصال بین الیاف بهبود و شاخص مقاومت کششی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب آنزیم‌ها می‌توانند با بهینه‌سازی

آنزیمی موجب بهبود شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز شده‌است. مکانیسم اصلی آنزیم قبل از پالایش می‌تواند در اثر افزایش واکنشیدگی، آبدوستی، فیبریلایسیون و اتصال بین الیاف توصیف شود [۱۰].

ترکیدن کاغذهای دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۵ درصد و در خمیرکاغذهای پالایش‌شده می‌باشد و کمترین مقدار شاخص مقاومت به ترکیدن مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد، در خمیرکاغذهای پالایش‌نشده می‌باشد (شکل ۳). به‌طور کلی، پیش‌تیمار



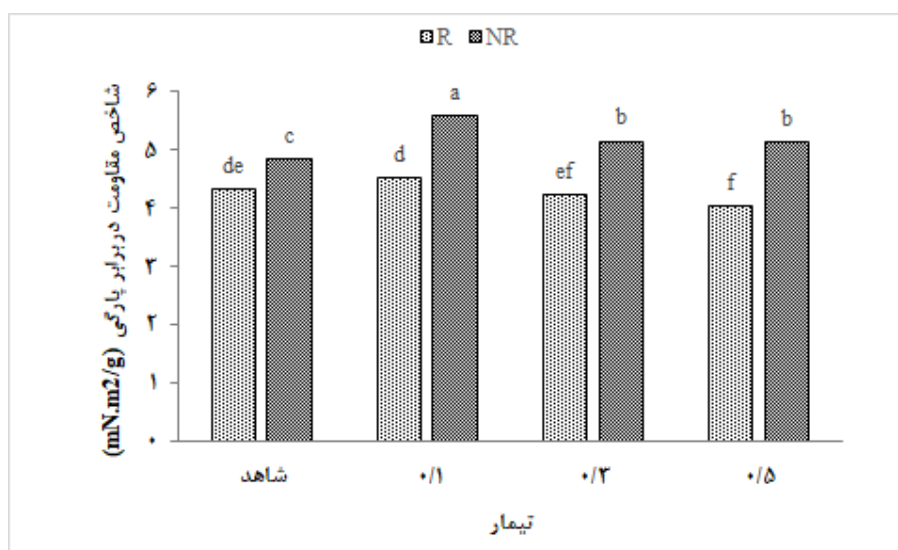
شکل ۳- مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده pH:۴/۵ (R پالایش شده، NR پالایش نشده)

[۱۱]. در شکل ۴ افزایش شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد در خمیرکاغذ-های پالایش‌شده و پالایش‌نشده، در سطح مصرف آنزیم ۰/۱ درصد، می‌تواند به این علت باشد که آنزیم سلولاز ترجیحاً به نرمه‌ها که سطح ویژه بیشتری دارند، حمله می‌کند. در نتیجه، این وضعیت الیاف بلند را از شرایط هیدرولیز شدید محافظت می‌کند، به‌همین دلیل خمیر-کاغذهای تیمار شده در سطح مصرف ۰/۱ درصد به دلیل داشتن الیاف بلند و الیاف قوی‌تر (دارای قدرت اتصال بیشتر)، شاخص مقاومت به پارگی بهبود یافته‌است. اما با افزایش غلظت آنزیم و تخریب ساختار سلولز در جدار الیاف باعث ضعیف‌شدن تک‌تک الیاف و افت شدید ویسکوزیته و درجه پلیمریزاسیون الیاف خمیرکاغذ می‌شود [۱۰]. در نتیجه کوتاه‌شدن الیاف بیشتر رخ داده و شاخص پارگی کاهش می‌یابد.

بررسی شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن

مطابق با شکل ۴ تیمار آنزیمی سلولاز در سطح خمیرکاغذهای پالایش‌شده با مقدار کم آنزیم، باعث افزایش شاخص مقاومت به پاره‌شدن می‌شود، اما با افزایش درصد مصرف آنزیم سلولاز مقاومت به پارگی کاهش یافته‌است، همچنین در سطح خمیرکاغذهای پالایش‌نشده، افزایش غلظت آنزیم سلولاز منجر به کاهش شاخص مقاومت به پارگی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطح خمیرکاغذ پالایش‌نشده و در سطح آنزیمی ۰/۱ درصد می‌باشد.

به‌طور کلی از پارامترهای مؤثر در شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ می‌توان به طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره‌شدن دخالت دارند تعداد اتصال بین الیاف و مقاومت اتصالات اشاره نمود. طول الیاف فاکتور بسیار مهمی در مقاومت به پاره‌شدن کاغذ است. به‌طوری‌که با افزایش طول الیاف مقاومت به پاره‌شدن کاغذ افزایش می‌یابد



شکل ۴- مقادیر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده pH:۴/۵ (R پالایش شده، NR پالایش نشده)

پیوند بیشتر، خلل و فرج کمتر تولید می‌شود، در نتیجه شاخص مقاومت به لهیدگی بهبود یافته‌است.

نتیجه‌گیری

آنزیم سلولاز با تأثیر بر ساختار مورفولوژیکی الیاف و نیز نرمه‌های الیاف باعث تغییر برخی ویژگی‌های خمیر کاغذ می‌شود. عوامل متعددی در عملکرد آنزیم سلولاز در تغییر ویژگی‌های خمیر کاغذ تأثیر دارند که در این تحقیق اثر پالایش خمیر کاغذ OCC بر عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبگیری (درجه‌روانی) و ویژگی‌های مقاومتی آن مطالعه شده‌است. نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی خمیر کاغذ با سلولاز باعث تغییر و افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ می‌شود، که این تغییر، برای خمیر کاغذهای پالایش‌نشده OCC بیشتر از خمیر کاغذهای پالایش‌شده می‌باشد. در مورد آزمون‌های مقاومتی نتایج نشان داد، با افزایش مصرف آنزیم سلولاز، شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن افزایش یافته‌اند. همچنین، تأثیر آنزیم سلولاز بر خمیر کاغذهای OCC پالایش‌نشده به لحاظ افزایش شاخص مقاومت‌های به کشش و ترکیدن بیشتر از خمیر کاغذهای OCC پالایش‌شده می‌باشد. در مورد شاخص مقاومت به پارگی خمیر کاغذ OCC، در خمیرهای پالایش‌شده و پالایش‌نشده فقط در مقادیر کم مصرف آنزیم سلولاز، افزایش مقاومت مشاهده گردید، ولی با

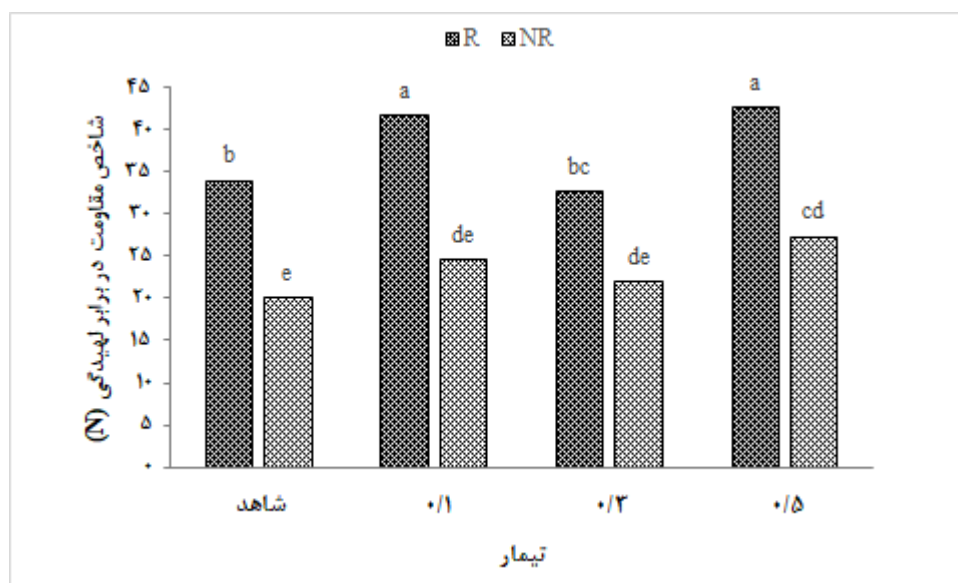
مقاومت به لهیدگی

بر اساس شکل ۵، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذ-های دست‌ساز در هر دو سطح خمیر کاغذهای پالایش‌شده و پالایش‌نشده معنی‌دار است. طبق آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به لهیدگی کاغذهای دست‌ساز در پنج گروه مجزا قرار گرفته‌است. بیشترین مقدار در سطح آنزیمی ۰/۵ درصد و خمیر کاغذهای پالایش‌شده (۴۲/۶۶) و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های شاهد در سطح خمیر کاغذهای پالایش‌نشده (۲۰ N) می‌باشد.

مقاومت به لهیدگی امکان ارزیابی مقاومت کنگره‌ای قبل از ساخت محصول را فراهم می‌کند [۱۲]. مقاومت به لهیدگی، به سفتی الیاف و کاغذ نسبت داده می‌شود، در واقع هرچه ضخامت دیواره الیاف بیشتر باشد الیاف مقاومت بیشتری دارند [۱۳]. مطابق با شکل ۵، خمیر-کاغذهای پالایش‌شده در سطح مصرف ۰/۵ درصد آنزیم سلولاز دارای بیشترین شاخص مقاومت به لهیدگی می‌باشد و کمترین شاخص مقاومت به لهیدگی مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد در سطح خمیر کاغذهای پالایش‌نشده می‌باشد. به نظر می‌رسد پالایش موجب افزایش واكشیدگی، انعطاف‌پذیری و افزایش لهیدگی در الیاف بازیافتی می‌شود، همچنین با ایجاد فیبریلایون خارجی و داخلی در الیاف، سطح پیوند بیشتری ایجاد می‌کند و قابلیت اتصال را افزایش می‌دهد. در نهایت کاغذی با سطح

بخواهیم برای بهبود ویژگی های خمیر کاغذ OCC از تیمار آنزیمی سلولاز استفاده نمائیم، پالایش خمیر ضرورتی نداشته و عملکرد این آنزیم برای خمیرهای پالایش نشده بهتر بوده و در ضمن مصرف انرژی جهت پالایش حذف می شود.

افزایش مصرف آنزیم، کاهش مقاومت به پارگی مشاهده شد. برای مقاومت به لهیدگی کاغذ در خمیر کاغذهای پالایش شده و پالایش نشده OCC، رفتار مشخص و منطقی در خصوص مقدار مصرف آنزیم مشاهده نشد. در مجموع و با نتایج بدست آمده از این تحقیق، چنانچه



شکل ۵- مقادیر شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده pH: ۴/۵ (R پالایش شده، NR پالایش نشده)

منابع

- [1] Ghasemian, A. and Akbarpour, I., 2011. The strategy of paper recycling and its position on supplying the Lignocellulosic materials required for local pulp and paper industries, 1st Way Map Conference for Supplying of Raw Material and Development of Wood and paper Industry at Horizon 1404, pp.4-22.
- [2] Aehle, W., 2007. Enzymes in Industry Production and Applications. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. k Ga A. weinheim, 517p.
- [3] Esfandiari, A.M., 2003. Management of paper recycling from solid waste. Ministry of Industries and Mines. Non-Metal Industries Office.
- [4] Mirshokraei, S.A. 2001. Guid to Waste Paper. Aeizh Press, Tehran, Iran, 140p. (Translaed In Persian)
- [5] Rahmaninia, M., Mirshokrai, A., Ebrahimi, Gh. Mohammadnezhad, M. 2011. The performance of cationic-nano silica starch system on durability and dehydration of washed pulp. Journal of Forest and Wood Products, Iranian Natural Resources Journal, 64(1): 15-22.
- [6] Khosravani, A., Asadollahzadeh, M., Rahmaninia, M and Azadfallah, M. 2016. The effect of external and internal application of organosilicon compounds on the hydrophobicity of recycled OCC paper. BioResources.11 (4):8257-8268
- [7] Kang, T.; Paulapuro, H.2004. New mechanical treatment of chemical pulp. Proc., Progress in Paper Physics Seminar. NTNU & PFI, Trondheim, Norway, June 21-24, pp.11-13

- [8] Tripathi, S., Nirmal, Sh., Mishra, O., Bajpai, P., and Bajpai, P.K., 2008. Enzymatic Refining of Chemical Pulp. *Journal of Ippta*. 20(3):129-132.
- [9] Khoshnevisan, K., Vakhshiteh, F., Barkhi, M., Bahrifar, H., Poorakbar, E., Zari, N., Stamatis, H. and Bordbar, A.Kh. 2017. Immobilization of cellulose enzyme on to magnetic nanoparticles: Applications and recent advances. *Journal Molecular Catalysis*. 9(6):66-73.
- [10] Singh, R. and Bhardvaj. 2011. Enzymatic treatment of recycled fibers for improving of drainage: An Overview. *Journal of IPPTA* 23(2): 121-126.
- [11] Asadollahzadeh, M., 2010. Pre-extraction effect on the production of soda anthraquinone pulp from shoal shoots. Master's thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- [12] Sheikhi, P., Asadpour, G., Zabihzadeh, S.M. and Amoe, N. 2013. An optimum mixture of virgin bagasse pulp and recycled pulp (OCC) for manufacturing fluting paper. *Bio Resources*. 8(4):5871-5883.
- [13] Kasmani, J., Samariha, A. and Nemati, M. 2014. Effect of mixing diferent contents of OCC pulp on NSSC pulp strength. *Bio Resources*. 9(3):5480-5487.

Investigating the effect of refining on cellulase enzyme activity on the properties of OCC pulp

Abstract

As the consumption of OCC pulp is increasing globally, practical studies are needed to reduce energy consumption and improve the quality of this pulp using enzymatic treatments. In this study, the effect of refining on cellulase enzyme performance on OCC pulp properties was investigated. OCC pulp with 4% consistency, 50 ° C constant temperature, 1 hour duration and 4-5.5: pH with cellulase enzyme at three levels of 0.1, 0.3, 0.5 percentages (based on dry weight of pulp) were pretreated. Pulp freeness and hand sheet strength properties were measured according to TAPPI standard codes. The results showed that the enzymatic treatment of cellulase increased pulp freeness and improved paper strength properties and this effect was more in unrefined OCC pulps than refined OCC pulps. Overall, enzymatic cellulase treatment can reduce pulp refining and reduce energy consumption and improve OCC pulp quality.

Keywords: OCC pulp, cellulase enzyme, mechanical properties, environment, refining.

GH. Asadpour^{1*}

H. Boroshkian²

H. Resalaty³

¹ Corresponding Author, Associate Professor, Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

² M.Sc. Graduated, Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

³ Professor, Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Corresponding author:
asadpur2002@yahoo.com

Received: 2019/12/28

Accepted: 2020/04/11