Archive of SID

بررسی تأثیر پالایش در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص خمیر OCC

قاسم اسدپور[1*]
هادی بروشکیان[2]
حسین رسالتی[3]

[1] دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[3] 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

چکیده

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

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

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 بیش 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 آبگیری 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 فناورانه 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 نه‌تنها 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 بسته بندی 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 خمیرکاغذ دست اول نقش بسیار مهمی را در صنعت کاغذسازی ایفا میکنند به طوریکه 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 ۲درصد 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 مزایا و توانایی‌های زیاد، با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی همراه است. تلاش های مختلفی جهت ارتقاء ویژگیهایکاغذهای ساخته شده از خمیرهای کاغذ بازیافتی انجام شده‌است. روشهای شناخته شده در بهبود درجه‌روانی و بازیابی مقاومت الیاف دست دوم می‌توان 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 منجربه تفکیک لایه‌ای، فروریزی و لیفچه‌ای شدن دیواره‌های سلولی شده که‌در 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 مشخص‌نشده است اما به نظر می‌رسد سازوکار اصلی آنزیم در پالایش می‌تواند در افزایش واکشیدگی و آب‌دوستی الیاف، فیبریلاسیون و اتصال بین الیاف توصیف شود [۱۰]. با توجه به تحقیقات انجام شده درخصوص استفاده از آنزیم سلولاز در بهبود خواص خمیرکاغذ، مطالعات محدودی در خصوص تاثیر 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 دمای۲± ۱۰۳ 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 ۱/۲۰ -

www.SID.ir

Archive of SID

۱/۱۵گرم برسانتی مترمکعب، محصول شرکت آرجون می باشد و میکروارگانیسم تولید کننده آن قارچ بود. مواد شیمیایی مورد استفاده عبارت بودند از اسید سولفوریک با خلوص ۹۸ درصد برای تنظیمpH خمیرکاغذ استفاده شد.

آماده سازی خمیر جهت اضافه کردن آنزیم

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

نحوه انجام پیش تیمار آنزیمی

پالایش‌نشده

ابتدا خمیر اماده شده با اضافه کردن اسید سولفوریک به pH مورد نظر (۵/۵-۴/۵) رسیده و سپس به درون حمام آب گرم با دمای ۵۰-۴۵ 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 وبا 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 بادرصد 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 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 دست‌سازآماده است.

پالایش‌شده

بعد از پیش‌تیمار آنزیمی، خمیرکاغذ به درصد خشکی ۱۰ درصد رسید و با تنظیم دور دستگاه (۲۰۰۰)، پالایش انجام گرفت و درجه‌روانی خمیرکاغذ بعد از پالایش و با استفاده ازاستاندارد 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 سانتی‌مترمربع) و وزن پایه کاغذ، ۱/۲ گرم خمیر خشک برای ساخت هر کاغذ مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی خمیروکاغذ حاصل

پس از اتمام تیمار آنزیمی، از همه نمونه‌های خمیر (خمیر شاهد و خمیرهای تیمار شده پالایش‌شده و پالایش‌نشده) 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 استانداردTappi T404 om-01

شاخص مقاومت در برابرترکیدن براساس استاندارد Tappi T403 om-02

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

تجریه 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

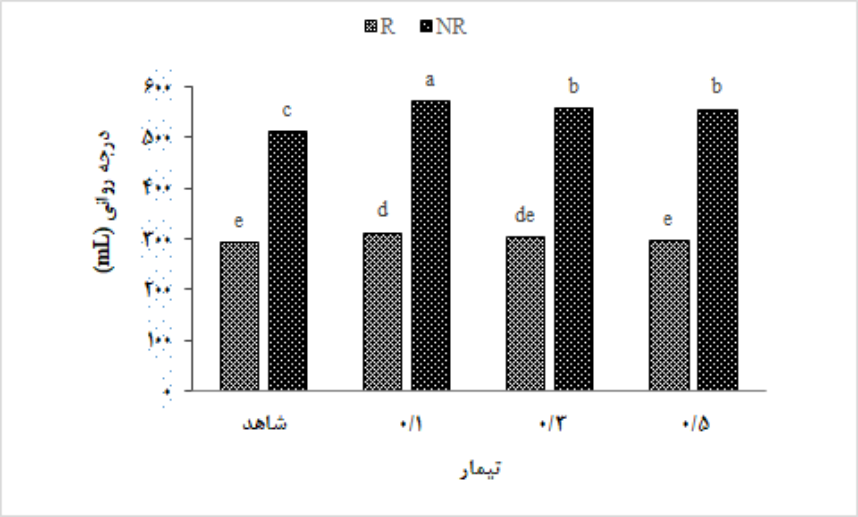
بررسی درجه‌روانی خمیر کاغذ

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

www.SID.ir

Archive of SID

نگرفته باشد. شکل ۱ درجه‌روانی خمیرکاغذهای پالایش-شده و پالایش‌نشده را در محدوده pH:۴/۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تیمار آنزیمی منجر به افزایش درجه‌روانی خمیرکاغذ در هر دو سطح تیمار می-شود، ولی با افزایش درصد مصرف آنزیم درجه‌روانی کاهش می‌یابد. بر اساس آزمون دانکن میانگین مقادیر درجه‌روانی کاغذهای دست‌ساز در چهارگروه مجزا قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف از نظر درجه‌روانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد، به‌طوریکه بیشترین مقدار مربوط به خمیرکاغذهای پالایش‌نشده، در سطح آنزیمی ۰/۱ درصد (۵۷۰ میلی لیتر) و کمترین مقدار مربوط به خمیرکاغذهای شاهد پالایش‌شده (۲۹۲میلی لیتر) می-باشد، در هر دو سطح تیمار با افزایش مصرف آنزیم درجه-روانی کاهش می‌یابد.



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

کمتر بودن درجه‌روانی خمیرکاغذ پالایش-شده نسبت به درجه‌روانی خمیرکاغذ پالایش-نشده را می‌توان به وجود نرمه‌های تولید شده توسط پالایش نسبت داد. به‌طورکلی، آنزیم با عمل هیدرولیز انتخابی نرمه‌ها و خروج آن‌ها از اجزای خمیر کاغذ موجب بهبود قابلیت درجه-روانی خمیرکاغذ می‌شو د. پیش‌تیمار آنزیمی سلولاز در بهبود درجه‌روانی خمیرکاغذ مؤثر می‌باشد. به‌نظر می‌رسد کارایی آنزیم سلولاز در هیدرولیز نرمه‌های خمیرکاغذ به ظاهر بیشتر از نرمه‌های تولید شده در جریان پالایش بوده و در نتیجه درجه‌روانی بهبود یافته است. با افزایش مصرف آنزیم سلولاز درجه‌روانی خمیر-کاغذ کاهش یافته است، با توجه به اینکه در جریان پالایش، بخشی از خمیرکاغذ به نرمه تبدیل می‌شود و بالا رفتن غلظت آنزیم، در نتیجه، کاهش درجه‌روانی خمیرکاغذ به‌دلیل افزایش نرمه‌های تولیدی و افزایش جذب آب خمیرکاغذ توجیه‌پذیر می‌باشد.

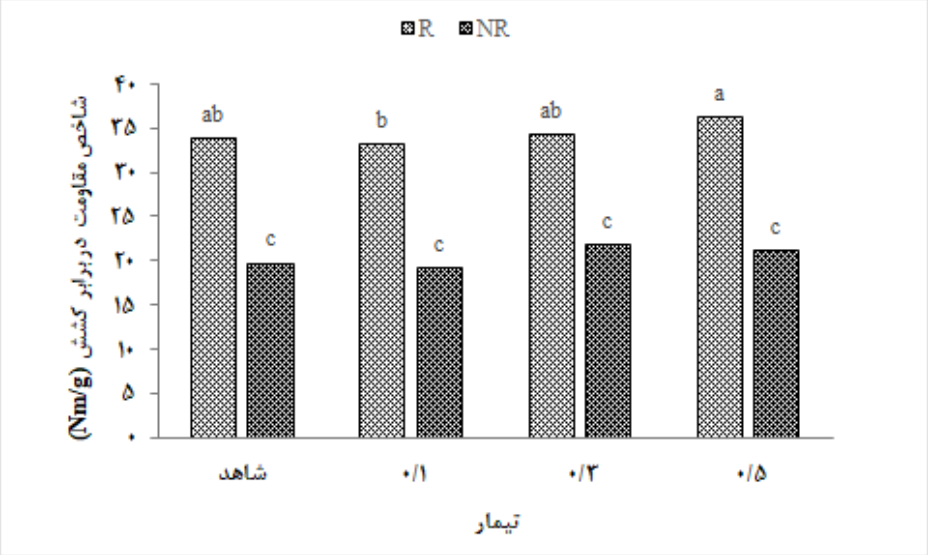
بررسی خصوصیات مقاومتی کاغذ

بررسی شاخص مقاومت در برابر کشش

مطابق با شکل ۲، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین شاخص مقاومت به کشش در دو سطح خمیرکاغذهای پالایش‌شده و پالایش‌نشده در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد، اما، تیمار آنزیمی در محدوده pH:۴/۵ در هر دو سطح خمیرکاغذهای پالایش-شده و پالایش‌نشده منجر به افزایش نامحسوس شاخص مقاومت به کشش خمیرکاغذ می‌گردد که معنی‌دار نمی-باشد. بیشترین میزان شاخص مقاومت به کشش مربوط به سطح مصرف آنزیم ۰/۵ درصد و در خمیرکاغذهای پالایش‌شده و کمترین میزان، مربوط به خمیرکاغذهای پالایش‌نشده در سطح مصرف آنزیم ۰/۱ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



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

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 خمیرکاغذ-های پالایش‌شده و کمترین میزان، مربوط به خمیرکاغذ-های پالایش‌نشده در سطح مصرف آنزیم ۰/۱ درصد می-باشد. 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 خمیرکاغذهای پالایش‌شده، شاخص مقاومت کششی کاغذ بهبود یافته‌است که دلیل عمده آن این است که در غلظت‌های بیشتر آنزیم مصرفی، فیبریله شدن الیاف بهتر صورت گرفته‌است. در نتیجه با افزایش آب‌دوستی الیاف، اتصال بین الیاف بهبود و شاخص مقاومت کششی افزایش می‌یابد. بدین‌ترتیب آنزیم‌ها می‌توانند با بهینه‌سازی 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

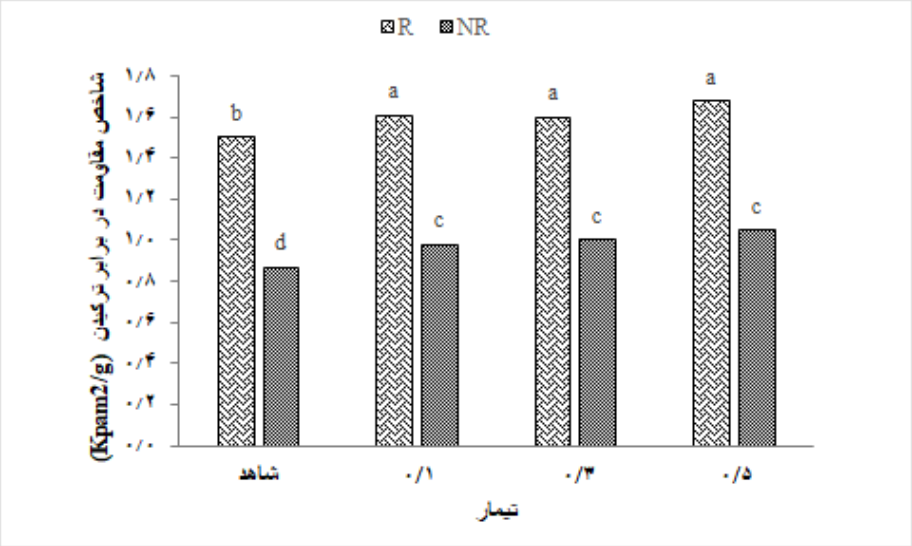
همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در محدوده pH:۴/۵ تیمار آنزیمی در هر دو سطح خمیرکاغذهای پالایش-شده و پالایش‌نشده باعث افزایش شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه‌های شاهد می‌گردد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اختلاف بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. 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 خمیرکاغذ پالایش‌شده و کمترین میزان برای کاغذ شاهد در سطح خمیرکاغذ پالایش‌نشده بوده‌است.

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

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیدن کاغذهای دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۵ درصد و در خمیرکاغذهای پالایش-شده می‌باشد و کمترین مقدار شاخص مقاومت به ترکیدن مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد، در خمیرکاغذهای پالایش‌نشده می‌باشد (شکل ۳). به‌طور کلی، پیش‌تیمار آنزیمی موجب بهبود شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز شده‌است. مکانیسم اصلی آنزیم قبل از پالایش می‌تواند در اثر افزایش واکشیدگی، آب‌دوستی، فیبریلاسیون و اتصال بین الیاف توصیف شود [۱۰].



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

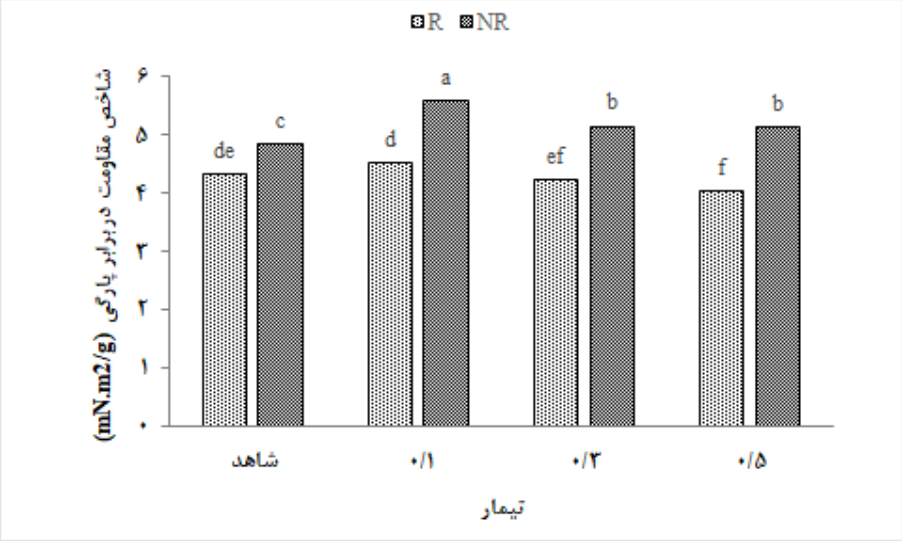
بررسی شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن

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 یافته-است، همچنین در سطح خمیرکاغذهای پالایش‌نشده، افزایش غلظت آنزیم سلولاز منجر به کاهش شاخص مقاومت به‌پارگی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پاره‌شدن در سطح خمیرکاغذ پالایش‌نشده و در سطح آنزیمی ۰/۱ درصد می‌باشد.

به‌طورکلی از پارامترهای مؤثر در شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ می‌توان به طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره‌شدن دخالت دارندف 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 [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. درنتیجه، این وضعیت الیاف بلند را از شرایط هیدرولیز شدید محافظت می‌کند، به‌همین‌دلیل خمیر-کاغذهای تیمارشده 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 می-شود[۱۰]. در نتیجه کوتاه‌شدن الیاف بیشتر رخ داده و شاخص پارگی کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



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

مقاومت به لهیدگی

براساس شکل ۵، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذ-های دست‌ساز در هر دو سطح خمیرکاغذهای 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 خمیرکاغذهای 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 انزیم سلولاز دارای بیشترین شاخص مقاومت به لهیدگی می-باشد و کمترین شاخص مقاومت به لهیدگی مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد در سطح خمیرکاغذهای پالایش-نشده می‌باشد. به‌نظر می‌رسد پالایش موجب افزایش واکشیدگی، انعطاف‌پذیری و افزایش لهیدگی در الیاف بازیافتی می‌شود، همچنین با ایجاد فیبریلاسیون خارجی و داخلی در الیاف، سطح پیوند بیشتری ایجاد می‌کند و قابلیت اتصال را افزایش می‌دهد. در نهایت کاغذی با سطح پیوند بیشتر، خلل و فرج کمتر تولید می‌شود، در نتیجه شاخص مقاومت به لهیدگی بهبود یافته‌است.

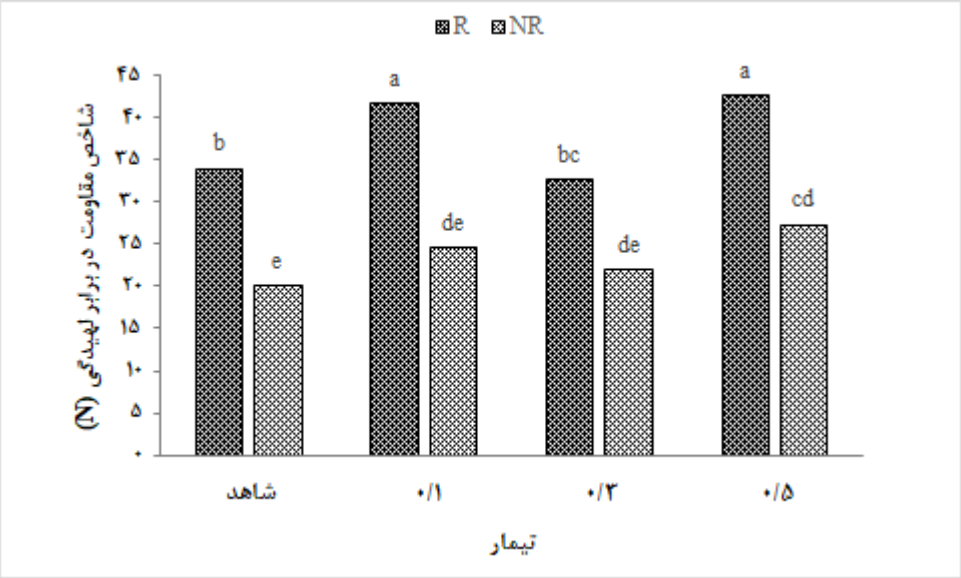
نتیجه‌گیری

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 خمیرکاغذ تأثیر دارند که در این تحقیق اثر پالایش خمیرکاغذ OCC بر عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبگیری (درجه‌روانی) و ویژگی‌های مقاومتی ان مطالعه شده‌است. نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی خمیر OCC با سلولاز باعث تغییر و افزایش درجه‌روانی خمیر-کاغذ می‌شود، که این تغییر، برای خمیرکاغذهای پالایش-نشده OCC بیشتر از خمیرکاغذهای 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 خمیرکاغذهای OCC پالایش‌نشده به لحاظ افزایش شاخص مقاومت‌های به کشش و ترکیدن بیشتر از خمیرکاغذهای OCC پالایش‌شده می‌باشد. در مورد شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذ OCC، در خمیرهای پالایش‌شده و پالایش‌نشده فقط در مقادیر کم مصرف آنزیم سلولاز، افزایش مقاومت مشاهده گردید، ولی با

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش مصرف آنزیم، کاهش مقاومت بهپارگی مشاهده شد. برای مقاومت به لهیدگی کاغذ در خمیرکاغذهای پالایش‌شده و پالایش‌نشده OCC، رفتار مشخص و منطقی در خصوص مقدار مصرف آنزیم مشاهده نشد. در مجموع و با نتایج بدست آمده از این تحقیق، چنانچه بخواهیم برای بهبود ویژگی های خمیرکاغذ 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.



شکل ۵- مقادیر شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذهای تیمارشده 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

www.SID.ir

Archive of SID

[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 Amoee, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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. Boroshkian[2]
H. Resalaty[3]

[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

www.SID.ir