Archive of SID

تأثیر استفاده از آنزیم سلولاز برقابلیت آبگیری و ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذهای بکر و بازیافتی

قاسم اسدپور[۱*]
مهسا طالبی[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: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

چکیده

تیمارهای آنزیمی اثرات متفاوتی بر انواع خمیرهای کاغذ دارند. در این تحقیق تأثیر تیمار آنزیمی سلولاز بر قابلیت آبگیری و ویژگی‌های مقاومتی چهار نوع خمیرکاغذ بکر و بازیافتی بررسی گردید. خمیرکاغذهای بکر شامل خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) و خمیرکاغذ کرافت رنگ‌بری شده وارداتی (BKP) و خمیرکاغذهای بازیافتی شامل خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) و خمیر-کاغذهای جوهر زدایی شده (DIP) بوده که هر دو نوع خمیرکاغذ بازیافتی از کارخانه‌های داخلی تهیه گردید. برای تیمار آنزیمی خمیرکاغذها، مقدار خشکی خمیرکاغذ ۱۰ درصد، مقدار مصرف آنزیم سلولاز ۰/۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ، دمای واکنش ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت واکنش ۶۰ دقیقه و pH واکنش ۵/۵ تا ۶/۵ تنظیم شد. از تمامی خمیرکاغذها قبل از تیمار آنزیمی، کلاسه‌بندی الیاف انجام و پراکنش ابعادی الیاف و نرمه‌های موجود در انواع خمیرکاغذها مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر آنزیم سلولاز بر خمیرکاغذهای شیمیایی و خمیرکاغذ-های با لیگنین کمتر، بیشتر از خمیرهای نیمه شیمیایی با لیگنین بیشتر است. تیمار آنزیمی سلولاز باعث افزایش ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذهای با سلولز بیشتر و بهبود قابلیت آبگیری خمیرکاغذهای با نرمه‌های الیاف بیشتر مانند خمیرکاغذهای CMP و OCC شده است.

واژگان کلیدی: آنزیم سلولاز، ویژگی‌های مقاومتی، خمیر کارتن بازیافتی، خمیر جوهر زدایی شده، خمیر شیمیائی- مکانیکی و خمیر کرافت رنگ‌بری شده.

مقدمه

فناوری زیستی یا بیوتکنولوژی شامل کاربرد سیستم‌های بیولوژیکی موجود در ارگانیسم‌ها یا استفاده از خود ارگانیسم‌های زنده در جهت ایجاد فناوری‌های پیشرفته جهت ارتقا کیفیت زندگی است [۱]. هدف از به-کارگیری فناوری زیستی، صرفه‌جوئی در مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها و توجه به مسائل زیست‌محیطی است. آنزیم‌ها، کاتالیزورهای زیستی هستند که برخی از واکنش-ها را آسان می‌کنند، آنزیم‌های پیشرفته شامل آن‌هایی هستند که گزینش پذیری، سرعت واکنش و بازده بالا دارند. چندین آنزیم تجارتی قابل‌دسترس برای استفاده-های مختلف در صنایع خمیر و کاغذ، مانند زایلاناز[۱] برای رنگ‌بری و افزایش روشنی، لیپازها[۲] برای کنترل قیر، استرازها[۳] برای کنترل مواد چسبناک، آمیلاز[۴] برای اصلاح

[1] Xylanase
[2] .Lipase
[3] Estrrase
[4] Amylase

www.SID.ir

Archive of SID

نشاسته، پروتئازها[1] برای کنترل میکروب‌های زیستی و اخیراً همی‌سلولاز و سلولاز برای اصلاح الیاف و لاکاز برای لیگنین‌زدایی و بهبود مقاومت‌ها بکار برده شده‌اند [۱]. تحقیقات روی آنزیم‌های سلولاز از سال ۱۹۵۰ میلادی انجام‌گرفته است. تمایل به استفاده از این آنزیم در طی سه دهه اخیر به‌شدت افزایش‌یافته است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی اعم از صنایع غذایی، تولید غذای حیوانات، فرایندهای تولید خمیر و کاغذ و نساجی از سلولاز و همی‌سلولاز استفاده می‌شود. از سال ۱۹۷۰، استفاده از آنزیم به‌منظور خمیرسازی بیو مکانیکی، بهبود ویژگی‌های الیاف، جوهر زدایی و بهبود آبگیری مرسوم گردید [۲]. در طی چند دهه اخیر مصرف کاغذ در سرتاسر دنیا افزایش‌یافته و به دلیل رعایت مسائل زیست‌محیطی و لحاظ نمودن عامل اقتصادی، بازیافت کاغذ و مصرف الیاف ثانویه حائز اهمیت زیادی شده است. یکی از اهداف بازیافت کاغذ، جوهر زدایی و زدایش سایر آلاینده‌ها (مانند ذرات چسبنده) و ضمن حفظ خواص نوری و مقاومتی الیاف می‌باشد. از آنزیم‌ها می‌توان به‌منظور افزایش آبگیری از خمیر و کاغذ، تسهیل زدایش آلاینده‌ها و افزایش قدرت پیوند الیاف بازیافتی استفاده کرد [۳]. کاغذسازان برای بهبود مقاومت‌های کاغذ از مواد شیمیایی مختلف استفاده نموده و استفاده از آنزیم‌ها نیز در این صنعت رواج یافته است. استفاده از آنزیم‌ها در صنعت خمیرکاغذ، مسائل و مشکلات بسیاری را رفع نموده است. امروزه در بسیاری از کشورهای امریکای شمالی و اروپایی از انواع آنزیم‌ها برای ارتقاء انواع ویژگی‌ها در خمیرهای تولیدی اعم از خمیرکاغذ بکر و بازیافتی استفاده می‌شود [۴]. کاربرد برخی آنزیم به فرآیند پالایش و تولید کاغذی قوی‌تر و مصرف بیشتر کاغذ بازیافتی و حذف دیگر مواد افزودنی شیمیایی و کاهش استعمال انرژی و بهبود ویژگی‌های کاغذ بهداشتی کمک می‌کند. با افزایش مقاومت الیاف، الیاف بازیافتی را دفعات بیشتر می‌توان مصرف نمود. آنزیم‌ها، ویژگی‌های سطحی الیاف خمیرکاغذ و مقاومت کاغذ تولیدی را تحت تأثیر قرار داده و اغلب باعث ایجاد تغییراتی در گروه‌های اسید کربوکسیلیک شده و با افزایش گروه‌های آنیونی باعث ایجاد پیوندهای قوی‌تر می‌شوند [۵]. آنزیم‌های سلولاز پیوند $B1\rightarrow 4$ گلیکوزیدیک زنجیره سلولز را هیدرولیز می‌کند. سیستم سلولاز شامل ۳ نوع آنزیم است، سلوبیوهیدرولاز، اندوگلوکاناز و B گلوکوزیداز [۶]. آنزیم‌های سلولاز بر اساس نوع عملکرد آن‌ها کلاسه‌بندی می‌شوند... با به‌کارگیری آنزیم‌های خالص‌شده، بخش‌های خاصی از الیاف سلولزی می‌تواند موردحمله قرارگرفته و اصلاح شود. در الیاف دست‌دوم، نرمه‌ها و فیبریل‌ها که موجب کاهش زهکشی می‌شوند، قطعاً شامل سلولز آمورف می‌باشند چون سلولز آمورف بسیار دسترس پذیرتر از سلولز کریستالی هستند، بنابراین لازم نیست تا از کل کمپلکس سلولز برای هیدرولیز استفاده کرد و در این زمینه کاربرد اندوگلوکانازها ممکن است به‌طور کافی مؤثر باشد [۱]. عمل آنزیمی روی ترکیبات الیاف می‌تواند منجر به اتصال بهتر الیاف و برهم‌کنش کمتر آب با الیاف شود. اگرچه مکانیسم دقیق کاملاً شناخته‌شده است اما هنوز توسعه تیمار آنزیمی هر نوع خمیرکاغذ خاص مشکل است چون برای هر نوع خمیرکاغذ انتخاب آنزیم، غلظت و غیره باید بهینه‌سازی شود اگر واکنش آنزیمی کنترل‌شده و محدود نباشد، الیاف بیشتر از حد ممکن است تحت تأثیر قرارگرفته و این منجر به کاهش متوسط طول الیاف یعنی کاهش ویژگی‌های کاغذ می‌شود [۶]. این پژوهش باهدف مشخص نمودن اثرات آنزیم سلولاز بر ویژگی‌های انواع خمیرکاغذهای بکر و بازیافتی و مقایسه این دو نوع خمیرکاغذ و پس از تیمار آنزیمی سلولاز است.

مواد و روش‌ها

انواع خمیرکاغذهای مورداستفاده در این تحقیق عبارت‌اند از: خمیرکاغذ شیمیائی- مکانیکی (CMP)، خمیرکاغذ شیمیایی کرافت رنگ‌بری شده (BKP)، خمیرکاغذ بازیافتی کارتن کهنه کنگره‌ای (OCC) از کارخانه چوب و کاغذ مازندران و خمیرکاغذ جوهر زدایی شده (DIP) از کارخانه لطیف. آنزیم مورداستفاده بانام تجاری DYNAZYME-R از شرکت ARJUN کشور هند تهیه شد. این آنزیم مایع سیاه کهربایی با جرم ویژه ۱/۱۵ تا ۱/۲۰ گرم بر سانتی‌متر مربع بوده و به‌صورت مایع آماده‌سازی می‌شود. سلولاز به‌صورت انتخابی سلولز چوب

[1] Protease

www.SID.ir

Archive of SID

را هیدرولیز کرده و به پلیمرهای با وزن مولکولی کمتر، تحت شرایط فرآیندی مناسب تبدیل می‌کند [۴]. با توجه به دستورالعمل داده‌شده توسط شرکت سازنده، این آنزیم در pH ۴ تا ۸/۵ و دمای ۲۵ تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد قابلیت فعالیت دارد. باهدف دستیابی به تعیین پراکنش ابعادی الیاف خمیرکاغذهای موردمطالعه، کلاسه‌بندی الیاف نمونه‌های خمیرکاغذهای بازیافتی DIP و OCC و همچنین خمیرکاغذهای کرافت رنگ‌بری شده (BKP) و CMP به‌وسیله دستگاه کلاسه‌بندی الیاف آزمایشگاهی باور مکنت بر طبق استاندارد T۲۳۳cm-۸۲ واقع در آزمایشگاه کارخانه صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام شد. تعیین درجه روانی خمیرکاغذ مطابق با استاندارد T۲۲۷om-۹۴ آیین‌نامه TAPPI انجام گرفت. برای تیمار آنزیمی خمیرکاغذها، خشکی خمیرکاغذ ۱۰ درصد، مقدار مصرف آنزیم سلولاز و با توجه به نتایج مطالعه دیگران و انجام پیش تستهای آزمایشگاهی ۰/۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ، دمای واکنش ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت واکنش ۶۰ دقیقه و pH واکنش ۵/۵ تا ۶/۵ تنظیم شد. از خمیرکاغذهای حاصل از تیمارهای مختلف قبل، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه اسمی ۶۰ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد T۲۰۵ -om۸۸ آیین‌نامه TAPPI ساخته شد. گراماژ کاغذ بر اساس استاندارد شماره ۵۳۶ آیین‌نامه ISO و مقاومت در برابر کشش طبق استاندارد ISO-۱۹۲۴-۲ ، مقاومت در برابر ترکیدن بر اساس استاندارد ISO-۲۷۵۸ ، مقاومت در برابر پاره شدن مطابق استاندارد ISO-۱۹۷۴ و اندازه‌گیری مقاومت به عبور هوا مطابق استاندارد ISO-۵۶۳۶-۵ انجام شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری این پژوهش از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و داده‌ها با استفاده طرح کاملاً تصادفی تحت آزمون فاکتوریل مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه بین نمونه‌ها و تیمارهای مختلف بر اساس گروه‌بندی میانگین‌ها و به روش آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد صورت پذیرفت

نتایج و بحث

ازآنجاکه ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در عملکرد آنزیم‌ها دارد، لازم بود تا وضعیت پراکنش ابعادی الیاف و همچنین درصد نرمه‌های الیاف، خمیرکاغذهای موردمطالعه، مشخص شوند. نتایج حاصل از کلاسه‌بندی الیاف انواع خمیرکاغذهای بکر و بازیافتی به شرح جدول ۱ به دست آمد.

با توجه به نتایج جدول ۱، خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی و خمیرکاغذ کارتن بازیافتی دارای بیشترین نرمه الیاف و خمیر کرافت رنگ‌بری شده شامل کمترین نرمه الیاف و بیشترین مقادیر الیاف بلند است.

جدول ۱-نتایج کلاسه‌بندی الیاف خمیرکاغذهای بکر و بازیافتی

نوع خمیرکاغذ	شماره مش توری‌های دستگاه کلاسه‌بندی				
	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	>۲۰۰
	درصد باقیمانده بر روی توری‌های (Mesh) دستگاه کلاسه‌بندی٪				
کرافت رنگ‌بری شده	۷۴/۷	۷/۹	۵/۵	۱/۷	۱۰/۲
شیمیایی-مکانیکی	۱۷/۴	۳۲	۱۶/۵	۲/۱	۳۲
جوهر زدایی شده	۲۹/۷	۳۰/۷	۱۵/۱	۴	۲۰/۵
کارتن کهنه بازیافتی	۲۷	۲۸	۱۳	۳/۵	۲۸/۵

تجزیه واریانس مربوط به مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف کاغذهای دست‌ساز

تجزیه واریانس مربوط به مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف کاغذهای دست‌ساز در جدول ۲ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود بین میانگین داده تیمارها و در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

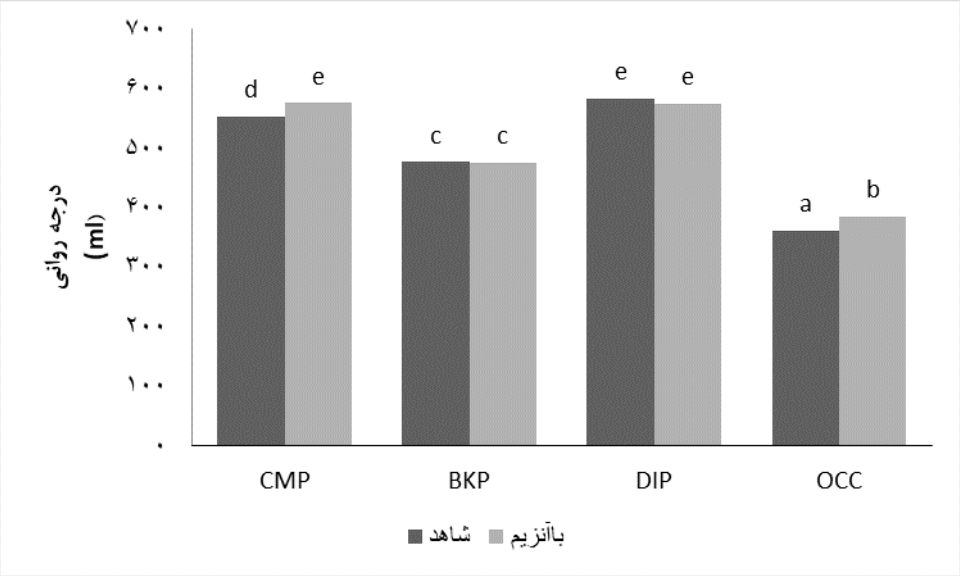
جدول ۲-تجزیه واریانس تیمارهای مختلف برای ویژگی‌های موردانداز‌ه‌گیری کاغذهای ساخته‌شده

ویژگی‌های موردانداز‌ه‌گیری	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه‌شده	سطح معنی‌داری
درجه روانی خمیرکاغذ (ml)	۷	۲۳۴۷۸/۷	۲۸۰/۶	۰/۰۰۰*
مقاومت به عبور هوا (S)	۷	۷۳/۵	۱۵۳۵	۰/۰۰۰*
شاخص مقاومت کششی (Nm/g)	۷	۰/۲۸۵	۲۳۵۷/۴	۰/۰۰۰*
شاخص مقاومت ترکیدگی ($KPam^2/g$)	۷	۴/۵	۴۲۹/۳	۰/۰۰۰*
شاخص مقاومت پارگی ($m. Nm^2/ g$)	۷	۵۳	۲۵۲۳/۷	۰/۰۰۰*

*معنی‌داری تفاوت میانگین داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد

درجه روانی خمیرکاغذ

با توجه به جدول ۲، اختلاف بین مقادیر درجه روانی خمیرکاغذها معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر درجه روانی کاغذهای دست‌ساز در پنج گروه مجزا قرارگرفته است. اثر تیمار آنزیم سلولاز بر درجه روانی خمیرکاغذهای مختلف در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- مقادیر درجه روانی خمیرکاغذهای تیمار شده با آنزیم سلولاز

با توجه به شکل ۱، آنزیم سلولاز باعث افزایش درجه روانی خمیرکاغذهای OCC و CMP شده و بیشترین مقدار در خمیر CMP تیمار شده (۵۷۶ میلی لیتر) است اما در خمیرDIP و BKP اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درجه روانی خمیر درواقع بیان‌کننده قابلیت آبگیری خمیرکاغذ و سرعت خروج آب از آن می‌باشد و به عوامل بسیاری مانند میانگین طول الیاف خمیر، درصد مقادیر نرمه‌های الیاف، ذرات غیر سلولزی شامل انواع مواد پرکننده و ناخالصی، قلیایی یا اسیدی بودن خمیرکاغذ، درصد خشکی و دمای خمیرکاغذ بستگی دارد [۷]. قابلیت آبگیری یا درجه روانی می‌تواند کیفیت فیبریلگی الیاف در اثر عمل پالایش و یا مقدار الیاف کوتاه در سوسپانسیون خمیر را نشان دهد. درجه روانی اولیه خمیرکاغذ، معرف میزان نگه‌داری آب توسط خمیرکاغذی است که هیچ‌گونه عمل‌آوری مکانیکی بر روی آن صورت نگرفته باشد [۸]. خمیرهای بازیافتی درجه روانی خیلی کمتری از الیاف بکر دارند. استفاده از مقادیر زیاد الیاف بازیافتی، فرآیند کاغذسازی را کند می‌کند. به همین منظور در آمریکا که عمدتاً از الیاف بکر استفاده می‌کنند، سازندگان کاغذ ماشین‌های کاغذ را در سرعت‌های بالا طراحی می‌کنند.

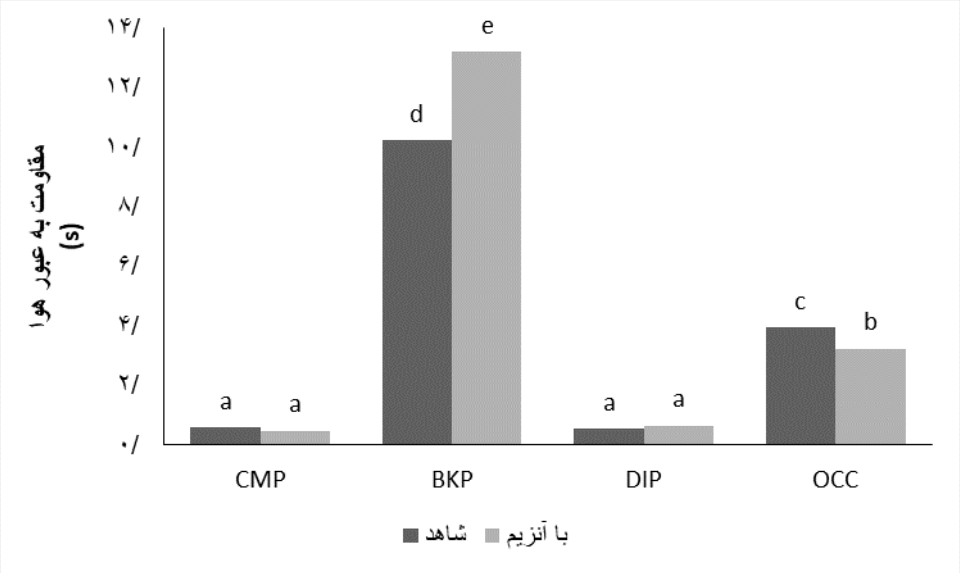
www.SID.ir

Archive of SID

این در حالی است که با افزایش مقدار الیاف بازیافتی باید ماشین‌های کاغذ را در سرعت‌های پایین‌تر طراحی کرد [۹]. نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر درجه روانی تیمارهای آنزیمی نشان می‌دهد که آنزیم با هیدرولیز نرمه‌ها و میکروفیبریل‌های سطح الیاف موجب بهبود درجه روانی می‌شود [۱۰]. [۱۱]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمار آنزیمی با سلولاز سبب بهبود ویژگی قابلیت آبگیری (درجه روانی) خمیرهای CMP و OCC شده و تأثیر معنی‌داری در بهبود ویژگی قابلیت آبگیری (درجه روانی) خمیرهای کرافت رنگ‌بری شده و DIP نداشته است. بالاتر بودن مقادیر نرمه‌های الیاف در خمیرهای CMP و OCC در مقایسه با خمیرهای کرافت رنگ‌بری شده و DIP و تأثیر آنزیم سلولاز بر نرمه‌ها، باعث افزایش درجه روانی خمیر و بهبود آبگیری از آن شده است.

مقاومت به عبور هوا

با توجه به جدول ۲، اختلاف بین مقادیر مقاومت به عبور هوا کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به عبور هوا کاغذهای دست‌ساز در پنج گروه مجزا قرارگرفته است. اثر تیمار آنزیم سلولاز بر مقاومت به عبور هوا کاغذهای مختلف دست‌ساز در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- مقادیر مقاومت به عبور هوا کاغذهای تیمار شده با آنزیم سلولاز

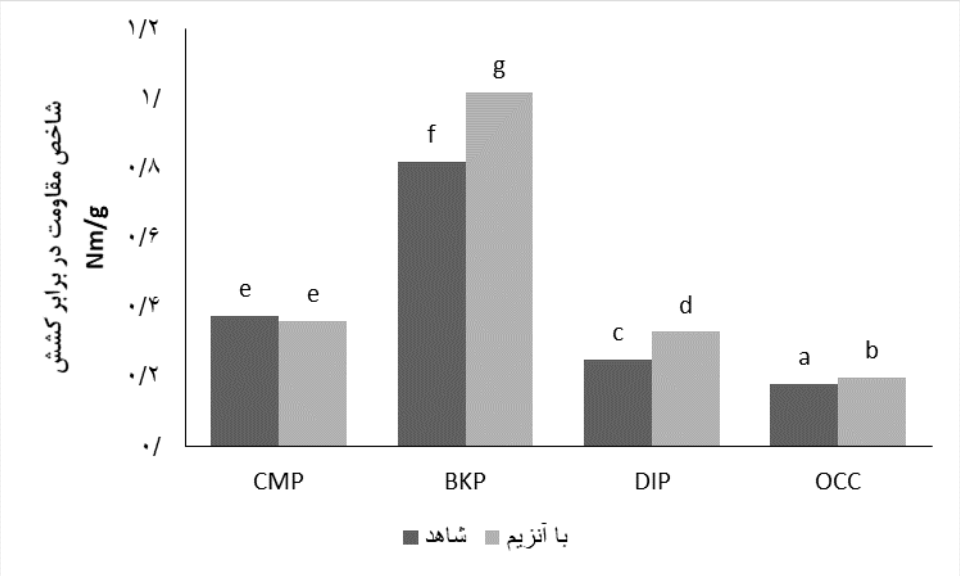
با توجه به شکل ۲، آنزیم سلولاز باعث افزایش مقاومت به عبور هوا خمیر BKP و کاهش مقاومت به عبور هوا خمیرOCC شده و در خمیرهای DIP و CMP اختلاف معنی‌داری، وجود ندارد. هرچه مدت عبور هوا از میان کاغذ بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که کاغذ دارای قابلیت عبور هوای کمتری است. این قابلیت به عوامل گوناگونی از قبیل قابلت پیوندیابی الیاف، قابلیت لهیدگی الیاف، انعطاف‌پذیری الیاف و شکل‌گیری کاغذ بستگی دارد. خمیرکاغذ OCC نرمه الیاف زیادی داشته و درنتیجه هیدرولیز و حذف نرمه‌ها توسط آنزیم سلولاز کاغذ حاصل از خمیرکاغذ تیمارشده آنزیمی OCC، مقاومت به عبور هوای کمتری نسبت به OCC شاهد دارد. خمیرکاغذ BKP دارای درصد سلولز بیشتری بوده و درنتیجه عملکرد آنزیم سلولاز، سطوح خارجی الیاف سلولزی، ریش‌ریش شده و با افزایش سطوح الیاف و هم‌پوشانی بیشتر الیاف روی یکدیگر، مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد.

شاخص مقاومت در برابر کشش

با توجه به جدول ۲، اختلاف بین مقادیر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز در هفت گروه مجزا قرارگرفته است. اثر تیمار آنزیم سلولاز بر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای مختلف دست‌ساز در شکل ۳ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذهای تیمار شده با آنزیم سلولاز

با توجه به شکل ۳، آنزیم سلولاز باعث افزایش مقاومت در برابر کشش خمیرکاغذهای BKP، DIP وOCC شده و بیشترین مقدار در خمیرکاغذ BKP تیمار شده می‌باشد اما در خمیرCMP اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. شاخص مقاومت در برابر کشش به مقاومت اتصالات بین الیاف بستگی دارد [۱۲]، [۱۳]. آنزیم سلولاز باعث افزایش سطح سلولز شده و پیوند را افزایش می‌دهد درنتیجه مقاومت کششی زیاد می‌شود. خمیرکاغذ BKP که خمیرکاغذ کاملاً شیمیایی (لیگنین کم و سلولز زیاد) است به دلیل دارا بودن سلولز زیاد، بیشتر تحت تأثیر آنزیم سلولاز قرارگرفته و درنتیجه فیبریله شدن سطوح الیاف و ایجاد اتصالات بیشتر و محکم‌تر، شاخص مقاومت کششی کاغذ به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. شاخص مقاومت کششی با افزایش دفعات بازیافت کاهش می‌یابد و همچنان استخوانی شدن عامل اصلی این پدیده می‌تواند باشد [۱۴]. ازآنجاکه در خمیرکاغذ DIP مقادیر الیاف شیمیائی و با درصد سلولز بالا بیشتر است، به دلیل تأثیرپذیر بودن بیشتر با آنزیم سلولاز و در مقایسه با خمیرکاغذ OCC، شاخص مقاومت کششی آن، بعد از تیمار آنزیمی افزایش بیشتری داشته است.

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن

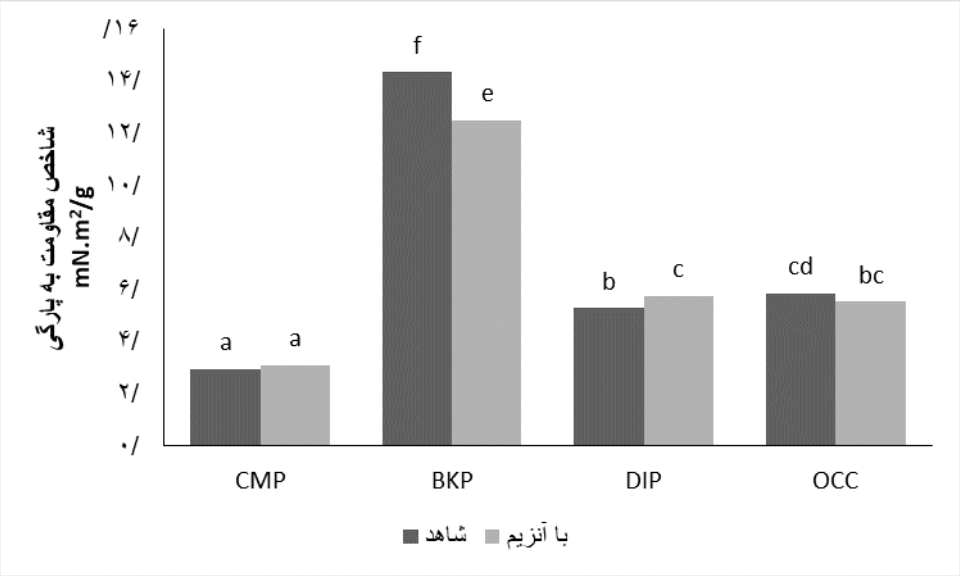
با توجه به جدول ۲، اختلاف بین مقادیر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز در شش گروه مجزا قرارگرفته است. اثر تیمار آنزیم سلولاز بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای مختلف دست‌ساز در شکل ۴ آورده شده است.

با توجه به شکل ۴، آنزیم سلولاز باعث افزایش شاخص مقاومت در برابر پارگی خمیرکاغذ DIP و کاهش در خمیرکاغذ BKP شده است و در خمیرکاغذهای CMP و OCC اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. شاخص مقاومت در برابر پاره شدن به طول الیاف، مقاومت الیاف و درجه اتصال بین الیاف بستگی دارد [۱۵]. در یک ورق کاغذ با تعداد اتصالات بین لیفی کمتر، مقاومت به پاره شدن بیشتر به اتصالات بین لیفی بستگی دارد [۱۵]. با افزایش مقاومت اتصالات بین لیفی، مقاومت خود الیاف تعیین‌کننده مقدار مقاومت به پاره شدن است [۱۲]. [۱۳] و [۱۵]. در خمیرکاغذ BKP، با افزودن آنزیم سلولاز، میانگین طول الیاف کاهش‌یافته و ازآنجایی‌که مقاومت به پاره شدن به طول الیاف بستگی دارد [۱۵]، کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص مقاومت به پاره شدن این نوع خمیرکاغذ، بیشتر می‌باشد. برای خمیرکاغذ DIP، با افزودن آنزیم سلولاز الیاف آن فیبریله شده و با افزایش اتصال بین الیاف، شاخص مقاومت به پاره شدن افزایش می‌یابد.



شکل ۴. مقادیر شاخص مقاومت در برابر پارگی کاغذهای تیمار شده با آنزیم سلولاز

شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

با توجه به جدول ۲، اختلاف بین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز معنی‌دار است. بر اساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در چهار گروه مجزا قرارگرفته است. اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست-ساز در شکل ۵ آورده شده است.

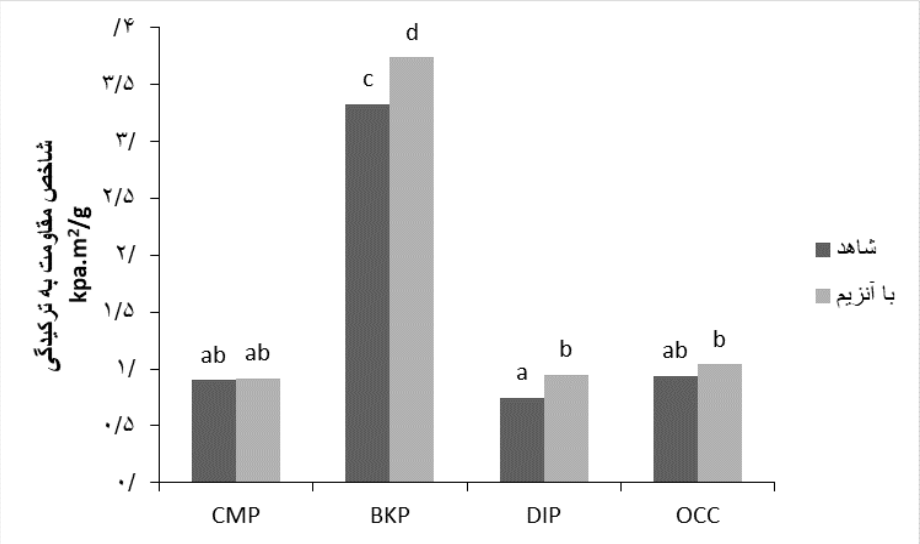
با توجه به شکل ۵، آنزیم سلولاز باعث افزایش شاخص مقاومت در برابر ترکیدگی خمیرکاغذهای DIP، OCC و BKP شده ولی تأثیری در خمیرکاغذ CMP نداشته است. مقاومت به ترکیدن از جمله مقاومت‌هایی است که به طول فیبر و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد ولی بیشتر تأثیر اتصال بین الیاف می‌باشد [۱۲]، [۱۵]. خمیرکاغذهای DIP,BKP به دلیل دارا بودن مقادیر سلولز بیشتر، تحت تأثیر آنزیم سلولاز قرارگرفته و با توجه به افزایش سطح اتصالات الیاف درنتیجه عمل آنزیم سلولاز، شاخص مقاومت به ترکیدن این دو نوع خمیرکاغذ افزایش نشان می‌دهد. ولی در خمیرکاغذهای CMP و OCC به دلیل وجود لیگنین بیشتر نسبت به دو خمیرکاغذ قبلی و عدم موثربودن آنزیم سلولاز بر الیاف، شاخص مقاومت به ترکیدن، بعد از تیمار با آنزیم سلولاز، تغییر نمی‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیر ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف خمیرکاغذ بر عملکرد آنزیم سلولاز، نتایج کلاسه‌بندی الیاف خمیرکاغذهای بکر و بازیافتی نشان داد که خمیرکاغذ BKP دارای بیشترین مقدار الیاف بلند و کمترین مقدار نرمه‌های الیاف می‌باشد. خمیرکاغذهای CMP و OCC دارای درصد نرمه‌های الیاف بیشتری در مقایسه با سایر خمیرکاغذهای موردمطالعه در این تحقیق بوده‌اند. با توجه به بیشتر بودن درصد نرمه‌های الیاف در خمیرکاغذهای CMP و OCC، آنزیم سلولاز با هیدرولیز نرمه‌ها، باعث افزایش درجه روانی و کاهش نسبی مقاومت به عبور هوای این دو نوع کاغذ شده است. با توجه به این تحقیق، آنزیم سلولاز بیشترین تأثیر را در بر خمیرکاغذهای با درصد سلولز بیشتر (BKP و DIP) داشته و برای خمیرکاغذهای با درصد سلولز کمتر و لیگنین بیشتر(CMPو OCC) تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در ویژگی‌های این خمیرکاغذها و پس از تیمار آنزیمی مشاهده نشد. تیمار آنزیمی سلولاز باعث افزایش ویژگی-های مقاومتی خمیرکاغذهای با سلولز بیشتر و بهبود قابلیت آبگیری خمیرکاغذهای با نرمه‌های الیاف بیشتر مانند CMP و OCC شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- مقادیر شاخص مقاومت در برابر ترکیدگی کاغذهای تیمار شده با آنزیم سلولاز

منابع

[1] Bajpai, P., (2010). Solving the problems of recycled fiber processing with enzymes. Bioresources, 5(2): 1-15.

[2] Dienes, D., Egyhazi, A., and Reczey, K., (2004). Treatment of recycled fiber with trichoderma cellulases. Industrial crops and products, 20:11-21.

[3] Kent Kirk, T., Jeffries, T.W., (1996). Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing. Institute for Microbial and Biochemical Technology, Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1-14.

[4] Shamim A., Jain R., Mediratta R., Prasad k.p., and Arora, S.S., (2006). Enzymatic Treatment on chemical Pulp in Beating/Refining process-an Attempt toward Energy conservation. Journal of Ippta. 18(3). 127-132.

[5] Leatham, G., Myers. G., and Wegner, T., (1990). Biochemical pulping of aspen chips: energy savings resulting from different fungal treatments. Tappi J, 73:197–200.

[6] Singh, R. and Bhardvaj., (2011). Enzymatic treatment of recycled fibers for improving of drainage: An overview. IPPTAJ, 23(2):121-126.

[7] Mirshokraei, S.A., 2001. Guid to Waste Paper. Aeizh Press, Tehran, Iran, 140p. (Translaed In Persian)

[8] Gil, N., Gil, C., Amara, M., Costa, A., and Duarte, A., (2009). Use of enzymes to improve the refining of bleached Eucalyptus globulus Kraft paper. Biochemical engineering journal, 2:89-95.

[9] Sheikh H., and luo J., (2009). Identify cation, validation and Aplication of a cellulases specifically to Improve the Runnability of Recycled Furnishes. PrOCC.9th International Conference on pulp, paper and Allied Industry (Paperax), 277-283.

[10] Tripathi, S., Nirmal, Sh., Mishra, O., Bajpai, p.and Bajpai, K., (2008). Enzymatic refining of chemicalpilp. Journalof IPPTA 20(3):129-132.

[11] Park K., Park J., Song H., Shin H., Park J., and Ahn J.S., (2002). Biological reprocessing of mixed office waste paper (MOW) using modified cellulose by production of functional copolymer. Korean Journal. Eng,19:2.285-289.

[12] Bajpai P., Mishra Sh.P. Mishra O.P., Kumar S., and Bajpai P.K., (2006). Use of Enzymes for Reduction in Refining Energy-Laboratory Studies. Journal of Tappi. 5(11):25-32

[13] Yang G, Lucia LA, Cehn J, Cao X, Liu Y., (2011). Effects of enzyme pretreatment on thebeatability of fast-growing poplar AMP pulp. Bioresources 6(3):2568-2580.

[14] Pala H .،Lemos, M., mota ,M,and Gama, F,M., (2001).EnzymaticUpgrade of containers . Journal of Enzyme and Microbial Technology, 29:274:279.

[15] Scott, W., (2002). Properties of paper an introduction, Aiij Press, 392 pages. (Translated in Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of cellulase on drainage and strength properties of virgin and recycled pulps

Abstract

Enzymatic treatments have different effects on different types of pulps. In this study, the effect of cellulase treatment on drainage and dewatering capability and also paper strength properties of four types of first-hand (virgin) and recycled pulp was investigated. First-hand pulp included chemi-mechanical pulp (CMP) made from hardwoods (mixture of beech, hornbeam and poplar) of Iran northern forest and imported softwood bleached Kraft pulp (BKP) while recycled pulp comprised of old corrugated containerboard (OCC) pulp and deinked pulp (DIP). Both types of recycled pulps have been sourced from domestic factories in Iran. For enzyme treatment of pulp, the consistency of the pulp was set at 10%, the cellulase enzyme intake was 0.5% based on the dry weight of the pulp, the temperature, time and pH of the reaction were set at 50 Celsius centigrade, 60 min, and 5.5 to 6.5, respectively. From all kind of the pulp, before enzymatic treatment, fiber classification was performed in Bauer McNett fiber classifier and dimensional distribution of fibers and fine content in different types of pulp was determined. The results of this study showed that the effect of cellulase enzyme on chemical pulps with less lignin is more than semi-chemical pulp with more lignin and low cellulose. Cellulase enzymatic treatment increases the strength properties of pulp with more cellulose and improves the drain ability of the pulps with more fine content such as CMP and OCC.

Keywords: Cellulase Enzyme, Strength Properties, Old corrugated containerboard, Deinked pulp, Chemi-Mechanical pulp, Bleached Kraft pulp.

GH. Asadpour[1*]
M. Talebi[2]
H. Resalaty[3]

[1] 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: 2021/04/05
Accepted: 2021/06/14

www.SID.ir