

بررسی تأثیر pH در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص خمیر کاغذ OCC

قاسم اسدپور^{۱*}، هادی بروشکیان^۲ و حسین رسالتی^۳

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

پست الکترونیک: asadpur2002@yahoo.com

^۲ - دانش آموخته 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

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۷

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر pH در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبدیاری و مقاومتی خمیر کاغذ OCC است. خمیر کاغذ بازیافتی OCC با درصد خشکی ۴ درصد، در شرایط ثابت درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی گراد، مدت زمان ۱ ساعت و محدوده pH اسیدی (۴-۵) و قلیایی (۸-۵) با آنزیم سلولاز در سه سطح ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ درصد (بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ) پیش‌نیاز شدند. نتایج نشان داد پیش‌تیمار آنزیمی سلولاز موجب افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ در مقایسه با نمونه شاهد گردید؛ همچنین در pH اسیدی به‌طور نسبی افزایش بیشتر درجه‌روانی پس از تیمار با آنزیم سلولاز مشاهده شد، اما با افزایش غلظت آنزیم، درجه‌روانی خمیر کاغذ کاهش یافت. در pH: ۴-۵ بیشترین درجه‌روانی در سطح ۰/۱ درصد و در pH: ۸-۵ در سطح ۰/۳ درصد بود. همچنین، کاغذها از نظر ویژگی مقاومتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش مصرف آنزیم سلولاز، شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترک‌شدن افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در pHهای قلیایی تأثیر آنزیم سلولاز بر افزایش این مقاومت‌ها بیشتر از pH اسیدی بود. شاخص مقاومت به پارگی خمیر کاغذ OCC، فقط در مقادیر کم مصرف آنزیم سلولاز و در pH اسیدی، افزایش مقاومت مشاهده شد ولی با افزایش مصرف آنزیم کاهش مقاومت به پارگی دیده‌شد. همچنین برای مقاومت به لهیدگی، روند مشخصی در مورد مقدار مصرف آنزیم و pH بر عملکرد آنزیم مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: خمیر کاغذ OCC، آنزیم سلولاز، درجه‌روانی، تأثیر pH.

مقدمه

کاغذ ماده‌ای ورقه‌ای ساخته‌شده از شبکه‌ای از الیاف طبیعی سلولزی که با ته‌نشینی از یک تعلیق آبی تشکیل شده است. مصرف سالانه کاغذ و مقوا در جهان بیش از ۲۵۰ میلیون تن است. بیشتر این مصرف در کشورهای پیشرفته می‌باشد (Mirshokrai, 2009). محدود بودن سطح جنگل‌های جهان و تخریب شدید آنها و همچنین افزایش روزافزون مصرف کاغذ و فراورده‌های کاغذی همگام با ازدیاد جمعیت و

پیشرفت فناوری‌ها، اهمیت بازیافت کاغذ را در صنایع کاغذسازی بیش از پیش بیشتر و ضروری کرده است. از یکسو استفاده از الیاف بازیافتی یکی از گزینه‌های مناسب برای تأمین ماده خام موردنیاز صنایع کاغذسازی است و از سوی دیگر به کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند (Rahmaninia et al., 2011). الیاف بازیافتی به‌عنوان جانشین خمیر کاغذ دست اول، نقش بسیار مهمی را در صنعت کاغذسازی ایفا می‌کنند؛ به‌طوری‌که امروزه در بسیاری از

محیطی و اجرایی می‌باشند. بیوتکنولوژی اشاره به بهره‌برداری تکنیکی از فرایندهای زیستی دارد و هدف آن استفاده مطلوب‌تر از سیستم‌های زیستی در فرایندهای صنعتی می‌باشد. اغلب فرایندهای زیستی از میکروارگانیسم‌هایی از قبیل قارچ‌ها، باکتری‌ها و مخمرها استفاده می‌کنند (Aehle, 2007). بیوتکنولوژی امروزه بر استفاده از محصولات زیستی یا آنزیم‌ها تمرکز یافته‌است. اغلب کاربردهای بیوتکنیکی پیشنهاد شده برای صنعت خمیر و کاغذ بر پایه استفاده از آنزیم‌ها می‌باشد. اختصاصی و دقیق عمل کردن آنزیم‌ها، آنها را به ابزارهای منحصر به فردی به منظور اصلاح و بهسازی ترکیبات ویژه در خمیر و فرایندهای آبی در صنعت خمیرکاغذ مبدل کرده و طبیعت کاتالیزوری آنزیم‌ها، آنها را حتی در مقادیر مصرف اندک سودمند کرده است. صنایع خمیرکاغذ برای استفاده از آنزیم‌ها نیازمند آشنایی کامل با شرایط بهینه استفاده از آنها می‌باشند. در دو دهه اخیر کاربردهای آنزیمی به دلیل بی‌خطر بودن از نظر زیست‌محیطی، برای بهبود فرایندهای تولید توجه جهانی را به خود جلب کرده است. آنزیم‌ها به عنوان ترکیبات طبیعی مزیت مهمی در فرایند خمیرکاغذسازی دارند و به عنوان فرآورده‌های سبز، اثر زیست‌محیطی بسیار کمی داشته‌اند. تیمار آنزیمی قبل از پالایش میزان نیازمندی به انرژی ویژه و تولید نرمة را کاهش داده و تیمار بعد از پالایش قابلیت زهکشی خمیرکاغذ بازیابی شده را بهبود می‌دهد؛ در نتیجه موجب حرکت‌پذیری ماشین کاغذ و مصرف کمتر بخار در بخش خشک‌کن ماشین کاغذ می‌شود و سبب کنترل مشکلات مواد چسبنده تا حد زیادی به کمک آنزیم‌ها می‌گردد (Verma *et al.*, 2010). آنزیم‌هایی مانند سلولاز ۱، همی سلولاز ۲ و پکتیناز ۳ برای افزایش خمیرسازی کرافت (روش شیمیایی قلیایی خمیرسازی) و بهبود پالایش خمیر و لیگنین‌زدایی بررسی شدند و ملاحظه شد که این آنزیم‌ها مؤثر بوده و سبب افزایش خواص مقاومتی الیاف می‌شوند (Jacobs *et al.*, 2000; Barati *et al.*, 2015). سلولاز در میان آنزیم‌های صنعتی، نقش کلیدی

کشورهای دنیا، صنعت کاغذسازی بدون وجود الیاف بازیافتی نمی‌تواند تداوم داشته باشد. مطابق با پیش‌بینی‌های به‌عمل‌آمده تا سال ۲۰۲۰، ضریب رشد استفاده از گیاهان غیرچوبی حدود ۲٪ و ضریب رشد ۳٪ در مورد مصرف کاغذهای بازیافتی مطرح شده است و این نشانگر این است که در سال‌های آینده این صنعت، بخش عمده مواد اولیه ساخت کاغذ از تکنولوژی بازیافت کاغذهای باطله برآورد شده است (Aehle, 2007; Khosravani *et al.*, 2016). صنعت کاغذ و بسته‌بندی بخش مهمی از اقتصاد جهانی است و نقش مهمی در این زمینه ایفا می‌کند (Singh *et al.*, 2016). یکی از انواع کاغذهای تولیدی، کاغذهای بسته‌بندی است که تداوم تولید و مصرف آن وابسته به بازیافت و یا به عبارتی استفاده دوباره از ضایعات و کاغذهای باطله آنها در چرخه تولید صنایع بازیافت می‌باشد. از مهمترین محصولات 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 (Mirshokraei, 2001). بازیافت با وجود برتری‌ها و توانمندیها، با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی همراه است. تلاش‌های مختلفی برای ارتقاء ویژگی‌های کاغذسازی خمیرهای کاغذ بازیافتی انجام شده است. در حال حاضر روش‌های شناخته‌شده در بهبود درجه روانی و بازیابی مقاومت الیاف دست‌دوم می‌توان به پالایش بیشتر، تیمارهای شیمیایی حرارتی، کاربرد الیاف بکر، اعمال شرایط پرس و خشک نمودن شدیدتر، استفاده از مواد افزودنی خشک، اصلاحات فرایندی در کاغذسازی و تیمارهای آنزیمی اشاره نمود (Kang, 2004; Manfred *et al.*, 2016). امروزه اهداف کلی صنعت خمیرکاغذ در جهت افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، تکامل فرایندهای دوستدار محیط‌زیست و بهبود کیفیت محصولات است. بیوتکنولوژی فرصت‌های جدیدی را برای بهبود فرایندهای متداول تولید در صنایع خمیرکاغذ ایجاد کرده است که دارای مزایای زیست-

1- Cellulase
2- Hemicellulase
3- Pectinase

نمونه‌ها به داخل دسیکاتور انتقال یافته و در آنجا خنک شدند. وزن نهایی نمونه‌ها دوباره توزین شد. آنزیم مورد استفاده در این تحقیق، آنزیم سلولاز که مایع تجاری سیاه کهربایی با دانسیته ۱/۱۵ تا ۱/۲۰ می‌باشد، محصول شرکت آرجون و میکروارگانیزم تولیدکننده آن قارچ می‌باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده عبارت بودند از: اسیدسولفوریک و سدیم هیدروکسید.

اندازه‌گیری درجه‌روانی

درجه‌روانی خمیرکاغذ شاخصی از مقاومت الیاف در برابر عبور آب از میان آنها می‌باشد و در فراوری خمیرکاغذ ویژگی مهمی محسوب می‌شود. درجه‌روانی در کاغذهای بازیافتی به عوامل مختلفی همانند فرایند خمیرسازی، نوع کاغذ باطله، فرایند مرکب‌زدایی (شناورسازی یا شستشو)، نوع و میزان تیمار (آنزیمی یا شیمیایی)، نوع و منشأ آنزیم بستگی دارد. ۳ گرم خمیرکاغذ بر مبنای وزن خشک را پس از باز شدن الیاف آن در دستگاه الیاف بازکن به استوانه مدرج منتقل و با افزودن آب، حجم آن به یک لیتر رسانده شد. سوسپانسیون الیاف موجود در استوانه مدرج را به‌منظور پراکنش یکنواخت سه مرتبه با دست به‌صورت متوالی به‌هم‌زده و بعد در دستگاه درجه‌روانی ریخته شد. در مدت کمتر از ۵ ثانیه دریاچه تخلیه دستگاه باز و آب خروجی از لوله جانبی درون ظرف جمع‌آوری شد. این حجم آب معرف میزان درجه‌روانی خمیرکاغذ بر حسب میلی‌متر CSF است. پس از اندازه‌گیری دمای آب با کمک جدولهای تصحیح، درجه‌روانی واقعی خمیرکاغذ مشخص شد.

آماده‌سازی خمیر برای اضافه کردن آنزیم

مقدار ۲۴ گرم خمیرکاغذ بازیافتی کهنه (OCC) بر مبنای خشک برداشته شد و در بشر مخصوص با آب مقطر به درصد خشکی مورد نظر (۴٪) برای اضافه کردن آنزیم سلولاز آماده‌سازی شد.

در بیوتکنولوژی و برنامه‌های کاربردی کشاورزی مانند مواد غذایی، مواد شیمیایی، خمیرکاغذ و ... دارد (Khoshnevisan *et al.*, 2017). همچنین، یکی از پیچیده‌ترین آنزیم‌های تولید شده توسط تعدادی از میکروارگانیزم‌ها است که می‌تواند در فرایند خمیر و کاغذ استفاده شود (Singh *et al.*, 2016). در خمیرسازی مکانیکی می‌توان از آنزیم سلولاز پس از تیمار آنزیمی خمیر با آنزیم سلوبیوهیدرولاز بهره برد. آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز، آنزیم‌های عمده پالایشی خمیرکاغذ بوده و به ترتیب بر روی سلولز و همی‌سلولز عمل می‌کنند. در مخلوط آنزیمی، آنزیم‌های سلولاز به جای الیاف بلند، ترجیحاً به نرمه‌ها حمله کرده، در نتیجه این وضعیت الیاف بلند را از شرایط هیدرولیز شدید محافظت می‌کند و موجب بهبود درجه‌روانی می‌شود؛ در نتیجه آگیری بهبود می‌یابد (Bajpai *et al.*, 2006; Buzata *et al.*, 2016). با توجه به اینکه آنزیم یک ماده بیوشیمیایی است و در شرایط محدود دمایی و pH فعالیت بهینه دارد، بنابراین تغییرات جزئی این عوامل می‌تواند در میزان فعالیت این مواد مؤثر باشد. در حال حاضر برای استفاده از آنزیم‌های فعال در محیط‌های اسیدی، قلیایی و خنثی نظرهای متفاوتی وجود دارد (Herlet *et al.*, 2017). اهداف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از بیوتکنولوژی در صنعت خمیرکاغذ برای بهبود خواص مقاومتی و درجه‌روانی کاغذ حاصل در محیط قلیایی و اسیدی و تعیین مقدار بهینه آنزیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

خمیرکاغذ موردنیاز برای انجام این تحقیق، از نوع خمیرکاغذ کهنه بازیافتی (OCC) تولیدشده توسط شرکت چوب و کاغذ مازندران است. تعیین میزان رطوبت خمیر، طبق استاندارد T412 om-94 آیین‌نامه TAPPI انجام شد. از خمیر مرطوب مورد استفاده سه نمونه، پس از توزین در داخل آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. بعد از گذشت مدت‌زمان فوق،

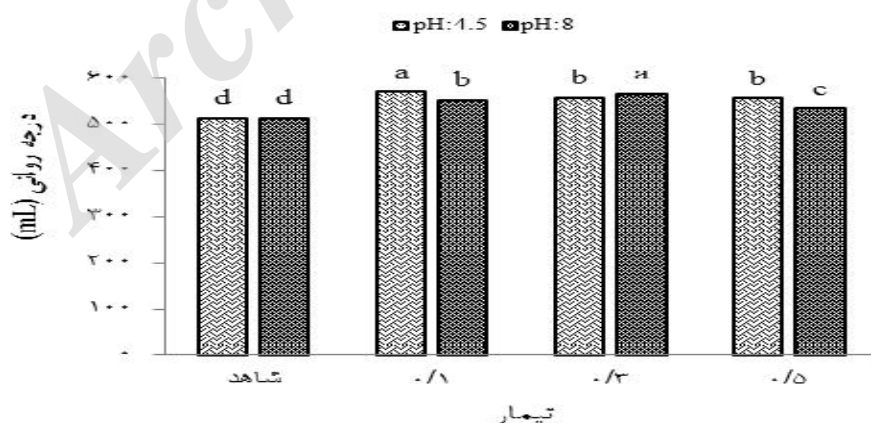
نحوه انجام پیش‌نیاز آنزیمی

ابتدا خمیر آماده‌شده با اضافه کردن اسیدسولفوریک (H_2SO_4) به pH مورد نظر (۴/۵-۵/۵) رسید و به درون حمام آب گرم منتقل شد تا به دمای ۴۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس ۱cc آنزیم سلولاز، در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دستگاه هم‌زن با دور پایین به مدت نیم ساعت حل گردید. در مرحله بعدی مقدار آنزیم سلولاز مورد نظر در سه سطح ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد از محلول گرفته‌شد و به درون بشرهای حاوی خمیرکاغذ با میزان خشکی ۴ درصد افزوده شد. بشرها به درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و به مدت یک ساعت عمل پیش‌پالایش آنزیمی روی آن انجام شد و محتویات بشرها هر ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس pH اندازه‌گیری شد و با آب مقطر در چند مرحله با عبور از مش ۴۰۰ شستشو داده شد تا آنزیم سلولاز حل نشده از خمیر خارج شود و بعد به درصد خشکی ۴٪ رسانده شد. pH و درجه روانی خمیرکاغذ اندازه‌گیری شد. تمام مراحل فوق نیز با اضافه کردن سدیم هیدروکسید (NaOH) برای رسیدن به pH مورد نظر (۸-۸/۵) انجام شد. از تیمارهای مشخص‌شده، تعدادی کاغذ دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ گرم بر

مترمربع مطابق با استاندارد T205 om-88 آیین‌نامه TAPPI مترمربع شده و بعد بر اساس آیین‌نامه‌های مربوطه استاندارد مذکور مورد ارزیابی مقاومتی (شاخص مقاومت کششی بر اساس استاندارد T494 om-88 آیین‌نامه TAPPI، شاخص مقاومت در برابر ترک‌یدن مطابق با استاندارد T403 om-97 آیین‌نامه TAPPI، مقاومت به پاره‌شدن بر اساس استاندارد T414 om-98 آیین‌نامه TAPPI و شاخص مقاومت به لهیدگی بر اساس استاندارد ISO-7263) قرار گرفت.

طرح آماری

طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق از نوع کاملاً تصادفی بوده و نتایج حاصل از ارزیابی کلیه ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز تهیه شده از تیمارهای مختلف بر اساس آزمون تجزیه واریانس مورد تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. برای کلیه آنالیزها از نرم‌افزار SPSS و نتایج حاصل از ویژگی خمیرکاغذهای به‌دست‌آمده به‌وسیله آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱- مقادیر درجه روانی خمیرهای OCC تیمار شده با سطوح مختلف

آنزیم سلولاز در محدوده ۸ و ۴/۵ pH

نتایج

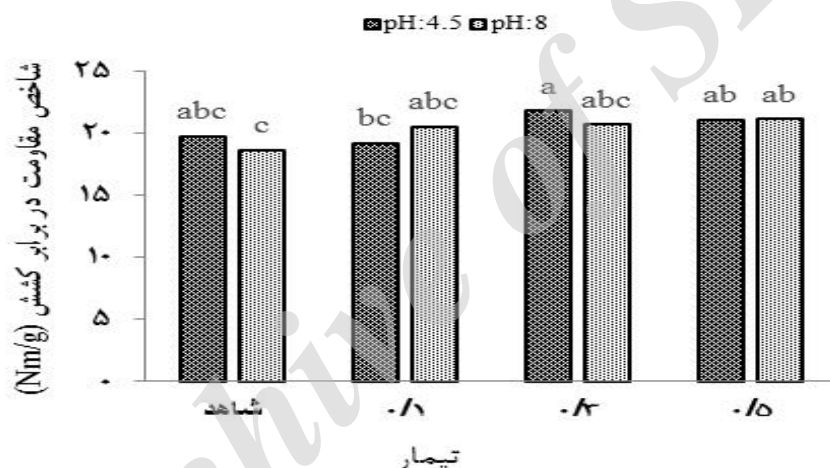
درجه‌روانی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در هر دو pH اسیدی و قلیایی، تیمار آنزیمی باعث افزایش درجه‌روانی خمیر کاغذ می‌شود. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن تیمارها در چهار گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف از نظر درجه‌روانی خمیر کاغذ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ به طوری که بیشترین مقدار مربوط به pH:۴/۵ در سطح آنزیمی ۱/۰٪، (۵۷۰) میلی‌لیتر و کمترین مقدار مربوط به کاغذهای شاهد در هر دو pH اسیدی و قلیایی می‌باشد.

خصوصیات مقاومتی کاغذ

شاخص مقاومت در برابر کشش

مطابق با شکل ۲، تیمار آنزیمی در pH:۴/۵ باعث افزایش نامحسوس شاخص مقاومت به کشش و همچنین در pH:۸ منجر به افزایش شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. براساس آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر مقاومت به کشش در سه گروه طبقه‌بندی شدند. بیشترین میزان شاخص مقاومت به کشش مربوط به کاغذ تیمار شده در pH:۴/۵ و در سطح آنزیمی ۳/۰٪ و کمترین آن مربوط به کاغذ شاهد در pH:۸ می‌باشد.



شکل ۲- مقادیر شاخص مقاومت کششی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده ۸ و pH:۴/۵

شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تیمار آنزیمی در هر دو سطح pH اسیدی و قلیایی باعث افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. طبق آزمون دانکن تیمارها در سه گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین تیمارهای آنزیمی و سطح شاهد از نظر مقاومت به ترکیدن در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ به طوری که

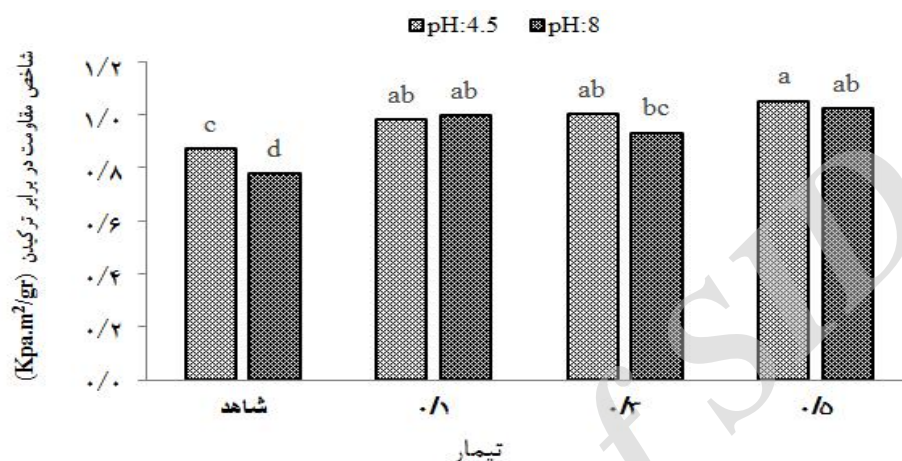
بیشترین میزان مقاومت به ترکیدن مربوط به میزان مصرف ۰/۵ درصد آنزیم سلولاز در pH:۴/۵ و کمترین میزان برای کاغذ شاهد در pH:۸ بوده است.

شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن

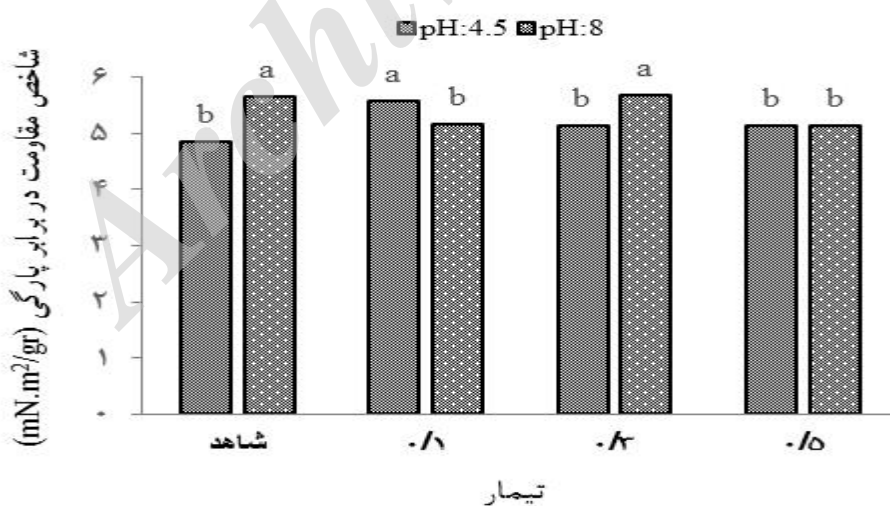
مطابق با شکل ۴ در pH:۴/۵ شاخص مقاومت به پارگی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته و با افزایش غلظت آنزیم سلولاز مقاومت به پارگی کاهش یافته است،

نظر مقاومت به پارگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. کمترین میزان مقاومت به پارگی مربوط به pH: ۸ در سطح آنزیمی ۰/۳٪ و کمترین میزان برای کاغذ شاهد در pH: ۴/۵ بوده است.

اما در pH: ۸ با افزودن آنزیم، شاخص مقاومت به پارگی نسبت به نمونه شاهد روند کاهشی داشته است. بر اساس آزمون دانکن، میانگین مقادیر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز در دو گروه طبقه‌بندی شدند. همچنین، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف از



شکل ۳- مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده ۸ و ۴/۵ pH

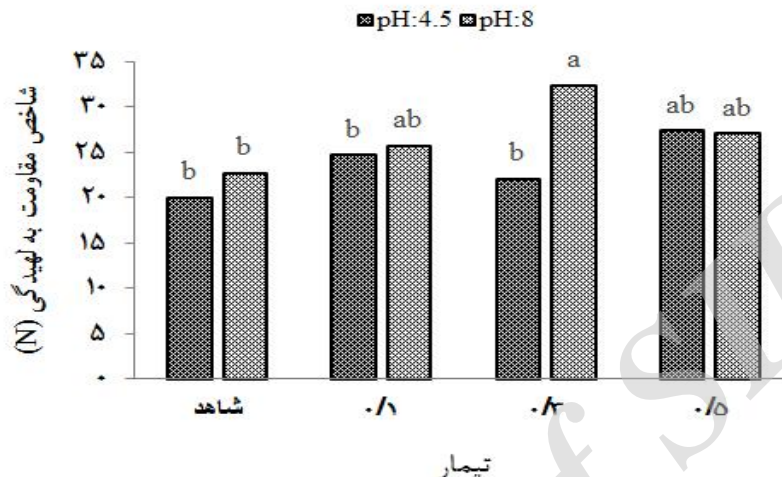


شکل ۴- مقادیر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده ۸ و ۴/۵ pH

مقاومت به لهیدگی

اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود؛ به نحوی که بیشترین مقاومت به لهیدگی مربوط به کاغذ تیمار شده در pH: ۸ و در سطح آنزیمی ۰/۳٪ و کمترین میزان مربوط به کاغذ شاهد در pH: ۴/۵ می‌باشد.

بر اساس شکل ۵ نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که با تیمار آنزیمی در هر دو سطح pH اسیدی و قلیایی، بین تیمارهای مختلف به لحاظ مقاومت به لهیدگی در سطح



شکل ۵- مقادیر شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذهای تیمار شده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده ۸ و pH: ۴/۵

جذب آب خمیر را کاهش می‌دهد، به همین دلیل تیمار سطح ۰/۱ درصد درجه‌روانی بیشتری را نشان داده است. ولی با افزایش مصرف آنزیم سلولاز به ۰/۵ درصد به دلیل تأثیر بیشتر آنزیم روی الیاف و تولید نرمه‌های بیشتر در خمیر موجب افزایش قابلیت جذب آب و در نتیجه کاهش درجه‌روانی شده است. به‌طور کلی تیمارهای آنزیمی درجه‌روانی بیشتری را در مقایسه با خمیر شاهد نشان داده است.

مقاومت کششی به‌طور مستقیم نمایانگر دوام و چگونگی کارکرد نهایی کاغذهایی مانند کاغذ بسته‌بندی، کاغذ کیسه و کاغذ چاپ می‌باشد (Afra, 2005). مقاومت کششی یکی از مهمترین مقاومت‌های کاغذ است که آن را در برابر تنش‌های کششی که به آن وارد می‌شود، حفظ می‌کند. در شکل ۲ بالاترین شاخص مقاومت کششی کاغذ دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز سطح مصرف ۰/۵٪ در pH: ۸ می‌باشد و کمترین مقدار آن مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد است. تیمار آنزیمی باعث انعطاف‌پذیری الیاف سلولزی می‌گردد، همچنین

بحث

درجه‌روانی و خصوصیات مقاومتی کاغذ

سرعت آبدگیری خمیر به معنای سرعت خروج آب طی تشکیل کاغذ، سرعت عملیات ماشین کاغذ را تعیین می‌کند. این حالت در مورد درجه‌روانی الیاف بازیافتی مهم است، زیرا خمیرهای بازیافتی درجه‌روانی خیلی کمتری از الیاف بکر دارند (Pala et al., 2001). نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر درجه‌روانی تیمارهای آنزیمی نشان می‌دهد که آنزیم با هیدرولیز انتخابی نرمه‌ها و میکروفیبریل‌های سطح الیاف موجب بهبود درجه‌روانی می‌شود (Olejnik et al, 2016; Park et al, 2002). در این تحقیق بالاترین مقدار درجه‌روانی کاغذ دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۱٪ در pH: ۴/۵ می‌باشد و کمترین مقدار درجه‌روانی مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۵٪ در pH: ۸ می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که در غلظت ۰/۱ درصد تیمار آنزیمی سلولاز، آنزیم با هیدرولیز لایه بیرونی و زدودن نرمه‌ها قابلیت

افزایش پرزدار شدن و فیبریلایون الیاف موجب افزایش و بهبود اتصالات می‌شود. تیمار آنزیمی با حذف بیشتر ذرات آب‌گریز، سبب افزایش سطح موجود برای ایجاد پیوندهای جدید بین الیاف بازیافتی می‌شود (Khoshnevisan *et al.*, 2017). با افزایش غلظت آنزیم مصرف شده از ۰/۱ به ۰/۵ درصد، شاخص مقاومت کششی کاغذ بهبود یافته‌است که دلیل عمده آن این است که در غلظت‌های بیشتر آنزیم مصرفی، فیبریل شدن الیاف بهتر انجام شده است؛ در نتیجه با افزایش آب‌دوستی الیاف، اتصال بین الیاف بهبود و شاخص مقاومت کششی افزایش می‌یابد.

طول الیاف و اتصال بین الیاف پارامترهای مؤثر بر مقاومت به ترکیدگی کاغذ می‌باشند. اگرچه با افزایش طول الیاف مقاومت به ترکیدگی کاغذ افزایش می‌یابد، اما مقاومت به ترکیدگی بیشتر به اتصال بین الیاف بستگی دارد. در شکل ۳ روند افزایشی شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز تیمار شده با آنزیم سلولاز در هر دو pH می‌تواند به این علت باشد که تیمار آنزیمی باعث افزایش فیبریل شدن الیاف می‌گردد و با جداسازی و تفکیک بهتر ذرات مرکب، تعداد اتصال بین الیاف بیشتر می‌شود. در نتیجه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ بهبود می‌یابد. شواهد بالا با نتایج به‌دست آمده توسط گاما و همکاران مطابقت دارد (Gama *et al.*, 2006).

طول الیاف فاکتور بسیار مهمی در مقاومت به پاره‌شدن کاغذ است. با افزایش طول الیاف مقاومت به پاره‌شدن کاغذ افزایش می‌یابد، چون افزایش طول الیاف، به‌منزله افزایش طول لازم برای کندن و جداسازی الیاف است. فاکتور دیگری که تأثیر زیادی روی مقاومت به پاره‌شدن دارد انعطاف‌پذیری الیاف است. در این تحقیق بالاترین مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۱٪ در pH: ۴/۵ می‌باشد و کمترین مقدار شاخص مقاومت به پاره‌شدن مربوط به تیمار آنزیمی سلولاز در سطح مصرف ۰/۵٪ در pH: ۸ است. از دلایل افزایش مقاومت به پاره‌شدن می‌توان به این نکته اشاره کرد که تیمار آنزیمی انعطاف‌پذیری الیاف را افزایش داده و باعث ایجاد پیوندهای جدید بین فیبری شده و در نتیجه شاخص مقاومت به پاره‌شدن

الیاف سلولزی بهبود یافته‌است. در توجیه آن می‌توان گفت که در غلظت ۰/۱٪ تیمار آنزیمی سلولاز شاخص مقاومت به پاره‌شدن افزایش پیدا کرده است، اما با افزایش غلظت آنزیم تا سطح ۰/۳٪ و ۰/۵٪ تغییری در میزان شاخص مقاومت به پاره‌شدن ایجاد نشده است، اما در pH: ۸ شاخص مقاومت به پاره‌شدن تیمار آنزیمی سلولاز کاهش یافته که حتی از مقاومت به پاره‌شدن کاغذهای شاهد هم کمتر می‌باشد. در توجیه آن می‌شود گفت با بیشینه آنزیم و در pH بالا، نسبت الیاف کوتاه بالا رفته و باعث کاهش مقاومت به پاره‌شدن کاغذها نسبت به کاغذهای شاهد شده است. شواهد بالا با نتایج به‌دست آمده توسط Chandra & Ragauskas (۲۰۰۱) مطابقت دارد. مقاومت به لهیدگی به سفتی کاغذ و الیاف نسبت داده شده است. ضخامت دیواره الیاف خمیر باعث می‌شود که کاغذ حاصل از آن مقاومت لهیدگی بالایی داشته باشد. در واقع هرچه دیواره الیاف ضخیم‌تر باشد الیاف مقاومت بیشتری دارند (Kasmani *et al.*, 2014). مطابق شکل ۵ بالاترین شاخص مقاومت به لهیدگی کاغذ دست‌ساز مربوط به تیمار آنزیمی در سطح مصرف ۰/۳٪ در pH: ۸ می‌باشد. از آنجاکه مقاومت به لهیدگی به سفتی الیاف خمیر بستگی دارد، تیمار آنزیمی خمیر باعث افزایش مقاومت لهیدگی لایه کنگره‌ای کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد می‌گردد؛ اما با افزایش مصرف آنزیم، مقدار مقاومت کاهش نشان می‌دهد؛ که دلیل اصلی آن منعطف‌تر شدن بیشتر الیاف و کاهش سختی الیاف می‌باشد. همچنین کمترین مقدار شاخص مقاومت به لهیدگی مربوط به کاغذ دست‌ساز شاهد است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر عامل pH خمیر کاغذ OCC در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبگیری (درجه روانی) و ویژگی‌های مقاومتی آن مطالعه گردید. نتایج نشان داد، تیمار آنزیمی خمیر کاغذ OCC با سلولاز موجب تغییر و افزایش درجه روانی خمیر کاغذ می‌شود، همچنین در pH اسیدی به‌طور نسبی افزایش بیشتر درجه روانی پس از تیمار با آنزیم سلولاز مشاهده شد. در مورد آزمون‌های مقاومتی نتایج نشان داد با افزایش

- Kasmani, J., Samariha, A. and Nemati, M., 2014. Effect of mixing different content of OCC pulp on NSSC pulp strength. *Biological resources*, 9(3):5480-5487.
- 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.
- Khosravani, A., Asadollahzadeh, M., Rahmaninia, M., Bahramifar, N. and Azadfallah, M., 2016. The effect of external and internal application of organosilicon compounds on the hydrophobicity of recycled OCC paper. *BioResources*.
- Olejnik, K., Stanislawski, A. and Wysocka Robak, A., 2016. *Handbook of sustainable polymers. structure and chemistry*, Chapter:2.
- Manfared, M.H.A., Resalati, H., Ghasemian, A. and Hubbe, M.A., 2016. Passivation of pressure sensitive adhesive stickies by addition of acrylic fiber to OCC pulp before paper making. *Tappi Journal*, 15(10):631-639.
- Mirshokraei, S.A., 2001. *Guid to Waste Paper*. Aeizh Press, Tehran, Iran, 140p. (Translaed In Persian).
- Mirshokraei, S.A., 2009. (In the translation of pulp and paper technology, Esmok, G) the author (second edition, Tehran, ayig publishing), 503p.
- Pala, H., Mota, M. and Gama, FM., 2001. Laboratory deinking experiments using mixed office wastepaper, photocopy and laser prints: Chemical and enzymatic proceures. 8th International conference on biotechnology in the pulp and paper industry.
- 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 of chemical Engineering*, 19(2):285-289.
- Rahmaninia, M., Mirshokrai, A., Ebrahimi, Gh. and 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.
- Singh, S., Singh, V.K., Aamir, M., Dubey, M.K., Patel, J.S., Upadhyay, R.S. and Gupta, V.K., 2016. Cellulase in pulp and paper industry. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Chapter:13: 152-162p.
- Verma. P. and Bhardwaj, N.K. and Chakraborti, S.K., 2010. Enzymatic upgradation of secondary fibers. *Journal of Ippata*, 22(4):133-136.
- مصرف آنزیم سلولاز، شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن افزایش یافته‌است؛ به طوری که در pH برای شاخص مقاومت به پارگی خمیر کاغذ OCC، فقط در مقادیر کم مصرف آنزیم سلولاز و در pH اسیدی افزایش مقاومت دیده شده ولی با افزایش مصرف آنزیم کاهش مقاومت به پارگی دیده شد؛ همچنین برای مقاومت به لهیدگی، روند مشخص و منطقی در مورد مقدار مصرف آنزیم و pH بر عملکرد آنزیم مشاهده نشد.

منابع مورد استفاده

- Aehle, w., 2007. *Enzymes in Industry Production and Applications*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. k Ga A. weinheim, 517p.
- 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*, 11:2-32.
- Barati, B. and Amiri, S., 2015. In silico engineering of disulphide bonds to produce stable cellulose. *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*.
- Biotechnologu industry organization, 2002. New biotech tools for a cleaner environment industrial biotechnolog for pollution prevention, resource conservation, and cost reduction. www.bio.org.
- Buzata, K.P., Przybysz, P., Kalinowska, H. and Derkowska, M., 2016. Effect of cellulose and xylanases on refining process and kraft pulp properties. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 11(8):e0161575.
- Chandra, R.P. and Ragauskas, A.J., 2001. *Tappi Pulping Conference*, Tappi Press, Atlanta.
- Gama, M., Pala, H. and Mota, M., 2006. Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. *Enzyme and microbial technology*, 38: 81-87.
- Herlet, J., Kornberger, P., Roessler, B., Glanz, J., Schwarz, W.H. and Zverlor, V.V., 2017. A new method to evaluate temperature vs. pH activity profiles for biotechnological relevant enzymes. *Biotechnology Biofuels*, 10(234).12p.
- Kang, T. and Paulapuro, H., 2004. New mechanical treatment for chemical pulp. *Procces Progress in Paper Physics Seminar, Trondheim, Norway*, 11-13.
- Jacobs, C.J., Gustafson, R. and Heiman, J.A., 2000. *Paper and timber*, 82:114-119.

Investigating the effect of pH on cellulase enzyme efficiency on the OCC pulp properties

Gh. Asadpour^{1*}, H. Boroshkian² and 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, Email:asadpur2002@yahoo.com

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

Received: May, 2018

Accepted: Sep., 2018

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of pH on cellulase enzyme activity measuring drainage and strength properties of OCC pulp. Recycled OCC pulp was pretreated at consistency 0.4 percent, in constant condition of temperature; 50°C, duration 1 hour and pH range of:4-4.5, 8-8.5 applying cellulase enzyme at three levels (0.1, 0.3 and 0.5 percent based on pulp dry weight). The results showed that pretreatment of cellulase enhances the freeness of pulp in comparison with the control samples, but by increasing the concentration of enzyme, the freeness of pulp was reduced in pH:4-4.5 the highest freeness was measured at the level of 0.1 percent and in pH:8-8.5 at the level of 0.3 percent. Also, papers were evaluated for strength properties. The results showed that the increase in the use of cellulase enzyme has increased the tensile and burst strength index. As, in the alkaline pH, the effect of the cellulase enzyme on the increase of these strength was higher than the acid pH. The OCC pulp tear strength index, only in low levels of cellulase enzyme and in acidic pH, increased strength was observed, but with increasing enzyme consumption, there was a decrease in tear strength. Also, for strength to crushing, there was no specific trend regarding the amount of enzyme and pH on enzyme function.

Keywords: OCC pulp, cellulase enzyme, freeness, pH effect