فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۳، شماره ۳، صفحه ۳۹۰- ۳۸۱ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2018.121405.1470

بررسی تأثیر pH در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص خمیرکاغذ OCC

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

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- 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

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۷

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر pH در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبگیری و مقاومتی خمیرکاغذ OCC است. خمیرکاغذ بازیافتی OCC با درصد خشکی ۴ درصد، در شرایط ثابت درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت‌زمان ۱ ساعت و محدوده pH اسیدی (۴/۵-۴) و قلیایی (۸/۵-۸) با آنزیم سلولاز در سه سطح ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ درصد (بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ) پیش‌نیاز شدند. نتایج نشان داد پیش‌تیمار آنزیمی سلولاز موجب افزایش درجه‌روانی خمیرکاغذ 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 خمیرکاغذ کاهش یافت. در pH:۴/۵-۴ بیشترین درجه‌روانی در سطح ۰/۱ درصد و در pH:۸/۵-۸ 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 ترکیدن افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در pHهای قلیایی تأثیر آنزیم سلولاز بر افزایش این مقاومت‌ها بیشتر از pH اسیدی بود. شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذ OCC، فقط در مقادیر کم‌مصرف 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: خمیرکاغذ OCC، آنزیم سلولاز، درجه‌روانی، تأثیر pH.

مقدمه

کاغذ ماده‌ای ورقه‌ای ساخته‌شده از شبکه‌ای از الیاف طبیعی سلولزی که با ته‌نشینی از یک تعلیق آبی تشکیل‌شده 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 بیش 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 خمیرکاغذ دست اول، نقش بسیار مهمی را در صنعت کاغذسازی ایفا می‌کنند؛ به‌طوری‌که امروزه در بسیاری از

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 مطرح‌شده 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 به‌عبارتی 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 انجام‌شده است. در حال حاضر روش‌های شناخته‌شده در بهبود درجه‌روانی 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; Manfared *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 زیست‌محیطی 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 به‌فردی به‌منظور 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 به‌دلیل بی‌خطر بودن از نظر زیست‌محیطی، برای بهبود فرایندهای تولید توجه جهانی را به خود جلب کرده است. آنزیم‌ها به‌عنوان ترکیبات طبیعی مزیت مهمی در فرایند خمیرکاغذسازی دارند و به‌عنوان فراورده‌های سبز، اثر زیست‌محیطی بسیار کمی داشته‌اند. تیمار آنزیمی قبل از پالایش میزان نیازمندی به انرژی ویژه و تولید نرمه را کاهش داده و تیمار بعد از پالایش قابلیت زهکشی خمیرکاغذ بازیابی شده را بهبود می‌دهد؛ درنتیجه 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 سلولاز۱، همی‌سلولاز۲ و پکتیناز۳ 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

1- Cellulase
2- Hemicellulase
3- Pectinase

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 میکروارگانیسم‌ها 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 به‌ترتیب بر روی سلولز و همی‌سلولز عمل می‌کنند. در مخلوط آنزیمی، آنزیم‌های سلولاز به جای الیاف بلند، ترجیحاً به نرمه‌ها حمله کرده، درنتیجه این وضعیت الیاف بلند را از شرایط هیدرولیز شدید محافظت می‌کند و موجب بهبود درجه‌روانی می‌شود؛ درنتیجه آبگیری 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 درجه-روانی 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 ۲± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. بعد از گذشت مدت‌زمان فوق، 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 میکروارگانیسم 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 دریچه تخلیه دستگاه باز و آب خروجی از لوله جانبی درون ظرف جمع‌آوری شد. این حجم آب معرف میزان درجه‌روانی خمیرکاغذ برحسب میلی‌متر CSF است. پس از اندازه‌گیری دمای آب با کمک جدولهای تصحیح، درجه-روانی واقعی خمیرکاغذ مشخص شد.

آماده‌سازی خمیر برای اضافه کردن آنزیم

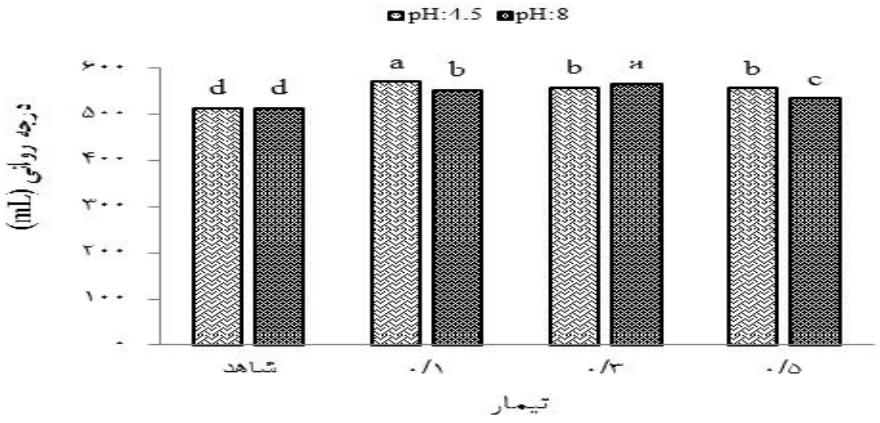
مقدار ۲۴ گرم خمیرکاغذ بازیافتی کهنه (OCC) بر مبنای خشک برداشته شد و در بشر مخصوص با آب‌مقطر به درصد خشکی مورد نظر (۴٪) برای اضافه کردن آنزیم سلولاز آماده‌سازی شد.

نحوه انجام پیش‌نیاز آنزیمی

ابتدا خمیر آماده‌شده با اضافه کردن اسیدسولفوریک (H_2SO_4) به pH مورد نظر (۵/۵-۴/۵) رسید و به درون حمام آب گرم منتقل شد تا به دمای ۵۰-۴۵ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس ۱cc آنزیم سلولاز، در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر 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 به‌مدت یک ساعت عمل پیش پالایش آنزیمی روی آن انجام شد و محتویات بشرها هر ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس pH اندازه‌گیری شد و با آب‌مقطر 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 (۸/۵-۸) انجام شد. از تیمارهای مشخص‌شده، تعدادی کاغذ دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد T205 om-88 آیین‌نامه TAPPI ساخته شد و بعد بر اساس آئین‌نامه‌های 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 براساس 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 تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.



شکل ۱- مقادیر درجه روانی خمیرهای OCC تیمارشده با سطوح مختلف آنزیم سلولاز در محدوده ۸ و pH:۴/۵

نتایج

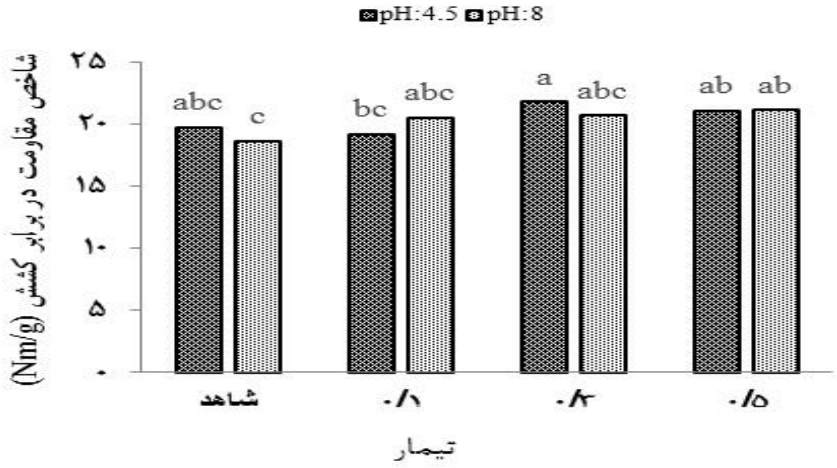
درجه‌روانی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در هر دو pHاسیدی و قلیایی، تیمار آنزیمی باعث افزایش درجه‌روانی خمیرکاغذ می‌شود. طبق گروه‌بندی آزمون دانکن تیمارها در چهار گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف از نظر درجه‌روانی خمیرکاغذ در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار مربوط به pH:۴/۵ در سطح آنزیمی ۰/۱٪ (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 ۰/۳٪ و کمترین آن مربوط به کاغذ شاهد در pH:۸ می‌باشد.



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

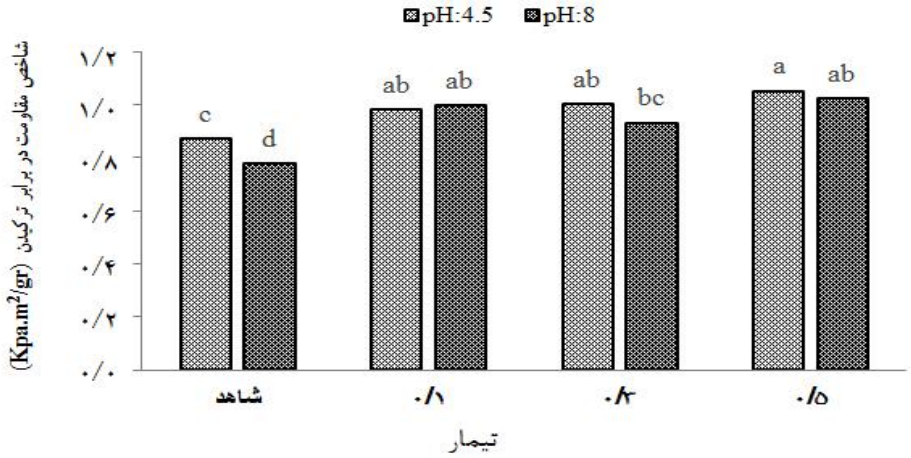
شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

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؛ به‌طوری‌که 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.

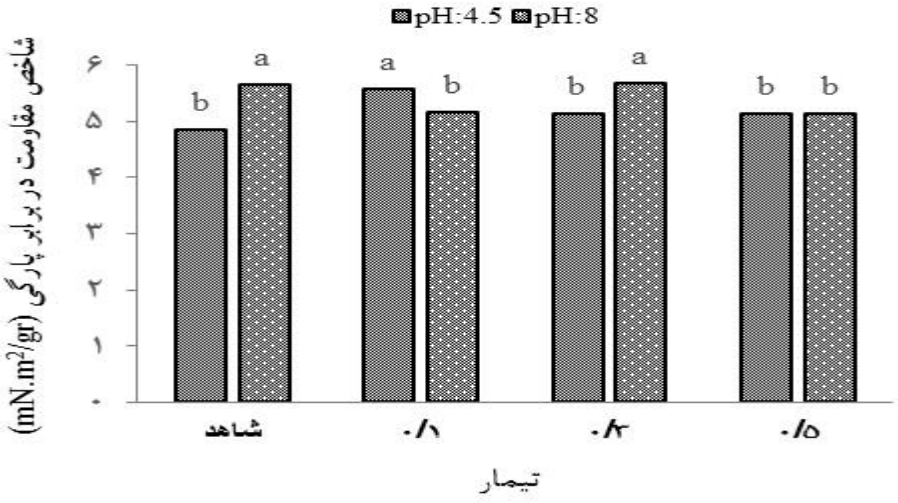
شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن

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

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 نظر مقاومت به پارگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری 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.



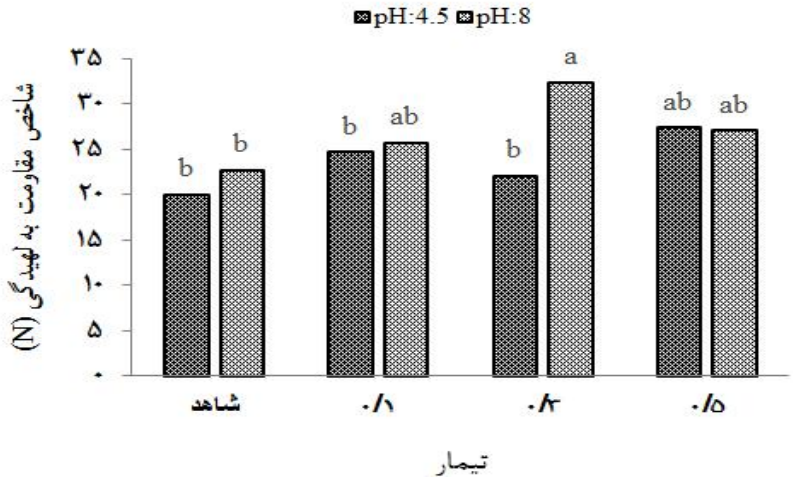
شکل ۳- مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای تیمارشده با سطوح مختلف آنزیمی سلولاز در محدوده ۸ و pH:۴/۵



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

مقاومت به لهیدگی

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 اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود؛ به‌نحوی‌که 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.



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

بحث

درجه‌روانی و خصوصیات مقاومتی کاغذ

سرعت آبگیری 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 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 درنتیجه کاهش درجه‌روانی شده است. به‌طورکلی 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

افزایش پرزدار شدن و فیبریلاسیون 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، فیبریله شدن الیاف بهتر انجام شده است؛ درنتیجه 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 به‌این‌علت باشد که تیمار آنزیمی باعث افزایش فیبریله شدن الیاف می‌گردد و با جداسازی و تفکیک بهتر ذرات مرکب، تعداد اتصال بین الیاف بیشتر می‌شود. درنتیجه 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 درنتیجه شاخص مقاومت به پاره‌شدن الیاف سلولزی بهبود یافته است. در توجیه آن می‌توان گفت که در غلظت ۰/۱٪ تیمار آنزیمی سلولاز شاخص مقاومت به پاره‌شدن افزایش پیداکرده 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 کاهش‌یافته 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 به‌دست‌آمده توسط Chandra & Ragauskas (۲۰۰۱) مطابقت دارد.

مقاومت به لهیدگی به سفتی کاغذ و الیاف نسبت داده‌شده است. ضخامت دیواره الیاف خمیر باعث می‌شود که کاغذ حاصل از آن مقاومت لهیدگی بالایی داشته باشد. درواقع 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. ازآنجاکه مقاومت به لهیدگی به سفتی الیاف خمیر بستگی دارد، تیمار آنزیمی خمیر OCC 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 خمیرکاغذ OCC در عملکرد آنزیم سلولاز بر خواص آبگیری (درجه‌روانی) و ویژگی‌های مقاومتی آن مطالعه گردید. نتایج نشان داد، تیمار آنزیمی خمیرکاغذ OCC با سلولاز موجب تغییر و افزایش درجه‌روانی خمیرکاغذ می‌شود، همچنین در pH اسیدی به‌طور نسبی افزایش بیشتر درجه‌روانی پس از تیمار با آنزیم سلولاز مشاهده شد. در مورد آزمون‌های مقاومتی نتایج نشان داد با افزایش

مصرف آنزیم سلولاز، شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن افزایش یافته‌است؛ به‌طوری‌که در pHهای قلیایی تأثیر آنزیم سلولاز بر افزایش این مقاومت‌ها بیشتر از pH اسیدی بوده است. برای شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذ OCC، فقط در مقادیر کم‌مصرف آنزیم سلولاز و در pH اسیدی افزایش مقاومت دیده‌شده ولی با افزایش مصرف آنزیم کاهش مقاومت به پارگی دیده‌شد؛ 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, Trondhcim, Norway,11-13.

-Jacobs, C.J., Gustafson, R. and Heiman, J.A., 2000. Paper and timber, 82:114-119.

-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., Stanislawska, 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 procepures. 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 Ippta, 22(4):133-136.

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

Gh. Asadpour[1*], H. Boroshkian[2] and 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, 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