

تأثیر تیمار آنزیمی بر جوهرزدایی کاغذ مجله پوشش دار باطله در محیط خشتی

محمد طلایی پور^{۱*} و نادر مایلی^۲

*^۱ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. نویسنده مسؤل: m.talaeipoor@srbiau.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۴/۱۹

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تیمار آنزیمی بر خصوصیات مکانیکی کاغذ ساخته شده از خمیر کاغذ جوهرزدایی شده از کاغذ باطله مجله پوشش دار انجام گرفت. به این منظور پس از تهیه نمونه‌های آزمونی، عملیات خمیرسازی در درصد خشکی ۴ درصد، به مدت ۲/۵ دقیقه، در pH خنثی و تحت تأثیر دو تیمار آنزیمی سلولاز و ترکیب سلولاز/لیباز در دو دمای ۲۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. پس از تهیه خمیر کاغذها، مرحله جوهرزدایی به روش شستشو و بر روی الک با مش ۱۲۰ انجام گردید. در ادامه و پس از ساخت کاغذ دست‌ساز، اثر تیمار آنزیمی بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای ساخته شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها نشان داد که تیمار آنزیمی به غیر از مقاومت به پارگی، سبب افزایش ویژگی‌های مکانیکی کاغذ دست‌ساز می‌شود. نتایج درجه روانی خمیر کاغذها نشان داد که تیمار آنزیمی باعث کاهش مقدار درجه روانی خمیر کاغذ می‌شود. همچنین افزایش دما در تیمارهای آنزیمی سبب کاهش بیشتر مقدار درجه روانی خمیر شد.

واژه‌های کلیدی: تیمار آنزیمی، کاغذ باطله مجله پوشش دار، سلولاز، لیباز، مقاومت به پارگی.

مقدمه

آورده‌اند. اخیراً محققان برای حل این مشکل موفق به ارایه شیوه‌ای جدید برای پاک‌سازی کاغذهای مورد بازیافت به کمک عوامل زیستی شدند. این شیوه که در آن از آنزیم‌ها استفاده می‌شود، به دلیل کارایی بالا و آلودگی کم مورد توجه محققان قرار گرفته است (Mohandass & Raghukumar, 1996; Sykes et al., 2002). بیوتکنولوژی (جوهرزدایی آنزیمی) پتانسیل لازم جهت افزایش کیفیت و تأمین ماده اولیه خمیر و کاغذ، کاهش هزینه‌های ساخت و فراهم آوردن محصولات جدید و با ارزش را داراست. فرآیندهای کنونی خمیرسازی نسبتاً غیرموثر و به لحاظ زیست‌محیطی مسأله‌دار هستند. از این‌رو نیاز به فرآیندهای جدید احساس می‌شود. تکنولوژی‌های

بازیافت کاغذهای باطله در مقیاس جهانی رشد قابل ملاحظه‌ای یافته است، به طوری که در حال حاضر بیش از یک‌سوم کاغذ و مقوای تولید شده در جهان از خمیر کاغذ بازیافتی ساخته می‌شود (McKinney, 1995). مهمترین بخش از بازیافت کاغذهای باطله، مرحله جوهرزدایی می‌باشد. شیوه‌های رایج جوهرزدایی مقادیر بسیاری ماده شیمیایی مصرف می‌کند که از لحاظ زیست‌محیطی به جهت مشکلاتی که پساب کارخانه تولید می‌کند و هم از لحاظ اقتصادی دارای مشکلات فراوانی است. از این‌رو کارخانه‌های بازیافت کاغذهای باطله به روش‌های دوست‌دار محیط‌زیست و کم هزینه‌تر روی

است. همچنین، نرخ آبگیری برای خمیر شاهد و خمیر تیمار شده به ترتیب ۲۰ و ۱۶ SR به دست آمد که کاهش در مقدار SR نشان از بهبود آبگیری خمیر دارد. کاهش نرخ آبگیری در خمیرهای تیمار شده با آنزیم، باعث سرعت بیشتر در ماشین کاغذ و در نتیجه صرفه‌جویی در انرژی و هزینه می‌شود.

Sykes *et al.* (1996) عنوان کردند که استفاده از یک مرحله پیش‌تیمار آنزیمی برای حذف بیشتر ذرات جوهر موثر است. نتایج نشان داد که یک مرحله پیش‌تیمار آنزیمی نقش معنی‌داری در بهبود حذف ذرات جوهر و همچنین افزایش ویژگی‌های مقاومتی دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار آنزیمی نه تنها به حفظ اتصالات بین فیبری کمک کرده، بلکه سبب افزایش استحکام پیوندهای بین الیاف نیز شده است.

Welt & Dinus (1994) طی تحقیقی در مورد جوهرزدایی آنزیمی عنوان کردند که افزایش pH خمیر از ۴/۷ به ۸ در کاغذ روزنامه، باعث کاهش فعالیت آنزیم و کاهش میزان روشنی خمیر جوهرزدایی شده می‌شود. همچنین یک مرحله غوطه‌وری کاغذ روزنامه به همراه آنزیم قبل از عملیات خمیرسازی به مدت ۱۰ دقیقه مفید گزارش شده است. غوطه‌وری خمیری روشن‌تر و مقاوم‌تر نسبت به نمونه شاهد می‌دهد. البته غوطه‌وری طولانی مدت سبب کاهش درجه روشنی به دلیل کاهش اندازه ذرات جوهر می‌شود. جوهرزدایی آنزیمی پیوندهای بین الیاف و جوهر را ضعیف کرده و جداسازی آسان‌تری در شناورسازی صورت می‌گیرد. افزایش و بهبود پیوندهای بین الیاف و افزایش درجه روانی خمیر نیز در تیمار آنزیمی گزارش شده است.

جدید آنزیمی قادر به کاهش دادن مشکلات زیست محیطی و اصلاح خصوصیات فیبر هستند (Mohandass & Raghukumar, 2002). اهداف اولیه در بازیافت کاغذ، جوهرزدایی و رنگ‌بری الیاف (سفیدسازی) و حذف ذرات جوهر، تونرها و دیگر آلاینده‌ها از الیاف ضمن ثابت نگهداشتن و حتی بهبود خواص مقاومتی و ظاهری الیاف سلولز می‌باشد. آنزیم‌ها می‌توانند با امکان‌پذیر ساختن حذف بیشتر آلاینده‌ها و سهولت جداسازی در فرآیندهای شستشو و شناورسازی، به منظور افزایش شدت آبگیری و افزایش استحکام پیوندی در الیاف بازیافتی مورد استفاده قرار گیرند.

هدف از این تحقیق، بررسی تیمارهای مختلف آنزیمی بر ویژگی‌های مکانیکی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده از کاغذ باطله مجله پوشش‌دار می‌باشد. در راستای موضوع و اهداف این تحقیق، مطالعاتی انجام شده که هر یک به مسایلی در مورد جوهرزدایی آنزیمی و اثر آن بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای ساخته شده پرداخته‌اند.

Mohandass & Raghukumar (2002) طی تحقیقی در مورد جوهرزدایی کاغذ پرینت لیزری با روش فناوری زیستی و با استفاده از آنزیم‌ها عنوان کردند که مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی خمیرهای تیمار شده با آنزیم و خمیرهای شاهد، نشان داد که تیمار آنزیمی سبب بهبود خواص مکانیکی خمیر کاغذ شده است. شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی برای خمیر شاهد به ترتیب 6.8 N.m/g ، 6 kPa.m^2 و 0.24 و $6.37 \text{ mNm}^2/\text{g}$ و برای خمیر تیمار شده با آنزیم به ترتیب 10.90 ، 0.45 و 3.46 به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که در خمیرهای تیمار شده با آنزیم شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن افزایش و شاخص مقاومت به پارگی کاهش یافته

Jeffries *et al.* (1998) در تحقیقی با عنوان حذف تونرها از کاغذهای باطله اداری به وسیله آنزیم سلولاز، به بررسی ویژگی‌های اپتیکی و مکانیکی کاغذهای ساخته شده پرداختند. نتایج نشان داد که اثر تیمار آنزیمی بر روی خواص مکانیکی معنی‌دار است و سبب افزایش مقاومت به کشش، مقاومت به پارگی درونی و مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته شده از خمیر جوهرزدایی شده می‌شود.

اگر چه در مورد جوهرزدایی متداول کار زیادی انجام شده، ولی در مورد جوهرزدایی آنزیمی تحقیقات کافی موجود نیست. به علاوه در تحقیقات گذشته جوهرزدایی آنزیمی، بیشتر خواص نوری مورد بررسی قرار گرفته و خواص مکانیکی کمتر مورد توجه بوده است. در این تحقیق سعی شده نقش تیمارهای آنزیمی به صورت جدا و در ترکیب باهم و نیز اثر دما بر تیمارهای آنزیمی و بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای ساخته شده مورد بررسی قرار گیرد. همچنین تأثیر آنزیم‌ها بر میزان درجه روانی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده و رابطه آن با ویژگی‌های مکانیکی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از کاغذهای باطله مجله پوشش‌دار به ابعاد تقریبی ۲×۲ سانتی‌متر تهیه شد. بعد از قرارگیری در شرایط آزمایشگاه و رسیدن به رطوبت تعادل، میزان رطوبت نمونه‌ها تعیین شد و عملیات خمیرسازی در درصد خشکی ۴ درصد و در خمیرساز آزمایشگاهی به مدت ۲/۵ دقیقه با دور آهسته و تحت تأثیر دو تیمار آنزیمی سلولاز و ترکیب سلولاز/لیپاز انجام پذیرفت (مقدار مصرف آنزیم سلولاز و لیپاز ۰/۱ درصد و بر

اساس وزن خشک خمیر محاسبه شد). بعد از انجام عملیات خمیرسازی به منظور تأثیر تیمار آنزیمی و همچنین بررسی تأثیر دما بر تیمار آنزیمی، خمیر کاغذها به مدت ۳۰ دقیقه در دو دمای ۲۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداشته شدند. برای اعمال دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد از حمام آب داغ استفاده گردید. جوهرزدایی نمونه‌ها به روش شستشو بر روی الک با مش ۱۲۰ و به مدت ۲ دقیقه انجام شد.

اندازه‌گیری درجه روانی خمیر کاغذها بر اساس استاندارد TAPPI و دستورالعمل T227om-97 انجام گرفت. بعد از تعیین درجه روانی خمیر کاغذها، کاغذهای دست‌ساز ساخته شد.

ساخت کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه تقریبی ۷۰ گرم بر متر مربع بر اساس استاندارد شماره T205om-88 آیین‌نامه TAPPI و دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز^۱ انجام گرفت. پس از ساخت کاغذهای دست‌ساز و تعیین وزن پایه آنها، خواص مکانیکی کاغذهای دست‌ساز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در جدول ۱ روش‌های استانداردهای مورد استفاده آورده شده است.

^۱ LabTech Semi Automatic Sheet Machine

جدول ۱. استاندارد های اندازه گیری خواص مکانیکی کاغذ های دست ساز

شماره استاندارد	خواص مکانیکی کاغذ
TAPPI, T ۴۰۳ om - ۹۱	مقاومت به ترکیدن
TAPPI, T ۴۱۴ om ۸۸	مقاومت در برابر پاره شدن
TAPPI, T ۴۹۸ om - ۸۸	طول پاره شدن
TAPPI, T ۴۹۴ om - ۸۸	مقاومت به کشش
TAPPI, T ۴۹۴ om - ۸۹	شقی کششی

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی های مکانیکی کاغذ های تیمار شده و شاهد

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
مقاومت به ترکیدن	بین گروهی	۲	۲۲۴/۶۹۴	۲/۹۶۵	۰/۰۳۵*
	درون گروهی	۳۳	۷۵/۷۸۳		
	کل	۳۵	۲۹۵۰/۲۲۲		
مقاومت به پارگی	بین گروهی	۲	۹۶۲۷/۵۲۸	۶/۵۹۰	۰/۰۰۴*
	درون گروهی	۳۳	۱۴۶۰/۹۲۷		
	کل	۳۵	۶۷۴۶۵/۶۳۹		
مقاومت به کشش	بین گروهی	۲	۷/۹۳۳	۳/۰۹۶	۰/۰۴۵*
	درون گروهی	۱۵	۲/۵۶۲		
	کل	۱۷	۵۴/۳۰۰		
شقی کششی	بین گروهی	۲	۲۵۹۸/۱۴۰	۵/۵۸۱	۰/۰۱۵*
	درون گروهی	۱۵	۴۶۵/۵۷۲		
	کل	۱۷	۱۲۱۷۹/۸۶۰		
طول پاره شدن	بین گروهی	۲	۰۵۶/	۲/۳۹۰	۰/۱۲۶ ^{ns}
	درون گروهی	۱۵	۰۲۴/		
	کل	۱۷	۰/۴۶۶		
درجه روانی	بین گروهی	۲	۱۷۸/۱۶۷	۱/۳۴۶	۰/۳۸۳ ^{ns}
	درون گروهی	۳	۱۳۲/۳۳۳		
	کل	۵	۷۵۳/۳۳۳		

معنی دار در سطح ۵٪*، عدم معنی داری ns

روش تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه داده ها و طرح کاملاً تصادفی انجام شد. همچنین مقایسه میانگین ها در سطح معنی داری $\alpha=0/05$ و به روش دانکن صورت گرفت.

نتایج

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود به غیر از درجه روانی و طول پاره شدن، تغییرات

خواص مکانیکی کاغذ های ساخته شده از خمیر شاهد و خمیر های آنزیمی معنی دار است.

آزمون مقاومت به ترکیدن^۱ کاغذ های دست ساز

برای مطالعه روند تغییرات مقاومت به ترکیدن از شاخص مقاومت به ترکیدن استفاده شد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می شود که تیمار آنزیمی با ترکیب سلولاز/ لپیز سبب بهبود مقاومت به

^۱ Burst strength

ترکیدن کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیرهای تیمار شده نسبت به نمونه کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیر شاهد شده است. از دلایل افزایش این مقاومت می‌توان به این نکته اشاره کرد که ترکیب این دو آنزیم بر فیبریلاسیون الیاف خمیر کاغذ اثر گذاشته و باعث بهبود پیوندهای بین فیبری شده است و همین امر سبب افزایش مقاومت به ترکیدن نمونه کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیرهای تیمار شده می‌شود. از طرفی تیمار آنزیمی با سلولاز، نه تنها به حفظ اتصالات بین فیبری کمک نکرده، بلکه باعث تضعیف پیوندهای بین فیبری نیز شده است. همان طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تغییرات دمایی تأثیر محسوسی بر روی روند تغییرات مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمار با سلولاز دارد. به طوری که افزایش دما در نمونه‌های تیمار شده با آنزیم سلولاز، باعث افزایش مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز شده است.

با توجه به نتایج آزمون دانکن که گروه‌بندی میانگین‌های مقاومت به ترکیدن هر کدام از تیمارها (خمیر شاهد، خمیر تیمار شده با سلولاز و خمیر تیمار شده با ترکیب سلولاز/لیپاز) را نمایش می‌دهد (جدول ۳). با توجه به اینکه این میانگین‌ها در دو ستون قرار گرفته‌اند، نشان‌دهنده داشتن اختلاف معنی‌دار بین این میانگین‌ها می‌باشد، پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز دارد. همچنین با توجه به قرار گرفتن میانگین‌های مربوط به دو تیمار آنزیمی در دو گروه متفاوت، می‌توان به این نکته اشاره کرد که نوع تیمار

آنزیمی نیز تأثیر معنی‌داری بر روی مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز دارد.

آزمون مقاومت به پارگی درونی^۱ کاغذهای

دست‌ساز

برای بررسی مقاومت به پارگی از شاخص مقاومت به پارگی استفاده شد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیرهای تیمار شده با آنزیم نسبت به نمونه خمیر شاهد کاهش نشان می‌دهد.

همچنین بیشترین کاهش در تیمار آنزیمی با سلولاز و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. از علل این کاهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که تیمار آنزیمی در هر دو دمای ۲۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد، نه تنها به بهبود اتصالات بین فیبری کمک نکرده، بلکه سبب ضعیف شدن پیوندهای بین الیاف بازیافتی نیز شده است.

با توجه به نتایج آزمون دانکن که گروه‌بندی میانگین‌های مقاومت به پارگی هر کدام از تیمارها (خمیر شاهد، خمیر تیمار شده با سلولاز و خمیر تیمار شده با ترکیب سلولاز/لیپاز) را نمایش می‌دهد (جدول ۴) اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها وجود دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز دارد. مقاومت به پارگی نمونه خمیرهای تیمار شده با آنزیم نسبت به خمیر شاهد کاهش نشان می‌دهد.

¹ Tear strength

جدول ۳- آزمون دانکن داده‌های مربوط به شاخص مقاومت به ترکیب کاغذهای دست‌ساز

گروه‌بندی		تعداد	آنزیم
۲	۱		
	۱۱۷/۱۶۶۷	۱۲	سلولاز
	۱۲۲/۴۱۶۷	۱۲	شاهد
۱۲۵/۷۵۰۰		۱۲	سلولاز / لیپاز
۳۵۵	۱۴۹		سطح معنی داری

جدول ۴. آزمون دانکن داده‌های مربوط به شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز

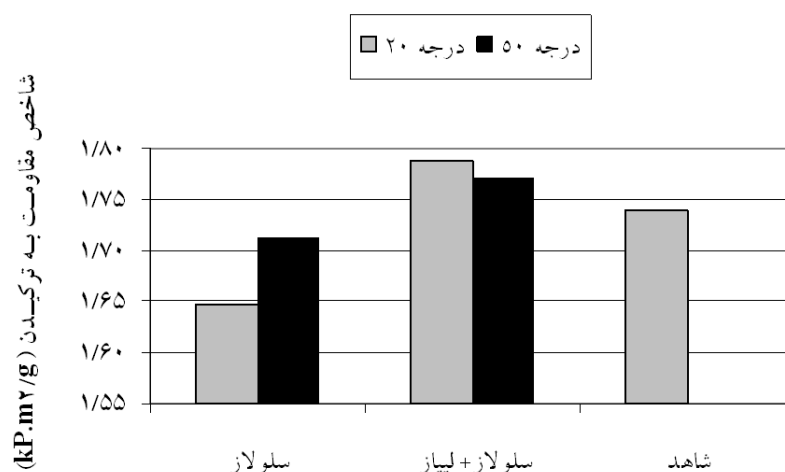
گروه‌بندی		تعداد	آنزیم‌ها
۲	۱		
	۳۸۳/۳۳۳۳	۱۲	سلولاز
	۴۰۱/۲۵۰۰	۱۲	سلولاز / لیپاز
۴۳۸/۸۳۳۳		۱۲	شاهد
۱/۰۰۰	۰/۲۵۹		سطح معنی داری

جدول ۵. آزمون دانکن داده‌های مربوط به شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز

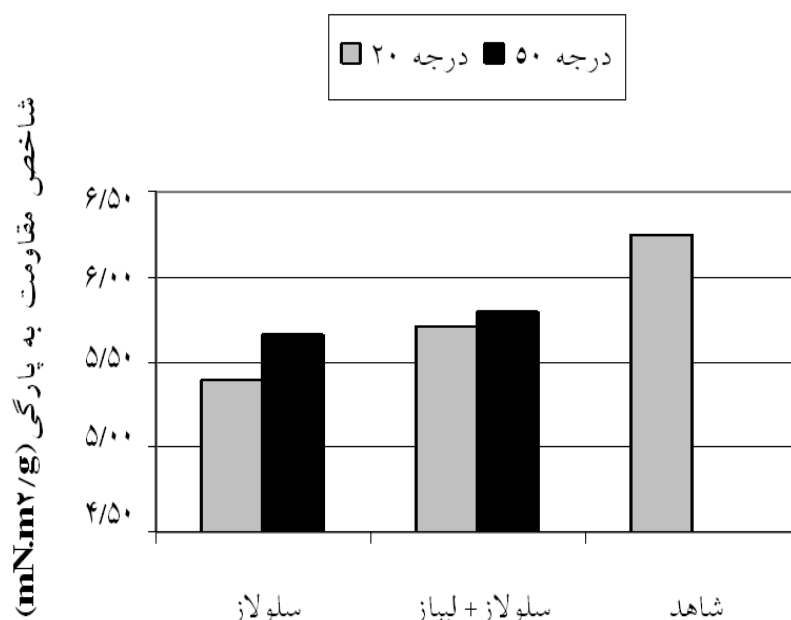
گروه‌بندی		تعداد	آنزیم‌ها
۲	۱		
	۴۸/۸۲۵۰	۶	شاهد
۵۰/۰۴۳۳		۶	سلولاز
۵۱/۱۲۳۳		۶	سلولاز / لیپاز
۰/۲۶۱	۰/۲۰۷		سطح معنی داری

جدول ۶. آزمون دانکن داده‌های مربوط به شقی کششی کاغذهای دست‌ساز

گروه‌بندی		تعداد	آنزیم‌ها
۲	۱		
	۴۴۶/۲۶۶۷	۶	شاهد
۴۷۶/۴۶۶۷		۶	سلولاز
۴۸۶/۱۶۶۷		۶	سلولاز / لیپاز
۰/۴۴۸	۱/۰۰۰		سطح معنی داری



شکل ۱. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز



شکل ۲. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز

درجه سانتی‌گراد باعث افزایش مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز تهیه شده گردیده است. البته با افزایش دما از ۲۰ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیرهای تیمار شده، افزایش بیشتری نشان می‌دهد. همچنین در تیمار آنزیمی با سلولاز و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار مقاومت به کشش مشاهده می‌شود.

آزمون مقاومت به کشش^۱ کاغذهای دست‌ساز
 برای بررسی مقاومت به کشش از شاخص مقاومت به کشش استفاده شد. با توجه به شکل ۳ و با بررسی میانگین‌های مقاومت به کشش نمونه‌های آزمون‌ی تهیه شده از کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرهای تیمار شده و شاهد، ملاحظه می‌شود که تیمار آنزیمی در دو دمای ۲۰ و ۵۰

^۱ Tensile strength

که در شکل ملاحظه می‌شود، تغییرات دمایی تأثیر یکسانی بر روی روند تغییرات شقی کششی کاغذهای دست‌ساز دارد، به طوری که در هر دو تیمار آنزیمی افزایش دما، باعث بهبود شقی کششی کاغذهای دست‌ساز شده است.

نتایج آزمون دانکن که گروه‌بندی میانگین‌های شقی کششی هر کدام از تیمارها (خمیر شاهد، خمیر تیمار شده با سلولاز و خمیر تیمار شده با ترکیب سلولاز / لپاز) را نمایش می‌دهد (جدول ۶)، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها وجود دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات شقی کششی کاغذهای دست‌ساز دارد. همچنین با توجه به قرار گرفتن میانگین‌های مربوط به دو تیمار آنزیمی در یک گروه، می‌توان به این نکته اشاره کرد که نوع تیمار آنزیمی تأثیر معنی‌داری بر شقی کششی کاغذهای دست‌ساز ندارد.

آزمون طول پاره شدن^۲ کاغذهای دست‌ساز

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که طول پاره‌شدن کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرهای تیمار شده با آنزیم نسبت به کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیر شاهد افزایش نشان می‌دهد. همچنین در تیمار آنزیمی با سلولاز و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار طول پاره شدن مشاهده می‌شود.

به نظر می‌رسد فیبریلاسیون حاصل از تیمار آنزیمی به خصوصی تیمار با آنزیم سلولاز در دمای بالا، به بهبود اتصالات بین الیاف بازیافتی کمک نموده است. همان طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تغییرات دمایی تأثیر یکسانی بر

به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی نه تنها به حفظ استحکام الیاف سلولزی کمک نموده، بلکه باعث بهبود اتصالات بین فیبری نیز شده است.

با توجه به نتایج آزمون دانکن که گروه‌بندی میانگین‌های مقاومت به کشش هر کدام از تیمارها (خمیر شاهد، خمیر تیمار شده با سلولاز و خمیر تیمار شده با ترکیب سلولاز / لپاز) را نمایش می‌دهد (جدول ۵)، با توجه به اینکه این میانگین‌ها در دو ستون قرار گرفته‌اند، نشان‌دهنده داشتن اختلاف معنی‌دار بین این میانگین‌ها می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز دارد و سبب افزایش آن می‌شود. همچنین با توجه به قرار گرفتن میانگین‌های مربوط به دو تیمار آنزیمی در یک گروه، می‌توان به این نکته اشاره کرد که نوع تیمار آنزیمی تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز ندارد.

آزمون شقی کششی^۱ کاغذهای دست‌ساز

شقی کششی کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیرهای تیمار شده با آنزیم نسبت به کاغذهای دست‌ساز حاصل از نمونه خمیر شاهد بیشتر می‌باشد. همچنین در تیمار آنزیمی با سلولاز و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار شقی کششی مشاهده می‌شود (شکل ۴).

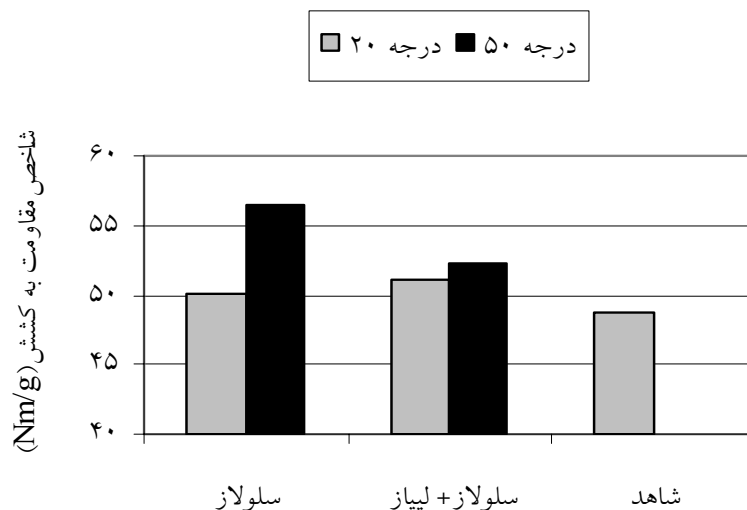
از دلایل افزایش شقی کششی کاغذهای دست‌ساز می‌توان به این نکته اشاره کرد که تیمار آنزیمی انعطاف‌پذیری الیاف بازیافتی را افزایش داده است و به بهبود اتصالات بین فیبری کمک نموده است و در نتیجه سبب بهبود شقی کششی در کاغذهای دست‌ساز شده است. همان طوری

² Breaking length

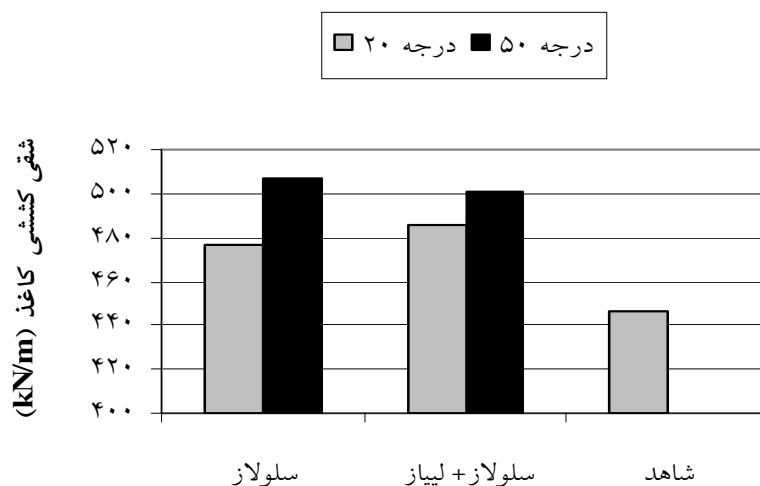
¹ Tensile Stiffness

(جدول ۷). پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات طول پاره شدن کاغذهای دست‌ساز ندارد.

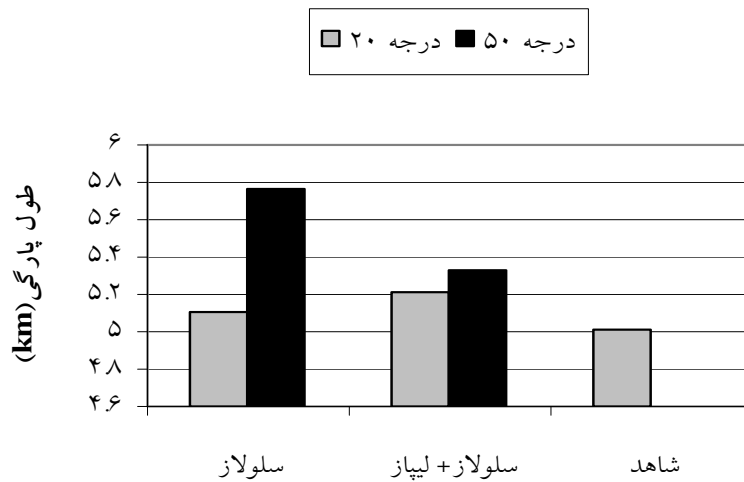
روی روند تغییرات طول پاره‌شدن کاغذهای دست‌ساز دارد. به طوری که با افزایش دما در هر دو تیمار آنزیمی، طول پاره شدن کاغذهای دست‌ساز افزایش نشان می‌دهد. نتایج آزمون دانکن نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بین این میانگین‌ها می‌باشد.



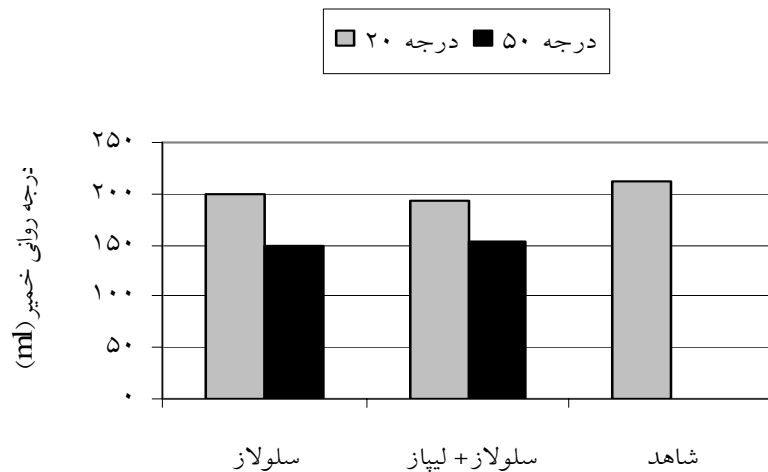
شکل ۳. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز



شکل ۴. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر شقی کششی کاغذهای دست‌ساز



شکل ۵. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر طول پاره‌شدن کاغذهای دست‌ساز



شکل ۶. تأثیر تیمار آنزیمی و دما بر درجه روانی خمیر کاغذها

آزمون درجه روانی^۱ خمیر کاغذ

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که درجه روانی خمیرهایی که تحت تأثیر تیمار آنزیمی قرار داشتند نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان می‌دهد. همچنین با افزایش دما کاهش بیشتری در میزان درجه روانی خمیرهای تیمار شده ملاحظه

می‌شود. به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی سبب شکسته شدن و خرد شدن بیشتر الیاف بازیافتی شده و با افزایش میزان ذرات ریز فیبری، درجه روانی خمیر کاغذهای تیمار شده کاهش یافته است.

نتایج آزمون دانکن که گروه‌بندی میانگین‌های درجه روانی خمیر هر کدام از

^۱ Freeness

تیمارها (خمیر شاهد، خمیر تیمار شده با سلولاز و خمیر تیمار شده با ترکیب سلولاز/ لیباز) را نمایش می‌دهد (جدول ۸)، نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های درجه روانی

خمیر کاغذهای تیمار شده و خمیر کاغذ شاهد می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمار آنزیمی تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات درجه روانی خمیر کاغذها ندارد.

جدول ۷. آزمون دانکن داده‌های مربوط به طول پاره شدن کاغذهای دست‌ساز

آنزیم	تعداد	گروه‌بندی
۱		
شاهد	۶	۵/۰۱۷۸
سلولاز	۶	۵/۱۰۱۷
سلولاز / لیباز	۶	۵/۲۱۱۰
سطح معنی‌داری		۰/۰۵۵

جدول ۸- آزمون دانکن داده‌های مربوط به درجه روانی خمیر کاغذ

آنزیم	تعداد	گروه‌بندی
۱		
سلولاز / لیباز	۲	۱۹۴/۵۰۰۰
سلولاز	۲	۲۰۰/۵۰۰۰
شاهد	۲	۲۱۳/۰۰۰۰
سطح معنی‌داری		۰/۲۰۵

بحث و نتیجه‌گیری

همان طوری که نتایج نشان می‌دهد، تیمار آنزیمی سبب افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذها شده است. با توجه به ارتباط درجه روانی و مقاومت‌های کاغذ، تیمارهای آنزیمی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش محدودی در درجه روانی خمیر کاغذ نسبت به خمیر شاهد شده است. البته آزمون‌های آماری حاکی از آن است که اختلاف درجه روانی برای خمیر شاهد و خمیرهای تیمار شده با آنزیم معنی‌دار نبوده است. در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، نتایج درجه روانی برای خمیرهای تیمار شده با آنزیم سلولاز و نیز

ترکیب سلولاز و لیباز نسبت به خمیر شاهد کاهش بیشتری نشان می‌دهد. تیمار آنزیمی از تخریب اتصالات بین الیاف جلوگیری می‌کند (Welt & Dinus, 1994). همچنین تیمار آنزیمی سبب تغییرات مقدار درجه روانی خمیرهای آنزیمی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد (Sykes et al., 1996). به نظر می‌رسد افزایش مقاومت‌های خمیر کاغذها در هر دو تیمار آنزیمی سلولاز و ترکیب سلولاز و لیباز به دلیل حفظ و یا بهبود اتصالات بین الیاف باشد. به طور کلی انتظار می‌رود که با کاهش درجه روانی (میلی‌لیتر)، اتصالات بین فیبری افزایش و به تبع

بخش‌های مختلف دیواره‌های فیبری با یکدیگر بیشتر شده و همین امر باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ در مقایسه با کاغذ تیمار شده با آنزیم سلولاز به تنهایی شده باشد.

آن مقاومت‌های وابسته به این گونه اتصالات از جمله مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن افزایش یابد. بنابراین فیبریلایسیون حاصل از تیمار آنزیمی، به بهبود اتصالات بین فیبری و افزایش مقاومت‌های کاغذ کمک نموده است.

منابع

- 1) Jeffries, T. W., Sykes, M. S., Rutledge-Cropsey, K., Klungness, J. H., and Abubakr, S., 1998. Enhanced removal of toners from office waste papers by microbial cellulases. Proceedings of the 6th International Conference on Biotechnology in the Pulp and paper Industry: Advanced in Applied and Fundamental Research. pp: 141-144.
- 2) McKinney, R. W. J., 1995. Technology of paper recycling. Chapman and Hall. UK.
- 3) Mohandass, C., and Raghukumar, C., 2002. Biological deinking of inkjet-printed-paper using vibrato alginolyticus and its enzymes. National Institute of Oceanography, Dona Paula, Goa 403004, India.
- 4) Sykes, M., Klungness, J. H., Abubakr, S., and Tan, F., 1996. Upgrading recovered paper with enzyme pretreatment and pressurized peroxide bleaching. Progress in Paper Recycling. pp: 39-46.
- 5) Welt, T., and Dinus, R. J., 1994. Enzymatic deinking: A review. Progress in paper recycling. pp: 1-29.

بررسی نتایج آماری تحقیق نشان می‌دهد که به غیر از مقاومت به پارگی، سایر مقاومت‌های مکانیکی کاغذ تیمار شده با آنزیم نسبت به خمیر شاهد افزایش داشته است که آزمایش‌های Mohandass & Raghukumar (2002) این مطلب را تایید می‌کند. علاوه بر آن، در مقایسه نوع تیمارهای آنزیمی، ملاحظه شد که آنزیم لیپاز نیز در افزایش مقاومت کاغذ اثر گذار بوده است. به نظر می‌رسد علاوه بر تأثیر آنزیم سلولاز در فیبریلایسیون الیاف خمیر کاغذ و بهبود اتصالات بین فیبری که منجر به افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ گردیده است، آنزیم لیپاز نیز در افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ نقش موثری داشته است. به عبارت دیگر، آنزیم لیپاز می‌تواند به عنوان عاملی در حذف عوامل آب‌گریز در خمیر کاغذ عمل نموده باشد. در نتیجه انتظار می‌رود با حذف عوامل آب‌گریز امکان اتصال

Effect of Enzymatic Treatment on Deinking of Old Coated Magazine at Neutral pH

M. Talaeipour^{1*} and N. Mayeli²

- 1*) Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Corresponding Author: m.talaeipour@srbiau.ac.ir
2) Graduated Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

In this study, effect of enzymatic deinking on mechanical properties of deinked pulp old coated magazine was investigated. The protocol for the enzymatic treatment of old coated magazine on a laboratory scale using cellulase and combination of cellulase: lipase was developed as an effective method for paper recycling. The old coated magazine was prepared and pulped with pulp consistency for 4% and the pulping time for 2,5 min, temperature 20 and 50 C, at neutral PH. Then the pulps were deinked by Denver flotation cell at the laboratory of Azad University, science and research branch of Tehran. The study focused on analyzing the effects of enzyme treatment on mechanical strength of old magazine deinked pulp. The results showed that enzymatic treatment increased the mechanical strengths of the treated pulp compared to the control pulp except tear strength. The results of freeness showed that enzymatic treatment decreased the freeness of treated pulps. However, increasing the temperature of pulp decreased the freeness more.

Keywords: Enzymatic Treatment, Old Coated Magazine, Cellulase, Lipase, Tear Strength.