

عملکرد آنزیم آمیلاز بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی

OCC پیش‌خیسانده شده در pH مختلف

- ❖ **مریم ابراهیمی؛** کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
- ❖ **امید رضانی؛** استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
- ❖ **مهدی رحمانی‌نیا؛** استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
- ❖ **حسین کرمانیان؛** استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران
- ❖ **محمدامین عدلیبیان؛** کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران

چکیده

افزایش کیفیت کاغذهای بازیافتی دغدغه همیشگی صنعت بازیافت کاغذ بوده و در این زمینه تحقیقات زیادی انجام شده است. در این مقاله، تأثیر استفاده از آنزیم آمیلاز در مرحله خمیرکاغذسازی کارتن‌های کنگره‌ای باطله (OCC) بررسی شد. همچنین، تأثیر pHهای اسیدی، خنثی و قلیایی در مرحله پیش‌خیساندن OCC (شامل پیش‌خیساندن اولیه در درصد خشکی ۳ درصد به مدت ۶ ساعت در pHهای مختلف و پیش‌خیساندن ثانویه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت با حفظ pH) بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی (مقاومت در برابر عبور هوا، مقاومت به کشش، مقاومت به ترک‌شدن، مقاومت به پاره‌شدن، و مقاومت به تاخوردن) کاغذ بازیافتی و تأثیر بر عملکرد آنزیم آمیلاز در مرحله خمیرکاغذسازی مطالعه شد. پیش‌خیساندن بر بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ تأثیر مثبت داشت و در pH قلیایی بیشترین کارایی را در بهبود مقاومت‌ها نتیجه داد. نتایج نشان داد که در تیمارهای بدون پیش‌خیساندن، استفاده از آنزیم آمیلاز سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی (به‌جز مقاومت به پاره‌شدن) شده، اما اثر این آنزیم در تیمارهای پیش‌خیسانده‌شده، در تمامی سطوح pH، بر ویژگی‌های مقاومتی از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. نتایج نشان داد که آثار مستقل تیمارهای پیش‌خیساندن و قلیایی بر ویژگی‌های مقاومتی در مقایسه با تیمار آنزیمی شدیدتر است. از نظر آماری هیچ‌کدام از تیمارها بر مقاومت در برابر عبور هوا تأثیر معنی‌داری نداشتند.

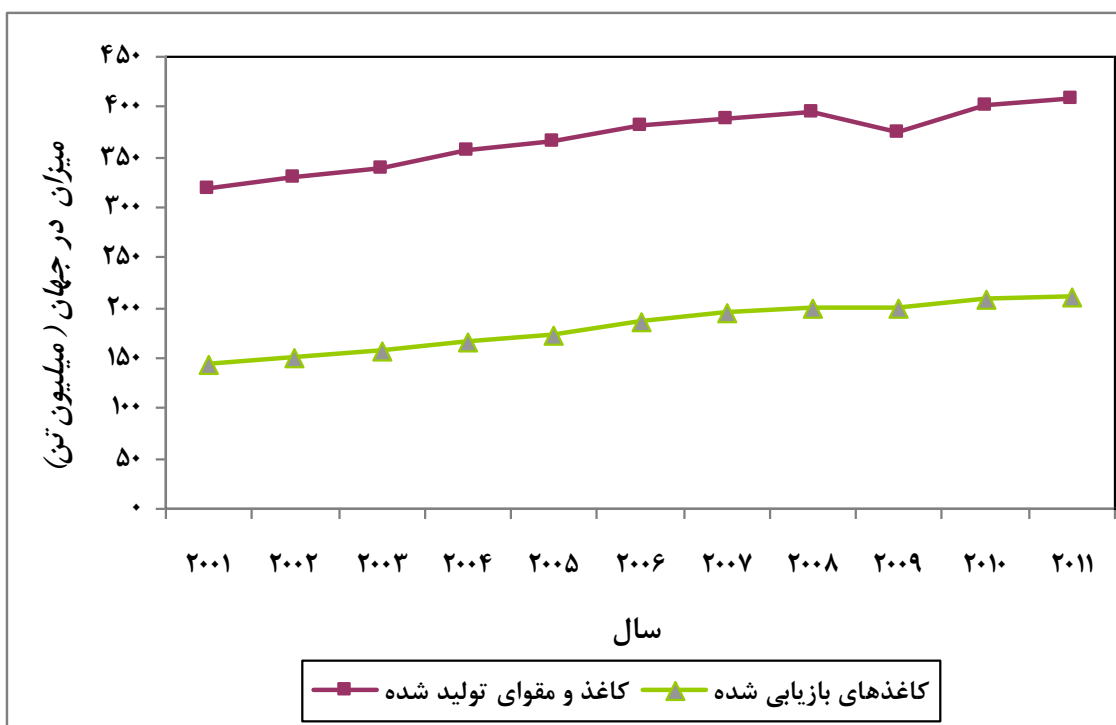
واژگان کلیدی: آنزیم آمیلاز، پیش‌خیساندن، کاغذ بازیافتی، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های مقاومتی.

مقدمه

هزینه‌های آن، اصلاح نشاسته برای استفاده در صنعت پوشش‌دهی کاغذ^۱، جلوگیری از تجمع مواد چسبناک^۲، تسهیل حذف آلاینده‌ها، کنترل مواد مزاحم آنیونی^۳، مرکب‌زدایی، شست‌وشو و پیش‌تیمار آنزیمی تجهیزات جرم‌گرفته و لجن، افزایش نرخ آب‌گیری از خمیرکاغذ، اصلاح سطح الیاف و افزایش قدرت پیوندیابی الیاف بازیافتی، صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری، کاهش زمان و انرژی پالایش، و همچنین به‌طور غیرمستقیم برای حفظ محیط‌زیست، بسیار مورد توجه بوده است [۳، ۴]. البته نباید فراموش کرد که معیار تعیین‌کننده در رابطه با توسعه استفاده از آنزیم‌ها، میزان کارایی آنهاست. مزایای استفاده از آنزیم‌ها باید توجه‌کننده تغییرات ایجادشده در فرایند و فناوری تولید باشد [۳].

بازیافت کاغذهای باطله از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی است که طی سال‌های اخیر به دلایل مختلف از جمله محدودیت منابع اولیه سلولزی، مصرف روزافزون فرآورده‌های کاغذی، مشکلات زیست‌محیطی، هزینه زیاد و روزافزون تولید کاغذ و مقوا از مواد خام سلولزی، هزینه زیادی انرژی، و غیره، در سطح جهان مورد توجه جدی قرار گرفته است [۱]. شکل ۱ وضعیت رشد تولید کاغذ و مقوا و بازیابی کاغذهای باطله در جهان را نشان می‌دهد [۲].

در این میان، بهره‌گیری از فناوری‌های زیستی در صنعت کاغذسازی مرسوم بوده است. به‌طور مثال، استفاده از آنزیم‌ها برای بهبود رنگ‌بری و کاهش



شکل ۱. وضعیت رشد تولید کاغذ و مقوا و بازیابی کاغذهای باطله در جهان (۲۰۱۱-۲۰۰۱) [۲]

1. Coating
2. Stickies
3. Anionic Trash

قندهای موجود به‌عنوان یک ماده افزایش‌دهنده مقاومت کاغذ بازیافتی، ایفای نقش نماید [۳، ۴]. در این پژوهش، اثر متغیرهای پیش‌خیساندن، pH، و استفاده از آنزیم آمیلاز بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بازیافتی حاصل از بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای باطله (OCC) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

ماده اولیه مورد استفاده در این تحقیق، مقوای ۳ لایه چاپ‌نشده کارخانه کارتن‌سازی پرند قائمشهر بود. این مقوا از لایه‌های مقوای کرافت لاینر سفید 127g/m^2 (محصول کارخانه سفید پارس)، فلوتینگ 127g/m^2 (محصول چوب و کاغذ مازندران، نوع چین A)، و مقوای لاینر زیرین 140g/m^2 (محصول کارخانه چوکا) تشکیل شده بود. لایه‌های مقوا با استفاده از چسب نشاسته به هم چسبیده‌اند که این چسب با ترکیب نشاسته، آب، بوراکس، و سود ساخته شده است. مشخصات آنزیم آلفا آمیلاز مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

خواص مقاومتی از ویژگی‌های مهم کاغذ است که در جریان بازیافت کاهش می‌یابد [۵، ۶]. مقاومت مکانیکی مناسب در کاغذهای بسته‌بندی اهمیت بسیار زیادی دارد. تاکنون روش‌های مختلفی برای بهبود خواص مقاومتی کاغذهای بازیافتی (تیمار الیاف با هیدروکسید سدیم، استفاده از نشاسته کاتیونی، پالایش الیاف بازیافتی، اختلاط الیاف بازیافتی با الیاف بکر، و جزء‌سازای الیاف بازیافتی) مطرح شده که در این میان، استفاده از تیمار پیش‌خیساندن الیاف به‌ویژه با هیدروکسید سدیم از متداول‌ترین آن‌هاست [۵-۹].

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از آنزیم‌ها در صنعت بازیافت کاغذ انجام شده است [۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴]. بر اساس نتایج برخی از تحقیقات انجام‌شده، فناوری‌های آنزیمی قادرند به بهبود ویژگی‌های مقاومتی کمک کنند [۳]. در واقع، نظر بر این است که آنزیم آمیلاز می‌تواند نشاسته موجود در کاغذهای بازیافتی، یعنی چسب نشاسته مصرفی در اتصالات لایه‌ای یا نشاسته موجود در آهارزنی سطحی یا نشاسته مصرفی در پایانه‌تر کاغذسازی برای ایجاد مقاومت را به قند تبدیل کند و

جدول ۱. مشخصات آنزیم آلفا آمیلاز

| | |
|--|--------------------------|
| KE 100 – 120.000 | کد آنزیم |
| قارچ <i>Aspergillus niger</i> | میکروارگانسیم تولیدکننده |
| آلفا آمیلاز با میزان فعالیت SKB min ¹ 120.000 | مشخصات آنزیم |
| پودر | شکل آنزیم |

۱. SKB min واحدی اختصاصی برای میزان فعالیت آنزیم آمیلاز و عبارت است از مدت زمان لازم برای دستیابی به یک مقدار استاندارد از هیدرولیز نشاسته.

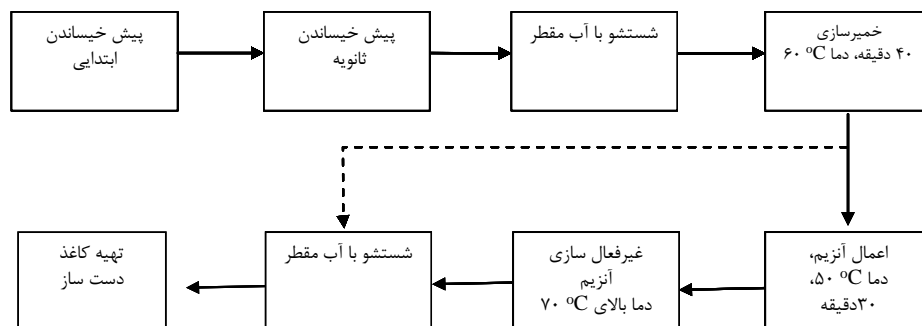
آماده‌سازی مواد اولیه

برای آماده‌سازی ماده اولیه، از یک مرحله پیش‌خیساندن ابتدایی OCC با درصد خشکی ۳ درصد به مدت ۶ ساعت به همراه تنظیم pH در سه سطح pH مختلف اسیدی (pH=۵)، خنثی (pH=۷)، و قلیایی (pH=۱۰) استفاده شد. در ادامه، پیش‌خیساندن ثانویه OCC در حمام آب گرم با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ساعت و با حفظ pH انجام شد.

pH اولیه خمیرکاغذ حدود ۸/۳ بود که با کمک اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم (هر دو ۰/۱ نرمال) تا محدوده‌های مورد نیاز pH تنظیم شد. از هیچ گونه اختلاط یا نیروی مکانیکی در طی فرایند پیش‌خیساندن استفاده نشد. بعد از مرحله خیساندن، نمونه‌ها با آب مقطر شست‌وشو داده و مجدداً به درصد خشکی ۳ درصد رسانده شد. بهینه مصرف آنزیم با استفاده از روش اصلاح‌شده استاندارد T419 TAPPI om-04 معادل ۰/۴ درصد بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ مصرفی تعیین شد. (این استاندارد به تعیین میزان نشاسته در خمیرکاغذ مربوط است.) خمیرکاغذسازی با درصد خشکی ۳ درصد و به مدت ۴۰ دقیقه در خمیرکاغذساز انجام گرفت. خمیرکاغذ حاصل به دو بخش تقسیم و قسمت اول برای تیمارهای بدون اعمال تیمار آنزیمی انتخاب و با آب مقطر شسته شد. اما برای آماده‌سازی نمونه‌های دارای

تیمار آنزیمی بعد از ۴۰ دقیقه خمیرکاغذسازی، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰°C با مصرف ۰/۴ درصد آنزیم آمیلاز بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ با هم‌زدن ملایم تیمار شد و در نهایت برای غیرفعال‌سازی آنزیم، دمای کمی بیشتر از ۷۰°C به مدت نیم ساعت اعمال و سپس خمیرکاغذ شست‌وشو داده شد. برای تهیه نمونه شاهد، خمیرکاغذسازی بدون پیش‌خیساندن (در pH خنثی) در درصد خشکی ۳ درصد به مدت ۴۰ دقیقه اعمال شد. در نهایت، کاغذ دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T205 sp-02 ساخته شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذ، ابتدا نمونه‌های مورد نیاز هر آزمون طبق آیین‌نامه شماره T220 sp-01 استاندارد TAPPI تهیه شد و سپس شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن مطابق آیین‌نامه شماره T414 om-04، شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ بر اساس آیین‌نامه شماره T494 om-01، شاخص مقاومت کاغذ در برابر ترکیدن مطابق آیین‌نامه T403 om-02، مقاومت به تاشدن طبق آیین‌نامه T220 sp-01، و مقاومت به عبور هوا بر اساس آیین‌نامه T536 om-02 استانداردهای TAPPI تعیین شدند. تعداد تکرارها در تمامی تیمارها ۳ عدد در نظر گرفته شد. برای انجام کارهای آماری از طرح کاملاً تصادفی و آزمون فاکتوریل استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها هم با آزمون دانکن انجام شد.



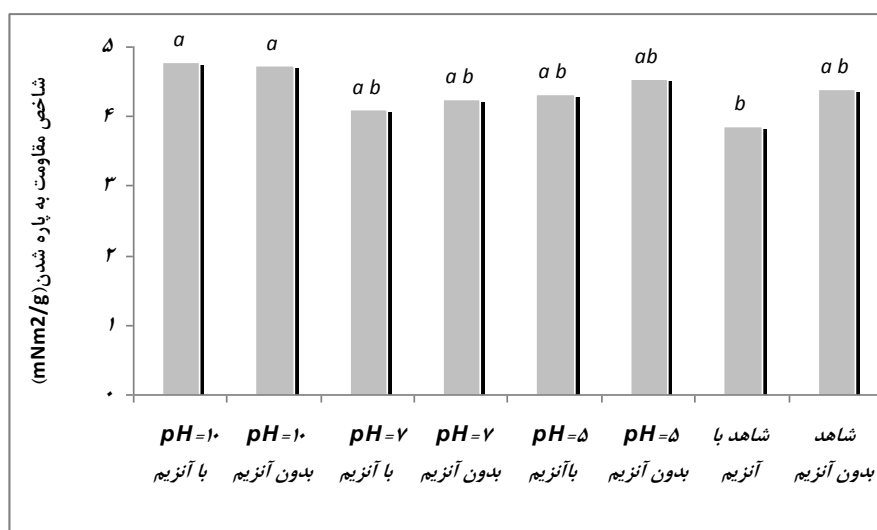
شکل ۲. طرح‌واره مراحل انجام کار

نتایج و بحث

مقاومت به پاره‌شدن

شکل ۳، تأثیر تیمارها بر مقاومت به پاره‌شدن را نشان می‌دهد. در تمامی تیمارها از نظر آماری تفاوتی بین اعمال یا عدم اعمال آنزیم دیده نمی‌شود. این نتایج منطقی به نظر می‌رسد، زیرا مقاومت به پاره‌شدن ویژگی‌ای است که عمدتاً به طول الیاف وابسته است و آنزیم هیچ تغییری در این بخش ایجاد نمی‌کند. با مقایسه نمونه‌های شاهد (که در آن‌ها فرایند پیش‌خیساندن صورت نگرفته و pH محیط خنثی است) با تیمار پیش‌خیسانده‌شده در pH خنثی، مشاهده می‌شود که پیش‌خیساندن نیز تأثیر آماری معنی‌داری با عدم پیش‌خیساندن نداشته است. این

بدان معنی است که توسعه پیوندی حاصل از پیش‌خیساندن نتوانسته بر این مقاومت تأثیری داشته باشد. pH محیط نیز تأثیر آماری معنی‌داری بر این ویژگی نشان نداد. شاید برای تحلیل این پدیده بتوان به نظریه گروهی از محققان استناد کرد که تأثیر محیط قلیا در پیش‌خیساندن را بیشتر بر لایه‌برداری از لیگنین در سطح الیاف و افزایش قابلیت پیونددهی سطحی می‌دانند و افزایش انعطاف‌پذیری و توسعه پیوندی را بسیار کمتر از آن در نظر می‌گیرند [۹]. البته، در شرایط قلیایی نتایج عددی مناسب‌تر بوده که علت آن تأثیر محیط قلیا بر انعطاف‌پذیری و توسعه پیوندی است [۵، ۷، ۸].



شکل ۳. تأثیر تیمار پیش‌خیساندن و آنزیم آلفا آمیلاز بر مقاومت به پاره‌شدن کاغذ

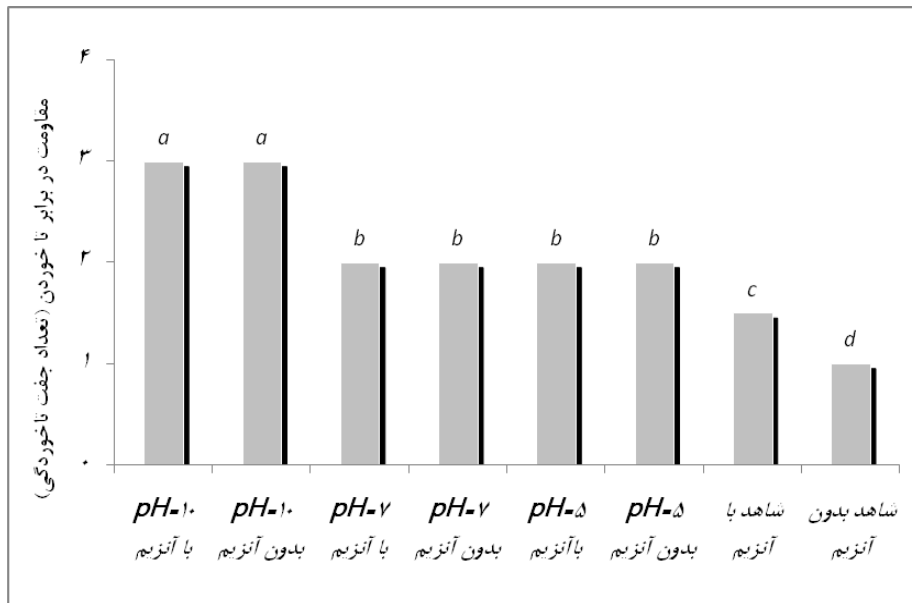
نمی‌شود. شاید علت اصلی این نتایج، انجام عمل شست‌وشو در خمیر کاغذهای پیش‌خیسانده‌شده باشد که مقادیر زیادی از نشاسته محلول در سوسپانسیون در حین خیساندن را به خارج از الیاف هدایت و در نتیجه اثر آنزیم بر واکنش الیاف توسط قندها را با کاهش مواجه می‌کند. مقایسه تیمارهای شاهد با تیمارهای بدون پیش‌خیساندن در محیط خنثی نشان

مقاومت به تا خوردن

در شکل ۴، تغییرات مقاومت به تا خوردن کاغذ برای تمامی تیمارها ارائه شده است. از نظر عملکرد آنزیم مشاهده می‌شود که در بین دو تیمار شاهد (عدم پیش‌خیساندن)، تیمار آنزیمی تأثیر معنی‌داری ایجاد کرده است؛ در حالی که در تیمارهای با پیش‌خیساندن، هیچ اختلاف معنی‌داری ملاحظه

صعودی آن را با افزایش pH مشاهده کرد. هرچند که این تغییرات از نظر آماری بین حالت اسیدی و خنثی معنی دار نبوده است. تأثیر محیط قلیایی بر واکنش‌دهی هرچه بیشتر الیاف می‌تواند دلیلی بر این مشاهده باشد [۵، ۷، ۸].

از عملکرد مثبت این تیمار بر این ویژگی دارد که احتمالاً افزایش پیوندپذیری و انعطاف‌پذیری الیاف در مقابل عدم واکنش‌دهی مناسب و وجود دستجات الیاف در تیمار شاهد دلیل اصلی آن باشد. در مورد تأثیر تغییرات pH بر این ویژگی می‌توان روند

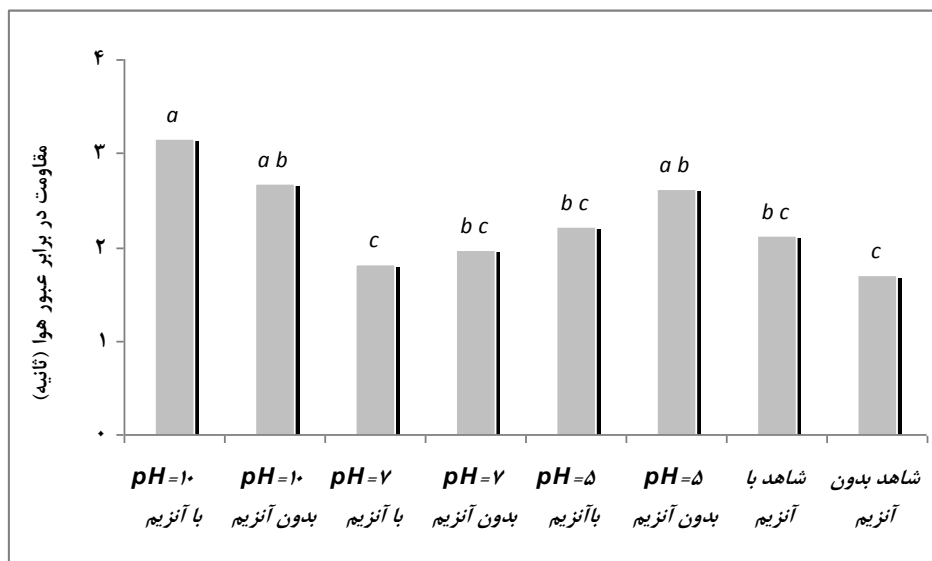


شکل ۴. تأثیر تیمار پیش‌خیساندن و آنزیم آلفا آمیلاز بر مقاومت در برابر تا خوردن کاغذ

به عبور هوا وابسته به ساختار کاغذ است که به تعداد، اندازه، شکل، و چگونگی توزیع خلل و فرج بستگی دارد.

مقاومت در برابر عبور هوا

شکل ۵ نمایانگر تأثیر همه تیمارهای اعمال‌شده بر ویژگی مقاومت کاغذ در برابر عبور هواست. مقاومت



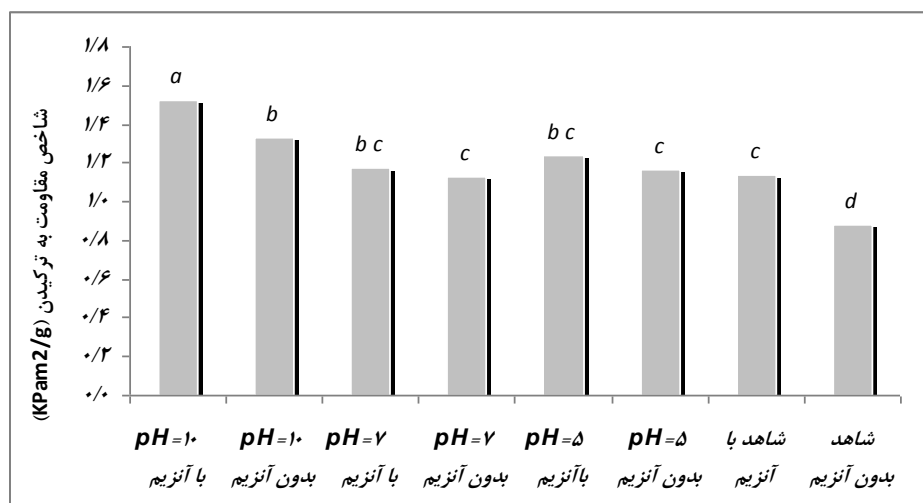
شکل ۵. تأثیر تیمار پیش‌خیساندن و آنزیم آلفا آمیلاز بر میزان مقاومت به عبور هوای کاغذ

پیش‌خیساندن مقاومت به ترکیدن کاغذ بیشتر از حالت پیش‌خیسانده‌نشده است؛ هرچند فقط در حالت بدون آنزیم این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بوده است. وجود دستجات الیاف به‌سبب عدم پیش‌خیساندن می‌تواند دلیلی برای این امر باشد. از نظر تأثیر pH بر این ویژگی مشاهده می‌شود که بین حالت‌های اسیدی و خنثی از نظر آماری تفاوتی وجود ندارد، اما حالت قلیایی بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده و این تأثیر از نظر آماری نیز با حالت‌های خنثی و اسیدی تفاوت معنی‌داری دارد. سایر محققان نیز به تأثیر مثبت قلیا در بهبود این ویژگی به کمک افزایش واکشیدگی الیاف و توسعه پیوندی اشاره کرده‌اند [۵، ۷، ۸]. در این میان، گروهی از محققان نیز با تأکید بر تأثیر مثبت پیش‌خیساندن در محیط قلیا، این تأثیر را بیشتر از آنکه حاصل افزایش واکشیدگی بدانند، بیشتر به اثر قلیا در حذف لایه‌هایی از لیگنین در سطح و دسترسی بیشتر گروه‌های عاملی به‌ویژه گروه‌های کربوکسیلی برای اتصال و افزایش پیوندهای سطحی مربوط می‌دانند [۹]. به‌نظر می‌رسد در $pH=10$ ، آنزیم و قلیا تأثیر افزایشی بر هم داشته و حضور آنزیم باعث تشدید واکشیدگی به‌علت حضور قندها شده و بیشترین مقدار مقاومت به ترکیدن را در کاغذ نتیجه داده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بیشترین مقاومت به عبور هوا در کاغذ پیش‌خیسانده‌شده در $pH=10$ مشاهده می‌شود. در تمامی تیمارها از نظر آماری تفاوتی بین حالت با آنزیم با بدون آنزیم وجود ندارد. در مقایسه بین تیمارهای شاهد (پیش‌خیسانده‌نشده در محیط خنثی) با تیمارهای پیش‌خیسانده‌شده در حالت خنثی، مشاهده می‌شود که تفاوت آماری وجود ندارد. در مورد تأثیر تغییر pH دیده می‌شود که تغییرات pH از حالت خنثی به اسیدی و قلیایی باعث افزایش مقاومت به‌ویژه در حالت قلیایی شده است؛ هرچند که از نظر آماری اختلاف‌ها معنی‌دار نیست.

مقاومت به ترکیدن

شکل ۶ تأثیر تیمارهای مختلف بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ را نشان می‌دهد. از نظر تأثیر آنزیم، مشاهدات حاکی از تأثیر مثبت آنزیم بر این ویژگی است. این تأثیر در تیمار شاهد و تیمار با pH برابر ۱۰ از نظر آماری نیز معنی‌دار است. احتمالاً افزایش واکشیدگی خمیر کاغذ بر اثر تأثیر آنزیم و تشکیل قندهای بیشتر باعث بروز این پدیده شده باشد [۳، ۴]. از نظر مقایسه بین تیمارهای پیش‌خیسانده‌نشده در pH خنثی (تیمار شاهد) با تیمارهای خیسانده‌شده در حالت خنثی، مشاهده می‌شود که در حالت

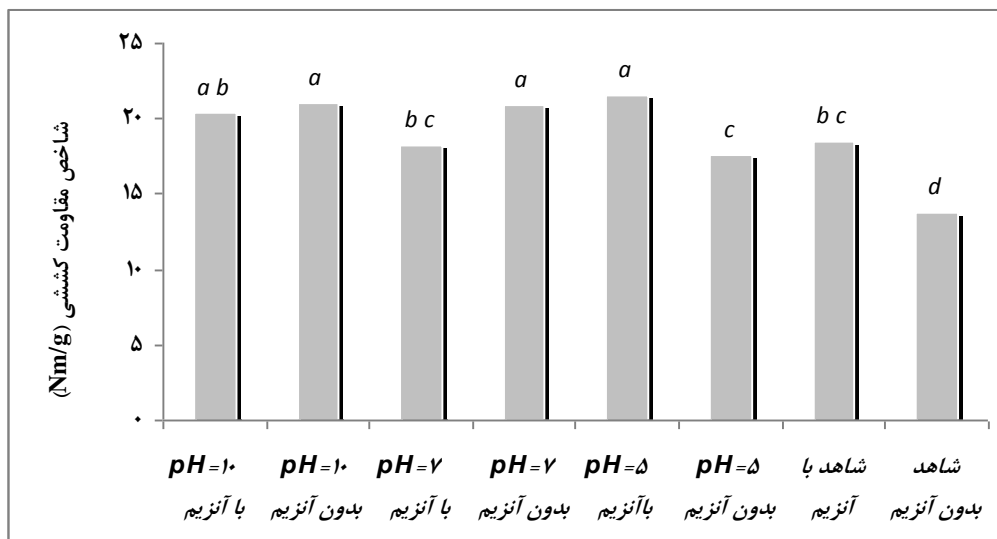


شکل ۶. تأثیر تیمار پیش‌خیساندن و آنزیم آلفا آمیلاز بر مقاومت به ترکیدن کاغذ

مقاومت به کشش

است، زیرا این دو ویژگی به‌طور ذاتی تحت تأثیر وضعیت پیونددهی بین الیاف‌اند.

شکل ۷ روند مشابه مقاومت به کشش را با مقاومت به ترکیدن کاغذ نشان می‌دهد که این نتیجه‌ای منطقی



شکل ۷. تأثیر تیمار پیش‌خیساندن و آنزیم آلفا آمیلاز بر شاخص مقاومت به کشش کاغذ

مقاومتی کاغذ دست‌ساز، نتایج نشان داد که پیش‌خیساندن در شرایط قلیایی و تیمار با هیدروکسید سدیم، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ را بهبود می‌بخشد. استفاده از آنزیم به همراه تیمار قلیایی به بهبود بیشتر مقاومت به ترکیدن و مقاومت به عبور هوا منجر می‌شود. آماده‌سازی خمیر کاغذ OCC با تیمار هیدروکسید سدیم و کاغذسازی قلیایی به تولید کاغذی منجر می‌شود که مقاومت‌های آن برای تولید محصولاتمانند لاینرهای بازیافتی، کاغذهای کنگره‌ای، و غیره مقبول است. تبدیل سیستم کاغذسازی به کاغذسازی قلیایی، مقاومت ورقه کاغذ را افزایش می‌دهد. احتمالاً ایجاد حداکثر واکنشیدگی الیاف و افزایش پیوندهای سطحی به‌علت لایه‌برداری از لیگنین روی الیاف به کمک قلیا، عامل مؤثر در چنین نتایجی است. همچنین، نتایج آماری و عددی نشانگر آن بوده که شدت اثر تیمارهای پیش‌خیساندن و تیمار قلیایی بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بیشتر از اثر آنزیم آمیلاز بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که در تیمارهای شاهد (بدون پیش‌خیساندن)، استفاده از آنزیم آمیلاز باعث بهبود مقاومت‌ها (به‌جز مقاومت به پاره‌شدن) می‌شود. تجزیه نشاسته موجود در OCC و ایجاد قندها به افزایش واکنشیدگی و افزایش مقاومت‌ها منجر می‌شود. پیش‌خیساندن به مدت زمان ۲۴ ساعت بر بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بازیافتی مؤثر است و احتمالاً وجود دستجات الیاف در تیمارهای بدون پیش‌خیساندن علت اصلی بروز چنین نتایجی باشد. پیش‌خیساندن در pHهای اسیدی، خنثی، و قلیایی و به‌کارگیری آنزیم آلفا آمیلاز این امکان را به‌وجود آورد تا تأثیر pH و آنزیم را بر خواص کاغذ ارزیابی و بهترین شرایط را برای بهبود مقاومت‌های کاغذ تعیین کنیم. از نظر خواص فیزیکی نتایج تحقیق نشان‌دهنده کاهش تخلخل کاغذ و بهبود ویژگی مقاومت به عبور هوای کاغذ است. از نظر خواص



References

- [1]. Latibari, A.J., Khosravani, A., and Rahmaninia, M. (2007). Technology of Paper Recycling. Aeij Publishing.
- [2]. FAO Statistics. (2012). www. faostat.fao.org (20/10/2012)
- [3]. Kenealy, W.R., and Jeffries, T.W. (2003). Enzyme Processes for Pulp and Paper: A Review of Recent Developments, American Chemical Society, Madison.
- [4]. Pedersen, H. (2004). Expanding Enzyme Technology in Pulp & Paper Industry. In: Proceeding of 9th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry (ICBPPI), Durban, South Africa
- [5]. Freeland, S.A., and Hrutfiord, B.F. (1993). Caustic treatment of OCC for strength improvement during recycling. Tappi Journal, 77(4).
- [6]. Sheikhi, P., Talaiepour, M., Hemasi, A.H., Khademieslam, H., and Gumuskaya, E. (2010). Effect of drying and chemical treatment on Bagasse soda pulp properties during recycling. Bioresources, 5(3): 1702-1716.
- [7]. Gurnagul, N. (1995). Sodium hydroxide addition during recycling: Effects on fiber swelling and sheet strength. Tappi Journal, 78(12): 119-124.
- [8]. Abubakr, S.M., Reichert, T.W., Hrutfiord, B.F., and McKean, W.T. (1996). Mechanism of Retention of Metal Cations in Linerboard and Neverdried Pulps. In: Proceeding of TAPPI Recycling Symposium. Mar. 3-6 New Orleans, LA, USA, pp. 43-49.
- [9]. Phuong, D.T., and Nazhad M.M. (2006). Effect of swelling or surface agents on strength of old corrugated containers (OCC). In: Proceeding of 60th Appita Annual Conference and Exhibition. Apr. 3-5 Melbourne, Australia, pp. 309-405.
- [10]. Pommier, J.C., Goma, G., Fuentes, J.L., and Rousset, C. (1989). Using enzymes to improve the process and the product quality in the recycled paper industry Part 2: Industrial applications. Tappi Journal, June: 187-191.
- [11]. Pommier, J.C., Fuentes, J.L., and Goma, G. (1990). Using enzymes to improve the process and the product quality in the recycled paper industry Part 1: the basic laboratory work. Tappi Journal, December :197-201.
- [12]. Zollner, H.K., and Schroeder, L.R. (1998). Enzymatic deinking of nonimpact printed white office paper with amylase. Tappi Journal, 81(3): 166-170.
- [13]. Ryu, J.Y., Ji, K.R., Shin, J.H., and Ow, S.K. (2000). Method For Recycling of Old Corrugated Container Using Flotation and Enzymatic Hydrolysis. United States Patent, Patent Number: 6,093,282, Date of Patent: Jul. 25.
- [14]. Ma, J.H., and Jiang, C. (2002). Enzyme applications in the pulp and paper industry. Progress in Paper Recycling, 11(3): 36-47.