



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

تأثیر مرکب‌زدایی آنزیمی با لیپاز بر ویژگی‌های خمیر کاغذ روزنامه چاپ شده به روش افست

* محمد‌های آریائی منفرد^۱، علی قاسمیان^۲ و منیره‌سادات نصیری^۳

^۱ استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: تحقیقات انجام شده طی سال‌های اخیر نشان داده است به‌کارگیری روش‌های بر پایه زیست فناوری، به‌ویژه استفاده از آنزیم‌های صنعتی به‌منظور فرآوری کاغذهای باطله موجب تقویت ویژگی‌های نوری و مکانیکی خمیر کاغذهای بازیافتی گردیده است. در این تحقیق مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله چاپ شده به روش افست با استفاده از آنزیم لیپاز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: مرکب‌زدایی آنزیمی با استفاده از آنزیم لیپاز در سه سطح زمانی ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه و سه سطح مصرف آنزیم ۳، ۶ و ۹ واحد به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک در pH خنثی انجام شد. برای حذف ذرات مرکب از روش شست و شو استفاده شد.

یافته‌ها: مقایسه ویژگی‌های نوری، فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز حاصل نشان داد خمیر کاغذهای مرکب‌زدایی شده با لیپاز دارای درجه روشنی بیشتر و زردی کمتر نسبت به نمونه شاهد هستند. با این وجود ماتی کاغذهای حاصل از تیمار آنزیمی با افزایش زمان و مقدار تیمار آنزیمی نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان می‌دهد. همچنین، تیمار آنزیمی موجب افزایش ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت به پاره شدن و مقاومت به ترک‌کندن) کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد (بدون هرگونه تیمار شیمیایی یا آنزیمی) شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مرکب‌زدایی آنزیمی توسط لیپاز روش مناسبی برای بهبود ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذهای روزنامه باطله چاپ شده به روش افست می‌باشد. به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار تیمار آنزیمی در بیش از ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک موجب کاهش معنی‌دار درجه ماتی خمیر کاغذ خشک نسبت به نمونه شاهد گردیده است و افزایش زمان تیمار نیز در این کاهش مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مرکب‌زدایی آنزیمی، لیپاز، ویژگی‌های فیزیکی، درجه روشنی، ویژگی‌های مکانیکی

مقدمه

در سال‌های اخیر برای پاسخ‌گویی به مصرف داخلی کاغذ در کشور، به‌ویژه کاغذهای روزنامه و مجله، علاوه بر تولید داخلی، این فرآورده‌ها عمدتاً از طریق افزایش واردات تأمین شده‌اند. به دلیل ارز بری واردات کاغذ، تلاش بر این است که تا حد امکان از طریق افزایش تولید داخلی، نسبت به تأمین کمبودها اقدام شود. در این راستا اقدام به تاسیس و راه‌اندازی کارخانه‌های تولید کاغذهای چاپ و تحریر در کشور شده است که از آن جمله می‌توان به صنایع چوب و کاغذ مازندران اشاره نمود. از طرفی تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب به‌عنوان یک مشکل عمده در صنایع چوب و کاغذ مازندران محسوب می‌شود. به دلیل محدودیت سطح جنگل‌های شمال کشور و افزایش روند تخریبی آن‌ها طی سال‌های اخیر، تأمین تمامی مواد اولیه موردنیاز از این جنگل‌ها امکان‌پذیر نیست و لذا ضرورت دارد راه‌حل‌های مختلفی برای جبران این کمبود پیشنهاد شود و در صورتی که از نظر فنی و اقتصادی مناسب باشند، مورد استفاده قرار گیرند (۵).

یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی که طی سال‌های اخیر در سطح جهانی مورد توجه جدی قرار گرفته، بازیافت کاغذهای باطله می‌باشد. بازیافت کاغذ به دلیل مصرف کمتر آب تازه و درختان و همچنین تولید آلودگی کمتر نسبت به تولید کاغذ از الیاف دست اول مناسب‌تر است (۴، ۶). وجود برخی آلودگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر مرکب‌های چاپ، مواد چسبناک استفاده از کاغذهای بازیافتی را محدود نموده است (۴). مرکب‌زدایی اصطلاحی است که برای توصیف فرآیند جداسازی و حذف مرکب‌های چاپ از الیاف بازیافتی جهت بهبود خواص نوری خمیر و کاغذ از کاغذهای چاپ شده باطله استفاده می‌شود (۴، ۵). هدف اصلی مرکب‌زدایی، تهیه

خمیرهای بازیافت شده‌ای است که کاغذ حاصل از آن به میزان کافی سفید بوده و در آن هیچ‌گونه ذره مرکب یا کثیفی موجود نباشد (۱۵).

امروز به‌کارگیری روش‌های بر پایه زیست فناوری، به‌ویژه استفاده از آنزیم‌ها به‌منظور فرآوری کاغذهای باطله موجب تقویت ویژگی‌های نوری و مکانیکی خمیر کاغذهای بازیافتی گردیده است. استفاده از آنزیم‌ها به دلیل سهولت استفاده در فرآیند بازیافت، بازدهی بالا و مقرون به صرفه بودن نسبت به روش متداول مرکب‌زدایی شیمیایی به‌عنوان یک جایگزین مهم در سطح صنایع مطرح می‌باشد. سلولاز و لیپاز از مؤثرترین آنزیم‌هایی هستند که در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنزیم سلولاز با آبکافت میکروفیبریل‌های متصل به فیبر اصلی، سبب آزادسازی ذرات مرکب از سطوح فیبر و افزایش شدت آب‌گیری در ماشین کاغذ می‌شود. آنزیم لیپاز با آبکافت گروه‌های استری موجود در مرکب‌های بر پایه روغن‌های طبیعی سبب شکسته شدن مرکب چاپ به ذرات کوچک‌تر می‌شود و کمک می‌نماید این ذرات از سطح فیبر جدا گردند (۲، ۱۶). پس از جدا شدن الیاف کاغذ باطله به کمک مواد شیمیایی یا آنزیم‌ها و جدا شدن ذرات مرکب از الیاف سلولز، با تکیه بر تفاوت‌های فیزیکی و شیمیایی آلاینده و الیاف می‌توان آن‌ها را از هم جدا کرد. بخش عمده ذرات مرکب طی فرآیند شستشو و شناورسازی از خمیر کاغذ خارج می‌گردد (۳، ۷).

سیکس و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که حذف ذرات مرکب و مواد چسبناک با استفاده از آنزیم سلولاز و لیپاز یا در ترکیب با هم در pH خنثی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که آنزیم‌ها جایگزین مناسبی برای برخی از مواد شیمیایی مرسوم مورد استفاده در فرآیندهای خمیرسازی، رنگ‌بری و مرکب‌زدایی هستند (۱۶).

ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز تهیه شده نسبت به نمونه شاهد شد (۸).

طلایی‌پور و مایلی (۲۰۱۱) تأثیر تیمار آنزیمی بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده از کاغذ باطله مجله پوشش‌دار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد 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 منجر به کاهش بیشتر مقدار درجه روانی خمیر شد (۱۷). هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر استفاده از آنزیم لیباز بر کارایی مرکب‌زدایی از روزنامه‌های باطله و مقایسه آن با خمیر حاصل از تیمار شاهد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از کاغذ روزنامه همشهری استفاده شد. این روزنامه به روش افست سرد چاپ می‌شود. نمونه‌ها در ابعاد ۵ تا ۲ سانتی‌متر تهیه شدند. درصد رطوبت نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه تعیین شد. آنزیم مورد استفاده در این تحقیق آنزیم لیباز به‌دست آمده از باکتری *Pseudomonas cepacia* بود. این آنزیم به‌صورت پودر سفید رنگ توسط شرکت سیگما آلداریچ تولید شده، خریداری گردید. طبق دستورالعمل شرکت سازنده، شرایط بهینه مصرف آنزیم لیباز در جدول ۱ ارائه شده است.

پالا و همکاران (۲۰۰۶) مرکب‌زدایی از مخلوط کاغذ باطله اداری را تحت تیمار آنزیمی و تیمار شیمیایی مورد مطالعه قرار دادند تا میزان اثر آنزیم را بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای ساخته شده مورد بررسی قرار دهند. نتیجه نشان داد که افزودن آنزیم سلولاز به خمیرساز، سبب افزایش مقاومت به پارگی، مقاومت به کشش و میزان مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته شده از خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده می‌شود. همچنین نتایج به‌دست آمده از آنالیز تصویری نمونه‌ها نشان داد که تعداد لکه و سطح لکه‌های حاصل از ذرات مرکب در کاغذهای بازیافتی ساخته شده از خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده آنزیمی نسبت به نمونه شاهد و نمونه کاغذهای ساخته شده از خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده بدون استفاده از آنزیم، به مراتب کمتر بود (۱۱).

مرکباک و همکاران (۱۹۹۹) عنوان کردند که آنزیم لیباز نقش قابل توجهی در حذف ذرات مرکب دارد. همچنین نتایج نشان داد که بهترین pH برای فعالیت آنزیم لیباز ۷/۵ و بهترین دما نیز ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۰).

مایلی و طلایی‌پور (۲۰۱۱) تأثیر مرکب‌زدایی آنزیمی بر روی ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده کاغذ روزنامه باطله با آنزیم سلولاز و لیباز را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که مرکب‌زدایی آنزیمی به‌ویژه در دمای ۵۰ سانتی‌گراد، سبب بهبود

جدول ۱- مشخصات آنزیم لیپاز مورد استفاده برای مرکب‌زدایی.

Table 1. Lipase enzyme properties used for deinking.

لیپاز	نوع آنزیم
سیگما آلداریج	شرکت تولیدکننده (Producer)
۳۰ واحد بر میلی‌گرم (U/mg)	میزان فعالیت (Activity)
<i>Pseudomonas cepacia</i>	منشاء آنزیم (Enzyme Resource)
بودر، سفید رنگ، فاقد بو	مشخصات فیزیکی (Physical Properties)
۷/۵-۶/۵	pH بهینه فعالیت آنزیمی (Optimum pH of Enzyme Activity)
۵۰ درجه سانتی‌گراد	دمای بهینه فعالیت آنزیمی (Optimum temperature of Enzyme activity)

کاغذ) پراکسید هیدروژن به آن افزوده شد. در تیمار شاهد نیز همه مراحل بدون حضور آنزیم انجام شد. مرکب‌زدایی نمونه‌ها به روش شستشو با آب بر روی الک با مش ۲۰۰ و به مدت ده دقیقه انجام شد.

پس از تهیه کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی، طبق استاندارد تاپی^۱ ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ دست‌ساز مانند: مقاومت به عبور هوا^۲ (۰۰۲-om-۴۶۰ T)، مقاومت به پاره شدن (۰۴-om-۴۱۴ T)، مقاومت به ترکیدن (۰۲-om-۴۰۳ T) و درجه روشنی (۰۲-om-۴۵۲ T) و زردی (۰۳-sp-۱۲۱۵ T) و ماتی (۰۱-om-۴۲۵ T) اندازه‌گیری شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح کاملا تصادفی (CRD) و آزمایش فاکتوریل و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) انجام شد.

خمیرسازی: نمونه‌های آزمونی پس از توزین به‌همراه حجم مشخصی آب برای ایجاد خمیرکاغذ با خشکی ۵ درصد به مدت ۱ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا الیاف کاغذ کمی نرم شوند. بعد از این مدت کاغذهای خیس خورده و آب همراه آن‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در داخل دستگاه الیاف بازکن با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. پس از آن از طریق آبگیری از خمیرکاغذ به کمک الک مش ۲۰۰ درصد خشکی خمیر کاغذ به ۸ درصد رسانده شد. طی تیمار، خمیر کاغذ شامل ذرات مرکب و الیاف در داخل حمام آب گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در تیمار آنزیمی نیز طبق آزمایش‌های اولیه و اطلاعات موجود در منابع (۱۰) سه سطح ۶، ۳ و ۹ واحد آنزیم لیپاز به ازای هر گرم خمیر کاغذ خشک (U/g)، به خمیر اضافه شد. سه سطح تیمار زمانی ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه برای هر یک از سطوح آنزیم مورد اشاره بررسی شدند. در پایان تیمار آنزیمی برای غیرفعال نمودن آنزیم مقدار کمی (حدود ۰/۱۶ درصد بر اساس وزن خشک خمیر

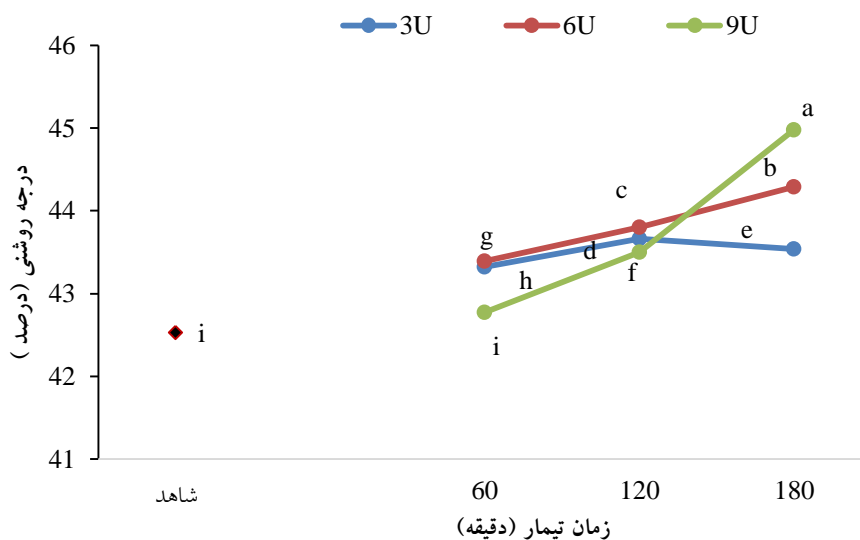
1- TAPPI

2- Air Resistance of Paper (Gurley Method)

نتایج و بحث

آنچنان که در شکل ۱ قابل مشاهده است، در هر سه تیمار در طول زمان درجه روشنی خمیرها در حال افزایش می‌باشد. نکته قابل توجه کم تر بودن میزان روشنی در مراحل ابتدایی تیمار ۹ واحد در مقایسه با ۲ سطح دیگر تیمار آنزیمی می‌باشد به نظر می‌رسد سطح بالای آنزیم لپاز در محیط موجب افزایش ذرات مرکب با اندازه بزرگ در محیط شده که البته افزایش تیمار آنزیمی به کاهش ابعاد و حذف مؤثر تر آن‌ها از بافت خمیر گردیده است. در ادامه تیمار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک در زمان ۱۸۰ دقیقه دارای بیشترین مقدار درجه روشنی بوده که اختلاف آن نیز با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. با افزایش زمان تیمار و افزایش مقدار آنزیم مقدار درجه روشنی کاغذ افزایش می‌یابد، این افزایش شاید به این دلیل باشد که آنزیم به سطح الیاف حمله کرده و با

سست کردن اتصال‌های بین ذرات مرکب و الیاف باعث حذف شدن بیشتر ذرات مرکب می‌شود (۱۶). همچنین آنزیم باعث جدا شدن ذرات مرکب از سطح الیاف شده و موجب می‌شود که ذرات مرکب‌های چاپ به اندازه‌های کوچک‌تری شکسته شوند که در نتیجه مرکب‌زدایی، آسان‌تر حذف می‌شوند (۳). نتایج نشان می‌دهد تیمار آنزیمی سبب بهبود درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیر کاغذهای تیمار شده نسبت به نمونه کاغذ دست‌ساز به‌دست آمده از خمیر شاهد شده است. اختلاف تیمار شاهد با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. ذرات مرکب به وسیله اثر پوست کنی آنزیم از سطح الیاف جدا می‌شوند (۱۲، ۱۴) و در نتیجه روشنی کاغذهای دست‌ساز افزایش می‌یابد.



شکل ۱- تغییرات درجه روشنی کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لپاز.

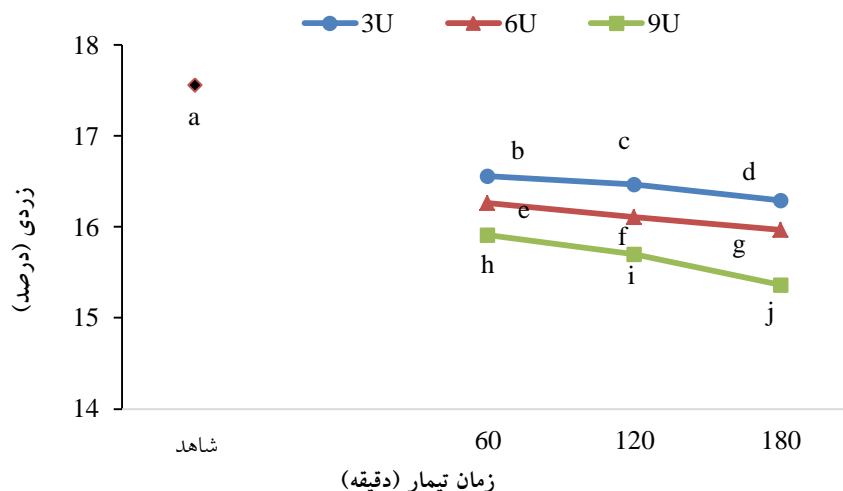
Figure 1. Brightness variations of deinked newspaper pulps with lipase enzyme.

تیمار آنزیمی کمتر از نمونه شاهد است که این اختلاف معنی‌دار می‌باشد در تیمارهای آنزیمی افزایش زمان تیمار و افزایش مقدار آنزیم سبب کاهش میزان

شکل ۲ مقادیر زردی کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لپاز را به تصویر می‌کشد. هرچه زردی کمتر باشد بهتر است. نمودار نشان می‌دهد زردی

بخش زیادی از ذرات چرب و آبگریز موجود در خمیر کاغذ که موجب بهبود درجه روشنی می‌شود کاهش زردی خمیر را نیز سبب گردیده است (۳).

زردی می‌شود. کم‌ترین مقدار زردی مربوط به تیمار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک در زمان ۱۸۰ دقیقه است. حذف ذرات مرکب چاپ و

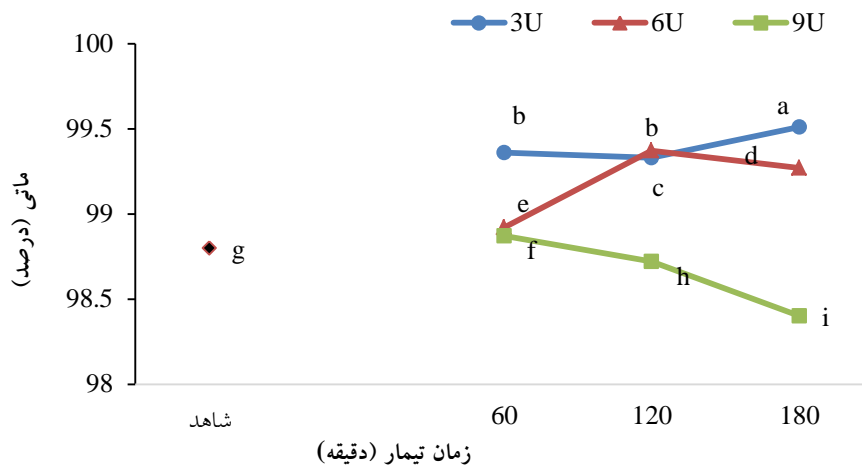


شکل ۲- تغییرات زردی کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز.

Figure 2. Yellowness variations of enzymatic newspaper pulps deinked with lipase enzyme.

با مقدار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک نشان داد که افزایش زمان تیمار، تأثیر معنی‌داری را در درجه ماتی کاغذ داشته موجب کاهش ماتی شده است. کاهش معنی‌دار درجه ماتی در تیمار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک را می‌توان به کاهش ذرات مرکب در کاغذ و کاهش قابلیت جذب نور و همچنین حذف هر چه بیشتر مواد افزودنی موجود در خمیر کاغذ نسبت داد (۱، ۱۰، ۱۳).

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود بیش‌ترین مقدار ماتی مربوط به تیمار ۳ واحد به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک در زمان ۱۸۰ دقیقه بوده که اختلاف آن با سایر تیمارهای آنزیمی و نمونه شاهد معنی‌دار است. اما کمترین مقدار ماتی مربوط به تیمار ۹ واحد به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک در زمان ۱۸۰ دقیقه بوده و اختلاف آن با سایر تیمارهای آنزیمی و تیمار شاهد نیز معنی‌دار است. افزایش مقدار آنزیم سبب کاهش میزان ماتی می‌شود. تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه ماتی کاغذهای حاصل از تیمار



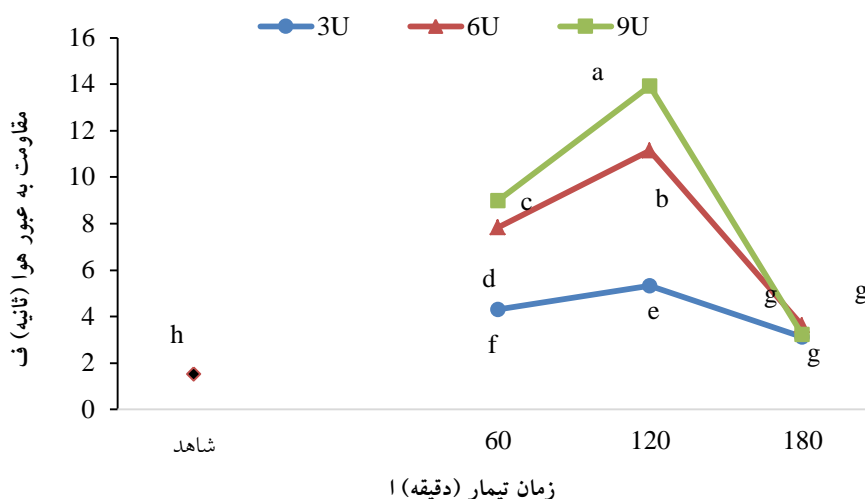
شکل ۳- تغییرات ماتی کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز.

Figure 3. Opacity variations of newspaper pulps deinked with lipase enzyme.

هر گرم خمیر کاغذ خشک در زمان ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به نمودار افزایش مقدار آنزیم لیپاز منجر به افزایش مقاومت به عبور هوا شده است. آنزیم لیپاز نقش مهمی در حذف ذرات غیر فیبری آلاینده موجود در خمیرهای بازیافتی دارد (۴). بنابراین با افزایش غلظت آنزیم، مقدار حذف این مواد که خود ایجاد کننده فواصلی در بین الیاف هستند نیز افزایش یافته و به همین دلیل نیز اتصالات بین الیاف بیشتر شده و مقاومت به عبور هوا افزایش یافته است. به نظر می‌رسد، افزایش زمان تیمار تا ۱۸۰ دقیقه نقش قابل توجهی در تأثیر آنزیم در حذف ذرات آلاینده به‌ویژه مرکب‌های چاپ نداشته است، ولی عمل هم زدن مکانیکی خمیر حین تیمار آنزیمی به افزایش نرمه‌ها و در نتیجه کاهش مقاومت به عبور هوا منتهی شده است. به نظر می‌رسد با توجه به نوع الیاف که از نوع بازیافتی می‌باشند با افزایش زمان تیمار آنزیمی به دلیل عمل مکانیکی در طول زمان تیمار افزایش نرمه‌های موجود در خمیر باعث کاهش مقاومت به عبور هوا و همچنین کاهش سطح اتصال بین الیاف که افت بخشی از مقاومت‌های خمیر گردیده است که تا حد زیادی اثرات مثبت تیمار آنزیمی را خنثی نموده است.

شکل ۴ نشان دهنده مقادیر مقاومت به عبور هوا نمونه شاهد و کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز می‌باشد. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده، مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان می‌دهد و اختلاف آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

با توجه به نمودار تیمار شاهد دارای مقاومت به عبور هوای کمتری نسبت به سایر تیمارهای آنزیمی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد تیمار آنزیمی سبب افزایش مقاومت به عبور هوا شده است. افزایش مقاومت به عبور هوا در اثر تیمار آنزیمی را می‌توان به افزایش قابلیت اتصال بین الیاف و فیبریل شدن الیاف و همچنین افزایش قابلیت لهیدگی الیاف در اثر تیمار آنزیمی نسبت داد که پیش از این نیز توسط محققین مورد توجه قرار گرفته است (۱۷). بدین ترتیب مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله به روش آنزیمی منجر به افزایش مقاومت به عبور هوا شده است. آنزیم بر فیبریلاسیون الیاف خمیر کاغذ اثر گذاشته و باعث بهبود پیوندهای بین فیبری شده است (۱۱). در بین تیمارهای آنزیمی بیش‌ترین مقدار مقاومت به عبور هوا مربوط به تیمار ۹ واحد به ازاء

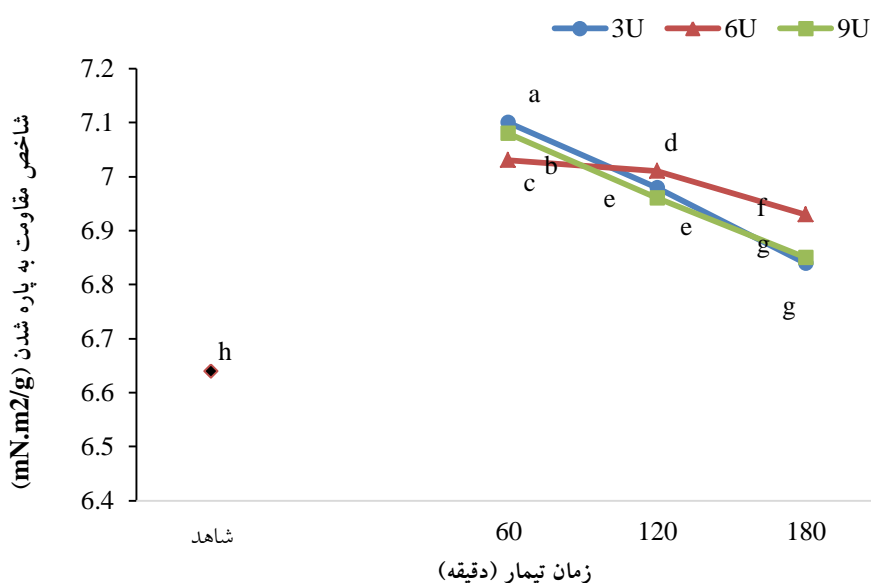


شکل ۴- تغییرات مقاومت به عبور هوای کاغذهای روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز.

Figure 4. Air permeability resistance variations of newspapers deinked with lipase enzyme.

به نظر می‌رسد با وجود این که آنزیم لیپاز به دلیل حذف ذرات مرکب پیوند بین الیاف را تقویت کرده است، مقاومت تک تک الیاف کاهش یافته است، تخریب الیاف سلولزی در اثر طولانی شدن زمان تماس این الیاف با آنزیم موجب کاهش مقاومت به پارگی شده است. افزایش مقدار آنزیم در زمان ثابت تیمار ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش مقاومت به پاره شدن شده است. این افزایش مقاومت را می‌توان به عملکرد آنزیم در افزایش پیوند و اتصال بین الیاف مرتبط دانست (۱۳). در بین تیمارهای آنزیمی بیش‌ترین مقدار مقاومت به پاره شدن مربوط به تیمار ۳ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک و در زمان ۶۰ دقیقه بوده و اختلاف آن با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. کم‌ترین مقدار مقاومت به پاره شدن در بین تیمارهای آنزیمی مربوط به تیمار در سطح ۳ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر خشک در مدت ۱۸۰ دقیقه بوده که اختلاف آن به جز با تیمار در سطح ۹ U/g خمیر خشک در همان مدت زمانی با سایر تیمارها معنی‌دار است.

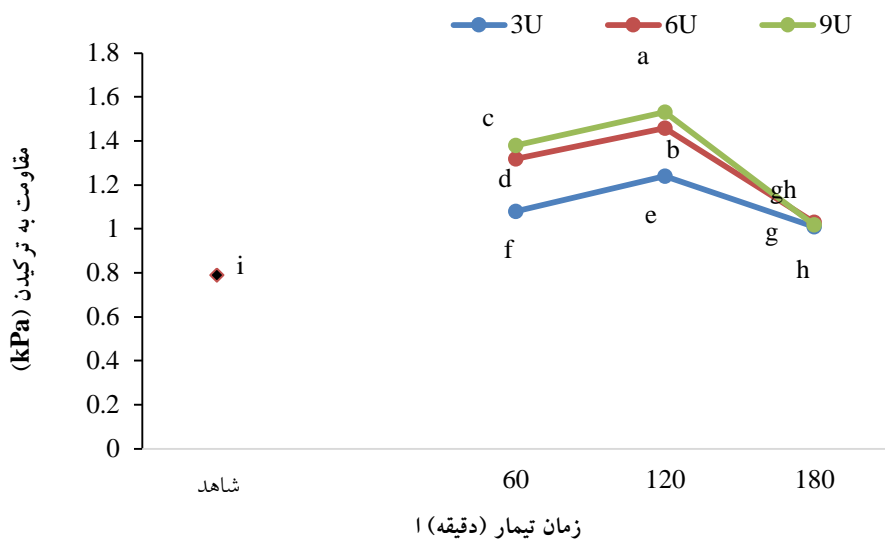
همان‌گونه که در شکل ۵ قابل مشاهده است تیمار آنزیمی سبب افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ دست‌ساز نسبت به تیمار شاهد شده، که اختلاف تیمار شاهد با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. با افزایش زمان تیمار آنزیم مقاومت به پاره شدن تا زمان ۶۰ دقیقه افزایش نشان داده و پس از آن روند کاهشی قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد تیمار آنزیمی سبب بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرکاغذ شده همین امر سبب بخشی از افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن در نمونه کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرکاغذهای تیمار شده آنزیمی بوده است (۱۳). شاخص مقاومت به پاره شدن به مقاومت خود الیاف و پیوند بین الیاف بستگی دارد (۱). آنزیم لیپاز می‌تواند به‌عنوان عاملی در حذف عوامل آب‌گریز (مرکب بر پایه روغن و مواد معدنی موجود در خمیر کاغذ) در خمیر کاغذ عمل نموده باشد و در نتیجه انتظار می‌رود با حذف عوامل آب‌گریز، امکان اتصال الیاف با یکدیگر بیشتر شده باشد (۸، ۱۲) و همین امر سبب افزایش مقاومت به پاره شدن در نمونه کاغذهای دست‌ساز به دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است.



شکل ۵- تغییرات شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز.
Figure 5. Tearing resistance index variations of deinked newspaper with lipase enzyme.

به ترکیدن کاغذ مرکب‌زدایی شد که این افزایش را می‌توان به فیبریله شدن بهتر الیاف و همچنین حذف بیشتر ذرات مرکب و متعاقب آن اتصال بهتر بین الیاف نسبت داد. افزایش زمان تیمار در مقدار ثابت آنزیم ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش مقاومت به ترکیدن شده است. آنزیم لیپاز می‌تواند به‌عنوان عاملی در حذف عوامل آبرگریز (مرکب با پایه روغن و خاکستر) در خمیر کاغذ عمل نموده باشد و در نتیجه انتظار می‌رود با حذف عوامل آبرگریز، امکان اتصال بخش‌های گوناگون دیواره فیبری با یکدیگر بیشتر شده باشد (۸). تیمار با آنزیم لیپاز به بهبود پیوندهای بین فیبری در خمیرهای تیمار شده کمک نموده و از تخریب اتصالات بین الیاف جلوگیری می‌کند (۱۲)، (۱۸). همین امر سبب افزایش مقاومت به ترکیدن در نمونه کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیرهای آنزیمی شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز به‌دست آمده از خمیر کاغذهای تیمار شده با آنزیم لیپاز نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته و اختلاف آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که با نتایج طلایی‌پور و مایلی (۲۰۱۱) و موهندس و راجوکومار (۲۰۰۲) مطابقت دارد (شکل ۶) (۹، ۱۷). در بین تیمارهای آنزیمی بیش‌ترین مقدار مقاومت به ترکیدن مربوط به تیمار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر خشک در زمان ۱۲۰ دقیقه بوده و اختلاف آن با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. کم‌ترین مقدار مقاومت به ترکیدن در بین تیمارهای آنزیمی مربوط به تیمار ۳ واحد در زمان ۱۸۰ دقیقه بوده که اختلاف آن به جز با تیمار ۹ واحد آنزیم به ازاء هر گرم خمیر خشک در زمان ۱۸۰ دقیقه با سایر تیمارهای آنزیمی معنی‌دار است. افزایش مقدار آنزیم در زمان ثابت واکنش آنزیمی موجب افزایش مقاومت



شکل ۶- تغییرات مقاومت به ترکیدن کاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با آنزیم لیپاز.

Figure 6. Burst strength properties variations of deinked newspapers with lipase enzyme.

شاهد، مزیت‌های زیست محیطی، سهولت به‌کارگیری، کمبود منابع بکر چوبی و کمک این روش برای بهبود سطح فناوری بازیافت در کشور می‌توان توانایی مرکب‌زدایی آنزیمی را به‌عنوان یک جایگزین مناسبی روش متداول شیمیایی مورد توجه قرار داد. همچنین مرکب‌زدایی آنزیمی به‌دلیل کاهش حجم پساب، کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی مضر جزء فرآیندهای دوست‌دار محیط زیست محسوب شده و می‌توان در صنعت بازیافت کشور به‌کار گرفته شود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان تشکر صمیمانه خود را بابت پشتیبانی‌های مادی و معنوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در قالب طرح شماره: ۹۰۰۰۳۶۱۸ بیان می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

تیمار آنزیمی سبب بهبود ویژگی‌های نوری خمیر کاغذ نظیر درجه روشنی، زردی و ماتی خمیر مرکب‌زدایی گردیده است. البته به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار تیمار آنزیمی در بیش از ۹ واحد آنزیم به‌ازاء هر گرم خمیر کاغذ خشک موجب کاهش معنی‌دار درجه ماتی خمیر کاغذ خشک نسبت به نمونه شاهد گردیده است و افزایش زمان تیمار نیز در این کاهش مؤثر می‌باشد (۱۰). در مورد ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد ارزیابی شامل نفوذپذیری هوا، شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به پاره شدن نیز در مجموع نسبت به نمونه شاهد بهبود مشاهده شد که پیش از این نیز توسط محققین دیگر گزارش گردیده است (۹، ۱۳، ۱۸). به‌طور کلی با توجه به تأثیر مثبت آنزیم در ویژگی‌های مقاومتی و نوری خمیرکاغذهای مرکب‌زدایی شده نسبت به نمونه

منابع

1. Afra, E. 2006. Properties of Paper: An Introduction. Editor: William E. Scott. Aieej publication. 392p. (translated in Persian)

2. Aryaie monfared, M.H., Resalati, H., Ghasemian, A., and Marandi, M. 2010. Effect of Medium pH Variations on Enzymatic Deinking Efficiency of Office Waste Papers with Cellulase from *Aspergillus niger*. JWFST. 2: 2. (In Persian)
3. Aryaie Monfared, M.H, Resalati, H., and Ghasemian, Ali. 2012. Enzymatic Deinking of Office Waste Papers in the Comparison with Conventional Chemical Method: part 1- appearance and optical properties of pulp. J. Wood and Forest Science and Technology. 18(4): 59-76. (In Persian)
4. Bajpai, P. 2014. Recycling and Deinking of Recovered Paper. Elsevier International Ltd, London, UK. 304p.
5. Ghasemian, A., and khalili, A. 2001. Principles and methods of paper recycling, Aieej Press, Tehran, 160p. (In Persian)
6. Goettsching, L. 1999. Ecological challenges of the 21st century. ATIP. Association technique de l'industriepapetière, 53(4-5): 134-139.
7. Kirk, O. 1995. Encyclopedia of Chemical Technology, V (21), 4ed. Pp: 10-14.
8. Mayeli, N., and Talae Pour, M. 2011. Enzymatic deinking of waste newspapers with cellulose and lipase. Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran (NSMSI). 30(1): 11-20. (In Persian)
9. 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.
10. Morkbak, A., Degn, P., and Zimmermann, W. 1999. Deinking of soy bean oil based ink printed paper with lipases and a neutral surfactant. Journal of biotechnology, 67(2): 229-236.
11. Pala, H., Mota, M., and Gama, F.M. 2006. Factors influencing MOW deinking: Laboratory scale studies. Enzyme and microbial technology, 38(1): 81-87.
12. Pelach, M., Pastor, F., Puig J., Vilaseca, F., and Mutje, P. 2006. Enzymic Deinking of Old Newspapers with Cellulose. Process Biochemistry Journal, 38: 1063-1067.
13. Resalati, H., and Aryaie Monfared, M.H. 2012. Enzymatic Deinking of Office Waste Papers in Comparison with Conventional Chemical Deinking: part 2- physical and strength properties of paper. J. Wood For. Sci. Tech., 19(1): 175-186. (In Persian)
14. Rutledge-Cropsey, K., Klungness, J., Abubakr, S. 1998. Performance of Enzymatically Deinked Recovered Paper on Paper Machine Runnability, Tappi Journal, 81(2), 148-151.
15. Sadeghi paieen koolaie, K. 2003. Deinking of waste papers with enzymatic method. 4th conference of R&D centers of Industries and Mines. Community of research and development centers. Tehran, Iran, Pp: 1-9. (In Persian)
16. Sykes, M.S., Klungness, J.H., Tan, F., and Abubakr, S.M. 1997. Enzymatic Removal of Stickle Contaminants. In Tappi Pulping Conference. Pp: 687-692.
17. Talaeipour, M., and Mayeli, N. 2011. Effect of Enzymatic Treatment on Deinking of Old Coated Magazine at Neutral pH. Renewable Natural Resources Journal. 2(3): 71-83. (In Persian)
18. Welt, T., and Dinus, R.J.P. 1994. Enzymatic deinking: A review. Program Paper Recycle, 1-29.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 24 (3), 2017
<http://jwfst.gau.ac.ir>

The Effect of Enzymatic Deinking with Lipase on Offset Printed Newspaper Pulp Properties

*M.H. Aryaie Monfared¹, A. Ghasemian² and M.S. Nasiri³

¹Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Faculty of Wood and Paper, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³M.Sc. Graduated, Faculty of Wood and Paper, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 03/02/2017; Accepted: 12/08/2017

Abstract

Background and objectives: Presented researches during recent years, showed that using biotechnological base methods, specially using industrial enzymes for processing of waste papers is considered as a suitable approach to improve optical and mechanical properties of recycled papers. In this research deinking of offset printed waste newspapers using lipase enzyme was studied.

Materials and methods: In this research enzymatic deinking of the recycled newspapers was investigated using lipase at three-time level as 60, 120 and 180 min, and three level of enzyme use as 3, 6 and 9 U/g O.D pulp at neutral pH value. Washing method was used to remove ink particles.

Results: Comparison of the optical, physical and strength properties of the made hand sheets showed that enzymatically deinking could enforce the strength properties (tear and burst strengths) in the related hand sheets compared to those of the control sample. In addition, lipase-deinked pulps showed higher brightness and lower yellowness than the control sample. However, opacity of enzymatic treated pulps decreased with prolongation of treatment time compared to the control sample.

Conclusion: It can be generally concluded that enzymatic deinking using lipase is an appropriate method to improve the optical and strength properties of offset printed waste newsprints. It seems that increasing the amount of enzyme treatment in more than 9 units of enzyme per gram of dry pulp had a significant reduction in the opacity content of dry pulp compared to the control sample and Increasing the treatment time will also be effective in this reduction.

Keywords: Enzymatic deinking, Lipase, Physical properties, Brightness, Mechanical properties

*Corresponding author: Hadiaryaie@gmail.com