



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هفدهم، شماره سوم، ۱۳۸۹

www.gau.ac.ir/journals

تأثیر شرایط مختلف مرکب‌زدایی آنزیمی با سلولاز بر ویژگی‌های نوری خمیر کاغذ روزنامه باطله

*ایمان اکبرپور^۱، حسین رسالتی^۲ و احمدرضا سرائیان^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۵

چکیده

در این پژوهش قابلیت مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت‌ها و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای ساخته شده نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۰۵ درصد، درجه روشنی کاغذها به ۴۷/۵ درصد ایزو رسیده و درجه زردی آن‌ها تا ۱۱/۰۳ درصد ایزو کاهش یافت. در حالی که درجه روشنی در غلظت‌های بیش‌تر کاهش و درجه زردی افزایش یافت. درجه ماتی کاغذها با افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۱ درصد به ۹۹/۳ درصد ایزو بهبود یافت و در غلظت بیش‌تر روند کاهش داشته است. با افزودن زمان تیمار آنزیمی تا ۱۵ دقیقه و استفاده از یک مرحله شستشو، حداکثر درجه روشنی ۴۷/۵ درصد و حداقل درجه زردی ۱۱/۰۳ درصد و درجه ماتی ۹۷/۴ درصد ایزو مشاهده شده است. در زمان تیمار آنزیمی ۱۰ دقیقه، درجه ماتی بیش‌تری مشاهده گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از خواص نوری کاغذهای ساخته شده از مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله می‌توان گفت که با استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت بهینه ۰/۰۵ درصد و زمان بهینه ۱۵ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو می‌توان کاغذهای با درجه روشنی مطلوب و درجه زردی کم‌تر تولید کرد. این در حالی است که با استفاده از غلظت ۰/۱ درصد و یا زمان تیمار آنزیمی ۱۰ دقیقه، می‌توان به درجات ماتی بیش‌تری رسید.

واژه‌های کلیدی: قابلیت مرکب‌زدایی، کاغذ روزنامه باطله، سلولاز، خواص نوری

*مسئول مکاتبه: iman.ak2010@gmail.com

مقدمه

آنزیم‌ها مولکول‌های پروتئینی با ساختار پیچیده می‌باشند که واکنش‌های زیست شیمیایی را تسریع می‌کنند. فعالیت این ترکیبات شیمیایی در دامنه محدودی از pH، درجه حرارت و غلظت صورت می‌گیرد. آنزیم‌ها به‌طور کلی با افزودن پسوندها از به انتهای نام ماده‌ای که واکنش تجزیه آن را تسریع می‌کنند، نام‌گذاری می‌شوند. به‌عنوان مثال آنزیم‌های لیگنیناز واکنش تجزیه لیگنین و آنزیم‌های پکتیناز واکنش تجزیه پکتین را تسریع می‌کنند (کنت‌کرک و جفریز، ۱۹۹۶). آنزیم‌های میکروبی^۱ آثار مثبت جدیدی را برای عمل‌آوری الیاف و خمیرهای کاغذ فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال زایلاناز مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز برای رنگ‌بری، انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن و فلزات سنگین موجود در پس‌آب را کاهش می‌دهد. سلولاز درجه روانی خمیر را افزایش داده، الیاف را صاف‌تر نموده و قابلیت زبری و خمش الیاف خشک را افزایش می‌دهد. این آنزیم درصد خروج مرکب از کاغذ، دانسیته و سطح ویژه آن را افزایش می‌دهد. لیپاز مقدار ترکیبات قیری^۲ را کاهش می‌دهد و آنزیم‌های تجزیه‌کننده لیگنین^۳، لیگنین موجود در خمیرکاغذ را خارج می‌کنند. بعضی از موارد گفته شده به‌صورت فرآیند صنعتی درآمده‌اند مثل: رنگ‌بری با زایلاناز، جداسازی قیر با لیپاز و افزایش درجه روانی با سلولاز و همی‌سلولاز. انتظار می‌رود که فرآیندهای دیگر همانند جداسازی آلاینده‌ها و فیبریله کردن الیاف بازیافتی با سلولاز به زودی کاربرد صنعتی پیدا کنند (کوواهارا و شیمادا، ۱۹۹۲؛ پاپیس و همکاران، ۱۹۹۵؛ ولت و دینوس، ۱۹۹۵).

بررسی‌های کلی در زمینه مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذهای باطله در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی نشان می‌دهد که تیمار الیاف بازیافتی با سلولاز و زایلاناز مقدار زهکش خمیرکاغذ را ۲۰-۱۸ درصد افزایش می‌دهد. همچنین تیمار الیاف بازیافتی با استفاده از آنزیم‌های تجاری مقاومت خمیرکاغذ را کاهش می‌دهد. با پالایش خمیرکاغذ قبل از تیمار آنزیمی می‌توان افت کاهش مقاومت را جبران کرد. همچنین آهارزنی با نشاسته خواص مکانیکی خمیرکاغذ را بهبود می‌بخشد (کنت‌کرک و جفریز، ۱۹۹۶). آنزیم لیپاز به‌دست آمده از قارچ حلقوی با نام علمی *Cadida cylindrical* پس از اضافه شدن به مخزن خمیرکاغذ چوب آسیاب شده مقدار تری‌گلیسریدها، مصرف تالک و مشکلات قیر را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در واحدهای صنعتی نشان می‌دهند که با

1- Microbial Enzymes

2- Pitch Components

3- Lignin-Degrading Enzymes

استفاده از آنزیم‌های لیپاز، تعداد معایب موجود در کاغذ و مقدار مواد شیمیایی، همراه با توالی تمیزسازی ماشین کاغذ کاهش می‌یابد. همچنین با استفاده از آنزیم لیپاز مدت زمان موردنیاز برای خشک کردن معمول خرده‌چوب‌ها به‌منظور کنترل قیر بسیار کوتاه شده و در نهایت خرده‌چوب‌ها تمیزتر و نیاز کم‌تر به عملیات رنگ‌بری دارند. آنزیم لیپاز علاوه بر افزایش جذب آب خمیر CTMP، مقاومت و حجم ویژه کاغذ نهایی حاصل از خمیر کاغذ را هم افزایش می‌دهد (کنت‌کرک و جفریز، ۱۹۹۶).

استفاده از آنزیم سلولاز جداسازی ذرات مرکب از کاغذهای روزنامه باطله را بهبود می‌بخشد و در مقایسه با مرکب‌زدایی معمول نتایج بهتری می‌دهد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن‌ها باشد. سلولاز به مدت زمان بهینه تماس با سوسپانسیون خمیر کاغذ نیاز دارد. این آنزیم با جداسازی ذرات مرکب، می‌تواند بازده، کارایی دفیبره کردن و مصرف انرژی ویژه را بهبود بخشد. افزایش غلظت و کاهش مدت زمان خمیر کاغذسازی موجب افزایش ذخیره و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و دوام و پایداری کاغذ می‌شود (پلاچ و همکاران، ۲۰۰۲). در سیستم مرکب‌زدایی به روش متداول مقدار زیادی از مواد شیمیایی مصرف شده و تصفیه پس‌آب آن بسیار پرهزینه بوده و آلودگی زیست‌محیطی بالایی را در بر دارد. در حالی که مرکب‌زدایی بر پایه آنزیم^۱، بدون ایجاد مواد آلاینده^۲، مصرف مواد شیمیایی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داده و موجب کاهش هزینه رنگ‌بری و تصفیه پس‌آب و بهبود جداسازی ذرات مرکب^۳ از الیاف می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مرکب‌زدایی آنزیمی و شیمیایی مخلوط کاغذ باطله اداری و کاغذهای چاپ شده فتوکپی نشان می‌دهد که کارایی هر یک از این روش‌های جداسازی ذرات مرکب از سطح الیاف به اندازه ذرات مرکب بستگی دارد. برای ذرات کوچک‌تر مرکب یک مرحله شستشو و برای ذرات بزرگ‌تر مرکب روش شناورسازی مناسب‌تر است. خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با آنزیم راحت‌تر رنگ‌بری شده و نسبت به خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با روش متداول شیمیایی به مواد شیمیایی کم‌تری نیاز دارد. همچنین خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با آنزیم در ماشین کاغذ بهتر آب‌گیری شده و کاغذ به‌دست آمده از آن‌ها در مقایسه با مرکب‌زدایی به روش متداول شیمیایی، خواص فیزیکی بهتر، روشنی بیشتر و ذرات مرکب کم‌تر دارند (پالا و همکاران، ۲۰۰۳). آنزیم‌ها به‌طور مستقیم هم بر روی الیاف و هم بر روی فیلم و لایه ذرات مرکب عمل می‌کنند و باعث جدا شدن فیبریل‌های کوچک از سطح ذرات مرکب می‌شوند و با

1- Enzymatic Deinking

2- Pollutant

3- Removal of Ink Particle

تغییر آب‌دوستی^۱ این ذرات جداسازی آن‌ها را در مرحله شستشو و شناورسازی آسان نموده و کیفیت کاغذ نهایی را از نظر ویژگی‌های نوری بهبود می‌بخشد (پالا و همکاران، ۲۰۰۳).
به توجه به این‌که مرکب‌زدایی آنزیمی در بازیافت کاغذهای باطله نتایج رضایت‌بخشی را ارائه داده و در چند دهه اخیر به‌عنوان یک روش مناسب جهت جایگزین شدن با مرکب‌زدایی متداول شیمیایی مطرح شده است، در این پژوهش مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله، با استفاده از درصد‌های مختلف آنزیم سلولاز و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی انجام گرفت تا شرایط بهینه استفاده از آنزیم سلولاز در مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله تعیین شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد اولیه: کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری گردید. این کاغذها در اتاق‌های آرشیو روزنامه و یا سرویس فروش نگهداری شده و به هیچ‌وجه در معرض نور آفتاب و دمای نامطلوب قرار نگرفته بودند. از زمان چاپ کاغذهای روزنامه ۵ روز گذشته بود. کاغذهای روزنامه به‌طور مجزا در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شدند. پس از تعیین درصد رطوبت کاغذ روزنامه، نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۵-۲ سانتی‌متر تبدیل شدند. درصد رطوبت نمونه‌های آزمونی تهیه شده به‌طور تصادفی پس از سه بار نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف تعیین گردید. مقدار مشخصی از نمونه‌های آزمونی براساس وزن خشک انتخاب شده (۱۰۰ گرم کاغذ بر مبنای وزن خشک) و عملیات مرکب‌زدایی مربوط به هر بخش براساس وزن خشک کاغذ باطله با استفاده از آنزیم سلولاز در درصد‌های مختلف آنزیم سلولاز و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی انجام شد.

خمیر کاغذسازی مجدد^۲ کاغذهای باطله: نمونه‌های آزمونی تهیه شده پس از خیس خوردن در آب به مدت ۲۴ ساعت، در دستگاه پراکنده‌ساز (زمان پراکنده‌سازی ۱۰ دقیقه با تعداد دور ۲۶۵۰۰ و درصد خشکی ۵ درصد) دفیبره شدند. مدت زمان خمیرکاغذسازی مجدد با انجام آزمایش‌های متوالی اولیه تعیین شده است. خمیرکاغذ حاوی ذرات مرکب و لیاف بر روی غربال با مش ۲۰۰ آب‌گیری شده و سپس تیمار آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز در داخل کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد.

1- Hydrophilicity

2- Repulping

مرکب‌زدایی آنزیمی^۱: در این پژوهش تیمار آنزیمی با استفاده از پودر تجاری آنزیم سلولاز استخراج شده از قارچ مولد کپک^۲ انجام شده است. آنزیم سلولاز تهیه شده محصول شرکت فلوکا^۳ ژاپن و دارای فعالیت $1/02 U/mg$ می‌باشد. در ابتدا خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی با استفاده از آنزیم سلولاز در شرایط حرارتی ثابت 50 ± 1 درجه سانتی‌گراد، درصد خشکی ۱۰ درصد، زمان ۱۵ دقیقه، محدوده pH ۵-۵/۵ در غلظت‌های ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد به ترتیب معادل با $25/5U$ ، $51U$ ، $102U$ و $204U$ در کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم تیمار شدند. لازم به یادآوری است که pH بهینه تیمار آنزیمی با استفاده از آزمایش‌های متوالی تیمار آنزیمی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در سطوح مختلف ۵-۵/۵، ۶-۵/۵، ۷-۶/۵ و ۸-۷/۵ تحت شرایط ثابت فرآیندی دیگر با مقایسه مقادیر ویژگی‌های نوری به دست آمده از کاغذهای ساخته شده تعیین گردید. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری، کاغذهای ساخته شده در محدوده pH ۵-۵/۵ در مجموع درجه روشنی و درجه ماتی بیشتر و درجه زردی کمتری را در مقایسه با سایر سطوح pH مصرفی نشان دادند. در ادامه پس از تعیین غلظت بهینه آنزیم سلولاز (۰/۰۵ درصد) به دلیل داشتن ویژگی‌های نوری مطلوب‌تر، خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در زمان‌های مختلف ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه و غلظت ثابت ۰/۰۵ درصد تحت شرایط ثابت فرآیندی دیگر مرکب‌زدایی شدند. زمان بهینه تیمار آنزیمی با مقایسه ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته شده یعنی مقادیر درجه روشنی، درجه زردی و درجه ماتی کاغذ تعیین شد. خنثی‌سازی آنزیم سلولاز با استفاده از پروکسید هیدروژن به میزان ۰/۰۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ پس از انجام تیمار آنزیمی صورت گرفت. پس از خنثی‌سازی آنزیم، شستشوی خمیرهای کاغذ تیمار شده بر روی غربال با مش ۶۰ به مدت ۱۰ دقیقه تحت فشار آب یکنواخت در زیر شیر آب انجام گرفت و سپس از خمیرهای کاغذ تهیه شده کاغذهای دست‌ساز استاندارد ۶۰ گرمی ساخته شد. تهیه کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی مطابق با استاندارد تاپی^۴ با شماره ۸۸-T۲۰۵om، اندازه‌گیری خواص نوری کاغذها مانند درجه روشنی و درجه زردی کاغذ مطابق با شماره استاندارد ۹۲-T۴۵۲om و همچنین درجه ماتی کاغذ مطابق با شماره استاندارد ۹۱-T۴۲۵om انجام گرفت. در پایان خواص نوری کاغذها در غلظت و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی با خمیرکاغذ شاهد روزنامه بازیافتی مورد

- 1- Enzymatic Deinking
- 2- Aspergillus Niger
- 3- Fluka Biochemica
- 4- TAPPI

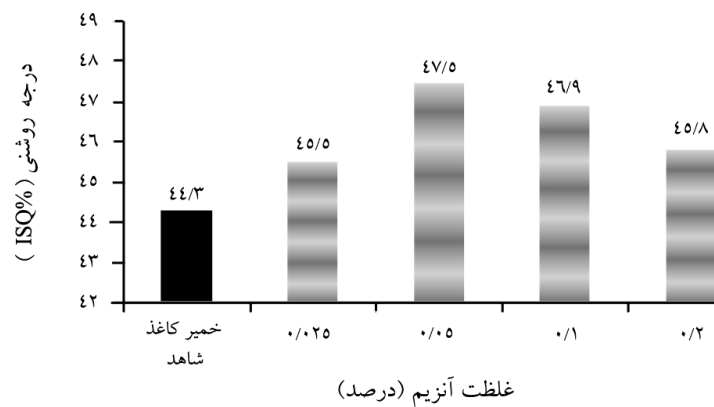
مقایسه قرار گرفتند. تعیین غلظت و زمان بهینه تیمار آنزیمی به لحاظ دارا بودن مقادیر درجه روشنی و درجه ماتی بیش‌تر و درجه زردی کم‌تر کاغذهای ساخته شده انجام شد. روش تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش جهت بررسی اثر فاکتورهای مستقل بر خواص نوری و ظاهری کاغذهای تولید شده از آزمون تجزیه واریانس و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شده است.

نتایج

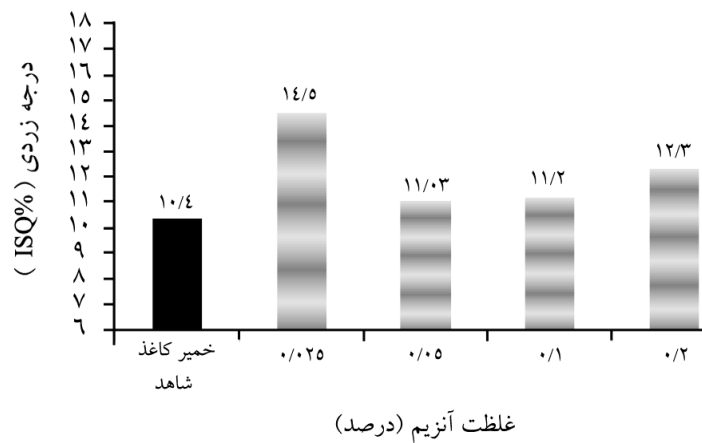
تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر خواص نوری خمیرکاغذ روزنامه بازیافتی

درجه روشنی و درجه زردی: نتایج به‌دست آمده از تأثیر غلظت‌های مختلف آنزیم سلولاز بر درجه روشنی و درجه زردی کاغذهای ساخته شده نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد (خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی بدون اضافه شدن آنزیم)، افزایش غلظت آنزیم از ۰/۰۲۵ به ۰/۱ درصد تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بر میزان درجه روشنی و درجه زردی کاغذها داشته، در حالی که افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۲ درصد تأثیر معنی‌داری را بر درجه روشنی و درجه زردی کاغذ ایجاد نکرده است. همچنین اختلاف معنی‌داری بین مقادیر درجه روشنی خمیرهای کاغذ تیمار شده با ۰/۰۲۵ و ۰/۲ درصد آنزیم در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر درجه روشنی را در ۳ گروه مجزا قرار داده و بیش‌ترین مقدار درجه روشنی به ترتیب به غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد اختصاص دارد که تفاوت بین آنها معنی‌دار نیست. کم‌ترین مقدار درجه روشنی پس از خمیرکاغذ شاهد به خمیرکاغذ تیمار شده به ۰/۰۲۵ درصد آنزیم اختصاص دارد. حداکثر درجه روشنی مربوط به غلظت ۰/۰۵ درصد آنزیم می‌باشد که مقدار آن برابر با ۴۷/۵ درصد ایزو است. همچنین در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، افزودن مقدار مصرف آنزیم از ۰/۰۲۵ به ۰/۱ درصد تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بر مقادیر درجه زردی ایجاد کرده است. بین مقادیر درجه زردی خمیرهای کاغذ تیمار شده با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد آنزیم و همچنین خمیرکاغذ شاهد با خمیرهای کاغذ تیمار شده با ۰/۰۵ درصد آنزیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. به‌طورکلی خمیرهای کاغذ تیمار شده با آنزیم درجه زردی بیش‌تری را در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد نشان دادند. نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین مقادیر درجه زردی کاغذ با آزمون دانکن نشان داد که این مقادیر

در ۴ گروه مجزا قرار دارند و بیشترین درجه زردی مربوط به غلظت ۰/۰۲۵ درصد و کمترین مقدار آن پس از خمیر کاغذ شاهد مربوط به خمیرهای کاغذ تیمار شده با ۰/۰۵ درصد آنزیم می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

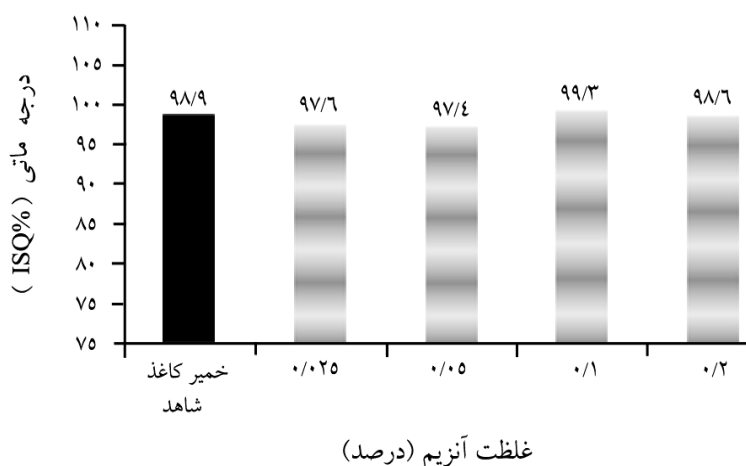


شکل ۱- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر درجه روشنی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.



شکل ۲- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر درجه زردی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

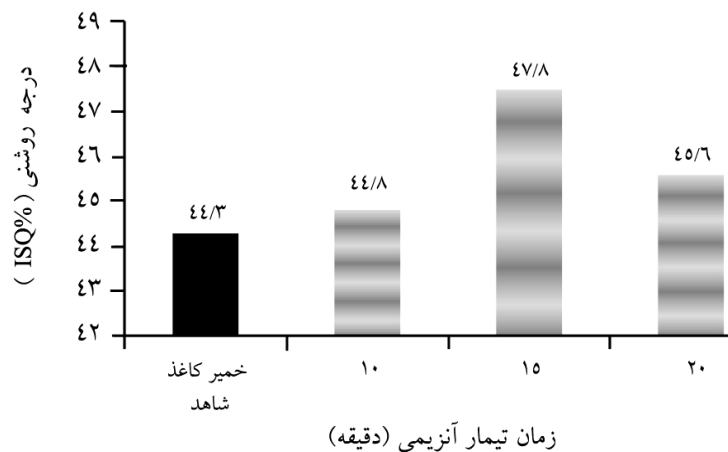
درجه ماتی: تجزیه واریانس مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده از خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی با غلظت‌های مختلف آنزیم سلولاز نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، افزایش غلظت آنزیم از ۰/۰۲۵ به ۰/۱ درصد تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بر درجه ماتی کاغذ ایجاد کرده است، در حالی‌که با افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۲ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. همچنین بین مقادیر درجه ماتی خمیرهای کاغذ تیمار شده با غلظت‌های ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۲ درصد اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده را در ۲ گروه مجزا قرار داده است. بیش‌ترین درجه ماتی به غلظت آنزیم ۰/۱ درصد و کم‌ترین درجه ماتی به غلظت ۰/۰۵ درصد آنزیم اختصاص دارد که به‌ترتیب ۹۹/۳۶ و ۹۷/۳۶ می‌باشند (شکل ۳).



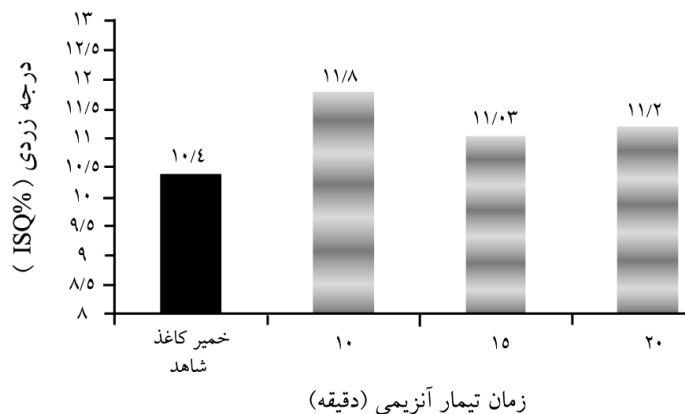
شکل ۳- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر درجه ماتی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر خواص نوری خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی درجه روشنی و درجه زردی: نتایج به‌دست آمده از ارزیابی تأثیر زمان تیمار آنزیمی در غلظت ثابت ۰/۰۵ درصد بر خواص نوری کاغذهای بازیافتی روزنامه نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، افزودن زمان تیمار از ۱۰ دقیقه به ۱۵ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بر

درجه روشنی کاغذها ایجاد کرده و این در حالی است که در زمان تیمار ۲۰ دقیقه، تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. بین مقادیر درجه روشنی خمیرهای کاغذ شاهد و خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با آنزیم در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. آزمون دانکن مقادیر درجه روشنی کاغذهای به‌دست آمده را در ۳ گروه مجزا قرار داده است. بیش‌ترین درجه روشنی به میزان ۴۷/۵ درصد ایزو در زمان تیمار ۱۵ دقیقه و کم‌ترین مقدار درجه روشنی به خمیرکاغذ شاهد و زمان تیمار ۱۰ دقیقه اختصاص دارند که به ترتیب ۴۴/۳ و ۴۴/۸ درصد ایزو می‌باشند. همچنین افزایش زمان تیمار از ۱۰ دقیقه به ۲۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری را بر زردی کاغذها در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد ایجاد نکرده است. آزمون دانکن مقادیر درجه زردی به‌دست آمده از کاغذهای ساخته شده را در ۲ گروه مجزا قرار داده که بیش‌ترین درجه زردی به میزان ۱۱/۷۶ درصد ایزو مربوط به زمان ۱۰ دقیقه و کم‌ترین درجه زردی به خمیرکاغذ شاهد و زمان تیمار آنزیمی ۱۵ دقیقه اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب ۱۰/۴۳ و ۱۱/۰۳ درصد ایزو می‌باشند. لازم به یادآوری است که اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد بین مقادیر درجه زردی خمیرکاغذ شاهد و خمیرهای کاغذ تیمار شده با آنزیم در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده نشده است (شکل‌های ۴ و ۵).

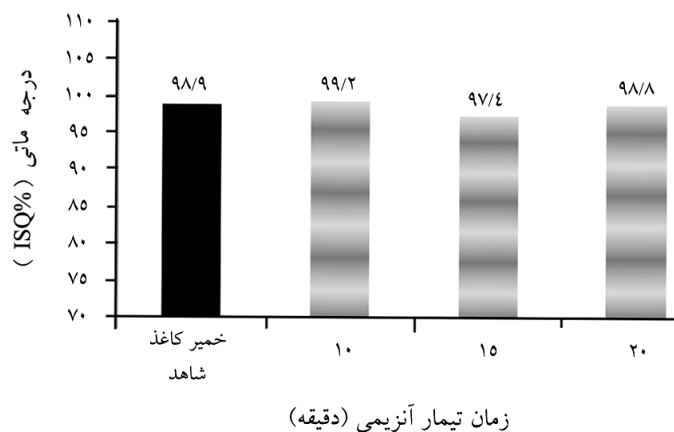


شکل ۴- تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه روشنی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.



شکل ۵- تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه زردی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

درجه ماتی: شواهد به‌دست آمده از ارزیابی تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه ماتی کاغذها نشان داد که افزایش زمان تیمار از ۱۰ دقیقه به ۱۵ دقیقه، تأثیر معنی‌داری را در درجه ماتی کاغذ در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد ایجاد کرده است، در حالی که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر درجه ماتی در زمان تیمار ۲۰ دقیقه مشاهده نمی‌شود. همچنین بین مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده از خمیر کاغذ شاهد روزنامه و خمیرهای کاغذ تیمار شده با آنزیم در زمان ۱۰ و ۲۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. آزمون دانکن مقادیر درجه ماتی به‌دست آمده را در ۲ گروه مجزا قرار داده که بیش‌ترین درجه ماتی به مقدار ۹۹/۲۳ درصد ایزو در زمان ۱۰ دقیقه و کم‌ترین درجه ماتی به مقدار ۹۷/۳۶ درصد ایزو در زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شده است (شکل ۶).



شکل ۶- تأثیر زمان تیمار آنزیمی بر درجه ماتی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی.

بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از ارزیابی مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم مصرف شده از ۰/۰۲۵ به ۰/۰۵ درصد به درجه روشنی کاغذها افزوده و از زردی آن‌ها کاسته شده است. این در حالی است که در غلظت‌های بیش‌تر از ۰/۰۵ درصد از درجه روشنی کاغذها کاسته شده و میزان زردی آن‌ها افزایش یافته است. آنزیم‌ها به‌طور مستقیم هم بر روی الیاف و هم بر روی فیلم و لایه ذرات مرکب عمل کرده و باعث جدا شدن فیبریل‌های کوچک از سطح ذرات مرکب می‌شوند. با تغییر آب‌دوستی ذرات مرکب، جداسازی آن‌ها در مرحله شستشو و شناورسازی آسان شده و کیفیت کاغذ نهایی به لحاظ خواص نوری بهبود خواهد یافت (پالا و همکاران، ۲۰۰۳؛ پلاچ و همکاران، ۲۰۰۲). آنزیم با تأثیر بر روی لایه مرکب موجب تفکیک شدن ذرات بزرگ‌تر مرکب به ذرات ریزتر می‌شود. با ریزتر شدن ذرات مرکب، جداسازی آن‌ها با پروسه شستشو و یا شناورسازی بهبود می‌یابد. در غلظت‌های بیش‌تر به دلیل تفکیک و شکسته شدن بیش از حد ذرات مرکب، تعداد ذرات ریز مرکب موجود در خمیرکاغذ افزایش یافته و با پراکنده شده آن‌ها در محیط واکنش، امکان رسوب مجدد آن‌ها بر روی سطح و بخش‌های متخلخل الیاف وجود دارد. در نتیجه روشنی کاغذ در غلظت‌های بیش‌تر کاهش یافته است (ولت و دینوس، ۱۹۹۵). آنزیم سلولاز جهت مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه به‌مدت زمان بهینه تماس با سوسپانسیون خمیرکاغذ نیاز دارد. با افزایش زمان تیمار آنزیمی تا ۱۵ دقیقه افزایش معنی‌داری در مقدار درجه روشنی مشاهده شده است، در حالی که در زمان‌های بیش‌تر از ۱۵ دقیقه، درجه روشنی کاغذها کاهش و به درجه زردی آن‌ها افزوده شده است. در زمان‌های بیش‌تر تیمار آنزیمی، تأثیر آنزیم بر روی ذرات مرکب شدیدتر بوده و با تفکیک شدن بیش‌تر ذرات مرکب به ذرات ریزتر، امکان رسوب مجدد آن‌ها بر روی سطح الیاف افزایش می‌یابد. به همین دلیل در زمان ۲۰ دقیقه، ذرات مرکب بر روی الیاف رسوب کرده و منجر به کاهش درجه روشنی و افزایش درجه زردی کاغذ شده است (پلاچ و همکاران، ۲۰۰۲). در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، درجه زردی کاغذهای حاصل از مرکب‌زدایی آنزیمی در غلظت و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی افزایش یافته که دلیل عمده آن می‌تواند تشکیل مجدد گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین باشد. کاغذهای روزنامه ساخته شده از خمیرکاغذ مکانیکی دارای لیگنین می‌باشد، به‌طوری‌که گروه‌های کروموفور و یا رنگ‌ساز موجود در لیگنین تحت شرایط به‌کار گرفته شده دوباره تشکیل شده و منجر به

افزایش درجه زردی کاغذها شده است. در طی فرآیند مرکب‌زدایی آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله، درجه روشنی و درجه زردی کاغذهای حاصل از خمیرهای کاغذ تیمار شده با آنزیم سلولاز در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد افزایش یافتند. به نظر می‌رسد که میزان افزایش درجه روشنی کاغذ به دلیل حذف ذرات مرکب توانمندتر و بیش‌تر از کاهش درجه روشنی آن به دلیل تشکیل گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین بوده باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که تأثیر حذف ذرات مرکب در افزایش درجه روشنی کاغذ به مراتب بیش‌تر از تأثیر گروه‌های رنگ‌ساز لیگنین بر کاهش درجه روشنی کاغذ بوده است. به همین دلیل در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، در مجموع در خمیرکاغذ تیمار شده با آنزیم سلولاز، افزایش درجه روشنی با افزایش درجه زردی کاغذ مشاهده شده است. نتایج این پژوهش نشان داده که حداقل درجه زردی در صورت استفاده از غلظت ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز و زمان تیمار ۱۵ دقیقه مشاهده خواهد شد.

درجه ماتی به‌عنوان شاخصی از چاپ‌پذیری کاغذ بوده و با مجموع نور عبوری از کاغذ تعیین می‌شود. درجه ماتی در کاغذهای چاپ و تحریر و اوراق بهادار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. عوامل مؤثر بر درجه ماتی کاغذ عبارتند از: ساختار، وزن پایه، فاصله الیاف از یکدیگر، میزان پالایش، فشار پرس در پایانه تر، مواد رنگی، مقدار و نوع پرکننده، میزان پراکندگی پرکننده‌ها، تقابل نوری پرکننده‌ها با الیاف، عوامل پوشش‌دهنده سطحی الیاف خمیرکاغذ و مقدار نرمه‌ها، میزان انعکاس نور از کاغذ. وقتی بین الیاف اتصال ایجاد می‌شود، نور بدون عبور از هوا از فیبری به فیبر دیگر منتقل می‌گردد که به آن تقابل نوری می‌گویند. این عمل موجب کاهش پخش نور در مناطق یادشده می‌شود. در اثر عمل پالایش دو عمل رخ می‌دهد. ۱- افزایش نرمه‌ها و ریزه الیاف که منجر به افزایش تفرق نور و بهبود ماتی می‌گردد. ۲- افزایش اتصالات بین الیاف که منجر به کاهش تفرق نور و کاهش ماتی می‌شود (افرا، ۲۰۰۳). افزایش غلظت آنزیم سلولاز تا ۰/۰۵ درصد در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به بهبود درجه ماتی، این در حالی است که افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۱ درصد تأثیر معنی‌داری را بر درجه ماتی کاغذ ایجاد کرده است. خروج نرمه‌ها را می‌توان به افزایش و یا کاهش درجه ماتی نسبت داد. به نظر می‌رسد که درجه ماتی با افزایش مقدار نرمه‌های ایجاد شده در اثر فعالیت آنزیم در غلظت‌های بیش‌تر بهبود می‌یابد. همچنین در غلظت‌های بیش‌تر آنزیم (۰/۱ و ۰/۲ درصد) درجه ماتی کاغذ به دلیل افت روشنی در اثر رسوب مجدد ذرات مرکب بر روی الیاف و یا حفره‌های سلولی آن افزایش می‌یابد. چون وجود ذرات مرکب بیش‌تر در کاغذ به منزله درجه روشنی کم‌تر و درجه ماتی بیش‌تر به دلیل افزایش قابلیت

جذب نور کاغذ می‌باشد. بیش‌ترین بهبودی در درجه ماتی کاغذ در غلظت ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز مشاهده شده است. همچنین آنزیم با تأثیر بر روی الیاف و افزایش سطح ویژه آن موجب افزایش تفرق و پخش نور شده و درجه ماتی را بهبود می‌بخشد. همچنین افزایش زمان تیمار آنزیمی از ۱۵-۱۰ دقیقه به دلیل بهبود و افزایش اتصال بین الیاف منجر به کاهش درجه ماتی شده که به لحاظ کمی در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. افزایش زمان تیمار آنزیمی تا ۲۰ دقیقه به دلیل ایجاد نرمه‌های بیش‌تر در خمیر کاغذ منجر به افزایش درجه ماتی شده که از نظر مقداری معنی‌دار نیست. به‌طور کلی می‌توان گفت در صورتی که از آنزیم سلولاز در مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله استفاده شود، می‌توان با غلظت ۰/۰۵ درصد و همچنین زمان تیمار آنزیمی ۱۵ دقیقه به حداکثر درجه روشنی ۴۷/۵ درصد ایزو و حداقل درجه زردی ۱۱/۰۳ درصد ایزو رسید، این در حالی است که حداکثر درجه ماتی در غلظت ۰/۱ درصد و زمان تیمار ۱۰ دقیقه مشاهده شده است. به‌طور کلی با در نظر داشتن میزان بهبودی ویژگی‌های نوری کاغذهای به‌دست آمده از مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله با آنزیم سلولاز در غلظت و زمان‌های مختلف تیمار می‌توان گفت که استفاده از غلظت ۰/۰۵ درصد و زمان تیمار ۱۵ دقیقه در مجموع ویژگی‌های نوری بهتری را نتیجه خواهد داد.

منابع

1. Afra, E. 2003. Properties of paper. Agriculture Science Press, 392p. (In Persian)
2. Kent Kirk, T. and Jeffries, T.W. 1996. Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing. Institute for Microbial and Biochemical Technology, Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Pp: 1-14.
3. Kuwahara, M. and Shimada, M. 1992. Biotechnology in pulp and paper industry. J. Biotechnol. 23: 4. 146-153.
4. Pala, H., Mota, M. and Gama, F.M. 2003. Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. J. Biotechnol. 108: 1. 79-89.
5. Paice, M.G., Bourbonnais, R., Reid, I.D. and Archibald, J.L.J. 1995. Pulp paper. J. Pulp and Paper Sci. 96: 1. 1684-1689.
6. Pelach, M.A., Pastor, F.J., Puing, J., Mutje, P. and Vilaseca, F. 2002. Enzymatic deinking of newspaper with cellulase. Process Biochemistry, 38: 1063-1067.
7. Welt, T. and Dinus, R.J.P. 1995. Paper recycling, Enzymatic deinking- a review Program Paper Recycle, 4: 2. 36-47.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 17(3), 2010
www.gau.ac.ir/journals

The Effect of Different Conditions of Enzymatic Deinking on Optical Properties of ONP Deinked Pulp with Cellulase

***I. Akbarpour¹, H. Resalati² and A.R. Saraeian³**

¹M.Sc. graduated of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: March, 9, 2009; Accepted: April, 14, 2010

Abstract

Deinkability of old newspaper was investigated using cellulase at different concentrations and treatment times. The results of optical properties of the made papers indicated that by increasing the enzyme concentration to 0.05 percent the brightness was increased to 47.5% ISO and yellowness decreased to 11.03% ISO. While at higher charges than 0.05 percent, brightness value the was decreased and yellowness increased. Opacity of paper was improved to 99.3% ISO by increasing the enzyme charge to 0.1% but it was reduced at higher levels than 0.1%. It was observed that enhancing of treatment time to 15 minutes and also using one-stage washing resulted in the highest brightness of 47.5% ISO, the lowest yellowness of 11.03% ISO and the opacity of 97.4% ISO. Maximum opacity was observed at treatment time of 10 minutes. With regard to the results from paper provided with enzymatic deinking of old newspaper, we could produce the papers with desirable brightness and low yellowness using optimum charge of 0.05% cellulase and treatment time of 15 minutes along with one-stage washing. We could also obtain higher opacity values using 0.1 percent enzyme or 10 minutes treatment time.

Keywords: Deinkability, Old newspaper, Cellulase, Optical properties

* Corresponding Author; Email: iman.ak2010@gmail.com