

تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر ویژگی های نوری و فیزیکی خمیر کاغذ روزنامه مرکب زدایی شده

ایمان اکبرپور^{۱*}، حسین رسالتی^۲

^۱ دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
^۲ دانشیار تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه تکنولوژی چوب و کاغذ

چکیده

آنزیم‌ها مولکول‌های پروتئینی با ساختار پیچیده می‌باشند که واکنشهای زیست شیمیایی را شتاب می‌دهند. فعالیت این ترکیبات شیمیایی در دامنه محدودی از pH، دما و غلظت صورت می‌گیرد. در این پژوهش تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز در مرکب زدایی کاغذ روزنامه باطله مورد بررسی قرار گرفت. کاغذ روزنامه باطله در شرایط درصد خشکی ۵٪ به مدت زمان ۱۰ دقیقه در دستگاه پراکنده ساز با دور ۲۶۵۰۰ به خمیر کاغذ تبدیل شد. تیمار آنزیمی خمیر کاغذ روزنامه بازیافتی در شرایط ثابت (درصد خشکی ۱۰٪، زمان تیمار ۱۵ دقیقه، محدوده ۵-۵ pH) در غلظت های مختلف ۰/۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ درصد آنزیم سلولاز (بر پایه وزن خشک کاغذ باطله) انجام گرفت. ویژگی های نوری و فیزیکی کاغذهای استاندارد (60 g/m^2) ساخته شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد (خمیر کاغذ تیمار نشده با سلولاز) ارزیابی شدند. نتایج حاصل از مقایسه ویژگی های نوری کاغذهای ساخته شده نشان داد که آنزیم سلولاز در مرکب زدایی کاغذ روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد در مجموع منجر به افزایش روشنی و زردی و کاهش ماتی کاغذ شده است. با افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۲۵ به ۰/۰۵ درصد، روشنی به بیشینه میزان ۴۷/۵ درصد ایزو بهبود یافت و زردی کاغذ به کمینه میزان ۱۱/۰۳ درصد ایزو کاهش یافت. این در حالی است که در غلظت های بیشتر از ۰/۰۵ درصد سلولاز، روشنی کاهش یافته و به زردی کاغذ افزوده شد. بیشترین ماتی ۹۹/۳ درصد ایزو با استفاده از ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز حتی بیشتر از خمیر کاغذ شاهد به دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه ویژگی های فیزیکی کاغذهای ساخته شده نشان داد که استفاده از آنزیم سلولاز در مرکب زدایی کاغذ روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد منجر به کاهش ضخامت، مقاومت به عبور هوا و دانسیته کاغذ و بهبود درجه روانی خمیر کاغذ شده است.

واژه های کلیدی: آنزیم سلولاز، مرکب زدایی، کاغذ روزنامه باطله، ویژگی های نوری، ویژگی های فیزیکی.

مقدمه

صنایع خمیرکاغذ به منظور استفاده از آنزیم ها نیازمند آشنایی کامل با شرایط بهینه استفاده از آنها می باشد. با توجه به اینکه آنزیم یک ماده زیست شیمیایی است و در شرایط محدود دما و pH فعالیت بهینه دارد، بنابر این تغییرات جزئی در عوامل یادشده می تواند بر میزان فعالیت آن موثر باشد. هم اکنون دیدگاه های مختلفی برای استفاده از آنزیم های فعال در محیط های اسیدی، قلیایی و خنثی وجود دارد (باجپای، ۱۹۹۸).

آنزیم های سلولاز بنابر گزارش های منتشر شده در سال ۱۹۹۱ نشان دادند که در جدا سازی مرکب از کاغذهای روزنامه باطله موثر می باشند. همچنین تحقیقات نشان می دهند که آنزیم های میکروبی جداسازی ذرات مرکب تونر را از کاغذهای باطله افزایش می دهد. آنزیم ها در مقایسه با خمیرکاغذ شاهدهی که تنها با آب تیمار شده است، بیشتر از ۹۵٪ ذرات تونر را از الیاف بازیافتی خارج نموده است. استفاده از آنزیم های سلولاز در خمیرهای کاغذ باید به دقت کنترل شود تا از تجزیه زیاد زنجیر سلولز جلوگیری شود (هیز و همکاران، ۱۹۹۶).

در مرکب زدایی به روش آنزیمی، آنزیم ها به خود مرکب و یا به سطح الیاف حمله ور می شوند و سازوکار عمده آنها مبتنی بر سست کردن اتصال ذرات مرکب و الیاف و حذف ذرات ریز و تار فیبریل می باشد. استفاده از آنزیم درصد خروج مواد آلاینده و کارایی فرآیند مرکب زدایی را افزایش می دهد. همچنین استفاده از آنزیم ها موجب می شود تا مرکب چاپ به ذرات کوچکتری شکسته شود، در نتیجه ذرات مرکب حاصل خیلی آسان تر می توانند شستشو و یا شناورسازی شوند. گزارش های منتشر شده نشان می دهند که آنزیم ها مقاومت کاغذهای ساخته شده از الیاف بازیافتی را افزایش داده و میزان آب گیری خمیرکاغذ را بهبود می بخشند (ولت، ۱۹۹۶؛ یانگلی، ۲۰۰۲).

کیم و همکاران^۱ (۱۹۹۴) اثبات کردند که کاغذ روزنامه مرکب زدایی شده با آنزیم سلولاز قابل مقایسه با کاغذ

روزنامه مرکب زدایی شده به روش متداول یعنی استفاده از پروکسید قلیایی می باشند. همچنین نتایج حاصل نشان داد که روشنی کاغذ با افزایش میزان آنزیم به کار گرفته شده در مرکب زدایی روزنامه افزایش یافت و ترکیب بهینه از سلولاز و همی سلولاز حتی روشنی بیشتری از آنچه که با مرکب زدایی شیمیایی بدست آمده را نتیجه داد.

سایکس^۲ و همکاران (۱۹۹۶) در بررسی خود با عنوان ارتقاء کاغذ بازیافتی با پیش تیمار آنزیمی و رنگ بری با پروکسید تحت فشار به این نتیجه رسیدند که پیش تیمار آنزیمی نقش مهمی در ارتقاء درجه کاغذ بازیافتی دارد. ایشان ترکیبی از کاغذ روزنامه باطله^۳ و کاغذ مجله باطله^۴ را به عنوان نیمی از ترکیب خمیرکاغذ با اختلاطی از کاغذهای باطله با کیفیت پائین در شرایط ثابت درصد خشکی ۴٪، زمان ۲۰ دقیقه، دمای ۵۰°C با اضافه کردن ۰/۰۴ درصد ۳۴۲ *Novozyme* مرکب زدایی کرده و سپس با ۲٪ پروکسید، ۳٪ سیلیکات سدیم، ۵/۰٪ سولفات منیزیم و ۱/۲٪ هیدروکسید سدیم در درصد خشکی ۱۵٪، زمان ۹۰ دقیقه و دمای ۸۰°C فرآیند رنگ بری را انجام دادند. نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی موجب بهبود جداسازی مواد آلاینده می شود. در اثر تیمار آنزیمی و رنگ بری با فرمامیدین سولفینیک اسید^۵، روشنی خمیرکاغذ به حدود ۸۰٪ بهبود یافت، در حالی که روشنی خمیر کاغذ شاهد رنگ بری شده بدون تیمار آنزیمی حدود ۷۷٪ دیده شده است. همچنین تیمار آنزیمی منجر به کاهش سطح ذرات مرکب از mm^2/m^2 ۱۲۸ در خمیرکاغذ شاهد به mm^2/m^2 ۳۵ کاهش یافت. ویژگی های مقاومتی الیاف همانند شاخص ترکیب و کششی در مورد خمیرکاغذ شاهد و خمیرکاغذ پیش تیمار شده با آنزیم حفظ شد. تیمار آنزیمی همراه با رنگ بری با پروکسید تحت فشار^۶ به طور معنی داری موجب

² Sykes

³ Old Newspaper

⁴ Old Magazine

⁵ Formamidine Acid Sufonic (FAS)

⁶ Pressurized peroxide

¹ Kim and et al

به این نتیجه رسیدند که استفاده از توالی آنزیم سلولاز و همی سلولاز به نسبت برابر منجر به کارآیی مرکب زدایی ۷۰/۱ درصد خواهد شد. همچنین با افزایش غلظت خمیرکاغذ سازی، کارآیی مرکب زدایی کاهش یافت و بیشینه کارآیی مرکب زدایی ۶۲٪ با درصد خشکی ۱-۲٪ بدست آمده است. درصد خشکی بیشتر در خمیرکاغذ سازی به دلیل سطح ویژه کمتر برای عمل آنزیمی ممکن است مناسب نباشد. استفاده از غلظت آنزیم در محدوده U۲۵-۵ کارآیی مرکب زدایی در محدوده ۷۳-۷۰ درصد را نتیجه داده است. همچنین نتایج حاصل از تأثیر زمان‌های مختلف خمیرکاغذ سازی نشان داد که بیشینه کارآیی مرکب زدایی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس بدست آمده است. همچنین بیشینه کارآیی مرکب زدایی ۷۲/۱ درصد با استفاده از pH حدود ۳/۵ بدست آمده است. نتایج حاصل از توالی های مختلف آنزیمی مصرف شده نشان داد که بیشینه کارآیی مرکب زدایی با استفاده از سامانه سلولاز و همی سلولاز به میزان ۶۲ درصد بدست آمده است در حالی که سلولاز- همی سلولاز و لپپاز کارآیی ۵۵-۵۶ درصد را نتیجه داده است. به طور کلی نتایج حاصل از بررسی شرایط مختلف به کار گرفته شده در مرکب زدایی کاغذهای باطله اداری با چاپ لیزری نشان داد که با استفاده از اختلاط آنزیم سلولاز و همی سلولاز تحت شرایط درصد خشکی خمیرکاغذ سازی ۲٪، زمان خمیرکاغذ سازی ۱ دقیقه، دمای ۵۰، سرعت هم زن ۶۰ دور در دقیقه، غلظت خمیرکاغذ ۴٪، غلظت آنزیم ۲/۵٪ به نسبت برابر ۱:۱ و زمان آبکافت ۶۰ دقیقه می توان به کارآیی مرکب زدایی ۷۳ درصد رسید. با توجه به اینکه آنزیم های مختلف تحت شرایط بهینه مشخص به لحاظ غلظت یا میزان مصرف، دمای تیمار، میزان pH و زمان تیمار و همچنین منشاء آنزیم استخراج شده می توانند در مرکب زدایی کاغذهای باطله سودمند باشند، در این تحقیق غلظت آنزیم سلولاز به عنوان یکی از مهم‌ترین مشخصه های تأثیرگذار در زدودن ذرات مرکب کاغذهای باطله مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز استخراج شده از قارچ

بهبود روشنی خمیرکاغذ و پایداری روشنی الیاف مکانیکی در کاغذ بازبافتی با کیفیت پائین شده است. پلاچ^۱ و همکاران (۲۰۰۲) مرکب زدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله را با سلولاز مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل به نسبت همانند و در مواردی بهتر از روش شیمیایی متداول بوده است. سلولاز برای عمل موثر به زمان بهینه تماس با سوسپانسیون الیاف نیاز دارد، به طوری که جداسازی مرکب با زمان تیمار مناسب و مصرف انرژی ویژه بهینه می شود. افزایش غلظت سوسپانسیون و کاهش زمان خمیرسازی می تواند موجب صرفه جویی بیشتر هزینه ها و پایداری بهتر کارخانه شود. با بررسی های به عمل آمده آنزیم سلولاز در خمیرکاغذ سازی با درصد خشکی ۶٪ و مدت زمان ۳۰ دقیقه نسبت به مرکب زدایی معمول با روش شیمیایی کارآمدی بیشتری را نشان داد.

پالا و همکاران (۲۰۰۶) عامل های موثر بر میزان جدا سازی مرکب‌های چاپ شده در چرخه مرکب زدایی مخلوط کاغذهای باطله اداری^۲ در مقیاس آزمایشگاهی مانند pH، مواد کمک کننده به مرکب زدایی، آنزیم ها، مواد شیمیایی، پیش شستشو و اثر اصطکاک حاصل از اختلاط خمیرهای کاغذ را مورد ارزیابی قرار داده و ویژگی‌های ظاهری، فیزیکی و مکانیکی کاغذ های ساخته شده را پیش و پس از تیمار شیمیایی و آنزیمی مقایسه نمودند. نتایج حاصل نشان داد که فرآیند شستشو نسبت به شناورسازی در جداسازی ذرات مرکب از الیاف تیمار شده با آنزیم مؤثرتر است و علت آن را ابعاد ریزتر متوسط ذرات مرکب در نمونه کاغذ عنوان کردند. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذهای تهیه شده از تیمار شیمیایی مطلوب تر از کاغذ های تیمار شده به روش آنزیمی دیده شده است، اما در مقابل سرعت زهکشی نمونه‌های حاصل از تیمار آنزیمی بهتر بودند.

لی^۳ و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود تحت عنوان مرکب زدایی آنزیمی کاغذهای باطله اداری با چاپ لیزری

¹ Pelach

² Mixed Office Waste Paper

³ Lee

پس از انجام تیمارهای آنزیمی، خنثی سازی آنزیم سلولاز با استفاده از پروکسید هیدروژن به میزان ۰/۰۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ صورت گرفت. پس از خنثی سازی 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 دست ساز استاندارد ۶۰ گرمی ساخته شد. تهیه کاغذهای دست ساز ۶۰ گرمی برابر با استاندارد تاپی^۴ با شماره T۲۰۵ SP-۹۵، انجام شد. اندازه گیری ویژگیهای نوری کاغذهای ساخته شده مانند روشنی و زردی برابر با شماره استاندارد T ۴۵۲om-۰۲ و ماتی کاغذ برابر با شماره استاندارد T ۴۲۵ om-۰۲ انجام گرفت. اندازه گیری ویژگی های فیزیکی کاغذ مانند ضخامت، مقاومت کاغذ به عبور هوا و درجه روانی خمیرکاغذ به ترتیب برابر با شماره استاندارد T ۲۲۷om-۰۴ و T ۴۶۰om-۰۲ ، T ۴۱۱om-۰۵ اندازه گیری شدند. همچنین میزان بالک و دانسیته کاغذ برابر با روابط موجود بین وزن پایه و ضخامت کاغذ محاسبه شدند. در نهایت ویژگی های نوری و فیزیکی کاغذهای ساخته شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز در مقایسه با کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ شاهد روزنامه بازیافتی مورد مقایسه قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شده است. از آزمون تجزیه واریانس برای بررسی اثر عامل متغیر غلظت آنزیم سلولاز بر ویژگی های نوری و ویژگی های فیزیکی کاغذهای حاصل از مرکب زدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله استفاده شد. از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین داده های بدست آمده بکار گرفته شد.

مولد کپک^۱ بر ویژگی های نوری و فیزیکی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده بررسی شده و در نهایت غلظت بهینه آنزیم به لحاظ داشتن ویژگی های نوری و فیزیکی مطلوب در کاغذهای ساخته شده تعیین شد.

مواد و روش ها

خمیرکاغذ سازی دوباره^۲ کاغذ روزنامه باطله

کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری شد. از زمان چاپ کاغذهای روزنامه ۵ روز گذشته است. پس از تعیین درصد رطوبت کاغذ روزنامه، نمونه های آزمونی به ابعاد ۵-۲ سانتی متر از آنها تهیه شدند. نمونه های آزمونی تهیه شده پس از خیس خوردن در آب به مدت ۲۴ ساعت به طور جداگانه در دستگاه پراکنده ساز در شرایط درصد خشکی ۵٪، زمان پراکنده سازی ۱۰ دقیقه با دور ۲۶۵۰۰ لیف ها جداسازی شدند. مدت زمان خمیرکاغذ سازی دوباره با انجام آزمایش های متوالی اولیه تعیین شده است. در هر مرحله خمیرکاغذ سازی دوباره از ۱۰۰ گرم کاغذ روزنامه باطله بر پایه وزن خشک استفاده شده است. خمیرکاغذ حاصل بر روی غربال با مش ۲۰۰ آب گیری شده و سپس تیمار آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت های مختلف در درون کیسه پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد.

تیمار آنزیمی^۳

تیمار آنزیمی خمیرکاغذ روزنامه بازیافتی با استفاده از پودر تجاری آنزیم سلولاز استخراج شده از قارچ مولد کپک انجام شد. آنزیم سلولاز تهیه شده دارای فعالیت $1/0.2 \text{ U/mg}$ می باشد. خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی با استفاده از آنزیم سلولاز تحت شرایط ثابت دمای 50 ± 1 درجه سلسیوس، درصد خشکی ۱۰٪، زمان تیمار ۱۵ دقیقه، محدوده pH ۵-۵/۵ در غلظت های ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد به ترتیب معادل با $25/5U$ ، $51U$ ، $102U$ و $204U$ در کیسه های پلاستیکی در حمام آب گرم تیمار شدند.

^۱ Aspergillus niger

^۲ Repulping

^۳ Enzymatic Treatment

نتایج

بررسی ویژگی های نوری کاغذ
روشنی و زردی

آزمون تجزیه واریانس میزان روشنایی و زردی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، افزایش غلظت آنزیم مصرفی از ۰/۰۲۵ به ۰/۱ درصد تأثیر معنی داری را بر میزان روشنایی و زردی کاغذ در سطح اعتماد ۹۹٪ نشان داد (جدول های ۱ و ۲). همچنین

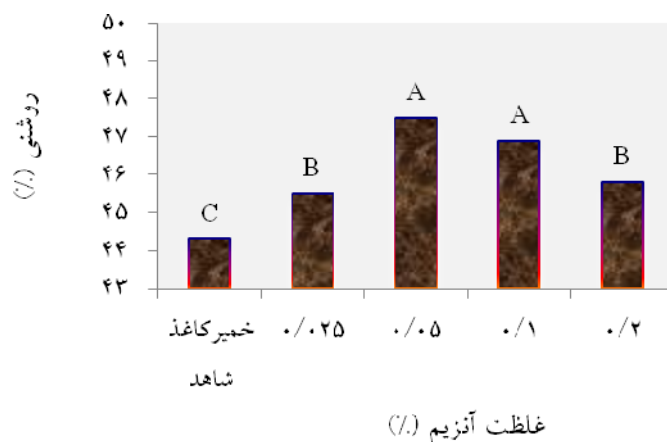
شواهد بدست آمده نشان داد که افزایش مصرف آنزیم سلولاز به ۰/۰۵ درصد موجب افزایش روشنایی و زردی کاغذ شده است. نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان داد که در غلظت بیشتر از ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز، اختلاف معنی داری در میزان روشنایی و زردی کاغذ وجود ندارد. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر روشنایی و زردی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده به ترتیب در شکل های شماره ۱ و ۲ نشان داده است.

جدول ۱- آزمون تجزیه واریانس روشنایی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده
در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

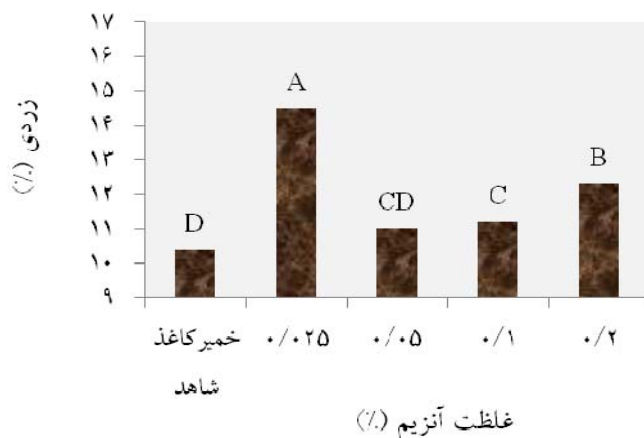
منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۴۴۶۶۶/۱۸	۴	۶۱۱۶۶/۴	۳۹/۳۷	۰۰۰۱/۰
خطا	۲۳۳۳۳/۱	۱۰	۱۲۳۳۳/۰		
کل	۶۸۰۰۰/۱۹	۱۴			

جدول ۲- آزمون تجزیه واریانس زردی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۹۳۶۰۰/۳۰	۴	۷۳۴۰۰/۷	۱/۱۲۶	۰۰۰۱/۰
خطا	۶۱۳۳۳/۰	۱۰	۰۶۱۳۳/۰		
کل	۵۴۹۳۳/۳۱	۱۴			



شکل ۱- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر روشنایی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی



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

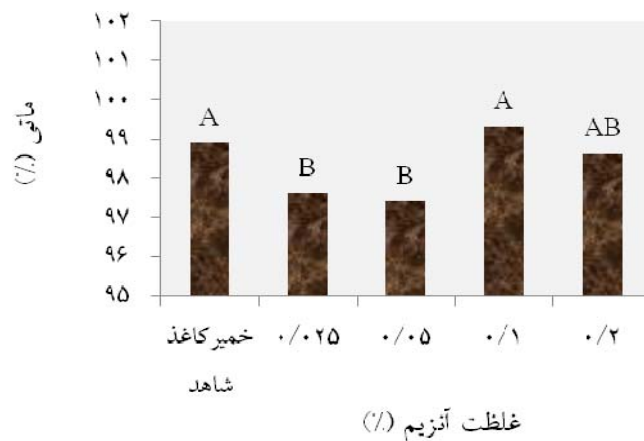
و 0.1 درصد آنزیم سلولاز، دیده نشده است. در مجموع می توان گفت که با استفاده از 0.1 درصد آنزیم سلولاز در مرکب زدایی کاغذهای روزنامه باطله می توان کاغذهای با ماتی بیشتر و حتی بیشتر از خمیر کاغذ شاهد بدست آورد. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر ماتی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در شکل شماره ۳ نشان داده است.

ماتی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر میزان ماتی کاغذ نشان داد که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، افزایش غلظت آنزیم سلولاز از 0.025 به 0.1 درصد تأثیر معنی داری را بر ماتی کاغذ در سطح اعتماد 99٪ نشان داده است (جدول ۳). نتایج آزمون دانکن نشان داد که در غلظت های 0.025 درصد

جدول ۳- آزمون تجزیه واریانس ماتی کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۹۷۴۰۰/۲	۴	۹۹۳۵۰/۱	۹۳/۹	۰۰۱۶/۰
خطا	۰۰۸۳۳/۲	۱۰	۲۰۰۸۳/۰		
کل	۹۸۲۳۳/۹	۱۴			



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

شامل ۰/۲ درصد آنزیم سلولاز دیده نشده است و بین دیگر تیمارهای انجام شده، اختلاف معنی داری در سطح اعتماد ۹۹٪ بین میزان ضخامت کاغذ دیده شده است. افزایش غلظت آنزیم سلولاز به ۰/۲ درصد میزان ضخامت کاغذ را به طور معنی داری به کمترین میزان خود یعنی ۱۳۸/۸ میکرومتر کاهش داده است. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر ضخامت کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در شکل شماره ۴ نشان داده است.

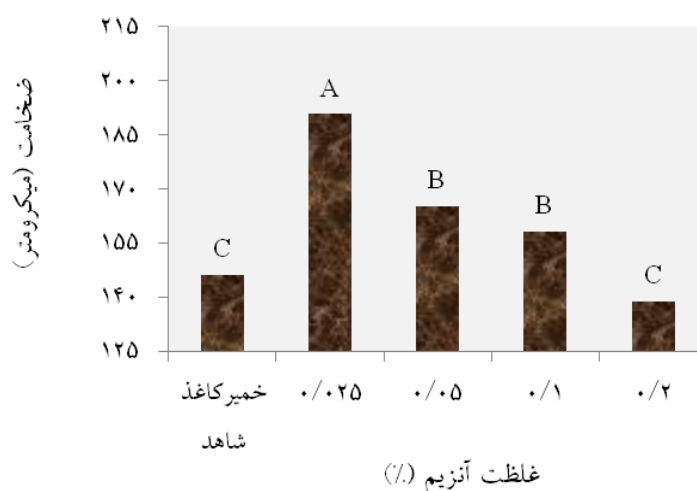
بررسی ویژگی های فیزیکی کاغذ

ضخامت

آزمون تجزیه واریانس میزان ضخامت کاغذهای حاصل از مرکب زدایی کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از غلظت های مختلف آنزیم سلولاز نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، استفاده از غلظت های مختلف آنزیم سلولاز تأثیر معنی داری را در میزان ضخامت کاغذ دارد (جدول ۴). مقایسه میانگین مقادیر ضخامت کاغذهای ساخته شده با آزمون دانکن نشان داد که تنها اختلاف معنی داری بین میزان ضخامت در غلظت های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد و همچنین خمیرکاغذ شاهد با تیمار آنزیمی

جدول ۴- آزمون تجزیه واریانس ضخامت کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۳۶۰۰۰۰/۸۰۹۳	۴	۳۴۰۰۰۰/۲۰۲۳	۹۰/۶۷	۰/۱۰۰/۰
خطا	۰۰۰۰۰۰/۵۹۶	۰۲	۸۰۰۰۰۰/۲۹		
کل	۳۶۰۰۰۰/۸۶۸۹	۴۲			



شکل ۴- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر ضخامت خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی

به عبور هوا را به ۱۸/۲ ثانیه افزایش داده است. آزمون دانکن میزان مقاومت به عبور هوا کاغذهای ساخته شده را در ۴ گروه جداگانه قرار داده است. همان طور که در شکل شماره ۵ نشان داده است، تنها اختلاف معنی داری بین میزان مقاومت کاغذ به عبور هوا در بین تیمارهای آنزیمی شامل ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز مشاهده نشده است. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر مقاومت به عبور هوا در کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در شکل شماره ۵ نشان داده است.

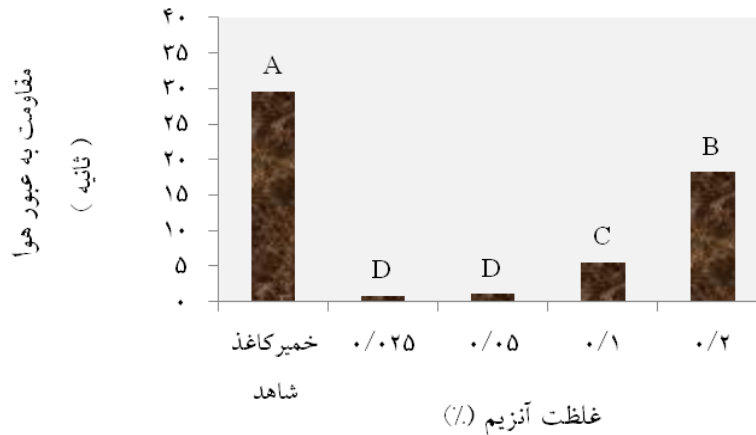
مقاومت به عبور هوا^۱

شواهد بدست آمده از تجزیه واریانس مقادیر مقاومت به عبور هوا در کاغذهای ساخته شده نشان داد که استفاده از درصدهای مختلف آنزیم سلولاز افزایش معنی داری را در میزان مقاومت کاغذ به عبور هوا نتیجه داد (جدول ۵). استفاده از غلظت های مختلف آنزیم سلولاز در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد منجر به کاهش میزان مقاومت کاغذ به عبور هوا شده است. همچنین غلظت های کمتر آنزیم سلولاز مقاومت به عبور هوای کمتری را نشان داده است. افزایش غلظت آنزیم سلولاز به ۰/۲ درصد مقاومت کاغذ

¹ Air Resistance

جدول ۵- آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوا کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر S.O.V	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S	محاسبه شده F	سطح معنی داری
تیمار	۸۵۸۴۰۰/۳۱۵۳	۴	۴۶۴۶۰۰/۷۸۸	۸۷/۶۹۸	۰/۱۰۰/۰
خطا	۵۶۴۰۰۰/۲۲	۰۲	۱۲۸۲۰۰/۱		
کل	۴۲۲۴۰۰/۳۱۷۶	۴۲			



شکل ۵- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر مقاومت به عبور هوا خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی

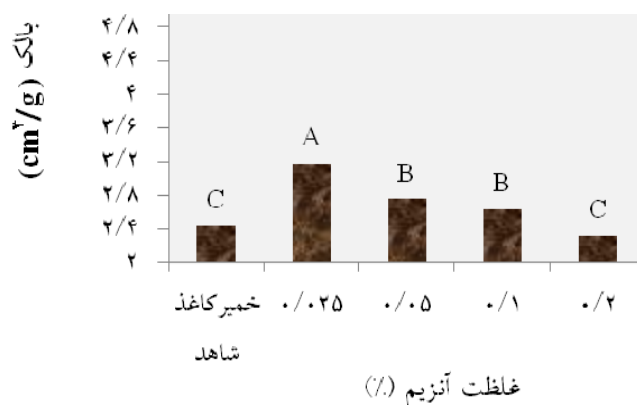
بالک و دانسیته

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس میزان بالک و دانسیته کاغذهای ساخته شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز نشان داد که در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت های مختلف ۰/۱-۰/۲۵ درصد تأثیر معنی داری در افزایش بالک و کاهش دانسیته کاغذ داشته است (جدول های ۶ و ۷). با افزایش درصد آنزیم سلولاز از ۰/۱-۰/۲۵ درصد، اختلاف معنی داری بین میزان بالک و دانسیته کاغذ در سطح اعتماد ۹۹٪ دیده شده است. لازم به یادآوری است با توجه به نتایج حاصل از آزمون دانکن، اختلاف معنی داری بین میزان بالک و دانسیته خمیرکاغذ شاهد و تیمار آنزیمی

شامل ۰/۲ درصد و همچنین تیمارهای آنزیمی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز در سطح اعتماد ۹۹٪ دیده نشده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت که استفاده از آنزیم سلولاز در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد موجب افزایش بالک و کاهش دانسیته کاغذ شده است و تنها با استفاده از درصدهای مصرفی بیشتر آنزیم سلولاز (۰/۲٪) می توان کاغذهای با بالک و دانسیته همانند با خمیرکاغذ شاهد روزنامه تولید کرد. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر بالک و دانسیته کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده به ترتیب در شکل های شماره ۶ و ۷ نشان داده است.

جدول ۶- آزمون تجزیه واریانس بالک کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

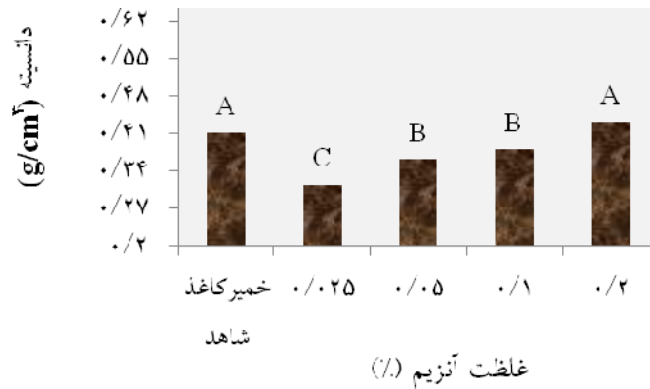
منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۲۴۱۷۲۰۰۰/۲	۴	۵۶۰۴۳۰۰۰/۰	۴۱/۶۷	۰/۱۰۰/۰
خطا	۱۶۶۲۸۰۰۰/۰	۰۲	۰۰۸۳۱۴۰۰/۰		
کل	۴۰۸۰۰۰۰۰/۲	۴۲			



شکل ۶- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر بالک خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی

جدول ۷- آزمون تجزیه واریانس دانسیته کاغذهای روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۰۴۱۲۶۸۱۶/۰	۴	۰۱۰۳۱۷۰۴/۰	۸۴/۵۷	۰/۱۰۰/۰
خطا	۰۰۳۵۶۷۲۰/۰	۰۲	۰۰۰۱۷۸۳۶/۰		
کل	۰۴۴۸۳۵۳۶/۰	۴۲			



شکل ۷- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر دانشسته خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی

شده را در ۵ گروه جداگانه قرار داده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون دانکن، تیمار آنزیمی شامل ۰/۲ درصد آنزیم سلولاز، کمینه درجه روانی CSF، ml، ۴۶۱/۰۸ و تیمار شامل ۰/۰۲۵ درصد آنزیم سلولاز، بیشینه درجه روانی CSF، ml، ۶۵۴ را نشان داده است. به طور کلی در بین تیمارهای آنزیمی انجام شده، افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۰۲۵ به ۰/۲ درصد کاهش معنی دار درجه روانی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی را نتیجه داده است. تأثیر غلظت های مختلف آنزیم سلولاز بر درجه روانی خمیرهای روزنامه مرکب زدایی شده در شکل شماره ۸ نشان داده است.

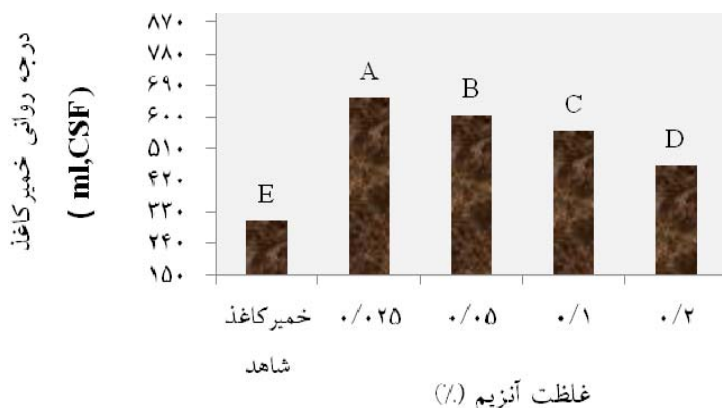
درجه روانی خمیر کاغذ

آزمون تجزیه واریانس تأثیر درصدهای مختلف آنزیم سلولاز بر میزان درجه روانی خمیرهای کاغذ روزنامه مرکب زدایی شده در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز نشان داد که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، افزایش غلظت آنزیم سلولاز تأثیر معنی داری بر افزایش میزان درجه روانی خمیرهای بازیافتی داشته است (جدول ۸). تیمارهای آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد روزنامه موجب افزایش درجه روانی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی حاصل شده است. آزمون دانکن میزان درجه روانی خمیرهای بازیافتی مرکب زدایی

جدول ۸- آزمون تجزیه واریانس درجه روانی خمیرهای کاغذ روزنامه مرکب زدایی شده

در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	محاسبه شده	سطح معنی داری
S.O.V	S.S	d.f	M.S	F	
تیمار	۶۲۰۴/۳۸۲۱۱۹	۴	۹۰۵۱/۹۵۵۲۹	۱/۲۸۴۳۱	۰/۱۰۰/۰
خطا	۲۰۱۱/ ۶۷	۰۲	۳۶۰۱/۳		
کل	۸۲۱۵/۳۸۲۱۸۶	۴۲			



شکل ۸- تأثیر غلظت آنزیم سلولاز بر درجه روانی خمیرهای کاغذ روزنامه بازبافتی

بحث و نتیجه گیری

بررسی ویژگی های نوری کاغذ

آنزیم های سلولاز ییاف سلولزی و آنزیم های لیپاز گروههای استری را آبکافت و تخریب می کنند. این آبکافت و تخریب شاید سازوکاری باشد که موجب شکسته شدن مرکب چاپ به ذرات کوچکتر و جداسازی آنها از ییاف شود. نقش اصلی سلولاز برداشتن ذرات مرکب از سطح ییاف می باشد و تأثیر آن بستگی به عمل مکانیکی در فرآیند ساخت خمیر کاغذ دارد تا اینکه ذرات مرکب از سطح ییاف کنده شده و با فرآیندهای شستشو و یا شناور سازی خارج می شوند (دینز و همکاران، ۲۰۰۲). استفاده از آنزیم سلولاز در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد منجر به بهبود روشنی کاغذ و افزایش زردی کاغذ شده است. افزایش روشنی کاغذ را می توان به جداسازی بیشتر ذرات مرکب و یا دیگر ترکیبات رنگی نسبت داد. افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۰۲۵ به ۰/۰۵ درصد به دلیل جداسازی مؤثرتر آنزیم در شکستن اتصال بین ییاف و ذرات مرکب و همچنین خارج سازی بهتر این ذرات در طی فرآیند شستشو منجر به بهبود روشنی تا ۴۷/۵ درصد ایزو شده است. افزایش غلظت آنزیم به ۰/۲ درصد منجر به کاهش روشنی کاغذ شده و دلیل کاهش روشنی را می توان به تأثیر بیشتر آنزیم بر روی ذرات مرکب و شکستن این ذرات و تبدیل آنها به ذرات ریزتر نسبت داد، در

نتیجه احتمال رسوب دوباره ذرات مرکب بر روی ییاف و یا حفره های سلولی آن افزایش می یابد. رسوب مجدد ذرات مرکب بر روی ییاف با افزایش غلظت آنزیم از ۰/۰۲۵ درصد به ۰/۰۵ درصد به اندازه رسوب مجدد این ذرات در حالت استفاده از ۰/۲ درصد آنزیم سلولاز نبوده است به همین دلیل افت روشنی در غلظت بیشتر از ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز شدیدتر بوده است.

در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، زردی کاغذهای حاصل از مرکب زدایی آنزیمی در غلظت های مختلف آنزیم سلولاز افزایش یافته است که دلیل عمده آن می تواند تشکیل دوباره گروه های رنگ ساز موجود در لیگنین باشد.

کاغذهای روزنامه از خمیر کاغذ مکانیکی دارای لیگنین می باشد، در نتیجه گروه های رنگ ساز موجود در لیگنین تحت شرایط بکار گرفته شده بار دیگر تشکیل شده و این موجب افزایش زردی کاغذ ها شده است. افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۰۲۵ درصد به ۰/۰۵ درصد به دلیل بهبود روشنی، موجب کاهش زردی کاغذ شده است. در غلظت های بیشتر از ۰/۰۵ درصد سلولاز، زردی کاغذها به دلیل کاهش روشنی افزایش یافته است. به نظر می رسد که میزان افزایش روشنی کاغذ به دلیل حذف ذرات مرکب مؤثرتر و بیشتر از کاهش روشنی آن به دلیل تشکیل گروه های رنگ ساز موجود در لیگنین بوده باشد. به عبارت دیگر می توان گفت که تأثیر حذف

پذیری^۱ و تغییر شکل الیاف^۲ و همچنین خارج شدن نرمه های الیاف نسبت داد. تیمار آنزیمی به دلیل فیبریله کردن الیاف و جداسازی ذرات مرکب، اتصال بین الیاف و در نتیجه اتصال های درونی ورقه کاغذ را بهبود بخشیده و موجب افزایش ویژگی های مقاومتی می شود (ولت، ۱۹۹۶؛ یانگلی، ۲۰۰۲). با افزایش غلظت آنزیم سلولاز به ۰/۲ درصد، کاهش ضخامت کاغذ و یا افزایش دانسیته و مقاومت کاغذ به عبور هوا را می توان به فیبریله کردن زیاد خمیرکاغذ و افزایش قابلیت لهیدگی الیاف و همچنین جداسازی ذرات مرکب و قابلیت برقراری بهتر اتصال بین الیاف نسبت داد. این در حالی است که در غلظت های کمتر از ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز مصرفی، تأثیر آنزیم بر روی الیاف و ذرات مرکب کمتر بوده و با فیبریله شدن ضعیف تر الیاف و جداسازی کمتر ذرات مرکب، اتصال بین الیاف کاهش یافته در نتیجه ضخامت کاغذ افزایش و مقاومت کاغذ به عبور هوا کاهش یافته است (ولت، ۱۹۹۶؛ پالا و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج بدست آمده از میزان درجه روانی تیمارهای آنزیمی در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد نشان می دهد که آنزیم سلولاز با آبکافت انتخابی نرمه ها و فیبریل های (میکروفیبریل) های سطح الیاف موجب بهبود درجه روانی می شود (کنت کرک و جفریز، ۱۹۹۶؛ پارک و همکاران، ۲۰۰۲). استفاده از ۰/۰۲۵ درصد سلولاز در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد به دلایل جداسازی ذرات مرکب از روی الیاف و همچنین جداسازی انتخابی نرمه ها موجب بهبود درجه روانی خمیرکاغذ تا ۶۵۴ ml, CSF شده است. به نظر می رسد که افزایش غلظت آنزیم سلولاز به ۰/۲ درصد به دلیل به دلیل تأثیر بیشتر آنزیم بر روی الیاف، تولید نرمه های بیشتر در خمیرکاغذ و همچنین رسوب دوباره ذرات مرکب بر روی الیاف قابلیت آب گیری خمیرکاغذ را کاهش داده و منجر به کاهش درجه روانی خمیرکاغذ شده است.

ذرات مرکب در افزایش روشنی کاغذ به مراتب بیشتر از تأثیر گروه های رنگ ساز لیگنین بر کاهش روشنی کاغذ بوده است به همین دلیل در خمیرهای کاغذ تیمار شده با سلولاز در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، افزایش روشنی و زردی کاغذ مشاهده شده است.

استفاده از ۰/۰۲۵ درصد و یا ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز در مرکب زدایی کاغذ روزنامه باطله در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به کاهش ماتی کاغذ شده است به عبارت دیگر افزایش غلظت آنزیم سلولاز تا ۰/۰۵ درصد در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به بهبود ماتی نشده است، در حالی که افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۱ درصد تأثیر معنی داری را بر افزایش ماتی کاغذ ایجاد کرده است. دلیل کاهش ماتی کاغذ در صورت استفاده از ۰/۰۲۵ و یا ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز می تواند به خروج نرمه های خمیرکاغذ و همچنین جداسازی بیشتر ذرات مرکب از الیاف در طی فرآیند شستشو نسبت داد. چون ذرات مرکب بیشتر در خمیرکاغذ با افزایش قابلیت جذب نور خمیرکاغذ موجب افزایش ماتی می شود. ماتی کاغذ در غلظت بیشتر از ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز، به دلیل افت روشنی کاغذ در اثر رسوب دوباره ذرات مرکب بر روی الیاف و یا حفره های سلولی آن بهبود یافته است. وجود ذرات مرکب بیشتر در خمیرکاغذ به منزله جذب نور بیشتر خمیرکاغذ است در نتیجه افزایش ذرات مرکب خمیرکاغذ موجب افزایش ماتی کاغذ می شود. همچنین در غلظت های بیشتر، آنزیم با تأثیر بیشتر بر روی الیاف و افزایش سطح ویژه آن موجب افزایش پراکندگی و پخش نور شده و ماتی را بهبود می بخشد.

بررسی ویژگی های فیزیکی کاغذ

تیمار آنزیمی خمیرهای کاغذ روزنامه بازیافتی در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به افزایش بالک و کاهش دانسیته شده است. کاهش دانسیته و کاهش ضخامت خمیرهای کاغذ تیمار شده با سلولاز در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد را می توان به کم شدن قابلیت انعطاف

¹ Flexibility

² Collapsibility

منابع

- 1-Bajpai,P.1998. Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper industry. Germany springer, Tappi Journal, 81:12.111-117.
- 2- Dienes , D., Egyhazi , A ., Sardi , Z ., Reczey, K.2002 .Treatment of recycled fiber with Trichoderma cellulases . International Congress and Trade show Green-Tech. Netherland.
- 3- Heise , O.U. , Unwin, J.P., Klungness , J.H ., Fineran . Jr ,W.G., Sykes , M ., and S .Abubakr . 1996. Industrial scale-up of enzyme enhanced deinking of non-impact printed toners. Tappi Journal,79:3.207- 212.
- 4-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.
- 5- Kim, T., Ow, S ., and Eom ,T. 1991. Enzymatic Deinking Method of Wastepaper . TAPPI PRESS. Atlanta ,p 1023.
- 6- Lee , C.K ., Darah , I., and Ibrahim, C.O. 2007. Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: some governing parameters on deinking efficiency. Bioresource Technology, 98:1684-1689.
- 7- Pala, H ., Mota , M ., and Gama , F.M . 2006. Factors influencing MOW deinking: laboratory scale studies. Enzyme and Microbial Technology, 38:81-87.
- 8-Pala,H., Mota ,M., and Gama, F.M. 2004. Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. Journal of biotechnology, 108:1.79-89.
- 9- 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. Eng,19:2.285-289.
- 10-Pelach, M.A and Pastor, F.J and Puing, J and Vilaseca, F and Mutje, P. 2002. Enzymatic deinking of newspaper with cellulase. Process Biochemistry, 38: 1063-1067.
- 11-Sykes, Marguerite., Klungness, John. H., Abubakr, Said., and Tan, Freya. 1996. Upgrading recoverd paper with enzyme pre-treatment and pressurized peroxide bleaching. Progress in paper recycling symposium, a review, P:39-46.
- 12- Welt , T.1996. Enzymatic deinking effectiveness and mechanisms. Doctoral dissertation . The Institute of Paper Science and Technology., Atlanta, Georgia.
- 13- Yongli, zuo. 2002. Using of mobilized Enzymes to Deink Mixed office waste paper. Enzyme and Microbial Technology, 26:9.387-394.

The Effect of Different Concentrations of Cellulase Enzyme on Optical and Physical Properties of ONP Deinked Pulp

Iman Akbarpour^{*1}, Hossein Resalati²

Abstract

Enzymes are protein molecules with complex structures that accelerate the biochemical reactions. Activity of these chemical compounds is accomplished at limited range of pH, temperature and concentration. In this study, the effects of different concentrations of cellulase enzyme were investigated on deinking of old newsprint. Old newsprint (ONP) was repulped at 5% consistency for 10 minutes in disintegrator with total revolution number of 26500. Enzymatic treatments of recycled ONP pulp were done under constant conditions (10% consistency, treatment time of 15 minutes, pH range of 5-5.5) at different cellulase concentrations of 0.025, 0.05, 0.1 and 0.2% (based on oven-dry waste paper). The optical and physical properties of the standard paper (60g/m²) made at different concentrations of cellulase were evaluated in comparison with control pulp (untreated ONP pulp with cellulase). Overall, the results achieved by comparison the optical properties of the paper produced indicated that using cellulase in deinking of ONP led to increase the brightness and the yellowness and decrease the opacity. The brightness was improved to a maximum level of 47.5 ISO %, but the yellowness was decreased to a minimum level of 11.3 ISO %, while the brightness reduced and the yellowness increased at higher concentrations than 0.05% cellulase. The highest opacity of 99.3 ISO % was achieved using 0.1% cellulase even higher than control pulp. The results gained by comparison the physical properties of the paper showed that using cellulase resulted in decrease of paper calliper, air resistance and density and improve the freeness of pulp.

Key Words: cellulase Enzyme, Deinking, Old Newsprint, Optical Properties, Physical Properties.

* Corresponding author: Email:iman.ak2010@gmail.com