

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای روزنامه باطله جوهرزدایی شده با آنزیم سلولاز در مقایسه با روش متداول شیمیایی

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

*۱- کارشناس ارشد صنایع خمیرو کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، پست الکترونیک: iman.ak2010@gmail.com

۲- دانشیار تکنولوژی خمیرو کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه صنایع خمیرو کاغذ.

۳- استادیار تکنولوژی خمیرو کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه صنایع خمیرو کاغذ.

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۸۹

چکیده

در این تحقیق جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله به دو روش متداول شیمیایی و آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت. جوهرزدایی شیمیایی با استفاده از مواد شیمیایی در زمان‌های خمیرسازی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه همراه با فرایندهای مختلف شستشو، شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی انجام شد. جوهرزدایی آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز با درصد‌های مختلف ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد (براساس وزن خشک کاغذ باطله)، محدوده ۵/۵-۵ pH، زمان‌های خمیرسازی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو انجام گرفت. ترکیب‌های بهینه از هر کدام از تیمارهای شیمیایی و آنزیمی انتخاب شده و بعد ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای ساخته شده در شرایط بهینه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی نشان داد که کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ جوهرزدایی شده به روش متداول شیمیایی دارای مقاومت به عبور هوا، ضخامت و بالک بیشتری می‌باشند. استفاده از ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز در مقایسه با تیمار شیمیایی، کاغذهای با شاخص مقاومت کششی و طول پارگی بیشتری تولید نموده است. همچنین با استفاده از ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز می‌توان کاغذهای با شاخص مقاومت به ترکیبگی و پارگی تقریباً مشابه با تیمارهای شیمیایی تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: جوهرزدایی، کاغذ روزنامه باطله، سلولاز، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های مکانیکی.

مقدمه

موجب اشتغال زایی و کاهش روند بهره برداری از جنگل‌های طبیعی توسط مجتمع‌های بزرگ خمیرو کاغذ و نیز پویایی و تحرک مطلوب در صنایع خمیرو کاغذ کشور شود (قاسمیان، ۱۳۸۲).

جوهرزدایی و خارج کردن آلاینده‌ها، موانع عمده در بازیافت کاغذ می‌باشند. جوهرهای تونر پلیمرهای

ضرورت استفاده از فناوری بازیافت به عنوان یکی از روش‌های مناسب تأمین مواد اولیه سلولزی بیش از پیش در کشور ایران احساس می‌شود. به طوری که گسترش این صنعت علاوه بر کاهش ارزش خروجی از کشور جهت تأمین کاغذ و محصولات کاغذی مورد نیاز می‌تواند

جوهر بر مبنای روغن گیاهی^۱ می‌تواند به طور مستقیم به وسیله لیپاز و استراز تخریب شوند، در حالی که سطوح یا اتصالات الیاف در نزدیکی ذرات جوهر می‌تواند توسط سلولاز، همی سلولاز، پکتیناز و آنزیم‌های تجزیه کننده لیگنین تغییر یابد. در نتیجه، ذرات جوهر آزادانه تر به وسیله شستشو یا شناورسازی خارج می‌شوند. اگر چه جوهرزدایی با سلولاز و همی سلولاز صنعتی شده اند، اما آنزیم‌های مطلوب و مؤثرتری را باید برای جوهرزدایی بررسی کرد (هیز و همکاران، ۱۹۹۶؛ کوانگوا و همکاران، ۲۰۰۶).

آنزیم‌ها به طور مستقیم هم بر روی الیاف و هم بر روی فیلم لایه ذرات جوهر عمل می‌کنند و با جدا شدن فیبریل‌های کوچک از سطح ذرات و تغییر آب دوستی^۲ این ذرات، جداسازی آنها را در مرحله شستشو و شناورسازی آسان نموده و کیفیت کاغذ نهایی را بهبود می‌بخشند (ولت، ۱۹۹۶؛ ویاس و لاجکه، ۲۰۰۳؛ پالا و همکاران، ۲۰۰۳).

نتایج حاصل از جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از آنزیم سلولاز حکایت از آن دارد که آنزیم سلولاز جداسازی ذرات جوهر را بهبود می‌بخشد و در مقایسه با جوهرزدایی متداول نتایج بهتری داشته و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنها باشد. سلولاز به مدت زمان بهینه تماس با سوسپانسیون خمیر نیاز دارد. این آنزیم با جداسازی ذرات جوهر، می‌تواند بازده، کارایی دفیبره کردن و مصرف انرژی ویژه را بهبود بخشد. افزایش غلظت و کاهش مدت زمان خمیرسازی باعث افزایش ذخیره و صرفه جویی در مصرف انرژی و دوام و پایداری کاغذ می‌شود (پالاچ و همکاران، ۲۰۰۲). به طوری که

پلاستیکی بوده که با الیاف ترکیب شده‌اند و دارای خاصیت کشسانی می‌باشند. به نحوی که جوهرهای لیزری و فلکسو گرافیک بعکس جوهرهای قابل پخش که در روزنامه و چاپ افست یافت می‌شوند، در آب پخش نشده و به سختی از الیاف خارج می‌شوند. بنابراین ذرات جوهر باقیمانده در خمیرکاغذ درجه روشنی کاغذ را کاهش می‌دهد (ویستورس و همکاران، ۱۹۹۹؛ باجیای، ۱۹۹۸).

آنزیم‌ها مولکول‌های پروتئینی با ساختار پیچیده می‌باشند که جدا شدن ذرات جوهر چاپ را از سطح الیاف افزایش می‌دهند. همچنین این ترکیبات موجب می‌شوند که جوهر چاپ به ذرات کوچکتری شکسته شود که در نتیجه ذرات حاصل می‌توانند خیلی راحت تر شناورسازی شوند (کنت کرک، ۱۹۹۶؛ موهنداس و راجوکومار، ۲۰۰۵). گزارش‌ها نشان می‌دهند که آنزیم‌ها مقاومت کاغذهای ساخته شده از الیاف بازیافتی را افزایش داده و میزان آب‌گیری خمیرکاغذ را بهبود می‌بخشند. اخیراً استفاده از آنزیم‌هایی مثل سلولاز، زایلاناز یا پکتیناز به عنوان یک روش پیشرفته و نوین اجرا شده است به طوری که این ترکیبات می‌توانند به طور انتخابی لایه‌های خارجی الیاف سلولزی را برای آزاد کردن جوهر از سطح الیاف هیدرولیز کنند. در جوهرزدایی به روش آنزیمی، آنزیم‌ها به خود جوهر یا به سطح الیاف حمله ور می‌شوند و سازوکار عمده این عمل مبتنی بر سست کردن اتصالات ذرات جوهر و الیاف و حذف ذرات ریز و فیبریل می‌باشد. استفاده از آنزیم درصد خروج مواد آلاینده و کارایی فرایند جوهرزدایی را افزایش می‌دهد (میتسوهیرو و ماتسوسیتا، ۲۰۰۰؛ ویستورس و همکاران، ۱۹۹۹).

آنزیم‌ها در طی فرایند جوهرزدایی می‌توانند هم به جوهر و هم به سطح الیاف حمله کنند. معمولاً ذرات

1-Vegetable oil-based ink

2- Hydrophilicity

تهیه نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۵-۲ سانتی متر از نمونه‌های چاپ شده و چاپ نشده جوهرزدایی با استفاده از روش متداول شیمیایی و آنزیمی انجام شد. نمونه‌های آزمونی تهیه شده پس از خیساندن در آب به مدت ۲۴ ساعت، در دستگاه پراکنده ساز به مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور ۲۶۵۰۰ و درصد خشکی ۰.۵٪ دفییره شدند. مدت زمان خمیرسازی مجدد با انجام آزمایش‌های متعدد اولیه تعیین شده است به طوری که خمیر کاغذ حاوی ذرات جوهر و الیاف بر روی غربال با مش ۲۰۰ آب گیری شده و بعد با استفاده از مواد شیمیایی و آنزیم سلولاز خمیرسازی شدند.

خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی

خمیرهای بازیافتی تهیه شده از کاغذ روزنامه باطله در ابتدا با استفاده از مواد شیمیایی پروکسید هیدروژن ۱٪، سود سوزآور ۱٪، سیلیکات سدیم ۲٪، DTPA ۳٪ و ماده فعال ساز سطحی پلی سوربات ۸۰ به میزان ۱۵٪ در صد بر اساس وزن خشک کاغذ باطله در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و شرایط مختلف جوهرزدایی (شستشو، شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی) خمیرسازی شدند. شناورسازی در داخل سلول شناورسازی با افزودن ۱۵٪ درصد اولئیک اسید به عنوان فعال ساز سطحی و ۳۳٪ درصد کلرید کلسیم تحت شرایط درصد خشکی ۸٪ درصد و درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی گراد و زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه انجام شد. عمل شستشو بر روی غربال با اندازه مش ۶۰ در زیر شیر آب تحت فشار یکنواخت آب و مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام گرفت. با در نظر داشتن ویژگی‌های نوری مطلوب کاغذهای تولید

خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده با آنزیم راحت تر رنگبری شده و نسبت به خمیرهای جوهرزدایی شده با روش متداول شیمیایی به مواد شیمیایی کمتری نیاز دارد. همچنین خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده با آنزیم در ماشین کاغذ بهتر آب‌گیری شده و کاغذ به دست آمده از آنها در مقایسه با جوهرزدایی به روش متداول شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی بهتر، روشنی بیشتر و ذرات جوهر کمتری دارند (پالا و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به این که جوهرزدایی آنزیمی در بازیافت کاغذهای باطله نتایج رضایت بخشی را داشته است و در چند دهه اخیر به عنوان یک روش مناسب جهت جایگزین شدن با جوهرزدایی متداول شیمیایی مطرح شده است، در این تحقیق با تیمار آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در درصدهای مختلف آنزیم سلولاز و زمان‌های مختلف خمیرسازی و همچنین تیمار شیمیایی کاغذهای باطله تحت شرایط متفاوت، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای بازیابی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

آماده سازی و خمیرسازی مجدد^۱ کاغذهای روزنامه

باطله

کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری شده و این کاغذها در اتاق‌های آرشیو روزنامه و یا سرویس فروش نگهداری شده و به هیچ وجه در معرض نور آفتاب و دمای نامطلوب قرار نگرفته بودند. از زمان چاپ کاغذهای روزنامه ۵ روز گذشته بود. به طوری که پس از تعیین درصد رطوبت کاغذ روزنامه و

استاندارد TAPPI T205 om-88، ویژگی‌های فیزیکی کاغذ از قبیل ضخامت، مقاومت به عبور هوا، بالک و دانسیته مطابق با استانداردهای مندرج در آیین نامه TAPPI اندازه‌گیری شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. ضخامت مطابق با TAPPI T411 om-89 و مقاومت به عبور هوا مطابق TAPPI T460 om-88 اندازه‌گیری شد. بالک و دانسیته نیز مطابق با روابط موجود بین ضخامت و وزن پایه کاغذ در تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی اندازه‌گیری گردید. ویژگی‌های مکانیکی کاغذ مانند شاخص مقاومت کششی و طول پارگی، شاخص مقاومت به ترکیدگی و شاخص مقاومت به پارگی به ترتیب مطابق با استانداردهای TAPPI T404 om-92، TAPPI T403 om-96 و TAPPI T414 om-88 اندازه‌گیری گردید. در پایان ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای حاصل از جوهرزدایی متداول شیمیایی و آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در شرایط بهینه تعیین شده مورد مقایسه قرار گرفت.

شده (درجه روشنی و ماتی)، زمان خمیرسازی ۲۰ دقیقه و استفاده از فرایند مجزای شستشو و یا شناورسازی به عنوان شرایط بهینه تیمار شیمیایی تعیین شد (جدول ۱). تیمار آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز در شرایط ثابت درجه حرارت 50 ± 1 درجه سانتی‌گراد، درصد خشکی ۱۰ درصد، زمان خمیرسازی ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقیقه، محدوده pH ۵-۵/۵ و غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد (به ترتیب معادل با ۵۱U، ۲۵/۵U، ۱۰۲U و ۲۰۴U) در کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد. مشابه با خمیرسازی شیمیایی، خروج نهایی ذرات جوهر از کاغذهای روزنامه خمیرسازی شده با آنزیم با استفاده از سیستم شستشو بر روی غربال با مش ۶۰ انجام شده است. با در نظر داشتن ویژگی‌های نوری مطلوب کاغذهای تولید شده، زمان خمیرسازی ۱۵ دقیقه و غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد به عنوان شرایط بهینه تیمار آنزیمی تعیین شدند (جدول ۱). پس از تهیه کاغذهای دست ساز استاندارد ۶۰ گرمی مطابق با

جدول ۱- معرفی علائم اختصاری شرایط بهینه تیمارهای شیمیایی و آنزیمی

تیمار	شرایط بهینه تیمارهای شیمیایی و آنزیمی
C ₁	خمیرسازی شیمیایی در زمان ۲۰ دقیقه همراه با فرایند شستشو
C ₂	خمیرسازی شیمیایی در زمان ۲۰ دقیقه همراه با فرایند شناورسازی
E ₁	خمیرسازی آنزیمی با غلظت آنزیم ۰/۰۵ درصد و زمان ۱۵ دقیقه همراه با شستشو
E ₂	خمیرسازی آنزیمی با غلظت آنزیم ۰/۱ درصد و زمان ۱۵ دقیقه همراه با شستشو
خمیرکاغذ شاهد	خمیرکاغذ بازیافتی روزنامه بدون اضافه شدن مواد شیمیایی و آنزیم

روش تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح آماری کاملاً تصادفی فاکتوریل به کار گرفته شد. از آزمون F (تجزیه واریانس) به منظور بررسی اثر فاکتورهای مستقل بر ویژگی‌های فیزیکی و

مکانیکی کاغذهای تولید شده در دو روش شیمیایی و آنزیمی و همچنین از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذها استفاده شده است.

نتایج

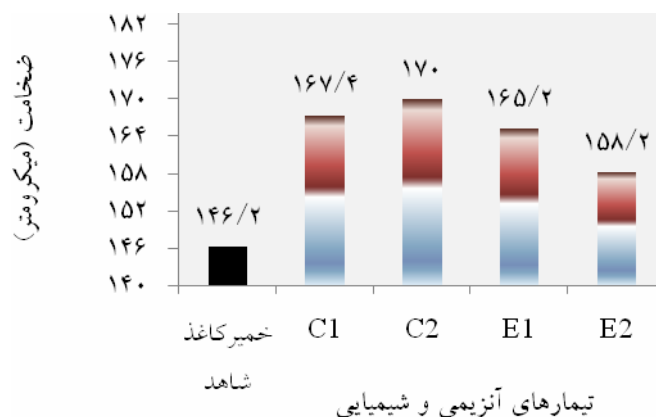
مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش متداول شیمیایی و آنزیمی ضخامت

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس ضخامت کاغذها نشان داد که این مقادیر اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ دارند. بین تیمارهای C_1 و C_2 و همچنین تیمارهای C_1 و C_2 و E_1 اختلاف معنی داری مشاهده نشده است. به طوری که آزمون دانکن مقادیر ضخامت اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه مجزا قرار داده است. کمترین مقدار ضخامت مربوط به خمیر کاغذ شاهد به میزان $146/2$ میکرومتر و بیشترین مقدار ضخامت به ترتیب به تیمارهای C_1 و C_2 اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب 170 و $167/4$ میکرومتر می‌باشند. ضخامت کاغذ از جمله ویژگی‌های فیزیکی کاغذ است که در کاغذهای روزنامه و چاپ و تحریر دارای اهمیت زیادی می‌باشد. به عنوان مثال کاغذ چاپ متناسب با فرایند چاپ مربوطه، به ضخامتی مشخص و یکنواختی نیاز دارد تا بر روی دستگاه چاپ به خوبی عمل نموده و سیستم تغذیه دستگاه دچار اشکال نگردد. جوهرزدایی شیمیایی و آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، منجر به افزایش مقدار ضخامت کاغذ شده است (شکل ۱). به طور کلی نتایج

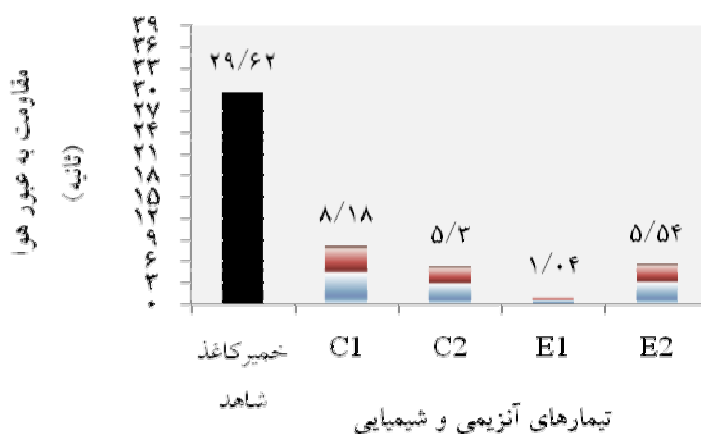
به دست آمده نشان داد که تیمارهای شیمیایی ضخامت بیشتری را در مقایسه با تیمارهای آنزیمی دارند. افزایش ضخامت کاغذها را می‌توان به کم شدن قابلیت برقراری اتصال بین الیاف و فیبریله شدن الیاف و همچنین کاهش قابلیت لهیدگی الیاف در اثر خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی نسبت داد.

مقاومت به عبور هوا

مقادیر به دست آمده از مقاومت به عبور هوا خمیرشاهد و تیمارهای برتر آنزیمی و شیمیایی اختلاف معنی داری را در سطح ۱٪ نشان دادند. بین مقادیر مقاومت به عبور هوا در تیمارهای C_2 و E_2 اختلاف معنی داری مشاهده نشده است. بنابراین مقادیر مقاومت به عبور هوا اندازه‌گیری شده مطابق با آزمون دانکن در ۴ گروه مجزا قرار گرفته است. بیشترین میزان مقاومت به عبور هوا به خمیر کاغذ شاهد اختصاص دارد که مقدار آن برابر $29/62$ ثانیه است. از این رو تیمار شیمیایی C_1 مقاومت به عبور هوای بیشتری را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داده است. کمترین مقدار مقاومت به عبور هوا به ترتیب مربوط به تیمارهای C_2 و E_1 است که این مقادیر به ترتیب معادل $1/04$ و $5/3$ ثانیه می‌باشند.



شکل ۱- مقایسه ضخامت کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی



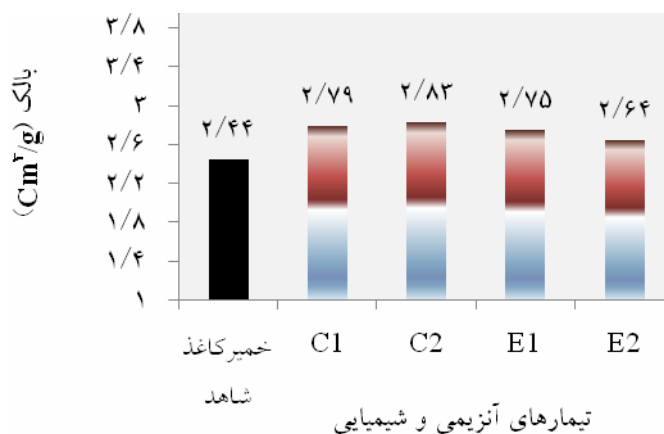
شکل ۲- مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

بالک و دانسیته

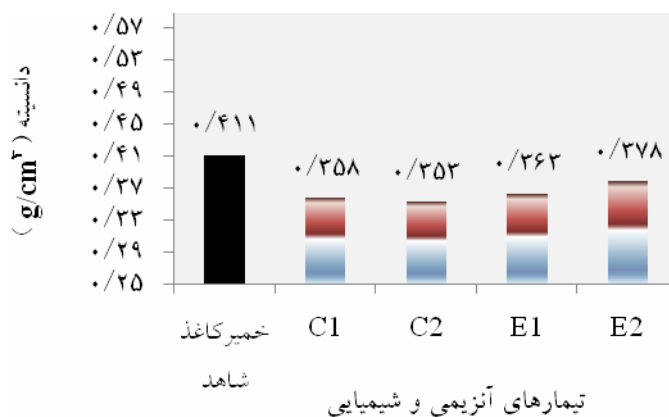
معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر بالک و دانسیته کاغذهای بدست آمده را در ۳ گروه مجزا قرار داده، به نحوی که کمترین بالک ۲/۴۴ سانتی‌مترمکعب بر گرم و در عین حال بیشترین دانسیته ۰/۴۱۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب مربوط به خمیر کاغذ شاهد و بیشترین میزان بالک ۲/۸۳

مقادیر بالک و دانسیته کاغذهای تولید شده از خمیر کاغذ شاهد روزنامه و تیمارهای شیمیایی و آنزیمی اختلاف معنی‌داری را در سطح ۱٪ نشان داده‌اند. به طوری که بین مقادیر بالک و دانسیته تیمارهای C₁، C₂ و همچنین تیمارهای E₁ و E₂ اختلاف

سانتی مترمکعب بر گرم و کمترین میزان دانسیته ۰/۳۵۳ گرم بر سانتی مترمکعب مربوطه به تیمار C₂ می باشد. نتایج به دست آمده حکایت از آن دارد که در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، تیمار کاغذهای روزنامه باطله با دو روش متداول شیمیایی و آنزیمی منجر به افزایش بالک و کاهش دانسیته می شود (شکل های ۳ و ۴).



شکل ۳- مقایسه بالک کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

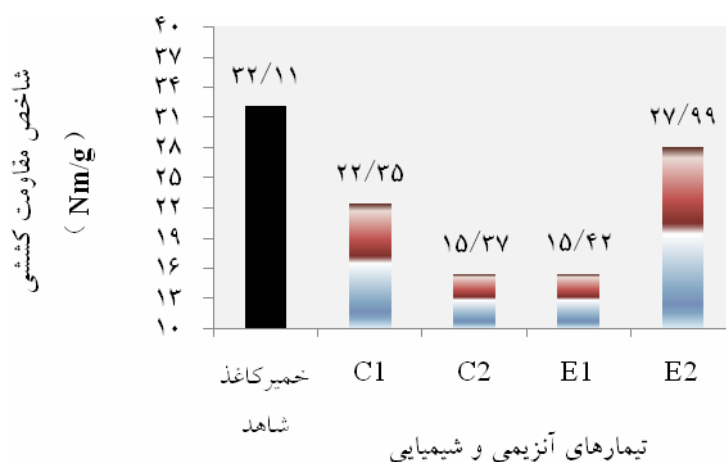


شکل ۴- مقایسه دانسیته کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

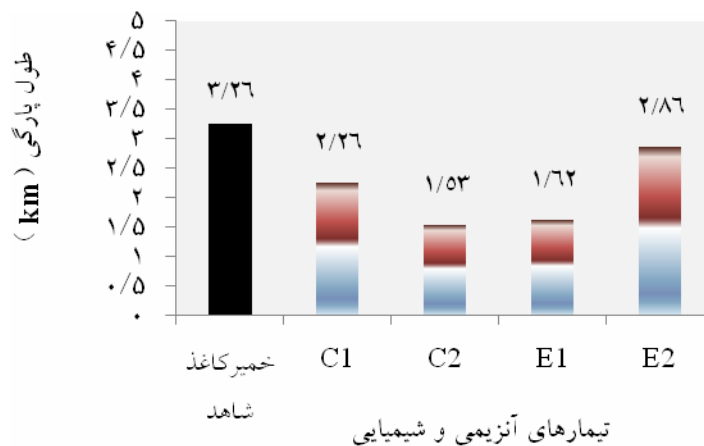
دانکن این مقادیر را در ۴ گروه مجزا قرار داده است، به طوری که بیشترین شاخص مقاومت کششی و طول پارگی به ترتیب به خمیر کاغذ شاهد و تیمار E₂ اختصاص دارند. این مقادیر به ترتیب ۳۲/۱۱۲ Nm/g، ۳/۲۶۸ km و ۲۷/۹۹۴ Nm/g، ۲/۸۶۴ km می‌باشند. در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله به دو روش شیمیایی و آنزیمی منجر به کاهش معنی‌دار شاخص مقاومت کششی و طول پارگی کاغذ شده است (شکل‌های ۵ و ۶).

مقایسه ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش متداول شیمیایی و آنزیمی شاخص مقاومت کششی و طول پارگی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و آزمون دانکن شاخص مقاومت کششی و طول پارگی کاغذهای تولید شده نشان داد که مقادیر به دست آمده اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ دارند. به طوری که بین مقادیر شاخص مقاومت کششی و طول پارگی تیمارهای C₂ و E₁ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. بنابراین آزمون



شکل ۵- مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

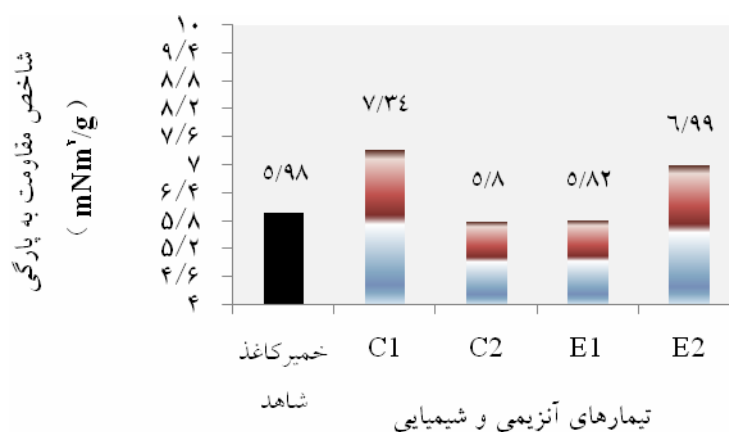


شکل ۶- مقایسه طول پارگی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

با تیمارهای C_2 و E_1 اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. به نحوی که بیشترین شاخص مقاومت به پارگی مربوط به تیمار C_1 می‌باشد که مقدار آن برابر با $7/348 \text{ mNm}^2/\text{g}$ است. در حالی که کمترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی به تیمار C_2 اختصاص دارد که مقدار آن برابر $5/8 \text{ mNm}^2/\text{g}$ است (شکل ۷).

شاخص مقاومت به پارگی

تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از مقادیر شاخص مقاومت به پارگی کاغذها نشان داد که این مقادیر در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده با آزمون دانکن نشان داد که این مقادیر در ۳ گروه مجزا قرار دارند. به طوری که بین مقادیر شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذ شاهد

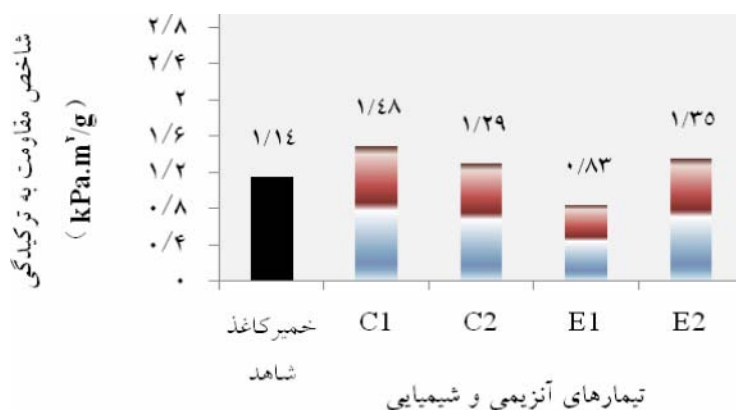


شکل ۷- مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

شاخص مقاومت به ترکیدگی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذها نشان داده است که این مقادیر اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ دارند. آزمون دانکن این مقادیر را در ۴ گروه مجزا قرار داده است، به طوری که بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدگی

تیمارهای C_2 و E_2 اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص مقاومت به ترکیدگی به ترتیب به تیمارهای C_1 و E_1 اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب برابر با $1/478 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ و $0/83 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

بحث و نتیجه گیری

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی

ضخامت کاغذ از جمله ویژگی‌های فیزیکی کاغذ است که در کاغذهای روزنامه و چاپ و تحریر دارای اهمیت زیادی می‌باشد. به عنوان مثال کاغذ چاپ متناسب با فرایند چاپ مربوطه، به ضخامتی مشخص و یکنواختی نیاز دارد تا بر روی دستگاه چاپ به خوبی عمل نموده و سیستم تغذیه دستگاه دچار اشکال نگردد. جوهرزدایی شیمیایی و آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، منجر به افزایش مقدار ضخامت کاغذ شده است. به طور کلی نتایج به دست آمده نشان داد که تیمارهای شیمیایی ضخامت بیشتری را در مقایسه با تیمارهای آنزیمی دارند. به نظر می‌رسد که افزایش ضخامت کاغذها را

بتوان به کم شدن قابلیت برقراری اتصال بین الیاف و فیبره شدن الیاف و همچنین کاهش قابلیت لهیدگی الیاف در اثر خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی نسبت داد. در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد روزنامه، جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله به روش‌های آنزیمی و شیمیایی منجر به کاهش مقاومت به عبور هوا شده است. در طی جوهرزدایی بخشی از الیاف و ذرات جوهر خارج می‌شوند، در نتیجه با جداسازی بخشی از نرمه‌های الیاف و ذرات جوهر، مقاومت به عبور هوای کاغذ کاهش می‌یابد. همچنین در خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی به دلیل فیبره شدن کمتر الیاف و کاهش اتصال بین الیاف و اتصال‌های داخلی ورقه کاغذ، مقادیر بالک افزایش یافته است.

بخش شناورسازی کمتر خارج شده و منجر به افت ویژگی‌های کششی کاغذ شده است (میتسوهیرو و ماتسوسیتا، ۲۰۰۰؛ پلاچ و همکاران، ۲۰۰۲).

عوامل مؤثر بر مقاومت پارگی کاغذ عبارتند از: طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره شدن دخالت دارند، تعداد اتصالات بین الیاف، مقاومت اتصالات و مقاومت ذاتی الیاف. تعداد الیافی که در هنگام پاره شدن کاغذ دخالت دارند به کمک وزن پایه و به وسیله انعطاف پذیری کاغذ تعیین می‌شوند. طول الیاف فاکتور بسیار مهمی در مقاومت به پاره شدن کاغذ است. مقاومت به پارگی کاغذ با افزایش طول الیاف افزایش می‌یابد. چون افزایش طول الیاف، به منزله افزایش نیروی لازم برای کندن و جداسازی الیاف است (افرا، ۱۳۸۵). جوهرزدایی شیمیایی و آنزیمی کاغذ روزنامه باطله منجر به بهبود شاخص مقاومت به پارگی کاغذ شده است. افزایش غلظت آنزیم سلولاز تا ۰/۱ درصد به دلیل افزایش آب دوستی الیاف و مقدار نرمه‌های زیاد می‌باشد که شاخص مقاومت به پارگی کاغذها را بهبود بخشیده است. بنابراین استفاده از ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز و همچنین استفاده از فرایند شناورسازی در جوهرزدایی شیمیایی تأثیر معنی‌داری را در شاخص مقاومت به پارگی کاغذ نشان نداده است. استفاده از فرایند شناورسازی در جوهرزدایی شیمیایی در مقایسه با سیستم شستشو شاخص مقاومت به پارگی کمتری را نشان داده است که دلیل عمده آن می‌تواند به خروج کمتر پرکننده‌ها، نرمه‌ها و پارتیکل‌های بسیار ریز در بخش شناورسازی نسبت داده شود. این مطلب نشان دهنده آن است که نرمه‌ها به اندازه کافی آب دوست شده‌اند تا در بخش شستشو خارج شوند اما در بخش شناورسازی این ذرات مجدداً بر روی الیاف رسوب یافته‌اند (هیز و همکاران، ۱۹۹۶؛ پلاچ و همکاران،

تیمارهای شیمیایی در مقایسه با سایر تیمارهای آنزیمی و خمیر کاغذ شاهد، مقادیر بالک بیشتر و دانسیته کمتری را نشان دادند. تیمارهای شیمیایی به دلیل داشتن بیشترین ضخامت در وزن پایه ثابت، دارای حداکثر بالک و حداقل دانسیته می‌باشند. دلیل عمده این اختلاف را می‌توان به آب دوستی و در نتیجه فیبریله شدن بیشتر الیاف با آنزیم (به ویژه در ۰/۱ درصد) نسبت داد.

ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی

با افزایش غلظت آنزیم مصرفی از ۰/۰۵ به ۰/۱ درصد، شاخص مقاومت کششی و طول پارگی کاغذ بهبود یافته است که دلیل عمده آن این است که در غلظت‌های بیشتر آنزیم مصرفی، فیبریلایون الیاف بهتر انجام شده است. در نتیجه با افزایش آب دوستی الیاف، اتصال میان الیاف بهبود یافته و مقاومت کششی و طول پارگی کاغذ افزایش می‌یابد. لازم به یادآوریست که تمامی ویژگی‌های مقاومتی کاغذها در غلظت بیشتر از ۰/۱ درصد آنزیم سلولاز روند کاهشی را نشان دادند. بنابراین افزایش مصرف آنزیم تا ۰/۱ درصد تأثیر مثبت بر روی مقاومت کششی و طول پارگی کاغذ داشت، اما در غلظت بیشتر از ۰/۱ درصد این مقادیر به طور معنی‌داری کاهش یافتند. همچنین در مقایسه با روش شستشو، استفاده از فرایند شناورسازی در بخش جوهرزدایی شیمیایی، شاخص مقاومت کششی و طول پارگی کمتری را نشان داده است که این نتیجه نشان دهنده آن است که در بخش شستشو بخش عمده پرکننده و ذرات نرمه بیشتری خارج شده است. در نتیجه ویژگی‌های کششی کاغذ بهبود یافته است. همچنین به نظر می‌رسد که نرمه‌ها به اندازه کافی آب دوست بودند که در طی فرایند شستشو به خوبی خارج شوند. این در حالیست که این ذرات در

منابع مورد استفاده

- افرا، ا. ۱۳۸۴. مبانی ویژگی‌های کاغذ (ترجمه). نشر علوم کشاورزی تهران، ۳۹۲ صفحه.
- فائزی پور، م.، خلفی، ع.، میرشکرایی، ا.، محمدنژاد، م. و لهراسی، ع. ۱۳۸۴. بررسی اثر نوع کاغذ روزنامه بر قابلیت جوهرزدایی آن. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۴، صفحات ۶۵-۵۳.
- قاسمیان، ع. ۱۳۸۲. بررسی استفاده از خمیرجوهرزدایی شده کاغذهای روزنامه و مجله باطله در ترکیب خمیر CMP داخلی برای تولید کاغذ روزنامه. رساله دکترا. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. صفحات ۴۴-۹.
- Bajpai, P., 1998. *Biotechnology for Environmental Protection in pulp and paper industry*. Germany springer, Tappi Journal, 81(12), 111-117.
- 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.
- Kent Kirk, T., Jeffries, Thomas W. 1996. Roles for microbial enzymes in pulp and paper processing, 78 (3), 207-212.
- Mitsuhiro, sugino., yasuyuki, Matsusita. 2000. the study for the mechanism of enzymatic deinking, 19 (1), 285-296.
- Mohandass, C and Raghukumar, C. 2005. Biological deinking of inkjet- printed paper using *Vibrio alginolyticus* and its enzymes. Journal of industrial microbiology and biotechnology 32 (9), 424-429.
- Pala, H and Mota, M and Gama, F.M. 2003. enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. Journal of biotechnology, 108, 79-89.
- Pelach, M.A and Pastor, F.J and Puing, J and Vilaseca, F and Mutje, P. 2002 enzymatic deinking of newspaper with cellulose, 32 (9), 424-429.
- Quinghua, XU and et al. 2006. Structural changes in lignin during the deinking of old newsprint with Laccase-Violuric acid system, 49(9), 334-449.
- Viesturs, U., Leite, M., Treimanis, A., and Eisimonte, M. 1999. Enzyme-improved recycling of laser-printed office waste paper. 98(7), 884-897.
- Vyas, S.R., and Lachke, A. 2003. Biodeinking of mixed Office Waste Paper by Alkaline Active Cellulases from alkalotolerant *Fusarium SP*. Enzyme and microbial technology, Journal of biotechnology, 108 (3), 79-89.
- Welt, T. 1996. Enzymatic deinking effectiveness and mechanisms. Doctoral dissertation. The Institute of Paper Science and Technology, Atlanta, Georgia. 10 pp.
- ۲۰۰۲). طول الیاف و اتصال بین الیاف عوامل مؤثر بر روی مقاومت به ترکیدگی کاغذ می‌باشند. اگرچه مقاومت به ترکیدگی کاغذ با افزایش طول الیاف افزایش می‌یابد، اما مقاومت به ترکیدگی بیشتر به اتصال میان الیاف بستگی دارد. خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله منجر به افزایش شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ شده است. در جوهرزدایی آنزیمی، شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذها با افزایش غلظت آنزیم سلولاز از ۰/۰۵ تا ۰/۱ درصد بهبود یافته است، اما با افزایش غلظت آنزیم مصرفی، میزان فیبریل‌شدن الیاف افزایش یافته و با جداسازی و تفکیک بهتر ذرات جوهر، تعداد اتصال میان الیاف بیشتر می‌شود. در نتیجه شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ بهبود می‌یابد. بنابراین استفاده از غلظت‌های کمتر از ۰/۰۵ درصد آنزیم سلولاز، موجب کاهش شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذها شده است. در غلظت‌های کمتر از ۰/۰۵ درصد کمتر بودن آب دوستی الیاف منجر به کاهش میزان اتصال میان الیاف و در نتیجه کاهش شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذها شده است. به نحوی که استفاده از فرایند شستشو در مقایسه با شناورسازی منجر به افزایش مقاومت به ترکیدگی کاغذ شده است که این نتیجه به جداسازی مؤثر نرمه‌ها در بخش شستشو نسبت داده می‌شود (ولت، ۱۹۹۶؛ ویاس و لاکچه، ۲۰۰۳).

سپاسگزاری

از زحمات ارزنده جناب آقای مهندس سلیمانی کارشناس محترم شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران به دلیل راهنمایی و مشاوره ارزشمندشان در جهت پیشبرد سریع‌تر این تحقیق قدردانی بعمل می‌آید.

Investigation on the physical and mechanical properties of waste newspaper deinked pulp by cellulase enzyme compared to conventional method

Akbarpour, I.^{1*}, Resalati, H.² and Saraeian, A.R.³

1*- Corresponding Author, M.Sc. Graduate of Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Email:iman.ak2010@gmail.com

2- Associate Professor of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Pulp and Paper Industries.

3- Assistant Professor of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Pulp and Paper Industries.

Received: Jan., 2010

Accepted: Dec., 2010

Abstract

In this study, deinking of waste newspaper was investigated by conventional and enzymatic methods. Conventional deinking was done in pulping times of 10, 20 and 30 minutes along with different processes of washing, flotation and combined washing/ flotation. Enzymatic deinking was accomplished at different charges of 0.025, 0.05, 0.1 and 0.2% cellulase enzyme (based on oven-dried waste paper), pulping times of 10,15 and 20 minutes, pH range of 5-5.5 along with one-stage washing process. Optimum compositions were selected from chemical and enzymatic treatments and then physical and mechanical properties of the paper produced in optimum conditions were compared. Achieved results from comparison of the physical properties of optimum chemical and enzymatic treatments showed that, the paper produced from deinked pulp by conventional method had higher calliper, bulk and porosity. Using of 0.1% cellulase resulted the papers with higher tensile and breaking length compared to chemical treatments. The papers could be produced with similar burst and tear indexes compared to chemical treatments using of 0.1% cellulase, as well.

Key words: Deinking, waste newspaper, cellulase, physical properties, mechanical properties.