

## جوهرزدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله در مقایسه با روش شیمیایی متداول

ایمان اکبرپور<sup>۱\*</sup>، حسین رسالتی<sup>۲</sup> و احمدرضا سرائیان<sup>۳</sup>

\*- مسئول مکاتبات، کارشناس ارشد صنایع خمیروکاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان پست الکترونیک: iman.ak2010@gmail.com

۲- دانشیار تکنولوژی خمیروکاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

۳- استادیار تکنولوژی خمیروکاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۸۹

### چکیده

در این تحقیق جوهرزدایی کاغذ روزنامه باطله به دو روش شیمیایی متداول و آنزیمی مورد بررسی قرار گرفت. تیمار شیمیایی کاغذ روزنامه باطله با استفاده از مواد شیمیایی در زمانهای مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه، درصد خشکی ۱۰ درصد، دما  $50 \pm 1$  درجه سانتی گراد همراه با شستشو، شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی انجام شد. این در حالی است که تیمار آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت‌های مختلف ۰/۲۵، ۰/۵، ۱/۰، ۲/۰ و ۴/۰ درصد (براساس وزن خشک کاغذ باطله)، محدوده ۵-۵/۵ pH، زمانهای مختلف ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه، درصد خشکی ۱۰ درصد، دما  $50 \pm 1$  درجه سانتی گراد همراه با شستشو انجام گرفت. مقایسه نتایج خواص نوری تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی نشان داد که خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده به روش شیمیایی متداول دارای درجه روشنی بیشتر و زردی بیشتر می‌باشند. همچنین خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده به روش شیمیایی متداول کاغذهای حجیم‌تر، ضخیم‌تر و با مقاومت به عبور هوای بیشتری را نتیجه داد.

واژه‌های کلیدی: جوهرزدایی، کاغذ روزنامه باطله، آنزیم سلولاز، خواص نوری، خواص فیزیکی.

### مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع چوبی و افزایش تقاضا برای محصولات کاغذی و افزایش نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از تولید خمیرهای کاغذ بکر و حجم بالای کاغذ موجود در زباله‌های شهری، ضرورت بازیافت کاغذ بیش از پیش احساس می‌شود. جوهرزدایی یکی از مراحل مهم در امر بازیافت کاغذ و استفاده مجدد از آن می‌باشد، لذا در سال‌های اخیر توجه محققان در سطح بین‌المللی به سوی بهینه‌سازی و یافتن راه‌های جدید در زمینه زدودن آلاینده‌ها به ویژه جوهر از

کاغذهای باطله معطوف شده است [ولت، ۱۹۹۶]. آنزیم‌های میکروبی<sup>۱</sup> تکنولوژیهای جدیدی را برای عمل‌آوری الیاف و خمیرها فراهم می‌کنند. به عنوان مثال زایلاناز با کم کردن مواد شیمیایی مورد نیاز برای رنگ‌بری، انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن و فلزات سنگین موجود در پساب را کاهش می‌دهد. سلولاز درجه‌روانی خمیر را افزایش داده، الیاف را صاف‌تر نموده و قابلیت زبری و خمش الیاف خشک را افزایش می‌دهد. همچنین این آنزیم درصد خروج جوهر از کاغذ، دانسیته و

1 Microbial enzymes

اما آنزیم‌های مطلوب و مؤثرتری را باید برای جوهرزدایی بررسی کرد [هیز و همکاران، ۱۹۹۶؛ کواینکوا و همکاران، ۲۰۰۶].

نتایج حاصل از جوهرزدایی آنزیمی کاغذهای باطله در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه صنعتی نشان می‌دهد که تیمار الیاف بازیافتی با سلولاز و زایلاناز درجه‌روانی خمیرکاغذ را ۱۸-۲۰ درصد افزایش می‌دهد. آنزیم لیپاز بدست آمده از قارچ *Cadida cylindrical* پس از افزودن به مخزن خمیرکاغذ چوب آسیاب شده، مقدار تری‌گلیسریدها، مصرف تالک و مشکلات قیر را به طور قابل توجهی کاهش داد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده در واحدهای مختلف صنعتی نشان می‌دهند که با استفاده از آنزیم‌های لیپاز تعداد معایب موجود در کاغذ و مقدار مواد شیمیایی، همراه با توالی تمیزسازی ماشین کاغذ کاهش می‌یابد. آنزیم لیپاز علاوه بر افزایش جذب آب خمیرکاغذ CTMP، مقاومت و حجم ویژه کاغذ نهایی حاصل از این خمیرکاغذ را هم افزایش می‌دهد [کرک و همکاران، ۱۹۹۶].

استفاده از آنزیم سلولاز جداسازی ذرات جوهر از کاغذهای روزنامه باطله را بهبود می‌بخشد و در مقایسه با جوهرزدایی معمول نتایج بهتری می‌دهد و می‌تواند به عنوان راه حل مهمی در جایگزینی آنها باشد. آنزیم سلولاز به زمان بهینه‌ای برای تماس با سوسپانسیون خمیرکاغذ نیاز دارد. همچنین جداسازی ذرات جوهر می‌تواند با کارایی جداسازی و مصرف انرژی ویژه بهینه شود. افزایش غلظت و کاهش مدت زمان خمیرسازی با صرفه‌جویی در مصرف انرژی موجب افزایش دوام و پایداری کاغذ می‌شود [پلاچ و همکاران، ۲۰۰۲]. خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده با آنزیم آسان تر رنگ بری شده و

سطح ویژه آن را افزایش می‌دهد. آنزیم لیپاز مقدار ترکیبات قیری<sup>۱</sup> را کاهش می‌دهد و آنزیم‌های تجزیه کننده لیگنین<sup>۲</sup> نیز لیگنین موجود در خمیر را خارج می‌کنند [پایس و همکاران، ۱۹۹۵؛ ولت، ۱۹۹۶]. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از آنزیم‌هایی از قبیل پکتیناز، همی سلولاز، سلولاز و لیگنینازها می‌توانند از طریق تأثیر بر سطوح و اتصال‌های فیبر در مجاورت ذرات جوهر موجب تسهیل در مراحل بعدی زدودن جوهر شود [ویاس و لاچکه، ۲۰۰۳].

آنزیم‌ها مواد شیمیایی زنجیره‌ای 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 و ذرات بدست آمده خیلی راحت تر شناورسازی شوند. 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 ترکیب‌ها به طور انتخابی می‌توانند لایه‌های بیرونی الیاف سلولزی را جهت آزاد کردن جوهر از سطح الیاف هیدرولیز کنند [کواینکوا و همکاران، ۲۰۰۶]. در جوهرزدایی آنزیمی، آنزیم‌ها به جوهر و 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. اگرچه جوهرزدایی با سلولاز و همی سلولاز صنعتی شده‌اند،

1 Pitch components

2 Lignin - degrading enzymes

روزنامه و یا سرویس فروش نگهداری شده و به هیچ وجه در معرض نور آفتاب و دمای نامطلوب قرار نگرفته بودند. سن کاغذهای روزنامه چاپ شده ۵ روز بوده است که پس از تعیین درصد رطوبت کاغذ روزنامه و تهیه نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۵-۲ سانتی‌متر، تیمارهای شیمیایی متداول و آنزیمی انجام گرفت. بدین منظور نمونه‌های آزمونی تهیه شده پس از خیساندن در آب به مدت ۲۴ ساعت، در دستگاه پراکنده‌ساز به مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور 26500 و درصد خشکی ۵ درصد به خمیر کاغذ تبدیل شدند. خمیر کاغذ حاوی ذرات جوهر و الیاف بر روی غربال با مش ۲۰۰ آبگیری شده و سپس با استفاده از مواد شیمیایی و یا آنزیم سلولاز تیمار شدند.

#### تیمار شیمیایی و آنزیمی

خمیرهای بازیافتی تهیه شده از کاغذ روزنامه باطله در ابتداء با استفاده از مواد شیمیایی پروکسید هیدروژن ۱ درصد، هیدروکسید سدیم ۱ درصد، سیلیکات سدیم ۲ درصد، DTPA ۰/۳ درصد و ماده فعال‌ساز پلی‌سوربات ۸۰ به میزان ۰/۱۵ درصد (بر اساس وزن خشک کاغذ باطله) در زمانهای مختلف ۲۰، ۳۰ دقیقه، درصد خشکی ۱۰ درصد، دما  $50 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و شرایط مختلف جوهرزدایی (شستشو، شناورسازی و ترکیب شستشو و شناورسازی) تیمار شیمیایی شدند. در ابتداء با در نظر داشتن خواص نوری مطلوب کاغذهای تولید شده، زمان تیمار ۲۰ دقیقه و استفاده از فرایند مجزای شستشو و یا شناورسازی به عنوان شرایط بهینه تیمار شیمیایی انتخاب شد (جدول ۱). تیمار آنزیمی با استفاده از آنزیم سلولاز تحت شرایط ثابت درجه حرارت  $50 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد، درصد خشکی ۱۰ درصد، مدت زمان‌های تیمار ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه، محدوده pH ۵-۵/۵ با غلظت‌های

نسبت به خمیرهای کاغذ 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 حاصل از آنها در مقایسه با جوهرزدایی شیمیایی متداول دارای ویژگیهای فیزیکی بهتر، روشنی بیشتر و ذرات جوهر کمتر می‌باشند. آنزیم‌ها به طور مستقیم هم بر الیاف و هم بر روی فیلم لایه ذرات جوهر عمل می‌کنند و با جدا شدن فیبریل‌های کوچک از سطح ذرات و تغییر آبدوستی<sup>۱</sup> این ذرات، جداسازی آنها را در مرحله شستشو و شناورسازی آسان نموده و کیفیت کاغذ نهایی را بهبود می‌بخشند [پالا و همکاران، ۲۰۰۳].

با توجه به تحقیقات به عمل آمده در چند دهه اخیر مبنی بر اینکه جوهرزدایی آنزیمی در بازیافت کاغذهای باطله نتایج رضایت بخشی را ارائه می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک روش مناسب جهت جایگزین شدن با جوهرزدایی متداول شیمیایی مطرح شود، در این تحقیق شرایط بهینه تیمار آنزیمی در مقادیر مختلف آنزیم سلولاز مصرفی و زمان‌های مختلف تیمار آنزیمی و همچنین شرایط بهینه تیمارهای شیمیایی انجام گرفته تعیین شدند و سپس کاغذهای ساخته شده به دو روش شیمیایی متداول و آنزیمی به لحاظ خواص نوری و فیزیکی مورد مقایسه قرار گرفتند.

#### مواد و روشها

آماده سازی و خمیرسازی مجدداً کاغذهای روزنامه باطله کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری شدند. این کاغذها در اتاقهای آرشیو

1 Hydrophilicity  
2 Repulping

مش ۶۰ صورت گرفت. همانند با تیمارهای شیمیایی انجام شده مبنی بر در نظر داشتن خواص نوری مطلوب کاغذهای تولید شده، زمان تیمار آنزیمی ۱۵ دقیقه و غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد سلولاز به عنوان شرایط بهینه تیمار آنزیمی تعیین شد (جدول ۱).

مختلف ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد به ترتیب معادل با ۲۵/۵U، ۵۱U، ۱۰۲U و ۲۰۴U در کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد. جوهرزدایی نهایی کاغذهای روزنامه تیمار شده با آنزیم سلولاز همانند با جوهرزدایی شیمیایی با استفاده از سیستم شستشو بر روی غربال با

جدول ۱- معرفی شرایط بهینه تیمارهای شیمیایی و آنزیمی انجام شده

تیمار	شرایط بهینه تیمارهای شیمیایی و آنزیمی
C <sub>1</sub>	تیمار شیمیایی در زمان ۲۰ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو
C <sub>2</sub>	تیمار شیمیایی در زمان ۲۰ دقیقه همراه با یک مرحله شناورسازی
E <sub>1</sub>	تیمار آنزیمی با مقدار آنزیم ۰/۰۵ درصد و زمان ۱۵ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو
E <sub>2</sub>	تیمار آنزیمی با مقدار آنزیم ۰/۱ درصد و زمان ۱۵ دقیقه همراه با یک مرحله شستشو
خمیر کاغذ شاهد	خمیر بازیافتی روزنامه بدون اضافه شدن مواد شیمیایی و آنزیم

### روش تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق برای بررسی اثر فاکتورهای مستقل بر خواص نوری و فیزیکی کاغذهای تولید شده به دو روش شیمیایی متداول و آنزیمی از آزمون تجزیه واریانس و همچنین به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شده است.

### نتایج

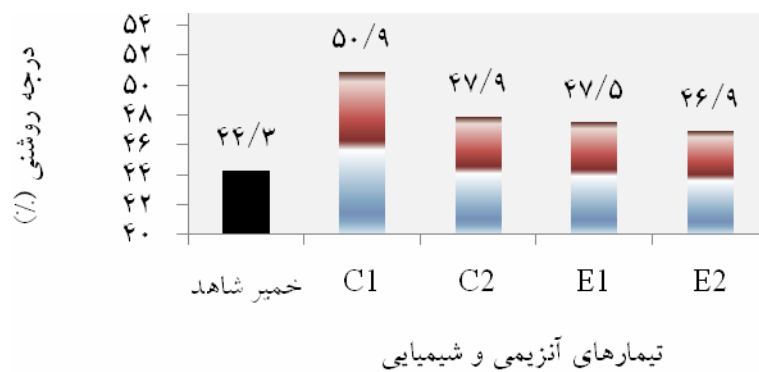
مقایسه خواص نوری کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش شیمیایی متداول و آنزیمی درجه روشنی و زردی

آزمون تجزیه واریانس و گروه بندی دانکن در مورد خواص نوری کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ شاهد و تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی نشان داد که این مقادیر در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند اما بین تیمارهای C<sub>2</sub> و E<sub>1</sub> و همچنین تیمارهای E<sub>1</sub> و E<sub>2</sub> به لحاظ درجه

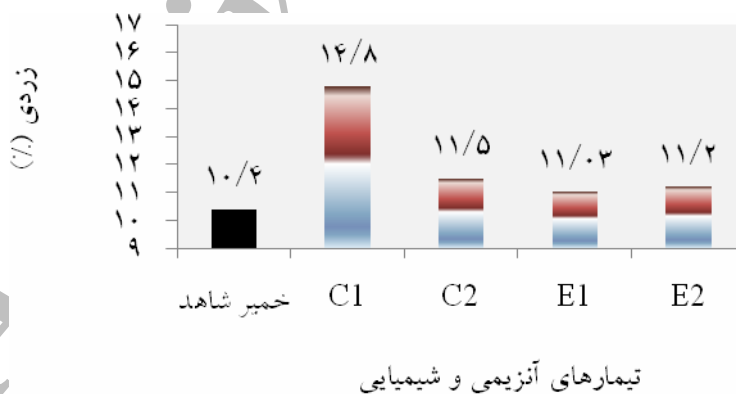
پس از تهیه کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی مطابق با استاندارد TAPPI T205 om-88، خواص نوری کاغذ مانند درجه روشنی، زردی، ماتی در تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی اندازه‌گیری شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین پس از اندازه‌گیری خواص فیزیکی کاغذها مانند ضخامت، مقاومت به عبور هوا، حجیمی و دانسیته، نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند. درجه روشنی و زردی کاغذهای ساخته شده مطابق با استاندارد TAPPI T452 om-02 و ماتی مطابق با استاندارد TAPPI T425 om-02 اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ضخامت و مقاومت به عبور هوای کاغذ به ترتیب مطابق استاندارد TAPPI T411 om-05 و T460 TAPPI om-02 انجام گرفت. مقادیر حجیمی و دانسیته کاغذها نیز مطابق با روابط موجود بین ضخامت و وزن پایه کاغذ در تیمارهای بهینه شیمیایی و آنزیمی اندازه‌گیری شده و مورد مقایسه قرار گرفتند.

همچنین مقادیر زردی تیمارهای  $C_2$ ،  $E_1$  و  $E_2$  اختلاف معنی داری را در سطح ۱٪ نشان ندادند. آزمون دانکن مقادیر زردی کاغذهای ساخته شده را در ۳ گروه مجزا قرار داده است و خمیر کاغذ شاهد و تیمار  $E_2$  به ترتیب دارای کمترین میزان زردی ۱۰/۴ و ۱۱/۲ درصد و تیمار  $C_1$  دارای بیشترین زردی ۱۴/۷ درصد می باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

روشنی اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر درجه روشنی کاغذها را در ۴ گروه مجزا قرار داده است. به طوری که خمیر کاغذ شاهد دارای کمترین درجه روشنی (۴۴/۱) درصد و تیمارهای  $C_1$  و  $E_1$  به ترتیب دارای بیشترین درجه روشنی می باشند. این مقادیر به طور متوسط ۵۰/۹ و ۴۷/۵ درصد می باشند.



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



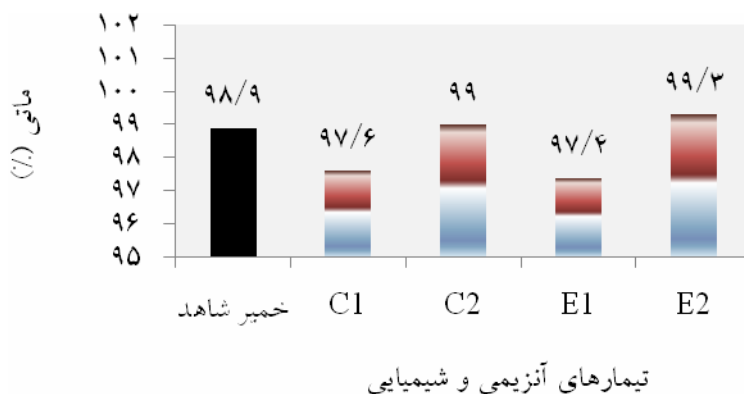
شکل ۲- مقایسه زردی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

خمیر کاغذ شاهد حاکی از آن است که بین تیمارهای  $C_1$  و  $E_1$  و همچنین خمیر کاغذ شاهد با  $C_2$  و  $E_2$  اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. بیشترین

ماتی نتایج حاصل از مقایسه میانگین مقادیر ماتی بدست آمده از تیمارهای برتر آنزیمی و شیمیایی تعیین شده با

۹۷/۳ درصد می‌باشند (شکل ۳).

میزان ماتی مربوط به تیمار E<sub>2</sub> و کمترین مقدار ماتی به تیمار C<sub>1</sub> اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب ۹۹/۲ و



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

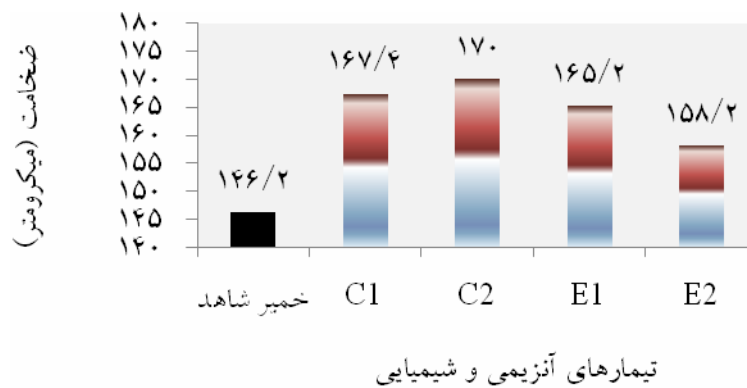
#### مقاومت به عبور هوا

مقادیر مقاومت به عبور هوای کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ شاهد و تیمارهای آنزیمی و شیمیایی اختلاف معنی‌داری را در سطح ۱٪ نشان دادند. به طوری که بین مقادیر مقاومت به عبور هوا در تیمارهای C<sub>2</sub> و E<sub>2</sub> اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. مقادیر مقاومت به عبور هوای اندازه‌گیری شده کاغذها 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 ۲۹/۶۲ ثانیه است. البته تیمار شیمیایی C<sub>1</sub> مقاومت به عبور هوا بیشتری را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داده است. به طوری که کمترین مقدار مقاومت به عبور هوا به ترتیب مربوط به تیمارهای C<sub>2</sub> و E<sub>1</sub> است که این مقادیر به ترتیب معادل ۱/۰۴ و ۵/۳ ثانیه می‌باشند (شکل ۵).

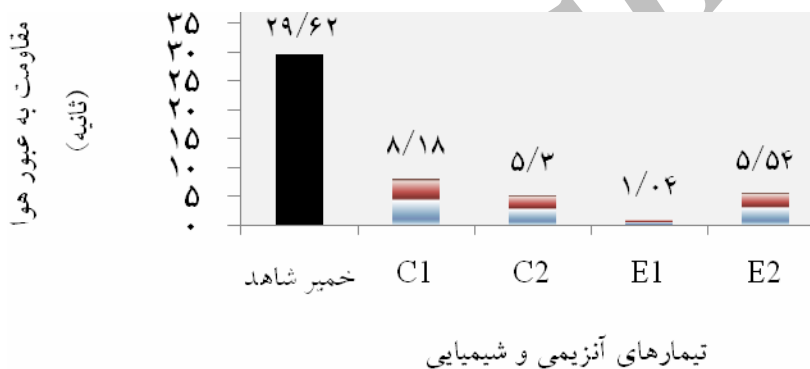
#### مقایسه خواص فیزیکی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی

شده به دو روش شیمیایی متداول و آنزیمی ضخامت

نتایج بدست آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر ضخامت تعیین شده از کاغذهای ساخته شده (در وزن پایه ثابت) نشان داد که این مقادیر در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری دارند. البته بین تیمارهای C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> و همچنین تیمارهای C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> و E<sub>1</sub> اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر ضخامت کاغذهای اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه مجزا قرار داده است به طوری که کمترین مقدار ضخامت مربوط به خمیر کاغذ شاهد به میزان ۱۴۶/۲ میکرومتر و بیشترین ضخامت به ترتیب به تیمارهای C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> اختصاص دارد که این مقادیر به ترتیب ۱۷۰ و ۱۶۷/۴ میکرومتر می‌باشد (شکل ۴).



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



شکل ۵ - مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده به دو روش آنزیمی و شیمیایی

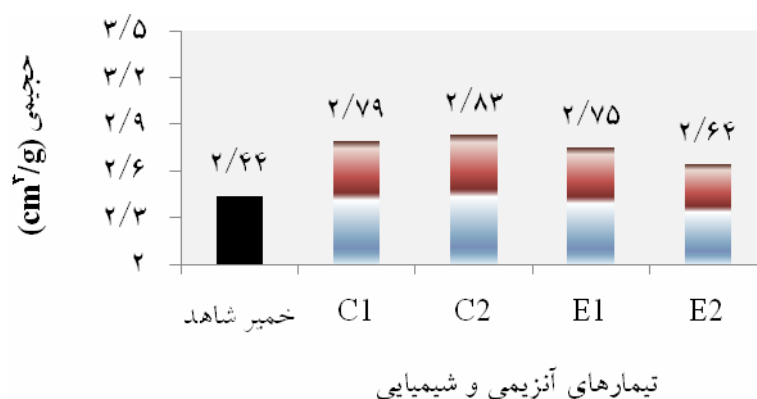
سانتی مترمکعب مربوط به خمیر کاغذ شاهد و بیشترین میزان حجیمی ۲/۸۳ سانتی مترمکعب برگرم و کمترین میزان دانسیته ۰/۳۵۲ گرم بر سانتی مترمکعب مربوطه به تیمار C<sub>2</sub> می باشد (شکل های ۶ و ۷).

### بحث و نتیجه گیری بررسی خواص نوری

درجه روشنی به عنوان قابلیت انعکاس نور کاغذ متأثر از ذرات ریز جوهر و سایر ترکیبات رنگی می باشد. به طوری که تیمار شیمیایی کاغذهای روزنامه باطله در

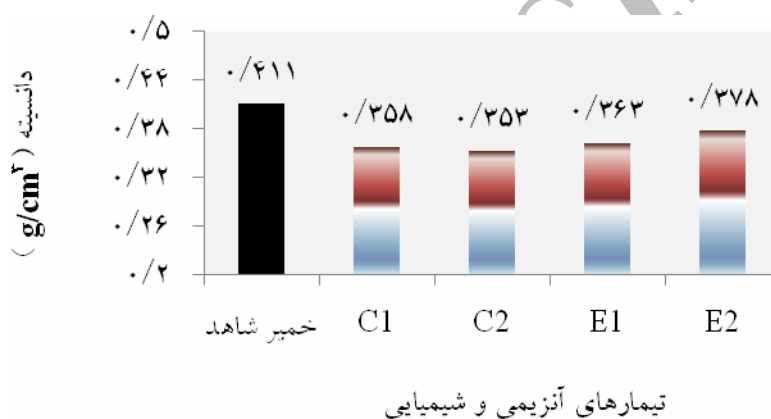
### حجیمی و دانسیته

مقادیر حجیمی و دانسیته کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ شاهد و تیمارهای شیمیایی و آنزیمی انجام شده اختلاف معنی داری را در سطح ۱٪ نشان دادند. به طوری که بین مقادیر حجیمی و دانسیته تیمارهای C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub> و E<sub>1</sub> و همچنین تیمارهای E<sub>1</sub> و E<sub>2</sub> اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ مشاهده نشده است. آزمون دانکن مقادیر حجیمی و دانسیته کاغذ را در ۳ گروه مجزا قرار داده است که کمترین میزان حجیمی ۲/۴۳۶ سانتی مترمکعب برگرم و در عین حال بیشترین دانسیته ۰/۳۵۳ گرم بر



شکل ۶- مقایسه حجمی کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده

به دو روش آنزیمی و شیمیایی



شکل ۷- مقایسه دانشیته کاغذهای روزنامه جوهرزدایی شده

به دو روش آنزیمی و شیمیایی

۱۹۹۹). همچنین یکی دیگر از دلایل بیشتر بودن درجه روشنی تیمار شیمیایی احتمالاً وجود پروکسید هیدروژن می باشد که موجب شده است تا کاغذهای حاصل از تیمار شیمیایی درجه روشنی بیشتری را نشان دهند. بنابراین در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، استفاده از آنزیم سلولاز در غلظت های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد موجب بهبود روشنی کاغذ شده است که دلیل آن می تواند تأثیر آنزیم بر روی ذرات جوهر باشد. چون که آنزیم با شکستن ذرات بزرگتر جوهر به ذرات ریزتر موجب تسهیل در جداسازی

مقایسه با تیمار آنزیمی به لحاظ درجه روشنی کارآیی بهتری را نشان داده است و با داشتن ذرات جوهر کمتر در دو سمت توری و رویی میزان روشنی بیشتری را نتیجه داده است. می توان گفت که هیدروکسید سدیم علاوه بر داشتن تأثیر مثبت بر روی واکشیدگی الیاف، بر روی تفکیک و جداسازی ذرات جوهر نیز اثربخشی داشته است. هیدروکسید سدیم می تواند به طور مستقیم بر روی ذرات جوهر عمل کند و در نهایت موجب گسیختن و پخش شدن جوهر شود (آزیویدو، ۱۹۹۹؛ ویستورس،



می‌باشد. به طوری که عوامل موثر بر روی ماتی کاغذ عبارتند از: ساختار، وزن پایه، فاصله الیاف از یکدیگر، میزان پالایش، فشار پرس در پایانه‌تر، مواد رنگی، مقدار و نوع پر کننده، میزان پراکندگی پر کننده‌ها، تقابل نوری پر کننده‌ها با الیاف، عوامل پوشش‌دهنده سطحی الیاف خمیر کاغذ و مقدار نرمه‌ها، میزان انعکاس نور از کاغذ می‌باشند (افرا، ۱۳۸۲). افزایش غلظت آنزیم سلولاز تا ۰/۰۵ درصد در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد منجر به بهبود ماتی نشده است این در حالی است که افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۱ درصد تأثیر معنی‌داری را در مقدار ماتی ایجاد کرده است. خروج نرمه‌ها را می‌توان به افزایش و یا کاهش ماتی نسبت داد. به نظر می‌رسد که مقدار نرمه‌های ایجاد شده در اثر فعالیت آنزیم در غلظت ۰/۱ درصد افزایش یافته است و این نرمه‌ها با پرکردن فضاهای خالی بین الیاف از عبور نور جلوگیری کرده، در نتیجه ماتی کاغذ افزایش یافته است. همچنین آنزیم با تأثیر بر روی الیاف و افزایش سطح ویژه آن موجب افزایش تفرق و پخش نور شده، در نتیجه ماتی کاغذ را بهبود می‌بخشد.

### بررسی خواص فیزیکی

ضخامت کاغذ از جمله خواص 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 ضخامت مشخص و یکنواخت 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 بدست آمده نشان داد که

آنها در طی شستشو و در نهایت بهبود روشنی می‌شود. در غلظت‌های بیشتر از ۰/۰۵ درصد به دلیل شدت اثر آنزیم بر روی ابعاد جوهر، تعداد ذرات ریز جوهر موجود در خمیر افزایش یافته است. در نتیجه با پراکنده شدن این ذرات ریز بر روی خمیر کاغذ، امکان رسوب مجدد این ذرات در سطح الیاف و یا بخش‌های متخلخل الیاف وجود دارد. به همین دلیل درجه روشنی کاغذ در غلظت بیشتر از ۰/۰۵ درصد کاهش یافت (ولت و همکاران، ۱۹۹۶؛ موهانداس و همکاران، ۲۰۰۵). البته لازم به یادآوریست که مقدار روشنی کاغذها در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد معنی‌دار مشاهده نشده است. به طوری که جوهرزدایی شیمیایی و آنزیمی کاغذهای روزنامه باطله در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به افزایش زردی کاغذها شده است که دلیل احتمالی آن می‌تواند به ظاهر شدن مجدد گروه‌های کروموفور و یا رنگ‌ساز موجود در لیگنین باشد. چون کاغذهای روزنامه از خمیرکاغذ مکانیکی ساخته شده و خمیر مکانیکی نیز دارای لیگنین می‌باشد و مطابق با شرایط بکارگرفته شده در فرایند جوهرزدایی، گروه‌های رنگ‌ساز موجود در لیگنین دوباره تشکیل شده‌اند؛ به همین دلیل خمیرهای کاغذ روزنامه جوهرزدایی شده مقدار زردی بیشتری را در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد نشان دادند. همچنین شواهد بدست آمده نشان داد که میزان تشکیل مجدد گروه‌های کروموفور لیگنین در خمیرهای کاغذ جوهرزدایی شده به روش آنزیمی کمتر بوده و کاغذهای ساخته شده به روش آنزیمی زردی کمتری را در مقایسه با تیمار شیمیایی نشان دادند.

ماتی به عنوان شاخصی از چاپ‌پذیری کاغذ، یکی از ویژگی‌های مهم کاغذهای چاپ و تحریر و اوراق بهادار

- فائزی پور، م.، خلفی، ع.، می‌رشکرایی، ا.، محمدنژاد، م. و لهراسبی، ع. ۱۳۸۴. بررسی اثر نوع کاغذ روزنامه بر قابلیت جوهرزدایی آن. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۴، صفحات ۶۵-۵۳.

- Azevedo, M.A.D., Drelich, J.C. 1999. The effect of pH on pulping and flotation of mixed office waste paper. *Journal of pulp and paper science*, 25(9):317-320.
- 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., 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.
- 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.
- Paice, M.G., Bourbonnais, R., Reid, I.D., and Archibald, J.L.J. 1995. Pulp paper. *Journal of pulp and paper science*, 96(1):1684-1689.
- Pala, H and Mota, M and Gama, F.M. 2003. enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. *Journal of biotechnology* 108 (1) : 79-89.
- 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.
- 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.

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 تیمارهای شیمیایی و آنزیمی نسبت داد. بدین ترتیب جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله به روش‌های آنزیمی و شیمیایی در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد منجر به کاهش مقاومت به عبور هوای کاغذ شده است. در طی فرایند جوهرزدایی بخشی از الیاف و ذرات جوهر خارج شده، در نتیجه با جداسازی بخشی از نرمه‌های الیاف و ذرات جوهر، مقاومت به عبور هوای کاغذ کاهش می‌یابد. همچنین در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد، جوهرزدایی کاغذهای روزنامه باطله با روش متداول شیمیایی و آنزیمی منجر به افزایش حجیمی و کاهش دانسیته کاغذ شده است. تیمارهای شیمیایی در مقایسه با سایر تیمارهای آنزیمی و خمیرکاغذ شاهد، مقادیر حجیمی بیشتر و دانسیته کمتری را نشان دادند. تیمارهای شیمیایی به دلیل داشتن بیشترین ضخامت در وزن پایه ثابت، دارای حداکثر حجیمی و حداقل دانسیته می‌باشند. در خمیرسازی شیمیایی و آنزیمی به دلیل فیبریله شدن کمتر الیاف و کاهش اتصال بین الیاف و اتصالات داخلی ورقه کاغذ، مقادیر حجیمی افزایش یافته است.

### منابع مورد استفاده

- افرا، ا. ۱۳۸۴. مبانی ویژگی های کاغذ (ترجمه). نشر علوم کشاورزی تهران، ۳۹۲ صفحه.

## Enzymatic versus chemical deinking of old newspaper

Akbarpour, I. <sup>1\*</sup>, Resalati, H. <sup>2</sup> and Saraeian, A.R. <sup>3</sup>

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 Wood and Paper Industries.

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

Received: Aug. 2009 Accepted: April, 2010

### Abstract

In this study, deinking of old newspaper by chemical and enzymatic methods was investigated. Chemical treatment was conducted using chemicals at different times of 10, 20 and 30 minutes, consistency of 10%, temperature of  $50\pm 1^{\circ}\text{C}$  along with washing, flotation and combination of washing/flotation. While, enzymatic treatment was accomplished at different concentrations of 0.025, 0.05, 0.1 and 0.2% of cellulase enzyme (on the basis of oven dried waste paper), pH range of 5-5.5, different times of 10, 15 and 20 minutes, consistency of 10%, temperature of  $50\pm 1^{\circ}\text{C}$  along with washing. The results of comparing optimal chemical and enzymatic treatments showed that, deinked pulp by chemical method provided higher brightness and yellowness. Also, deinked pulp by chemical method had provided papers with higher bulk, higher caliper as well as higher air resistance.

**keywords:** Deinking, old Newspaper, cellulase enzyme, optical properties, physical properties.

Archive of SID