جوهرزدایی کاغذهای باطله اداری با استفاده از سورفکتنت‌ها و آنزیم سلولاز در محیط خنثی

محمد طلایی‌پور[۱*] و لیث رشدی[۲]

۱*) استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران. نویسنده مسئول: m.talaeipoor@srbiau.ac.ir
۲) فارغ التحصیل کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۰۴

چکیده

در این تحقیق تاثیر سورفکتنت‌ها و آنزیم سلولاز بر جوهرزدایی کاغذهای باطله اداری در محیط خنثی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام این تحقیق از مخلوط کاغذهای باطله اداری (۶۰ درصد کاغذ چاپ و ۴۰ درصد کاغذ کپی) استفاده شد. سپس نمونه‌های خمیر کاغذ تحت تاثیر چهار نوع سورفکتنت و آنزیم سلولاز و سیلیکات سدیم، جوهرزدایی شدند. نوع و مقدار مصرف مواد شیمیایی به شرح زیر است. الف) سورفکتنت‌های فتی الکل اتوکسیلات، فتی اسید اتوکسیلات، سوربیتان مونو اولئات اتوکسیلات و نونیل فنل اتوکسیلات به طور جداگانه و در سه سطح ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ درصد بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ مورد استفاده قرار گرفتند. ب) آنزیم سلولاز در دو سطح صفر و ۰/۶ درصد بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ به همراه هر یک از سورفکتنت‌ها به خمیر کاغذ برای جوهرزدایی اضافه شد. ج) سیلیکات سدیم که مقدار مصرف آن ثابت و ۰/۳ درصد وزن خشک خمیر کاغذ بود.
نمونه‌های خمیر کاغذ تحت تاثیر ۲۴ ترکیب مختلف آنزیم و مواد شیمیایی جوهرزدایی شده و راندمان الیاف پس از جوهرزدایی اندازه‌گیری گردید. سپس از تمامی خمیر کاغذها، کاغذهای دست‌ساز ساخته شد و روشنی و شاخص لک شامل سطح و تعداد لکه‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری شدند و داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نوع سورفکتنت و استفاده از آنزیم سلولاز بر روشنی، شاخص لک (سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها) و راندمان الیاف خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده تاثیر داشته و باعث افزایش روشنی و کاهش شاخص لک (سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها) شده است. در نمونه کاغذهای دست ساز حداکثر روشنی کاغذ با نونیل فنل اتو کسیلات و فتی الکل اتو کسیلات بدون آنزیم سلولاز حاصل گردید. حداقل شاخص لک (سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها) مربوط به نمونه‌های کاغذ با نونیل فنل اتو کسیلات به همراه آنزیم بوده و حداکثر راندمان الیاف با مصرف نونیل فنل اتوکسیلات و فتی اسید اتوکسیلات حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: کاغذ باطله، جوهرزدایی، سلولاز، سورفکتنت، روشنی، لکه.

مقدمه

در طی چند دهه اخیر جوهرزدایی کاغذ به دلایل اقتصادی و زیست محیطی حرکت رو به رشد خود را به سرعت ادامه داده و به عنوان یک ضرورت در جهان مطرح گردیده است. یکی از مسایل مهم در جوهرزدایی آلودگی حاصل از آن می‌باشد که با وضع قوانین زیست محیطی به منظور محدود کردن آلودگی‌های حاصل از جوهرزدایی می‌بایست از روشی استفاده شود که آلودگی کمتری داشته باشد. در تحقیقاتی که روی جوهرزدایی کاغذهای باطله در شرایط خنثی و

قلیایی توسط محققین انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که جوهرزدایی خنثی، جداسازی جوهر را افزایش و اندازه میانگین ذرات جوهر را کاهش می‌دهد (بهین و واحد، ۱۳۸۲). همچنین عنوان شد که استفاده از روش‌های متداول جوهرزدایی مقادیر زیادی مواد شیمیایی مصرف می‌کند که باعث گرانی و آلودگی بیش از حد جوهرزدایی می‌شود، اما استفاده از روش‌های بیولوژیکی یعنی استفاده از آنزیم، جدا شدن ذرات جوهر و آلودگی کمتر را به همراه دارد (صادقی، ۱۳۸۲؛ Jeffries, 2001). در حقیقت آنزیم می‌تواند به طور مستقیم هم بر روی الیاف و هم بر روی جوهر اثر گذارد. همچنین نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که وقتی از آنزیم سلولاز استفاده شود به‌طور کلی پخش شدن و جدا شدن ذرات جوهر بیشتر می‌شود که این امر به دلیل هیدرولیز اتصالات جوهر و الیاف توسط آنزیم سلولاز می‌باشد (McKinney, 1995). بهترین کاربرد جوهرزدایی آنزیمی در بازیافت کاغذهای شیمیایی مانند کاغذهای باطله ادرای است، زیرا به دلیل وجود مقادیر زیاد تونرهای چاپ در این نوع کاغذها، جوهرزدایی این کاغذها با روش‌های متداول بسیار سخت و دشوار می‌باشد. علاوه بر آن در جوهرزدایی به روش آنزیمی تعداد و سطح لکه‌ها تا ۸۸ درصد کاهش می‌یابد (Jobbtins & Franks, 1997). اگرچه در زمینه جوهرزدایی از کاغذهای باطله تحقیقات وسیعی انجام گردیده است، اما بیشتر این تحقیقات مربوط به روش‌های شیمیایی جوهرزدایی به‌ویژه روش‌های جوهرزدایی در محیط قلیایی می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از سورفکتنت‌ها به عنوان ماده جدا کننده جوهر از کاغذهای باطله مورد توجه قرار گرفته است ولی ترکیب سیستم‌های آنزیمی و سورفکتنت‌ها در جوهرزدایی از کاغذهای باطله مبحث جدیدی است. در این تحقیق سعی گردید با انتخاب ترکیبات مختلفی از انواع سورفکتنت‌ها و آنزیم سلولاز، بهترین شرایط جوهرزدایی از کاغذهای باطله اداری تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

در این تحقیق از مخلوط کاغذهای باطله اداری (۶۰ درصد کاغذ چاپ و ۴۰ درصد کاغذ کپی) استفاده شد. کاغذهای کپی از نوع کاغذهای شیمیایی بودند که هر دو طرف آن با دستگاه زیراکس و جوهر سیاه کپی شده بود. جوهر کپی به نام تونر معروف است و ذرات تونر شامل پیگمنت سیاه (کربن سیاه) در یک پوشش رزینی ترموپلاستیکی می‌باشند. کاغذهای چاپ نیز از نوع کاغذهای شیمیایی بودند که فقط یک طرف آن چاپ شده بود. در این فرآیند نیز از تونر سیاه استفاده شد، که نوع چاپ آن، لیزری بود. در انتخاب هر یک از انواع کاغذ باطله این نکته در نظر گرفته شد که مقدار جوهر موجود در کاغذهای باطله زیاد باشد. سپس کاغذهای باطله جمع‌آوری شده با نسبت وزنی ۶۰ درصد کاغذ چاپ و ۴۰ درصد کاغذ کپی با یکدیگر مخلوط شدند.

ترکیبات جوهرزدایی

در جدول شماره ۱ ترکیبات مختلف آنزیم و مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

جدول ۱. ترکیبات مختلف آنزیم و مواد شیمیایی

سورفکتنت	مقدارمصرف (٪)	مقدار آنزیم (٪)	مقدار سیلیکات (٪)
فتی الکل اتوکسیلات	۰/۵	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۶	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۷	۰	۰/۳
		۰/۶	
فتی اسید اتوکسیلات	۰/۵	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۶	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۷	۰	۰/۳
		۰/۶	
سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات	۰/۵	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۶	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۷	۰	۰/۳
		۰/۶	
نونیل فنل اتوکسیلات	۰/۵	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۶	۰	۰/۳
		۰/۶	
	۰/۷	۰	۰/۳
		۰/۶	

جوهرزدایی

در این تحقیق از روش شناورسازی به منظور جوهرزدایی استفاده شد که با یک مرحله شستشوی تکمیلی بر روی الک ۲۰۰ مش همراه بود. به‌طور کلی عملیات جوهرزدایی به ۳ مرحله عمده به شرح زیر تقسیم گردید:

خمیرسازی

اولین مرحله از جوهرزدایی، تبدیل کاغذهای باطله به خمیر کاغذ جهت استفاده در مراحل بعدی است. این مرحله در واقع مرحله خمیرسازی مجدد[1] است. عملیات خمیرسازی یک فرآیند مکانیکی- شیمیایی است و تنظیم متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی نقش تعیین‌کننده‌ای در بازده و کیفیت خمیر کاغذ حاصل از فرآیند جوهرزدایی خواهند داشت. مواد مورد استفاده در

[1] Repulping

مرحله خمیرسازی کاغذهای باطله به شرح زیر در نظر گرفته شد:

– آنزیم سلولاز در ۲ سطح صفر و ۰/۶ درصد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ؛

– سیلیکات سدیم به نسبت ۰/۳ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ باطله و به صورت ثابت.

شرایط فیزیکی مورد استفاده در مرحله خمیرسازی کاغذهای باطله به صورت زیر در نظر گرفته شد:

– درجه حرارت: دمای محیط (۲۲ درجه سانتی‌گراد ثابت)؛

– زمان خمیرسازی: یک دقیقه و ثابت؛

– درصد خشکی خمیر کاغذ: ۳ درصد و ثابت.

به منظور تهیه خمیر کاغذ از کاغذهای باطله، ابتدا ۳۰ گرم کاغذ باطله بر مبنای وزن خشک توزین شده و سپس بسته به تیمارهای مختلف، آنزیم و سیلیکات سدیم به همراه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب با درجه حرارت ثابت به کاغذ باطله اضافه گردید. مجموعه کاغذهای باطله (که قبلاً به تکه‌های کوچکی به صورت دستی تبدیل شده بود)، مواد شیمیایی و آب به یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی ریخته شده و در مدت یک دقیقه، عملیات خمیرسازی با دور بسیار آهسته مخلوط‌کن انجام گرفت.

جداسازی جوهر (جوهرزدایی)

در این تحقیق از روش شناورسازی جهت جوهرزدایی استفاده شد که با یک مرحله شستشوی تکمیلی بر روی الک ۲۰۰ مش همراه بود. عملیات حذف جوهر به روش شناورسازی نیز یک فرآیند فیزیکی– شیمیایی است که تنظیم عوامل شیمیایی و فیزیکی در کارایی و بازده عملیات جوهرزدایی نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای خواهند داشت. در زیر شرایط فیزیکی و شیمیایی عملیات شناورسازی جوهر آورده شده است.

عوامل شیمیایی مرحله جوهرزدایی به‌صورت زیر در نظر گرفته شد:

– سورفکتنت به نسبت‌های ۰/۵ ، ۰/۶ و ۰/۷ درصد بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ؛

– سورفکتنت‌ها چهار نوع و به ترتیب فتی‌الکل‌اتوکسیلات، فتی‌اسیداتوکسیلات، سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات و نونیل فنل اتوکسیلات بودند که هر کدام به طور جداگانه و در سه سطح مورد استفاده قرار گرفتند.

عوامل فیزیکی مرحله جوهرزدایی شامل موارد زیر بود:

– درصد خشکی خمیر کاغذ: ۱درصد و ثابت؛

– درجه حرارت مرحله شناورسازی: دمای محیط (۲۲ درجه سانتی‌گراد و ثابت).؛

– زمان شناورسازی: ۵ دقیقه و ثابت.

شناورسازی جوهر

بعد از اتمام خمیرسازی، برای انجام عملیات شناورسازی جوهر لازم است که درصد خشکی دوغاب خمیر ۱ درصد باشد. بدین منظور ۳۳۳ گرم خمیر کاغذ که معادل ۱۰ گرم خمیر کاغذ بر مبنای وزن خشک می‌باشد با ۶۶۶ سی‌سی آب مخلوط شده تا خمیر کاغذ با درصد خشکی ۱٪ به دست آید. پس از اضافه کردن آب به خمیر کاغذ، سورفکتنت‌ها به‌طور جداگانه به خمیر کاغذ اضافه شدند. سپس به مدت ۱۵ دقیقه خمیر کاغذ نگاه داشته شد و در مواردی که از آنزیم سلولاز در دوغاب استفاده شد مدت نگاهداری داشت خمیر کاغذ ۴۵ دقیقه بود تا مواد شیمیایی حداکثر

اثر خود را بر روی جوهر و الیاف بگذارد. سپس خمیرکاغذها به طور جداگانه به داخل سلول شناورسازی منتقل شده و دستگاه برای مدت ۵ دقیقه روشن گردید. در این زمان هوادهی به وسیله باز کردن پیچ هوای مستقر در قسمت بالای دستگاه انجام گرفت. در طی این ۵ دقیقه کف جمع شده در روی مخزن شناورسازی که حاوی جوهر و مقداری الیاف است به صورت سرریز از مخزن شناورسازی خارج می‌گردید. پس از مرحله شناورسازی دوغاب خمیر کاغذ روی الک با مش ۲۰۰ شستشو داده شد. در شکل شماره ۱ سلول شناورسازی جوهر نشان داده شده است.

شکل ۱. سلول شناورسازی جوهر

شستشو

در فرآیند جوهرزدایی به روش شناورسازی لازم است که خمیر جوهرزدایی شده مورد شستشو قرار گیرد. این‌کار به منظور تمیزسازی بیشتر خمیر جوهرزدایی شده و کاهش میزان مواد معدنی در خمیر کاغذ انجام می‌گیرد. در این تحقیق پس از جوهرزدایی، خمیر کاغذ حاصله مورد یک مرحله شستشو بر روی الک ۲۰۰ مش قرار گرفت.

تهیه نمونه شاهد

به منظور بررسی تاثیر حضور، عدم حضور و مقادیر مختلف مواد شیمیایی بر خواص خمیر و کاغذ حاصله، از مخلوط کاغذهای باطله بدون افزودن هیچ یک از مواد شیمیایی، ۲ نمونه کاغذ تهیه شد. خواص این ۲ نمونه کاغذ به عنوان معیاری برای بررسی میزان روشنی و لکه در کاغذهای حاصل از تیمارهای تحقیق در نظر گرفته شد.

ساخت کاغذهای دست‌ساز

کاغذهای دست‌ساز بر طبق استاندارد TAPPI به شماره T205om-880 ساخته شد. وزن پایه کاغذهای دست‌ساز ۷۰ گرم در نظر گرفته شد و ۱/۴ گرم خمیر خشک جهت ساخت هر کاغذ مصرف گردید. با توجه به این که سطح توری دستگاه ساخت کاغذ ۲۵۶ سانتی‌متر مربع بود، در نتیجه کاغذهایی با ابعاد ۱۶ سانتی‌متر مربع ساخته شدند.

اندازه‌گیری روشنی[1] کاغذ دست‌ساز

اندازه‌گیری روشنی کاغذهای دست‌ساز توسط دستگاه اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ[2] موجود در مرکز تحقیقات کارخانه چوب و کاغذ مازندران انجام گرفت که بر طبق استاندارد TAPPI به

[1] Brightness

[2] Technibrite Microtr-Ioc

شماره T452 om-98 انجام شد (شکل ۲).

شکل ۲. دستگاه اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ

اندازه گیری شاخص لکه[1]

به منظور تعیین میزان لکه‌های جوهر باقیمانده در کاغذهای دست‌ساز، تعداد و سطح لکه‌ها اندازه‌گیری شد. در این آزمایش بدون در نظر گرفتن شکل، حالت یا رنگ لکه‌ها، تعداد و مساحت آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری لکه‌های موجود در کاغذهای دست‌ساز از دستگاه آنالیز تصویری[2] مجتمع آزمایشگاهی واحد علوم و تحقیقات تهران استفاده شد. سطح لکه‌ها به صورت مجموع سطح لکه در میلی‌متر مربع تعیین گردید. میانگین اندازه لکه‌ها با استفاده از فرمول زیر تعیین گردید.

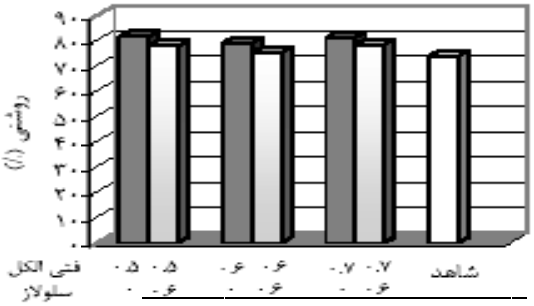
مجموع سطح لکه‌ها/ تعداد لکه‌ها = میانگین اندازه لکه‌ها (میلیمتر مربع)

نتایج

روشنی کاغذهای دست‌ساز

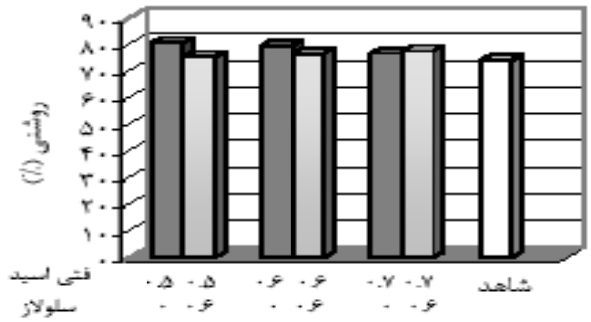
در نمودارهای شماره ۱، ۲، ۳ و۴ تاثیر انواع سورفکتنت‌ها و آنزیم سلولاز بر روشنی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله اداری نشان داده شده است.

همان‌طوری که از نمودارها مشخص می‌گردد با استفاده از هر یک از سورفکتنت‌ها میزان روشنی نمونه جوهرزدایی شده نسبت به نمونه شاهد

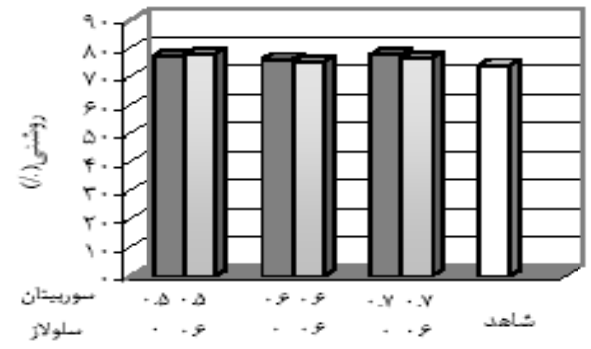


نمودار ۱- تاثیر سلولاز و فتی الکل بر روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده

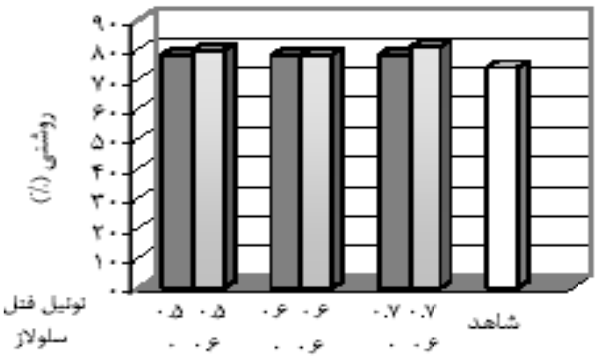
افزایش می‌یابد، بدین صورت که سورفکتنت‌ها با ضعیف و سست کردن اتصالات



نمودار ۲- تاثیر سلولاز و فتی اسید بر روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده



نمودار ۳- تاثیر سلولاز و سوربیتان بر روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده



نمودار ۴- تاثیر سلولاز و نونیل فنل بر روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده

جوهر و الیاف باعث افزایش شناورسازی جوهر می‌شود و با حذف ذرات جوهر و آلاینده‌ها که عامل بروز تیرگی در خمیر کاغذ هستند سبب افزایش روشنی خمیر کاغذهای حاصل می‌شوند.

[1] Dirt
[2] Image Analyzer

نتایج آزمون‌های آماری بیانگر آن است که نوع سورفکتنت تاثیر معنی‌داری بر روشنی خمیر جوهرزدایی شده دارد.

یکی از ویژگی‌های مهم سورفکتنت‌ها، شاخص HLB[1] آنها می‌باشد که هر چه بیشتر باشد حلالیت سورفکتنت بیشتر خواهد شد. در واقع سورفکتنتی که بتواند بیشترین جوهر را از خمیر کاغذ دفع کند، بیشترین روشنی را ایجاد می‌کند. چهار سورفکتنت مورد استفاده در این تحقیق شاخص‌های HLB متفاوتی داشتند، به نحوی که HLB سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات، فتی اسید اتوکسیلات، نونیل فنل اتوکسیلات و فتی الکل اتوکسیلات به ترتیب ۱۵، ۱۳/۵، ۱۲/۹ و ۱۲/۴ بود.

با توجه به نتایج جداول آماری و نمودارها ملاحظه می‌شود که از نظر استفاده از سورفکتنت‌ها، بیشترین روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده مربوط به فتی الکل اتوکسیلات و کمترین روشنی مربوط به سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج آماری تاثیر مستقل سورفکتنت بر تغییرات روشنی کاغذهای دست‌ساز ملاحظه می‌شود که روشنی کاغذهای حاصل از مصرف مقادیر مختلف سورفکتنت‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. نتایج مربوط به تاثیر مستقل آنزیم سلولاز نشان داد که تاثیر آن معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر افزودن آنزیم سلولاز به سورفکتنت عموماً باعث کاهش روشنی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده گردیده است.

نتایج روشنی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده نشان داد که جوهرزدایی با استفاده از سورفکتنت‌ها با و بدون استفاده از سلولاز باعث بهبود روشنی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. البته استفاده از سلولاز به همراه سورفکتنت عموماً منجر به کمی کاهش در روشنی خمیر کاغذها گردید. آنزیم سلولاز به ذرات جوهر یا به سطح الیاف حمله‌ور می‌شود و باعث ریز شدن ذرات جوهر و فیبریله شدن الیاف می‌گردد (Jobbbtins & Franks, 1997). به نظر می‌رسد که کاهش روشنی خمیر کاغذ به تولید ذرات ریز جوهر و ایجاد ذرات ریز فیبری الیاف مرتبط باشد (Shrinath *et al.*, 1991).

شاخص لکه

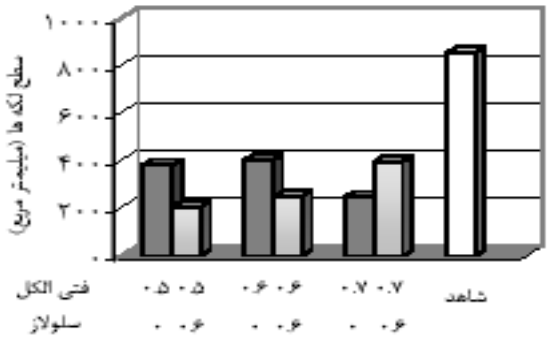
در نمودارهای ۵، ۶، ۷ و ۸ تاثیر سورفکتنت‌ها با و بدون آنزیم بر سطح لکه‌ها در کاغذهای دست‌ساز نشان داده شده است.

در نمودارهای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ تاثیر سورفکتنت‌ها و سلولاز بر تعداد لکه‌ها در کاغذهای دست‌ساز نشان داده شده است.

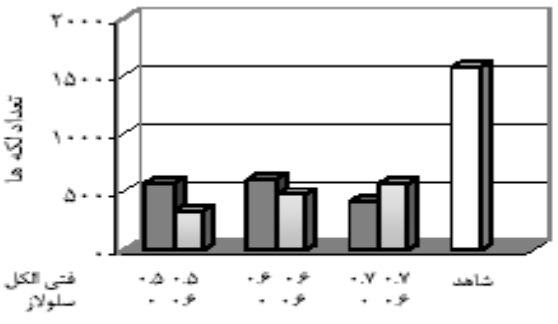
همان‌طوری که در نمودارها ملاحظه می‌شود، استفاده از سورفکتنت‌ها شاخص لکه را در نمونه جوهرزدایی شده کاهش داده است. علت این امر را بایستی در تاثیر سورفکتنت‌ها بر جوهرزدایی خمیر کاغذها دانست.

در واقع سورفکتنت‌ها باعث کاهش کشش سطحی آب می‌شوند، بنابراین به آب اجازه داده می‌شود که به سطح بین جوهر و الیاف نفوذ کند.

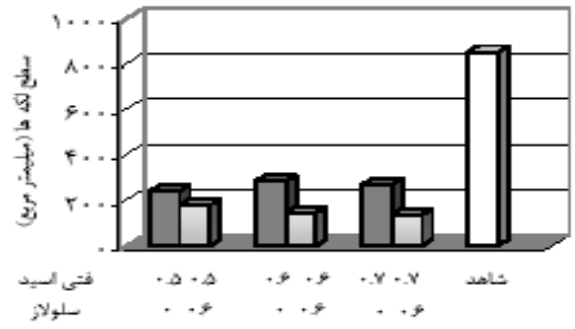
[1] Hydrophile Lipophile Balance



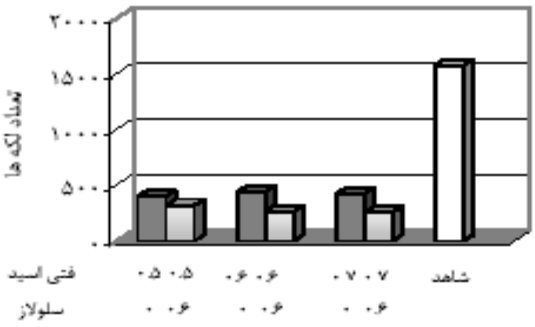
نمودار ۵- تاثیر سلولاز و فنی الکل بر سطح لکه ها
در کاغذهای دست ساز



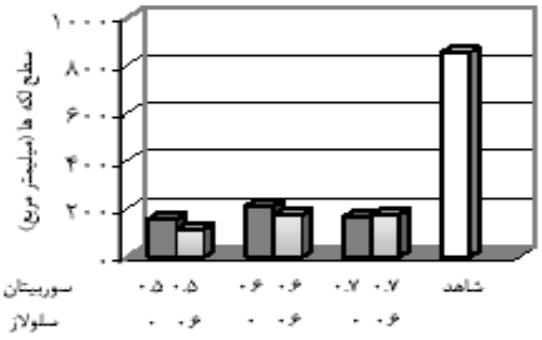
نمودار ۹ - تاثیر سلولاز و فنی الکل بر تعداد لکه ها
در کاغذهای دست ساز



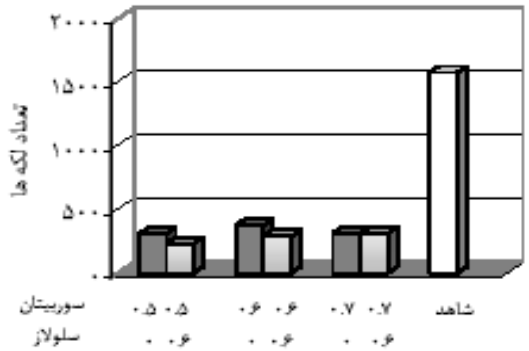
نمودار ۶- تاثیر سلولاز و فنی اسید بر سطح لکه ها
در کاغذهای دست ساز



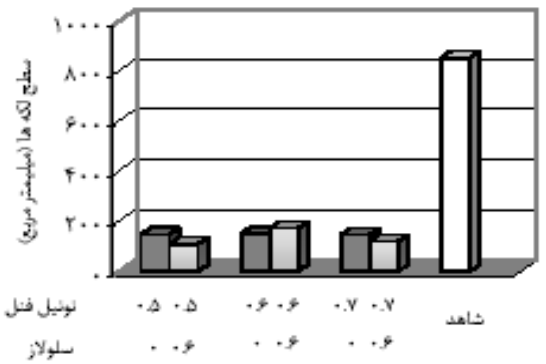
نمودار ۱۰- تاثیر سلولاز و فنی اسید بر تعداد لکه ها
در کاغذهای دست ساز



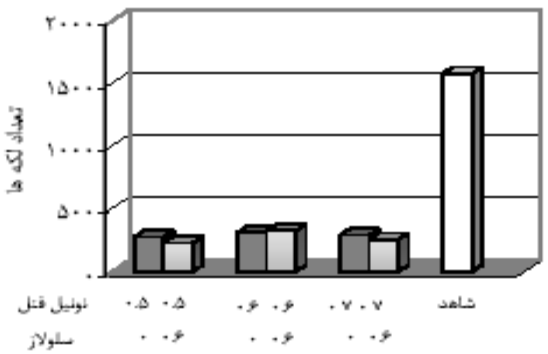
نمودار ۷- تاثیر سلولاز و سوربیتان بر سطح لکه ها
در کاغذهای دست ساز



نمودار ۱۱- تاثیر سلولاز و سوربیتان بر تعداد لکه ها
در کاغذهای دست ساز



نمودار ۸ - تاثیر سلولاز و نونیل فنل بر سطح لکه ها
در کاغذهای دست ساز



نمودار ۱۲- تاثیر سلولاز و نونیل فنل بر تعداد لکه ها
در کاغذهای دست ساز

این عمل همراه با ضربات مکانیکی اعمال شده در محیط، باعث کند شدن ذرات جوهر و انتقال آنها به آب می‌شود. در نتیجه این عمل، جوهرزدایی بهتری خواهیم داشت و سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها کاهش خواهد یافت. نتایج بیانگر آن است که نوع سورفکتنت تاثیر معنی‌داری بر شاخص لک (سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها) دارد. با توجه به HLB چهار نوع سورفکتنت به‌نظر می‌رسد که فتی الکل اتوکسیلات بیشترین سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها را دارا باشد که این در مورد فتی الکل اتوکسیلات صدق می‌کند. در مورد سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات هم با توجه به HLB بالایی که دارد، پیش‌بینی می‌شد که کمترین سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها را دارا باشد. اما در انجام این فرآیند نشان داده است که این گونه نبوده و نونیل فنل اتوکسیلات کمترین و بعد از آن سوربیتان کمتری سطح لکه‌ها و تعداد آنها را دارا هستند. با توجه به این موضوع به نظر می‌رسد که HLB یک شرط لازم باشد، اما کافی نباشد و عوامل دیگری در این موضوع نقش دارند. سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات در زنجیره کربنی پیوند دو گانه دارد که باعث می‌شود حلالیت کاهش پیدا کند و توانایی دفع جوهر را در سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات کاهش دهد. همچنین در نونیل فنل اتوکسیلات فنل وجود دارد و فنل موجود در آن باعث افزایش نفوذپذیری نونیل فنل اتوکسیلات می‌شود. در نتیجه می‌تواند به جوهر نفوذ بیشتری کند و آن را از روی الیاف جدا کند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که جوهرزدایی کاغذهای باطله با استفاده از سورفکتنت‌ها با یا بدون سلولاز باعث کاهش معنی‌دار تعداد و سطح لکه‌ها نسبت به نمونه شاهد می‌گردد، ضمن اینکه آنزیم سلولاز عموماً باعث کاهش تعداد و سطح لکه‌ها در خمیرهای جوهرزادیی شده می‌گردد. تعداد و سطح لکه‌ها به‌هنگام استفاده از فتی الکل بیشتر از سایر سورفکتنت‌ها است. این در حالی است که بیشترین روشنی کاغذهای دست‌ساز نیز مربوط به استفاده از فتی الکل می‌باشد. نتایج بازده خمیرهای جوهرزدایی شده نشان داد که میانگین بازده هنگام استفاده از فتی الکل کمتر از سایر سورفکتنت‌ها است. به نظر می‌رسد که استفاده از فتی الکل باعث شناور شدن بیشتر مواد معدنی موجود در کاغذهای باطله شده و از این طریق روشنی خمیرهای جوهرزدایی شده افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که تاثیر مستقل مقدار سورفکتنت بر تعداد و سطح لکه‌ها در کاغذهای دست‌ساز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بررسی نتایج نشان داد که استفاده از آنزیم سلولاز، جوهرزدایی سطح لکه‌ها و تعداد لکه‌ها را کاهش داده است. جوهرزدایی و خارج کردن آلاینده‌ها، موانع عمده در بازیافت کاغذ می‌باشند، مخصوصاً جوهرهای تونر که به سختی خارج می‌شوند. این جوهرها پلی‌مرهای پلاستیکی بوده که با الیاف ترکیب شده‌اند و دارای خاصیت ارتجاعی می‌باشند. استفاده از آنزیم سلولاز باعث سهولت خارج‌سازی آلاینده‌ها و در نتیجه جوهرزدایی از خمیر کاغذهای بازیافتی می‌شود. در واقع سلولاز باعث شکسته شدن جوهر به ذرات کوچکتر شده و در نتیجه این ذرات می‌توانند خیلی راحت‌تر شناور شوند. در این زمینه صادقی (۱۳۸۲) و Jobbtins & Franks (1997) فعالیت مشابهی داشتند و نتایج تقریباً مشابهی به دست آورده‌اند.

اندازه لکه‌ها

در تیمارهای مختلف میانگین اندازه لکه‌ها در کاغذهای دست‌ساز محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ آورده شده است.

میانگین اندازه لکه‌ها در کاغذهای دست‌ساز در محدوده ۰/۵ تا ۰/۷ میلی‌متر مربع بوده و همان‌طورکه در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌گردد لکه‌های حاصل از فتی الکل اتوکسیلات بزرگترین و لکه‌های حاصل از نونیل فنل اتوکسیلات کوچکترین لکه‌ها می‌باشند.

جدول ۲. میانگین اندازه لکه‌ها در خمیرکاغذهای جوهرزدایی شده

سورفکتنت (درصد)	آنزیم (درصد)	فتی الکل	فتی اسید	سوربیتان	نونیل
۰/۵	۰	۰/۶۶	۰/۶	۰/۵۲	۰/۵۴
۰/۶	۰	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵۷	۰/۴۹
۰/۷	۰	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۵
۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۵۵	۰/۵	۰/۴۸
۰/۶	۰/۶	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۶	۰/۵۳
۰/۷	۰/۶	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۴۷

بازده الیاف

با توجه به جدول شماره ۳ ملاحظه می‌شود نمونه‌هایی که با فتی اسید اتوکسیلات و نونیل فنل اتوکسیلات جوهرزدایی شده‌اند، بیشترین بازده را داشته و کمترین بازده مربوط به سوربیتان مونواولئات اتوکسیلات است. در مورد بازده خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده نیز HLB سورفکتنت‌ها تاثیرگذار است. به‌عبارت دیگر هر چقدر HLB بیشتر باشد، حلالیت سورفکتنت بیشتر بوده و در نتیجه آب‌دوست‌تر است. در فرآیند شناورسازی جوهر هر چقدر ذرات آب‌گریزتر باشند بهتر در مرحله شناورسازی حذف می‌گردند. از آنجایی که فتی الکل دارای HLB کمی می‌باشد ماهیت آبگریزی داشته و در نتیجه باعث شناور شدن و حذف ذرات جوهر می‌گردد. اما حذف بیشتر ذرات جوهر باعث اتلاف بیشتر الیاف می‌گردد، زیرا بخشی از الیاف به‌همراه کف شناورسازی خارج می‌گردند (صادقی، ۱۳۸۲ و Jobbtins & Franks, 1997). همچنین ملاحظه می‌شود که استفاده از آنزیم به همراه سورفکتنت باعث کاهش بازده نسبت به نمونه‌هایی که از سورفکتنت به تنهایی استفاده شده، می‌گردد. دلیل این امر آن است که آنزیم سلولاز ذرات جوهر متصل به الیاف را سست کرده و باعث فیبریله شدن الیاف می‌گردد که به‌همراه کف شناورسازی خارج شده و در نتیجه بازده خمیر کاغذ جوهرزدایی شده کاهش می‌یابد.

جدول ۳. بازده الیاف در خمیرکاغذهای جوهرزدایی شده

سورفکتنت (درصد)	آنزیم (درصد)	فتی الکل	فتی اسید	سوربیتان	نونیل
۰/۵	۰	۷۶	۷۵/۸	۷۳	۷۳/۸
۰/۶	۰	۷۳/۷	۷۵/۶	۷۵/۳	۷۸/۸
۰/۷	۰	۷۱/۷	۷۵/۶	۶۵/۷	۷۴/۶
۰/۵	۰/۶	۶۵/۱	۷۵/۲	۶۹/۳	۷۱/۲
۰/۶	۰/۶	۶۱/۱	۷۵/۷	۶۳/۴	۷۱/۷
۰/۷	۰/۶	۶۳/۹	۷۰/۹	۵۷/۲	۶۹

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تاثیر نوع و مقدار چهار سورفکتنت با استفاده از آنزیم سلولاز و بدون آن بر جوهرزدایی کاغذهای باطله اداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جوهرزدایی کاغذهای باطله اداری با استفاده از سورفکتنت‌ها با یا بدون استفاده از آنزیم سلولاز باعث افزایش

معنی‌دار روشنی خمیرهای جوهرزدایی شده گردید. در مورد روشنی خمیر کاغذهای جوهرزدایی شده، کاغذهایی که با فتی الکل اتوکسیلات جوهرزدایی شدند از بیشترین میزان روشنی برخوردار بودند. همچنین در مورد سطح و تعداد لکه‌ها، کاغذهایی که با نونیل فنل اتوکسیلات جوهرزدایی شدند کمترین سطح تعداد لکه‌ها را داشتند. در مورد بازده الیاف در جوهرزدایی، نتایج نشان داد که بیشترین بازده با استفاده از نونیل فنل اتوکسیلات حاصل گردیده است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار سورفکتنت بر روشنی، سطح و تعداد لکه‌ها و بازده خمیرهای جوهرزدایی شده تاثیر معنی‌داری نداشته است.

آنزیم سلولاز عموماً باعث کاهش تعداد و سطح لکه‌ها شده و روشنی خمیرهای جوهرزدایی شده را کمی کاهش داده. علاوه بر آن استفاده از آنزیم سلولاز باعث کاهش بازده خمیر جوهرزدایی شده گردیده است.

فهرست منابع

۱) بهین، ج.، و واحد، ش.، ۱۳۸۲. مقایسه اتلاف فیبر و اتلاف فیلر در جوهرزدایی از کاغذهای باطله به‌روش شناورسازی. اولین همایش ملی فرآوری و کاربرد مواد سلولزی، پردیس ۳ دانشکده فنی دانشگاه تهران: ۴۰۲-۳۹۹.

۲) صادقی، ک.، ۱۳۸۲. جوهرزدایی کاغذهای بازیافتی به روش آنزیمی. اولین همایش ملی فرآوری و کاربرد مواد سلولزی، پردیس ۳ دانشکده فنی دانشگاه تهران: ۳۹۸-۳۹۴.

3) Jeffries, T. W., 2001. Enzymatic treatments of pulp, opportunities for enzyme industry in pulp and paper manufacture. USDA, FS. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 53705.

4) Jobbtins, J. M., and Franks, N. E., 1997. Enzymatic deinking of mixed office waste, process condition optimization. Tappi Journal, 73, 80(9): 89-92.

5) McKinney, R. W. J., 1995. Technology of paper recycling. Chapman & Hall, UK, 153 p.

6) Shrinath, A., Szewezak , I. T., and Bowen, I. J., 1991. Ink-removal techniques in current deinking technology. Tappi Journal,74 (7): 85-93.

Deinking the mixed office waste paper with surfactants and cellulase enzyme at neutral pH

M. Talaeipour[1*] and L. Roshdi[2]

1*) Assistant Professor, Department of Wood and Paper, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: *m.talaeipoor@srbiau.ac.ir*
2) Graguated (M. Sc.), Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Effect of surfactants and cellulose enzyme on deinking mixed office waste paper was studied. To that end, a combination of waste paper accounting for 60% printing paper and 40% copy paper was applied. Then, samples of paper pulp were deinked using four types of cellulose, Surfactant and sodium silicate. The types and the proportion of the chemicals used in the study are as follows: a) Surfactant, b) Cellulase, 0% and 0/6 % were added based on the weight of paper pulp together with a surfactant. c) Sodium silicate with the fix amount of 0/3% of the weight of the paper pulp was used in the process. Different samples of paper pulp influenced by 24 compounds comprising enzymes and chemicals were deinked and the efficiency of the materials was calculated after the process. Following that, all the paper pulp samples were turned into hand-made papers and then indices such as brightness, dirt (quality and quantity of dirt) were studied. The results showed that the type of surfactant and cellulose enzyme affect brightness, dirt index and deinking efficiency.Maximum brightness was with nonyl phenol ethoxylate and fatty alcohol ethoxylate without cellulose enzyme.Minimum dirt index was with nonyl phenol ethoxylate and cellulose enzyme.Also, using nonyl phenol ethoxylate and fatty alcohol ethoxylate result in maximum deinking efficiency.

Keywords: Waste paper, deinking, cellulase, surfactant, brightness, dirt, sodium silicate.