

جوهرزدایی کاغذهای چاپ باطله شیمیایی و تأثیر استفاده از آن در تولید کاغذ چاپ از خمیر CMP

محمد طلایی پور^{۱*}، حسین رسالتی^۲ و سید احمد میرشکرایی^۳

۱) استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. نویسنده مسئول مکاتبات: m.talaeipoor@sriau.ac.ir

۲) دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳) استاد دانشگاه پیام نور.

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۷/۰۷

چکیده

در این تحقیق بازیافت کاغذهای چاپ باطله شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر درجات مختلف اختلاط خمیرهای جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله شیمیایی با خمیر CMP کارخانه چوب و کاغذ مازندران جهت تولید کاغذ چاپ مطالعه گردید. نتایج آزمون‌های جوهرزدایی نشان داد که علاوه بر تأثیر مواد شیمیایی، درجه حرارت و زمان خمیرسازی اثر مستقیمی بر میزان روشنی خمیر جوهرزدایی شده داشته، به نحوی که با افزایش درجه حرارت یا زمان خمیرسازی و یا هر دو، میزان روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده افزایش می‌یابد. همچنین در صورت اختلاط خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با خمیر CMP، روشنی و ماتی کاغذ افزایش می‌یابد. اختلاط خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با خمیر CMP تغییرات کمی در خواص فیزیکی کاغذ ایجاد نمود، در حالی که مقاومت‌های مکانیکی کاغذ کاهش یافت. در صورت استفاده از ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی به همراه خمیر جوهرزدایی شده و خمیر CMP مقاومت‌های مکانیکی کاغذ به کاغذ شاهد (۷۵ درصد خمیر CMP و ۲۵ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی) نزدیک شد. بهترین ترکیب خمیر کاغذ شامل CMP ۶۰ درصد؛ WFP ۳۰ درصد و L.F ۱۰ درصد به دست آمد. این به معنای کاهش مصرف خمیر CMP و خمیر الیاف بلند وارداتی به میزان ۱۵ درصد برای هر کدام از آنها خواهد بود. به عبارت دیگر ۳۰ درصد خمیر WFP می‌تواند جایگزین خمیرهای CMP و الیاف بلند وارداتی گردد. علاوه بر آن شرایط بهینه جوهرزدایی به این شرح تعیین گردید: هیدروکسید سدیم؛ ۲ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف؛ زمان خمیرسازی: ۱۰ دقیقه؛ درجه حرارت خمیرسازی: ۶۵ درجه سانتی‌گراد.

واژه‌های کلیدی: جوهرزدایی، شناورسازی، CMP، ماتی، روشنی، خمیر الیاف بلند، کاغذ چاپ.

مقدمه

خمیر کاغذ حاصل از مجله/ روزنامه (۷۰/۳۰) در سلول شناورسازی، روشنی کاغذهای دست‌ساز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با کاهش درصد خشکی، خمیر کاغذ در سلول شناورسازی، افت الیاف افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، مشخص گردید که در فرآیند جوهرزدایی شناورسازی- شستشو، با افزایش pH از ۹ تا ۱۲ در حضور پراکسید هیدروژن، روشنی کاغذهای دست‌ساز به‌طور معنی‌داری تغییر نمی‌یابد (Borchard,

در دو دهه گذشته تحقیقات وسیعی در مورد بازیافت انواع کاغذ، روش‌های مختلف جوهرزدایی کاغذهای باطله و پارامترهای اثرگذار بر فرآیندهای بازیافت کاغذ انجام گردیده است (Borchardt, 1993) و اثر متغیرهای جوهرزدایی به روش شناورسازی در طی یک سری تجربیات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیقات نشان داد که با کاهش درصد خشکی

انرژی پالایش می‌گردد و میزان کاهش مصرف انرژی پالایش به نوع و درصد مصرف کاغذ باطله بستگی دارد. در مورد شاخص کشش کاغذ، افزودن ONP اثر کمی روی مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز دارد، اگرچه خمیر ONP به صورت خالص قوی‌تر از خمیر CTMP می‌باشد. این موضوع حاکی از برهم کنش ضعیف بین این دو نوع الیاف است.

Zhao *et al.* (2004) نقش سورفکتنت‌ها را در جوهرزدایی کاغذهای باطله به روش شناورسازی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سورفکتنت‌ها باعث رها شدن ذرات جوهر از الیاف، پایدار شدن ذرات جدا شده، تجمع ذرات پخش شده و یا اصلاح خواص سطحی ذرات جوهر و بهبود حذف جوهر در فرآیند جوهرزدایی می‌گردند.

Kim *et al.* (2007) در بررسی اثرات سورفکتنت‌های غیر یونی بر هیدرولیز آنزیمی و پیش تیمار شده روزنامه باطله نتیجه گرفتند که اثر سورفکتنت روی هیدرولیز روزنامه تیمار نشده معنی‌دار است، ولی روی روزنامه تیمار شده با سورفکتنت تاثیر کمتری دارد. Spence *et al.* (2009) نیز تاثیر سورفکتنت‌های قندی را در بازیافت کاغذ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که سورفکتنت‌های قندی جایگزین قابل اعتماد سورفکتنت‌های بر پایه مشتقات نفتی در فرآیند شناورسازی جوهر می‌باشند.

Bajpai (2010) بهره‌گیری از آنزیم‌ها را در حل مشکلات مربوط به بازیافت کاغذهای باطله مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که آنزیم‌ها از پتانسیل زیادی در حل مشکلات بازیافت کاغذ به ویژه در روش جوهرزدایی برخوردار هستند.

نتایج تحقیقات Ferguson (1993) در بررسی نقش مواد شیمیایی در جوهر زدایی نشان داد که افزایش pH (از طریق افزودن NaOH) تا ۱۰/۵ در مرحله خمیرسازی، باعث افزایش روشنی خمیر کاغذ حاصل از مخلوط ۷۰:۳۰ روزنامه باطله^۱ و مجله باطله^۲ گردیده و سپس با افزایش بیشتر pH روشنی کاهش می‌یابد. همچنین اثر استفاده همزمان از هیدروکسید سدیم و پراکسید هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که در صورت استفاده از پراکسید هیدروژن روشنی خمیر کاغذ حاصل افزایش می‌یابد Liphard *et al.* (1993) جنبه‌های شیمی سطح را در شناورسازی فیلرهای موجود در کاغذهای باطله مورد بررسی قرار دادند.

نتایج تحقیق نشان داد که سورفکتنت‌های آنیونی و پلیمرهای کاتیونی می‌توانند به عنوان جمع کننده ذرات پرکننده مورد استفاده قرار گیرند. سورفکتنت‌های آنیونی از طریق آگریز کردن سطح ذرات پرکننده به عنوان جداکننده این ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. Law (1994) Valade & موضوع اختلاط انواع کاغذهای باطله با خمیر شیمیایی - حرارتی - مکانیکی^۳ را مورد تحقیق قرار دادند. در این تحقیق سه نوع کاغذ باطله شامل روزنامه باطله، کاغذ دفترچه تلفن^۴ و کاغذ فتوکپی^۵ به طور جداگانه با نسبت‌های ۱۵ و ۳۰ و ۵۰ درصد به صورت مخلوط با خمیر CTMP مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که در تمام موارد، افزودن کاغذهای باطله به خمیر CTMP باعث کاهش مصرف

¹ Old Newspaper (ONP)

² Old Magazine (OMG)

³ CTMP Pulp

⁴ Telephone Directory

⁵ Photocopy Paper

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

- درجه حرارت: ۵۰ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد (عامل متغیر)؛

- زمان خمیر سازی: ۵ و ۱۰ دقیقه (عامل متغیر)؛

- درصد خشکی خمیر کاغذ: ۵ درصد (عامل ثابت).

برای تهیه خمیر کاغذ باطله، ابتدا ۴۰ گرم کاغذ باطله شیمیایی بر مبنای وزن خشک توزین شده و سپس بسته به هر مرحله از آزمایش مواد شیمیایی به نسبت مورد نظر تهیه و به همراه ۸۰۰ میلی‌لیتر آب با درجه حرارت مورد نظر به کاغذ باطله اضافه گردید. مجموعه کاغذهای باطله که قبلاً به تکه‌های کوچکی به صورت دستی تبدیل شده‌اند و مواد شیمیایی و آب با درجه حرارت مورد نظر به یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی تخلیه شده و بسته به زمان مورد نظر عملیات خمیرسازی با دور بسیار آهسته مخلوط کن انجام گرفت. پس از پایان عملیات خمیرسازی، خمیر کاغذ حاصله به مدت نیم ساعت در شرایط آزمایشگاه نگهداشته شد و pH آن اندازه‌گیری گردید.

جوهرزدایی

در این تحقیق برای حذف جوهر از خمیر کاغذ باطله از سیستم جوهرزدایی به روش شناورسازی استفاده شده است.

در زیر شرایط فیزیکی و شیمیایی عملیات شناورسازی جوهر آورده شده است.

عوامل شیمیایی مرحله جوهرزدایی به صورت زیر در نظر گرفته شد:

علاوه بر جوهرزدایی، آنزیم‌ها می‌توانند در کاهش مصرف انرژی و نیز بهبود فرآیندهای کاغذسازی و کنترل بهتر ذرات چسبنده نقش مثبتی ایفا کنند.

اگرچه مسایل مربوط به بازیافت کاغذ از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، ولی به تأثیر اختلاط خمیر کاغذهای بازیافتی و خمیر کاغذهای بکر کمتر پرداخته شده است. این تحقیق سعی دارد که تأثیر اختلاط خمیر کاغذهای شیمیایی جوهرزدایی شده و خمیر^۱ CMP را از نظر خواص مختلف کاغذ نهایی مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

در این تحقیق کاغذهای باطله مورد نظر از شرکت افست تهیه و به آزمایشگاه کارخانه کاغذسازی لطیف انتقال داده شد. کاغذهای باطله از نوع سفید و دارای چاپ دورو بوده که به دلایل مختلف، عموماً ویرایشی و یا مشکلات فنی مربوط به چاپ و پس از چاپ به صورت باطله در نظر گرفته شده‌اند.

خمیرسازی

مواد شیمیایی مورد استفاده در مرحله خمیرسازی کاغذهای باطله شیمیایی^۲ به شرح زیر در نظر گرفته شد:

- هیدروکسید سدیم با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ باطله (عامل متغیر)؛

- اسید چرب به نسبت ۱ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ باطله و به صورت ثابت.

^۱ Chemi-Mechanical Pulp

^۲ Woodfree Waste Paper (WFP)

دسته بندی الیاف

به منظور تعیین ویژگی های ابعادی الیاف، آزمون دسته بندی الیاف بر اساس دستورالعمل شماره 95 cm-233 T آیین نامه TAPPI با استفاده از دستگاه دسته بندی الیاف^۱ مستقر در مرکز تحقیقات کارخانه چوب و کاغذ مازندران انجام گردید.

ساخت کاغذ دست ساز

در این تحقیق، درجات مختلف اختلاط ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده با خمیر CMP کارخانه چوب و کاغذ مازندران مورد بررسی قرار گرفت. کاغذ حاصل از ترکیب ۷۵ درصد خمیر CMP و ۲۵ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی به عنوان شاهد در نظر گرفته شده و سایر کاغذهای حاصل از درصدهای مختلف اختلاط با آن مقایسه گردید. همچنین در ترکیب ۳۰ درصد خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده با خمیر CMP کارخانه، تأثیر به کارگیری ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

نسبت اختلاط مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. کاغذهای حاصل از مقادیر مختلف اختلاط مورد ارزیابی قرار گرفت و خصوصیات نوری، فیزیکی و مقاومتی آنها تعیین گردید.

بر اساس هر یک از نسبت های اختلاط، تعداد ۱۲ کاغذ دست ساز و مجموعاً ۷۲ کاغذ بر طبق استاندارد TAPPI به شماره 88 om-205 در آزمایشگاه مرکز تحقیقات شرکت چوب و کاغذ مازندران ساخته شد و خواص نوری، فیزیکی و مقاومت های مکانیکی کاغذهای دست ساز اندازه گیری شد. سپس نتایج هر آزمون به طور

- هیدروکسید کلسیم به نسبت ۱ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ باطله و به صورت ثابت؛
- سورفکتنت به نسبت ۰/۵ درصد بر مبنای وزن خشک کاغذ باطله و به صورت ثابت.
شرایط فیزیکی مرحله جوهرزدایی به صورت زیر در نظر گرفته شد:

- درصد خشکی خمیر کاغذ: ۱ درصد و به صورت ثابت؛

- درجه حرارت مرحله شناورسازی جوهر: ۴۰ درجه سانتیگراد و به صورت ثابت؛

- زمان شناورسازی جوهر: ۱۰ دقیقه و به صورت ثابت.

پس از مرحله خمیرسازی، خمیر کاغذ حاصله با افزودن آب گرم (درجه حرارت آب به نحوی تنظیم گردید که دمای خمیر کاغذ در مرحله شناورسازی ۴۰ درجه سانتیگراد باشد) به حجم ۴ لیتر و با درصد خشکی ۱ درصد رسانده شده و pH مرحله شناورسازی اندازه گیری گردید. سپس خمیر کاغذ به یک سلول شناورسازی جوهر منتقل شده و هیدروکسید کلسیم و سورفکتنت به مقدار مورد نظر به آن اضافه گردید.

پس از آن عملیات هوادهی به مدت ۱۰ دقیقه به منظور شناورسازی ذرات جوهر انجام گردید و کف حاصل از عملیات جوهرزدایی که در واقع مجموعه ای از الیاف و ذرات جوهر می باشد به صورت سر ریز از مخزن شناورسازی جدا گردید.

پس از پایان عملیات شناورسازی جوهر، عمل هوادهی متوقف شده و خمیر جوهرزدایی شده جمع آوری گردید. پس از جوهرزدایی، خمیر کاغذ حاصله تحت یک مرحله شستشو بر روی الک با مش ۲۰۰ قرار گرفت. این خمیر جوهرزدایی شده در مراحل بعدی جهت تعیین روشنی مورد استفاده قرار گرفت.

^۱ Bauer-McNett Classifier

- ماتی: T519 om-02؛
- ناهمواری سطح: T479 cm-99؛
- مقاومت به عبور هوا: T460 om-02؛
- مقاومت به پاره شدن: T414 om-98؛
- مقاومت به ترکیدن: T403 om-02؛
- مقاومت به کشش: T494 om-01؛
- دوام در برابر تا خوردن: T423 cm-98.

جداگانه از طریق تجزیه و آریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و ترکیب‌های مختلف خمیر کاغذ از نظر ویژگی‌های مذکور با یکدیگر مقایسه گردید. دستورالعمل‌های مورد استفاده از آیین‌نامه TAPPI به شرح زیر می‌باشد (TAPPI Standard Methods, 2000):

- روشنی: T571 om-03؛

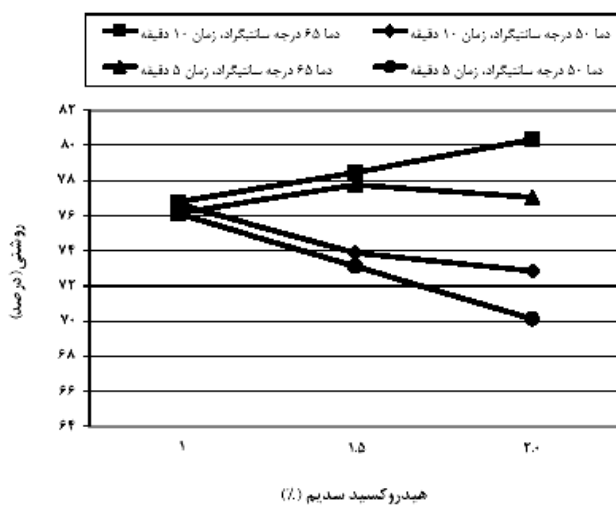
جدول ۱. نسبت اختلاط خمیر جوهرزدایی شده با خمیر CMP و خمیر الیاف بلند وارداتی

شماره اختلاط						نوع خمیر کاغذ
۶	۵	۴	۳	۲ (شاهد)	۱	
۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۷۵	۱۰۰	خمیر کارخانه CMP (درصد)
۳۰	۳۰	۲۰	۱۰	-	-	خمیر کاغذ جوهرزدایی شده (درصد)
۱۰	-	-	-	۲۵	-	خمیر الیاف بلند وارداتی (درصد)

نتایج

پس از انجام آزمون‌های جوهرزدایی بهترین خمیر جوهرزدایی شده جهت آزمایش‌های کاغذها تعیین گردید که مشخصات آن در جدول ۳ آورده شده است.

در نمودار ۱ تأثیر مقدار مصرف هیدروکسید سدیم، درجه حرارت و زمان خمیرسازی بر روشنی خمیرهای جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله شیمیایی نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲ نتایج آزمون‌های جوهرزدایی آورده شده است.



نمودار ۱. تأثیر متغیرهای خمیرسازی بر روشنی خمیر جوهرزدایی شده

جدول ۲. شرایط خمیرسازی و جوهرزدایی کاغذهای باطله شیمیایی و ویژگی‌های خمیر کاغذجوهرزدایی شده

خمیرسازی (۱)				جوهرزدایی (۲)			
هیدروکسیدسدیم (درصد)	درجه حرارت (°C)	زمان (دقیقه)	pH خمیرسازی	pH شناورسازی	روشنی (درصد)	افت الیاف (درصد)	بازده خمیر جوهرزدایی شده (درصد)
۱	۶۵	۱۰	۱۰/۶	۹/۹	۷۶/۸	۲۷/۲	۷۲/۸
		۵	۱۰/۷	۹/۹	۷۶/۱	۲۸/۴	۷۱/۶
	۵۰	۱۰	۱۰/۷	۱۰/۰	۷۶/۷	۳۴/۶	۶۵/۴
		۵	۱۰/۷	۹/۹	۷۶/۱	۳۴/۴	۶۵/۶
۱/۵	۶۵	۱۰	۱۱/۰	۱۰/۳	۷۸/۴	۱۹/۲	۸۰/۸
		۵	۱۱/۱	۱۰/۳	۷۷/۸	۲۲/۴	۷۷/۷
	۵۰	۱۰	۱۱/۱	۱۰/۳	۷۳/۹	۲۱/۶	۷۸/۴
		۵	۱۱/۲	۱۰/۴	۷۳/۱	۲۳/۳	۷۶/۸
۲	۶۵	۱۰	۱۱/۱	۱۰/۶	۸۰/۳	۲۴/۹	۷۵/۲
		۵	۱۱/۲	۱۰/۶	۷۷/۱	۲۸/۰	۷۲/۰
	۵۰	۱۰	۱۱/۳	۱۰/۶	۷۲/۸	۲۳/۶	۷۶/۴
		۵	۱۱/۸	۱۱/۲	۷۰/۱	۲۳/۹	۷۶/۲

جدول ۳. مشخصات خمیر جوهرزدایی شده مطلوب برای آزمایش‌های کاغذسازی

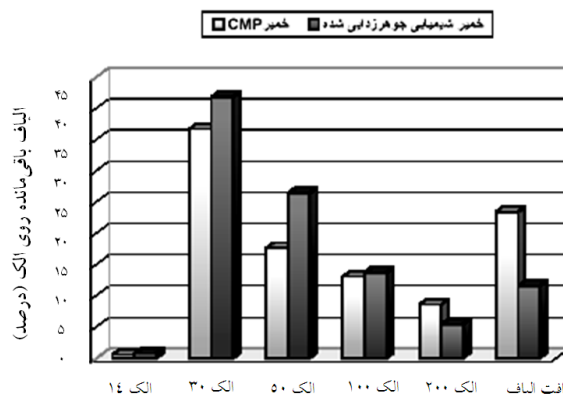
نوع خمیر کاغذ	pH خمیرسازی	pH شناورسازی	روشنی (درصد)	افت الیاف (درصد)
خمیر کاغذ شیمیایی	۱۱/۱	۱۰/۶	۸۰/۳	۲۴/۹

دسته‌بندی الیاف خمیر جوهرزدایی شده و خمیر

CMP

به منظور مقایسه الیاف خمیر جوهرزدایی شده و خمیر CMP، آزمون دسته‌بندی الیاف برای خمیرهای مذکور انجام گرفت.

قبل از انجام دسته‌بندی الیاف، درجه روانی خمیر CMP به ۳۰۰csf و خمیر جوهرزدایی شده به ۴۰۰csf رسانده شد. در نمودار ۲ مقایسه دسته‌بندی الیاف برای دو خمیر مذکور نشان داده شده است.



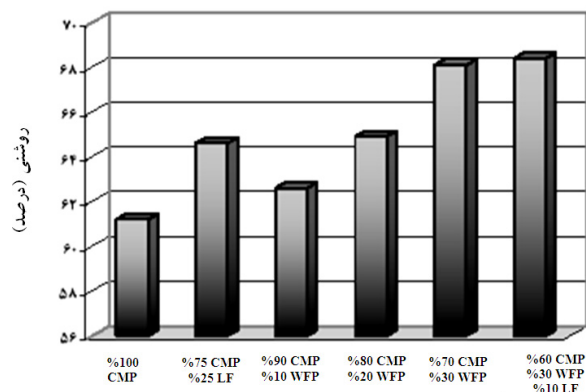
نمودار ۲. دسته‌بندی الیاف خمیر CMP و الیاف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده

خواص نوری

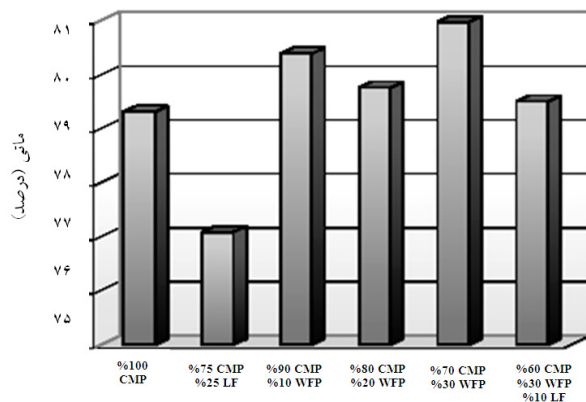
در نمودار ۳ روشنی و در نمودار ۴ ماتی کاغذهای حاصل از ترکیبات مختلف خمیر کاغذ نشان داده شده است. در جدول ۴ نتایج آزمون دانکن روشنی کاغذهای دست‌ساز آورده شده است.

خواص فیزیکی

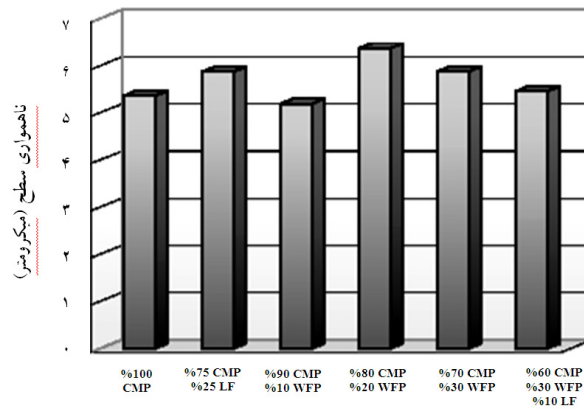
در نمودار ۵ ناهمواری سطح و در نمودار ۶ مقاومت به عبور هوا در کاغذهای دست‌ساز حاصل از ترکیبات مختلف خمیر کاغذ نشان داده شده است.



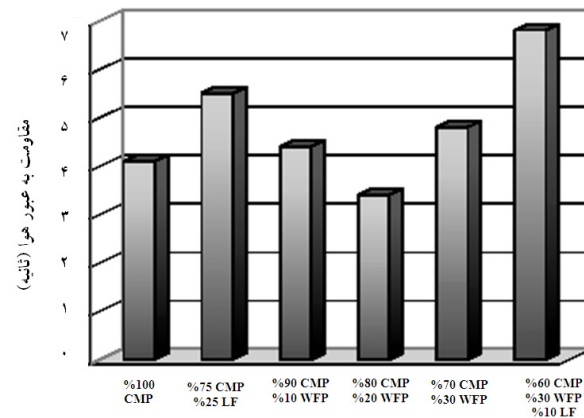
نمودار ۳. تأثیر درصدهای مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر روی کاغذ



نمودار ۴. تأثیر درصدهای مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر ماتی کاغذ



نمودار ۵. تاثیر درصدهای مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر ناهمواری سطح کاغذ



نمودار ۶. تاثیر درصدهای مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر مقاومت به عبور هوا در کاغذ

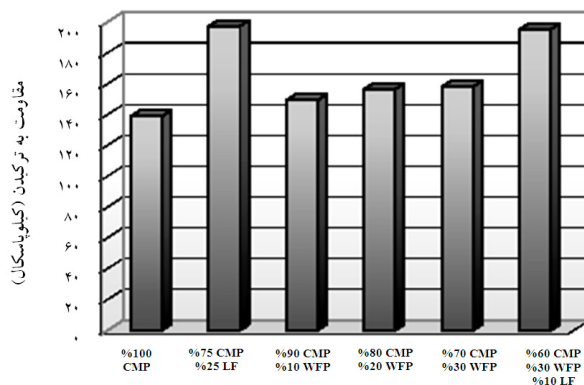
جدول ۴. آزمون دانکن میانگین روشنی کاغذهای دست‌ساز با درصدهای مختلف اختلاط

گروه بندی برای $\alpha = 0.01$				تکرار	تیمار
۴	۳	۲	۱		
			۶۱/۲۴۶۷	۶	%۱۰۰ CMP
		۶۲/۵۷۵۰		۶	%۹۰ CMP %۱۰ WFP
	۶۴/۵۶۳۳			۶	%۷۵ CMP %۲۵ L.F
	۶۴/۹۱۵۰			۶	%۸۰ CMP %۲۰ WFP
۶۸/۰۸۸۳				۶	%۷۰ CMP %۳۰ WFP
۶۸/۳۷۵۰				۶	%۶۰ CMP %۱۰ L.F %۳۰ WFP

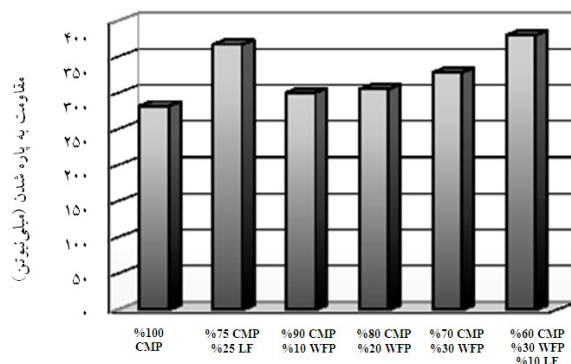
مقاومت‌های مکانیکی

در نمودارهای ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب مقاومت به پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به کشش و مقاومت به تا شدن کاغذهای

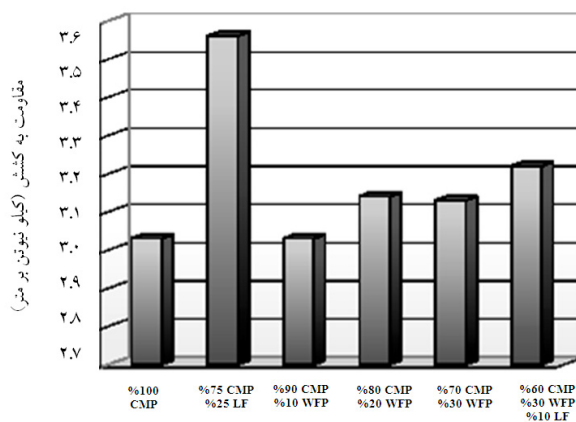
دست‌ساز حاصل از ترکیبات مختلف خمیر کاغذ نشان داده شده است.



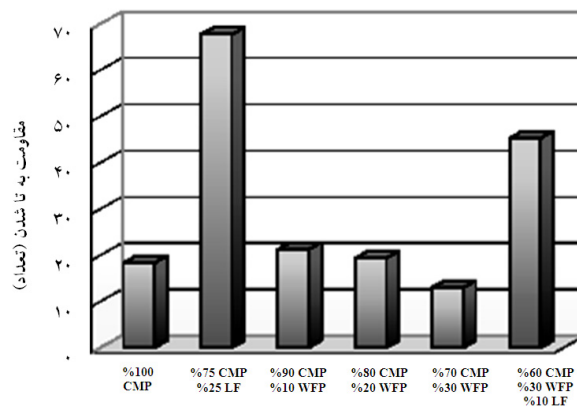
نمودار ۷. تأثیر درصد‌های مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر مقاومت به پاره شدن کاغذ



نمودار ۸. تأثیر درصد‌های مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر مقاومت به ترکیدن کاغذ



نمودار ۹. تأثیر درصد‌های مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر مقاومت به کشش کاغذ



نمودار ۱۰. تاثیر درصدهای مختلف خمیر شیمیایی جوهرزدایی شده بر مقاومت به تا شدن کاغذ

بحث و نتیجه گیری

جوهرزدایی: همان طوری که از نتایج مشخص گردید روند میزان روشنی^۱ در مرحله خمیرسازی با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد نزولی است. به عبارت دیگر با افزایش مصرف هیدروکسید سدیم در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای مرحله خمیرسازی میزان روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده کاهش می یابد. چنانچه در دمای خمیرسازی ۵۰ درجه سانتی گراد زمان های خمیرسازی ۵ و ۱۰ دقیقه مورد مقایسه قرار گیرند، مشخص می گردد که میزان روشنی خمیر کاغذ برای زمان خمیرسازی ۱۰ دقیقه بیشتر از زمان خمیرسازی ۵ دقیقه است، اگر چه روند کاهش روشنی برای هر دو زمان خمیرسازی تقریباً مشابه می باشد. از طرف دیگر روند تغییرات میزان روشنی خمیر جوهرزدایی شده برای خمیرسازی با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد کاملاً برعکس دمای ۵۰ درجه سانتی گراد است، به این معنی که در دمای خمیرسازی ۶۵ درجه سانتی گراد با افزایش مصرف هیدروکسید سدیم میزان روشنی خمیر کاغذ افزایش می یابد و بیشترین میزان روشنی به دمای خمیرسازی ۶۵ درجه سانتی گراد و زمان

خمیرسازی ۱۰ دقیقه مربوط است. در مقایسه بین دو زمان خمیرسازی ۵ و ۱۰ دقیقه همان طوری که در شکل ۱ نشان داده شد، میزان روشنی خمیر کاغذ در زمان خمیرسازی ۱۰ دقیقه بیشتر از زمان خمیرسازی ۵ دقیقه می باشد.

نتایج آزمایش ها حاکی از آن است که دو عامل درجه حرارت و زمان خمیرسازی تأثیر مستقیمی بر میزان روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله شیمیایی دارد. به عبارت دیگر با افزایش درجه حرارت یا زمان خمیرسازی و یا هر دو میزان روشنی خمیر جوهرزدایی شده افزایش می یابد. در این میان تأثیر درجه حرارت خمیرسازی بیشتر از زمان خمیرسازی است و چنانچه درجه حرارت و زمان خمیرسازی هر دو افزایش یابند بیشترین افزایش در روشنی خمیر کاغذ جوهرزدایی شده حاصل می گردد.

دسته بندی الیاف: در بررسی نتایج دسته بندی

الیاف، چنانچه مجموع الیاف باقی مانده روی الک های ۱۴ و ۳۰ به عنوان الیاف بلند، مجموع الیاف باقی مانده روی الک های ۵۰ و ۱۰۰ به عنوان الیاف متوسط و مجموع الیاف باقی مانده و عبور کرده (افت الیاف) از روی الک ۲۰۰ به عنوان الیاف ریز در نظر گرفته شوند، دو نوع خمیر مذکور به شرح زیر مقایسه می گردند:

¹ Brightness

جوهرزدایی شده باعث افزایش معنی‌دار روشنی نسبت به نمونه شاهد گردید.

دلیل افزایش معنی‌دار روشنی کاغذهای حاوی خمیر جوهرزدایی شده، بالا بودن میزان روشنی اولیه این نوع خمیرها است. در مورد ماتی کاغذهای دست‌ساز، همان‌طوری که در نمودار ۴ نشان داده شد، افزودن خمیر جوهرزدایی شده باعث افزایش میزان ماتی کاغذ گردید. بیشترین مقدار ماتی مربوط به اختلاط ۳۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده و ۷۰ درصد خمیر CMP است و کمترین مقدار ماتی مربوط به اختلاط ۲۵ درصد خمیر الیاف بلند و ۷۵ درصد خمیر CMP (خمیر شاهد) می‌باشد. افزایش میزان ماتی کاغذهای دست‌ساز حاوی خمیر جوهرزدایی شده مربوط به وجود انواع پرکننده‌ها در کاغذهای باطله شیمیایی است که گاهی تا ۴۰ درصد وزن کاغذ را تشکیل می‌دهند. این‌گونه مواد در کاغذ باعث افزایش ضریب پخش نور و در نتیجه افزایش ماتی کاغذ می‌گردند. علاوه بر آن وجود ذرات ریز فیبری (نرمه) در خمیر کاغذ به افزایش ماتی کمک می‌کند. در صنعت کاغذسازی افزودن پرکننده‌ها به خمیر کاغذ باعث بهبود خواص فیزیکی از جمله صافی سطح و مقاومت به عبور هوا و نیز خواص نوری کاغذ مانند ماتی شده و علاوه بر آن از نظر اقتصادی باعث کاهش هزینه‌های تمام شده تولید کاغذ می‌گردد.

در یک بررسی گزارش گردید که در تولید کاغذهای چاپ و تحریر، الیاف بازیافتی به بالک، ماتی و شکل‌گیری کاغذ کمک می‌کند (Mckinney, 1995). یکی از ویژگی‌های مهم کاغذ چاپ، میزان ماتی آن است، به این معنی که هر چقدر میزان ماتی کاغذ بیشتر باشد از نظر کیفیت چاپ مطلوب‌تر می‌باشد و نتایج

- مجموع الیاف بلند در خمیر CMP کارخانه و خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده به ترتیب ۳۷/۲۷ و ۴۲/۶۹ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از نظر مقدار الیاف بلند، خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده در رتبه اول و پس از آن خمیر CMP کارخانه قرار می‌گیرد.

- مجموع الیاف متوسط در خمیر CMP کارخانه و خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده به ترتیب ۳۰/۷ و ۴۰/۲۵ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از نظر مقدار الیاف متوسط، خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده در رتبه اول و پس از آن خمیر CMP کارخانه قرار می‌گیرد.

- مجموع الیاف ریز در خمیر CMP کارخانه و خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده به ترتیب ۳۲/۰۳ و ۱۷/۰۶ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از نظر مقدار الیاف کوتاه، خمیر CMP کارخانه در رتبه اول و پس از آن خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده قرار می‌گیرد. نتایج دسته‌بندی الیاف نشان داد که خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده دارای الیاف بلندتر و نرمه کمتر نسبت به خمیر CMP می‌باشد.

خواص نوری کاغذ: همان‌طوری که در نمودار ۳ نشان داده شد، روشنی خمیرهای حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده بیشتر از خمیر شاهد (CMP ۷۵ درصد و $L.F^1$ ۲۵ درصد) می‌باشد. نتایج آزمون‌های آماری بیانگر آن است که از نظر میزان روشنی، بین ترکیبات مختلف خمیر کاغذ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به عبارت دیگر افزودن ۳۰ درصد خمیر کاغذ

¹ Long Fiber Pulp

آزمون‌های ماتی کاغذهای دست‌ساز در این تحقیق حاکی از افزایش میزان ماتی کاغذ به هنگام استفاده از خمیر جوهرزدایی شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزودن خمیر جوهرزدایی شده با هر نسبتی به مخلوط خمیر CMP و خمیر الیاف بلند وارداتی از طریق افزایش میزان ماتی باعث بهبود کیفیت کاغذ چاپ می‌گردد. همان‌طوری که قبلاً گفته شد خمیر جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله شیمیایی حاوی ذرات پرکننده است. ضریب شکست نور برای این ذرات متفاوت از الیاف خمیر کاغذ است. در نتیجه نور در برخورد با سطح کاغذی که حاوی ذرات پرکننده است، پخش شده و اصطلاحاً ماتی کاغذ افزایش می‌یابد. این همان خاصیتی است که از رویت نوشته‌جات چاپ شده از پشت صفحه کاغذ جلوگیری نموده و باعث بهبود کیفیت چاپ می‌گردد.

خواص فیزیکی کاغذ: نتایج آزمون‌های آماری حاکی از آن است که افزایش خمیر کاغذ جوهرزدایی شده تا حدودی باعث افزایش ناهمواری سطح کاغذ نسبت به خمیر CMP خالص می‌گردد، ولی این افزایش در بسیاری از موارد معنی‌دار نیست. بنابراین خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده تا ۳۰ درصد می‌تواند به مخلوط خمیر کاغذ اضافه شود بدون اینکه افزایش معنی‌داری در ناهمواری سطح کاغذ به وجود آید. ناهمواری سطح یکی از ویژگی‌های مهم در چاپ پذیری کاغذ و کیفیت چاپ می‌باشد، به نحوی که هر چه میزان آن کمتر باشد چاپ پذیری و کیفیت چاپ کاغذ بهتر خواهد بود. نتایج آزمون‌های آماری نشان می‌دهد که با افزودن ۳۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده به مخلوط خمیر CMP و خمیر الیاف بلند وارداتی، میزان

ناهمواری سطح کاغذ حاصل کمتر از نمونه شاهد یعنی CMP ۷۵ و L.F ۲۵ درصد است و حتی با خمیر CMP خالص در یک گروه آماری قرار می‌گیرد. ناهمواری سطح کاغذ تحت تاثیر طول الیاف قرار دارد، به این معنی که هر چه الیاف بلندتر باشند ناهمواری سطح کاغذ بیشتر خواهد بود. از آنجایی که طول الیاف خمیر جوهرزدایی شده بیشتر از خمیر CMP می‌باشد، در صورت مصرف بیش از ۱۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده افزایش محدودی در ناهمواری سطح کاغذ مشاهده می‌گردد که البته معنی‌دار نیست.

در مورد مقاومت به عبور هوا در کاغذ، افزودن خمیر جوهرزدایی شده به خمیر CMP باعث تغییرات معنی‌دار این ویژگی کاغذ گردید. با استفاده از نتایج آزمون دانکن مشخص شد که کاغذهای مورد آزمون از نظر مقاومت به عبور هوا در چهار گروه جداگانه قرار می‌گیرند، به این ترتیب که افزودن ۱۰ و ۲۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده به طور جداگانه به خمیر CMP، مقاومت به عبور هوا در کاغذ را به طور معنی‌داری افزایش نمی‌دهد. در صورتی که مقدار خمیر جوهرزدایی شده به ۳۰ درصد افزایش یابد، این ویژگی کاغذ به طور معنی‌داری نسبت به کاغذ حاصل از صددرصد خمیر CMP افزایش می‌یابد و با خمیر کاغذ شاهد در یک گروه قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مقاومت به عبور هوا در کاغذ شاهد نسبت به کاغذ CMP خالص بیشتر می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً وجود الیاف بلند بکر که انعطاف‌پذیری خوبی نیز دارند، باعث انسجام و حفظ بیشتر نرمه‌ها و ساختار متراکم‌تر کاغذ می‌گردند. همین پدیده نیز تا حدودی به هنگام استفاده از خمیر جوهرزدایی شده اتفاق می‌افتد و همان طوری که در نمودار ۶ مشاهده

گردید در صورت استفاده از خمیر جوهرزدایی شده و خمیر الیاف بلند به صورت مخلوط با خمیر CMP بیشترین مقاومت به عبور هوا در کاغذ ایجاد می‌گردد.

مقاومت‌های مکانیکی کاغذ: نتایج آزمون‌های آماری مربوط به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز حاصل از ترکیبات مختلف خمیر کاغذ، نشانگر آن است که بین کاغذهای ساخته شده با نسبت‌های مختلف خمیر CMP، خمیر جوهرزدایی شده و خمیر الیاف بلند از نظر مقاومت در برابر پاره شدن اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد و با انجام آزمون دانکن مشخص می‌گردد که کاغذهای ساخته شده از نظر مقاومت در برابر پاره شدن در چهار گروه قرار می‌گیرند. در گروه اول خمیر CMP خالص قرار دارد که کمترین مقاومت به پاره شدن را به خود اختصاص می‌دهد. در گروه دوم کاغذهای ساخته شده از مخلوط خمیر CMP و نسبت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد از خمیر کاغذ جوهرزدایی شده قرار دارند که اگرچه مقاومت آنها به پاره شدن بیشتر از کاغذ ساخته شده از خمیر CMP خالص است، ولی اختلاف معنی‌داری از این نظر بین خود آنها وجود ندارد. در گروه سوم کاغذهای دارای ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده قرار می‌گیرند که مقاومت آنها به پاره شدن به طور معنی‌داری بیشتر از کاغذهای دو گروه قبلی است و بالاخره در گروه چهارم کاغذ شاهد و کاغذ حاصل از مخلوط خمیر CMP، خمیر جوهرزدایی شده و الیاف بلند قرار می‌گیرد که مقاومت آنها در برابر پاره شدن بیشتر از سه گروه قبلی است. این درحالی است که اختلاف معنی‌داری از نظر مقاومت در برابر پاره شدن بین کاغذهای گروه چهارم وجود ندارد، اگر چه باید گفت که مقاومت در برابر پاره شدن

کاغذ حاصل از اختلاط ۶۰ درصد خمیر CMP، ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده و ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی بیشترین مقدار می‌باشد. از آنجایی که عامل اصلی در میزان مقاومت کاغذ به پاره شدن طول الیاف است، با توجه به نتایج دسته‌بندی الیاف می‌توان نتیجه گرفت که افزودن خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با طول الیاف بلندتر نسبت به خمیر CMP باعث افزایش مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ گردیده است.

در نمودار ۸ مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل از درصدهای مختلف اختلاط خمیر جوهرزدایی شده با خمیر CMP و نیز کاغذ شاهد نشان داده شد. نتایج آزمون‌های آماری بیانگر آن است که در اثر افزودن خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به خمیر CMP اگرچه مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل روند صعودی پیدا می‌کند، ولی این افزایش مقاومت معنی‌دار نیست و بنابراین خمیرهای مذکور در یک گروه قرار می‌گیرند. چنانچه خمیرهای شاهد (CMP ۷۵، L.F ۲۵ درصد) و خمیر حاوی CMP ۶۰، WFP ۳۰ و L.F ۱۰ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، مشخص می‌گردد که کاغذهای حاصل از این دو خمیر از نظر مقاومت به ترکیدن دارای اختلاف معنی‌داری نیستند و به عبارت دیگر در صورت استفاده از ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی می‌توان تا ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده را به صورت مخلوط با CMP مورد استفاده قرار داد، بدون این‌که کاهش معنی‌داری در مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل ایجاد گردد. بنابراین از نظر مقاومت کاغذ به ترکیدن، استفاده از ۳۰ درصد خمیر کاغذ شیمیایی جوهرزدایی شده به صورت

مخلوط با ۶۰ درصد خمیر CMP و ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی مطلوب می‌باشد.

با توجه به نتایج مربوط به مقاومت به کشش کاغذهای مختلف، مشخص گردید که افزودن خمیر جوهرزدایی شده باعث افزایش مقاومت به کشش کاغذ نسبت به کاغذ حاصل از خمیر CMP خالص می‌گردد که این افزایش مقاومت از نظر آماری معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد که در صورت استفاده از ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده به صورت مخلوط با ۶۰ درصد خمیر CMP و ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی مقاومت به کشش کاغذ حاصل نسبت به نمونه شاهد کمتر می‌شود.

نتایج مشخص نمود که با افزودن خمیر جوهرزدایی شده به خمیر CMP مقاومت به تا شدن کاغذ کاهش می‌یابد، به نحوی که هر چقدر میزان مصرف خمیر کاغذ جوهرزدایی شده در خمیر CMP بیشتر باشد، کاهش مقاومت در برابر تا شدن بیشتر می‌شود. از طرف دیگر استفاده از خمیر الیاف بلند وارداتی در خمیر CMP باعث افزایش مقاومت به تا شدن کاغذ حاصل می‌گردد. بیشترین مقدار مقاومت به تا شدن مربوط به خمیر CMP محتوی ۲۵ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی است (خمیر شاهد). علاوه بر آن در صورت اختلاط خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با خمیر CMP، برای افزایش مقاومت به تا شدن کاغذ می‌توان درصدی خمیر الیاف بلند وارداتی را به ترکیب خمیر اضافه نمود. نتایج حاکی از آن است که افزودن ۱۰ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی به ترکیب ۶۰ درصد خمیر CMP و ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده می‌تواند مقاومت به تا شدن کاغذ حاصل را نسبت به ترکیب ۷۰ درصد

خمیر CMP و ۳۰ درصد خمیر کاغذ جوهرزدایی شده تا ۳/۵ برابر افزایش دهد.

در نهایت، نتایج آزمایش‌های جوهرزدایی نشان داد که بهترین شرایط برای جوهرزدایی کاغذهای باطله شیمیایی در مرحله خمیرسازی، مصرف ۲ درصد هیدروکسید سدیم و زمان ۱۰ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این شرایط، خمیر کاغذ جوهرزدایی شده با بیشترین روشنی حاصل می‌گردد. همچنین نتایج آزمون‌های نوری، فیزیکی و مکانیکی کاغذهای حاصل از نسبت درصدهای مختلف خمیر کاغذ جوهرزدایی شده نشان داد که تا ۳۰ درصد خمیر جوهرزدایی شده می‌تواند به صورت مخلوط با خمیر CMP جهت تولید کاغذ چاپ مورد استفاده قرار گیرد. بهترین ترکیب خمیر کاغذ در این تحقیق به شرح زیر تعیین گردید:

- خمیر CMP چاپ: ۶۰ درصد؛

- خمیر کاغذ جوهرزدایی شده: ۳۰ درصد؛

- خمیر الیاف بلند وارداتی: ۱۰ درصد.

به طور کلی نتایج آزمون‌های کاغذ حاکی از آن است که در صورت استفاده از خمیر جوهرزدایی شده، خواص نوری و برخی از مقاومت‌های مکانیکی کاغذ (مقاومت به پارگی و ترکیدن) بهبود می‌یابد و در خواص فیزیکی کاغذ تغییرات معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. این در حالی است که مقاومت‌های کششی و تا خوردن کاغذ به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. از آنجایی که در کاغذ چاپ خواص نوری و سطحی مهم می‌باشند، استفاده از خمیر جوهرزدایی شده در تولید این نوع کاغذ توصیه می‌گردد.

منابع

- 1) Bajpai, P. K., 2010. Solving the problems of recycled fiber processing

- 6) Liphard, M., Schreck, B., Hornfeck, K., 1993. Surface-chemical aspects flotation in waste paper recycling. *Pulp and Paper Canada*, (1993): 27-31.
- 7) McKinney, R. W. J., 1995. *Technology of paper recycling*. Chapman & Hall, UK, 401 p.
- 8) Spence, K., Venditti, R., Rojas, O. J., 2009. Sugar surfactants in paper recycling. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 24 (1): 107-111.
- 9) Zhao, Y., Deng, Y., Zhu, J. Y., 2004. Roles of surfactants in flotation deinking. *Progress in Paper Recycling*, 14 (1): 41-45.
- 10) TAPPI Standard Methods. 2000. Tappi press, USA.
- with enzyme. *BioResources Journal*, 5 (2): 1311-1325.
- 2) Borchardt, J. K., 1993. Effect of process variables in laboratory deinking experiments. *Tappi Journal*, 76 (11): 147-154.
- 3) Ferguson, L. D., 1992. Deinking chemistry: Part 1. *Tappi Journal*, 1992: 75-83.
- 4) Kim, H. J., Kim, S. B., Kim, C. J., 2007. The effects of nonionic surfactants on the pretreatment and enzymatic hydrolysis of recycled newspaper. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 12: 147-151.
- 5) Law, K. N., and Valade, J. L., 1994. Production of new grades of mechanical pulp. *Pulp and Paper Canada*, 1994: 23-29.

Deinking of Printed Chemical Waste Papers and its Effect on Printing Paper from CMP Pulp

M. Talaiepour^{1*}, H. Resalati², and S. A. Mirshokraie³

1*) Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Corresponding Author: m.talaiepour@srbiau.ac.ir

2) Associate Professor, Agriculture Science and Natural Resources, Gorgan University, Gorgan, Iran.

3) Associate Professor, Payam-e-Noor University, Iran.

Abstract

In this research, the recycling of chemical waste paper has been taken into consideration. To produce printing paper, the effect of various combinations of deinked pulp with CMP pulp has been studied. Deinking results showed that, besides the chemical effect, temperature and repulping time directly affect the brightness of deinked pulp so that when the temperature or repulping time or both go up, the brightness of deinking pulp goes up too. Test results of deinked pulps mixed with CMP pulp indicated that by adding deinked chemical pulp, with the percentage of 10, 20, and 30 to CMP pulp, optical and physical features and also mechanical strengths of paper improve. From optical and physical features and also mechanical strengths point of view, the best circumstances to combine deinked chemical pulp with CMP pulp and long-fiber pulp included 60% CMP Pulp, 30% Deinked Pulp, 10% Long-fiber Pulp. It can be suggested that 30% deinked pulp can be used to produce printing paper. Also, optimum deinking variables were 2% NaOH (on the oven dry pulp), repulping time 10 minute and repulping temperature 65°C.

Keywords: Deinking, Flotation, CMP, Opacity, Brightness, Long Fiber Pulp, Printing Paper.