

بررسی تأثیر مدیریت زباله‌های آنیونی از طریق خارج‌سازی و خنثی‌سازی مواد محلول و کلوئیدی (DCS) بر ویژگی‌های خمیر و کاغذ CMP

مقدسه اکبری امری^{۱*}، حسین رسالتی^۲، احمدرضا سرانیان^۳ و محمدرضا دهقانی فیروزآبادی^۳

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانش‌آموخته صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

پست الکترونیک: Akbari_moghadase@yahoo.com

^۲ - استاد، تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ - دانشیار، تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۷

چکیده

طی فرایند تولید کاغذ، به‌ویژه هنگامی که از خمیرهای مکانیکی یا خمیرهای بازیافتی استفاده می‌شود مقدار زیادی مواد محلول و کلوئیدی (DCS) تشکیل شده و در آب فرایندی پراکنده یا حل می‌گردد. تجمع DCS در آب فرایندی کارخانه (به‌ویژه هنگام استفاده از سیستم آب بسته) می‌تواند منجر به اثرهای زیان‌آور مختلفی بر فرایندهای کاغذسازی و محصولات کاغذی شود. بنابراین حذف یا کنترل DCS به‌منظور غلبه و یا کاهش اثرهای منفی این مواد مزاحم، امری کاملاً ضروریست. در این تحقیق تأثیر خنثی‌سازی زباله‌های آنیونی با استفاده از خنثی‌کننده‌های مختلف و شست‌وشوی خمیر (برای خارج‌سازی زباله‌های آنیونی) بر ویژگی‌های خمیر و کاغذ CMP بررسی شد. بعد از آماده‌سازی اولیه خمیرهای شیمیایی - مکانیکی (CMP)، خمیر کرافت رنگ‌بری شده و اختلاط این خمیرها با یکدیگر، کربنات کلسیم رسوبی (PCC) اضافه گردید. سپس عامل کمک نگه‌دارنده کاتیونی (پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی) به مخلوط اضافه شد. برای خنثی‌سازی و کاهش اثرات منفی زباله‌های آنیونی، سطوح مختلفی پلی‌دادمک با جرم مولکولی ۲۰۰۰۰۰ - ۱۰۰۰۰۰ (۰/۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ درصد) و پلی‌آلومینیوم کلراید (پک) (۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ درصد) قبل از افزودن عامل کمک نگه‌دارنده اضافه شد. اگرچه استفاده از خنثی‌کننده‌های مختلف موجب بهبود پتانسیل زتا، زمان آب‌گیری و افزایش ماندگاری کل شده است؛ اما شاخص مقاومت به ترکیب کاغذ اندکی کاهش یافت که به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است. تیمار شست‌وشو و آب‌گیری خمیر کاغذ CMP موجب کاهش COD و زباله‌های آنیونی با منشأ آلی شده است. تیمار شست‌وشوی خمیر موجب بهبود زمان آب‌گیری و ماندگاری کل گردیده است، اما شاخص مقاومت به ترکیب کاغذ را کاهش داده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از پلی‌کترولیت‌های کاتیونی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش اثرات مضر زباله‌های آنیونی و ماندگاری اجزای سوسپانسیون معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: مواد محلول و کلوئیدی (DCS)، خنثی‌کننده زباله آنیونی، خمیر CMP، پلی‌کترولیت‌های کاتیونی

کاغذی مختلف افزایش یافته است. طی عملیات خمیرسازی و رنگ‌بری، مقدار زیادی مواد محلول و کلوئیدی (DCS)

مقدمه

با توسعه سریع صنعت کاغذسازی، استفاده از خمیرهای مکانیکی و خمیرهای مرکب‌زدایی شده در تولید محصولات

از چوب آزاد شده و به درون سیستم آب فرایندی پراکنده می‌شود. برخی از این مواد که بار منفی دارند زباله آنیونی نامیده می‌شوند (Hubbe et al., 2012).

با توجه به محدوده اندازه ذرات، DCS به مواد کلوئیدی (CS^1) یا مواد محلول (DS^2) دسته‌بندی می‌شوند. CS آن دسته از مواد پراکنده بزرگ‌تر از $0.22\mu m$ هستند که در واکنش‌های شیمی تر نقش دارند و منجر به پیچیدگی در سیستم می‌شوند (Zhang et al., 2006). مواد چسبناک CS به آسانی به توری دستگاه تصفیه و تجهیزات فیلتر متصل و باعث کاهش میزان ماندگاری و انسداد توری می‌شوند. همچنین می‌توانند منجر به رسوب بر روی ماشین کاغذسازی و در نتیجه سبب شکستگی و ضعف نوار نم‌دی تر شوند. DS مواد پراکنده‌ای هستند که اندازه آنها کوچک‌تر از $0.22\mu m$ است. آنها عمدتاً کربوهیدرات‌های محلول و برخی پلیمرهای آنیونی هستند که می‌توانند با افزودنی‌های کاتیونی کاغذسازی مانند عوامل کمک نگهدارنده و عوامل کمک آگیری واکنش نشان دهند. این مواد کارایی فیلتر را با محدود کردن خروج آب کاهش می‌دهند و باعث بدتر شدن اوضاع کل سیستم کاغذسازی می‌شوند (Zhou, 2006). تجمع بیش از حد این آلاینده‌ها موجب رسوب بر روی قطعات، ماشین‌آلات و خوردگی تجهیزات (Maher و همکاران، ۲۰۰۷)، کاهش مقاومت تر (Zhang و همکاران، ۱۹۹۹)، کاهش آهاردهی کاغذ (Li و همکاران، ۲۰۰۲)، افت درجه روشنی کاغذ (Zhang و همکاران، ۱۹۹۹) و آسیب به مقاومت کاغذ (Lindstrom و همکاران، ۱۹۷۷) می‌شود.

تیمار بهینه DCS می‌تواند موجب بهبود حرکت پذیری ماشین کاغذ و افزایش کارایی تولید کاغذ شود. امروزه، راهبرد کنترل مؤثر یا حذف DCS و غلبه بر اثرهای مضر آنها بر تولید کاغذ موضوعی است که بسیار رایج شده است. روش‌های مورد استفاده برای تیمار DCS شامل روش‌های فیزیکی، روش‌های شیمیایی و روش‌های بیولوژیکی است

ATCs کارایی سایر مواد شیمیایی را به‌طور مؤثری بهبود می‌دهد؛ به‌عنوان مثال هنگامی که خمیر رنگ‌بری شده شیمیایی - حرارتی - مکانیکی با عامل تثبیت‌کننده مبتنی بر نشاسته پیش‌تیمار شد، جذب عامل سفیدکننده فلورسنت، عامل مقاومت تر، عامل مقاومت خشک، عامل آهاردهی و عامل ماندگاری بر روی الیاف بهبود یافته است و این بهبود منجر به افزایش درجه روشنی، مقاومت‌های تر و خشک، بهبود آهاردهی و ماندگاری و آگیری شده است (Wang et al., 2011).

هنگامی که به خمیر مرکب‌زدایی شده ترکیبی از پلی-دادمک (به‌عنوان عامل خنثی‌کننده) و پلی‌اکریل‌آمید (به‌عنوان عامل کمک‌نگه‌دارنده) افزوده می‌شود در مقایسه با حالتی که این ترکیبات به‌تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند تأثیر بیشتری در کنترل میکروچسبنده‌ها خواهد داشت. در خمیر مکانیکی رنگ‌بری شده با پراکسید قلیایی (APMP) پک، پلی‌آمین، پلی‌آمیدو-آمین-اپی‌کلروهیدرین، پلی‌اتیلن‌ایمین و پلی‌دادمک به‌عنوان ATCs برای کنترل زباله‌های آنیونی مورد استفاده قرار گرفتند که موجب بهبود کارایی آهاردهی AKD شده است (wang et al., 2010).

پلی‌الکترولیت‌های آمونیوم کواترنری، ساختار مولکولی خطی یا زنجیره‌های منشعب دارند (Gill, 1996). جرم مولکولی و دانسیته بار این مواد به دلیل روش‌های مختلف

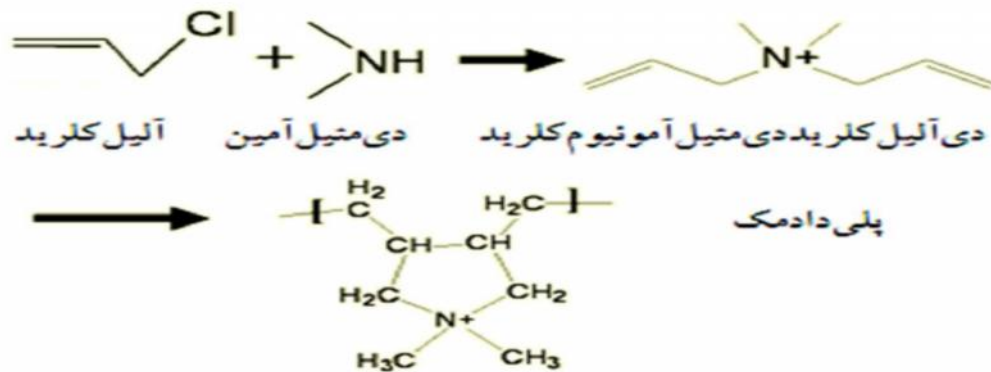
با توجه به محدوده اندازه ذرات، DCS به مواد کلوئیدی (CS^1) یا مواد محلول (DS^2) دسته‌بندی می‌شوند. CS آن دسته از مواد پراکنده بزرگ‌تر از $0.22\mu m$ هستند که در واکنش‌های شیمی تر نقش دارند و منجر به پیچیدگی در سیستم می‌شوند (Zhang et al., 2006). مواد چسبناک CS به آسانی به توری دستگاه تصفیه و تجهیزات فیلتر متصل و باعث کاهش میزان ماندگاری و انسداد توری می‌شوند. همچنین می‌توانند منجر به رسوب بر روی ماشین کاغذسازی و در نتیجه سبب شکستگی و ضعف نوار نم‌دی تر شوند. DS مواد پراکنده‌ای هستند که اندازه آنها کوچک‌تر از $0.22\mu m$ است. آنها عمدتاً کربوهیدرات‌های محلول و برخی پلیمرهای آنیونی هستند که می‌توانند با افزودنی‌های کاتیونی کاغذسازی مانند عوامل کمک نگهدارنده و عوامل کمک آگیری واکنش نشان دهند. این مواد کارایی فیلتر را با محدود کردن خروج آب کاهش می‌دهند و باعث بدتر شدن اوضاع کل سیستم کاغذسازی می‌شوند (Zhou, 2006). تجمع بیش از حد این آلاینده‌ها موجب رسوب بر روی قطعات، ماشین‌آلات و خوردگی تجهیزات (Maher و همکاران، ۲۰۰۷)، کاهش مقاومت تر (Zhang و همکاران، ۱۹۹۹)، کاهش آهاردهی کاغذ (Li و همکاران، ۲۰۰۲)، افت درجه روشنی کاغذ (Zhang و همکاران، ۱۹۹۹) و آسیب به مقاومت کاغذ (Lindstrom و همکاران، ۱۹۷۷) می‌شود.

تیمار بهینه DCS می‌تواند موجب بهبود حرکت پذیری ماشین کاغذ و افزایش کارایی تولید کاغذ شود. امروزه، راهبرد کنترل مؤثر یا حذف DCS و غلبه بر اثرهای مضر آنها بر تولید کاغذ موضوعی است که بسیار رایج شده است. روش‌های مورد استفاده برای تیمار DCS شامل روش‌های فیزیکی، روش‌های شیمیایی و روش‌های بیولوژیکی است

تیمار بهینه DCS می‌تواند موجب بهبود حرکت پذیری ماشین کاغذ و افزایش کارایی تولید کاغذ شود. امروزه، راهبرد کنترل مؤثر یا حذف DCS و غلبه بر اثرهای مضر آنها بر تولید کاغذ موضوعی است که بسیار رایج شده است. روش‌های مورد استفاده برای تیمار DCS شامل روش‌های فیزیکی، روش‌های شیمیایی و روش‌های بیولوژیکی است

خنثی‌سازی زیادی دارد؛ هنگامی که جرم مولکولی نسبتاً بالا دارد، توانایی پل‌زنی دارد که می‌تواند لخته‌سازی برخی از ذرات کلوئیدی آنیونی را افزایش دهد (شکل ۱) Gill, (1996).

ساخت متفاوت است. دانسیته بار معمولاً تحت شرایط خنثی و قلیایی ثابت می‌ماند که منجر به عمل پایدارتر این مواد می‌شود (Zhou, 2006). پلی‌دادمک یک نمک پلیمری (آمونیوم کواترنری) کاتیونی غیرسمی است که با جرم مولکولی متفاوت می‌تواند در دسترس باشد. این ماده ظرفیت



شکل ۱- ترکیب‌بندی پلی‌دی‌آلیل‌دی‌متیل‌آمونیوم‌کلرید (پلی‌دادمک)

تشکیل رسوبات چسبنده می‌شوند که می‌توانند حرکت‌پذیری ماشین کاغذ را کاهش دهند؛ این مواد مضر که به‌طور کلی زباله‌های آنیونی نامیده می‌شوند، منبع اصلی کاهش حرکت‌پذیری ماشین کاغذ است. همچنین این ترکیبات در فرایند پالایش/کوبش اختلال ایجاد می‌کنند؛ بر ماندگاری، آب‌گیری و تشکیل ورقه تأثیر منفی می‌گذارند و در نهایت ویژگی‌های کیفیتی کاغذ مانند مقاومت کششی، ماتی، سفیدی و غیره کاهش می‌یابد. این اثرها هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهند. متداول‌ترین راه جلوگیری از اثرهای منفی ترکیبات DCS و زباله‌های آنیونی، خنثی‌سازی آنها با استفاده از پلی‌الکترولیت‌های با وزن مولکولی کم ولی دانسیته بار زیاد است. در این پژوهش سطوح مختلف پک و پلی‌دادمک به‌منظور خنثی‌سازی و همچنین تأثیر خارج‌سازی زباله‌های آنیونی بر کاهش اثرهای منفی مواد محلول و کلوئیدی (DCS) یا زباله آنیونی مورد استفاده قرار گرفته و قابلیت زتای محلول صاف شده نیز اندازه‌گیری شده است.

در کارخانه‌های تولیدکننده کاغذ روزنامه از خمیر مکانیکی، سولفات آلومینیوم (آلوم) به‌منظور حذف DCS مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از آلوم منجر به کاهش pH می‌شود. تشکیل رسوب سولفات باریم را افزایش می‌دهد. جایگزینی PAC با آلوم می‌تواند مشکل را به‌طور قابل ملاحظه‌ای با کاهش مقدار افت pH و اجتناب از توزیع بیشتر یون‌های سولفات کاهش دهد. در واقع پک به‌اندازه آلوم اسیدی نیست و نسبت به آلوم تمایل به کاهش pH خمیر ندارد. پلی‌آلومینیوم‌هیدروکسیدکلراید که برای سادگی در صنعت کاغذسازی پلی‌آلومینیوم‌کلرید یا PAC نامیده می‌شود ترکیبات چندهسته‌ای آلومینیوم را در دامنه pH‌های بالاتری تولید می‌کند. البته همیشه باید مراقب مقدار مصرف PAC بود، به طوری که مصرف بیش‌ازحد آن بار کلوئیدی خالص سیستم را مثبت می‌کند. در حضور پرکننده کربنات کلسیم، استفاده از PAC به‌جای آلوم به‌احتمال زیاد میزان انحلال کربنات کلسیم را کاهش می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد برخی از ترکیبات DCS باعث

مواد و روش‌ها

مواد

خمیر شیمیایی - مکانیکی (CMP) و خمیر کرافت رنگ‌بری شده وارداتی (LF) از کارخانه صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه گردید و با نسبت اختلاط ۶۰ به ۱۰ درصد وزن خشک مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی PFI عمل پالایش بر روی خمیر CMP و LF انجام و درجه روانی خمیرها به ترتیب در محدوده 30 ± 30 و 50.0 ± 30 میلی لیتر تنظیم شد. کربنات کلسیم رسوبی (PCC) به عنوان ماده پرکننده از کارخانه صنایع چوب و کاغذ مازندران با نام تجاری برین ۹۰۲۰ تهیه گردید.

عامل کمک نگهدارنده مورد استفاده، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی با نام تجاری Farinret K325 تولیدی شرکت

دگوسا بوده که دارای جرم مولکولی بالا و بار کاتیونی متوسط است. پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی ابتدا به صورت محلول با غلظت ۰/۱ درصد تهیه و به مقدار ۰/۲ درصد وزن خشک مورد استفاده قرار گرفت. پلی‌آلومینیوم‌کلرید با نام اختصاری پک از شرکت فلوکا خریداری گردید که درصد خلوص آن ۹۸ درصد بوده و پودر آن زرد رنگ و کاملاً قابل انحلال در آب است. همچنین پلی‌دادمک با جرم مولکولی ۱۰۰۰۰۰ - ۲۰۰۰۰۰۰ از شرکت سیگما-آلدریچ خریداری شد. تیمار مربوط به خمیر کاغذ روزنامه و بدون هرگونه عامل خنثی‌کننده تحت عنوان تیمار شاهد معرفی شده است. تیمار مربوط به خمیر آب‌گیری شده و شسته شده تحت عنوان تیمار خمیر شسته شده معرفی گردیده است. کاغذهای حاوی خنثی‌کننده‌های مختلف به ترتیب زیر کدگذاری شده‌اند.

جدول ۱- کد تیمارها

کد تیمار	سطوح مصرف	خنثی‌کننده‌ها
B		تیمار شاهد
P 1	۰/۱	
P 2	۰/۲۵	پک (P)
P 3	۰/۵	
DH 1	۰/۰۲۵	
DH 2	۰/۵۰	
DH 3	۰/۱	پلی‌دادمک ۱۰۰۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰۰ (DH)
DH 4	۰/۱۵	

و مواد پرکننده، پلی‌اکریل‌آمید به مخلوط اضافه شد. برای خنثی‌سازی و کمتر نمودن اثرهای منفی زباله‌های آنیونی، پلی‌آلومینیوم‌کلراید با درصد متفاوت به سوسپانسیون قبل از افزودن کمک‌نگه‌دارنده اضافه گردید.

اندازه‌گیری قابلیت زتای محلول صاف شده دستگاه قابلیت زتا مدل ZEN3600 ساخت کشور

نحوه و ترتیب اختلاط مواد شیمیایی با خمیر کاغذ برای تمامی آزمایش‌های مربوط به بررسی خمیر و نیز تهیه ورقه‌های دست‌ساز روزنامه، به خمیر حاصل از اختلاط خمیر شیمیایی - مکانیکی (CMP) و نیز خمیر الیاف بلند سفید کرافت با نسبت اختلاط ۶۰ به ۱۰ درصد وزن خشک، به مقدار ۳۰ درصد وزن خشک، ماده پرکننده کربنات کلسیم - رسوبی اضافه گردید. سپس ۰/۲ درصد وزن مجموع خمیر

شاخص مقاومت به ترکیدگی: T ۴۰۳ om-۹۱
 آزمون COD با روش ISO ۶۰۶۰ تعیین شده است.
 در این تحقیق، از نرم افزار SPSS در قالب طرح تحلیل
 واریانس یک طرفه برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد؛
 در نهایت از آزمون دانکن [در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$)]
 برای مقایسه میانگین داده ها و گروه بندی استفاده گردید.

نتایج

COD آب همراه خمیر کاغذ

COD یا اکسیژن خواهی شیمیایی، شاخصی از کل مواد
 آلی محلول است. COD آب همراه خمیر کاغذ CMP کارخانه
 (شاهد) و آب همراه خمیر کاغذ CMP پس از آب گیری و
 شست و شو با آب می باشد که به ترتیب (mg/l) ۶۹۰ و (mg/l)
 ۱۹۲ تعیین شده است. به نحوی که نشان دهنده این است که
 تیمار شست و شو موجب کاهش COD و یا به عبارت دیگر
 کاهش زباله های آبیونی با منشأ آلی گردیده است.

نتایج بررسی تأثیر استفاده از سطوح مختلف پلی دادمک و
 یک بر پتانسیل زتای محلول صاف شده
 در جدول ۲ تغییرات پتانسیل زتای محلول صاف شده در
 اثر استفاده از سطوح مختلف پلی دادمک و یک نشان داده شده
 است. با افزایش سطوح مصرف پلی دادمک و یک، نیروی دافعه
 بین ذرات کم شده و پتانسیل زتا به صفر نزدیک می شود.

جدول ۲- ویژگی های محلول صاف شده از خمیر CMP و سوسپانسیون خمیر کاغذ پس از افزودن سطوح مختلف یک و پلی دادمک

پتانسیل زتا		سطوح مصرف خنثی کننده ها	
FB	FA		
-۲۲/۵	-۲۲/۵		خمیر شاهد
-۱۷/۵	-۲۱/۹	۰/۰۲۵	
-۱۱/۲	-۲۰/۳	۰/۰۵	پلی دادمک ۲۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ (%)
-۱۰/۴	-۱۷/۳	۰/۱	
-۶/۳۲	-۱۶/۱	۰/۱۵	
-۱۷/۵	-۲۰/۱	۰/۱	
-۱۰/۴۸	-۱۹/۵	۰/۲۵	یک، (%)
-۸/۴۲	-۱۸/۹	۰/۵	

انگلستان می باشد. به وسیله این دستگاه می توان با استفاده از
 تکنولوژی Phase Analysis Light (M3-PALS) Scattering با دقت و حساسیت کافی، قابلیت زتا را تعیین
 نمود. در این زمینه حتی نمونه های با تحرک بسیار اندک نیز
 قابل آنالیز می باشند.

به منظور تعیین قابلیت زتا، ۲ مجموعه نمونه تهیه گردید.
 (۱) ابتدا سطوح مختلف خنثی کننده ها به خمیر CMP
 اضافه گردید و پس از اینکه به مدت ۳ تا ۵ دقیقه بر روی
 همزن الکتریکی هم زده شد با استفاده از قیف بوختر
 آب گیری شد و بعد محلول صاف شده آن جدا گردید که با
 کد FA در بخش نتایج معرفی شده است.

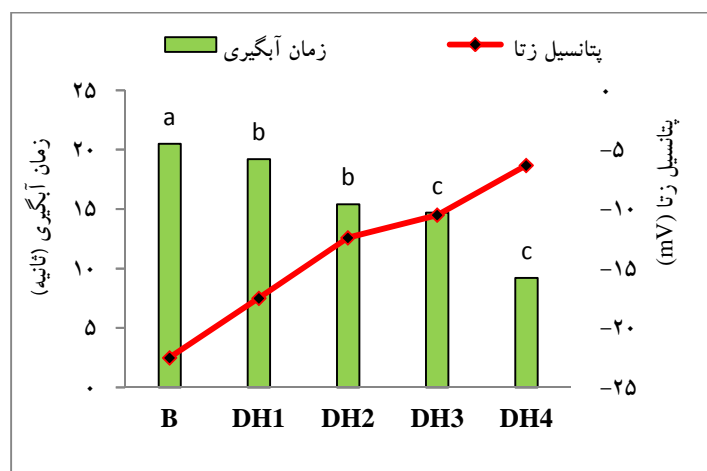
(۲) شرایط آماده سازی سوسپانسیون مشابه سازی شد و
 سوسپانسیون حاوی خمیر CMP، خمیر الیاف بلند، سطوح
 مختلف خنثی کننده ها، کربنات کلسیم رسوبی و پلی اکریل آمید
 کاتیونی با قیف بوختر آب گیری شده محلول صاف شده آن با
 کد FB در بخش نتایج معرفی گردید. سپس تمام محلول های
 صاف شده تیمار FA و FB را به حجم ثابت رسانده و برای
 تعیین قابلیت زتا به مقدار ۱۰CC به دانشکده داروسازی
 دانشگاه تهران ارسال و قابلیت زتا اندازه گیری شد.

ویژگی های خمیر کاغذ و کاغذ استاندارد بر اساس
 استانداردهای آیین نامه تاپی تعیین گردید.

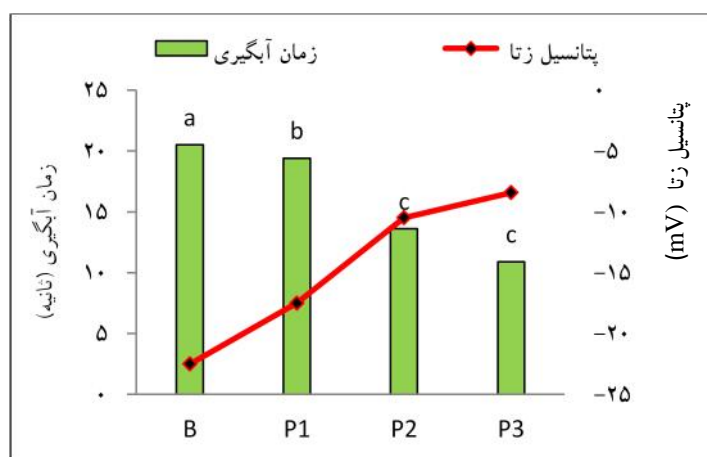
درجه روانی خمیر: استاندارد T۲۲۷om-۹۹

تهیه کاغذهای دست ساز استاندارد: T۲۰۵ sp-۹۵

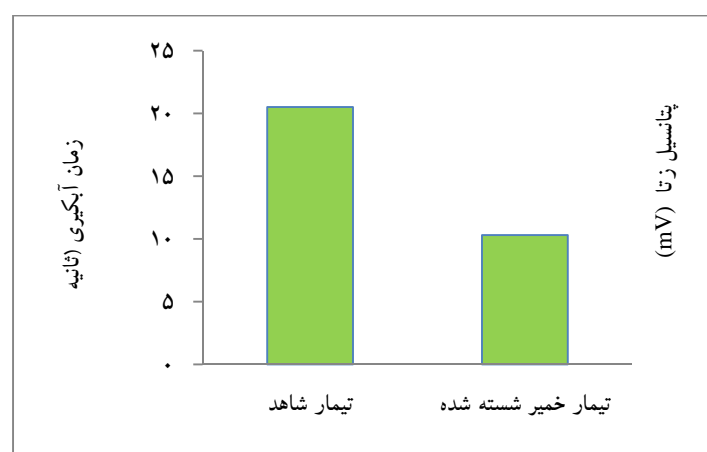
خاکستر کاغذ: T۴۱۳om-۹۳



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- تأثیر استفاده از سطوح مختلف پلی‌دادمک (الف)، پک (ب) و همچنین شست‌وشوی خمیر (ج) بر زمان آبگیری

تأثیر خارج‌سازی و خنثی‌سازی زباله‌های آنیونی بر زمان آب‌گیری

در شکل ۲ نتایج تأثیر استفاده از پلی‌دادمک و پک و همچنین شست‌وشوی خمیر بر زمان آب‌گیری نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از آزمون تجزیه واریانس تأثیر درصدهای مختلف پک و پلی‌دادمک بر زمان آب‌گیری در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد که استفاده از این خنثی‌کننده‌ها تأثیر معنی‌داری بر زمان آب‌گیری در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارد. همچنین افزایش مصرف پک از ۰/۱ به ۰/۲۵ که به ترتیب پتانسیل زتای ۱۷/۵- و ۱۰/۴۸- را موجب شده است، در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار شده اما افزایش مصرف پک تا ۰/۵ درصد، تأثیر معنی‌داری بر زمان آب‌گیری از خمیر نداشته است. همچنین با افزودن خنثی‌کننده $DH1$ و $DH2$ که به ترتیب پتانسیل زتای ۱۷/۵- و ۱۱/۲- را موجب شده‌اند، زمان آب‌گیری از خمیر بهبود یافته است و نسبت به تیمار شاهد در گروه متفاوت قرار گرفته است. همچنین شست‌وشوی خمیر هم موجب کاهش زمان آب‌گیری از خمیر کاغذ شده است.

تأثیر خارج‌سازی و خنثی‌سازی زباله‌های آنیونی بر ماندگاری کل

ماندگاری اجزای مختلف دوغاب خمیر کاغذ در ورقه کاغذ نهایی، عموماً حاصل سازوکارهای شیمیایی، مکانیکی و یا ترکیبی از هر دو می‌باشد. معمولاً مواد قابل‌حل، جذب ذرات معلق خمیر کاغذ می‌شوند و یا با آنها پیوند شیمیایی برقرار می‌کنند، درحالی‌که ذرات معلق عمدتاً به صورت مکانیکی صاف می‌شوند و در شبکه لیاف به دام می‌افتند. بیشتر مواد کمک نگه‌دارنده، در واقع مواد فعال سطحی هستند که باعث می‌شوند ذرات ریز با یکدیگر تشکیل دلمه داده و یا جذب سطح لیاف شوند، بنابراین هم به صورت شیمیایی و هم مکانیکی باعث ماندگاری بیشتر می‌شوند.

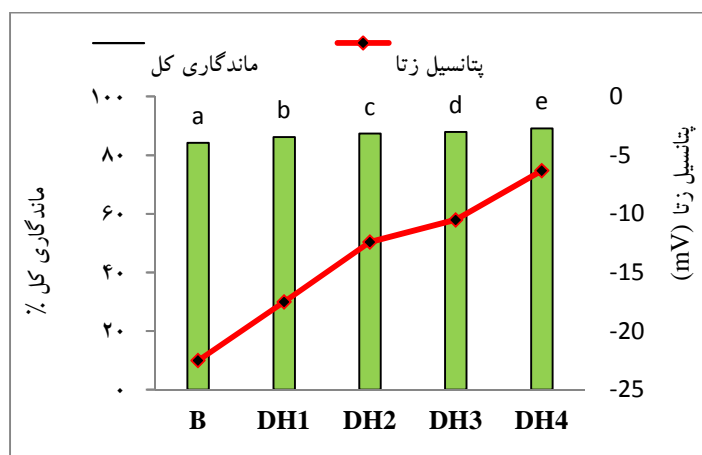
نتایج آنالیز واریانس برای بررسی اختلاف ماندگاری کل در تیمار شاهد و تیماری که زباله‌ها از آن خارج شده‌اند و همچنین تیمارهایی که از سطوح مختلف

خنثی‌کننده‌ها استفاده شده است، نشان می‌دهد که اختلاف کاملاً معنی‌داری با سطح اطمینان ۹۵ درصد بین این کاغذها و تیمار شاهد وجود دارد. در شکل ۳ تأثیر خارج‌سازی و خنثی‌سازی زباله‌های آنیونی بر ماندگاری اجزای سوسپانسیون مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این ویژگی نیز با افزایش پتانسیل زتا به سمت صفر افزایش یافته است. بیشترین مقدار ماندگاری کل در سطوح مختلف مصرف خنثی‌کننده‌های مختلف، مربوط به کاغذهایی می‌باشد که سطوح بیشتری از خنثی‌کننده را دارند و به پتانسیل زتای صفر نزدیک‌تر شده‌اند. در سطوح مصرف کم خنثی‌کننده‌ها به دلیل زیاد بودن بار منفی سیستم، ماندگاری ذرات موجود در کاغذ چندان تغییر نمی‌کند. در کاغذهای شاهد و بدون خنثی‌کننده، باعث حضور زباله‌های آنیونی نیروی دافعه بین این اجزاء، باعث پیوند ضعیف و ماندگاری کمتر پرکننده می‌شود.

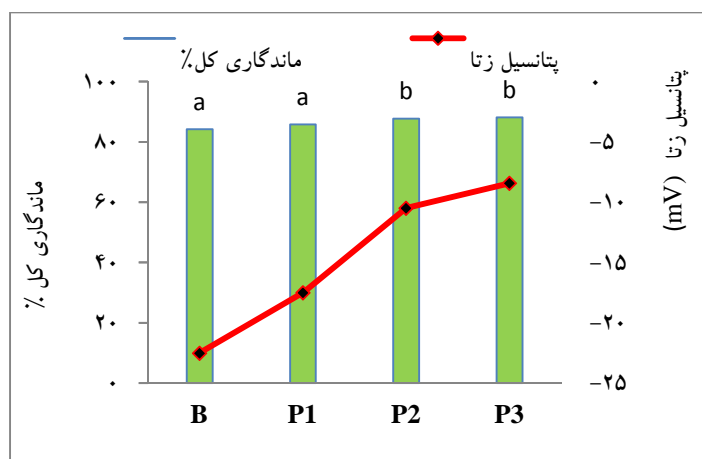
شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ

مقاومت به ترکیدگی، مقاومت کاغذ در برابر تغییر شکل است که به وسیله یک پرده لاستیکی منبسط شونده با اندازه‌گیری فشار هیدرولیکی در نقطه پارگی (ترکیدگی) کاغذ تعیین می‌شود. شاخص مقاومت به ترکیدگی، مستقل از وزن پایه کاغذ است و از طریق تقسیم مقاومت در برابر ترکیدگی به وزن پایه نمونه کاغذ محاسبه می‌گردد. افزایش طول لیاف، افزایش پالایش و فشار پرس باعث افزایش مقاومت به ترکیدگی و افزایش مقدار مواد پرکننده و نیز شاخص شکل‌گیری (شکل‌گیری نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد.

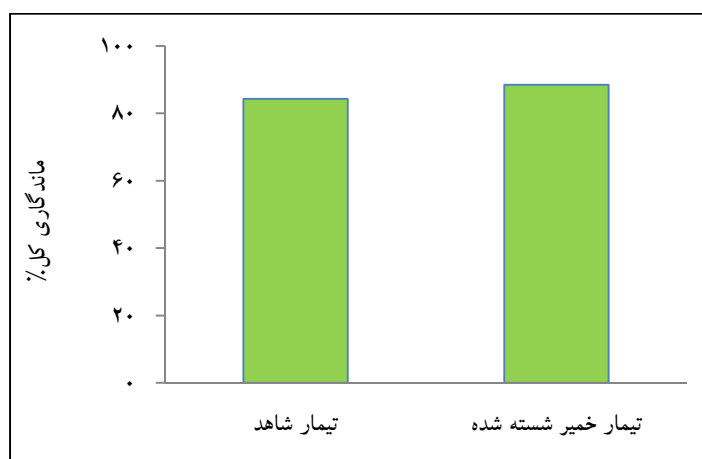
نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذهای حاصل در شکل ۴ آورده شده است. با افزودن سطوح مختلف پک و پلی‌دادمک، شاخص مقاومت به ترکیدگی به مقدار بسیار اندک کاهش یافته است؛ لازم است یادآوری شود که این افت مقاومت به لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است.



(الف)

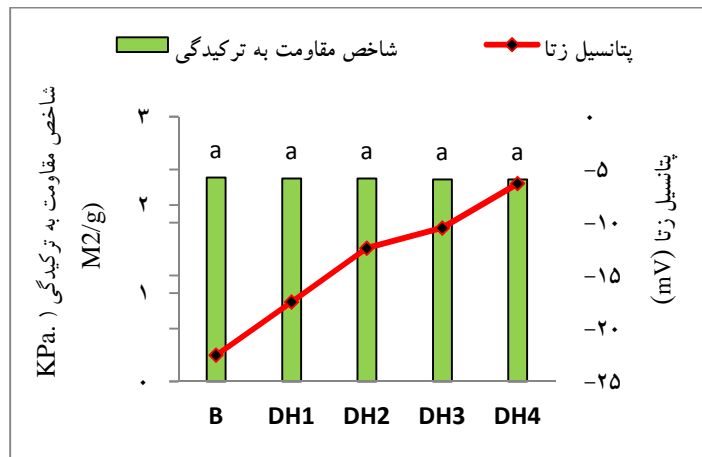


(ب)

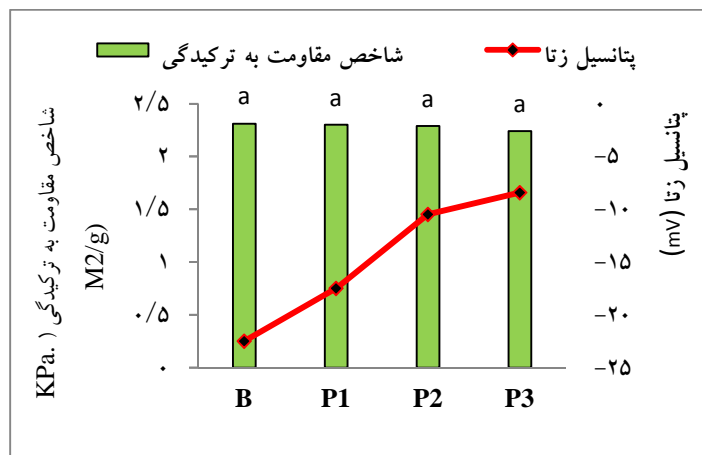


(ج)

شکل ۳- تأثیر استفاده از سطوح مختلف پلی‌دادمک (الف) و پک (ب) و همچنین شست‌وشوی خمیر (ج) بر ماندگاری کل



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴- تأثیر استفاده از سطوح مختلف پلی‌دادمک (الف)، پک (ب) و همچنین شست‌وشوی خمیر (ج) بر شاخص مقاومت به ترکیبگی

بحث

استفاده از افزودنی‌های کاتیونی برای خنثی‌سازی DSC در سیستم ماشین کاغذ، منجر به افزایش سرعت آب‌گیری و کارایی بهتر عوامل کمک ماندگاری (نوع اکریل آمید) با جرم بالا می‌شود (Chen et al., 2010). هدف از به‌کارگیری افزودنی‌های کاتیونی، اتصال مواد محلول و کلوئیدی به نرمه‌ها یا الیاف با سازوکار وصله‌زنی یا خنثی‌سازی بار است (Sundberg et al., 1993).

تغییرات پتانسیل زتا: در سیستم‌های پایانه تر واقعی، با توجه به زیاد بودن قابلیت هدایت الکتریکی آب سفید و وجود مواد مزاحم آبیونی، افزایش پتانسیل زتا به سمت صفر به‌کندی انجام می‌شود. تغییرات پتانسیل زتا زمانی‌که از خنثی‌کننده به تنهایی استفاده شده نسبت به حالتی که علاوه بر خنثی‌کننده، عامل کمک‌نگه‌دارنده هم استفاده شده کمتر است. وقتی خنثی‌کننده به سیستم اضافه می‌شود توسط زباله‌های آبیونی گرفتار شده و صرف خنثی‌سازی این مواد مزاحم می‌گردد و پتانسیل زتا چندان تغییر نمی‌کند. پس از افزایش مقدار مصرف خنثی‌کننده‌ها، زباله‌های آبیونی بیشتری خنثی شده و وقتی پلی‌اکریل آمید به سیستم اضافه می‌شود تغییرات پتانسیل زتا به دلیل خنثی شدن زباله‌ها توسط پک بیشتر خواهد شد و پلی‌اکریل آمید کارایی بهتری خواهد داشت.

زمان آب‌گیری: خنثی‌کننده‌ها با دو سازوکار خنثی‌سازی بار و تجمع، موجب افزایش سرعت آب‌گیری می‌شوند. در حالت اول، این مواد موجب کاهش پتانسیل زتای ذرات و نزدیکی این سطوح به یکدیگر می‌شود، در نتیجه منجر به کاهش سطح کلی و حجم در دسترس برای نگه‌داری آب می‌شوند. سازوکار دوم هم در زمینه بار است، ولی موجب تجمع نرمه‌ها و زباله‌های آبیونی به سطوح الیاف می‌شود، بدین ترتیب این ذرات نمی‌توانند منافذ ورق در حال تشکیل را مسدود کنند و مانع خروج آب شوند.

در نتیجه تشکیل فلاک‌های متراکم، علاوه بر فراهم‌سازی فضای بازتر برای خروج آب و همچنین کمتر شدن سطح تماس اجزاء با آب به دلیل متراکم شدن ذرات با یکدیگر،

انسداد کمتر منافذ توری‌های ماشین را نیز در پی داشته و علاوه بر سهولت و سرعت بالاتر آب‌گیری، نیاز کمتر به تمیزسازی و تعمیر و نگهداری توری‌ها را نیز نوید می‌دهد (Jin et al., 2003).

شستشوی خمیر نیز موجب کاهش زمان آب‌گیری از خمیرکاغذ شده است که دو علت را می‌توان برای آن ذکر کرد: با توجه به اینکه نرمه‌ها آب‌دوست هستند و دارای سطح ویژه زیادی می‌باشند، بنابراین با حذف آنها قابلیت نگه‌داری آب کم شده و همچنین امکان مسدود شدن منافذ به‌وسیله نرمه‌ها کاهش و در نتیجه زمان آب‌گیری بهبود می‌یابد. علت دوم بهبود زمان آب‌گیری را می‌توان به خروج زباله‌های آبیونی از خمیر و بهبود عملکرد پلی‌اکریل آمید کاتیونی نسبت داد که منجر به تشکیل لخته‌های کوچک و متراکم می‌شود که سطح کلی و حجم در دسترس برای نگه‌داری آب کاهش می‌یابد.

ماندگاری کل: پلی‌اکریل آمید کاتیونی متداول‌ترین عامل کمک‌نگه‌دارنده برای بهبود ماندگاری پرکننده و نرمه‌هاست. هدف اصلی استفاده از پلی‌اکریل آمید کاتیونی لخته‌سازی ذرات نرمه (شامل ذرات پرکننده، نرمه‌های سلولزی، عوامل آهاردهی امولسیون شده و غیره) است (Hubbe et al., 2009). افزودن پلی‌اکریل آمید کاتیونی باعث می‌شود نرمه‌ها به الیاف متصل شوند یا با همدیگر مجتمع شوند. پلی‌اکریل- آمید همچنین پل‌هایی بین الیاف تشکیل می‌دهد که تمایل به تشکیل فلاک دارد. چنین سیستمی از طریق پراکندگی دوباره لخته‌ها به‌وسیله نیروی برشی قبل از تشکیل ورقه می‌تواند بهینه شود (Hubbe 2007). کارایی پلی‌اکریل آمید کاتیونی در سیستمی که حاوی مقدار زیادی DCS است کاهش می‌یابد که گزارش‌های زیادی در رابطه با چنین اثرات نامطلوبی وجود دارد (Ni et al., 2011; Zhang et al., 2007). کاهش کارایی عامل کمک‌نگه‌دارنده کاتیونی در چنین وضعیتی به دلیل تشکیل کمپلکس پلی‌الکترولیت بین پلی‌اکریل آمید و DCS است (Nurmi et al., 2004).

بیشترین مقدار ماندگاری کل در سطوح مختلف مصرف خنثی‌کننده‌های مختلف، مربوط به کاغذهایی می‌باشد که

سطوح بیشتری از خنثی‌کننده را دارند و به پتانسیل زتای صفر نزدیک‌تر شده‌اند. در سطوح مصرف کم خنثی‌کننده‌ها به دلیل زیاد بودن بار منفی سیستم، ماندگاری ذرات موجود در کاغذ چندان تغییر نمی‌کند. در کاغذهای شاهد و بدون خنثی‌کننده، به علت حضور زباله‌های آنیونی نیروی دافعه بین این اجزاء، باعث پیوند ضعیف و ماندگاری کمتر پرکننده می‌شود. پلی‌الکترولیت کاتیونی که به عنوان کمک نگهدارنده استفاده می‌شوند بین سطح با بار منفی نرمه‌ها و ذرات پرکننده با الیاف پل تشکیل می‌دهند، که تحت تأثیر زباله‌های آنیونی موجود در آب سفید قرار می‌گیرند. زباله‌های آنیونی به علت سطح ویژه بیشتر، این پلیمرها را جذب خواهند کرد و در نهایت کارآیی آنها کاهش می‌یابد. خنثی‌سازی و خارج‌سازی زباله‌ها منجر به کاهش این اثرات مضر و بهبود عملکرد پلی‌اکریل‌امید کاتیونی می‌شود. خنثی‌سازی DCS در سیستم ماشین کاغذ منجر به آبدگیری سریع‌تر و ماندگاری بیشتر می‌شود (Hubbe et al., 2012).

استفاده از پلی‌دادمک و پک و تغییر پتانسیل زتا به سمت صفر ماندگاری اجزای سوسپانسیون را افزایش می‌دهد. مقدار ماندگاری در ماشین کاغذ باید تا حد امکان بالا و همچنین باثبات باشد. به دلایل زیر، ماندگاری بالا و باثبات باعث قابلیت گذر بهتر ماشین کاغذ، تولید کاغذ با کیفیت یکنواخت‌تر و افزایش بازدهی ماشین کاغذ می‌شود.

کاهش هزینه بازیابی الیاف و در نتیجه کاهش درصد خشکی آب خروجی از توری (آب سفید)؛

کاهش نیاز به تمیزسازی و شستشوی ماشین کاغذ؛

کنترل بهتر توزیع و پخش الیاف و مواد پرکننده؛

دستیابی به مواد پرکننده مورد نیاز در کاغذ با حداقل

استفاده از مواد کمک نگه‌دارنده؛

تغییر آسان‌تر و سریع‌تر تولید انواع کاغذ در ماشین

کاغذ؛

بهبود بازدهی مصرف انرژی در نتیجه کاهش جزئی

مصرف آب و کاهش حجم آب در گردش.

شاخص مقاومت به ترکیدگی: مواد محلول و کلئیدی

اثرهای منفی بر کیفیت کاغذ دارند و به خصوصیات مقاومتی

کاغذ آسیب می‌رسانند (Zhang et al., 1999). در مطالعه‌ای نشان داده شد که مقاومت کاغذ تهیه شده از ۹۰ درصد TMP و ۱۰ درصد ONP عمدتاً به وسیله مواد کلئیدی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Rundlof, 2002). در مطالعه دیگری نشان داده شد که مقاومت کاغذ تهیه شده با TMP اساساً با مواد محلول تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2002). Tay (۲۰۰۱) به این نکته اشاره کرده که کاهش مقاومت کاغذ به طور عمده به علت مواد آب‌گریزی است که بر روی الیاف تثبیت می‌شود و مانع از اتصال بین الیاف خمیر CTMP می‌شود. همچنین یون‌های فلزی بر مقاومت کاغذ تأثیر می‌گذارند. Springer و همکاران (۱۹۸۶) دریافتند که یون آهن بیشترین تأثیر را در مقایسه با آلومینیوم دارد و یون‌های سدیم و کلسیم کمترین اثر را خواهند گذاشت.

با افزایش پک و پلی‌دادمک، عملکرد پلی‌اکریل‌امید کاتیونی بهبود یافته و باعث افزایش ماندگاری نرمه‌ها و پرکننده‌ها می‌شود. نتایج تحقیقات قبلی نشان داده است که نرمه‌های سلولز سبب بهبود مقاومت پیوند می‌شوند (Lin et al., 2007). نرمه‌ها در ساختار کاغذ، حفره‌های بین الیاف را پر می‌کند و به تشکیل پیوندهای فیبر-فیبر کمک می‌کند (Retulainen). استفاده از سطوح مختلف خنثی‌کننده و کاهش پتانسیل زتای سوسپانسیون الیاف، منجر به کاهش نیروی دافعه بین ذرات پرکننده و الیاف و بهبود جذب سطحی پرکننده‌ها بر الیاف شده و منجر می‌شود علاوه بر افزایش ماندگاری نرمه‌ها، ماندگاری پرکننده‌ها نیز افزایش یابد. افزایش مقادیر پرکننده معدنی موجود در کاغذ، باعث کاهش سطح اتصال پیوندهای بین الیاف می‌شود (Maloney et al., 2010). همچنین استفاده از مواد خنثی‌کننده و تثبیت مواد محلول و کلئیدی بر روی سطح الیاف مانع از اتصال بین الیاف خمیر می‌شود. در مجموع کاهش مقاومت به ترکیدن در اثر افزایش ماندگاری پرکننده و تثبیت مواد مضر روی سطح الیاف بر افزایش مقاومت به ترکیدن در اثر افزایش ماندگاری نرمه‌ها غلبه می‌کند و موجب می‌شود شاخص مقاومت به ترکیدگی اندکی افت کند. در مقایسه با

- Papperstidn. 80(11), 341-345.
- Maher, L.E., Stack, K.R., Mclean, D.S. and Richarson, D.E., 2007. Adsorption behavior of cationic fixatives and their effect on pitch deposition, *Appita J.* 60(2), 112-128.
- Maloney, T., Ataide, J., Kekkonen, J., Fordsmand, H. and Petersen, H., 2005. Changes to PCC structure in papermaking. In: *Proceeding of XIX National Technicelpa Conference*, 12-15 October, Lisbon, Portugal
- Miao, Q., Hang, L. and Chen, L., 2013. Advances in control of dissolved and colloidal substance present in papermaking processes: A brief review, *BioResources* 8(1), 1431-1455.
- Ni, Y.H., He, Z.B., Zhange, H.J. and Zhou, Y.J., 2011. Characteristics of high yield pulp and its effect on some typical wet-end issues, *J. Biobased Mater. Bioenergy* 5(2), 181-186.
- Nurmi, M., Bykata, J. and Eklund, D., 2004. On the interaction between cationic polyacrylamide and dissolved and colloidal substances in thermomechanical pulp, *Paperi Puu* 86(2), 109-112.
- Retulainen, E., 1997. The role of fibre bonding in paper properties. Dissertation, Helsinki University of Technology, Laboratory of Paper Technology, Espoo, Finland, Reports Series A7, 63 pp.
- Rundlof, M., 2002. Interaction of dissolved and colloidal substances with fines of mechanical pulp-influence on sheet properties and basic aspects of adhesion, Doctoral Thesis of Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 8(2), 186-192.
- Springer, A., Dullforce, J. and Wenger, T., 1986. Mechanisms by which white water system contaminants affect the strength of paper produced from secondary fiber, *Tappi J.* 69(4), 106-110.
- Sundberg, A., Ekman, R., Holmbom, B., Sundberg, K. and Thornton, J., 1993. Interactions between dissolved and colloidal substances and a cationic fixing agent in mechanical pulp suspensions, *Nordic Pulp Paper Res. J.* 8(1), 226-231.
- Tay, S., 2001. Effect of dissolved and colloidal contaminants in newsprint machine white water on water surface tension and paper physical properties, *Tappi J.* 84(8), 43.
- Wang, L., Luo, L. and Wang, J., 2011. Pretreatment to improved adsorption and effectiveness of wet end chemicals for a bleached chemithermomechanical pulp, *TAPPI Journal* 10(8), 43-49.
- Wang, L., Yu, Y. and Chen, Y., 2010. Boosting AKD neutral sizing of APMP by anionic trash catchers, *China Pulp & Paper* 29(3), 10-13.
- Wang, L., Zhou, L. and Chen, F., 2006. Performance of fixing agents in controlling micro-stickies of recycled newspaper pulp, *China Pulp & Paper* 25(7), 1-4.
- Zhang, H.J., He, Z.B., Ni, Y.H., Hu, H.R. and Zhou, Y.J., 2007. Characteristics of dissolved and colloidal پلی‌دادمک، پک تأثیر بیشتری در افت مقاومت به ترکیدگی داشته است. دلیل این افت مقاومت می‌تواند کاهش pH در اثر استفاده از پک و اسیدی شدن سیستم در مقایسه با حالتی باشد که از پلی‌دادمک استفاده می‌شود (Wang *et al.*, 2006). همچنین در اثر شست‌شوی خمیر، علاوه بر خروج بخشی از نرمه‌ها، ماندگاری پرکننده موجود در کاغذ افزایش یافته که ذرات پرکننده توانایی تشکیل پیوند با لیاف را ندارند که به تبع آن اتصال بین لیاف محدودتر و ضعیف‌تر می‌شود.
- ### منابع مورد استفاده
- Hen, Q.J., Wang, P., Yan, Y.X. and Chen, F.S., 2010. Study on removal of dissolved and colloidal substances in deinked pulp by the C-CD/HCS/APAM triple system. *Reserch Progress in Paper Industry and Biorefinery (4TH ISETPP)*, Sun, R. C., and Fu, S. Y. (eds.), SCUT, Guangzhou, China, 945-948.
- Gill, R.I.S., 1996. Chemical Control of Deposits-Scopes and Limitations, *Paper Technology* 37(7), 23-31.
- Hubbe, M.A., 2007. Flocculation and redispersion of cellulosic fiber suspensions: A Review of effects of hydrodynamic shear and polyelectrolytes, *BioResources* 2(2), 296-331.
- Hubbe, M.A., Chen, H. and Heitmann, J.A., 2009. Permeability reduction phenomena in packed beds, fiber mats, and wet webs of paper exposed to flow of liquids and suspensions: A review, *BioResourcws* 4(1), 405-451.
- Hubbe, M.A., Sundberg, A., Mocchiutti, P., Ni, Y.H. and Pelton, R., 2012. Dissolved and colloidal substances (DCS) and the charge demand of papermaking process waters and suspensions: A review, *BioResources* 7(4), 6109-6193.
- Jin, W., Kefu, C., Chuanshan, Z. and Fushan, C., 2003. The performance of cationic polyacrylamide/bentonite microparticle system as drainage and retention aids. *Paper Science & Technology Journal*, (6).
- Li, H., Ni, Y. and Sain, M., 2002. The presence of dissolved and colloidal substances in BCTMP and their effect on sizing, *J. Pulp Pap. Sci.* 28(2), 45-49.
- Lin, T., Yin, X., Retulainen, E. and Nazhad, M.M., 2007. Effect of chemical pulp fines on filler retention and paper properties, *appita* 60(6):469-473.
- Lindstrom, T., Soremak, C. and Weatman, L., 1977. The influence on paper strength of dissolved and colloidal substances in the white water, *Svensk*

- Beatson, R., 2002. A combined fungal and enzyme treatment system to remove TMP/newsprint mill white water substances, *Tappi J.* 1(3), 26-32.
- Zhou, L., 2006. Performance of fixing agents in controlling micro-stickies in recycled newsprint pulp, Master Thesis of Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, China. 60(5), 390-395.
- substances in high yield pulp and their impact on filler retention, *APPITA J.* 60(5), 390-395.
- Zhang, X., Beatson, R., Cai, Y. and Saddler, J., 1999. Accumulation of specific dissolved and colloidal substances during white water recycling affects paper properties, *J. Pulp Pap. Sci.* 25(6), 206-210.
- Zhang, X., Stebbing, D., Soong, G., Saddler, J. and

Investigation on the effect of anionic trashes management through removing and neutralizing of dissolved and colloidal substances on the properties of chemi-mechanical pulp and paper

M. Akbari Amri^{1*}, H. Resalati², A. R. Saraeian³, and M.R. Dehghani Firuzabadi³

1*-Corresponding Author, Candidate of Pulp and Paper Industries, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan, Iran,
Email: Akbari_moghadase@yahoo.com

2-Professor of pulp and Paper Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

3-Associated Professor of Pulp and Paper Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan, Iran

Received: Jan., 2018

Accepted: June, 2018

Abstract

During the process of paper production, particularly if mechanical or recycled pulps are used, a large amount of soluble and colloidal substances (DCS) are dispersed or dissolved in the process water. Accumulation of DCS in the mill process water, in particular using closed water system, can lead to many deleterious effects on papermaking process and the quality of the paper products. Therefore, removing or controlling of DCS is quite essential to overcome or reduce the negative effects of these materials. The effect of anionic trash neutralization using different anionic trash neutralizers and pulp washing (to remove anionic trash) on the pulp and paper properties was investigated. After the initial preparation of chemi-mechanical pulps (CMP), bleached kraft pulp and mixing of these pulps with each other, precipitated calcium carbonate (PCC) was added. Then, a cationic retention aid (cationic polyacrylamide) was added to the mixture. To neutralize and reduce the negative effects of anionic trashes, different levels of poly DADMAC with molecular weights of 100000-200000 (0.025- 0.05- 0.1- 0.15%) and Poly aluminum Chloride (PAC) (0.1- 0.25- 0.5%) was utilized before adding the retention aids. Although zeta potential, drainage time, and total retention of the pulps were improved by applying different neutralizers, burst index of the paper was marginally reduced which was statistically insignificant. Chemi-mechanical pulp washing and drainage treatment caused the reduction of COD and organic anionic trashes. Washing treatment of the pulp improved drainage time, total retention and reduced burst strength index. According to these findings, using cationic polyelectrolyte can be introduced as a good strategy to reduce the harmful effects of anionic trashes and enhance the retention of suspension components.

Keywords: Soluble and colloidal substances, anionic trash neutralizers, chemi-mechanical pulp, cationic polyelectrolyte