نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲
http://jwfst.gau.ac.ir

بهبود مقاومت‌های کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه با کمک تیمارهای شیمیایی و حرارتی

محمدامین عندلیبیان[۱]، *سعید مهدوی[۲]، حسین کرمانیان[۳] و امید رمضانی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس زیراب، [۲]استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، [۳]استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس زیراب

تاریخ دریافت: ۹۱/۵/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۹

چکیده

این پژوهش با هدف ارایه راه‌کارهایی به‌منظور بهبود مقاومت‌های کاغذ بازیافتی تهیه شده از کارتن کنگره‌ای کهنه انجام شد. تیمارهای خمیرکاغذ شامل تبدیل یونی با کلرید سدیم ۱ درصد، واکنش با هیدروکسید سدیم ۳ و ۵ درصد (بر مبنای جرم خشک خمیرکاغذ) و اعمال دمای ۲۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بودند. ساخت کاغذ دست‌ساز براساس روش جدید استاندارد و با سیستم بسته آب ورق‌ساز نوع KCL انجام شد. شاخص‌های الیاف تیمار شده شامل ماندگاری آب الیاف (WRV)، دانسیته ظاهری و مقاومت‌های ورق اندازه‌گیری شدند. به‌رغم نبود اختلاف معنی‌دار آماری بین میزان ماندگاری آب در الیاف تیمار شده و نمونه شاهد، با اعمال تیمار ۳ درصد هیدروکسید سدیم و تبدیل یونی در دمای محیط این ویژگی تا حدود ۲۵ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. تیمار یاد شده به‌عنوان بهترین تیمار، موجب بهبود معنی‌دار آماری در دانسیته ظاهری، مقاومت به ترکیدن، پاره شدن و خردشدن حلقوی کاغذها شد.

واژه‌های کلیدی: کارتن کنگره‌ای کهنه، هیدروکسید سدیم، تبدیل یونی، مقدار ماندگاری آب، مقاومت‌های کاغذ

* مسئول مکاتبه: smahdavi@rifr-ac.ir

مقدمه

مقوله بازیافت کاغذ امروزه در دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، شرایط زندگی مردم، قوانین زیست‌محیطی، مشکلات اقتصادی، کمبود منابع تجدیدپذیر سلولزی و بسیاری دلایل گوناگون دیگر بر این اهمیت می‌افزایند. از طرف دیگر بازیافت کاغذ برتری‌هایی را نیز در پی دارد که می‌توان به کاهش مصرف انرژی، کاهش بار آلودگی هوای ناشی از فرایند کاغذسازی، کاهش مصرف آب، کاهش مصرف الیاف بکر سلولزی، کاهش هزینه‌های تولید کاغذ و موارد دیگر اشاره کرد (وان و همکاران، ۲۰۱۱؛ جین‌کیم، ۲۰۰۰). چین به‌عنوان بزرگ‌ترین واردکننده کاغذهای باطله در جهان، ۳۷ درصد کاغذهای باطله ایالات متحده را که حدود ۱۱/٦ میلیون تن می‌باشد؛ در سال ۲۰۰۸ خریداری و از طریق دریا به کارخانه‌های بازیافت خود حمل نموده است (FAO، ۲۰۱۱). این در حالی است که این کشور با استفاده از فناوری‌های بهبود ویژگی‌های کاغذ بازیافتی توانسته است از واردات الیاف بکر به مقدار قابل‌توجهی بکاهد و مانع خروج ارز شود.

با توجه به روند پیشرفت استفاده از الیاف بازیافتی در صنایع خمیر و کاغذ، پژوهش و بررسی مشکلات آن از موارد ضروری برای بهبود صنعت بازیافت می‌باشد. پژوهش‌گران زیادی کاهش ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ به‌دست آمده از الیاف بازیافتی را در مقایسه با کاغذ به‌دست آمده از الیاف بکر[1]، در مطالعات خود گزارش نموده‌اند (بات و همکاران، ۱۹۹۱؛ نزهد و پازنر، ۱۹۹٤؛ فریلند و هرات‌فیورد، ۱۹۹٤؛ لاو و همکاران، ۱۹۹٦؛ ویستارا و یانگ، ۱۹۹۹؛ گرگ و پال‌سینگ، ۲۰۰٦).

گرگ و پال‌سینگ (۲۰۰٦) کاهش در مقاومت کششی را با افزایش تعداد دفعات بازیافت گزارش کرده‌اند و علت آن را تأثیر بازیافت بر روی ویژگی‌های اتصالات بین فیبری الیاف سلولزی می‌دانند. همچنین به همین علت، کاهش در دانسیته ظاهری و مقاومت به عبور هوا[2] را برای کاغذهای بازیافتی نسبت به کاغذهای به‌دست آمده از الیاف بکر گزارش کرده‌اند. آن‌ها معتقدند که در اثر بازیافت، کاهش مقاومت در خمیرهای شیمیایی نسبت به خمیرهای مکانیکی از اهمیت بالاتری برخوردار است و عوامل اصلی کاهش مقاومت در خمیرکاغذهای بازیافتی را شامل: کاهش در سطح نسبی اتصال الیاف و کاهش در مقاومت اتصال بین فیبری (به‌علت سخت شدن الیاف در اثر پدیده استخوانی شدن[3]) می‌دانند. کاتز و همکاران (۱۹۸۱) در مطالعه خود بیان کرده‌اند که تورم الیاف با نرم شدن الیاف همراه است و باعث

1- Virgin
2- Air Permeability
3- Hornification

می‌شود قابلیت پیوندیابی الیاف بهبود یابد. تاکنون راه‌حل‌های مختلفی توسط پژوهش‌گران برای بهبود ویژگی‌های مقاومتی الیاف بازیافتی و تورم آن الیاف ارایه شده است. از بین روش‌های مطرح شده، تیمار شیمیایی (قلیایی) از بهترین روش‌ها برای بهبود میزان تورم و انعطاف‌پذیری الیاف بازیافتی و افزایش ویژگی‌های مقاومتی آن‌ها می‌باشد (بات و همکاران، ۱۹۹۱؛ فریلند و هرات‌فیورد، ۱۹۹٤؛ گارناگل، ۱۹۹۵؛ ویستارا و یانگ، ۱۹۹۹؛ تیپونگ و نزهد، ۲۰۰٦؛ هیوب و همکاران، ۲۰۰۷). یون هیدروکسید تعداد زیادی از اتصالات هیدروژنی بین الیاف را می‌شکند و هنگامی‌که پیوند هیدروژنی می‌شکند، آب می‌تواند به دیواره فیبر نفوذ کند و یک لیف متورم (واکشیده) به‌وجود آورد که موجب افزایش نرمی و انعطاف‌پذیری فیبر می‌شود (فریلند و هرات‌فیورد، ۱۹۹٤). از طرف دیگر، این یون باعث افزایش گروه‌های اسیدی موجود در خمیرکاغذ که احتمالاً در اثر هیدرولیز استرها یا لاکتون‌های موجود در همی‌سلولزها هستند، می‌شود. جایگزینی یون‌های با بار مخالف موجود در خمیر با یون‌های فلزی یا یون هیدروژن، تورم خمیر را به‌ترتیب به‌صورت $Al^{+}<H^{+}<Mg^{+}<Ca^{2+}<Li^{+}<Na^{+}$ افزایش می‌دهد. یون غالب در بیش‌تر فرآیندهای متداول تولید خمیرکاغذ، یون مثبت کلسیم می‌باشد. یکی از اثرات تیمار با هیدروکسید سدیم، تغییر بخشی از این یون‌های مثبت کلسیم موجود در خمیر به یون سدیم می‌باشد که موجب افزایش تورم الیاف می‌شود. البته، در صورت استفاده تنها از هیدروکسید سدیم، مقدار تورم الیاف ایجاد شده ناچیز است. برای حل این مشکل، خمیرکاغذ قبل از این‌که با هیدروکسید سدیم تیمار شود تبدیل یونی[1] می‌شود. تفاوت غلظت یون‌ها در داخل و خارج دیواره سلول، فشار اسمزی متفاوتی را به‌وجود می‌آورد. روش تبدیل یونی از جمله روش‌هایی است که برای بهبود قابلیت تورم، نرمی و انعطاف‌پذیری الیاف خمیرکاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از افزایش اختلاف بار الکتریکی و در نتیجه فشار اسمزی دو طرف دیواره سلول انجام می‌شود. گروه‌های اسیدی درون دیواره الیاف (مثل اسیدهای کربوکسیلی) می‌توانند تأثیر مهمی بر بهبود جذب آب و تورم دیواره الیاف داشته باشند و مقدار اختلاف بار الکتریکی این دیواره است که تعیین‌کننده میزان تورم الیاف و در نهایت مقاومت‌های کاغذ است (لینداستروم، ۱۹۹۲؛ موسبای و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش غلظت یون‌های مخالف (مثل کاتیون سدیم) در خارج از دیواره سلول موجب کشیدن آب اضافی به‌سمت داخل دیواره و افزایش تورم و پلاستیسیته و در نتیجه افزایش قابلیت پیوند می‌شود (کاتز و همکاران، ۱۹۸۱). تورم دیواره سلولی تا زمانی که نیروی چسبنده باقی‌مانده دیواره سلول، اختلاف فشار اسمزی را به تعادل برساند، ادامه پیدا می‌کند. برای بهبود ویژگی‌های کاغذ با روش تبدیل یونی

1- Ionic Exchange

(با استفاده از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی) خمیرکاغذ، پژوهش‌گران زیادی از جمله اوربلین و فردیم (۲۰۱۱) و واگبرگ و همکاران (۱۹۸۸) به نتایج مناسبی دست یافته‌اند. برانکاتو (۲۰۰۸) و لاو و همکاران (۱۹۹٦) اندازه‌گیری مقدار ماندگاری آب[1] را به‌عنوان شاخصی برای تورم الیاف مفید می‌دانند. همچنین هیوب و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعات خود بیان نموده‌اند که یکی از روش‌های متداول برای تعیین قابلیت تورم الیاف سلولزی، استفاده از این شاخص می‌باشد.

تغییرات دما باعث تغییر در گرانروی آب شده و این پدیده منجر به تغییر در سرعت نفوذ آب به درون شبکه الیاف می‌شود. دماهای بالاتر سرعت نفوذ را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش دما باعث کاهش گرانروی خمیرکاغذ می‌شود و می‌تواند منجر به ایجاد تغییرات در مدل‌های چرخش خمیرکاغذ در خمیرساز شود. یک مطالعه نشان داده است که هنگام خمیرسازی از کاغذ کرافت، افزایش دما از ۲۷ به ۷۱ درجه سلسیوس و نگهداری این دما به‌مدت ۱ دقیقه، باعث افزایش مقاومت به پاره شدن حدود ۱۰ درصد، کاهش درجه روانی و کاهش اندک مقاومت به ترکیدن و تخلخل کاغذ می‌شود (جهان‌لتیباری و همکاران، ۱۳۸٦).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی بهبود ویژگی‌های کاغذهای بازیافت شده از کارتن کنگره‌ای کهنه با توجه به پایین بودن مقاومت‌های این کاغذ در بیش‌تر کارخانه‌های داخل کشور بوده است.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ مورد نیاز این پژوهش از کارخانه افرنگ نور واقع در شهر صنعتی آمل تهیه گردید. این کارخانه از مخلوط کاغذ باطله و کارتن کنگره‌ای کهنه، کاغذ فلوتینگ و تست‌لاینر تهیه می‌کند. در هنگام نمونه‌برداری، هیچ‌گونه ماده افزودنی به خمیرکاغذ اضافه نمی‌شد و نمونه از خمیر به‌دست آمده از اختلاط کاغذ باطله (به‌طور عمده کارتن کهنه) و آب فرآیندی پس از خمیرساز[2] تهیه شد. خمیرکاغذ پس از حمل به محیط آزمایشگاه به‌منظور خارج کردن آلاینده‌های مختلف، بر روی الک ٤۰۰ مش مورد شستشو قرار گرفت و بعد از آن خمیر آب‌گیری شده (با حفظ نرمه‌ها) و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد و تا موقع مصرف، در یخچال با دمای حدود ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. درجه روانی اولیه خمیر طبق استاندارد تاپی[3] آیین‌نامه T۲۲۷ om-۰٤ با دستگاه اندازه‌گیری درجه روانی نوع کانادایی تعیین شد. برای بهبود ویژگی‌های کاغذ تولید شده از این خمیرکاغذ بازیافتی، تیمارهای شیمیایی- حرارتی به‌شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت.

1- Water Retention Value (WRV)
2- Pulper
3- Tappi

تیمار با هیدروکسید سدیم: تیمار شیمیایی خمیر بازیافتی به‌وسیله هیدروکسید سدیم در ۲ سطح ۳ و ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. پس از آماده‌سازی خمیرکاغذ، برای اعمال تیمار شیمیایی ابتدا مقدار مورد نیاز از خمیر بر مبنای وزن خشک آن توزین و سپس با مقدار معینی آب مقطر (برای رسیدن به درصد خشکی ۵ درصد، به‌مدت ۱ ساعت خیسانده شد. بعد از آن به‌مدت ۵ دقیقه با هم‌زن آزمایشگاهی[1] هم‌زده شد تا الیاف از هم جدا شود. سپس هیدروکسید سدیم (بر مبنای ۳ و ۵ درصد وزن خشک خمیرکاغذ) توزین و به خمیرکاغذ اضافه گردید و به‌مدت ۳۰ دقیقه در هم‌زن مخلوط شد. خمیرکاغذ تیمار شده روی الک ٤۰۰ مش شستشو داده شد تا هیدروکسید سدیم باقی‌مانده در آن شسته شود. خمیرکاغذ پس از آب‌گیری در پلاستیک‌هایی بسته‌بندی شد و در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

تیمار تبدیل یونی (کلرید سدیم): براساس نتایج پژوهش‌های کاتز و همکاران (۱۹۸۱) از روش تبدیل یونی برای دست‌یابی به مقاومت‌های بیش‌تر استفاده شد. در تیمار خمیرکاغذ با کلرید سدیم ۰/۱ نرمال، درصد خشکی خمیرکاغذ به ۱ درصد رسانده شد و مدت زمان تیمار ۳۰ دقیقه با ۲ تکرار متوالی بود (لاو و همکاران، ۱۹۹٦).

تیمار حرارتی: این تیمار در دو شرایط دمایی متفاوت شامل حدود ۲۵ (دمای محیط) و ۷۰ درجه سانتی‌گراد (در حمام آبی) انجام گرفت. جدول ۱ حروف اختصاری تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۱- حروف اختصاری تیمارها.

تیمارها	حروف اختصاری
خمیرکاغذ شاهد	Control
خمیرکاغذ شاهد، تبدیل یونی شده	I
۳ درصد هیدروکسید سدیم، دمای محیط، بدون تبدیل یونی	۳-T۲۵-nI درصد
۳ درصد هیدروکسید سدیم، دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بدون تبدیل یونی	۳-T۷۰-nI درصد
۵ درصد هیدروکسید سدیم، دمای محیط، بدون تبدیل یونی	۵-T۲۵-nI درصد
۵ درصد هیدروکسید سدیم، دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بدون تبدیل یونی	۵-T۷۰-nI درصد
۳ درصد هیدروکسید سدیم، دمای محیط، با تبدیل یونی	۳-T۲۵-I درصد

1- Over Head Mixer

تعیین ظرفیت نگهداری آب الیاف (WRV): اندازه‌گیری مقدار ماندگاری آب شاخص مهمی برای تعیین میزان تورم الیاف و درجه سلولز کریستالین[1] در فرآیند خمیرسازی بوده و در صنعت بازیافت به‌دلیل ارتباط معکوس با استخوانی شدن[2] الیاف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقدار ماندگاری آب ظرفیت تورم درونی الیاف را نشان می‌دهد و به‌جز آبی که به‌صورت شیمیایی با الیاف پیوند دارد، شامل آب دیواره لیف (آب آغشتگی) و همچنین آب موجود در فضاهای خالی بین الیاف (آب آزاد) می‌باشد (برانکاتو، ۲۰۰۸). مقدار زیادتر آن نشان‌دهنده ظرفیت تورم بیش‌تر الیاف و نیز افزایش طول پارگی[3] کاغذ است. در این پژوهش از استاندارد تاپی (UM-۲۵۶) با انجام کمی اصلاحات برای تعیین میزان ماندگاری آب در الیاف استفاده شد.

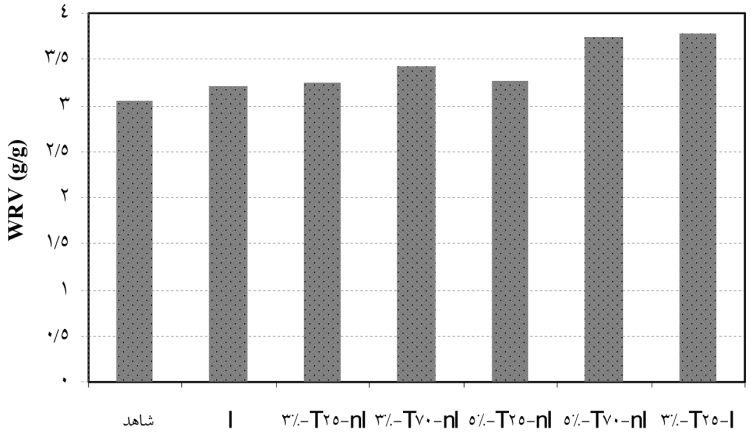
ساخت کاغذ دست‌ساز: ساخت کاغذ دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد ایزو (۲۰۰۸، ۳-۳۷۸۸) به‌وسیله ورق‌ساز نوع KCL انجام گرفت. این استاندارد روش ساخت کاغذ با سیستم بسته آب و گردش نرمه‌ها را بیان می‌کند. هدف از این کار، استفاده از نرمه‌های موجود در خمیرکاغذ است که در هنگام فرایند بازیافت خمیرکاغذ افزایش یافته و موجب کاهش بازده تولید و بروز تغییرات قابل‌توجهی در ساختار کاغذ می‌شوند. در سیستم‌های متداول ساخت کاغذ دست‌ساز، مقدار زیادی از نرمه‌های خمیرهای مکانیکی و بازیافتی از توری دستگاه عبور می‌کند و ورق ساخته شده معرفی از الیاف واقعی خمیرکاغذ آماده[4] نمی‌باشد. برای مشابهت بهتر ترکیب الیاف تشکیل‌دهنده ورق دست‌ساز با تولید در مقیاس صنعتی، از استاندارد ISO ۳۷۸۸-۳ (۲۰۰۸) استفاده شد. در این روش، نرمه‌های خارج شده از توری دستگاه با استفاده از سیستم برگشتی ورق‌ساز دوباره به سوسپانسیون خمیرکاغذ عودت داده می‌شوند.

روش تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از ویژگی خمیرکاغذهای به‌دست آمده به‌وسیله کاملاً تصادفی و آزمون تجزیه واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین پارامترها و گروه‌بندی آن‌ها به‌وسیله آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

1- Crystallinity Index
2- Hornification
3- Breaking Length
4- Furnish

نتایج و بحث

ظرفیت نگهداری آب (WRV): این ویژگی برای الیاف خمیرکاغذهای مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار WRV برای تیمارهای I-T۲۵-۳ درصد و nI-T۷۰-۵ درصد نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر می‌باشد. جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین این ویژگی با اعمال تیمارهای مختلف وجود ندارد. در تیمار nI-T۷۰-۵ درصد چون از هیدروکسید سدیم بیش‌تری همراه با دمای بیش‌تر در هنگام تیمار استفاده شده است، مقدار WRV افزایش قابل‌توجهی نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. ولی در تیمار I-T۲۵-۳ درصد با توجه به این‌که از هیدروکسید سدیم کم‌تری و دمای محیط استفاده شده است ملاحظه می‌شود که تیمار تبدیل یونی به‌خوبی توانسته است مقدار تورم الیاف را تحت‌تأثیر مثبت خود قرار داده و نسبت به تیمار مشابه خود در حالت بدون تبدیل یونی (I-T۲۵-۳ درصد) افزایش WRV را به‌دنبال داشته باشد.



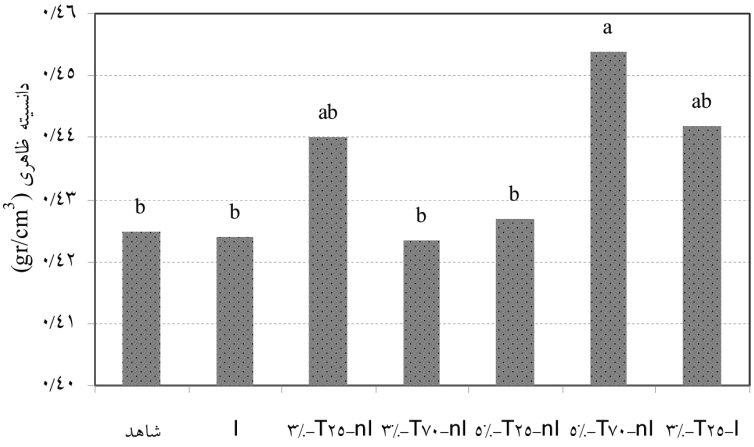
شکل ۱- مقایسه میانگین ماندگاری آب (WRV) برای خمیرهای تیمار شده.

دانسیته ظاهری: در شکل ۲، نتایج مربوط به دانسیته ظاهری کاغذ آورده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود بیش‌ترین میزان دانسیته ظاهری به تیمار nI-T۷۰-۵ درصد اختصاص دارد. دلیل این امر، انعطاف‌پذیر شدن بیش‌تر دیواره الیاف و افزایش قابلیت لهیدگی[1] به‌علت تیمار با هیدروکسیدسدیم ۵ درصد و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد است. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با دو تیمار

1- Collapsing

۳-T۲۵-I درصد و ۳-T۲۵-nI درصد دیده نمی‌شود. لاو و همکاران (۱۹۹٦) معتقدند هنگامی که الیاف انعطاف‌پذیری بیش‌تری دارند، قابلیت شکل‌گیری بهتری خواهند داشت و درهم‌رفتگی الیاف نیز بهتر خواهد بود که باعث می‌شود کاغذ به‌دست آمده خلل و فرج کم‌تری داشته باشد.

مقاومت کششی: شکل ۳ مقایسه نتایج مربوط به شاخص مقاومت کششی[1] را برای کاغذهای تیمار شده نشان می‌دهد. این شاخص به عوامل زیادی وابسته است که در نهایت همه آن عوامل به میزان قابلیت اتصال بین الیاف منتهی می‌شود. هرچه این قابلیت بیش‌تر باشد، میزان مقاومت به کشش نیز بیش‌تر خواهد بود. تیمار ۵-T۷۰-nI درصد و همچنین تیمار ۳-T۲۵-I درصد به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مقادیر مقاومت کششی هستند. مقایسه این ویژگی در تیمارهای ذکر شده با سایر منابع (جهان‌لتیباری و حقیقت، ۲۰۱۱؛ فریلند و هرات‌فیورد، ۱۹۹٤) کمی بیش‌تر است. بر خلاف این‌که اختلاف معنی‌داری بین میانگین این شاخص با اعمال تیمارهای مختلف وجود ندارد، ولی مقدار آن با اعمال تیمار ۵-T۷۰-nI درصد حدود ۱۷ درصد افزایش یافته است.

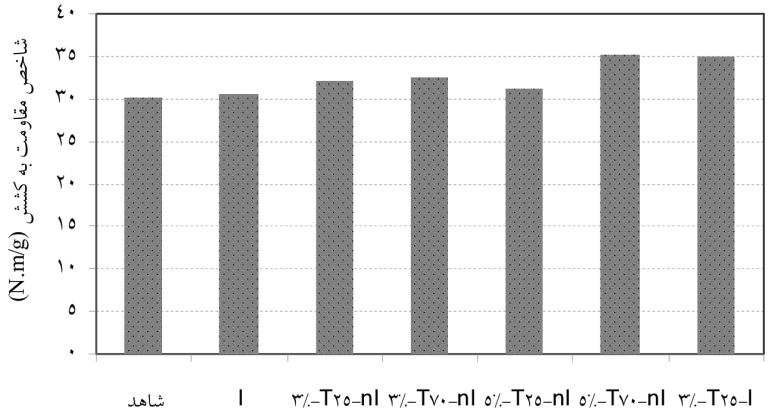


شکل ۲- مقایسه آماری میانگین دانسیته ظاهری کاغذ برای خمیرهای تیمار شده.

هیدروکسیدسدیم در حالت تبدیل یونی شده موجب افزایش بیش‌تر تورم در الیاف بازیافتی شده و سطح نسبی پیوند را توسعه می‌دهد و در حالت استفاده از هیدروکسیدسدیم ۵ درصد نیز چون درجه حرارت بالاتر بوده است موجب نفوذ بهتر یون‌های هیدروکسید در دیواره الیاف شده و تورم بهتر آن‌ها

1- Tensile Index

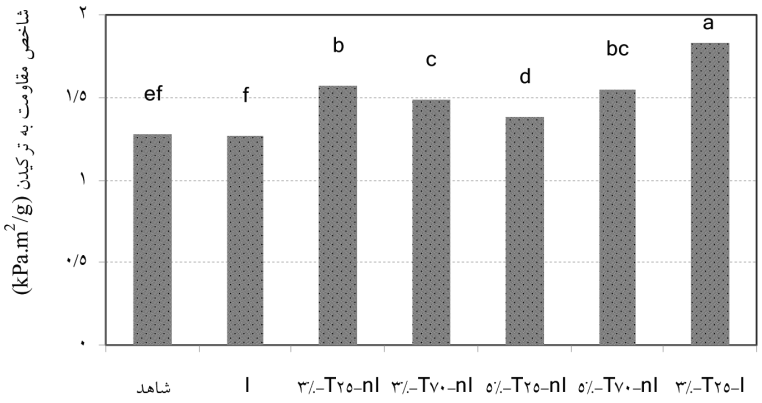
را موجب می‌شود. تورم بیش‌تر الیاف، مقدار مقاومت به کشش بیش‌تر را به همراه دارد (وسیتارا و یانگ، ۱۹۹۹). فریلند و هارت‌فیورد (۱۹۹٤) با افزودن هیدروکسیدسدیم به خمیر کاغذ OCC افزایش در شاخص مقاومت کششی و ترکیدن را به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۳ و ۱۳/۵ درصد گزارش کرده‌اند.



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص مقاومت کششی برای خمیرهای تیمار شده.

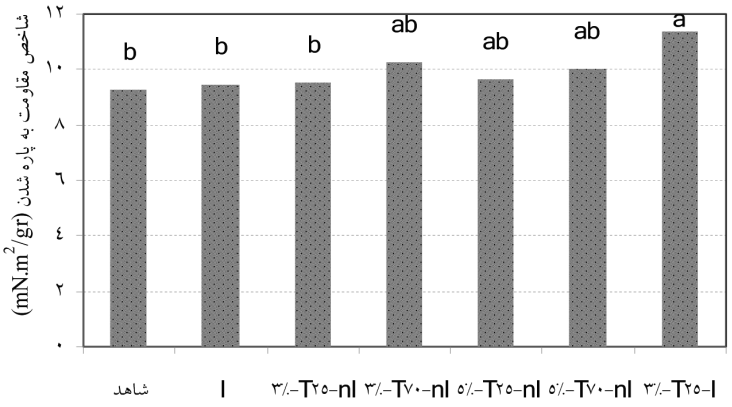
مقاومت به ترکیدن: به‌طورکلی از آزمون ترکیدن به‌عنوان شاخصی کلی و ساده از میزان مقاومت و سفتی[1] کاغذ استفاده می‌شود. مقاومت به کشش و ترکیدن رابطه تنگاتنگی با یکدیگر دارند، و در هر دوی این آزمون‌ها می‌توان میزان تراکم و اتصال الیاف با یکدیگر را به‌خوبی مشاهده کرد. در شکل ٤، مقایسه میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن قابل مشاهده است. کاغذهای به‌دست آمده از تیمار I-T٢٥-٣ درصد بیش‌ترین شاخص مقاومت به ترکیدن را دارا می‌باشند. علت این پدیده را می‌توان تأثیر بهتر هیدروکسید سدیم بر روی الیاف بازیافتی همراه با تیمار تبدیل یونی دانست. در این حالت یون‌های هیدروکسید بهتر به داخل دیواره الیاف نفوذ کرده و باعث تورم و انعطاف‌پذیری بهتری در الیاف می‌شوند که افزایش سطح تماس در الیاف و شکل‌پذیری بهتر آن‌ها را به‌دنبال دارد. در نتیجه، تعداد پیوندهای بین لیفی و مقاومت‌های کاغذ افزایش می‌یابد. در مقایسه تیمار I-T٢٥-٣ درصد با تیمار شاهد (Control-nI) می‌توان افزایش ٤٤ درصدی شاخص مقاومت به ترکیدن را مشاهده کرد که نرخ این افزایش نسبت به گزارش فریلند و هارت‌فیورد (۱۹۹٤) حدود ۲۰ درصد نیز بیش‌تر است.

1- Toughness



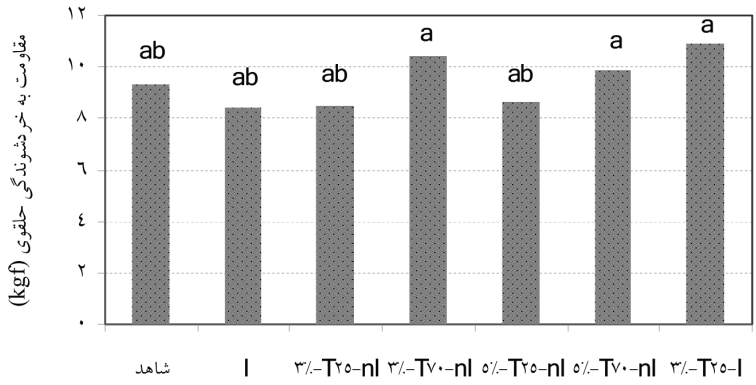
شکل ٤- مقایسه آماری میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ برای خمیرهای تیمار شده.

مقاومت به پاره شدن: شکل ۵ شاخص این مقاومت کاغذ را نشان می‌دهد. از این نظر، تیمار ۳-T۲۵-I درصد در بین تیمارهای دیگر دارای بیش‌ترین مقاومت است، و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کاغذهای شاهد داشته ولی با ۳ تیمار دیگر ۳-T۷۰nI درصد، ۵-T۲۵-nI درصد و ۵-T۷۰-nI درصد ندارد. شاخص مقاومت به پاره شدن به‌علت تقویت لیف و به واسطه پیوند درون لیفی و بین لیفی افزایش می‌یابد (برانکاتو، ۲۰۰۸)، ولی برای الیافی که مرحله بازیافت را یک یا چند بار پشت سر گذاشته‌اند این پتانسیل کاهش می‌یابد (لاو و همکاران، ۱۹۹٦؛ گرگ و پال‌سینگ، ۲۰۰٦). تلفیق تیمارهای هیدروکسیدسدیم، تبدیل یونی و دما به همراه یکدیگر توانسته است تا حدودی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و تورم الیاف و ایجاد قابلیت پیوند بیش‌تر در الیاف بازیافتی شود. برای تأیید این مطلب، می‌توان به رشد ۲۳ درصدی تیمار ۳-T۲۵-I درصد در مقابل نمونه شاهد اشاره کرد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهایی که در گروه a و b قرار گرفته‌اند نیز وجود دارد. این شاخص نیز در حدود شاخص پارگی خمیرکاغذ سولفیت قلیایی رنگ‌بری نشده کارتن کنگره‌ای کهنه (جهان‌لتیباری و حقیقت، ۲۰۱۱) است.



شکل ۵- مقایسه آماری میانگین شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ برای خمیرهای تیمار شده.

مقاومت به خرد شدن حلقوی: در شکل ٦ دیده می‌شود که تلفیق سه تیمار هیدورکسیدسدیم، دما و تبدیل یونی هم نتوانسته است اختلاف معنی‌داری در مقاومت به خرد شدن حلقوی[1] برای کاغذهای ساخته شده ایجاد کند و کاغذها از نظر این ویژگی در دو گروه a و ab قرار گرفته‌اند. با این وجود، تیمار I-T۲۵-۳ درصد توانسته است این مقاومت را تا حدود ۱۱ کیلوگرم نیرو ارتقاء دهد. عوامل زیادی بر مقاومت به خردشدن حلقوی تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به جهت‌یابی الیاف، تراکم الیاف، پیوندیابی الیاف و میزان سفتی کاغذ اشاره کرد.



شکل ٦- مقایسه آماری میانگین مقاومت به خرد شدن حلقوی کاغذهای تیمار شده.

1- Ring Crush Test (RCT)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بهبود ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ بازیافتی (OCC) با استفاده از تلفیق ۳ تیمار هیدروکسیدسدیم، تبدیل یونی و دما مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمار خمیرکاغذ با شرایط ۳ درصد هیدروکسیدسدیم، دمای محیط و تبدیل یونی و نیز ۵ درصد هیدروکسیدسدیم، دمای ۷۰ درجه سلسیوس و بدون تبدیل یونی منجر به بهترین ظرفیت نگهداری آب (WRV) و دانسیته ظاهری شده است. با استفاده از شرایط ۳ درصد هیدروکسیدسدیم، دمای محیط و تبدیل یونی، ضمن افزایش مقاومت‌های کششی، ترکیدن، پاره‌شدن و خردشوندگی حلقوی به‌ترتیب تا ۱۵/۱۷، ٤۳/۵، ۲۲/۸ و ۲۲/۲ درصد، می‌توان با مصرف کم‌تر هیدروکسیدسدیم و بدون صرف انرژی گرمایی، به ویژگی‌های مناسبی نسبت به نمونه شاهد دست یافت که از نظر اقتصادی از نقطه‌نظر کاهش هزینه‌های تولید، برای تولیدکننده اهمیت زیادی دارد. با کمک این شرایط می‌توان به مقاومت‌های قابل‌قبولی برای کاغذ بازیافتی و به‌خصوص شاخص ترکیدن که مانع اصلی در صادرات کاغذهای بازیافتی تولید شده در داخل کشور است، نایل آمد. مقایسه شاخص مقاومت‌های کاغذ به‌دست آمده از تیمار منتخب، گویای برتری این شاخص‌ها نسبت به مقاومت‌های کاغذ تست‌لاینر و فلوتینگ ارایه شده در استانداردهای ملی ایران شماره ۳۰٥٤ و ۳٤۸۸ می‌باشد.

منابع

1.Bhat, G.R., Heitmann, J.A. and Joyce, T.W. 1991. Novel techniques for enhancing the strength of secondary fiber, Tappi J. 74: 9. 151-157.
2.Brancato, A.A. 2008. Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties, Doctor of philosophy thesis, Georgia institute of technology, School of chemical and bimolecular engineering, 131p.
3.Freeland, S.A. and Hrutfiord, B.F. 1994. Caustic treatment of OCC for strength improvement during recycling, Tappi J. 77: 4. 185-191.
4.Grag, M. and Pal Singh, S. 2006. Reasons of strength loss in recycled pulp, Appita J. 59: 4. 274-279.
5.Gurnagul, N. 1995. Sodium hydroxide addition during recycling: effects on fiber swelling and sheet strength, Tappi J. 78: 12. 119-123.
6.Hubbe, M.A. 2007. What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review, BioResources 2: 4. 739-788.
7.Jahan Latibari, A., Khosravani, A. and Rahmaninia, M. 2008. Paper recycling, Arvij Press, 540p. (In Persian)

8.Jahan Latibari, A. and Haghighat, F. 2011. Properties of bleachable alkaline sulfite pulp from old corrugated container, J. Wood For. Sci. Technol. 18: 3. 171-184.
9.Jin Kim, H. 2000. Hornification behavior of cellulosic fibers by recycling, Appl. Chem. J. 4: 1. 363-366.
10.Katz, S., Liebergott, N. and Scallanand, A.M. 1981. A mechanism for the alkali strengthening of mechanical pulps, Tappi J. 64: 7. 97-100.
11.Law, K.N., Lvalade, J. and Quan, J. 1996. Effect of recycling on papermaking properties of mechanical and high yield pulps, Tappi J. 79: 3. 167-174.
12.Lindstrom, T. 1992. Chemical factors affecting the behavior of fibres during papermaking, Nord Pulp Pap. Res. J. 7: 4. 181-192.
13.Mosbye, J., Moe, S. and Laine, J. 2001. The charge of fines originating from different parts of the fibre wall, Proceedings of 11th Intern. Symp. Wood Pulp. Chem. 2: 169-172.
14.Paper recycling and recycled content products, www.versopaper.com/ sustainability.
15.TAPPI Useful Methods. 1991. TAPPI Press, Atlanta, Georgia.
16.Thi Phuong, D. and Nazhad, M.M. 2006. Effect of swelling or surface agents on strength of old corrugated containers (OCC), 60th Appita Annual Conference and Exhibition, Melbourne, Australia, Pp: 399-405.
17.Wågberg, L., Ödberg, L., Lindström, T. and Aksberg, R. 1988. Kinetics of adsorption and ion-exchange reactions during adsorption of cationic polyelectrolytes onto cellulosic fibers, J. Coll. Interf. Sci. 123:,1.,287-295.
18.Wan, J., Yang, J., Ma, W. and Wang, Y. 2011. Effects of pulp preparation and papermaking processes on the properties of OCC fibers, BioRes. 6: 2. 1615-1630.
19.Wistara, N. and Young, R.A. 1999. Properties and treatments of pulps from recycled paper, Part 1: Physical and chemical properties of pulps, Springer publisher, Cellulose, 6: 4. 291-324.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 20 (3), 2013
http://jwfst.gau.ac.ir

Strength improvement of OCC by thermal and chemical treatments

M.A. Andalibian[1], *S. Mahdavi[2], H. Kermanian[3] and O. Ramezani[3]
[1]M.Sc. Student, Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Shahid Beheshti, Zirab Branch, Iran, [2]Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Iran, [3]Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, University of Shahid Beheshti, Zirab Branch, Iran
Received: 08/06/2012; Accepted: 12/10/2013

Abstract

This study was carried out to provide improvement of recycled paper strength made from OCC. Chemical treatment of OCC pulp was carried out using 1% sodium chloride as ion exchange stage and then extraction by 3% and 5% sodium hydroxide based on oven dried pulp. Slurry temperature during the chemical reaction was adjusted to 25 and 70 °C. Handsheets were made based on a new standard method by KCL sheet former using a closed water system. Water retention value (WRV), sheet density and strength were measured to characterize the treated fiber properties. No significant differences in WRV were found among control and treated pulps despite of maximum increasing of 25% applying 3% NaOH, ionic exchange and room temperature. The mentioned condition was selected as the best condition which significantly improved apparent density, burst strength, tear strength and RCT.

Keywords: OCC, Alkali treatment, Ionic exchange, WRV, Paper strength

* Corresponding Author; Email: smahdavi@rifr-ac.ir