

تأثیر پالایش بر بهبود ویژگی‌های کاغذ تست لاینر حاصل شده از کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC)

محمدامین عندلیبیان^۱، سعید مهدوی^{۲*}، حسین کرمانیان^۳ و امید رضائی^۳

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی

۲- نویسنده مسئول، استادیار صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، پست الکترونیک: smahdavi@rifr-ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۰

چکیده

در این پژوهش، بهبود مقاومت‌های کاغذ تست لاینر، از طریق پالایش خمیر کاغذ بازیافتی (OCC) مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا، الیاف تشکیل‌دهنده کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) مورد استفاده یک کارخانه بازیافت کاغذ کشور مورد آنالیز کمی و کیفی قرار گرفت و مقدار الیاف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ آن به ترتیب ۶/۲۲ و ۶۰ درصد تعیین شد. پالایش خمیر کاغذ با یک دستگاه کوبنده ولی (Valley) تا رسیدن به درجه‌روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادا انجام شد. پس از ساخت کاغذ دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع، دانسیته ظاهری، قابلیت عبور هوا و مقاومت‌های ترکیدن، تاشدن، پاره‌شدن، کشش و خردشوندگی حلقوی آن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که همه ویژگی‌های مذکور در خمیر کاغذ پالایش شده نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. به طوری که مقایسه این ویژگی‌ها با ویژگی‌های کاغذ تست لاینر استاندارد ملی ایران، حکایت از افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن (۳۳ درصد)، شاخص مقاومت به کشش (۵۰ درصد)، شاخص مقاومت به پاره‌شدن (۱۱۷ درصد) داشت. همچنین مقاومت به خرد شوندگی حلقوی خمیر پالایش شده نسبت به نمونه شاهد ۲۸ درصد افزایش یافت. با توجه به این نتایج، می‌توان کاغذ تست لاینری با کیفیت و مقاومت‌های مطلوب در کشور تولید کرد و حتی زمینه صادرات این نوع کاغذها را نیز فراهم نمود.

واژه‌های کلیدی: ورق کارتن کهنه، آنالیز الیاف، پالایش، کاغذ تست لاینر، ویژگی‌های فیزیکی، مقاومت‌های کاغذ.

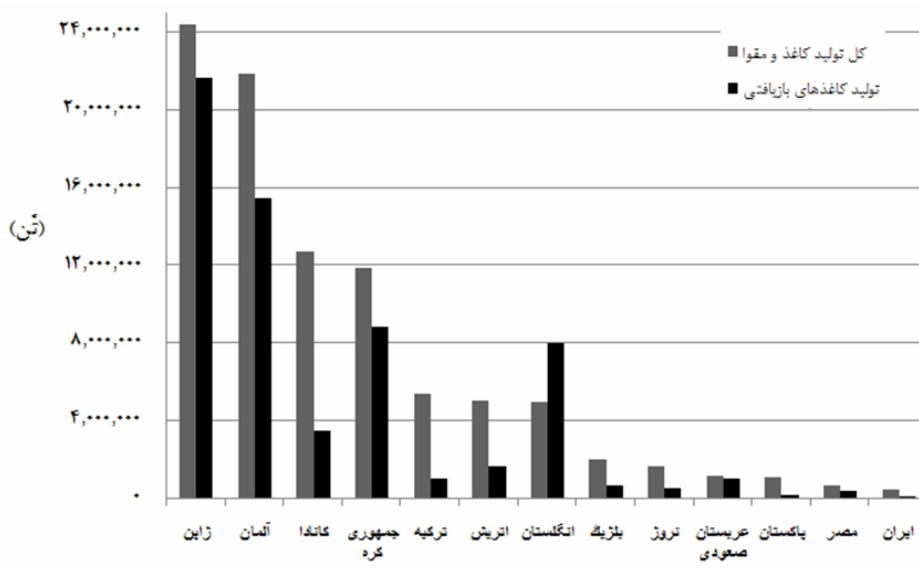
مقدمه

بازیافت کاغذ و محصولات کاغذی نیز از جایگاه خوبی برخوردار می‌باشد. به طوری که بسیاری از کشورهای تولیدکننده کاغذ که قبلاً از منابع چوبی و یا سایر منابع لیگنوسلولزی برای تولید خمیر دست اول استفاده کرده‌اند، امروزه به جمع‌آوری و بازیافت کاغذ و حتی واردات

مقوله بازیافت، امروزه در دنیا به دلیل مسائلی مانند مشکلات اقتصادی، کمبود منابع طبیعی و افزایش جمعیت، روند قابل توجهی به خود گرفته و پیشرفت‌های زیادی در این زمینه حاصل شده است. در این میان

انگلستان، عربستان سعودی و مصر از نظر بازیافت کاغذ در مقایسه با تولید انواع کاغذ و مقوای خود بخوبی عمل کرده‌اند و حتی کشور انگلستان بیشتر از میزان تولید خمیر کاغذ و کاغذ بکر^۱ خود در سال ۲۰۱۰ میلادی، تولید انواع کاغذ بازیافتی را داشته است، که این مطلب نشان‌دهنده عملکرد بازیافت خوب و واردات کاغذ باطله از کشورهای دیگر است.

کاغذهای باطله از سایر کشورها، اقدام نموده‌اند و با استفاده از خمیرهای بازیافتی، انواع فرآورده‌های کاغذی، با مصارف ویژه را تولید و به بازار عرضه می‌نمایند. شکل ۱ نشان‌دهنده میزان کل تولید کاغذ و مقوا در کشورهای مختلف در مقایسه با میزان تولید کاغذهای بازیافتی در آن کشورها در سال ۲۰۱۰ میلادی است. همانطور که ملاحظه می‌شود، کشورهایی مانند ژاپن، آلمان، جمهوری کره،



شکل ۱- مقایسه میزان تولید انواع کاغذ و مقوا در برابر تولید انواع کاغذ بازیافتی در سال ۲۰۱۰ میلادی (FAO, 2011)

کرد. تست لاینر کاغذی است که اساساً از کاغذ باطله تهیه شده و کاغذ ساخته شده از آن برای ایجاد سطحی صاف به منظور چسباندن ورق کنگره‌ای یا تولید مقوای پر^۳ کاربرد دارد. این کاغذ اغلب دو لایه بوده و جرم پایه‌ای بیش از ۱۲۵ گرم بر متر دارد. این کاغذ نسبت به کاغذ کرافت دارای کیفیت پایین‌تر و مقاومت کمتری است.

در این میان، ایران با تولید ۴۲۱۰۰۰ تن انواع کاغذ و مقوا در سال ۲۰۱۰ میلادی، در مقوله بازیافت تنها موفق به تولید انواع کاغذ بازیافتی به میزان ۸۰۰۰۰ تن بوده است (FAO, 2011). این الزام دیده می‌شود که در داخل کشور به بازیافت کاغذ به‌ویژه کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC)^۲ توجهی ویژه شود. البته موارد زیادی در این امر دخیل هستند که از جمله مهمترین این موارد می‌توان به کیفیت پایین کاغذهای بازیافتی تولید شده (به خصوص کاغذ تست لاینر) از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی اشاره

1- Virgin

2- Old Corrugated Container (OCC)

3- Solid board

این محققان در ادامه، عوامل کاهش مقاومت خمیر کاغذ در اثر بازیافت را شامل: تغییر در ابعاد الیاف، تغییر در ترکیب شیمیایی لیف، تخریب سلولز و کاهش در اتصال بین فیبری بر اثر پدیده استخوانی شدن می‌دانند.

قابلیت کاغذسازی خمیر کاغذهای شیمیایی بازیافتی را می‌توان به وسیله پالایش تا حد مشابه خمیر کاغذهای بکر تغییر داد. در این حالت، هدف اصلی از پالایش، بهبود قابلیت تشکیل پیوند بین الیاف به وسیله واکنش‌دهی مجدد در دیواره الیاف می‌باشد. زیرا این قابلیت هنگام خشک کردن الیاف از بین رفته بود (جهان‌تیباری و همکاران، ۱۳۸۶). در اصل آنچه در عملیات پالایش ایجاد می‌شود، ورود یک سری تنش‌های کششی، فشاری و برشی بر روی الیاف است. این نیروها اثرهای خاصی بر روی الیاف ایجاد می‌کنند، که نخستین اثر، خروج جزئی دیواره اولیه از دیواره سلولی لیف است. اگرچه دیواره اولیه در برابر آب نفوذپذیر است، اما واکنشیده نمی‌شود. با خروج این لایه دیواره ثانویه در برابر آب برهنه شده، واکنشیده می‌شود و انعطاف‌پذیری آن افزایش می‌یابد. با ادامه فرایند لیفی شدن، پیوندهای بین لیفی سست‌تر می‌شوند و ریز لیفچه‌های ظریف به روی سطح الیاف می‌آیند؛ در نتیجه سطح کل الیاف پالایش شده افزایش می‌یابد و قابلیت پیوند لیف بیشتر می‌شود. در جریان پالایش، تقریباً همیشه تا حدودی شکستن و کوتاه شدن الیاف بر اثر عمل برشی برآمدگیها و شیارهای دیسک پالاینده پیش می‌آید. شکسته شدن الیاف معمولاً پدیده نامناسبی به حساب می‌آید، چون سبب کندی مراحل شستشو و کاهش استحکام الیاف می‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲).

اساساً مقاومت‌های خمیر کاغذ بازیافتی کم است و دلایل مختلفی برای کاهش مقاومت‌های این خمیر ذکر شده است. از جمله این عوامل، می‌توان به کاهش انعطاف‌پذیری الیاف به علت خشک شدن الیاف در مرحله اول کاغذسازی اشاره کرد. به طور معمول مشخص شده است که طی خشک شدن الیاف بکر، دیواره سلولی با افزایش شکل‌گیری پیوند هیدروژنی بهم می‌ریزد و در طی خشک کردن‌های متوالی، همه پیوندهای هیدروژنی موجود شکسته نمی‌شوند. این امر قابلیت تورم الیاف را کاهش می‌دهد. الیاف ثانویه با تورم کمتر همانند الیاف بکر انعطاف‌پذیر نیستند و در نتیجه قابلیت مقاومتی خمیر کاهش می‌یابد (Hrutfiord & Freeland, 1994).

عوامل اصلی کاهش مقاومت در خمیر کاغذهای بازیافتی را شامل: کاهش در سطح نسبی اتصال الیاف و کاهش در مقاومت اتصال بین فیبری (به علت سخت شدن الیاف در اثر پدیده استخوانی شدن^۱) دانسته‌اند. همچنین مهمترین تأثیر بازیافت را بر روی ویژگی‌های اتصالات بین فیبری الیاف سلولزی می‌دانند. این اتصالات، از طریق اندازه‌گیری مقاومت کششی خود را نمایان می‌کنند. Grag و همکاران (۲۰۰۶) کاهش مقاومت کششی کاغذ را با افزایش تعداد دفعات بازیافت آن گزارش نموده‌اند. سایر ویژگی‌های کاغذ نیز که به اتصال بین فیبری الیاف بستگی دارد، نظیر دانسیته کاغذ و قابلیت عبور هوا^۲، که در کاغذ بازیافتی کاهش می‌یابد. همچنین معتقدند که کاهش مقاومت در خمیرهای شیمیایی نسبت به خمیرهای مکانیکی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. به گونه‌ای که کاهش در مقاومت کششی خمیرهای شیمیایی بین ۱۰٪ تا ۷۰٪ گزارش شده است.

1 - Hornification

2 - Gurley

مقاومت به پارگی آنها را کاهش می‌دهد. با استفاده از معادلات نرمال‌سازی نیز مشخص شد که پالایش خمیر کاغذ با ۹۰۰۰ دور کوبنده PFI، به لحاظ مجموع صفات، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

برای پیش‌بینی رفتار خمیر کاغذ در پالایش‌دهنده‌های صنعتی از روش کوبیدن آزمایشگاهی خمیر کاغذ استفاده می‌شود. نوع خمیر کاغذ و روش کوبیدن در کمیت و کیفیت پالایش مؤثرند. نتایج نشان می‌دهند که کوبنده ولی (Valley) مشابه با پالایش‌دهنده مخروطی عمل می‌کند و به شرایط پالایش صنعتی نزدیکتر است. تفاوت‌های بین کوبنده PFI و Valley برای خمیرهای سوزنی‌برگ نسبتاً بیشتر است (Levlin & Söderhjelm, 2000). عوامل زیادی بر نتایج حاصل از کوبیدن آزمایشگاهی خمیر کاغذ تأثیر گذارند که شرایط مکانیکی کوبنده و مخصوصاً وضعیت لبه تیغه‌های آن نیاز به کنترل دقیقی دارد. کالیبره کردن و شرایط نگهداری کوبنده ولی دشوارتر از کوبنده PFI است (Smook, 1992). یکی از مزیت‌های کوبنده ولی استفاده از مقدار نسبتاً زیاد خمیر کاغذ (۳۶۰ گرم خمیر بر مبنای وزن خشک) است که امکان نمونه‌گیری از خمیر کاغذ را در هنگام پالایش در فواصل زمانی مشخص فراهم می‌کند و ترسیم منحنی کاملی از روند پالایش یک خمیر کاغذ را با یک بار کوبیدن میسر می‌نماید (Levlin & Söderhjelm, 2000). این کوبنده عمدتاً دیواره اولیه الیاف را جدا نموده و موجب فیبریلاسیون داخلی و خارجی بیشتر و حتی شکستن تعداد قابل توجهی از الیاف در مقایسه با سایر کوبنده‌ها می‌شود (Levlin & Söderhjelm, 2000). ویژگی‌های مشخص آب مورد استفاده نظیر pH، مقدار الکترولیت و دما بر نحوه پالایش خمیر و تورم دیواره الیاف مؤثرند.

خمیر کاغذهای بازیافتی دو ضعف مهم دارند، اول آنکه میانگین طول الیاف آنها کوتاه‌تر بوده و دوم اینکه به دلیل وجود نرمه‌ها، درجه روانی آنها کمتر است. البته کاهش درجه روانی، به دلیل حضور نرمه‌ها فقط مختص کاغذهای مکانیکی بازیافتی است، زیرا درجه روانی خمیر کاغذهای شیمیایی پس از بازیافت افزایش می‌یابد. باید متذکر شد که پالایش الیاف بازیافتی به افزایش میزان نرمه‌ها و کم شدن طول الیاف می‌انجامد. هر چند بعضی نظرات دلیل این پدیده‌ها را زیاد شدن قابلیت شکنندگی الیاف می‌دانند، ولی در واقع هیچ شواهدی وجود ندارد که نشان دهد الیاف بازیافتی شکننده‌تر یا ضعیف‌تر از الیاف بکر هستند (جهان‌تیباری و همکاران، ۱۳۸۶).

یکی از روش‌هایی که می‌تواند باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی در الیاف بازیافتی شود، تیمار مکانیکی خمیر کاغذ یعنی پالایش است. هنگامی که الیاف پالایش می‌شوند، آنها به طور تصادفی و مکرراً تحت نیروهای کششی، فشاری، خمشی و برشی قرار می‌گیرند، که ویژگی‌های الیاف را اصلاح می‌کند. به دنبال این اصلاح، مساحت سطحی الیاف افزایش می‌یابد. به علت افزایش فیبریله شدن و افزایش قابلیت واکنشیدگی، انعطاف‌پذیری الیاف نیز بیشتر می‌شود، در نتیجه پیوند بین فیبری الیاف بهبود می‌یابد و نهایتاً شاخص مقاومت به ترکیدن و کشش بیشتری حاصل می‌شود. ولی در نتیجه این افزایش، شاخص مقاومت به پارگی الیاف هنگامی که پالایش شدیدتر اتفاق می‌افتد، کاهش می‌یابد (Pala, 2007). نوری و همکاران (۱۳۸۷) در پالایش خمیر کاغذ بازیافتی کرافت لاینر نتیجه گرفتند که میزان پالایش، مقاومت به ترکیدن، کشش و روشنی کاغذهای کرافت لاینر بازیافتی را افزایش، ولی درجه روانی، ضخامت و

درجه‌روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر (CSF) با پالایشگر آزمایشگاهی ولی^۲ طبق استاندارد اسکن (C 25:76) انجام شد. بر این اساس، ۳۶۰ گرم خمیر کاغذ (بر مبنای جرم خشک) با درصد خشکی ۱/۵ درصد مورد پالایش قرار گرفت. پس از پالایش، کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع، مطابق با استاندارد اسکن (M5:67) و با استفاده از دستگاه ورق‌ساز نوع KCL انجام شد. این دستگاه طبق استاندارد ISO 3788-3 (۲۰۰۸) مورد اصلاح قرار گرفته و قابلیت ساخت کاغذ دست‌ساز با سیستم بسته آب و گردش نرمه‌ها را بیان می‌کند. هدف از این عمل، برگرداندن نرمه‌های موجود در خمیر کاغذ با استفاده از سیستم بسته آب می‌باشد. این نرمه‌ها در خمیر کاغذهای مکانیکی و بازیافتی که سهم قابل توجهی را شامل می‌شوند، در هنگام ساخت کاغذ از توری دستگاه عبور کرده و موجب کاهش بازده تولید و تغییرات قابل توجهی در ساختار کاغذ می‌شوند.

نتایج

در این بخش به نتایج بدست آمده مربوط به آنالیز کمی و کیفی خمیر کاغذ کارتن کهنه و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز ساخته شده پرداخته می‌شود.

این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر پالایش بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی (OCC) به منظور بهبود مقاومت‌های کاغذ تولید شده انجام گردیده است.

مواد و روشها

در این پژوهش، خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) از کارخانه افرنگ‌نور واقع در شهر صنعتی آمل تهیه گردید. خمیر کاغذ پس از حمل به محیط آزمایشگاه به منظور خارج کردن آلاینده‌های مختلف و میکروب‌ها برای جلوگیری از کپک‌زدگی بر روی الک ۴۰۰ مش مورد شستشو قرار گرفت و بعد از آن خمیر آبیگری شده (با حفظ نرمه‌ها) و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد و تا موقع مصرف، در یخچال با دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. در ابتدا آنالیز کمی و کیفی بر روی الیاف آن بر اساس استاندارد شماره T401 om-03 Tappi انجام شد. این روش دستورالعملی برای شناسایی انواع الیاف موجود در نمونه خمیر، کاغذ یا مقوا و تخمین سهم کمی آنها می‌باشد. این استاندارد شامل تجزیه درجات مختلف کاغذ، رنگین‌سازی آنها، آماده‌سازی اسلاید و شناسایی الیاف با تکنیک‌های رنگ‌سازی ویژه می‌باشد. این روش برای شناسایی کیفی و آنالیز کمی انواع خمیر کاغذ کاربرد دارد ولی طبق گزارش‌های موجود برای خمیرهای با پالایش زیاد و یا دارای الیاف بازیافتی، آنالیز الیاف مشکل است. پس از این مراحل، درجه‌روانی اولیه خمیر با استفاده از استاندارد T227 om-04 آیین‌نامه Tappi به وسیله دستگاه تعیین درجه‌روانی بر حسب استاندارد کانادایی (CSF)^۱ تعیین گردید. پالایش خمیر کاغذ کارتن کهنه (OCC) برای رسیدن به

2 - Valley beater

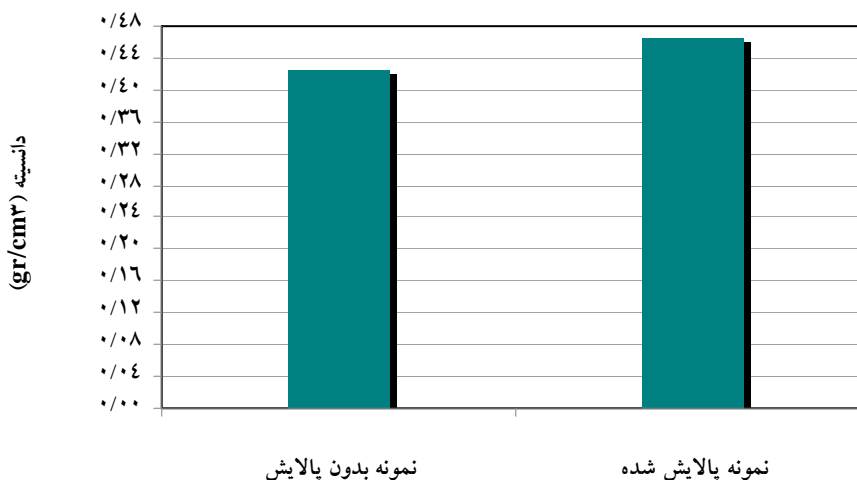
1 - Canadian Standard Freeness

جدول ۱- آنالیز کمی و کیفی الیاف خمیر کاغذ کارتن کهنه (OCC)

خمیر پهن برگ		خمیر سوزنی برگ				
خمیر رنگ‌بری نشده	خمیر رنگ‌بری شده	خمیر رنگ‌بری نشده	خمیر رنگ‌بری شده	مکانیکی	سولفیت	کرافت
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
۱۰/۶۷	۱۱/۹۲	۶/۲۲	۶/۹۳	۴/۶۲	۲۶/۷	۱۵/۵
%۲۲/۵۹		%۱۷/۷۷			%۴۲/۲	

محاسبه می‌شود. این ویژگی از آن جهت حائز اهمیت است که بسیاری از ویژگی‌های کاغذ مانند مقاومت در برابر کشش، مدول الاستیسیته، ضریب پخش نور و سطح نسبی پیوند بین الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به علاوه، دانسیته ظاهری بستگی به شرایط فرایند کاغذسازی مانند نوع الیاف و رنگدانه‌ها، پالایش، پرس‌تر و اتوزنی داشته که هر یک از این عوامل منجر به رسیدن به مقدار مشخصی از دانسیته می‌شوند (رضانی و همکاران، ۱۳۸۶). افزایش حدود ۱۱ درصدی در دانسیته ظاهری نسبت به نمونه شاهد به علت فیبرله شدن بیشتر الیاف و افزایش قابلیت پیوند در الیاف حاصل شده است. در هنگام پالایش الیاف، فیبرله شدن داخلی و خارجی لیف اتفاق افتاده و این امر موجب کاهش پدیده استخوانی شدن در الیاف می‌گردد و همین‌طور موجب افزایش سطح پیوند در آنها شده و در نتیجه کاغذی با تراکم بالاتر ایجاد می‌شود. پالایش تا حدی موجب کوتاه شدن الیاف شده و افزایش میزان نرمه‌ها در خمیر کاغذ را باعث می‌شود. این نرمه‌ها، به دلیل سطح ویژه زیاد در مقایسه با الیاف، به‌ویژه در خمیر کاغذهای بازیافتی در نهایت منجر به افزایش پیوند بین الیاف در کاغذ شده و افزایش دانسیته ظاهری را به دنبال دارد (رضانی و همکاران، ۱۳۸۶).

برای تعیین میزان کمی الیاف موجود در خمیر کاغذ بازیافتی کارتن کهنه آنالیز کمی انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سهم مربوط به خمیر سوزنی برگ رنگ‌بری شده (کرافت و سولفیت) می‌باشد که در مجموع مقدار ۴۲/۲٪ را به خود اختصاص داده است، و بعد از آن خمیر پهن برگ رنگ‌بری نشده (سولفیت و سودا) با مقدار ۲۲/۵۹٪ در رده دوم قرار دارد. البته باید در نظر داشت که به‌طور کلی بین دو گروه خمیرهای سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بیشترین سهم در این فرآورده‌های کاغذی مربوط به خمیر سوزنی‌برگ می‌باشد. علت این پدیده را می‌توان وجود انواع الیاف در کاغذ باطله مورد مصرف کارخانه افرونگ نور دانست، که نه تنها از کارتن کهنه (دارای الیاف سوزنی‌برگ بیشتر) بلکه از کاغذهای چاپ و تحریر وارداتی و مجلات نیز برای ساخت کاغذ بازیافتی (تست‌لاینر) استفاده می‌شود. در شکل ۲ نتیجه مربوط به مقایسه دانسیته ظاهری کاغذهای دست‌ساز را می‌توان ملاحظه نمود. با انجام پالایش، دانسیته ظاهری کاغذ افزایش یافته است. دانسیته ظاهری، جرم به ازای واحد حجم کاغذ یا مقوا می‌باشد که به صورت، نسبت بین جرم پایه به ضخامت کاغذ بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب



شکل ۲- مقایسه دانسیته ظاهری خمیر کاغذ شاهد و پالایش شده

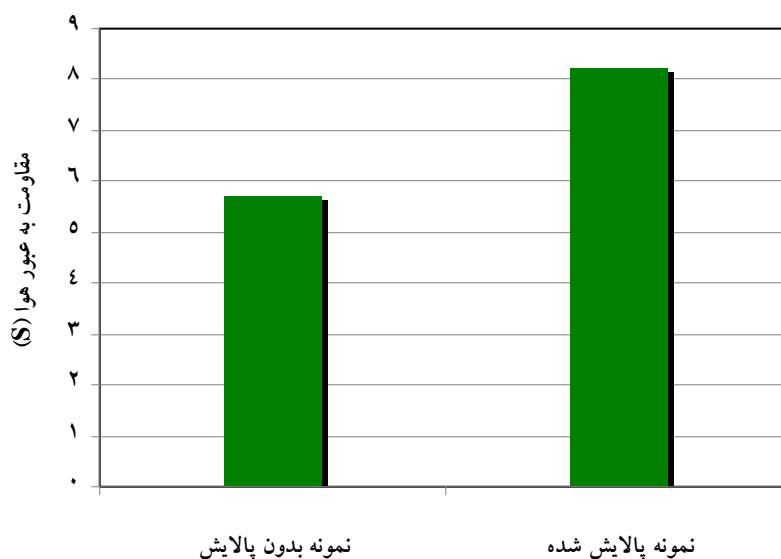
وجود نرمه‌ها در این حالت باعث ایجاد یک کاغذ با خلل و فرج کمتر نسبت به حالت پالایش نشده است، که در نتیجه آن قابلیت عبور هوای آن کمتر می‌گردد (رمضانی و همکاران، ۱۳۸۶).

در شکل ۴ سمت چپ می‌توان میزان شاخص مقاومت به کشش برای کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ بازیافتی OCC در حالت بدون پالایش و پالایش شده را مشاهده کرد، که نشان می‌دهد شاخص مقاومت به کشش افزایشی در حدود ۴۵٪ داشته است. مقدار معین شده این شاخص در استاندارد ملی ایران (۳۰۵۴) برای کاغذ تست لاینر در جهت ماشین (MD) برابر با ۲۹/۵ نیوتن متر بر گرم است، در حالی که در این پژوهش برای کاغذهای دست‌ساز پالایش شده مقداری برابر با ۴۴ نیوتن متر بر گرم بدست آمده است. شاخص مقاومت به کشش به عوامل زیادی وابسته است که در نهایت همه آن عوامل به میزان قابلیت اتصال بین الیاف منتهی می‌شود. هر چه

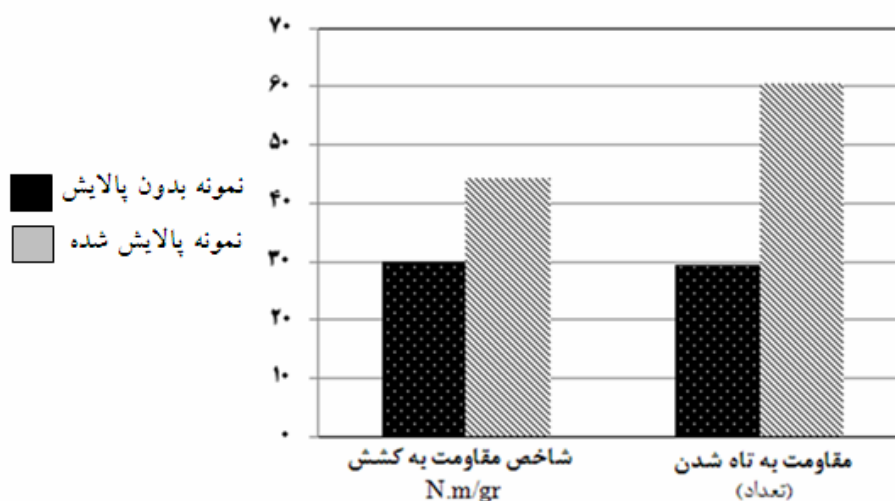
شکل ۳ نتایج مربوط به قابلیت عبور هوا را نشان می‌دهد. حدود ۵۰ درصد حجم کاغذهای معمولی را هوا تشکیل می‌دهد. مقداری از این هوا در درون الیاف وجود دارد اما بیشتر حجم این هوا درون خلل و فرجی است که در ساختار کاغذ وجود دارد. میزان مقاومت کاغذ به عبور حجم مشخصی از هوا را از یک طرف کاغذ به طرف دیگر آن را قابلیت عبور هوا می‌گویند، که بر حسب واحد زمان (ثانیه) اندازه‌گیری می‌شود. هرچه زمان عبور هوا از میان کاغذ بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که کاغذ دارای قابلیت عبور هوای کمتری است. این قابلیت به عوامل گوناگونی از قبیل قابلیت پیوندیابی الیاف، قابلیت لهیدگی الیاف، انعطاف‌پذیری الیاف و شکل‌گیری کاغذ بستگی دارد. افزایش ۴۴ درصدی حاصل از انجام پالایش بر روی خمیر کاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) نشان‌دهنده انعطاف‌پذیر شدن بهتر الیاف می‌باشد، که بر اثر فیبریله شدن الیاف و افزایش واکشیدگی آنها بر اثر پالایش ایجاد شده است. افزایش سطح ویژه بیشتر الیاف و همچنین

پالایش یکی از مهمترین روش‌ها برای کاهش پدیده استخوانی شدن می‌باشد که در هنگام خشک کردن اولیه در الیاف تشکیل‌دهنده ورق کاغذ بوجود می‌آید که در شکل ۲ تأثیر پالایش به خوبی قابل رؤیت است.

این قابلیت بهتر باشد میزان مقاومت به کشش نیز بیشتر است. افزایش فیبریلاسیون خارجی و داخلی و همچنین افزایش انعطاف‌پذیری الیاف موجب می‌شود تا الیاف با یکدیگر سطح پیوند بیشتری داشته باشند و استحکام ورقه کاغذ تولید شده بالاتر رود (Grag & Singh, 2006).



شکل ۳- مقایسه قابلیت عبور هوای خمیر کاغذ شاهد و پالایش شده

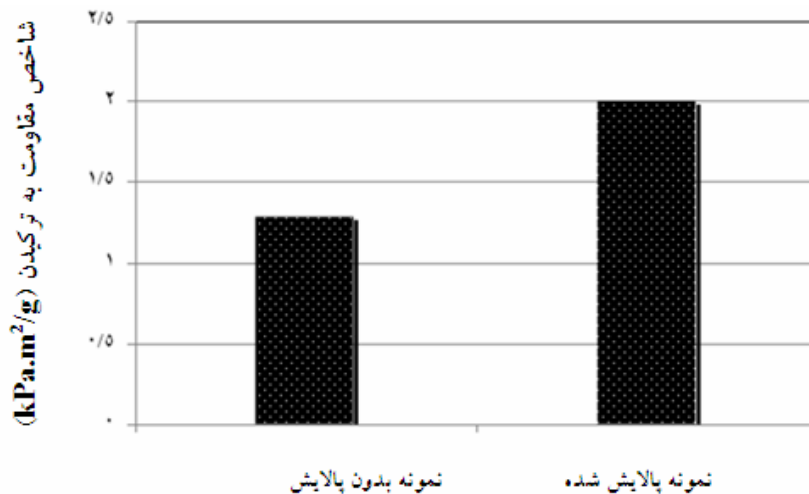


شکل ۴- مقایسه شاخص مقاومت به کشش و مقاومت به تاشدن خمیر کاغذ شاهد و پالایش شده

مناسبتی را در ورق تشکیل دهنده کارتن داشت و دوام بیشتری را در قسمت‌های تاشونده این محصول بوجود آورد.

در شکل ۵ می‌توان نتایج مربوط به مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز را مشاهده کرد. ملاحظه می‌شود که در حالت پالایش شده افزایش حدود ۵۶ درصدی حاصل شده است. به‌طورکلی، از آزمون ترکیدن به‌عنوان بیان شاخصی کلی و ساده از میزان مقاومت و سفتی کاغذ استفاده می‌شود. مقاومت به ترکیدن از آزمون‌های مهم برای کاغذهای تست لاینر می‌باشد و دیده شده که پالایش به دلیل افزایش انعطاف‌پذیری الیاف و ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر در بین الیاف موجب افزایش پیوندها شده (نوری و همکاران، ۱۳۸۷) و کاغذ مستحکم‌تری را ایجاد می‌کند.

مقاومت به تاشدن یکی از پیچیده‌ترین مقاومت‌های کاغذ و مقوا می‌باشد. به طوری که در این آزمون، ترکیبی از مقاومت‌کششی، کشیدگی، انحناء‌پذیری، مقاومت به فشار و دیگر تنش‌های برشی و تغییر طول‌نسبی اندازه‌گیری می‌شود. کاغذ پس از بازیافت مقاومت‌های خود را به طور چشمگیری از دست می‌دهد. یکی از این مقاومت‌ها که افت زیادی بعد از بازیافت دارد، مقاومت به تاشدن می‌باشد (افرا، ۱۳۸۵). در سمت راست شکل ۴ می‌توان نتایج مربوط به مقاومت به تاشدن را مشاهده نمود. پس از پالایش افزایش چشمگیری در این مقاومت ایجاد شده است، به طوری که تعداد دفعات تاشدن بعد از پالایش به دو برابر خود رسیده است، که دلیل اصلی آن را می‌توان افزایش پیوندیابی بین الیاف و افزایش نسبی سطح اتصال الیاف عنوان کرد. بدین وسیله، می‌توان خط تاشی



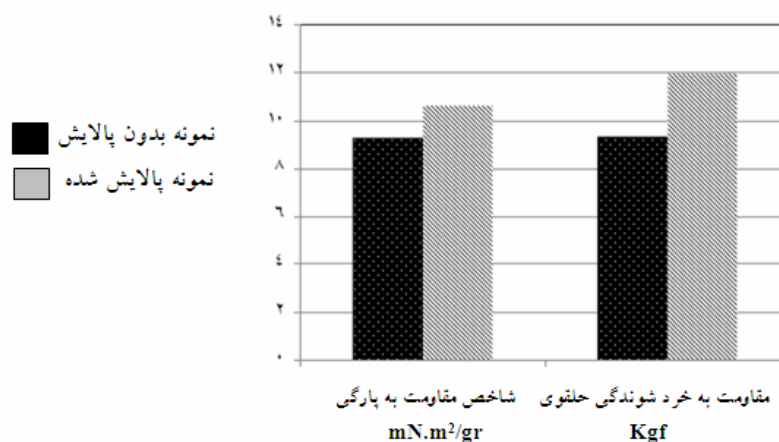
شکل ۵- مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ شاهد و پالایش شده

گرم تعیین شده است (استاندارد ملی ایران، ۳۰۵۴). در حالی که در این پژوهش با اعمال پالایش تا درجه روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر به عدد ۱۰/۶ میلی‌نیوتن مترمربع بر گرم

در سمت چپ شکل ۶ نتایج مربوط به شاخص مقاومت به پارگی دیده می‌شود. حداقل شاخص مقاومت به پارگی برای کاغذ تست لاینر ۵ میلی‌نیوتن مترمربع بر

دست یافتیم. نسبت ترکیبات انواع الیاف موجود در خمیر کاغذ کارخانه احتمالاً یکی از دلایل افزایش این شاخص بعد از پالایش می‌باشد. همچنین درجه روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر به‌عنوان یک پالایش ملایم ایجاد نرمه‌های کمتری را بدنبال داشته و موجب افزایش مقدار فیبر پاره شده الیاف شده است و مقدار شاخص مقاومت به پارگی را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است.

با اعمال شرایط بهینه پالایش می‌توان مقاومت‌های خمیر کاغذ بازیافتی OCC را به محدوده خمیر کاغذ بکر رساند. آنها با تغییر متغیرهای پالایش توانستند مقاومت‌های کششی و ترکیب خمیر کاغذ OCC (حاوی ۶۰٪ خمیر کاغذ کرافت) را به ترتیب حدود ۴۵ و ۵۰ درصد افزایش دهند.



شکل ۶- مقایسه شاخص مقاومت به پارگی و مقاومت به خردشوندگی حلقوی (RCT) خمیر کاغذ شاهد و پالایش شده

واکشیدگی، انعطاف‌پذیری و افزایش لهیدگی در الیاف بازیافتی می‌شود، همچنین با ایجاد فیبر یلاسیون خارجی و داخلی در الیاف سطح پیوند بیشتری ایجاد می‌کند و قابلیت اتصال بین الیاف را افزایش می‌دهد. در نهایت کاغذی با سطح پیوند بیشتر، خلل و فرج کمتر، متراکم‌تر و با مقاومت‌های بالاتر تولید می‌شود.

بحث

امروزه با افزایش هرچه بیشتر محصولات کاغذی و کاهش قابل توجه منابع سلولزی به‌ویژه کاغذهای بسته‌بندی، لزوم بازیافت این نوع کاغذها بیش از پیش

در سمت راست شکل ۶ نتایج مربوط به مقاومت به خردشوندگی حلقوی (RCT) آورده شده است. این آزمون میزان مقاومت یک نوار کاغذ باریک حلقوی شده را در برابر فشار وارده به لبه آن نوار را اندازه‌گیری می‌کند. عوامل زیادی بر این مقاومت تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان جهت یابی الیاف، تراکم الیاف، پیوندیابی الیاف و میزان سختی کاغذ را نام برد. این مقاومت یکی از شاخص‌های اصلی برای ارزیابی کیفیت مقاومتی کاغذ تست لاینر می‌باشد. شکل ۶ نمایانگر افزایش ۲۸ درصدی در این مقاومت برای نمونه پالایش شده نسبت به نمونه شاهد است. پالایش موجب افزایش

منابع مورد استفاده

- جهان لتیباری، ا.، خسروانی، ا. و.، رحمانی نیا، م. ۱۳۸۶. فناوری بازیافت کاغذ، نشر آرویج (ترجمه)، ۵۴۰ صفحه.
- میرشکرایی، ا. ۱۳۸۲. فناوری خمیر و کاغذ (ترجمه)، نشر آبیژ، ۵۰۱ صفحه.
- نوری، ح.، قاسمیان، ع.، شالبافان، ا. و حاجی حسینی، ر. ۱۳۸۷. تعیین حد مطلوب پالایش کاغذ حاصل از کرافت لاینر بازیافتی، دو فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، جلد ۲۳، شماره ۱.
- رضوانی، ا.، جهان لتیباری، ا.، فائزی پور، م.، عنایتی، ع. ا. و منظورالاجداد، س.م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر متغیرهای فرآیندی کاغذسازی بر دانسیته ظاهری کاغذ بازیافتی از کارتن کهنه، دو فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، جلد ۲۲، شماره ۱.
- افرا، ا. ۱۳۸۵. مبانی ویژگی‌های کاغذ (ترجمه)، نشر آبیژ، ۳۳۸ صفحه.
- کاغذ لاینر- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، ۱۳۷۶. تجدید نظر اول، چاپ سوم، سازمان ملی استاندارد ایران.
- FAO web site, <http://www.faostat.fao.org> (available in 27 September 2011).
- Freeland S. A., and Hrutford B. F., 1994. Caustic treatment of OCC for strength improvement during recycling, *Tappi J.*, Vol 77, No (4).
- Grag, M., and Singh, P., 2006. Reasons of strength loss in recycled pulp, *Appita J.*, Vol 59, No (4)
- Levlin, J.E., and Söderhjelm, L., 2000. *Pulp and Paper Testing.* Helsinki University of Technology, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, Book 17.
- Nazhad, M., and Awadel-karim, S., 2001. Possibilities for upgrading OCC pulp, 55th Appita annual conference, proceeding.
- Pala, H., 2007. Refining and enzymatic treatment of secondary fibers for paperboard production: cyberflex measurements of fiber flexibility.
- Standard test methods for pulp and paper properties, by TAPPI test method, 2007
- Standard test method for forming sheets for testing physical properties of pulp, *Annual book of Scan*, M 5:67, 1967.
- Smook, G. A., *Handbook for Pulp & Paper Technologists*, 2nd edn., Angus Wilde, Vancouver, 1992, Chap. 22.
- احساس می‌گردد. تولید کاغذ تست لاینر در مقایسه با دیگر محصولات کاغذی حاصل از عملیات بازیافت، فراورش ساده‌تر و ارزش افزوده بیشتری دارد. با استفاده از روش‌هایی نظیر پالایش الیاف بازیافتی تا درجه‌روانی معین می‌توان به سطح مطلوبی از مقاومت‌ها دست یافت و معضل بزرگ کاغذهای بازیافتی، که کیفیت مقاومتی آن پایین می‌باشد را تا حد مطلوبی مرتفع کرد. پالایش باعث می‌گردد که کاغذی محکم، متراکم و با ساختار یکنواخت ساخته شود؛ بنابراین پالایش باید به نحوی انجام گیرد که حداقل اثرهای منفی بر الیاف و کاغذ تولید شده را داشته باشد. در این پژوهش، با پالایش خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) تا درجه‌روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر (CSF) افزایش قابل قبولی در دانسیته ظاهری، قابلیت عبور هوا، شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن، مقاومت به تاشدن و مقاومت به خردشوندگی حلقوی (RCT) مشاهده شد. مقاومت‌های اصلی اندازه‌گیری شده برای کاغذ تست لاینر نظیر شاخص ترکیدن، کشش و پارگی در مقایسه با حداقل این شاخص‌ها که طبق استاندارد ملی ایران ۳۰۵۴ تعیین شده است، میزان بیشتری را نشان داد. بنابراین، پالایش خمیرکاغذ کارتن کهنه (OCC) تا درجه‌روانی ۴۰۰ میلی‌لیتر (CSF) می‌تواند تأثیر مثبتی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ تست لاینر حاصل بگذارد و با عملیاتی کردن این روش در کارخانه‌های بازیافت کاغذ کشور قادر خواهیم بود کیفیت و مقاومت کاغذهای تست لاینر و در نتیجه محصولات بسته‌بندی نظیر کارتن را افزایش داده و همچنین زمینه صادرات این نوع کاغذها را به کشورهای منطقه فراهم نماییم.

The influence of OCC pulp refining to improve the properties of test liner board

Andalibian, M.A.¹, Mahdavi, S.^{2*}, Kermanian, H.³ and Ramezani, O.³

1-M.Sc., Paper Science and Technology, University of Shahid Beheshti, Zirab Branch, Iran.

2*- Corresponding Author; Assistant Prof., Dept. of Wood and Forest Product, Research Institute of Forests and Rangelands, Iran.

E-mail: smahdavi@rifr-ac.ir

3- Assistant Prof., Faculty of New Technology, University of Shahid Beheshti, Zirab Branch, Iran.

Received: Dec., 2011

Accepted: Sep., 2012

Abstract

In this research, the possibility to improve the test liner board properties using mechanical treatments (refining) was studied. Old Corrugated Container (OCC) fibers used in a recycled paper manufacturing company were quantitatively and qualitatively analyzed and hardwood and softwood fibers content were estimated as 22.6% and 60%, respectively. The mechanical treatment of pulp fiber was performed in a Valley Beater until the target freeness of 400 ml CSF. Then hand sheets with the basis weight of 127 g/m² were made and the apparent density, Gurley air resistance, burst strength, folding endurance, Elmendorf tear strength, tensile strength and RCT were measured according to TAPPI standards. The results showed that all the properties of the refined sample increased compared to the control sample. Comparing the strength properties of the paper produced from refined pulp with the relevant values in Iranian national standards indicated the 33%, 50%, 117% increase in burst index, tensile index, and tear index, respectively. The refined pulp RCT strength increased by 28% compared to that of control sample. As the results indicated, test liner boards with suitable strength can be manufactured locally and even exported.

Key words: Old corrugated container (OCC), fiber analyze, refining, test linerboard, physical, strength