

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۳

ص ۸۲۱-۸۳۰

اثر کهنگی تسریع شده حرارتی کاغذ CMP مخلوط پهن برگان بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذ بازیافتی حاصل از آن

- ❖ حسین کرمانیان؛ استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب
- ❖ مهدی رحمانی‌نیا*؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ❖ امید رضائی؛ استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب
- ❖ مریم عبدی؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب
- ❖ نرجس خاتون مداحی؛ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب

چکیده

روزنامه باطله، به‌عنوان یکی از انواع کاغذ باطله، به‌طور معمول از کاغذهای شیمیایی- مکانیکی (CMP) ساخته می‌شود. هرچند تاکنون تأثیر افزایش عمر (کهنگی) انواع کاغذها بر ویژگی‌های مختلف خمیر کاغذهای حاصل از بازیافت آنها مورد توجه بوده، اما تاکنون پژوهش‌های اندکی درباره تأثیر پدیده کهنگی بر بازیافت روزنامه‌های باطله انجام گرفته است. در این تحقیق کاغذ روزنامه CMP پهن‌برگان با چاپ افست، در دو سطح دمایی ۵۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و دو سطح زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت تحت کهنگی تسریع‌شده حرارتی قرار گرفت. نتایج نشان داد کهنگی ایجادشده با اعمال ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت (حدود نیم دهه و بیشتر)، سبب کاهش جدی شاخص‌های مقاومت به کشش، ترک‌شدن، پاره شدن و مقاومت به تا خوردن در خمیر کاغذهای بازیافتی می‌شود. همچنین کهنگی تسریع‌شده حرارتی در ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت (معادل حدود شش ماه تا یک سال عمر کهنه شدن)، تأثیر معنی‌داری بر مقاومت‌های کلی کاغذ نشان نداد. همچنین کهنگی تسریع‌شده حرارتی هیچ تأثیری بر درجه روشنی خمیر کاغذ بازیافتی مرکب‌زدایی‌شده نشان نداد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاغذهای باطله CMP با عمری در حدود یک سال، قابلیت حفظ و حتی ارتقای ویژگی‌های مکانیکی پس از بازیافت را دارند، اما افزایش کهنگی در این نوع کاغذهای باطله به حدود نیم دهه یا بیشتر تأثیر منفی بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی دارد.

واژگان کلیدی: خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی، درجه روشنی، کاغذ باطله، کهنگی تسریع‌شده حرارتی، مرکب‌زدایی، ویژگی‌های مقاومتی.

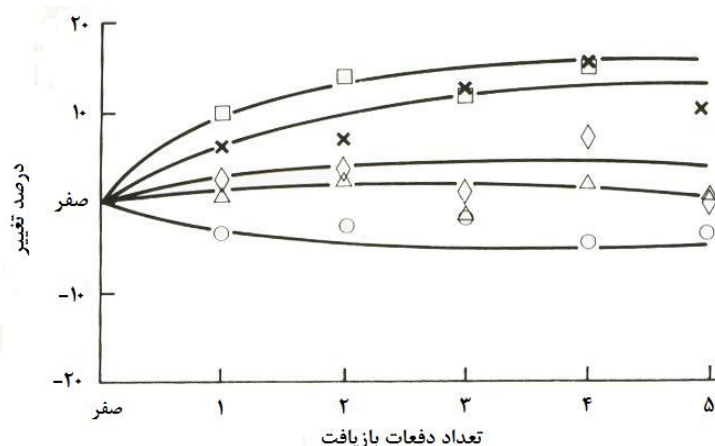
مقدمه

نسبت به سال ۲۰۰۸ حدود ۶۳ هزار تن افزایش داشته باشد. این افزایش تقاضا از طریق افزایش تولید (تولید کاغذ روزنامه از ۳۰ هزار تن در سال ۲۰۰۸ به حدود ۸۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش یافته است) و همچنین افزایش واردات کاغذ روزنامه (۱۳ هزار تن در دوره زمانی مذکور) پاسخ داده شده است. بی‌گمان این افزایش تقاضا به معنای ایجاد کاغذ روزنامه باطله بیشتر در نتیجه افزایش سهم بیشتری از ضایعات جامد شهری است [۳].

فرایند بازیافت، بسته به متغیرهای مختلف مانند نوع خمیر کاغذ (به ویژه خمیر کاغذهای شیمیایی یا مکانیکی)، ممکن است تأثیرات منفی یا مثبتی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ تولیدی داشته باشد. در این زمینه تحقیقات به نسبت زیادی در گذشته انجام گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داده‌اند که فرایند بازیافت کاغذهای شیمیایی سبب افت مقاومت‌ها در کاغذ بازیافتی حاصل از آن می‌شود؛ در حالی که شاخص‌های مقاومتی در کاغذهای بازیافتی حاصل از کاغذهای باطله مکانیکی افزایش یافتند (شکل ۱) [۴].

گسترش روزافزون جمعیت، پیشرفت‌های اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و بهداشتی در جوامع بشری و معرفی کاربردهای جدید، موجب رشد تقاضای انواع محصولات سلولزی شده است. این رشد تقاضا، فشارهای شدیدی بر جنگل‌ها به عنوان منبع اصلی تأمین نیازهای لیگنوسلولزی وارد آورده است. از این رو برای حل این معضل، راهکارهای متفاوتی لحاظ شده است که بازیافت کاغذ از مهم‌ترین آنهاست [۱]. استفاده از الیاف بازیافتی از یک سو سبب کاهش هزینه‌های تولید کاغذ می‌شود و از سوی دیگر مزایای زیست‌محیطی زیادی (کاهش دفن کاغذ به همراه سایر زباله‌های شهری و از این رو کاهش مشکلات مرتبط با این بخش، کاهش قطع درختان جنگلی و در نتیجه کاهش شدت تخریب جنگل‌ها، کاهش سوزاندن کاغذ با سایر زباله‌های شهری و آلودگی کمتر هوا) در پی دارد [۲].

بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۱۳، رشد مطالعه روزنامه در ایران سبب شده تا مصرف کاغذهای روزنامه در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال پیش از آن ۵۰ هزار تن و



شکل ۱. تأثیر دفعات بازیافت بر ویژگی‌های خمیر کاغذ مکانیکی [۴]

△ = مقاومت در برابر پارگی. ◇ = مقاومت در برابر ترک‌کشدن. × = طول پاره شدن. □ = دانسیته. ○ = ضریب پخش نور

حرارتی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت حدود ۲۵ سال کهنگی طبیعی ارزیابی شد. همچنین کهنگی تسریع‌شده حرارتی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۴۸ و ۲۴ ساعت به ترتیب در حدود یک دهه و ۷-۵ سال کهنگی طبیعی و کهنگی تسریع‌شده حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۴۸ و ۲۴ ساعت، به ترتیب در حدود یک سال و ۶ ماه کهنگی طبیعی ارزیابی شد. جابلونسکی و همکاران [۲۰] و زروس [۲۱] نیز به یک رشته تحقیقات اشاره کرده‌اند که در آنها همبستگی مشابهی بین این نوع کهنگی و کهنگی طبیعی گزارش شده است.

در این تحقیق تأثیر کهنگی تسریع‌شده حرارتی بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای بازیافتی حاصل از کاغذ روزنامه CMP پهن‌برگان بررسی شد تا مشخص شود بازیافت این نوع کاغذ با عمری حداکثر به اندازه یک دهه که حجم زیادی از کاغذهای باطله شهری در ایران را تشکیل می‌دهد، از نظر ویژگی‌های مکانیکی و نوری با چه وضعیتی روبه‌رو خواهد بود.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق، کاغذ روزنامه بشیر (روزنامه محلی استان مازندران تهیه‌شده از خمیر کاغذ CMP مخلوط پهن‌برگان جنگل‌های شمال ایران) با چاپ افست سرد انتخاب شد.

کهنگی تسریع‌شده

برای ایجاد کهنگی حرارتی، دستورالعمل‌های گوناگونی وجود دارد. در این تحقیق کهنگی حرارتی اعمال‌شده بر کاغذهای روزنامه در حالت خشک با کمک دستگاه آون مجهز به سیستم چرخش و تهویه هوا به کار گرفته شد. با توجه به تحقیقات قبلی

از طرفی عمر کاغذهای باطله متغیری است که نباید از آن غافل شد. افزایش عمر کاغذهای باطله یا همان پدیده «کهنگی» در مطالعات متعددی بررسی شده است [۵-۱۸]. در واقع کهنگی کاغذهای باطله به معنای اثرهای محیط اطراف مانند نور، دما و رطوبت بر ساختار ورقه الیاف کاغذ است. ایجاد انواع پیوند (به‌ویژه پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی) بین اجزای تشکیل‌دهنده بخش لیفی (لیگنین، سلولز و همی‌سلولزها) و همچنین اجزای چاپ‌شده (در صورت وجود) با الیاف از جمله این اثرهاست. فعال شدن گروه‌های رنگ‌ساز در اجزای لیفی خمیر کاغذ به‌ویژه لیگنین و برگشت رنگ کاغذ در خمیر کاغذهای رنگ‌بری‌شده با روش حفظ لیگنین و تجزیه اجزای لیفی مانند همی‌سلولزها به اولیگو، دی و مونوساکاریدها از دیگر پیامدهای افزایش کهنگی کاغذهای باطله محسوب می‌شوند. از این رو این عوامل می‌توانند بر کیفیت بازیافت کاغذهای باطله تأثیرگذار باشند، هرچند مقدار این تأثیر در بعضی موارد ناشناخته مانده است.

در بین خمیر کاغذهای مکانیکی، خمیر کاغذ مکانیکی - شیمیایی^۱ اهمیت زیادی در تولید کاغذهای روزنامه به‌ویژه در ایران دارد و در این میان پژوهش‌های اندکی در زمینه تأثیر فرایند کهنگی بر ویژگی‌های مکانیکی آن انجام گرفته است [۱۵، ۱۶، ۱۹].

از آنجا که بررسی پدیده کهنگی طبیعی به دلیل نیاز به صرف زمان طولانی دشوار می‌نماید، شبیه‌سازی این پدیده به صورت مصنوعی کانون توجه بوده است. در این میان به روش‌های گوناگون تسریع فرایند کهنگی مانند تسریع نوری و حرارتی می‌توان اشاره کرد [۵، ۸، ۲۰]. در گزارش منتشرشده فلر [۸]، کهنگی تسریع‌شده

این مرحله صابون استتارات سدیم به مقدار ۱ درصد (براساس وزن خشک) به خمیر کاغذ اضافه شد و فرایند خمیر کاغذسازی در خمیر کاغذساز برای ۱۰ دقیقه دیگر انجام گرفت. بعد از پایان خمیر کاغذسازی و قبل از شروع شناورسازی، pH برای همه تیمارها تقریباً بین ۹ تا ۱۱ بود.

شناورسازی

پس از آماده‌سازی خمیر کاغذ، ابتدا سلول با کمی آب پر شد. سختی آب در سلول شناورسازی به کمک کربنات کلسیم (CaCO_3) در محدوده ۴۰۰-۳۵۰ PPM تنظیم و سپس خمیر کاغذ به آن اضافه شد. درصد خشکی نهایی در سلول شناورسازی ۰/۵ درصد، pH بین ۸ تا ۹ و دمای آب درون سلول ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. بعد از ۴۰ دقیقه شناورسازی، خمیر کاغذ مرکب زدایی شده به درون ظرفی تخلیه شد. بعد از شناورسازی یک مرحله شست‌وشو بر روی غربال با مش ۲۰۰ انجام گرفت. برای جلوگیری از خروج نرمة‌ها در زیر این غربال، غربالی با مش ۴۰۰ قرار داده شد. بعد از شست‌وشو، خمیر کاغذ جمع‌آوری شده روی غربال ۲۰۰ مش با نرمة‌های موجود روی غربال ۴۰۰ مش مخلوط و سپس برای تهیه کاغذ دست‌ساز در کیسه‌های پلاستیکی به‌طور جداگانه نگهداری شد.

تعیین ویژگی‌های خمیر کاغذ

پس از اعمال کهنگی و فرایند بازیافت، ساخت کاغذ دست‌ساز مطابق با استاندارد TAPPI شماره T205 sp-02 انجام گرفت و در نهایت خواص مقاومتی کاغذ حاصل براساس استاندارد TAPPI به شماره‌های T403 om-02، T494 om-01، T414 om-04 و T423 cm-98 به ترتیب شاخص‌های مقاومت در برابر

تیمارهای زیر با سطوح متغیر دمایی و زمانی مدنظر قرار گرفتند [۵، ۸]:

- تیمار بدون کهنگی تسریع شده حرارتی (تیمار شاهد)؛
- تیمار کهنگی تسریع شده حرارتی در ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت؛
- تیمار کهنگی تسریع شده حرارتی در ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت؛
- تیمار کهنگی تسریع شده حرارتی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت؛
- تیمار کهنگی تسریع شده حرارتی در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت.

آماده‌سازی خمیر کاغذ

۱۰۰ گرم (وزن خشک) کاغذ روزنامه کهنه شده به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر خیسانده شد. به این منظور درصد خشکی خمیر کاغذسازی درصد تعیین شد. سپس به کمک هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک، pH مخلوط برای همه تیمارها حدود ۷ تنظیم شد. قبل از خمیر کاغذسازی، به میزان ۱ درصد وزن خشک نمونه، یعنی معادل ۱ گرم، هیدروکسید سدیم به نمونه اضافه شد و سپس خمیر کاغذسازی به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از خمیر کاغذساز آزمایشگاهی انجام گرفت. در ادامه با قرار دادن خمیر کاغذ در حمام آب گرم دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. از آنجا که هدف بررسی تأثیرات کهنگی بر الیاف بازیافتی حاصل از یک فرایند جامع شامل فرایند مرکب زدایی بود، فرایند حذف مرکب به روش ترکیبی (مرحله اول شناورسازی و سپس یک مرحله شست‌وشو) به کمک صابون استتارات سدیم $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COONa}$ نیز انجام گرفت. از این رو در

اتصالات محکم‌تر هیدروژنی بین رشته‌های سلولزی و در نتیجه بروز پدیده استخوانی شدن و کاهش قابلیت پیوندیابی که با کاهش مقاومت‌های مختلف مرتبط است، کافی نیست. همچنین شاید بتوان در اینجا نوع خمیر کاغذ بازیافتی را عامل تأثیرگذار دانست. همان‌طور که در تحقیقات قبلی نیز اشاره شده است، خمیر کاغذهای مکانیکی به‌علت وجود لیگنین در ساختار الیاف واکنش متفاوتی به هنگام بازیافت نسبت به خمیر کاغذهای شیمیایی از خود نشان می‌دهند. حذف مقادیری از لیگنین طی فرآوری‌های مختلف مکانیکی (عبور از خمیر کاغذساز، انواع غربال، پالایشگرها و ...) و شیمیایی (هیدروکسید سدیم، پروکسید هیدروژن و ...) در نتیجه افزایش دسترسی به رشته‌های سلولزی از دلایل این نتایج بیان شده است (شکل ۱) [۴، ۲۲]. به بیان دیگر گذشت زمان نه‌چندان زیاد و ایجاد کهنگی طبیعی در کاغذهای روزنامه CMP، مانع مهمی در استفاده از آنها از نظر این شاخص ایجاد نمی‌کند. از طرف دیگر مشاهده می‌شود که افزایش دمای تیمار کهنگی تسریع‌شده حرارتی تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت (معادل حدود نیم دهه عمر و بیشتر) واکنش متفاوتی را ایجاد می‌کند؛ به‌طوری که در کاغذهای بازیافتی حاصل، کاهش شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و کشش به چشم می‌خورد و این کاهش با افزایش زمان اعمال دما تشدید می‌شود. شاید این تیمار دمایی به‌حدی بر فرایند خشک شدن و افزایش پیوند بین الیاف مؤثر است که بازیابی قابلیت پیوندی چندان امکان‌پذیر نیست.

ترکیدن، کشش، پاره شدن و تا خوردن کاغذهای دست‌ساز حاصل بررسی شد. همچنین درجه روشنی کاغذهای مرکب‌زدایی‌شده براساس استاندارد TAPPI به شماره T452 om-02 بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS Version 9.2 استفاده شد. نتایج حاصل از ویژگی خمیر کاغذهای به‌دست‌آمده به‌کمک آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی آنها با آزمون دانکن صورت گرفت. جدول ۴ خلاصه نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

جدول ۱، به‌صورت خلاصه نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌جز درجه روشنی، تفاوت بین تیمارها در سطح ۹۹ درصد اطمینان، معنی‌دار بوده است.

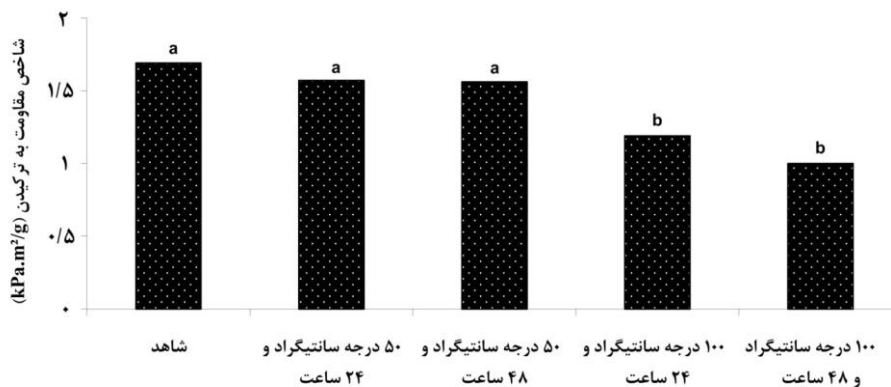
شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و کشش

شکل‌های ۲ و ۳ تأثیر کهنگی تسریع‌شده گرمایی بر شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و کشش را نشان می‌دهند. روند کاهشی این مقاومت‌ها با افزایش کهنگی مشاهده می‌شود. نکته جالب توجه، تغییر نکردن این شاخص‌ها نسبت به نمونه شاهد در تیمارهای کهنگی تسریع‌شده حرارتی ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت (معادل حدود شش ماه تا یک سال عمر) است. به‌نظر می‌رسد این مقدار کهنگی در خمیر کاغذ مکانیکی - شیمیایی پهن برگان برای تغییراتی مانند ایجاد

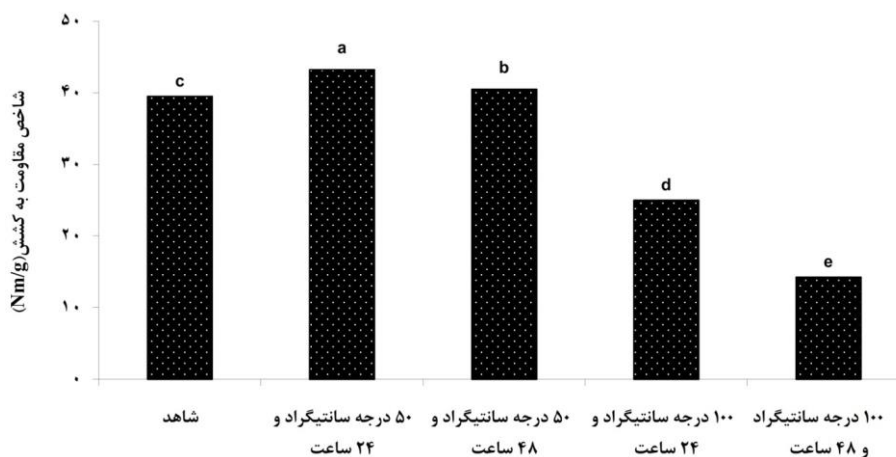
جدول ۱. خلاصه نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز

ویژگی‌ها / منبع تغییرات	شاخص مقاومت به ترکیب (kPa.m ² /g)	شاخص مقاومت به کشش (Nm/g)	شاخص مقاومت به پاره شدن (mNm ² /g)	مقاومت به تا خوردن (تعداد)	درجه روشنی (درصد)
تیمارها	**	**	**	**	ns

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد خطا
ns معنی‌دار نبودن



شکل ۲. تأثیر کهنگی تسریع‌شده حرارتی بر شاخص مقاومت به ترکیب کاغذ

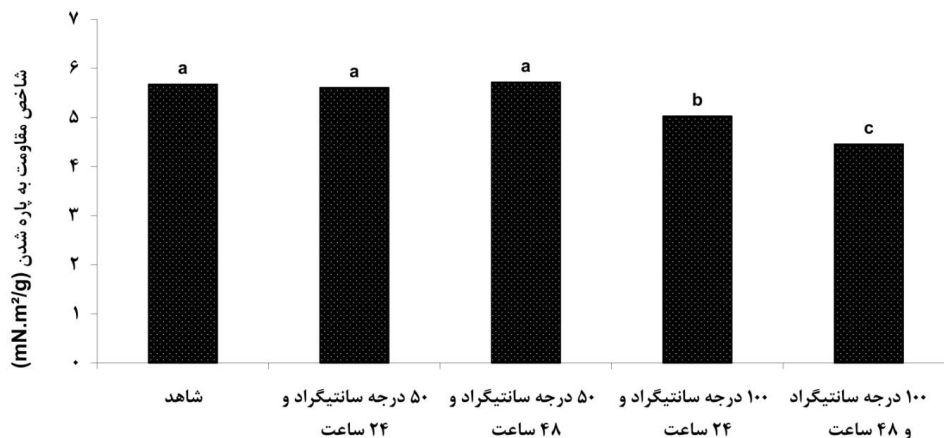


شکل ۳. تأثیر کهنگی تسریع‌شده حرارتی بر شاخص مقاومت به کشش کاغذ

شاخص مقاومت به پاره شدن

شکل ۴ تأثیر تیمارهای مختلف کهنگی بر شاخص مقاومت به پاره شدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات این شاخص مقاومتی مثل مقاومت به کشش و ترکیب است. در این ویژگی نیز کاغذهای بازیافتی حاصل از کاغذهای باطله با کهنگی تسریع‌شده حرارتی در ۵۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت چندانی با تیمار شاهد ندارند؛ اما افزایش دمای تیمار

کهنگی تسریع‌شده حرارتی تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت (معادل حدود نیم دهه عمر و بیشتر) سبب کاهش شاخص مقاومت به پاره شدن می‌شود. احتمال می‌رود به دلیل شدت فرایند کهنگی و پدیده استخوانی شدن در این حالت، الیاف با کاهش انعطاف‌پذیری بیشتری مواجه شده و طی فرایندهای مکانیکی مانند خمیر کاغذسازی، کاهش بیشتری در متوسط طول الیاف رخ داده باشد [۲۲].

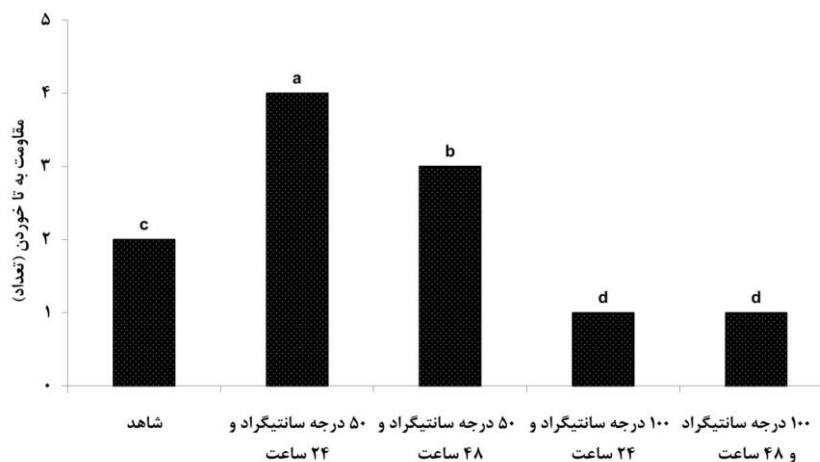


شکل ۴. تأثیر کهنگی تسریع شده حرارتی بر شاخص مقاومت به پاره شدن

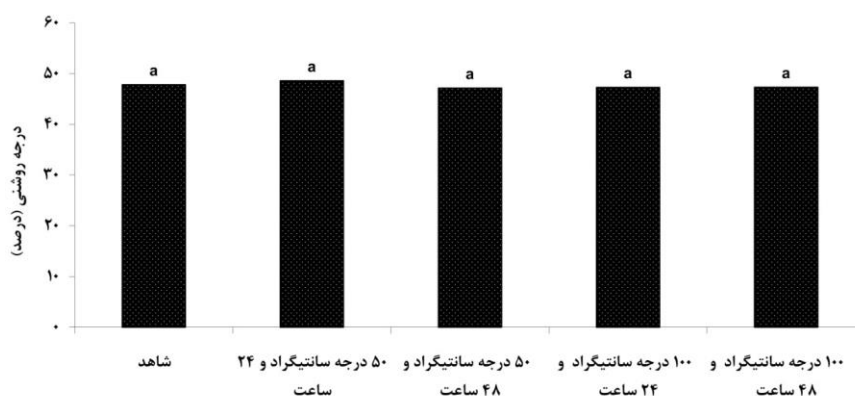
واکنش الیاف بازیافتی حاصل از کاغذهای باطله مکانیکی (افزایش انعطاف پذیری الیاف، کاهش ضخامت و افزایش دانسیته ورقه) نسبت داده می شود. در واقع در این حالت رفتار خمیر کاغذهای مکانیکی بر تأثیر منفی استخوانی شدن ناشی از کهنگی برتری داشته است. این در حالی است که در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد، افت محسوسی در این مقاومت همانند دیگر ویژگی‌های مقاومتی مشاهده می شود. به نظر می رسد شدت پدیده استخوانی شدن به حدی بوده است که به این نتایج انجامیده است.

مقاومت به تا خوردن

شکل ۵ تأثیر کهنگی تسریع شده حرارتی را بر مقاومت به تا خوردن نشان می دهد. روند کلی تأثیر تیمارها برای این ویژگی نیز مشابه دیگر ویژگی‌ها به ویژه مقاومت به کشش است. همان طور که می دانیم مقاومت به تا خوردن در کاغذهای آرشیوی به خصوص کاغذ روزنامه، نقشه‌ها، اسناد مالی و غیره بسیار مهم است. جهت گیری الیاف، نوع الیاف، درصد الیاف و ضخامت ورقه کاغذ از عوامل مهم تأثیرگذار بر این ویژگی است. مقادیر مقاومت به تا خوردن کاغذ در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد افزایش یافت که براساس توضیحات قبلی به



شکل ۵. تأثیر کهنگی تسریع شده حرارتی بر مقاومت به تا خوردن کاغذ



شکل ۶. تأثیر کهنگی تسریع شده حرارتی بر درجه روشنی الیاف مرکب‌زدایی شده

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کهنگی تسریع شده حرارتی کاغذ CMP پهن‌برگان در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (حدود نیم دهه و بیشتر عمر) سبب کاهش شاخص‌های مقاومت به ترک‌شدن، مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن و همچنین مقاومت به تا خوردن در خمیر کاغذ بازیافتی حاصل از آن می‌شود که احتمالاً شدت زیاد پدیده استخوانی شدن دلیل اصلی آن است. اما در صورت وقوع کهنگی تسریع شده حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد (تا حدود یک سال عمر)، به احتمال زیاد پدیده استخوانی شدن چندان تأثیری نخواهد داشت؛ از این رو در صورت بازیافت این کاغذ، در مواردی نه تنها ویژگی مزبور افت نمی‌کند، بلکه به علت رفتار خاص خمیر کاغذهای مکانیکی، شاهد افزایش این ویژگی‌ها خواهیم بود. همچنین وقوع کهنگی تسریع شده حرارتی در کاغذ CMP پهن‌برگان با چاپ افست سرد حتی طی مدت ده سال، تأثیر چندانی بر درجه روشنی خمیر کاغذ بازیافتی مرکب‌زدایی شده آن به روش ترکیبی نشان نداد.

درجه روشنی خمیر کاغذ مرکب‌زدایی شده

شکل ۶ بیانگر وضعیت درجه روشنی کاغذهای بازیافتی تهیه شده از کاغذهای باطله CMP است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تفاوتی بین درجه روشنی کاغذهای ساخته شده وجود ندارد. این نتایج نشان از قابلیت استفاده از کاغذهای باطله CMP با چاپ افست سرد حتی پس از وقوع کهنگی تسریع شده حرارتی دارد. احتمال می‌رود شدت کهنگی و نوع کهنگی ایجاد شده (مثلاً کهنگی تسریع شده نوری به جای کهنگی حرارتی) در این تحقیق بر مسائلی مانند برگشت رنگ لیگنین موجود در این خمیر کاغذ مکانیکی و حتی اتصال ذرات مرکب چاپ روی الیاف تأثیر اندکی داشته است. البته از قابلیت فرایند بازیافت مورد استفاده (مرکب‌زدایی ترکیبی (شناورسازی و شست‌وشو) به منظور حذف هرچه بیشتر مرکب موجود در محیط نباید غافل شد. بدین ترتیب می‌توان گفت کاغذهای باطله CMP با چاپ افست سرد، در صورت دارا بودن عمری حدود کمتر از یک دهه، الیاف بازیافتی با درجه روشنی پذیرفتنی ایجاد خواهد کرد.

References

- [1]. Khosravani, A., and Rahmaninia, M. (2012). Paper recycling, an old but still effective solution. *Lignocelluloses*, 1(3): 164-165.
- [2]. Ebrahimi, M., Ramezani, O., Rahmaninia, M., Kermanian, H., and Andalibian, M.A. (2014). Performance of amylase on properties of recycled OCC pulp pre-soaked at different pH(s). *Journal of Forest and Wood Product*, 2(67): 325-333.
- [3]. FAO Statistics. (2013). www.fao.org/statistical_databases.
- [4]. McKinny, R.W.J. (1995). *Technology of Paper Recycling*, Chapman & Hall, UK. 401 pp.
- [5]. Beitrag, E., and Bansa, H. (2002). Accelerated ageing of paper: Some ideas on its practical benefit. *Restaurator*, 23(2): 106-117.
- [6]. Bond, J.S., Atalla, R.H., Agarwal, U.P., and Hunt, C.G., (2000). The Aging of Lignin Rich Papers upon Exposure to Light: Its Quantification and Prediction. In: *Proceedings of 10th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry*, TAPPI Press, Volume III, pp. 500-504.
- [7]. El-Sakhawy, M. (2005). Effect of bleaching sequence on paper ageing. *Polymer Degradation and Stability*, 87(3): 419-423.
- [8]. Feller, R.L. (1994). *Accelerated Aging, Photochemical and Thermal Aspects*, The J. Paul Getty Trust, USA. 280 pp.
- [9]. Ganicheva, S.I., Bystrova, E.S. and Lotsmanova, E.M. (2004). Influence of thermal aging conditions on the molecular characteristics of cellulose and mechanical properties of paper. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 77 (7): 1172-1177.
- [10]. Gurnagul, N. (1995). Sodium hydroxide addition during recycling: Effect of fiber swelling and sheet strength. *TAPPI J.*, 78(2): 119-124.
- [11]. Havlinova, B., Brezova, V., Hornakova, L., Minarikova, J., and Ceppan, M. (2002). Investigations of paper aging-a search for archive paper. *Journal of Materials Science*, 37(2): 303- 308.
- [12]. Van Eperen, R.H., Schmidi, W., and Robbins, R. (1994). Effect of Aging Time on Properties of Treated And Untreated Papers, IPST Project 3875 Summary Report to the Library of Congress. Institute of Paper Science and Technology (IPST), Atlanta, Georgia, April 4. 73 pp.
- [13]. Kato, K.L., and Cameron, R.E. (1999). A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of paper and hornification. *Cellulose*, 6(1): 23-40.
- [14]. Porck, H.J. (2000). *Rate of Paper Degradation: the Predictive Value of Artificial Aging Tests*. European Commission on Preservation and Access, Amsterdam, 40 pp.
- [15]. Rahmaninia, M., Jahan Latibari, A., and Pirjani, A. (2007). The effect of newspaper aging on some physical and mechanical properties of recycled paper. *Journal of Iranian Natural Resources*, 60(1): 255-264.
- [16]. Rahmaninia, M., Jahan Latibari, A., Mirshokraei, S.A., and Azadfallah, M. (2008). The influence of newspaper aging on optical properties of its de-Inked pulp. *Turkish Journal of Engineering Environmental Sciences*, 32: 35 – 39.

- [17]. Tam, N.T., and Nazhad, M.M., (2002). Aging at tropical condition and its effect on deinking potential of ONP. In: Proceedings of TAPPI Fall Conference & Trade Fair. San Diego, California. 9 pages.
- [18]. Zervos, S. (2007). Characterization of changes induced by ageing to the microstructure of pure cellulose paper by use of a gravimetric water vapor adsorption technique. *Cellulose*, 14(4): 375–384.
- [19]. Vaysi, R., Mirshokraei, S.A., Khademi Eslam, H., and Hemmasi, A.H. (2006). Study of brightness reversion of CMP pulps of Horn Beam and Beech by thermal aging. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(4): 201-210.
- [20]. Jablonský, M., Botková, M., Šutý, S., Šmatko, L., and Šima, J. (2014). Accelerated ageing of newsprint paper: Changes in swelling ability, WRV and electrokinetic properties of fibres. *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, 22(2): 108-113.
- [21]. Zervos, S. (2010). *Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses*, A. Lejeune and T. Deprez (eds.), Nova Science Publishers, Inc., New York
- [22]. Kermanian, H., Razmpour, Z., Ramezani, O., Mahdavi, S., Rahmaninia, M., and Ashtari, H. (2013). The influence of refining history of waste NSSC paper on its recyclability. *BioResources*, 8(4): 5424-5434.