تولید مقوای چندلایه از خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه و کاربرد ذرات ریز در لایه میانی

جواد فرزانه کلورزی[۱]
امیر خسروانی[۲*]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

[۲] نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

مسئول مکاتبات:
khosravani@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

چکیده

در راستای استفاده بهینه از نرمه‌ها و قطعات الیاف و نحوه کاربرد آن‌ها در ساختار کاغذ، چند نوع مقوای چندلایه تولید شد و اثر جداسازی و انتقال نرمه‌ها و ذرات ریز به لایه وسط و یا حذف آن‌ها از لایه‌های فوقانی و تحتانی، بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی موردبررسی قرار گرفت. نتایج مشخص نمود که با حذف نرمه و تولید مقوای سه لایه بدون نرمه، مقاومت خمشی و شاخص مقاومت خمشی مقوا افزایش یافت. هرچند بررسی ویژگی حجیمی و نیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقواها نشان داد، لایه‌های بدون نرمه، حجیم و ناهموار بوده‌اند درحالی‌که افزودن نرمه به لایه‌های وسط، تراکم این لایه را بسیار زیاد نموده است. آزمون خاکستر نرمه‌ها مشخص ساخت که درصد قابل‌توجهی از نرمه‌ها و ذرات ریز را پرکننده‌ها و مواد معدنی تشکیل داده بودند. همچنین مشخص گردید که تولید مقوا با ساختار چندلایه، اثر منفی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بررسی‌شده نداشته است.

واژگان کلیدی: مقوای چندلایه، نرمه، کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، سفتی خمشی.

مقدمه

هرچند مزایای گوناگون زیست‌محیطی و اقتصادی برای استفاده مجدد از الیاف ضایعاتی در تولید مقوا برشمرده شده است، اما در اثر بازیافت به‌ویژه در کاغذهای شیمیایی، تغییراتی در کاغذ و الیاف به وجود می‌آید که این تغییرات می‌تواند در خصوصیات کاغذ تولیدی ازجمله ویژگی‌های مکانیکی تأثیر منفی بگذارد [۲،۱]. همچنین، استفاده پی‌درپی از کاغذ و بازیافت آن، باعث کوتاه شدن الیاف و تولید مقادیر زیادی نرمه و ذرات ریز در خمیرکاغذ می‌شود، به‌نحوی‌که میزان نرمه‌ها و ذرات ریز خمیرکاغذ به‌ویژه در خمیرکاغذ حاصل از بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای کهنه می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی از خمیرکاغذ را به خود اختصاص دهد. این در حالی است که درصد زیاد نرمه در فرآیند آبگیری از ورقه تر (به‌خصوص در کاغذهای با وزن پایه زیاد) اثرات منفی به دنبال خواهد داشت که این مسئله به‌خودی‌خود سبب تأثیر منفی در فرآیند تولید خواهد شد. از سوی دیگر، تجمع بیش‌ازحد آن‌ها به‌جای الیاف در ساختار کاغذ ممکن است باعث کاهش درهم‌رفتگی شبکه‌ای و همچنین کاهش ویژگی‌های مقاومتی نظیر مقاومت به پاره شدن گردد و مشکلات متعدد دیگری نیز در فرآیند تولید ایجاد نماید. لذا این مسئله نیازمند مدیریت صحیح ذرات ریز و نرمه‌ها می‌باشد [۳-۹].

نرمه‌های الیاف بر اساس تعریف، قطعات کوچکی از الیاف و مواد لیگنوسلولزی هستند که قابلیت عبور از حفرات با ابعاد ۷۵ میکرون (غربال مش ۲۰۰) را داشته باشند. نرمه‌ها بر اساس شکل ذره به دو گروه تقسیم می-

شوند الف- گروه اول شامل ذرات ورقه‌ای[1] [۱۰] و همچنین ذرات خورشیدی شکل[2] [۱۱] که معمولاً این نوع نرمه‌ها دارای نسبت طول به عرض کم و قابلیت پیونددهی کمتری می‌باشند [۱۲] و لذا بیشتر دارای اثر منفی بر مقاومت‌های مکانیکی کاغذ می‌باشند. درحالی‌که گروه دوم نرمه‌ها ب- شامل ذراتی هستند که مقدار قابل‌توجهی از ترکیب آن‌ها را سلولز تشکیل می‌دهد، باریک‌تر، قابل‌انعطاف‌تر و دارای قابلیت واکشیده شدن بهتری هستند و از آن‌ها به‌عنوان فیبریل‌ها [۱۰] و یا ذرات نواری شکل [۱۱] یادشده است. این گروه از نرمه‌ها نسبت طول به قطر بیشتر و قابلیت پیونددهی مناسب‌تری دارند [۷]. البته، به‌طورکلی نرمه‌ها در مقایسه با الیاف، دارای ۳ تا ۵ برابر سطح ویژه بیشتری هستند که با توجه به قابلیت جذب آب بیشتر و پر کردن روزنه‌های خروج آب، همه انواع نرمه کم‌وبیش سبب کند شدن فرایند آبگیری در کاغذسازی می‌شوند [۲]. جداسازی نرمه‌ها بر ا اساس روش جزءجزءسازی الیاف با استفاده از غربال‌های فشاری قابل انجام می‌باشند [۶].

امروزه یکی از رایج‌ترین فرآیندهای کاغذسازی در کشور، تولید مقوا از خمیربازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه می‌باشد. به‌طورکلی تفاوت جدی بین کاغذ و مقوا وجود ندارد، اما عموماً می‌توان بیان کرد که مقوا ضخیم‌تر از کاغذ و با وزن پایه بیشتر است. مقواها ازنظر ساختاری به سه گروه مقوای جعبه‌سازی[3]، مقوای تولید کارتن‌های کنگره‌ای[4]، مقواهای خاص تقسیم می‌شوند که ممکن است از الیاف بکر، بازیافتی، مخلوط آن‌ها و یا لایه‌هایی از هرکدام تشکیل‌شده باشند [۱۳].

فرآیند تولید مقوا به‌صورت چندلایه[5] امکان آبگیری سریع‌تر و آسان‌تر را نسبت به تولید مقوای تک لایه با وزن پایه یکسان فراهم می‌آورد، ضمن اینکه تولید گرماژهای بسیار زیاد را به‌نحوی‌که آبگیری میسر باشد، با سرعت تولید قابل‌قبول امکان‌پذیر می‌کند. تولید مقوای چندلایه با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر: ۱- مخزن‌های سیلندری متعدد، ۲- جعبه تغذیه‌های چندکاناله و ۳- استفاده از چند فوردرینیر و یا فورمر بر روی‌هم قابل‌تولید می‌باشند. انتخاب هریک از این روش‌ها بستگی به میزان و سرعت تولید موردنظر، کیفیت تولید، میزان سرمایه‌گذاری و غیره خواهد داشت [۱۴].

بر همین اساس، این قابلیت وجود خواهد داشت تا مقدار بیشتری الیاف و از انواع مختلف بر روی ورقه قرار گیرد. معمولاً تولید مقوای چندلایه از لایه‌های مختلفی از انواع کاغذهای بازیافتی و نیز بکر رایج است که عموماً لایه‌های باکیفیت‌تر و دارای مقاومت و ظاهر بهتر در سطح و لایه‌های ضعیف‌تر و حاوی مواد زائد بیشتر در لایه‌های میانی مقوای چندلایه قرار داده می‌شوند [۱۴]؛ اما ازآنجایی‌که حضور پرکننده‌ها و ذرات ریز حاصل از بازیافت در سطح مقوا، اثر منفی بیشتری بر سفتی و استحکام مقاومتی آن خواهد داشت، بنابراین بهره‌گیری از خمیرکاغذ مناسب در لایه‌های متفاوت مقوای بازیافتی و تولید مقوا با ساختار لایه‌ای مهندسی‌شده، به‌منظور بهبود سفتی و استحکام خمشی مقوا مؤثر به نظر می‌رسد. به بیان روشن‌تر بیشترین نیرو در سفتی خمشی به دو سطح مقوا وارد می‌گردد [۱۹،۱۸،۱۵]. لذا انتقال پرکننده‌ها و ذرات ریز موجود در خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه از لایه‌های سطحی به لایه‌های میانی که تنش کمتری تحمل خواهند کرد، مدنظر قرار گرفت. به‌علاوه در این تحقیق، اثر تولید مقوا به‌صورت چندلایه بر برخی ویژگی‌های آن مطالعه و بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه خمیرکاغذ و اندازه‌گیری میزان ذرات ریز و پرکننده‌ها

خمیرکاغذ مورداستفاده از نوع خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) بازیافتی بود که به‌صورت دو نمونه مجزا از دو شرکت متفاوت گیلان بسپار (رشت) و چوب و کاغذ مازندران (ساری) تهیه گردید و در مدت انجام تحقیق در دمای ۱۰-۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. اندازه‌گیری میزان نرمه سوسپانسیون خمیرکاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T261 cm-00 [۱۶] و با استفاده از غربال مش ۲۰۰ دستگاه DDJ ساخت شرکت Paper Chemistry Laboratory INC، ساخت ایالات‌متحده

[1] Flake-like particles
[2] Chunky particles
[3] Folding box board
[4] Container board
[5] Multi-ply board

آمریکا انجام شد. سپس از دو نوع خمیر کارتن‌های کنگره-ای کهنه نمونه‌برداری شده، نمونه حاوی نرمه و پرکننده بیشتر انتخاب و در ادامه تحقیق استفاده گردید.

جداسازی نرمه‌ها و برآورد میزان خاکستر

پس از جداسازی نرمه‌ها و ذرات ریز، به‌منظور ته‌نشین شدن، تغلیظ و نگهداری آن‌ها، سوسپانسیون حاوی نرمه‌ها درون ستون ته‌نشین‌سازی ریخته شد. سپس نرمه و ذرات ریز تغلیظ شده در درون سردخانه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. تعیین میزان پرکننده‌ها در ذرات ریز جداشده نیز با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۲۵ ± ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد و بر اساس استاندارد TAPPI T211 om-07 انجام شد [۱۶].

تهیه مقوای دست‌ساز

ساخت کاغذ دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T205 sp-02 توسط دستگاه تولید کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی ساخت شرکت PTI اتریش انجام گردید. به-منظور تولید مقوای چندلایه، پس از شکل‌گیری هر یک از لایه‌ها به‌صورت جداگانه با گرماژ تعیین‌شده، این لایه‌ها بر روی یکدیگر قرار داده‌شده و سایر مراحل پرس و خشک-کن همانند نمونه‌های تک لایه انجام شد. شایان‌ذکر است که فرآیند خشک‌کردن مقواهای تولیدی با استفاده از دستگاه سیلندر خشک‌کن آزمایشگاهی دورانی به مدت ۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. جدول ۱ ترکیب و شرایط انواع مقوای تولیدی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - ترکیب و شرایط انواع مقوای تولیدی

ردیف	لایه‌های مقوا	کد مقوا
۱	کاغذ تک لایه از خمیر شاهد (تک لایه ۵۰ گرمی)	۵۰-۱ ش
۲	مقوای یک‌لایه از خمیر شاهد (تک لایه ۱۵۰ گرمی)	۱۵۰-۱ ش
۳	مقوای سه لایه از خمیر شاهد (سه لایه ۵۰ گرمی)	۱۵۰-۳ ش
۴	مقوای سه لایه پس از حذف نرمه‌ها (سه لایه ۵۰ گرمی)	۱۵۰-۳ ب ن
۵	مقوای سه لایه حاوی ۵۰٪ نرمه در لایه وسط (سه لایه ۵۰ گرمی)	۱۵۰-۳ ن
۶	مقوای سه لایه (لایه وسط با گراماژ ۹۰ حاوی ۵۰٪ نرمه الیاف و دو طرف ۳۰ گرم بر مترمربع از خمیر بدون نرمه)	۳۰-۹۰-۳۰ ن
۷	مقوای سه لایه (لایه وسط گراماژ ۹۰ حاوی ۵۰٪ نرمه و دو طرف ۶۰ گرم بر مترمربع از خمیر بدون نرمه)	۶۰-۹۰-۶۰ ن
۸	مقوای سه لایه (لایه وسط گراماژ ۹۰ گرم بر مترمربع از خمیر شاهد و دو طرف ۶۰ گرم بر مترمربع از خمیر شاهد)	۶۰-۹۰-۶۰ ش

میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM)

مطالعه ساختار مقوای چندلایه در ضخامت با استفاده از تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی TESCAN Mira 3 – XMU ساخت کشور جمهوری چک انجام شد.

ارزیابی ویژگی‌های مقوا

تعیین وزن پایه نمونه‌ها بر اساس استاندارد TAPPI T410 om-02، ضخامت ورقه بر اساس استاندارد TAPPI T411 om-97 و تعیین حجیمی کاغذ نیز از تقسیم ضخامت کاغذ بر وزن پایه حاصل گردید. مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T494 om-01 و اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن بر اساس استاندارد TAPPI T414 om-04 ارزیابی شد [۱۶]. همچنین مطالعه شاخص مقاومت خمشی نمونه‌ها بر اساس استاندارد SCAN-P 29:95 صورت گرفت [۱۷].

آنالیز آماری

این تحقیق در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی اجرا شد. نتایج اجرای آزمایش‌ها با استفاده از ANOVA برای بررسی اثر معنی‌داری تیمارها موردبررسی قرار گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اختلاف‌های کلی، مقایسه میانگین این ویژگی‌ها با کمک آزمون مقایسه میانگین چند دامنه دانکن انجام شد. لازم به ذکر است حداقل تعداد تکرار در آزمایش‌ها ۵ تکرار بوده است. آنالیزهای آماری در این تحقیق به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آنالیز واریانس حاصل از بررسی ویژگی-های خمیرکاغذ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹٪ بین تیمارهای مختلف بوده است (جدول ۲).

لذا بر همین اساس، گروه‌بندی دانکن انجام گردید و نتایج گروه‌بندی‌ها در نمودار مربوط به هر ویژگی نمایش داده‌شده است.

جدول ۲- خلاصه نتایج آنالیز واریانس در ویژگی‌های موردبررسی مقوای تولیدی

ویژگی	درجه آزادی تیمار	مجموع مربعات تیمار	F	معنی‌داری**
ضخامت مقوا	۷	۶۴۹۸۷۶/۰۶۲	۱۱۸۷/۹۵	**
حجیمی مقوا	۷	۱/۸۸۵۵	۵۲/۳۹	**
شاخص مقاومت به خمش	۷	۶۰۳۲/۶۷۴	۲۳۴۸/۹۱	**
شاخص مقاومت به کشش	۷	۱۱۳/۷۹۰	۱۱/۰۴	**
شاخص مقاومت به پاره شدن	۷	۵۵/۹۳۷	۸۸/۱۴	**

**: معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد

میزان نرمه‌ها و ذرات ریز در خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه

درصد نرمه و ذرات ریز در خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه در دو کارخانه مختلف در جدول ۳ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد قابل‌توجهی (بیش از ۳۵ درصد) از هر دو نمونه خمیرکاغذ را نرمه‌ها و ذرات ریز و پرکننده‌ها تشکیل داده‌اند. با توجه به اینکه نمونه یکی از کارخانه‌ها حاوی نرمه و ذرات ریز بیشتری بوده است، در ادامه از این نوع خمیرکاغذ برای ادامه تحقیق استفاده گردید. همچنین جدول ۳ سهم پرکننده‌ها از مجموع نرمه‌های الیاف و پرکننده‌ها را نیز نشان می‌دهد. بر همین اساس مشاهده شد که بیش از ۲۰٪ از این مقدار نرمه را پرکننده‌ها تشکیل داده بودند. وجود این مقدار ماده معدنی (خاکستر) در الیاف کارتن‌های کنگره‌ای کهنه را می‌توان به دلیل بازیافتی بودن ماده اولیه و احتمال حضور انواع خمیرکاغذ حاوی پرکننده در این نوع خمیر بازیافتی دانست.

جدول ۳- مقدار نرمه و ذرات ریز در خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه در دو کارخانه مختلف

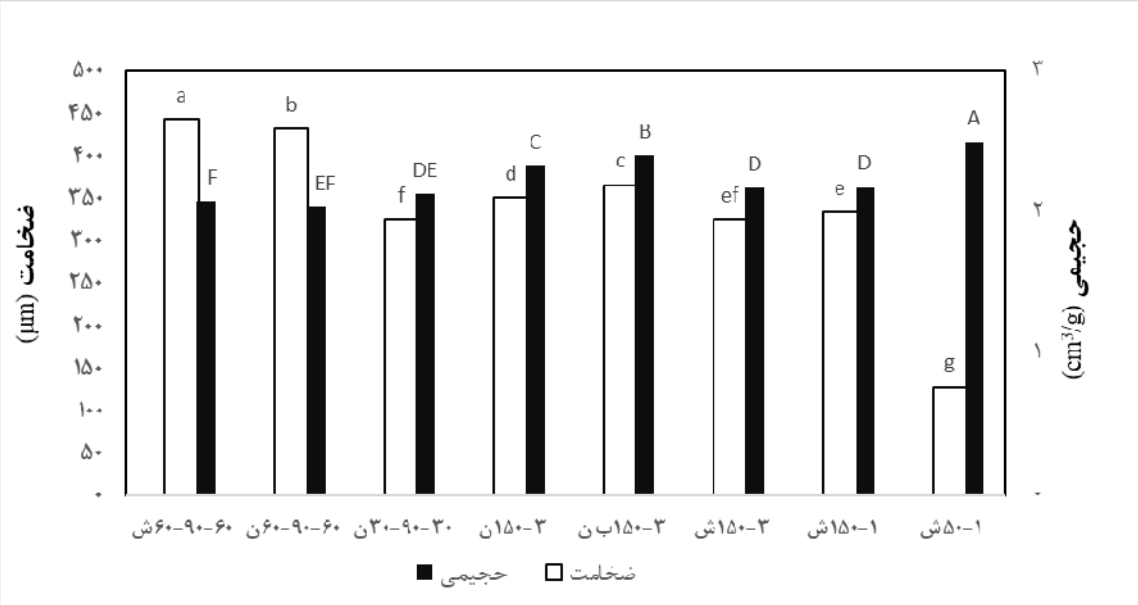
نوع خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه	میزان نرمه‌ها و ذرات ریز در خمیرکاغذ (٪)	سهم پرکننده‌ها در ذرات ریز (٪)
کارخانه ۱	۳۸	۳۵/۲۱
کارخانه ۲	۴۲	۲۰/۸۴

حجیمی و ضخامت کاغذ

حجیمی ازجمله خواص کاغذ است که می‌تواند سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی را تحت تأثیر قرار دهد. شکل ۱ ضخامت و حجیمی انواع مقوای تک لایه و چندلایه را در مقایسه باهم نشان می‌دهد.

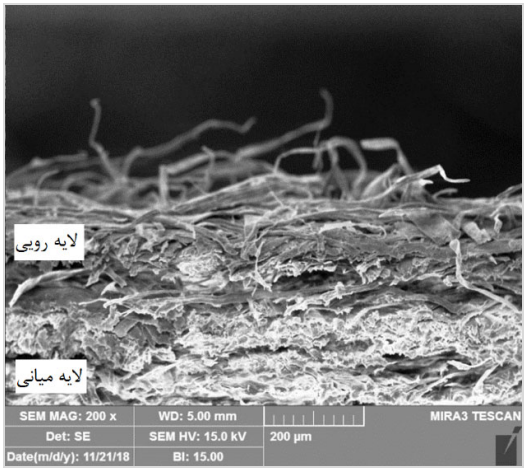
با توجه به افزایش وزن پایه مقوا، به‌طور مشخص انتظار می‌رود که ضخامت مقوا نیز افزایش یابد. به‌عنوان نمونه با افزایش وزن پایه از ۵۰ به ۱۵۰ و ۲۱۰ گرم بر مترمربع، ضخامت نیز افزایش قابل‌توجهی داشته است، اما افزایش ضخامت مقوا متناسب با میزان افزایش وزن پایه نبوده است. بدین معنی که با سه برابر شدن وزن پایه کاغذ از ۵۰ گرمی به ۱۵۰ گرمی، ضخامت ۱۳۰ میکرومتری آن سه برابر نشده است. البته ضخامت مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی در مقایسه با مقوای تک لایه افزایش قابل‌توجهی را نشان نمی‌دهد. به‌عبارت‌دیگر فرآیند تولید مقوای ۱۵۰ گرمی به‌صورت سه لایه اثر خاصی بر ضخامت مقوای تولیدی نداشته است.

با افزایش میزان و نسبت نرمه‌ها و پرکننده‌ها در مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی، ضخامت آن نسبت به مقوای ۱۵۰ گرمی سه لایه بدون نرمه (کد ۳-۱۵۰ ب‌ن) کاهش‌یافته است که می‌توان دلیل آن را افزایش نسبت ذرات ریز بجای الیاف و پر کردن حفرات در ساختار مقوا، دانست. همچنین، حجیمی (نسبت گراماژ به ضخامت) بیشتر کاغذ ۵۰ گرمی در مقایسه با مقوای ۱۵۰ گرمی را می‌توان به ماندگاری بیشتر ذرات ریز در مقوای ۱۵۰ گرمی نسبت داد که در آن ماندگاری فیزیکی ذرات بر روی لایه‌های ضخیم‌تر الیاف در هنگام شکل‌گیری ورقه کاغذ و مقوا بیشتر است. بدین مفهوم که با ضخیم‌تر شدن لایه الیاف در هنگام شکل‌گیری، ذرات ریز در بین آن‌ها به دام افتاده و باعث پر شدن حفرات بین الیاف، افزایش دانسیته و درنتیجه کاهش حجیمی و ضخامت می‌گردد.



شکل ۱- ضخامت و حجیمی مقوا (حروف لاتین بر روی ستون‌ها نتایج گروه‌بندی دانکن را نمایش می‌دهد که برای ضخامت با حروف کوچک و برای حجیمی با حروف بزرگ نشان داده‌شده‌اند).

شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) از ضخامت مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی که لایه روی آن فاقد نرمه بوده و لایه وسط حاوی ۵۰ درصد نرمه می‌باشد (کد ۳-۱۵۰ ن) را نشان می‌دهد و تأیید می‌نماید لایه رویی که فاقد نرمه بوده است، در تصویر بسیار ناهموار و متخلخل نشان می‌دهد درحالی‌که لایه وسط با توجه به حضور زیاد ذرات ریز، بسیار متراکم و دارای میزان خلل و فرج کم می‌باشد.



شکل ۲. تصویر SEM از ضخامت مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی آزمایشگاهی (اتو نشده، لایه روی آن فاقد نرمه بوده و لایه وسط حاوی ۵۰ درصد نرمه (کد ۳-۱۵۰ن)).

مقاومت خمشی

استحکام خمشی کاغذ، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مقاومت مکانیکی به‌ویژه در صنعت بسته‌بندی می‌باشد. رفتار خمشی کاغذ ازجمله سفتی خمشی به ضخامت و مدول الاستیسیته کاغذ وابسته است [۱۸]. سفتی خمشی کاغذ و مقوا، در درجه اول به توان سوم ضخامت کاغذ و سپس به مدول الاستیسیته وابسته است. رابطه $S \equiv MT^3$ این موضوع را به‌صورت واضحی نشان می‌دهد [۱۹،۱۸،۱۵]؛ که در این رابطه S: سفتی خمشی، M: مدول الاستیسیته و T: ضخامت کاغذ می‌باشد.

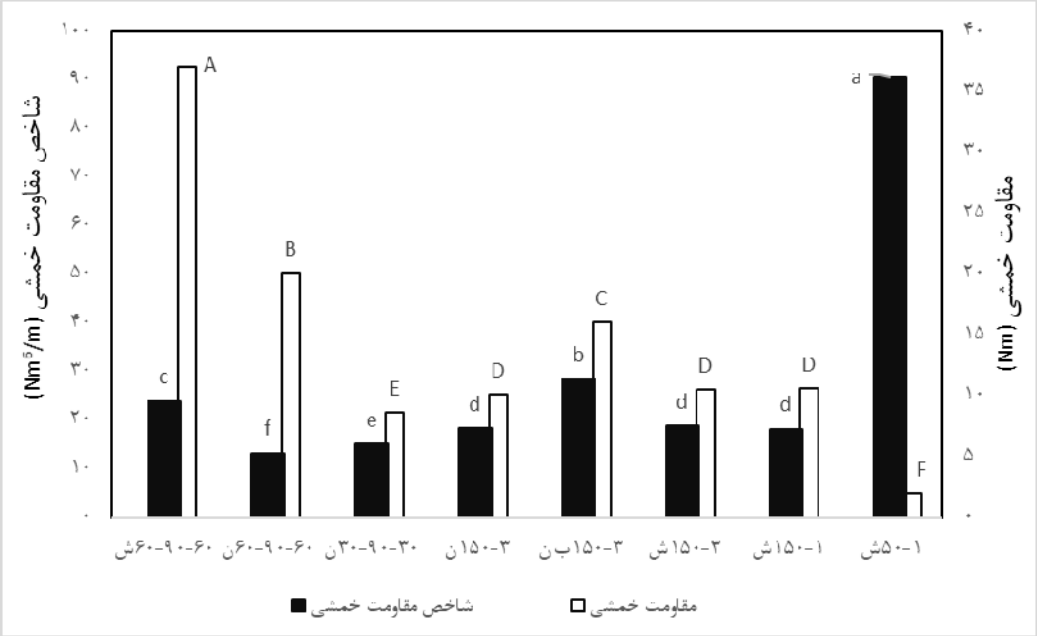
شکل ۳ مقاومت خمشی[1] و هم‌چنین شاخص مقاومت خمشی[2] هر یک از انواع مقوا با مقدار ذرات ریز تعیین‌شده را مقایسه می‌کند.

در بین نمونه مقواهای ۱۵۰ گرمی، بیشترین نیروی لازم جهت خمش مربوط به مقوای ۱۵۰ گرمی سه لایه بدون نرمه (۱۵۰-۳ ب‌ن) و کمترین آن مربوط به مقوای ۳۰-۹۰-۳۰ ن بوده است. درحالی‌که در بین دیگر انواع مقوای ۱۵۰ گرمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

اما کمترین میزان مقاومت خمشی در نمونه ۵۰ گرمی تک لایه مشاهده شد که دلیل آن را می‌توان وزن پایه کم آن دانست، لذا مقایسه مقاومت خمشی مقواهای با گرماژ متفاوت بر اساس شاخص مقاومت خمشی (تقسیم مقاومت خمشی بر مکعب گرماژ) صورت گرفت. بر همین اساس بیشترین میزان شاخص مقاومت خمشی به نمونه ۵۰ گرمی اختصاص داشته است و پس‌ازآن مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی بدون نرمه و ۲۱۰ گرمی سه لایه از خمیر شاهد (۶۰-۹۰-۶۰) در رتبه‌های بعدی قرارگرفته‌اند.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نمودار نیروی خمشی واردشده به نمونه در تطابق بسیار خوبی با نمودار ضخامت (شکل ۱) بوده است و نمودار شاخص مقاومت به خمش، تطابق قابل‌توجهی با نمودار حجیمی داشته است. درمجموع می‌توان این مشاهدات را به رابطه خمش با توان سوم ضخامت توجیه کرد [۱۸].

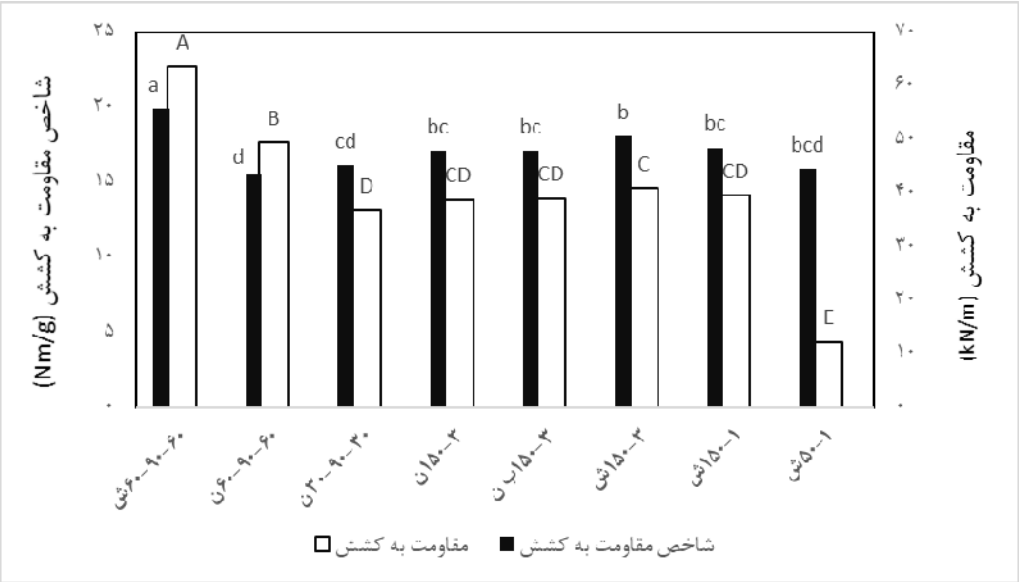
[1] Bending resistence
[2] Bending resistence index



شکل ۳- مقاومت خمشی و شاخص مقاومت خمشی انواع مقوای تولیدی

مقاومت به کشش

مقاومت به کشش از ویژگی‌های مهم مقاومتی در کاغذسازی است که از مقاومت ذاتی الیاف، طول الیاف، مقاومت هر پیوند، تعداد و سطح پیوند بین الیاف، چگونگی توزیع الیاف در ورقه کاغذ و درنهایت شکل‌گیری ورقه کاغذ تأثیر می‌پذیرد [۲۰،۱۹،۱۵]. شکل ۴ مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به کشش انواع مقوای تولیدی را به‌صورت مقایسه‌ای نمایش می‌دهد. با مقایسه مقاومت به کشش انواع مقوای ۱۵۰ گرمی، اختلاف زیادی بین آن‌ها مشاهده نشد، هرچند نمونه سه لایه شاهد نسبت به نمونه های فاقد نرمه و مقواهایی که لایه وسط آن‌ها حاوی مقدار بیشتری نرمه بوده است، به مقدار جزئی مقاومت به کشش بیشتری داشته است که دلیل این امر را می‌توان به اثر عدم حضور نرمه و یا میزان نامناسب آن نسبت داد. چنانکه نمونه ۳۰-۹۰-۳۰ ن که هم لایه رویی فاقد نرمه بوده و هم لایه وسط مقداری زیادی نرمه دارد نسبت به سایر انواع مقوای ۱۵۰ گرمی مقاومت به کشش کمتری ارائه داده است. به دلیل مشابهی مقوای ۲۱۰ گرمی از خمیرکاغذ شاهد نسبت به نوع دیگر که لایه وسط حاوی ۵۰ درصد نرمه بوده است، مقاومت به کشش بیشتری داشته است. همچنین، از سوی دیگر مشاهده شد که به‌طورکلی تولید مقوا به‌صورت چندلایه اثر معنی‌داری بر این شاخص مقاومتی نداشته است.



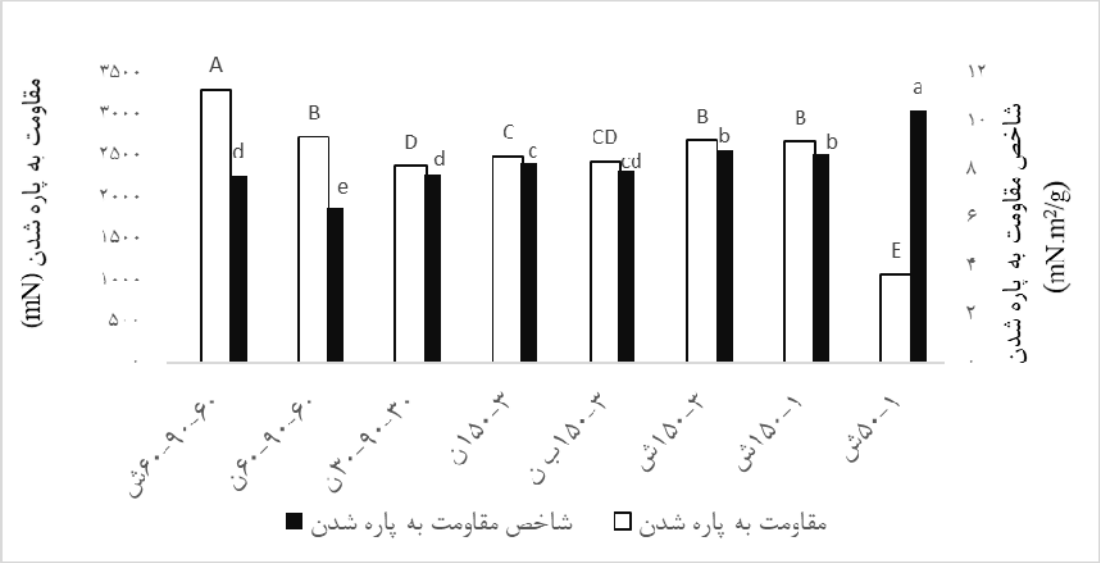
شکل ۴- مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به کشش

مقاومت به پاره شدن

از مشخصه‌های تأثیرگذار بر مقاومت به پاره شدن کاغذ، می‌توان به طول الیاف، وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ و مقاومت ذاتی الیاف اشاره کرد [۲۲،۲۱،۱۵]. شکل ۵ تغییرات مقاومت به پاره شدن در اثر تولید مقوا به‌صورت چندلایه و با درصد مشخص نرمه را نشان می‌دهد. با مقایسه نمونه ۵۰ گرمی یک‌لایه با نمونه ۱۵۰ گرمی تک لایه از خمیر شاهد مشاهده می‌گردد که مقاومت به پاره شدن تقریباً ۲/۵ برابر شده که دلیل آن را مشخصاً می‌توان افزایش وزن پایه مقوا دانست. همچنین مقوای ۲۱۰ گرمی سه لایه از خمیر شاهد (۶۰-۹۰-۶۰ ش) نسبت به مقوای ۱۵۰ گرمی از خمیر شاهد به دلیل مشابهی مقاومت به پاره شدن بیشتری از خود نشان داده است.

از سوی دیگر تفاوت معنی‌داری بین نمونه تک لایه ۱۵۰ گرمی با نمونه سه لایه ۱۵۰ گرمی از خمیر شاهد مشاهده نگردید که دلیل این امر را می‌توان وجود میزان نرمه یکسان در هر دو نوع خمیرکاغذ بیان نمود. درحالی‌که با حذف نرمه‌ها و یا افزایش زیاد آن‌ها در سایر نمونه‌ها، کاهش مقاومت به پاره شدن نتیجه گردید. همچنین در خصوص مقوای ۲۱۰ گرمی حاوی ۵۰ درصد نرمه در لایه وسط، به دلیل افزایش بیش‌ازحد میزان نرمه در لایه وسط کاهش مقاومت ملاحظه شد.

همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به نمونه تک لایه ۵۰ گرمی بوده است، درحالی‌که مقواهای با گراماژ ۱۵۰ و ۲۱۰ گرمی شاخص مقاومت به پاره شدن کمتری داشته‌اند. در همین ارتباط با مقایسه این نتیجه با افزایش مقاومت به پاره شدن در اثر افزایش گراماژ می‌توان نتیجه گرفت که نسبت افزایش مقاومت به پاره شدن به افزایش وزن پایه به یک نسبت نبوده است و لذا کاغذ با کمترین گراماژ، بیشترین شاخص مقاومت به پاره شدن را نتیجه داده است. همچنین در نمونه‌های با وزن پایه یکسان مشاهده می‌شود که با حذف نرمه‌ها و یا افزایش بیش‌ازحد نرمه و یا هر دو، شاخص مقاومت به پاره شدن کاهش‌یافته است.



شکل ۵ - مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به پاره شدن

نتیجه‌گیری

با توجه به استفاده پی‌درپی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه و تولید انواع مقوای موردنیاز در صنعت کارتن‌سازی و درنتیجه ایجاد مقادیر بیش‌ازحد نرمه در این نوع خمیرکاغذ و همچنین با عنایت به این موضوع که در تولید انواع کاغذ با وزن پایه زیاد (انواع مقواهای تولید کارتن)، بهبود قابلیت آبگیری و به‌طور همزمان حفظ یا بهبود سایر ویژگی‌های فرآیندی فیزیکی و مکانیکی مقوا اهمیت قابل‌توجهی دارد، اثر کاربرد نرمه به مقادیر متفاوت آن در تولید مقوا با ساختار چندلایه موردمطالعه و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تولید مقوا به‌صورت چندلایه، اثر منفی معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بررسی‌شده نداشته است. این در حالی است که تولید گرماژهای بسیار زیاد مقوا را به‌نحوی‌که آبگیری میسر باشد، با سرعت تولید قابل‌قبول و حتی استفاده از انواع خمیرکاغذ در لایه‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌نماید. همچنین، این مطالعه مشخص نمود که هرچند حذف نرمه‌ها و ذرات ریز خمیرکاغذ OCC (که حاوی مقدار قابل‌توجهی پرکننده بودند) از لایه رویی باعث افزایش شاخص مقاومت خمشی گردید، اما مجوف شدن و ناهمواری قابل‌توجه سطح مقوا را نیز در پی داشت.

منابع

[1] 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.

[2] Yousefhashemi, S.M., Khosravani, A., and Yousefi, H., 2019. The effect of addition of lignocellulose nanofiber produced from old corrugated container pulp on recycled paperboard properties. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9(4): 575-583. (In Persian).

[3] Hubbe, M.A., 2002. Fines management for increased paper machine productivity. In: Proceedings of Pira International Conference on Scientific and Technical Advances in Wet End Chemistry. May 22-23 Barcelona, Spain.

[4] Doshi, M.R., 1998. Take Care of Your Fines, Please. Progress in Paper Recycling, 7(1): 8.

[5] Chen, J., Zhang, M., Yuan, Z., and Wang J., 2013. Improved high-yield pulp network and paper sheet properties by the addition of fines. Bioresources, 8(4): 6309-6322.

[6] Nazhad, M.M., and Sodtivarakul. S., 2004. OCC pulp fractionation- a comparative study on fractionated and unfractionated stock. TAPPI Journal, 3(1): 35-39.

[7] Jeffries, T.W., and Schartman, R., 1998. Bioconversion of secondary fiber fines to ethanol using counter - current enzymatic sacharification and co-fermentation. In: Proceedings of the Twentieth Symposium on Biotechnology for fuels and Chemicals. May 3-7 Gatlinburg, Tennessee.

[8] Wan, J., Yang, J., Ma, Y., and Wang, Y., 2011. Effects of the pulp preparation and papermaking processes on the properties of OCC fibers. Bioresources, 6(2): 1615-1630.

[9] Rahmaninia, M. and Khosravani, A., 2015. Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose Chemistry and Technology, 49:203–208.

[10] Luukko, K., and Paulapuro, H., 1999. Mechanical pulp fines: effect of particle size and shape. TAPPI Journal, 82(2): 95-101.

[11] Forgacs, O.L., 1963. The characterization of mechanical pulp. Pulp and Paper Magazine of Canada, 64(C): T89-T118.

[12] Alince, B., Porubska J., and van de Ven T.G.M., 2001. Effect of model and fractionated TMP fines on sheet properties. In: The science of papermaking, Vol. 2 of transactions of the 12th fundamental research symposium. September Oxford, Mechanical Engineering Publications Limited, pp. 343–1355.

[13] Paulapuro, H., 2000. Paper and Board Grades, Book 18 in: Papermaking Science and Technology (Book Series), Gullichsen, J., and Paulapuro, H. (Eds.), Fapet Oy, Jyväskylä.

[14] Paulapuro, H., 2008. Papermaking Part 1: Stock Preparation and Wet End, Book 8 in: Papermaking Science and Technology (Book Series), Gullichsen, J., and Paulapuro, H. (Eds.), Fapet Oy, Jyväskylä.

[15] Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G., 2014. Paper Products Physics and Technology, Book 4 in: Pulp and Paper Chemistry and Technology, 251 p.

[16] Internal Tearing Resistance of Paper (Elmendorf-Type Method). TAPPI Test Methods, TAPPI T414 om-04, 2007.

[17] Bending Resistance. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee SCAN-P 29:95, 1995.

[18] Navaee-Ardeh, S., 2007. A new model for maximizing the bending stiffness of a symmetric three-ply paper or board. Pulp and Paper Canada, 108(4): 45-47.

[19] Yousefhashemi, S.M., Khosravani, A., and Yousefi, H., 2019. Isolation of lignocellulose nanofiber from recycled old corrugated container and its interaction with cationic starch-nanosilica combination to make paperboard. Cellulose, 26(12): 7207-7212.

[20] Khosravani, A., Latibari, A.J., Mirshokraei, S.A., Rahmaninia, M., and Nazhad, M.M., 2010. Studying the effect of cationic starch-anionic nanosilica system on retention and drainage. BioResources, 5(2): 939-950.

[21] Amiri, E., Rahmaninia, M., and Khosravani, A., 2019. Effect of chitosan electrostatic charge on the performance of chitosan-nanosilica in recycled old corrugated container pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9 (3), 459-469. (In Persian).

[22] Khosravani, A., Asadollahzadeh, M., Rahmaninia, M., Bahramifar, N., and Azadfallah, M., 2016. The effect of external and internal application of organosilicon compounds on the hydrophobicity of recycled OCC paper. BioResources, 11(4), 8257-8268.

Production of Multi-ply Paperboard from Old Corrugated Container Pulp and Application of Fine Materials in the Middle Layer

Abstract

For appropriate use of fines and fiber fractions and how to apply them in paper structure, various multiply boards were made and the effect of fines removal, and their application in the middle layer, or only their removal from the top and bottom layers were investigated. The results showed that by eliminating the fine materials and producing a fine-free three-ply board, the bending resistance and the bending resistance index were increased. However, studying the bulk property and the SEM images of the boards revealed that layers containing no fines were bulky and rough, meanwhile transferring the fines to the middle layer made it too dense. The ash content of fines indicated that significant percentage of the fines were comprised of fillers and minerals. Also it was shown that production of the board with a multi-ply structure did not negatively affect the physical and mechanical properties, but can help the process parameters.

Keywords: multi-ply boards, fines, old corrugated container, bending stiffness.

J. Farzaneh Kalurazi[1]
A. Khosravani[2*]

[1] MSc, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

[2] Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

Corresponding author:
khosravani@modares.ac.ir

Received: 2019/07/11
Accepted: 2019/08/27