

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

### چکیده

در راستای استفاده بهینه از نرمة‌ها و قطعات الیاف و نحوه کاربرد آن‌ها در ساختار کاغذ، چند نوع مقوای چندلایه تولید شد و اثر جداسازی و انتقال نرمة‌ها 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 نرمة و تولید مقوای سه لایه بدون نرمة، مقاومت خمشی و شاخص مقاومت خمشی مقوا افزایش یافت. هرچند بررسی ویژگی حجیمی و نیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقوها نشان داد، لایه‌های بدون نرمة، حجیم و ناهموار بوده‌اند درحالی‌که افزودن نرمة به لایه‌های وسط، تراکم این لایه را بسیار زیاد نموده است. آزمون خاکستر نرمة‌ها مشخص ساخت که درصد قابل‌توجهی از نرمة‌ها 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، نرمة، کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، سفتی خمشی.

### جواد فرزانه کلورزی<sup>۱</sup>

امیر خسروانی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

<sup>۲</sup> 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](mailto:khosravani@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

### مقدمه

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 نرمة‌ها می‌باشد [۳-۹].

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

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 از جمله ویژگی‌های مکانیکی تأثیر منفی بگذارد [۲، ۱]. همچنین، استفاده پی‌درپی از کاغذ و بازیافت آن، باعث کوتاه شدن الیاف و تولید مقادیر زیادی نرمة و ذرات ریز در خمیر کاغذ می‌شود، به‌نحوی‌که میزان نرمة‌ها و ذرات ریز خمیر کاغذ به‌ویژه در خمیر کاغذ حاصل از بازیافت کارتن‌های کنگره-ای کهنه می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی از خمیر کاغذ را به خود اختصاص دهد. این در حالی است که درصد زیاد نرمة در فرآیند آگیری از ورقه تر (به‌خصوص در کاغذهای با وزن پایه زیاد) اثرات منفی به دنبال خواهد داشت که این

استفاده از چند فوردرینیر و یا فورمر بر روی هم قابل تولید 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 از آنجایی که 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 خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذ و اندازه‌گیری میزان ذرات ریز و

#### پرکننده‌ها

خمیر کاغذ مورد استفاده 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 خمیر کاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T261 cm-00 [۱۶] و با استفاده از غربال مش ۲۰۰ دستگاه DDJ ساخت شرکت Paper Chemistry Laboratory INC، ساخت ایالات متحده

شوند الف- گروه اول شامل ذرات ورقه‌ای<sup>۱</sup> [۱۰] و همچنین ذرات خورشیدی شکل<sup>۲</sup> [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 قابل توجهی از ترکیب آن‌ها را سلولز تشکیل می‌دهد، باریک‌تر، قابل انعطاف‌تر و دارای قابلیت واکنشیده شدن بهتری هستند و از آن‌ها به‌عنوان فیبریل‌ها [۱۰] و یا ذرات نواری شکل [۱۱] یاد شده است. این گروه از نرمه‌ها نسبت طول به قطر بیشتر و قابلیت پیونددهی مناسب‌تری دارند [۷]. البته، به‌طور کلی 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 اساس روش جزء-جزء‌سازی الیاف با استفاده از غربال‌های فشاری قابل انجام می‌باشند [۶].

امروزه یکی از رایج‌ترین فرآیندهای کاغذسازی در کشور، تولید مقوا از خمیر بازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه می‌باشد. به‌طور کلی 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 از نظر ساختاری به سه گروه مقوای جعبه‌سازی<sup>۳</sup>، مقوای تولید کارتن‌های کنگره‌ای<sup>۴</sup>، مقوای خاص تقسیم می‌شوند که ممکن است از الیاف بکر، بازیافتی، مخلوط آن‌ها و یا لایه‌هایی از هر کدام تشکیل شده باشند [۱۳].

فرآیند تولید مقوا به‌صورت چندلایه<sup>۵</sup> امکان آبگیری سریع‌تر و آسان‌تر را نسبت به تولید مقوای تک لایه با وزن پایه یکسان فراهم می‌آورد، ضمن اینکه تولید گرمادهای بسیار زیاد را به‌نحوی که آبگیری میسر باشد، با سرعت تولید قابل قبول امکان‌پذیر می‌کند. تولید مقوای چندلایه با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر: ۱- مخزن‌های سیلندری متعدد، ۲- جعبه تغذیه‌های چندکاناله و ۳-

<sup>1</sup> Flake-like particles

<sup>2</sup> Chunky particles

<sup>3</sup> Folding box board

<sup>4</sup> Container board

<sup>5</sup> Multi-ply board

### تهیه مقوای دست‌ساز

ساخت کاغذ دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI 205 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 به صورت جداگانه با گرماژ تعیین شده، این لایه‌ها بر روی یکدیگر قرار داده شده و سایر مراحل پرس و خشک‌کن همانند نمونه‌های تک لایه انجام شد. شایان‌ذکر است که فرآیند خشک‌کردن مقوای 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.

آمریکا انجام شد. سپس از دو نوع خمیر کارتن‌های کنگره-ای که نه 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، به منظور 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 جداسازی نیز با استفاده از کوره الکتریکی در دمای  $25 \pm 525$  درجه سانتی‌گراد و بر اساس استاندارد TAPPI 211 om-07 انجام شد [۱۶].

جدول ۱ - ترکیب و شرایط انواع مقوای تولیدی

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

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 مورد بررسی 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 این آزمایش‌ها ۵ تکرار بوده است. آنالیزهای آماری در این تحقیق به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

### 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 211 om-02، ضخامت ورقه بر اساس استاندارد TAPPI 410 om-02 و تعیین حجمی کاغذ نیز از تقسیم ضخامت کاغذ بر وزن پایه حاصل گردید. مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI 494 om-01 و اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن بر

## نتایج و بحث

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

خلاصه نتایج آنالیز واریانس حاصل از بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹٪ بین تیمارهای مختلف بوده است (جدول ۲).

جدول ۲- خلاصه نتایج آنالیز واریانس در ویژگی‌های مورد بررسی مقوای تولیدی

| ویژگی                   | درجه آزادی تیمار | مجموع مربعات تیمار | F       | معنی‌داری** |
|-------------------------|------------------|--------------------|---------|-------------|
| ضخامت مقوا              | ۷                | ۶۴۹۸۷۶/۰۶۲         | ۱۱۸۷/۹۵ | **          |
| حجمی 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

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 خمیر کاغذ حاوی پرکننده در این نوع خمیر بازیافتی دانست.

## 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 ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد قابل‌توجهی (بیش از ۳۵ درصد) از هر دو نمونه خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذ برای ادامه تحقیق استفاده

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 خمیر کاغذ (%) | سهم پرکننده‌ها در ذرات ریز (%) |
|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| کارخانه ۱                        | ۳۸                                        | ۳۵/۲۱                          |
| کارخانه ۲                        | ۴۲                                        | ۲۰/۸۴                          |

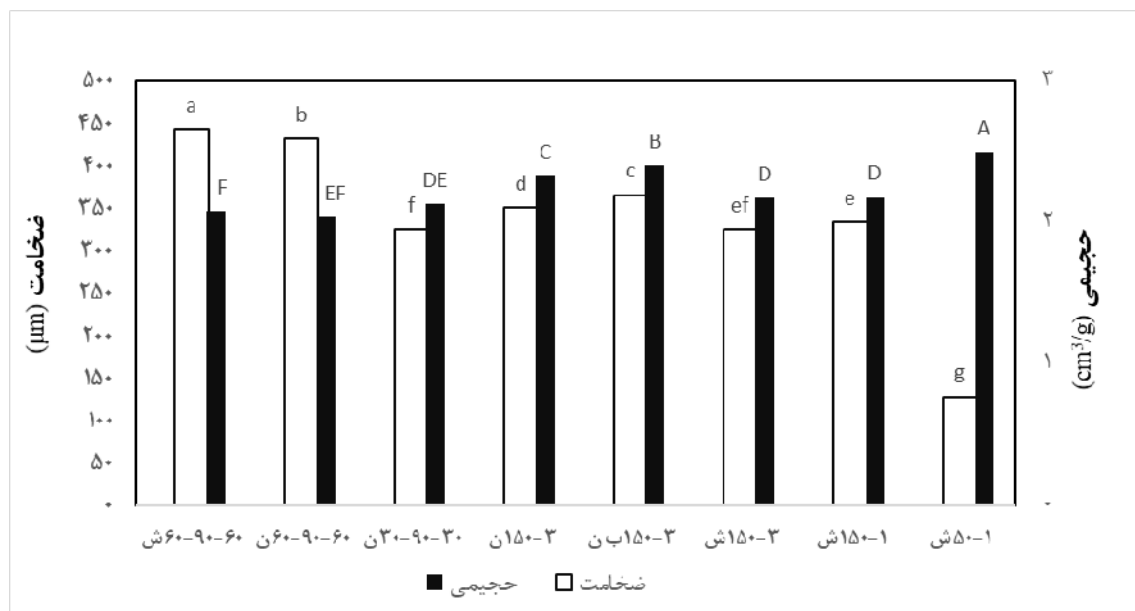
## حجمی و ضخامت کاغذ

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. به عبارت دیگر فرآیند تولید مقوای ۱۵۰ گرمی به صورت سه لایه اثر خاصی بر ضخامت مقوای تولیدی نداشته است.

حجمی از جمله خواص کاغذ است که می‌تواند سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی را تحت تأثیر قرار دهد. شکل ۱ ضخامت و حجمی 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

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 در نتیجه کاهش حجیمی و ضخامت می‌گردد.

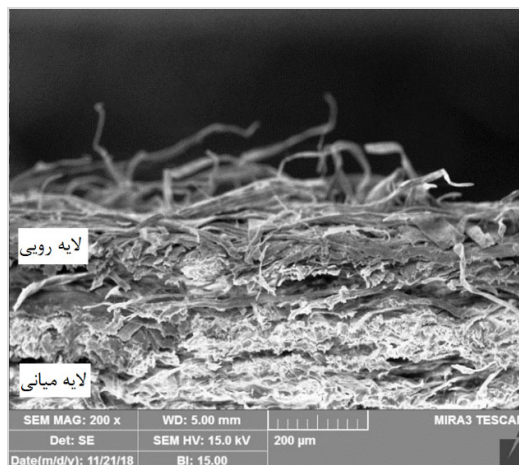
با افزایش میزان و نسبت نرمه‌ها و پرکننده‌ها در مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی، ضخامت آن نسبت به مقوای ۱۵۰ گرمی سه لایه بدون نرمه (کد ۳-۱۵۰ بن) کاهش یافته است که می‌توان دلیل آن را افزایش نسبت ذرات ریز بجای الیاف و پر کردن حفرات در ساختار مقوا، دانست. همچنین، حجیمی (نسبت گراماژ به ضخامت) بیشتر کاغذ ۵۰ گرمی در مقایسه با مقوای ۱۵۰ گرمی را



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 داده شده‌اند).

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 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



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 ۳-۱۵۰ ن)).

### مقاومت خمشی

استحکام خمشی کاغذ، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مقاومت مکانیکی به‌ویژه در صنعت بسته‌بندی می‌باشد. رفتار خمشی کاغذ از جمله 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.

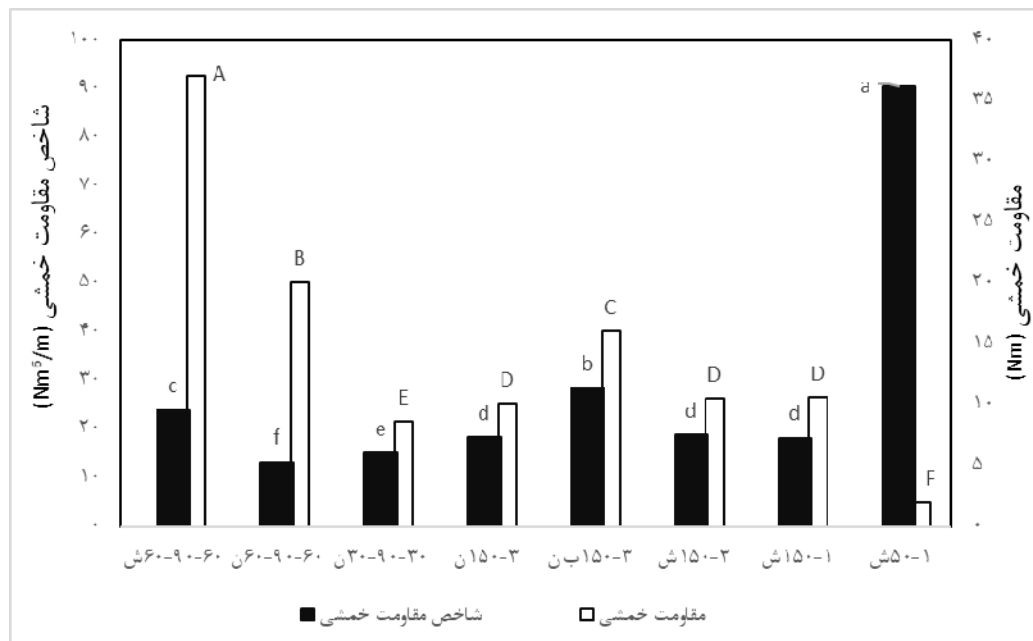
شکل ۳ مقاومت خمشی<sup>۱</sup> و همچنین شاخص مقاومت خمشی<sup>۲</sup> هر یک از انواع مقوا با مقدار ذرات ریز تعیین شده را مقایسه می‌کند.

در بین نمونه مقوای ۱۵۰ گرمی، بیشترین نیروی لازم جهت خمش مربوط به مقوای ۱۵۰ گرمی سه لایه بدون نرمه (۳-۱۵۰ 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 مقوای 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 پس از آن مقوای سه لایه ۱۵۰ گرمی بدون نرمه و ۲۱۰ گرمی سه لایه از خمیر شاهد (۶۰-۹۰-۶۰) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نمودار نیروی خمشی وارد شده به نمونه در تطابق بسیار خوبی با نمودار ضخامت (شکل ۱) بوده است و نمودار شاخص مقاومت به خمش، تطابق قابل‌توجهی با نمودار حجمی داشته است. در مجموع می‌توان این مشاهدات را به رابطه خمش با توان سوم ضخامت توجیه کرد [۱۸].

<sup>1</sup> Bending resistance

<sup>2</sup> Bending resistance index

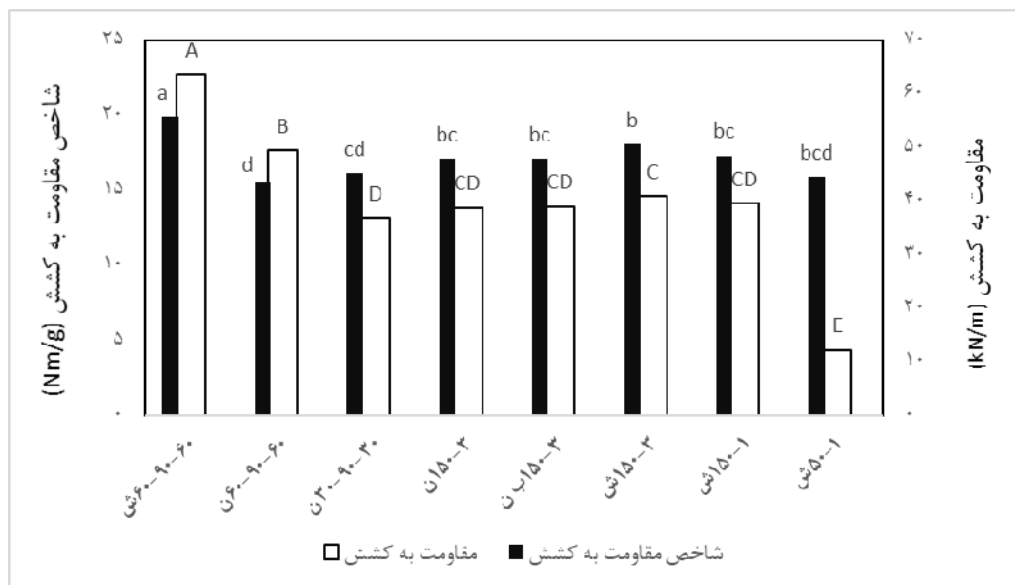


شکل ۳- مقاومت خمشی و شاخص مقاومت خمشی انواع مقوای تولیدی

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 خمیر کاغذ 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 به‌طور کلی تولید مقوا به‌صورت چندلایه اثر معنی‌داری بر این شاخص مقاومتی نداشته است.

#### 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 در نهایت 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 نمونه‌های فاقد نرمه و مقوایی که لایه وسط آن‌ها حاوی مقدار بیشتری نرمه بوده است، به مقدار جزئی مقاومت به کشش



شکل ۴- مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به کشش

نمونه‌ها، کاهش مقاومت به پاره شدن نتیجه گردید. همچنین در خصوص مقوای ۲۱۰ گرمی حاوی ۵۰ درصد نرمه در لایه وسط، به دلیل افزایش بیش از حد میزان نرمه در لایه وسط کاهش مقاومت ملاحظه شد.

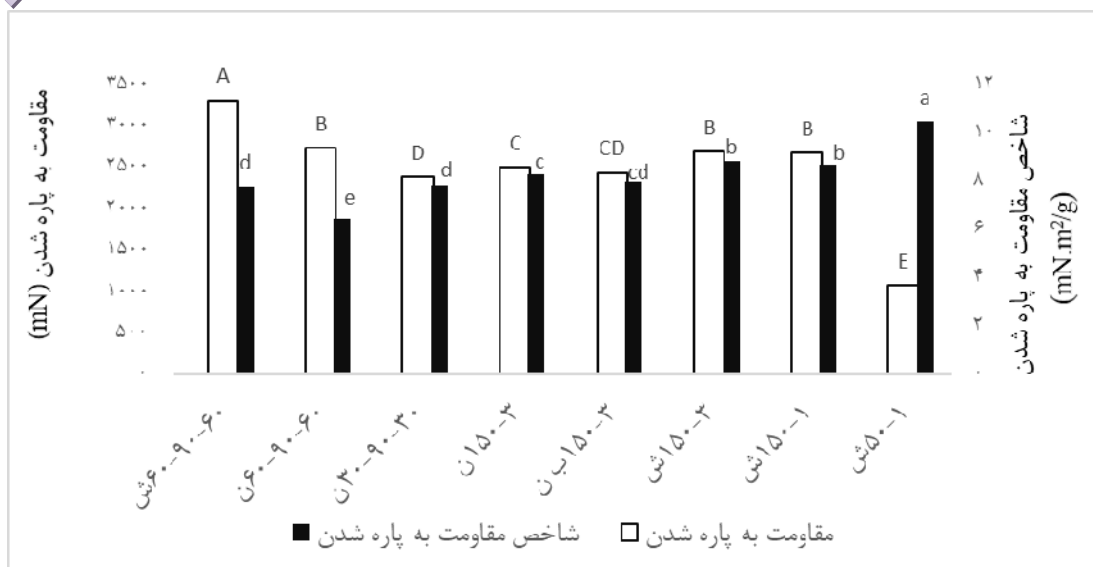
همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به نمونه تک لایه ۵۰ گرمی بوده است، درحالی‌که مقوای با گراماژ ۱۵۰ و ۲۱۰ گرمی شاخص مقاومت به پاره شدن کمتری داشته‌اند. در همین ارتباط با مقایسه این نتیجه با افزایش مقاومت به پاره شدن در اثر افزایش گراماژ می‌توان نتیجه گرفت 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 بیش از حد نرمه و یا هر دو، شاخص مقاومت به پاره شدن کاهش یافته است.

#### 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 به صورت 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 خمیر کاغذ بیان نمود. درحالی‌که با حذف نرمه‌ها و یا افزایش زیاد آن‌ها در سایر





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

منفی معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بررسی شده نداشته است. این در حالی است که تولید گرماژهای بسیار زیاد مقوا را به نحوی که آگیری میسر باشد، با سرعت تولید قابل قبول و حتی استفاده از انواع خمیر کاغذ در لایه‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌نماید. همچنین، این مطالعه مشخص نمود که هرچند حذف نرمه‌ها و ذرات ریز خمیر کاغذ OCC (که حاوی مقدار قابل توجهی پرکننده بودند) از لایه رویی باعث افزایش شاخص مقاومت خمشی گردید، اما مجوف شدن و ناهمواری قابل توجه سطح مقوا را نیز در پی داشت.

### نتیجه‌گیری

با توجه به استفاده پی‌درپی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه و تولید انواع مقوای مورد نیاز در صنعت کارتن‌سازی و در نتیجه ایجاد مقادیر بیش از حد نرمه در این نوع خمیر کاغذ و همچنین با عنایت به این موضوع که در تولید انواع کاغذ با وزن پایه زیاد (انواع مقوهای تولید کارتن)، بهبود قابلیت آگیری و به‌طور هم‌زمان حفظ یا بهبود سایر ویژگی‌های فرآیندی فیزیکی و مکانیکی مقوا اهمیت قابل توجهی دارد، اثر کاربرد نرمه به مقادیر متفاوت آن در تولید مقوا با ساختار چندلایه مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تولید مقوا به صورت چندلایه، اثر

### 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 Sodontivarakul. 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 saccharification 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., Porubská 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<sup>1</sup>**  
**A. Khosravani<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> MSc, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

Corresponding author:  
[khosravani@modares.ac.ir](mailto:khosravani@modares.ac.ir)

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