اثر اتوزنی بر خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذهای پوشش داده شده

چکیده

هدف این تحقیق بهبود خواص کاغذهای پوشش شده در اثر اتوزنی بود. دو کاغذ چاپ و تحریر ۷۵ و ۱۲۵ گرمی و پنج ترکیب پوشش‌دهی (ترکیب اول با درصد اتصال دهنده‌های ۲۲/۹٪ و مواد جامد ۵۰٪، ترکیب دوم با درصد اتصال دهنده‌های ۲۴/۳۷٪ و مواد جامد ۵۰٪، ترکیب ۳ با درصد اتصال دهنده‌های ۲۲/۹٪ و مواد جامد ۳۰٪، ترکیب ۴ با درصد اتصال دهنده‌های ۲۴/۳۷٪ و مواد جامد ۳۰٪ و سوسپانسیون پنجم با درصد اتصال دهنده‌های ۴۲/۳٪ و مواد جامد۵۰٪) استفاده گردید. پوشش‌ها شامل ۸۰٪ خاک رس، ۲۰٪ کربنات کلسیم آسیابی، پراکنده‌ساز و مقادیر متفاوت پلی‌وینیل‌استات و لاکتیک اسید بود. کاغذهای پایه و پوشش‌دهی‌شده پس از پوشش‌دهی خشک شدند. تیمار اتوزنی با دمای ۵۵ درجه سانتیگراد و فشار خطی ۶۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. آزمون‌های ضخامت، جذب آب، مقاومت به عبور هوا، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن در نمونه‌های شاهد و اتوزنی شده اجرا شد. عملیات اتوزنی در کاهش ضخامت و افزایش مقاومت به عبور هوا موثر بود. کاهش جذب آب فقط در نمونه‌های ۷۵ گرمی رخ داد. در اثر اتوزنی مقاومت‌های مکانیکی کمی بهبود یافت، ولی در اغلب موارد شاخص مقاومت‌ها کاهش یافت.

واژگان کلیدی: اتوزنی، کاغذ، پوشش‌دهی، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی.

روزبه اسدی خوانساری[۱*]
محمدرضا دهقانی فیروزآبادی[۲]
حسین رسالتی[۳]

[۱] استادیار دپارتمان صنایع چوب و کاغذ، دانشکده میرزا کوچک صومعه سرا، دانشگاه فنی و حرفه ای استان گیلان، ایران

[۲] دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳] استاد بازنشسته دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:
rasadikhansari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳

مقدمه

در قرن هفدهم میلادی از چکش‌هایی برای صاف کردن سطح کاغذ استفاده می‌شد، سپس این چکش‌ها به شکل استوانه ساخته شدند. احتمالا در سال ۱۸۵۰ این استوانه‌های اتوزنی[1] در ماشین کاغذ نصب گردید و یک دهه بعد از چندین استوانه برای اتوزنی استفاده شد. به طور کلی عملیات اتوزنی برای بهبود ویژگی‌های سطحی کاغذ یعنی کاهش زبری و افزایش براقیت انجام می‌شود. اتوزنی با تاثیری که روی خلل و فرج سطح دارد چاپ‌پذیری کاغذ را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. انواع زیادی از کاغذها با هدف بهبود ویژگی‌های سطح کاغذ برای عملیات چاپ، اتو می‌شوند [۱]. اتوزنی عبارت است از عبور کاغذ از یک یا چند شکاف ایجاد شده به وسیله چند استوانه (یک یا دو جفت پرس غلتکی) که به‌صورت پیوسته در ماشین کاغذ اجرا می‌شود که به اتوی درون ماشینی معروف است [۲] و گاهی عملیات اتوزنی به‌صورت ناپیوسته در یک ماشین جداگانه می‌تواند انجام شود. تجهیزات دستگاه‌های اتوزنی متفاوت هستند ولی در تمامی آن‌ها، استوانه‌هایی با سطوح صاف وجود دارد، این

[1] Calendering

استوانه‌ها اغلب فلزی هستند و گاهی از بسپارهایی بر روی این غلتک‌ها استفاده می‌شود که اتوزنی نرم نامیده می‌شوند (اولین استوانه اتوزنی نرم در سال ۱۹۹۴ توسط شرکت ویت[1]طراحی شد). معمولا دو تا چهار بار در هر دو سمت کاغذ اتوزنی انجام می‌شود و یا می‌توان کاغذ را به صورت آزمایشگاهی چند بار از شکاف بین غلتک‌های یک دستگاه اتوزنی عبور داد. مراحل اتوزنی برای تولید کاغذهای بسیار صاف، شامل دو مرحله اتوزنی مقدماتی و اتوزنی تکمیلی[2]است که به صورت جداگانه انجام می‌شود. اتوزنی تکمیلی مانند اتوزنی مقدماتی است ولی می‌توان از گزینه‌های غلتک‌های سخت، نرم و داغ استفاده کرد [۳].

اغلب عملیات اتوزنی پس از پوشش‌دهی کاغذ انجام می‌شود و به کاغذ کیفیت بهتری می‌دهد، بنابراین باید به عملیات پوشش‌دهی نیز توجه شود. ماده اصلی متصل کننده ذرات در عملیات پوشش‌دهی استایرن بوتادین (به عنوان لاتکس) است. متغیرهای مهم لاتکس که ویژگی‌های لایه پوشش را تحت تاثیر قرار می‌دهند شامل دمای گذار شیشه‌ای[3] درجه تشکیل پیوند عرضی و سطح کربوکسیلاسیون است. مقدار Tg زیاد میزان براقیت و سفتی سطح کاغذ را افزایش ولی میزان مقاومت به تاخوری را کاهش خواهد داد. در لاتکس استایرن بوتادین با افزایش نسبت استایرن نسبت به بوتادین میزان Tg افزایش خواهد یافت. اندازه ذرات ریزتر برای مقاومت و روان‌روی پوشش‌دهنده‌های تیغه‌ای مناسب‌تر است، ولی با ریزتر شدن ذرات میزان براقیت کم خواهد شد. پوشش برروی کاغذ با مقدار Tg کم لاتکس، نرمتر است و عملیات اتوزنی تاثیر بیشتری در تغییر شکل کاغذ دارد. در پوشش‌دهی از رنگدانه‌های مختلفی مانند: کربنات کلسیم، خاک رس[4] دی‌اکسید تیتانیوم، تالک و کائولن جهت بهبود چاپ و ماتی و همچنین پر کردن فضای بین الیاف و افزایش پیچ و خم مسیر مولکول‌های گاز استفاده می‌شود که خواص ممانعتی را افزایش می‌دهد [۴]. در تحقیقاتی نشان داده شده است که اضافه کردن خاک رس و پلی ونیل الکل به ترکیب پوشش‌دهی و اجرای پوشش‌دهی و اتو زنی در این کاغذ، باعث کاهش چشمگیر انتقال بخار آب و کم شدن نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن می‌شود، به طوری که خواص ممانعتی آن نسبت به بسیاری از بسترها، مناسب‌تر خواهد شد [۴]. انجام عمل پوشش، حفره‌های سطح کاغذ را پر می‌کند و پس از خشک شدن و اتو کردن کاغذ، سطح هموارى را برای چاپ فراهم می‌سازد در نتیجه گلاس[5] کاغذ بهتر خواهد شد. اتو زنی اهمیت چشمگیری در رفع مشکلات ناهمواری یا زبری کاغذ دارد و ارزش افزوده‌ای به محصول خواهد داد [۵]. به دلیل خاصیت گرمانرمی بسپارهای اکریلیکی در پوشش کاغذ، عملیات اتوزنی کاغذ اثر مطلوبی بر چاپ دارد و اتوزنی نرم نسبت به اتوزنی سخت در بهبود کیفیت چاپ کاغذ مفیدتر است و هدف اصلی پوشش‌دهی و اتوزنی ایجاد خواص چاپ پذیری مناسب در کاغذ است [۶]. متغیرهای اصلی عملیات اتوزنی شامل دما، فشار و تعداد شکاف است. در نتیجه اعمال فشار، اتوزنی در کاغذ پایه باعث متراکم‌سازی الیاف شده و خواص ممانعتی نسبت به عبور اکسیژن و بخار آب را بهبود می‌دهد. مقدار انتقال اکسیژن و بخار آب از بافت کاغذ یکی از معیارهای افزایش خواص ممانعتی کاغذ است، بنابراین انجام اتوزنی در برخی از خواص ممانعتی کاغذ مطلوب است. البته اتوزنی تاثیر منفی بر درجه روشنی، ماتی و سفتی نیز دارد و با افزایش فشار و درجه حرارت سیلندرهای اتوزنی این تاثیر منفی بیشتر می‌شود. به طور کلی فشار خطی اتوزنی نرم ۱۰-۳۵۰ نیوتن بر میلیمتر و بیشینه این فشار در اتوزنی تکمیلی ۴۵۰-۵۰۰ نیوتن بر میلیمتر است و اغلب دمای غلتک اتوزنی در حدود ۹۰ درجه سانتیگراد تنظیم می‌شود. البته با توجه به کیفیت مورد نیاز در کاغذ نهایی، مقدار فشار خطی و دما قابل تغییر است و دما اتوزنی تا ۲۰۰ درجه نیز قابل افزایش می‌باشد [۶]. عملیات پوشش‌دهی می‌تواند با بهبود ماتی و درجه روشنی تاثیر منفی اتوزنی را برطرف کند. کاهش ضخامت کاغذ از موارد قابل پیش بینی اثرات اتوزنی است و در این مقاله عواملی مانند تخلخل، مقاومت به عبور هوا (روش گرلی)[6] جذب

[1] Voith
[2] Supercalender
[3] Glass transition temperature (Tg)
[4] Clay
[5] Gloss
[6] Air resistance of paper (Gurley method)

آب[1]، مقاومت به پارگی[2] و مقاومت به ترکیدن[3] بررسی شده است.

Vernhes و همکاران (۲۰۰۹)، اثر اتوزنی را بر ساختار میکروسکوپی سطح کاغذ بررسی کردند. این محققین دو نوع کاغذ را با کاربرد اداری انتخاب نمودند و سپس تیمارهای اتوزنی، با روش‌های میکروسکوپی توپوگرافی سطح نمونه را تهیه کردند. سپس نتایج را از طریق محاسبات ریاضی گلاس و مقادیر زبری سطح مقایسه نمودند. آنها نتیجه‌گیری کردند که شرایط تعداد مراحل، دما و فشار اتوزنی موجب بهبود خواص سطحی کاغذ می‌شود. آنها مشاهده کردند که در اتوزنی بدون گرما، ناصافی نمونه و طول الیاف خارج شده از سطح کاغذ بیشتر بود. نتیجه این بررسی در پیش‌بینی صافی و گلاس کاغذ خلاصه می‌شود [۷]. Luu و همکاران (۲۰۱۱)، مقاله‌ای را در زمینه پوشش نانو الیاف سلولزی[4] لاتکس و پلی ونیل الکل نوشتند که حضور این نانو الیاف سلولز موجب افزایش مدول یانگ در فیلم‌های مختلف شده است. ترکیب آلکیل کتن دیمر[5] و نانو الیاف سلولزی باعث افزایش چگالی چاپ و کاهش مشکل پشت نمایی در هنگام چاپ کاغذ است. توزیع و نفوذ جوهر از طریق اسکن میکروسکوپی لیزری هم کانون[6] در کاغذهای پوشش شده و پوشش نشده مقایسه شد و نانو الیاف سلولزی تاثیر بسیار مناسبی در پراکندگی یکنواخت جوهر در بستر کاغذ داشت. همچنین چگالی چاپ در جوهرهای بر پایه رنگدانه و رنگ مقایسه شده، که اتوزنی و افزودن نانو الیاف سلولزی موجب افزایش چگالی چاپ یک رنگ خاص می‌شود [۸].

همچنین Schlordt و همکاران (۲۰۱۴)، اثر اتوزنی کاغذ را بر خواص مکانیکی بررسی کردند. آنها تیمار اتوزنی کاغذ را در دماهای ۱۰۰؛ ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و نیز در سه سطح فشار انجام دادند. سپس مقادیر زبری، هم‌کشیدگی، دانسیته و مدول یانگ اندازه گیری شد. همچنین تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌ها و محاسبات ریاضی برای خواص نوری، هدایت حرارتی و ظرفیت گرمایی انجام گرفت. آنها دریافتند که زبری سطح و مدول یانگ نمونه‌های اتوزنی شده، به وسیله اتوزنی بهبود یافت و خواص مکانیکی به کمک اتوزنی سخت و حتی با فشار بیشتر با استوانه نرم، اصلاح شد [۹]. Vähä-Nissi و همکاران (۲۰۱۶) از کربنات کلسیم و دو نوع استایرن بوتادین برای پوشش‌دهی استفاده کردند. عامل متغیر در این تحقیق درجه حرارت اتوزنی و وزن پوشش بود، به طوری که تیمار اتوزنی در چند دمای مختلف از ۱۵۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بر روی کاغذهایی با وزن پوشش‌های مختلف انجام شد. سپس تصاویر میکروسکوپی و نتایج آزمون‌های مقاومت درونی و موم‌کنی را مقایسه کردند. آنها مقدار مناسب اتصال دهنده را ۱۰ تا ۲۰ سهم از رنگدانه تعیین کردند و نتیجه گرفتند که مقدار گرمای اتوزنی در اتصال رنگدانه‌ها، پیش گرم کردن کاغذ و استفاده از دو استوانه گرم در اتوزنی در پیوند لایه پوشش به کاغذ بسیار موثر است [۱۰]. Singhal و همکاران (۲۰۱۵) از سولفات کلسیم در دوغاب‌های پوشش‌دهی کاغذ پایه ۶۰ گرمی استفاده کردند. سولفات کلسیم در ۷ سطح (از صفر تا ۵۰ درصد) جایگزین خاک رس در فرمولاسیون پوشش‌دهی شد. خواص نوری و شاخص رنگ L,a,b در نمونه‌ها تعیین گردید. عملیات پوشش‌دهی با دستگاه پوشش دهنده میله‌ای و با وزن پوشش ۱۳-۱۴ گرم بر متر مربع انجام شد. اتوزنی در ۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۷۶ بار در یک عبور صورت گرفت. با افزایش درصد سولفات کلسیم، مقدار حفظ آب و گلاس کاغذ کاهش یافت ولی درجه روشنی و سفیدی در نمونه‌ها ارتقاء داشت. در نتیجه سولفات کلسیم عامل بهبود خواص نوری در کاغذ شد [۱۱]. در بررسی دیگری Lavoine و همکاران (۲۰۱۶)، بسترهای زیستی را با هدف بسته‌بندی ساختند. آنها ابتدا کاغذ پایه رنگبری‌نشده را اتوزنی کردند و سپس به وسیله نانو الیاف سلولزی خمیر اکالیپتوس و دو نوع ماده کافیین و کلرهگزیدن دی‌گلوکونات پوشش‌دهی نمودند. در این تحقیق شش ترکیب مختلف پوشش‌دهی تهیه شد و یک مدل ریاضی در پراکنش مواد برای عملیات پوشش‌دهی بررسی گردید. کافئین در پراکنش و ایجاد شبکه نانو ذرات سلولز و نیز خواص ممانعتی مطلوب ذرات نانو سلولز مناسب تشخیص داده شد [۱۲]. مقاومت به

[1] Cobb test
[2] Internal tearing resistance of paper (Elmendorf-type method)
[3] Bursting strength of paper
[4] Nanofibrillated cellulose (NFC)
[5] Alkylketene Dimer (AKD)
[6] Confocal laser scanning microscope (CLSM)

روغن در کاغذ حاصل از خمیرهای سولفیت و سولفات (با درجه پالایش کم و زیاد) بررسی شده است و اثر پوشش کیتوزان و اتوزنی بر روی کاغذهای تهیه شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش مقدار پالایش و نیز انجام عملیات پوشش‌دهی، موجب افزایش زمان مقاومت به عبور هوا از بافت کاغذ و بهبود خواص ممانعتی شد. کاغذهای اندود شده با کیتوزان، جذب روغن و عبور اکسیژن کمتری را نشان دادند. کاغذ حاوی خمیر سولفات و پوشش کیتوزان کمترین زاویه تماس قطره آب را داشت و نفوذ آب در آن نمونه‌ها بر اساس خاصیت مویینگی بود. یعنی قطره آب پس از ۱/۵ ثانیه محو می‌شد. در نتیجه این نمونه، دارای نفوذ و جذب آب بیشتری بود در حالی که در کاغذهای ساخته شده از خمیرهای سولفیت و مخلوط سولفیت و سولفات، قطره آب به مدت ۲۰ ثانیه بر روی کاغذ می‌ماند و پدیده انتشار روش غالب جذب آب بود. این تحقیق نشان داد که ترکیب خمیر، مقدار پالایش و اتوزنی بر مقاومت به عبور هوا در کاغذ پوشش‌دهی شده تاثیرگذار است که به دلیل تغییر اندازه سوراخ‌های کاغذ و نسبت فضای خالی بین الیاف است [۱۳].

عملیات اتوزنی به‌صورت پیوسته در ماشین کاغذ و به‌صورت ناپیوسته در یک ماشین جداگانه می‌تواند انجام شود. تجهیزات دستگاه‌های اتوزنی متفاوتند ولی در تمامی آنها، استوانه‌هایی با سطوح صاف وجود دارد. اتوزنی اغلب برای افزایش صافی سطح در مراحل انتهایی تولید کاغذ انجام می‌گیرد. البته اتوزنی مزایای دیگری هم دارد به طور مثال برای بهبود ویژگی‌های سطحی کاغذ یعنی کاهش زبری و افزایش براقیت انجام می‌شود. اتوزنی و انواع ذرات معدنی پوشش، رابطه هم‌افزایی با یکدیگر دارند و باعث بهبود خواص کاغذ خواهند شد. اتوزنی با تاثیری که روی خلل و فرج سطح دارد چاپ‌پذیری کاغذ را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. طبیعت چندگانه سطح کاغذ در آهاردهی و چاپ‌پذیری بسیار مهم است و منشاء این رفتار چندگانه سطح کاغذ ناشناخته است. می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های عددی و مدلسازی تا حد زیادی این سوالات پاسخ داد [۷]. البته اتوزنی تاثیر منفی بر درجه روشنی، ماتی و سفتی نیز دارد و با افزایش فشار و درجه حرارت سیلندرهای اتوزنی این تاثیر منفی بیشتر می‌شود. از آنجایی که استوانه‌های اتوزنی در اغلب کارخانه‌ها وجود دارند و می‌توان به کمک آنها به ارزش افزوده بیشتری دست یافت، این تحقیق برای تعیین تغییرات ایجاد شده در خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذهای پوشش داده شده انجام شده است. تحقیقاتی درباره پوشش‌دهی بر روی کاغذ انجام شده است ولی به ندرت مقاله‌ای با انجام عملیات پوشش‌دهی و اتوزنی کاغذ دیده می‌شود. همچنین عملیات اتوزنی ممکن است به کاهش یا عدم استفاده از برخی از مواد شیمیایی پوشش‌دهی و آهارزنی کمک کند.

مواد و روش ها

با توجه به اهداف تعریف شده، محدوده این تحقیق در زمینه تاثیر اتوزنی بر دو نوع کاغذ بود. در این تحقیق ابتدا نمونه‌ها پوشش‌دهی شد که این پوشش‌ها شامل خاک رس و کربنات کلسیم آسیابی[1] (محصول شرکت اومیا پارس) به‌همراه چسب‌های پلی‌وینیل‌استات[2] (نمونه صنعتی چسب و رزین شمال)، لاکتیک اسید[3] (نوعی لاتکس زیست‌تخریب‌پذیر تهیه شده از نمونه‌های آزمایشگاهی مرک آلمان) و پراکنده‌ساز[4] صنعتی (تولیدی شرکت Arkema Group) با نام تجاری Topsperse GX N بود. این ماده پراکنده‌ساز از ترکیب سدیم پلی‌آکریلات دارای ۴۲ درصد مواد جامد، اسیدیته ۷/۵، به‌رنگ زرد نارنجی و وزن مخصوص ۱/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب است، که مخصوص ترکیب‌های پوشش‌دهی کربنات کلسیم و خاک رس در پوشش‌دهی کاغذ می‌باشد. سه نوع ترکیب با درصدهای مختلف اتصال‌دهنده، دو ترکیب اول در دو سطح درصد مواد جامد ۳۰ و ۵۰ درصد و ترکیب سوم با درصد مواد جامد ۵۰ درصد استفاده گردید و سپس مقدار pH و گرانروی آنها تعیین گردید (جدول ۱). دو نوع کاغذ چاپ و تحریر با گراماژهای ۱۲۵ و ۷۵ گرم بر متر مربع از حلقه‌های کاغذ موجود در انبار کارخانه چوب و کاغذ مازندران انتخاب شد. این نمونه‌ها حاوی ۸۵ درصد خمیر CMP و ۱۵ درصد خمیر الیاف بلند وارداتی به‌همراه پرکننده و ۱/۲ درصد آلکیل کتن دیمر بود، البته کاغذ

[1] Ground calcium carbonate (GCC)
[2] Polyvinyl acetate (PVA)
[3] Lactic acid (LA)
[4] Dispersant

۱۲۵ گرمی با فرنیش مشابه ۷۵ و با گراماژ ۱۲۰ گرم بر متر مربع تولید شد و سپس در پرس آهارزنی با کربنات کلسیم و نشاسته آنیونی در هر دو سمت آهارزنی گردید. به دلیل رایج بودن این نمونه‌ها در تولید و ساختار یکسان، از این دو نوع کاغذ به عنوان کاغذ پایه استفاده شد. تعداد ۵۰۰ برگ در ابعاد کاغذ A4 از هر حلقه به‌کمک دستگاه برش برقی نیمه اتوماتیک کارخانه برش داده شد که مشخصات اولیه آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- مشخصات ترکیب‌های مواد پوشش‌دهی در پوشش‌ها

فرمولاسیون	ترکیب شماره ۱	ترکیب شماره ۲	ترکیب شماره ۳	ترکیب شماره ۴	ترکیب شماره ۵
خاک رس Clay	۴۰ گرم خشک	۴۰ گرم خشک	۴۰ گرم خشک	۴۰ گرم خشک	۴۰ گرم خشک
GCC	۱۰ گرم خشک	۱۰ گرم خشک	۱۰ گرم خشک	۱۰ گرم خشک	۱۰ گرم خشک
PVA	۸/۳۳ گرم	۴/۷۶ گرم	۸/۳۳ گرم	۴/۷۶ گرم	۷/۹۶ گرم
LA	۳/۹۵ گرم	۷/۹ گرم	۳/۹۵ گرم	۷/۹ گرم	۱۴ گرم
پراکنده‌ساز	۰/۳ گرم	۰/۳ گرم	۰/۳ گرم	۰/۳ گرم	۰/۳ گرم
آب مقطر	۱۰۲/۷ گرم	۱۰۲/۳۵ گرم	۱۷۶ گرم	۱۷۵/۶۸ گرم	۱۰۴ گرم
مواد جامد	۵۰ درصد	۵۰ درصد	۳۰ درصد	۳۰ درصد	۵۰ درصد
pH	۶/۳۱	۶/۱۱	۶/۲۱	۶/۱۲	۶/۳۲
گرانروی (سانتی پوآز)	۱۵/۳	۱۲/۲	۵/۷	۵/۳	۲۴/۲
درصد اتصال‌دهنده	۲۲/۹	۲۴/۳۷	۲۲/۹	۲۴/۳۷	۴۲/۳

جدول ۲- مشخصات اولیه کاغذهای پایه

مشخصات	کاغذ ۱۲۵ گرمی	کاغذ ۷۵ گرمی
گراماژ (g/m^2)	۱۲۵±۳	۷۵±۲
ضخامت (mm)	۰/۱۹۵±۰/۰۱	۰/۱۰۵±۰/۰۱
رطوبت	٪۸/۲	٪۸
درجه روشنی	۷۱/۷	۷۱/۲
زردی	۶/۳	۶/۸
ماتی (%)	۹۲	۹۱/۵
Cobb60 (g/m^2) نهایی	۴۰	۷۲
زبری روی کاغذ (µm)	۸/۷	۵/۸
زبری زیر کاغذ (µm)	۹/۱	۶/۴
کدگذاری	M	N

مطابق مقالات مطالعه شده و تحقیقات قبلی، عملیات پوشش‌دهی از طریق تیمار پوشش‌دهی میله‌ای در سمت نمد[1](روی) نمونه‌های با میله شماره ۱۴ (RSD14) انجام گرفت. بر روی هر نمونه کاغذ، مقدار ۲ سی‌سی از ترکیب پوشش‌دهی در مقابل میله دستگاه پوشش‌دهی Auto Bar Coater GBC_A4 GIST Co.Ltd آزمایشگاه دانشگاه منابع طبیعی گرگان ریخته شد. به علت پوشش یکنواخت و جلوگیری از خروج سوسپانیون پوشش‌دهی از روی کاغذ، این تیمار پوشش‌دهی با یک بار حرکت میله دستگاه و با سرعت ۵۰mm/s، فشار ثابت و به طول ۲۷۰mm صورت گرفت [۱۴]. پس از کدگذاری در سمت نمد نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده، کلیه نمونه‌های دو نوع کاغذ در قاب چوبی با گیره مهار گردیدند و در دمای اتاق به‌مدت یک روز خشک شدند. شرایط دما و رطوبت اتاق به منظور خشک کردن نمونه‌ها، ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۴ درصد بود. عملیات اتوزنی برای تعدادی از نمونه‌های پوشش‌دهی شده و نشده به‌وسیله دستگاه اتوزن آزمایشگاهی FIBRETEC دانشکده فنی

[1] Felt side

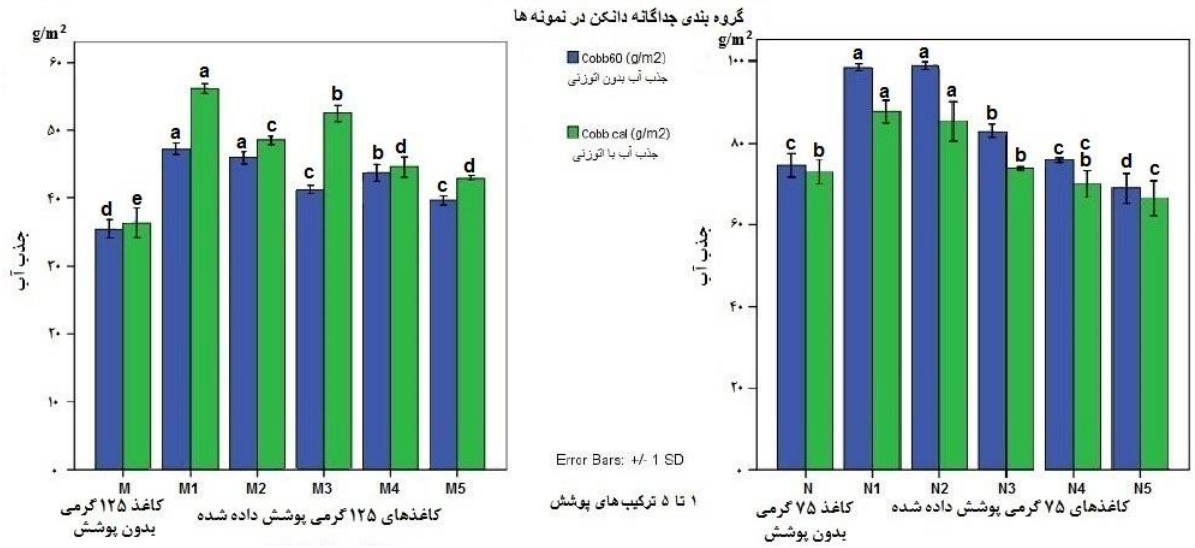
کاسپین دانشگاه تهران (چوکا) با دمای ۵۵ درجه سانتیگراد و فشار خطی ثابت ۶۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر (۶۰ نیوتن بر میلیمتر) انجام گرفت. این دستگاه مخصوص حلقه کاغذ می‌باشد و دارای سه غلتک است که دو غلتک آن فلزی و یک غلتک دیگر لاستیکی (در وسط) است. به‌منظور اتوزنی نمونه‌هایی به‌صورت ورق باید نمونه از بین دو غلتک عبور می‌کرد. اتوزنی در نیمی از نمونه‌ها با ۴ بار عبور از بین دو غلتک انجام شد، به‌طوری که سمت نمد کاغذ (پوشش‌دهی شده و نشده) در تماس با غلتک فلزی و سمت دیگر کاغذ (سمت توری) در تماس با غلتک لاستیکی بود. مقدار ضخامت نمونه‌های پوشش‌دهی شده و نشده با استفاده از استاندارد T 411 om-05 به‌وسیله میکرومتر Sylvac/Swiss PTA اندازه‌گیری شد. از قسمت پوشش شده نمونه‌ها قطعاتی به ابعاد A5 بریده شد و با قطعاتی به‌همین اندازه از نمونه‌های شاهد و پوشش نشده مقایسه گردید. جرم کاغذهای شاهد و نمونه‌های تیمار شده با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. از طریق تفاضل جرم نمونه‌ها و نیز محاسبه سطح، مقدار وزن پوشش بر حسب گرم بر متر مربع به‌دست آمد. از این نمونه‌ها جهت آزمون‌های جذب آب (استاندارد Cobb60, T 441 om-04)، ضخامت، مقاومت به عبور هوا (روش گرلی[1] T 460 om-02)، مقاومت به‌پارگی در جهت CD (T 414 om-04)، مقاومت به‌ترکیدن (T 403 om-02) و شاخص‌های مقاومت مکانیکی استفاده گردید و ۳ تکرار برای انجام آزمایشات صورت گرفت. همچنین گروه بندی میانگین بر اساس آزمون آماری دانکن و آنالیز واریانس یک طرفه به کمک نرم افزار SPSS انجام شد. سپس تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی[2]نمونه‌ها در مرکز تحقیقات متالورژی رازی انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات جذب آب

تغییرات مقادیر جذب آب در نمونه‌های شاهد و تیمار شده هر دو نوع کاغذ در شکل ۱ دیده می‌شود. به دلیل ماهیت آبدوستی پوشش کربنات کلسیم، وجود تخلخل در بافت پوشش و نیز عدم وجود اتصال دهنده آبگریز، عملیات پوشش‌دهی مقدار جذب آب را در اغلب نمونه‌ها افزایش داد. ولی به علت فشرده شدن ساختار پوشش به وسیله اتوزنی، داده‌های جذب آب در نمونه‌های ۷۵ گرمی پوشش‌دهی شده به کمک اتوزنی بهبود یافت. همچنین مطابق سایر تحقیقات، افزایش مقدار اتصال دهنده در سوسپانسیون پوشش‌دهی موجب بهبود خواص ممانعتی کاغذ می‌شود [۳]. بنابراین با افزایش اتصال‌دهنده در ترکیب ۵ بر روی کاغذ ۷۵ گرمی نسبت به نمونه پوشش داده نشده مقدار جذب آب کاهش داشت که به‌دلیل کم کردن خاصیت آب‌دوستی نمونه است (شکل ۱). از نظر جذب آب پس از اتوزنی، نتیجه ترکیب‌های ۴ و ۵ در نمونه‌های ۷۵ گرمی بهتر از سایر تیمارها بود. به دلیل استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر، مقدار بهبود جذب آب ناچیز بود و در صورت استفاده از مواد رایجی مثل استایرن بوتادین به‌عنوان اتصال دهنده، این خاصیت ممانعتی بهبود می‌یافت [۱۵]. عملیات پوشش‌دهی و اتوزنی در نمونه‌های ۱۲۵ گرمی تاثیر نامطلوبی بر جذب آب داشت. همان طور که گفته شد، این نمونه کاغذ آهار دهی شده بود و احتمال ایجاد شکاف‌های ریز در بافت آهار به‌علت فشار اتوزنی وجود دارد.

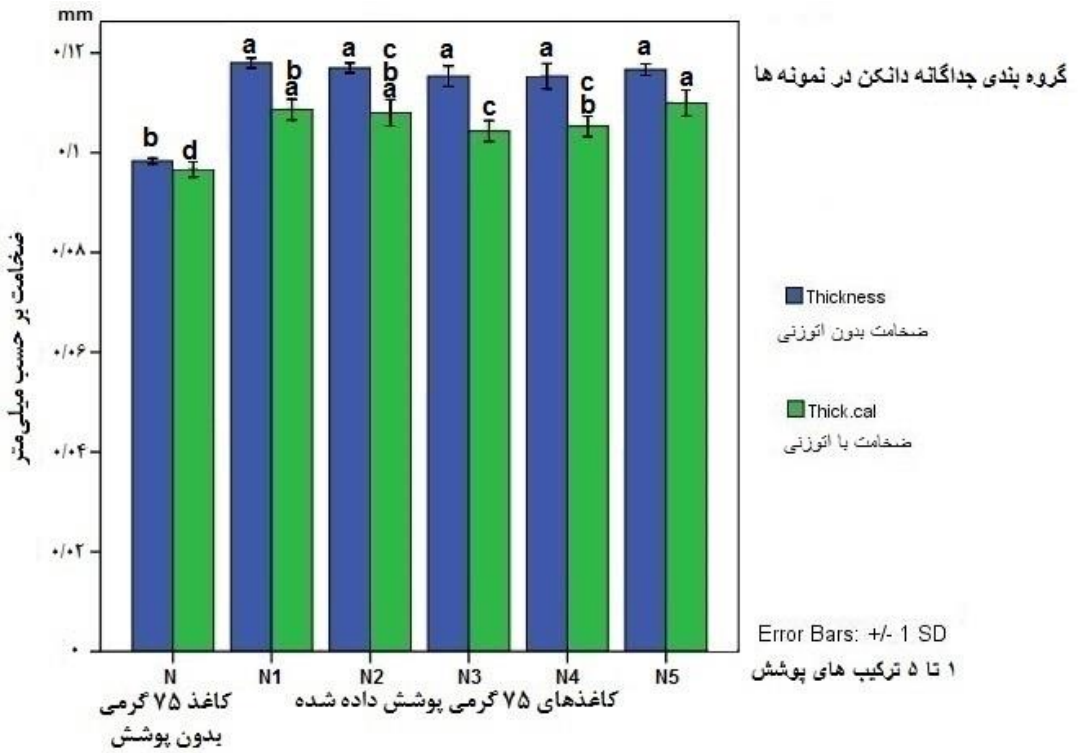
[1] Air resistance of paper (Gurley method)
[2] Field emission scanning electron microscopy (FESEM)



شکل ۱- میانگین مقادیر جذب آب در نمونه‌ها با اتوزنی و بدون اتوزنی

بررسی تغییرات ضخامت

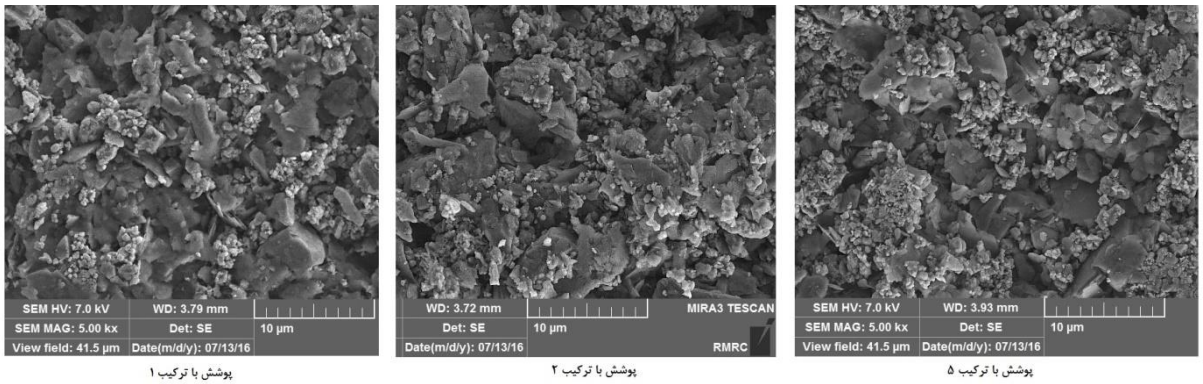
در کلیه نمونه‌ها عملیات پوشش‌دهی مقدار ضخامت را افزایش داد، ولی میانگین این نتایج نشان دهنده تاثیر اتوزنی بر ضخامت نمونه‌ها می‌باشد و کاهش ضخامت نمونه‌های پوشش‌دهی شده، در اثر اتوزنی قابل پیش‌بینی بود. شکل ۲ تغییرات ضخامت در نمونه‌های کاغذ ۷۵ گرمی را ارایه می‌دهد و نمونه‌های ۱۲۵ گرمی نیز شرایط مشابهی را نشان دادند. بر اساس سوابق تحقیق، مقدار ضخامت تحت تاثیر فشار دستگاه اتوزنی است و عملیات اتوزنی باعث کاهش ضخامت می‌شود [۶].



شکل ۲- میانگین مقادیر ضخامت در نمونه‌های کاغذ ۷۵ گرمی با اتوزنی و بدون اتوزنی

بررسی تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها

تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌های پوشش‌دهی شده و اتوزنی شده در شکل ۳ دیده می‌شود. ذرات صفحه‌ای و مسطح خاک رس، رنگدانه غالب است که نسبت ۳۰ تا ۳۵ درصد این رنگدانه در ابعاد ۲ تا ۱۰ میکرومتر و ۵۵ تا ۶۰ درصد آنها کمتر از ۲ میکرومتر بود و با شاخص اندازه تصویر مطابقت دارد. ذرات کربنات کلسیم آسیابی استوانه‌ای شکل نیز در بافت پوشش دیده می‌شوند که مطابق روش ساخت ترکیب ۱ به مقدار ۲۰ درصد کل رنگدانه مصرفی بود. بخش‌های تیره فضای خالی و نقاط درخشان یا روشن اتصال‌دهنده‌ها هستند که پراکندگی یکنواخت اتصال‌دهنده‌ها در بافت پوشش مشاهده می‌شود. کاهش جذب آب در اثر عملیات اتوزنی در نمونه‌های ۷۵ گرمی، به دلیل فشردگی و کاهش قطر این فضاها بود. ذرات درخشان درشت مربوط به PVA و ذرات درخشان ریز به لاکتیک اسید نسبت داده می‌شود. در تصاویر میکروسکوپی ذرات خاک رس، GCC و وجوه صاف شده آنها دیده می‌شود که صاف شدن سطح ذرات به‌دلیل شرایط فشار و دما اتوزنی است. ترکیب ۵ دارای درصد مواد اتصال دهنده بیشتری نسبت به ترکیب‌های ۱ و ۲ بود (۴۲/۳ درصد). بنابراین در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به ترکیب ۵ پوشش‌دهی نقاط درخشان بیشتری مشاهده می‌شود (شکل ۳). از آنجایی که ترکیب ۱ و ۳ و همچنین ۲ و ۴ مشابه هستند و فقط درصد مواد جامد آنها متفاوت است و پس از تبخیر آب در لایه پوششی، ساختاری مشابهی را در تصاویر میکروسکوپی نشان می‌دهند، فقط تصاویر سوسپانسیون‌های ۱، ۲ و ۵ آورده شده است.



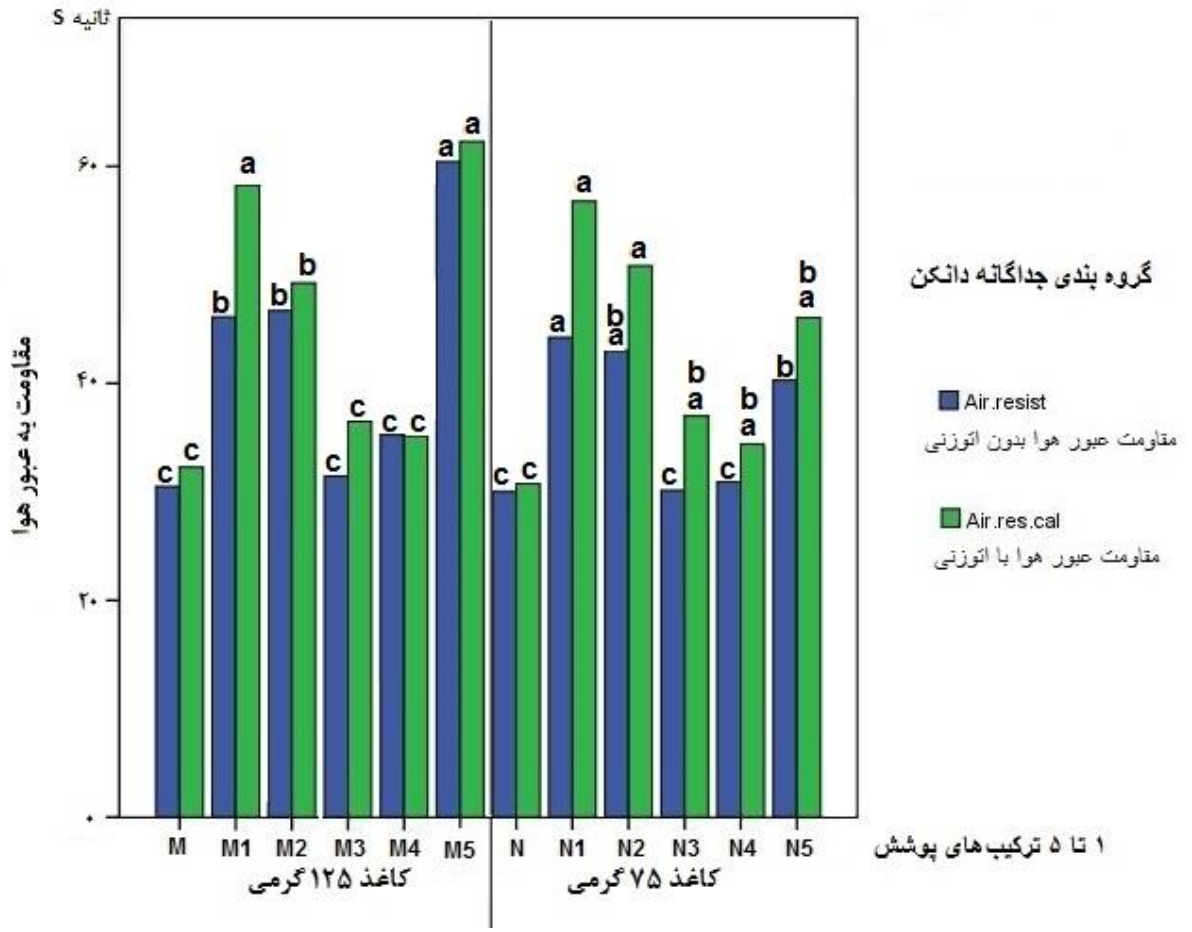
شکل ۳- تصاویر پوشش کاغذ با ترکیب‌های ۱، ۲ و ۵

بررسی مقاومت به عبور هوا و چگالی کاغذ

عملیات پوشش‌دهی و اتوزنی، عامل افزایش زمان مقاومت به عبور هوا و برخی از خواص ممانعتی است به طور کلی رنگدانه‌ها و مواد اتصال دهنده فضاهای خالی بین الیاف را در کاغذ پر می‌کنند و مقدار مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد [۶ ، ۱۶]. بنابراین مقدار مقاومت به عبور هوا در نمونه‌های بدون پوشش و پوشش داده شده قبل و بعد از اتوزنی اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۴ کلیه تیمارهای پوشش‌دهی موجب بهبود مقاومت به عبور هوا شد. ترکیب‌های ۳ و ۴ به دلیل درصد مواد جامد کمتر، وزن پوشش کمتری را ایجاد کردند در نتیجه نسبت به سایر تیمارها تاثیر کمتری داشتند و تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. البته عملیات اتوزنی در بهبود مقاومت به عبور هوا و نیز کاهش جذب آب موثر بود که به‌دلیل قرارگیری مناسب ذرات و بسته شدن فضاهای خالی بین رنگدانه‌ها و الیاف، زمان عبور هوا را زیاد کرد. اختلاف معناداری در مقاومت به عبور هوا در ترکیب‌های ۱، ۲ و ۵ با نمونه شاهد دیده شد و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به کاغذ ۱۲۵ گرمی با تیمار ۵ بود.

مقاومت به عبور هوا معیاری از تخلخل بافت کاغذ است. بنابراین مقدار چگالی در نمونه‌های شاهد و پوشش شده پس از انجام عملیات اتوزنی محاسبه شد. به‌علت وزن مخصوص بیشتر رنگدانه‌های معدنی انجام عملیات پوشش‌دهی باعث افزایش چگالی کاغذها شد. بنابراین

چگالی نمونه‌های شاهد کمتر از نمونه‌های پوشش شده بود و مقدار چگالی به میزان ترکیب پوشش وابسته بود. در بین این پوشش‌ها، ترکیب ۲ در هر دو نوع کاغذ بیش‌ترین چگالی کاغذ نهایی را نشان می‌دهد. به دلیل درصد مواد جامد ۵۰ درصد، ترکیب‌های ۱، ۲ و ۵ بیش‌ترین مقادیر وزن پوشش را فراهم کردند و این افزایش وزن پوشش اثر مستقیمی بر مقاومت به عبور هوا داشت. همچنین کاغذهای حاوی پوشش‌های ۱، ۲ و ۵ به دلیل استفاده از رنگدانه و وزن پوشش بیشتر، چگالی بیشتری داشتند. چگالی LA، PVA، Clay و GCC به ترتیب ۱/۲۱، ۰/۹۳، ۲/۶ و ۲/۷ تا ۲/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد که خود بیانگر بیشتر بودن چگالی کاغذهای ۱، ۲ و ۵ از دیگر تیمارها است. با توجه به رابطه عکسی که بین تخلخل و چگالی وجود دارد، نمونه‌هایی با پوشش ترکیب ۲ دارای کم‌ترین تخلخل و بیشترین چگالی بودند. دلیل بیشتر بودن چگالی تیمار ۲ نسبت به تیمار ۱ نیز، استفاده از درصد بیشتر LA با چگالی بیشتر نسبت به PVA می‌باشد (جدول ۱).

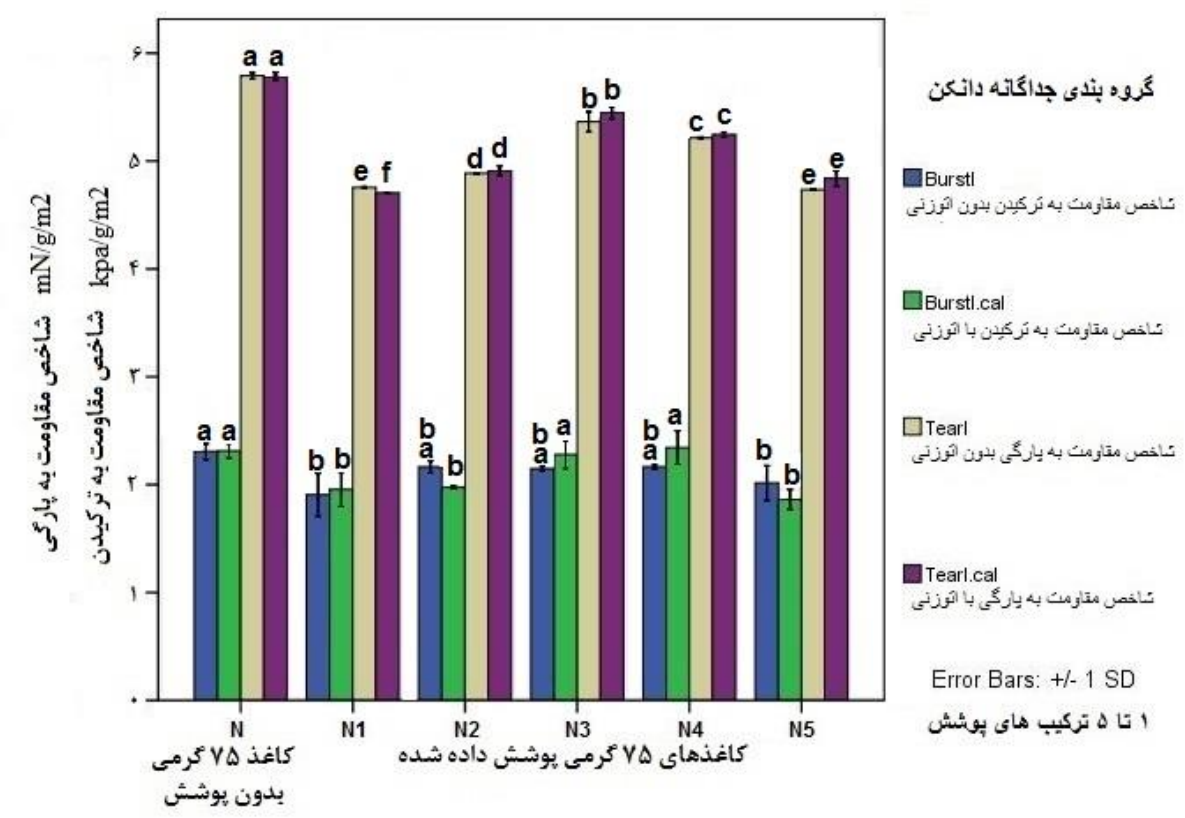


شکل ۴- میانگین مقادیر مقاومت به عبور هوا در نمونه‌ها با اتوزنی و بدون اتوزنی

خواص مکانیکی کاغذ

شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی نمونه‌های ۷۵ گرمی، قبل و بعد از اتوزنی در شکل ۵ آورده شده است. نتایج مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی و شاخص آنها در نمونه‌های ۱۲۵ گرمی نیز مشابه نمونه‌های ۷۵ بود. همان‌طوری که در شکل دیده می‌شود، نمونه‌های شاهد دارای شاخص مقاومتی بیشتری هستند و انجام اتوزنی تغییرات ناچیزی را در تیمارها نشان می‌دهد. البته بدون در نظر گرفتن شاخص مقاومت، اغلب تیمارها باعث افزایش مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن شده است که به دلیل کم شدن ضخامت، مقادیر شاخص مقاومت محاسبه شده کمتر شد (افزایش مقاومت به ترکیدن در نمونه‌های ۷۵ گرمی در اثر تیمارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ همچنین در نمونه‌های ۱۲۵ گرمی با تیمارهای ۲ و ۵

مشاهده گردید). عدم تاثیر اتوزنی بر خواص مکانیکی کاغذ نیز در منابع مشاهده شده است و طبق این تحقیقات تیمار اتوزنی موجب بهبود خواص ممانعتی در کاغذ بود [۱۳]. از نظر خواص مکانیکی نتایج این بررسی مشابه مقاله Schlordt و همکاران (۲۰۱۴) است. آنها اثر اتوزنی سخت را با چند دما بر خواص مکانیکی کاغذ بررسی کردند و در مواردی کاهش اندکی در خواص مکانیکی کاغذ مشاهده شد و مشابه این تحقیق برخی از خواص مکانیکی در نمونه‌های اتوزنی شده بهبود یافت. البته هدف تحقیق آنها یافتن حد بهینه کاهش ضخامت و بیشترین تراکم بود. به طور کلی عملیات اتوزنی در خواص مکانیکی تاثیر بسیار اندکی دارد [۹].



شکل۵- اثر اتوزنی در شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی در کاغذهای ۷۵ گرمی

نتیجه گیری

مطابق انتظار انجام پوشش‌دهی مقدار ضخامت نمونه را افزایش می‌دهد و عملیات اتوزنی از مقدار ضخامت نمونه‌ها می‌کاهد. همچنین استفاده از ترکیب‌های مختلف پوشش‌دهی و اتوزنی تفاوت معناداری را با گروه بندی میانگین آزمون آماری دانکن در ضخامت کاغذ نشان می‌دهد. به دلیل ساختار مواد در این پوشش‌ها، جذب آب در اغلب تیمارهای پوشش‌دهی افزایش داشت که از نظر خواص ممانعتی مطلوب نیست و این نتیجه مشابه نتایج برخی از منابع است [۵، ۱۷]. البته در کلیه نمونه‌های کاغذ ۷۵ گرمی عمل اتوزنی به کاهش جذب آب کمک کرد و ترکیب پنجم پوشش در کاغذ ۷۵ گرمی، تاثیر مناسبی بر کاهش جذب آب داشت و با عملیات اتوزنی این خاصیت ممانعتی بهتر شد. در سطح ۹۵ درصد بین نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده با ترکیب‌های پوششی ۳ و ۴ در نمونه‌های ۷۵ گرمی تفاوت معناداری در مقدار جذب آب دیده نشد. در حالی که کلیه تیمارهای پوشش‌دهی و اتوزنی در کاغذهای ۱۲۵گرمی چاپ و تحریر افزایش جذب آب را به همراه داشت و در کلیه تیمارهای مختلف با نمونه شاهد، جذب آب تفاوت معناداری در سطح ۹۵ درصد وجود داشت. این موضوع به این دلیل بود که کاغذ ۱۲۵ گرمی دارای آهار بود و این

کاغذ از ابتدا جذب آب کمی داشت و احتمال ایجاد ترک‌های مویین در آهار این کاغذ در اثر فشار زیاد اتوزنی وجود دارد. ایجاد تغییرات در ساختار پوشش کاغذ در اثر فشار پرس مشاهده شده است [۱۸]. کمترین مقادیر مقاومت به عبور هوا مربوط به دو نوع کاغذ پایه شاهد بود چون عملیات پوشش‌دهی و اتوزنی با پر کردن فضاهای خالی، در افزایش مقاومت به عبور هوا موثر است. مقاومت به عبور هوا پس از اتوزنی، تفاوت معنی داری را در مقایسه با نمونه‌های شاهد نشان می‌دهد. مقدار مقاومت به عبور هوا به‌دلیل پوشش اعمال شده افزایش یافت که مطابق انتظار و نتایج اعلام شده در منابع بود [۱۳]. مشابه سایر تحقیقات با انجام عملیات پوشش‌دهی و اتوزنی در خواص مکانیکی بهبود حاصل شد [۹] ولی به‌دلیل افزایش ضخامت و گراماژ کاغذ، در اغلب موارد شاخص مقاومت‌ها کاهش نشان داد. بنابراین تیمار پوشش‌دهی با مواد مورد استفاده در این تحقیق، نمی‌تواند به‌عنوان ارتقاء دهنده خواص مکانیکی کاغذ در نظر گرفته شود و بر اساس نتایج عملیات پوشش‌دهی موجب کاهش شاخص‌های مقاومت و اتوزنی باعث افزایش اغلب شاخص‌ها شد. بجز تیمارهای ۳ و ۴، کلیه نمونه‌های کاغذ ۷۵ گرمی تیمار شده با نمونه شاهد اتوزنی شده، تفاوت معناداری را در شاخص پارگی نشان می‌دهند، که البته این شاخص کاهش یافته است که به‌دلیل روش محاسبه شاخص مقاومت می‌باشد (شکل ۵). همچنین اختلاف جزئی مقاومت به ترکیدن کاغذهای تیمار شده را با نمونه شاهد نشان می‌دهد که هیچ کدام از تیمارها معنادار نشد. همبستگی مقاومت به عبور هوا قبل و بعد اتوزنی ۰/۸۲۰، جذب آب قبل و بعد اتوزنی ۰/۹۰۴، مقدار ضخامت قبل و بعد اتوزنی ۰/۹۰۱و مقاومت به پارگی قبل و بعد اتوزنی ۰/۹۸۳تعیین گردید. در شرایط بدون اتوزنی، همبستگی شاخص مقاومت به پارگی و ضخامت ۰/۸۳۳- بود که نشان دهنده تاثیر کاهش ضخامت بر شاخص مقاومت است و پس از اتوزنی همبستگی این شاخص مکانیکی و ضخامت نمونه اتوزنی شده به ۰/۹۲۸- رسید. با توجه به مقاومت در برابر عبور هوا و کاهش جذب آب، تیمار پوشش‌دهی با ترکیب پنجم و عملیات اتوزنی بهترین شرایط را برای حفظ خواص ممانعتی این کاغذهای پایه فراهم می‌کند.

سپاسگزاری

لازم است که نویسنده مسئول به دلیل تهیه نمونه‌های کاغذ و برخی از مواد، از آقای دکتر علی برزن قدردانی کند.

منابع

[1] Smook, G. A., 2003. Handbook for pulp and paper technologists, 2th Ed, translated by Mirshokraei, S. A., Aeeizh press, Tehran. 520 p. (In Persian).

[2] Mirshokraei, S. A., 2002. Pulp and paper terminology, Aeeizh press, Tehran. 424 p. (In Persian).

[3] Biermann, C. J., 1996. Handbook of pulping and papermaking. Academic press. 783 p.

[4] Asadi khansari, R. and Dehghani Firouzabadi, M., 2013. Introduce of new paper and cardboard in food packaging. Journal of packaging science and technology, 16(4):46-57. (In Persian).

[5] Asadi khansari, R., Dehghani Firouzabadi, M. and Resalati, H., 2016. The effect of biodegradable coatings on the barrier properties of papers. Iranian journal of wood and paper industries, 7(1):91-101. (In Persian).

[6] Holik, H., (Ed.). 2006. Handbook of paper and board. John Wiley and Sons. 528 p.

[7] Vernhes, P., Bloch, J. F., Blayo, A. and Pineaux, B., 2009. Effect of calendering on paper surface micro-structure: A multi-scale analysis. Journal of materials processing technology, 209(11):5204-5210.

[8] Luu, W. T., Bousfield, D. W. and Kettle, J., 2011. Application of nano-fibrillated cellulose as a paper surface treatment for inkjet printing. In PaperCon Conference. May 1-4, Covington, Kentucky, USA, p 1152-1163.

[9] Schlordt, T., Dermeik, B., Beil, V., Freihart, M., Hofenauer, A., Travitzky, N. and Greil, P., 2014. Influence of calendering on the properties of paper-derived alumina ceramics. Ceramics International, 40(3):4917-4926.

[10] Vähä-Nissi, M., Hildén, S. and Aikala, M., 2016. Coating of paper with highly filled powders. Powder Technology, 294:185-190.

[11] Singhal, A. K., Kumar, S., Gupta, S., Bhardwaj, N. K. and Varadhan, R., 2015. Calcium sulphate as pigment for improved functional properties of coated paper. Progress in Organic Coatings, 79:31-36.

[12] Lavoine, N., Guillard, V., Desloges, I., Gontard, N. and Bras, J., 2016. Active bio-based food-packaging: Diffusion and release of active substances through and from cellulose nanofiber coating toward food-packaging design. Carbohydrate polymers, 149:40-50.

[13] Kjellgren, H., 2005. Barrier properties of greaseproof paper. Karlstad University Studies. 94 p.

[14] Asadi khansari, R., Dehghani Firouzabadi, M. and Resalati, H., 2017. The effect of coatings and coating weight by two types of PCC on barrier and optical properties and roughness of paper. Iranian journal of wood and paper industries, 8(2):283-295. (In Persian).

[15] Kugge, C. and Johnson, B., 2008. Improved barrier properties of double dispersion coated liner. Progress in Organic Coatings, 62(4):430-435.

[16] Vernhes, P., Dubé, M. and Bloch, J. F., 2010. Effect of calendering on paper surface properties. Applied Surface Science, 256(22):6923-6927.

[17] Asadi khansari, R., Dehghani Firouzabadi, M. and Resalati, H., 2017. Fluting and kraft liner papers with GCC coatings and PVA binder. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 24(1):145-159. (In Persian).

[18] Bohlin, E., 2011. Optics of coated paperboard, Aspects of surface treatment on porous structures. Karlstad University Studies. 73 p.

Effect of calendering on physical and mechanical properties of coated papers

Abstract

The purpose of this study was to improve the properties of the coated papers by calendering. Two types of printing and writing paper (75 and 125gsm) and five coating suspensions (the first suspension with 22.9% binders and 50% solids content, the second with 24.73% binders and 50% solids, the third one with 22.9% binders and 30% solids, fourth suspension with a 24.73% binders and 30% solids and the fifth suspension with 42.3% binders and 50% solids content) were used. The coatings were composed of 80% kaolin clay, 20% ground calcium carbonate, dispersant and different ratios of polyvinyl acetate and lactic acid. The base and coated papers were dried after coating. The calendering treatment was carried out at a temperature of 55° C and 60 kg/cm linear pressure. Air resistance, thickness, water absorption, tearing resistance and bursting strength of papers were determined. The calendering operation was effective in reducing the thickness and increasing the air resistance. Water absorption was decreased only in 75gsm samples. As a result of calendaring, the mechanical properties were improved slightly, but in most cases, this treatment had an adverse effect on the mechanical indexes.

Keywords: calendering, paper, coating, physical properties, mechanical properties.

R. Asadi Khansari[1*]
M.R. Dehghani Firouzabadi[2]
H. Resalati[3]

[1] Assistant Prof., Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Mirza Kochak, Someh Sara Branch, Technical and Vocational University (TVU), Guilan, Iran

[2] Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

[3] Emeritus Professor, Natural resources faculty, Sari university of agricultural sciences and natural resources, Sari, Iran

Corresponding author:
rasadikhansari@gmail.com

Received: 2019/01/15
Accepted: 2019/03/14