

بررسی پوشش دهی کاغذهای صنعتی با کائولن بازیافتی

فاطمه السادات مرتضوی مقدم^{۱*}، حسین رسالتی^۲، سوسن رسولی^۲، قاسم اسدپور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع چوب و فرآورده های سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، صندوق پستی: ۴۸۱۸۱۶۸۹۸۴

۲- استاد، گروه مهندسی صنایع چوب و فرآورده های سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، صندوق پستی: ۴۸۱۸۱۶۸۹۸۴

۳- دانشیار، گروه پژوهشی نانوفناوری رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

۴- دانشیار، گروه مهندسی چوب و فرآورده های سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، صندوق پستی: ۴۸۱۸۱۶۸۹۸۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۴۰۰/۴/۱۲

چکیده

فرآیند پوشش دهی کاغذ در راستای کاهش هزینه های تولید و ارتقا کیفیت، در صنعت کاغذ جایگاه ویژه ای دارد. در این تحقیق، ابتدا کائولن از ضایعات کاغذ استخراج شده است سپس به منظور بررسی خواص ریزساختاری کائولن بازیافت شده از ضایعات کاغذ، آنالیزهای XRD، SEM/EDX، FTIR و XRF مورد استفاده قرار می گیرد. در نهایت پوششی از کائولن بازیافت شده در چهار سطح با ضخامت های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر بر روی کاغذ پایه پوشش دهی شد. با بررسی نتایج خواص نفوذپذیری و خواص مکانیکی نمونه بهینه، کاغذ پوشش دهی شده با ضخامت ۱۲۰ میکرومتر انتخاب گردید. واژه های کلیدی: بازیافت کائولن، خواص ریزساختاری، پوشش دهی کاغذ، مقاومت مکانیکی، خواص نفوذپذیری.

Investigation of Industrial Paper Coating with Recycled Kaolin

F. S. Mortazavi Moghadam^{*1}, H. Resalati¹, S. Rasouli², Gh. Asadpour¹

1- Department of Wood and Paper Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, P. O. Box: 4818168984, Sari, Iran

2- Department of Nano Materials and Nano Coatings, Institute for Color Science and Technology, P. O. BOX: 16765-654, Tehran, Iran.

Received: 12-07-2020

Accepted: 11-10-2020

Available online: 03-07-2021

Abstract

The paper coating process has a special place in the paper industry in order to reduce production costs and improving quality. In this study, kaolin was first extracted from waste paper and XRD, FTIR, SEM/EDX analysis are used to investigate the microstructural properties of kaolin recycled from waste paper. Then, the coating solution of Recycled kaolin was coated on paper at four levels of thickness 30, 60, 90, and 120 micrometers. Based on the study of permeability properties and mechanical properties, the superior treatment was related to coated paper with 120 micrometers thickness. J. Color Sci. Tech. 15(2021), 117-129©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Kaolin recycling, Microstructural properties, Paper coating, Mechanical strength, Permeability properties.

۱- مقدمه

امروزه کاغذ و فرآورده‌های کاغذی به علت خواص مکانیکی مناسب، وزن سبک، قابلیت بازیافت و غیره دارای کاربردهای مختلف در صنایع مختلف می‌باشند. تخلخل‌های موجود در ساختار کاغذ باعث ایجاد مشکلاتی در کنترل خواص مکانیکی، مانع شوندگی و عبور گازها می‌شوند [۱]. بنابراین به منظور کاربرد کاغذ در مصارف مختلف، بهبود برخی ویژگی‌های آن از جمله خواص سطحی (همواری و تخلخل سطحی)، خواص ممانعتی (مقاومت به نفوذ هوا) و خواص مکانیکی (کشش و ترکیدگی) الزامی است و در این راستا از فرآورده‌های مختلفی مانند به کارگیری انواع مختلف خمیر کاغذ، الیاف بکر، افزودنی‌های گران‌قیمت، پرکننده‌ها، پالایش، اعمال لمینیت، پوشش‌دهی و غیره استفاده می‌شود که برخی از این تیمارها منجر به افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های در گردش و در نهایت افزایش مقدار هزینه کل خواهد شد. یکی از فرآورده‌های مورد استفاده در این راستا؛ اعمال تیمارهای سطحی بر روی کاغذ است که می‌تواند هزینه تولیدی کمتری نسبت به سایر تیمارهای فرآیندی را در پی داشته باشد که پوشش‌دهی کاغذ در بین تیمارهای سطحی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است [۲]. پوشش‌دهی علاوه بر بهبود خواص مکانیکی و خواص نفوذپذیری، به منظور بهبود خصوصیات ظاهری نیز انجام می‌شود که در این زمینه تحقیقاتی توسط هامادا^۱ و همکارانش انجام شده است که در آن چندین پلیمر محلول در آب از جمله، کربوکسی متیل سلولز، نشاسته و پلی وینیل الکل بر روی کاغذ پوشش داده شده و سپس بررسی نتایج تاثیر آنها بر روی خواص نوری، چاپ‌پذیری، مهاجرت افزودنی‌های موجود در کاغذ پایه و تخلخل نشان داد که پوشش‌های حاوی پلیمرهای کربوکسی متیل سلولز، خواص سطحی پوشش خوب، کاهش تخلخل و بازده پراکندگی نور بالا را فراهم می‌کنند که می‌تواند به چاپ خوب منجر شود و در این مقایسه، کربوکسی متیل سلولز نسبت به دو پلیمر نشاسته و پلی وینیل الکل عملکرد بهتری را از خود نشان داده است [۳].

از طرف دیگر، یکی از روش‌های مورد استفاده به منظور کاهش و صرفه‌جویی در مصرف الیاف سلولزی علاوه بر پوشش‌دهی، استفاده از پرکننده‌ها مانند کائولن می‌باشد که با هدف بهبود ویژگی‌های ممانعتی و نوری نیز به کار می‌روند [۴]. بدین منظور کائولن مصرفی در صنعت کاغذ باید دارای درجه روشنی بالا، پایین بودن مقدار زردی، خواص نوری و فیزیکی مناسبی بوده که بتواند ویژگی‌های مطلوب را در کاغذ ایجاد کند. بنابراین بهبود خواص و ایجاد درجه مطلوبی از کیفیت برای کائولن مورد استفاده در کاغذ ضروری است و به منظور تولید کائولن مصرفی مناسب در صنعت کاغذ، کائولن باید تحت تیمارهای مختلفی

مانند رسوب‌گذاری، روش‌های شیمیایی سفیدکننده، کلسینه کردن یا عملیات حرارتی، فعال‌سازی با اسید، سانتریفیوژ و غیره قرار بگیرد که منجر به صرف هزینه مالی و زمانی می‌شود [۵-۸]. بنابراین بازیافت کائولن با حذف مراحل تهیه اولیه و کاهش هزینه‌های مربوطه از نظر اقتصادی، زمانی و غیره قابل توجه است. همچنین در این پژوهش بازیافت کائولن، استفاده مجدد و بیشینه در چرخه تولید از این ماده برای اولین بار مطرح شده است.

کائولن با فرمول شیمیایی $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$ یک رس هیدروکسیلی با ساختار لایه‌ای در سیستم تری کلینیک^۲ بلوری شده است و دارای رنگ اولیه و پخت سفید رنگ، چگالی حدود ۲.۵، سختی حدود ۲.۶-۲ و دارای خاصیت پلاستیکی است [۹-۱۱]. کائولن علاوه بر پرکننده، می‌تواند در پوشش‌دهی کاغذ نیز به کار گرفته شود [۱۲، ۱۳]. پوشش حاوی کائولن باعث براق‌تر شدن سطح کاغذ و قابلیت چاپ بهتر بر روی سطح کاغذ می‌شود. روشی و شفافیت کاغذ تولیدی تا حد زیادی تابع روش‌نمایی درجه کائولن می‌باشد لذا کیفیت آن به منظور استفاده در کاغذسازی حائز اهمیت است [۱۴، ۱۵]. در مقیاس صنعتی، مقادیر کائولن موجود در فرآیند ساخت کاغذ و فرآیند بازیافت کاغذ قابل توجه است. به طور کلی کاغذهای صنعتی دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد پرکننده (مانند کائولن) است و در فرآیند صنعتی بازیافت کاغذ، پس از استخراج الیاف سلولز، مقادیر زیادی کائولن به نمره‌ها (الیاف ریز سلولزی که قابلیت بازیافت ندارند) چسبیده و متورم می‌شوند و تشکیل لجن کاغذ بازیافتی (RPS) را می‌دهد که یکی از بزرگ‌ترین معضلات صنایع خمیر و کاغذ است و مشکلات زیست‌محیطی متعدد و فرآیندی را ایجاد می‌کند به طوری که سالانه هزینه زیادی برای جبران مشکلات ناشی از آن صرف می‌شود. بنابراین بازیافت کائولن به شکل مطرح شده در این تحقیق می‌تواند از نظر زیست‌محیطی راهکار منطقی و قابل‌توجهی باشد [۱۶]. با توجه به موارد ذکر شده، استخراج کائولن از کاغذهای ضایعاتی و استفاده مجدد از آن در خط تولید می‌تواند مفید واقع شود که برای اولین بار امکان بازیافت کائولن از ضایعات کاغذ در این پژوهش مطرح شده است. در این تحقیق، روشی که برای بازیافت کائولن استفاده شده است، مبتنی بر مواد معدنی موجود در ضایعات کاغذ است که باعث تولید لجن کاغذ (RPS) می‌شود و پس از بازیافت کائولن، به منظور بررسی فازی، خواص پیوندی و ریخت‌شناسی کائولن بازیافت شده از ضایعات کاغذ، به ترتیب از آزمون‌های XRD، FTIR و SEM استفاده شده است. همچنین پس از تایید نتایج مبنی بر ماهیت کائولن بازیافت شده، توسط آزمون‌های SEM/EDX و DLS نیز مورد بررسی قرار گرفته است. سپس برای ساخت فرمول‌بندی پوشش از آن در این پژوهش استفاده شد. پوشش‌دهی در این تحقیق به صورت تک‌لایه و وزن

2- Triclinic

1- Hamada

۲-۲- روش کار

روش کلی تحقیق به صورت مرحله به مرحله، در شکل ۲ آورده شده است. در مرحله اول به منظور بازیافت کائولن موجود در ضایعات کاغذ، کاغذهای باطله توسط دستگاه خردکن، خرد می‌شود. نمونه‌های خرد شده کاغذ در ادامه به وسیله شعله آتش سوزانده شده و خاکستر اولیه تهیه می‌گردد و به منظور کنترل دانه‌بندی و خارج کردن ذرات درشت، خاکستر اولیه از الک با مش ۱۲۰ عبور داده شده است. در ادامه فرایند باید سلولز از خاکستر حذف گردد که برای انجام این منظور خاکستر در کوره الکتریکی تحت دمای 550°C به مدت 1 h تحت تیمار حرارتی قرار می‌گیرد و آزمون‌های XRD، XRF بر روی آن انجام شد. در ادامه، عملیات اسید شوئی با اسید کلریدریک ۹۹ درصد خلوص به منظور استخراج کائولن صورت گرفت. نمونه‌های حاصل توسط آون با دمای $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$ خشک شدند و به منظور بررسی فازی، خواص پیوندی، ریخت و اندازه دانه‌بندی توزیع ذرات کائولن بازیافتی از ضایعات کاغذ از آزمون‌های XRD، SEM/EDX، FTIR و DLS استفاده شد. جدول ۲ محلول پوششی حاوی کائولن بازیافتی را نشان می‌دهد.

محلول پوشش ساخته شده بر روی کاغذهای دست‌ساز در چهار سطح ضخامت پوشش تر ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ میکرومتر کشیده شد. همچنین در این تحقیق، به منظور کنترل دقیق‌تر مشخصه‌ها، کاغذهای دست‌ساز به عنوان کاغذ پایه انتخاب شدند. نمونه‌های کاغذ (کاغذهای دارای پوشش و کاغذ فاقد پوشش)، مطابق با استاندارد TAPPI T 402 sp-98 در شرایط کلیما با رطوبت نسبی 50 ± 2 و دمای 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت [۱۷].



شکل ۱: کائولن مرک (نمونه شاهد) مورد استفاده در این تحقیق.

- 1- Light Weight Coated
- 2- TRINSEO
- 3- Refiner
- 4- Freeness tester

جدول ۱: تجزیه شیمیایی XRF کائولن مرک (نمونه شاهد).

اکسید	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I
درصد وزنی	۴۷،۱	۳۶،۷	۰،۸۵	۰،۳۶	۰،۳۶	۰،۲۵	۱،۰۲	۰،۰۳	۱۲،۹

پوششی سبک (LWC)^۱ و در چهار سطح ضخامت پوشش ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر بر روی کاغذ کشیده شدند و در ادامه نمونه‌های کاغذ توسط آزمون‌های مکانیکی کشش، ترکیب‌دهی و آزمون نفوذپذیری مقاومت در برابر عبور هوا مورد ارزیابی قرار گرفت و تیمار برتر پس از ارزیابی انتخاب شد. اهداف این تحقیق، بررسی امکان‌سنجی کائولن از بازیافت کاغذ، بررسی برگرداندن کائولن سنتز شده به خط تولید در فرآیند تکمیلی کاغذ (پوشش‌دهی) می‌باشد که باعث ارتقا خواص با هزینه به مراتب کمتری نسبت به تغییر در ساخت کاغذ می‌شود. همچنین بهبود خواص کاغذهای پوشش‌دهی شده نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که در این راستا می‌توان استفاده بیشینه از کائولن با کیفیت مطلوب در صنعت کاغذ، کاهش هزینه اولیه (تهیه کائولن با کیفیت مطلوب و قابل استفاده در صنعت کاغذسازی) و کاهش هزینه‌های مربوط به مشکلات لجن کاغذ را در نظر گرفت.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد اولیه

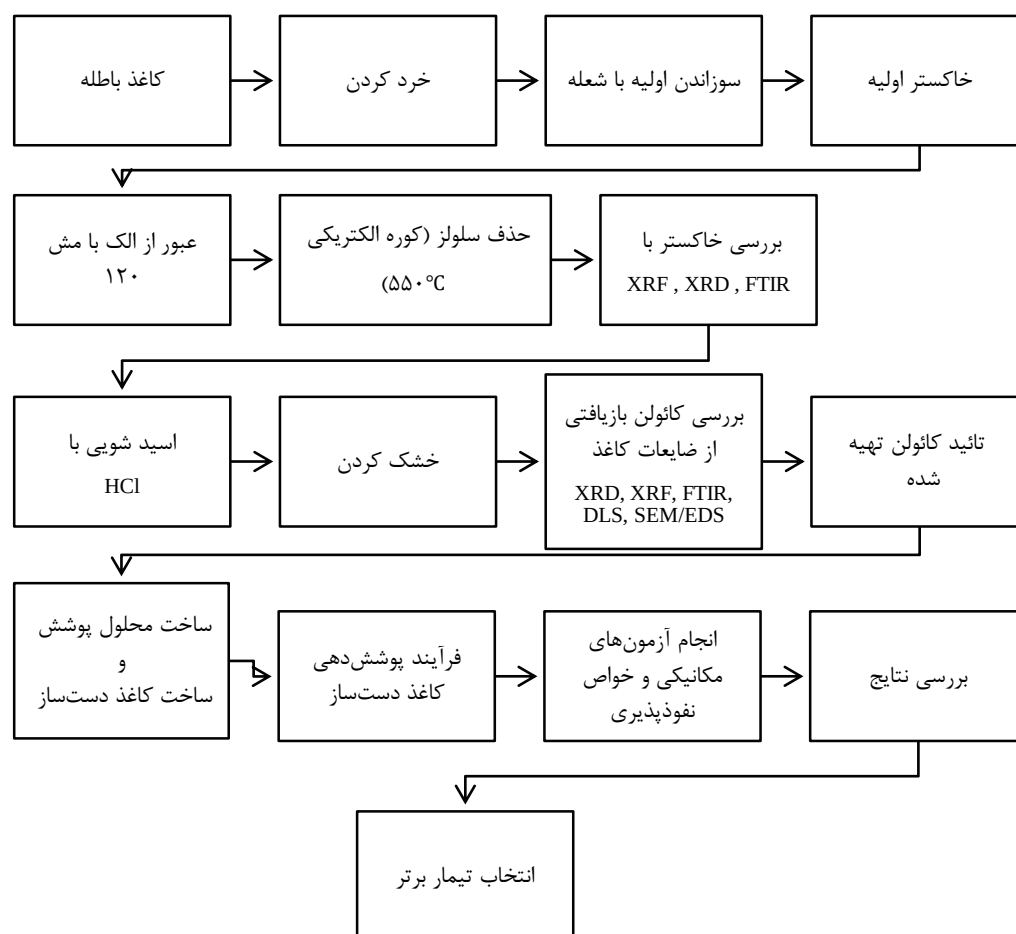
کاغذ ضایعاتی چاپ COPIMAX ساخت کشور تایلند با وزن $80 \frac{gr}{m^2}$ ، کربوکسی متیل سلولز (خلوص ۹۹٪ تهیه شده از شرکت کیمیا تهران اسید، ایران)، اسید کلریدریک (خلوص ۹۹٪، مرک، آلمان)، استاتیرن بوتادین (ترینستو^۲، آلمان) و آب دیوار تقطیر استفاده شد. کائولن شاهد از شرکت مرک تهیه شده است که دارای ذراتی با دانه‌بندی حدود ۲ میکرومتر می‌باشد. رنگ آن سفید بوده و وزن مخصوص آن ۲،۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. آزمون شیمیایی و تصویر کائولن مرک (نمونه شاهد) به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است.

۲-۱-۱- وسایل و تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات مورد استفاده شامل ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت دهم میلی‌گرم (برای اندازه‌گیری وزن مواد اولیه)، پیپت (جهت اندازه‌گیری مقدار مایعات)، گرمکن الکتریکی دارای قابلیت هم‌زدن محلول (برای حرارت‌دهی و هم‌زدن محلول)، کوره الکتریکی (جهت انجام تیمار حرارتی)، بوته آلومینایی (جهت انجام فرآیند سنتز)، خردکن، دستگاه ساخت کاغذ (به منظور ساخت کاغذ دست‌ساز)، پالاینده^۳ خمیر کاغذ (برش‌دهنده الیاف و کاهش درجه روانی)، پرس کاغذ (جلوگیری از هم‌کشیدگی و واکشیدگی الیاف)، اتافک کلیما (به منظور انجام استانداردسازی)، دستگاه تعیین درجه روانی^۴ می‌باشند.

جدول ۲: فرمولاسیون محلول پوشش.

مواد مورد استفاده در فرمولاسیون پوشش	استایرن بوتادی ان	کائولن بازیافتی	کربوکسی متیل سلولز
در صد وزنی مواد مورد استفاده	۱۰	۴۰	۵۰



شکل ۲: طرح‌واره کلی روش کار به صورت مرحله به مرحله.

با استفاده از دستگاه کاغذساز PTI – FRANK مدل P41521.159 ساخت کشور اتریش نمونه‌های کاغذ دست‌ساز مطابق با استاندارد TAPPI T205 SP-02 ساخته شدند [۱۸]. پس از ساخت کاغذ و انجام پوشش‌دهی، نمونه‌های کاغذ در شرایط کلیما با رطوبت نسبی 50 ± 2 و دمای 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد مطابق استاندارد TAPPI T 402 sp-98 به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند [۱۷]. سپس به منظور بررسی رفتار مکانیکی نمونه‌ها، آزمون کشش در دمای محیط و براساس استاندارد TAPPI 494 om-01 و با نرخ کشش $10 \frac{mm}{min}$ ، توسط دستگاه GOTECH AI-300 صورت گرفت [۱۹]. مقاومت به عبور هوای نمونه‌های پوشش داده با روش گرلی بر اساس حجم هوای عبوری در واحد زمان و مطابق با استاندارد TAPPI T 460 om-96 اندازه‌گیری شد.

خمیر کاغذ مورد استفاده، سفید رنگبری شده کرافت، الیاف بکر و بلند، ساخت شرکت ILIM کشور روسیه است. در ابتدا درجه روانی خمیر کاغذ با استفاده از دستگاه تعیین درجه روانی^۱ FRANK-PTI GMBH ساخت کشور آلمان و براساس سیستم CSF اندازه‌گیری شد که مقدار اولیه آن در دمای 25°C ، برابر با ۷۴۵ CSF بود. سپس خمیر کاغذ با استفاده از دستگاه پالاینده^۲ PTI مدل PFI-mill ساخت کشور اتریش تحت فرآیند پالایش قرار گرفت و مجدداً مقدار درجه روانی خمیر کاغذ اندازه‌گیری و مقدار آن ۳۵۶ CSF ثبت شد. سپس

1- Freeness tester

2- Refiner

شده است. همان گونه که انتظار می رود، بخش اصلی مواد تشکیل دهنده خاکستر کاغذ باطله، اکسید سیلیسیم (SiO_2)، اکسید آلومینیم (Al_2O_3) و اکسید کلسیم (CaO) مربوط به کربنات کلسیم (CaCO_3) می باشد. در ادامه این پژوهش، از بین بردن کربنات کلسیم (CaCO_3) به منظور بازیابی کائولن امری ضروری است. لذا خاکستر حاصل به وسیله اسید کلریدریک مورد شستشو قرار گرفت که این فرآیند مطابق با واکنش ۱ صورت می گیرد.



همچنین در شکل (۳-ت) الگوی XRD به دست آمده برای خاکستر کاغذ باطله ارائه شده است. که در آن فازهای کوارتز، اکسید آلومینیم و اکسید کلسیم مربوط به کربنات کلسیم وجود دارد. تشخیص بر اساس کارتهای (*JCPDS Card No 46-1045*) و (*JCPDS Card No 37-1497*) انجام شد و وجود کربنات کلسیم قبل از اسیدشویی را نشان می دهد. برای جداسازی کربنات کلسیم از کائولن در ادامه فرآیند از اسید کلریدریک استفاده شده است و به منظور ارزیابی و اطمینان استخراج کائولن بازیافتی از مقایسه الگوی XRD آن با نمونه شاهد کائولن مرک استفاده شده است. در شکل (۳-ث) الگوی XRD به دست آمده برای کائولن بازیافت شده (خاکستر کاغذ باطله تحت حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد و اسیدشویی شده با HCl) نشان می دهد که پیکهای مشخصه کائولن در زاویه ۲θ برابر با ۱۲٫۴۱، ۲۰٫۲۱ و ۲۵٫۴۹ درجه مشاهده می شود. مبنای مشاهده مربوط به کائولن با کارت *JCPDS Card No 12-203* انجام شده است. ساختار بلوری کائولن تری کلینیک با $a=5.15 \text{ \AA}$ ، $b=8.94 \text{ \AA}$ و $c=7.39 \text{ \AA}$ می باشد [۲۲، ۲۳]. همچنین دو پیک کائولن ($3.56 \text{ \AA}$ و $7.14 \text{ \AA}$) و کوارتز ($4.23 \text{ \AA}$ و $3.32 \text{ \AA}$) پراش پرتو ایکس نمونه کائولن بازیافت شده کاملاً مشخص است که در مورد هر دو نوع کائولن بازیافتی از ضایعات کاغذ و کائولن مرک قابل رویت است و می توان به وسیله آن، به سهولت مقایسه را انجام داد. بنابراین نتایج XRD نشان دهنده، عدم وجود تفاوت معنی دار بین الگوی XRD کائولن بازیافت شده از ضایعات کاغذ و کائولن مرک است که بیان کننده سنتز کائولن از ضایعات کاغذ است.

در شکل ۴ طیف های زیر قرمز انتقالی فوریه (FTIR) کائولن بازیافتی از کاغذ باطله تحت شرایط دمایی ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت بعد از اسیدشویی با اسید کلریدریک و نمونه شاهد کائولن مرک ارائه شده است.

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود در طیف کائولن بازیافتی از کاغذ باطله و طیف مربوط به کائولن مرک، پیک موجود در عدد موج 1005 cm^{-1} که از ارتعاش کششی نامتقارن پیوندهای Si-O-Si یا Si-O-Al ناشی می شود، قابل مشاهده است. پیک مشخصه مینرال کائولینیت برای کائولن در عدد موج 542 cm^{-1} خود را نشان می دهد

[۲۰]. مقاومت به ترکیدن نمونه ها با استفاده از دستگاه DRK 109 ساخت کشور چین مطابق با استاندارد TAPPI T 403 om-97 انجام گردید [۲۱]. تمامی آزمون های مکانیکی برای هر تیمار، سه بار تکرار شد و میانگین آنها گزارش شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

در این پژوهش به منظور بررسی خواص ریزساختاری کائولن سنتز شده از آزمون های پراش پرتو ایکس (XRD) دستگاه مدل فیلیپس PW3710 با لامپ Cu-Kα، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف سنج پراش انرژی پرتو ایکس EDX شرکت TESCAN مدل VEGAIXMU، طیف سنجی زیر قرمز (FTIR) مدل Thermo Nicolet Nexus 870 در محدوده $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ و با قدرت تشخیص 1 cm^{-1} ، تفرق نور دینامیک (DLS) مدل NanoPartica SZ-100V2 مجهز به یک لیزر، ساخت HORIBA ژاپن، استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش به بحث و بررسی نمونه های کائولن سنتز شده و کاغذهای دارای پوشش حاوی کائولن سنتز شده پرداخته شده است. نمونه های کائولن بازیافتی تحت الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف مادون قرمز انتقالی فوریه (FTIR)، تفرق دینامیکی نوری (DLS)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف سنج پراش انرژی پرتو ایکس (SEM/EDX) مورد بررسی قرار می گیرند.

پس از بررسی کائولن بازیافت شده و به کارگیری آن در فرمول بندی پوشش کاغذ، نمونه های کاغذ از نظر خواص مکانیکی (مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدگی) و خواص نفوذپذیری نسبت به عبور هوا مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۱- بررسی کائولن بازیافت شده

۳-۱-۱- الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف زیر قرمز انتقالی فوریه (FTIR) نمونه های خاکستر کاغذ باطله و کائولن بازیافتی از کاغذ باطله

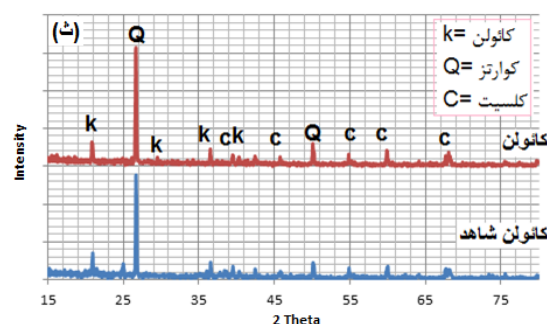
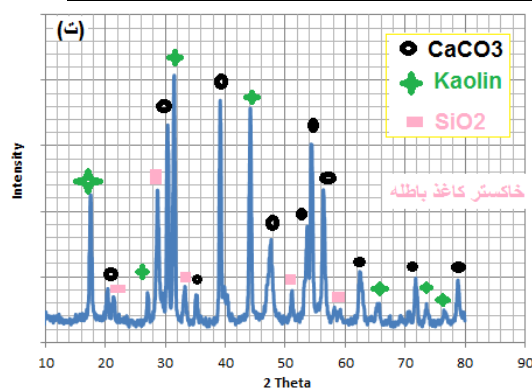
در فرآیند بازیافت کائولن از ضایعات کاغذ، ابتدا حذف سلولز و سایر مواد (مانند کربنات کلسیم) امری ضروری است که بدین منظور در ابتدا کاغذهای خرد شده سوزانده شد. همان طور که در شکل (۳-الف) و شکل (۳-ب) مشاهده می شود خاکستر اولیه به دلیل کربن آزاد اضافی در اثر سوختن ابتدایی سلولز کاغذ، سیاه رنگ است که این خاکستر در اثر قرار گرفتن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد و سوختن کربن اضافی به رنگ سفید تغییر می کند. در شکل (۳-ب) نتایج به دست آمده از آزمون XRF برای خاکستر کاغذ باطله ارائه

شکل حاضر بین دو نمونه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد که نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن فرآیند استخراج کائولن است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، پیک‌هایی که در عدد موج حوالی 3619 cm^{-1} و 3696 cm^{-1} برای هر دو نمونه کائولن بازیافتی و کائولن مرک شاهد وجود دارد، مربوط به آب جذب شده و موجود در این نمونه‌ها است و به ترتیب از ارتعاشات تغییر شکلی و کششی گروه‌های O-H و H-O-H آب ناشی می‌شود.

که از پیوندهای $\text{Si-O-Al}^{\text{VI}}$ ناشی می‌شود. پیک موجود در عدد موج 912 cm^{-1} در طیف کائولن نیز از ارتعاشات کششی پیوندهای Al-OH با کوردیناسیون شش تایی مرتبط می‌باشد. لازم به ذکر است که پیک‌های موجود در عدد موج‌های 797 cm^{-1} نیز در طیف کائولن مربوط به مینرال کائولینیت بوده است [۲۴، ۲۵]. پیک‌ها در محدوده طیفی یکدیگر هستند که تایید کننده ماهیت کائولن می‌باشد که در اثر فرآیند تبدیلی در این پژوهش به آن دست یافته شده است. بنابراین در



درصد ترکیب اکسیدها (پ)	خاکستر کاغذ باطله قبل از اسیدشویی	خاکستر کاغذ باطله تحت حرارت 550°C پس از اسیدشویی با HCl
SiO_2	۷,۶۹	۳۸,۱۱
Al_2O_3	۶,۰۸	۲۸,۶۱
CaO	۳۲,۳۵	۲۳,۴۴
Fe_2O_3	۰,۱۷	۰,۸۸
K_2O	$<0,05$	۰,۳۰
MgO	۰,۶۲	۱,۴۱
TiO_2	۰,۱۵	۱,۰۵
Na_2O	۰,۰۷	۰,۱۹
P_2O_5	۰,۱۱	۰,۲۲
LoI	۵۲,۶۴	۵,۴۷



شکل ۳: (الف) خاکستر اولیه، (ب) خاکستر در اثر قرار گرفتن در دمای 550°C درجه سانتی‌گراد، (پ) آزمون XRF برای خاکستر کاغذ باطله، (ت) الگوی XRD به دست آمده برای خاکستر کاغذ باطله (قبل از اسیدشویی) و (ث) الگوی XRD به دست آمده برای خاکستر کاغذ باطله تحت حرارت 550°C درجه سانتی‌گراد و اسیدشویی شده با HCl (کائولن بازیافت شده) و نمونه شاهد (کائولن مرک).

معنی داری را از خود نشان نداد. بنابراین روش مذکور بازده قابل قبولی را به منظور استخراج کائولن از خود نشان می دهد.

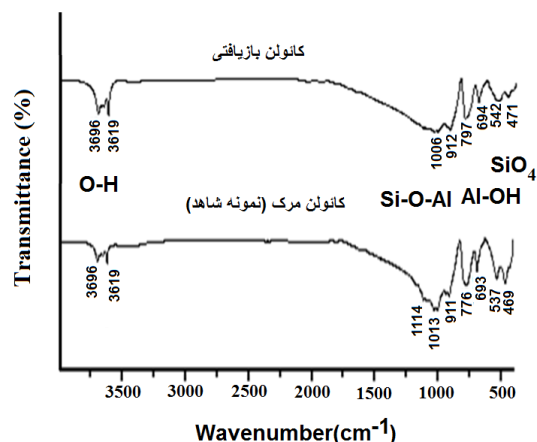
۳-۱-۲- بررسی کائولن استخراج شده از کاغذ باطله با

استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

پس از اطمینان از سنتز کائولن از کاغذ باطله با استفاده از آزمون های XRD و FTIR، در مرحله بعد تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف سنج پراش انرژی پرتو ایکس (SEM/EDX) ارائه شده است که علاوه بر بررسی ریخت شناسی، تجزیه عنصری EDX نمونه های کائولن سنتز شده از کاغذ باطله نیز بیان شده است. تصاویر SEM در شکل ۵ با بزرگ نمایی مختلف قابل رویت است و برای محصول پس از فرآیند اسیدشویی ارائه شده است. همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می گردد ذرات کلوخه شده اند و طیف EDX حاوی اطلاعات از میزان هر عنصر از طریق تجزیه و تحلیل یک نقطه از نمونه در آن قابل مشاهده می باشد. آزمون EDX، حضور عناصر Si، Al و O را در کائولن $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ سنتز شده از کاغذ باطله را تایید کرده است همچنین با توجه به آزمون XRD نمونه، فاز بلوری موجود، به طور عمده شامل فاز بلوری کائولن است. شکل ۳ نیز نتایج حاصل از آزمون XRD نمونه کائولن سنتز شده از کاغذ باطله را نشان می دهد که تایید کننده موارد فوق است. همچنین در شکل ۵ ساختار شیمیایی فضایی کائولن به همراه مشخصات در نرم افزار CrystalMaker شبیه سازی شده است.

۳-۱-۳- تحلیل توزیع اندازه ذرات با تفرق دینامیکی نور DLS

در شکل ۶، نمودار توزیع اندازه ذرات کائولن سنتز شده از کاغذهای بازیافتی رسم شده است. اندازه ذرات پرکننده در صنعت کاغذ از اهمیت زیادی برخوردار است. به علت اینکه ذرات پرکننده در کاغذ بخشی از شکاف ها و درزهای بین الیاف سلولز را پر می کند و اگر منافذ بین الیاف تا حد قابل قبولی پر نشود بسیاری از نقاط ریز مرکب چاپ در این نقاط بدرستی قرار نخواهد گرفت و کیفیت کار چاپ کاهش می یابد. لذا این امر از جایگاه ویژه ای برخوردار است. اعمال پوشش سطحی بر روی کاغذ باعث بهبود خواص ظاهری از جمله نرمی، جلا و قدرت جذب مرکب چاپ نیز می شود که مانع از ایجاد مشکلاتی مانند دورویی کاغذ خواهد شد. به عبارتی پوشش مناسب باعث افزایش کاربرد کاغذ می گردد. کائولن به علت اندازه ذرات ریز و شکل ساختاری آن برای سطوح متراکم با زبری^۱ یکنواخت مناسب هستند و برای کاغذهای پر جلا و کاغذهای سبک با وزن پوشش پایین به کار می رود. بنابراین اندازه ذرات و دانه بندی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است.



شکل ۴: مقایسه طیف های زیر قرمز انتقالی فوریه (FT-IR) کائولن بازیافتی از کاغذ باطله تحت شرایط دمایی ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت بعد از اسیدشویی با اسید کلریدریک (کائولن بازیافت شده) با کائولن مرک (نمونه شاهد).

کاغذ علاوه بر مواد آلی (مانند سلولز) دارای مواد معدنی نیز می باشد که بعد از انجام تیمار حرارتی اولیه ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت، بخش آلی از بین رفته و بخش معدنی آن باقی می ماند. در این تحقیق، ابتدا ۳۰۰ گرم کاغذ خرد شده به منظور جداسازی سلولز تحت تیمار حرارتی (۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت) قرار گرفت. مقدار خاکستر به دست آمده ۸۱ گرم بوده است. بنابراین می توان برآورد کرد که مقدار محتوای مواد آلی در حدود ۷۰ درصد بوده است (رابطه های ۲ و ۳).

$$300 - 81 = 219 \quad (2)$$

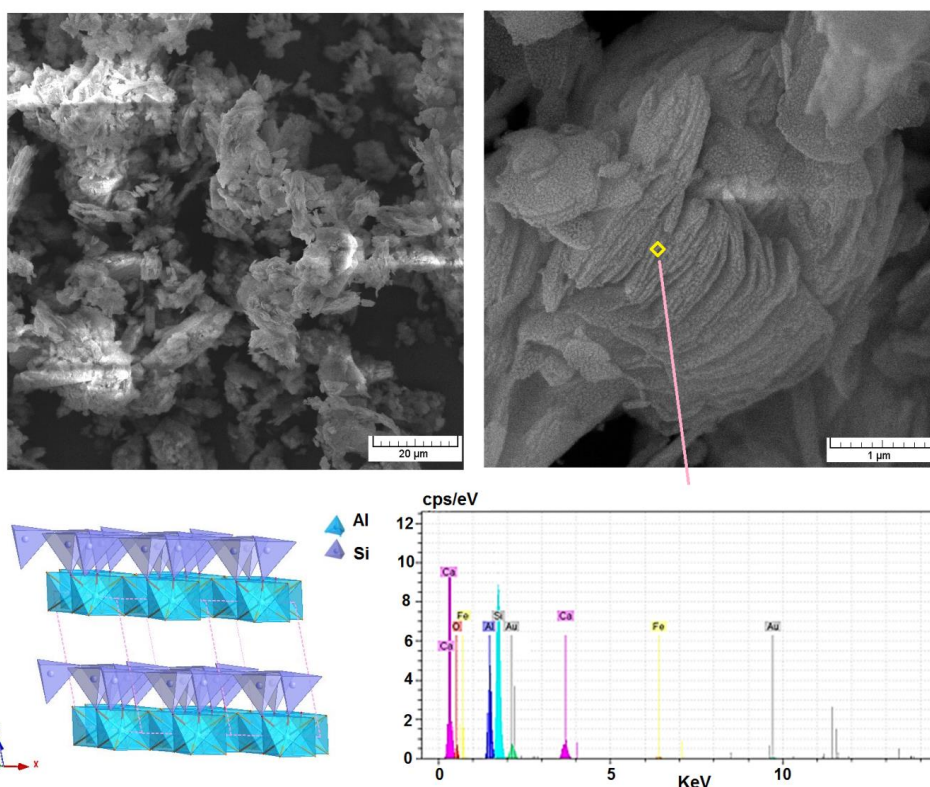
$$\frac{219}{300} \times 100 \cong 73\% \quad (3)$$

در ادامه فرآیند، ۸۱ گرم خاکستر حاوی کربنات کلسیم و کائولن می باشد (در نتایج XRD و XRF بیان شده است). به منظور جداسازی کربنات کلسیم و خارج سازی کائولن، از فرآیند اسیدشویی با اسید کلریدریک استفاده شده است که واکنش فرآیند، طبق واکنش ۱ می باشد. کائولن در شرایط اسیدی پایدار است به همین علت پس از اسیدشویی کائولن باقی می ماند. لذا مقدار خاکستر باقی مانده بعد از اسیدشویی برابر با ۶۸.۸۵ گرم است که در حدود ۸۵٪ مقدار خاکستر اولیه است و برابر با مقدار کائولن موجود در نمونه های کاغذ می باشد (رابطه ۴).

$$\frac{68.85}{81} \times 100 \cong 85\% \quad (4)$$

به منظور اطمینان از بیشینه جداسازی کائولن فرایند اسیدشویی چند بار تکرار شد که پس از تکرار مقدار آن ۶۷.۷۸ گرم بود و تفاوت

1- Roughness



شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی SEM/EDX مجهز به تجزیه عنصری نمونه‌ها حاصل از فرایند اسید شویی و نحوه اتصال لایه‌های سیلیکا و گیسپیت در ساختار کائولینیت شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار CrystalMake.

DLS نشان می‌دهد ذرات کائولن بازیافت شده از ضایعات کاغذ، دانه‌بندی مناسبی به جهت استفاده در کاغذ را دارا می‌باشند.

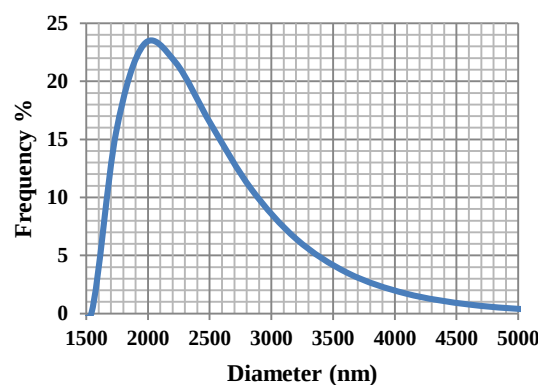
۲-۳-۲- آنالیز نمونه‌های کاغذ دارای پوشش حاوی کائولن

۲-۳-۱- بررسی خواص مکانیکی کاغذهای دارای پوشش

در این بخش به بحث و بررسی خواص مکانیکی (مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدگی) کاغذهای دارای پوشش حاوی کائولن سنتز شده در چهار سطح با ضخامت‌های پوشش ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر پرداخته شده است و تیمار برتر پس از ارزیابی بر اساس هر کدام از ویژگی‌های مقاومتی بیان شده است.

۲-۳-۲- آزمون استحکام کشش

یکی از خواص مهم کاربردی در صنعت کاغذ، وجود استحکام کششی مناسب کاغذ است که کارکرد آن را در موارد مختلف امکان‌پذیر می‌کند. چرا که کاغذ در فرآیندهای تبدیلی، عملیاتی و در حین مصرف، تحت تنش‌های کششی قرار می‌گیرد. این موضوع، اهمیت انجام آزمون کشش را بیان می‌کند. در این آزمون تغییر شکل‌پذیری نمونه‌ها و استحکام آنها در برابر نیروی کششی مورد بررسی قرار



شکل ۶: توزیع اندازه ذرات کائولن.

بنابراین یکی از عوامل مهم برای درجه‌بندی کائولن اندازه دانه‌بندی آن است. کائولن پوششی درجه یک ۹۲ درصد ذرات آن دارای دانه‌بندی کمتر از ۲ میکرون می‌باشد [۱۴، ۱۵]. در شکل ۶ نمودار توزیع اندازه ذرات کائولن بازیافتی به دست آمده از آزمون پراکنش دینامیک نوری DLS نشان داده شده که دارای یک پیک می‌باشد و ۵۰ درصد از ذرات کائولن سنتز شده دارای قطر هیدرودینامیکی $Z_{avg} \leq 2500$ nm می‌باشند. نتایج به دست آمده از

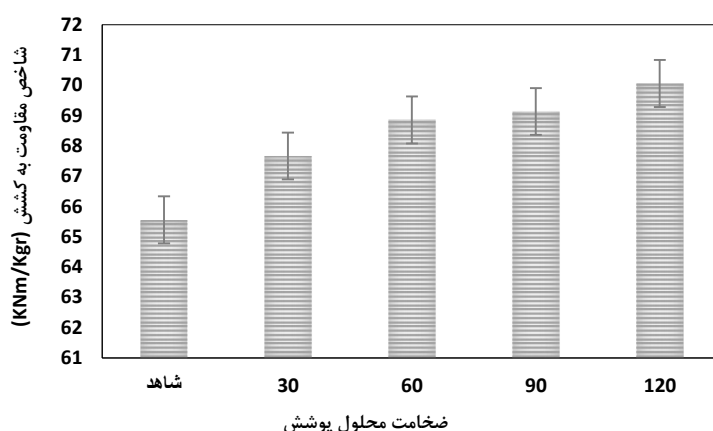
کشی و تیمار شاهد کمترین مقدار را نسبت به تیمارهای مختلف دارند. این موضوع، نشان دهنده معنی‌دار بودن تاثیر مقدار پوشش بر روی کاغذ است که می‌توان آن را به افزایش پیوندهای بین کاغذ و محلول پوشش ارتباط داد. با افزایش ضخامت، محلول پوشش بیشتر بر روی سطح مانده و افزایش پیوندهای بین پوشش و الیاف سلولزی کاغذ پایه را منجر می‌شود که باعث مقاومت بیشتر الیاف سلولزی کاغذ پایه به همراه لایه پوشش در برابر تنش کششی می‌شود و افزایش نقطه تسلیم در این تیمارها را در پی خواهد داشت. همچنین این امر سازگاری زیاد بین محلول پوشش و الیاف سلولز پایه را نشان می‌دهد. از طرف دیگر هیچ گونه ورقه شدن، گسستگی و یا پوسته پوسته شدن در مقطع شکست نمونه‌ها مشاهده نشده است که تأیید کننده مطلب فوق است.

در شکل ۸ نتایج مقادیر کرنش حاصل از آزمون کشش در سطوح مختلف تیمارهای پوشش‌دهی نشان داده شده است. مقادیر کرنش از تحلیل نمودار تنش-کرنش آزمون کشش^۱ تحلیل می‌شود.

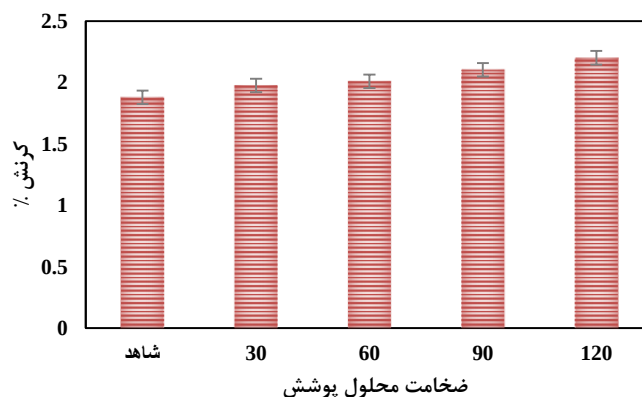
1- Stress-strain curves tensile test

می‌گیرد. برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه‌ها بعد از اعمال پوشش‌دهی کاغذ در ضخامت‌های مختلف ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر، به مدت ۲۴ ساعت در شرایط کلیما واقع شدند و سپس تحت تنش کششی قرار گرفته و نقطه تسلیم آنها برآورد گردید. کاغذ دست‌ساز که فاقد تیمار پوششی است در این آزمون به عنوان تیمار کنترل مطرح و اثر فرآیند پوشش‌دهی در سطوح مختلف ضخامت در مقایسه با آن بیان شده است.

شکل ۷ تاثیر عملیات پوشش‌دهی بر روی مقاومت کششی کاغذها را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار ضخامت پوشش، روند افزایشی در مقاومت کششی نمونه‌ها ایجاد شده است، به طوریکه در بین چهار سطح ضخامت پوشش ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر، تیمار مربوط به ضخامت پوشش ۳۰ میکرومتر بعد از نمونه شاهد کمترین مقاومت کشش را از خود نشان داده است که با افزایش ضخامت پوشش به طور تدریجی مقاومت کششی هم افزایش یافته است. بنابراین به ترتیب تیمارهای مربوط به ضخامت های ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر دارای مقادیر مقاومت کششی بیشتری هستند که در این بین، تیمار ضخامت ۱۲۰ میکرومتر، بیشینه مقدار مقاومت



شکل ۷: نمودار تغییرات استحکام کششی نمونه‌های مختلف حاصل از آزمایش کشش.



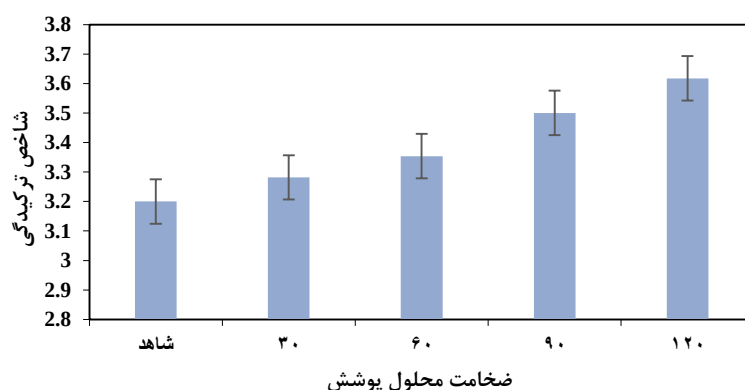
شکل ۸: نمودار تغییرات انرژی نمونه‌های مختلف حاصل از آزمایش کشش.

شاخص مقاومت کششی و کرنش نمونه‌های کاغذ دارد. همچنین مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ توسط خووالدیا صورت گرفت، نشان داد افزایش وزن پوشش بر روی کاغذ توانسته است مقاومت کششی و کرنش نمونه‌های کاغذ را افزایش دهد که مشابه نتایج فوق است [۲۷].

۳-۲-۳- مقاومت به ترکیدگی

یکی از خصوصیات مکانیکی مهم در بررسی محصولات کاغذی، مقاومت به ترکیدگی کاغذ است. که در صنایع مختلف از جمله بسته‌بندی نیز این مشخصه بررسی و گزارش می‌شود. مقاومت به ترکیدگی عبارت است از فشار هیدرولیکی مورد نیاز برای پاره کردن کاغذ که از میان یک دیافراگم ۳۰،۵ میلی‌متری به کاغذ وارد می‌شود. گاهی اوقات گفته می‌شود که مقاومت به ترکیدن با مقاومت کشش، رابطه تنگاتنگی دارد. اساس این گفته به توزیع تنش‌ها در حین آزمایش بر می‌گردد. لذا هرچقدر کاغذ بتواند در برابر تنش‌های وارده مقاومت بیشتری را از خود نشان دهد، مقاومت به ترکیدگی بیشتری را خواهد داشت [۲۶]. بنابراین هر گونه فرآیندی که بتواند تعداد اتصالات، تراکم و قابلیت جذب انرژی را در نمونه‌ها افزایش دهد، می‌تواند به مراتب موجب افزایش مقاومت به ترکیدگی نیز بشود. همان‌طور که نتایج آزمون کشش (شاخص مقاومت به کشش و کرنش) نشان داد، انجام تیمار پوشش‌دهی مذکور بر روی سطح الیاف سلولزی کاغذ توانسته است جذب انرژی و مقاومت بالاتر را در برابر تنش کششی از خود نشان دهد. براساس این موضوع می‌توان پیش‌بینی کرد که به مراتب خصوصیت مکانیکی مقاومت در برابر ترکیدگی کاغذ نیز افزایش یابد. در این پژوهش، آزمون ترکیدگی در تیمارهای مربوط به چهار سطح ضخامت پوشش و نمونه شاهد انجام شده است که نتایج آن در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ قابل مشاهده است با انجام فرآیند پوشش‌دهی، مقاومت به ترکیدگی افزایش یافته است.

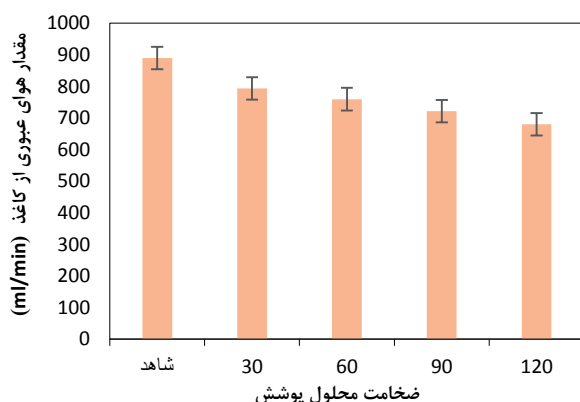
کرنش در کاغذ معیاری از الاستیسیته و تغییر شکل کاغذ در اثر وقوع تنش ایجاد می‌شود. داشتن الاستیسیته مطلوب در فرآیند تولید و فرآوری تبدیلی کاغذ امری ضروری است چرا که در هنگام خروج کاغذ از توری دستگاه فوردینیر، سیلندرنی، رل شدن کاغذ و غیره کاغذ تحت نیروی کشش مداومی قرار می‌گیرد و تغییر شکل کاغذ در اثر کشش می‌تواند باعث موج‌دار شدن و واکشیدگی الیاف سلولز کاغذ گردد که منجر به وقوع مشکلات در تولید، فرآیند تکمیلی - تبدیلی، چاپ و غیره خواهد شد. لذا محاسبه کرنش کاغذ جز خصوصیات اصلی مکانیکی کاغذ است [۲۶]. این نمودار کرنش مربوط به کاغذ دست‌ساز مطرح شده به عنوان نمونه شاهد قابل مشاهده است که مقایسه تیمارهای پوشش‌دهی را در این مشخصه تسهیل می‌کند. همان‌طور که مشخص است با افزایش مقدار ضخامت پوشش مقدار کرنش افزایش می‌یابد به طوری که نمونه حاوی ۳۰ میکرومتر پوشش، مقدار کرنش بیشتری را نسبت به نمونه شاهد و نمونه دارای ۶۰ میکرومتر پوشش، مقدار کرنش بیشتری را نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۳۰ میکرومتر پوشش دارد که این روند افزایشی، در مورد نمونه‌های دارای پوشش ۱۲۰ میکرومتر و ۹۰ میکرومتر ضخامت پوشش نیز صدق می‌کند به طوری که نمونه دارای ۱۲۰ میکرومتر ضخامت پوشش، بیشینه مقدار تغییر طول نسبی کشش را نسبت به سایر تیمارها دارد. روند افزایشی مقادیر کرنش در راستای افزایش ضخامت پوشش، نشان دهنده آن است که با اعمال تیمار پوشش‌دهی، انعطاف بیشتری در کاغذ ایجاد می‌شود که این امر می‌تواند ناشی از سازگاری و چسبندگی مناسب لایه پوشش بر روی الیاف سلولزی موجود بر سطح کاغذ باشد که باعث افزایش کرنش در راستای افزایش مقاومت کششی کاغذ شده است. با افزایش ضخامت پوشش، کاغذ در برابر تنش وارده مقاومت بیشتری دارد که این نشان‌دهنده افزایش قابلیت جذب انرژی و انعطاف‌پذیری کاغذ است که در پی این موضوع با افزایش ضخامت پوشش مقدار کرنش نیز روند صعودی را از خود نشان می‌دهد. در نتیجه، موارد فوق نشان می‌دهد که انجام این تیمار تاثیر مثبت و معنی‌داری را بر روی مشخصه‌های



شکل ۹: تاثیر پوشش‌دهی بر روی مقاومت به ترکیدن کاغذ.

در واحد زمان اندازه گیری می شود. هرچقدر مقدار هوای عبوری در واحد زمان بیشتر باشد، نشان دهنده قابلیت بیشتر کاغذ در برابر نفوذپذیری هوا است به عبارتی مقاومت به عبور هوای کاغذ پایین تر است و برعکس [۲۶]. بنابراین کاهش مقدار هوای عبوری نشان دهنده پرشدن منافذ کاغذ و یا مسدود کردن این منافذ است که باعث افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذ می شود. شکل ۱۰ تغییرات اثر پوشش دهی کاغذ با ضخامت های مختلف بر مقاومت به عبور هوای کاغذ را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۱۰ نشان می دهد رابطه پوشش دهی کاغذ در غلظت های مختلف با مقاومت به عبور هوا مستقیم بوده است. به طوری که با انجام عمل پوشش دهی بر روی کاغذ، منافذ سطحی کاغذ درگیر شده اند و تا حدی مقدار عبور هوا به وسیله پوشش دهی کنترل شده است، بر اثر افزایش ضخامت پوشش این مقاومت به صورت معنی داری افزایش می یابد، به طوری که نمونه کاغذ دارای پوشش با ضخامت ۳۰ میکرومتر کاهش حجم هوای عبوری در واحد زمان (دقیقه) کمتری را نسبت به نمونه شاهد نشان می دهد.

با ادامه فرآیند پوشش دهی به مراتب حجم هوای عبوری در واحد زمان کاهش می یابد که در نمونه های دارای ضخامت پوشش ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میکرومتر مشهود است که این موضوع نشان دهنده ایجاد پیوندهای بیشتر به وسیله پوشش اعمال شده بر روی سطح کاغذ و الیاف سلولزی کاغذ بستر است که بر روی باز بودن منافذ کاغذ تاثیر گذاشته است که منجر به افزایش معنی دار مقاومت به عبور هوا شده است. بنابراین این پژوهش نشان داد که می توان با انجام پوشش دهی فرمول بندی مذکور منافذ سطحی کاغذ را محدود کرد و مقاومت به عبور هوا را کاهش داد که این امر موجب بهبود سطح کاغذ و ویژگی های سطحی از جمله خواص چاپ پذیری کاغذ خواهد شد. از طرف دیگر کائولن به علت ساختار صفحه ای خود می تواند خاصیت سدکنندگی و مانع شونده گی از خود نشان دهد که باعث بهبود مقاومت در برابر نفوذپذیری می شود [۲۹].



شکل ۱۰: تغییرات میزان مقاومت به عبور هوا در اثر انجام عملیات پوشش دهی.

به طوری که تمامی نمونه های دارای پوشش، مقاومت به ترکیبگی بیشتری را نسبت به کاغذ دست ساز فاقد پوشش از خود نشان داده اند و با افزایش ضخامت پوشش، این مشخصه نیز افزایش می یابد. در حالتی که نمونه دارای پوشش ۳۰ میکرومتر، مقاومت به ترکیبگی بیشتری نسبت به نمونه کنترل داشته است و با افزایش ضخامت پوشش، مقادیر شاخص ترکیبگی نیز روند افزایشی را نشان می دهد. در بررسی شاخص مذکور مقادیر مربوط به نمونه شاهد کمترین مقاومت به ترکیبگی را از خود نشان داد که این امر بیان کننده آن است که هر ۴ سطح ضخامت پوشش اثر مثبت بر روی مقاومت به ترکیبگی را داشته اند و نتایج آن افزایش معنی داری در مقاومت به ترکیبگی کاغذها نسبت به قبل از پوشش دهی نشان داده است. در بین تمامی تیمارها نمونه دارای پوشش با ضخامت ۱۲۰ میکرومتر بیشترین مقاومت به ترکیبگی را از خود نشان داده است و در ادامه به تدریج نمونه های دارای ۹۰، ۶۰ و ۳۰ میکرومتر ضخامت پوشش، مقاومت به ترکیبگی کمتری را از خود نشان می دهد. علت این موضوع را می توان به تشکیل پیوندهای بیشتر پوشش با الیاف سلولزی سطح کاغذ پایه نسبت داد که در بهبود ویژگی های مقاومتی اثر قابل ملاحظه ای داشته است که باعث بهبود مقاومت کاغذ در برابر اثر فشار هیدرولیکی در میان دیاگرام بوده است. مطالعات دیگری نیز بر روی ارتقا خواص مقاومت به ترکیبگی کاغذ با استفاده از پوشش دهی نیز انجام شده است. به عنوان مثال کاستوان و همکارانش تحقیقی را بر روی پوشش دهی کاغذ به وسیله نشاسته و سیپولیت انجام دادند. در این مطالعه بر اثر فرآیند پوشش دهی بر روی کاغذ، لایه ای تشکیل شده و بر روی سطح کاغذ ایجاد پیوند افزایش یافته است که باعث افزایش مقاومت به ترکیبگی شده است. در این تحقیق با افزایش وزن پوشش، افزایش مقاومت بیشتری مشاهده شده است که تأییدکننده نتایج مطرح شده در تحقیق مذکور است و هر دو تحقیق افزایش مقاومت به ترکیبگی در اثر افزایش پوشش دهی بر روی کاغذ را تأیید می کنند [۲۸].

۳-۳- بررسی خواص نفوذپذیری کاغذهای دارای پوشش

۳-۳-۱- مقاومت به عبور هوا (تخلخل)

بررسی خواص نفوذپذیری کاغذ از خصوصیات مهم دیگر محصولات کاغذی است. از مقاومت به عبور هوا می توان اطلاعاتی در مورد تخلخل نسبی، نرمی و زبری^۱ کاغذ را برآورد کرد. باید در نظر داشت که به دلیل گرانیوی کم هوا، با این روش می توان حجم کل و قابلیت منافذ کاغذ را تعیین نمود. یکی از روش هایی که می توان این مشخصه را بررسی کرد، روش گرلی است که در این پژوهش از این روش استفاده شده است. بر اساس روش مذکور حجم هوای عبوری

1- Roughness

کائولن $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ سنتز شده از کاغذ باطله را تایید کرده است. پس از تأیید ماهیت کائولن و تهیه فرمول‌بندی پوشش با استفاده از کائولن بازیافتی و پوشش‌دهی بر روی کاغذ، آزمون‌های مربوط به رفتارهای مکانیکی کاغذ در آزمون‌های کشش و ترکیدگی نشان داد که شاخص کششی و شاخص ترکیدگی افزایش یافته است. به طوری که نمونه دارای پوشش با ضخامت ۱۲۰ میکرومتر، بهترین خواص مکانیکی و نفوذپذیری را از خود نشان داد و به عنوان نمونه برتر انتخاب شد. بنابراین در کل می‌توان نتیجه گرفت که انجام پوشش‌دهی محلول پوشش حاوی کائولن بازیافتی از ضایعات کاغذ نه تنها باعث ارتقا کیفیت مکانیکی و نفوذپذیری کاغذ می‌شود بلکه با توجه به محدود کردن منافذ سطحی کاغذ، می‌تواند موجب بهبود سطح کاغذ و ویژگی‌های سطحی آن نیز بشود.

تشکر و قدردانی

از یاری و راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر محمد اسدی کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از کمک و راهنمایی صمیمانه اساتید محترم، کادر آزمایشگاهی پژوهشگاه رنگ و گروه نانومواد پژوهشگاه رنگ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ساری و عزیزانی که در این پژوهش مرا یاری نمودند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۴ در مورد کاغذهای پوشش‌دهی شده با استفاده از کامپوزیت حاوی رس توسط یه و همکارانش صورت گرفت که در آن عنوان کردند استفاده از پوشش حاوی رس بر روی کاغذ باعث افزایش مقاومت به عبور هوا شده است که تأییدکننده نتایج این تحقیق می‌باشد [۳۰].

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تولید پودر کائولن با استفاده از ضایعات کاغذ با روش تیمار حرارتی و اسید شویی با اسید کلریدیک امکان‌پذیر بوده است. به طوری که نتایج XRD پیک‌های پراش قوی و تیز که حاکی از بلورینگی خوب با ساختار تری کلینیک نمونه‌ها است را نشان داد و هیچ پیک اضافی در XRD مشاهده نشد که نشان‌دهنده خلوص بالای کائولن سنتزی از کاغذ باطله با این روش می‌باشد. همچنین نتایج آزمون FT-IR پیک جذبی در محدوده $920-1050 \text{ cm}^{-1}$ را نشان داد که مربوط به پیوندهای Si-O-Al است و نشان‌دهنده سنتز کائولن بعد از اسیدشویی می‌باشد. نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز تایید کننده ذرات کائولن سنتز شده از کاغذ باطله به صورت ساختار ورقه‌ای می‌باشد و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)، حضور عناصر Si، Al و O را در

۵- مراجع

1. N. H. Astuti, N. A. Wibowo, M. R. S. S. N. Ayub, The porosity calculation of various types of paper using image analysis. *J. Pendidikan Fisika Indonesia*. 14(2018), 46-51.
۲. م. غلامیان. بهبود چسبندگی پوششهای رنگی به چوب با استفاده از آمایش سطحی پلاسم. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ. ۴۱-۴۷، ۱۴(۱۳۹۹).
3. H. Hamada, T. Enomae, I. Shibata, A. Isogai, F. Onabe. Effects of water-soluble cellulosic polymers on coating development and quality. *Proceedings of PITA Coating Conference*. Edinburgh, Great Britain, March 4-5, 2003, 91-95.
4. M. A. Hubbe, R. A. Gill. Fillers for papermaking: a review of their properties, usage Practices, and their mechanistic role. *Bioresour.* 11(2016), 2886-2963.
5. P. Raghavan, S. Chandrasekhar, V. Vogt, E. Gock, N. Suresh. Additional investigations on the separation of titaniferous impurities from kaolin by high shear pretreatment and froth flotation - Part II. *Appl. Clay Sci.* 42(2008), 50-56.
6. R. Sarbatly, C. P. Yee, T.S Fong, D. Krishnaiah. Particle Size Distribution and Purification of Red Clay for Industrial Use. *J. Appl. Sci.* 9(2009), 2344-2347
7. M. Haydn, J. Kogel, Engineered clay products for the paper industry. *Appl. Clay Sci.* 29(2005), 199-206.
8. P. Komadel. Chemically modified smectites. *Clay Miner.* 38(2003), 127-138.
9. J. Gullichsen, Pigment coating and surface sizing of paper, Book 11, Making Science and Technology, Fapet / Tappi Series, Helsinki, Finland (2000), 280-320.
10. M. S. Karmous. Theoretical study of kaolinite structure; energy minimization and crystal properties. *WJNSE*. 1(2011), 62-66.
11. H. Murray. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, processing and applications of kaolins. 1st Edition Elsevier Science (2007), 7-30.
12. W. Gates J. Theo kloprogge jana madejova faiza bergaya. Infrared and Raman Spectroscopies of Clay Minerals. 1st Edition, Elsevier, 2017, 20-40
13. W. M. Bundya, J. N. Ishleyb, Kaolin in paper filling and coating. *Appl. Clay Sci.* 5(1991), 397-420
14. C. Tournassat, C. Steefel, I. Bourg, F. Bergaya. Natural and engineered clay barriers. 1st Edition Elsevier 2015, 50-60
15. A. A. AL-Shameri, L. X. Rong. Characterization and evaluation of algaof kaolin deposits of yemen for industrial application. *J. Eng. Appl. Sci.* 2(2009), 292-296
16. R. N. Gurram, M. Al-Shannag, N. J. Lecher, S. M. Duncan, E. L. Singsaas, M. Alkasrawi. Bioconversion of paper mill sludge to bioethanol in the presence of accelerants or hydrogen peroxide pretreatment. *Bioresour. Technol.* 192(2015), 529-539.
17. Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products (Revision of T 402 sp-08), Standard Specific Interest Group for this Test Method TAPPI, TAPPI Test Methods, T 402 sp-08, 2013.
18. Standard Forming handsheets for physical tests of pulp, Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi, Tappi Test Methods, T 205 sp-02, 2002.

19. Standard Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus) (Revision of T 494 om-01), Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi, Tappi Test Methods, T 494 om-01, 2006.
20. Standard Air resistance of paper (Gurley method) (Revision of T 460 om-02), the Standard Specific Interest Group for this Test Method Tappi, Tappi Test Methods, T 460 om-96, 2006.
21. Standard Bursting strength of paper, the physical properties committee of the process and product quality division Tappi, Tappi Test Methods, T 403 om-97, 1997
22. M. Khale, M. Kleber, R. Jahn. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: The suitability of mineral intensity factors. *Geoderma*. 109(2002), 191–205.
23. L. Moritz, A. Gabrielsson. Temperature effect on the properties of clay. *Geotech. Spec. Publ.* 112(2001), 304–314.
24. S. Zen, F. X Berrichi, N. Abidi, J. Duplay, A. Jada, B. Gasmi. Activated kaolin's potential adsorbents for the removal of Derma Blue R67 acid dye: kinetic and thermodynamic studies. *Desalin. Water Treat.* 112(2018), 196–206.
25. E. S. Ameh, A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 105(2019), 3289–3302.
26. E. R. E. Mark, Jr. C. C. Habeger, J. Borch, M.B. Lyne. M. Decker, (2002). Handbook of physical testing of Paper. 1(2002), 562-873
27. KH. Khwaldia. Physical and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-coated paper as affected by coating weight and coating composition. *BioResour.* 8 (2013), 3438-3452
28. I. J. Castvan, S. Lazarevic, D. Stojanovic, P. Z. ivkovic , R. Petrovic, D. J .kovi. Improvement of the mechanical properties of paper by starch coatings modified with sepiolite nanoparticles. *Starch*. 67(2015) 373–380
۲۹. پ. کاظمی، ش. سالم. حذف عامل رنگزا از پساب به کمک فوتوکاتالیزور آناتاز تثبیت شده بر پایه متاکائولن. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۱۳۹۷(۱۲)، ۲۸۱–۲۹۲
30. J. M. Yeh, Sh. J. Liou, M. Ch. Lai, Y.W. Chang, Ch. Yu. Huang, C. P. Chen, J. H. Jaw, T. Y. Tsai, Y. H. Yu. Comparative studies of the properties of poly(methylmethacrylate)-clay nanocomposite materials prepared by in situ emulsion polymerization and solution dispersion. *J. Appl. Clay Sci.* 94(2004), 1936–1946