نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://jwfst.gau.ac.ir

بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ حاوی نانورس و نانورس همگن‌شده (هموژن)

***الیاس افرا[۱]، مهرناز اسکندری[۲]، حسین رسالتی[۳] و محمدرضا دهقانی‌فیروزآبادی[۴]**

[۱]استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]کارشناس‌ارشد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استاد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۴]دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۱

چکیده

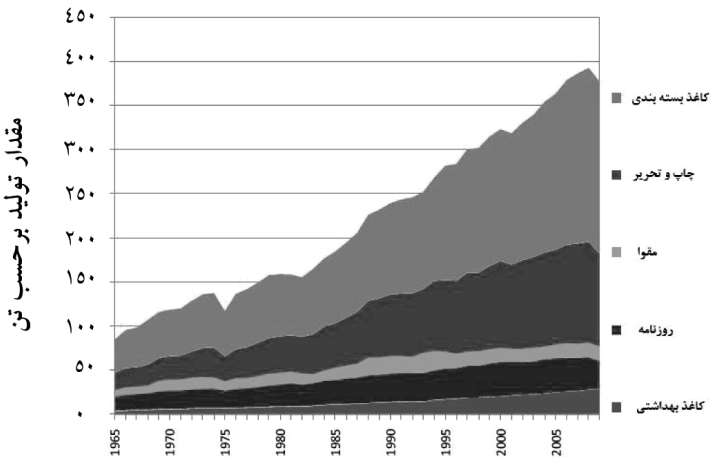
مواد پرکننده به‌طور عموم با هدف بهبود ویژگی‌های ممانعتی و نوری و جایگزین بخشی از ماده لیفی مورد نیاز در ساخت کاغذ با هدف کاهش هزینه‌های تولید به‌کار می‌روند. یکی از متداول‌ترین مواد مورد استفاده در این زمینه رس و نانورس می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور افزایش پتانسیل‌های نانورس در بهبود ویژگی‌های ذکر شده و در عین‌حال جلوگیری از افت ویژگی‌های مکانیکی کاغذ، این ماده با دستگاه هموژنایزر فرآوری (همگن) شده و تبدیل به نانورس کلوییدی پایدار با ابعاد نانومتری گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از نانورس همگن شده با هموژنایزر در مقایسه با نانورس خام در حضور کمک‌نگهدارنده، دانسیته و مقاومت به عبور هوای کاغذ بیش‌تری را نتیجه داده است. در عین‌حال مقادیر مقاومت به ترکیدن و پارگی کاغذ نیز به مقدار بسیار جزیی کاهش یافته است. در نهایت مقادیر بالای ماندگاری نانورس همگن‌شده در مقایسه با نانورس خام در حضور کمک‌نگهدارنده، بیانگر بار آلودگی کم‌تر پساب و صرفه اقتصادی سیستم بوده است.

واژه‌های کلیدی: نانورس، هموژنایزر، ویژگی‌های ممانعتی، ویژگی‌های نوری

* مسئول مکاتبه: afra@gau.ac.ir

مقدمه

کاغذ و محصولات کاغذی به‌عنوان یکی از کالاهای مصرفی جایگاه مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. از زمانی که کاغذ برای ثبت اندیشه، گفتار، حوادث و دانش به‌کار رفته است هر روزه به‌میزان موارد مصرف آن به شکل‌های مختلف افزوده شده است. خمیر به‌دست آمده از چوب می‌تواند به انواع مختلفی از محصولات کاغذی از کاغذهای نازک و نرم دستمال کاغذی گرفته تا مقواهای بسیار سخت و ضخیم تبدیل گردد. شکل ۱ وضعیت تولید انواع کاغذ و مقوا را از سال ۲۰۰۹-۱۹۹۵ نشان می‌دهد. بیش‌ترین سهم تولید کاغذ و مقوا در سال ۲۰۰۹ مربوط به کاغذ و مقوای بسته‌بندی با سهم ۵۱/۷ درصد بوده و کاغذ چاپ و تحریر، کاغذ روزنامه، کاغذ بهداشتی و مقوای غیربسته‌بندی با اختصاص مقادیر ۲۷/۸، ۸/۷، ۷/۵ و ٤/۳ درصد به‌ترتیب جایگاه‌های بعدی مصرف را به خود اختصاص داده‌اند (سراییان، ۲۰۱۱).



شکل ۱- روند تولید انواع کاغذ و مقوا در جهان (۲۰۰۹-۱۹۹۵).

متناسب با خواص کاربردی مورد لزوم کاغذهای مختلف مثل کاغذهای چاپ و تحریر و کاغذهای بسته‌بندی از انواع پرکننده‌های معدنی به‌منظور دست‌یابی به ویژگی‌های موردنظر استفاده می‌کنند که با توجه به اندازه ابعاد مصرفی، خواص ویژه‌ای به کاغذ می‌دهد. انواع پرکننده‌های معدنی مصرفی در صنعت کاغذسازی کربنات کلسیم در دو نوع آسیاب شده و رسوب داده شده، تالک، دی‌اکسید

تیتانیوم، مواد پرکننده رسی و... می‌باشند. در این پژوهش از نانورس به‌عنوان پرکننده معدنی استفاده شده است. رس‌ها به طبقه فیلوسیلیکات[1] کانی‌ها تعلق دارند. آن‌ها از لایه‌هایی با ردیف‌های دوبعدی از سیلیس- اکسیژن با ساختار تتراهیدرال[2] و ردیف‌های دوبعدی منیزیم یا آلومینیم آبدار با ساختار اکتاهیدرال[3] تشکیل شده‌اند. در کانی‌های رسی ورقه‌های تتراهیدرال و اکتاهیدرال به طرق مختلف روی هم قرار گرفته‌اند (جهانلتیباری، ۲۰۱۱). طی افزودن پرکننده‌ها به کاغذ خواص ظاهری، روشنی، ماتی، سفیدی، درخشش، چاپ‌پذیری و صافی سطح کاغذ بهبود می‌یابد و در هزینه‌های ساخت کاغذ نیز صرفه‌جویی می‌گردد اما کاهش مقاومت‌ها و ایجاد غبارزایی و سایندگی از عیب‌های پرکننده‌ها محسوب می‌شود (افرا، ۲۰۰۵). به‌طورکلی پرکننده‌ها با پرکردن خلل و فرج نمد الیاف، موجب افزایش مقاومت به عبور هوا می‌شوند (ناظری، ۲۰۰۷). از طرفی این مواد ماتی کاغذ را نیز افزایش می‌دهد (هاگمیر، ۱۹۹۷؛ لافمن، ۱۹۹۸؛ سانگ، ۲۰۰۹). این در حالی است که با افزودن پرکننده ویژگی‌های مقاومتی کاغذ کاهش می‌یابد (میلر و پالاوال، ۱۹۸۵). یکی از راه‌کارها به‌منظور استفاده مضاعف از پرکننده‌ها برای بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ و جلوگیری از افت مقاومت‌ها، استفاده از فناوری‌های مختلف در راستای فرآورش پرکننده‌ها می‌باشد. یکی از این فناوری‌ها فناوری نانو است. از این‌رو در این پژوهش از ذرات نانورس مونت‌موریلونیت به‌منظور بهبود ویژگی‌های کاغذ استفاده شده است. ذرات این ماده معدنی بسیار کوچک (کم‌تر از ۲ میکرومتر) و بی‌نهایت باریک (تقریباً ۱ نانومتر) است. بنتونیت با سطح ویژه خیلی‌زیاد (۸۰۰-۷۰۰ مترمربع بر گرم) با شارژ سطحی بالا، خصوصیات ویژه برای کاربردهایی هم‌چون جذب، شناورسازی، دلمه‌کنندگی و آبگیری دارد. بنتونیت باید در آب کاملاً پراکنده شود تا به سطح تماس وسیع و میزان اثر بخشی آن کاملاً دسترسی پیدا شود. ساختار مونت‌موریلونیت به‌طور اساسی یک ورقه ۳ لایه با یک ورقه هیدروکسیل آلومینیوم ۸ وجهی است که بین ۲ لایه ٤ وجهی سیلیکون- اکسیژن ساندویچ شده است (ریکرتسن، ۲۰۰۵). از آن‌جایی‌که بنتونیت ساختار لایه‌ای دارد و سطوح داخلی آن قابل دسترس نیست، اگر بتوان به‌طور مؤثر ساختار لایه‌ای آن را از هم جدا کرد می‌توان به سطح ویژه بالاتر، ابعاد ریزتر، پراکنش نوری بالاتر و خواص نوری بیش‌تر دست یافت و پیش‌بینی می‌شود به‌علت این‌که ذرات رس ریزتر می‌شود و داخل میکروفیبریل‌ها قرار می‌گیرد فضا و خلل و فرج زیادی را ایجاد نکند و در عین‌حال که مقاومت به عبور هوا را افزایش

1- Phyllosilicate
2- Tetrahedral
3- Octahedral

دهند، مقاومت‌ها را کم‌تر کاهش دهند. در این راستا دستگاه‌های مختلفی برای جدا کردن لایه‌های نانورس وجود دارد که براساس منابع می‌توان به هموژنایزر (دستگاه همگن‌ساز) و التراسونیک (دستگاه فراصوت) اشاره کرد که در این پژوهش از این روش‌ها استفاده شده است. هدف از این پژوهش به‌کارگیری نانورس و نانورس فرآورش شده با هموژنایزر و بررسی مقایسه‌ای اثرات آن در بهبود ویژگی‌های نوری و ممانعتی و جلوگیری از افت ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: خمیرکاغذ (برای تهیه کاغذهای دست‌ساز از خمیر وارداتی اکالیپتوس که از کارخانه لطیف کرج تهیه شد، استفاده گردید).

نانورس بنتونیت (ساخت شرکت محصولات رس جنوبی[1] با دانسیته ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب).

پلی‌دادمک[2] (پلی‌دادمک موردنظر از شرکت سیگما آلدریچ به‌منظور خنثی‌سازی بار منفی سوسپانیون خمیرکاغذ با وزن مولکولی کم m_v ۲۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ دارای درصد خلوص ۲۰ درصد، ویسکوزیته ۱۸۰-۶۰ سانتی‌پواز و دانسیته ۱/۰٤ گرم بر سانتی‌مترمکعب تهیه گردید).

نانورس خام و نانورس همگن شده هر یک در ۳ سطح مصرفی ۲، ۱۰ و ۱۵ درصد، با استفاده و بدون استفاده از پلی‌دادمک در تیمارهای مختلف به‌کار گرفته شده‌اند.

روش‌ها

فرآورش نانورس: در این پژوهش نانورس با دو دستگاه هموژنایزر و التراسونیک به‌منظور تولید یک سوسپانسیون کلوییدی پایدار با ایجاد ذرات جامد نانومتری در تمام ابعاد، فرآوری شد. به این منظور ذرات نانورس در هر دو روش به‌مدت ۲٤ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند تا واکشیده شوند. در روش هموژنایزر ابتدا سوسپانسیون نانورس- آب مقطر با غلظت ٤ گرم بر لیتر تهیه گردید. سپس این محلول در دستگاه هموژنایزر به‌مدت ٦۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه فرآوری شد. در روش التراسونیک نیز ذرات نانورس به همین صورت آماده‌سازی گردید و به‌مدت ۱۵ دقیقه با شدت بالا فرآوری شد. سپس محلول حاصله از هر دو روش به‌مدت چند روز در ظرف باقی ماند تا ذرات

1- Southern Clay Product
2- PDM

درشت‌تر رسوب شود. از آن‌جایی‌که در روش هموژنایزر میزان رسوب کم‌تری تشکیل شد بنابراین هموژنایزر، روش مناسب‌تری برای دست‌یابی به سیستم کلوییدی پایدار (همگن) است که منطبق با نتایج لیندستروم می‌باشد (لیندستروم و همکاران، ۲۰۰۷).

شکل ۲- دستگاه التراسونیک.

شکل ۳- دستگاه هموژنایزرشکل.

شکل ٤- رسوب به‌دست آمده از روش هموژنایزر.

آماده‌سازی سوسپانسیون خمیرکاغذ: ابتدا درصد رطوبت خمیر براساس استاندارد شماره T٢٤٠om-٠٢ آیین‌نامه تاپی تعیین شد. بعد از تعیین درصد رطوبت خمیر معادل ٢٤ گرم خمیر خشک و ٢ لیتر آب مقطر داخل ظرف مخصوص بازکننده الیاف ریخته شد و با سرعت ٥٠٠٠ دور در دقیقه، خمیر خشک باز و به سوسپانسیون خمیر مورد استفاده برای پالایش تبدیل گردید. سپس پالایش سوسپانسیون خمیر با سرعت ١٠٠٠٠ r/min براساس استاندارد شماره T٢٤٨om-٨٥ آئین‌نامه تاپی با پالایشگر انجام پذیرفت تا خمیر به درجه روانی CSF ١٠±٣٥٠ برسد.

آماده‌سازی کمک‌نگهدارنده: در این پژوهش به‌منظور خنثی‌سازی بار منفی الیاف از پلی‌دادمک استفاده شد. به این منظور محلولی از پلی‌دادمک با غلظت ۰/۱ گرم در لیتر تهیه شده و به مقدار ۰/۵ درصد به سوسپانسیون خمیر اضافه گردید.

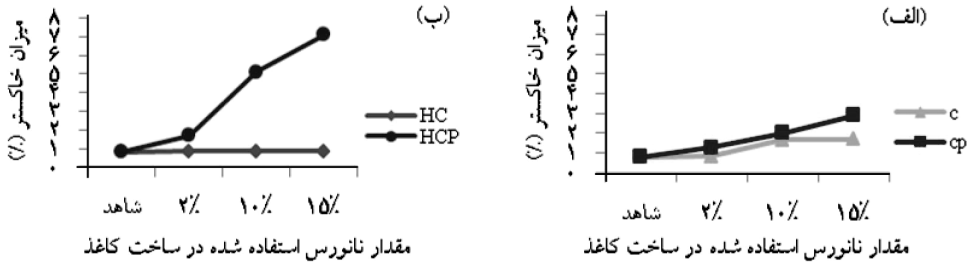
تهیه کاغذ دست‌ساز: به‌منظور تهیه کاغذهای دست‌ساز سوسپانسیون الیاف با و بدون حضور پلی‌دادمک، در ۳ سطح مصرفی ۲، ۱۰ و ۱۵ درصد با نانورس خام و نانورس همگن‌شده مخلوط گردیدند. به این صورت که سوسپانسیون الیاف در درون هم‌زن قرار گرفتند و در تیمارهایی که از پلی‌دادمک به‌منظور خنثی‌سازی بار منفی الیاف استفاده شده بود، این محلول با غلظت و درصد ذکر شده با سوسپانسیون خمیر ترکیب شده و در نهایت نانورس خام و نانورس همگن در سطوح مختلف به این ترکیب اضافه گردید. در نهایت بعد از چند دقیقه کاغذهای دست‌ساز براساس استاندارد T۲۰۵sp-۰۲ آئین‌نامه تاپی تهیه شده تا آزمون‌های موردنظر بر روی آن‌ها صورت گیرد.

ارزیابی ویژگی‌های کاغذ ساخته شده: میزان ماندگاری ذرات نانورس در کاغذهای تیمار شده با اندازه‌گیری خاکستر براساس استاندارد T٤١٣om-٩٣، پارامترهای مقاومت به عبور هوا براساس استاندارد T٤٦٠om-٩٦، دانسیته براساس استاندارد T٤١٠om-٠٢، شاخص مقاومت به پارگی براساس استاندارد T٤١٤om-٠٤، شاخص مقاومت به ترکیدگی براساس استاندارد T٤٠٣om-٠٢ و ماتی براساس استاندارد T٤٥٢om-٠١ آیین‌نامه تاپی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس عکس میکروسکوپ الکترونی به‌منظور بررسی وجود ذرات نانورس همگن‌شده روی سطح کاغذ تیمار شده، توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی پیمایشی تهیه شد. در این پژوهش برای مقایسه بین میانگین‌ها از آزمون دانکن و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار آماری SPSS16 استفاده شد.

نتایج و بحث

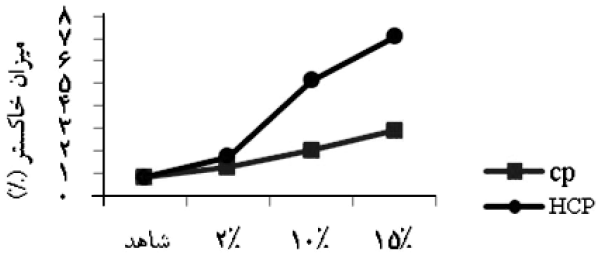
میزان ماندگاری نانورس به‌وسیله اندازه‌گیری خاکستر کاغذ دست‌ساز: مقدار پرکننده یا خاکستر موجود در کاغذ، در یک درصد مصرف مشخص پرکننده، تابعی از درصد ماندگاری (نسبت درصد وزن پرکننده در کاغذ به وزن پرکننده مصرفی) بوده و یک رابطه خطی مستقیم بین این دو ویژگی وجود دارد که می‌توان مقدار آن را با استفاده از پلی‌مرهای متنوع کمک‌نگهدارنده و از طریق مکانیسم‌های وصله‌زنی، پل‌زنی و... افزایش داد.

در شکل ۵ میزان خاکستر باقی‌مانده از کاغذهای شامل نـانورس خـام بـدون کمـک‌نگهدارنـده بـا علامت اختصاری c و نانورس خام بـا کمـک‌نگهدارنـده بـا علامـت اختـصاری cp (الـف)، نـانورس همگن‌شده بدون کمک‌نگهدارنده با علامت اختصاری HC و نانورس همگن‌شده با کمک‌نگهدارنده بـا علامت اختصاری HCP (ب) مشاهده می‌شود. نتایج بیانگر آن است که با افزودن نـانورس، اخـتلاف معنی‌داری در میزان خاکستر اتفاق افتاده است. با توجه به شـکل ۵ در تیمارهـایی کـه از پلـی‌دادمـک به‌عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده شده است، میزان خاکستر باقی‌مانده در کاغذ در هر دو حالت (الف و ب)، بیش‌تر می‌شـود. در واقـع بـا افـزودن پلـی‌دادمـک بـه سوسپانـسیون خمیـر، زبالـه‌هـای آنیـونی سوسپانسیون خمیر کاهش پیدا کرده و در نتیجه با افزودن نـانورس میـزان دافعـه بـین الیـاف و ذرات نانورس نیز کاهش یافته و احتمالاً بار کاتیونی الیاف به‌سمت مثبت حرکت می‌کند که این پدیده منجـر به بهبود ماندگاری ذرات نانورس و جذب نانورس بر روی سطح الیاف که خود دارای بار منفی است، می‌شود. همان‌طورکه در این شکل مشاهده می‌شود میزان ماندگاری نانورس خـام بـدون پلـی‌دادمـک بیش‌تر از ماندگاری نانورس همگن‌شده بدون پلی‌دادمک است، زیرا ذرات نانورس خام درشت‌تر بوده و راحت‌تر در شبکه الیاف قرار می‌گیرند و ماندگاری بهتری دارند اما در حالت همگـن‌شـده نـانورس ریز شده و در تمام ابعاد، نانومتری گردیده و بدون کمک‌نگهدارنده در زمان آبگیری درصد عمده‌ای از آن از توری ورقه‌ساز عبورکرده و به مقدار جزیی در کاغذ باقی می‌ماند.



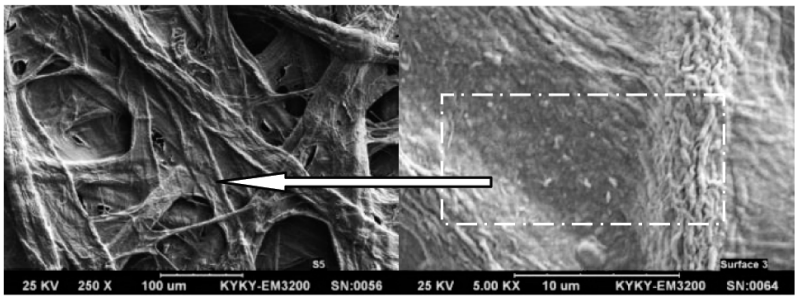
شکل ۵- تغییرات میزان خاکستر با افزودن نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

شکل ٦ مقایسه میزان خاکستر باقی‌مانده در کاغذهای شامل نانورس خام و نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طورکه در این شکل مشاهده می‌شود مقادیر خاکستر باقی‌مانده در کاغذهای شامل نانورس هموژن با پلی‌دادمک در تمام سطح‌ها، بیش‌تر از کاغذهای شامل نانورس خام با پلی‌دادمک است. زمانی که از نانورس خام استفاده می‌شود، نانورس حالت لایه‌ای و توده‌ای با سطح و وزن به‌نسبت زیاد بوده و تحت‌تأثیر نیروی هیدرودینامیکی، با شدت بیش‌تری کشیده می‌شوند و ماندگاری کم‌تری دارند، ولی در صورتی که همگن شوند این لایه‌ها از یکدیگر جدا شده و ذرات نانورس دارای وزن کم‌تر و سطح ویژه بیش‌تری می‌شود و به سطوح الیاف می‌چسبند و نیروی الکترواستاتیک برای ماندگاری آن‌ها در کاغذ بیش‌تر است؛ به‌طوری‌که میزان خاکستر در کاغذهای شامل نانورس همگن با پلی‌دادمک حدود ۲ برابر بیش‌تر از کاغذهای شامل نانورس خام می‌باشد. بنابراین نتایج بیانگر آن است که با افزودن نانورس، افزایش معنی‌داری در میزان خاکستر اتفاق افتاده است و نیز با افزایش میزان مصرف نانورس، میزان خاکستر افزایش پیدا می‌کند و با همگن کردن نانورس این روند افزایشی بیش‌تر می‌شود.

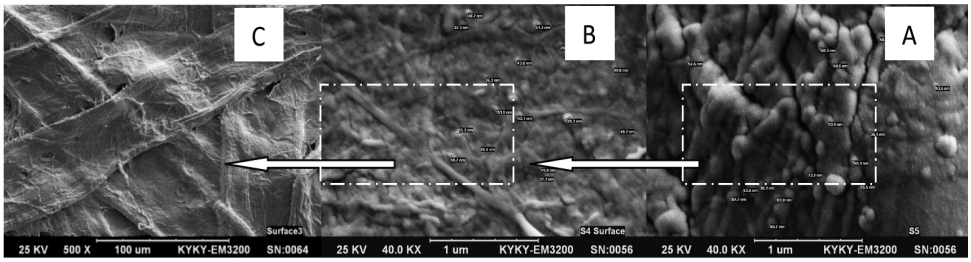


شکل ٦- تغییرات میزان خاکستر با افزودن نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک نگهدارنده.

از عکس‌های الکترونی نیز استنباط می‌گردد با افزودن پلی‌دادمک به سوسپانسیون خمیرکاغذ میزان ماندگاری ذرات نانورس بیش‌تر می‌شود. شکل ۷ سطح کاغذ محتوی ۱۵ درصد نانورس همگن‌شده بدون کمک‌نگهدارنده و شکل ۸ سطح کاغذ محتوی ۱۵ درصد نانورس همگن‌شده با کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل مشخص است در صورتی‌که از کمک‌نگهدارنده برای ماندگاری نانورس استفاده شود ذرات نانورس بیش‌تری در بین الیاف دیده می‌شود که بیش‌تر دارای ابعاد نانومتری می‌باشند اما در صورت نبود کمک‌نگهدارنده مقدار جزیی از ذرات نانورس در سطح کاغذ باقی‌مانده است.

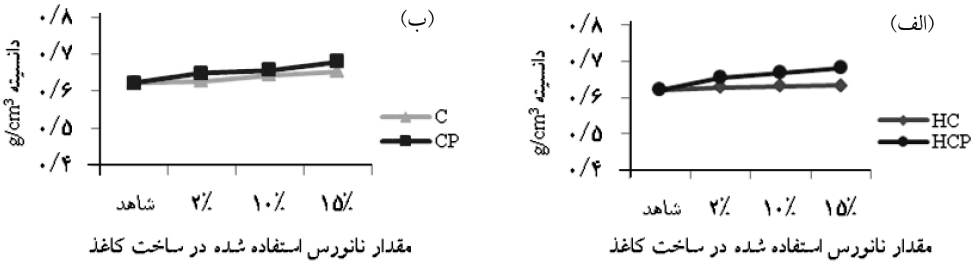


شکل ۷- سطح کاغذ تیمار شده با نانورس همگن‌شده بدون کمک‌نگهدارنده.



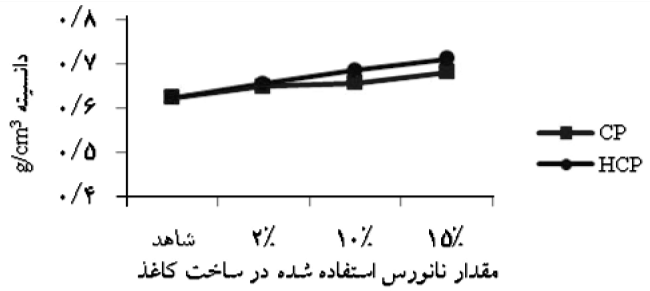
شکل ۸- سطح کاغذ تیمار شده با نانورس همگن‌شده با کمک‌نگهدارنده.

دانسیته: شکل ۹ میزان دانسیته در کاغذهای شامل نانورس خام (الف) و نانورس همگن‌شده (ب) در حضور و بدون حضور کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزودن نانورس، اختلاف معنی‌داری در میزان دانسیته اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در هر دو حالت (الف و ب) با حضور پلی‌دادمک، دانسیته کاغذها به مقدار جزیی بیش‌تر از تیمارهای بدون پلی‌دادمک می‌باشد، زیرا ماندگاری ذرات نانورس در این حالت نسبت به زمانی که از پلی‌دادمک استفاده نمی‌شود، بیش‌تر است در نتیجه دانسیته افزایش یافته است. اما این اختلاف در شکل (ب) بیش‌تر می‌باشد که به‌علت اختلاف بیش‌تر ماندگاری در نانورس همگن‌شده با و بدون پلی‌دادمک است که با نتایج میزان خاکستر باقی‌مانده در کاغذ مطابقت می‌کند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد با افزودن نانورس، دانسیته کاغذها به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است که این نتجه هم‌راستا با نتایج پژوهش‌های قبلی در این زمینه بوده است (لیندستروم، ۲۰۰۷؛ لافمن، ۱۹۹۸).



شکل ۹- تغییرات دانسیته کاغذ با افزودن نانورس با و بدون کمک نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

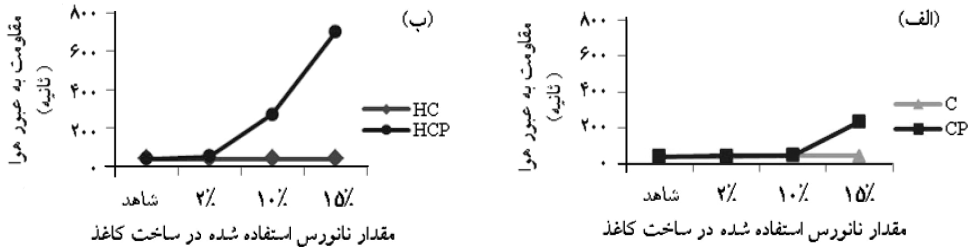
شکل ۱۰ مقایسه دانسیته کاغذهای شامل نانورس خام با پلی‌دادمک را با کاغذهای شامل نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک نشان می‌دهد. همان‌طورکه در شکل نمایان است، در کاغذهایی که از نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک استفاده شده، دانسیته به مقدار خیلی جزیی بیش‌تر ازکاغذهای شامل نانورس خام می‌باشد که به‌علت ماندگاری بیش‌تر ذرات نانورس همگن‌شده در کاغذ و پر کردن خلل و فرج بیش‌تر بافت کاغذ می‌باشد.



شکل ۱۰- تغییرات دانسیته کاغذ با افزودن نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک نگهدارنده.

مقاومت به عبور هوای کاغذ: برای اندازه‌گیری و سنجش مقاومت کاغذ در برابر عبور هوا، از دستگاه گرلی استفاده شد که بیش‌تر به‌عنوان تراکم‌سنج از آن یاد می‌شود. در روش گرلی، مقادیر داده‌ها نشان‌دهنده مقاومت کاغذ در برابر عبور هوا می‌باشد. در شکل ۱۱ تغییرات مقاومت به عبور هوا در کاغذهای شامل نانورس خام (الف) و نانورس همگن‌شده (ب) در حضور و بدون حضور

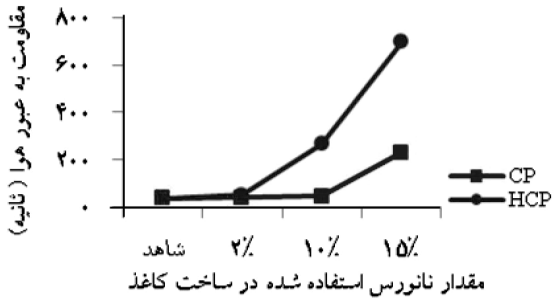
کمک‌نگهدارنده مشاهده می‌شود. نتایج بیانگر آن است که با افزودن نـانورس، اخـتلاف معنـی‌داری در میزان مقاومت به عبور هوای کاغذ اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل تغییرات مقاومت بـه عبـور هوا در کاغذ شامل نانورس خام بدون پلی‌دادمک و کاغذ شامل نانورس همگن‌شده بدون پلـی‌دادمـک روند جزیی دارد، زیرا ماندگاری ذرات نانورس در این تیمارها کم‌تر بوده است. از طرفـی بـا حـضور پلی‌دادمک در هر دو حالت، ماندگاری نانورس بیش‌تر شده و این رونـد افزایـشی بـیش‌تـر مـی‌شـود. بنابراین نتایج بیانگر آن است که با افزودن نانورس بـه‌خـصوص در درصـدهای زیـادتر (۱۵ درصـد)، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در میزان مقاومت به عبور هوا اتفاق افتاده است. صفحه‌های سیلیکاتی نسبت به هوا نفوذناپذیر هستند و به‌دلیل ساختار صفحه‌ای مسیر عبور هوا را طولانی و زیگزاگی مـی‌کننـد. ایـن ویژگی برای کاغذهای چاپ و تحریر و بسته‌بندی یک برتری به‌شمار می‌آید. براسـاس پـژوهش‌هـای پیشین مقاومت به عبور هوا با افزایش نرمه‌ها و فیلرها افزایش می‌یابد. علت این امر پر شـدن خلـل و فرج نمد الیاف با نرمه‌ها و فیلرها و در نتیجه عبور نکردن هوا از میان آن‌ها بوده است (ناظری، ۲۰۰۷). همچنین پراکنش بهتر ذرات فیلر، مقاومت به عبور هوا را بهبود می‌دهد (هیوبی، ۲۰۰٤).



شکل ۱۱- تغییرات مقاومت به عبور هوای کاغذ با افزودن نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

شکل ۱۲ مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذهای شامل نانورس خام و نانورس همگـن‌شـده بـا پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. در نانورس خام به‌علت صفحه‌ای بودن شکل ذرات نانورس، فضای خـالی و خلل و فرج‌های نمد الیاف پر می‌شود و این امر مانع عبور هوا می‌گـردد. در کاغـذ شـامل نـانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک، ذرات ریزتر شده اما با توجه به‌میزان خاکـستر بـاقی‌مانـده در ایـن تیمارهـا،

به‌دلیل ماندگاری زیاد این ذرات هموژن نسبت به نانورس خام به‌ویژه در سطح ۱۰ و ۱۵ درصد، ذرات نانورس سطح کاغذ را پوشانده و لایه‌ای پیوسته از رس را تشکیل می‌دهند و موجب صافی سطح بسیار بالا در لایه نمد شده و مانع از عبور هوا می‌شوند. در شکل ۸ (A و B) نیز کاملاً حضور نانورس به‌صورت یک لایه پیوسته مشاهده می‌شود. این پدیده به‌عنوان یک خاصیت ممانعتی، دستاورد خوبی برای کاغذهای چاپ و تحریر است و به‌طور قطع برای کنترل چاپ بسیار مفید می‌باشد.

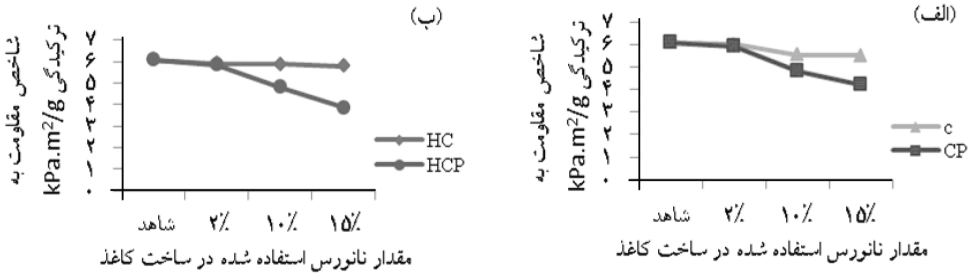


شکل ۱۲- تغییرات مقاومت به عبور هوای کاغذ با افزودن نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک نگهدارنده.

شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ: مقاومت به ترکیدگی در واقع مقاومت کاغذ در برابر تغییر شکل به‌وسیله یک پرده لاستیکی منبسط شونده است که با اندازه‌گیری فشار هیدرولیکی در نقطه پارگی (ترکیدن) کاغذ تعیین می‌شود. افزایش طول الیاف، افزایش پالایش و فشار پرس باعث افزایش مقاومت به ترکیدگی و افزایش مقدار مواد پرکننده و نیز شاخص شکل‌گیری (شکل‌گیری نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد.

شکل ۱۳ تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذهای شامل نانورس خام (الف) و نانورس همگن‌شده (ب) در حضور و بدون حضور کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزودن نانورس، اختلاف معنی‌داری در میزان شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در تیمارهایی که از پلی‌دادمک به‌عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده شده است شاخص مقاومت به ترکیدگی در هر دو حالت (الف و ب) کم‌تر می‌شود، زیرا ماندگاری نانورس در این حالت بیش‌تر است که با نتایج ناشی از میزان خاکستر باقی‌مانده در کاغذ مطابقت می‌کند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که با افزودن نانورس و با افزایش میزان مصرف آن، کاهش معنی‌داری در شاخص

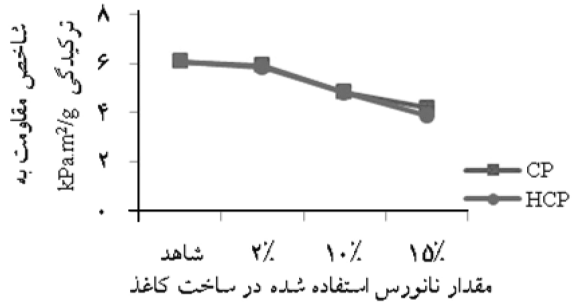
مقاومت به ترکیدن اتفاق افتاده است. ذرات نانورس به‌عنوان پرکننده معدنی ظرفیت پیوند بین الیاف را تضعیف می‌کند. نتایج به‌دست آمده در بررسی مقاومت به ترکیدگی کاغذهای تیمار شده با ذرات رس مشابه نتایج قبلی آلن (آلن، ۲۰۰۷) می‌باشد. همچنین پژوهش‌ها نشان داد افزودن پرکننده موجب افت مقاومت‌ها می‌شود و خاک رس، تالک و کربنات کلسیم آسیاب‌شده به‌ترتیب در افت مقاومت مکانیکی مؤثرتر می‌باشند (میلر و پالیوال، ۱۹۸۵).



شکل ۱۳- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ با افزودن نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

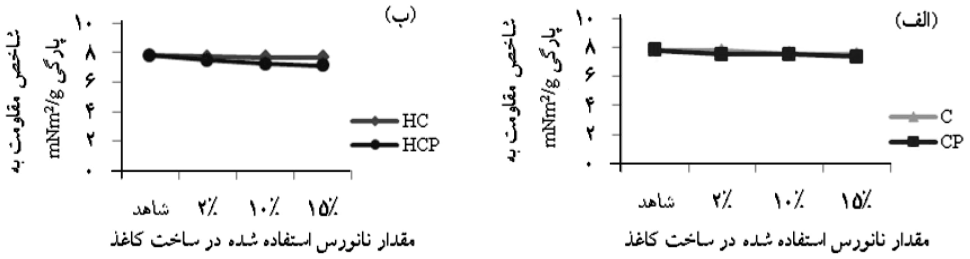
شکل ١٤ مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذهای شامل نانورس خام و نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. فرض بر این است با افزایش درصد خاکستر و حضور بیش‌تر رس و نانورس در کاغذ، مقاومت‌ها افت بیش‌تری پیدا کند اما از آن‌جایی‌که نانورس همگن شده و ساختار لایه‌ای آن از یکدیگر جدا می‌شود و پدیده متورق شدن[1] اتفاق می‌افتد، این لایه‌های نازک خلل و فرج کم‌تری را در الیاف ایجاد می‌کنند و موجب تماس بیش‌تر میکروفیبریل‌ها می‌گردد. این امر موجب دانسیته بیش‌تر و مقاومت به عبور هوای کم‌تر در کاغذ می‌شود که در نهایت باعث جبران افت مقاومت ناشی از درصد زیاد پرکننده می‌گردد و این پدیده دستاورد مهمی محسوب می‌شود؛ زیرا با ماندگاری بیش‌تر نانورس در حالت همگن‌شده و بهبود ویژگی‌های ممانعتی، چاپ‌پذیری و نوری، از افت بیش‌تر مقاومت‌ها جلوگیری کرده و مقاومت‌ها به مقدار جزیی با کاغذهای شامل نانورس خام تفاوت دارد.

1- Intercalation



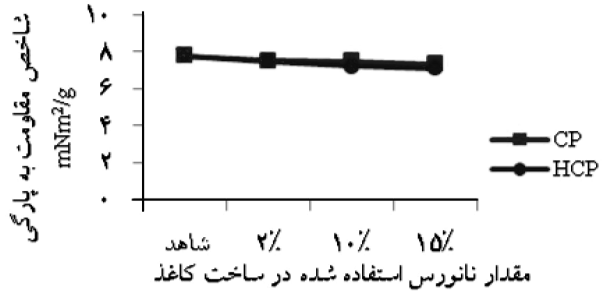
شکل ١٤- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ با افزودن نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک نگهدارنده.

شاخص مقاومت به پارگی کاغذ: در شکل ۱۵ تغییرات شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای شامل نانورس خام (الف) و نانورس همگن‌شده (ب) در حضور و بدون حضور کمک‌نگهدارنده مشاهده می‌شود. نتایج بیانگر آن است که با افزودن نانورس، اختلاف معنی‌داری در میزان شاخص مقاومت به پارگی کاغذ اتفاق افتاده است. با توجه به این شکل در هر دو حالت (الف و ب) با افزودن نانورس، کاهش جزیی در شاخص مقاومت به پارگی اتفاق افتاده است، زیرا مقاومت به پارگی به مقاومت بین الیاف و مقاومت تک‌تک الیاف بستگی دارد. در این‌جا به‌دلیل قرار گرفتن ذرات نانورس در بین الیاف و تضعیف پیوند بین الیاف، مقاومت بین الیاف کاهش می‌یابد اما مقاومت تک‌تک الیاف تغییری نکرده است در نتیجه افت مقاومت به پارگی روند بسیار جزیی دارد که مشابه نتایج به‌دست آمده از لیندستروم (۲۰۰۷) است.



شکل ۱۵- تغییرات شاخص مقاومت به پارگی کاغذ با افزودن نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

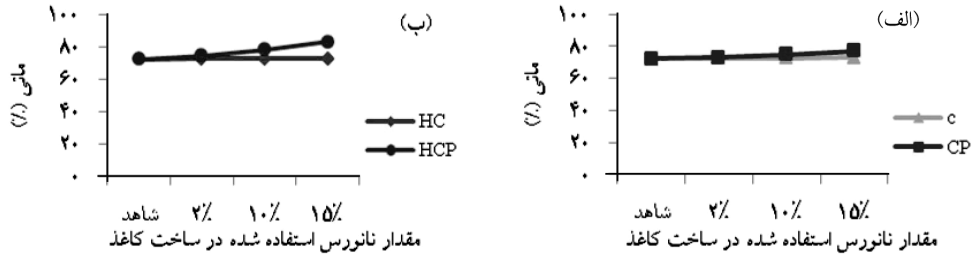
شکل ١٦ مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای شامل نانورس خام و نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. همان‌طورکه از شکل نمایان است با وجود همگن نمودن نانورس و بهبود ویژگی‌های ممانعتی و ماندگاری بیش‌تر پرکننده، افت مقاومت به پارگی نیز به مقدار جزیی با کاغذهای شامل نانورس خام تفاوت دارد.



شکل ١٦- تغییرات شاخص مقاومت به پارگی کاغذ با افزودن نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک‌نگهدارنده.

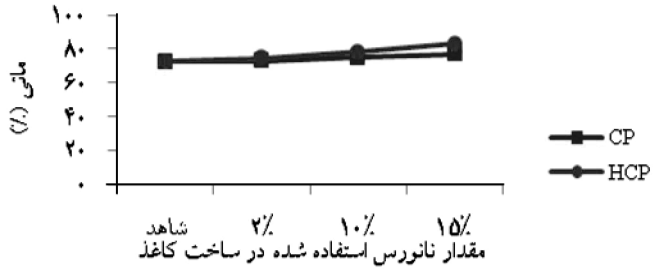
ماتی کاغذ: ماتی کاغذ، خاصیتی از کاغذ است که مانع عبور نور از کاغذ می‌شود. وزن پایه، ضریب جذب و ضریب پخش نور کاغذ عوامل مؤثر بر ماتی کاغذ بوده و رابطه درجه ماتی با این سه عامل به‌صورت مستقیم بوده و با افزایش یا کاهش هر یک از ٣ عامل نام‌برده، مقدار درجه ماتی نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. شکل ١٧ میزان ماتی در کاغذهای شامل نانورس خام (الف) و نانورس همگن‌شده (ب) در حضور و بدون حضور کمک‌نگهدارنده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج با افزودن نانورس، اختلاف معنی‌داری در میزان ماتی کاغذ اتفاق افتاده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در تیمارهایی که از پلی‌دادمک به‌عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده شده است، ماتی در هر دو حالت (الف و ب) بیش‌تر است، زیرا پلی‌دادمک به‌عنوان کمک‌نگهدارنده موجب ماندگاری بیش‌تر نانورس می‌شود و نانورس باعث افزایش ماتی می‌گردد. اما در حالت (ب) این اختلاف واضح‌تر است که ناشی از اختلاف در ماندگاری ذرات نانورس می‌باشد. بنابراین با افزایش مصرف نانورس ماتی افزایش می‌یابد که با نتایج به‌دست آمده توسط هاگمیر (١٩٩٧) مشابهت دارد. هرچه شاخص انکسار نور ذرات معدنی بیش‌تر باشد، افزایش ماتی بیش‌تر می‌شود و با افزایش فیلرها ماتی افزایش می‌یابد (ناظری، ٢٠٠٧). ذرات فیلر

با فضای خالی درونشان قابلیت پراکنش نور را بالا می‌برند و بر بهبود ویژگی‌های ماتی اثر می‌گذارند (هیوبی، ۲۰۰٤). همچنین تأثیر پرکننده در بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده که افزودن پرکننده سبب بهبود ماتی می‌شود (سونگ، ۲۰۰۹).



شکل ۱۷- تغییرات ماتی کاغذ با افزایش نانورس با و بدون کمک‌نگهدارنده در (الف) نانورس خام و (ب) نانورس همگن‌شده.

شکل ۱۸ تغییرات ماتی در کاغذهای شامل نانورس خام و کاغذهای شامل نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ماتی در کاغذهای شامل نانورس همگن‌شده با پلی‌دادمک نسبت به نانو رس خام بیش‌تر است که به‌علت ماندگاری بیش‌تر نانورس است. با توجه به‌میزان زیاد خاکستر موجود در کاغذهای شامل نانورس همگن‌شده و سطح مؤثر خیلی بیش‌تر، پیش‌بینی می‌شد اختلاف ماتی در این تیمارها خیلی بیش‌تر گردد اما با همگن کردن نانورس، لایه‌های نانورس از یکدیگر جدا شده و دانسیته افزایش یافته و خلل و فرج و ضریب تفرق نور کاهش می‌یابد. در نتیجه این اختلاف متناسب با انتظار پیش‌بینی شده نبود.



شکل ۱۸- تغییرات ماتی کاغذ با افزایش نانورس خام و نانورس همگن‌شده با کمک نگهدارنده.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور افزایش پتانسیل‌های نانورس در بهبود برخی ویژگی‌های کاغذ در عین جلوگیری از افت برخی ویژگی‌های مقاومتی، نانورس با دستگاه هموژنایزر فرآوری (همگن) شده و به نانورس کلوییدی پایدار تبدیل گردید. براساس نتایج به‌دست آمده کاغذهای شامل نانورس همگن‌شده نسبت به کاغذهای شامل نانورس خام مقادیر خاکستر، دانسیته، مقاومت به عبور هوا و ماتی بیش‌تر و به مقدار جزیی، شاخص مقاومت به ترکیدگی و پارگی کم‌تری را دارا می‌باشند. به‌طورکلی نتیجه می‌گیریم که با به‌کارگیری شیوه همگن‌سازی نانورس، می‌توان به نانورسی دست یافت که با توجه به تصاویر الکترونی بیش‌تر ابعاد آن نانومتری بوده و در مقایسه با نانورس خام می‌توان به خواص ممانعتی و نوری بهتر و در عین‌حال افت کم‌تر مقاومت‌ها دست یافت. همچنین مقادیر بالای ماندگاری نانورس همگن‌شده در مقایسه با نانورس خام در حضور مواد کمک‌نگهدارنده، بیانگر بار آلودگی کم‌تر پساب و صرفه اقتصادی سیستم می‌باشد.

منابع

1.Afra, E. 2005. Fundamental of paper properties. Ayizh Press. 338p. (In Persian)
2.Alen, R. 2007. Paper making Sience and Technology. Book 4. Papermaking Chemistry, Pp: 64-73.
3.Hagemeyer, R. 1997. Pigments. TAPPI Press. 78: 4. 98-105.
4.Hubbe, M.A. 2004. Filler Particle shape vs paper properties. A Review. TAPPI Technical conference Atlanta. 357p.
5.Jahan Latibari, A. 2011. Application particle and nanoparticle in papermaking, 197p. (In Persian)
6.Laufmann, M. 1998. Fillers For paper. A Global view. PTS seminar Wet End Operations Papermaking Conference Proceeding, London.
7.Lindstrom, T., Banke, K., Larsson, T., Glad-Nordmark, G. and Boldizar, A. 2007. Nanoclay plating of cellulosic fiber surfaces, J. Appl. Poly. Sci. 108: 2. 887-891.
8.Nazeri, A. 2007. Study the effects of fines particles on properties of physical and optical newsprint made from chemical-mechanical pulp. Quarterly Scientific-Iran wood paper science. 22: 29-40.
9.Rickertsen, S. 2005. ALTONIT-Bentonite products for the paper industry. N, S and B Industrial Minerals GmbH-Specialty Bentonites Unit.
10.Saraeyan, A. 2011. Potential of agricultural waste in the supply of raw materials for pulp and paper industry province. Proceeding of the First National Conference Roadmap supply of raw materials and the development of wood and paper industry Gorgan, Iran.
11.Song, D. 2009. Filler engineering for energy savings and improved paper properties. Tappi Con 09. Georgia institute of Technology.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (3), 2014
http://jwfst.gau.ac.ir

Comparison of the Physical, Mechanical and Optical Properties Paper Treated with Nanoclay and Homogenized Nanoclay

***E. Afra[1], M. Eskandari[2], H. Resalati[3] and M.R. Dehghani-Firouzabadi[4]**
[1]Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]M.Sc., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Professor, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [4]Associate Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 01/26/2014; Accepted: 11/02/2014

Abstract

Fillers commonly used to improve barrier and optical properties of paper and as compensate a little part of fibrous materials needed in manufacture of paper to reduce production costs. One of the most common materials used in this case is clay and Nano clay. In this study, to enhance the Nano clay potential of paper optical and barrier properties improving and also, to avoid compromising the mechanical properties of paper, this material homogenized and turned into stable colloidal Nano clay with nanometer Dimensions. According to the results, homogenized Nano clay in comparison with Nano clay in the presence of retention aids more increased the handsheet's density and air resistance. However, the value of burst and tear resistance slightly reduced. Finally, high values of homogenized Nano clay retention with retention aids will result in reduced effluent loads and will improve the system economically.

Keywords: Nano clay, Homogenizer, Interdiction characteristic, Optical characteristic

* Corresponding Authors; Email: afra@gau.ac.ir