

شناسایی ویژگی‌های نرمه الیاف سلولزی خمیر کاغذهای کرافت، شیمیایی - مکانیکی و بازیافتی

جعفر عزیزی^{۱*}، امید رضانی^۲، اسماعیل رسولی گرمارودی^۲ و حمیدرضا رودی^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران،

پست الکترونیک: jafar.azizi1986@yahoo.com

۲- استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۶

چکیده

ریزه الیاف سلولزی و نرمه‌ها جزء مهمی از الیاف کاغذسازی محسوب می‌شوند که می‌توانند تأثیرات قابل توجه بر فرایند تولید و کیفیت فراورده نهایی داشته باشند. در این تحقیق، ویژگی‌های نرمه الیاف سه نوع خمیر کاغذ شامل کرافت، شیمیایی - مکانیکی (CMP) و خمیر کاغذ بازیافتی (OCC) بررسی شد. مقادیر مورد نیاز نرمه با استفاده از دستگاه کوبنده والی (Valley beater) تهیه شدند. سپس نرمه‌ها با استفاده از دستگاه زهکش دینامیکی (DDJ) در سه دسته نرمه‌های عبوری از مش ۱۰۰ و باقی‌مانده روی مش ۲۰۰ (P100/R200)، نرمه‌های عبوری از مش ۲۰۰ و باقی‌مانده روی مش ۳۲۵ (P200/R325) و نرمه‌های عبوری از مش ۳۲۵ (P325) کلاسه‌بندی شدند. ویژگی‌های نرمه شامل: اندازه ابعادی، حجم ویژه هیدرودینامیکی، بار کلوئیدی، قلیائیت، کدورت، ویسکوزیته و سطح ویژه بررسی شدند. نتایج نشان داد که pH نرمه‌های سلولزی خمیر کاغذ با کوچک تر شدن ابعاد، بیشتر به سمت قلیایی شدن میل می‌کند و بار کلوئیدی سه نوع نرمه، به ویژه در نرمه‌های عبوری از مش ۲۰۰ و باقی‌مانده روی مش ۳۲۵ رفتار متفاوت با سایر کلاسه‌های خود نشان دادند؛ به طوری که روند تغییرات آن معکوس ویسکوزیته می‌باشد. حجم ویژه هیدرودینامیکی با اندازه ابعادی و همچنین نسبت ابعادی تطابق دارد و کمترین مقدار آن مربوط به نرمه‌های خمیر کاغذ بازیافتی می‌باشد. میزان کدورت نیز با اندازه ذرات و میزان پخش همگن و همچنین با سطح ویژه نرمه‌ها ارتباط مستقیم دارد. نتایج این ویژگی در نرمه‌های عبوری از مش ۲۰۰ خمیر کاغذ بازیافتی رفتاری متفاوت نسبت به سایر گروه‌ها نشان داد.

واژه‌های کلیدی: نرمه الیاف، نسبت ابعادی، حجم ویژه هیدرودینامیکی، بار کلوئیدی، سطح ویژه.

مقدمه

لیگنوسلولزی و همچنین آماده‌سازی خمیر کاغذ برای کاغذسازی به وجود می‌آیند. محدوده میزان نرمه مقداری بین ۵ تا ۵۰ درصد از خمیر کاغذ را در بر می‌گیرد (Kangas & Kleen, 2004)؛ محدوده کم (۵ تا ۱۵ درصد) مقادیر اندازه‌های فوق برای خمیر کاغذهای شیمیایی و برای خمیر کاغذهای مکانیکی می‌تواند حتی تا ۵۰ درصد وزن برسد؛ محققان تعاریف مختلفی از نرمه الیاف ارائه داده‌اند.

نرمه الیاف، با وجود ابعاد کوچک نقش بسیار مهمی در پایانه تر کاغذسازی و همچنین ویژگی‌های کاغذ نهایی ایفا می‌کند اما به دلیل ماهیت، شکل و اندازه متنوع، اطلاعات زیادی در ارتباط با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها وجود ندارد (Kang & Paulapuro 2006). نرمه‌ها ذرات کوچکی هستند که طی فرایند تولید خمیر کاغذ از مواد

(Luukko *et al.*, 1997; Luukko, 1999).

بر اساس گزارش‌های منتشرشده، نوع و اندازه نرمة‌های مورد استفاده و همچنین محل قرار گرفتن آنها بین لیاف فیبری بر تشکیل پیوند و شکل‌گیری ورقه کاغذ (Mosbye, 2002) و در نتیجه بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نهایی تأثیرات قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. از این رو، شناسایی نرمة لیاف یکی از مباحث جدید در فناوری سلولز و کاغذ می‌باشد. Hyll و همکاران (۲۰۱۵) در مورد شناسایی نرمة‌ها و همچنین اندازه و شکل آنها که خود شامل ضخامت دیواره، طول، قطر، سطح ویژه و همچنین مورفولوژی آنها از میان روش‌های موجود می‌باشد، برای طبقه‌بندی، روش وزن‌سنجی و غیر وزن‌سنجی را عنوان نمودند. روش‌های وزن‌سنجی تمامی ذرات موجود در نمونه را در برمی‌گیرند اما نتایج حاصل در مورد اندازه و شکل فقط کیفی و توصیفی می‌باشد. روش‌های غیر وزن‌سنجی اطلاعات مستقیمی را در مورد اندازه و شکل ارائه می‌دهند اما برای ذرات بزرگ نیز کاربرد دارند. در میان روش‌های مختلف ذکر شده روش میکروسکوپی جریانی دارای بیشترین دقت معرفی شد که با امکاناتی مانند روشنایی در طول موج‌های گوناگون همراه با حسگرهای مربوطه، رنگ‌آمیزی فلورسانت و وضوح نمایی هیدرودینامیکی می‌توان دقت آن را ارتقاء داد (Rundolf, 2002).

تأثیر پالایش در درصد خشکی کم‌وزیاد بر شکل‌گیری مقادیر مختلف و انواع نرمة لیاف مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی شاخص‌های کیفی و کمی نرمة‌های جدا شده از لیاف در اثر دو روش پالایش فوق، از دو شیوه میکروسکوپ فلورسانس خودکار و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج نشان داد که پالایش در درصد خشکی کم موجب شکل‌گیری نرمة لیاف سوزنی شکل شده، در حالی که پالایش خمیر کاغذ در درصد خشکی زیاد باعث تولید فیبریل‌هایی با پهنای بیشتر مانند نرمة لیاف لایه-لایه می‌شود (Rundolf, 2002). Nazeri و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی، تأثیر شکل و اندازه نرمة‌های خمیر کاغذ مکانیکی بر ویژگی‌های کاغذ را در دو بخش مورد بررسی

به‌عنوان مثال؛ در برخی منابع نرمة‌ها به کلیه مواد محلول و کلوئیدی موجود در خمیر کاغذ اطلاق می‌شود و در برخی منابع تحقیقاتی دیگر، کلیه مواد عبوری از مش شماره ۱۰۰ و باقی‌مانده بر روی مش شماره ۲۰۰ را اصطلاحاً نرمة در نظر می‌گیرند (Luukko *et al.*, 1991). طبق استاندارد^۱ نرمة شامل کلیه ریزه‌های لیاف سلولزی است که از غربال با مش شماره ۲۰۰ (با قطر منفذ ۷۶ میکرومتر) عبور می‌کند (Luukko *et al.*, 1999; Rundolf, 2002).

برای شناسایی و تحقیق نرمة‌های کاغذسازی طبقه‌بندی‌های مختلفی وجود دارد. دو گروه اصلی و مهم نرمة‌ها شامل: نرمة‌های خمیر کاغذ مکانیکی و نرمة‌های خمیر کاغذ شیمیایی می‌باشد. نرمة‌های خمیر کاغذهای بازیافتی نوع دیگری از نرمة‌ها محسوب می‌شود که در آنها برخلاف نرمة‌های خمیر کاغذ بکر، پدیده استخوانی‌شدن^۲ رخ می‌دهد؛ از این رو این نرمة‌ها دارای میزان ماندگاری آب (WRV^۳) کمتری می‌باشند (Retulainen *et al.*, 1993). نرمة‌ها بر اساس ماهیت و منشأ شکل‌گیری نیز به سه نوع (نوع اول، نوع دوم و نوع سوم) تقسیم‌بندی می‌شوند که به ترتیب در فرایند خمیر کاغذسازی (شامل اجزای دیواره اولیه و لایه بین سلولی)، در فرایند پالایش خمیر کاغذ (شامل دیواره ثانویه به‌ویژه S₁) تولید می‌شوند؛ در نتیجه حضور مداوم نرمة نوع دوم در آب فرایندی ماشین کاغذ تحت تأثیر نیروهای برشی شکسته شده و ریزتر می‌شود. نرمة‌ها از نظر شکل ظاهری، به دو گروه سوزنی شکل و فیبریل مانند تقسیم می‌شوند. عمده نرمة‌ها در مرحله اول پالایش ذرات سوزنی شکل هستند. با پیشروی مراحل پالایش و رفتن به مراحل بعدی همزمان با افزایش انرژی ویژه مصرفی، رشته‌هایی از قسمت دیواره ثانویه به‌صورت لایه‌لایه جدا می‌شوند و اغلب آنها فیبریل محسوب می‌شوند. رشته‌های فیبریلی دارای رنگ روشن و نازک هستند، اما ذرات سوزنی دارای رنگ تیره و ضخامت بیشتری می‌باشند

1- TAPPI T261
2- Hornification

(HSV) به اثبات رسیده است. در مطالعه‌ای مربوط به مقایسه دو روش پالایش با درصد خشکی کم‌وزیاد مشخص شد که شرایط فرایندی خشک طیف وسیعی از انواع نرمه الیاف را از نظر مورفولوژیکی تولید می‌کند، درحالی‌که پالایش با درصد خشکی زیاد عمدتاً منجر به تولید نرمه رشته‌ای می‌شود (Hafren et al., 2014).

به‌طورکلی شناسایی نرمه‌ها به درک بهتر نقش آنها در فرایند کاغذسازی و همچنین کیفیت کاغذ کمک می‌کند و امکان کنترل پارامترهای فرایندی و ویژگی‌های کیفی کاغذ را فراهم می‌آورد. با شناخت بهتر رفتار نرمه الیاف سلولزی و تأثیرات آن بر فرایند و کیفیت نهایی محصول می‌توان حد بهینه میزان نرمه موجود را پیش‌بینی نمود؛ از این‌رو، در این تحقیق ویژگی‌های نرمه‌های الیاف سلولزی سه نوع خمیرکاغذ کرافت، شیمیایی- مکانیکی و بازیافتی OCC که عمده منابع تولیدات کاغذسازی را نیز تشکیل می‌دهند، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش خمیرکاغذ کرافت جهت شناسایی و بررسی خمیرکاغذ شیمیایی تهیه شده از کارخانه چوکا، خمیرکاغذ CMP تهیه شده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان خمیرکاغذ مکانیکی و خمیرکاغذ OCC تهیه شده از کارخانه کاوه برای ارزیابی نرمه‌های خمیرکاغذهای بازیافتی استفاده شد. برای تولید نرمه بیشتر خمیرکاغذهای مذکور به کمک دستگاه پالایشگر Valley تا محدوده درجه روانی ۵ ml.CSF 100 ± 30 بر اساس استاندارد T 200 sp-01 پالایش شدند. سپس برای جداسازی ابعاد مختلف نرمه‌ها از دستگاه DDJ۶ و از استاندارد SCAN-CM 66:05 استفاده شد. برای تفکیک میکروفیبریل‌های سلولزی و نرمه‌ها به وسیله دستگاه DDJ، ابتدا سوسپانسیون خمیرکاغذ از غربال با اندازه مش‌های

قرار دادند. بر اساس یافته‌ها، نرمه‌های رشته‌ای از ریزه الیاف سلولزی رشته‌ای، مثل دیواره نازک سلول و رشته‌های لیفی تشکیل شده و نرمه‌های نواری متشکل از تکه‌های ضخیم دیواره سلول و اشعه سلولی می‌باشند. برای شناسایی ویژگی‌های نرمه‌های رشته‌ای و نواری از یک روش آنالیز تصویری پیشرفته استفاده شد و نتایج نشان داد که نرمه‌های رشته‌ای و نواری دارای خواص متفاوت بوده و اثرات مختلفی را بر خواص ورقه کاغذ حاصل دارند. نرمه رشته‌ای به‌شدت خواص مقاومتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی نرمه‌های نواری خواص جذب نور را بهبود می‌بخشد. در مجموع ذرات با اندازه ریزتر سبب افزایش دانسیته و مقاومت‌های کاغذ می‌شود. در نتیجه مقادیر نرمه‌ها و مواد رشته‌ای، عامل بسیار مهمی در نرمه‌های خمیرکاغذهای مکانیکی می‌باشد که در کنترل کیفیت نرمه‌های مکانیکی و خمیرکاغذ و کاغذ تولید شده بسیار بااهمیت هستند.

Subramanian و همکاران (2008) در یک پژوهش ساختار و خصوصیات چند گونه از نرمه را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش از خمیرکاغذ کرافت سفید شده سوزنی‌برگ و TMP (خمیرکاغذ مکانیکی - گرمایی) و گونه غیرچوبی آگوا^۱ استفاده و اعلام کردند از نظر خصوصیات شیمیایی، میزان کربوهیدرات گونه آگوا حد واسط خمیرکاغذ کرافت و TMP قرار دارد. از نظر تثبیت ذرات محتویات معلق برای سوسپانسیون خمیرکاغذ، آگوا در رتبه اول و خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگ و TMP در رتبه‌های بعدی قرار دارند که این مطلب اشاره می‌کند با توجه به قابلیت سرعت آب‌گیری سوسپانسیون نرمه به‌ترتیب خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگ، TMP و در پایان خمیرکاغذ گونه آگوا طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین حداکثر کاهش میزان مدول مربوط به نمونه خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگ است و این موضوع نیز حکایت از تفاوت چشمگیر در فیبریل‌شدن الیاف دارد که با اندازه‌گیری نقطه اشباع الیاف^۲ (FSP)، اسکن گرماسنجی تفاضلی^۳ (DSC) و حجم ویژه هیدرودینامیکی^۴

4- Hydrodynamic Specific Volume

۵- خمیرکاغذ OCC بعد از ۱۱۰ دقیقه، خمیرکاغذ کرافت بعد از ۱۴۵ دقیقه و

خمیرکاغذ CMP بعد از ۱۸۰ دقیقه به درجه روانی حدود ۱۰۰ رسیده است.

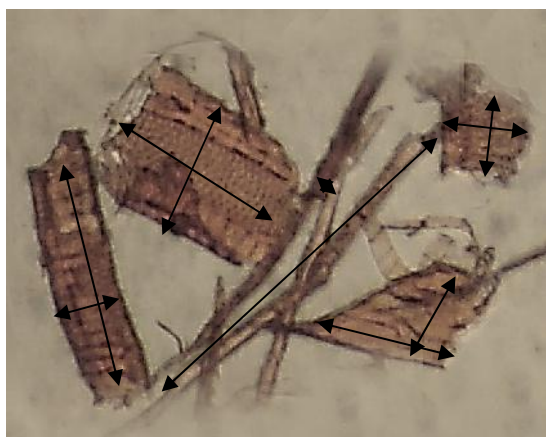
6-Dynamic Drainage Jar

1- Sisal

2- Fibre saturation point

3- Differential scanning calorimetric

مجزا اندازه‌گیری شد. به طور کلی می‌توان گفت هر چه نسبت ابعادی بزرگ‌تر و هر چه اندازه کلی ساختار کوچک‌تر باشد ایجاد آن ساختار پیچیده‌تری دارد. این نسبت فیزیکی در ابعاد میکرو نقش مهمی دارد و در صنعت کاغذسازی احتمال ماندگاری ذرات با نسبت ابعادی بیشتر محتمل‌تر است (Castro, 2004).



شکل ۱- اندازه‌گیری ابعاد نرمة‌ها در دو بعد (قطر کوچک و بزرگ)

برای اندازه‌گیری توزیع داده‌های آماری از ضریب تغییرات استفاده می‌شود که از تقسیم انحراف معیار (σ) بر میانگین (μ) مطابق فرمول بالا به دست می‌آید. البته هرچه قدر ضریب تغییرات به اندازه واحد نزدیک‌تر باشد حکایت از ثبات ابعادی بیشتر در اندازه نمونه‌ها دارد (Castro, 2004).

$$\text{CV} = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{: (CV) ضریب تغییرات (رابطه ۱)}$$

اندازه‌گیری حجم ویژه هیدرودینامیکی نرمة‌ها (^{2}HSV) از این آزمون می‌توان برای درک بهتر مقدار ته‌نشینی و نیز ساختار فیزیکی و شیمیایی نرمة‌ها استفاده کرد

۱۰۰ عبور و بعد از مش شماره ۲۰۰ و در مرحله آخر نرمة‌های عبوری از مش ۳۲۵ جدا و جمع‌آوری شدند. با این روش سه طبقه نرمة با اندازه‌های متفاوت برای سه نمونه خمیرکاغذ به دست آمد که بر اساس عبور از مش مربوطه و باقی‌ماندن بر روی مش به ترتیب با دو علامت P و R نام‌گذاری شدند. به عنوان مثال کد P200/R325 مربوط به نرمة الیاف عبوری از مش ۲۰۰ و باقی‌مانده بر روی مش شماره ۳۲۵ است. لازم به ذکر است که با توجه به استاندارد مذکور و همچنین کیفیت خمیرکاغذها (مقادیر مختلف نرمة الیاف موجود)، مقادیر وزنی خمیرکاغذهای مختلف طی مرحله جداسازی برابر با 5 ± 0.5 گرم برای خمیرکاغذ کرافت و 0.5 ± 0.1 گرم برای دو خمیرکاغذ بازیافتی و مکانیکی بود. خمیرکاغذ بر مبنای وزن خشک طبق استاندارد SCAN CM 66-05 به همراه آب تصفیه‌شده با سختی 20 ± 2 PPM به مخزن DDJ (در حال چرخش) اضافه شد تا از صاف شدن آب خروجی از مخزن اطمینان حاصل شود. این مراحل تا جمع‌آوری میزان نرمة موردنیاز برای انجام آزمایش‌ها تکرار شد. بعد از جمع‌آوری سوسپانسیون نرمة هر گروه به‌طور مجزا به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط نگهداری و بعد تا حد امکان سوسپانسیون تغلیظ و مقدار نرمة بر حسب گرم در واحد حجم مشخص گردید.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف

برای اندازه‌گیری ابعاد مورفولوژیک الیاف، قطر کوچک و بزرگ برای تعیین ابعاد نرمة‌های سلولزی استفاده شد و در هر طبقه بیشترین قطر در دو بعد به‌طور مجزا به وسیله میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴ تا ۴۰ برابر بر مبنای اندازه مش عبوری اندازه‌گیری (شکل ۱) و بعد مقدار میانگین و انحراف از معیار برای هر یک محاسبه شد. نسبت قطر بزرگ یک ذره به کوچک‌ترین بعد آن ساختار را نسبت ابعادی^۱ می‌نامند که برای نمونه نرمة‌های سلولزی به طور

کاغذسازی و کمک نگه‌دارنده محسوب می‌شود، این شاخص برای هر یک از طبقات با دستگاه استاندارد اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کدورت^۱

کدورت‌سنجی آزمونی است که به مطالعه خواص نوری بر پایه جذب نور^۲ می‌پردازد. علت جذب نور در آب وجود مواد معلق مثل مواد کلوئیدی، مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها و حتی مولکول‌های درشت می‌باشد. میزان جذب نور توسط دستگاه کدورت‌سنج (مدل LAMOTT 2020 WE) برای نرمه‌های موجود در سوسپانسیون با درصد خشکی ۰/۰۵ ±۱ به عنوان معیار اندازه‌گیری سطح ویژه نرمه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری ویسکوزیته نرمه‌ها

بر اساس آزمون SCAN-P 50:84 برای بررسی رفتار رئولوژی نرمه‌ها و همچنین نحوه رفتار آنها که نشان‌دهنده ساختار نرمه‌ها نیز می‌باشد، ویسکوزیته آن اندازه‌گیری شد. در این آزمون از دستگاه بروکفیلد^۳ با اسپیندل شماره ۲ استفاده شد. محدوده دور دستگاه در حدود ۲۰۰ rpm و دمای سوسپانسیون نرمه‌ها 22 ± 1 درجه سلسیوس بود. برای تشخیص بهتر ویسکوزیته به دست آمده از نمونه شاهد استفاده شد. در این آزمون از ۲۰۰ سی‌سی سوسپانسیون نرمه حاوی ۰/۵ گرم نرمه خشک استفاده شد و اندازه‌گیری ویسکوزیته در مورد آنها به‌طور مجزا انجام گردید.

نتایج

اندازه نرمه‌ها و طول الیاف خمیر کاغذ پایه

همان‌طور که گفته شد برای اطمینان از اندازه ذرات، ابتدا نرمه‌های جدا شده برای هر تیمار به‌طور جداگانه اندازه‌گیری گردید و بعد میانگین و میزان انحراف از میانگین توسط نرم‌افزار Excel محاسبه شد (جدول ۱).

(Ashtari, 2012). برای این آزمون ۱۰۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون نرمه با غلظت یک گرم بر لیتر برداشته شد. سپس برای شست‌وشو، نرمه‌ها با محلول سولفات منیزیم با غلظت یک گرم در لیتر آب روی کاغذ صافی جمع‌آوری شدند و بعد از آن نرمه‌های جمع‌آوری شده با محلول مذکور به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده و سوسپانسیون در یک استوانه مدرج به حجم ۱۰۰ سی‌سی، به مدت ۲۴ ساعت و در دمای محیط قرار داده شد. سپس ضرایب ته‌نشینی نرمه (برحسب Luukko et Ashtari, 2012) گردید (al., 1999).

اندازه‌گیری بار کلوئیدی

بار کلوئیدی موجود در سیستم یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فرایند است که بسیاری از ویژگی‌های مربوط به افزودنی‌ها و همچنین نرمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hubbe, 2002). این ویژگی برای هر طبقه نرمه الیاف موجود در دوغاب خمیر کاغذها توسط دستگاه ساخته شده در آزمایشگاه پردیس علمی و تحقیقاتی دانشگاه شهید بهشتی زیراب (برحسب میلی‌ولت‌متر) اندازه‌گیری و محاسبه شد.



شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری بار کلوئیدی

اندازه‌گیری pH

از آنجایی که pH یکی از عوامل تأثیرگذار بر فرایند ساخت کاغذ و همچنین توازن بین نرمه‌ها، الیاف پایه

1- Turbidity

2- Light scattering

3- Brookfield Visco star plus FUNGILAB s.a.

جدول ۱- میانگین ابعاد طبقات مختلف نرمة و نسبت ابعادی آنها

نسبت ابعادی (%)	قطر بزرگ (mm)	قطر کوچک (mm)	اندازه نرمة	نوع خمیرکاغذ
۱۲/۲۲	۰/۹۸±۰/۱۶	۰/۰۸±۰/۰۶	P100/R200	کرافت
۴/۱۷	۰/۲۷±۰/۰۹	۰/۰۶±۰/۰۴	P200/R325	
۲/۱۵	۰/۱۳±۰/۰۶	۰/۰۵±۰/۰۳	P325	
۱۸/۰۸	۰/۹۴±۰/۱۵	۰/۰۵±۰/۰۳	P100/R200	CMP
۸/۴۱	۰/۲۴±۰/۰۶	۰/۰۳±۰/۰۲	P200/R325	
۴/۹۸	۰/۱۱±۰/۰۵	۰/۰۲±۰/۰۱	P325	
۱۰/۳۳	۱/۲۲±۰/۲۸	۰/۱۲±۰/۰۹	P100/R200	OCC
۶/۴۳	۰/۲۹±۰/۱۲	۰/۰۴±۰/۰۲	P200/R325	
۲/۷۲	۰/۱۰±۰/۰۶	۰/۰۳±۰/۰۲	P325	

جدول ۲- میانگین ضریب تغییرات در طول و عرض نرمة‌ها مربوط به طبقات مختلف

کرافت		CMP		OCC		نوع خمیرکاغذ
طول	عرض	طول	عرض	طول	عرض	اندازه نرمة
۰/۱۵±۰/۰۲	۰/۷۰±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۱۵	۰/۷۰±۰/۰۳	۰/۱۶±۰/۲۸	۰/۵۶±۰/۰۹	P100/R200
۰/۳۲±۰/۰۹	۰/۶۴±۰/۰۴	۰/۳۹±۰/۱۰	۰/۳۴±۰/۰۲	۰/۲۳±۰/۱۰	۰/۵۴±۰/۱۳	P200/R325
۰/۴۶±۰/۰۶	۰/۶۸±۰/۰۴	۰/۵۳±۰/۰۶	۰/۷۱±۰/۰۱	۰/۴۱±۰/۰۶	۰/۳۶±۰/۰۲	R325

آخرین ستون جدول ۱ نسبت ابعادی برای طبقات مختلف نرمة آورده شده است که معیاری است از نظم ثبات ابعادی ذرات؛ به طوری که با کاهش این ضریب تفاوت در طول و پهنا کمتر می‌شود که در بین نرمة‌ها، نرمة‌های جداسازی شده و نرمة‌های عبوری از مش ۳۲۵ خمیرکاغذ OCC از همه کمتر است. این موضوع با استناد به جدول ۲ که ضریب تغییرات با استفاده از رابطه ۱ برای طول و عرض در طبقات مختلف محاسبه شده است مشهود است و دلیل دیگری برای اثبات شکست بیشتر نرمة‌های بازیافتی طی پالایش و فرایند آماده‌سازی می‌باشد. کمترین شکست یا به عبارتی بیشتر مقاومت لیاف در مقابل تنش‌های فرایندی با در نظر گرفتن ضریب تغییرات و نسبت ابعادی مربوط به نرمة لیاف

با توجه به انحراف از معیار برای هر طبقه در جدول ۱ و داده‌های جدول ۲ بیشترین تغییرات در هر گروه مربوط به قطر بزرگ یا همان طول نرمة‌ها می‌باشد و در قطر کوچک یا عرض اندازه‌ها تفاوت چشمگیری مشاهده نشده است؛ بنابراین می‌توان این گونه عنوان نمود که تفاوت اصلی ابعادی در قطر بزرگ یا طول ذرات می‌باشد و نرمة لیاف سلولزی بیشتر متأثر از شکست طولی لیاف می‌باشند و از آنجایی که نرمة‌ها توسط پالایشگر کوبنده تولید شده بودند دور از انتظار هم نمی‌باشد (Hail et al., 2013). بیشترین اختلاف قطر بزرگ و کوچک مربوط به نرمة‌های خمیرکاغذ بازیافتی می‌باشد و این امر نشان از مقاومت کمتر در مقابل تنش‌های برشی و کششی پالایش و در نتیجه شکست بیشتر دارد. در

تولید شده با بزرگ تر شدن ابعاد مشاهده می شود ولی استثنائاً در نرمه های عبوری از مش ۲۰۰ و مانده روی مش ۳۲۵ خمیر کاغذ OCC و CMP مقدار pH تقریباً ثابت بوده است و از روند افزایش pH با کوچک شدن اندازه تبعیت نمی کند. لازم به ذکر است که pH هر گروه نیز متأثر از روش تبدیل خمیر کاغذ اولیه و گروه های عاملی موجود در الیاف و نرمه ها می باشد. به طوری که با کوچک تر شدن نرمه سطح ویژه افزایش می یابد و گروه های عاملی که عمدتاً از نوع اسیدی هستند افزایش می یابند اما در نرمه های خمیر کاغذ بازیافتی با توجه به تعدد میزان خشک شدن، میزان گروه های عاملی در دسترس کمتر شده و مقدار pH با افزایش ناچیز، به سمت قلیایی شدن پیش رفته است.

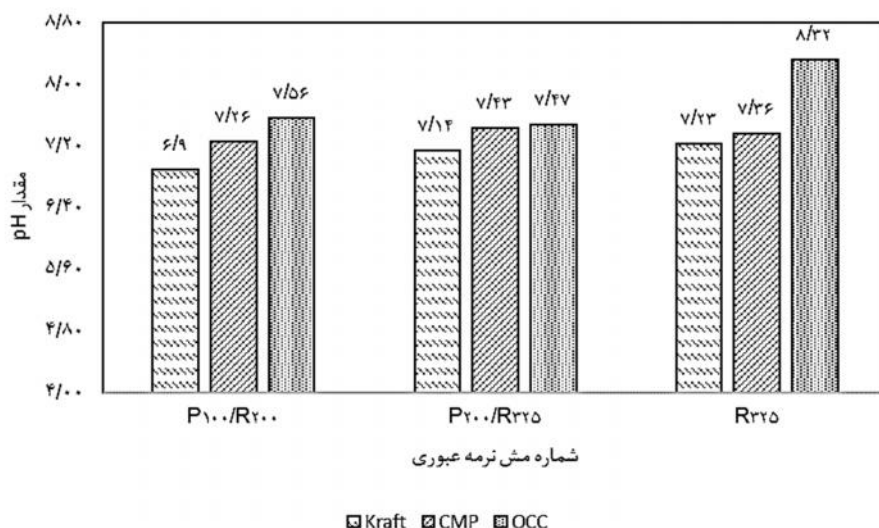
نتایج اندازه گیری بار کلوئیدی

میزان بار کلوئیدی برای تیمارهای مورد نظر به طور مجزا در جدول ۳ نشان داده شده است.

خمیر کاغذ کرافت می باشد. به نحوی که بیشترین واکنشیدگی در جهت قطر الیاف انجام می شود و با کاهش نسبت ابعادی، نسبت طول به عرض کمتر شده و جذب آب و واکنشیدگی کاهش یافته است. این متغیر با نتایج اندازه گیری حجم ویژه هیدرودینامیکی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حکایت از صحت ارتباط با یافته های این قسمت دارد (Castro, 2004; Hail *et al.*, 2013).

قلیائیت سوسپانسون حاوی نرمه های مختلف

pH سیستم یکی از عوامل تأثیرگذار بر فرایند کاغذسازی است و بطور مستقیم بر رفتار کمک نگه دارنده و توازن کلی بین نرمه ها و الیاف مؤثر است (Dehghan, 2013). از آنجایی که pH در دماهای مختلف تغییر می کند، برای کاهش متغیرها، اندازه گیری میزان pH در دمای اتاق ($23 \pm 2^\circ \text{C}$) برای هر یک از طبقه نرمه های سلولزی ثبت و در نمودار ۳ ارائه شده است. همان طور که در شکل ۳ مشخص است مقدار pH در محدوده خنثی تا کمی قلیایی قرار دارد؛ تغییرات محسوس کاهش pH نرمه



شکل ۳- مقادیر pH و دمای مربوط به هر طبقه از نرمه ها

جدول ۳- میانگین بار کلوئیدی برای طبقات مختلف نرمة

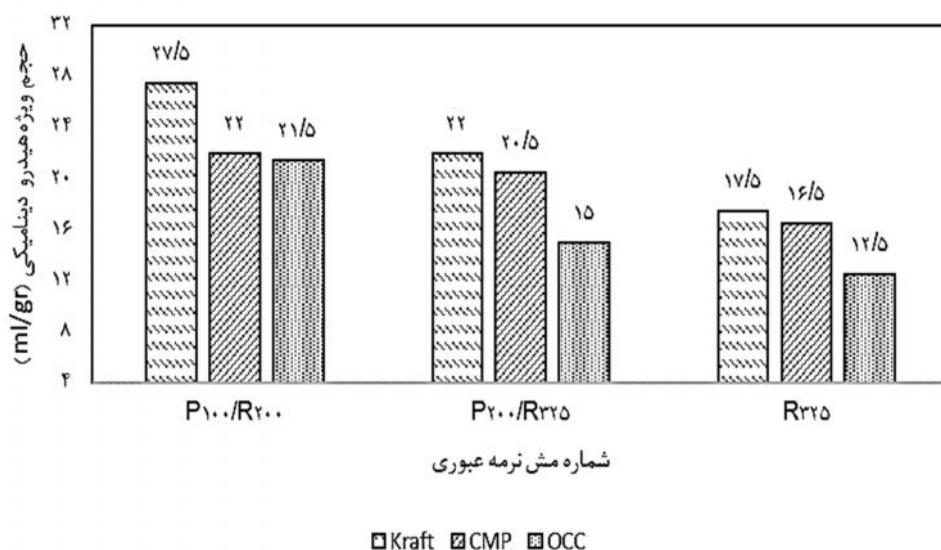
کرافت		CMP		OCC		نوع نرمة	
P100/R200	P200/R325	P100/R200	P200/R325	P100/R200	P200/R325	P325	اندازه نرمة
-۶۱/۴۴	-۱۷/۵۰	-۶۰/۳۶	-۲۲/۳۱	-۵۸/۶۲	-۶۶/۳۶	-۱۲/۰۰	-۹۸/۸۵
							کلوئیدی (mV)

حائز اهمیت که می‌توان به آن اشاره نمود میزان بار کلوئیدی اندازه‌گیری شده در نرمة‌های عبوری از مش ۲۰۰ و مانده روی مش ۳۲۵ است که در هر سه گروه خمیرکاغذ کمترین مقدار بار منفی را به خود اختصاص داده‌اند. مواد نامحلول کلوئیدی در آب فرایندی ماشین کاغذسازی و سوسپانسیون خمیرکاغذ می‌تواند با چسبیدن به پلیمرها، ترکیب پلیمرهای افزوده شده و همچنین فرایند آب‌گیری را تحت تأثیر قرار دهد و وجود آنها به عنوان آشغال‌های آبیونی یا مواد مزاحم فرایندی محسوب می‌شود (Hubbe et al., 2012). در اندازه‌گیری به عمل آمده بیشترین نیاز کاتیونی مربوط به نرمة‌های خمیرکاغذ بازیافتی عبوری از مش ۳۲۵ می‌باشد.

نتایج اندازه‌گیری حجم ویژه هیدرودینامیک

اندازه‌گیری میزان حجم ویژه هیدرودینامیکی یک شاخص مناسب برای ارزیابی فیزیکی نرمة‌ها بوده و نشان‌دهنده میزان ته‌نشینی نرمة‌ها می‌باشد. ته‌نشینی کمتر نشان‌دهنده ساختار منظم و یکنواخت ذرات تشکیل‌دهنده سوسپانسیون است که فضای خالی کمتری باقی مانده و مقدار عددی مربوط به هر تیمار در شکل ۴ نشان داده شده است.

بار کلوئیدی یکی از مهمترین عوامل فرایندی است که علاوه بر تأثیر بر زمان آب‌گیری، بر میزان مصرف مواد شیمیایی مواد افزودنی نیز مؤثر است؛ میزان بار کلوئیدی که بر حسب میلی ولت اندازه‌گیری می‌شود خود متأثر از نوع خمیرکاغذ، گروه‌های عاملی در دسترس و به میزان پالایش و شرایط آماده‌سازی‌های فرایندی بستگی دارد. Hubbe و همکاران (۲۰۱۲) طی بررسی خود اعلام کردند که توانایی بار کلوئیدی در طی زمان تغییر می‌کند، به طوری که از شرایط مثبت به شرایط منفی خود تغییر می‌کند و باید در روند تأثیر بار کلوئیدی مورد توجه قرار گیرد. برخی از مهمترین عوامل ایجاد بار کلوئیدی عناصر نامحلول در سیستم کاغذسازی مختلف شامل پروکسید سفیدکننده/تیمار قلیایی خمیرکاغذ مکانیکی (اسید پکتیک)، سفیدکننده‌های خمیرکاغذ مکانیکی - شیمیایی، رزین و چربی‌های اسیدهای خمیرکاغذ کرافت قهوه‌ای و لیگنین تولید شده آن، خمیرکاغذهای سفید شده توسط اکسیژن، افزودنی‌های پایانه تر، فرایند بازیافت شامل مرکب‌زدایی و بازیابی کاغذ را می‌توان نام برد. همچنین میزان بار کلوئیدی به اندازه ذرات و گروه‌های عاملی موجود در لیاف و نرمة‌های سلولزی بستگی دارد (Hubbe et al., 2012). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نظم مشخصی در ارتباط با اندازه ذرات وجود ندارد، ولی نکته



شکل ۴- مقادیر حجم ویژه هیدرودینامیکی در طبقات مختلف نرمه‌های جدا شده

واکشی‌دگی الیاف نیز می‌باشد که با فرایند آب‌گیری رابطه معکوس دارد. در نتایج به‌دست آمده توسط Subramanian و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده شده است که میزان HSV در خمیرکاغذهای شیمیایی نسبت به مکانیکی بیشتر است. همچنین Mosbye (۱۹۹۹) طی گزارشی بیان کرده است که نسبت لیگنین به کربوهیدرات‌ها با بزرگ‌تر شدن اندازه نرمه بیشتر می‌شود که خود این عامل دلیلی بر کاهش میزان HSV و سهولت آب‌گیری در خمیرکاغذ با نرمه‌هایی با اندازه بزرگ‌تر می‌باشد.

در مورد حجم ویژه هیدرودینامیکی همان‌طور که انتظار می‌رفت با توجه به نسبت ابعادی و اندازه ذرات، کمترین میزان HSV مربوط به نرمه‌های عبوری از مش ۳۲۵ است و در یک مقایسه کلی بین سه گروه نرمه‌های بررسی شده، کمترین میزان HSV مربوط به نرمه‌های خمیرکاغذ OCC است که حکایت از یکنواختی شکل نرمه‌ها داشته و بیشترین نسبت ابعادی نیز به این گروه اختصاص داشته است. بیشترین نسبت ابعادی مربوط به نرمه‌های خمیرکاغذ کرافت است و کمترین مربوط به نرمه‌های خمیرکاغذ OCC است. شایان ذکر است که میزان حجم هیدرودینامیکی ویژه نشان‌دهنده میزان

جدول ۴- نتایج مربوط به میانگین کدورت نرمه‌ها

کرافت		CMP		OCC		نوع خمیرکاغذ			
P100/R200	P200/R325	P325	P100/R200	P200/R325	P325	P100/R200	P200/R325	اندازه مش (عبوری و باقی‌مانده)	
۹۶۷	۹۸۵	۱۰۶۸	۶۵۰	۹۴۴	۲۲۶۵	۷۳۱	۱۸۰۳	۱۲۷۲	کدورت (AU)

میزان کدورت نرمه‌ها

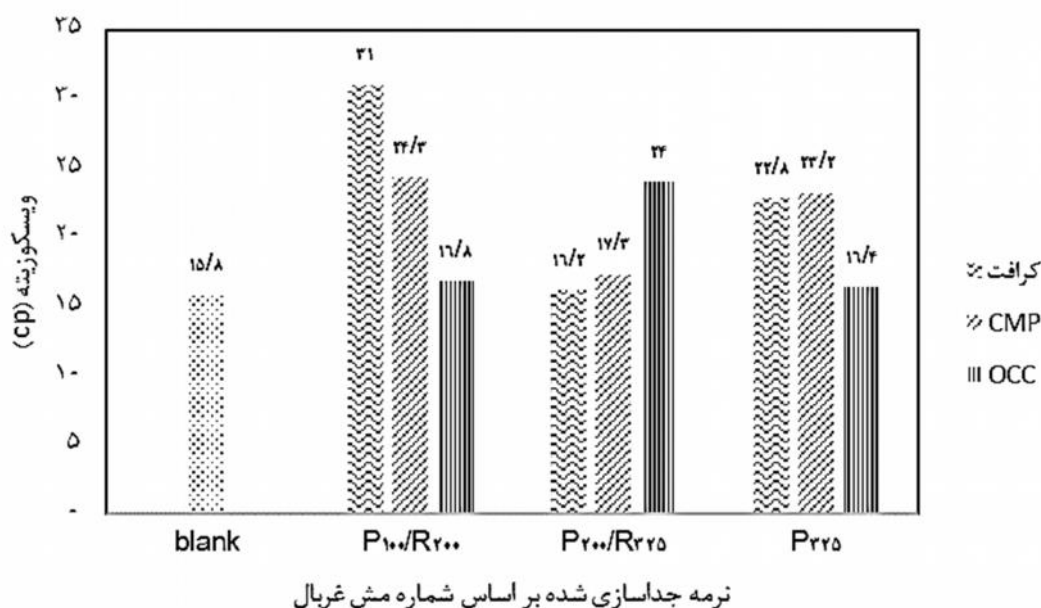
میزان کدورت سوسپانسیون ناشی از جذب نور است و با کوچک‌تر شدن اندازه نرمه‌ها میزان کدورت افزایش یافته است؛ در مورد میزان کدورت نرمه‌های طبقه عبوری از مش ۲۰۰ و مانده روی مش ۳۲۵ خمیرکاغذ OCC و CMP رفتار متفاوتی از سایر گروه‌ها را نشان دادند که در اندازه‌گیری بارکلوئیدی این تفاوت مشاهده شده و کمترین مقدار به خود اختصاص داده بودند.

در این پژوهش، کمترین کدورت مربوط به نرمه‌های عبوری از مش ۱۰۰ و باقی مانده روی مش ۲۰۰ و بیشترین کدورت مربوط به نرمه‌های عبوری از مش ۳۲۵ خمیرکاغذ CMP می‌باشد که نتیجه پخش همگن‌تر و ضریب جذب نور بیشتر این سوسپانسیون می‌باشد. با

کوچک‌تر شدن ذرات، سطح ویژه افزایش یافته و میزان جذب نور نیز افزایش می‌یابد. در اندازه‌گیری ابعادی نرمه الیاف سلولزی، نرمه‌های خمیرکاغذ CMP نسبت به سایر گروه‌ها کوچک‌تر بوده و بیشترین کدورت را به خود اختصاص دادند و در مقابل، نرمه‌های خمیرکاغذ کرافت بزرگ‌ترین ابعاد و کمترین کدورت را به خود اختصاص داده است.

ویسکوزیته

در این آزمایش ویسکوزیته شاهد به‌عنوان نمونه کنترل برای مقایسه بهتر اندازه‌گیری شد. ویسکوزیته نرمه‌های ناشی از درجه آب‌دار شدن شبکه نرمه‌هاست (Ashtari, 2012).



شکل ۵- ویسکوزیته به‌دست آمده با روش بروکفیلد

فیبریلی تشکیل نمی‌دهند و طی فرایند آب‌گیری را دشوارتر می‌کنند (Ashtari, 2012). در این حالت اسپیندل نیروی کمتری برای گردش درون سوسپانسیون نرمه نیاز دارد. در مورد دو گروه دیگر از نرمه‌ها یعنی P100 و P325 به علت حضور فیبریل در ساختارشان در برابر گردش اسپیندل از

در مورد ویسکوزیته یادآوری می‌شود که بهترین ذرات نرمه، ذراتی هستند که دارای بیشترین ویسکوزیته باشند؛ بنابراین می‌توان گفت که به‌جز نمونه کرافت نرمه‌های P200 به علت سوزنی بودن و فیبریله شدن کمتر نرمه‌های الیاف به‌صورت ذرات جدا از هم در آب معلق می‌باشند و شبکه

ویسکوزیته به‌عنوان یک پارامتر جایگزین استفاده نمود. حجم ویژه هیدرودینامیکی با کاهش اندازه ذرات، کاهش یافته است؛ نسبت ابعادی محاسبه شده در اندازه‌گیری ابعاد نرمه‌ها می‌تواند بیانگر نسبی حجم ویژه هیدرودینامیکی باشد. بر اساس نتایج به دست آمده کمترین حجم ویژه هیدرودینامیکی و کمترین نسبت ابعادی مربوط به نرمه الیاف سلولزی خمیرکاغذ بازیافتی می‌باشد.

میزان کدورت سوسپانسیون ناشی از جذب نور و جذب نور متأثر از همگن بودن و اندازه ذرات سوسپانسیون می‌باشد. در این پژوهش کمترین ابعاد و بیشترین کدورت را نرمه الیاف سلولزی خمیرکاغذ CMP به خود اختصاص داده است. البته بار کلئیدی ذرات نیز می‌تواند پخش ذرات در سوسپانسیون را تحت تأثیر قرار دهد.

منابع مورد استفاده

- Ashtari, H., 2012. The Influence of Mechanical Pulp Fines on the Bending Stiffness and Compression Strength of Paper. Master of science. Faculty of Engineering and New Technologies Department of Paper and Cellulose Science and Technology. Shahid Beheshti University . Zirab. 98
- Chauhan, V.S., Kumar, N., Kumar, M., Thapar, S.K. and Chakrabarti, S.K., 2012. Use of primary fiber fines as organic fillers in papermaking. Taiwan J For Sci 27(2): 201-214
- Chen, H., Park, A., Heitmann, J.A. and Hubbe, M.A., 2009. Importance of cellulosic fines relative to the dewatering rates of fiber suspensions, Ind. Eng. Chem. Res, 48, 9106-9112
- Guan, Y., 2003. Multifarious function and defect of fines. Helongjiang Pulp and Paper, (1):24-16.
- Hafren J., Fernando D., Gorski D., Daniel G. and Salomons F.A., 2014. Fiber- and fine fractions-derived effects on pulp quality as a result of mechanical pulp refining consistency. Wood Sci Technol (48):737-753.
- Hubbe, M.A., Sundberg, A., Mocchiutti, P., Ni, Y. and Pelton. R., 2012. Dissolved and colloidal substances (DCS) and the charge demand of papermaking process waters and suspension, bioresources 6109 - 6193
- Hubbe, M. A., 2002. Fines Management for increased paper machine productivity, Proc. Sci. Tech. Advan. Wet End Chemistry, Pira, Barcelona, 22-23
- Hyll, K., 2015. Size and shape characterization of fines

خود مقاومت نشان داده و همین امر باعث افزایش ویسکوزیته در این دو گروه می‌شود (Ashtari, 2012). میزان واکنشیدگی نرمه‌ها به دو عامل ساختار شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی مثل شکل و اندازه بستگی دارد. بنابراین باید اشاره کرد که مقدار ذرات فیبری در ارتباط خطی با پارامترهایی مانند ویسکوزیته و HSV است (Luukko *et al.*, 1999). نکته جالب توجه در ارتباط با ویسکوزیته و بار کلئیدی اندازه‌گیری شده، رابطه معکوس این دو شاخص می‌باشد، به طوری که با افزایش بارکلئیدی ویسکوزیته کاهش یافته است.

بحث

نرمه الیاف سلولزی موجود در خمیرکاغذ نقش مهمی در فرایند کاغذسازی و کیفیت محصول نهایی ایفا می‌کند. با بررسی و اندازه‌گیری شاخص‌ها و ویژگی‌های این عناصر تأثیرگذار می‌توان به بهبود شرایط فرایندی و افزایش کیفیت محصول تولیدی دست یافت. با افزایش میزان پالایش، شکست الیاف بیشتر شده و با کوچک تر شدن ذرات، سطح ویژه آنها افزایش یافته، در نتیجه مقدار pH و بار کلئیدی نرمه الیاف سلولزی تغییر می‌کند؛ به طوری که با کوچک تر شدن نرمه‌ها و در دسترس قرار گرفتن گروه‌های عاملی، میزان pH به سمت قلیایی شدن پیش می‌رود؛ ولی به طور کلی pH خمیرکاغذ و نرمه الیاف سلولزی بیشتر متأثر از نوع فرایند تولید خمیرکاغذ و گروه‌های عاملی الیاف سلولزی می‌باشد. بار کلئیدی مواد نامحلول و نرمه‌ها نیز یکی از عوامل مهم در فرایند و سیستم ماشین کاغذسازی می‌باشد. در این پژوهش بار کلئیدی برای سه نوع نرمه در سه طبقه اندازه‌گیری شد و رفتار متفاوت نرمه‌های عبوری از مش ۲۰۰ و مانده روی مش ۳۲۵ برای سه نوع خمیرکاغذ ثبت گردید. در بررسی نتایج بار کلئیدی، رفتاری کاملاً متفاوت با نتایج ویسکوزیته برای سه نمونه مشاهده می‌شود و می‌توان با توجه به زمان بر بودن اندازه‌گیری بار کلئیدی برای پیش‌بینی میزان بار کلئیدی به صورت نسبی از

- 2006a. The Study of Fiber Fines and Its Effects On Optical and Physical Propertie of Newsprint Paper from CMP Pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 22 (1): 29-40.
- Nazeri, A M., Talaepoor, M. and Mirshokraie, S.A., 2006b. The Study of Fiber Fines and Its Effects on Mechanical Strength of Newsprint Paper from CMP Pulp,. 131 Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 22(2):121-141.
- Rahmaninia M., Mirshokraei, S. A., Ebrahimi Gh., and Mohammad Nazhad, M. 2006. Effect of cationic starch-nanosilica system on retention and drainage of washed OCC Pulp. Journal of Forest and Wood Products (JFWP), Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 64, No (1): 15-22
- Retulainen, E., Moss, P. and Nieminen, K., 1993. Effects of fines on the properties of fiber Network. Baker, C.F. (Editor), Products of paper making, Vol.2. Transactions of The 10th Fundamental Research Symposium Held At Oxford: Pira International 727-769.
- Rundolf, M., 2002. Interaction of dissolved and colloidal substances with fines of mechanical pulp – influence on sheet properties and basic concepts of adhesion. Doctoral thesis, Seni Gakkaishi Fines Addition Influence. Dept of Wood Chemistry, Royal Institute of Technology, Stockholm-Sweden
- Subramanian, R., 2008. Structure and propertice of some natural cellulosic fibrils, Natural cellulosic fibrils. BioResources, 3(1): 192-203.
- Taipale, P. and etc., 2010. Effect of microfibrillated cellulose and fines on the drainage of kraft pulp suspension and paper strength, Cellulose (17):1005-1020
- and fillers, Nordic Pulp & Paper Research Journal, 30 (3): 466-487
- Kang, T. and Paulapuro, H., 2006. Characterization of chemical pulp fines, Tappi Journal, 5(2): 25-28
- Kangas, H. and Kleen, M., 2004. Surface chemical and morphological properties of mechanical pulp fines, Nordic Pulp and Paper Research Journal, 19 (2): 191-199
- Le Van Hai, H., Jung, P. and Yung Bum, S., 2013. Effect of PFI mill and Valley beater refining on cellulose degree of polymerization, alpha cellulose contents, and crystallinity of wood and cotton fibers . Journal of Korea TAPPI, 45(4): 27-33
- Lobato, Emilio Marcus de Castro., 2004. Determination of Surface Free Energies and Aspect Ratio of Talc, Materials Science and Engineering, 11182004-120456
- Luukko And Et Al., 1999. Mechanical Pulp Fines: Effect of Particle Size And Shape, TAPPI J, 82 (2): 95.108
- Majid Dehghan Nayeri,^a Paridah Md Tahir,^a Jalaluddin Harun,^b Luqman Chuah. Abdullah,^a Edi Suhaimi Bakar, Mohammad Jawaid,^a and Farideh Namvar, Effects of Temperature and Time on the Morphology, pH, and Buffering Capacity of Bast and Core Kenaf Fibres, Nayeri., 2013. Kenaf core & bast processing, BioResources 8(2), 1801-1812.
- Marton, J., 1982. Surface chemical role of fines in papermaking furnish, Ind. Eng. Chem. Prod. Res, 21(2): 146 -150
- Mosbye, J., 2002. The charge of fines originating from different paper of the fiber wall, Nordic Pulp and Paper Research Journal, 17 (3).
- Nazeri A.M., Talaepoor M. and Mirshokraie S.A.,

Characterization of cellulosic fines in kraft, chemi-mechanical, and OCC recycled pulps

J. Azizi^{1*}, O. Ramezani², E. Rasooly² and H. Rudi²

1*-Corresponding Author, M.Sc., Graduated Student, Department of Biorefinery Engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: jafar.azizi1986@yahoo.com

2-Assistant Prof., Department of Biorefinery Engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: Nov., 2017

Accepted: April, 2018

Abstract

Cellulosic fines are essential parts of paper making system which imparts remarkable effects on the production process parameters and the quality of final product. In this study, properties of fiber fines prepared from three kinds of pulps including kraft, chemical mechanical (CMP), and recycled (OCC) were investigated. Required amounts of fines were prepared using Valley Beater apparatus. Then the fines were classified into three categories using dynamic drainage Jar (DDJ): fines passing 100 meshes remained on 200 meshes (P100/R200), fines passing 200 mesh remained on 325 mesh (P200/R325), and fines passing 325 mesh (P325). Fines properties including dimension, special hydrodynamic volume, colloidal charge, alkalinity, turbidity, viscosity, and specific area were measured. The results revealed that PH of fiber suspensions tended alkaline concurrently to the decreasing in dimension of fines. Additionally, the colloidal charge of the three types of fines, especially the charge associated with the fines passed through 200 mesh screens and remained on 325 meshes, showed a different behavior compared to those in the same classes with the adverse trend to the viscosity variation. Special hydrodynamic volume is consistent with the dimension and dimensional ratio with the lowest amount of it observed in the recycled pulp fines. Turbidity has a direct relationship with particles size, homogenous distribution and the specific area of the fines. The results of turbidity related to the fines passed through 200 mesh size showed different behavior compared to other categories.

Keywords: Fiber fines, aspect ratio, hydrodynamic specific volume, colloidal charge, specific surface area.