بهینه‌سازی جذب سطحی CMC به منظور افزایش شقی کششی در خمیر کاغذ پهن‌برگان

فرحناز بهزادی (لیسانس شیمی)

مسئول آزمایشگاه کاغذ – سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

پست الکترونیکی: farahnazbehzadi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله:بهمن ۱۳۸۸ /تاریخ پذیرش مقاله:اردیبهشت ۱۳۸۹

کلید واژه

۱- خمیر چوب سخت(پهن‌برگان): خمیر کاغذی که از چوب درختان پهن برگ تهیه شده است.

۲- CMC: کربوکسی متیل سلولز ماده‌ای شیمیایی است که در تهیه خمیرهای کاغذ و یا انواع کاغذ به عنوان فیلر(پُرکننده) استفاده می‌شود.

۳- تیمار: تحت تأثیر قراردادن الیاف به منظور افزایش یا کاهش خواصی در آنها است.

٤- Fine(پرز): الیاف ریز که معمولاً در اثر خرد کردن چوب ایجاد می‌شوند.

چکیده

خمیر کاغذ پهن‌برگان با روش رنگبری ECF، با کربوکسی متیل سلولز تیمار شده است. این مقاله به بررسی اثر تیمار با CMC، شرایط خشک کردن و جداسازی DDJ از خمیر کاغذ فوق و خصوصیات مربوط به استحکام کاغذ می‌پردازد.

اثر خشک کردن، به دلیل خشک کردن ورقه‌ها در یک Drum(خشک کردن آزاد) و یا بر روی صفحه(خشک کردن کنترل شده) انجام گردید. تیمار با CMC باعث افزایش شدید شاخص شقی کششی در ورقه‌های خشک شده در شرایط فوق‌الذکر شد. همچنین تمام خواص استحکامی به طور قابل توجهی پس از تیمار با CMC افزایش یافتند. اثرات پرزها در بخش دوم و با جداسازی خمیر با کمک DDJ انجام شد که نشان می‌دهد پرزها باعث اثر مثبت بر قدرت کششی و مقاومت داخلی شده‌اند.

مقدمه:

تیمار سطحی کاغذ مجموعه عملیاتی است که غالباً در پایان تولید کاغذ برای به دست آوردن شرایط خاصی از لحاظ ویژگی های فیزیکی آن، انجام می گیرد. کاغذسازان معمولاً دو روش اساسی برای تیمار سطحی به‌کار می‌گیرند:

الف- تیمار درونی که با افزودن مواد شیمیایی خاص به داخل کاغذ انجام شده و باعث تغییر زاویه تماس در سطح کاغذ شده و معمولاً میزان نفوذ آب کاهش می‌دهد.

ب- تیمار سطحی که با استفاده از موادی ازقبیل نشاسته،CMC، دی‌اکسید تیتانیوم و... انجام شده و باعث پر شدن حفره‌های سطح کاغذ و کاهش شعاع منافذ آن می‌شود.

در این دو روش برخی ویژگی‌های کاغذ مانند براقیت، چاپ‌پذیری، نفوذپذیری و.... تغییر پیدا می‌کند.

۱- مواد سلولزی - الیاف تشکیل دهنده خمیر کاغذ

شقی کششی نشان‌دهنده مدول الاستیسته کاغذ بوده و مقدار آن به صورت نمودار نواحی ابتدایی منحنی مقاومت در مقابل کرپ در آزمایش کشش, اندازه‌گیری می‌شود که این ویژگی جزو خواص مهم مکانیکی کاغذ به خصوص کاغذ لاینر و کاغذهای مخصوص جعبه‌سازی و بسته‌بندی محسوب می‌شود.

عوامل بسیاری مانند درجه باندینگ درونی الیاف, قدرت الیاف، هم‌کشیدگی الیاف در حین خشک شدن و میزان رطوبت در استحکام کاغذ مؤثر هستند.

در این مقاله روشی نوین برای افزایش شقی کششی معرفی خواهد شد.

تیمارهای مکانیکی مثل پالایش یا وارد کردن الیاف شیمیایی در خمیر می‌تواند منجر به تاب‌خوردگی و پیچ خوردن و یا فشردگی جزئی الیاف گردد که باعث اثر گذاشتن بر شقی محصول نهایی می‌شود.

محققان بسیاری به مطالعه رابطه تغییرات الیاف با خواص خمیر کاغذ و ورقه‌های کاغذ پرداخته‌اند.

ماهلین و همکاران وی نشان داده‌اند که مقادیر متفاوتی از پیچ‌خوردگی پس از پالایش، مستقیماً در شقی کششی تأثیرگذار است. در حالتی که الیاف صاف هستند, شقی کششی در مقایسه با حالتی که دچار تغییر شده‌اند بیشتر است که این پدیده به علت افزایش فعالیت خرده‌های الیاف است. فعال‌سازی خرده‌های الیاف یعنی اصلاح الیافی که از ابتدا دارای پیچ یا تاب یا عیوب، به عناصری فعال در شبکه گفته می‌شود.

فعال‌سازی مستلزم پیوند و هم کشیدگی الیاف است. هنگامی که خرده‌های الیاف فعال شوند میزان مدول الاستیسته(مقاومت کششی) افزایش یافته و خرده‌های الیاف و نقاط باندینگ هر دو قادر به تحمل بار هستند. به علاوه الیاف دارای پیچ و خم، باعث می‌شوند که ورق کاغذ دارای ضریب پارگی بالاتری نسبت به صفحات دارای الیاف صاف باشد. طبق نظریه ست تغییر شکل الیاف دارای تأثیر به مراتب بیشتری بر روی کشش، نسبت به مدول الاستیسته است.

عمل پالایش باعث تغییر خواص الیاف شده و همچنین باعث می‌شود الیاف بیشتر از خمیر پالایش نشده, هم‌کشیده شوند. اغلب تغییر شکل‌ها نظیر پیچ و تاب‌ها و جابجا شدن الیاف طی کوبیده شدن خمیر از بین رفته و سطح اتصال بالا می‌رود. از آنجا که پالایش باعث فعال‌سازی یا صاف شدن الیاف می‌گردد, منجر به افزایش شقی کششی نیز می‌شود, اگر تغییر صورت گرفته در خواص ورق کاغذ مربوط به صاف شدن الیاف یا بهبود پیوندها باشند می‌توان به بحث و بررسی آنها پرداخت.

در کنار ویژگی‌های الیاف, خواص کاغذ نیز به طور قابل ملاحظه‌ای هنگام هم‌کشیدگی و کشش شبکه الیاف در طی فرآیند خشک کردن تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در حین خشک شدن ساختار ورق به علت هم‌کشیدگی, محکم‌تر می‌شود و در صورتی که چین و چروک‌ها تا حدی گرفته شوند, مدول الاستیسته ورق کاغذ نیز بهبود می‌یابد, این امر در صورتی رخ می‌دهد که هم‌کشیدگی کاغذ کنترل شود و تکه‌های الیاف تحت تنش و فشار خشک شوند تا سستی حذف گردد.

در صورتی که اجازه دهیم کاغذ هم کشیده شود, ساختار کاغذ دارای استحکام نخواهد بود و شقی یا مدول الاستیسته پایین خواهد ماند. بعلاوه اگر کاغذ کشیده شود یا میزان چروک و هم‌کشیدگی کاهش یابد, شاخص شقی کششی و شاخص مقاومت کششی افزایش می‌یابد در حالی که تغییر طول نسبی و قدرت باندینگ کاهش پیدا کرده است.

به عبارت دیگر اثر نهایی بر مقاومت کاغذ در اصل ترکیبی از تنش‌های حین خشک کردن, درجه هم‌کشیدگی, میزان ماده جامد هم کشیده شده و روش‌های استفاده شده برای خشک کردن است. خواص مربوط به مقاومت کاغذ وابسته به نوع مواد خام مورد استفاده, میزان کوبیدن خمیر و نوع جهت‌گیری الیاف در کاغذ مرطوب نیز می‌باشد.

بررسی‌های قبلی در این آزمایشگاه نشان داد که جذب سطحی CMC با درجه جایگزینی کم(DS 20/5) در خمیرهای سلولزی تا حد زیادی منجر به بالا رفتن خواص مقاومتی شده است.

میزان CMC متصل شده به خمیر بستگی به عوامل مختلفی نظیر درجه پلیمریزاسیون(DP), DS و بار CMC, PH و قدرت یونی محلول جذبی و همچنین میزان کوبیدن خمیر دارد.

مطالعات مشابهی نیز توسط لین و همکاران صورت گرفته است.

واتناب و همکاران وی یک سیستم پیشرفته در فاز مرطوب برای CMC طراحی کرده‌اند و رانتانن نیز به بررسی اثرات CMC بر روی توزیع الیاف در خمیر کاغذ پرداخته است. به هر حال شقی کششی جزو آن دسته از خواص است که کاربردهای قبلی CMC منجر به افزایش آن نشده بودند.

در این مقاله اثرات ترکیبی تغییرات CMC, شرایط خشک کردن(صفحه/Drum) خمیر کرافت از چوب پهن‌برگان مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و علاوه بر این نقش الیاف ریز با استفاده از جداسازی DDJ مورد مطالعه واقع گردید. تیمار با CMC در خمیر کاغذ به شدت باعث افزایش خواص مقاومتی ورق کاغذ می‌شود, مخصوصاً شقی کششی در خمیر تیمار شده با CMC به طرز قابل توجهی حین خشک شدن روی صفحه افزایش پیدا می‌کند که به شرایط واقعی ساخت کاغذ نزدیکتر است. این نوع کاغذها برای مصارفی که مقاومت زیادی مورد نظر باشد(مثل بسته‌بندی) می‌توانند بسیار مفید باشند.

۲- خمیر کاغذ و کربوکسی متیل سلولز

آزمایش‌ها با مخلوطی از خمیرهای رنگبری شده ECF که از درخت غان(۹۵٪) و سپیدار(۵٪) با پخت کرافت تولید شده‌اند, انجام گردید. خمیر به دست آمده در پالایشگر Voith LRI با دیسک‌های ۴۰D-۱/۴۶-۲/۳ پالایش شد که برای خمیرهای دارای الیاف کوتاه طراحی شده است. درصد خشکی در پالایش برابر با ۴٪ و بار لبه برابر با ۰/۵ Ws/m بوده و سطح انرژی پالایش(SRE) برابر با صفر تا ۳۰ کیلووات بر ساعت بوده است.

اعداد(SR) مربوط به خمیر طبق روش استاندارد بین‌المللی ISO5267-۱ تعیین می‌شوند و نمونه CMC تجاری با مارک Nymcel.ZSB۶ از Noviant گرفته شده و درجه جایگزینی برابر ۰/۳۳ و درجه پلیمریزاسیون(DPV) ۷۰۰ برای CMC در نظر گرفته شده است.

۳- جداسازی DDJ

الیاف ریز با بهره‌گیری از جداساز DDJ از خمیر درخت غان جدا می‌شود که دستگاه DDJ به یک تانک با توری سیمی دارای مش ۲۰۰ و یک مخلوط کننده مجهز بوده و غلظت خمیر هنگام ریخته شدن به دستگاه برابر با ۰/۵٪(حدوداً یک کیلوگرم خمیر خشک) بوده است.

الیاف ریز در گروه‌های ۵۰۰ گرمی از خمیر اصلی جدا می‌شوند و الیاف جداسازی شده و غلظت خمیر آنها حدوداً ۱۰٪ پس از جداسازی بوده است.

٤- خواص الیاف

ابعاد الیاف و تغییر شکل آنها با استفاده از دستگاه سنجش Kajaanifiberlab مورد تحلیل قرار گرفتند. نمونه‌ها طبق راهنمایی‌های شرکت سازنده، دستگاه آماده‌سازی و فراهم شده و محاسبه درصد خشکی نمونه مورد استفاده و همچنین درشتی آنها طبق استاندارد Scan-C 17:64 محاسبه شد و برای تعیین طول الیاف از استاندارد Tappi.T271 استفاده گردید.

اطلاعات بیشتر در مورد این آنالیز را می‌توان در مقاله ترونن یافت.

۵- جذب CMC روی خمیر کاغذ

از آنجا که درجات مختلف CMC تا حدی در آب غیرقابل حل هستند, محلولی از CMC(کمتر از ۱۰ گرم بر لیتر) در محلول ۲/۵ مول هیدروکسید سدیم تهیه گردید. خمیر پالایش شده با آب مخلوط و به محلول CMC فوق اضافه کرده تا درصد خشکی نهایی خمیر به ۲/۵٪(۲۵ گرم بر لیتر) و غلظت اولیه CMC به ۲۵٪ گرم بر لیتر برسد(۱٪ خمیر).

برای عملیات جذب(PH خمیر شاهد ۵/۵ و PH مخلوط CMC و خمیر برابر ۱۱ است) محلول را در بشر ریخته و دما در طی مدت ۳۰ دقیقه باید تا ۶۰ درجه سلیسیوس افزایش پیدا کند و پس از یک ساعت نمونه خمیر سرد شده, صاف شده و با آب دی یونیزه مورد شستشو قرار گیرد.

نمونه‌های مربوط به فاز مایع پس از جذب جدا شده(حدوداً ۵۰ میلی لیتر) و به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ شده و سپس برای تشخیص کربوهیدرات‌های حل شده با آزمایش فنول - سولفوریک اسید متانولیز در دستگاه GC مورد سنجش قرار گرفتند. خمیرهای شاهد تحت شرایط یکسانی قرار داشته(که البته تنها استثنا CMC است) سپس نتایج آزمایش فنول سولفوریک اسید برای پلی ساکاریدها بجز CMC تصحیح می‌شود.

۶- میزان نگهداری آب و ویژگی‌های ساخت کاغذ

مقادیر نگهداری آب(MRV) خمیر طبق استاندارد Scan-C 62:00 تعیین می‌شود که برای این منظور از سانتریفوژ Jouan مدل GR422 استفاده می‌گردد.

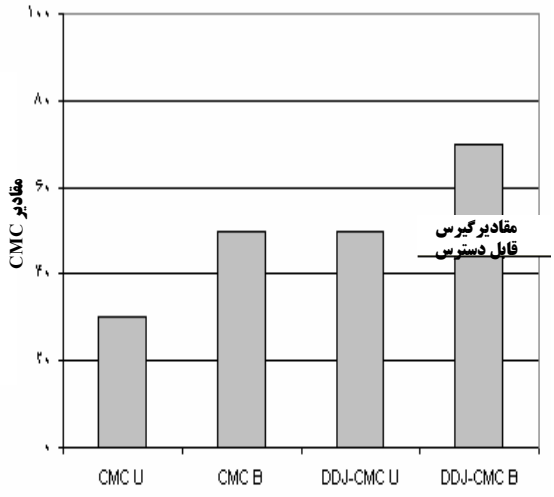
ورقه‌های آزمایشگاهی در آب دی یونیزه و مطابق روش استاندارد ISO 5269-1(به جز پرس مرطوب) در فشار ۴۹۰±۲۰ کیلو پاسکال(برای مدت ۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه) و خشک کردن در ۶۰ درجه سلیسیوس به مدت ۲ ساعت انجام شده و هنگام به کارگیری از صفحات خشک کن, پرس مرطوب در طی ۲ مرحله باید استفاده شود.

پرس اول در فشار ۴۰۰±۱۰ کیلو پاسکال(به مدت ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه) و سپس کاغذهای خشک کن حذف و تعویض می‌شوند و پس از آن پرس دوم مرطوب در فشار ۴۰۰±۱۰ کیلو پاسکال(به مدت ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه) انجام می‌گردد.

چگالی ورقه‌ها نیز با روش استاندارد ISO534 اندازه‌گیری شده و مقاومت کششی و شقی کششی ورقه‌های آزمایشگاهی با استفاده از یک ماشین اندازه‌گیری کشش نوع MTS و مطابق روش استاندارد Scan-p 38:80 اندازه‌گیری می‌شود و توانایی باندینگ(اتصال Scott یا مقاومت درونی) نیز مطابق با روش مندرج در استاندارد Tappi 833تعیین شده است.

۷- جذب CMC روی الیاف

درجه جذب CMC بوسیله تخمین میزان CMC موجود در محلول جذب با روش فنول سولفوریک اسید متانولیز در دستگاه GC به دست می‌آید. خمیر کوبیده نشده به مقدار ۲۵ تا ۴۵٪ از CMC با وزن مولکولی زیاد(DPV=700و DS=32٪) را جذب می‌کند در حالیکه زدن و کوبیدن خمیر باعث جذب ۵۰ تا ۶۰٪ از CMC شده است.



شکل ۱- میزان CMC متصل شده روی خمیر چوب پهن‌برگان کوبیده نشده، کوبیده شده، تیمار شده با CMC جداسازی نشده و جداسازی شده.

مطالعات دیگر نشان داده است که جذب CMC به میزان مساوی نیازمند دمای زیاد و افزون الکترولیت($Cacl_2$) می‌باشد. به علت افزودن مقادیر زیادی الکترولیت توسط لین,

مکـانیزم جـذب در ایـن دو نـوع آزمـایش متفـاوت هـستند. الکترولیت اضافه شده باعث پوشـاندن دافعـه الکتروسـتاتیکی بـین الیـاف آنیـونی و CMC آنیـونی مـی‌شـود. در ایـن نـوع بررسی, میزان DS مربوط بـه CMC بـسیار کمتـر اسـت کـه نشان‌دهنده کاهش دافعه است.

پس در این آزمایش, جذب سطحی CMC بیشتر وابـسته بـــه شـــباهت فرمولاســـیون بـــین CMC و ســـلولز در میکروفیبریل‌های روی سطح الیاف می‌باشد. باید متـذکر شـد. در این وضعیت بیشتر بر حدس و گمان متکـی هـستیم, زیـرا مقایسه بین این دو نوع بررسی بسیار دشوار است.

خمیر کوبیده نشده ولی جداسازی شده در DDJ بین ۵۰ تا ۶۰٪ از CMC افزوده را جذب نموده و کوبیدن خمیر باعث افزایش درجه جذب بین ۶۰ تا ۸۰٪(شکل ۱) گردید.

هنگامی که قبل از کاربرد CMC الیاف مـورد جداسـازی واقع شده بودند, به نظر مـی‌رسـد CMC بیـشتری بـه الیـاف متصل شدند. تفاوت بارز بین این دو روش تحلیلی مـی‌توانـد ناشی از همی سلولزهای قابل حل در فیلترهای جـذب باشـد. در شکل یک با این که تفـاوت زیـاد اسـت امـا جهـت‌گیـری CMC جذب شده را می‌توان تا حدی تشخیص داد.(شکل ۲)

به دلایل واضحی CMC بیشتری به خمیر سوزنی برگـان متصل می‌شود و همچنـین اثـر DS و PH بـر جـذب CMC روی خمیر سوزنی برگان در مقاله‌ای جدید مورد بررسی قرار گرفته اسـت کـه در آن نـشان داده شـده اسـت میـزان CMC جذب شده هنگام افزایش DS, کاهش می‌یابد.

شکل ۲- کاغذ تهیه شده از خمیر CMC

۸- خواص الیاف خمیر کاغذ تیمار شده با CMC

ویژگی‌های الیاف مربوط به خمیرهای جداسـازی شـده و جداسازی نشده به صورت فهرستی در جدول یک آورده شده است. واضح است که خمیر جداسازی شده دارای پیچ و تـاب بیشتری در مقایسه با خمیر چوب پهن برگان جداسازی نـشده است. این افـزایش پـیچش بیـشتر منجـر بـه اثـر منفـی روی ویژگی‌های استحکامی در ورقـه‌هـای سـاخته شـده از خمیـر جداسازی شده می‌شدند. همچنـین جـدول شـماره(۱) نـشان می‌دهد که کوبیدن خمیر جداسازی نشده باعث صاف‌تر شدن الیاف می‌گردد.

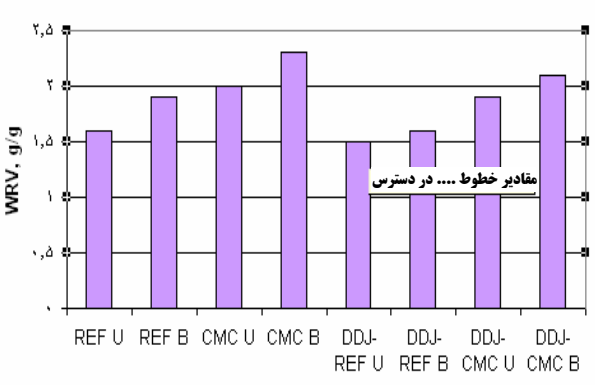
جدول ۱- ویژگی‌های سطوح صاف الیاف با CMC

مقدار RS	پرز	زبری	درصد پیچش	عرض الیاف	طول الیاف	ضخامت دیواره سلولی	نمونه جداسازی شده
							بطور معمول
۱۶/۲	۱/۳۸	۰/۰۹۴	۱۵/۹	۲۰/۷	۰/۹۹	۵/۷	۰
۲۳/۲	۱/۶۶	۰/۰۹۰	۱۴/۸	۲۰/۷	۰/۹۸	۵/۸	۳۰
							جداسازی شده به روش DDJ
۱۲/۰	۰/۳۸	۰/۰۹۵	۱۹/۰	۲۱/۳	۱/۰۳	۶/۰	۰
۱۳/۳	۰/۴۰	۰/۰۹۱	۱۹/۱	۲۱/۲	۱/۰۱	۵/۹	۳۰

این نتایج با نتایج ارائه شده توسـط مـاهلین و امهلـت بـه خوبی مطابقت دارند که نشان می‌دهد کوبیـدن بـه روش PFI به طرز مؤثری باعث کاهش پیچش الیاف می‌شوند. عـلاوه بـر ایـن ضـخامت دیـواره سـلولی و عـرض الیـاف در خمیـر جداسازی شده اندکی بیشتر بوده است, میـزان پرزهـا کمتـر و متوسط مقدار طول الیاف در خمیرهای جداسازی شده بیـشتر می‌شود که با توجه به حذف پرزها در طی مراحل جداسـازی, منطقی و قابل انتظار است.

کوبیدن و زدن بیشتر الیاف منجر به تولید پـرز مـی‌شـود, علاوه بر این پس از جداسازی الیاف, اعداد SR قبل و بعـد از

کوبیدن کمتر از اعداد SR مربوط به خمیر جداسازی نشده هستند.



شکل ۳- اثر اضافه شدن CMC بر مقادیر نگهداری آب (WRV) ستون‌های سفید نشان‌دهنده خمیر کوبیده نشده هستند و ستون‌های خاکستری نماینده خمیر کوبیده شده می‌باشند. انحراف معیار از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸ متفاوت است.

نتایج ارائه شده در جدول یک با آنچه توسط بلامستد در مورد خواص الیاف منتشر شده، هماهنگ است. مطالعات دیگر حاکی از آن است که تغییرات بسیار کم و فشردگی‌های جزئی می‌توانند بر بخش بزرگی از طول لیفه به علت افزایش هم کشیدگی ورقه‌ها و گسترش آن مؤثر باشند.

طبق نظریه پاویلاجین ضخامت دیواره سلولی در خمیر سوزنی برگان عامل به مراتب مهمتری در ساخت کاغذ نسبت به طول لیفه به شمار می‌آید. علاوه بر این لوبن نشان داد که الیاف درشت و صاف نسبت به الیاف نازک و پیچ خورده, به پالایش کمتری نیاز دارند تا بتوانند تبدیل به الیافی فعال در شبکه الیاف شوند. طبق نظریه ست باید به خاطر داشت که شاخص‌های پیچش و شکل الیاف را که توسط آنالیزورها اندازه گرفته می‌شوند تا حدی ناقص هستند زیرا به طور مستقیم به اندازه‌گیری تغییر شکل نپرداخته بلکه تنها واکنش لیفه به تغییر شکل را ثبت می‌کنند.

مطالعات جدید نشان می‌دهد که از شاخص کشش با طول صفر می‌توان برای تعیین کمی تغییر شکل لیفه استفاده نمود. به هر حال تاکنون تکنیک مناسب دیگری برای اندازه‌گیری کمی فشردگی‌های جزئی ارائه نشده است, هنگام برآورد اثرات تیمار با CMC بر روی لیفه و خواص کاغذ باید این ملاحظات را مورد نظر قرار داد.

از WRV بیشتر برای تعیین ظرفیت واکشیدگی و تورم خمیرها استفاده می‌شود, وارد کردن گروه‌های باردار اضافی در اغلب موارد باعث WRV بیشتر می‌شود. به همین طریق جذب CMC آنیونی در خمیر کوبیده شده و نشده باعث افزایش مقدار آب نگهداری شده در آنها در مقایسه با خمیرهای مرجع می‌شود.(شکل ۳)

طی مقاله منتشر شده توسط میتکا - اکلند میزان مقادیر WRV خمیر پهن‌برگان نسبت به میزان WRV خمیر سوزنی برگان افزایش پیدا نمی‌کند که شاید به علت سطح بالاتر جذب سطحی در چوب‌های نرم در مقایسه با چوب‌های سخت باشد. کوبیدن خمیر باعث افزایش مقادیر WRV می‌گردد که قابل پیش‌بینی است و در خمیرهای جداسازی شده و جداسازی نشده, گرایش یکسانی در مقادیر WRV دیده می‌شود که البته خمیرهای جداسازی شده به طور کلی WRV کمتری دارند. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط لوینس که نشان داده است الیاف ریز بیش از الیاف معمولی و خمیر، متورم می‌شوند, مطابقت دارد.

۹- ویژگی‌های خمیر کاغذ تیمار شده با CMC - اثر خشک کردن

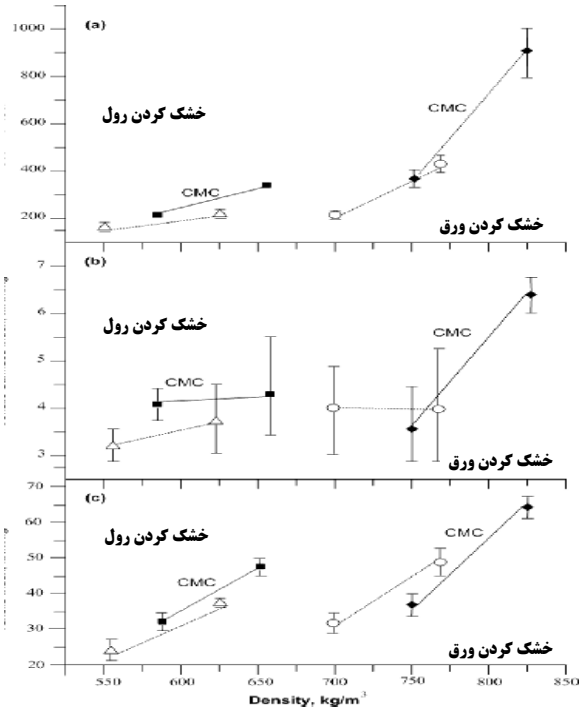
تأثیر خشک شدن با دو روش مختلف بررسی قرار گرفته است:

الف) خشک شدن در Drum که به ابعاد کاغذ اجازه داده می‌شود به آزادی منبسط شوند؛

ب) خشک شدن روی صفحه که طی آن ابعاد کاغذ محدوده مشخصی دارند.

شکل(۴) نشان می‌دهد که مقادیر چگالی ورقه‌های خشک شده در صفحه بیشتر از ورقه‌های خشک شده روی Drum بوده است که به علت ساختار فشرده‌تر آنهاست.

همچنین مقاومت درونی(پیوند Scott), شقی کششی و مقاومت کششی نیز در ورقه‌های CMC خشک شده روی صفحه بیشتر بوده‌اند که کوبیدن خمیر باعث تشدید آن می‌شود, همین گرایش در مقادیر مربوط به مقاومت درونی و



شکل ٤- اثر افزودن CMC و شرایط خشک شدن (صفحه با Drum) بر روی الف) پیوند Scott (مقاومت درونی) و ب) شقی کششی و ج) ضریب کشش در مقایسه با چگالی ورقه‌ها خطوط یکپارچه (تیمار شده با CMC) و خطوط هاشور خورده (مرجع) نشان‌دهنده تغییرات ایجاد شده به علت کوبیده شدن هستند.

شقی کششی دیده می‌شود, در هنگامی که خمیر تحت تأثیر CMC تیمار شود, افزایش شاخص مقاومت کشش(۷۵٪) در آن حاصل گردید که با کوبیدن و خشک شدن کنترل شده روی صفحه همراه بوده است. این افزایش فوق‌العاده در شقی از مزایای انحصاری استفاده از CMC برای تیمار الیاف است. به نظر می‌رسد استفاده از CMC می‌تواند وسیله‌ای برای تغییر خواص گوناگون کاغذ به منظور آماده‌سازی آن برای مصارف گسترده‌تری باشد. میزان شقی تا حد زیادی از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف خشک کردن نشأت می‌گیرد, این تأثیر که در شکل(۳) مشخص شده است توسط واهلستروم مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش هم کشیدگی یا کشش تحمیلی می‌تواند باعث افزایش شقی کششی و کاهش مقاومت به پارگی شود, به عبارت دیگر هنگامی که ورقه‌های کاغذ تحت شرایط کنترل شده خشک می‌شوند و به آنها اجازه آب رفتن و چین خوردن داده نمی‌شود, شقی کششی نسبت به حالت خشک کردن روی Drum بیشتر است.

همچنین طبق نظریه واهلستروم هنگامی که هم کشیدگی که امری طبیعی است محدود شود, تنش در کاغذ باعث شق‌تر شدن الیاف در جهت محوری می‌گردد. همین افزایش در شقی کششی طی خشک شدن کنترل شده(روی صفحه) به وضوح در نتایج ارائه شده توسط ما در شکل(۳) آمده است.

نتایج مشابهی همانند آنچه در شکل(۳) آمده است توسط ژانگ گزارش شده است. این محققان نشان داده‌اند که ورقه‌های خشک شده روی یک صفحه دارای چگالی و مقاومت درونی و کششی بیشتری نسبت به ورقه‌های خشک شده در سیلندر هستند, علاوه بر این دمای بالاتر در سیلندر باعث افزایش شقی کششی ولی کاهش انرژی شکست می‌شود. ژانگ و همکاران وی نشان داده‌اند که شرایط خشک کردن بر شقی کششی بیشتر از شاخص کششی تأثیر می‌گذارد و باعث تأثیر بیشتر بر شاخص شکستگی نسبت به مقاومت داخلی می‌گردد.

به تازگی واینیو به مطالعه چگونگی بر هم کنش اتصالات و پیوندهای بین الیافی و اثر فعال‌سازی الیاف و تأثیر آن بر خواص مقاومتی ورقه‌های کاغذ پرداخته‌اند. خواص ورقه‌های کاغذ به واسطه افزایش تنش حین خشک کردن بالا رفته که علت آن افزایش فعال‌سازی در شبکه الیاف بوده است, در حالی که استحکام پیوند در اغلب موارد به علت افزایش تنش خشک شدن کاهش یافته است.

طی مطالعات قبلی که در این آزمایشگاه صورت گرفته بود مشخص شد که تیمار با CMC باعث افزایش ویژگی‌های کاغذ گردیده؛ اما خواص الاستیکی کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است. نتایج مشابهی توسط لین و همکاران(سال ۲۰۰۲) گزارش شده است, با این حال مطالعات گذشته به بررسی اثر تکنیک خشک کردن بر شقی کششی حین تیمار با CMC نپرداخته است.

اخیراً وینیو به بررسی اثر کمپلکس‌های پلی‌الکترولیت‌های پلی‌اکریلامید و CMC بر خواص استحکامی کاغذ پرداخته است ولی نشان داد که افزودن پلی‌الکترولیت بر شقی کششی

بی‌اثر بوده در حالی که افزایش تنش خشک شدن باعث افزایش فعال‌سازی به نحو قابل ملاحظه‌ای می‌شود.

با این حال مقاومت Z تحت تأثیر جذب سطحی کمپلکس‌های پلی الکترولیت افزایش پیدا کرده است. شکل(۳)نشان می‌دهد که تیمار با CMC باعث افزایش چگالی نیز شده است.

مقادیر پراکنش نوری نیز اندازه‌گیری شدند(در شکل نشان داده نشده‌اند) که این مقادیر طبق انتظار با درصد تراکم مرتبط بودند.

خواص الیاف هم بر روی شقی کششی تأثیر داشته‌اند, پژوهش‌های قبلی نشان داده است که الیاف تغییر شکل یافته(پیچ خورده و کج شده) باعث تشکیل شبکه‌ای از الیاف می‌شوند که پراکنش بار در آن در مقایسه با شبکه‌ای از الیاف صاف غیریکنواخت و ناهمگون است و لذا خواص مقاومتی آن پایین‌تر می‌آید. یعنی الیاف صاف دارای شقی کششی بالاتری در مقایسه با الیاف تغییر شکل یافته هستند. بر همین اساس, جدول(۱) نشان می‌دهد که خمیر کوبیده شده دارای پیچ و خم کمتری بوده و درشتی آن نسبت به خمیر کوبیده نشده کمتر است که این امر باعث افزایش شقی کششی آن و خواص مقاومتی و استحکامی می‌شود.

رتولنین و همکاران وی نشان داده‌اند که الیاف با درشتی کم باعث استحکام بیشتر و خواص اپتیکالی بهتری می‌گردند و طبق نظریه لوبن(۱۹۷۵) دو نوع مختلف فعال‌سازی حین کوبیده شدن اتفاق می‌افتد که نوع اول باعث بالا رفتن میزان و تعداد پیوندها می‌شود که نتیجه آن چگالی بیشتر پس از کوبیده شدن می‌باشد.(شکل ۳)

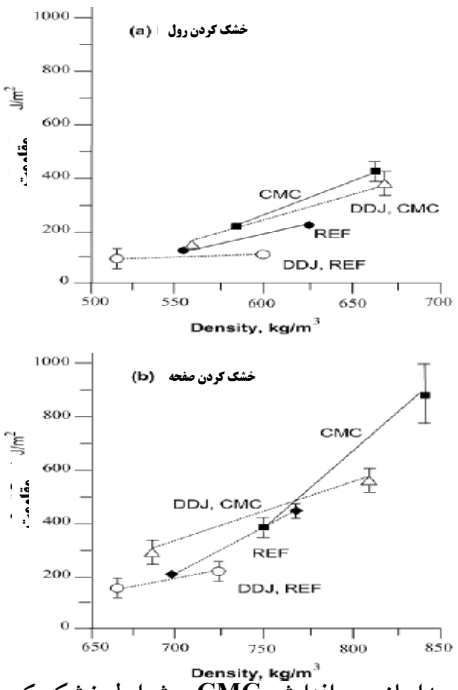
نوع دوم خشک شدن تحت کشش منجر به مقاومت کششی بالاتر و شقی بیشتر الیاف یا تکه‌های الیاف می‌شود, این پدیده را در شکل(۳) می‌توان ملاحظه کرد که در آن خواص استحکامی هنگام خشک شدن کاغذ تحت تنش به شدت افزایش یافته است. همانطور که در بالا بحث شد, تغییر شکل الیاف یکی از ویژگی‌های بسیار مهم الیاف به شمار می‌آید.

به طور معمول افزایش استحکام یا به افزایش پیوندها نسبت داده می‌شود یا افزایش تنش هم کشیدگی ولی طبق نظریه پگ عامل بسیار مهمتری در پدیده کوبیدن پیش می‌آید که آن صاف شدن الیافی است که حین خمیرسازی یا رنگبری خم شده یا پیچ خورده‌اند.

به عنوان نتیجه‌گیری باید گفت که هنگام خشک شدن ورقه‌ها روی صفحه و با استفاده از CMC, خواص مقاومتی درونی و مقاومت کششی شدیداً بالا رفته مخصوصاً مقادیر مربوط به شقی کششی افزایش زیادی را نشان می‌دهد.

۱۰- تأثیر جداسازی

در این بخش, خمیرها برای مشخص شدن نقش پرزها در خواص استحکامی ورقه‌ها مورد جداسازی و تفکیک قرار گرفتند. طبق نظریه رتولنین(۱۹۹۳) از مهم‌ترین اثرات وجود پرزها می‌توان به افزایش چگالی و فعال‌سازی بیشتر تکه‌های الیاف و مواد دیواره الیاف اشاره کرد, نتایج بدست آمده در شکل‌های(۵) و(۶) آمده است که با نتایج رتولنین در مورد افزایش چگالی و فعال‌سازی مطابقت دارد. علاوه بر این شکل (۵) نشان می‌دهد که گرایش‌های یکسانی بین خمیر مرجع و خمیر تیمار شده با CMC هم در انواع جداسازی نشده و هم جداسازی شده مشاهده می‌شود.

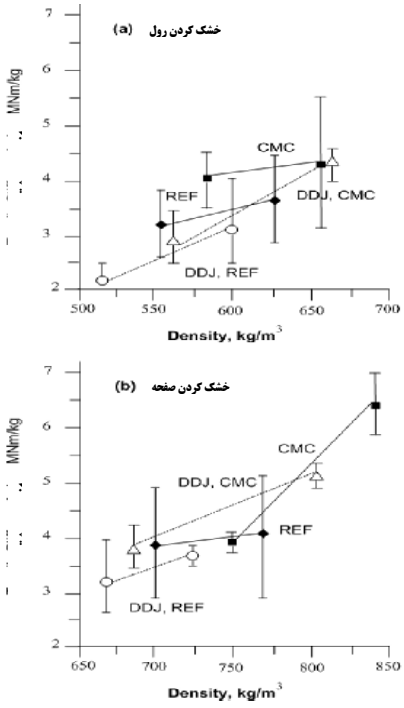


شکل ۵- اثر جداسازی - افزایش CMC و شرایط خشک کردن Drum و صفحه بر روی مقاومت Scott

هنگامی که خمیرهای جداسازی نشده با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. دقیقاً مقادیر یکسانی از استحکام داخلی برای خمیرهای کوبیده نشده مشاهده شد اما افزایش شدیدی در مقادیر استحکامی خمیر کوبیده شده به ثبت رسید.

این افزایش چشم‌گیر در استحکام داخلی را نمی‌توان تنها با اتکا به افزایش اندک در WRV پس از تیمار با CMC توضیح داد(شکل ۶). افزایش قابل توجه(۱۳۰٪) در استحکام داخلی در موردی که خمیرها با CMC تیمار شده و بر روی صفحه خشک شده و جداسازی شده بودند, مشاهده شد. یک توضیح برای چنین پدیده‌ای می‌تواند این باشد که خمیر کوبیده شده و تفکیک نشده محتوی پرزهای بیشتری است که باعث مقادیر بیشتر استحکام داخلی می‌گردد.

نتایج مشابهی نیز توسط رتولنین و همکاران(۱۹۹۶) به چاپ رسیده است که طبق آن پیوندهای بین فیبری با افزودن مواد شیمیایی بالا برنده مقاومت خشک و پرزها, تحکیم می‌شوند, پرزها در خمیر شیمیایی باعث بالا رفتن مقاومت کششی شده‌اند در حالی که پرزهای خمیر مکانیکی به شدت صافی و تفرق نوری ورقه‌های کاغذ را افزایش داده‌اند, علاوه



شکل ٦- اثر جداسازی - افزایش CMC و شرایط خشک کردن Drum و صفحه بر روی شقی کششی

بر این ثابت شده است که پرزها باعث تقویت و استحکام ورقه‌ها, شبکه مرطوب کاغذ و پیوندهای بین فیبر شده‌اند.

بطور کلی می‌توان گفت که پرزها بر چگالی, کشش و مقاومت داخلی, شقی کششی و تفرق نوری به طور مثبت اثر داشته و بر استحکام پارگی تأثیر منفی می‌گذارند. این موارد به وضوح در شکل‌های(۵) و(۶) به صورت کاهش در چگالی, مقاومت داخلی و شقی کششی هنگامی که خمیرها جداسازی می‌شوند, مشخص شده است. گرایش‌های افزاینده مشابهی نیز برای خمیرهای تیمار شده با CMC به ثبت رسیده است, همچنین الیاف ریز بر سرعت آبگیری تأثیر منفی گذاشته و بر اتصال بین الیاف(فیبر - فیبر) نیز تأثیر منفی می‌گذارد. مشاهده شده که ذرات ریزتر دارای قابلیت اتصال بیشتری هستند اما در این میان شکل ذرات نیز از اهمیت برخوردار است.

پاویلانین بیان داشته است که سطح کلی و توانایی پیوند مهمترین ویژگی مطرح برای پرزها در خمیر مربوطه نشان می‌دهد که خواص استحکامی افزایش نیافتند, شاید CMC اضافه شده می‌تواند با پرزها در شبکه الیاف اتصال برقرار

شکل ۷- دستگاه تعیین قدرت کششی کاغذ

کرده و در آب در گردش قرار نگیرند که منجر به خواص استحکامی برابر می‌گردد.

تحقیقات مربوط به تغییر شکل الیاف و اثر آن بر ویژگی‌های ورقه‌ها می‌تواند موجب روشن‌تر شدن نتایج ارائه شده در شکل(۵) گردد.

جدول(۱) و شکل(۳) نشان می‌دهد که مقادیر پیچش بیشتر بوده و مقادیر WRV نیز در خمیرهای جداسازی شده کمتر بوده‌اند از آنجا که خمیرهای جداسازی شده پیچ خورده‌تر از انواع جداسازی نشده بوده‌اند, لذا شقی تا حدی کمتر بوده است(شکل ۶) با این که CMC بیشتری به الیاف در خمیر جداسازی شده متصل می‌شود اما این امر باعث بهبود خواص استحکامی طبق آنچه انتظار می‌رفت, نشده است. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تغییر ساختار لیفه اثری بزرگتر بر مقاومت کششی فیبر نسبت به مدول الاستیسته آن داشته است, می‌توان گفت که ورقه‌های ساخته شده از خمیر تیمار شده با CMC و جداسازی نشده به طور کلی دارای قدرت داخلی و شقی کششی بالاتری در مقایسه با خمیر جداسازی شده داشته‌اند.(شکل ۷)

نتیجه‌گیری

جذب سطحی CMC بر روی الیاف سلولزی موجب گسترده‌تر شدن افق‌های جدیدی در صنعت ساخت کاغذ شده است. از مهم‌ترین مزایا می‌توان به استحکام داخلی و استحکام کششی مناسب طی آزمایشات صورت گرفته, اشاره نمود. این افزایش بسیار زیاد در شقی کششی(۷۵٪) که قبلاً مورد اندازه‌گیری قرار نگرفته بود می‌تواند کاغذ را برای مصارفی مثل بسته‌بندی مناسب کند. هنگامی که خمیر چوب پهن‌برگان کوبیده شده با CMC تیمار شده و تحت کشش خشک شود, میزان شقی کششی بیشتر می‌شود, لذا خواص استحکامی کاغذ تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط خشک شدن قرار دارند. آزمایش‌های صورت گرفته در زمینه جداسازی و تفکیک پرزها نشان داده است که پرزها بر خواص استحکامی تأثیر مثبت دارند که این اثر برای خمیرهای دارای CMC نیز صادق است.

منابع لاتین:

1. Cartons and Boxes, Fiberboard; Defense Standard 81-15, Issue 4; Publication Date 18. February. 2000.
2. Guide on use of Captive Fasteners; Ministry of Defense; Standard 81-73; Issue 2; Publication Date 23. June. 2000.
3 Paper, Wrapping Waxed; Ministry of Defense; Standard 81-30, Issue 2, Publication Date 20. August. 2008..
4. Cases, Wood Batten and Board Construction, Ministry of Defense, Standard 81-14, Issue 6, Publication Date 11. June. 2004.
5. Sponsored by ASTM Committed - 10 on Packaging, Selected Standard on Packaging of Fourth Edition ASTM, 1994.
6. Nordic Pulp &Paper 22(4) 2007
7. Glossary of Packaging Terminology Institute of Packaging Professionals, 2008..
8. Cases, Wood Batten and Board Construction, Ministry of Defense, Standard 81-14, Issue 6, Publication Date 11. June. 2004.
9. Packaging Code; British Standard, Section 10- Metal Containers, BS 1133, Subsection 10.1, 2002.
10. Hanlon, Joseph F; Handbook of Package Engineering; Second Edition, MC Gra, Hill Book Company, – 1994.

آدرس نویسنده:

کرج – میدان استاندارد– سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران– اداره بسته‌بندی سلولزی