

اثر افزودنی‌های مقاومت خشک بر روی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ و مقوای کرافت

سودابه خوشنود چاله‌سرا^{۱*}، احمدرضا سرائیان^۲

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۱

چکیده

نیاز و تقاضای روز افزون به کاغذ و مقوای بسته‌بندی از نظر کیفیت، بالاترین ارقام تولیدات صنعت کاغذسازی را به خود اختصاص داده است که مؤید و نشان‌دهنده اهمیت صنایع بسته‌بندی در حفظ و نگه‌داری کالا است. رقابت زیاد و فروش در بازار، باعث شده است که تولیدکنندگان محصولات مختلف جهت حفظ وضعیت بازار و مشتری، توجهی روز افزون به بسته‌بندی محصولات خود اعمال نمایند که در نتیجه این کوشش، نیاز به کاغذهای بسته‌بندی با کیفیت به مراتب بهتر از گذشته، افزایش یافته است. اغلب افزایش مقاومت کششی و سایر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ، به وسیله روش‌های شیمیایی نسبت به روش‌های مکانیکی مثل فرایند پالایش بیشتر است که یکی از روش‌های شیمیایی، استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک است. و در نتیجه افزودنی‌های مقاومت خشک به طور عمده برای بهبود مقاومت پیوند بین الیاف کاغذسازی و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ به کار می‌روند.

واژه‌های کلیدی

افزودنی‌های مقاومت خشک، ویژگی‌های مقاومتی، کاغذ و مقوای کرافت^۳.

۱- مقدمه

اکثر مقاومت‌های کاغذ، ارتباط نزدیکی با طول الیاف در کاغذ دارند. پهن برگان دارای الیاف کوتاهی هستند به این دلیل هر گاه کاغذی فقط از چوب پهن برگان ساخته شود، نمی‌تواند مقاومت‌های مطلوب مورد نیاز را فراهم کند. بدین منظور در اکثر کارخانجات همواره درصدی الیاف گونه‌های سوزنی برگ با متوسط الیاف بلندتر به خمیر کاغذ پهن‌برگان اضافه می‌شود. در کشور ایران که از گونه‌های سوزنی برگ بومی فقیر است به اجبار همواره مقادیری خمیر کاغذ الیاف بلند سوزنی برگ از خارج وارد می‌شود که مقدار این واردات و خروج ارز از کشور قابل ملاحظه می‌باشد. که به جای خمیر الیاف بلند می‌توان از افزودنی‌های مقاومت خشک برای دستیابی به مقاومت‌های بهتر استفاده کرد.

مقاومت کاغذ متناسب با نوع کاربردی که برای آن در نظر گرفته شده است می‌تواند در درجه اول اهمیت قرار گیرد. در مورد کاغذهای بسته‌بندی، مقاومت به ترکیدن و در کاغذ چاپ و تحریر، مقاومت به کشش و در کاغذ اسکناس و اوراق بهادار، مقاومت به تا خوردن می‌تواند به عنوان شاخص‌های اصلی مقاومتی به حساب آید.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(* نویسنده مسئول: S.khoshnood2006@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مواد بیشتر برای کاغذهای مخصوص به کار می‌روند (۲).

۳- افزودنی‌های مقاومت خشک به دو صورت در فرایند کاغذسازی کاربرد دارند:

- آهاردهی سطحی
- آهاردهی درونی

۳-۱- آهاردهی سطحی

هدف از آهاردهی سطحی، اتصال الیاف به سطح کاغذ، کاهش تخلخل، افزایش پایداری در برابر روغن و افزایش مقاومت کاغذ است. ۹۰٪ فرایند آهاردهی سطحی در دنیا به وسیله نشاسته انجام می‌شود.

در آهاردهی سطحی از سایر افزودنی‌های مقاومت خشک مثل کربوکسی متیل سلولوز، پلی‌وینیل الکل، پلی‌اکریل آمید^۱ (PAM) نیز استفاده می‌شود.

۳-۲- آهاردهی درونی

مواد آهاردهنده درونی یکی از مهم‌ترین افزودنی‌های مورد استفاده در خمیر کاغذ می‌باشند. اکثر انواع کاغذ و مقوای تجاری مورد استفاده به جز انواع جاذب رطوبت، نیازمند آهاردهی درونی هستند. آهاردهی برای آماده کردن کاغذ به منظور استفاده نهایی به کار می‌رود. مقوای بسته‌بندی شیر، کیسه‌های کاغذی و مقوای مختلف بسته‌بندی، همگی آهارزنی می‌شوند.

عموماً عوامل آهاردهنده درونی دارای چهار مشخصه هستند:

- ۱- توانایی اتصال مناسب با الیاف سلولز؛
- ۲- توانایی توزیع یکنواخت بر روی الیاف؛
- ۳- حفظ چسبندگی با الیاف؛
- ۴- آب‌گریز بوده یا در اثر خشک کردن به چنین خاصیتی می‌رسند.

کاغذسازها چندین روش برای افزایش مقاومت کاغذ از راه فزونی تعداد پیوند بین الیاف در دسترس دارند. سه روش مهم برای افزایش مقاومت‌ها عبارتند از:

۱- پالایش الیاف؛ ۲- استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک؛ ۳- پرس تر ورق کاغذ تشکیل شده (۲).

رزینی که برای بهبود مقاومت خشک در کاغذ به کار می‌رود، افزودنی مقاومت خشک نامیده می‌شود و باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

۱- مقاومت خشک را حداقل ۱۵٪ بیش از حد نرمال افزایش دهند (۴).

۲- روی مقاومت تر کاغذ اثر کمتری داشته باشد.

۳- آن‌ها باید متقابلاً بر سرعت آگیری از شبکه سلولز در ماشین کاغذ تأثیرگذار باشند (۴).

۲- افزودنی‌های رایج مقاومت خشک

بیشتر پلیمرهای محلول در آب که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی^۱ دارند، می‌توانند به عنوان افزودنی‌های مقاومت خشک عمل کنند. در حقیقت الیاف چوب دارای افزودنی‌های مقاومت خشک طبیعی یعنی همی‌سلولزها^۲ هستند.

افزودنی‌های رایج مقاومت خشک (درصد بر اساس مقدار کل مورد استفاده):

- مشتقات نشاسته (۹۵٪)؛
- صمغ (مانوگالاکتونها ۲٪)؛
- مواد سنتزی^۳ افزایش‌دهنده مقاومت خشک (۲٪).

مواد دیگر مانند نشاسته آنیونی^۴ یا نشاسته تغییر نیافته، مشتقات قابل حل سلولز از قبیل کربوکسی متیل سلولز^۵ CMC، رزین‌های مقاومت‌تر، پلی‌وینیل الکل^۶ و لاتکس^۷ ۱٪ باقیمانده از افزودنی مقاومت خشک هستند. این

- 1- Hydrogen
- 2- Hemicellulose
- 3- Synthetic
- 4- Anionic
- 5- Carboxymethyl cellulose
- 6- Poly(vinyl) alcohol
- 7- Lactis

8- Polyacrylamide

در همین راستا شوستروم^۱ (۱۹۹۳) بیان کرد که نشاسته‌ها، مشتقات سلولزی، زایلوگلوکانان‌ها^۲، گالاتومانان‌ها^۳ و کیتوزان^۴، افزودنی‌های مهم مقاومتی هستند. معمولاً جهت افزایش مقاومت کششی از نشاسته کاتیونی و پلی‌اکریل‌آمید استفاده می‌شود (۱۶).

در کاغذسازی مدرن، استفاده از عوامل مقاومت خشک مثل نشاسته کاتیونی^۵ و رزین پلی‌اکریل‌آمید (PAM) به خاطر افزایش استفاده از الیاف پهن‌برگ و الیاف بازیافتی و کاهش هر چه بیشتر وزن پایه به تدریج در حال افزایش است (۱۴). امروزه، مواد افزودنی مقاومت خشک در کاغذسازی به طور معمول استفاده می‌شود. با استفاده از یک افزودنی مقاومت خشک، پیوندهای هیدروژنی اضافی بین الیاف به وجود می‌آید که باعث بهبود مقاومت کاغذ می‌شود (۵).

از انواع مختلف نشاسته در ماشین کاغذ به منظور افزایش مقاومت کاغذ برای سال‌های زیادی استفاده شده است. برای شروع، از نشاسته‌های طبیعی در پایانه تر برای بهبود مقاومت استفاده می‌شد، اما از آنجایی که این نوع نشاسته میل ترکیبی کمی با الیاف سلولزی، نشان می‌داد، منجر به افزایش بار BOD^۶ در پساب می‌شد. معرفی نشاسته کاتیونی منجر به بهبود چشمگیر در مقاومت خشک کاغذ شد، در نتیجه نشاسته کاتیونی تبدیل به محصول مورد استفاده برای بهبود مقاومت در صنعت کاغذ شد (۱۱).

۴- مکانیسم بهبود مقاومت

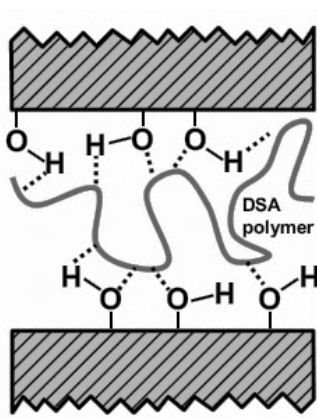
افزودنی‌های مقاومت خشک، مثل نشاسته با چندین مکانیسم، موجب افزایش مقاومت خشک ورق می‌شوند. اولین مکانیسم این است که نشاسته پیوند بین الیاف را زیاد می‌کند، زیرا یون هیدروکسیل^۷ آزاد گلوکز^۸ آن در ایجاد

پیوندهای هیدروژنی شرکت می‌کند و به طور معمول تعداد پیوندهای هیدروژنی را که در سطح پیوند الیاف اتفاق می‌افتد، افزایش می‌دهد. این مکانیسم نوعی آبدار کردن شیمیایی الیاف است.

پالایش موجب واکنش‌دهی الیاف می‌شود، ولی طی پالایش، الیاف اغلب ضعیف و کوتاه می‌شوند، به همین دلیل مقاومت پارگی در اثر پالایش کاهش می‌یابد در حالی که مقاومت پارگی ممکن است با مصرف افزودنی‌های مقاومت خشک بهبود یابد و آبدار کردن شیمیایی موجب کاهش مقاومت‌های تک تک الیاف نمی‌شود.

دومین مکانیسم بهبود مقاومت کاغذ، بهبود شکل‌گیری ورق است. بهبود شکل‌گیری ورق موجب توزیع یکنواخت پیوند بین الیاف می‌شود. سومین مکانیسم که اهمیت کمتری دارد، بهبود تراکم و ساختار ورق در اثر افزایش ماندگاری نرמה‌ها و آبگیری از ورق است (۲).

دو فایبر برای ایجاد اتصال هیدروژنی باید به اندازه کافی به هم نزدیک شوند. اگر از افزودنی‌های مقاومت خشک استفاده کنید این مواد خلأ بین الیاف را پر می‌کنند در نتیجه الیاف بدون اینکه به هم نزدیک شوند، می‌توانند اتصال ایجاد کنند (شکل ۱).



شکل ۱- فاصله بین الیاف که توسط افزودنی مقاومت

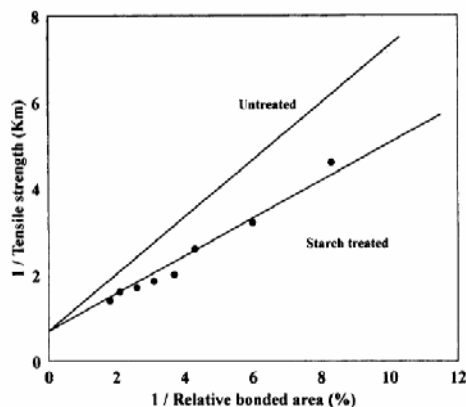
خشک پر شده

- 1- Sjostrom
- 2- Xyloglucannan
- 3- Galactomannan
- 4- Chitosan
- 5- Cationic starch
- 6- Biological oxygen demand
- 7- Hydroxyl
- 8- Glucose

عامل در ویژگی‌های مورد نیاز برای کاغذ بسته‌بندی، مقاومت به فشارهای ناشی از ترکیدن می‌باشد، ولی مقاومت در برابر فشارهای کششی و شکست در طی تا شدن مکرر در الویت‌های بعدی قرار می‌گیرد. سفتی ورقه کاغذ معمولاً با افزایش پیوند بین الیاف افزایش می‌یابد. نشاسته به عنوان یک ماده چسبنده عمل کرده و بین بخش‌های موجود در ساختار کاغذ، پیوند برقرار می‌کند (۷).

هووارد^۴ (۱۹۸۹) با افزودن نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی و بررسی اتصال بین لیفی مشاهده نمود که متصل شدن نشاسته کاتیونی به الیاف بازیافتی منجر به احیای نقاط اتصال از دست رفته سطح الیاف شده (شکل ۳) و قدرت اتصال بین لیفی را افزایش داده و در نتیجه خواص مقاومتی کاغذهای دست‌ساز را تا حد خمیر بکر ارتقاء می‌دهد (۸).

جان لسی وب^۵ (۱۹۹۸) نیز مشاهده کرده است که نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن پلیمرهای کاتیونی، مؤثرتر و قوی‌تر از سایر افزودنی‌ها عمل کرده و علاوه بر نقش تکمیلی در نگهداری مواد دوغاب، آبگیری را نیز بهبود می‌بخشد (۱۸).

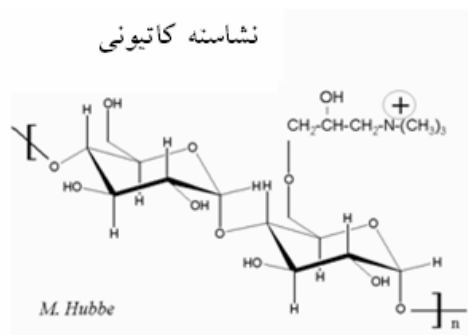


شکل ۳- اثر نشاسته کاتیونی روی رابطه بین مقاومت کششی و سطح پیوند نسبی (۱۵).

کارخانه‌های تولید کننده مقوای لاینر^۱ از دو نوع خمیر استفاده می‌کنند: خمیر کرافت رنگ‌بری نشده و خمیر بازیافتی مرکب‌زدایی نشده و یا ترکیبی از هر دو را به کار می‌برند.

۵- اثر نشاسته کاتیونی روی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ و مقوای کرافت

نشاسته کاتیونی به عنوان افزودنی در سامانه پایانه تر کاربرد گسترده‌ای دارد، به طوری که این ماده از لحاظ اهمیت در کاغذسازی پس از الیاف و پرکننده‌ها در رتبه سوم قرار می‌گیرد. هم چنین با توجه به تمایل صنعت کاغذسازی به بهره‌گیری بیشتر از پرکننده‌ها و الیاف بازیافتی، کاربرد نشاسته کاتیونی گسترش بیشتری یافته است (۶). برای افزایش ماندگاری نشاسته روی الیاف کاغذسازی باید مواد کاتیونی به مولکول نشاسته متصل شود، نشاسته کاتیونی در بسیاری از کاغذها به کار می‌رود (شکل ۲)، چون بر مقاومت، ماندگاری پرکننده‌ها و آبگیری مؤثر است. این نشاسته‌ها مزیت‌هایی مثل قابلیت پخش شدگی زیاد و ماندگاری بر روی الیاف چوب دارند (۲).



شکل ۲- ساختار نشاسته کاتیونی

هیوبی^۲ در سال ۲۰۰۶ نشان داد که افزودن نشاسته کاتیونی باعث افزایش مقاومت و کاهش کمی در ماتی و همچنین افزایش ثابتی در سطح نسبی پیوند می‌گردد (۹). هیرمن^۳ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی که بر روی مواد افزودنی مقاومت خشک انجام دادند، بیان کردند که مهم‌ترین

- 1- Liner board
- 2- Hubbe
- 3- Heerman

4- Howard

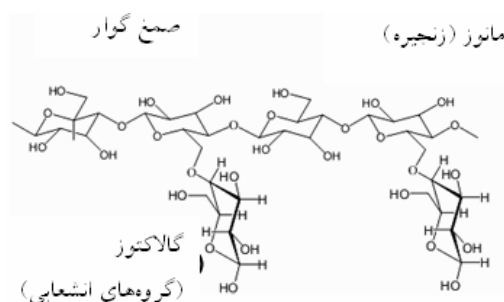
5- John Lessi Web

افزودن نشاسته کاتیونی روی کاغذ کیسه‌ای کرافت رنگبری نشده، باعث افزایش مقاومت به پارگی می‌شود و هم چنین وقتی از نشاسته کاتیونی استفاده می‌کنیم مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن با پالایش کمتر حفظ می‌شوند (۱۷).

نشاسته کاتیونی در مقوای روکش کرافت رنگبری نشده، باعث بهبود مقاومت به ترکیدن مولن^۱ و سایر ویژگی‌های مقاومت خشک می‌شود (۷۶).

۶- اثر صمغ گوار روی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ و مقوای کرافت

تعداد زیادی از مواد طبیعی به عنوان مواد افزودنی مقاومت خشک در تولید کاغذ و مقوا استفاده می‌شوند. مثل صمغ و شیره گیاهی که از گوار^۲ و دانه اقایا^۳، هسته تمبر هندی، کارایا^۴، بامیه و غیره به دست می‌آیند (شکل ۴). در بین این‌ها صمغ‌های گوار کاربرد گسترده‌تری دارند. گالاکتومانان آندوسپرم گوار^۵ شامل زنجیر اصلی دی مانوپیرانوزیل^۶ با دو واحد دی گالاکتوپیرانوزیل^۷ (نسبت گالاکتوز^۸ به مانوز^۹ ۱/۴۹ : ۱) است (۱۷).



شکل ۴- ساختار صمغ گوار

- 1- Mulle
- 2- Guar
- 3- Acacia
- 4- Karaya
- 5- Guar
- 6- D-mannopyranosyl
- 7- D-galactopyranosyl
- 8- Galactose
- 9- Mannose

بهبود مقاومت خشک خمیر کاغذ با استفاده از صمغ گوار^{۱۰} به واسطه پیوند هیدروژنی هیدروکسیل- هیدروژن پلیمر با گروه‌های عاملی در سطح الیاف سلولزی ایجاد می‌شود. زمانی که صمغ به عنوان افزودنی پایانه‌تر به کار برده می‌شود، گالاکتومانان‌های صمغ‌های گیاهی، نقش همی سلولزهای طبیعی را در پیوندیابی درونی کاغذ، تکمیل می‌کنند (۱۷).

جلالی ترشیزی^{۱۱} و همکاران (۱۳۸۷)، به منظور شناخت چگونگی تأثیر چسب‌های مقاومت خشک بر مقاومت در برابر ترکیدن، مقاومت در برابر پاره شدن، مقاومت در برابر تاخوردن، مقاومت در برابر کشش و وزن پایه کاغذ بازیافتی^{۱۲} (OCC)، از ترکیب دو ماده نشاسته کاتیونی و صمغ گوار استفاده کردند. نتایج نشان داد که از لحاظ مقدار مواد افزودنی به کار رفته، صمغ گوار غالباً از کارایی و عملکرد بالاتری در افزایش ویژگی‌ها برخوردار است، لیکن با عنایت به هزینه متفاوت دو ماده، نشاسته کاتیونی از مطلوبیت بهتری برخوردار است (۱).

کاغذساز با کاربرد صمغ به فوایدی از قبیل: بهبود پیوندها، مقاومت‌ها (مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدگی، سایشی، تراکمی و مقاومت به تاخوردگی)، حداکثر خروجی ماشین به ذخیره قابل توجه انرژی دست پیدا می‌کند که به همین دلیل، صمغ‌ها خودشان را به عنوان یک ماده افزودنی خشک مهم در صنعت کاغذ و مقوا مطرح کردند. صمغ‌ها در تولید آزمون لاینر، لایه میانی کنگره‌ای^{۱۳} (NSSC)، مقوای کرافت رنگبری شده، مقوای لوله‌ای پوشش داده شده و غیره، به عنوان یک ماده افزودنی با ارزش پذیرفته شده‌اند که قادر هستند کارخانه‌های کاغذ و مقوا را با شرایط رقابتی شدید در بازار مواجه کنند (۱۷).

- 10- Guar Gum
- 11- Jalali Torshizi
- 12- Old corrugated containers
- 13- Neutral sulfite semi-chemical

سلولزی می‌تواند بدون تغییر، جذب الیاف سلولزی شوند. الیاف تیمار شده با کربوکسی متیل سلولز، ویژگی‌های مقاومت خشک ویژه‌ای در کاغذ نشان داده است.

کربوکسی متیل سلولز، پلیمری مشابه سلولز می‌باشد که درجه پلیمریزاسیون زیاد آن مانع از نفوذ به دیواره الیاف می‌شود. کربوکسی متیل سلولز، دارای بار منفی است بنابراین بین این پلیمر با الیاف سلولزی که دارای بار منفی هستند دافعه الکترواستاتیکی^۵ به وجود می‌آید (۱۳).

پاکولاین^۶ و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تیمار کربوکسی متیل سلولز به عنوان روشی جهت جلوگیری از کنده شدن آوندهای کاغذهای تولید شده از خمیر کرافت رنگبری شده اکالیپتوس^۷ در طی فرآیند چاپ، به کاهش معنی‌داری از کنده شدن آوندها و همچنین بهبود ویژگی‌های مقاومتی دست یافتند. همچنین مشاهده کردند که مقاومت‌های مکانیکی کاغذ تولید شده، افزایش یافته به طوری که مقاومت کششی ۳۰ درصد، سفتی ۱۰ درصد و مقاومت درونی ۴۳ درصد افزایش یافت.

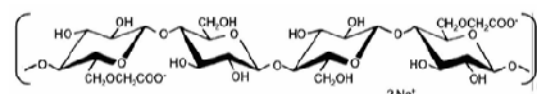
هیوبی^۸ و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی که جهت بهینه کردن تیمار مواد افزودنی دوگانه مقاومت خشک بر روی سطح الیاف انجام دادند، بیان داشتند که کاهش مقاومت فشاری یا کششی انواع مقوهای معمولی اولاً به دلیل شکست پیوند بین الیاف و ثانیاً شکست کمتر در خود الیاف می‌باشد. مواد افزودنی مقاومت خشک پلیمری در فضای بین سطوح و الیاف، برای افزایش سطح اتصال قرار گرفته و آن را پر می‌کنند. به عنوان مثال نشاسته کاتیونی باعث افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوند یافته می‌گردد. همچنین افزودن پلیمر آنیونی مقاومت خشک کربوکسی متیل سلولز به دوغاب خمیر کرافت تیمار نشده، مقاومت را اندکی افزایش خواهد داد (۱۰).

کاربرد صمغ در مقوای روکش کرافت حداکثر مقاومت به ترکیبگی با حداکثر سرعت عملیاتی ماشین و حداقل وزن پایه مجاز را امکان‌پذیر می‌سازد (۱۷).

مقوای کرافت رنگبری شده معمولاً به عنوان یک کاغذ محکم تولید می‌شود. با این وجود، این کاغذها به منظور حفظ هم زمان خصوصیات مقاومتی و حداکثر سرعت تولید، به استفاده از صمغ نیاز دارند. در خمیرهای کرافت رنگبری شده، عموماً تغییرات در عملکرد و خصوصیات ورقه با مقدار صمغ اضافه شده، رابطه مستقیم دارد، سرعت آبرگیری افت پیدا می‌کند و خلاً پایانه تر افزایش می‌یابد که در این صورت ورقه محکم‌تر و یکنواخت‌تری را به وجود می‌آورد. معمولاً وقتی چنین حالتی رخ می‌دهد، پالایش می‌تواند کاهش یابد که گاهی اوقات این امر می‌تواند با افزایش در سرعت ماشین همراه باشد (۱۷).

۷- اثر کربوکسی متیل سلولز (CMC) بر روی کاغذ و مقوای کرافت

کربوکسی متیل سلولز یا CMC^۱ عبارت است از یک گرد سفید رنگ، بی‌بو، بدون رنگ، قابل تعلیق در آب و تحت شرایط نرمال، غیر قابل تخمیر می‌باشد. از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی مورد لزوم در محیط استفاده، معمولاً از آن به جای نشاسته و مواد طبیعی محلول در آب که نسبتاً گران قیمت هستند مانند آلژینات سدیم^۲، صمغ تراگاکانت^۳ و ژلاتین^۴ استفاده می‌گردد (شکل ۵).



شکل ۵- ساختار کربوکسی متیل سلولز (۴)

کربوکسی متیل سلولز با وزن مولکولی و درجه استخلاف متنوع تهیه می‌شود. کربوکسی متیل سلولز و سایر مشتقات

5- Electrostatic
6- Pakkolainen
7- Eukalyptus
8- Hubbe

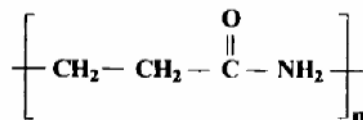
1- Carboxymethyl cellulose
2- Algenat sodium
3- Tragakant
4- Gelatin

لاینو^۱ و همکاران (۱۹۹۷)، با بررسی نقش بار سطحی الیاف بر ویژگی اتصال الیاف به این نتیجه رسیدند که بار الیاف بر عملکرد آن در فرآیند کاغذسازی خیلی مهم است و اتصال الیاف، مقاومت ویژه اتصال الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایشان نشان دادند که با تولید گروه‌های کربوکسیل روی سطوح الیاف، اتصال بین الیاف افزایش یافته و مقاومت کششی بهبود خواهد یافت (۱۲).

بلومستد^۲ و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی جذب بهینه کربوکسی متیل سلولز در بهبود سفتی کششی از کاغذ ساخته شده از خمیر پهن برگان، شرایط ویژه تیمار را انجام داده و اثر تیمار کربوکسی متیل سلولز، شرایط خشک شدن و جزء جزء سازی روی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل را بررسی کردند. آن‌ها افزایش معنی‌داری در ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از تیمار با کربوکسی متیل سلولز را مشاهده کردند و گزارش دادند که سفتی کششی ۷۵ درصد افزایش یافته است و تیمار کربوکسی متیل سلولز را به ویژه در استفاده از کاغذ بسته‌بندی مفید دانستند (۳).

۸- اثر رزین‌های مقاومت خشک پلی‌اکریل آمید بر روی کاغذ و مقوای کرافت

پلی‌اکریل آمیدها علاوه بر مصارف زیادی که در افزایش ماندگاری و آبگیری دارند، به عنوان عامل مقاومت خشک نیز به کار می‌روند (۱۶). این پلیمرهای محلول در آب، حاوی گروه‌های آمیدی نوع اول هستند که می‌توانند با مولکول‌های سلولز موجود در سطح الیاف پیوند هیدروژنی تشکیل دهند و پیوند بین الیاف را بهبود بخشند (شکل ۶).



شکل ۶- ساختار اولیه پلی‌اکریل آمید

همانند نشاسته کاتیونی، افزودنی‌های مقاومت خشک پلی‌اکریل آمید، کاغذسازان را قادر می‌سازد تا ترکیبی از خواص کاغذ را که تنها با پالایش قابل دستیابی نیست، به دست آورند. برای مثال: خواص مقاومتی، ممکن است بدون تأثیر نامطلوب بر حجم کاغذ یا خواص ظاهری کاغذ بهبود یابد (۲).

افزودنی‌های مقاومت خشک بر مبنای پلی‌اکریل آمید اغلب دارای وزن مولکولی بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ هستند. این مقدار وزن مولکولی به اندازه کافی کوچک است که پلیمرهای پلی‌اکریل آمید بین ذرات پل زنی نکنند و موجب دلمه‌ای شدن ذرات نشوند. هم چنین به اندازه کافی بزرگ است که به داخل منافذ الیاف نفوذ نکند و در اثر این پدیده، کارایی آن کاهش نیابد (۲).

از آنجایی که پلی‌اکریل آمیدهای آنیونی دارای بار منفی هستند، هیچ جاذبه مستقیمی بین آن‌ها و الیاف کاغذسازی وجود ندارد. یک ماده کاتیونی مانند: آلوم^۳ باید همراه با پلی‌اکریل آمید آنیونی مصرف شود تا موجب ماندگاری آن شود. برای جلوگیری از نیاز به ماده کاتیونی تثبیت‌کننده، این امکان وجود دارد که گروه کاتیونی به طور مستقیم به پلی‌اکریل آمید اولیه متصل شود. این عمل در اواخر دهه ۱۹۶۰ انجام شد و امروزه این مواد، یکی از مهم‌ترین انواع پلی‌اکریل آمیدهای مقاومت خشک هستند.

رزین پلی‌اکریل آمید در بهبود ویژگی‌های فیزیکی کاغذ مثل: مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدگی، مقاومت کششی کاغذ تاخورد، پیوند درونی، مقاومت به کنده شدن سطح (یعنی موم‌کنی) مؤثر است که همه این‌ها به مقاومت پیوند فیبر^۴ - فیبر مرتبط هستند. در مقایسه با توسعه مقاومت توسط پالایش، بهبود ویژگی‌های مقاومتی فوق‌الذکر با تغییر خیلی کم در دانسیته^۵ (بالک^۶)، ماتی، یا

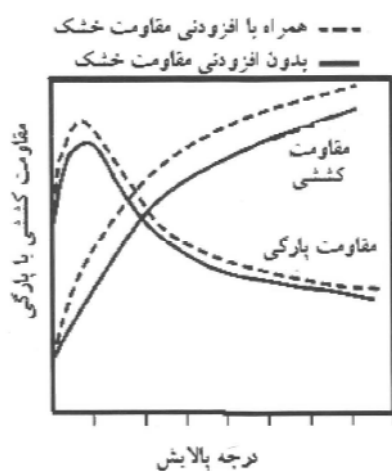
- 3- Alum
- 4- Fiber
- 5- Density
- 6- Bulk

- 1- Laine
- 2- Blomstedt

PAM افزایش بیشتری یافتند. ولی در روش سطحی با مقدار بیشتر PAM افزایش در شاخص کشش و افزایش اندک در دانسیته و مدول یانگ وجود داشت و نیز مقاومت دهانه صفر به طور واضح با روش درونی افزایش یافت (۱۴).

۹- نتیجه گیری

بعضی از ویژگی‌های کاغذ به طور همزمان در اثر اعمال پالایش بهبود می‌یابند. این وضعیت با در نظر گرفتن آگیری از خمیر کاغذ، قابلیت گذر و هزینه‌ها بسیار پیچیده‌تر می‌شود. یک راه برای بهبود این وضعیت این است که افزودنی‌های شیمیایی مقاومت خشک به ماده اولیه اضافه شود. عملکرد این مواد، بدین گونه است که مقاومت کاغذ را با حفظ ویژگی‌های دیگر کاغذ بهبود می‌بخشند. افزودنی‌های مقاومت خشک، تمام ویژگی‌های مقاومتی کاغذ را همزمان افزایش می‌دهند. در (شکل ۷) مثالی در این باره ارائه شده است.



شکل ۷- اثر یک افزودنی مقاومت خشک بر مقاومت پارگی و کششی

این شکل نشان می‌دهد که با مقدار پالایش و مقاومت کششی یکسان، با افزودن ماده افزایش‌دهنده مقاومت خشک، مقاومت پارگی بیشتری قابل دستیابی است.

مقاومت خشک کاغذ را می‌توان با روش‌هایی نظیر تغییر و بهبود دوغاب خمیرکاغذ، به عنوان مثال با افزایش

تخلخل به دست می‌آید. رزین مستقیماً روی ثبات ابعادی کاغذ مؤثر نیست، هر چند این ویژگی ممکن است به طور غیر مستقیم توسط کاهش میزان خمیرزنی و پالایش بهبود یابد. استفاده از پلی‌اکریل آمید اصلاح شده علاوه بر بهبود مقاومت کاغذ، تعدادی دیگر از خصوصیات با ارزش از قبیل بهبود ماندگاری فیلرها، بهبود کارایی آهار رزین، آگیری سریع‌تر روی توری و خشک شدن سریع را فراهم می‌کند (۱۶).

برای دستیابی به خواص مقاومتی خوب کاغذ، وزن مولکولی پلیمر باید به مقدار کافی زیاد باشد تا جذب مؤثر روی دهد و بدون وقوع پدیده‌های پل‌زنی و لخته شدن، مواضع چندگانه برای تشکیل پیوندها به وجود آید. با افزودن پلی‌اکریل آمید PAM به منظور بهبود خواص مقاومتی، چگالی ظاهری تغییر بزرگی نمی‌کند، اما مقاومت به کشش، ترکیدن، تا خوردن، سفتی و پیوندهای بین سطوح الیاف، همگی معمولاً بهبود می‌یابند (۳).

در موارد زیادی رزین‌های مقاومت خشک به عنوان جایگزین برای پالایش استفاده می‌شوند. فواید زیادی ممکن است از کاربرد رزین‌های مقاومت خشک حاصل شود، شامل ذخیره انرژی توسط کاهش در پالایش، یا انرژی خشک کردن، کاهش مقدار تولید نرمة‌ها، یا تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی ورقه‌ها، مثل نفوذپذیری هوا در کاغذ (۱۷).

میهارا^۳ و یاماچی^۴ (۲۰۰۸)، اثر روش کاربرد بر افزایش مقاومت کاغذ به وسیله رزین مقاومت خشک را بررسی کردند. در پژوهش آن‌ها، کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیر کرافت پهن برگ با پالایش اندک با مقادیر مختلف پلی‌اکریل آمید با هر دو روش کاربرد درونی و سطحی آماده شدند. نتایج نشان داد در روش درونی، دانسیته، RBA^۵ (سطح پیوند نسبی) و مدول یانگ^۶ به تدریج با مقدار PAM افزایش یافته، و شاخص کششی و مقاومت به پارگی با مقدار کمتر

- 1- Filler
- 2- Sizing resins
- 3- Mihara
- 4- Yamachi
- 5- Relative bonded area
- 6- Young models

نسبت خمیرهای کاغذ الیاف بلند شیمیایی، کاهش میزان پرکننده‌های به کار رفته، اضافه کردن مواد افزودنی مقاومت خشک و غیره تقویت کرد و افزایش داد. تغییرات فرآیندی نیز می‌توانند مقاومت را افزایش دهند. به عنوان مثال بهبود شکل‌گیری، افزایش pH، و یا بهبود و افزایش شرایط پرس تر از جمله این عوامل فرآیندی هستند. با این حال، پالایش بیشتر، احتمالاً به عنوان رایج‌ترین روش افزایش مقاومت باقیمانده است. در این روش، علاوه بر انرژی مصرفی بالاتر، خصوصیات کاغذ نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزایش دانسیته و کاهش تخلخل، سفتی مقاومت به پاره شدن و ماتی از جمله ویژگی‌های متأثر می‌باشند. در صورتی که اثرات منفی پالایش در محصول نهایی غیر قابل تحمل می‌گردند، افزودنی‌های مقاومت خشک یکی از بهترین گزینه‌های عملی باقیمانده خواهد بود.

از آن جایی که پالایش، یکسری تأثیرات منفی بر ویژگی‌های کاغذ از جمله:

- در اثر افزایش پالایش، درجه روانی خمیر و به طبع آن قابلیت آبگیری خمیر کاهش می‌یابد که در نتیجه آن ماشین با سرعت کمتری کار می‌کند، بنابراین بازده تولید، کاهش می‌یابد؛

- در اثر پالایش، حجم ویژه کاغذ کاهش می‌یابد.

جدول ۱- اثر پالایش الیاف بر خواص کاغذ

اثر	ویژگی‌های مقاومتی کاغذ	اثر	ویژگی‌های غیر مقاومتی کاغذ
افزایش	مقاومت کششی	کاهش	ماتی
افزایش	مقاومت به ترکیدن	کاهش	روشنی
افزایش	مقاومت به تاخوردگی	بهبود	شکل‌گیری
کاهش	مقاومت به پارگی	افزایش	دانسیته
افزایش	مقاومت خمشی	کاهش	زبری
افزایش	مقاومت سطحی (الیاف کنی)	کاهش	نفوذپذیری (تخلخل)
افزایش	چسبندگی داخلی	کاهش	تمایل به ترک‌زایی
افزایش	سفتی	کاهش	پایداری ابعاد

لذا کاغذسازان برای دستیابی به مقاومت بیشتر در کاغذ و کاهش اثرات منفی پالایش به مصرف افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ روی آوردند.

مواد افزودنی مقاومت خشک پلیمری در فضای بین سطوح و الیاف برای افزایش سطح اتصال قرار می‌گیرند و آن را پر می‌کنند. نشاسته به عنوان یک ماده چسبنده عمل کرده و بین بخش‌های موجود در ساختار کاغذ، پیوند برقرار می‌کند. همچنین نشاسته کاتیونی می‌تواند در حین فرایند کلوخه‌شدگی به عنوان ایجادکننده پل بین ذرات با فاصله زیاد عمل کند. افزودن نشاسته کاتیونی روی کاغذ کیسه‌ای کرافت رنگبری نشده، باعث افزایش مقاومت به پارگی می‌شود. وقتی از نشاسته کاتیونی استفاده می‌شود، مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن با پالایش کمتر، حفظ می‌شود. استفاده از نشاسته کاتیونی در مقوای روکش کرافت رنگبری نشده باعث بهبود مقاومت به ترکیدگی مولن و سایر ویژگی‌های مقاومت خشک می‌شود. کاربرد صمغ در مقوای روکش کرافت حداکثر مقاومت به ترکیدگی با حداکثر سرعت عملیاتی ماشین و حداقل وزن پایه مجاز را امکان‌پذیر می‌سازد. بار الیاف بر عملکرد آن در فرآیند کاغذسازی بسیار مهم است و اتصال الیاف و مقاومت ویژه اتصال الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کربوکسی متیل سلولز با تولید گروه‌های کربوکسیل^۱ بر روی سطح الیاف، اتصالات فیبر-فیبر را افزایش می‌دهد و مقاومت کششی کاغذ حاصل را بهبود می‌بخشد.

با افزودن PAM به منظور بهبود خواص مقاومتی، چگالی ظاهری، تغییر بزرگی نمی‌کند، اما مقاومت به کشش، ترکیدن، تاخوردن، سفتی و پیوندهای بین سطوح الیاف، همگی معمولاً بهبود می‌یابند. استفاده از مواد افزودنی مقاومت خشک باعث می‌شود که بدون استفاده از پالایش به مقاومت‌های مطلوب دست پیدا کنیم، در نتیجه مصرف انرژی کاهش می‌یابد. هم چنین استفاده از مواد افزودنی مقاومت خشک، استفاده از الیاف ضعیف‌تر و

11. Johnston, H. "A novel approach to improve dry strength". Journal papers. 2002.
12. Laine, J., Hynynen, R. and Stenius, P. The effect of surface chemical composition and charge on the fibre and paper properties of unbleached and bleached kraft pulps, Fundamentals of papermaking materials 11th fundamental research symposium, cambridge, UK, September 21-26, pp: 859-892. 1997.
13. Laurell, L. Retention of sodium carboxymethylcellulose in woodpulp, Svensk Papper stidn. 55(10): 366-369. 1952.
14. Mihara, I., Yamauchi, T. "Dynamic mechanical properties of paper containing a polyacrylamide dry-strength resin additive and Its distribution within a fiber wall: Effect of the application method". Journal of applied polymer science, Vol. 110, 3836-3842. 2008.
15. Roberts, J. C. The chemistry of paper, Department of paper science, UMIST, Manchester. 1996.
16. Sjöström, E. Wood chemistry: fundamentals and applications, Academic press Inc., 2nd addition, San Diego, CA, USA, pp.: 1-201993.
17. Walter, F. R. Dry strength additives, Tappi press, Pp: 188. 1980.
18. Web, J. L. "Comparision of dry strength additives on paper parameters". Tappi Journal, Vol. 84 (10). 1998.

آدرس نویسندگان

استان گیلان- شاندرمن- روستای چاله‌سرا-
خیابان انقلاب- منزل آقای خوشنود.

ارزان‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد و در کل، مواد افزودنی مقاومت خشک باعث صرفه‌جویی در انرژی و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

۱۰- منابع

۱. جلالی ترشیزی، ح. جهان‌تبیاری، ا. میرشکرایی، س.ا. و فائزی پور، م. م. "مطالعه اثر نشاسته کاتیونی و صمغ گوار بر ویژگی‌های مقاومتی OCC بازیافت شده". اولین همایش ملی تأمین مواد اولیه و توسعه صنایع چوب و کاغذ کشور، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳۸۷.
۲. حمزه، ی. رستم پور، ا. اصول شیمی کاغذسازی. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص. ۱۳۸۷.
۳. میرشکرایی، س. ا.، صادقی‌فر، ح. شیمی کاغذ، انتشارات آبیژ، ۱۹۲ ص. ۱۳۸۱.
4. Blomstedt, M. "Modification of cellulosic fibers by carboxymethyl cellulose—effects on fiber and sheet properties". Helsinki university of technology laboratory of forest products chemistry, Reports espoo. series A 27. 75 p. 2007.
5. Bobu, E., Benea, G. H., and Bacaran, M. "Performance and limits of starch as a papermaking additive". Cellulose chemistry and technology, 31, 499-513. 1997.
6. Gess, J. M. "Retention of fines and fillers during papermaking". Tappi press, Atlanta, Georgia. 1998.
7. Heerman, M., Welter, S., and Hubbe, M. A. "Effect of high treatment levels in a dry strength additive program on deposition of polyelectrolyte complexes". Tappi J. 5,6, 9-14. 2006.
8. Howard, R. C., and Jowsay, C. J. "Effect of cationic starch on the tensile strength of paper". Journal pulp & paper science 15 (6): J225. 1989.
9. Hubbe, M. A. "Bonding between cellulose fibers". Bioresources technology, 1,2, 281-318. 2006.
10. Hubbe, M. A., Tracy, L., and Zhang, M. Fiber surface saturation as a strategy to optimize dual-polymer dry strength treatment, Tappi j. 2,11, 7-11. 2003.