مروری بر استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک برای بهبود مقاومت‌های مقوای بسته‌بندی

مقدسه اکبری امری[1*]، احمدرضا سرائیان[2]، رحیم یدالهی[3]

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ماه۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: مهرماه ۱۳۹۳

چکیده

بهبود مستمر در عملکرد صنعت مقوا برای دستیابی به مؤفقیت ضروری است. بهبود مقاومت همواره مورد توجّه کاغذسازان بوده است. مواد افزاینده مقاومت ترکیبات مهم برای تولید مقوا هستند. این مواد نه تنها مقاومت مورد نیاز برای محصولات کاغذی را فراهم می‌کند، همچنین می‌تواند بهره‌وری ماشین و کارایی فرآیند را بهبود بخشد. انواع مختلفی از مواد شیمیایی افزاینده مقاومت از جمله پلی‌مرهای طبیعی(نشاسته، CMC) و رزین‌های مصنوعی (PAM, GPAM,) در بازار در دسترس هستند. انتخاب یک عامل کمک‌کننده به مقاومت به عوامل متعدّدی از جمله کارایی خود این افزودنی‌ها (یا تأثیر بر شاخص‌های کیفیتی خاص)، هزینه، تأثیر بر حرکت‌پذیری ماشین و بهره‌وری، سهولت استفاده، در دسترس بودن محصول و زمان ماندگاری بستگی دارد. در این مقاله، استفاده از سطوح بالای نشاسته آنیونی که با استفاده از ترکیب پک/ پلی‌دادمک تثبیت می‌شود و همچنین سایر افزودنی‌ها، برای بهبود مقاومت کاغذ و مقوا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی

مقاومت خشک، نشاسته، پلی‌وینیل‌آمین[4]، ملاس[5] و GPAM[6].

۱- مقدمه

بهبود مقاومت همواره برای کاغذسازان مورد توجّه بوده است. وقتی محصولات کاغذی و مقوا فقط از الیاف دست اول ساخته شده‌اند تنها راه بهبود مقاومت خشک از طریق عملکرد صحیح پالایش، شکل‌گیری، و بخش پرس خواهد بود. پالایش مناسب شکل‌گیری خوب، و پرس کاغذ؛ پایه و اساس تولید یک ورق محکم است [۵].

استفاده از الیاف بازیافتی در صنعت کاغذسازی به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی در بیش از ۲۰ سال گذشته ضرورت یافته است. افزایش نرخ بازیافت الیاف منجر به کاهش در مقاومت خمیر و مقاومت پیوند بین الیاف می‌شود. با هر بار چرخه خشک کردن و دوغاب‌سازی، انعطاف‌پذیری الیاف و نفوذپذیری به آب کم می‌شود. از این رو، به دلیل تجمع کم همی‌سلولزها در سطح الیاف پیوندیابی کاهش می‌یابد[٦].

الیاف بازیافتی یا الیاف دست دوم شامل همه مواد لیفی است که یک بار وارد یک فرآیند شده‌اند و برای استفاده در فرآیند تولید دیگر بازیابی می‌شوند. یک تفاوت عمده

۱- دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(* نویسنده مسئول: Akbari_moghadadase@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. (saraeyan@yahoo.com)

۳- دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. (yadollahi_rahim@ut.ac.ir)

4- Polyvinil amine
5- Molasses
6- Glyoxalated polyacrylamide

بین کاغذ باطله و الیاف دست اول این است که حداقل یک بار مورد استفاده واقع شده است و الیاف یکبار مسیر تولید را گذرانده‌اند. بازیافت الیاف سلولزی هم بر خواص محصول نهائی و هم بر عملکرد ماشین اثر می‌گذارد[۱].

در الیاف بازیافتی نسبت به الیاف دست اول تغییراتی روی می‌دهد که سبب تغییراتی در خواص مقاومتی کاغذهای حاصله می‌شود. به هنگام خشک شدن الیاف شیمیایی به علت گرمادهی شدید، مقاومت الیاف کاهش می‌یابد که علت آن کاهش تعداد پیوندهای بین لیفی به کمک مولکول‌های آب است.

مقاومت خشک کاغذ به چندین عامل بستگی دارد، از جمله:

۱- مقاومت و طول الیاف

۲- تعداد پیوندهای بین الیاف

۳- قدرت پیوندهای بین الیاف

٤- توزیع پیوندهای بین الیاف

بنابراین علت اصلی کاهش مقاومت، مقاومت پیوندها در واحد سطح نبوده بلکه کاهش تعداد پیوندها می‌باشد[۳]. در طی خشک شدن ساختار دیواره سلولی در الیاف بازیافتی تغییر می‌نماید که این تغییر سبب بسته شدن حفره‌ها یا منفذها می‌شود که از طریق آن‌ها آب به داخل سلول نفوذ می‌کند. در نتیجه مقدار آب درون سلولی الیاف و تورم‌پذیری آن‌ها کم می‌شود. به دلیل کمتر متورم شدن، انعطاف‌پذیری و انطباق‌پذیری الیاف کمتر می‌شود که نتیجه آن کاهش نواحی پیوندار و تولید کاغذ ضعیف است[۳].

۲- اثرات بازیافت و تکرار آن بر خواص مقاومتی خمیر و کاغذ بازیافتی

اکثر تحقیقات انجام گرفته بر روی اثرات بازیافت بر کیفیت خمیرهای مختلف بازیافتی، نتایج مشابهی را اثبات نموده‌اند. در اثر بازیافت مقاومت‌های به کشش و ترکیدن که به پیوند بین لیفی وابسته‌اند، به صورت خطی کاهش می‌یابد، البته این نتایج در مورد خمیرهای شیمیایی پالایش شده مصداق دارد[۵]. ارزیابی خواص فیزیکی خمیرهای شیمیایی بازیافتی(کرافت[1] کاج)، نشان داد که در اثر بازیافت مقاومت به کشش، ترکیدن و دانسیته[2] ظاهری کاهش می‌یابد، هم‌چنین مقدار کربوکسیل و شاخص نگه‌داری آب[3] (WRV) نیز کاهش می‌یابد[۷].

۲-۱- روش‌های بهبود ویژگی‌های خمیر و کاغذ بازیافتی

در تبدیل OCC به دوغاب کاغذسازی دو عملیات باعث بهبود مقاومت خمیر می‌شوند: حذف آلودگی‌ها و بهبود الیاف. حذف آلودگی‌ها یک عامل مهم در بهبود مقاومت خمیر می‌باشد. واحد عملیاتی حذف آلودگی‌ها، از مراحل کلیدی در فرآیند الیاف بازیافتی است. بهبود الیاف، اهمیت برجسته‌ای در افزایش خصوصیات فیزیکی[4] OCC بعد از حذف آلودگی‌ها دارد [۸]. روش‌های متعدّدی برای بازیابی پیوند از دست رفته الیاف بازیافت شده وجود دارد از جمله: پالایش، مخلوط‌سازی الیاف با الیاف بکر و جزء جزءسازی الیاف، افزودن مواد شیمیایی و تیمار شیمیایی[۵].

کارخانه‌ها با استفاده از الیاف بازیافتی به عنوان جزء اصلی و یا بخشی از فرنیش[5] خود باید روش‌های جدید و خلاقانه‌ای برای افزایش خصوصیات مقاومتی ورق نهایی بدون کاهش بهره‌وری پیدا کنند. تعداد زیادی افزودنی‌های پایانه تر و خشک سال‌ها برای کمک به بهبود مقاومت خشک مورد استفاده و بررسی قرار گرفته‌اند[۹].

۲-۲- افزودن مواد شیمیایی و تیمار شیمیایی

کاهش مقاومت فشاری یا کششی انواع مقواهای معمولی اولاً به دلیل شکست پیوندهای بین الیاف و ثانیاً شکست کمتر در خود الیاف می‌باشد. مواد افزودنی مقاومت خشک پلی‌مری در فضای بین سطوح والیاف

1- Kraft
2- Density
3- Water retention value
4- Old corrugated container
5- Furnish

برای افزایش سطح اتصال قرار گرفته و آن را پر می‌کنند. به عنوان مثال نشاسته کاتیونی[1] باعث افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوند یافته می‌گردد. هم‌چنین افزودن پلیمر آنیونی مانند کربوکسی متیل سلولز[2] CMC به دوغاب خمیر کرافت اندکی مقاومت‌ها را افزایش می‌دهد. افزایش مقاومت به هنگام استفاده از CMC در ورق‌های بکر و کاغذهای بازیافتی زمانی بیشتر می‌شود که الیاف با پلی‌الکترولیت کاتیونی مانند نشاسته کاتیونی تیمار شوند[۱۰].

قدرت پیوند بین الیاف و سطح پیوند(تعداد پیوندهای بین الیاف) به مقدار زیادی تحت تأثیر افزودنی‌های مقاومت خشک نیز می‌باشند. بیشتر پلی‌مرهای محلول در آب که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی[3] دارند می‌توانند به عنوان افزودنی‌های مقاومت خشک عمل کنند. افزودنی‌های مقاومت خشک عبارتند از: مشتقات نشاسته(۹۵ درصد)، صمغ(۲ درصد)، مواد سنتزی افزاینده مقاومت خشک(۲ درصد)، مواد دیگر مانند: نشاسته آنیونی یا نشاسته تغییر نیافته، مشتقات قابل حل سلولز(کربوکسی متیل سلولز)، رزین‌های مقاومت تر، پلی‌وینیل الکل[4] و لاتکس[5] ۱ درصد باقی‌مانده از افزودنی‌های مقاومت خشک هستند[٤].

مواد افزودنی مقاومت خشک نیازمند جذب مؤثر بر روی الیاف هستند و بایستی ویژگی‌های آب‌دوستی و وزن مولکولی زیاد داشته باشند بنابراین برای افزایش جذب نشاسته توسط الیاف بایستی ویژگی‌های آنیونی سطح الیاف، افزایش یابد. از آنجایی که نشاسته به مقادیر مختلفی بر روی مواد مختلف موجود در خمیر جذب می‌شود و جذب آن غیرقابل برگشت است و اینکه نشاسته جذب شده بر روی الیاف موجب بهبود مقاومت می‌شود، بنابراین انتخاب مناسب نقطه افزودن نشاسته که موجب حداکثر جذب آن بر روی الیاف شود بسیار مهم است[٤]. مارتن[6] ثابت کرده است که نگه‌داری نشاسته توسط الیاف ارتباط نزدیکی با مقدار کربوکسیل[7] آن‌ها دارد(به علت طبیعت آنیونی). هم‌چنین تراکم بار نشاسته و مقادیر مصرف آن نقش مهمی در جذب نشاسته دارد. بنابراین مقدار مصرف نشاسته و تراکم بار آن بایستی به نحوی باشد که حداکثر کارآیی حاصل شود. این موضوع در مورد دامنه گسترده‌ای از مقادیر مصرف نشاسته در کاغذسازی(۰/۲۵ تا ۲/۵ درصد) کاربرد دارد. به طوری که به کارگیری نشاسته به میزان ۱/۵ درصد، سبب ایجاد کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی مطلوب می‌گردد[۱۱]. مهم‌ترین عامل در ویژگی‌های کاغذهای بسته‌بندی مقابله با فشارهای حاصل از ترکیدن می‌باشد و مقاومت در برابر فشارهای کششی و شکست در طی تا شدن مکرّر در اولویت بعدی است. سفتی ورق معمولاً با افزایش پیوند بین الیاف افزایش می‌یابد. مگر اینکه ضخامت ورق کاهش زیادی داشته باشد. نشاسته به عنوان یک ماده چسبنده عمل نموده و بین بخش‌های موجود در ساختار کاغذ پیوند برقرار می‌کند و هم‌چنین ۵۰ درصد آن در صنعت به عنوان آهار سطحی به کار می‌رود[۱۲].

افزودن نشاسته باعث افزایش مقاومت و کاهش اندکی در ماتی و همچنین افزایش ثابت سطح پیونددار نسبی می‌گردد. مواد افزودنی باعث افزایش دانسیته نیز می‌شوند. کربوکسی متیل سلولز CMC می‌تواند در غیاب مواد افزودنی کاتیونی نیز به کار رود. CMC علاوه بر اینکه یک ماده پیوندیاب است به عنوان نرم‌کننده سطح الیاف نیز عمل می‌کند که در نتیجه باعث کاهش دلمه‌شدگی می‌گردد. این ماده می‌تواند پیوند هیدروژنی مؤثری را با سطوح الیاف ایجاد نماید[۱۳].

کربوکسی متیل سلولز یک پلی‌مر آنیونی قابل حل در آب است که از طریق جانشینی گروه‌های کربوکسی متیل در امتداد زنجیر سلولز به دست آمده است. با افزودن CMC، کاغذسازها توانستند مقدار سطح مواد افزودنی

1- Cationic starch
2- Carboxy methyl cellulose
3- Hydrogen
4- Poly venyl alchol
5- Latex
6- Marten
7- Carboxyl

پایانه تر را کاهش داده و بهبود کیفیت را به همراه بازده اقتصادی اعمال نمایند.

۲-۳- استفاده از نشاسته آنیونی تثبیت شده با پلی‌دادمک[1]/ پک

انواع متفاوتی از نشاسته برای افزایش مقاومت کاغذ در ماشین کاغذ مورد استفاده قرار گرفته است. در ابتدا نشاسته خنثی برای بهبود مقاومت استفاده شده؛ اما به دلیل اینکه این نوع از نشاسته تمایل کمی به الیاف سلولزی دارد، این منجر به افزایش بار BOD[2] در پساب شده است. معرفی نشاسته کاتیونی، منجر به بهبود چشمگیر مقاومت خشک و در نتیجه نشاسته کاتیونی به پرکاربردترین محصول برای بهبود مقاومت در صنعت کاغذ تبدیل شد.

جهت بهبود حداکثر مقاومت، نشاسته کاتیونی باید به استاک غلیظ جایی که این مواد برای چند دقیقه با ترکیبات فرنیش[3] واکنش دهند، اضافه شود. حداکثر مقدار مصرف نشاسته کاتیونی به حدود ۱/۵ درصد محدود شده است. نتایج مطالعه شده نشان می‌دهد که جذب، عمدتاً به وسیله بار الیاف و نرمه‌ها و DS[4] نشاسته کنترل می‌شود[۱٤].

استفاده بیش از حد از نشاسته کاتیونی با DS بالا می‌تواند در برخی موارد اثرات نامطلوبی بر تعادل بار در پایانه تر بگذارد و می‌تواند کارایی مواد کاتیونی دیگر یا مواد شیمیایی عملکردی را کاهش دهد.

یک روش بهبود مقاومت، استفاده از سطوح بالای نشاسته آنیونی است که سپس با استفاده از ترکیب پک/ پلی‌دادمک تثبیت می‌شود. پلی‌اکریل‌آمید[5](PAM) به عنوان رزین‌های مقاومت خشک توسعه یافته و به طور گسترده در بعضی کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. حداکثر مقاومت خشک معمولاً با ترکیبی از پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، آنیونی یا آمورف گاهی‌اوقات در ترکیب با نشاسته کاتیونی و یا آلوم[6] و تثبیت‌کننده‌ها به دست می‌آید.

نیازهای مشتریان به شرح زیر است:

- وزن‌های پایه کمتر با حفظ ویژگی‌های مقاومتی
- مقاومت بیشتر با وزن پایه مشابه
- جانشینی الیاف دست اول با الیاف بازیافتی
- کاهش در کیفیت کاغذ باطله
- نگرانی در کاهش سفتی/ سختی
- محدود کردن(حذف) پرس آهاردهی
- توانایی عمل در محیط‌های پایانه تر متغیر
- کاتیون‌خواهی زیاد
- کل مواد جامد حل شده زیاد[7] (TDS)
- هدایت زیاد آب سفید
- عدم تولید پساب کارخانه

۲-٤- مقایسه نشاسته‌های خنثی

نوع بهینه نشاسته خنثی مورد استفاده در این سامانه بسته به نوع کاربرد، عوامل فنی، تجاری و جغرافیایی آن‌ها متفاوت خواهد بود. بیشتر نشاسته تجاری از ذرّت، سیب‌زمینی، گندم، تاپیوکا[8] و ذرّت مومی‌شکل منشأ می‌گیرد. مطالعات انجام شده نشان داد که با ماندگاری برابر و درجه پخت نشاسته یکسان، تفاوت معنی‌داری در مقاومت خشک کاغذهای حاوی انواع مختلف نشاسته وجود ندارد. تمام انواع نشاسته را می‌توان به طور مؤفقیت‌آمیزی بسته به دسترس بودن آن، نوع دستگاه، کیفیت کاغذ و مقوای تولید شده و بهبود مقاومت خشک مورد نیاز استفاده قرار می‌گیرد(جدول ۱).

1- Poly-diallyldimethylammonium chloride
2- Biological oxygen demand
3- Furnish
4- Degree of substitution
5- Polyacrylamides
6- Alum
7- Total dissolved solids
8- Tapioca

جدول ۱- مشخصه مهم نشاسته و در دسترس جهانی برای مصرف در صنعت کاغذسازی

نوع نشاسته	اندازه ذرّه (میکرون)	درجه حرارت چسباندن	دسترس‌پذیری (تن/ سال)
ذرّت	۱۵	۷۵	۲
سیب‌زمینی	۳۵	٦۵	۲/٦
گندم	۱۵	۷۵	۱/۸
تاپیوکا	۲۰	۷۰	۱/۸
ذرّت مومی شکل	۱۵	۷۰	۰/٤

۲-۵- استفاده ترکیبی از پلی‌وینیل‌آمین کاتیونی و آنیونی جهت حل مشکلات مقاومت لایه میانی کنگره‌ای

مقوای کنگره‌ای(شکل ۱)، مقوای سبکی است که برای تهیهٔ کارتن‌های دارای رویهٔ میانی کنگره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجّه به این که این نوع کاغذ در میان دو لایهٔ کاغذ قرار می‌گیرد، لذا از لحاظ روشنی و سفیدی چندان اهمیت ندارد. از مهم‌ترین خواص این نوع مقواها، سفتی یا شقی زیاد و مقاومت در برابر خرد شدن و شکستگی زیاد نظیر مقاومت کنکورای لایه کنگره‌ای و مقاومت به خرد شدگی حلقه‌ای را می‌توان اشاره نمود. لایه کنگره‌ای (موج‌دار) میانی، سفتی مورد نیاز برای کارتن‌سازی را به مقوا می‌دهد. برای تهیه مقوای کنگره‌ای، خمیرهای نیمه شیمیایی چون سفتی خوبی دارند از بهترین خمیرها به شمار می‌روند، لذا بیش‌ترین مقدار[1] CMT مربوط به حالتی است که در آن از خمیر بازیافتی استفاده نشده است و کاغذ فقط از ۱۰۰ درصد خمیر NSSC تهیه شده است. خمیرهای NSSC به دلیل لیگنین زیاد از یک طرف و درصد همی سلولزهای زیاد از طرف دیگر سفتی زیادی دارند. در واقع در خمیرNSSC دست اول پهن‌برگان، قطر و ضخامت دیواره زیاد بوده که چون جهت اعمال نیرو عمود برطول الیاف است، لذا مقاومت کنکورای لایه کنگره‌ای بیش‌تری دارند[۱۲]. با افزایش مصرف خمیر بازیافتی مقدار مقاومت کنکورای لایه کنگره‌ای کاهش می‌یابد در نتیجه، یافتن راهکاری جهت جبران این افت مقاومت‌ها امری کاملاً ضروری است.

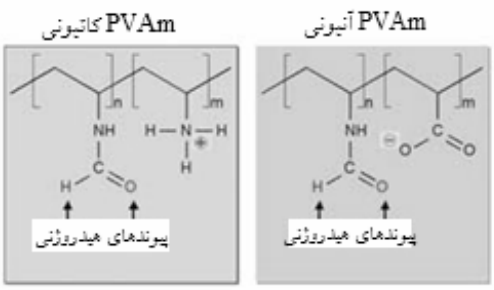
علاوه بر مقاومت کنکورای لایه میانی، مقاومت خردشدگی حلقه‌ای نیز با افزایش مصرف خمیر بازیافتی کاهش می‌یابد. آزمون خرد شدگی حلقه‌ای به مقاومت به فشار نیروی اعمال شده بر لبهٔ مقوا مربوط می‌شود و تا حدود زیادی متناسب با CMT می‌باشد. اهمیت این تست همانطور که می‌دانیم به آن خاطر زیاد مهم است که استحکام یا مقاومت به فشار لبه‌ای کاغذ کنگره‌ای یک عنصر اساسی در تعیین مقاومت به فشار دینامیک کارتن ساخته شده می‌باشد، زیرا کارتن ساخته شده در هنگام مصرف مکرراً در معرض فشارهای مختلف قرار می‌گیرد و نیروی به هم فشردگی[2] موجود در کاغذ از خود مقاومت نشان می‌دهد، لذا این خاصیت مقوای کنگره‌ای نظیر مقاومت کنکورای لایه کنگره‌ای یک مقیاس مهم از ماهیت وجودی مقوای کنگره‌ای می‌باشد و در کنترل فرآیند ساخت، در اندازه‌گیری و کنترل و کیفیت محصول نهایی مفید می‌باشد[۱۲].

شکل ۱- مقوای کنگره‌ای تک لایه

1- Corrugated medium test

2- Comperssion strength

در حال حاضر مقاومت مورد نیاز برای لایه میانی کنگره‌ای افزایش یافته؛ اما کیفیت کاغذ بازیافتی معمولاً کاهش یافته است. در عین حال کاغذسازان با افزایش تقاضا برای کاغذهای با وزن پایه کمتر روبرو هستند. هر دو روند نیازمند اجرای اقداماتی جهت جبران این کاهش مقاومت هستند. استفاده از ترکیبی از پلی‌وینیل‌آمین کاتیونی و آنیونی رویکردی برای حل مشکلات مقاومت است(شکل ۲).



شکل ۲- عوامل مقاومت خشک مصنوعی به عنوان جایگزینی مناسب برای نشاسته داخلی

۳- مشکلات استفاده از نشاسته داخلی به عنوان عامل مقاومت

برای کاغذهای بسته‌بندی در اروپا، پرس آهاردهی معمولاً به منظور افزایش مقاومت کاغذ به کار می‌رود. نشاسته سطحی در حال حاضر محبوب‌ترین عامل مقاومت به کارگرفته است. اگر این تیمار ناکافی باشد ممکن است نشاسته داخلی نیز مورد نیاز باشد. به عنوان یک قاعده، در سامانه سنتی نشاسته کاتیونی داخلی فقط می‌تواند در مقادیر ۱ – ۱/۵ درصد تجویز شود. غالباً، کاغذسازان برای حفظ عملکرد نشاسته داخلی بدون بار در طول دوره‌های زمانی طولانی دچار مشکل هستند.

۳-۱- عوامل مقاومت خشک مصنوعی – یک جایگزین قوی‌تر برای نشاسته کاتیونی داخلی

عوامل مقاومت خشک مصنوعی - پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی با وزن مولکولی متوسط – به عنوان یک جایگزین مناسب پیشنهاد می‌شود. به تازگی، طیف وسیعی از گزینه‌ها کوپلی‌مرهای کاتیونی و آنیونی بر پایه پلی‌وینیل-آمین(PVAm) گسترش یافته است.

در مقایسه با نشاسته، زنجیره پلی‌مر PVAm، در ارتباط با جرم مولکولی به مراتب انعطاف‌پذیرترند، و تعداد سایت‌های اتصال بیشتری ایجاد می‌کند. این مزیت همچنین در نسبت عملکرد نشاسته داخلی کاتیونی به عامل مقاومت خشک مصنوعی را منعکس می‌کند. به عبارت دیگر، عوامل مقاومت خشک مصنوعی، به طور قابل توجّهی بهتر از نشاسته داخلی کاتیونی است(شکل ۳). اگر مقدار مصرف عامل مقاومت خشک کمتر از ۰/۵ درصد باشد، ۱۰۰ درصد از پلی‌مر جذب شده در خمیر بازیافتی تا حد زیادی منجر به افزایش خطی در مقدار مقاومت است.

بعد از افزودن ۰/۵ درصد از عامل مقاومت خشک کاتیونی بر پایه PVAm، PVAm آنیونی به استاک[1] اضافه می‌شود. تا حداکثر مقدار مصرف ۰/۷ درصد، به لحاظ کمی جذب شده به طور کلی مقدار مصرف کل پلی‌مر(کاتیونی به علاوه آنیونی) در این نقطه به ۱/۲ درصد می‌رسد. بیشتر پلی‌مر آنیونی جذب شده، بیشتر پتانسیل زتا از آن در ابتدا مثبت به مقادیر منفی است. با این حال در حضور حامل کاتیونی، پلی‌وینیل‌آمین آنیونی علاوه بر این، بر روی الیاف ماندگار شده است. این توضیح می‌دهد که چرا این ترکیب عوامل مقاومت خشک کاتیونی و آنیونی سامانه حامل نامیده می‌شود. از دیگر افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ می‌توان به ترکیبات قندی از جمله ملاس اشاره کرد.

۳-۲- مزیت استفاده از ترکیب پلی‌وینیل‌آمین کاتیونی و آنیونی

- ۵۰ درصد کاهش در مصرف نشاسته سطحی و ۴۰ درصد کاهش در مصرف عوامل آهاردهی مصنوعی
- بهبود کیفیت و بهره‌وری تولید فلوتینگ
- حرکت‌پذیری پایدار ماشین کاغذ

1- Stock

- ۱۰۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف عوامل کمک ماندگاری و نشاسته کاتیونی داخلی
- تثبیت زباله‌های آنیونی و نیاز به تمیزسازی کمتر
- صرفه‌جویی اقتصادی
- رسیدن به سطح SCT[1] مورد نظر

شکل ۳- استفاده ترکیبی از پلی‌وینیل‌آمین کاتیونی و آنیونی در تولید لایه میانی کنگره‌ای

از دیگر افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ می‌توان به ترکیبات قندی از جمله ملاس اشاره کرد.

٤- استفاده از ملاس جهت بهبود مقاومت خشک مقوای کنگره‌ای کهنه(OCC)

٤-١- تعریف ملاس

ملاس یکی از محصولات جانبی مهم حاصل از فرآیند عصاره‌گیری از قند است، در واقع مایع خارج شده از نیشکر به وسیله فرآیند گریز از مرکز در آخرین مرحله عصاره‌گیری از نیشکر پس از آنکه دیگر امکان خروج قند بیشتری با استفاده از روش‌های معمول و متداول کارخانه‌ای وجود ندارد را ملاس گویند.

٤-٢- مزایای ملاس به عنوان یک افزودنی در کاغذسازی

۱- به عنوان محصول جانبی صنایع قند ارزان و فراوان است.

۲- شامل ٤٤-۳۲ درصد ساکاروز[2]، ۱۵-۱۰ درصد گلوکز و فروکتوز[3] و ۵-۳ درصد نشاسته می‌باشد. ساکاروز موجود در ملاس علاوه بر نقش کمک نگه‌دارنده برای پر کننده‌های معدنی دو نقش مهم در بازیافت کاغذ ایفا می‌کند:

۳- استخوانی‌شدن[4] فرآیندی است که در طی خشک شدن کاغذ اتفاق می‌افتد که به موجب آن جزء اصلی سازنده فیبرها[5] (دیواره‌های سلولی) در هم ریخته شده و طی فرآیند بازیافت بخشی از گروه‌های بین میکروفیبریل‌ها با ایجاد پیوندهای برگشت‌ناپذیر بین خود موجب کاهش میزان آبگیری الیاف شده و الیاف توانایی نگه‌داری آب را از دست می‌دهند در نتیجه به علت کاهش سطح پیوند، ویژگی‌های اصلی کاغذ ساخته شده در اثر بازیافت نمی‌تواند به حالت اول بازگردد. این پدیده به شدّت در چرخه‌های بعدی بازیافت نمود پیدا کرده و باعث افت شدید مقاومت‌ها می‌شود. ساکاروز موجود در ملاس به واسطه اندازه کوچک (۰/۸ نانومتری) می‌تواند در میکرو منافذ و نانو منافذ موجود در دیواره‌های الیاف سلولزی نفوذ کرده و به صورت یک فاصله‌دهنده عمل کند به عبارتی مولکول‌های ساکاروز از طریق عمل جداکنندگی خود از استخوانی‌شدن سلولز جلوگیری می‌کنند. سپس هنگامی که ساکاروز به وسیله فروپاشی کاغذ بازیافتی در آب طی فرآیند خمیرسازی مجدّد از آن خارج شد لایه ها مجدداً ازهم جدا شده ومیکرو و نانو منافذ موجود در ساختار دیواره سلولی از نو به وجود می‌آیند.

1- Short-span compression test

2- Sucrose
3- Fructose
4- Hornification
5- Fiber

٤- با قرار گرفتن ساکاروز در منافذ بین الیاف سلولزی[1]، دیواره‌های سلولی قرار گرفته در دو سمت ساکاروز طی خشک شدن تحت فشار و تنش قرار گرفته که تنش ایجاد شده سبب بهبود پالایش‌پذیری الیاف و در نتیجه افزایش مقاومت کاغذ حاصله می‌شود که این پدیده را ماندگاری ترکیبی[2] می‌گویند.

۵- این دو نقش باعث می‌شود توانایی ماندگاری آب (WRV)[3] درخمیر کاغذ بازیافتی و پالایش‌پذیری و سطح پیوند الیاف بهبود یافته و در نهایت مقاومت کاغذ تولیدی بیشتر گردد. از طرفی نشاسته موجود در ملاس(هر چند در مقادیر بسیار جزئی) نیز می‌تواند در افزایش مقاومت تأثیر داشته باشد.

فهمی(۲۰۰۷) با استفاده از ملاس به عنوان یک ماده افزودنی آلی برای الیاف سلولزی، موفق به تولید نانوکامپوزیت کاغذ با مقاومت تر و خشک زیاد و جذب آب زیاد شد. به طوری‌که شاخص جذب آب ورقه کاغذ و طول شکست دارای ملاس درغلظت ملاس ۲۰ درصد به ترتیب به حداکثر ۱۱۳/۱۸ و ٤۷/۲۹ درصد رسید [۱۵].

فهمی و مبارک(۲۰۰۸) و فهمی و همکاران (۲۰۰٦) بیان داشتند که بوسیله ترکیب الیاف سلولز متورم شده با آب با افزودنی نانو ملاس(دارای ساکاروز و گلوکز[4])، می‌توان مقاومت کاغذ و جذب آب را افزایش داد [۱٦ و ۱۷].

فهمی و مبارک (۲۰۰۸) برای غلبه بر مشکل نهایی کاهش مقاومت کاغذ در اثر استفاده از پرکننده‌های معدنی و به منظور افزایش مقاومت کاغذ ساکاروز را در ساخت کاغذ به کار بردند [۱۸].

فهمی و مبارک (۲۰۰۹) و فهمی(۲۰۰۷) بیان داشتند که از ترکیب الیاف سلولزی با ملاس و کائولین می‌توان کاغذی تولید کرد که نه تنها اثر منفی پرکننده کائولین را در مقاومت کاغذ خنثی کرد بلکه همچنین باعث افزایش ٥٥/٦٤ درصد در طول شکست نانو کامپوزیت کاغذ حاصله شد [۱٦ و ۱۹].

فهمی و مبارک (۲۰۰۹) بیان داشتند: ساکارز موجود در ملاس می‌تواند به عنوان یک کمک نگه‌دارنده برای پرکننده معدنی عمل کند. زیرا در هنگام شکل‌گیری ورقه کاغذ، حضور دی‌مرهای ساکارز در بین خلل و فرج الیاف مجاور همانند یک فضا دهنده عمل می‌کند و مانع از فروریختگی الیاف می‌شود. در نتیجه شبکه فضایی متورم‌تر و بسته‌تری را تشکیل می‌دهد و نقش مانعی بر سر راه خروج مواد پرکننده در هنگام شکل گیری ورق کاغذ را بازی کرده و باعث افزایش ماندگاری این مواد می‌گردد[۱٦].

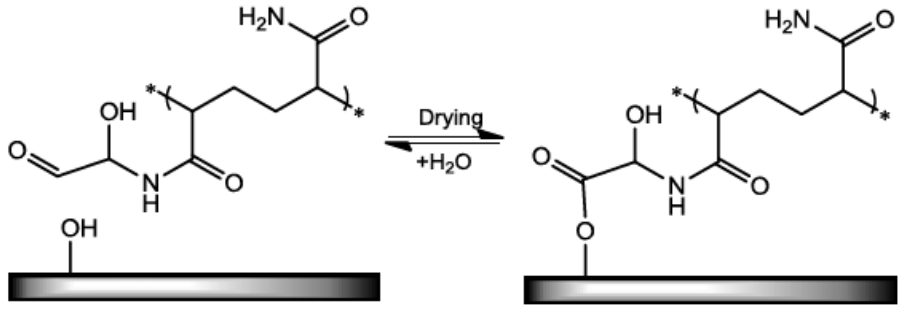
۵- گلی‌اکسالات پلی‌اکریل‌آمید (GPAM)

گلی‌اکسالات پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی(GPAM) یک رزین افزاینده مقاومت خشک شناخته شده است. GPAM یک پلی‌مر واکنش‌پذیر است که می‌تواند با سلولز پیوند کوالانسی برقرار کند که در(شکل ٤) نشان داده شده است[۱٤].

واکنش GPAM با سلولز، در آب برگشت‌پذیر است و هیچ تأثیری بر خمیرسازی مجدّد ندارد. طراحی مولکول GPAM برای کنترل سرعت فروپاشی مقاومت تر تغییر یابد. سرعت فروپاشی کمتر در مقوا و حوله قابل قبول‌تر است در حالی‌که فروپاشی سریع‌تر برای تولید کاغذ توالت مورد نیاز است که باید به آسانی در دمای اتاق در آب پراکنده شود.

برخلاف نشاسته، رزین GPAM به صورت محلول‌های حاوی ۸-۱۰ درصد مواد جامد عرضه می‌شوند و می‌توانند مستقیماً به جریان خمیر کاغذ به وسیله یک سامانه با پمپ ارزان تجویز شود. همچنین، رزین‌های GPAM در معرض فعالیت‌های بیولوژیکی قرار ندارند. شیمی GPAM اگر pH زیر ۷ و سطح سولفیت زیر ۵ mg/L باشد، کارآمدتر است[۲۰ و ۲۱].

1- Cellulose
2- Incorporation Beating
3- Water retention value
4- Glucose



شکل ٤- واکنش برگشت‌پذیر بین GPAM و سلولز

٦- نتیجه‌گیری

اهمیت بازیافت کاغذ در صنایع کاغذسازی به دلایل مختلف از جمله: کمبود منابع اولیه چوبی در کنار افزایش روزافزون تقاضای فرآورده‌های کاغذ و مقوا، لحاظ نمودن جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و غیره می‌باشد. متأسفانه بازیافت علی‌رغم مزیت‌های اقتصادی و زیست محیطی، با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی همراه است. در طی ۲ دهه گذشته، نتایج مطالعات بنیادی در زمینه پتانسیل کاغذسازی از الیاف بازیافتی، کاهش خواص الیاف را به هنگام بازیافت نشان دادند. مشکل اصلی، خمیر بازیافتی OCC و کاهش ویژگی‌های مقاومتی است. روش‌های متعدّدی برای بازیابی پیوند از دست رفته الیاف بازیافت شده وجود دارد که یکی از این روش‌ها، افزودن مواد شیمیایی و تیمار شیمیایی است؛ انتخاب یک عامل کمک‌کننده به مقاومت به عوامل متعدّدی از جمله کارایی خود این افزودنی‌ها (یا تأثیر بر شاخص‌های کیفیتی خاص)، هزینه، تأثیر بر حرکت‌پذیری ماشین و بهره‌وری، سهولت استفاده، در دسترس بودن محصول و زمان ماندگاری بستگی دارد. به عنوان مثال، نشاسته کاتیونی[1] باعث افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوند یافته می‌گردد؛ اما استفاده بیش از حد از نشاسته کاتیونی با DS بالا می‌تواند در برخی موارد، اثرات نامطلوبی بر تعادل بار در پایانه تر بگذارد و می‌تواند کارایی مواد کاتیونی دیگر یا مواد شیمیایی عملکردی را کاهش دهد. یک روش بهبود مقاومت، استفاده از سطوح بالای نشاسته آنیونی است که سپس با استفاده از ترکیب پک/ پلی‌دادمک تثبیت می‌شود. همچنین مقاومت مورد نیاز برای لایه میانی کنگره‌ای افزایش یافته؛ اما کیفیت کاغذ بازیافتی معمولاً کاهش پیدا می‌کند. در عین حال کاغذسازان با افزایش تقاضا برای کاغذهای با وزن پایه کم‌تر روبرو هستند. هر دو روند نیازمند اجرای اقداماتی جهت جبران این کاهش مقاومت هستند. استفاده از ترکیبی از پلی‌وینیل‌آمین کاتیونی و آنیونی، می‌تواند رویکردی برای حل مشکلات مقاومت باشد.

1- Cationic starch

٧- منابع

١. خلیلی ،ع ،١٣٨٧، «بررسی تأثیر اختلاط خمیر بازیافتی کارتن و روزنامه بر ویژگی‌های کاغذ کرافت چوکا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ١٠١ صفحه.

٢. لتیباری،ا.ج.خسروانی،ا. رحمانی نیا،م. ١٣٨٦. فنّاوری بازیافت کاغذ (ترجمه). مک کینی،آر.دبلیو.جی.(مولف).آرویچ، ٥٤٠ صفحه.

۳. میرشکرایی، ا. ۱۳۸۰، «راهنمای بازیافت کاغذهای باطله(تألیف کیت کتی، دیوید گست)». انتشارات آییژ، تهران، ۱٤۰ صفحه.

٤. همزه ،ی رستم پور هفتخوانی ،۱، ۱۳۸۷. «اصول شیمی کاغذسازی»، انتشارات دانشگاه تهران.٤۲٤ صفحه.

5. Misman, M., Wan Alwi, SH.R., and Manam, Z.A. 2008, Stale of the art for paper recycling, International conference on science and technology (ICSTIL). University technology MARA, pulau pinang, Malaysia.

6. Handbook for pulp and paper technologists, 210 – 211.

7. Wistatr, N., and Young, R.A. 1999, Properties and treatments of pulps from recycled paper, Part I. Physical and chemical properties of pulps. Cellulose 6: 291-324.

8. Defoe, R. J. 1993, "Optimal refining conditions for development of OCC pulp properties", Tappi journal. 76(2): 157-161.

9. Szaymanski, M., and Doiron, B., 2002., Novel dry strength system for paper and paperboard,. 86th Annual meeting paptac.

10. Hubbe, M.A., Venditti, R.A., Barbour, R.L., and Zhang, M. 2003. Changes to unbleached kraft fibers due to drying and recycling. Paper recycling. 12(3): 11-20. US Patent No 5876563.

11. Ekhtera, M. H., Rezayati charani, P., Ramezani ,O., Azadfallah, M. 2008. Effects of poly-aluminum chloride, starch, alum, and rosin on the rosin sizing, strength, and microscopic appearance of paper prepared from old corrugated container(occ) pulp. Bioresources technology, 4(2): 291-318 http://ncsu.edu/bioresources.

12. Heermann, M., S. Welter, and M. A. Hubbe. 2006. Effect of high treatment levels in a dry- strength additive: program based on deposition of polyelectrolyte complexes: How much glue is too much?. Tappi journal 5(6): 9-14.

13. Hubbe, M. A. 2006. Bonding between cellulo fibers. Bioresources technology.1(2):281-318.

14. Wagberg, L & Bjorklund, M. 1994., Adsorption of cationic patato Starch on cellulosic fibres, SCA research, Sundsvall. 10.3183/NPPRJ-1993-08-04-p399-404.

15. Fahmy.T.Y.A. 2007. "Introducing molassesas a new additive in paper making, TAPPI", journal. 6(8),23.

16. Fahmy, T. Y. A., Mobarak, F., Fahmy, Y., Fadl, M. H., and El-sakhawy, M. 2006, Nanocomposites from natural cellulose fiber incorporated with sucrose, Wood science and technology, 40:1:77-86.

17. Fahmy. T.Y.A. and Mobarak. F. 2008a, "Vaccination of biological cellulose fibers with glucose A gateway to novel nanocomposites", International journal of biological. macromolecules. 42(1). Int J Biol Macromol. 1;42(1):52-4.

18. Fahmy. T.Y.A. Mobarak. F. 2008b. Nanocomposites from natural cellulose, Fibers filled with Kaolin in presenceof sucrose. Carbohydrate polymers. 72(4),75.

19. Fahmy, T. Y. A., Mobarak, F. 2009, Advanced nano-based manipulations of molasses in the cellulose and paper discipline: Introducing a master cheap environmentally safe retention aid and strength promoter in paper making, Carbohydrate polymer, 77,316-319.

20. Wet- and dry-strength additives – application, retention and performance, G. G. 1999. Spence (Ed.), TAPPI Press. 219-227.

21. Wet strength resins and their applications, L.L. 1994, Chan (Ed.), TAPPI Press. 136- 144.

آدرس نویسنده

گلستان- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- دانشکده مهندسی چوب و کاغذ- گروه صنایع خمیر و کاغذ.