

بررسی عملکرد نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی و گندم در بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه

❖ **سیده نجمه موسوی**؛ کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
❖ **نورالدین نظرزاد**؛ استادیار گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
❖ **سید مجید ذبیح‌زاده**؛ دانشیار گروه خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

چکیده:

بازیافت کاغذ با وجود مزیت‌ها و پتانسیل‌ها با کاهش ویژگی‌های کیفیتی همراه است. این تحقیق به منظور استفاده بهینه از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه در بازیافت کاغذ و بهبود کیفیت کاغذهای بازیافتی انجام گرفت. افزودن نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی، موجب احیای پیوندهای ازدست‌رفته خمیر کاغذ می‌شود و در نتیجه خواص مقاومتی کاغذهای ساخته شده را تا حد خمیر کاغذ بکر ارتقا می‌دهد. نشاسته‌ها با توجه به منبع استخراجی‌شان آثار متفاوتی دارند. در این بررسی، از نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی و گندم، هر یک در ۴ سطح ۰، ۰/۵، ۱، و ۱/۵ درصد، به همراه ۰/۴ درصد آلوم به‌عنوان خنثی‌کننده اشغال‌های آنیونی استفاده گردید. کاغذ دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۰ گرم بر متر مربع ساخته و ویژگی‌های مقاومتی آن اندازه‌گیری شد. میزان جذب دو نوع نشاسته بر روی خمیر کاغذ نیز با استفاده از روش اسید-فنول محاسبه گردید. نتایج مشخص کرد که مصرف ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی و ۱ درصد نشاسته گندم تأثیر بهینه‌ای بر افزایش مقاومت کاغذهای حاصله داشته است. در مقایسه بین دو نوع نشاسته سیب‌زمینی و نشاسته گندم نیز نشاسته گندم عملکرد بهتری داشته است. نمودار جذب دو نشاسته نیز نشان داد که نشاسته سیب‌زمینی جذب و ماندگاری بیشتری بر روی خمیر کاغذ داشته است.

واژگان کلیدی: بازیافت، جذب نشاسته، شیمی پایانه تر، کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC)، نشاسته کاتیونی.

مقدمه

متفاوت‌اند؛ طوری که رفتار آن‌ها را در کاغذسازی متمایز می‌کند [۸]. در تحقیقی که بر روی انواع نشاسته بر تقویت ماندگاری مواد موجود در سیستم کاغذسازی انجام گرفت، این نتیجه به دست آمد که نشاسته کاتیونی سیبزمینی عملکرد مطلوب‌تری در کاغذسازی قلیایی در ارتباط با بهبود آب‌گیری، ماندگاری، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، و آهارزنی داشته است [۹]. این نوع نشاسته می‌تواند در حین فرایند دلمه‌شدگی به عنوان ایجادکننده پل بین الیاف عمل کند. برای بهبود مقاومت محصول، وزن مولکولی زیاد نشاسته نیز پیشنهاد شده است. گرانول‌های نشاسته در حین پخت از هم پاشیده و به اجزای خود، یعنی آمیلوز و آمیلوپکتین، تبدیل می‌شوند. جذب واحدهای تشکیل‌دهنده نشاسته کاتیونی بر روی سلولز نیز متفاوت است [۱۰]. جذب اولیه توسط آمیلوز کاتیونی انجام شد و احتمالاً روی حفره‌های طبیعی موجود در سلولز قرار می‌گیرد. آمیلوز به دلیل ساختار خطی و کوچک در حفره‌ها و منافذ موجود در دیواره سلولز نفوذ می‌کند؛ درحالی‌که آمیلوپکتین ساختاری شاخه‌دار دارد و روی سطوح الیاف می‌ماند و اتصال بین الیاف را بهبود می‌بخشد. با توجه به روند رو به رشد تولید کاغذ با استفاده از کاغذهای بازیافتی OCC در کشور و اینکه نشاسته کاتیونی به لحاظ قیمت مناسب‌ترین ماده در این بخش است، انتخاب نشاسته‌ای که با جذب بیشتر و مؤثرتر روی الیاف، خمیر کاغذ مقاوم‌تری را تولید کند، ضروری به نظر می‌رسد. در این بررسی اثر سیستم ترکیبی آلوم با دو نوع نشاسته کاتیونی سیبزمینی و گندم ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) به مدت ۲۴ ساعت در آب شهر خیسانده شدند و سپس الیاف آن با دستگاه کوبنده الیاف^۲ مطابق با استاندارد T ۲۰۰ sp-۰۱ جداسازی و پالایش شد تا درجه روانی خمیر براساس استاندارد T ۲۲۷ T om-۰۴، به CSF ۳۰۰ رسید. به‌منظور

در صنعت بازیافت کاغذ، کارتن‌های کنگره‌ای کهنه^۱ اهمیت خاصی دارند و به بازیافت آن‌ها، به‌ویژه در تهیه کاغذ و مقوای بسته‌بندی، توجه می‌شود. از طرفی، افت کیفیت‌های فیزیکی و مکانیکی در خمیرهای بازیافتی سبب می‌شود که کاغذ حاصله ویژگی‌های ضعیف‌تری داشته باشد. از آنجا که مصرف الیاف کاغذهای بازیافتی محدودیت‌هایی را در پی دارد، افزودن مواد شیمیایی ممکن است ابزار مناسبی برای غلبه بر این محدودیت‌ها باشد [۱، ۲]. نشاسته کاتیونی از جمله افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ است که برای دستیابی به مقاومت بیشتر و ماندگاری بهتر نرمه‌ها در بازیافت کاغذ استفاده می‌شود و در افزایش مقاومت‌های پاره‌شدن و ترکیدن کاغذهای بازیافتی مؤثر است. وجود آشغال‌های آنیونی در سوسپانسیون خمیر کاغذ بازیافتی به دلیل کاتیون‌خواهی زیاد، مقدار مصرف نشاسته کاتیونی را افزایش می‌دهد. بنابراین، از آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید استفاده می‌شود که با خاصیت کاتیونی و دانسیته بار زیاد خود موجب خنثی‌شدن آشغال‌های آنیونی و مواد مزاحم می‌شوند و اثرگذاری نشاسته را بیشتر می‌کنند [۳، ۴، ۵]. در مطالعه اثر سطوح مختلف آلوم و نشاسته بر روی کاغذهای ساخته‌شده از خمیر OCC، فاکتورهای درجه روانی، طول شکست، شاخص‌های پارگی، و ترکیدگی بررسی و این نتیجه حاصل شد که به‌کارگیری ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۰/۴ درصد آلوم، سبب ایجاد کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی مطلوب می‌شود [۶]. عوامل زیادی در میزان جذب نشاسته در پایانه تر نقش دارند که علاوه بر درصد خشکی خمیر، پالایش و زمان اختلاط، نوع گیاهی که نشاسته از آن استخراج و تولید می‌شود نیز در جذب نشاسته مؤثر است [۷]. نشاسته‌ها اغلب در دانه (ذرت و گندم) و ریشه و غده (تاپوکا و سیبزمینی) گیاهان به مقدار زیاد وجود دارند و از لحاظ ساختار و مقدار ترکیبات تشکیل‌دهنده

1. Old Corrugated Containers (OCC)

2. Valley beater

تعیین جذب نشاسته کاتیونی

روش‌هایی نظیر روش اسیدفنول و روش آنزیمی برای تعیین میزان جذب نشاسته‌های اصلاح‌شده و کاتیونی استفاده می‌شوند [۱۱]. در این تحقیق از روش اسید سولفوریک-فنول برای تعیین کربوهیدرات کل (آمیروز و آمیلوپکتین) استفاده شد. معادل یک گرم خمیر خشک در یک لیتر آب دیونیزه با استفاده از هم‌زن برقی با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه از هم باز شد. پخت نشاسته مانند مراحل قبل انجام شد و در سطوح ۰، ۰/۵، ۱، و ۱/۵ درصد به خمیر کاغذ اضافه گردید. سوسپانسیون حاصل از قیف بوختر با استفاده از پمپ خلأ عبور داده شد. آب زیر صافی جدا و به مدت ۱۰ دقیقه با ۵۰۰۰ دور بر دقیقه در سانتریفیوژ قرار داده شد تا ناخالصی‌های آن جدا شود. سپس ۲ میلی‌لیتر از سوسپانسیون سانتریفیوژ شده برداشته و با استفاده از نمونه‌بردار آزمایشگاهی مقدار ۱۲۵ میکرولیتر فنول ۸۰ درصد به آن اضافه شد. سپس، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۵ درصد هم به آن اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. محلول حاصل به سل اسپکتروفتومتر منتقل و جذب آن در ۴۹۰ نانومتر خوانده شد. جذب آب زیر صافی قبل از اضافه‌شدن نشاسته برای تعیین بلانک نیز انجام شد [۱۲]. همچنین، برای رسم منحنی تنظیم (کالیبراسیون) جذب نشاسته، طبق استاندارد T ۹۱۴ mo-۴۰ و روش کرنی و موثر محلول‌های با مقدار نشاسته ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۲ گرم در لیتر ساخته و با اسیدفنول تیمار شدند. سپس جذب آن خوانده شد [۱۳].

نتایج

با توجه به افزودن آلوم به‌عنوان ماده خنثی‌کننده آشغال‌های آنیونی موجود در خمیر بازیافتی، سیستمی نسبتاً تمیز با قابلیت هدایت الکتریکی پایین به دست می‌آید که می‌توان گفت بخش زیادی از نشاسته جذب

حفظ نرمة‌ها، آب‌گیری با الک ۲۰۰ و ۴۰۰ مش صورت گرفت. نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی از شرکت کاغذ آوبه^۱ و نشاسته کاتیونی گندم از شرکت هنزک شیمی^۲ تهیه شد. سپس برای پخت آن‌ها در غلظت ۰/۲ درصد به ترتیب از دماهای ۶۵ و ۷۰ درجه سلسیوس برای نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی و گندم استفاده شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. آلوم به‌عنوان جمع‌کننده آشغال‌های آنیونی به میزان ۰/۴ درصد و با غلظت ۰/۲ درصد به‌صورت ثابت به همه تیمارها اضافه شد.

برای هر تیمار به‌طور جداگانه سوسپانسیون با درصد خشکی ۰/۵ درصد آماده شد. هر یک از این سوسپانسیون‌ها به مدت ۶ دقیقه با دستگاه بازکننده الیاف با ۷۰۰ دور بر دقیقه^۳ هم زده شد. سپس آلوم اضافه شد، و بعد از آن نشاسته در ۴ سطح ۰، ۰/۵، ۱، و ۱/۵ درصد برای هر دو نوع نشاسته به سوسپانسیون اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه با قدرت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد. فاصله زمانی اضافه‌کردن افزودنی‌ها و زمان ماند آن بر روی سوسپانسیون برای همه تیمارها یکسان اعمال شد. pH سیستم در طول آزمایش در محدوده ۷-۵ بود. کاغذهای دست‌ساز ۱۲۰ گرم بر متر مربع مطابق با استاندارد T ۲۰۵ sp-۰۲ ساخته شد و در نهایت، اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز طبق آیین‌نامه TAPPI صورت گرفت. جرم پایه کاغذ بر طبق استاندارد شماره T ۴۱۰ om-۹۸، مقاومت در برابر پاره‌شدن بر طبق استاندارد شماره T ۴۱۴ om-۹۸، مقاومت در برابر کشش بر طبق استاندارد شماره T ۴۰۴ om-۹۸، و مقاومت در برابر ترکیدن بر طبق استاندارد شماره T ۴۰۳ om-۹۷ انجام گرفت. در این تحقیق از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده شد و گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن به کمک نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت.

1. Avebe paper
2. Henzek shimi
3. Rpm

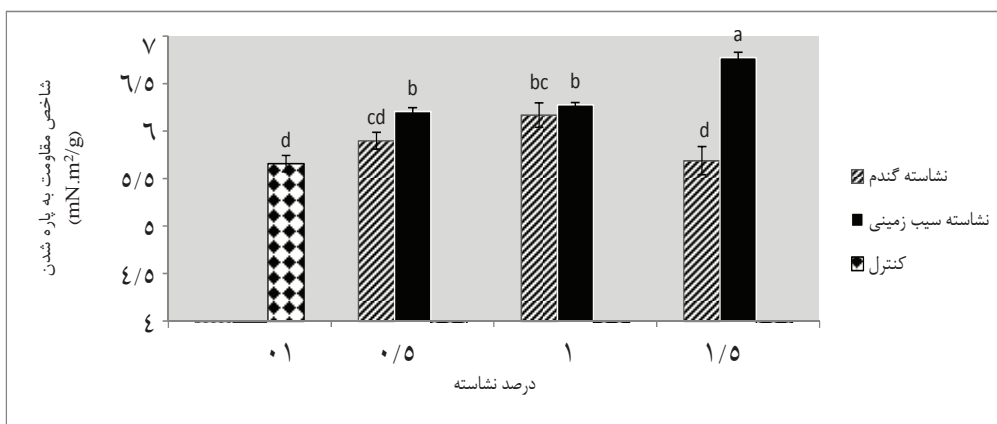
سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. گروه‌بندی دانکن میانگین مقادیر مقاومت به ترکیدن تیمارهای مختلف را در ۵ گروه قرار داده است. در مورد هر دو نوع نشاسته، افزایش مصرف نشاسته سبب بهبود مقاومت به ترکیدن شده است.

کاهش مقاومت فشاری یا کششی مقواهای بازیافتی به سبب شکست پیوندهای بین الیاف است. مواد افزودنی مقاومت خشک در فضای بین سطوح الیاف برای افزایش سطح اتصال قرار می‌گیرند و آن را پر می‌کنند. نشاسته کاتیونی موجب افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوندیافته می‌شود و شاخص مقاومت به کشش را بهبود می‌بخشد. نتایج عملکرد نشاسته در این تحقیق با نتایج هیوب و همکاران نیز مطابقت دارد [۱۴]. میزان بهینه برای نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی و گندم به ترتیب ۱/۵ و ۱ درصد مشخص شد. در مقایسه دو نشاسته نیز مصرف نشاسته سیب‌زمینی در تمام سطوح مصرف، مقاومت به کشش را بیشتر افزایش داده است.

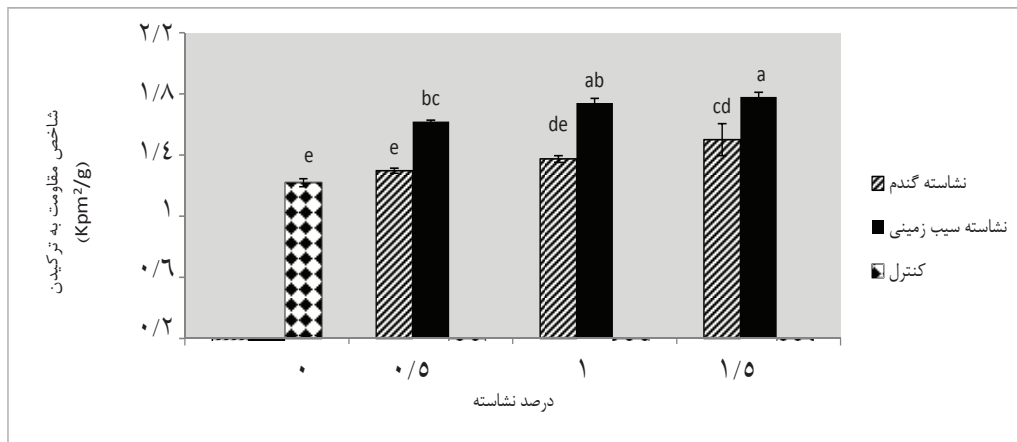
در شکل ۴ مقایسه طول پارگی نمونه‌های تیمار شده با نشاسته گندم و سیب‌زمینی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود تغییرات این مقاومت نیز در مقابل تیمار نشاسته‌ها همانند مقاومت به کشش می‌باشد، یعنی با مصرف نشاسته سیب‌زمینی این مقاومت تا ۱/۵ درصد نیز افزایش یافته است؛

الیاف و نرمه‌ها می‌شود و هدررفت آن به کمترین میزان می‌رسد. نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف نشاسته سیب‌زمینی و گندم بر ویژگی‌های مقاومتی و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، در شکل‌های ۴ تا ۸ نشان داده شده است. مقاومت به پاره‌شدن در ارزیابی استحکام کاغذ و مقوایی، که در مراحل تبدیلی در حین مصرف در معرض تنش‌های پاره‌شدن قرار می‌گیرد، اهمیت خاصی دارد. عوامل مؤثر بر پاره‌شدن کاغذ عبارتند از طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره‌شدن کاغذ دخالت دارند و تعداد اتصالات بین الیاف و مقاومت اتصالات. نشاسته کاتیونی تعداد اتصالات و مقاومت اتصالات را افزایش و بدین ترتیب ویژگی‌های مقاومتی را (شکل ۱) می‌افزاید. بهترین تیمار از لحاظ مقاومت به پارگی، به مصرف ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی و ۱ درصد نشاسته گندم مربوط است. از نظر آزمون دانکن، مقادیر مقاومت به پاره‌شدن بین مصرف ۰/۵ و ۱ درصد نشاسته سیب‌زمینی، در یک گروه قرار گرفته است. همچنین، در سطح ۱ درصد مصرف نشاسته، اختلاف معنی‌داری بین نشاسته سیب‌زمینی و نشاسته گندم دیده نشده است.

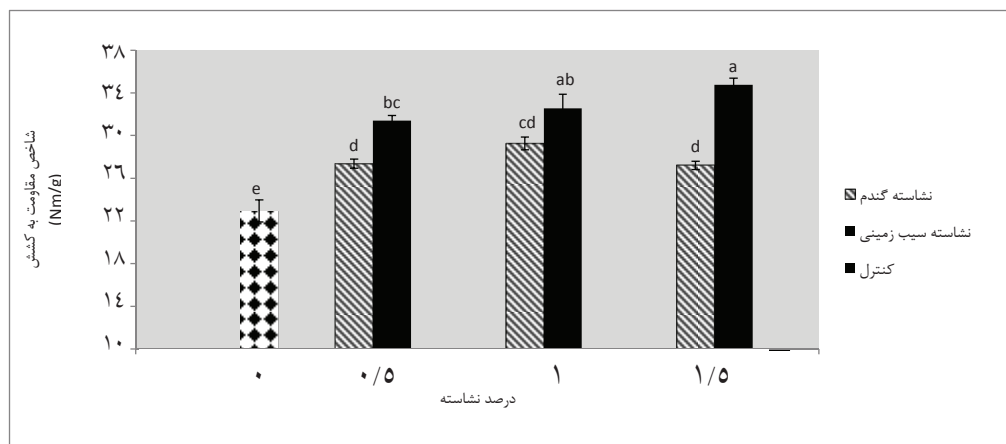
شاخص مقاومت به ترکیدن در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل می‌بینیم مصرف ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی بیشترین مقاومت را نشان می‌دهد. اختلاف مقادیر میانگین‌ها از نظر آماری در



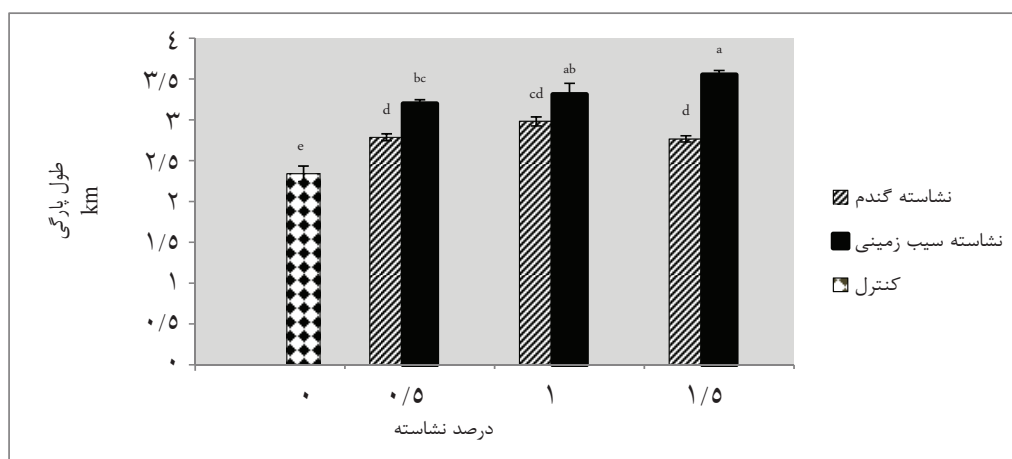
شکل ۱. اثر نشاسته کاتیونی گندم و سیب‌زمینی بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن



شکل ۲. تأثیر نشاسته کاتیونی سیب زمینی و گندم بر شاخص مقاومت به ترکیدن



شکل ۳. تأثیر نشاسته کاتیونی سیب زمینی و گندم بر شاخص مقاومت به کشش



شکل ۴. تأثیر نشاسته کاتیونی سیب زمینی و گندم بر طول پارگی

نشاسته مقاومت‌ها نیز افزایش یافته است (شکل‌های ۱، ۲، ۳، و ۴). این نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده از سایر تحقیقات مشابه است [۶، ۱۵، ۱۶، و ۱۷]. طبق نتایج تجزیه واریانس نیز تأثیر افزودن نشاسته‌ها، در سطح اعتماد ۵ درصد بر تمامی مقاومت‌ها معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقاومت‌ها به نشاسته سیب‌زمینی در سطح ۱/۵ درصد مربوط بوده است. با افزایش مصرف نشاسته سیب‌زمینی، تمامی مقاومت‌های بررسی‌شده روند افزایشی داشته، اما در مورد نشاسته گندم این روند تا سطح ۱ درصد صعودی بوده و بعد آن، افت در شاخص مقاومت به کشش و پاره‌شدن و همچنین طول پارگی را شاهد بودیم. افت شدید مقاومت‌ها در نشاسته گندم در سطح ۱/۵ درصد نیز به دلیل ضخامت زیادتر لایه نشاسته است که موجب می‌شود نشاسته به جای پیوند با الیاف، با گروه‌های هیدروکسیل خود پیوند برقرار کند؛ بنابراین، افزایش مصرف نشاسته گندم سبب افت این ویژگی‌ها می‌شود. نتایج حاصل از جذب نشاسته نیز تأیید کرد که نشاسته سیب‌زمینی در سطوح مختلف، جذب بیشتری در مقایسه با نشاسته گندم دارد. این اختلاف در سطوح ۱/۵ و ۱ درصد بیشتر بوده است. در سطح ۱/۵ درصد، جذب نشاسته گندم تقریباً مشابه جذب نشاسته سیب‌زمینی بوده است (شکل ۵). عملکرد بهتر نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی در مقایسه با گندم را می‌توان به این

درحالی‌که این مقاومت با افزایش مصرف نشاسته گندم تا ۱ درصد افزایش و سپس با مصرف ۱/۵ درصد کاهش یافته است. همچنین، در مقایسه دو نشاسته، مصرف نشاسته سیب‌زمینی در تمام سطوح مصرف، مقاومت به کشش را بیشتر افزایش داده است.

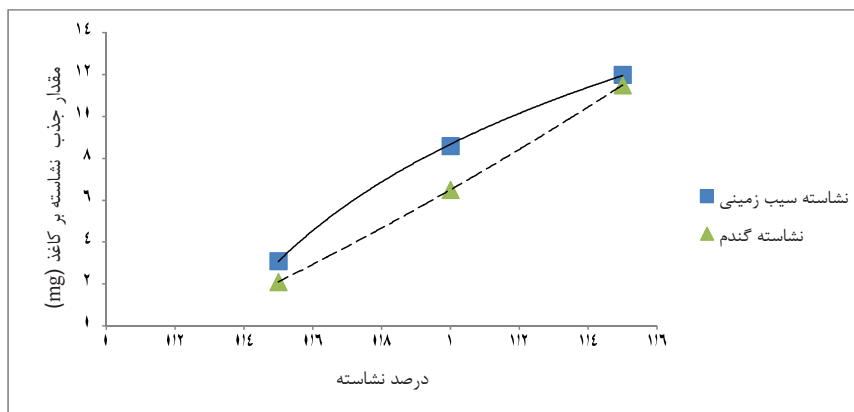
جذب نشاسته کاتیونی

با توجه به اینکه مقدار جذب نشاسته کاتیونی آب زیر صافی اندازه‌گیری شد، از مقدار کل نشاسته اضافه‌شده کسر و به این ترتیب، نشاسته جذب‌شده و میزان ماندگاری آن بر کاغذ به‌دست آمد.

در شکل ۵ مقدار نشاسته جذب‌شده در سطوح مختلف مصرف نشاسته نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سطوح ۱/۵ و ۱ درصد از مصرف، جذب نشاسته سیب‌زمینی بیش از نشاسته گندم است؛ یعنی ماندگاری نشاسته سیب‌زمینی بیش از نشاسته گندم بر روی کاغذ است. در سطح ۱/۵ درصد تقریباً جذب نزدیک به هم داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

نشاسته کاتیونی به‌عنوان افزودنی مقاومت خشک موجب افزایش مقاومت‌های کاغذ می‌شود که میزان این اثرگذاری با توجه به نوع نشاسته می‌تواند متفاوت باشد. همان‌طور که در بخش نتایج دیده شد، با افزایش مصرف



شکل ۵. میزان جذب نشاسته بر کاغذ در سطوح مصرف نشاسته

جدول ۱. مشخصات نشاسته های استفاده شده

نوع نشاسته	درجه استخلاف (Mole / Mole)	آمیلوز (%)	آمیلو پکتین گرانول اندازه	وزن مولکولی	پروتئین (%)	فسفر (%)	میزان خاکستر (%)	لیپید (%)
نشاسته کاتیونی گندم	۰/۰۳۵ - ۰/۰۴۵	۲۸	۷۲ ۵-۴۵	$۳-۳/۵ \times ۱۰۶$	۰/۹	۰/۰۶	۰/۷۲	۰/۴
نشاسته کاتیونی سیب زمینی	۰/۰۴ - ۰/۰۴۸	۲۱	۷۹ ۱۵-۱۰۰	$۰/۶ - ۱ \times ۱۰۶$	۰/۱	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۱

گروه های مونواستر فسفات دارد که بار منفی گروه های فسفات بر ویژگی پلی الکترولیتی آن تأثیرگذار است. گروه های فسفات ژله ای شدن و رسوب نشاسته را می کاهد و موجب افزایش سرعت تورم نشاسته سیب زمینی و توزیع بهتر در محلول پخت می شود. این گروه ها توانایی پیوند با آب و ویسکوزیته نشاسته را نیز افزایش می دهد [۲۰]. گروه های فسفات، نشاسته سیب زمینی را به الیاف نزدیک تر می کنند. از طرفی، این گروه ها مانع از نزدیک شدن مولکول ها به هم و تجمع و تشکیل رسوب در مرحله پخت نشاسته می شوند و مقاومت در برابر آب دار شدن نشاسته را کاهش می دهند که این عامل، تأثیر زیادی روی تورم گرانول های نشاسته و توزیع آن روی الیاف دارد [۸].

با توجه به اینکه استفاده از کارتن های کهنه و بازیافت مجدد آن در صنایع بسته بندی در ایران رو به رشد است، متناسب با کالای بسته بندی شده و نیروهای وارده به کارتن، به سطح معینی از ویژگی های مقاومتی نیاز است. امروزه، در صنایع داخلی، استفاده از نشاسته گندم برای بهبود مقاومت ها رایج است. ولی با توجه به اینکه طبق این تحقیق نشاسته سیب زمینی بومی و برتر از نشاسته گندم است، امکان استفاده از نشاسته کاتیونی سیب زمینی به سبب اثر مثبت آن در افزایش ویژگی های مقاومتی مؤثر در کاغذهای فلوتینگ و بسته بندی (مانند مقاومت به ترکیدن و پاره شدن) توجیه پذیر است.

صورت توضیح داد: نشاسته سیب زمینی در مقایسه با نشاسته گندم درصد بالاتری آمیلوپکتین دارد (جدول ۱). آمیلوپکتین با ساختار شاخه دار خود در مقایسه با آمیلوز اتصال بیشتری با موقعیت های آزاد الیاف برقرار می کند؛ بنابراین، نشست بیشتری روی سطح الیاف دارد. اما مولکول آمیلوز در مقایسه با مولکول آمیلوپکتین شاخه دار، تمایل بیشتری به تجمع به صورت دلمه های کریستالی (تغییر تدریجی نشاسته) دارد، که این رفتار اثر مثبت نشاسته را می کاهد. بنابراین، در نشاسته گندم به دلیل درصد بالاتر آمیلوز، شاخص توده ای شدن و دلمه شدن افزایش یافته و افزایش مقاومت ها در مقایسه با نشاسته سیب زمینی کمتر خواهد بود. به همین علت، نشاسته های آمیلوپکتین دار بیشتر به عنوان ماده افزودنی در پایانه تر ترجیح داده می شوند [۱۸، ۱۹]. به علاوه، جذب آمیلوپکتین در مقایسه با آمیلوز بر روی خمیر کاغذ بیشتر است [۱۲]. آمیلوز به دلیل انشعابات و کوچک بودن ساختار خود در منافذ دیواره الیاف نفوذ می کند؛ اما آمیلوپکتین روی سطوح الیاف می ماند و اتصالات را تقویت می کند. دلیل دیگر جذب بیشتر نشاسته سیب زمینی، حضور فسفر بیشتر است که به صورت مونواسترهای فسفات در ترکیب این نوع نشاسته وجود دارد؛ در حالی که نشاسته گندم فسفر را به شکل فسفولپید در خود ذخیره می کند. نشاسته سیب زمینی میزان چشمگیری پیوندهای کووالانسی در

References

- [1]. Norell, M., Johansson, K., and Persson, M. (2000). Papermaking Science and Technology, Book 4, Papermaking Chemistry, Chapter 3, Retention and Drainage, Finland, Fapetoy.
- [2]. Scott, W.E. (1996). Principles of Wet End Chemistry, Chapter 1, Introduction to Wet End Chemistry, Tappi Press, 1-4 pp.
- [3]. Williams, D. (2003). Starch spray system bootes strength, conserves fiber, Solution, online Exclusives, TAPPI Press.
- [4]. Lee, H.L., Shin, J.Y., Koh, C.H., Ryu, H., Lee, D.J., and Sohn, C. (2002). Surface sizing with cationic starch: It's effect on paper quality and papermaking proces, TAPPI Journal, 1(1): 23.
- [5]. Hubbe, M.A. (2000). Selecting and interpreting colloidal charge measurement, Process Science. Technology Advanced. Wet End Chemistry. Barcelona, June, 26 pp.
- [6]. Ekhtera, M.H., Rezayati Charani, P., Ramzani, O., and Azadfalsh, M. (2008). Effect 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, 3(2): 383.
- [7]. Zakrajsek, N., Kenz, S., Ravanjak, D., and Golob, J. (2009). Analysis of modified starch adsorption kinetics on cellulose fibers via the modified Langmuir adsorption theory. Chemical & Biochemical Engineering Quarterly, 23(4): 461-4710.
- [8]. Hofritter, B.T. (1998). Natural products for wet-end addition, Science and Education Administration U.S. Department of Agriculture's, Northern Regional Research Center Agricultural Research. 1478 pp.
- [9]. Glittenberg, D. (1993). Starch alternatives for improved strength, retention, and sizing. Tappi Journal, 11(76): 215-219 pp.
- [10]. Van de steeg, H.G.M., De keizer, A., Cohen Stuart, M.A., and Bijsterbosch, B.H. (2002). Adsorption of cationic potato starch on microcrystalline cellulose. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 70(1): 91-103.
- [11]. Khosravani, A. (2009). Investigation on Utilizing Cationic Starch –anionic Nanosilica sydtem for application of more filler in fine paper. Ph.D. thesis. University of Tehran. 74 pp.
- [12]. Shirazi, M. Van de ven, Theo G.M., and Garnier, G. (2003). Adsorption of modified starches on pulp fibers. Langmuir, 19(26): 10838-10842.
- [13]. Kearney, R., and Maurer, H. W. (1997). Starch and Starch Product in Paper Coating, Tappi Press, Atlanta.
- [14]. Hubbe, M.A., Tracy, L., Jackson, D., and Min zhang, L. (2003). Fiber surface saturation as a strategy to optimize dual-polymer dry strength treatment. Tappi Journal, 2(11): 7-12.
- [15]. Howard, R.C., Jowsey, C. J. (1989). Effect of cationic starch on the tensile strength of paper. Journal pulp & paper science, 15(6): J225-???
- [16]. Lim, W.J., Liang, Y.T., and Seib, P.A. (1992). Cationic oat Starch: preparation and effect on paper strength. Amrican Association of Cereal Chemists, 69(3): 237-239.

- [17]. Hubbe, M.A. (2006). Bonding between cellulosic fibers. *Bioresources Technology*, 1(2): 281-318.
- [18]. Hamzeh, Y. (2008). *Tened of Papermaking Chemistry*. Tehran University Press, Tehran.
- [19]. Chakravarty, S., (2006). Development of creep tester and to study the effect of cationic starch on tensile creep behavior of softwood hand sheets at low and high relative humidity. M.A. Thesis. University of Miami. Ohio. 9 pp.
- [20]. Celerk, P.D. (2009). *Applications of Wet-End Paper Chemistry*, 2th Ed. Starch in the Wet-End, New York, 174 pp.