تأثیر غلظت محلول نشاسته‌ی آنیونی در آهاردهی سطحی کاغذ بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ بازیافتی

شکوفه الیاسی بختیاری [۱]
حسین جلالی ترشیزی [۲*]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس زیرآب، مازندران، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس زیرآب، مازندران، ایران

مسئول مکاتبات:
H_Jalali@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

آهاردهی سطحی کاغذ توسط محلول نشاسته‌ی آنیونی با هدف بررسی تأثیر تغییر غلظت آن بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ بازیافتی انجام پذیرفت. بدین منظور کاغذ دست‌ساز با گرماژ ۱۰۰ گرم بر مترمربع از خمیرکاغذهای بازیافتی مخلوط و با حضور یک درصد نشاسته کاتیونی تهیه و عامل آهاردهی در غلظت‌های (۰ و ۱۰-۳ درصد) بر سطح کاغذ ساخته‌شده اعمال گردید. افزایش غلظت محلول نشاسته آنیونی منجر به ماندگار شدن بیشتر نشاسته بر سطح و نفوذ کمتر آن به درون ساختار کاغذ (در راستای Z) گشته و درنتیجه ماهیت آب‌گریزی بیشتر و بهتری را برای کاغذ فراهم می‌نماید؛ درنتیجه کاهش معنی‌داری را در میزان جذب آب کاغذ پدید آورده تاجاییکه تغییر غلظت نشاسته تا ۵ درصد منجر به افت شدید جذب آب کاغذ گردید. همچنین نتایج نشان داد که با اعمال نشاسته آنیونی و همچنین افزایش غلظت آن، به دلیل جذب نشاسته بر سطح و نیز نفوذ بخشی از آن به ساختار کاغذ، ویژگی‌های مقاومتی سفتی خمشی و شاخص‌های کشش و ترکیدن افزایش‌یافته که شدت افزایش در غلظت‌های تا ۵ درصد چشمگیرتر بوده است. امکان و احتمال نفوذ مؤثر بخشی از نشاسته در منافذ ساختار کاغذ و افزایش پیوند یابی بین لیفی وجود داشته که افزایش غلظت و ویسکوزیته‌ی محلول نشاسته باعث کم شدن این نقش در کاغذ و حفظ بیشتر آن بر سطح کاغذ می‌شود که به شکل بهبود پیوسته صافی سطح پدیدار گردید. با افزایش غلظت نشاسته شاخص مقاومت در برابر پارگی از روندی نزولی برخوردار بوده که به ایجاد فیلم شکننده نشاسته بر سطح نسبت داده می‌شود. به‌طورکلی افزایش غلظت محلول نشاسته آنیونی تا سطح ۵ درصد بهینه گزارش می‌گردد.

واژگان کلیدی: آهاردهی سطحی، نشاسته‌ی آنیونی، جذب آب، ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی.

مقدمه

الیاف لیگنوسلولزی مورداستفاده در کاغذسازی ماهیتاً متخلخل بوده و فراوانی حضور گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل و همچنین سایر گروه‌های آب‌دوست، تمایل شدیدی را در این الیاف طبیعی برای واکنش با آب و جذب رطوبت به وجود می‌آورد. این ویژگی در ایجاد و توسعه‌ی پیوندهای هیدروژنی متعدد بین الیاف در جریان فرایند کاغذسازی، بسیار مهم، مفید و کاربردی بوده و مصارف بهداشتی و جاذب آب و همچنین بازیافت پذیری آسان فراورده‌های کاغذی را نیز رقم می‌زند. بااین‌حال جایگزینی و قرار گرفتن گروه‌های هیدروکسیلی آب در

حدفاصل پیوندهای هیدروژنی الیاف با یکدیگر و درنتیجه کاهش مقاومت‌های کاغذ به هنگام قرار گرفتن در معرض آب و رطوبت، می‌تواند مصرف فراورده‌های کاغذی را در بسیاری از کاربردها با مشکلات و محدودیت-هایی مواجه سازد. آهاردهی کاغذ مفهومی است که از دیرباز بدین منظور بکار رفته که وظیفه‌ی اصلی عوامل آهاردهی، افزایش مقاومت در برابر نفوذ آب یا دیگر مایعات به درون ساختار کاغذ یا مقوا به‌صورت فیزیکی (کاهش یا حذف منافذ موجود در کاغذ) و یا شیمیایی (جایگزین کردن گروه‌های آب‌گریز بر روی سطح الیاف) است، به‌نحوی‌که کاغذ برای چاپ و تحریر و اهداف دیگر مناسب شود. این هدف با اعمال مواد افزودنی در پایانه‌ی تر کاغذسازی (آهاردهی درونی) و یا با اعمال مواد شیمیایی مناسب بر سطح شبکه کاغذ ساخته‌شده (آهاردهی سطحی) و یا ترکیبی از این دو روش حاصل می‌شود؛ بنابراین به‌طورکلی آبگریزکردن کاغذ به دو صورت مزبور شناخته می‌شود [۱]. جنبه منحصربه‌فرد اعمال سطحی مواد شیمیایی، ماندگاری تقریباً ۱۰۰ درصدی آن‌ها است که در مقایسه با کاربرد در پایانه‌تر، مزایای بسیاری را به همراه دارد. بسته نمودن هرچه بیشتر چرخه آب فرایندی و متناظر با آن افزایش مواد مزاحم و آلاینده‌ها، مطلوبیت روزافزون تیمارهای سطحی کاغذ را به همراه دارد. معمولاً عوامل آهاردهنده‌ی سطحی ترکیباتی با یک‌قطب یا پایانه‌ی آب‌دوست و قطب دیگر آب‌گریز می‌باشند. این ترکیبات با کاهش انرژی سطحی کاغذ، علاوه بر کاهش نفوذ آب، پهن و گسترده شدن آن را نیز آهسته و کم می‌نمایند. این عوامل به‌صورت فیلمی نازک بر روی شبکه لیفی کاغذ اعمال و قطب آب‌دوست آن‌ها با الیاف پیوند برقرار کرده و قطب آب‌گریزشان به سمت بیرون جهت‌یابی نموده و سطح کاغذ را آب‌گریز می‌سازند. این فیلم نازک منجر به کاهش تعداد و اندازه منافذ سطح و همچنین کاهش زبری کاغذ شده و علاوه برافزایش مقاومت کاغذ در برابر نفوذ آب، گرد و غبارزائی را از طریق استحکام بخشیدن به اتصال ذرات الیاف و پرکننده و نرمه‌ها به سطح کاغذ، کاهش داده و مقاومت‌های کاغذ را نیز به‌واسطه عدم نفوذ سیال آهاردهی در راستای ضخامت، افزایش می‌دهند. آهاردهی سطحی بهبود چاپ‌پذیری و نیز دوام و حفاظت کاغذ را سبب می‌گردد [۲] و کیفیت چاپ‌پذیری نیز شدیداً متأثر از ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری سطح کاغذ بوده که از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی مشتریان نیز محسوب می‌گردد [۳]. البته در بسیاری از کاربردها نظیر مقوای دوپلکس، آهاردهی و تقویت سطحی فراورده سلولزی برای ارسال فراورده به مرحله اندودسازی نیز حیاتی و حساس است، چراکه آبگریزبودن و ویژگی‌های مقاومتی برای کنترل نفوذ رنگ‌دانه‌ها و اندود به درون ساختار کاغذ پایه و اطمینان از قابلیت گذر مطلوب ماشین اندود سازی، از اهمیت بسیاری برخوردار است. نمونه‌هایی از مواد شیمیایی مورداستفاده در آهاردهی سطحی فراورده‌های کاغذی عبارت‌اند از: نشاسته‌ی اصلاح‌شده، SMA، SAE، SAA یا EAA ، ژلاتین و پلی‌اورتان؛ که به‌طورمعمول در پایانه‌ی خشک به سطح کاغذ و مقوا اضافه می‌شوند. بررسی تأثیر وزن مولکولی و غلظت-های کایتوزان و نیز تلفیق آن با نشاسته اکسیدشده در آهاردهی سطحی کاغذهای چاپ افست و مقایسه آن با آهاردهی به‌وسیله نشاسته اکسیدشده و نیز پلی وینیل الکل نشان داد که غلظت و وزن مولکولی کایتوزان بر کیفیت آهاردهی تأثیرگذار بوده و اختلاط آن با نشاسته اکسیدشده منجر به ارتقای کیفیت آهاردهی شده و از منظر کاغذهای چاپ افست، آهاردهی با کایتوزان نسبت به دیگر مواد موردبررسی، ویژگی‌های برتری را پدید آورده است [۴]. در این میان، نشاسته مهم‌ترین ماده‌ی افزودنی رایج در پرس آهاردهی است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل افزاینده‌ی مقاومت خشک کاغذ نیز شناخته می‌شود. استفاده از نشاسته در پایانه‌تر کاغذسازی معایبی همچون افزایش زمان آبگیری و مواد آلی پساب را نیز دربر دارد، بااین‌وجود و به‌واسطه سهولت دسترسی و قیمت مناسب آن و نیز ماهیت زیست بنیان و زیست سازگار آن، به‌طور وسیعی در تولید کاغذ و به‌ویژه کاغذهای بازیافتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. ازاین‌رو در پژوهش‌های اخیر، تلاش‌ها در راستای بهینه‌سازی شرایط آهاردهی سطحی با نشاسته‌ی آنیونی و کاتیونی صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، غلظت محلول‌های آهاردهی سطحی تا سطح ۱۸ درصد و بسته به روش اعمال متغیر گزارش گردیده و روش اعمال تیغه‌ای در مقایسه با پرس خمره‌ای آهاردهی،

به دلیل امکان کمتر نفوذ آهار به ساختار کاغذ و نیز افزایش ویژگی‌های سطحی کاغذ و مقاومت به عبور هوا، برتر معرفی‌شده است [۵]. نشاسته‌های به‌کاررفته در آهاردهی سطحی عموماً خام یا اصلاح‌شده شیمیایی (اکسایشی، یونیزاسیون) یا فیزیکی (گرمایی) هستند. نتایج پژوهشی پیرامون آهاردهی سطحی نشان داد که در محلول‌های نشاسته، غلظت مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار محلول آهاردهی سطحی بر ویژگی‌های سرعت و میزان جذب آن است [۶]. کاهش نیاز به تبخیر سیال حامل عامل آهاردهی و هزینه‌های توأم با آن و نیز افزایش کیفیت کاغذ آهارشده با محلول‌های غلیظ‌تر، ازجمله برتری‌های استفاده از محلول‌های نشاسته دارای غلظت بالا ذکر می‌شود. حفظ قابلیت گذر ماشین کاغذ از دیگر مزایای کاربرد محلول‌های غلیظ‌تر نشاسته است؛ چراکه به‌واسطه ورود کمتر رطوبت ناشی از آهاردهی سطحی به کاغذ شکل یافته، پارگی ورقه کاغذ کمتر اتفاق می‌افتد؛ درنتیجه تعداد توقف‌های خط تولید کاهش می‌یابد. آهاردهی سطحی در غلظت بالا موجب تا ۵۰ درصد صرفه‌جویی در ظرفیت خشک‌کن و به عبارتی قابلیت افزایش سرعت ماشین کاغذ می‌-شود، لیکن مشکلات فرایندی درزمینه تهیه، انتقال و اعمال محلولی با غلظت خیلی زیاد بر روی سطح کاغذ، بهینه یابی غلظت نشاسته آهاردهی را ملزم می‌سازد. تأثیر آهاردهی سطحی با نشاسته کاتیونی، امتزاج نشاسته کاتیونی با استایرن-مالئیک انیدرید و به‌طور جداگانه با استایرن اکریلات نشان داد تلفیق استایرن مالئیک انیدرید نسبت به سایرین از ویژگی‌های برتری برخوردار گشته است لیکن به‌واسطه ماهیت آب‌گریزی بیشتر آن و ایجاد زاویه تماس بالاتر، مشکلات مهمی را در فرایند چاپ به وجود آورده و علاوه بر نیاز به عملکرد آهسته‌تر ماشین چاپ به دلیل جذب دیرتر جوهر بر سطوح تیمارشده با استایرن-مالئیک انیدرید؛ خیس شدگی محدود سطح کاغذ را به‌واسطه آب‌گریزی بیش‌ازحد سبب می‌گردد [۳]. بااین‌حال، کاربرد آهار دهنده‌های مصنوعی از جنبه‌های مختلف دارای محدودیت‌هایی همچون ناسازگاری با محیط‌زیست، سهولت دسترسی و هزینه‌های متغیر، ایجاد مانع در بازیافت کاغذ و غیره است. از طرفی، نشاسته به‌عنوان زیست پلیمری ارزان و سومین ماده اصلی سازنده جرم کاغذ پس از الیاف و پرکننده‌ها، از کاربرد متداول و روبه رشدی هم در پایانه‌تر و هم در تیمار سطحی کاغذ برخوردار است که تیمارهای سطحی نظیر آهاردهی سطحی، اندود سازی، کنگره‌ای کردن و غیره بیشترین سهم مصرف نشاسته را به خود اختصاص داده (حدود ۸۰٪) و آهاردهی سطحی حائز بیشترین میزان مصرف نشاسته (۶۲٪) شناخته می‌شود [۲ و ۷]؛ بنابراین، هدف این پژوهش بر ارزیابی غلظت محلول آهاردهی سطحی نشاسته‌ی آنیونی حاوی عامل استایرن اکریلات که از کاربرد وسیعی در تیمار سطحی فراورده‌های کاغذی برخوردار است، به‌منظور حصول جذب آب و ویژگی‌های مقاومتی مطلوب در کاغذ بازیافتی کارخانه‌ی صنایع خمیر و کاغذ اترک پایه‌گذاری شد. لازم به ذکر است در این کارخانه نشاسته آنیونی حاوی عامل استایرن اکریلات با غلظت ۳ درصد استفاده می‌شد که غلظت ۳ درصد نشاسته آنیونی حاوی عامل استایرن اکریلات نیاز کارخانه به‌منظور آهاردهی تأمین می‌کرد ولیکن با توجه به استفاده از حرارت‌های بالا در خشک‌کن تمایل به استفاده از غلظت‌های بالاتر نشاسته آنیونی ایجاد شد که با توجه به مسائل اقتصادی غلظت‌های ۳ تا ۱۰ درصد پیشنهاد شد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش، کاغذ دست‌ساز با گرماژ ۱۰۰ (گرم بر مترمربع) از خمیرکاغذ مصرفی در کارخانه‌ی صنایع خمیر و کاغذ اترک، واقع در شهرک صنعتی فولاد اصفهان ساخته شد. این خمیرکاغذ که برای تولید مقوای دوپلکس استفاده می‌شود؛ حاوی ۵۰ درصد کاغذهای باطله‌ی مخلوط اداری، ۱۰ درصد روزنامه‌های باطله و ۴۰ درصد کارتن باطله و با درجه کندی ۵۶ بود. محلول نشاسته‌ی آنیونی مورداستفاده در آهاردهی سطحی، تولیدی شرکت Emox TSC بوده که حاوی عامل هیدروفوب آهاردهی استایرن اکریلات است. پخت نشاسته‌های مصرفی به‌صورت حرارت‌دهی با بخارآب و تا دمای ۹۵-۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت. نشاسته آنیونی به‌صورت جامد و پودری سفیدرنگ به محیط کارخانه وارد و به کمک تجهیزات موجود به محلول نشاسته آنیونی با غلظت ۳ درصد و امولسیون شده

با استایرن اکریلات تبدیل شد. در این پژوهش از محلول آماده‌شده با غلظت ۳ درصد از موجودی خط تولید کارخانه اترک استفاده شد. نشاسته‌ی کاتیونی نیز (با منشأ ذرت از شرکت گلوکزان) به‌منظور بهبود مقاومت کاغذ تولیدی و در تشابه با فرایند تولید کارخانه اترک، نیز با مشخصات زیر به‌صورت آماده و محلول با غلظت ۲ درصد از موجودی خط تولید تهیه گردید:

جدول ۱- مشخصات نشاسته‌ی کاتیونی

درجه‌ی استخلاف	درصد خاکستر (٪)	حلالیت کامل در آب (٪)	pH محلول ۲٪	رطوبت (٪)
۰/۰۲۶ – ۰/۰۳۵	≤۰/۵	≤ ۹۵	۵-۷	۱۰-۱۳

درجه‌ی کندی خمیرکاغذ بر اساس استاندارد SCAN C 19/M3 – BS 6035/1 اندازه‌گیری شد. برای دستیابی به گرماژ مدنظر، بر اساس مساحت دستگاه ورق ساز، درصد خشکی خمیرکاغذ و ماندگاری الیاف خمیرکاغذ، مقدار خمیرکاغذ موردنیاز محاسبه و ساخت کاغذ دست‌ساز مطابق استاندارد TAPPI T205 sp-02 و با استفاده از دستگاه ورق‌ساز اتوماتیک مدل INDIAMART انجام شد. نشاسته کاتیونی پخته‌شده در سطح ثابت کاربرد یک درصد بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ به سوسپانسیون افزوده شد. خشک کردن کاغذهای مقیدشده توسط صفحه فلزی و حلقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته و سپس نشاسته‌ی آنیونی با روش پوشش دهی سطحی و در غلظت‌های مختلف و به میزان ۵ میلی‌لیتر به کمک سرنگ در چند نقطه به‌صورت متوازن تزریق و سپس سریعاً با غلتک پخش گردید که با توجه به نفوذ آهسته محلول نشاسته، میزان ۵ میلی‌لیتر به سهولت بر سطح کاغذ گسترانیده شد. درنهایت نمونه‌های مقیدشده توسط صفحات فلزی و حلقه‌های متداول آزمایشگاهی، در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک گردید. اندازه‌گیری ویژگی‌های موردنظر و مهم در فراورده تولیدی توسط استانداردهای آئین‌نامه TAPPI صورت پذیرفته و داده‌های حاصل نیز با نرم‌افزار SPSS تجزیه‌وتحلیل شده و بر اساس آزمون دانکن گروه‌بندی گردید.

جدول ۲- استانداردهای مورد استناد در پژوهش

قابلیت جذب آب (آزمون کاب)	T441 om-04	شاخص کشش	T494 om-01
ضخامت کاغذ	T411 om-05	سفتی خمشی	T556 om-04
درخشش سطح مقوا	T480 om-05	شاخص ترکیدن	T403 om-02
زبری سطح مقوا	T555 om-04	شاخص پاره شدن	T414 om-04

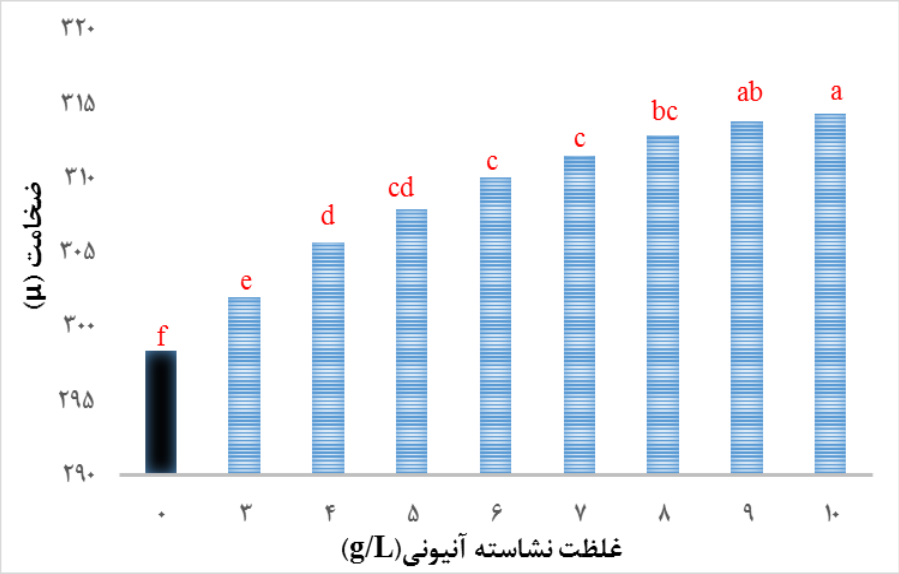
نتایج و بحث

تاثیرغلظت‌های مختلف (از ۳ تا ۱۰ درصد) نشاسته آنیونی بر ویژگی‌های مقوای بسته‌بندی بازیافتی در شکل-های ۸ -۱ آمده است. در شکل‌های مزبور نمونه‌های شاهد که فاقد تیمار سطحی هستند، با رنگ قرمز مشخص شده است.

ضخامت

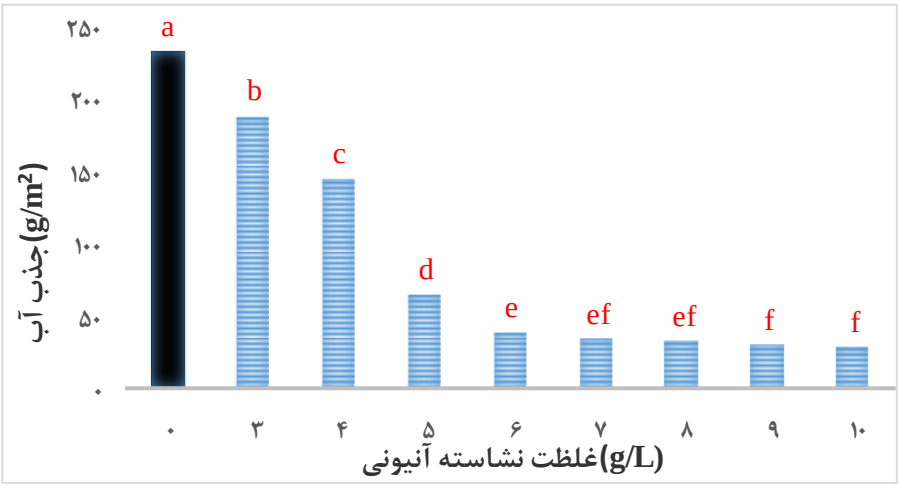
بررسی تغییرات ضخامت کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی حکایت از افزایش ملایم و به‌طورکلی معنی‌دار این ویژگی با بالاتر رفتن غلظت محلول آهاردهی نشاسته آنیونی دارد. تفاوت معنی‌دار بروز یافته در ضخامت، در بین تیمارهای عدم کاربرد و غلظت‌های ۳ و ۴ درصدی عامل آهاردهی ایجاد گردیده که بیشترین میزان افزایش محسوب شده و پس‌ازآن و به‌ویژه در سطوح بالاتر غلظت، اختلاف ضخامت ایجادشده بین تیمارها به‌تدریج کمتر می‌شود. با دقت در تغییرات غلظت نشاسته آنیونی که در محور افقی نشان داده شده است، مشخص می‌گردد که افزایش ضخامت ایجادشده بین تیمارهای با غلظت صفر و سه درصد، کمتر

از تیمارهای ۳ و ۴ درصدی است؛ در عین حالی که تفاوت غلظت‌های دو تیمار متوالی، نایکسان است. با توجه به اینکه کاغذ به‌عنوان ساختاری متخلخل و با سطحی ناصاف و با توپوگرافی ناهمگن شناخته می‌شود، در غلظت‌های پائین تیمار سطحی و اعمال مواد، بخشی از مواد به درون ساختار متخلخل آن نفوذ و در فضاهای ناصاف و برجستگی‌های سطح جاگیر شده و به‌صورت افزایش چشمگیر ضخامت بروز نمی‌یابد، درحالی‌که پس از غلظت مشخصی (بسته به نوع دوغاب خمیرکاغذ) که منجر به یکدست و صاف شدن سطح و اشغال فضاهای خالی درونی و سطحی می‌گردد، اعمال غلظت بیشتر مواد منجر به افزایش ضخامت کاغذ می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی زبری سطح در سازگاری و انطباق با این استدلال است.



شکل ۱- ضخامت کاغذ در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته آنیونی

جذب آب



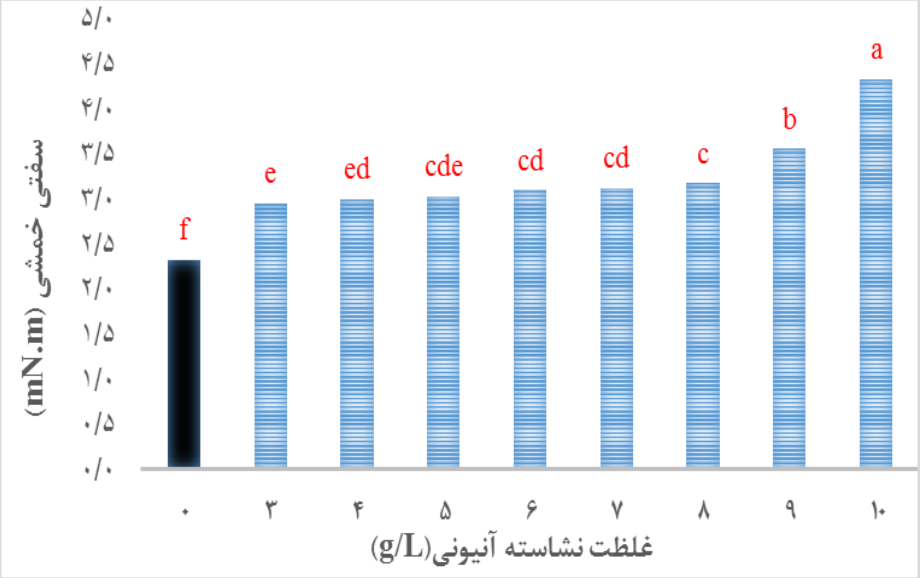
شکل ۲- جذب آب کاغذ در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

بر اساس نتایج، میزان جذب آب کاغذ با افزایش غلظت محلول آهاردهی سطحی نشاسته آنیونی کاهش می‌یابد که این کاهش جذب آب با اعمال آن و تا سطوح غلظت ۶ درصد شدید و معنی‌دار است. با جذب نشاسته‌ی آنیونی بر سطح کاغذ و برقراری پیوند بین نشاسته و الیاف کاغذ، علاوه بر محصور و منفعل نمودن گروه‌های آب‌دوست سطح کاغذ، نشاسته به درون منافذ کاغذ نیز نفوذ کرده و افزایش حضور این پلیمر در درون کاغذ باعث بسته و مسدودشدن تمام خلل و فرج کاغذ و کاهش جذب آب می‌شود. از سویی دیگر نشاسته‌ی جذب‌شده سطحی، در طی فرایند خشک‌کردن به‌صورت فیلم بر سطح الیاف قرارگرفته و الیاف را به جذب آب مقاوم ساخته که با افزایش غلظت نشاسته، فیلم تشکیل یافته ضخیم‌تر می‌شود تا جایی که در غلظت‌های بالای نشاسته آنیونی، کاغذ کاملاً شکننده می‌شود که به‌صورت تأثیرات نامطلوب و یا بی‌اثر بر ویژگی‌های مقاومتی در ادامه مشخص می‌گردد.

بااین‌حال، تفاوت چشمگیری در جذب آب تیمارهایی با غلظت بالای ۵ درصد مشاهده نمی‌شود.

سفتی خمشی

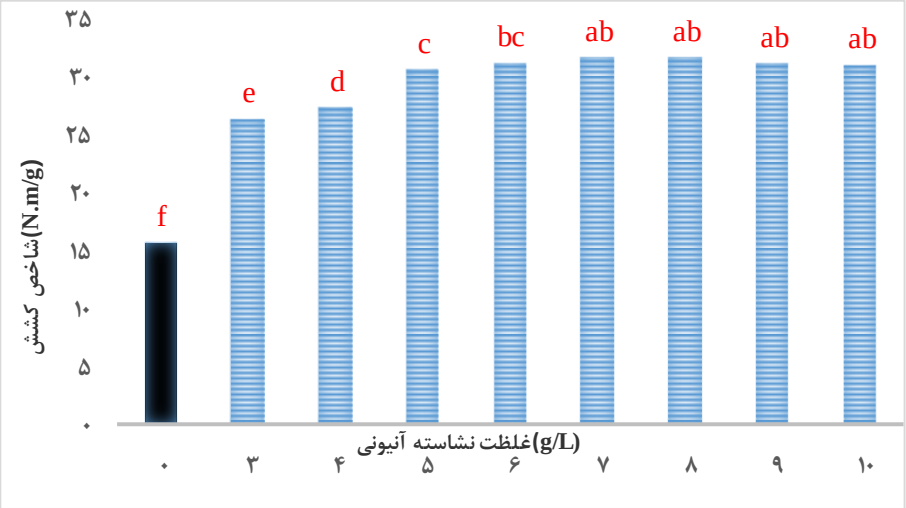
آهاردهی سطحی کاغذ بازیافتی با نشاسته‌ی آنیونی بهبود معنی‌دار مقاومت سفتی خمشی را به همراه داشته که افزایش غلظت نشاسته نیز به‌تدریج موجب افزایش سفتی خمشی گشته تا جائیکه بیشترین میزان سفتی کاغذ در بالاترین سطح غلظت نشاسته پدیدار شده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۲، ضخامت مقوا با افزایش غلظت نشاسته ارتقا می‌یابد و از آنجائی که سفتی خمشی متناسب با توان سوم ضخامت است، انتظار افزایش سفتی خمشی نیز متصور است. درعین‌حال، بهبود پیوند یابی شبکه لیفی کاغذ به‌واسطه نفوذ نشاسته به درون ساختار کاغذ نیز قابل‌ذکر است.



شکل ۳- سفتی خمشی در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

شاخص کشش

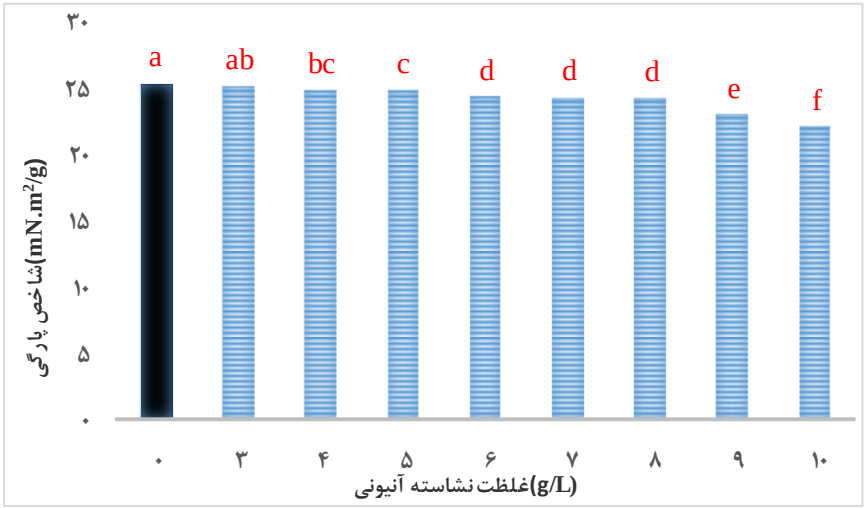
کاربرد نشاسته آهاردهی سطحی منجر برافزایش چشمگیر و معنی‌دار شاخص کششی کاغذ (بیش از ۶۰٪) می‌شود که این افزایش تا سطح حدود دو برابر نیز قابل گزارش است. بااین‌حال در غلظت‌های بالاتر از ۵ درصد محلول نشاسته، تأثیر معنی‌داری در شاخص کششی کاغذ پدید نیامده است. با افزایش غلظت نشاسته، مقدار نشاسته‌ی جذب‌شده توسط کاغذ افزایش می‌یابد و جذب و نفوذ نشاسته به مقدار بیشتری صورت گرفته و مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد. البته جذب بیش‌ازحد نشاسته بروز حالت شکنندگی در کاغذ را موجب و مقاومت کششی را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش Fabio و همکاران (۲۰۰۳) نیز در سازگاری با نتایج حاضر است [۸].



شکل ۴- شاخص کشش در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

شاخص پارگی

کاربرد آهار سطحی و افزایش غلظت آن و درنتیجه افزایش جذب نشاسته بر سطح کاغذ، شاخص پارگی را به دلیل تشکیل فیلم شکننده نشاسته بر سطح کاهش می‌دهد. بااین‌حال حداکثر میزان کاهش شاخص کشش در بالاترین سطح غلظت نشاسته آنیونی حدود ۱۳ درصد است. Kassam و همکاران (۲۰۰۹) جذب و نفوذ بیش‌ازحد نشاسته بر سطح الیاف و درنتیجه سخت و شکننده شدن الیاف را دلیل کاهش شاخص پارگی کاغذ عنوان کرده که با یافته‌های این پژوهش نیز مطابقت دارد [۹].

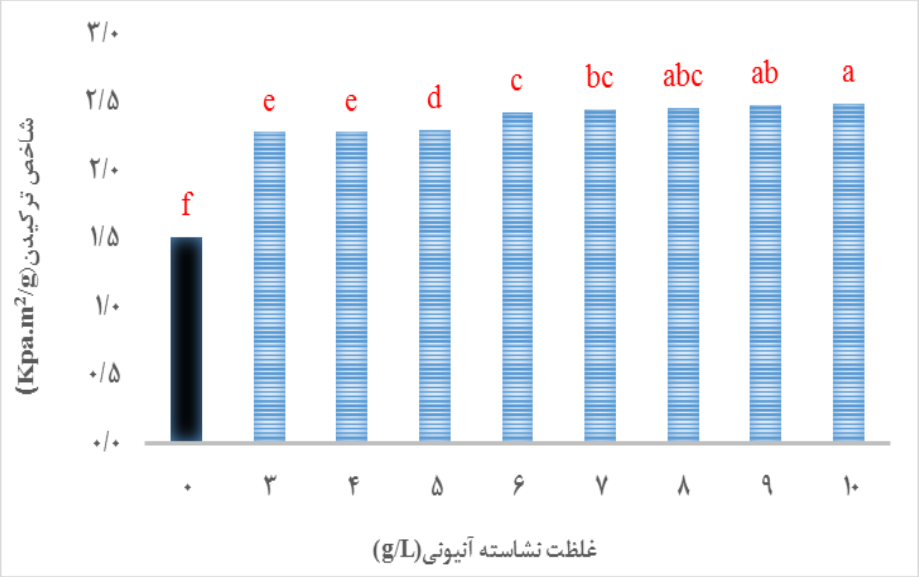


شکل ۵ - شاخص مقاومت در برابر پارگی در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

شاخص ترکیدن

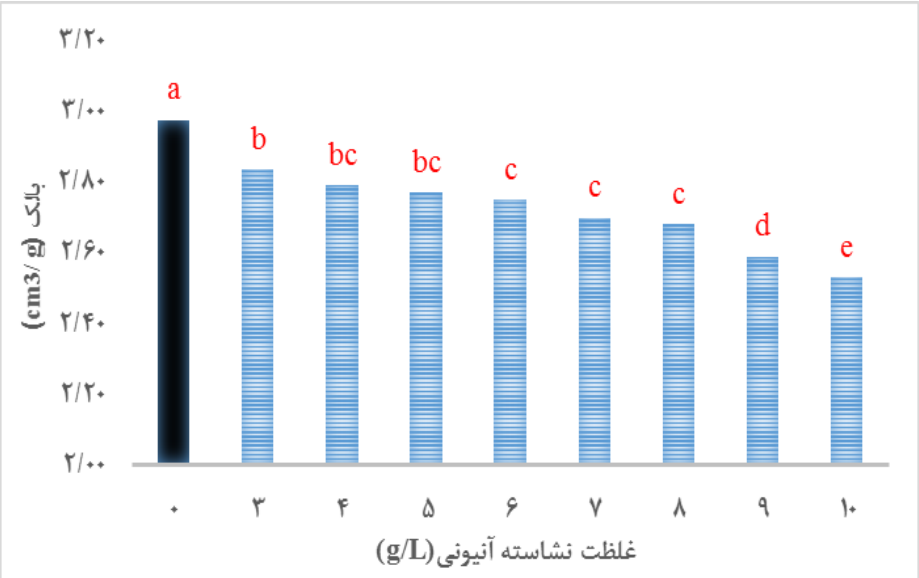
همانند شاخص کشش، اعمال آهار سطحی نشاسته آنیونی افزایش چشمگیر و معنی‌دار (۵۰ درصدی) شاخص ترکیدن را به همراه داشته و با افزایش غلظت محلول نشاسته مصرفی، شاخص کشش با شیب ملایمی افزایش‌یافته است. لیکن همانند شاخص کشش، سطوح بالای غلظت محلول آهاردهی تأثیر غالباً معنی¬داری در بهبود این شاخص کاغذ نیز نداشته که با یافته¬های kassam و همکاران (۲۰۰۹) قابل‌تأیید است [۹]. همانطورکه پیش‌تر نیز ذکر شد با افزایش غلظت نشاسته،

نفوذ نشاسته به منافذ کاغذ افزایش می‌یابد و این امر باعث بهبود اتصال الیاف می‌شود و شاخص‌های متأثر از پیوند یابی الیاف نظیر کشش و ترکیدن را افزایش می‌دهد. همچنین امکان و احتمال اتصال نشاسته آنیونی اعمال‌شده بر سطح و نیز نفوذ یافته به درون ساختار کاغذ با نشاسته کاتیونی به‌کاررفته در پایانه‌تر و حاضر در ورقه کاغذ نیز وجود داشته که در بهبود ویژگی‌های مقاومتی تأثیرگذار است.



شکل ۶- شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

بالک



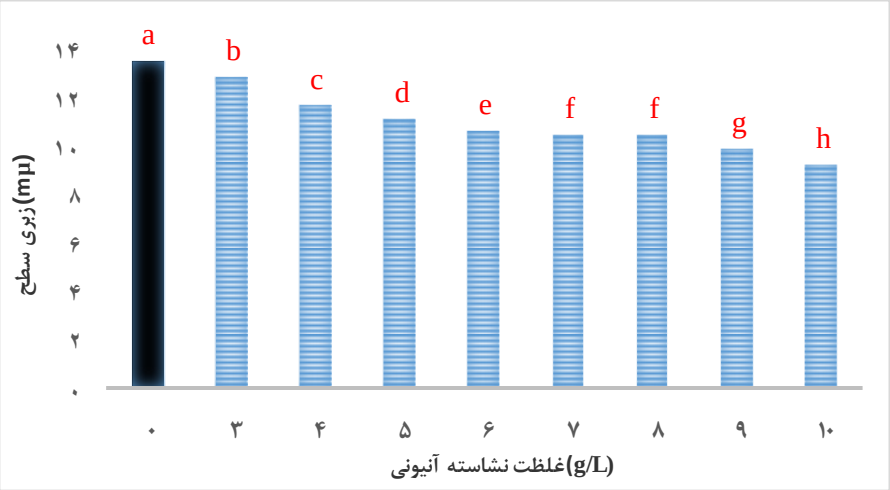
شکل ۷- بالک کاغذ در غلظت‌های اعمال سطحی نشاسته‌ی آنیونی

با افزایش غلظت نشاسته آهاردهی، بالک یا حجم ویژه کاغذ کاهش‌یافته است. همانطورکه پیش‌تر ذکر شد با افزایش غلظت نشاسته، حضور و نفوذ مولکول‌های نشاسته در سطح و منافذ کاغذ افزایش می‌یابد و این امر باعث بهبود اتصال الیاف می‌شود که به‌نوبه‌ی خود این امر موجب افزایش دانسیته‌ی کاغذ شده و بالک که معکوس

دانسیته است؛ کاهش می‌یابد. نتایج ویژگی‌های مقاومتی و زبری سطح مؤید این استدلال است. بااین‌حال تشکیل لایه ضخیم فیلم نشاسته بر کاهش ضخامت ناشی از افزایش دانسیته و فشردگی ساختار شبکه لیفی برتری یافته و درمجموع به‌صورت افزایش ضخامت ظاهر می‌شود. در نگاه اول و با مدنظر قرار دادن نتایج ضخامت و نحوه محاسبه بالک (حجم تقسیم‌بر جرم)، انتظار افزایش بالک کاغذ بروز می‌یابد که نتایج این پژوهش نقطه مقابل آن را نشان می‌دهد. لیکن چنین تفسیر می‌گردد که در فرمول بالک، جرم ورقه تیمارشده از نرخ افزایش بالاتری در مقایسه با حجم (به عبارتی ضخامت کاغذ) برخوردار گشته و درنهایت و در عین افزایش حجم ناشی از ضخامت، بالک کاغذ به‌واسطه افزایش جرم؛ کاهش می‌یابد. همچنین از آنجائی که ضخامت و سفتی خمشی (که وابسته به ضخامت کاغذ است) هر دو افزایش یافته است، می‌توان استنباط و تائید نمود که کاهش حجیمی ورقه کاغذ به‌واسطه افزایش وزن ورقه بوده و نگرانی از بابت تأثیر منفی کاهش آن بر استحکام خمشی کاغذ وجود نخواهد داشت.

زبری

اعمال نشاسته آنیونی به‌عنوان آهار سطحی کاغذ، کاهش معنی‌دار ناصافی و زبری سطح را در پی داشته که افزایش غلظت نشاسته، منجر به کاهش پیوسته زبری سطح کاغذ شده است. بهبود اتصال الیاف در سطح کاغذ و کاهش منافذ و ناصافی‌های سطح کاغذ به همراه تشکیل لایه فیلم نشاسته بر سطح الیاف و کاغذ، کاهش زبری سطح کاغذ را رقم می‌زند.



شکل ۸- زبری سطح در غلظت‌های مختلف اعمال سطحی نشاسته آنیونی

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی افزایش غلظت محلول نشاسته آهاردهی سطحی علاوه بر سهولت کنترل، نه‌تنها موجب کاهش چشمگیر انرژی موردنیاز برای تبخیر حلال آبی در خشک‌کن‌های پس از پرس اندود دهی می‌شود، بلکه خیس شدگی کمتر شبکه الیاف در حین آهاردهی با محلول‌های غلیظ‌تر، میزان توقف خط تولید به‌واسطه پاره شدن شبکه خیس کاغذ را نیز کاهش می‌دهد. علاوه بر این تداخل آهاردهی سطحی با نقش و کارایی آهاردهی درونی و نیز میزان رطوبت کاغذ کاهش می‌یابد. درنتیجه و به‌منظور عدم نیاز به تغییر ظرفیت خشک‌کن‌های ماشین کاغذ و درعین‌حال افزودن ویژگی و قابلیتی جدید به فراورده تولیدی، افزایش غلظت محلول آهاردهی سطحی و کاهش آب ورودی به ساختار کاغذ در خط تولید کاغذ نیز قابل‌بررسی و اعمال است. افزایش غلظت محلول نشاسته منجر به بر سطح ماندن بیشتر آن و عدم نفوذ به درون ساختار کاغذ (در راستای Z) می‌گردد؛ درنتیجه ماهیت آب‌گریزی بیشتر و بهتری را برای کاغذ فراهم می‌سازد. بنابراین در این پژوهش اثر تغییر غلظت نشاسته آنیونی

به‌عنوان عامل آهاردهی سطحی بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ بازیافتی بررسی و نتایج جذب آب نشان داد که تیمار سطحی مزبور کاهش معنی‌داری در میزان جذب آب کاغذ پدید آورده و تغییر غلظت نشاسته از ۴ به ۵ درصد باعث افت شدید جذب آب کاغذ می‌شود. لیکن افزایش غلظت نشاسته بیش از ۵ درصد از تأثیر کاهنده بسیار کمتری برجذب آب در مقایسه با سطوح کمتر غلظت برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نشاسته به دلیل افزایش نشاسته‌ی جذب-شده بر سطح و نفوذ یافته به درون ساختار کاغذ، ویژگی-های مقاومتی سفتی خمشی، شاخص مقاومت در برابر کشش و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن روندی افزایشی را طی می‌کنند. امکان و احتمال نفوذ مؤثر مقداری از نشاسته در منافذ کاغذ به‌ویژه در غلظت‌های پائین محلول آهاردهی وجود داشته که با افزایش غلظت و درنتیجه ویسکوزیته‌ی محلول نشاسته و گرانول‌های آن، از این امکان و احتمال کاسته شده که در ویژگی‌های مقاومتی مزبور به‌صورت تغییرات ناچیز و عمدتاً غیر معنی‌دار ظاهرشده است؛ اما در این میان روند نزولی شاخص مقاومت در برابر پارگی با افزایش غلظت نشاسته، به شکننده شدن و تشکیل فیلم نشاسته منسوب می‌گردد. صافی سطح کاغذ به دلیل حضور و نفوذ بیشتر نشاسته به درون خلل و فرج و ناصافی‌های سطح کاغذ، بهبودیافته و با افزایش غلظت نشاسته از میزان زبری سطح کاسته می-شود.

منابع

[1] Hamzeh, Y. and Rostampour Haftkhani, A., 2008. Principals of Papermaking Chemistry. University of Tehran press, Tehran.

[2] Shen, J., Fatehi, P. and Yonghao N., 2014. Biopolymers for surface engineering of paper-based products. Cellulose, 21: 3145–3160.

[3] Moutinho, I. M. T., Ferreira, P. J. T. and Figueiredo, M. L., 2007. Impact of Surface Sizing on Inkjet Printing Quality. Industrial and Engineering Chemistry Research, 46: 6183-6188.

[4] Lertsutthiwong, P., Nazhad, M. M., Chandrkrachang, S. and Stevens, W. F., 2004. Chitosan as a Surface Sizing Agent for Offset Printing Paper. Appita Journal, 57(4): 274–280.

[5] Hansson, J. A. and Klass, C. P., 1984. High speed surface sizing. TAPPI Journal, 67(1): 64–66.

[6] Remmer, J. and Eklund, D. E., 1991. Absorption of starch during surface sizing with different methods. Proceedings of TAPPI coating conference, 285.

[7] Holik, H., 2006. Handbook of Paper and Board. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 527 p.

[8] Fabio, D. S., 2003. Impregnation of Kraft Paper whit Cassava Starch Acetate: Analysis of The Tensile Strength, Water Vapor Permeability. Department of Chemical and Food Engineering, Federal University of Santa Catrania, 55: 504_510.

[9] Kassam, N., 2009. Mechanical Properties of Paper Sheets Treated whit Different Polymers. 2: 91-95.

The effect of concentration of anionic starch solution in paper surface sizing on physical and strength properties of recycled paper

Abstract

Surface sizing of paper by anionic starch was carried out to study its concentration effect on physical and strength properties of recycled paper. For this, hand sheets (100 GSM) of mixed recycled pulp containing 1% cationic starch were prepared and treated by the sizing agent on the sheet surface at various concentrations (0, 3-10%). Application and concentration increment of the starch solution resulted in a higher retention on the surface and lesser penetration into the paper structure (Z direction), contributing to a better hydrophobicity of sized paper and a significant reduction in water absorption of the paper; with the highest reduction in the Cobb test up to the solution concentration of 5%. Also, the results revealed that strength properties of bending stiffness, burst and tensile indices increased due to the anionic starch treatment, its consequent absorption and penetration into the paper thickness. The improvement rate was more predominant using up to the 5% concentration. Penetration of a part of sizing agent into the porous structure of paper and resulted improvement in fiber bonding are possible and probable. However, higher concentration and viscosity of the starch solution contributed to the lesser penetration and bonding formation with higher retention on the paper surface which resulted in continuous improvement in paper smoothness. With the sizing solution thickening, tear index decreased due to starch film formation on the paper surface with brittle character. In general, increasing of the anionic starch solution up to the 5% could be reported as an optimum level.

Keywords: surface sizing, anionic starch, water absorption, physical and strength properties.

Sh. Elyasi[1]
H. Jalali Torshizi[2*]

[1] M.Sc., Department of Cellulose and Paper Technology, Shahid Beheshti University, Zirab campus, Mazandaran, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Cellulose and Paper Technology, Shahid Beheshti University, Zirab campus, Mazandaran, Iran

Corresponding author:
H_Jalali@sbu.ac.ir

Received: 2015/05/30
Accepted: 2016/01/09