

تأثیر سطح مصرف آلوم - روزین کاتیونی بر ویژگی های کاغذ تهیه شده از بازیافت کناره‌بری ورقه‌های سفید

فاطمه نایبجیان^۱، حسین رسالتی^۲، حمیدرضا رودی^{۳*}، حسین جلالی ترشیزی^۴ و کمال پیرمردیان^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، ایران

۲- استاد، گروه صنایع خمیرو کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران

۳- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، ایران

پست الکترونیک: h_rudi@sbu.ac.ir

۴- استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، ایران

۵- مدیر ماشین کاغذ، صنایع خمیرو کاغذ ترک، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۶

چکیده

امروزه الیاف بازیافتی منبع فیبری عمده برای تهیه کاغذهای بسته‌بندی می‌باشد. با توجه به نوع کاربرد، آهاردهی این نوع کاغذها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این تحقیق، اثر میزان مصرف آلوم-روزین کاتیونی در pH حدود ۶/۵ بر ویژگی‌های کاغذهای تهیه شده از کناره‌بری ورقه‌های سفید بررسی شده است. برای بهینه‌سازی میزان مصرف، آهاردهی سوسپانسیون خمیر کاغذ با آلوم در ۶ سطح ۰، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۰ درصد و روزین با نسبت ۵۰ درصد آلوم در هر سطح بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ مطابق استاندارد TAPPI اعمال شد. سپس با تهیه کاغذهای با گراماژ $65 \pm 5 \text{ g/m}^2$ و ویژگی‌های جذب آب (۴۵ ثانیه)، ساختاری و مقاومتی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل آماری نتایج نشان داد که میزان مصرف آلوم و روزین به ترتیب ۷ و ۳/۵ درصد بر مبنای خشک خمیر کاغذ مناسب‌ترین سطح به‌کارگیری این ترکیب برای آهاردهی داخلی الیاف ورقه‌های کناره‌بری سفید می‌باشد. در این سطح آلوم-روزین، جذب آب کاغذها از $120 \pm 11/6 \text{ g/m}^2$ به کمترین مقدار و تا حدود $64 \pm 9/7 \text{ g/m}^2$ کاهش یافت. زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ از $24/81$ درجه به $96/53$ درجه افزایش یافت. شاخص کششی کاغذ تا این سطح آهاردهی تا حدود N.m/g $125 \pm 9/7$ کاهش و بعد با افزایش سطح آلوم-روزین این مقاومت افزایش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد این پدیده به علت نقش آلوم در خنثی‌سازی بار آنیونی، ماندگاری نرمه‌های سلولزی و توسعه قابلیت پیوندیابی شبکه کاغذ باشد. کاهش معنی‌دار زبری سطح کاغذ از $10/34 \pm 0/54 \mu\text{m}$ در نمونه شاهد به $8/23 \pm 1/37 \mu\text{m}$ در کاغذ آهار شده در سطح بهینه تأییدکننده این فرضیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روزین، آلوم، ویژگی‌های کاغذ، الیاف بازیافتی، کناره‌بری ورقه‌های سفید، زاویه تماس.

مقدمه

می‌شود. در نتیجه آن منافذ و خلل و فرج سطح کاغذ با استفاده از موادی از قبیل نشاسته اکسید شده به صورت یک لایه نازک پوشانیده می‌شود. در هر صورت، یک عامل آهاردهنده مناسب ضمن اتصال مؤثر با الیاف سلولزی و آبگریز کردن کاغذ نهایی، باید ماندگاری مؤثر و توزیع یکنواخت در شبکه الیاف داشته باشد. همچنین باید از نظر شیمیایی بی‌اثر و بر فرایند کاغذسازی اثر نامطلوب نداشته باشند (Neimo, 1999).

وظیفه اصلی عوامل آهاردهی، افزایش مقاومت در برابر نفوذ آب یا مایعات دیگر به درون کاغذ یا مقوا به صورت فیزیکی (کاهش یا حذف منافذ موجود در کاغذ) یا شیمیایی (جایگزین کردن گروه‌های آب‌گریز بر روی سطح الیاف با گروه‌های آب‌دوست) است، به نحوی که کاغذ برای کاربردهای مورد نظر حتی در شرایط با رطوبت بالا مناسب می‌گردد.

روزی و مشتقات آن برای استفاده به عنوان عوامل آهار سابقه بسیار موفقیت آمیزی در صنعت کاغذسازی دارند. مشتقات روزین عموماً ارزان، سازگار با انسان و محیط زیست می‌باشند. این مواد قابلیت تحمل بالایی نسبت به افزودنی‌های مختلف پایانه تر ماشین کاغذ دارند. همچنین عمر مفید آنها نسبت به عامل‌های دیگر آهار همانند AKD بسیار بیشتر است (Hubbe, 2006a; Hamzeh & Rostampou-Haftkhani, 2008). مواد بر پایه روزین معمولاً به همراه آلوم به عنوان تثبیت کننده در شرایط اسیدی و در pH کمتر از ۶/۵ کارایی مؤثرتری دارند. گرچه فشار زیادی بر صنعت کاغذسازی برای تغییر فرایند به سمت شرایط خنثی تا قلیایی وجود دارد ولی در بسیاری از موارد همانند خطوط تولید خمیر کاغذ بازیافتی pH به طور طبیعی ناگزیر در محدوده اسیدی قرار می‌گیرد (Zou et al., 2004; Varshoei et al., 2013).

توسعه میزان بازیافت کاغذهای باطله و نیز افزایش میزان نسبت مصرف الیاف بازیافتی در مقایسه با الیاف بکر در صنعت کاغذسازی ایجاب می‌کند تا کارایی افزودنی‌های پایانه تر کاغذسازی بهینه‌سازی شود (Khosravani &

فراورده‌های کاغذی به دلیل ساختار تشکیل شده از الیاف سلولزی تمایل زیادی به جذب آب دارند (Zou et al., 2004). اگرچه این ویژگی در برخی از درجات کاغذ همانند کاغذهای تیشو^۱ و کاغذهای بهداشتی^۲ مهم و ضروری می‌باشند، ولی در بسیاری از موارد؛ کاغذها باید در مقابل جذب یا نفوذ مولکول‌های آب مقاوم باشند (Roberts, 1997; Hubbe, 2005). برای مثال؛ کاغذهای بسته بندی که معمولاً از الیاف بازیافتی تهیه می‌شوند، به هنگام مصرف ممکن است در شرایطی قرار گیرند که باید در مقابل نفوذ سریع آب و مایعات مقاومت کنند (Elyasi et al., 2016). از این رو تولیدکنندگان کاغذ باید مقاومت این نوع کاغذها را در مقابل نفوذ آب بهبود بخشند. در چنین شرایطی، به کارگیری عامل‌های آهاردهی می‌تواند رویکرد مؤثری باشد. فرایند آهاردهی به دو صورت آهاردهی درونی و آهاردهی خارجی^۳ (سطحی^۴) انجام می‌شود. در آهاردهی داخلی مواد آبگریز همانند روزین، AKD^۵ و ASA^۶ با توجه به شرایط اسیدی و یا قلیایی سوسپانسیون خمیر کاغذ در پایانه تر^۷ ماشین کاغذ به آن اضافه می‌شوند و با ماندگار شدن این مواد و تثبیت آنها بر روی الیاف، خاصیت مانع جذب آب^۸ در کاغذ ایجاد می‌شود (Hubbe, 2006a). به طور معمول و از دیرباز، آهاردهی کاغذ در سیستم‌های کاغذسازی اسیدی با استفاده از روزین و مشتقات آن به عنوان ماده آبگریز و آلوم به عنوان ماده تثبیت کننده انجام می‌شود. در مقابل در سیستم‌های قلیایی عمدتاً از عوامل آهار AKD و ASA استفاده می‌گردد (Hamzeh et al., 2008). آهاردهی سطحی در پایانه خشک و بلافاصله پس از واحد خشک کن در پرس آهاردهی انجام

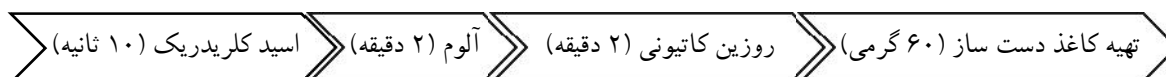
- 1- Tissue papers
- 2- Hygienic papers
- 3- External sizing
- 4- Surface sizing
- 5- Alkyl ketone dimer
- 6- Alkyl succinic acid
- 7- Wet end
- 8- Water repellency

تأثیر سطح مصرف آلودگی - روزین ...

استاندارد (T227 om-04) به دستگاه کوبنده والی^۵ منتقل شد. خمیرکاغذ تهیه شده پس از آبیگری در داخل پلاستیک‌های زیپ‌کیپ برای ادامه آزمایش‌ها نگهداری شدند.

مواد شیمیایی و تیمار الیاف

برای تنظیم pH سوسپانسیون خمیرکاغذ (خشکی حدود ۰/۵ درصد) قبل از افزودن آلودگی - روزین از اسیدکلریدریک در شرایط اختلاط ۷۵۰ RPM به مدت ۱۰ ثانیه استفاده شد. آلودگی مورد استفاده، پودری سفید با غلظت حدود ۱۷ درصد (Molecular weight \approx ۴/۵۹ g/mol) بوده که قبل از روزین کاتیونی در ۶ سطح مصرف ۰، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۰ درصد برمبنای جرم خشک الیاف خمیرکاغذ (pH \approx ۶/۵) بکار رفت. روزین کاتیونی به شکل سوسپانسیون با غلظت ۳۵ درصد (pH=2-4, Density \approx 1000 kg/m³, Viscosity 100 mPa.s) که به نسبت ۵۰ درصد آلودگی در هر سطح تیمار آلودگی به خمیرکاغذ اضافه شد. بر اساس نوع تیمار و مواد افزودنی مورد مصرف برای هر تیمار، توالی افزودن مواد شیمیایی به سوسپانسیون الیاف و زمان تیمار به شرح زیر می‌باشد (شکل ۱):



شکل ۱- ترتیب افزودن مواد به سوسپانسیون خمیرکاغذ

استاندارد دمایی (T=23±1 °C) و رطوبتی (RH=50±2%)، خواص آنها براساس روش‌های مندرج در جدول ۲ تعیین گردید. تحلیل آماری این پژوهش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با تیمار حاصل از ۵ سطح

(Rahmaninia, 2013). از این رو در این تحقیق تأثیر سطح مصرف آلودگی - روزین کاتیونی بر ویژگی‌های کاغذ تهیه شده از بازیافت کاغذهای کناره‌بری ورقه‌های سفید مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ

کاغذهای کناره‌بری ورقه‌های سفید از بخش آماده‌سازی کاغذ بازیافتی برای ارسال به واحد خمیرسازی صنایع خمیرکاغذ اترک اصفهان تهیه و به آزمایشگاه خمیرکاغذ پردیس علمی-تحقیقاتی زیرآب منتقل شد. این کاغذها تماماً از ورقه‌های کناره‌بری سفید و تمیز چاپخانه‌ای^۲ بوده و برای تهیه خمیرکاغذ مورد نیاز برای تولید لایه رویی^۳ مقوای چندلایه در این کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاغذهای بازیافتی پس از تمیزسازی و حذف مواد غیرسلولزی، در کف آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. برای آماده‌سازی خمیرکاغذ، براساس استاندارد T200-sp 01، کاغذهای بازیافتی در آب شهری به مدت ۲۴ ساعت خیس شد. سپس کاغذها برای جداسازی الیاف^۴ و پالایش تا درجه روانی ml.CSF ۳۰۰±۲۵ (مطابق

ارزیابی ویژگی‌های کاغذ

از هریک از تیمارها نمونه براساس استاندارد T205 sp- 02، کاغذ دست‌ساز استاندارد با وزن پایه ۶۵±۵ گرم بر مترمربع تهیه و پس از مشروط‌سازی در شرایط

- 1- Pulper
- 2- Printers white cuttings (PWC)
- 3- Top layer
- 4- Fiber disintegration (slushing)
- 5- Valley Beater

به همراه روزین کاتیونی به میزان ۵۰ درصد آلوم در هر سطح بر ویژگی‌های کاغذ بررسی شد که نتایج آن به شرح زیر است:

جذب آب

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود با افزودن آلوم-روزین ابتدا جذب آب در نمونه‌های کاغذ تیمارشده کاهش و بعد روند افزایشی داشته است. به عبارت دیگر، مقاومت کاغذ به جذب آب تا سطح ۷ درصد آلوم به طور معنی‌داری افزایش یافته و بعد با اضافه شدن سطح عامل آهار مقاومت کاغذ در مقابل نفوذ مولکول‌های آب کاهش یافته است. به طوری که بین میانگین جذب آب در همه تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد (p < ۰/۰۵). آزمون کاب در نمونه کاغذ تیمارشده (بدون هرگونه ماده آهار) حدود $120 \pm 11/65 \text{ g/m}^2$ اندازه‌گیری شده است، در صورتی که مقدار این آزمون در کاغذ آهارزنی شده تا سطح ۷ درصد آلوم $64 \pm 9/70 \text{ g/m}^2$ برآورد شده است. ادامه هنگامی که نمونه‌های کاغذ با سطوح بیشتر آلوم (تا ۱۰ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف) آهار شده‌اند؛ مقدار جذب آب تا $88 \pm 10/40 \text{ g/m}^2$ افزایش یافت.

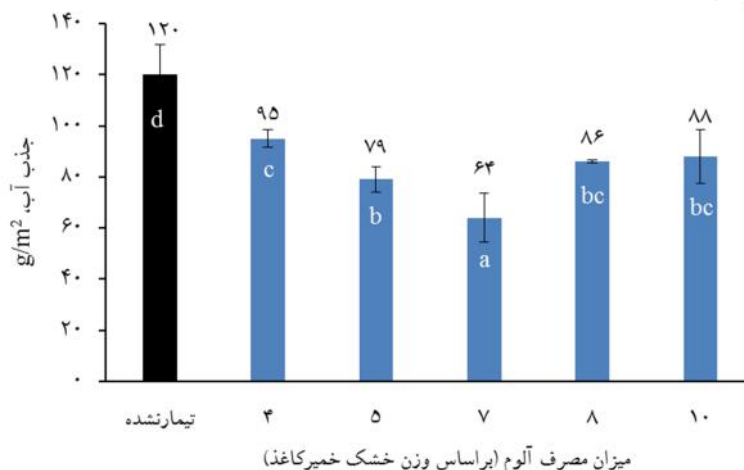
آهاردهنده و یک نمونه شاهد بدون آهار و با ۴-۶ تکرار برای هر آزمون بوده، بررسی‌های آماری آزمون تجزیه واریانس و گروه‌بندی میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح اعتماد ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد.

جدول ۱- استانداردهای تعیین ویژگی‌های کاغذ

ویژگی‌های کاغذ	استاندارد
ضخامت	T422 om-05
زبری سطح کاغذ	T555 0m-04
جذب آب	T441 om-04
شاخص کششی	T494 om-01
شاخص ترکیدن	T403 om-02
شاخص پارگی	T414 om-04
زاویه تماس آب	دستورالعمل دستگاه

نتایج

با توجه به اهداف تعریف شده برای انجام این پژوهش، نتایج تأثیر استفاده از آلوم با سطوح افزودن ۴، ۵، ۷، ۸ و ۱۰ درصد



شکل ۲- جذب آب کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می‌باشد) میله خطا یا Error bar روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد.

- 1- Analysis of variance (ANOVA)
- 2- Duncan multiple range test (DMRT)

۹۶/۵۳ درجه به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نمونه کنترل (با زاویه تماس ۲۴/۸۱ درجه) بوده است. زمان محوشدن قطره آب در سطح کاغذ نمونه بدون آهار حدود ۵ ثانیه و در کاغذ آهارشده تقریباً ۱۲ ثانیه اندازه‌گیری شده است.

پس از آهاردهی کاغذ زاویه تماس دینامیک^۱ قطره آب با سطح نمونه‌های کاغذ تیمارنشده و آهاردهی‌شده اندازه‌گیری شد. همانطورکه در شکل ۳ ملاحظه می‌شود میانگین زاویه تماس در کاغذهای آهارشده در حدود

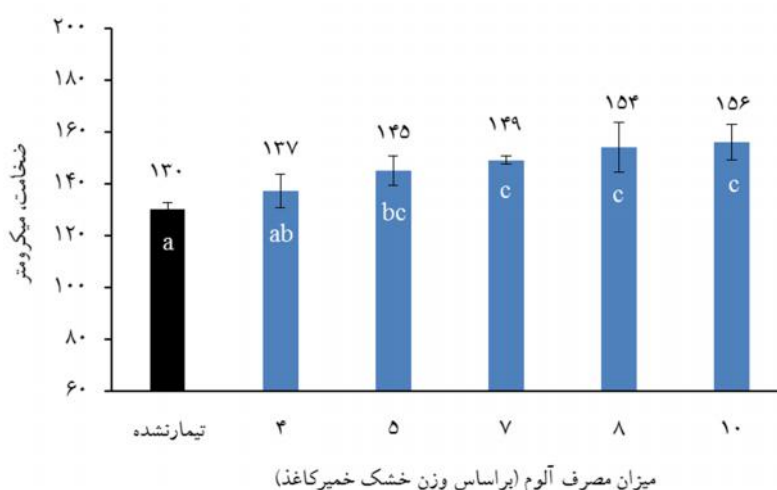


شکل ۳- اختلاف در زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ تهیه‌شده از الیاف ورقه‌های کناره‌بری سفید؛ نمونه کنترل (تیمارنشده) و کاغذ آهارشده با روزین کاتیونی

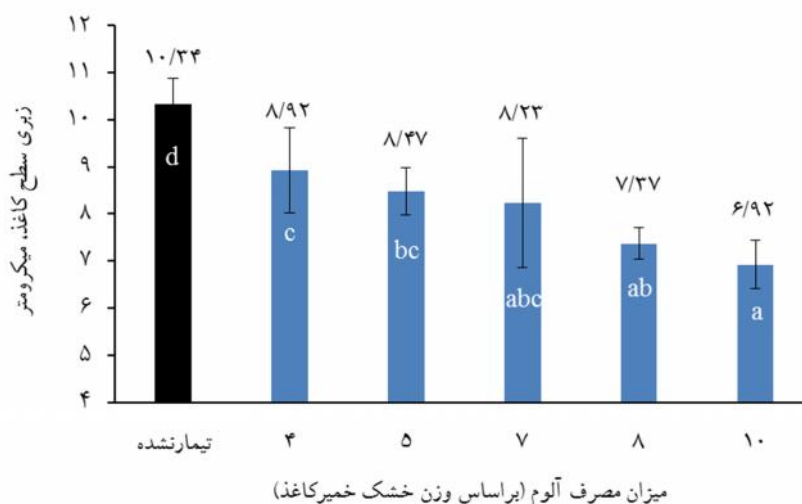
کاغذ در نمونه تیمارنشده $130 \pm 2/5 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شده است و با افزودن ۷ درصد آلوم ضخامت کاغذ با افزایش معنی‌داری به حدود $149 \pm 1/5 \mu\text{m}$ رسیده است. البته با اضافه‌شدن بیشتر آلوم - روزین تغییر قابل ملاحظه‌ای در ضخامت کاغذ دیده نشده است (p > 0.05).

ضخامت و زبری سطح کاغذ شکل ۴ تأثیر اضافه‌شدن آلوم - روزین کاتیونی به سوسپانسیون خمیرکاغذ بر ضخامت کاغذ تهیه‌شده را ارائه کرده است. همانطورکه ملاحظه می‌شود با افزودن عوامل آهار بین میانگین ضخامت کاغذها اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد وجود دارد (p > 0.05). ضخامت

1- Dynamic contact angle (DCA)



شکل ۴- ضخامت کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می باشد). میله خط یا **Error bar** روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می باشد.



شکل ۵- زبری سطح کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می باشد). میله خط یا **Error bar** روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می باشد.

کیفیت شکل‌گیری آن است؛ از این رو در یک ترکیب مشخص به نوعی عملکرد مواد افزودنی را در سوسپانسیون خمیر کاغذ مشخص می‌کند. برای مثال؛ دلمه شدن ذرات ریز الیاف سلولزی (که می‌تواند متأثر از افزودن آلوم باشد) می‌تواند باعث بهبود صافی سطح کاغذ شود (Hamzeh, 2008). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده

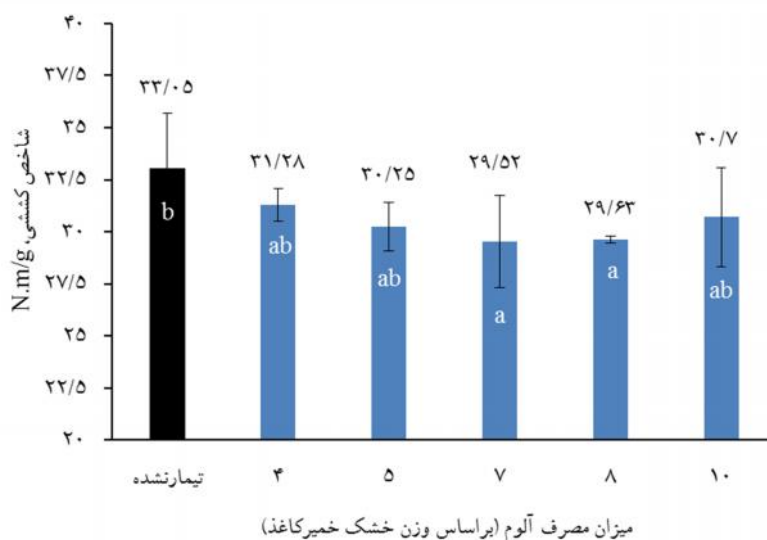
زبری سطح کاغذ از ویژگی‌های مهم ساختاری آن است که در بسیاری از کاربردها بخصوص برای چاپ پذیری بهتر و کیفیت بیشتر چاپ از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (Elyasi *et al.*, 2016). این ویژگی بسیار متأثر از میانگین طول الیاف سلولزی و وجود نرمه‌های سلولزی و تثبیت آنها در شبکه کاغذ و

پالایش، افزایش فشار پرس و انجام آهار سطحی بر روی کاغذ، مقاومت کششی افزایش می‌یابد (Bown, 1996). اثر تمامی عوامل ذکر شده بر مقدار مقاومت کششی کاغذ به صورت سطح نسبی پیوند^۱ بیان می‌شود و هر عاملی که بتواند باعث کاهش میزان سطح پیونددار الیاف شود، باعث افت مقاومت کششی کاغذ می‌شود (Page, 1996; Hubbe, 2006b).

شکل ۶ نشان می‌دهد که شاخص کششی کاغذ در نمونه‌های کاغذ آهارنشده ($11/6 \pm 139/9$ N.m/g)، بیشتر از نمونه‌های کاغذ دارای ۷ درصد آلوم ($9/7 \pm 125$ N.m/g) می‌باشد و این اختلاف از نظر آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است ($p < 0.05$). گرچه پس از آن با افزایش سطح آلوم - روزین، شاخص کششی کاغذ بدون اختلاف معنی‌داری روند افزایشی داشته است ($p < 0.05$).

می‌شود با افزودن آلوم - روزین در همه سطوح مقدار زبری سطح کاغذ کاهش یافته است و این کاهش به لحاظ آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$). گرچه آزمون دانکن حکایت از آن دارد که میانگین‌های زبری سطح کاغذ با افزودن ۷، ۸ و ۱۰ درصد آلوم می‌تواند در یک گروه نیز قرار گیرد. زبری سطح کاغذ در نمونه کاغذ بدون عامل آهار $34 \pm 10/54$ μm اندازه‌گیری شده است، در صورتی که با اضافه شدن ۷ درصد آلوم و ۳/۵ درصد روزین کاتیونی، مقدار زبری سطح کاغذ با اختلاف معنی‌داری حدود $37 \pm 1/23$ μm اندازه‌گیری شد.

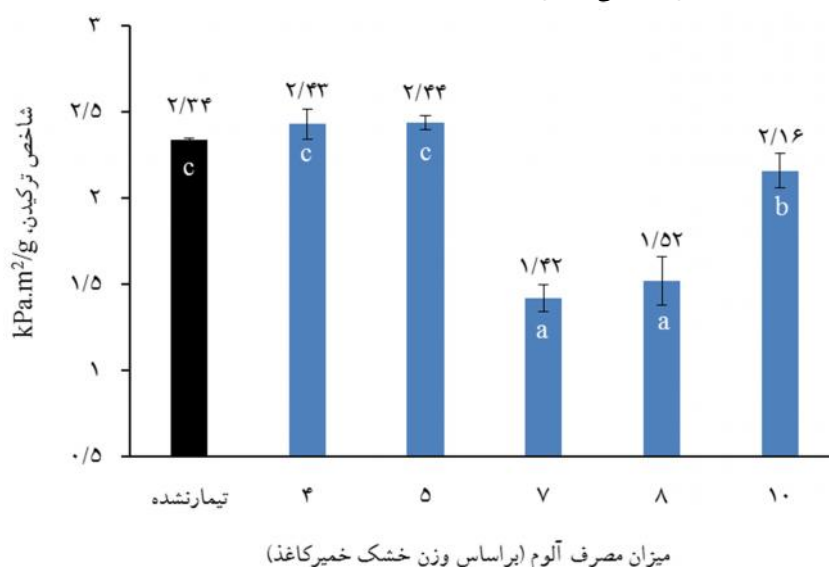
مقاومت کششی یکی از مهمترین مقاومت‌های کاغذ است که آن را در برابر تنش‌های کششی که به آن وارد می‌شود، حفظ می‌کند. به طوری که با افزایش شدت



شکل ۶- شاخص کششی کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می‌باشد) میله خط یا Error bar روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد.

1- Relative bonded area (RBA)

قابل مشاهده روند کاهش معنی دار شاخص ترکیدن با افزودن آلوم-روزین می باشد. شاخص ترکیدن کاغذ تیمارنشده تقریباً $۸/۹ \pm ۰/۵ \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ و در کاغذ در حضور ۷ درصد آلوم حدود $۵/۴ \pm ۰/۴ \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ اندازه گیری شد. افزودن آلوم و روزین بیشتر، شاخص ترکیدن را به شدت کاهش داده است. نتایج تأثیر سطوح بیشتر آهار بر شاخص ترکیدن نشان می دهد که در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری وجود دارد ($p < ۰/۰۵$).

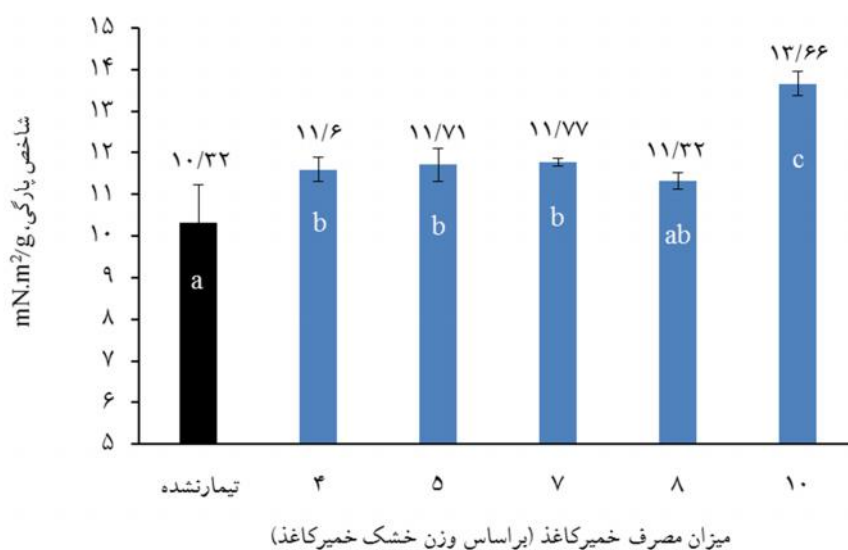


شکل ۷- شاخص ترکیدن کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می باشد) میله خط یا **Error bar** روی ستون ها نشان دهنده میزان انحراف استاندارد می باشد.

کاغذ تیمارنشده تقریباً $۱۸۵ \pm ۲۱/۲ \text{ mN.m}^2/\text{g}$ و در کاغذ در حضور ۷ درصد آلوم حدود $۲۱۱ \pm ۲/۳ \text{ mN.m}^2/\text{g}$ اندازه گیری شد. افزودن آلوم و روزین بیشتر، شاخص پارگی را افزایش داده است، به طوری که در سطح ۱۰ درصد آلوم این مقاومت با اختلاف معنی داری نسبت به تیمارهای دیگر به $۲۴۵ \pm ۷ \text{ mN.m}^2/\text{g}$ اندازه گیری شد.

شاخص ترکیدن کاغذ از ویژگی های مهم مکانیکی آن است که به میزان اتصال بین الیاف، طول الیاف و مقاومت خود الیاف بستگی دارد؛ بنابراین افزایش پالایش و فشار پرس که باعث بهبود اتصال بین الیاف می شوند، سبب افزایش شاخص ترکیدگی و به کارگیری برخی افزودنی ها همانند مواد پرکننده و عوامل آهار باعث کاهش آن خواهد شد (Mohamadzadeh-Saghavaz & Resalati, 2013).
با توجه به شکل ۷، همانند شاخص کششی اولین نتیجه

برخلاف شاخص های مقاومت کششی و ترکیدن، همانطوری که در شکل ۸ ملاحظه می گردد شاخص پارگی کاغذ هنگامی که با سامانه آلوم-روزین آهار شده اند نسبت به کاغذ تیمارنشده مقاومت به پارگی بیشتری نشان داده اند و اختلاف بین میانگین شاخص پارگی کاغذها در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار بوده است ($p < ۰/۰۵$). شاخص پارگی



شکل ۸- شاخص پارگی کاغذ (میزان روزین مصرفی ۵۰ درصد آلوم در هر سطح می باشد) میله خط یا Error bar روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می باشد.

بحث

می باشد. به علاوه، هم در سیستم‌های اسیدی و هم در سیستم‌های قلیایی افزودن آلوم قبل از روزین کاتیونی موجب بهبود مقاومت کاغذ به نفوذ مولکول‌های آب شده است (Rahmaninia et al., 2016). در مقابل افزودن روزین کاتیونی در گام اول منجر به واکنش آن با آشغال‌های آنیونی شده و با کاهش بار کاتیونی روزین ماندگاری آن بر روی سطح الیاف به شدت کاهش می‌یابد (Bajpai, 2005; Batten, 2005).

بررسی میزان جذب آب اعمال شده نشان داد که آهاردهی با آلوم - روزین کاتیونی به طور معنی‌داری منجر به کاهش جذب آب کاغذ تهیه شده از ورقه‌های سفید کناره‌بری می‌شود. خنثی‌سازی اولیه بارهای آنیونی توسط آلوم و در ادامه تشکیل رزینات آلومینیم با اضافه شدن روزین کاتیونی و تثبیت آن بر روی سطح الیاف (Mataniborkhili et al., 2016) و با عنایت به ماهیت گروه‌های آبگریز در ساختار روزین کاتیونی (Hamzeh, 2008)، جذب آب نمونه‌های آهار شده کاهش یافته است. در تأیید موفقیت سیستم آهاردهی بکار گرفته شده، زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ و زمان مورد نیاز برای جذب کامل قطره آب در شبکه

آهاردهی داخلی دارای چهار گام اساسی می‌باشد که عبارتند از: ماندگاری آهار، توزیع آهار در شبکه الیاف، اتصال آهار به الیاف و پیکربندی مولکول‌های آهار بر روی سطح الیاف (Wang et al., 2000; Batten, 2005; Rahmaninia et al., 2016). در سامانه‌های آهار آلوم - روزین کاتیونی، طبیعت کاتیونی روزین نقش مهمی در گام اول یعنی ماندگاری آهار بر روی الیاف دارد و بسیاری از نواقص را در گام اول جبران می‌کند (Sakamoto & Au, 2002). این موضوع در مورد سوسپانسیون خمیر کاغذ حاصل از الیاف بازیافتی به دلیل سطح بالای هدایت الکتریکی^۱ و نیاز کاتیون خواهی^۲ بالا بسیار حیاتی است. از طرفی فاز آبی آلومینیم حاضر در ساختار آلوم نیز می‌تواند به عنوان جمع‌کننده آشغال‌های آنیونی^۳ عمل کند؛ بنابراین بخشی از آلوم - روزین صرف خنثی‌سازی بارها می‌گردد. از این رو سطح بالاتر آلوم - روزین مصرفی در این پژوهش نسبت به عمده گزارش‌های قبلی احتمالاً ناشی از این امر

- 1- Conductivity
- 2- Cationic demand
- 3- Anionic trash collector (ATC)

درصد) احتمالاً ناشی از عملکرد آلوم در ماندگاری نرمة‌های سلولزی است (Mataniborkhili et al., 2016; Li et al., 2002) که با افزایش پیوندیابی بین الیاف، مقاومت کششی کاغذ را تا حدودی افزایش داده است. همانطور که اطلاعات شکل ۷ نشان می‌دهد این پدیده و روند تغییرات ناشی از آن در ارزیابی شاخص ترکیدن کاغذ نیز مشاهده شده است. مسلماً علت این امر ناشی از کاهش سطح نسبی پیوند الیاف است که منجر به کاهش پیوندهای بین لیفی و کاهش مقاومت به ترکیدن شده است (Cao et al., 2011; Bown et al., 1996). اما در ادامه همانند شاخص کششی کاغذ، افزایش دوباره شاخص ترکیدن کاغذ را می‌توان به ماندگاری نرمة‌های سلولزی در بستر فیبری الیاف توسط آلوم نسبت داد (Mataniborkhili et al., 2016; Li et al., 2002) که منجر به توسعه اندک پیوند بین الیاف شده است. در تأیید این نتایج گزارش شده است که هنگامی که از ترکیب آلوم-روزین کاتیونی برای آهاردهی سوسپانسیون خمیرکاغذ الیاف بازیافتی (OCC) استفاده می‌شود؛ شاخص کششی و ترکیدن کاغذ بیشتر از زمانی است که فقط روزین کاتیونی بکار گرفته می‌شود (Rahmaninia et al., 2016). برخلاف شاخص‌های کششی و ترکیدن، شاخص پارگی کاغذ با اضافه شده آلوم-روزین کاتیونی افزایش یافته است. مقاومت به پارگی کاغذ مقدار انرژی موردنیاز برای ادامه گسیختگی کاغذ پس از پارگی اولیه از یک فاصله مشخص می‌باشد و بسیار متأثر از میانگین طول الیاف است (lecourt et al., 2010). گرچه انتظار بر این است که با افت سطح نسبی پیوند مقاومت کاغذ نسبت به ادامه پارگی کمتر شود ولی به نظر می‌رسد به دلیل تفاوت در ساختار ایجادشده در شبکه کاغذ یعنی کاغذ حجیم‌تر (ضخامت بیشتر)، شاخص پارگی کاغذ افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر سطوح مختلف آلوم-روزین کاتیونی بر ویژگی‌های کاغذ تهیه‌شده از بازیافت کاغذهای کناره‌بری ورقه‌های سفید در شرایط اسیدی (pH≈۶/۵) بررسی شده

الیاف افزایش یافت که بیانگر کاهش انرژی آزاد سطحی الیاف (کاهش کشش سطحی) در سطح کاغذ می‌باشد (Rahmaninia et al., 2016). این امر مانع از جذب سیال به درون الیاف و نیز نفوذ و عبور مولکول‌های مایعات از منافذ ریز شبکه الیاف می‌شود (Rudi et al., 2016).

با اضافه شدن سامانه آلوم-روزین به دلیل تثبیت روزین و افزایش میزان تثبیت آن با کاربرد بیشتر آلوم و با توجه به آگریز بودن روزین کاتیونی و خاصیت ممانعتی آن در پیوندیابی بین الیاف (Elyasi et al., 2015)، ضخامت کاغذ افزایش یافته است.

با اضافه شدن آلوم و افزایش میزان آن، زبری سطح کاغذ حاصل کاهش می‌یابد، زیرا ماهیت ماده آلوم به نحوی است که با خنثی‌سازی بارها و کاهش توان زتای منفی ذرات، همانند یک افزودنی کمک ماندگاری عمل می‌کند و موجب می‌شود نرمة‌ها و ذرات کلوئیدی به هم نزدیک شوند و دلمه تشکیل دهند (Hamzeh, 2008). به‌نحوی که با افزایش ماندگاری نرمة‌ها و قرارگیری در فضای متخلخل شبکه الیاف و همچنین منافذ سطح، صافی سطح کاغذ تا حدودی بهبود و زبری سطح کاهش می‌یابد.

مقاومت کششی کاغذ متأثر از دو فاکتور کلیدی شامل مقاومت ذاتی الیاف و مقاومت پیوند بین الیاف می‌باشد (Page, 1969). از آنجایی که افزودن سامانه آلوم-روزین کاتیونی، مقاومت ذاتی الیاف را تغییر نمی‌دهد؛ بنابراین تغییرات مقاومت کششی کاغذ می‌تواند ناشی از تغییرات در افزایش یا کاهش پیوند بین الیاف باشد. در کاغذهای آهاردهی‌شده به دلیل محدود و ضعیف‌تر شدن پیوندها با حضور روزین کاتیونی که ناشی از افت ظرفیت پیوند هیدروژنی بین الیاف می‌باشد (Mohammadzade- et al., 2009; Saghavaz et al., 2014)، شاخص کششی کاهش می‌یابد. مسلماً جذب بیشتر روزین کاتیونی قابلیت پیوندپذیری بین الیاف و به دنبال آن مقاومت کششی کاغذ را بیشتر کاهش می‌دهد. از این رو با افزایش تدریجی روزین کاتیونی شاخص کششی کاغذ افت کرده است. اما افزایش دوباره شاخص کششی (مصرف آلوم بیش از ۷

- Elyasi, S., Jalali-Torshizi, H. and Resalati, H., 2015. Investigation on the effect of different levels of alum consumption in alun-rosin sizing on the properties of plyboard. *Journal of forest and wood products*, 69(2): 375-385.
- Elyasi-Bakhtyari, S., Jalali-Torshizi, H. and Resalati, H., 2016. Alkyl Ketene Dimer (AKD) Sizing of Recycled-Virgin Cardboard with Engineered Heterogeneous Layers under Neutral and Alkaline Condition, *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23: 1-20.
- Hamzeh, Y. and Rostampour-Haftkhani, A., 2008. *Principales of Papermaking Chemistry*. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (Translate In Persian)
- Hamzeh, Y., Ekhtera, M.H., Abdolkhani, A., Izadyar, S. and Pourtahmasi, K., 2008. Sizing Mechanism of Recycled Test Liner Using Poly Aluminum Chloride and Rosin under Neutral Condition. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 23(1): 40-49.
- Hubbe, M., 2006a. Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agent-A review. *Bioresource*, 1(2): 281-318.
- Hubbe, M., 2006b. Paper's resistance to wetting- A review of internal sizing chemicals and their effects. *BioResources*, 2(1): 106-145.
- Hubbe, M., 2005. Acidic and alkaline sizing for printing, writing, and drawing papers. *The Book and Paper Group Annual*, 23: 139-151.
- Khosravani, A. and Rahmaninia, M., 2012. Paper recycling, an old but still effective solution. *Lignocellulose Journal*, 1(3): 164-165.
- Lecourt, M., Sigoillot, J. and Petit-Conil, M., 2010. Cellulase-assisted refining of chemical pulps: Impact of enzymatic charge and refining intensity on energy consumption and pulp quality. *Process Biochemistry*, 45: 1274-1278.
- Li, Y. H., Li X.L. and Li, W.H., 2002. Study on Polyaluminum Ferric Chloride for Treating Papermaking Wastewater and Regeneration. *North Environment*, 4: 67-69.
- Mataniborkhili1, M., Nazarnezhad, N. and Asadpour-Atoei, G., 2016. The Effect of Chitosan and Alum on Dewatering and sludge qualitative. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(1): 91-112.
- Mohamadzadeh-Saghavaz, K. and Resalati, H., 2013. Investigating the Effect of Using Ground Calcium Carbonate (GCC) and Clay Fillers on the Paper Properties. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(3): 111-124.
- Mohammadzade-Saghavaz, K., Resalati, H. and Mehrabi, E., 2014. Investigation on Effect of Filler Type and Sizing Agent (AKD) on Printing and

است. با سامانه آلوم - روزین کاتیونی می‌توان با موفقیت کاغذ تهیه‌شده از الیاف کناره‌بری ورقه‌های سفید را آهار کرد. افزودن آلوم قبل از روزین کاتیونی مقاومت به جذب آب بیشتری را در کاغذ ایجاد کرد. به طوری که زاویه تماس بیشتر قطره آب با سطح کاغذ مؤید این مطلب است. به عبارتی دیگر با توجه به ماهیت کاتیونی روزین به کارگیری آلوم در گام اول آهاردهی امری اجتناب‌پذیر است. میزان استفاده از آلوم - روزین برای رسیدن به جذب آب قابل قبول به دلیل سطح بالای آشغال‌های آنیونی و نیاز کاتیونی سوسپانسیون خمیر کاغذ بالا می‌باشد. افزودن آلوم - روزین کاتیونی ضمن افزایش قابل ملاحظه مقاومت به جذب آب، به علت افزایش ماندگاری نرمه‌ها و ریزه‌های الیاف سلولزی، باعث بهبود صافی سطح کاغذ شده است. اما همانطور که قابل انتظار هم بود اضافه شدن روزین کاتیونی به علت کاهش قابلیت پیوند هیدروژنی باعث افت سطح پیوند بین الیاف شده، از این رو شاخص‌های مقاومتی کاغذ (به جز شاخص پارگی کاغذ) کاهش یافته است. نکته مهم اینکه با توجه به افزایش ضخامت کاغذ در اثر آهاردهی با آلوم - روزین و تأثیر قابل توجه این ویژگی بر سفتی کاغذ، استفاده از آن در کاربردهای بسته‌بندی پیشنهاد می‌گردد.

سیاسگزار

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از مساعدت و پشتیبانی ارزشمند مدیریت و کارکنان گرانقدر شرکت صنایع خمیر و کاغذ اترک اصفهان کمال تشکر و سپاس را ابراز دارند.

منابع مورد استفاده

- Bown, R., 1996. Physical and chemical aspects of the use of fillers in paper. In *Paper Chemistry*, chapter 11, 2nd Ed. Roberts, J.C. (ed.), Blackie academic and professional, London, UK.
- Cao, S., Song, D., Deng, Y. and Ragauskas, A., 2011. Preparation of Starch Fatty Acid Modified Clay and Its Application in Packaging Papers. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50(9): 5628-5633.

- containing GCC filler. Iranian journal of chemistry and chemistry engineering, 35(2): 131-138.
- Sakamoto, M. and Au, C.O., 2002. Cationic rosin size for weakly acidic and neutral papermaking. Japan TAPPI Journal, 56(11): 1-7.
- Varshoei, A., Javid, E., Rahmaninia, M. and Rahmany, F., 2013. The performance of alkylketene dimer (AKD) for the internal sizing of recycled OCC pulp. Lignocellulose Journal, 2(1): 316-326.
- Zou, Y., Hsieh, J. S., Wang, T. S., Mehnert, E. and Kokoszka, J., 2004. Rosin sizing under neutral-alkaline papermaking conditions. TAPPI Journal, 3(7): 41-59.
- Writing Paper. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 21(2): 133-148.
- Neimo, L., 1999. Internal sizing of paper. In L. Neimo (Ed.), Papermaking Chemistry. Fapet Oy. Helsinki, Finland.
- Page, D.H., 1969. Theory for the tensile strength of paper, Tappi Journal, 52(4): 674-681.
- Roberts, J.C. 1997. Chemical control of water penetration in paper. Proc. SPIE-Int. Soc. Optical Engineering 3227: 20-39.
- Rudi, H., Jalali-Torshizi, H., Rasooly-Garmaroudi, E. and Azad-Sarvestani, M., 2016. Effect of sizing agent type and amount on the properties of paper

Effect of alum-cationic rosin consumption level on the properties of papers made from recycled white paper trimmings

F. najjian¹, H. Resalati², H. Rudi^{3*}, H. Jalali-Torshizi⁴ and M. Nazerian⁵

- 1- M.Sc., Student, Department of Biorefinery engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Zirab, Mazandaran, Iran
- 2- Professor, Department of Pulp and Paper Industry, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Mazandaran, Iran
- 3*-Corresponding author, Assistant Prof., Department of Biorefinery engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Zirab, Mazandaran, Iran, E-mail: h_rudi@sbu.ac.ir
- 4- Assistant Prof., Department of Biorefinery engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Zirab, Mazandaran, Iran
- 5- Manager of Paper Machine, Atrak Pulp and Paper Industries, Esfahan, Iran

Received: Feb., 2016

Accepted: April, 2017

Abstract

Nowadays, recycled fibers are the main fiber source for the manufacturing of white top packaging papers. Sizing of such papers, based on the type of application, is of great importance. In this research, the effect of alum-cationic rosin consumption amount at the pH of about 6.5 on the properties of papers made from white sheets trimmings was examined. In order to optimize the consumption, pulp suspension sizing with alum in six levels of 0, 4, 5, 7, 8, and 10 %, and rosin with the ratio of 50 % of alum based on oven dry (OD) weight of pulp was applied according to the TAPPI standard methods. Then handsheets with basis weight of about 65 ± 5 g/m² were prepared and their Cobb test (45 second), structural and strength characteristics were measured. Statistical analysis of the results have shown that alum and rosin consumption of about 7 and 3.5 % based on OD pulp is the suitable level for internal sizing of white trimmings fiber sheets. In these alum-rosin level, Cobb value of papers decreased from 120 ± 11.6 g/m² to the lowest value of about 64 ± 9.7 g/m². Contact angle of water droplet on the paper surface increased from 24.81° to 96.53°. Paper tensile index decreased up to 125 ± 9.7 N.m/g by such sizing level and again increased with increasing alum-rosin level. Such phenomena can be attributed to the role of alum in charge neutralizing, cellulosic fines retention and improving bonding ability of paper network. Meaningful decrease of paper surface roughness from 10.34 ± 0.54 μm in control sample to 8.23 ± 1.37 μm in sized papers in optimized level confirmed at this assumption.

Keywords: Rosin, alum, paper properties, recycled fibers, white sheets trimmings, contact angle.