Archive of SID

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۴ شماره ۱، صفحه ۱۲۳-۱۱۲، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2019.123905.1502
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1398.34.112.66.1.1578.1610

تأثیر آهاردهی با آلکیل کتون دایمر (AKD) بر ویژگی‌های خمیر وکاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی

زهره طاهری[۱]، حمیدرضا رودی [۲*]، حسین جلالی ترشیزی[۳] و رضا شیدپور [۴]

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

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی پالایش زیستی، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، زیراب، ایران

پست الکترونیک: h_rudi@sbu.ac.ir

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

۴- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۷

چکیده

امروزه برای کاغذسازان ویژگی ممانعتی در برابر جذب آب انواع کاغذهای بسته‌بندی که بیشتر از الیاف بازیافتی تهیه می‌شوند، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق، اثر عامل آهار آلکیل کتون دایمر (AKD) بر ویژگی‌های کاغذهای تهیه‌شده از الیاف بازیافتی صنایع خمیر و کاغذ اترک بررسی شده‌است. آهاردهی سوسپانسیون خمیرکاغذ با AKD در سطوح ۰ ، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ در pH خنثی (≈۷) مطابق استاندارد TAPPI اعمال شد. سپس با تهیه کاغذهای با گراماژ g/m^2 ۶۰±۳، آزمون کاب (۶۰ ثانیه) و ویژگی‌های مختلف آن ارزیابی شد. براساس تحلیل آماری نتایج، میزان مصرف تا ۱ درصد AKD بر مبنای خشک خمیرکاغذ، سطح بهینه آن برای آهاردهی داخلی الیاف بازیافتی مورد بررسی می‌باشد. در سطح AKD، جذب آب از مقدار g/m^2 ۷± ۱۷۴/۴ در نمونه کاغذهای بدون آهار به حدود g/m^2 ۱± ۲۴/۷ در کاغذ آهارشده با AKD کاهش یافت. زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ از ۳۵/۲ درجه به ۱۰۹/۱ درجه افزایش یافت. شاخص کشش کاغذ آهارشده با ۱ درصد AKD تا حدود N.m/g ۱/۰۱±۳۳/۲ به‌اندازه ۲/۴ واحد نسبت به کاغذ پایه افزایش یافت. به نظر می‌رسد این پدیده به‌علت قابلیت AKD در برقراری پیوندهای هیدروژنی باشد که همزمان با ایجاد آبگریزی کاغذ، منجر به توسعه قابلیت پیوندیابی شبکه کاغذ شده است. همچنین تیمار AKD ماتی کاغذ را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. این امر را می‌توان به افزایش ماندگاری پرکننده در بستر فیبری الیاف نسبت داد که منجر به توسعه شکست نور از سطح کاغذ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلکیل کتون دایمر، الیاف بازیافتی، خمیرکاغذ، شاخص کششی، زاویه تماس.

مقدمه

طبیعت بسیار آبدوست الیاف سلولزی در مقایسه با انواع پلاستیک، محدودیت بزرگی برای دستیابی به نیازهای آبگریزی کاغذها ازجمله به‌کارگیری آن در صنایع بهداشتی، غذایی و آشامیدنی می‌باشد (Arcudi *et al.*, 2014). وجود ماهیت آبدوستی ذاتی سلولز که ناشی از گروه‌های آبدوست موجود در ساختار آن می‌باشد، استفاده مستقیم از کاغذهای تهیه‌شده از آن را در کاربردهای دیگر صنعتی همانند صنایع چاپ و بسته‌بندی نیز محدود می‌کند (Guo *et al.*, 2017). از سویی صنعت کاغذ به دنبال آبگریزکردن[۱] کاغذ برای

1- Hydrophobicity

www.SID.ir

Archive of SID

مصـــارف مختلفی مانند بســـته‌بندی مایعات و مواد غذایی، فنجان‌ها و جعبه‌های کاغذی، بشقاب‌های غذا، ظروف یکبار مصـــرف آزمایشـــگاه، کاغذهای میکروســـیالی، کتاب‌ها و یا مجلات ضـــد آب، نقشـــه‌های نظامی و تولید فیلترهای فوق آب‌گریز – فوق اولئوفیلیـک[1] برای جداســـازی آب– نفت می‌باشـد (Qiuying *et al.*, 2017). روش‌های فراوانی برای ایجـاد ویژگی آبگریزی در انواع فراورده‌هـای کاغذی وجود دارد که از قدیمی‌ترین آنها می‌توان به روش آهاردهی[2] اشاره کرد (Balamurali *et al.*, 2009). آهاردهی به عنوان فرایندی تعریف می‌شود که طی آن عامل آهاردهنده یا به سوسپانسیون الیاف کاغذسـازی در پایانه تر ماشین کاغذ اضافه می‌شود تا جـذب مـایع را در فراورده نهـایی کـاهش دهـد (آهـارزنی داخلی[3]) و یا با پوشـش‌دهی بر سطح کاغذ در پایانه خشک باعث کاهش کشـش سـطحی (انرژی سـطحی) کاغذ شده و خـاصـــیـت آبگریزی بـه آن می‌دهد (آهارزنی ســـطحی یا خارجی[4]) (Rudi *et al.*, 2016).

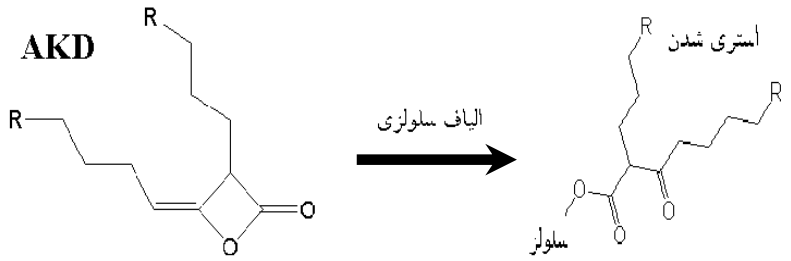
آهاردهی داخلی به‌منظور ممانعت جذب از لبه‌های کاغذ می‌باشد (Avitsland & Wagberg, 2005). بعلاوه، به دلیل مشکلاتی همانند هزینه‌های آهاردهی سطحی و الزام به ایجاد برخی تغییرات فرایندی، آهاردهی درونی به‌مراتب از رواج و مـقـبـولیـت بیشـــتری برخوردار اســـت (Hamzeh & Rostampor, 2008). بـه‌طوری‌که تا ســـال ۱۹۸۰ میلادی روش اصـلی به‌کار رفته در بیشتر کارخانجات کاغذسازی و عمدتاً با فرایندهای اسـیدی، آهاردهی داخلی با اسـتفاده از عامل‌های آهاردهنده آلوم _ رزین بوده‌اسـت، اما پس از آن کاربرد عوامل آهاردهی مصـنوعی واکنش‌پذیر با سلولز مانند آلکیل کتون دیمر (AKD) از رشـــد و مطلوبیت روزافزونی برخوردار شده‌است. از سوی دیگر یکی از تغییرات عمده در فرایندهای کاغذسازی تمایل به کاغذسازی در شرایط خنثی و قلیـایی بـه دلیـل مزیـت‌هـای فراوان آن در مقـایســـه با سـیسـتم‌های اسـیدی می‌باشـد (Zou *et al.*, 2004)، زیرا کاغذســازی در شــرایط اســیدی مشــکلاتی مانند خوردگی تجهیزات، زردشدن کاغذ و پایین بودن مقاومت کاغذ تولیدی را در پی خواهد داشـــت. همچنین کاربرد آهار آلوم و رزین که اغلب در شرایط اسیدی استفاده می‌شود، اثرهای نامطلوبی بر برخی ویژگی‌هـای کـاغذ دارد (Elyasi et al., 2016). به‌عنوان مثال رزین بر عملکرد مواد براق‌کننده نوری از طریق جـذب طیف‌هـایی از نور فرابنفش که برای فعال‌ســـازی آن مورد نیاز است، اثر منفی می‌گذارد. در صورتی‌که آهاردهنده AKD از تـأثیر نامطلوب به‌مراتب کمتری برخوردار اســـت. ازجملـه مزایـای عمـده آهـار AKD، عدم نیاز به ترکیبات تثبیت‌کننده همانند آلوم می‌باشـــد. این عامل آهار در بهترین شـرایط از طریق واکنش اسـتری‌شـدن بر روی سـطح الیاف جـذب شـــده، بـه‌طوری کـه هر مولکول AKD دو زنجیره آلکیلی ایجاد کرده که منجر به آبگریزی سـطح کاغذ می‌شود (شـــکل ۱) (Seppanen, 2007). با این ویژگی مثبت امکان حفظ مقاومت‌های کاغذ نیز در صورت به‌کارگیری آن وجود دارد. همانطور که در شـکل ۱ ملاحظه می‌شود AKD جذب شـده بر روی سطح دارای نقاط فعالی است که دارای قابلیت پیوند هیدروژنی می‌باشـــد. این قابلیت می‌تواند به حفظ و یا توسعه همزمان مقاومت‌ها کمک کند.

از ســـویی، توســـعه میزان بازیافت کاغذهای باطله و نیز افزایش میزان نسـبت مصـرف الیاف بازیافتی در مقایسـه با الیاف بکر در صـنعت کاغذسازی ایجاب می‌کند تا کارآیی و بهینه‌سازی افزودنی‌های مختلف پایانه تر کاغذسازی ازجمله عامل آهار AKD مورد بررسی قرار گیرد (Khosravani & Rahmaninia, 2012). بنـابر نیـازهای بازار کاغذ در ایران، این امر از اولویت‌های بســیاری از کاغذســازانی اســت که بـه‌ویژه از منـابع بـازیافتی در تولید انواع کاغذ بســـته‌بندی استفاده می‌کنند. صنایع خمیرکاغذ اترک ازجمله این صنایع و در واقع بزرگ‌ترین واحد کاغذســازی در ایران اســت که از الیـاف بـازیـافتی بـه‌عنوان مـاده اولیه برای ســـاخت انواع فراورده‌های بسته‌بندی استفاده می‌کند.

1- Superhydrophobic-Super Oleophilic Filters
2- Sizing
3- Internal sizing
4- Surface (external) sizing

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- ساختار شیمیایی AKD و واکنش استری‌شدن آن با الیاف سلولزی برای ایجاد آبگریزی در سطح کاغذ

در این کارخانه از عامل AKD در پرس آهار (بعد از خشک‌کن اولیه) برای آهاردهی خارجی کاغذها استفاده می‌شود ولی بدلیل مشکلاتی همانند هزینه‌های آهاردهی سطحی و الزام به ایجاد برخی تغییرات فرایندی، تمایل به آهاردهی داخلی و ایجاد سازوکار و شرایط آن کماکان وجود دارد. ازاین‌رو این موضوع که به‌کارگیری آن در پایانه تر (آهاردهی داخلی) چه اثری بر ویژگی‌های کاغذ دارد؛ مورد سئوال بوده است. از این‌رو در این تحقیق، تأثیر استفاده از این عامل آهار بر جذب آب و ویژگی‌های کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی (مورداستفاده در صنایع خمیرکاغذ اترک) مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ

خمیرکاغذ مورد استفاده در این تحقیق از مخزن ذخیره خمیرکاغذ قبل از واحد پالایش صنایع خمیرکاغذ و کاغذ اترک اصفهان تهیه شد. این خمیرکاغذ بدون هرگونه افزودنی بوده است. خمیرکاغذ پس از آبگیری، داخل پلاستیک زیپ کیپ نگهداری و به آزمایشگاه خمیرکاغذ پردیس علمی- تحقیقاتی زیراب انتقال داده شد. آماده‌سازی خمیرکاغذ براساس استاندارد T200-sp 01 انجام شد. بدین‌منظور ابتدا کاغذهای بازیافتی در آب شهری به‌مدت ۲۴ ساعت خیسانده شدند. سپس از دستگاه کوبنده والی[1] برای جداسازی الیاف و پالایش تا درجه روانی ml.CSF ۳۰۰±۲۵ (مطابق استاندارد T227 om-04) استفاده شد. برای جداسازی کامل اجزاء غیرسلولزی و الیاف به هم چسبیده، سوسپانسیون خمیرکاغذ از غربال‌های ۲۰ و ۴۰۰ مش عبور داده شدند. در نهایت، الیاف مانده بر روی غربال ۴۰۰ مش پس از آبگیری به پلاستیک‌های زیپ‌کیپ منتقل و در یخچال آزمایشگاهی (دمای ۴ °C) برای ادامه آزمایش‌ها نگهداری گردیدند.

مواد شیمیایی، تیمار خمیرکاغذ و ارزیابی خواص کاغذ

آهار سنتزی آلکیل کتون دایمر(AKD) مورد استفاده در این تحقیق از صنایع خمیرکاغذ و کاغذ اترک تهیه شد که مشخصات آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات AKD مورد استفاده در این تحقیق

نوع ترکیب	ساخت	حالت فیزیکی	pH	گرانروی mPa.s	چگالی ظاهری Kg/m^3	غلظت (٪)
AKD	هند	مایع شیری رنگ	۲/۵-۴	≈۱۴	۰/۹۹۹	≈۱۵

1- Valley Beater

www.SID.ir

Archive of SID

برای تیمار الیاف با عامل آهار از سوسپانسیون خمیرکاغذ با خشکی حدود ۰/۵ درصد در شرایط اختلاط ۷۵۰ RPM به‌مدت ۲۰ ثانیه استفاده شد. دوغاب مزبور به دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز منتقل و از هریک از تیمارها براساس استاندارد T۲۰۵ sp-۰۲، کاغذ دست‌ساز استاندارد با وزن پایه ۳±۶۰ گرم بر مترمربع تهیه و پس از مشروط‌سازی در شرایط استاندارد دمایی (T=۲۳±۱ °C) و رطوبتی (RH=۵۰±۲ %)، خواص آنها براساس روش‌های مندرج در جدول ۲ تعیین‌گردید.

جدول ۲- استانداردهای تعیین ویژگی‌های کاغذ

ویژگی‌های کاغذ	آیین‌نامه
گراماژ کاغذ	T410 om-02
برش نمونه‌های آزمونی	T220 sp-01
آزمون کاب	T441 om-04
حجیمی کاغذ	T220sp-01
دانسیته ظاهری	T411 om-05
شاخص مقاومت به کشش	T494 om-06
شاخص مقاومت به ترکیدن	T403 om-02
شاخص مقاومت به پاره‌شدن	T414 om-04
ماتی	T452 om-08
زاویه تماس قطره آب	دستورالعمل دستگاه

تحلیل آماری این پژوهش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با تیمار حاصل از ۳ سطح آهاردهنده و یک نمونه شاهد بدون آهار و با ۶-۴ تکرار برای هر آزمون بوده است. بررسی‌های آماری آزمون تجزیه واریانس[1] و گروه‌بندی میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن[2] و در سطح اعتماد ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد.

نتایج

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای انجام این تحقیق، نتایج تأثیر استفاده از عامل آهار AKD با سطوح افزودن ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف بر ویژگی‌های کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی بررسی شد که نتایج آن به‌شرح زیر است.

آزمون کاب (جذب آب)

تغییرات آزمون کاب در کاغذهای آهارشده با عامل AKD در شکل ۲ ارائه شده است که حکایت از کاهش قابل ملاحظه میزان جذب آب در تیمارهای آهارشده نسبت به نمونه بدون آهار دارد. در نتیجه میزان مقاومت کاغذ آهارشده به نفوذ مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. همانطورکه در شکل ۲ ملاحظه می‌شود با افزودن مقدار AKD، جذب آب در نمونه‌های کاغذ تیمارشده کاهش یافته است، به‌طوری که بین میانگین جذب آب در همه تیمارهای آهارشده نسبت به نمونه شاهد اختلاف

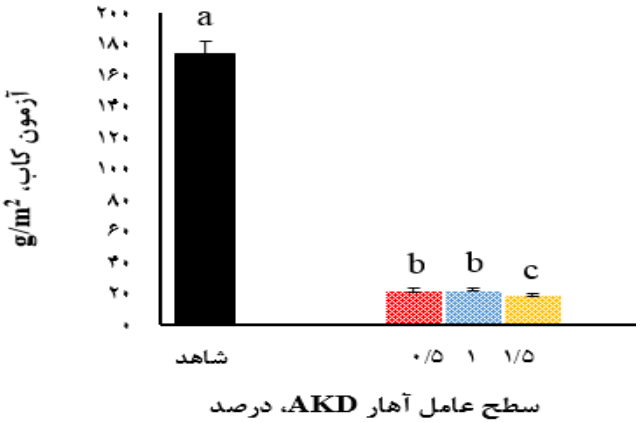
1- Analysis of variance (ANOVA)

2-Duncan multiple range test (DMRT)

www.SID.ir

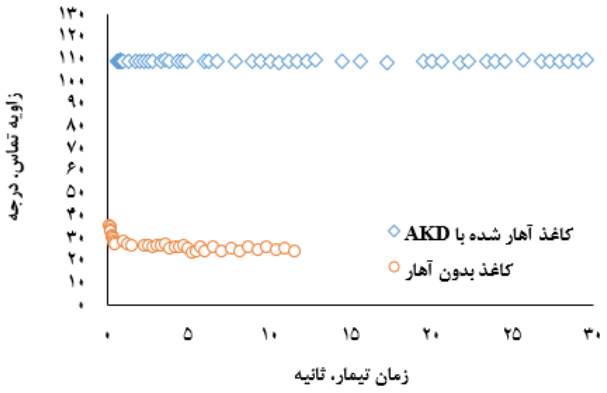
Archive of SID

معنی‌داری وجود دارد ($p\leq ۰/۰۵$). آزمون کـاب در نمونه کـاغـذ تیمـار نشـــده (بـدون مـاده آهار AKD) حدود $۱۷۴/۴ ۷\pm g/m^2$ اندازه‌گیری شده است، درحالی‌که مقدار این آزمون در کاغذ آهارشـده تا سـطح ۱ درصد AKD، $۲۴/۷ ۱\pm g/m^2$ انـدازه‌گیری شـــده اســـت. در ادامـه هنگامی‌که نمونه‌های کاغذ با سطوح بیشتر AKD (تا ۱/۵ درصـد برمبنای وزن خشـک الیاف) آهار شـده‌اند؛ مقدار جذب آب تا حدود $۲۳/۱ ۱\pm g/m^2$ افزایش یافت.



شکل ۲– آزمون کاب کاغذ تهیه‌شده از تیمارهای مختلف سوسپانسیون خمیرکاغذ الیاف بازیافتی
(میله خطا یا **Error bar** روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد. حروف نایکسان روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان **95** درصد می‌باشد).

برای تـأیید نتایج حاصـــل از آزمون کاب، زاویه تماس دینامیک[1] قطره آب با ســطح نمونه‌های کاغذ تیمارنشـــده و آهارشده نیز اندازه‌گیری شد. همانطورکه در شکل ۳ ملاحظه می‌شـود زاویه تماس در کاغذهای آهارشـده نسبت به نمونه کاغذ تیمارنشـده به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. زاویه تماس قطره آب با کاغذ آهارشـــده در حدود ۱۰۹/۱ درجه، بیشتر از نمونه شاهد با زاویه تماس ۳۵/۲ درجه بوده است.



شکل ۳– اختلاف در زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی (کاغذ بدون آهار (تیمارنشده) و کاغذ آهارشده با **AKD**)

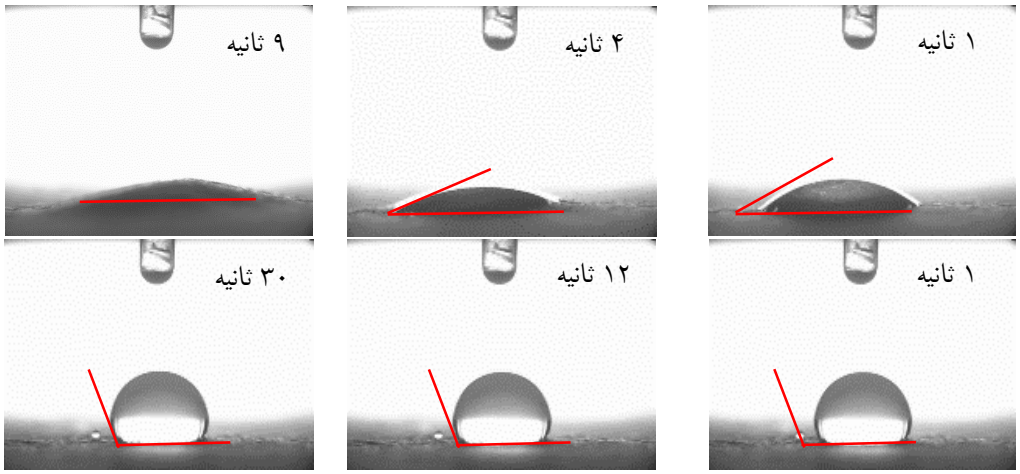
آزمون زاویـه تمـاس قطره آب می‌تواند برای ارزیابی ثبات آهاردهی و عدم برگشـــت و یا معکوس شـــدن این فرایند[2] مورداســتفاده قرار گیرد. همانطورکه در شـــکل ۴ ملاحظه می‌شود بین مدت زمانی که لازم است تا قطره آب به‌طورکلی توسـط سطح کاغذ جذب و محو شود اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. براین اســاس، زمان موردنیاز برای پهن‌شـدگی و در نهایت محوشدن قطره آب در سطح کاغذ بدون آهار حدود ۹ ثانیه می‌باشد. در صورتی‌که در کـاغذ آهارشـــده با AKD پس از حدود ۳۰ ثانیه زاویه تماس قطره آب با ســـطح کاغذ ثابت و بدون تغییر مانده است.

1- Dynamic contact angle (DCA)

2- Sizing reversion

www.SID.ir

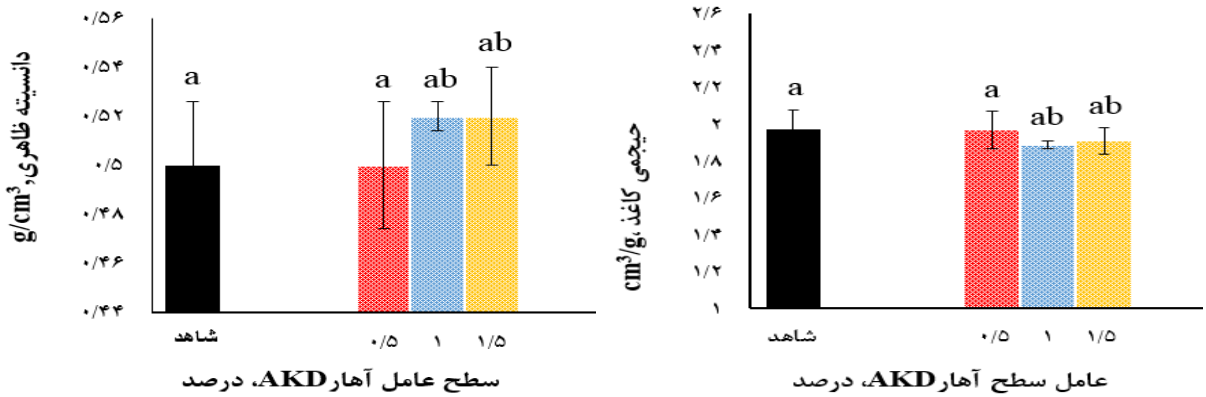
Archive of SID



شکل ۴– اختلاف در زمان محوشدن قطره آب در سطح کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی تیمارنشده و کاغذ آهارشده با **AKD**.

حجیمی و دانسیته ظاهری کاغذ

حجیمی کاغذ حجم واحد وزن آن است و کاغذهای حجیم‌تر معمولاً دارای مقاومت مکانیکی کمتری می‌باشند. حجیمی به نوعی نشان‌دهنده ساختار داخلی کاغذ می‌باشد که تحت تأثیر کیفیت شکل‌گیری کاغذ و چگونگی توزیع الیاف، نرمه‌ها و پرکننده‌ها است (Mohamadzade *et al.*, 2013). تغییرات حجیمی کاغذ در کاغذهای آهارشده با عامل AKD در شکل ۵ ارائه شده است، که حکایت از تغییرات کمی در میزان حجیمی در تیمارهای آهارشده نسبت به نمونه بدون آهار دارد ($p\geq$۰/۰۵). همانطورکه ملاحظه می‌شود با افزودن ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد AKD، حجیمی کاغذ در نمونه‌های کاغذ تیمارشده تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های کاغذ شاهد نشان نمی‌دهند.



شکل ۵– حجیمی و دانسیته ظاهری کاغذ تهیه‌شده از تیمارهای مختلف سوسپانسیون خمیرکاغذ الیاف بازیافتی (میله خطا یا **Error bar** روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد. حروف نایکسان روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان **95** درصد می‌باشد).

دانسیته ظاهری کاغذ یکی از مهمترین خواص آن است که تقریباً بر روی تمام خواص مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی کاغذ تأثیر می‌گذارد. دانسیته ظاهری (g/cm^3)، از تقسیم وزن پایه (g/m^2) به ضخامت (μm) کاغذ حاصل می‌شود (Rudi *et al.*, 2016). این ویژگی از نظر ذاتی عکس حجیمی کاغذ می‌باشد. ازاین‌رو همانطور که در شکل ۴ نشان داده

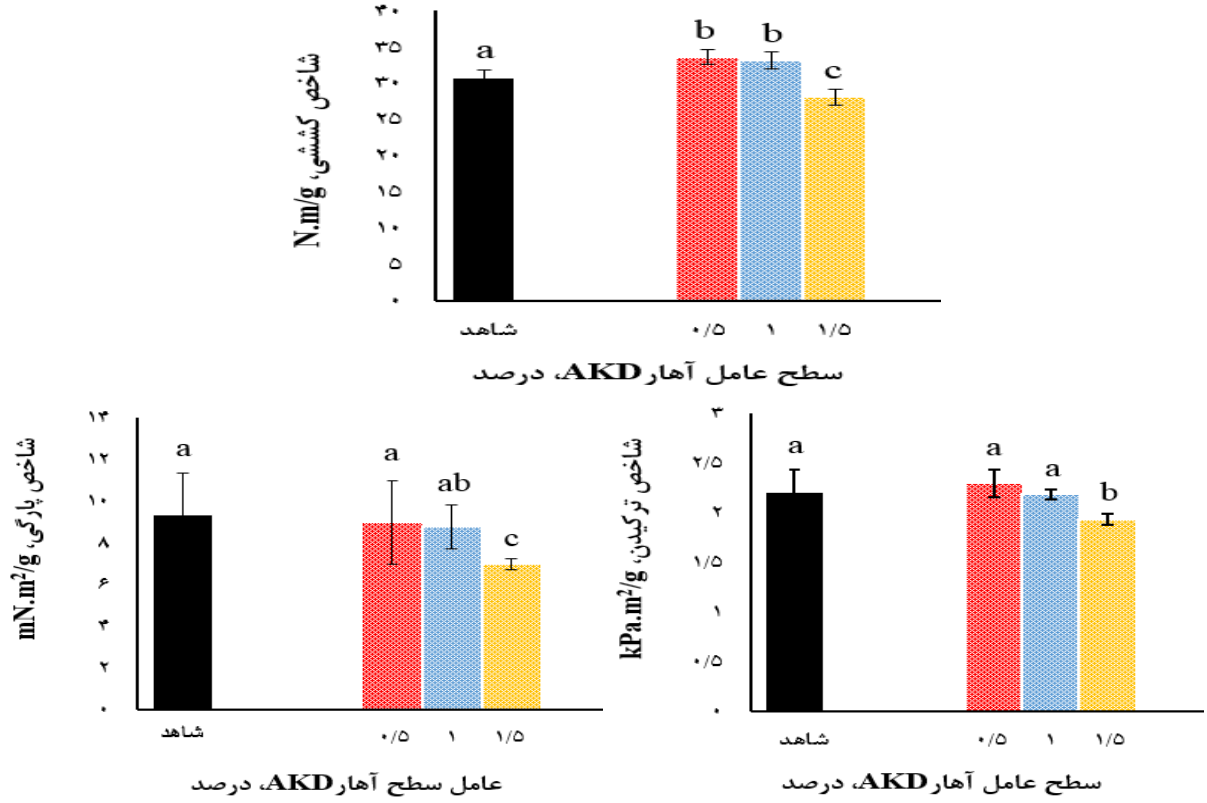
www.SID.ir

Archive of SID

شـده اسـت، واکنش آن در مقابل آهاردهی داخلی با AKD، شـبیه تغییراتی است که در حجیمی کاغذ مشاهده شده است. بر این اسـاس، تمامی نمونه‌های آهار شده و نمونه شاهد در یـک گروه قرار گرفته و بین میانگین‌های دانسـیته ظاهری کاغذها تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (p≥۰/۰۵).

شاخص‌های مقاومتی کاغذ

شاخص کششی کاغذ نمایانگر دوام و چگونگی کارکرد آن است (هنگامی که تحت تنش‌های مستقیم کششی قرار می‌گیرد). شاخص کششی علاوه بر تأثیر بر روی چگونگی واکنش کاغذ در برابر تنش‌های کشـشـی، بعضـی دیگر از خواص مکـانیکی کـاغـذ ازجملـه مقـاومت به ترکیدن و مقـاومـت بـه پـارگی را نیز تحـت تـأثیر قرار می‌دهـد (Janzadeh *et al.*, 2014). تغییرات شاخص‌های کششی، ترکیدن و پارگی در کاغذهای آهارنشـده و آهارشـده با عامل AKD در شـکل ۶ ارائه شـده اسـت. همانطورکه ملاحظه می‌شـود با اضـافه‌شـدن عامل آهار مقاومت‌های کاغذ ابتدا افزایش و بعد روند کاهشـی نشـان داده اسـت. برای مثال؛ با افزودن سطح ۱ درصد AKD بر مبنای وزن خشک الیاف، مقاومت کششی در نمونه‌های کاغذ تهیه‌شده تا حدود N.m/g ۱/۰۱±۳۳/۲ به‌اندازه ۲/۴ واحد نسبت بـه کـاغذ آهارنشـده (با شـاخص کشـشـی N.m/g ۱/۰۱±۳۳/۲) افزایش یافته اسـت. بعلاوه، همانطور که ملاحظه می‌گردد با افزودن ۱ درصد عامل آهار AKD به الیـاف بـازیـافتی، مقـاومت‌های کاغذ در مقابل تنش‌های ترکیدگی و پارگی کاغذ نیز حفظ شده است.



شکل ۶- شاخص کششی، ترکیدن و پارگی کاغذ تهیه‌شده از تیمارهای مختلف سوسپانسیون خمیرکاغذ الیاف بازیافتی

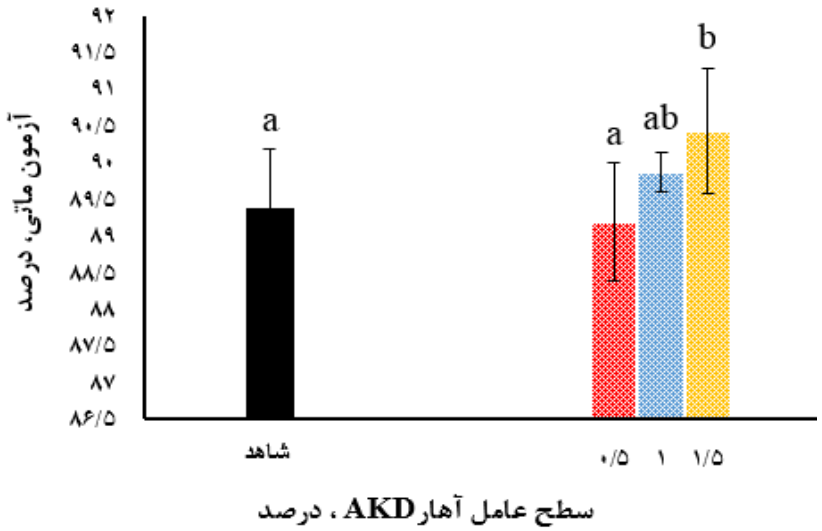
(میله خطا یا **Error bar** روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد. حروف نایکسان روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان **95** درصد می‌باشد).

www.SID.ir

Archive of SID

ماتی کاغذ

ماتی کاغذ ازجمله خواص نوری آن می‌باشد که متأثر از حجیمی کاغذ، سطح ویژه و ضریب پراکنش نور توسط اجزاء تشکیل‌دهنده آن می‌باشد (Zhang *et al.*, 2014). بطورکلی، هر عاملی که ممانعت بیشتری در مقابل عبور نور ایجاد کند و یا به جذب بیشتر نور کمک کند، باعث افزایش ماتی کاغذ می‌شود. تغییرات ماتی در کاغذهای آهارشده با عامل آهار AKD در شکل ۷ ارائه شده است که حکایت از افزایش معنی‌دار ماتی کاغذ در تیمارهای آهارشده نسبت به نمونه بدون آهار دارد ($p\leq$۰/۰۵). به عبارت دیگر، کاغذهای دارای AKD نسبت به نمونه شاهد از ماتی بیشتری برخوردار هستند و با افزایش درصد AKD ماتی نیز افزایش یافته است. ماتی کاغذ تهیه‌شده از الیاف تیمارنشده ۱/۸۳± ۸۹/۳۸ درصد، با افزودن ۱/۵ درصد AKD، این ویژگی تا ۰/۸۶± ۹۱/۹۲ درصد افزایش یافته است.



شکل ۷- ماتی کاغذ تهیه‌شده از تیمارهای مختلف سوسپانسیون خمیرکاغذ الیاف بازیافتی

(میله خطا یا Error bar روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشد. حروف نایکسان روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد می‌باشد).

بحث

در تحقیقات گذشته بر روی آهاردهی الیاف سلولزی، استفاده از AKD در انواع الیاف بکر مباحث و گزارش‌های فراوانی وجود دارد (Isogai *et al.*, 1997; Hubbe, 2001). امّا استفاده از این ماده بر روی الیاف بازیافتی که دارای شیمی پایانه تر بسیار پیچیده است، کمتر مورد توجه بوده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که AKD همانند تأثیرش بر الیاف بکر، به‌خوبی توانسته است باعث آهاردهی کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی شود. به‌طوری‌که میزان جذب آب در کاغذ تیمارشده به‌خوبی کنترل شده است. یکی از سازوکارهای پیشنهادی در مورد آهاردهی AKD، تشکیل پیوندهای بتا- کتو استر بین AKD با گروه‌های هیدروکسیل سلولز و همی سلولز عنوان شده است (Avitsland *et al.*, 2006). از آنجا که این پیوند از نوع کووالانسی محسوب می‌شود، کمتر تحت تأثیر شیمی پایانه تر خمیر بازیافتی بوده، از این‌رو توانسته است به جذب عامل آهاردهی بر سطح الیاف کمک نموده و با آبگریزی سطح الیاف در آهاردهی موفق عمل نماید (Hubbe, 2006; Seppanen, 2007).

تأثیر عامل آهاردهی AKD بر ویژگی‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

کـاغذ را می‌توان از دو جهت مورد بررســی قرار داد. از یکســو بـا اضــافـه‌شــدن AKD و واکنش گروه‌هـای هیدروکسیل سلولز با آن و تشکیل پیوند استری این انتظار می‌رود که گروه‌های هیدروکسـیل واکنش‌پذیر در شـبکه الیاف کاهش یابند (Avitsland *et al.*, 2006). گرچه این امر همزمان می‌تواند باعث توسـعه پیوند در شـبکه الیاف نیز شـود. از سـوی دیگر، گزارش‌ها نشـان می‌دهد که با افزودن AKD، ماندگاری نرمه‌های سلولزی و پرکننده در بسـتر فیبری الیاف افزایش یابد (Bildik *et al.*, 2016). بـاتوجـه بـه اینکـه درصـد زیادی از الیاف بازیافتی را خرده‌های الیاف و پرکننده‌های معدنی تشـکیل می‌دهند، تثبیـت این اجزاء می‌توانـد خواص مختلف کـاغـذ را تحت‌الشـعاع قرار دهد. طبیعی اسـت اضـافه‌شـدن عامل AKD بر طول، قطر و مقاومت ذاتی الیاف تأثیری نخواهد داشـت. بلکه تنها می‌تواند بر میزان پیوندیابی الیاف و نیز جهت‌یافتگی و شکل‌گیری آنها در ساختار کاغذ تأثیرگذار باشد (Elyasi Bakhtyari *et al.*, 2016). این موضوع در خمیرکاغذهای بازیافتی که قابلیت پیوندیابی ضعیفی دارند و نیز تحمل پائینی در برابر تیمار مکانیکی پالایش دارند، بسـیار مهم اسـت (Ellis & Sendlachek, 1993). زیرا بهبود شـاخص‌های مقاومتی کاغذ حاصـل از آنها تنها از طریق توسـعـه پیوندهای بین الیاف امکان‌پذیر اسـت (Hubbe *et al.*, 2007). بنابراین تأثیر سـطوح پایین‌تر عـامل آهاردهی AKD بر افزایش مقاومت‌های کاغذ را می‌توان به ماندگاری نرمه‌های سـلولزی نسـبت داد که با توسعه قابلیت پیوندیابی الیاف و احتمالاً شکل‌گیری بهتر ورقه کاغذ، منجر به توسـعه مقاومت‌ها شـده است. ضمن اینکه پرشـدن خلل و فرج شـبکه الیاف باعث می‌شود که کاغذها از حجیمی کمتر و دانسـیته بیشـتری برخوردار شـوند. در مقابل، جذب بیشـتر عامل آهاردهی بر سـطح الیاف احتمالاً واکنش الیاف نسـبت به همدیگر را کاهش داده اسـت. همانطور که پیشـتر بیان شـد این نتیجه را می‌توان به واکنش گروه‌های هیدروکسـیل سـلولز و همی سـلولز با گروه‌های حلقه لاکتونی چهار ضـلعی AKD نسبت داد که سبب افت گروه‌های هیدروکسیل واکنش‌پذیر شـده است (Hubbe, 2006). در نتیجه با افزایش استفاده از AKD و کاهش قابلیت الیاف در تشـکیل پیوندهای هیدروژنی با یکدیگر و کاهش سـطح اتصـال بین الیاف، مقاومت‌های کاغذ کاهش می‌یابد.

از سوی دیگر، تیمار الیاف با عامل آهار AKD منجر به افزایش ماتی کاغذ شـده اسـت. علت این امر می‌تواند تـأثیر AKD بر افزایش ماندگاری پرکننده‌های معدنی در بسـتر فیبری الیاف باشـد (Bildik *et al.*, 2016) که در دانسـیته و حجیمی تقریباً برابر کاغذها، منجر به توسـعه شکست نور از سطح کاغذ و افزایش ماتی آن شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر به‌کارگیری سـطوح مختلف عامل آهار AKD بر ویژگی‌های کاغذ تهیه‌شده از الیاف بازیافتی در شـرایط خنثی (pH≈۷) بررسـی شـده اسـت. با وجود محدودیت‌های سـیسـتم‌های بازیافتی در کارآیی عامل آهـار، نتـایج کلی این پژوهش نشـان داد که می‌توان با سـامانه AKD، کاغذ تهیه‌شـده از الیاف بازیافتی را با موفقیت آهار نمود. البته افزودن AKD تا سـطح حدود ۱ درصـد مقـاومـت به جذب آب خوبی را در کاغذ ایجاد نموده است. زاویه تماس قطره آب با سطح کاغذ آهارشده به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته اسـت و این زاویه با گذشـت زمان تقریباً ثابت مانده اسـت که مؤید پایداری آبگریزی کاغذ می‌باشـد. نکته مهم اینکه با اضـافه‌شـدن سـطوح کم AKD به سـوسـپانسیون خمیرکاغذ بازیافتی بـه‌علـت افزایش قـابلیـت پیونـد هیدروژنی و ماندگاری نرمه‌ها باعث بهبود سـطح پیوند بین الیاف‌شـده اسـت. از این‌رو مقـاومت‌های کاغذ بدون افزایش معنی‌دار حجیمی کاغذ که در انواع کاغذهای بسـته‌بندی از اولویت ویژه‌ای برخورداراست، حفظ شده است. همچنین استفاده از عامل آهـار AKD بـه‌دلیل تثبیت ماندگاری اجزاء پرکننده‌های معدنی موجود در کاغذ حاصل از الیاف بازیافتی، ماتی آن

www.SID.ir

Archive of SID

را اندکی افزایش داده اســـت. بطورکلی، با توجه به نتایج امیدوارکننده این پژوهش و نیز تلاش‌های اخیر کاغذسازان در جهت استفاده از آهارهای متناسب با شرایط pH خنثی تـا قلیـایی، بـه‌کـارگیری آهـاردهنـده AKD برای تهیه کاغذهای مقاوم به جذب آب از الیاف بازیافتی موردمطالعه پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویســندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از مسئولان و مدیران محترم شــرکت صــنایع خمیرکاغذ و کاغذ اترک اصــفهان به‌دلیل فراهم‌ســازی مقدمات در تهیه نمونه‌های خمیرکاغذ و برخی مواد شــیمیایی برای انجام این تحقیق سپاسگزاری نمایند.

منابع مورداستفاده

- Ahmad, S., Sharma, R., Raj, K., Mediratta, R., Prasad, K. and Ashok, K., 2007. Alkaline Sizing (AKD) With GCC Filler: Our Experience. TAPPI Journal, 19(4): 123-127.
- Arcudi, F., Cavallaro, G., Lazzara, G., Massaro, M., Milioto, S., Noto, R. and Riela, S., 2014. Selective functionalization of halloysite cavity by click reaction: structured filler for enhancing mechanical properties of bionanocomposite films. The Journal of Physical Chemistry C, 118(27): 15095-15101.
- Avitsland, G.A. and Wagberg, L., 2005. Flow resistance of wet and dry sheets used for preparation of liquid packaging board, Nordic pulp and paper research journal, 20(3): 345-353.
- Avitsland, G.A., Sterner, M., Wagberg, L. and Odberg, L., 2006. AKD sizing of TCF and ECF bleached Birch pulp characterized by peroxide edge wicking index. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 21(2): 237-244.
- Bildik, A.E., Hubbe, M.A. and Gurboy, K.B., 2016. Alkyl Ketene Dimer (AKD) Sizing Treatment and Charge Interactions in Recycled Paper. Appita Journal, 69(4):331-338.
- Ellis, R.L. and Sendlachek, K.M., 1993. Recycled versus virgin-fiber characteristics: A comparison in Secondary Fiber Recycling. R. J. Spangenberg (Ed.). TAPPI Press, Atlanta, Georgia, 619p.
- 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. J. of Wood & Forest Science and Technology, 23(1):1-19.
- Elyasi, S., Jalali Torshizi, H. and Resalati, H., 2016. Effect of Alum Consumption Levels in Alum-Rosin Sizing on Multilayered Paperboard Properties. Journal of Forest and Wood Product, 14(69): 375-385.
- Guo, F., Wen, Q., Peng, Y. and Guo, Z., 2017. Multifunctional hollow superhydrophobic SiO2 microspheres with robust and self-cleaning and separation of oil/water emulsions properties. Journal of Colloid and Interface Science, 494: 54-63.
- Hamzeh, Y. and Rostampour Haftkhani, A., 2008. Principales of Pepermaking Chemistry. University of Tehran press, 424p. (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.A., 2006. Paper's resistance to wetting – A review of internal sizing chemicals and their effects. BioResources, 2(1):106–145.
- Hubbe, M.A., Venditti, R.A. and Rojas, J.O., 2007. What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A Review. BioResources, 2(4): 739-788.
- Isogai, A., Kitaoka, C. and Onabe, F., 1997. Effects of Carboxyl Groups in Pulp on Retention of Alkyl ketene Dimer. Journal of Pulp and Paper Science, 23(5): 215-219.
- Jalali Torshizi, H., Mirshokraie, S.A., Faezipour, M., Hamzeh, Y. and Resalati, H., 2010. Application of galbanum gum (ferula gummosa) polysaccharide as a natural polymer to improve dry strength properties of recycled papers obtained from old corrugated cartons. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 23(4): 345-353.
- Janzadeh, H., Hedjazi, S., Yousefi, H., Mahdavi, S. and Abdolkhani, A., 2014. The effect of using cellulose nanofibers and cationic starch on the properties of soda-AQ pulp from rice straw. Journal of Forest and Wood Products, 67(1): 105-117.
- Karademur, A., 2002. Quantitative determination of AKD retention in paper made on a pilot paper machine. Turkish Journal of Agriculture and forestry, 26: 253-260.
- Khosravani, A. and Rahmaninia, M., 2012. Paper recycling, an old but still effective solution. Lignocellulose Journal, 1(3): 164-165.
- Lindstrom, T. and Eklund, D., 1991. Water Penetration

www.SID.ir

Archive of SID

Tosunov, R., 2008. Influence of the Alkyl Ketene Dimmer (AKD) sizing on the furnish behavior and paper properties. Journal of University of Chemical Technology and Metallurgy, 43(4): 388-393.
- Wen, Q., Guo, F., Yang, F. and Guo, Z., 2017. Green fabrication of coloured superhydrophobic paper from native cotton cellulose. Journal of Colloid and Interface Science, 497: 284-289.
- Wen, Z.G., Xu, C. and Zhang, X.Y., 2015. Integrated control of emission reductions, energy saving, and cost–benefit using a multi-objective optimization technique in the pulp and paper industry, Environ. Sci. Technol. 49: 3636–3643.
- Zhang, M., Hao, N., Song, S., Wang, J., Wu, Y. and Li, L., 2014. Investigation of the mixed refining of a novel fly ash-based calcium Silicate filler with fiber. BioResources, 9(3): 5175-5183.
- Zou, Y., Hsieh, J.S., Wang, T.S., Mehnert, E. and Kokoszka, J., 2004. The mechanism of premixing rosin sizes for neutral-alkaline papermaking. Tappi Journal, 3(9): 16-18.

and Internal Sizing. Chapter VIII in Paper Chemistry: an Introduction, DT Paper Science Publication, 305: 192-222.
- Naijian, F., Resalati, H., Rudi, H., Jalali-Torshizi, H. and Pirmoradian, K., 2017. Effect of alum-cationic rosin consumption level on the properties of papers made from recycled white sheets trimmings. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(2): 238-250.
- Rudi, H.R., Borhani, A. and Hamzeh, Y., 2016. Effect of modified layering treatment on the properties of papers made from recycled fibers. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 23 (3): 107-124.
- Seppanen, R., 2007. On the internal sizing mechanisms of paper with AKD and ASA to surface chemistry, wettability and friction. Dissertation. KTH, Royal Institute of Technology. Stockholm. Sweden.
- Si, Y. and Guo, Z., 2016. Eco-friendly functionalized superhydrophobic recycled paper with enhanced flame-retardancy. Journal of Colloid and Interface Science, 477: 74-82.
- Todorova, D., Bencheva, S., Todorova, K. and

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of alkyl ketene dimers (AKD) sizing on the properties of pulp and paper made from recycled fibers

Z. Taheri[1], H. Rudi[2*], H. Jalali-Torshizi[3] and R. Shidpoor[4]

1- M.Sc. Student, Department of Biorefinery engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Zirab, Mazandaran, Iran
2*-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
3- Assistant Prof., Department of Biorefinery engineering, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Zirab, Mazandaran, Iran
4- Assistant Prof., Department of Materials Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: Oct., 2018 Accepted: Feb., 2019

Abstract

Nowadays, the barrier property against water uptake of different packaging papers which are mostly prepared using recycled fibers is of highl important for paper manufacturers. In current study, the effect of AKD sizing agent has been examined on the properties of papers made from recycled fibers of Atrak pulp and paper industries. Sizing of pulp suspension using AKD was conducted at levels of 0, 0.5, 1 and 1.5% based on oven dry (OD) of pulp in neutral pH (≈7), according to the TAPPI standard methods. Then, handsheets with basis weight of about 60±3 g/m^{2}were prepared and the Cobb test (60 second) and different characteristics were evaluated. According to the statistical analysis of the results, up to 1 % AKD consumption added based on OD pulp exhibited optimum level in internal sizing of these recycled fibers. In such AKD level, water uptake of size-free papers which was measured at 174±7.4 g/m^2, was decreased to the value of about 24±1.7 g/m^2 in AKD-treated papers. Furthermore, contact angle of water droplet on the paper surface increased from 35.2º to 109.1º. Applying 1 % of AKD, paper tensile index increased to 33.2±1.01 N.m/g by 2.4 unit compared to the base paper. Apparently, such phenomena can be attributed to the AKD potential in creating hydrogen bonds which concurrent to the development of paper water repellency, resulted in improving bonding-ability of paper network. Additionally, AKD treatment led to meaningful increase of paper opacity. This can also be attributed to the increased filler retention in the fibers network, which influences the development of light scattering from the paper surface.

Key words :AKD, recycled fibers, pulp, tensile index, contact angle.

www.SID.ir