پتانسیل جایگزینی نشاسته با لیگنین‌های سودا و فرماسل در آهاردهی سطحی و ارزیابی ویژگی-های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای لاینر تولیدی

هادی حسن جان زاده[۱]
سحاب حجازی[۲*]
یحیی همزه[۳]
علی عبدالخانی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۳] استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:
shedjazi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹

چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای لاینر آهاردهی شده سطحی، با ترکیب فرمولاسیون نشاسته با لیگنین‌های سودا و فرماسل موردبررسی قرارگرفته است لیگنین‌های سودا و فرماسل از مایع سیاه باقی‌مانده از پخت‌های مربوطه جداسازی شده و سپس با مقادیر ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد با نشاسته آنیونی جایگزین گردید. همچنین به‌صورت مجزا به مقدار ۰/۳ گرم بر مترمربع آلوم به‌عنوان عامل کاتیونی به سوسپانسیون آهار اضافه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با جایگزینی هر دو نوع لیگنین با نشاسته، حتی به‌صورت صد در صد خواص فیزیکی(مقاومت به نفوذ هوا، جذب آب کب، زبری) و ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای آهار سطحی شده نسبت به کاغذ شاهد بهبودیافته است. با توجه به نتایج ترکیب با نسبت ۵۰ به ۵۰ لیگنین با نشاسته ازنظر بهبود ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی عملکرد بهتری داشته است. برای لیگنین سودا بدون آلوم شاخص کشش (۳۶/۲۱ N.m/g) و ترکیدگی (۱/۵۸ Kpa.m^2/g) نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۵۵ درصد و ۳۵ درصد افزایش داشته است. در خصوص لیگنین فرماسل بدون آلوم با نسبت ۵۰ به ۵۰ با نشاسته، شاخص کشش۴۷ درصد و شاخص ترکیدگی ۲۷ درصد بهبودیافته است. با توجه به نتایج امکان جایگزینی حداقل ۵۰ درصد نشاسته با لیگنین های فوق‌الذکر وجود دارد که این امر نقش مهمی را در امنیت غذایی و ایجاد ارزش‌افزوده برای کارخانه‌های خمیرکاغذ خواهد داشت.

واژگان کلیدی: لیگنین سودا، لیگنین فرماسل، نشاسته، آهارزنی سطحی، لاینر.

مقدمه

بدون شک ایجاد و گسترش صنایع بسته‌بندی موجب ایجاد اشتغال پایدار، افزایش صادرات محصولات گردیده و از این طریق میزان درامد زایی کشور افزایش‌یافته و به لحاظ کمی و کیفی محصولات تا حدی ارتقاء می‌یابد. قطعاً گسترش در صنایع بسته‌بندی، محصولات بسته‌بندی شده را ازلحاظ مشتری‌پسند بودن ارتقاء داده و با تأمین رضایت مشتریان در درازمدت موجب افزایش مصرف آن محصولات می‌گردد [۱]. امروزه در دنیا استفاده از مواد تجدید پذیر برای بسته‌بندی و بهره برداری پایدار از منابع طبیعی، به کارگیری مواد لیگنوسلولزی مبتنی بر بازیافت و بازیابی بسیار اهمیت یافته است. در این زمینه کاغذ به‌عنوان ماده ای تجدیدشونده نقش منحصربه‌فردی را ایفا می‌نماید. استفاده از کاغذهای مرغوب یکی از مؤلفه‌های مهم در ارتقا کیفیت بسته‌بندی می‌باشد. علاوه بر این استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و ترکیبات طبیعی تجدید پذیر

نقش تعیین‌کننده‌ای را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای بسته‌بندی و نهایتاً کیفیت بسته‌بندی دارد [۲] یکی از روش‌های مؤثر برای بهبود کیفیت کاغذهای بسته‌بندی انجام فرایند آهارزنی سطحی می‌باشد. از موارد قابل‌توجه آهار سطحی، ماندگاری تقریباً ۱۰۰ درصدی آنها است که در مقایسه با آهاردهی داخلی مزایای بسیاری را دارا می‌باشد. بسته بودن هرچه بیشتر چرخه آب فرایندی و به‌تناسب آن افزایش مواد مزاحم و آلاینده‌ها، موجب افزایش مطلوبیت تیمارهای سطح کاغذ شده است [۳]. این ترکیبات با کاهش انرژی سطحی کاغذ موجب کاهش نفوذ آب به درون کاغذ خواهد شد. آهارزنی عموماً باهدف بهبود چاپ پذیری سطح کاغذ از طریق افزایش مقاومت به نفوذ مایعات، استحکام سطحی، استحکام و پایداری ابعادی و کنترل ضریب اصطکاک سطح صورت می‌گیرد [۴]. در کاغذسازی بر حساب نیاز از مواد مختلف برای آهارزنی استفاده می‌شود که نشاسته یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین ماده مورداستفاده در فرایند آهارزنی محسوب می‌گردد که از بسیاری از گیاهان مثل ذرت، گندم، برنج، سیب‌زمینی و تاپیوکا تولید می‌شود [۵]. این بسپار زیست‌تخریب‌پذیر و سازگار با محیط‌زیست، کم‌هزینه و قابل‌تجدید می‌باشد [۶ و۷].

اما با توجه به مصارف غذایی نشاسته و افزایش جمعیت دنیا در صورت استفاده بی‌رویه این ماده غذایی در سایر صنعت‌ها بخصوص صنعت کاغذسازی امنیت غذایی دنیا در معرض خطر خواهد بود. علاوه بر این نشاسته ذاتاً حساس به آب بوده و با توجه به ماهیت ساختاری می‌تواند موردحمله میکروب‌ها قرار گیرد؛ بنابراین بررسی‌ها و تحقیقات زیادی جهت جایگزین کردن منابع مناسب‌تر انجام‌شده است. در این خصوص در ده‌های اخیر تلاش زیادی برای جایگزینی نشاسته با لیگنین شده است که بتواند خواص ممانعتی و مقاومتی خوبی برای کاغذ ایجاد کند. Antonssonو همکاران (۲۰۰۷) در گزارشی اعلام کردند که با افزودن لیگنین آمین‌دار شده مقاومت‌تر کاغذ افزایش میابد. با افزایش تا ۵ درصد لیگنین آمین دار شده مقاومت‌تر افزایش ولی مقاومت خشک تقریباً بدون تغییر گزارش‌شده است [۸].

مطالعات بیشتری در مورد توانایی آبگریزی لیگنین و مشتقات لیگنین مورداستفاده در آهارزنی نیاز می‌باشد. همچنین ضروری است این نکته در نظر گرفته شود که لیگنین، می‌بایستی در نقطه‌ای از کارخانه استفاده شود تا موجب افزایش آلودگی BOD و COD پساب نشود. استفاده از لیگنین و مشتقات لیگنین در کاغذسازی با توجه به رنگ قهوه‌ای آنها روشنایی کاغذ را کاهش می‌دهد. البته این همیشه به‌عنوان مشکل مطرح نخواهد بود به‌گونه‌ای که در کارخانه‌های کاغذسازی تست لاینر از رنگ‌دانه‌هایی استفاده می‌شود که ازنظر بصری به رنگ قهوه‌ای، مشابه کاغذ کرافت دیده شود. سال‌ها است که تولید خمیرکاغذ از باگاس در کارخانه کاغذسازی پارس با فرآیند غالب برای تولید خمیرکاغذ از منابع غیرچوبی یعنی فرآیند سودا صورت می‌گیرد؛ اما متأسفانه مایع باقیمانده سیاه بعد از پخت این فرآیند و محصول عمده قابل استحصال از آن یعنی لیگنین سودا هنوز کاربرد مشخصی پیدا نکرده است. همچنین یکی از فرایندهای خمیرکاغذ سازی حلال آلی که امروزه سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی برای صنعتی شدن آن انجام‌گرفته و اکنون در مقیاس صنعتی در کشور فرانسه بر پایه کاه گندم فعال است، فرایند فرماسل یا CIMV می‌باشد. فرایند فرماسل بر اساس اسید استیک و فرمیک‌اسید پایه ریزی شده است که برای خمیرکاغذ سازی منابع غیرچوبی برنامه‌ریزی‌شده است [۹]. از نقاط برجسته این فرایند بازیابی مایع پخت پس از انجام خمیرکاغذ سازی می‌باشد. اسیدهای مصرف‌شده با فرایند تبخیر قابل جدا شدن می‌باشد و لینگین محلول در مایع پخت با افزودن اب ته‌نشین و جمع‌آوری می‌گردد [۱۰]. با توجه به اهمیت روز افزون استفاده از لیگنین، در این تحقیق بررسی امکان جایگزینی کامل یا بخشی از نشاسته آنیونی و ترکیب آن با لیگنین سودا و لیگنین فرماسل حاصل از مایع پخت برای آهارزنی سطحی در بهبود مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای لاینر بازیافتی تولیدی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد اولیه

مایع پخت سیاه باگاس از کارخانه کاغذسازی پارس تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس درصد مواد جامد مایع سیاه پخت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌صورت وزن سنجی تعیین گردیدند و سپس در ظرف دربسته نگهداری شدند. کاغذ بازیافتی بدون هیچ ماده افزودنی از شرکت کاغذسازی کاوه تهیه‌شده است. لیگنین فرماسل با انجام پخت فرماسل و فرایند ته‌نشینی جداسازی شده است.

رسوب و خالص‌سازی لیگنین سودا و فرماسل

مایع پخت سیاه فرایند سودا از کارخانه کاغذسازی پارس تهیه شد. با استفاده از اسیدسولفوریک pH آن به ۲ کاهش‌یافته و سپس لیگنین رسوب‌کرده در محلول به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و در نهایت با انجام فیلترینگ جمع‌آوری گردید. جهت خالص‌سازی، لینگین جمع‌آوری شده در اتانول به مدت ۲۰ دقیقه غوطه‌ور و لینگین حل‌شده در اتانول به‌عنوان لیگنین نهایی در فرمولاسیون آهاردهی سطحی مورداستفاده قرار گرفت. برای تهیه لیگنین فرماسل پخت فرماسل از باگاس در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در زمان ۱۵۰ دقیقه با نسبت مایع پخت به باگاس ۸ انجام شد. همچنین نسبت اسید به آب ۶۵ به ۳۵ در نظر گرفته شد که نسبت اسیدفورمیک به اسید استیک ۸۵ به ۳۵ در نظر گرفته شد. بعد از جداسازی مایع پخت سیاه فرماسل با افزودن آب به مایع پخت سیاه pH آن را به ۲ رسانده و بعد از زمان ماند ۱۲۰ دقیقه لیگنین های ته‌نشین شده با فیلتراسیون جداسازی گردید.

آماده‌سازی سوسپانسیون آهاردهی سطحی

برای آماده‌سازی سوسپانسیون آهار دهی سطحی نشاسته ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد همراه با هم‌زدن حرارت دهی شد. نشاسته بعد از پخت به محلول ویسکوز تبدیل می‌شود. لیگنین سودا و فرماسل در محلول قلیا حل گردید و هم‌زمان با فرایند پخت نشاسته آنیونی، لیگنین با مقادیر ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ به سوسپانسیون آهار اضافه‌شده است.

عملیات آهاردهی

سوسپانسیون آهار با درصدهای مختلف لیگنین سودا و نشاسته آنیونی و همچنین ترکیب لیگنین فرماسل با نشاسته آنیونی آماده‌سازی گردید. نسبت ترکیب آهار به‌صورت ۱۰۰ درصد نشاسته (S1)، ۷۰ درصد نشاسته ۳۰ درصد لیگنین سودا (S2)، ۵۰ درصد نشاسته ۵۰ درصد لیگنین سودا (S3)، ۳۰ درصد نشاسته ۷۰ درصد لیگنین سودا (S4) و ۱۰۰ درصد لیگنین سودا (S5) اعمال‌شده است. همچنین به مقدار ۰/۳ گرم بر مترمربع آلوم به هر تیمار اضافه شد. لیگنین فرماسل (F) نیز به طریق مشابه با نسبت‌های ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به سوسپانسیون آهار مطابق با جدول ۱ اضافه ’گردید. برای انجام اهاردهی سطح کاغذ از دستگاه Bar coaterاستفاده و به مقدار ۵ گرم بر مترمربع به‌صورت یکنواخت پوشش دهی انجام شد. در ابتدا کاغذهای تهیه‌شده از کارخانه با ابعاد ۲۰ در ۳۰ سانتی‌متر برش داده شد. سپس با استفاده از میله با شیار ۲۵ میکرونی با سرعت یکنواخت عمل پوشش دهی صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱: نسبت تیمارهای پوشش دهی

نمونه	درصد نشاسته آنیونی	درصد لیگنین	درصد آلوم	مقدار pH
شاهد	۰	۰	۰	-
S1	۱۰۰	۰	۰	۹/۴۸
S2	۷۰	۳۰	۰	۹/۴۶
S3	۵۰	۵۰	۰	۸/۹۸
S4	۳۰	۷۰	۰	۹/۱۱
S5	۰	۱۰۰	۰	۹/۶۸
S1.A	۱۰۰	۰	۰/۳	۸/۶۴
S2.A	۷۰	۳۰	۰/۳	۸/۹۱
S3.A	۵۰	۵۰	۰/۳	۹/۰۱
S4.A	۳۰	۷۰	۰/۳	۹/۲۱
S5.A	۰	۱۰۰	۰/۳	۹/۴۹
F1	۱۰۰	۰	۰	۸/۵۲
F2	۷۰	۳۰	۰	۸/۸۲
F3	۵۰	۵۰	۰	۹
F4	۳۰	۷۰	۰	۹/۲۴
F5	۰	۱۰۰	۰	۹/۸۲
F1. A	۱۰۰	۰	۰/۳	۸/۷۲
F2. A	۷۰	۳۰	۰/۳	۸/۹۸
F3. A	۵۰	۵۰	۰/۳	۹/۰۹
F4. A	۳۰	۷۰	۰/۳	۹/۳۲
F5. A	۰	۱۰۰	۰/۳	۹/۵۶

S: لیگنین سودا – SA: لیگنین سودا و آلوم – F: لیگنین فرماسل – FA: لیگنین فرماسل و آلوم

ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی

آزمون کشش نمونه‌ها با طول ۱۰۰ میلی‌متر و عرض ۱۵ میلی‌متر با استفاده از ماشین آزمون Tensile tester ساخت کشور آلمان مطابق با استاندارد TAPPI با شماره T ۴۹۴om- ۰۱ انجام شد. آزمون مقاومت به ترکیدن با دستگاه دیجیتالی از شرکت Frank-PTI مطابق با استاندارد TAPPI با شماره T ۴۰۳om- ۹۷ انجام‌شده است.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی

مقاومت به عبور هوا

مقاومت به هوا نیز با روش بنتسن مطابق با استاندارد TAPPI T460 om -02، به‌صورت مقدار هوای عبوری در مدت‌زمان معین (۶۰ ثانیه) با فشار ثابت از ضخامت نمونه اندازه‌گیری شده است.

انجام آزمون جذب آب (Cobb)

برای تعیین جذب آب کاغذها، یکی از آزمون مورداستفاده Cobb می‌باشد که با استاندارد TAPPI T441 om -04تعریف می‌شود. در این آزمون مقدار ۱۰۰ سی‌سی آب بر روی کاغذ با مساحت ۱۰۰ سانتیمتر از کاغذ اضافه می‌شود و بعد از مدت ۱۲۰ ثانیه آب تخلیه می‌گردد که اختلاف وزن نمونه کاغذ قبل و بعد از آزمون مقدار جذب آب مشخص می‌گردد که به‌صورت mg/m^2 عنوان می‌شود.

آزمون زبری

آزمون زبری کاغذ بعد از آهارزنی با دستگاه زبری سنج با استاندارد TAPPI T555 om -04 در جهت و عمود برجهت الیاف کاغذ موردانداز‌ه‌گیری قرارگرفته است.

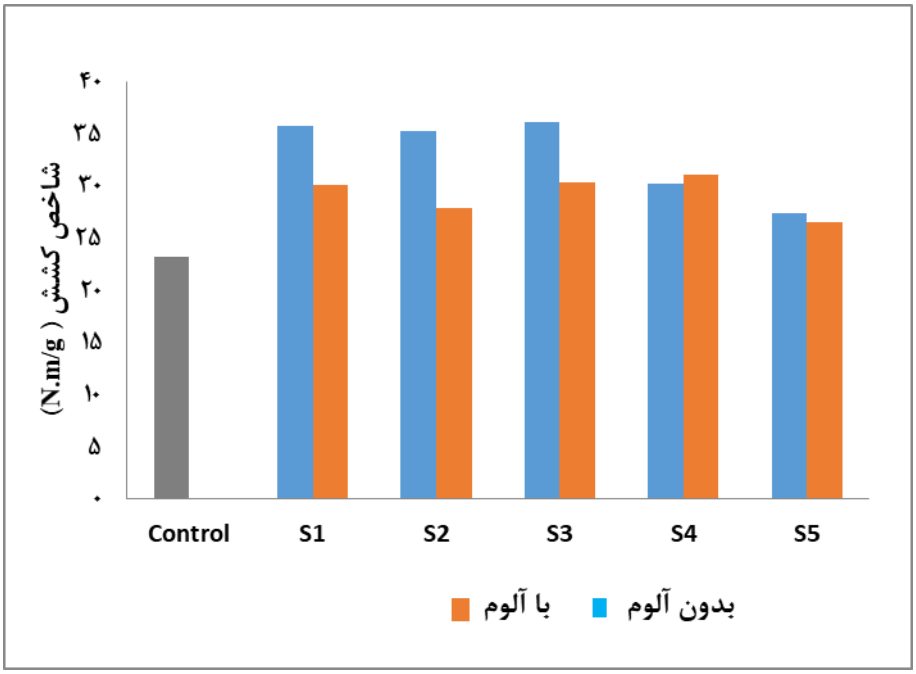
نتایج و بحث

ویژگی‌های مکانیکی

شاخص کشش

در پوشش دهی با نشاسته به مقدار ۵ گرم بر مترمربع، شاخص کشش نسبت به نمونه شاهد از ۲۳/۲۴ N.m/g به ۳۵/۷۷ N.m/g افزایش یافت. با انجام آهاردهی فقط با لیگنین سودا (۱۰۰ درصد لیگنین) و با حذف کامل نشاسته به‌عنوان عامل آهاردهی شاخص کشش نسبت به نمونه شاهد ۱۸ درصد افزایش نشان می‌دهد

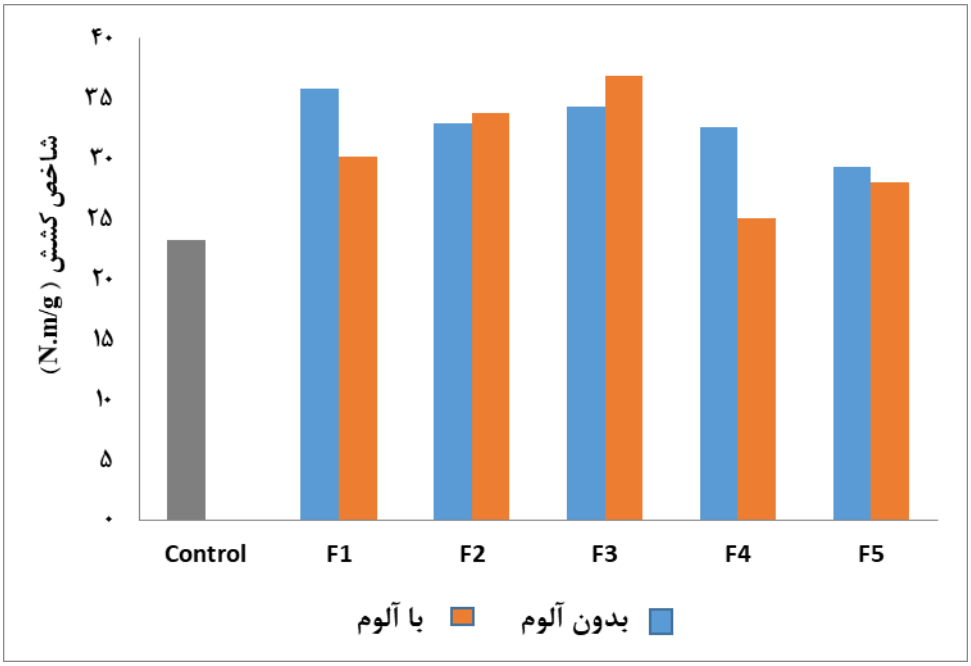
Kyoung و همکاران در سال ۲۰۱۶ تأثیر آهاردهی با لیگنین و ترکیب لیگنین با آلوم را بر خواص مقاومتی کاغذ کرافت مورد ارزیابی قراردادند و نتیجه‌گیری کردند که شاخص کشش نسبت به نمونه شاهد ۲۴,۳ درصد افزایش یافته است [۱۱]. با ترکیب نسبت‌های مختلف نشاسته و لیگنین سودا به سوسپانسیون پوشش دهی کاغذ روند افزایشی شاخص کششی در مقایسه با نمونه شاهد در شکل ۱ قابل‌مشاهده می‌باشد. در ترکیب با ۵۰ درصد جایگزینی لیگنین با نشاسته بهترین شاخص کشش و با افزایش ۵۵ درصدی نسبت به نمونه شاهد حاصل‌شده است که تقریباً معادل با شاخص کشش ۱۰۰ درصد استفاده از نشاسته می‌باشد؛ اما با جایگزینی ۷۰ و ۱۰۰ درصد لیگنین، شاخص مقاومت به کشش نسبت به حالت بهینه به ترتیب ۶ و ۹ واحد کاهش‌یافته است که می‌تواند به دلیل پیوند کمتر بین لیگنین سودا با الیاف سطح کاغذ باشد. همچنین با اضافه کردن آلوم به سوسپانسیون آهار، شاخص مقاومت کشش نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۱). Maximova و همکاران در سال ۲۰۰۱ با استفاده از پلی الکترولیت‌های کاتیونی جذب لیگنین بر روی الیاف را موردبررسی قرار داده و مشاهده کردند که با افزودن لیگنین خواص مکانیکی چون شاخص مقاومت کشش افزایش می‌یابد ولی درجه روشنی کاهش می‌یابد [۱۲]. آن‌چنان‌که شکل ۱ نشان می‌دهد در مقایسه با تیمارهای بدون آلوم، استفاده از آلوم منجر به شاخص کشش کمتری شده است که دلیل آن می‌تواند کاهش عملکرد آلوم در pH های بالاتر از ۵ باشد.



شکل ۱: شاخص کشش با ترکیب نسبت‌های مختلف لیگنین سودا با نشاسته

با استفاده از لیگنین فرماسل و ترکیب آن با نشاسته نیز روند افزایشی شاخص کشش قابل‌مشاهده است (شکل ۲) و در ترکیب ۵۰ درصد لیگنین با ۵۰ درصد نشاسته شاخص کشش نسبت به نمونه شاهد حدود ۴۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. همچنین با افزودن آلوم به سوسپانسیون نشاسته و لیگنین فورماسل شاخص کشش افزایش می‌یابد ه با تیمار ۵۰ درصد نشاسته و ۵۰ درصد لیگنین فورماسل از ۲۳/۲۴ N.m/g به ۳۶/۸۸ N.m/g (۵۸ درصد) ارتقا یافته است.

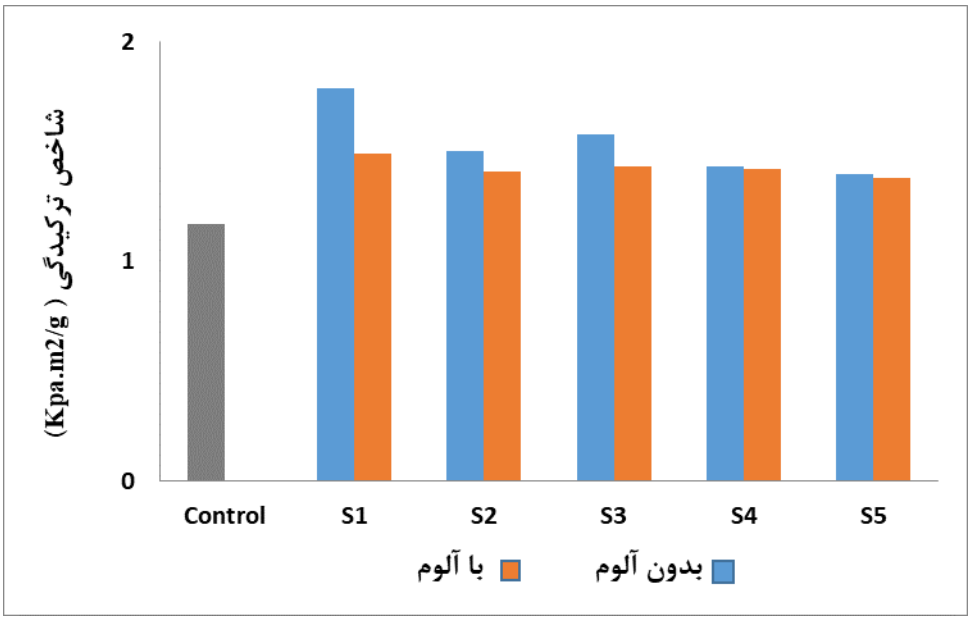
در سال ۲۰۱۸ Amjath Khanو همکاران اثر ترکیب نشاسته، نانو الیاف سلولزی و کربوکسی متیل لیگنین در آهارزنی را موردبررسی قراردادند ترکیب‌های فوق با نسبت‌های متفاوت در آهارزنی سطح کاغذ استفاده و سپس خواص مکانیکی کاغذ اندازه‌گیری گردید که در این تحقیق شاخص کشش کاغذ به دلیل گروهای عاملی لیگنین و واکنش مناسب آن‌ها با سطح کاغذ، بالغبر ۱۷ درصد افزایش نشان داد [۱۳]؛ بنابراین واکنش گروه‌های عاملی لیگنین و ایجاد پیوندهای عرضی با نقاط واکنش‌پذیر الیاف سلولزی و نشاسته می‌تواند عامل افزایش ویژگی‌های مکانیکی باشد.



شکل ۲: شاخص کشش با ترکیب نسبت‌های مختلف لیگنین فرماسل با نشاسته

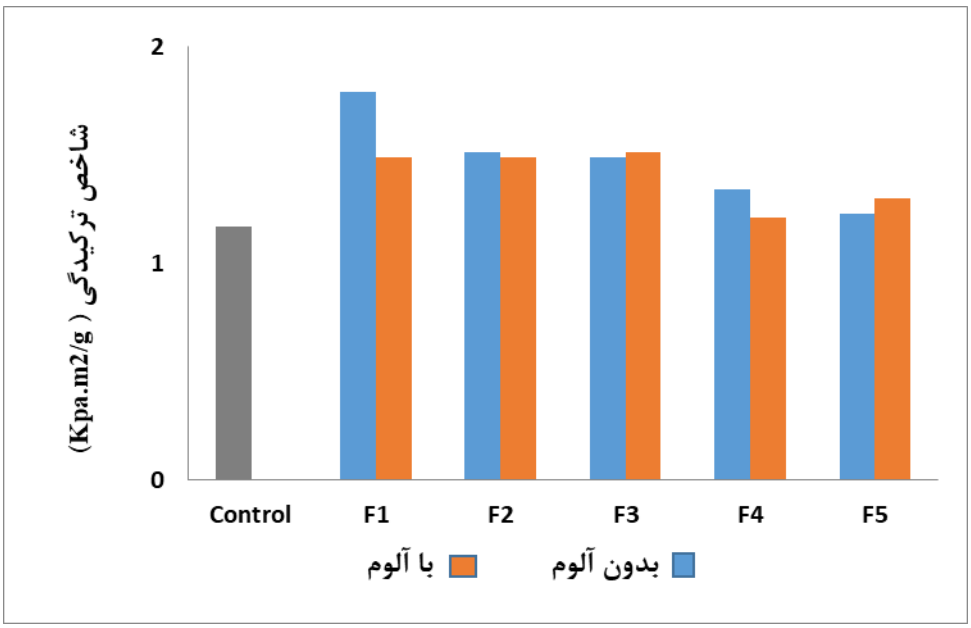
شاخص ترکیدگی

با توجه به شکل ۳ و ۴ پوشش دهی کاغذ با سوسپانسیون آهار تأثیر مثبتی بر شاخص ترکیدن نشان می‌دهد. در تیمار ترکیب نشاسته با لیگنین سودا بالاترین افزایش مربوط به تیمار آهار فقط نشاسته بوده است که نسبت به نمونه شاهد از ۱/۱۷ Kpa.m^2/g به ۱/۷۹ Kpa.m^2/g افزایش داشته است. با افزایش آلوم نیز شاخص مقاومت به ترکیدگی نسبت به نمونه شاهد روند صعودی داشته و در بهترین حالت، افزایش ۲۷ درصدی را نشان داده است (شکل ۳). kyoung و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی تأثیر لیگنین و ترکیب لیگنین با آلوم گزارش کردند که با استفاده از لیگنین شاخص ترکیدگی شاخص ترکیدگی ۶,۶ درصد افزایش‌یافته است [۱۰]. با توجه به شکل ۳، ازنظر شاخص ترکیدگی تیمار بهینه ترکیب سوسپانسیون آهار به‌صورت ۵۰ درصد نشاسته و ۵۰ درصد لیگنین سودا بدون آلوم را می‌توان مطرح کرد.



شکل ۳: شاخص ترکیدگی با ترکیب نسبت‌های مختلف لیگنین سودا با نشاسته

کاغذهایی که با ترکیب لیگنین فورماسل و نشاسته تیمار شده است طبق شکل ۴ شاخص ترکیدگی برای شرایط تیمار F2 و F3 تأثیر معنی‌داری مشاهده نشده است اما با توجه به هدف جایگزینی مقدار مناسب لیگنین با نشاسته شرایط بهینه ترکیب لیگنین فورماسل با نشاسته تیمار F3 معرفی می‌گردد (۵۰ درصد لیگنین فورماسل و ۵۰ درصد نشاسته) افزایش ۲۷ درصدی را نشان می‌دهد.

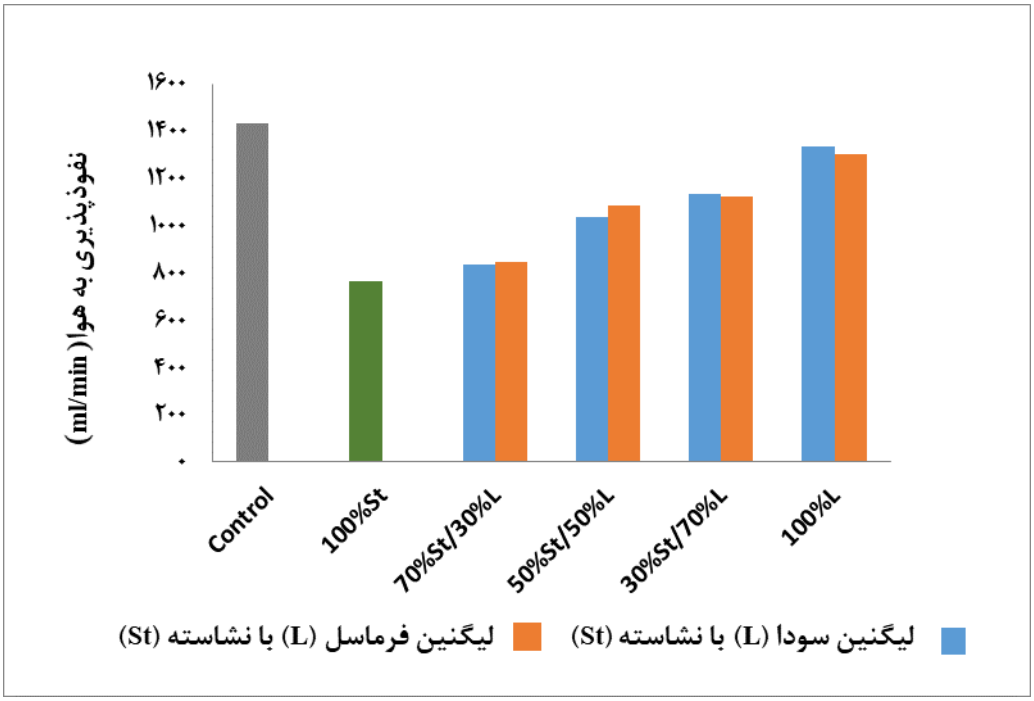


شکل ۴: شاخص ترکیدگی با ترکیب نسبت‌های مختلف لیگنین فرماسل با نشاسته

ویژگی‌های فیزیکی

نفوذپذیری به عبور هوا

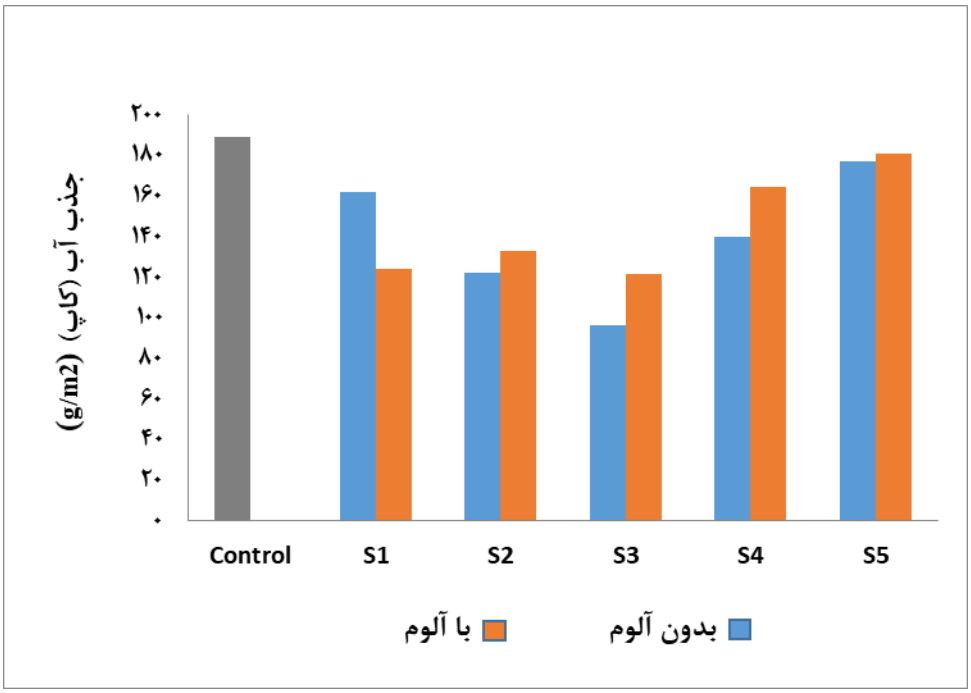
با توجه به شکل ۵ قابل‌مشاهده می‌باشد که با انجام آهاردهی سطحی کاغذ مقاومت به نفوذ هوا بهبودیافته است که در بهترین حالت (تیمار با ۱۰۰ درصد نشاسته) نسبت به نمونه شاهد ۴۶ درصد کاهش نفوذپذیری به هوا را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۵ مشاهده می‌گردد با افزودن ۱۰۰ درصد لیگنین، نفوذپذیری به هوا نسبت به نمونه شاهد ۷ درصد کاهش‌یافته است. به دلیل حلالیت بیشتر در آب و تشابه ساختاری با کاغذ، آهاردهی با نشاسته نسبت به حالتی که از لیگنین استفاده‌شده با یکنواختی بهتری صورت گرفته است که موجب نفوذپذیری کمتر هوا شده است. با مقایسه نفوذپذیری هوا بین لیگنین سودا و فرماسل تفاوت معناداری مشاهده نشده است.



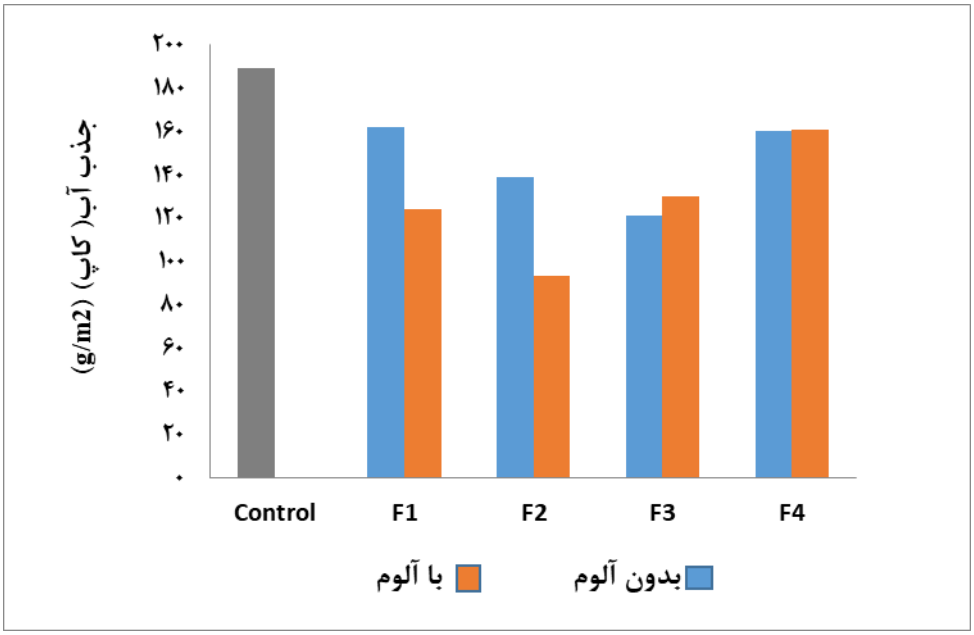
شکل ۵: نفوذپذیری به عبور هوا با ترکیب نسبت‌های مختلف لیگنین سودا و فرماسل با نشاسته

جذب آب (Cobb)

با انجام آهار دهی سطحی، جذب آب کاغذها کاهش‌یافته است (شکل‌های ۶ و ۷). در بهترین حالت با تیمار ۵۰ درصد نشاسته و ۵۰ درصد لیگنین سودا ۴۹ درصد کاهش جذب اب مشاهده می‌شود. با افزودن آلوم به سوسپانسیون روند نتایج آزمون تقریباً مشابه بوده است. در مقایسه با لیگنین سودا و لیگنین فرماسل جذب آب برای تیمارهایی که از لیگنین سودا استفاده‌شده است کمتر بوده است. لیگنین سودا به دلیل حلالیت بیشتر و وزن مولکولی کمتر نسبت به لیگنین فرماسل [۸ و۱۲]. خاصیت آهار بهتری برای کاغذ ایجاد کرده است که در نهایت موجب جذب آب کمتری می‌شود. همچنین در مقایسه ۱۰۰ درصد نشاسته با ۱۰۰ درصد لیگنین مقدار جذب آب کمتری برای تیمار با ۱۰۰ درصد نشاسته مشاهده شد که نشان‌دهنده عدم یکنواختی پخش لیگنین (سودا و فرماسل) و پیوند کمتر لیگنین با الیاف کاغذ می‌باشد [۱۳].



شکل ۶: جذب آب تیمارهای مختلف آهارزنی با لیگنین سودا و نشاسته

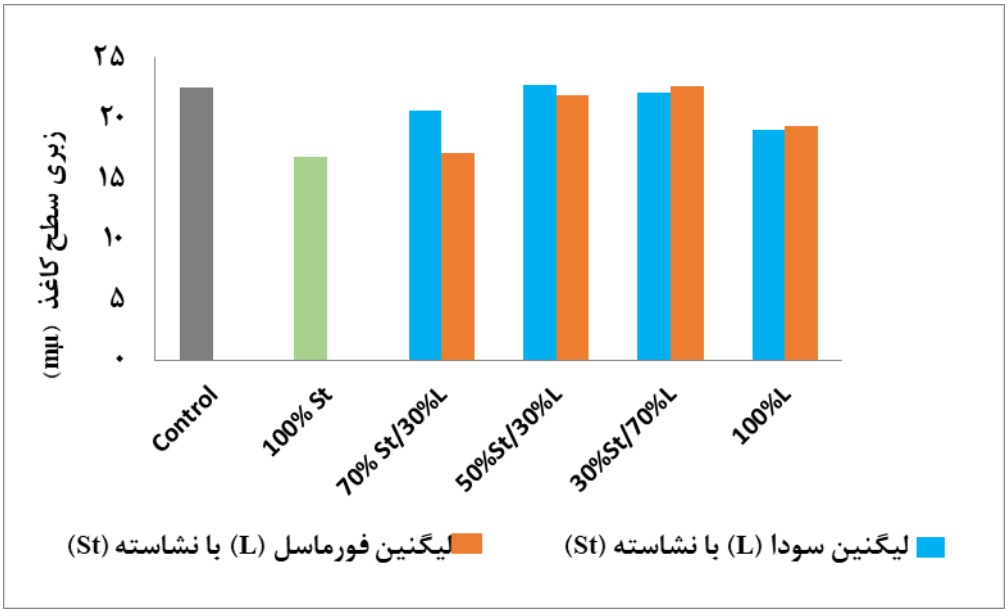


شکل ۷: جذب آب تیمارهای مختلف آهارزنی با لیگنین فرماسل و نشاسته

زبری سطح کاغذ

با اندازه‌گیری زبری سطح کاغذ نتایج نشان می‌دهد که بعد از اهاردهی، زبری فقط با استفاده از نشاسته به‌طور بارزی و به میزان ۲۵ درصد کاهش‌یافته است. البته آن‌چنان‌که شکل ۸ نشان می‌دهد در تیمار با ترکیب نشاسته و لیگنین صافی سطح کاغذ بهبود داشته اما بهترین صافی سطح کاغذ با تیمار ۱۰۰ درصد نشاسته حاصل‌شده است. الیاسی بختیاری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر غلظت اهار بر زبری سطح کاغذ عنوان کردند که آهارزنی موجب بهبود صافی سطح کاغذ شده و به دلیل

پر شدن منافذ سطح کاغذ و ایجاد لایه نازکی از نشاسته در سطح کاغذ این امر حاصل می‌گردد [۱۴]. ذرات لیگین با قرارگیری در بین منافذ کاغذ باعث بهبود صافی سطح کاغذ شده که در نهایت موجب بهبود در کیفیت چاپ کاغذهای بسته‌بندی می‌گردد. در ترکیب اهار نشاسته و لیگنین به دلیل ناهمگنی نشاسته و لیگنین صافی سطح کمتر می‌باشد [۱۱].



شکل ۸: زبری سطح کاغذ با تیمارهای آهار لیگنین سودا و فرماسل همراه با نشاسته

نتیجه‌گیری

نشاسته به دلیل تجدید پذیری، غیر سمی و زیست‌تخریب‌پذیر بودن یکی از متداول‌ترین افزودنی‌هایی می‌باشد در کاغذسازی مورداستفاده قرار می‌گیرد. آهارزنی سطحی یکی از مراحل ساخت کاغذ می‌باشد که عموماً از مواد آبگریز برای اصلاح و بهبود خواص فیزیکی کاغذ استفاده می‌شود. معمولاً به دلیل گرانروی زیاد نشاسته خام از نشاسته آنیونی برای آهارزنی سطح کاغذ استفاده می‌گردد؛ اما نشاسته آنیونی به دلیل اکسیداسیون صورت گرفته در فرایند آماده‌سازی کاهش ۱۵ تا ۲۰ درصدی بازده را خواهد داشت که یکی از عوامل افزایش قیمت نشاسته آنیونی می‌باشد. بنابراین جایگزین کردن ترکیبی مناسب با نشاسته آنیونی به دلیل قیمت بالای نشاسته و اهمیت غذایی آن بسیار مهم می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق آهارزنی با لیگنین های سودا و فرماسل موجب افزایش شاخص کشش، ترکیدگی و مقاومت به نفوذپذیری به هوا شده است. در بررسی تأثیر آهارزنی سطح کاغذ با نشاسته و لیگنین به‌عنوان پتانسیل جایگزینی با نشاسته نتایج تحقیق نشان‌دهنده عملکرد مناسب لیگنین در آهارزنی می‌باشد. همچنین خواص مکانیکی و فیزیکی کاغذهای آهارزنی شده نشان می‌دهد ترکیب لیگنین با نشاسته به نسبت یک‌به‌یک در اکثر ویژگی‌ها بهترین عملکرد را داشته است. در مقایسه لیگنین های سودا و فرماسل، لیگنین سودا در تمام ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی عملکرد بهتری داشته است. بنابراین با توجه به مایع پخت باقی‌مانده سیاه فراوانی که از فرایند پخت سودا کارخانه پارس واقع در جنوب کشور تولید می‌شود با جداسازی لیگنین این مایع می‌توان از آن به‌عنوان جایگزین مناسبی برای حداقل ۵۰ درصد نشاسته استفاده کرد و مصرف نشاسته که به‌عنوان ماده اصلی تأمین مواد غذایی دنیا محسوب می‌گردد را در صنعت کاغذ کاهش داد ضمن اینکه ارزش‌افزوده بیشتری برای لیگنین مایع پخت سیاه و کارخانه خمیرکاغذ پارس ایجاد کرد.

منابع

[1] Molaei, M., 1393. Investigating the effect of packaging on the export of Iranian industrial products over the years 1373 to 1390. Journal of Marketing Management, First Year, Second Issue. (In Persian).

[2] Honnold, V., 2009. Developments in the Sourcing of Raw Materials for the Production of Paper. J. Int. Commer. Econ., 1−26

[3] Maurer, H. W., 1998. Opportunities and challenges for starch in the paper industry. Starch- Stärke, 50(9): 396-402.

[4] Bajpai, P., 2018. Enzymatic Modification of Starch for Surface Sizing. In Biotechnology for Pulp and Paper Processing. 431-442

[5] Haklae. L, Jaeyoung.sh, Chang heon.K., Hoon.R, Lee.D., and Changman. S., 2002. Surface sizing with cationic starch: its effect on paper quality and papermaking process. Tappi Journal. (1). 34-40

[6] Lu, D., C., 2009. Starch-based completely biodegradable polymer materials. (3): 366-375.

[7] Anwunobi, A. P., 2011. Recent applications of natural polymers in nanodrug delivery. J Nanomedic Nanotechnol S, (002): 4

[8]. Antonsson., S., 2007. The use of lignin derivatives to improve selected paper properties. Licentiate Thesis.

[9] Benjelloun-Mlayah, B., and Delmas, M., 2010. Process for the separation of lignins and sugars from an extraction liquor. Patent, publication number 1,054,478.

[10] Jeroen, S., and Emmie, D., 2014. Biorefining of wheat straw using an acetic and formic acid based organosolv fractionation process. Bioresource Technology 156: 275–282

[11] Kyoung., 2016. Effect of surface sizing of black liqur onproperties of corrugated medium. BioResources 11(4). 10391-10403

[12] Maxim ova, N., and Österberg, M., 2001. Lignin adsorption on cellulose fibre surfaces: Effect on surface chemistry, surface morphology and paper strength. Cellulose (**8):** 113–125.

[13] Amjath Khan. F, A. Zahir, H., and Noorul, H., 2018. Carboxymethyl Lignin Bio Polymer and Microcrystalline Cellulose as a Surface Coating Additive to Improve the Properties of Paper on Starch Surface Sizing. International Journal of Research in Advent Technology. 6(6): 1282-1289

[14] Melton, S., Kuys, K., Parker, I., and Vanderhoek, N., 1997. The influence of fiber properties on the adsorption of cationic starch by eucalypt pulps. 51 stAppita Ann. Gen. conf. proc., vol. 1: 37-44.

[15] Paula, S., 2010. Precipitation of lignin from Kraft black liquor. Bioresources, 4(3): 3547-3568.

[16] Kopacic, S., Ortner, A., Guebitz, G., Kraschitzer, T., Leitner, J., & Bauer, W. (2018). Technical lignins and their utilization in the surface sizing of paperboard. Industrial & Engineering Chemistry Research, 57(18), 6284-6291.

[17] Elyasi, Sh., and Jalali Torshizi, H., 1395. The effect of concentration of anionic starch solution in paper surface sizing on physical and strength properties of recycled paper. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(4): 487-497. (In Persian).

The potential of replacing the starch with soda and formacell lignins in surface sizing and evaluation of physical and mechanical properties of produced liner papers

Abstract

In this research, the physical and mechanical properties of the surface sizing liner papers with starch formulation with soda and formacell lignins have been investigated. The soda and formacell lignins from the remaining black liquor were separated and then was replaced with anionic starch in 30, 50, 70, and 100 ratios. In addition, 0.3 g/m2 alum as a cationic agent was charged to the suspension. The results of this study show that even by 100 % replacing starch with both types of lignins, the physical characteristics (air resistance, cobb, coarseness) and mechanical properties of surface-sized paper have been improved compared with control paper. According to the results, 50/50 lignin/starch ratio improved the mechanical and physical properties better and was determined as optimum level. For soda lignin without alum, tensile (36.21 N.m/g) and burst (1.58 Kpa.m^2/g) indices increased by 55 and 35 % respectively, compared with the control in the optimum level. For formacell, lignin/starch in 50/50 ratio without alum, the tensile and burst indices were increased 47 and 27% respectively, compared with the control sample. According to the results, it is possible to replace at least 50% of starch with the above-mentioned lignins, which will play an important role in food security and add value for pulp mills.

Keywords: soda lignin, Formacell lignin, starch, surface sizing, liner.

H. Hasanjanzadeh[1]
S. Hedjazi[2*]
Y. Hamzeh[3]
A. Abdolkhani[4]

[1] Ph. D student, college of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

[2] Associate Prof., College of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

[3] Full Prof., College of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

[4] Associate Prof., College of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

Corresponding author:
shedjazi@ut.ac.ir

Received: 2021/10/02
Accepted: 2021/10/11