Archive of SID

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۵ شماره ۱، صفحه ۸۷-۷۶، (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2020.341239.1591
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1399.35.76.70.1.1593.1610

عملکرد نشاسته خام و اکسید شده به‌عنوان افزودنی‌های تقویت‌کننده پیوند بین لایه‌ای در مقواهای چندلایه بازیافتی

احسان فاتحی[۱]، مهدی رحمانی‌نیا[۲*]، امیر خسروانی[۳] و زینب آیرون[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، کد پستی: ۷۶۴۸۹-۴۶۴۱۷

پست الکترونیک: rahmaninia@modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

دریافت: دی ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۸

چکیده

در تولید مقوا به‌ویژه انواع با گراماژ بالا، محدودیت آبگیری از خمیرکاغذ، سرعت تولید کاغذ را به شدت پایین می‌آورد. در این حالت، یکی از راهکارهای متداول در بهبود آبگیری و افزایش سرعت ماشین کاغذ، تولید مقوای چندلایه می‌باشد. هرچند بعضی مواقع این لایه‌ها بدون اتصال‌دهنده روی یکدیگر قرار می‌گیرند، اما در بیشتر مواقع برای تقویت استحکام پیوند بین لایه‌ای از نشاسته به‌عنوان افزودنی بین لایه‌ها استفاده می‌شود. در این تحقیق اثر پاشش دو نوع نشاسته متداول در صنعت (اکسید شده و خام) را در میزان پاشش‌های مختلف (صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم بر مترمربع) در بین دو لایه مقوا بررسی شد. لایه رویی مقوا از کاغذ حاصل از الیاف بازیافتی خمیرکاغذ چاپ و تحریر و لایه زیرین از کاغذ حاصل از الیاف بازیافتی خمیرکاغذ کارتن کنگره‌ای کهنه تشکیل شدند. گراماژ هر لایه حدود ۱۰۰ گرم بر مترمربع در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اسپری هر دو نوع نشاسته در بین دو لایه باعث افزایش قابل توجه ویژگی‌های مقاومتی اندازه‌گیری‌شده نسبت به تیمار شاهد گردید. در مقایسه بین دو نوع نشاسته، نشاسته خام کارایی بهتری از نشاسته اکسید شده داشت. به‌طوری‌که بیشترین تأثیر هر دو نوع نشاسته در ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در سطح ۱/۵ گرم بر مترمربع اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: مقوای چندلایه، پیوند بین لایه‌ای، نشاسته خام، نشاسته اکسید شده، اسپری کردن.

مقدمه

الیاف بازیافتی جایگاه ویژه‌ای در تولید کاغذ و مقوا دارد. در این میان سهم مقواها به‌عنوان کاغذی که ضخیم بوده یا گراماژ بالایی دارند، قابل‌توجه است. به‌طوری‌که در آمریکا ۴۵ درصد کاغذ تولیدی از نوع مقوا می‌باشد. آمار تولید مقوا در جهان در سال ۲۰۱۵ به ۲۳۱ میلیون تن رسید؛ درحالی‌که در سال ۲۰۰۷، این تولید ۱۹۹ میلیون تن بود. تعریف‌های متداول در مورد مقوا در استانداردها و کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد. به‌طورمعمول، کاغذهایی با بیش از ۱۵۰ گرم بر مترمربع مقوا نامیده می‌شوند (Statista, 2018). همان‌طور که بیان شد، مقواهای ضخیم و با وزن پایه بالا ازجمله محصولات پرکاربرد و مهم در صنایع کاغذسازی می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

ازآنجاکه بخش اصلی این محصولات مقوایی در صنایع بسته-بندی استفاده می‌شوند و با توجه به دوستدار محیط‌زیست بودن آنها، رقابت سنگینی بین مقواهای بسته‌بندی با سایر مواد بسته‌بندی مانند پلاستیک وجود دارد. مقواها می‌توانند به دو گروه تک و چندلایه تقسیم‌بندی شوند. با توجه به گراماژ نهایی مورد نیاز، تکنولوژی مورد استفاده و مواردی از این دسته، تصمیم‌گیری برای نوع تک و یا چندلایه مقوا اتخاذ می‌شود (Statista, 2018; Paulapuro, 2000).

بحث تولید کاغذهای چندلایه به میزان قدمت صنعت کاغذسازی پراهمیت است. اگرچه تولید مقوا به مرور زمان کاملاً متفاوت از گذشته پیگیری می‌شود، ولی اصول اولیه یکسان باقی‌مانده است. به‌طورکلی در تولید ورقه کاغذ و به‌ویژه مقوا، گراماژ محصول تولیدی با سرعت ماشین رابطه عکس دارد. کند بودن سرعت ماشین‌های کاغذسازی با گراماژ بالا، به علت آبگیری کند، کاهش بازدهی پرس و خشک‌کن‌ها امری طبیعی است؛ اما تلاش برای افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها سبب شده است تا در تولید کاغذ با گراماژ بالا، به علت افزایش ضخامت کاغذ و مقاومت کردن الیاف در برابر آبگیری، فرایند به سمت تولید ورقه‌های چندلایه سوق داده شود. در این حالت ابتدا ورقه‌های با گراماژهای کم تولید و بعد با انتقال آنها به صورت صفحه مرطوب بر روی هم مقوای چندلایه با گراماژ بالا تولید می‌شود. پس از بهینه‌سازی ماشین کاغذهای جدید، تولیدکنندگان کاغذ قادرند با استفاده از سرعت ماشین کاغذ هزینه کل را کاهش دهند و پاسخگوی تقاضای بازار شوند (Halmschlager, 2001).

معمولاً در بحث تولید مقواهای چندلایه، دو روند کلی وجود دارد. گاهی در بین لایه‌های مقوا، هیچ‌گونه ماده افزودنی پیونددهنده بین لایه‌ای افزوده نمی‌شود و در حالت دوم، دو یا چندلایه با افزودن مواد شیمیایی متداول به هم پرس می‌شوند. در بسیاری از طراحی‌ها برای توزیع یکنواخت‌تر مواد بر روی سطح کاغذ از روش اسپری کردن استفاده می‌شود (Somerkallio, 2012).

یکی از افزودنی‌های متداول بهبوددهنده پیوند بین لایه‌ها، انواع محصولات حاصل از نشاسته می‌باشد. این پلی‌ساکارید به‌عنوان یک پلیمر طبیعی زیست‌تخریب‌پذیر در بسیاری از کاربردهای امروزی حضور دارد. نشاسته در بسیاری از موارد به روش‌های مختلف به تولید کاغذ کمک می‌کند و باعث بهبود مقاومت ورق تولیدی و افزایش پیونددهی بین الیاف و نرمه‌ها می‌شود (Ryu & Lee, 2007; Jung *et al.*, 2008; Mishra, 2005).

در این پژوهش قصد بر آن است تا عملکرد دو نوع نشاسته صنعتی متداول (نشاسته اکسید شده و نشاسته خام) به‌عنوان افزودنی بین لایه‌ای به کمک فرایند پاشش در بین دو لایه مقوا مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی مواد

در این تحقیق از دو نوع نشاسته معمولی (خام) و اکسید-شده استفاده شد. این نشاسته‌ها از کارخانه کاغذسازی اترک اصفهان تهیه و دوغاب نشاسته با غلظت ۰/۱۲۵ درصد، با افزودن این مواد به آب ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت ۲ ساعت آماده گردید.

برای تهیه محلول‌های نشاسته، نیاز به تعیین درصد خلوص نشاسته وجود داشت. به همین منظور، ابتدا میزان رطوبت نشاسته‌ها طبق استاندارد TAPPI T210 cm-03 اندازه‌گیری و بعد میزان خاکستر آنها توسط استاندارد T211 om-07 TAPPI محاسبه و درصد خاکستر محاسبه شده برابر با درصد خلوص آن در نظر گرفته شد. در جدول ۱، مقدار رطوبت و خاکستر هریک از نشاسته‌ها بیان شده است.

همچنین در ساخت مقوای دولایه، هریک از این لایه‌ها از یک نوع کاغذ باطله مجزا تولید شدند. بدین‌منظور در لایه بالایی از الیاف بازیافتی کاغذهای باطله چاپ و تحریر و در لایه زیرین از الیاف بازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) استفاده گردید.

برای تهیه هر دو خمیرکاغذ، کاغذهای چاپ و تحریر و کارتن‌های باطله به مدت ۲۴ ساعت در شرایط محیطی قرار گرفت تا با رطوبت محیط به تعادل برسند. پس‌ازاین مدت رطوبت اندازه‌گیری شد که میانگین رطوبت کارتن‌های باطله ۶/۵ درصد و میانگین رطوبت کاغذهای باطله چاپ و تحریر

www.SID.ir

Archive of SID

۴/۶ درصد ثبت گردید. برای پراکنده‌سازی و پالایش خمیرکاغذ بازیافتی از دستگاه کوبنده آزمایشگاهی (Valley Beater) بر اساس استاندارد TAPPI T200 sp-02 استفاده شد. بر این اساس، ۳۶۰ گرم (وزن کاملاً خشک کاغذ باطله) را در یک ظرف ریخته و با آب به حجم ۵ لیتر رسانده شد تا مدت ۲۴ ساعت عمل خیس کردن انجام شود. پس از گذشت این زمان عمل قطعه‌قطعه کردن تکه‌های بزرگ کارتن‌های خیس خورده با دست انجام و به مخزن دستگاه انتقال داده شد. حجم سوسپانسیون خمیرکاغذ داخل دستگاه را به ۲۳ لیتر رسانده و فرایند پراکنده‌سازی به مدت ۳۰ دقیقه و پالایش به کمک بارگذاری وزنه ۵۵۰۰ گرمی به مدت ۱۰ دقیقه برای رسیدن به درجه روانی (۳۲۰±۲۵ ml CSF) انجام گردید. هر دو خمیرکاغذ تهیه شده درون ظرف‌های درب‌دار جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

جدول ۱- میزان رطوبت، خاکستر و خلوص نشاسته‌های استفاده شده

ماده	رطوبت (٪)	خاکستر (٪)	خلوص (٪)
نشاسته خام	۱۰/۵	۰/۰۰۰۵	۹۹/۹۵
نشاسته اکسیدشده	۱۲/۵۷	۰/۰۱۸۷	۹۸/۱۳

درجه روانی خمیرکاغذ

اندازه‌گیری درجه روانی طبق استاندارد TAPPI T227om-04 به کمک دستگاه آزمون درجه روانی کانادایی (Tester CSF) انجام شد. به همین منظور معادل ۳ گرم خمیرکاغذ بر مبنای وزن خشک درون یک استوانه مدرج ریخته و با افزودن آب، حجم آن به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از هم‌زدن مخلوط حاصل برای یکنواخت‌سازی سوسپانسیون، محتویات به دستگاه اندازه‌گیری درجه روانی انتقال و پس از ۵ ثانیه با باز کردن دریچه تخلیه، میزان آب خارج شده از مجرای جانبی اندازه‌گیری شد. در پایان با انجام تصحیح دمایی و تصحیح جرمی، درجه روانی خمیرکاغذ ۳۱۰ ml CSF به‌دست آمد. برای هر خمیرکاغذ تعداد ۵ عدد تکرار در نظر گرفته شد.

تعیین میزان نرمه خمیرکاغذ

محاسبه نرمه خمیرکاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T261 cm-00 انجام شد. برای این منظور از دستگاه سنجش دینامیکی آبگیری (DDJ) استفاده گردید.

انجام تیمارها و ساخت کاغذهای دست‌ساز

کاغذ دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T 205 sp-02 ساخته شد. برای تهیه هر لایه کاغذ با گراماژ ۱۰۰ گرم بر مترمربع، از ۲ گرم خمیرکاغذ سفید و همچنین ۲ گرم خمیرکاغذ قهوه‌ای (بر مبنای وزن خشک) استفاده شد. لازم به ذکر است برای هر تیمار حداقل ۱۰ عدد ورقه کاغذ ساخته شد. برای افزودن نشاسته خام و اکسید شده در بین دو لایه کاغذ بازیافتی از روش اسپری استفاده شد. به این منظور، نشاسته خام و اکسید شده هریک در ۴ سطح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد بر روی ورقه تر کاغذ ساخته شده از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر (کاغذ سفید) پاشیده شد و بعد ورقه ساخته شده از الیاف بازیافتی OCC (کاغذ قهوه‌ای) بر روی ورقه سفید اولی قرار گرفت. سپس با اعمال فشار ۳۴۵ kPa توسط دستگاه پرس طی دو مرحله با مجموع مدت زمان ۷ دقیقه فشرده شدند. پس از پایان مرحله پرس، ورقه‌های کاغذ برای خشک شدن به رینگ و پلیت‌های موجود در آزمایشگاه منتقل و به‌منظور شبیه‌سازی شرایط کارخانه به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردیدند. در ضمن تیمار شاهد بدون هیچ‌گونه پاششی بین دو لایه در نظر گرفته شد.

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی

جدول ۲ لیست ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این تحقیق به همراه استاندارد متناظر و واحد مورد نظر را نشان می‌دهد.

جدول ۲- لیست ویژگی‌های مورد بررسی و استاندارد متناظر آنها

ویژگی مورد بررسی	استاندارد مورد استفاده	واحد
گراماژ کاغذ	TAPPI T410 om-98	g/m^2
ضخامت ورقه کاغذ	TAPPI T411 om-05	میکرومتر
دانسیته ظاهری	تقسیم گراماژ کاغذ بر میانگین ضخامت کاغذ مزبور	kg/m^3
شاخص مقاومت به کشش	TAPPI T494 om-01	Nm/g
مقاومت بین لایه‌های مقوا	TAPPI T 569 pm-00	J/m^2
مقاومت به لهیدگی	TAPPI T 818 cm-97	N
شاخص مقاومت به خمش	SCAN-P 29:95 1995	Nm^6/kg^3

نتایج

مقدار نرمه خمیرکاغذ بازیافتی

برای شناسایی بهتر خمیرکاغذهای مصرف شده، درصد نرمه در خمیرکاغذ بازیافتی (پس از عملیات پراکنده‌سازی و پالایش توسط دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی) در حدود ۲۶/۵ درصد در خمیرکاغذ چاپ و تحریر و ۴۶/۲۲ درصد نرمه برای خمیرکاغذ بازیافتی OCC محاسبه شد.

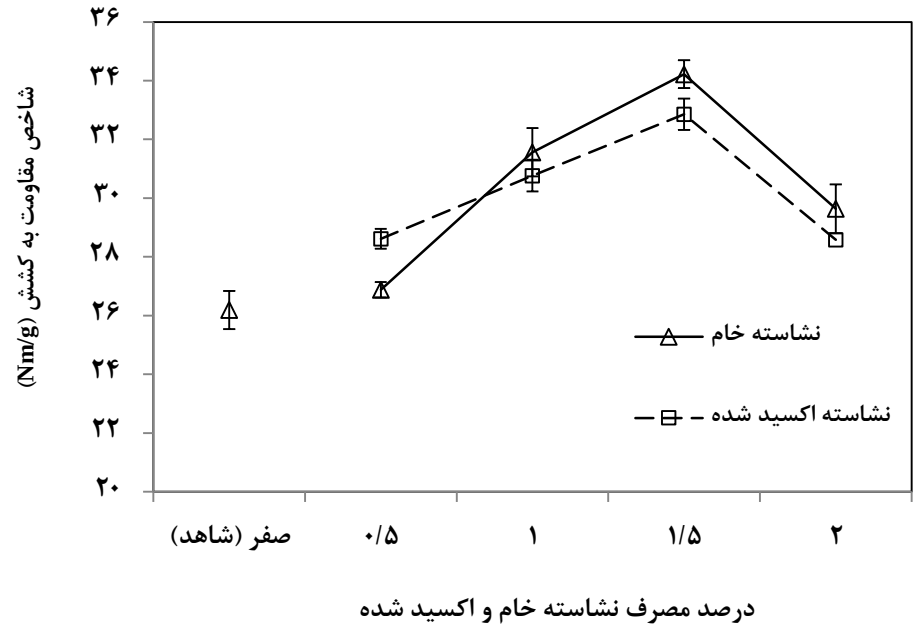
شاخص مقاومت به کشش

شکل ۱ وضعیت شاخص مقاومت به کشش را در نمونه‌های تیمارشده در مقایسه با یکدیگر و همچنین تیمار شاهد نشان می‌دهد. بر اساس تعریف مقدار نیروی لازم برای پاره کردن یک نوار باریک کاغذ هنگامی که طول نوار و سرعت بارگذاری هر دو به دقت مشخص شده‌اند، مقاومت کششی نامیده می‌شود (Ek *et al.*, 2009). شاخص مقاومت به کشش از شاخص‌های مهم مقاومتی در کاغذسازی است که به‌طورکلی وابسته به وضعیت پیونددهی ورقه کاغذ می‌باشد. در واقع این ویژگی متأثر از مقاومت ذاتی الیاف، تعداد و سطح پیوندی، مقاومت هر پیوند، چگونگی توزیع الیاف در ورقه کاغذ و درنهایت شکل‌گیری ورقه کاغذ است (Rahmaninia *et al.*, 2017). از بین عوامل ذکرشده، مقاومت الیاف به نوع گونه چوبی یا غیرچوبی، فرایند خمیرسازی، فرایند رنگ‌بری و بازیافت دوباره الیاف بستگی دارد.

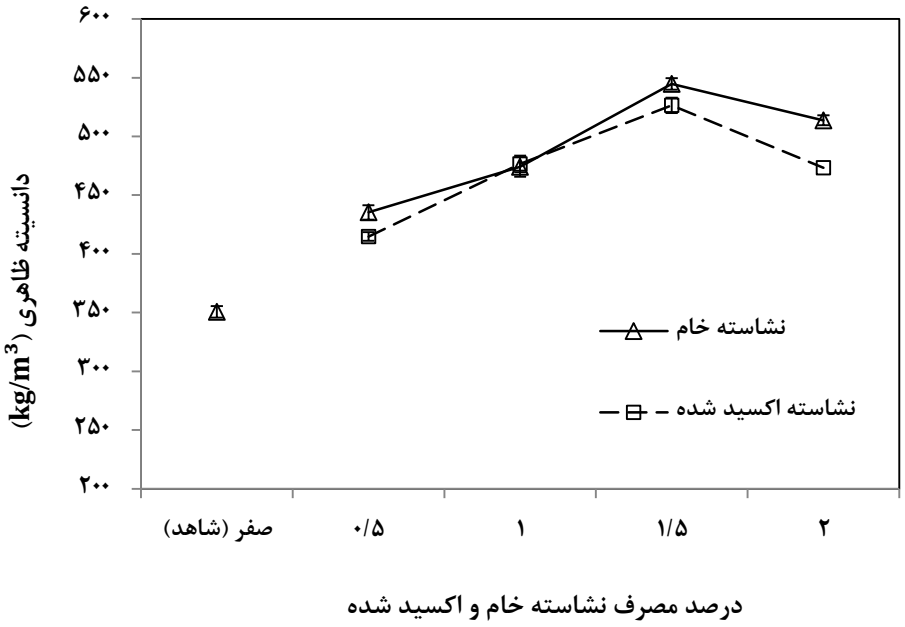
اما وضعیت پیوندی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی باشد. کیفیت فیبریلاسیون الیاف، دانسیته ورقه و استفاده از افزودنی‌ها ازجمله این موارد می‌باشند. افزودنی‌ها در این بین ازجمله روش‌های متداول تقویت پیوند کششی در ورقه کاغذ هستند. همچنین تأثیر استفاده از افزودنی‌ها در ساخت خمیر و کاغذ بر روی مقاومت کششی خشک بیشتر از مقاومت تر می‌باشد (Rohi *et al.*, 2016 ؛Hamzeh, 2013).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تأثیر افزودن نشاسته خام و اکسیدشده بین دو لایه بر شاخص مقاومت به کشش مقوا



شکل ۲- تأثیر افزودن نشاسته خام و اکسیدشده بین دو لایه بر دانسیته ظاهری مقوا

www.SID.ir

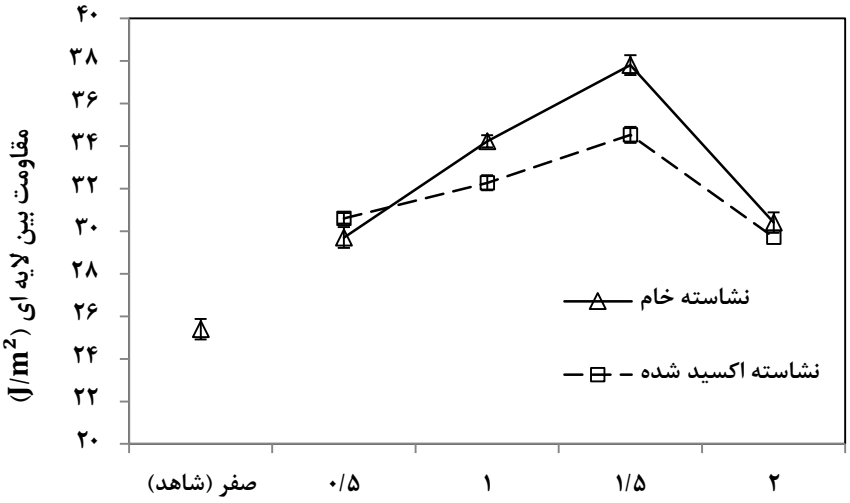
Archive of SID

دانسیته ظاهری

شکل ۲، وضعیت دانسیته ظاهری کاغذهای دست‌ساز ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. دانسیته ظاهری با استفاده از تقسیم گراماژ ورقه کاغذ بر ضخامت آن قابل محاسبه است. این ویژگی یکی از مهمترین ویژگی‌های کاغذ می‌باشد که تقریباً بر روی تمام خواص مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی آن تأثیر می‌گذارد (Rahmaninia *et al.*, 2018). نکته جالبی که باید به آن اشاره کرد، تطابق مناسب روند نتایج دانسیته ظاهری با نتایج مقاومت به کشش می‌باشد.

مقاومت بین لایه‌ای

پیوند بین لایه‌ای، به صورت مقاومت در برابر جدا شدن لایه‌ها بر اثر اعمال نیروی کششی عمود بر سطح مقوای چندلایه تعریف می‌شود (Scott *et al.*, 1997). شکل ۳ نشان‌دهنده تأثیر اسپری سه افزودنی نشاسته خام و اکسید شده با سطوح مصرف متفاوت در بین دو لایه مقوای دست‌ساز می‌باشد. به‌طورکلی این ویژگی نیز تطابق روندی مناسبی با دو ویژگی کشش و دانسیته نشان داده است.



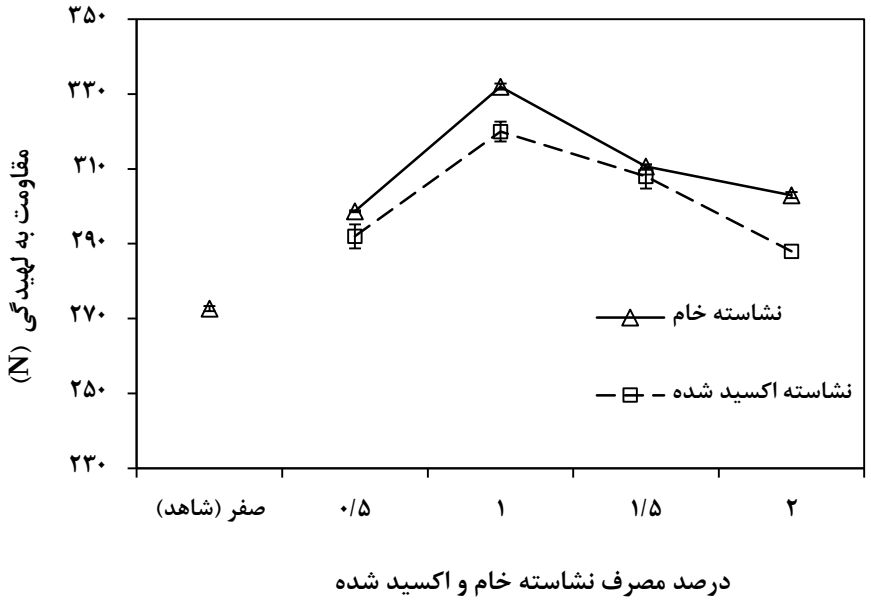
شکل ۳- تأثیر افزودن نشاسته خام و اکسیدشده بین دو لایه بر مقاومت بین لایه‌ای مقوا

مقاومت به لهیدگی

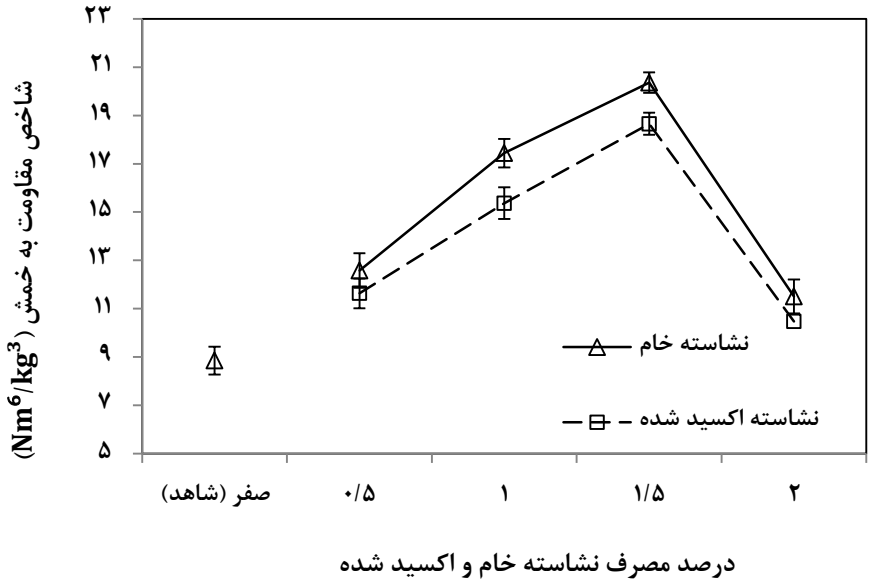
در واقع آزمون مقاومت به لهیدگی آزمونی است که به وضعیت مقاومت کاغذ در مقابل نیروهای فشاری می‌پردازد. به‌عبارتی این آزمون میزان مقاومت یک نوار کاغذ باریک حلقوی شده را در برابر فشار وارده به لبه آن نوار اندازه‌گیری می‌کند. عوامل زیادی بر مقاومت به لهیدگی حلقوی تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان جهت‌یابی الیاف، تراکم الیاف، پیوندیابی الیاف و میزان سختی کاغذ را نام برد. این مقاومت یکی از شاخص‌های اصلی برای ارزیابی کیفیت مقاومتی کاغذ و مقواهای بازیافتی است (Ek *et al.*, 2009). شکل ۴ تأثیر استفاده از افزودنی‌های نشاسته خام و اکسیدشده در مقوای دو لایه بر مقاومت به لهیدگی حلقه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، همه تیمارها نسبت به نمونه شاهد افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴– تأثیر افزودن نشاسته خام و اکسیدشده بین دو لایه بر مقاومت به لهیدگی مقوا



شکل ۵– تأثیر افزودن نشاسته خام و اکسیدشده بین دو لایه بر شاخص مقاومت به خمش

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص مقاومت به خمش کاغذ

مقاومت مقوا در برابر خم شدن در هنگام اعمال نیرو، سفتی خمشی نامیده می‌شود. در واقع شاخص مقاومت به خمش، نیروی لازم برای خم کردن یک قطعه مقوا را در زاویه مشخص (۵ درجه) اندازه‌گیری می‌کند. این تعریف برای انواع روش‌های اندازه‌گیری سفتی کاغذ و مقوا کاربرد دارد. مؤثرترین ویژگی‌ها در مقاومت به خمش، ضخامت و مدول‌الاستیسیته هستند، به‌طوری‌که مقادیر زیاد این ویژگی با ضخامت و مدول زیاد لایه‌های بیرونی مقوا حاصل می‌شود (Ek *et al.*, 2009). همچنین نوع الیاف استفاده شده در ساخت مقواها و خصوصیات الیاف اعم از میانگین طول الیاف و پیوندهای بین الیاف تأثیر بسزایی بر روی ضخامت و مدول‌الاستیسیته دارند (Midukov *et al.*, 2015). از دیگر خصوصیات مقوا که بر مقاومت به خمش آن تأثیر دارد می توان به وزن پایه، دانسیته، میزان رطوبت، یک یا چندلایه بودن مقوا، چسبندگی لایه‌ها و مقاومت به کشش و پاره‌شدن اشاره کرد.

شکل ۵ تأثیر اسپری افزودنی‌های نشاسته خام و اکسیدشده در بین دولایه مقوای دست‌ساز را بر شاخص مقاومت به خمش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می شود استفاده از مواد ذکر شده نسبت به تیمار شاهد تأثیر مثبتی بر این ویژگی داشته‌اند، به‌طوری‌که هر دو نشاسته بهترین نتایج خود را در سطح ۱/۵ گرم بر مترمربع نشان داده اند.

بحث

شاخص مقاومت به کشش

همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزودن نشاسته خام و اکسید شده در بین دو لایه مقوا باعث تأثیر مثبت در این ویژگی شده‌اند. همان‌طور که گفته شد مقاومت کششی کاغذ متأثر از دو فاکتور کلیدی مقاومت ذاتی الیاف و مقاومت پیوند بین الیاف می‌باشد. از آنجایی که افزودن این مواد در بین دو لایه مقاومت ذاتی الیاف را تغییر نمی‌دهد؛ بنابراین تغییرات مقاومت کششی کاغذ می‌تواند ناشی از تغییرات در افزایش یا کاهش پیوند بین الیاف باشد. ازاین‌رو احتمال دارد این افزایش به دلیل نفوذ مواد اعمال شده در بین دولایه و بعد فضای بین الیاف باشد. در واقع پس از اعمال پرس، فشار حاصل به این روند کمک می‌کند، در نتیجه مواد شیمیایی وارد شده به این فضا می‌تواند در افزایش سطح اتصال بین الیاف کمک نموده و تا حدودی این ویژگی را ارتقا دهد. Ashori و همکاران (۲۰۰۶) نیز به امکان نفوذ مواد شیمیایی اسپری شده بر روی سطح ورقه کاغذ در فضای بین الیاف اشاره کرده‌اند. Maurer (۲۰۰۹) نیز به روش متداول اسپری نشاسته خام روی ورقه تشکیل شده بر توری و استفاده از نیروی فشار برای راندن نشاسته به ساختار کاغذ و افزایش مقاومت‌ها اشاره کرده است.

نکته دیگری که قابل توجه می‌باشد، کاهش شاخص مقاومت به کشش با افزایش مصرف بیش از حد مواد شیمیایی بوده است. این کاهش در هر دو نوع نشاسته پس از سطح ۱/۵ گرم بر مترمربع مشاهده شده است. عده‌ای از محققان دلیل این پدیده را به افزایش حضور مواد شیمیایی در بین دو لایه نسبت داده‌اند. از نظر این محققان با افزایش میزان این مواد در بین دولایه، فیلمی بین دو لایه کاغذ تشکیل می‌شود (Hubbe, 2006) که از امکان اتصال بین مولکول‌های ماده شیمیایی با الیاف می‌کاهد (Jung *et al.*, 2008؛ Hubbe, 2006).

همچنین مطلبی که با مطالعه نمودار قابل طرح است، وضعیت بهتر نشاسته خام نسبت به نشاسته اکسید شده در مقاومت به کشش می‌باشد. البته احتمال دارد علت این پدیده به آنیونی بودن نشاسته اکسید شده در مقایسه با نشاسته خام باشد. در واقع نیروهای دافعه الکتروستاتیکی آنیون‌های نشاسته اکسیدشده مانع نفوذ بهتر آن در منافذ و خلل و فرج لایه کاغذ شده و باعث پیوندیابی کمتر بین الیاف و نشاسته اکسید شده در مقایسه با نشاسته خام می‌شود.

دانسیته ظاهری

با توجه به نتایج دانسیته ظاهری، تأثیر مثبت این دو نشاسته بر دانسیته ظاهری در مقایسه با تیمار شاهد قابل

www.SID.ir

Archive of SID

مشاهده می‌باشد. همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، اعمال این مواد شیمیایی در بین دو لایه و همچنین نفوذ آنها پس از اعمال پرس به ساختار بین الیاف و پر کردن این فضاها و البته توسعه پیوندی بین لایه‌ها، به‌طور طبیعی سبب افزوده شدن دانسیته ورقه کاغذ می‌شود. البته منطبق با شاخص مقاومت به کشش، مصرف بیش از ۱/۵ گرم بر مترمربع از این دو نشاسته، باعث کاهش این ویژگی گردیده است. همان‌طور که اشاره شد، به نظر می‌رسد در این سطح مصرف، با تشکیل فیلمی از این مواد در بین دو لایه، ضخامت افزایش و دانسیته ظاهری کاهش را تجربه کرده باشد.

مقاومت بین لایه‌ای

همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده و اسپری این افزودنی‌ها در بین کاغذ دولایه در تمامی سطوح مصرف آنها نسبت به نمونه شاهد موجب تأثیر مثبت در مقاومت بین لایه‌ای شده است. هر دو نشاسته اکسیدشده و خام می‌توانند از طریق گروه‌های عاملی هیدروکسیلی خود به ایجاد پیوندهای هیدروژنی مبادرت ورزند. نشاسته اکسید شده تأثیر مثبت کمتری نسبت به نشاسته خام از خود نشان داده که ذات آنیونی این ترکیب و دافعه احتمالی بین آن و الیاف می‌تواند دلیل این نتیجه باشد (Mishra, 2005؛ Ryu & Lee, 2007؛ Maurer, 2009).

در ضمن افت این ویژگی با افزایش مصرف نشاسته بیش از ۱/۵ گرم بر مترمربع در بین دو لایه قابل مشاهده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد، به نظر می‌رسد با افزایش میزان این مواد، احتمالاً فیلمی بین دو لایه کاغذ تشکیل می‌شود که مقاومت کمتری در آزمون مقاومت بین لایه‌ای دارد. Ryu و Lee (۲۰۰۷) نیز به امکان وقوع چنین پدیده‌ای اشاره کرده‌اند.

مقاومت به لهیدگی

همان‌طور که می‌دانیم، با رجوع به منابع می‌توان تأثیر مثبت قدرت الیاف، وضعیت پیوندیابی در کاغذ، تأثیر گراماژ و تا حدودی دانسیته را بر این ویژگی مشاهده کرد. در بین این عوامل به علت ثابت بودن کیفیت هر لیف و گراماژ مقوا، دو عامل پیوندیابی و دانسیته در این تحقیق اهمیت دارند (Adamopoulos *et al.*, 2014). با توجه به نمودار دانسیته که در بخش قبل به آن اشاره شده است، روند افزایشی دانسیته تا سطح ۱ گرم بر مترمربع مطابق با افزایش انجام شده در این شاخص می‌باشد اما افزایش مصرف هر دو نشاسته تا سطح ۱/۵ گرم بر مترمربع، هرچند دانسیته را تا حدی افزایش داده اما روند مقاومت به لهیدگی کاهشی بوده است. ادامه این روند کاهشی بیش از ۱/۵ گرم بر مترمربع نیز کاملاً با کاهش دانسیته و پیوندیابی بین دو لایه قابل درک است. همچنین بر اساس نتایج، این ویژگی در بین هر دو نشاسته تفاوت چندانی نشان نمی‌دهد.

شاخص مقاومت به خمش کاغذ

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مدول‌الاستیسیته یا همان مدول یانگ رابطه مستقیمی با شاخص مقاومت به خمش دارد. با توجه به جدول ۳ که نتایج مدول یانگ ورقه‌های مقوا را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد، همخوانی مناسبی بین این نتایج و شاخص مقاومت به خمش دیده می‌شود. به‌عنوان مثال بالاترین مدول یانگ با حدود ۳۰۰۰ مگاپاسکال به تیمار حاوی ۱/۵ گرم بر مترمربع نشاسته خام اسپری شده تعلق دارد. به نظر می‌رسد تأثیر پیوندیابی حاصل از نفوذ ماده در کنار ایجاد و افزایش چسبندگی بین دو لایه با تأثیر مثبت بر مدول‌الاستیسیته به‌طور غیرمستقیم بر شاخص مقاومت به سفتی خمشی نیز تأثیر مثبت داشته است. همچنین وقوع کاهش در مدول و شاخص مقاومت به خمش کاغذ با مصرف افزودنی‌های مزبور بیش از ۱/۵ گرم بر مترمربع، منطبق با کاهش‌های ثبت شده در مقاومت به کشش و مقاومت بین لایه‌ای بوده که بر اساس آنچه در قبل اشاره شد به تشکیل یک فیلم ضعیف از ترکیبات شیمیایی متراکم شده در بین دو لایه قابل استناد است (Ryu & Lee, 2007).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- میانگین مدول یانگ کاغذهای دست‌ساز تیمارشده

تیمار	شاهد	نشاسته خام (g/m^2)			نشاسته اکسیدشده (g/m^2)			
سطح مصرف	-	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۰/۵	۱	۱/۵	۲
مدول یانگ (MPa)	۱۷۸۸	۱۷۶۵	۲۰۰۸	۳۰۰۰	۱۸۸۵	۱۶۵۵	۱۸۶۹	۲۰۷۸	۱۷۳۳

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که فرایند اسپری مواد شیمیایی مورد نظر در این پژوهش (نشاسته خام و اکسید شده) در بین لایه‌های مقوای دو لایه، باعث بهبود قابل توجه ویژگی‌های مقاومتی اندازه‌گیری شده (شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به خمش، مقاومت به لهیدگی و به‌ویژه مقاومت بین لایه‌ای) گردید. به‌طوری‌که بیشترین تأثیر این دو افزودنی در سطح پاشش ۱/۵ گرم بر مترمربع رخ داده است. همچنین افزایش مصرف بیش از این مقدار سبب کاهش ویژگی‌های مقاومتی اشاره شده گردید که احتمالاً تشکیل لایه‌ای از نشاسته به صورت یک فیلم دلیل این کاهش باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این تحقیق بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های بی‌دریغ معاونت پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین معاون محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس کمال سپاس را داشته باشند. همچنین نویسندگان از همکاری صمیمانه دست‌اندرکاران کارخانه کاغذسازی اترک در تهیه مواد اولیه تحقیق و امکان استفاده از امکانات آزمایشگاهی آن مجموعه کمال تشکر و امتنان را دارند. در این راستا زحمات ارزشمند آقایان کمال پیرمرادیان، محمدحسین بختیاروند، مجتبی مومنی، احسان فتحی‌پور و سرکار خانم الهام کیان‌پور ارج نهاده می‌شود.

منابع مورد استفاده

-Adamopoulos, S., Passialis, C. and Voulgaridis, E., 2014. Grammage and Structural Density as Quality Indexes of Packaging Grade Paper Manufactured from Rcycled Pulp. Drewno, 57(191): 145-151.
-Ashori, A., Harun, J., Zin, W.M. and Yusoff, M.N.M., 2006. Enhancing Dry Strength Properties of Kenaf (Hibiscus Cannabinus) Paper through Chitosan. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 45(1): 125-129.
-Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G., 2009. Pulp and Paper Chemistry and Technology, Paper Products Physics and Technology, Volume 4, Stockholm, 333p.
-Halmschlager, G., 2001. Multi-Layer & Multi-Ply Concepts-Driving Forces and Advantages. Wochenblatt fur Papierfabrikation, 129(22): 1518-1521.
-Hamzeh, Y., Sabbaghi, S., Ashori, A., Abdulkhani, A. and Soltani, F., 2013. Improving wet and dry strength properties of recycled old corrugated carton (OCC) pulp using various polymers. Carbohydrate Polymers, 94: 577-583.
-Hubbe, M.A., 2006. Bonding between Cellulosic Fibers in the Absence and Presence of Dry-Strength Agents: A Review. BioResources, 1(2): 281-318.
-Jung, Y.J., Kim, T.Y., Jang, Y.J., Yoon, J.H. and Heo, Y.D., 2008. Effects of Base Paper Properties and the Composition of Adhesives on the Physical Properties of Multilayered Paper. Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 40: 34-42.
-Maurer, H.W., 2009. Starch in the Paper Industry, Chemistry and Technology, 18(3): 658-706.
-Midukov, N.P., Schrinner, T., Grossmann, H., Smolin, A.S. and Kurov, V.S., 2015. Effect of Virgin Fiber Content on Strength and Stiffness Characteristics of a Three-layer Testliner. BioResources, 10(1): 1747-1756.

www.SID.ir

Archive of SID

-Rohi, M., Ramezani, O., Rahmaninia, M., Zabihzadeh, S.M. and Hubbe, M.A., 2016. Influence of pulp suspension pH on the performance of chitosan as a strength agent for hardwood CMP paper. Cellulose Chemistry and Technology, 50, 873-878.

-Ryu, J.Y. and Lee, H.L., 2007. Improvement of Plybond Strength of Two-ply Sheets by Spraying of Starch Blends, Tappi Journal, 6(5): 3-8.

-Scott, W.E., Abbott, J.C. and Trosset, S., 1997. Properties of Papers: An Introduction. Second Edition, TAPPI Press, Atlanta, 191p.

-Somerkallio, M., 2012. Spray application of strength chemicals. Master Science Thesis, Tampere University of Technology, Finland.

-Statista, 2018. Production volume of paper by type. https://www.statista.com/statistics/270317/production-volume-of-paper-by-type/

-Mishra, A.K., 2005. Modified starches for enhanced paper quality and higher productivity. Pap Asia, 21, 30-33.

-Paulapuro, H., 2000. Paper and Board Grades. Papermaking Science and Technology book series, TAPPI press, Atlanta, 132p.

-Rahmaninia, M., Hosseinian, K. and Khosravani, A., 2017. The influence of nanochitosan addition on the process and quality properties of printing and writing paper made from recycled fibers. Journal of Forest and Wood Products (JFWP), Iranian Journal of Natural Resources, 69(4): 831-840.

-Rahmaninia, M., Rohi, M., Hubbe, M.A., Zabihzadeh, S. M. and Ramezani, O., 2018. The performance of chitosan with bentonite microparticles as wet-end additive system for paper reinforcement. Carbohydrate polymers, 179: 328-332.

www.SID.ir

Archive of SID

The performance of raw and oxidized starch as reinforcing additives of internal bond in recycled multilayer paperboards

E. Fatehi[1], M. Rahmaninia[2]*, A. Khosravani[3] and Z. Iron[3]

1-MSc, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran
2*-Corresponding Author, Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran, E-mail: rahmaninia@modares.ac.ir
3-Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran
4-MSc, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

Received: Dec., 2019 Accepted: March, 2020

Abstract

In production of paperboards especially the ones with high grammage, limitation of pulp drainage will drastically reduce the speed of papermaking process. In this manner, one of the common ways to improve the drainage and subsequent increasing of machine speed is producing the multilayer paperboards can be the addition of suitable additives.. Although these layers are bonded to each other without applying any additives, but occasionally starch has been applied between the layers for improving the internal bonds of multilayer paperboards. In this study, the effect of spraying two kinds of starch commonly used in industry (native and oxidized starch) with different dosages (0, 0.5, 1, 1.5 and 2 g/m^2) was investigated. The top layer of double layered paperboard was made of recycled printing and writing pulp and the back layer was produced from old corrugated carton (OCC) recycled fibers. Grammage of each layer was set about 100 g/m^2. The results showed that spraying native and oxidized starch improved the mechanical properties comparing to control sample (without spraying any additive). Also, the native starch showed better results in comparision with oxidized starch. Moreovere, in both native and oxidized starch, the best mechanical properties were observed by applying 1.5 g/m^2 of mentioned additives.

Keywords: Multilayer paperboard, internal bond, native starch, oxidized starch, spraying.

www.SID.ir