جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴
ص ۴۶۹-۴۷۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۱

تأثیر روش کاربرد افزودنی‌های مقاومتِ تر بر خواص کاغذ

❖ **یحیی همزه*؛** استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **رحیم یدالهی؛** کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
❖ **حسین مهدوی؛** دانشیار، گروه شیمی پلیمر، دانشکدهٔ شیمی دانشگاه تهران، تهران، ایران
❖ **شادمان پورموسی؛** استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

چکیده

به‌منظور بهبود مقاومتِ ترِ کاغذ همراه با بهبود مقاومت‌های خشک آن و کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد رزین‌های مقاومتِ تر، در این تحقیق اثر نحوهٔ کاربرد افزودنی‌های مقاومتِ تر بر خواص کاغذ بررسی شد. رزین مقاومتِ تر به چهار صورت شامل اسپری گلی‌اکسال بر سطح کاغذِ تر، افزودن پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دار، پلی‌اکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دارشده سنتزشده (GPAM) و پلی‌آمیدوآمین اپی‌کلرو هیدرین (PAE) به تعلیق خمیرکاغذ، و اسپری گلی‌اکسال روی کاغذهای حاوی پلی‌اکریل آمید آمین‌دارشده (PAa) استفاده شد. نتایج نشان داد که اسپری گلی‌اکسال به‌طور درخور توجهی سبب افزایش مقاومتِ تر می‌شود و میزان افزایش تابع مقدار اسپری گلی‌اکسال است. اما، مقاومت خشک کاغذها بر اثر اسپری گلی‌اکسال تغییر نمی‌کند و مقدار جذب انرژی کششی کاغذ کاهش و سفتی آن افزایش می‌یابد. افزودن PAa به خمیرکاغذ سبب افزایش اندکی در مقاومتِ تر کاغذ شد، درحالی‌که مقاومت‌های خشک و میزان جذب انرژی کششی کاغذها افزایش یافت و میزان تغییرات تابع مقدار مصرف PAa شد. اسپری گلی‌اکسال روی سطح کاغذِ تر حاوی PAa مطلوب‌ترین روش بهبود خواص کاغذ تعیین شد؛ طوری‌که این روش ضمن افزایش مقاومت‌های تر و خشک کاغذ سبب افزایش سفتی کاغذها نیز نشد. تیمار حاوی ۰/۴درصد PAa همراه با ۱ درصد گلی‌اکسال به لحاظ مقاومتِ تر افزایش درخور توجهی نسبت به کاغذ شاهد، و کاغذ تیمارشده با PAE و GPAM داشت و مقاومت‌های خشک نیز نسبت به شاهد افزایش یافت، اما از PAE و GPAM مقاومت خشک کمتری ایجاد کرد.

واژگان کلیدی: اسپری، پلی‌آکریل‌آمید آمین‌دار، پلی‌آکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دار، رزین مقاومتِ تر، گلی‌اکسال، مقاومت خشک.

* نویسندهٔ مسئول تلفن ۰۲۶۳۳۲۲۳۰۴۴
Email: hamzeh @ut.ac.ir

مقدمه

از آنجا که در کارخانه‌های کاغذسازی، به‌خصوص در کارخانه‌های تولیدکنندهٔ کاغذهای بهداشتی، سیستم‌های کاغذسازی با pH خنثی و قلیایی بیشتر توسعه یافته‌اند، کاربرد رزین‌های مقاومت تر در شرایط قلیایی بسیار توسعه یافته است و کاربرد سایر رزین‌های مقاومتِ تر بر پایهٔ ملامین و اوره به‌علت محتوای فرمالدئید آن‌ها و خطرهای زیست‌محیطی ناشی از آن رو به کاهش است. رزین‌های پلی‌آمیدوآمین اپی‌کلرو هیدرین (PAE) تحت شرایط خنثی عملکرد خوبی دارد و برای تولید کاغذهایی با مقاومتِ تر زیاد در شرایط خنثی و قلیایی به‌کار می‌روند [۱]. با توجه به شیمی تشکیل پیوندهای عرضی در اپی‌کلرو هیدرین، کاربرد این نوع رزین‌ها موجب انتشار ترکیبات آلی کلردار (AOX) می‌شود که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به مونومرهای کلردار، مانند دی‌کلروپروپانول و مونوکلروپروپاندیول، اشاره کرد که به‌منزلهٔ مواد خطرناک وارد پساب می‌شوند [۱]. تحقیقات اخیر نشان داده است که با استفاده از آلدئیدها و دی‌آلدئیدها مثل فرم‌آلدئید، گلوتارآلدئید و گلی‌اکسال، که سبب ایجاد اتصالات عرضی در کاغذ می‌شوند، می‌توان مقاومتِ تر کاغذ را بهبود داد [۲]. گلی‌اکسال و گلوتارآلدئید از آلدئیدهای دوعاملی‌اند که با گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف اتصالات عرضی از نوع همی‌استال تشکیل می‌دهند و به‌منزلهٔ یک عامل مقاومتِ تر عمل می‌کنند [۳]. این دو آلدئید فاقد مکانیزمی برای ماندگاری در روی الیاف در تعلیق خمیرکاغذند [۴]. به همین دلیل، در بیشتر تحقیقات انجام‌شده در مورد کارایی این مواد، برای ایجاد مقاومتِ تر کاغذ، نمونه‌های کاغذی ساخته‌شده در این مواد غوطه‌ور شده و بعد از خشک‌شدن مورد آزمون قرار گرفته‌اند [۳؛ ۵]. در این نوع تیمار، واکنش بین گروه‌های آلدئیدی این مواد و گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف سبب تشکیل پیوندهای همی‌استال و استال می‌شود. میزان تشکیل پیوندهای استال در گلوتارآلدئید بیشتر بوده و به مقاومتِ تر دائمی منجر می‌شود، اما گلی‌اکسال مقاومتِ تر موقت ایجاد می‌کند [۳؛ ۵]. کاربرد منفرد این دو آلدئید، سبب افزایش مقاومت‌های تر و خشک کاغذ می‌شود، اما مقاومت به تاخوردگی آن را می‌کاهد [۳]. مشخص شده است که مولکول‌های کوچک گلوتارآلدئید و گلی‌اکسال سبب شکنندگی کاغذ[1] و کاهش استقامت به تاشدن آن می‌شوند و در صورت استفاده از پلی‌ونیل الکل به‌منزلهٔ هم‌واکنشگر، نه‌تنها مقاومت تر، بلکه مقاومت خشک و تحمل به تاخوردگی کاغذ را افزایش می‌دهد [۳]. ازاین‌رو، آلدئیدهایی مانند گلوتارآلدئید و گلی‌اکسال روی یک پلیمر خطی و کاتیونی قرار داده می‌شوند تا ضمن افزایش میزان ماندگاری آلدئیدهای مصرف‌شده، تأثیرات نامطلوب آن‌ها، مانند افزایش شکنندگی و کاهش مقاومت به تاخوردگی کاغذ، کاهش یابد. از رزین‌های مقاومت تر رایج کاغذسازی رزین پلی‌اکریل آمید گلی‌اکسال‌دارشده (GPAM)[2] است که حاصل واکنش آلدئید گلی‌اکسال با پلیمر اکریل‌آمید آمین‌دارشده (PAa) کاتیونی است. یکی از معایب اصلی GPAM، که کاربرد آن را محدود کرده است، عمر کوتاه آن است که ناشی از تشکیل اتصالات

1. paper embrittlement
2. Glyoxylated Polyacrylamide

عرضی درون مولکولی از نوع همی‌آمیدال بین گروه‌های آلدئیدی و آمیدی است که سبب انعقاد رزین و کاهش شدید انحلال آن در جریان کاغذسازی می‌شود [۶].

به‌منظور حذف این محدودیت و افزایش کاربرد رزین GPAM در صنایع کاغذسازی، در این تحقیق کاربرد منفرد گلی‌اکسال و سپس کاربرد جداگانهٔ گلی‌اکسال و پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دارشده برای ایجاد مقاومتِ تر در کاغذ بررسی شده است. به منظور مقایسه، در تعدادی از تیمارها فقط مقادیر مختلف گلی‌اکسال یا پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دارشده و سپس در تیمارهای بعدی ابتدا پلی‌آکریل‌آمید آمین‌دار به‌عنوان هم‌واکنشگر گلی‌اکسال به تعلیق خمیر کاغذ اضافه شد و پس از ماندگاری آن در کاغذ، و قبل از خشک شدن کاغذ، محلول گلی‌اکسال روی آن اسپری شد. جهت بررسی کارایی روش استفاده‌شده، خواص کاغذهای تیمارشده با کاغذهای تیمارشده با رزین‌های پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و پلی‌آکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دار سنتزشده (GPAM) به‌عنوان مواد تجاری مقاومتِ تر و خشک مقایسه شده است.

روش‌شناسی

مواد

گلی‌اکسال (۴۰درصد وزنی) از شرکت مرک آلمان و PAE از شرکت کلارینت آلمان (غلظت ۱۲درصد وزنی) تهیه شد. پلی‌آکریل‌آمید آمین‌دار (PAa) با وزن مولکولی ۳۵۹۱۸۸ g/mol و GPAM سنتزشده در آزمایشگاه (غلظت ۶درصد وزنی) جهت بررسی و مقایسهٔ کارایی هریک از ترکیبات استفاده‌شده برای ایجاد خواص مطلوب در کاغذ استفاده شد.

خمیر بازیافتی جوهرزدایی‌شده با pH خنثی و رنگ‌بری‌شده با پروکسید هیدروژن و پالایش‌شده تا درجهٔ روانی ۳۰-۳۵ شوپرریگلر از خط تولید کاغذسازی لطیف (قبل از اضافه‌شدن هرگونه افزودنی) گرفته شد. خمیرکاغذ استفاده‌شده ترکیبی از کاغذهای بازیافتی اداری به‌میزان ۵۰درصد و پوشال لبه‌بری‌شدهٔ چاپ‌خانه‌ها به میزان ۵۰ درصد بود. جهت ثابت‌بودن نوع خمیر، کل خمیر مورد نیاز در ابتدا از خط تولید گرفته و پس از آب‌گیری تا درصد خشکی ۱۶درصد در یخچال نگهداری شد. برای تهیهٔ تعلیق خمیرکاغذ بازیافتی و ساخت کاغذ از همزن جارتست استفاده شد که سبب برش در الیاف نمی‌شود.

تیمار کاغذ

به‌منظور ماندگارکردن گلی‌اکسال روی الیاف کاغذسازی، از روش اسپری استفاده شد و محلول آبی ۱۰درصد وزنی گلی‌اکسال روی ورق تر کاغذ ساخته‌شده اسپری شد. کنترل مقدار کاربرد مواد در جریان اسپری‌کردن، با توجه به تعیین وزن محلولی که با هر بار اسپری خارج می‌شود (با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم مشخص شد) صورت گرفت و با کنترل وزن محلول اسپری‌شده مقادیر مختلف گلی‌اکسال به‌کار برده شد. مطابق روش مذکور، در جریان ساخت ورق کاغذ دست‌ساز و بعد از مرحلهٔ آب‌گیری از خمیرکاغذ، گلی‌اکسال در مقادیر مصرف ۰، ۱، ۲ و ۳درصد بر مبنای وزن خشک الیاف روی کاغذ اسپری شد و سپس ورق تیمارشده در خشک‌کن مطابق استاندارد (ISO 5263-2 : 2004) خشک شد.

شکل۱. نمایی از روش اندازه‌گیری سفتی کاغذ براساس استاندارد ASTM-D6828

در تیمارهای بعدی، برای بهبود خواص کاغذ از جمله مقاومت خشک، مقاومت تر و مقدار جذب انرژی کششی از PAa به‌عنوان هم‌واکنشگر گلی‌اکسال استفاده شد. در این حالت، ابتدا PAa در سه مقدار ۰، ۰/۲درصد و ۰/۴درصد (بر مبنای وزن خشک الیاف) به تعلیق خمیرکاغذ اضافه شد و بعد از ۱۰ دقیقه هم زدن، با استفاده از دستگاه کاغذ دست‌ساز ورق تر ساخته شد و قبل از خشک‌کن گلی‌اکسال در مقادیر ۱، ۲ و ۳درصد بر روی آن‌ها اسپری شد تا با PAa موجود در الیاف نیز واکنش دهد. در این شرایط نیز ساخت کاغذها، با گراماژ ۸۰ مطابق استاندارد ISO 5263-2 : 2004 انجام شد و تست‌های کاغذسازی، از جمله تست مقاومت کششی تر و خشک، مقاومت به ترکیدن و نرمی، به‌ترتیب مطابق استانداردهای BS EN ISO 12625، ISO EN 1924-2:1994، Tappi T403 om-91 و ASTM-D6828 انجام شد. بخشی از دستگاه اندازه‌گیری سفتی کاغذ در شکل۱ نشان داده شده است. براساس روش آزمون استاندارد استفاده‌شده، نیروی لازم برای ایجاد خمیدگی در یک صفحهٔ کاغذ و راندن آن در یک شکاف باریک با دستگاه اندازه‌گیری می‌شود. هرچه کاغذ سفت‌تر (stiff) باشد، نیروی بیشتر برای خم‌کردن کاغذ و راندن آن به شکاف بیشتر است. همچنین، هرچه کاغذ زبری (rough) بیشتری داشته باشد، گیرکردن مکانیکی کاغذ در لبه‌ها بیشتر می‌شود و نیروی بیشتری لازم است تا کاغذ وارد شکاف شود. بنابراین، در این آزمون، ترکیبی از سفتی و زبری اندازه‌گیری می‌شود، اما فاکتور غالب سفتی کاغذ است.

به‌منظور مقایسهٔ نتایج تیمارهای یادشده با نتایج حاصل از کاربرد رزین‌های مقاومت تر تجاری، نمونه‌هایی نیز با استفاده از رزین‌های مقاومت تر PAE تجاری و G-PAM سنتزشده در آزمایشگاه با استفاده از روش گزارش‌شده از سوی یدالهی و همکاران [۷] تهیه شد. مقدار استفاده از این دو رزین ۰/۴درصد (بر مبنای وزن خشک الیاف) در نظر گرفته شد تا کارایی مواد در مقدار کاربرد یکسان مقایسه شود.

نتایج و بحث

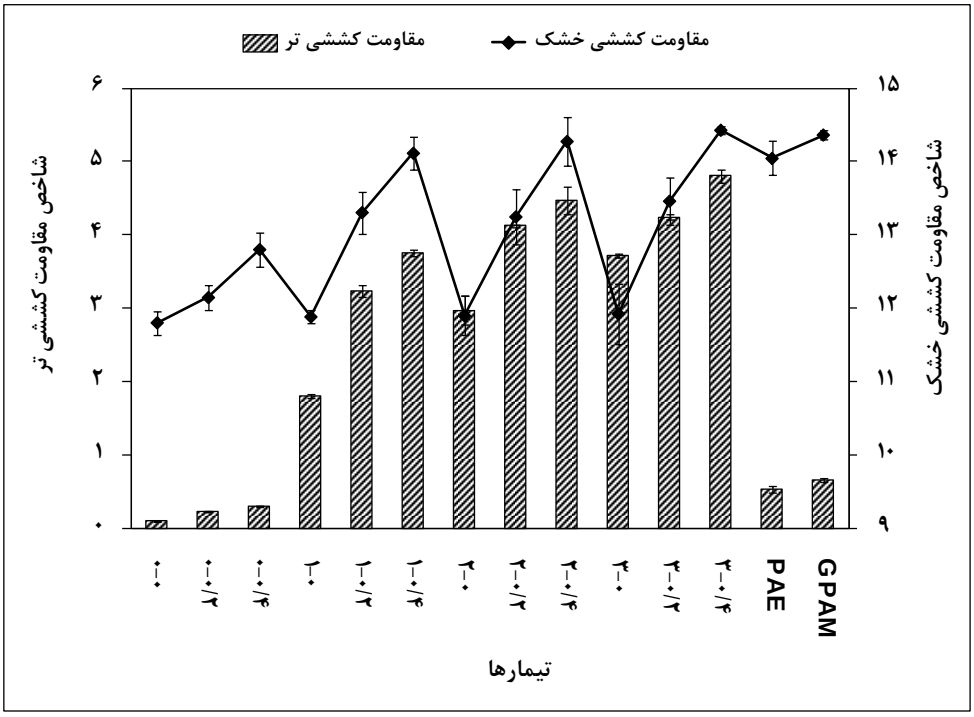
تأثیر اسپری گلی‌اکسال بر مقاومت کششی تر و خشک کاغذ

نتایج حاصل از تیمارهای مختلف در جدول۱ ارائه

شده و در ادامه هر بخش به‌طور مجزا بحث شده است. نتایج بررسی اثر مستقل اسپری گلی‌اکسال بر مقاومت تر نشان داد که اسپری گلی‌اکسال بر سطح کاغذ به‌طور درخور توجهی سبب افزایش مقاومتِ تر می‌شود (شکل ۲). با افزایش مقدار اسپری گلی‌اکسال، مقاومتِ تر کاغذها بیشتر شده و بیشترین مقاومت تر در مقدار گلی‌اکسال ۳ درصد حاصل شده است. همچنین، اثر مستقل PAa نشان داد که تیمار کاغذ با PAa سبب افزایش مقاومت تر شده است، اما قابل قیاس با گلی‌اکسال نیست. همان‌طور که در شکل۲ مشخص است، بیشترین اثر بر روی مقاومت تر، ناشی از اثر متقابل هر دو ماده است که سبب افزایش بسیار درخور توجهی در مقاومتِ تر شده‌اند؛ طوری‌که در کاغذهایی که ابتدا با PAa تیمار شده بودند و قبل از خشک‌کن گلی‌اکسال بر سطح آن‌ها اسپری شده بود، افزایش مقاومتِ تر نسبت به کاغذهای تیمارشده با گلی‌اکسال منفرد یا PAa منفرد بسیار بیشتر بود.

جدول۱. نتایج حاصل از تیمارهای مختلف کاغذ با رزین‌های مختلف

ردیف	مقدار گلی‌اکسال (٪)	مقدار PAa (٪)	شاخص مقاومت کشش خشک (N.m/g)	شاخص مقاومت کشش تر (N.m/g)	جذب انرژی کششی (J/m^2)	مقاومت به ترکیدن (Kpa)	سفتی (mN)	کد تیمار
۱	۰	۰	۱۱/۸	۰/۰۹	۱۴/۳۶	۱۵۱/۳۷	۴۱۴/۷۱	۰–۰
۲	۰	۰/۲	۱۲/۱۴	۰/۲۳	۱۵/۴۹	۱۷۱/۳	–	۰/۲–۰
۳	۰	۰/۴	۱۲/۸	۰/۲۹	۱۷/۸۲	۱۹۱/۴	–	۰/۴–۰
۴	۱	۰	۱۱/۸۸	۱/۷۹	۱۳/۷۴	۱۵۹/۵۲	–	۰–۱
۵	۱	۰/۲	۱۳/۳۰	۳/۲۳	۱۳/۹۵	۱۶۳	۴۱۴/۴۷	۰/۲–۱
۶	۱	۰/۴	۱۴/۱۱	۳/۷۵	۱۷/۱۷	۱۷۲/۹۷	۴۱۳/۹۸	۰/۴–۱
۷	۲	۰	۱۱/۸۹	۲/۹۶	۱۰/۳۴	۱۵۳/۸	–	۰–۲
۸	۲	۰/۲	۱۳/۲۴	۴/۱۲	۱۱/۸۲	۱۶۵/۹۲	۴۱۴/۹۶	۰/۲–۲
۹	۲	۰/۴	۱۴/۲۷	۴/۴۶	۱۳/۸۴	۱۷۵/۳	۴۱۴/۴۷	۰/۴–۲
۱۰	۳	۰	۱۱/۹۲	۳/۷۱	۱۱/۳۶	۱۵۳/۵۷	–	۰–۳
۱۱	۳	۰/۲	۱۳/۴۶	۴/۲۴	۱۱/۸۸	۱۶۷/۳	۴۱۶/۴۳	۰/۲–۳
۱۲	۳	۰/۴	۱۴/۴۳	۴/۸	۱۲/۳۸	۱۹۰/۱۷	۴۱۴/۵۹	۰/۴–۳
۱۳	PAE (٪۰/۴)	۰	۱۴/۰۴	۰/۵	۲۳/۱	۱۹۲/۷	۴۱۹/۶۲	PAE
۱۴	(٪۰/۴) GPAM	۰	۱۴/۳۶	۰/۶	۲۴/۴	۱۹۵/۶	۴۱۸/۷۶	GPAM



شکل۲. تأثیر اسپری گلی‌اکسال و افزودن PAa بر روی مقاومت کششی تر و خشک کاغذ

همچنین مشاهده شد که در مقدار یکسان گلی‌اکسال، با افزایش PAa مقاومت تر افزایش یافته و بیشترین مقاومت تر در ۰/۴درصد PAa همراه با ۳درصد گلی‌اکسال حاصل شده است که بسیار بیشتر از مقاومت حاصل از تیمار کاغذ با PAE و GPAM است. این نتایج درواقع حاصل تشکیل پیوندهای عرضی و واکنش گلی‌اکسال از یک طرف با PAa موجود در کاغذ و از طرف دیگر با سایر گروه‌های عاملی موجود در سطح الیاف کاغذسازی است که سبب تشکیل اتصالات عرضی از نوع همی‌استال و ایمین و آمینال می‌شود که حاصل آن افزایش زیاد مقاومتِ تر کاغذ است [۶؛ ۸].

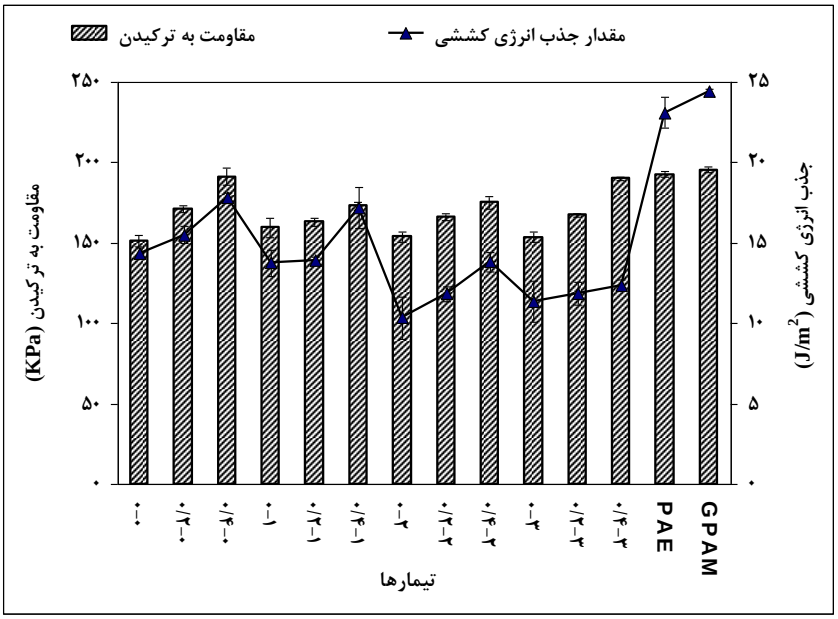
اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت خشک کاغذها هم نشان داد که اسپری گلی‌اکسال منفرد بر روی کاغذها سبب افزایش مقاومت خشک کاغذها نشده است و مقاومت حاصل کمتر از مقاومت حاصل از تیمار کاغذ با PAE و GPAM است. از طرف دیگر، اثر مستقل PAa نشان داد که در یک مقدار معین گلی‌اکسال، با افزایش مقدار PAa مقاومت خشک کاغذها بیشتر می‌شود؛ طوری‌که افزایش مقاومت خشک ناشی از افزایش PAa در مقدار گلی‌اکسال صفر درصد معنادار نیست، ولی در کاغذهای تیمارشده با گلی‌اکسال، افزایش مقاومت در مقادیر مختلف گلی‌اکسال تابع میزان مصرف PAa است و در مقادیر مختلف گلی‌اکسال (۰، ۱، ۲ و ۳درصد) مقاومت‌های مشابهی در مقادیر یکسان PAa حاصل شده است. حداکثر مقاومت خشک حاصل از این روش تقریباً با مقدار مقاومت خشک ناشی از کاربرد PAE و GPAM برابر است. این موضوع می‌تواند به افزایش تعداد اتصالات در کاغذ و افزایش کارایی PAa در افزایش مقاومت خشک مرتبط باشد.

نکتهٔ دیگری که مشاهده می‌شود این است که بیشتر کاغذهای تیمارشده با اسپری گلی‌اکسال مقدار زیادی از مقاومت کششی خشک را بعد از ترشدن با آب حفظ کرده‌اند (۱۵ تا ۳۳ درصد) که نشان‌دهندهٔ کارآمد بودن این روش برای ایجاد مقاومتِ تر در کاغذ است (شکل۲). به‌عبارت دیگر، اگرچه مقاومت خشک کاغذهای تیمارشده با PAE، GPAM و ترکیبی از PAa و گلی‌اکسال یکسان بود، افت مقاومت بعد از ترشدن در کاغذهای تیمارشده با PAE و GPAM خیلی بیشتر از کاغذهای تیمارشده با ترکیب PAa و گلی‌اکسال است.

تأثیر اسپری گلی‌اکسال بر روی مقاومت به ترکیدن کاغذ و مقدار جذب انرژی کششی

با توجه به شکل۳ مشخص می‌شود که اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت ترکیدن شبیه اثر این تیمارها بر مقاومت خشک کاغذهاست. درخصوص مقدار جذب انرژی کششی که تابعی از انعطاف‌پذیری کاغذهاست، نتایج نشان داد که در یک مقدار معینی از PAa، افزایش مقدار اسپری گلی‌اکسال سبب کاهش مقدار جذب انرژی کششی می‌شود. اما در یک مقدار معینی از گلی‌اکسال، افزایش کاربرد PAa سبب افزایش مقدار جذب انرژی کششی می‌شود که ناشی از اثر PAa در افزایش انعطاف‌پذیری کاغذ است.

به‌عبارت دیگر، اثر PAa و گلی‌اکسال بر مقدار جذب انرژی کششی متضاد هم بوده و اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند. در حالت اسپری گلی‌اکسال، کمترین میزان جذب انرژی کششی در مقادیر مصرف ۲ و ۳ درصد گلی‌اکسال و بدون کاربرد PAa حاصل شده است و بیشترین مقدار آن در صفر و ۱ درصد اسپری گلی‌اکسال به همراه ۰/۴درصد PAa حاصل شده است. درواقع، مولکول‌های کوچک گلی‌اکسال سبب شکنندگی کاغذ و کاهش جذب انرژی کششی کاغذ شده است [۳].

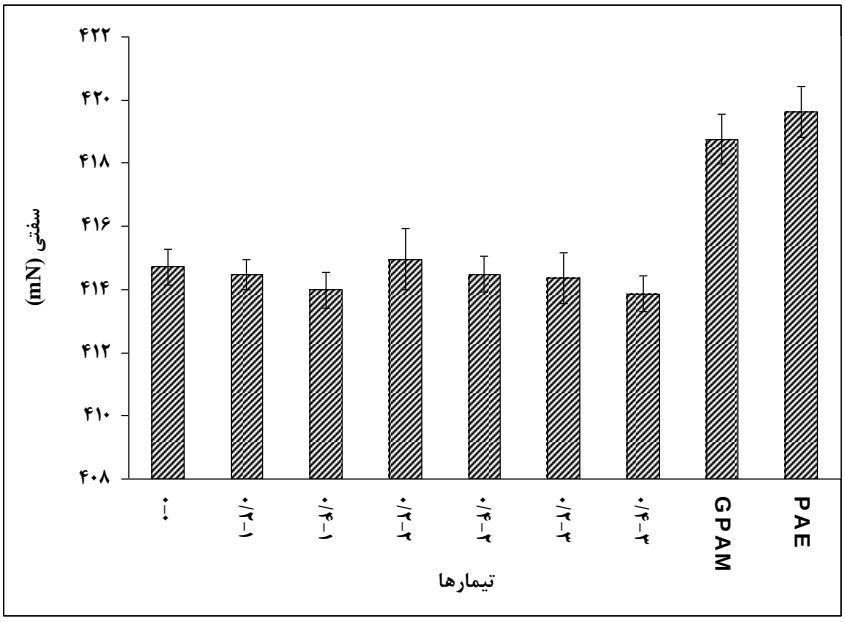


شکل۳. تأثیر اسپری گلی‌اکسال بر روی مقدار جذب انرژی کششی و مقاومت به ترکیدن کاغذهای خشک‌شده

در حضور پلی‌آکریل‌آمید آمین‌دارشده، دو گروه آلدئید موجود در مولکول‌های گلی‌اکسال از یک‌سو با PAa و از سوی دیگر با الیاف واکنش می‌دهند و PAa نیز به علت داشتن گروه‌های آمینی و آمیدی با سطح الیاف پیوند هیدروژنی و ایمین تشکیل می‌دهد [۶؛ ۸]. به علت زیاد بودن طول پلیمر و منعطف‌بودن آن، این نوع تیمار سبب شکنندگی کاغذ نمی‌شود و مقدار جذب انرژی کششی کاغذها کاهش نمی‌یابد. مقدار جذب انرژی کششی در کلیهٔ تیمارهایی که از اسپری گلی‌اکسال استفاده شده است در مقایسه با کاغذهای تیمارشده با PAE و GPAM افزایش کمتری داشته است، اما مقاومت کششی تر آن‌ها به‌طور درخور توجهی بیشتر شده است که ناشی از پیوندهای همی‌استال تشکیل‌شده به واسطهٔ گلی‌اکسال است.

تأثیر تیمارهای انجام‌شده در کاغذ بر روی سفتی هریک از کاغذها

سفتی یکی از فاکتورهای مهم در کاغذهای بهداشتی، به‌خصوص دستمال‌کاغذی، است که تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع مواد اولیهٔ لیفی و غیرلیفی مورد استفاده و سایر فاکتورهای عملیاتی مانند زیرکنگره‌ای[1] کردن در خشک‌کن است. همچنین، عوامل غیراتصال‌دهنده از جمله ترکیبات آمونیوم یا سورفکتانت غیریونی که به خمیرکاغذ اضافه می‌شوند تا سفتی کاغذ حاصل از آن را کاهش دهند اما به‌طور هم‌زمان مقدار جذب و مقاومت‌های کاغذ را کاهش می‌دهند که ناشی از ضعیف‌شدن اتصالات بین الیاف در کاغذ است [۹؛ ۱۰]. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی کاغذها (شکل۴)، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو رزین PAE و G-PAM باعث افزایش سفتی نسبت به کاغذ شاهد شده‌اند. اما کاربرد ترکیبی PAa و اسپری گلی‌اکسال هم‌زمان با افزایش مقاومت‌های کاغذ سبب افزایش سفتی کاغذها نشده است و بهترین نتیجه از این نظر در تیمار حاوی ۰/۴ درصد PAa همراه با ۱ درصد گلی‌اکسال حاصل شده است.



شکل۴. تأثیر گلی‌اکسال‌دار کردن سطح کاغذ بر روی سفتی کاغذ نسبت به PAE و G-PAM

1. Creping

در تیمار ۰/۴ درصد PAa همراه با ۳درصد اسپری گلی‌اکسال فقط مقدار جذب انرژی کششی افت پیدا کرده است و بقیهٔ مقاومت‌ها افزایش درخور توجهی نسبت به کاغذ شاهد داشته‌اند.

به‌طورکلی، نتایج نشان داد که از بین روش‌های بررسی‌شدهٔ اسپری گلی‌اکسال روی سطح کاغذ تر حاوی PAa مطلوب‌ترین روش بهبود خواص کاغذ است؛ طوری‌که این روش ضمن افزایش مقاومت‌های تر و خشک کاغذ سبب کاهش سفتی کاغذها نیز شده است. بهترین نتیجه با این روش در تیمار حاوی ۰/۴ درصد PAa همراه با ۱درصد گلی‌اکسال حاصل شد که به لحاظ بهبود مقاومت‌های تر و خشک و نرمی کاغذ نسبت به کاغذ شاهد افزایش درخور توجه دارد و در حالت بهینه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه گلی‌اکسال مکانیزمی برای ماندگاری بر روی الیاف کاغذسازی ندارد، از روش اسپری برای ماندگاری آن بر روی الیاف استفاده شد و مقادیر مختلفی گلی‌اکسال بر سطح کاغذهای تیمارشده و تیمارنشده با PAa قبل از پرس و خشک‌شدن اسپری شد. نتایج نشان داد که کاربرد منفرد گلی‌اکسال اگرچه سبب بهبود خواص مقاومتی تر و خشک کاغذ می‌شود، پارامترهایی مانند میزان جذب انرژی کششی و نرمی (معکوس سفتی) کاغذ را کاهش می‌دهد. بنابراین، کاربرد هم‌زمان PAa همراه با اسپری گلی‌اکسال نتایج بهتری را در مقایسه با کاربرد منفرد هریک از این مواد نشان داد. همچنین، با بهینه‌سازی مقدار مصرف هریک از این مواد می‌توان به تیمار بهینه دست یافت. در تیمار ۰/۴ درصد از PAa همراه با ۳ درصد اسپری گلی اکسال مقاومت تر به‌طور درخور توجهی افزایش داشته و مقاومت‌های خشک، به جز مقدار جذب انرژی کششی، افزایش درخور توجه داشته‌اند. اما در مقدار مصرف ۰/۴درصد PAa همراه با ۱درصد اسپری گلی‌اکسال کلیهٔ خواص بررسی‌شدهٔ کاغذ از جمله مقاومت تر، نرمی (معکوس سفتی)، مقاومت خشک و جذب انرژی کششی نسبت به کاغذ شاهد (کاغذ بدون تیمار) افزایش دارد و در حالت بهینه هستند.

سپاسگزاری

از خدمات و حمایت‌های فراوان و کارکنان و مسئولان محترم شرکت صنایع کاغذسازی لطیف برای اجرای این تحقیق کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

[1]. Braga, D., Kramer, G., Pelzer, R., and Halko, M. (2009). Recent developments in wet strength chemistry targeting high performance and ambitious environmental goals. Professional Papermaking, 3-4: 30–34.

[2]. Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., and Wagenknecht, W. (1998). Comprehensive Cellulose Chemistry Volume 2, John Wiley & Sons.

[3]. Xu, G.G., Yang, Ch. Q., and Deng, Y. (2004). Combination of bifunctional aldehydes and poly(vinyl alcohol) as the crosslinking systems to improve paper wet strength. Journal of Applied Polymer Science, 93: 1673–1680.

[4]. ESPY, H.H. (1995). The mechanism of wet-strength development in paper: a review. Tappi Journal, 78(4): 90-99.

[5]. Xu, G.G., Yang, Ch. Q., and Deng, Y. (2006). Mechanism of paper wet strength development by polycarboxylic acids with different molecular weight and glutaraldehyde/poly(vinyl alcohol). Journal of Applied Polymer Science, 101, 277–284.

[6]. Crisp, M.T., and Riehle, R.J. (2009). Wet-Strengthening of paper in neutral pH papermaking conditions. in Applications of Wet-End Paper Chemistry, Thorn I., and Au Ch. (Eds.), Second Edition, Springer, New York, 57-63.

[7]. Yadollahi, R., Hamzeh, Y., Mahdavi, H., Pourmuosa, Sh. (2014). Preparation and properties evaluation of glyoxalated polyacrylamide (GPAM) as a wet and dry strength agent of paper. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, In press 27(2): 121-129.

[8]. Pelton, R., Ren, P., Liu, J., and Mijolovic, D. (2011). Polyvinylamine-graft-TEMPO adsorbs onto, oxidizes, and covalently bonds to wet cellulose. Biomacromolecules, 12, 942-948.

[9]. Fatehi, P., Outhouse, K.C, Xiao, H., and Ni, Y. (2010). Debonding performance of various cationic surfactants on networks made of bleached kraft fibers. Industrial & Engineering Chemistry Research, 49(22), 11402-11407.

[10]. Talaeipour, M., and Imani, R. (2008). Effect of debonding agents and refining on the properties of deinked pulp. Tappi Journal, 9(7), 12-14.