



ص ۴۶۹-۴۷۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۱

## تأثیر روش کاربرد افزودنی‌های مقاومت‌تر بر خواص کاغذ

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

### چکیده

به منظور بهبود مقاومت‌تر کاغذ همراه با بهبود مقاومت‌های خشک آن و کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد رزین‌های مقاومت‌تر، در این تحقیق اثر نحوه کاربرد افزودنی‌های مقاومت‌تر بر خواص کاغذ بررسی شد. رزین مقاومت‌تر به چهار صورت شامل اسپری گلی‌اکسال بر سطح کاغذ، افزودن پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دار، پلی‌اکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دار شده سنتز شده (GPAM) و پلی‌آمیدوآمین اپی‌کلرو هیدرین (PAE) به تعلیق خمیر کاغذ، و اسپری گلی‌اکسال روی کاغذهای حاوی پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دار شده (PAa) استفاده شد. نتایج نشان داد که اسپری گلی‌اکسال به‌طور درخور توجهی سبب افزایش مقاومت‌تر 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 خمیر کاغذ سبب افزایش اندکی در مقاومت‌تر 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 کاغذ 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 ۰/۴ درصد PAa همراه با ۱ درصد گلی‌اکسال به لحاظ مقاومت‌تر افزایش درخور توجهی نسبت به کاغذ شاهد، و کاغذ تیمار شده 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، پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دار، پلی‌اکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دار، رزین مقاومت‌تر، گلی‌اکسال، مقاومت خشک.

## مقدمه

ایجاد مقاومت تر کاغذ، نمونه‌های کاغذی ساخته شده در این مواد غوطه‌ور شده و بعد از خشک شدن مورد آزمون قرار گرفته‌اند [۳؛ ۵]. در این نوع تیمار، واکنش بین گروه‌های آلدهیدی این مواد و گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف سبب تشکیل پیوندهای همی‌استال و استال می‌شود. میزان تشکیل پیوندهای استال در گلو تار آلدهید بیشتر بوده و به مقاومت تر دائمی منجر می‌شود، اما گلی‌اکسال مقاومت تر موقت ایجاد می‌کند [۳؛ ۵]. کاربرد منفرد این دو آلدهید، سبب افزایش مقاومت‌های تر و خشک کاغذ می‌شود، اما مقاومت به تا خوردگی آن را می‌کاهد [۳]. مشخص شده است که مولکول‌های کوچک گلو تار آلدهید و گلی‌اکسال سبب شکنندگی کاغذ<sup>۱</sup> و کاهش استقامت به تابش آن می‌شوند و در صورت استفاده از پلی‌ونیل الکل به منزله هم‌واکنشگر، نه تنها مقاومت تر، بلکه مقاومت خشک و تحمل به تا خوردگی کاغذ را افزایش می‌دهد [۳]. از این رو، آلدهیدهایی مانند گلو تار آلدهید و گلی‌اکسال روی یک پلیمر خطی و کاتیونی قرار داده می‌شوند تا ضمن افزایش میزان ماندگاری آلدهیدهای مصرف شده، تأثیرات نامطلوب آن‌ها، مانند افزایش شکنندگی و کاهش مقاومت به تا خوردگی کاغذ، کاهش یابد. از رزین‌های مقاومت تر رایج کاغذسازی رزین پلی‌اکریل آمید گلی‌اکسال‌دار شده (GPAM)<sup>۲</sup> است که حاصل واکنش آلدهید گلی‌اکسال با پلیمر اکریل آمید آمین‌دار شده (PAa) کاتیونی است. یکی از معایب اصلی GPAM، که کاربرد آن را محدود کرده است، عمر کوتاه آن است که ناشی از تشکیل اتصالات

از آنجا که در کارخانه‌های کاغذسازی، به خصوص در کارخانه‌های تولیدکننده 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 مقاومت تر بر پایه ملامین و اوره به علت محتوای فرمالدهید آن‌ها و خطرهای زیست‌محیطی ناشی از آن رو به کاهش است. رزین‌های پلی‌آمیدوآمین اپی کلرو هیدرین (PAE) تحت شرایط خنثی عملکرد خوبی دارد و برای تولید کاغذهایی با مقاومت تر زیاد در شرایط خنثی و قلیایی به کار می‌روند [۱]. با توجه به شیمی تشکیل پیوندهای عرضی در اپی کلرو هیدرین، کاربرد این نوع رزین‌ها موجب انتشار ترکیبات آلی کلردار (AOX) می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به مونومرهای کلردار، مانند دی کلرو پروپانول و مونوکلرو پروپان دیول، اشاره کرد که به منزله مواد خطرناک وارد پساب می‌شوند [۱]. تحقیقات اخیر نشان داده است که با استفاده از آلدهیدها و دی‌آلدهیدها مثل فرم آلدهید، گلو تار آلدهید و گلی‌اکسال، که سبب ایجاد اتصالات عرضی در کاغذ می‌شوند، می‌توان مقاومت تر کاغذ را بهبود داد [۲]. گلی‌اکسال و گلو تار آلدهید از آلدهیدهای دو عاملی‌اند که با گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف اتصالات عرضی از نوع همی‌استال تشکیل می‌دهند و به منزله یک عامل مقاومت تر عمل می‌کنند [۳]. این دو آلدهید فاقد مکانیزمی برای ماندگاری در روی الیاف در تعلیق خمیر کاغذند [۴]. به همین دلیل، در بیشتر تحقیقات انجام شده در مورد کارایی این مواد، برای

1. paper embrittlement

2. Glyoxylated Polyacrylamide

خمیر بازیافتی جوهرزدایی‌شده با pH خنثی و رنگ‌بری‌شده با پروکسید هیدروژن و پالایش‌شده تا درجهٔ روانی ۳۰-۳۵ شوپریگلر از خط تولید کاغذسازی لطیف (قبل از اضافه‌شدن هرگونه افزودنی) گرفته شد. خمیر کاغذ استفاده‌شده ترکیبی از کاغذهای بازیافتی اداری به میزان ۵۰ درصد 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 ۱۶ درصد در یخچال نگهداری شد. برای تهیهٔ تعلیق خمیر کاغذ بازیافتی و ساخت کاغذ از همزن جارست استفاده شد که سبب برش در الیاف نمی‌شود.

### تیمار کاغذ

به‌منظور ماندگار کردن گلی‌اکسال روی الیاف کاغذسازی، از روش اسپری استفاده شد و محلول آبی ۱۰ درصد وزنی گلی‌اکسال روی ورق تر کاغذ ساخته‌شده اسپری شد. کنترل مقدار کاربرد مواد در جریان اسپری کردن، با توجه به تعیین وزن محلولی که با هر بار اسپری خارج می‌شود (با ترازوی دیجیتال 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 خمیر کاغذ، گلی‌اکسال در مقادیر مصرف ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف روی کاغذ اسپری شد و سپس ورق تیمار شده در خشک‌کن مطابق استاندارد (ISO 5263-2004 : 2) خشک شد.

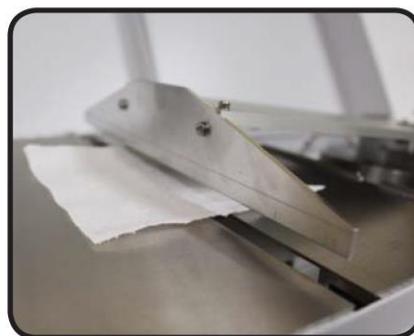
عرضی درون مولکولی از نوع همی‌آمیدال بین گروه‌های آلدئیدی و آمیدی است که سبب انعقاد رزین و کاهش شدید انحلال آن در جریان کاغذسازی می‌شود [۶].

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 آمین‌دار شده برای ایجاد مقاومت‌تر در کاغذ بررسی شده است. به‌منظور مقایسه، در تعدادی از تیمارها فقط مقادیر مختلف گلی‌اکسال یا پلی‌اکریل‌آمید آمین‌دار شده و سپس در تیمارهای بعدی ابتدا پلی‌اکریل‌آمید 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 تیمار شده با کاغذهای تیمار شده با رزین‌های پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و پلی‌اکریل‌آمید گلی‌اکسال‌دار سنتز شده (GPAM) به‌عنوان مواد تجاری مقاومت‌تر و خشک مقایسه شده است.

### روش شناسی

#### مواد

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



شکل ۱. نمایی از روش اندازه‌گیری سفتی کاغذ براساس استاندارد ASTM-D6828

اندازه‌گیری می‌شود. هرچه کاغذ سفت‌تر (stiff) باشد، نیروی بیشتر برای خم کردن 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 مقایسه 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 سنتز شده در آزمایشگاه با استفاده از روش گزارش شده از سوی یدالهی و همکاران [۷] تهیه شد. مقدار استفاده از این دو رزین ۰/۴ درصد (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 جدول ۱ ارائه

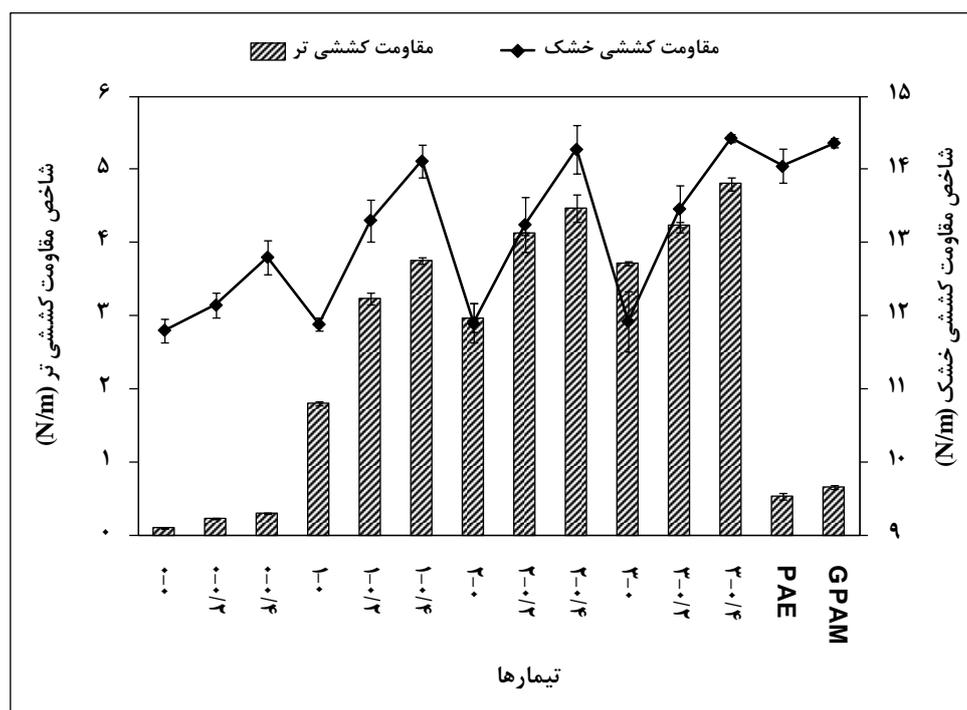
در تیمارهای بعدی، برای بهبود خواص کاغذ از جمله مقاومت خشک، مقاومت تر و مقدار جذب انرژی کششی از PAa به‌عنوان هم‌واکنشگر گلی‌اکسال استفاده شد. در این حالت، ابتدا PAa در سه مقدار ۰، ۰/۲ درصد و ۰/۴ درصد (بر مبنای وزن خشک الیاف) به تعلیق خمیر کاغذ اضافه شد و بعد از ۱۰ دقیقه هم زدن، با استفاده از دستگاه کاغذ دست‌ساز ورق تر ساخته شد و قبل از خشک‌کن گلی‌اکسال در مقادیر ۱، ۲ و ۳ درصد 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 شکل ۱ نشان داده شده است. براساس روش آزمون استاندارد استفاده‌شده، نیروی لازم برای ایجاد خمیدگی در یک صفحه کاغذ و راندن آن در یک شکاف باریک با دستگاه

قابل قیاس با گلی‌اکسال نیست. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، بیشترین اثر بر روی مقاومت تر، ناشی از اثر متقابل هر دو ماده است که سبب افزایش بسیار درخور توجهی در مقاومت‌تر شده‌اند؛ طوری که در کاغذهایی که ابتدا با PAA تیمار شده بودند و قبل از خشک‌کن گلی‌اکسال بر سطح آن‌ها اسپری شده بود، افزایش مقاومت‌تر نسبت به کاغذهای تیمار شده با گلی‌اکسال منفرد یا PAA منفرد بسیار بیشتر بود.

شده و در ادامه هر بخش به‌طور مجزا بحث شده است. نتایج بررسی اثر مستقل اسپری گلی‌اکسال بر مقاومت‌تر نشان داد که اسپری گلی‌اکسال بر سطح کاغذ به‌طور درخور توجهی سبب افزایش مقاومت‌تر می‌شود (شکل ۲). با افزایش مقدار اسپری گلی‌اکسال، مقاومت‌تر کاغذها بیشتر شده و بیشترین مقاومت‌تر در مقدار گلی‌اکسال ۳ درصد حاصل شده است. همچنین، اثر مستقل PAA نشان داد که تیمار کاغذ با PAA سبب افزایش مقاومت‌تر شده است، اما

جدول ۱. نتایج حاصل از تیمارهای مختلف کاغذ با رزین‌های مختلف

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



شکل ۲. تأثیر اسپری گلی اکسال و افزودن PAA بر روی مقاومت کششی تر و خشک کاغذ

تیمار کاغذ با PAE و GPAM است. از طرف دیگر، اثر مستقل PAA نشان داد که در یک مقدار معین گلی اکسال، با افزایش مقدار PAA مقاومت خشک کاغذها بیشتر می‌شود؛ طوری که افزایش مقاومت خشک ناشی از افزایش PAA در مقدار گلی اکسال صفر درصد معنادار نیست، ولی در کاغذهای تیمار شده با گلی اکسال، افزایش مقاومت در مقادیر مختلف گلی اکسال تابع میزان مصرف PAA است و در مقادیر مختلف گلی اکسال (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد) 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 در افزایش مقاومت خشک مرتبط باشد.

همچنین مشاهده شد که در مقدار یکسان گلی اکسال، با افزایش PAA مقاومت تر افزایش یافته و بیشترین مقاومت تر در ۰/۴ درصد PAA همراه با ۳ درصد گلی اکسال حاصل شده است که بسیار بیشتر از مقاومت حاصل از تیمار کاغذ با PAE و GPAM است. این نتایج در واقع حاصل تشکیل پیوندهای عرضی و واکنش گلی اکسال 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 مقاومت تر کاغذ است [۶؛ ۸].

اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت خشک کاغذها هم نشان داد که اسپری گلی اکسال منفرد بر روی کاغذها سبب افزایش مقاومت خشک کاغذها نشده است و مقاومت حاصل کمتر از مقاومت حاصل از

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.

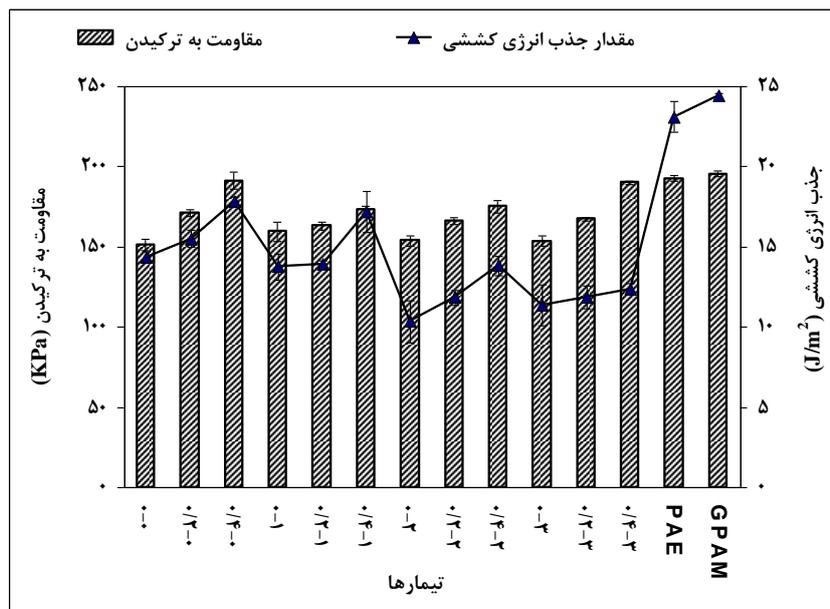
به‌عبارت دیگر، اثر PAA و گلی‌اکسال بر مقدار جذب انرژی کششی متضاد هم بوده و اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند. در حالت اسپری گلی‌اکسال، کمترین میزان جذب انرژی کششی در مقادیر مصرف ۲ و ۳ درصد گلی‌اکسال و بدون کاربرد PAA حاصل شده است و بیشترین مقدار آن در صفر و ۱ درصد اسپری گلی‌اکسال به همراه ۰/۴ درصد PAA حاصل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

نکته دیگری که مشاهده می‌شود این است که بیشتر کاغذهای تیمار شده با اسپری گلی‌اکسال مقدار زیادی از مقاومت کششی خشک را بعد از ترشدن با آب حفظ کرده‌اند (۱۵ تا ۳۳ درصد) که نشان‌دهنده کارآمد بودن این روش برای ایجاد مقاومت‌تر در کاغذ است (شکل ۲). به‌عبارت دیگر، اگرچه مقاومت خشک کاغذهای تیمار شده با PAE، GPAM و ترکیبی از PAA و گلی‌اکسال یکسان بود، افت مقاومت بعد از ترشدن در کاغذهای تیمار شده با PAE و GPAM خیلی بیشتر از کاغذهای تیمار شده با ترکیب PAA و گلی‌اکسال است.

### تأثیر اسپری گلی‌اکسال بر روی مقاومت به

#### ترکیدن کاغذ و مقدار جذب انرژی کششی

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت ترکیدن شبیه اثر این تیمارها بر مقاومت خشک کاغذهاست. در خصوص مقدار جذب انرژی کششی که تابعی از انعطاف‌پذیری کاغذهاست،

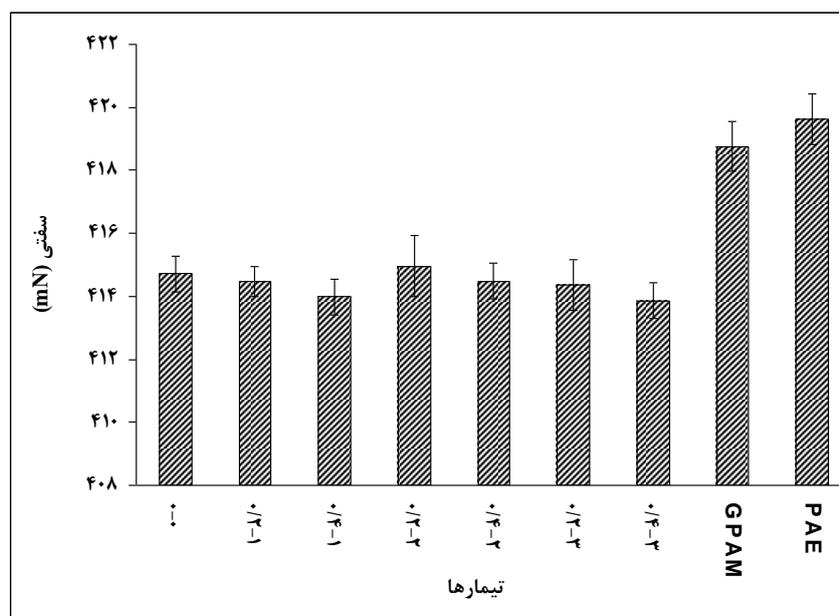


شکل ۳. تأثیر اسپری گلی‌اکسال بر روی مقدار جذب انرژی کششی و مقاومت به ترکیدن کاغذهای خشک‌شده

به‌خصوص دستمال‌کاغذی، است که تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع مواد اولیه لیفی و غیرلیفی مورد استفاده و سایر فاکتورهای عملیاتی مانند زیرکنگره‌ای<sup>۱</sup> کردن در خشک‌کن است. همچنین، عوامل غیراتصال‌دهنده از جمله ترکیبات آمونیوم یا سورفکتانت‌های غیریونی که به خمیر کاغذ 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 (شکل ۴)، 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.

در حضور پلی‌آکریل‌آمید آمین‌دار شده، 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 کلیه تیمارهایی که از اسپری گلی‌اکسال استفاده شده است در مقایسه با کاغذهای تیمار شده با PAE و GPAM افزایش کمتری داشته است، اما مقاومت کششی تر آن‌ها به‌طور درخور توجهی بیشتر شده است که ناشی از پیوندهای همی‌استال تشکیل شده به واسطه گلی‌اکسال است.

**تأثیر تیمارهای انجام‌شده در کاغذ بر روی سفتی هریک از کاغذها**  
سفتی یکی از فاکتورهای مهم در کاغذهای بهداشتی،



شکل ۴. تأثیر گلی‌اکسال‌دار کردن سطح کاغذ بر روی سفتی کاغذ نسبت به PAE و G-PAM

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 گلی‌اکسال مقاومت تر به‌طور درخور توجهی افزایش داشته و مقاومت‌های خشک، به جز مقدار جذب انرژی کششی، افزایش درخور توجه داشته‌اند. اما در مقدار مصرف ۰/۴ درصد PAA همراه با ۱ درصد اسپری گلی‌اکسال کلیه خواص بررسی‌شده 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.

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

به‌طورکلی، نتایج نشان داد که از بین روش‌های بررسی‌شده اسپری گلی‌اکسال روی سطح کاغذ تر حاوی PAA مطلوب‌ترین روش بهبود خواص کاغذ است؛ طوری که 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 ۱ درصد 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 تیمار شده و تیمار نشده 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

## 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.