

## تأثیر ماده تثبیت‌کننده کاتیونی بر پایه پلی‌دامک بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ OCC

## چکیده

مواد چسبناک به عنوان یکی از چالش‌های اساسی در صنعت کاغذسازی و به ویژه فرآیند بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) مطرح هستند. استفاده از پلیمرهای کاتیونی تثبیت‌کننده یکی از مهمترین رویکردهای متداول کنترل این مواد مضر محسوب می‌شود. با این وجود، بدیهی است که علاوه بر ماهیت تثبیت‌کنندگی، بر ویژگی محصول نهایی نیز تأثیرگذار باشند. در این پژوهش، تأثیر استفاده از پلیمر کاتیونی صنعتی GL به عنوان عامل کنترل‌کننده مواد چسبناک در خمیر کاغذ OCC در سه سطح ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ درصد و در دو محدوده pH ۴ و ۷ بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز بررسی شد. شناسایی GL توسط طیف‌سنجی FT-IR ثابت کرد که این ماده بر پایه پلی‌دامک سنتز می‌شود. نتایج نشان داد که استفاده از این پلیمر کاتیونی در شرایط عملیاتی مناسب احتمالاً با متاثر ساختن شکل‌گیری و پیوندیابی بین الیاف با خنثی‌سازی و سپس تثبیت و دلمه کردن مواد چسبناک و نرمه‌ها به الیاف سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز شده است. این افزایش در pH=۴ و pH=۷ به ترتیب برای مقاومت به کشش ۳۵ و ۳۰ درصد، مقاومت به ترکیدن کاغذ ۱۲ و ۱۰ درصد، مقاومت به فشار لهیدگی لبه در حالت حلقه (RCT) ۲۹ و ۲۱ درصد، مقاومت به فشار لایه میانی (CMT) ۱۹ و ۳۲ درصد و مقاومت به پاره شدن کاغذ ۱۰ و ۱۳ درصد اندازه‌گیری شد. به عنوان یک نتیجه-گیری کلی، استفاده از ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی در pH=۷ به عنوان مقدار بهینه تثبیت‌کننده کاتیونی GL برای کاربردهای صنعتی پیشنهاد می‌شود.

**واژگان کلیدی:** مواد چسبناک، پلی‌دامک، خمیر کاغذ OCC، ویژگی‌های مقاومتی.

علی احمدی لاجیمی<sup>۱</sup>

محمد آزادفلاح<sup>۲\*</sup>

یحیی همزه<sup>۳</sup>

مهدی رحمانی‌نیا<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

مسئول مکاتبات:

[Email:adfallah@ut.ac.ir](mailto:adfallah@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

عبارتی استفاده مجدد از ضایعات و کاغذهای باطله می‌باشد. می‌توان به کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کاغذهای بسته بندی باطله اشاره کرد که بیش از نیمی از مواد لیفی صنایع بازیافت کاغذ و مقوا در جهان را به خود اختصاص می‌دهد و برای ساخت محصولات بسته‌بندی کاغذی مختلف مثل

## مقدمه

تقاضای روزافزون کاغذ در صنایع چاپ و بسته بندی از یک سو و محدودیت مواد اولیه چوبی از سوی دیگر موجب شده تا صنایع کاغذسازی به استفاده از کاغذهای باطله به عنوان ماده اولیه روی آورند. با توجه به نرخ زیاد استفاده از الیاف بازیافتی در کاغذهای بسته‌بندی، تداوم تولید و مصرف آن به شدت وابسته به بازیافت و یا به

<sup>۱</sup> Old Corrugated Container

نیستند. بنابراین از روش‌های کنترل شیمیایی نیز در کنار این فرآیندها جهت کنترل بهتر این مواد استفاده می‌شود. بدین منظور از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی از جمله تالک، بنتونیت، دیاتومیت، پلیمرهای کاتیونی، مواد فعال-ساز سطحی و نیز روش‌های آنزیمی جهت حذف و یا کنترل این مواد از طریق غیر فعال کردن سطوح ماشین، یا تبدیل کردن آنها به قطعات ریزتر و تثبیت آنها بر روی الیاف استفاده می‌شود [۳، ۵، ۶].

از جمله راه‌های کنترل مواد چسبناک، روش تثبیت آن‌ها روی الیاف توسط پلیمرهای کاتیونی تثبیت‌کننده است. حذف این مواد چسبناک توسط پلیمرهای کاتیونی در یک فرآیند سه مرحله‌ای اتفاق می‌افتد: ۱. خنثی سازی بار آنیونی ۲. رسوب دلمه پلیمر و مواد چسبناک ۳. تثبیت دلمه بر روی الیاف [۷].

اصطلاح عوامل تثبیت‌کننده به پلیمرهای کاتیونی با بار زیاد و وزن مولکولی نسبتاً کم اطلاق می‌شود. با این حال پلیمرهای کاتیونی ممکن است عملکرد متفاوتی به دلیل تفاوت در جنبه‌هایی مانند میزان بار کاتیونی، ساختار، قابلیت غیرچسبناک کردن و همچنین عوامل خارجی مانند مدت زمان واکنش، pH و دمای خمیر کاغذ و... داشته باشند. به عنوان مثال می‌توان به پلی‌اتیلن‌ایمین (PEA) و پلی‌آلومینیم‌کلراید (PAC) اشاره کرد که با افزایش pH تا حدود ۵ تا ۸ از میزان دانسیته بار کاتیونی آنها کاسته خواهد شد. همچنین افزایش دمای خمیر کاغذ می‌تواند منجر به انتشار مواد آنیونی بیشتری از خمیر کاغذ شود که کارایی پلیمرهای کاتیونی را کاهش داده و به دنبال آن سبب کاهش عملکرد این مواد و کاهش ویژگی‌های مقاومتی محصول نهایی خواهد شد [۳، ۶، ۷].

یک راه برای بهبود ویژگی‌های مقاومتی این است که افزودنی‌های مقاومت خشک به خمیر کاغذ آماده کاغذسازی اضافه شود. این مواد متناسب با شرایط پایانه تر، هزینه، دسترسی و... مطلوبیت‌های گوناگون و گاهی متضادی را به همراه خواهند داشت. عملکرد این مواد آن است که مقاومت کاغذ را با حفظ سایر خصوصیات کاغذ بهبود می‌بخشند. با افزودن مواد مقاومت خشک، مقاومت پارگی بیشتری قابل دستیابی است [۳]. وانگ و همکاران (۲۰۰۶) اثرات استفاده از پلی‌آمین، پلی‌دامک، آلومینیم

تست لاینر، لایه میانی کنگره‌ای و کاغذهای بسته‌بندی (مثل ساک کاغذی و...) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

یکی از مشکلات اصلی در آماده‌سازی خمیر کاغذهای بازیافتی، حذف مواد چسبناک است که به عنوان آلاینده در فرآیند بازیافت وجود دارد [۲]. این مواد دارای ماهیت پیچیده، با قابلیت نرم شدن و خاصیت آب‌گریزی هستند که تاثیر منفی بر فرآیند بازیافت، محصولات تولیدی و عملیات تبدیلی کاغذ می‌گذارند. در خمیر کاغذهای بازیافتی منشا این مواد چسبناک عمدتاً می‌تواند از چسب‌های حساس به فشار، لاستیک استایرن بوتادین، وینیل-آکریلات‌ها، پلی‌ایزوپرن، پلی‌بوتادین، و فرآورده‌های گرما ذوب باشد [۳].

مواد چسبناک اختلالاتی از قبیل مشکلات مربوط به فرآوری خمیر کاغذ، چسبیدن و رسوب روی توری ماشین کاغذ، لوله‌ها، رسوب در مخازن آب سفید و آب فرآیندی، پاره شدن کاغذ در حین تولید و مشکل قابلیت گذر از ماشین کاغذ و متعاقباً کاهش سرعت ماشین و کاهش تولید را به دنبال دارند. اثرات مضر دیگر این مواد چسبناک را می‌توان به ایجاد لکه و سوراخ در کاغذ و کاهش کیفیت کاغذ اشاره کرد [۲، ۴، ۵، ۶].

همچنین حضور مواد محلول و کلوییدی کارایی مواد شیمیایی کاتیونی را به دلیل بار الکترواستاتیکی منفی کاهش می‌دهد و از آنجایی که این مواد آنیونی با الیاف و میکروفیبریل‌ها رقابت می‌کنند، در عملکرد افزودنی‌های کاتیونی مانند عوامل کمک‌کننده به آب‌گیری و همچنین عوامل کمک‌نگهدارنده، عوامل تقویت‌کننده و دیگر افزودنی‌ها تداخل ایجاد کرده و منجر به افزایش زمان آب‌گیری، کاهش ماندگاری نرمه‌ها و پرکننده می‌شوند [۷].

اولین روش برای جداسازی مواد چسبناک روش‌های مکانیکی بوده که سبب جداسازی بخشی از مواد چسبناک توسط غربال‌ها، تمیزکننده‌ها و سیستم شناورسازی با هوای محلول<sup>۴</sup> می‌شوند. اما روش‌های مکانیکی بخشی از مواد چسبناک را جدا می‌کنند و این روش‌ها به ویژه برای حذف ذرات میکرو و کلوییدی به تنهایی کافی و موثر

<sup>1</sup> PSA

<sup>2</sup> SBR

<sup>3</sup> Hotmelt

<sup>4</sup> DAF

COMPANY چین تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این پلیمر در جدول ۱ آمده است. پلی دی آلیل دی متیل آمونیوم کلراید (Poly-DADMAC) از شرکت سیگما آلدریج به صورت محلول آبی با غلظت ۶۰ درصد و وزن مولکولی ۴۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰۰ گرم بر مول تهیه شد.

### روش‌ها

با استفاده از ۲/۵ گرم خمیر کاغذ OCC، سوسپانسیونی از الیاف با درصد خشکی یک درصد تهیه شد. سپس توسط محلول یک مولار سدیم هیدروکسید و اسید سولفوریک، pH سوسپانسیون در دو مقدار ۴ و ۷ تنظیم شد. پس از آن به طور جداگانه پلی‌دادمک در سه سطح ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ درصد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ افزوده و سپس سوسپانسیون هم‌زده شد.

### طیف سنجی FT-IR

به منظور شناسایی و آنالیز پلیمر کاتیونی GL از طیف-سنجی FT-IR استفاده شد. برای تهیه طیف‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر Perkin Elmer مدل Spectrum 400 استفاده شد. تعداد ۳۲ اسکن با قدرت تفکیک  $2 \text{ cm}^{-1}$  برای دستیابی به داده‌های لازم انجام شد.

### ساخت کاغذهای دست‌ساز و آزمون‌های مقاومتی

ساخت کاغذهای دست‌ساز با گرماژ  $125 \text{ g/m}^2$  و براساس استاندارد TAPPI آیین نامه 205 sp-95 انجام شد. پس از متعادل سازی رطوبتی نمونه‌ها، آزمون‌های مقاومتی شامل مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به فشار لایه میانی (CMT)، لهیدگی لبه در حالت حلقوی (RCT) به ترتیب مطابق با استانداردهای ISO 1924 (۲۰۰۸)، ISO 1974 (۱۹۹۰)، ISO 2758 (۲۰۰۱)، ISO 7263 (۱۹۹۴) و ISO 12192 (۲۰۰۲) انجام شدند. دانسیته کاغذهای دست‌ساز نیز طبق آیین نامه شماره T220 sp 01 استاندارد TAPPI با تعیین ضخامت و وزن پایه به دست آمد.

کلراید و نشاسته کاتیونی تثبیت کننده را در ۵ سطح (سطوح ۰/۰۲، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۲ درصد) بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بازیافتی مطالعه کردند و به این نتیجه دست یافتند که افزودن این پلیمرهای کاتیونی سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نهایی اعم از مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن و مقاومت به تاخوردگی شد اما در مقادیر زیاد سبب کاهش مقاومت کاغذ بازیافتی می‌شود [۶].

در مطالعات انجام شده توسط مولفین قابلیت ترکیب در کنترل مواد چسبناک ماکرو و میکرو و همچنین تاثیر آن بر میزان مواد محلول و کلوییدی (DCS) خمیر کاغذ OCC بررسی شده است [۸]. با توجه به نتایج مطلوب به دست آمده در کنترل مواد چسبناک، توصیه استفاده از این ترکیب در صنایع منوط به اطمینان از نبود اثرات مخرب بر سایر ویژگی‌های کاربردی محصول نهایی است. لذا این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از پلیمر کاتیونی GL در مقادیر مختلف بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز حاصل از الیاف بازیافتی OCC می‌پردازد که در عمل به عنوان یک ترکیب کنترل کننده مواد چسبناک صنعتی عرضه می‌شود. همچنین با توجه به نقش pH در ناپایداری ذرات کلوییدی مواد چسبناک و همینطور دانسیته بار پلی کاتیون‌های تثبیت کننده و اثرات مترتب آن بر ویژگی‌های محصول نهایی، عملکرد سیستم در دو pH اسیدی و خنثی منطبق با دامنه توصیه شده توسط سازنده برای ترکیب GL نیز بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

خمیر کاغذ کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) به منظور ایجاد حالت تصادفی در نمونه‌گیری و پوشش بهتر ترکیب انواع کاغذهای باطله بارگیری شده در خمیرساز، در سه روز متفاوت از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه گردید. سپس این خمیر کاغذها به صورت همگن با هم مخلوط شد و تا قبل از انجام آزمون‌ها در یخچال نگه‌داری شدند. پلیمر کاتیونی با نام تجاری GL از شرکت FINE CHEMICAL

<sup>2</sup> Concora medium test

<sup>1</sup> Dissolved and Colloidal Substances

روش دانکن و آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) و آزمایش فاکتوریل انجام شد. گروه‌بندی میانگین‌ها با

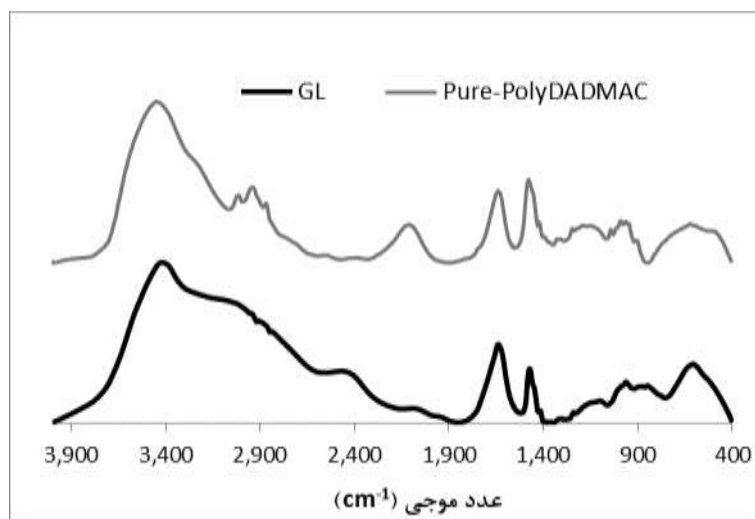
جدول ۱- مشخصات پلیمر کاتیونی GL

مشخصات	مقدار/حالت
ظاهر	محلول بی رنگ متمایل به زرد کم رنگ
مقدار ماده جامد	حداقل ۴۰ درصد
گرانروی	۱۰۰۰-۲۰۰ cP
pH	۷-۴
عمر مفید	۱۲ ماه

باشد. پیک‌های جذب در موقعیت نزدیک به  $\text{cm}^{-1}$  ۱۱۳۷ نیز مربوط به ارتعاش کششی C-N آمین نوع دوم هستند [۹]. با بررسی باندهای جذبی مربوط به گروه‌های عاملی مختلف به خصوص طیف‌های  $1470\text{cm}^{-1}$  و  $\text{cm}^{-1}$  ۱۱۳۷ در طیف FTIR پلیمر کاتیونی GL و مقایسه کیفی آن با طیف PolyDADMAC مشخص است که این ترکیب صنعتی (که به عنوان ماده کنترل‌کننده مواد چسبناک عرضه می‌شود) برپایه PolyDADMAC سنتز و فرمول سازی شده است.

## نتایج و بحث

نتایج شناسایی پلیمر کاتیونی GL و PolyDADMAC توسط طیف‌سنجی FT-IR در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به طیف‌های به دست آمده، ظهور باند جذبی پهن در محدوده  $3417\text{cm}^{-1}$  را می‌توان به ارتعاش کششی N-H آمین‌های آلیفاتیک نوع دوم نسبت داد. همچنین پیک جذب در محدوده  $1623\text{cm}^{-1}$  به گروه‌های C-H پلی‌الکترولیت مربوط است. پیک جذب  $1470\text{cm}^{-1}$  بیانگر زنجیره کربنی طولانی با ساختار منظم در پلی‌دادمک می-



شکل ۱- طیف‌های FT-IR پلیمر کاتیونی GL و PolyDADMAC

اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد (نمونه بدون پلیمر کاتیونی GL) دارند. در  $\text{pH}=4$  و  $\text{pH}=7$  با افزودن ۰/۸ درصد پلیمر کاتیونی به ترتیب ۳۵ و ۳۰ درصد شاخص مقاومت به کشش افزایش یافته است که بهترین عملکرد در شاخص مقاومت به کشش را در دو محدوده

## شاخص مقاومت به کشش

افزودن پلیمر کاتیونی GL در سطوح مختلف سبب افزایش شاخص مقاومت به کشش در هر دو محدوده  $\text{pH}=4$  و  $\text{pH}=7$  شده است (شکل ۲). با توجه به نتایج، مقادیر شاخص مقاومت به کشش در دو  $\text{pH}=4$  و  $\text{pH}=7$

نسبت داد که موجب اختلال در شکل‌گیری کاغذ و در پی آن کاهش نسبی مقاومت شده است. همچنین ویژگی‌های مقاومتی در  $pH=7$  نسبت به  $pH=4$  بیشتر است که در این محدوده با توجه به افزایش احتمالی دانسیته بار آنیونی الیاف موجب افزایش واکنشیدگی، انعطاف‌پذیری و فعال شدن سطوح الیاف و در نهایت افزایش قابلیت پیوندیابی آن‌ها شده است. همچنین افزایش  $pH$  سبب افزایش بار سطحی در اثر یونیزه شدن گروه‌های عاملی مواد چسبناک و میزان حلالیت آن‌ها شده، در نتیجه از میزان مواد کلوییدی در  $pH=7$  کاسته می‌شود [۱۵، ۱۴، ۱۲].

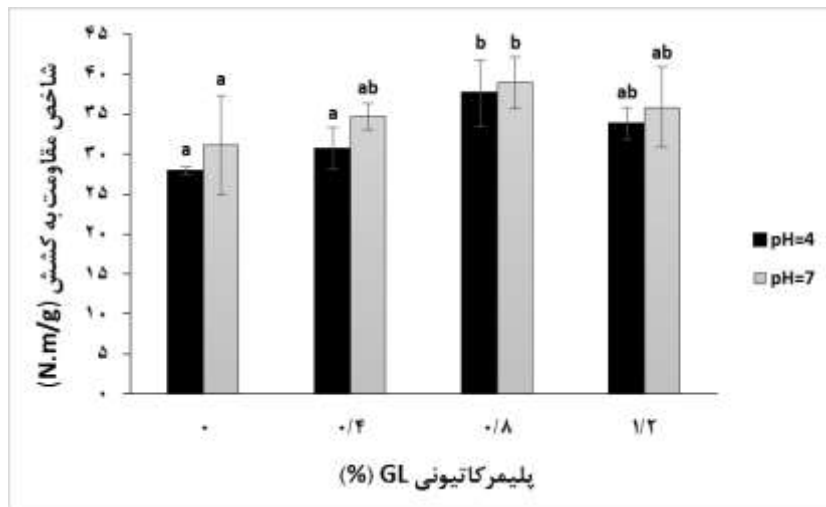
البته قابل ذکر است که بعضی از پژوهشگران تثبیت زباله‌های آنیونی<sup>۴</sup> بر روی الیاف و به دنبال آن پراکنش این مواد مزاحم در ساختار کاغذ را به دلیل ماهیت آب‌گریز، عامل مخربی برای مقاومت کاغذ به واسطه تضعیف پیوندهای بین الیاف گزارش کرده‌اند [۱۶]. بر اساس یافته‌های قبلی، در  $pH=7$  در مقایسه با  $pH=4$  مواد چسبناک کم‌تری بر روی الیاف تثبیت می‌شوند [۸]، از این رو مقادیر زیادتر ویژگی‌های مقاومتی در این  $pH$  به خوبی قابل توجیه است. همان‌طوری که پیشتر اشاره شد در  $pH=4$  با توجه به اسیدی بودن محیط، ذرات ناپایدار بوده و تمایل به رسوب و دلمه شدن دارند در حالی که با افزایش  $pH$  و افزایش بار سطحی در اثر یونیزه شدن گروه‌های عاملی مواد چسبناک، میزان انحلال آن‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه از میزان مواد کلوییدی در  $pH=7$  کاسته می‌شود [۸].

$pH$  نشان می‌دهد. افزودن پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی دارای گروه‌های آمینی مثل پلی (آلیل آمین هیدروکلرید)، نشاسته کاتیونی و ... یکی از گزینه‌های مناسب برای بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ است. به طور مثال گیماکر و واگبرگ (۲۰۰۹) از مقادیر مختلف پلی (آلیل آمین هیدروکلرید) یا PAH، با وزن مولکولی متفاوت (۱۵ و ۱۵۰ KD) بر روی الیاف رنگ‌بری نشده کرافت (با عدد کاپای ۷۶) استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که در صورت جذب این پلی الکترولیت در بخش بیرونی الیاف مقاومت به کشش و کرنش نقطه شکست افزایش می‌یابد [۱۰].

شاخص مقاومت به کشش به عوامل زیادی وابسته است که در نهایت مجموعه این عوامل تعداد و کیفیت اتصال بین الیاف را تحت تاثیر قرار می‌دهند. هرچه این قابلیت‌ها بیش‌تر باشد، میزان مقاومت به کشش نیز افزایش خواهد یافت [۱۲، ۱۱]. جذب پلی‌دادمک با وزن مولکولی بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ دالتون در سطوح بیرونی الیاف سلولزی و بر روی منافذ درشت اتفاق می‌افتد ولی به داخل منافذ ریز آدیواره الیاف نفوذ نمی‌کند. وقتی غلظت پلی الکترولیت به بیشتر از سطح اشباع برسد، مکانیسم جذب به شکل تشکیل حلقه و دم اتفاق می‌افتد [۱۳].

با توجه به شکل ۲ افزودن پلیمرکاتیونی سبب افزایش اتصالات و بهبود مقاومت کاغذ از طریق پل‌زنی و خنثی‌سازی بارهای آنیونی و سپس تشکیل فلاک و شکل‌گیری مناسب‌تر کاغذ شده است. افت ویژگی‌های مقاومتی در سطوح بیشتر ماده تثبیت‌کننده کاتیونی را می‌توان به دلمه‌سازی بیش از حد و تشکیل فلاک‌های بسیار بزرگ

<sup>۱</sup>Macropores<sup>۲</sup>Micropores<sup>۳</sup>Loops and Tails<sup>۴</sup> Anionic trash

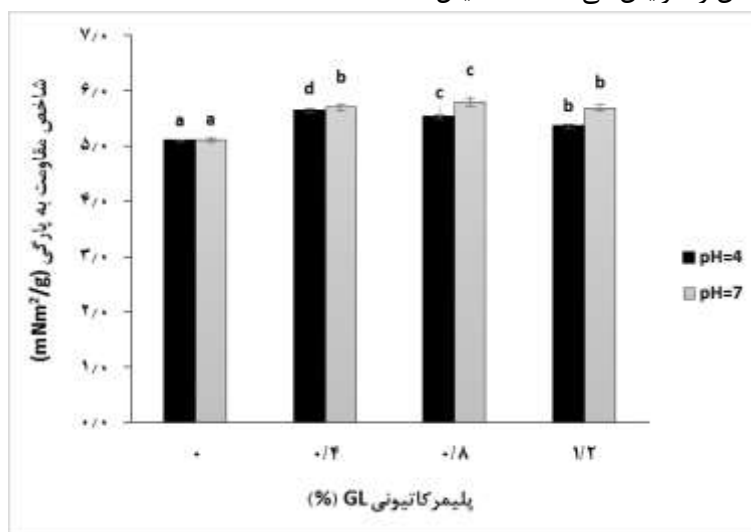


شکل ۲- تغییرات شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذ OCC نسبت به مقدار پلیمر کاتیونی در pH های مختلف

مهم آن توان اتصال بین الیاف از طریق پل زنی و شبکه سازی به ویژه بین نرمه‌ها و الیاف است که دارای قابلیت پیوندیابی ضعیفی هستند. با وجود اینکه طول الیاف عامل مهمی در ایجاد این مقاومت است، به نظر می‌رسد که شبکه سازی صورت گرفته به کمک پلیمر کاتیونی به دنبال بهبود پیوندیابی بین الیاف و همین‌طور نرمه‌ها نقش قابل توجهی را در توسعه این مقاومت ایفا کرده است. همچنین این ویژگی مقاومتی در pH=7 نسبت به pH=4 مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد که خود ناشی از حضور کمتر مواد کلوییدی و واکنش‌پذیری بیشتر الیاف در این محدوده از pH است که موجب انعطاف‌پذیری و فعال شدن سطوح الیاف و افزایش پیوندیابی آن‌ها می‌شود [۱۴، ۱۲، ۷].

### شاخص مقاومت به پاره شدن

با توجه به شکل ۳ افزودن پلیمر کاتیونی GL در دو محدوده pH=7 و pH=4 سبب افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز شده است. با توجه به نتایج در pH=7 و pH=4 افزودن پلیمر کاتیونی در تمام مقادیر اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد دارد. در pH=4 با افزودن 0.4 درصد پلیمر کاتیونی 10 درصد و در pH=7 با افزودن 0.8 درصد پلیمر کاتیونی 13 درصد شاخص مقاومت به پاره شدن افزایش پیدا یافته است که بهترین عملکرد در شاخص مقاومت به پاره شدن را در دو محدوده pH نشان می‌دهد. افزایش مقاومت ذاتی و طول الیاف و پیوند درون لیفی و بین لیفی از دلایل افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن است [۱۱]. اما افزودن پلیمر کاتیونی شاخص مقاومت به پاره شدن را افزایش می‌دهد که دلیل

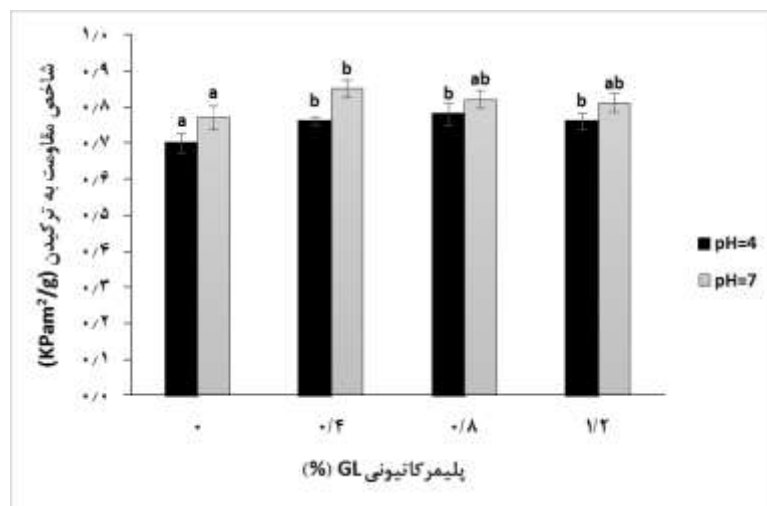


شکل ۳- تغییرات شاخص مقاومت به پاره شدن خمیر کاغذ OCC نسبت به مقدار پلیمر کاتیونی در pH های مختلف

تنگاتنگی با یکدیگر دارند و در هر دوی این آزمون‌ها می‌توان تاثیر میزان تراکم و اتصال الیاف با یکدیگر را به خوبی مشاهده کرد [۸]. افزودن پلیمرکاتیونی در مقادیر مناسب سبب تشکیل فلاک و بهبود پیوندیابی و شکل‌گیری بهتر می‌شود. پلیمرکاتیونی ترجیحاً در سطح نرمه‌های الیاف جذب می‌شوند به نحوی که داخل سوسپانسیون فقط بخشی از زنجیره آنها بر روی سطح معلق هستند که باعث ایجاد پل‌هایی بین نرمه‌ها شده و یا آنها را به الیاف متصل می‌سازد که نتیجه آن تشکیل دلمه‌هایی می‌شود که موجب بهبود شکل‌گیری، پیوندیابی و در نهایت مقاومت کاغذ می‌شود [۱۲، ۱۴].

### شاخص مقاومت به ترکیدن

به‌طور کلی افزودن پلیمرکاتیونی GL سبب افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن در دو محدوده  $pH=4$  و  $pH=7$  شده است (شکل ۴). با توجه به نتایج حاصل در  $pH=7$  و  $pH=4$ ، افزودن پلیمرکاتیونی در تمام مقادیر اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد دارد. در  $pH=4$  با افزودن ۰/۸ درصد پلیمرکاتیونی ۱۲ درصد و در  $pH=7$  با افزودن ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی حدود ۱۰ درصد شاخص مقاومت به ترکیدن بهبود یافته است. این دو تیمار بهترین عملکرد در شاخص مقاومت به ترکیدن را در دو محدوده  $pH$  نشان می‌دهند. ویژگی‌های مقاومت به کشش و ترکیدن رابطه



شکل ۴- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ OCC نسبت به مقدار پلیمرکاتیونی در pH های مختلف

مستقیم دارد [۱۷]. اما ممکن است با سایر مقاومت‌های کاغذهای بسته‌بندی هم‌بستگی نداشته باشد [۱۸]. همان‌طوری که از پیش اشاره شد، حضور پلیمرکاتیونی سبب افزایش اتصالات بین الیاف و نرمه‌ها از طریق دلمه‌سازی و در نتیجه باعث فشردگی و سفتی بیشتر می‌شود، به طوری که کاغذ حاصل دانسیته بیشتر داشته و مقاومت زیادی نسبت به اعمال فشار خواهد داشت [۱۲، ۱۴]. در یک پژوهش ماچی‌یوتی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که بهبود مقاومت پیوند در مقایسه با مقاومت کششی تاثیر بیشتری بر ویژگی‌های مقاومت به فشار (SCT و CMT) دارد. آنها این رفتار را به سفت شدن بیشتر اتصالات بین الیاف نسبت دادند [۱۹]. همچنین گیماکر و واگبرگ (۲۰۰۹) افزایش میزان خزش در رطوبت نسبی ۹۰ درصد

### مقاومت به فشار لایه میانی (CMT)

افزودن پلیمرکاتیونی GL سبب افزایش مقاومت به فشار لایه میانی (CMT) در دو محدوده  $pH=4$  و  $pH=7$  شده است (شکل ۵). با توجه به نتایج حاصل در  $pH=4$  و  $pH=7$ ، افزودن پلیمرکاتیونی در تمام مقادیر اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد دارد. در  $pH=4$  با افزودن ۰/۸ درصد پلیمرکاتیونی ۱۹ درصد و در  $pH=7$  با افزودن ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی، ۳۲ درصد مقاومت به فشار لایه میانی افزایش یافته است و بهترین عملکرد را در دو محدوده  $pH$  نشان می‌دهند. این ویژگی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مقاومتی لایه میانی ورق کارتن است و با سطح نسبی پیوندهای بین الیاف (RBA) در کاغذ ارتباط

<sup>۱</sup> Relative bonded area



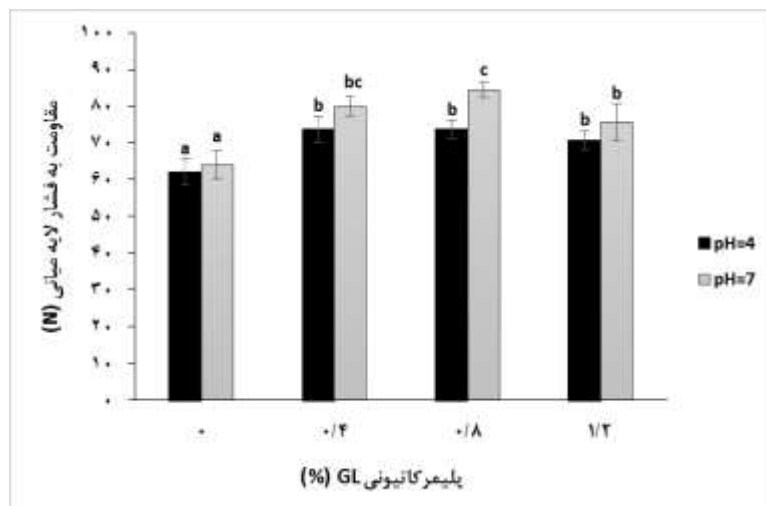
جهت‌یابی الیاف، تراکم الیاف، پیوندیابی الیاف و میزان سفتی کاغذ اشاره کرد [۱۱]. افزودن پلیمرکاتیونی سبب افزایش تعداد و سطح پیوند بین الیاف می‌شود و سفتی کاغذ به طور معمول با افزایش پیوند بین الیاف بیشتر می‌گردد و موجب افزایش دانسیته کاغذ می‌گردد، و کاغذ با دانسیته بیشتر نیز مقاومت لهیدگی لبه در حالت حلقه بیشتری خواهد داشت. در  $pH=7$  نسبت به  $pH=4$  میزان مقاومت بیشتر به دست آمده است که این افزایش به دلیل واکنشیدگی بیشتر الیاف و حضور کمتر مواد کلوییدی در این محدوده از  $pH$  است که موجب انعطاف‌پذیری و فعال شدن سطوح الیاف و افزایش پیوندیابی و درهم‌رفتگی الیاف شده است [۱۵،۱۴،۱۲].

در تحقیق انجام شده توسط هوب و همکاران (۲۰۰۳)، تیمار الیاف رنگ‌بری نشده کرافت با سیستم پلیمر-دوگانه آمتشکل از پلی‌دادمک و کربوکسی متیل سلولز، منجر به بهبود مقاومت به فشار، مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز و همچنین مقدار ماندگاری آب (WRV) شده است [۲۰].

در اثر تیمار الیاف رنگ‌بری نشده با استفاده از PAH<sup>۱</sup> را گزارش کردند. آنها این رفتار را به تشکیل پل‌های کووالانسی بین الیاف توسط PAH نسبت دادند که منجر به سفت شدن اتصال فیبر-فیبر و کاهش تغییر شکل ویسکوز (غیر الاستیک) می‌شود [۱۰].

#### مقاومت به لهیدگی لبه در حالت حلقه (RCT)

افزودن پلیمرکاتیونی GL سبب افزایش مقاومت لهیدگی لبه در حالت حلقه (RCT) در دو محدوده  $pH=4$  و  $pH=7$  شده است. با توجه به نتایج حاصل در  $pH=4$  افزودن پلیمرکاتیونی در سطح ۰/۸ درصد و در  $pH=7$  افزودن پلیمرکاتیونی در سطح ۰/۴ درصد اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد دارند (شکل ۶). بهترین عملکرد مقاومت لهیدگی لبه در حالت حلقه در محدوده  $pH=4$ ، با افزودن ۰/۸ درصد پلیمرکاتیونی و بهبود ۲۹ درصدی و در  $pH=7$  با افزودن ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی و بهبود ۲۱ درصدی حاصل شده است. عوامل زیادی بر مقاومت به لهیدگی لبه در حالت حلقه تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به

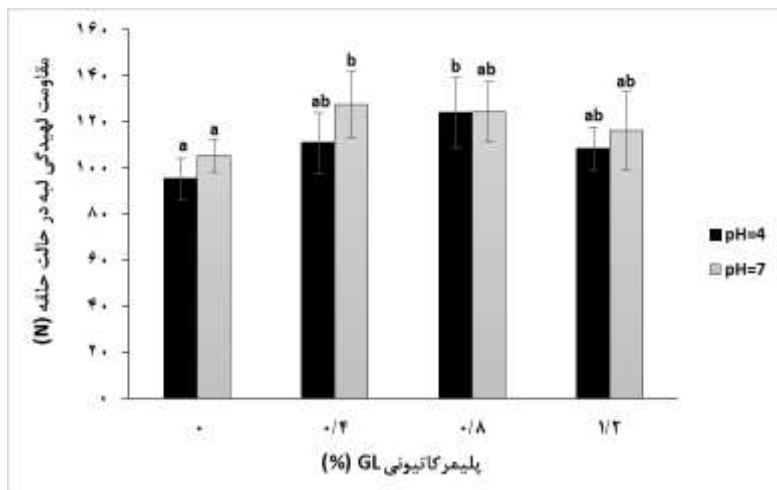


شکل ۵- تغییرات مقاومت به فشار لایه میانی (CMT) خمیر کاغذ OCC نسبت به مقدار پلیمرکاتیونی در pH های مختلف

<sup>2</sup> Dual-polymer

<sup>1</sup> Poly allylamine hydrochloride



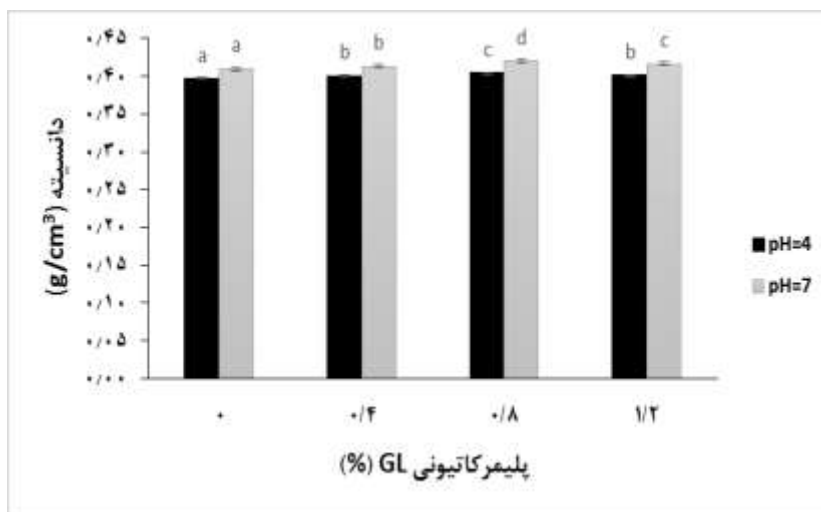


شکل ۶- تغییرات مقاومت به لهیدگی لبه در حالت حلقه (RCT) در خمیر کاغذ OCC نسبت به مقدار پلیمر کاتیونی در pH های مختلف

اجزای DCS اثبات شده است [۲۱]. علاوه بر این افزایش کم دانسیته کاغذ در سطح pH بیشتر را می توان به واکنش پذیری بیشتر الیاف در این محدوده از pH نسبت داد که موجب انعطاف پذیری و فعال شدن سطوح الیاف، افزایش پیوندیابی و درهم رفتگی الیاف، و اتصال نرمه و مواد چسبناک به الیاف شده است. کاهش مجدد دانسیته در مقدار ۱/۲ درصد را نیز می توان به ایجاد دلمه های بسیار بزرگ و درهم ریختگی شکل گیری، افزایش ضخامت و کاهش پیوند بین الیاف و معکوس شدن سیستم نسبت داد که اثر خود را با کاهش دانسیته نشان داده است [۲۲، ۱۴].

#### دانسیته

شکل ۷ نشان دهنده نتایج تغییرات ایجاد شده در دانسیته ظاهری کاغذ دست ساز در اثر افزودن پلیمر کاتیونی GL است. همانطور که مشاهده می شود، افزودن پلیمر کاتیونی سبب افزایش دانسیته کاغذ دست ساز در کلیه تیمارهای بررسی شده در مقایسه با نمونه شاهد شده و این وضعیت با افزایش وزن پایه کاغذها همراه بوده و به خوبی این مسئله را تایید می کند که ترکیب تثبیت کننده مورد استفاده بر پایه پلی دادمک تاثیر مثبت بر ماندگاری اجزای خمیر کاغذ OCC دارد. لازم به ذکر است که تاثیر تثبیت کننده های کاتیونی یا عوامل جذب و خنثی کننده زباله های آنیونی بر ماندگاری نرمه ها و همینطور



شکل ۷- تغییرات دانسیته ظاهری کاغذهای دست ساز حاصل از الیاف OCC نسبت به مقدار پلیمر کاتیونی در pH های مختلف

## نتیجه‌گیری

پلیمرکاتیونی احتمالاً با ایجاد دلمه‌های بزرگ‌تر موجب درهم‌ریختگی شکل‌گیری و پیوندیابی بین الیاف شد و کاهش ویژگی‌های مقاومتی را در مقایسه با مقادیر کم‌تر به همراه داشته است. همچنین در محدوده  $\text{pH}=7$ ، این ماده عملکرد نسبتاً بهتری را در مقایسه با  $\text{pH}=4$  نشان داد. زیرا در این سطح  $\text{pH}$ ، واکنش‌دهی و قابلیت پیوندیابی الیاف بیشتر بوده که به دنبال آن بهبود شکل‌گیری و همچنین تثبیت کم‌تر مواد کلوییدی مضر مشاهده می‌شود. البته بخشی از این مواد کلوییدی در شرایط خنثی حل و مقدار آن کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج کار قبلی و یافته‌های این پژوهش، استفاده از ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی GL در شرایط  $\text{pH}=7$  به عنوان مقدار بهینه مصرفی پیشنهاد می‌گردد. اگر چه مقدار ۰/۸ درصد پلیمرکاتیونی GL عملکرد بهتری در بهبود مقاومت‌های کاغذ داشته است اما اختلاف اندک بوده و مقدار ۰/۴ درصد علاوه بر عملکرد مناسب در کنترل مواد چسبناک در سیستم کاغذسازی، از لحاظ اقتصادی سبب کاهش هزینه‌ها نیز خواهد شد.

پلیمرکاتیونی GL به عنوان ماده کنترل‌کننده مواد چسبناک در مقیاس تجاری عرضه می‌شود و در این پژوهش تاثیر استفاده از آن در دو سطح  $\text{pH}=4$  و  $\text{pH}=7$  بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ بازیافتی تهیه شده از خمیر کاغذ OCC بررسی شد. نتایج طیف‌سنجی FT-IR نشان داد که پلیمرکاتیونی GL بر پایه PolyDADMAC است. افزودن این پلیمرکاتیونی از طریق بهبود قابلیت پیوندیابی بین الیاف در اثر تثبیت و دلمه کردن نرمه‌ها و مواد کلوییدی و مواد چسبناک به الیاف، سبب بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز شامل RCT، CMT، مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن و مقاومت به ترک‌شدن شد. به این طریق که پلیمرکاتیونی GL مواد چسبناک را پوشانده و دربر گرفته و بار آنها را خنثی کرده و بر اساس نیروی واندروالسی این خنثی سازی سبب شده سایر ذرات بهم نزدیک شوند و تشکیل دلمه دهند سپس این دلمه‌ها توسط سایر قسمت‌های زنجیره به الیاف متصل شده و در برخی موارد حضور زیاد

## منابع

- [1] Mirshokrai, A., 2008. Guide to waste paper. Tehran Aiezh Press. 2nd Edition, 140pp. (In Persian).
- [2] Blanco, A., Miranda, R., negeo, C., Suarez, C., Prol, G.M. and Sanchez, A., 2007. Full characterization of stickies in a newsprint mill: the need for a complementary approach. TAPPI Journal, 6 (1): 19-25.
- [3] Bajpai, P., 2014. Recycling and deinking of recovered paper-control of stickies. Elsevier, Chapter 6: 75-88.
- [4] Chen, Q., Wang, P. and Yan, Y., 2011. Study on the high charge density polyamine system in controlling dissolved and colloidal substances of high-yield pulp. Trans Tech Publications, Switzerland, 1363-1366.
- [5] Sarja, T., 2007. Screening and cleaning of pulp-a study to the parameters affecting separation. Finland, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu.
- [6] Wang, L., Chen, S. and Zhou, J., 2006. Performance of fixing agents in controlling micro stickies in recycled newsprint pulp. China Pulp & Paper, 25(7): 1-4.
- [7] Miao, Q., Huang, L. and Chen, L., 2013. Advances in the control of dissolved and colloidal substances present in papermaking processes: a brief review. BioResources, 8(1): 1431-1455.
- [8] Ahmadi Lajimi, A., Azadfallah, M., Rahmaninia, M. and Hamzeh, Y., 2017. The potential of GL as a cationic polymer to control the stickies of OCC pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 33(2): 258-269. (In Persian).

- [9] Mwangi, I.w., Ngila, J.C. and Ndungu, P., 2012. A new spectrophotometric method for determination of residual polydiallyldimethylammonium chloride flocculant in treated water based on a diazotization-coupled ion pair. *Water SA*, 38: 707-714.
- [10] Gimåker, M. and Wågberg, L., 2009. Adsorption of polyallylamine to lignocellulosic fibres: Effect of adsorption conditions on localisation of adsorbed polyelectrolyte and mechanical properties of resulting paper sheets. *Cellulose*, 16: 87-101.
- [11] Andalibian, M.A., Mahdavi, A., Kermaian, H. and Ramezani, O., 2013. Strength improvement of OCC by thermal and chemical treatments. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(3): 139-151. (In Persian).
- [12] Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, A. and Asadpour, Gh., 2012. Determination of the optimum use of cationic starch on the basis of the mechanical strengths of mixed OCC and virgin NSSC pulps. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2(2): 121-133. (In Persian).
- [13] Mocchiutti, P. and Zanuttini M.A., 2005. A useful equation for estimating the surface charge of pulp fibers. *TAPPI Journal*, 4(5): 18-22.
- [14] Jalali, F.T., Zarebeigi, S., Ramezani, O. and Roodi, H.R., 2015. The Effect of nanosilica and cationic polycaramide on the resilience of draining and resistance characteristics of recycled paper from container cartons, *Journal of Forest and Wood Products*, 68 (4): 771-784. (In Persian).
- [15] Rahmani, S.F. and Talaeipoor, M., 2011. Study on production of fluting paper from wheat straw soda-AQ pulp and OCC pulp blends. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 2(35): 387-397. (In Persian).
- [16] Wang, L. and Zhan, Y., 2013. Influence of anionic trash catcher pretreatment on the effectiveness of dry strengthening agent. *BioResources*, 8(4): 6078-6086.
- [17] Zanuttini, M., McDonough, T., Courchene, C. and Mocchiutti, P., 2007. Upgrading OCC and recycled liner pulps by medium-consistency ozone treatment. *TAPPI Journal*, 6(2): 3-8.
- [18] Tahmasebi, F., Ghassemian, A., Mahdavi, S. and Sarayan, A., 2015. NSSC pulping of grain sorghum stalk to produce fluting paper. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 22(3): 91-108. (In Persian).
- [19] Mocchiutti, P., Galván, M.V., Inalbon, M.C. and Zanuttini, M.A., 2011. Improvement of paper properties of recycled unbleached softwood kraft pulps by poly (allylamine hydrochloride). *BioResources*, 6(1): 570-583.
- [20] Hubbe, M.A., Jackson, T.L. and Zhang, M., 2003. Fiber surface saturation as a strategy to optimize dual-polymer dry-strength treatment. *TAPPI Journal*, 2(11):7-12.
- [21] Hubbe, M.A., Sundberg, A., Mocchiutti, P., Ni, Y. and Pelton, R., 2012. Dissolved and colloidal substances (DCS) and the charge demand of papermaking process waters and suspensions: A review. *BioResources*, 7(4): 6109- 6193.
- [22] Law, K.N., Lvalade, J. and Quan, J., 1996. Effect of recycling on papermaking properties of mechanical and high yield pulps, *TAPPI Journal*, 79(3): 167-174.

## Effect of cationic polyDADMAC-based fixing agent on strength properties of OCC pulp

### Abstract

Stickies are one of the main challenges in the papermaking industry, especially in recycling process of old corrugated containers (OCC). Application of a fixing cationic polymer is one of the main approaches to control these harmful substances. However, it is obvious that these agents besides fixing characters could also influence the final product properties. Therefore, in this study, the effect of using an industrial cationic polymer i.e. GL (Trade name), as a stickies control agent on mechanical properties of hand-sheets made of OCC fibers, was assessed at three levels of 0.4, 0.8 and 1.2% (based on pulp dry weight) and at two pH ranges of 4 and 7. The characterization of the GL by FT-IR spectroscopy demonstrated that it was synthesized based on poly (diallyldimethylammoniumchloride). The results showed that use of the cationic polymer enhanced the strength properties of the hand-sheets by influencing formation and inter-fiber bonding through fixing and flocculating the stickies and fines into the fibers network. These respective enhancements were measured at pH ranges of 4 and 7 as follows: Tensile strength of 35 and 30%, burst strength of 12 and 10%, ring crush test (RCT) of 29 and 21%, Concora medium test (CMT) of 19 and 32% and tear strength of 10 and 13%. It can be concluded that 0.4 % GL cationic fixing agent could be proposed as optimum value at pH =7 for industrial applications.

**Keywords:** stickies, polyDADMAC, OCC pulp, strength properties.

**A. Ahmadi Lajimi**<sup>1</sup>

**M. Azadfallah**<sup>2\*</sup>

**Y. Hamzeh**<sup>3</sup>

**M. Rahmaninia**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, Tarbiat Modares university, Noor, Mazandaran, Iran

Corresponding author:

[adfallah@ut.ac.ir](mailto:adfallah@ut.ac.ir)

Received: 2018/05/15

Accepted: 2019/07/20