

قابلیت GL به عنوان پلیمر کاتیونی در کنترل مواد چسبناک خمیر کاغذ OCC

علی احمدی لاجیمی^۱، محمد آزادفلاح^{۲*}، مهدی رحمانی نیا^۳ و یحیی همزه^۴

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲* - استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: adfallah@ut.ac.ir

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

۴- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

چکیده

مواد چسبناک از چالش‌های مهم در کارخانه‌های بازیافت کاغذ هستند. این مواد مضر با رسوب بر روی اجزای ماشین کاغذ موجب پارگی کاغذ و همچنین کاهش کیفیت محصول نهایی می‌شوند. از این رو کنترل این مواد و کاهش اثرات مخرب آن ضروریست. استفاده از پلیمرهای کاتیونی به عنوان عامل تثبیت‌کننده از روش‌های مؤثر کنترل این مواد شناخته می‌شوند. بنابراین در این پژوهش کنترل مواد چسبناک خمیر کاغذ OCC با استفاده از یک پلیمر کاتیونی تجاری به نام GL در سه سطح ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ درصد و بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ در دو دامنه pH ۴ و ۷ بررسی شده است. برای ارزیابی کارایی این ترکیب مواد چسبناک ماکرو، مواد چسبناک میکرو، مواد محلول و کلوئیدی، میزان کدورت و زمان آبگیری خمیر کاغذ اندازه‌گیری و با مقادیر نمونه‌های شاهد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که پلیمر کاتیونی GL در سطوح ۰/۴ و ۰/۸ درصد در هر دو pH ۴ و ۷ به دلیل دلمه شدن و تثبیت مواد چسبناک بر روی الیاف، سبب کاهش میزان مواد چسبناک ماکرو، میکرو، مواد محلول و کلوئیدی و میزان کدورت شد؛ در حالی که در این شرایط زمان آبگیری بهبود یافت. هرچند پلیمر کاتیونی GL در مقدار ۱/۲ درصد عملکرد مؤثری در کنترل مواد چسبناک از خود نشان نداد. اما می‌توان نتیجه گرفت در صورت مصرف پلیمر کاتیونی GL در دوز و pH مناسب می‌توان از آن به‌طور مؤثری در کنترل مواد چسبناک حاصل از فراوری خمیر کاغذ OCC استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مواد چسبناک، پلیمر کاتیونی GL، خمیر کاغذ OCC، دلمه سازی

مقدمه

کمتر از تولید کاغذ از الیاف بکر است. اگرچه این فرصت از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی ایده‌آل است اما دارای اشکالات متعددی نیز می‌باشد. چالش عمده و بزرگ برای صنایع استفاده‌کننده از الیاف بازیافتی، شکل‌گیری و تجمع مواد مضر در قسمت‌های مختلف ماشین کاغذ است که منجر به مشکلات فرایندی و کیفی در تولید شده است. این مشکلات عمدتاً ناشی از مواد چسبناک هستند و شناخت و کنترل این مواد در بهبود فرایند بازیافت و کیفیت محصول

افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی و رقابت در صنعت کاغذسازی، استفاده از الیاف بازیافتی را برای تولید کاغذ در چند دهه اخیر افزایش داده و به سرعت در حال رشد است. کاهش منابع چوبی، افزایش قیمت خمیر کاغذ بکر، کاهش مصرف انرژی و مصرف کمتر مواد شیمیایی و آب از جمله عوامل مؤثر در این روند رو به رشد هستند. به‌طور مثال میزان مصرف انرژی در فرایند بازیافت به میزان ۷۰ درصد

بنابراین از روش‌های کنترل شیمیایی نیز در کنار این فرایندها برای کنترل بهتر این مواد استفاده می‌شود. بدین منظور تعدادی از افزودنی‌های شیمیایی و معدنی از جمله تالک، بنتونیت، دیاتومیت، پلیمرهای کاتیونی، مواد فعال‌ساز سطحی و نیز روش‌های آنزیمی برای حذف و یا کنترل این مواد از طریق غیرفعال کردن سطوح ماشین، یا تبدیل کردن آنها به قطعات ریزتر و تثبیت آنها بر روی الیاف به‌کار می‌روند (Ben et al., 2003, Wang et al., 2006, Bajpai, 2014)

تثبیت مواد چسبناک بر روی الیاف از روش‌های مؤثر کنترل مواد چسبناک است. در این روش با استفاده از پلیمرهای کاتیونی تثبیت‌کننده، مواد چسبناک موجود در دوغاب خمیرکاغذ به الیاف متصل می‌شوند (Woodward, 1996). معمولاً پلیمرهای کاتیونی تثبیت‌کننده، پلیمرهایی با بار کاتیونی زیاد و وزن مولکولی نسبتاً کم هستند. با این حال، این پلیمرها ممکن است عملکرد متفاوتی به دلیل تفاوت در جنبه‌هایی مانند میزان بار کاتیونی، ساختار، توانایی غیر چسبناک کردن و غیره داشته باشند. از پلیمرهای کاتیونی قابل استفاده در این زمینه به‌طور مثال می‌توان به پلی‌آمین، پلی‌وینیل‌آمین، پلی‌اتیلن‌ایمین و پلی‌دادمک^۱ اشاره کرد. پژوهش‌های متعددی پیرامون تأثیر پلیمرهای تثبیت‌کننده بر کنترل مواد چسبناک انجام شده است. در یک تحقیق، Gruber و همکاران (۲۰۰۰) گزارش دادند که استفاده از سولفات آلومینیم و پلیمرهای تثبیت‌کننده سبب کاهش رسوبات مواد چسبناک می‌شوند. در پژوهشی دیگر Huo (۲۰۰۲) دریافت که پلی‌دادمک به سطح مواد چسبناک میکرو متصل و مانع از تجمع این مواد به هم می‌شود و عملکرد قابل توجهی در کنترل مواد چسبناک ایفا می‌کند. همچنین Ravnjak و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که استفاده از پلیمرهای کاتیونی پلی‌آلومینیم کلراید همراه با پلی‌آمین و پلی‌آلومینیم کلراید همراه با پلی‌دادمک سبب کنترل و تثبیت مواد چسبناک به الیاف و متعاقباً کاهش میزان

نهایی امری بسیار مهم قلمداد می‌شود (Kirilova et al., 2012).

این مواد دارای ماهیت آب‌گریز، نرم و چسبناکی هستند که موجب ایجاد مشکلات زیادی در فرایند بازیافت می‌شوند. منشأ این مواد واکس‌ها، هات‌ملت‌ها، لیبل‌ها، لاتکس‌ها، اتصال دهنده مرکب و ... ذکر شده و همراه کاغذهای باطله وارد فرایند بازیافت می‌شوند (Wang et al., 2006).

مواد چسبناک از لحاظ اندازه به سه دسته ماکرو، میکرو و کلوئیدی تقسیم می‌شوند. مواد چسبناک ماکرو دارای ابعادی بیشتر از ۱۰۰ میکرومتر هستند و مواد چسبناک میکرو دارای ابعاد زیر ۱۰۰ میکرومتر بوده و ابعاد مواد کلوئیدی کمتر از ۵ میکرومتر است (Bajpai, 2014; Wang et al., 2012). مواد محلول و کلوئیدی در اثر تغییرات دما، pH، جریان و غلظت ناپایدار می‌شوند و ممکن است طی این شرایط بخشی از مواد محلول رسوب کرده و یا به مواد کلوئیدی تبدیل شوند؛ بخشی از مواد کلوئیدی نیز ممکن است به ذرات بزرگ‌تر تبدیل شده و باعث تشدید مشکلات در فرایند شوند (Wang et al., 2006).

اختلالات مرتبط با فراوری خمیرکاغذ، چسبیدن و رسوب روی توری ماشین کاغذ، رسوب در مخازن آب سفید و لوله‌ها از مشکلات مواد چسبناک هستند. همچنین رسوب این مواد روی پرس و سیلندرهای خشک‌کن منجر به پارگی در هنگام تولید و مشکل قابلیت گذر از ماشین کاغذ و ایجاد لکه و سوراخ در کاغذ خواهند شد (Wang et al., 2011; Blanco et al., 2007; Chen et al., 2006).

نخستین روش برای جداسازی مواد چسبناک، روش‌های مکانیکی می‌باشند که سبب جداسازی بخشی از مواد چسبناک توسط غربال‌ها، تمیزکننده‌ها و سیستم شناورسازی با هوای محلول^۱ می‌شوند؛ اما روش‌های مکانیکی بخشی از مواد چسبناک را جدا می‌کنند و این روش‌ها مخصوصاً برای حذف ذرات میکرو و کلوئیدی به‌تنهایی کافی و مؤثر نیستند؛

پلیمر کاتیونی GL

پلیمر کاتیونی با نام تجاری GL از شرکت Fine Chemical Company چین تهیه شد. خواص فیزیکی و شیمیایی این پلیمر در جدول ۱ آمده است.

پلی دادمک (Poly-DADMAC)

پلی دی آلایل دی متیل آمونیوم کلراید (Poly-DADMAC) از شرکت سیگما آلدریج به صورت محلول آبی با غلظت ۶۰ درصد و وزن مولکولی ۴۰۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰۰ گرم بر مول تهیه شد.

اکسید آلومینیوم فیوز شده

پودر اکسید آلومینیوم فیوز شده با مش ۱۸۰ از شرکت نانو بنیان آسیا تهیه شد.

توری ماشین کاغذ

برای تعیین مواد چسبناک میکرو از توری ماشین کاغذ مخصوص کاغذ فلوتینگ استفاده شد که از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شده بود.

طیف بینی FT-IR

به منظور شناسایی و آنالیز پلیمر کاتیونی GL از طیف-بینی FT-IR استفاده شد. برای تهیه طیف‌ها از دستگاه Perkin Elmer مدل Spectrum 400 استفاده شد. تعداد ۳۲ اسکن با قدرت تفکیک 2cm^{-1} برای اکتساب داده‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری مواد چسبناک ماکرو

مواد چسبناک ماکرو مطابق با روش INGEDE 4 اندازه‌گیری شد. در این روش سوسپانسیون با غلظت ۱ درصد توسط ۵ گرم خمیر کاغذ خشک OCC تهیه شد. سپس سوسپانسیون حاصل به داخل مخزن غربال پالمک^۲

رسوبات این مواد شد؛ اما همیشه استفاده از پلیمرهای تثبیت‌کننده اثرات مثبتی ندارند؛ به طور مثال Castro و Dorris (۲۰۰۴) دریافتند که استفاده از پلی اتیلن‌ایمین رسوب مواد چسبناک را افزایش می‌دهد. کیم و همکاران (۲۰۰۷) رفتار پلی دادمک در پنج سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد همراه با پلی آلومینیوم کلراید در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد به منظور کنترل مواد چسبناک میکرو حاصل از چسبی بر پایه امولسیون پلی وینیل استات^۱ را آنالیز کردند. آنان گزارش کردند که حضور این پلیمرهای کاتیونی سبب کنترل مواد چسبناک میکرو شد اما با افزایش مقادیر پلیمر کاتیونی، دوباره میزان رسوبات مواد چسبناک افزایش یافت.

هدف این پژوهش مطالعه قابلیت کنترل مواد چسبناک ماکرو، میکرو و کلئیدی خمیر کاغذ OCC توسط پلیمر کاتیونی GL و بررسی تأثیر pH بر عملکرد آن است.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ

خمیر کاغذ کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC) در سه روز متفاوت از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. سپس این خمیر کاغذها به صورت همگن باهم ادغام و تا قبل از انجام آزمون‌ها در یخچال نگهداری شدند.

جدول ۱- مشخصات پلیمر کاتیونی GL

(ماده کنترل‌کننده مواد چسبناک)

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

درصد توسط ۳۰ گرم خمیرکاغذ خشک OCC تهیه و روی الکی با منفذ ۰/۰۸ اینچ یا ۱۰۰ میکرومتر آب‌گیری شد. درنهایت آب خروجی الکی^۱ در ظرفی استیل جمع‌آوری و دمای آن به ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد.

سپس توری‌های ماشین کاغذ با دقت توزین و بعد از اتصال به میله همزن، درون ظرف استیل قرار داده شدند (شکل ۲) و به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۳۰rpm این مجموعه هم زده شد. بعد از هم زدن، توری‌ها داخل آون خشک و وزن آنها دوباره با دقت اندازه‌گیری شد. میزان مواد چسبناک میکرو بر اساس اختلاف وزن توری‌ها قبل و بعد از آزمون گزارش شد.

تعیین میزان مواد محلول و کلوئیدی

برای تعیین میزان مواد محلول و کلوئیدی (DCS^۲)، سوسپانسیونی با غلظت ۱ درصد توسط ۸ گرم خمیرکاغذ خشک OCC تهیه شد. سپس سوسپانسیون در مخزن دستگاه^۳ DDJ از منافذ شیاری با پهنای ۱۵۰ میکرومتر عبور کرد (شکل ۳). آب خروجی غربال به میزان ۱۷ دقیقه با سرعت چرخش 2000rpm سانترفیوژ شد و بعد مایع رویی^۴ آن جمع‌آوری شد. سپس مقدار 20ml از این مایع، درون بشری ریخته شد و داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا محتویات ظرف پس از تبخیر آب به طور کاملاً خشک شود. میزان مواد محلول و کلوئیدی بعد از تعیین اختلاف وزن بشر گزارش شد.

(شکل ۱) با منافذ شیاری با پهنای ۰/۰۸ اینچ یا ۱۰۰ میکرومتر منتقل و عملیات غربال انجام شد. مواد چسبناک بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرومتر که به همراه الیاف از خروجی غربال جمع‌آوری شده بودند به کاغذ صافی منتقل و روی آن کاغذ سیلیکون‌دار قرار داده شد و عملیات پرس در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و تحت فشار psi ۲۵۶ به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. در ادامه کاغذ صافی با مرکب مشکی (پلیکان پایه آبی) رنگ شد و دوباره با شرایط مذکور در پرس گرم قرار داده شد. بعد از خارج کردن کاغذ صافی، روی آن لایه‌ای نازک از پودر اکسید آلومینیم فیوز شده پاشیده شد و دوباره در پرس گرم قرار گرفت. سپس با قلم‌مویی ظریف، پودرهای نجس‌یافته اکسید آلومینوم به آرامی از روی کاغذ صافی حذف گردید و بعد از تمیز کردن، عمل اسکن سطح کاغذ صافی با قدرت تفکیک 600dpi انجام شد. درنهایت تصاویر به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Image J آنالیز و مواد چسبناک ماکرو به صورت تعداد لکه‌ها و سطوح لکه‌ها گزارش شدند.

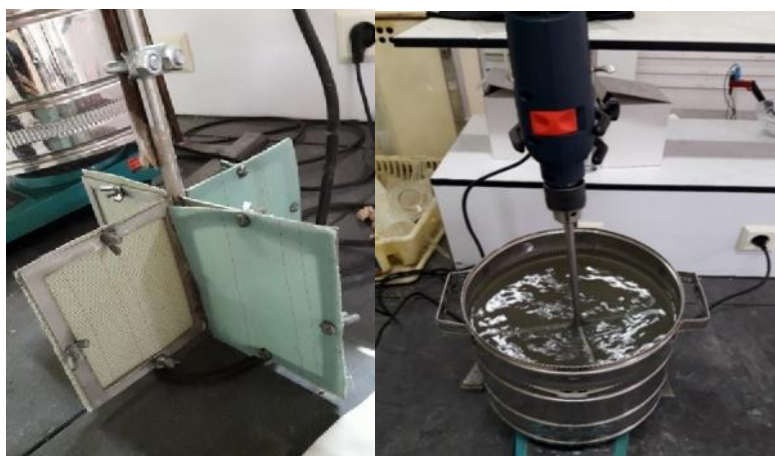


شکل ۱- دستگاه غربال

اندازه‌گیری مواد چسبناک میکرو

مواد چسبناک میکرو مطابق با روش (Doshi ۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد. در این روش سوسپانسیونی با غلظت ۱

1- Filtrate
2- Dissolved and Colloidal Substances
3- Dynamic Drainage Jar
4- Supernatant



شکل ۲- تصویری از تجهیزات استفاده شده برای اندازه گیری مواد چسبناک میکرو به روش دوشی



شکل ۳- دستگاه DDJ

دانکن و آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گردید.

نتایج

طیف بینی FTIR

نتایج شناسایی پلیمرکاتیونی GL و PolyDADMAC توسط طیف بینی FT-IR در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به طیف‌های به دست آمده، ظهور باند جذبی پهن در محدوده 3417cm^{-1} را می‌توان به ارتعاش کششی N-H آمین‌های آلیفاتیک نوع دوم نسبت داد. همچنین پیک جذب در محدوده 1623cm^{-1} به گروه‌های C-H پلی‌الکترولیت مربوط است. پیک جذب 1470cm^{-1} بیانگر زنجیره کربنی

اندازه گیری کدورت

کدورت آب خروجی غربال پالمرک توسط دستگاه کدوری سنج مدل Turb 555 اندازه گیری و با واحد NTU^۱ گزارش شد.

اندازه گیری زمان آب گیری

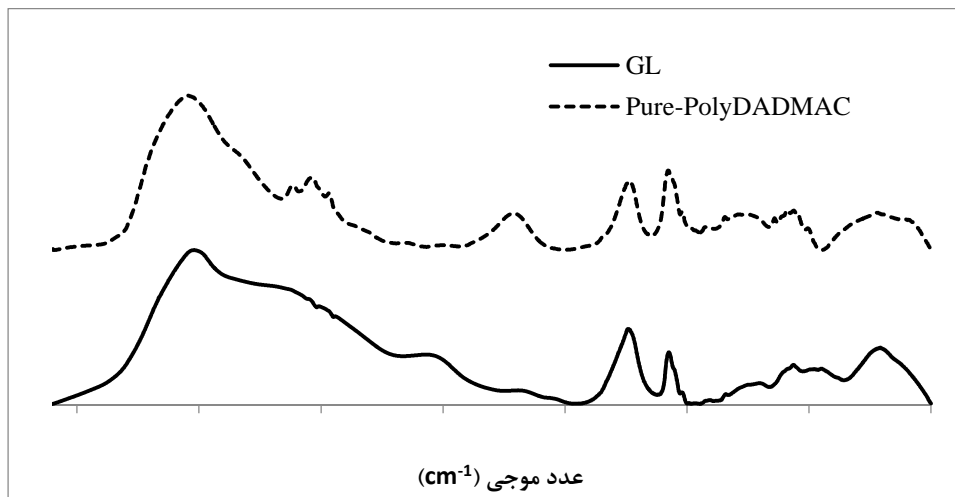
اندازه گیری زمان آبگیری طبق استاندارد TAPPI 221 cm-99 انجام شد.

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

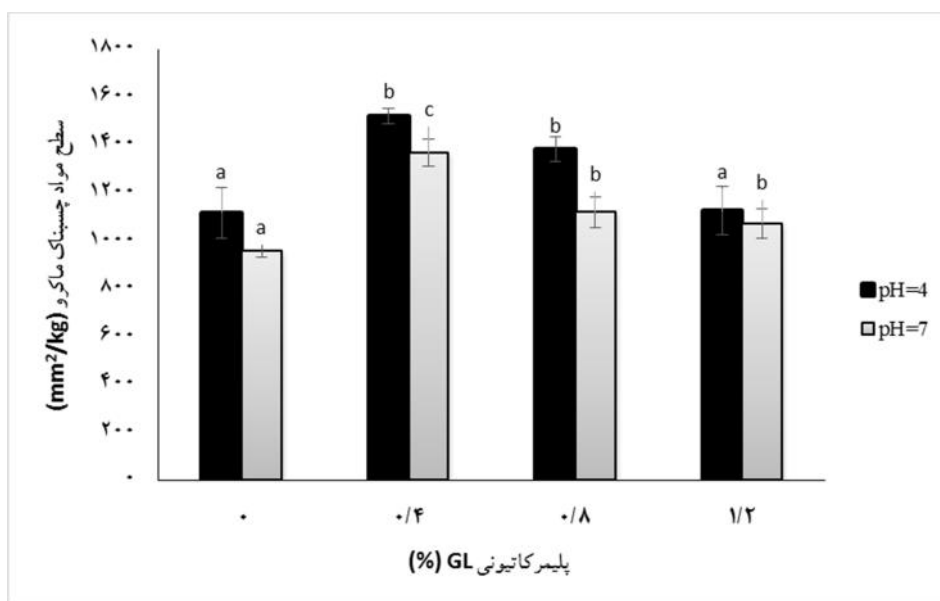
1- Turbidity
2- Nephelometric Turbidity Units

C-N آمین نوع دوم هستند (Mwangi et al., 2012).

طولانی با ساختار منظم در پلی دادمک می باشد. پیک های جذب نزدیک به 1137 cm^{-1} نیز مربوط به ارتعاش کششی



شکل ۴- طیف های FT-IR پلیمرکاتیونی GL و PolyDADMAC



شکل ۵- تغییرات سطح رسوبات مواد چسبناک ماکرو در مقابل مقدار پلیمرکاتیونی GL

و pH=7، افزودن پلیمرکاتیونی در مقادیر 0.4 و 0.8 درصد سبب ایجاد اختلاف معنی دار در مقادیر میانگین سطح مواد چسبناک در مقایسه با نمونه شاهد (نمونه بدون پلیمرکاتیونی GL) شده است. علت این پدیده را می توان دلمه شدن مواد

مواد چسبناک ماکرو

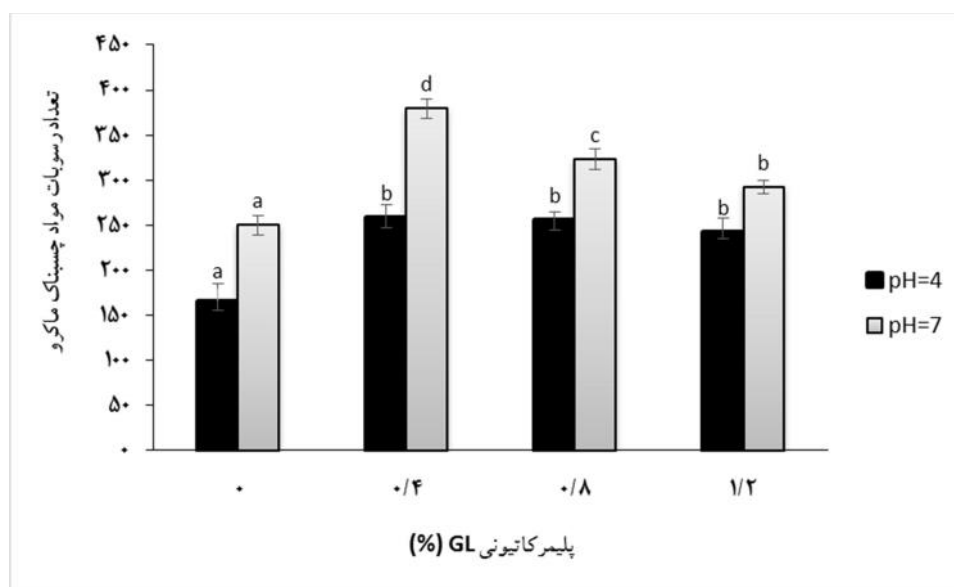
نتایج اندازه گیری تغییرات سطح رسوبات مواد چسبناک ماکرو با افزودن مقادیر پلیمرکاتیونی GL در دو pH 4 و 7 در شکل 5 نشان داده شده است. با توجه به نتایج در pH=4

اختلاف معنی داری در تعداد رسوبات در مقایسه با نمونه شاهد شده است. ذکر این نکته لازم است که در تحلیل نتایج تعداد مواد چسبناک ماکرو نمی توان به طور مستقل عمل کرد و باید سطوح ابعاد رسوبات را نیز مورد توجه قرار داد. از این رو در انتخاب دوز مناسب با توجه به سطح و تعداد رسوبات مواد چسبناک، مقدار ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی بهترین عملکرد را در کنترل این مواد داشته است.

لازم به ذکر است که سطح رسوبات در $\text{pH}=4$ در مقایسه با pH خنثی بزرگ تر بوده که نشان از کنترل مؤثرتر این مواد در دامنه pH می باشد.

چسبناک توسط پلیمر کاتیونی GL دانست که حکایت از کنترل مؤثر این مواد مضر در این فرایند دارد. بیشترین سطح رسوبات در حضور ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی مشاهده شد؛ اما حضور پلیمر کاتیونی در مقادیر زیاد یعنی ۱/۲ درصد باعث کاهش سطح رسوبات در اثر پراکندگی دوباره این مواد در هر دو pH شده است.

همان طوری که پیش تر گفته شد، تعداد رسوبات مواد چسبناک ماکرو در سطح کاغذ صافی نیز به عنوان معیاری برای ارزیابی تأثیر افزودن پلیمر کاتیونی GL اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج در $\text{pH}=4$ و $\text{pH}=7$ ، افزودن پلیمر کاتیونی GL سبب ایجاد



شکل ۶- تغییرات تعداد رسوبات مواد چسبناک ماکرو در مقابل مقدار پلیمر کاتیونی GL

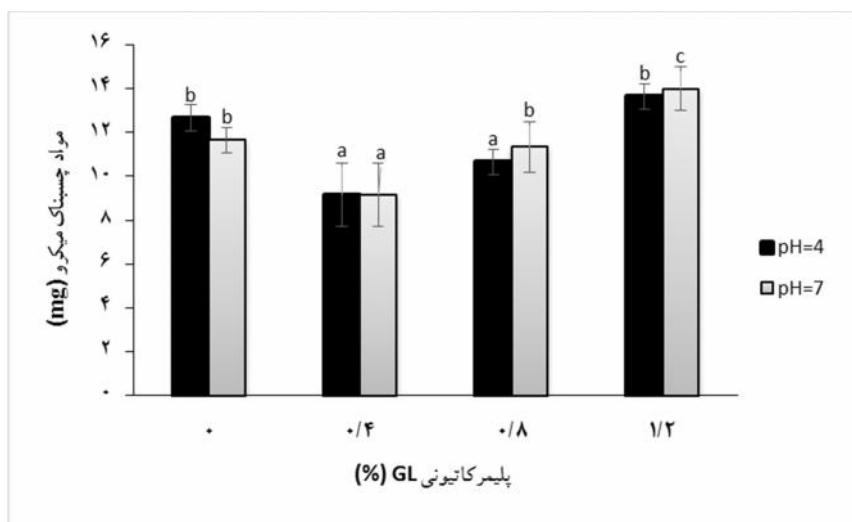
کاغذ در این دامنه به دست آمده آمد که حکایت از دلme شدن مواد چسبناک و اتصال آنها به الیاف با افزودن پلیمر کاتیونی GL دارد. طی این فرایند مواد چسبناک وارد شده در ظرف در اثر حرارت دلme چسبناک شده و بعد به توری متصل شدند.

از سویی حضور بیشتر پلیمر کاتیونی در هر دو pH با توجه به شکل ۷ سبب افزایش وزن توری ماشین کاغذ شد. این پدیده دلالت بر عدم اتصال مواد چسبناک به الیاف دارد.

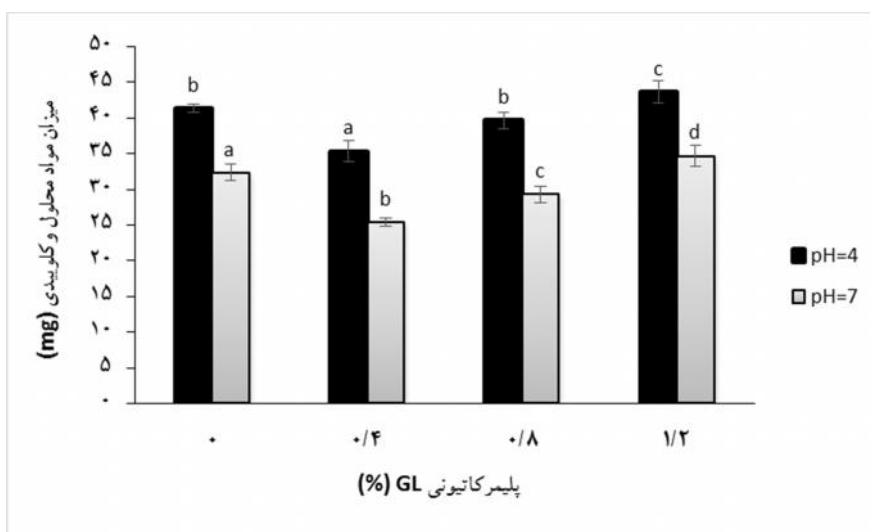
در شکل ۷ تغییرات وزنی مواد چسبناک میکرو با افزودن پلیمر کاتیونی GL در دو pH ۴ و ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج در $\text{pH}=4$ افزودن پلیمر کاتیونی GL در مقادیر ۰/۴ و ۰/۸ درصد با نمونه شاهد اختلاف معنی دار دارد و در $\text{pH}=7$ فقط در ۰/۴ درصد اختلاف معنی دار است. با توجه به نتایج بهترین عملکرد در هر دو pH در مقدار ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی دیده می شود؛ زیرا کمترین میزان رسوب مواد چسبناک میکرو بر روی توری ماشین

در pH=۴ اندکی کمتر از pH=۷ است که نشان از کنترل بهتر این مواد در پخش مواد چسبناک ماکرو دارد.

درواقع حضور مقادیر زیاد پلیمرکاتیونی سبب معکوس شدن بار سیستم و پراکندگی دوباره مواد چسبناک شده است. همچنین میزان رسوبات مواد چسبناک میکرو در مقادیر زیاد



شکل ۷- تغییرات وزنی مواد چسبناک میکرو در مقابل مقادیر پلیمرکاتیونی GL افزوده شده



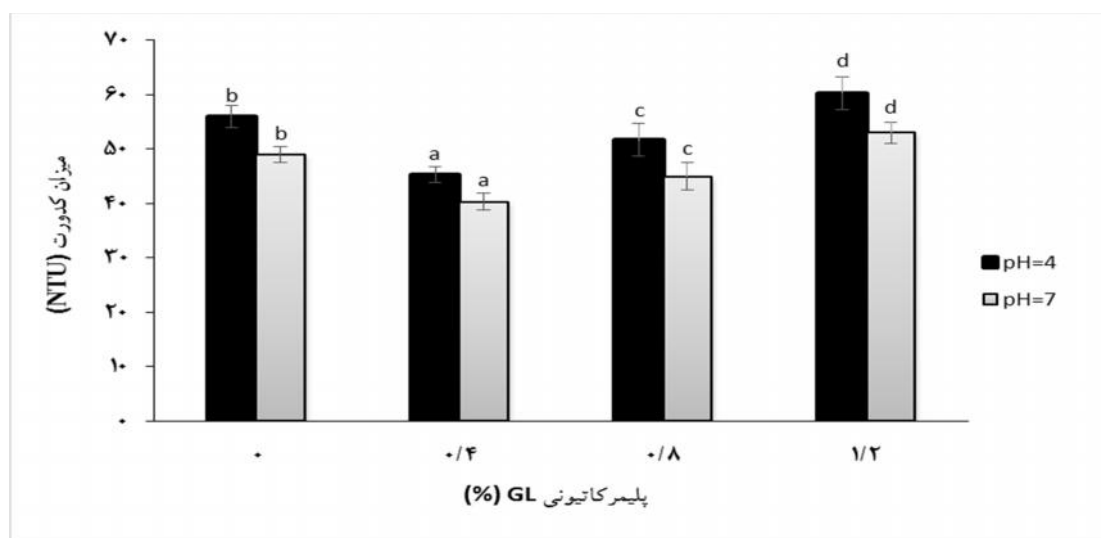
شکل ۸- تغییرات مقدار مواد محلول و کلوئیدی در اثر افزودن مقادیر متفاوت از پلیمرکاتیونی GL

درصد پلیمرکاتیونی به دست آمده است. افزودن این مقدار پلیمرکاتیونی سبب تثبیت مواد چسبناک کلوئیدی به الیاف شده و از مقدار مواد محلول و کلوئیدی در آب زیر صافی کاسته شده است. مقادیر بیشتر پلیمرکاتیونی سبب اتلاف مواد شیمیایی و موجب پراکندگی دوباره مواد کلوئیدی

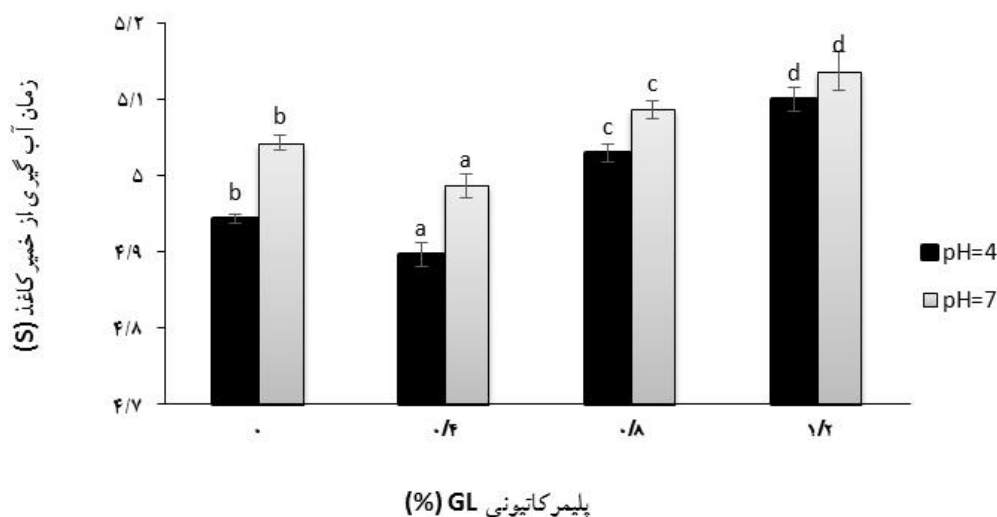
نتایج تغییرات مقدار مواد محلول و کلوئیدی در اثر افزودن مقادیر متفاوت از پلیمرکاتیونی GL در دو pH ۴ و ۷ در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، اختلاف معنی داری بین مقادیر میانگین به دست آمده قابل مشاهده است. با مقایسه هر دو pH بهترین عملکرد در مقدار ۰/۴

افزودن ۰/۴ و ۰/۸ درصد پلیمر کاتیونی سبب تجمع و تثبیت مواد چسبناک کلوئیدی به الیاف شده و از مقدار مواد کلوئیدی در آب زیر صافی کاسته شده است. مقادیر بیشتر پلیمر کاتیونی (۱/۲ درصد) سبب اتلاف مواد شیمیایی و موجب پراکندگی دوباره مواد محلول و کلوئیدی و در نهایت پایداری سامانه می شود. البته میزان مواد کلوئیدی در ۴ pH در مقایسه با pH=۷ بیشتر بوده است.

شده اند. طبق نتایج، میزان مواد محلول و کلوئیدی در PH=4 در مقایسه با PH=7 بیشتر است. شکل ۹ تغییرات میزان کدورت را در مقادیر پلیمر کاتیونی GL افزوده شده در دو pH ۴ و ۷ نشان می دهد. با توجه به نتایج، در هر دو PH افزودن پلیمر کاتیونی GL موجب اختلاف معنی دار در مقادیر کدورت شده است. کدورت معیاری از میزان مواد کلوئیدی در خمیر کاغذ است.



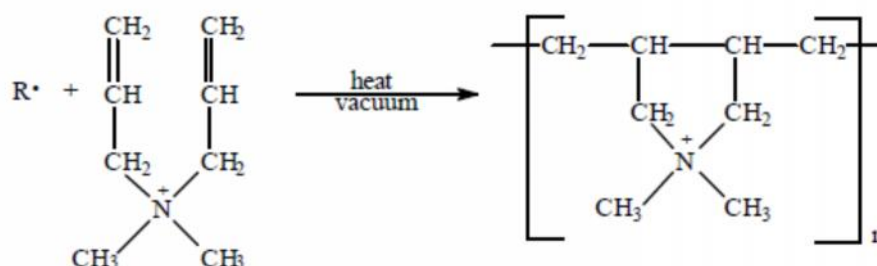
شکل ۹- تغییرات میزان کدورت در مقابل مقادیر پلیمر کاتیونی GL افزوده شده



شکل ۱۰- تغییرات زمان آب گیری از خمیر کاغذ در مقابل مقادیر پلیمر کاتیونی GL افزوده شده

بحث

با بررسی باندهای جذبی متناسب به گروه‌های عاملی مختلف در طیف FTIR پلیمر کاتیونی GL و مقایسه کیفی آن با طیف PolyDADMAC مشخص شد که این ترکیب صنعتی که به‌عنوان ماده کنترل‌کننده مواد چسبناک عرضه می‌شود بر پایه PolyDADMAC سنتز و فرموله شده است. همان‌طوری که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، آلیل‌دی‌متیل‌آمونیم کلرید در حضور یک آغازگر مناسب (R.) سنتز می‌شود (John, et al., 2002).



شکل ۱۱- واکنش پلیمریزاسیون PolyDADMAC

دلمه‌ساز یا فلاکلانت^۵ عمل می‌کند.

استفاده از این ماده کاتیونی در مقادیر زیاد (۱/۲ درصد) سبب کاهش در تعداد و سطوح رسوبات شده و کنترل ضعیف‌تر مواد چسبناک را به دنبال داشته است. علت این پدیده را می‌توان به فاصله گرفتن از نقطه خنثی‌سازی و پایداری دوباره این ذرات کلوئیدی در اثر پراکندگی دوباره مواد چسبناک نسبت داد که با اتلاف پلیمرکاتیونی و درنهایت کنترل ضعیف‌تر این مواد همراه شده است.

همان‌طوری که در بخش نتایج مربوط به اندازه‌گیری و کنترل مواد چسبناک ماکرو مشخص شد، در pH ۴ و ۷ بهترین حالت کنترل این مواد از لحاظ سطح رسوبات و تعداد رسوبات با افزودن ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی GL حاصل شد؛ اما میزان سطح رسوبات در pH=۴ بزرگ‌تر بود. علت

در شکل ۱۰ تغییرات زمان آب‌گیری خمیرکاغذ در اثر افزودن مقادیر متفاوت پلیمرکاتیونی GL در دو pH ۴ و ۷ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، در pH=۴ و pH=۷ افزودن فقط ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی GL سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری در مقادیر زمان آب‌گیری در مقایسه با نمونه شاهد شده است. افزودن ۰/۴ درصد پلیمرکاتیونی سبب کاهش زمان آب‌گیری نسبت به نمونه بدون پلیمر شد؛ اما در مقادیر زیاد پلیمرکاتیونی زمان آب‌گیری از خمیرکاغذ افزایش یافت.

با توجه به عملکرد پلیمر کاتیونی GL که همانند PolyDADMAC بر اساس سازوکار خنثی‌سازی^۱ و پل‌زنی استوار است، می‌توان گفت که پلیمرکاتیونی GL مواد چسبناک را ابتدا دربر گرفته و بار آنها را خنثی می‌کند. این خنثی‌سازی سبب می‌شود تا ذرات در اثر نیروی واندروالسی به یکدیگر نزدیک شده و تشکیل دلمه‌های ریز^۲ دهند. در این مرحله می‌توان برای آن نقش منعقدکننده^۳ ذرات کلوئیدی متصور شد. سپس این دلمه‌ها توسط سایر قسمت‌های زنجیر پلی‌الکترولیت به یکدیگر متصل شده و تشکیل فلاک‌های درشت داده و درنهایت به الیاف متصل می‌شوند. به عبارت دیگر پلیمر GL از طریق فرایند پل‌زنی^۴ به‌عنوان

1- Neutralizing
2- Microflocs
3- Coagulant
4- Bridging

5- Flocculant

به عبارت دیگر با استناد به نتایج به دست آمده و گوناگونی مواد چسبنک می توان نتیجه گرفت که در $\text{pH}=4$ با توجه به اسیدی بودن محیط ذرات ناپایدار بوده و تمایل به رسوب و دلمه شدن دارند؛ در حالی که با افزایش pH و با افزایش بار سطحی احتمالاً در اثر یونیزه شدن گروه های عاملی مواد چسبنک میزان حلالیت آنها افزایش می یابد، در نتیجه از میزان مواد کلوئیدی در $\text{pH}=7$ کاسته شده است.

اما حضور مقادیر زیاد پلیمر کاتیونی برای کنترل مواد چسبنک سبب فاصله گرفتن از نقطه خنثی سازی شده و به دنبال آن پایداری و پراکندگی دوباره مواد چسبنک و کلوئیدی و در نهایت کنترل ضعیف تر مواد چسبنک را به دنبال داشته است (Razali et al., 2013; Miao et al., 2013).

سرعت آب گیری خمیر کاغذ نیز از عوامل مؤثر در میزان اثر گذاری پلیمر کاتیونی در کنترل مواد چسبنک بشمار می رود که با افزودن ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی در هر دو pH میزان آب گیری بهبود پیدا کرد، زیرا حضور پلیمر کاتیونی در مقدار مناسب موجب دلمه شدن نرمه ها و مواد چسبنک پس از خنثی سازی بار منفی و بعد اتصال آنها به لیاف شده است؛ بنابراین GL با این سازوکار مانع حرکت این مواد به سمت کانال های خروجی آب در شبکه لیاف شده، در نتیجه بهبود در زمان آب گیری خمیر کاغذ را به دنبال داشته است (Hubbe, 2002; Chen et al., 2011). پلیمر کاتیونی سبب اتصال مواد چسبنک به ویژه مواد کلوئیدی و نرمه ها به لیاف شده، در نتیجه بهبود در سرعت آب گیری خمیر کاغذ را به دنبال خواهد داشت (Miao et al., 2013).

اما در مقادیر زیاد پلیمر کاتیونی زمان آب گیری از خمیر کاغذ افزایش یافت؛ زیرا حضور مقادیر زیاد پلیمر کاتیونی سبب تشکیل دلمه های بزرگ تر و افزایش ماندگاری نرمه ها گردید که این عوامل موجب بسته شدن کانال های آب شبکه کاغذ و در نتیجه کاهش سرعت آب گیری از خمیر کاغذ گردید (Antunes et al., 2008). البته با توجه به نتایج میزان مواد کلوئیدی و محلول و کدورت که در آن پراکندگی و میزان مواد کلوئیدی و محلول به علت معکوس شدن سامانه با افزایش پلیمر کاتیونی افزایش پیدا کرده است؛

را می توان به ناپایداری مواد چسبنک در شرایط اسیدی نسبت داد که موجب دلمه شدن مواد چسبنک و تشکیل سطوح بزرگ تر شده است (Lee et al., 2012; Kim & Lee, 2007).

در کنترل مواد چسبنک میکرو و مواد محلول و کلوئیدی نیز بهترین عملکرد با افزودن ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی GL به دست آمد؛ اما میزان مواد چسبنک محلول و کلوئیدی در $\text{pH}=4$ بیشتر از $\text{pH}=7$ اندازه گیری شد. با توجه به نتایج اندازه گیری کدورت به نظر می رسد که سهم مواد کلوئیدی در DCS در مقایسه با مقدار مواد محلول در $\text{pH}=4$ بیشتر باشد. به طور کلی با افزایش pH ، حلالیت مواد چسبنک به ویژه انواع مشتق از ترکیبات چوب و دارای ساختارهای قابل یونیزه مثل گروه های کربوکسیلی افزایش و در نتیجه سهم مواد محلول در DCS افزایش می یابد (Lee et al., 2012).

میزان کدورت آب زیر صافی خمیر کاغذ، معیاری از میزان مواد کلوئیدی در سوسپانسیون خمیر کاغذ است. مقدار pH بر میزان ثبات الکترواستاتیکی ذرات کلوئیدی و مواد چسبنک اثر می گذارد؛ به طوری که افزایش آن موجب پایداری ذرات و کاهش میزان رسوبات می شود (Gantenbein et al., 2010). با توجه به نتایج و مقایسه هر دو pH بهترین عملکرد در مقدار ۰/۴ درصد پلیمر کاتیونی مشاهده شد، زیرا پلیمر کاتیونی GL مواد چسبنک را پوشانده و دربر گرفته و بار آنها را خنثی کرده و بر اساس نیروی واندروالسی این خنثی سازی سبب می شود سایر ذرات به هم نزدیک شوند و تشکیل دلمه دهند، سپس این دلمه ها توسط سایر قسمت های زنجیره به لیاف متصل شده و سبب کاهش میزان این مواد در آب سیستم می شود (Razali et al., 2013). در pH کم مواد چسبنک با منشأ اسیدهای رزینی و اسیدهای چرب عمدتاً نامحلول هستند و این موجب افزایش کدورت خواهد شد، بنابراین با کاهش pH میزان کدورت افزایش می یابد. از این رو افزایش pH به کنترل رسوب ذرات قیر و کاهش میزان کدورت کمک می کند (Dai et al., 2010).

- Doshi M.R., 1997. Paper Recycling Challenge: Volume 4. Process Control and Mensuration. Tappi Press, p.199.
- Gantenbein, D., Schoelkopf, J., Gane, P.A.C. and Matthews, G.P., 2010. Influence of pH on the adsorption of dissolved and colloidal substances in a thermo-mechanical pulp filtrate onto talc. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 25(3):288-299.
- Gruber, E., Gattermayer, J. and Pätzold, R., 2000. Adsorption of micro-disperse polymers with adhesive potential (micro-stickies). *Ipw / Das Papier*, 5: 74-80.
- Hubbe, M.A., 2002, Fines management for increased paper machine productivity. *Proceedings of Scientific and technical advances in wet end chemistry*. Pira, Barcelona, 22–23 May.
- uo, X., 2002. Adhesive contaminants (stickies): characterization and their interaction with papermaking components during paper recycling. Doctoral thesis, North Carolina State University, Department of wood and paper science, 163 p.
- INGEDE 4, 2013. Analysis of macrostickies in pulps. International association of the deinking industry, Ingede method 4.
- John, W., Buckley, C.A., Jacobs, E.P. and Sanderson, R.D., 2002. Synthesis and use of POLYDADMAC for water purification. Paper presented at the Biennial Conference of the Water Institute of Southern Africa (WISA). 19 – 23 May 2002, Durban, South Africa.
- Kim, J. and Lee, H., 2007. Influence of several physicochemical conditions on the flocculation of micro stickies. *Journal of Korean TAPPI*, 40(5):20-26.
- Kirilova, S. and Lindberg, S., 2012. Sticky Deposits in a Tissue Manufacturing Process. Master of Science Thesis. Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Lee, R.A., 2012. The Stability of Wood Resin Colloids in Paper Manufacture. Ph.D thesis, University of Tasmania.
- 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.
- 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 (5): 707-714.
- Ravnjak, D., Zule, J. and Moze, A., 2003. Removal of detrimental substances from papermaking process water by the use of fixing agents. *Acta Chimica Slovenica*, 50:149-158.
- Razali, M.A.A., Ahmad, Z., Ahmad, M.S.B. and

این طور به نظر می رسد که تمایل پلیمرکاتیونی در مقادیر زیاد در مقایسه با مواد چسبناک به سمت نرمه ها افزایش می یابد، زیرا با افزایش مقادیر پلیمرکاتیونی دلمه ها بزرگ تر و سبب کاهش سرعت آب گیری شدند. در نتیجه انتظار می رفت که میزان مواد چسبناک (مواد کلوئیدی و محلول) خروجی از غربال در آزمون های قبلی کاهش پیدا کند که این گونه نشد. از این رو در مقادیر زیاد پلیمرکاتیونی مواد چسبناک دوباره پراکنده خواهند شد، البته بخش زیادی از پلیمرهای کاتیونی برای دلمه کردن نرمه ها مصرف خواهند شد.

به طور کلی می توان نتیجه گرفت در صورت مصرف پلیمر کاتیونی GL در دوز و pH مناسب می توان از آن به طور مؤثری در کنترل مواد چسبناک حاصل از فراوری خمیر کاغذ OCC استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

- Antunes, E., Garcia, F.A.P., Ferreira, P., Blanco, A., Negro, C. and Rasteiro, M.G., 2008. Use of new branched cationic polyacrylamides to improve retention and drainage in papermaking. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47: 9370–9375.
- Bajpai, P., 2014. *Recycling and Deinking of Recovered Paper*. Elsevier, USA, 304p.
- Ben, Y., Dorris, G., Hill, G. and Allen, J., 2003. Contaminant removal from deinking process water, Part I: Mill benchmarking. *Pulp and Paper Canada*, 104(1):42-48.
- 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.
- Castro, C. and Dorris, G., 2004. Measuring microstickies deposition by monitoring pressure drop through a collector. *Progress in Paper Recycling*, 13(3): 23-32.
- 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.
- Dai, Z. and Ni, Y., 2010. Thermal stability of metal-pitch deposits from a spruce thermomechanical pulp by use of a differential scanning calorimeter. *BioResources*, 5(3): 1923-1935.

- distribution research of microstickies in white water. *BioResources*, 7(4):7794-5808.
- Wang, L., Zhang, Y., Di, T., Luo, L. and Zhao, H., 2014. Starch-based fixative with proper substitution degree for controlling dissolved and colloidal substances in a bleached chemithermomechanical Pulp. *Starch/Stärke*, 66: 992-997.
- Woodward, T., 1996. Controlling contaminants in the production and use of deinked pulp. *Wastepaper VII conference*. Chicago, IL.
- Ariffin, A., 2011, Treatment of pulp and paper mill wastewater with various molecular weight of polyDADMAC induced flocculation. *Chemical Engineering Journal*, 166:529–535.
- 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.
- Wang, Z.W., Li, B., Wu, S.B. and Lu, p., 2012. Physicochemical properties analysis and size

The potential of GL as a cationic polymer to control the stickies of OCC pulp

A. Ahmadi Ladjimi¹, M. Azadfallah^{2*}, M. Rahmaninia³ and Y. Hamzeh⁴

1- M.Sc., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2*-Corresponding author, Assistant Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: adfallah@ut.ac.ir

3-Assistant Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

4- Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: Nov., 2017

Accepted: May, 2018

Stickies are among the major obstacles in paper recycling mills. This substance deposits on paper machine components and initiates break in the paper web as well as loss of end product quality. So, it is necessary to control the stickies and limits its detrimental effects. It is known that cationic polymers as fixing agents can control the stickies efficiently. Therefore, the control of stickies of OCC pulp using a commercial cationic polymer called GL at 0.4, 0.8 and 1.2 percent based on oven dry weight of pulp at pH 4 and pH 5 were investigated. Macro- and micro-stickies, dissolved and colloid substances (DCS), turbidity, and drainage time were measured to evaluate GL efficiency and compared with control sample. The results indicated that GL dosing at 0.4 and 0.8 percent in pH 4 and 7 due to flocculation and fixing the stickies onto the fiber caused to decrease in macro stickies, microstickies and DCS while improved the drainage time. However, no efficient performance was observed in controlling stickies at higher content of GL i.e. 1.2 percent. Generally, it is concluded that with consuming at desired pH and dosage, GL can be used as efficient agent to control stickies in processing of OCC pulp.

Keywords: Stickies, cationic polymer, OCC pulp, flocculation.