

کنترل مواد چسبناک ریز خمیر کاغذ حاصل از بازیافت کارتن کنگره‌ای کهنه با روش‌های شیمیایی و فیزیکی منتخب

زهرا رزم‌پور^{۱*}، قاسم اسدپور^۲، حسین کرمانیان^۳، امید رمضانی^۴ و سیدمجید ذبیح‌زاده^۵

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،

پست الکترونیک: pa.razmpour@gmail.com

۲- دانشیار، گروه صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- دانشیار، گروه صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشکده فناوری‌های نوین و مهندسی هوا و فضا، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

۴- استادیار، گروه صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشکده فناوری‌های نوین و مهندسی هوا و فضا، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

۵- دانشیار، گروه صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۱

چکیده

راهکارهای مؤثر در حذف یا خنثی‌سازی مواد چسبناک یکی از موضوعات مورد توجه پژوهش‌های اخیر است. در این پژوهش برخی از متداول‌ترین راهبردهای شیمیایی و فیزیکی در کنترل این مواد آلاینده بررسی و مقایسه شدند. کنترل مواد چسبناک ریز خمیر کاغذ حاصل از بازیافت کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) با استفاده از چندین روش فیزیکی (شستشو، شستشو-شناورسازی، شناورسازی-شستشو و شناورسازی) و برخی روش‌های شیمیایی با استفاده از ۴ پلیمر کاتیونی تثبیت‌کننده (آلوم- پلی آلومینیوم کلراید- پلی دادمک - نشاسته کاتیونی) در سه سطح (۰/۱، ۰/۵ و ۱ درصد) براساس وزن خشک خمیر کاغذ بررسی شد. برای ارزیابی کارایی روش مورد استفاده در حذف مواد چسبناک ریز، فاکتورهای هدایت الکتریکی، سختی، میزان کدورت، مقدار مواد محلول و کلئیدی و نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی اندازه‌گیری و مقایسه شدند. نتایج نشان داد که کمترین مقدار هدایت الکتریکی و سختی در روش فیزیکی مربوط به مرحله شناورسازی - شستشو و در روش شیمیایی مربوط به نشاسته کاتیونی ۱ درصد بود. کمترین مقدار کدورت در مرحله شستشو - شناورسازی و شستشو مشاهده شد. همچنین، احتمال وجود ظرفیت مواد چسبناک ثانویه در مرحله شستشو در کمترین حالت بود، درحالی‌که مرحله شناورسازی بالاترین حد احتمال مواد چسبناک ثانویه را به خود اختصاص داد. در میان سطوح مختلف از عوامل تثبیت‌کننده ذکر شده، کمترین میزان کدورت و مواد محلول و کلئیدی مربوط به عامل تثبیت‌کننده پلی دادمک با سطح مصرف ۰/۱ درصد و کمترین میزان مواد چسبناک ثانویه در سطح ۰/۵ درصد آلوم بود. هم در روش شیمیایی و هم فیزیکی میزان کدورت و مقدار مواد محلول و کلئیدی در pH=۴ بیشتر از pH خنثی بود. در روش شیمیایی با نشاسته کاتیونی با سطح مصرف ۱ درصد و در روش فیزیکی با مرحله شستشو - شناورسازی کمترین میزان نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت، شناورسازی، کدورت، مواد چسبناک، مواد کلئیدی.

مقدمه

حفره‌هایی در شبکه لیفی شده یا باعث پارگی ورقه می‌شوند. در صورتی که تیمار مناسبی برای کنترل مواد چسبناک انجام نشود. این مواد به راحتی در فرایند و عملیات کاغذسازی به صورت پراکنده جابجا شده و هنگام تماس با یکدیگر ظرفیت به هم چسبیدن دوباره و توده‌ای شدن یا دلمه شدن را دارند. از این رو رسوبات را می‌توان در قسمت‌های مختلف فرایند کاغذسازی مشاهده کرد، به طوری که می‌توان به برخی از مثال‌های مربوط در این زمینه شامل لوله‌های نقل و انتقال خمیر، توری ماشین کاغذ، فلت و تسمه‌ها، غلتک‌های فشار و غلتک‌های اتوزنی اشاره کرد (Hubbe et al., 2006). با وجود اینکه کنترل مواد چسبناکی که در طی استفاده از الیاف بازیافتی به وجود می‌آیند، مشکل است؛ اما می‌توان آنها را برحسب اندازه‌های مختلف به دو گروه مواد چسبناک درشت و ریز تقسیم‌بندی کرد. یک بخش کوچک از مواد چسبناک ریز مربوط به مواد محلول و کلوئیدی است که به دلیل تغییرات ناگهانی دما، غلظت، برش، pH محیط مواد شیمیایی، ناپایدار و بی‌ثبات می‌شود و بر این اساس یک بخش از مواد حل شده ممکن است ته‌نشین شده و یک ماده کلوئیدی جدید ایجاد کند و بخشی از مواد کلوئیدی ممکن است درون یک بخش بزرگ‌تر جمع شده و مترکم گردد (Wang et al., 2006). مواد محلول و کلوئیدی عمدتاً از همی سلولز، مواد استخراجی، لیگنان‌ها و مواد مرتبط با لیگنین تشکیل می‌شوند و از خمیر خارج شده و در آب فرایند حل یا پراکنده می‌گردند. تجمع مواد محلول و کلوئیدی طی عملیات کاغذسازی به دلیل بسته شدن سیستم‌های آب فرایند، اثرهای مخرب مختلفی بر فرایند کاغذسازی و محصولات کاغذی حاصل از آن ایجاد می‌کند، بنابراین حذف یا کنترل مواد محلول و کلوئیدی به منظور غلبه یا کاهش تأثیرات منفی آنها ضروریست (Miao et al., 2013). از میان راهبردهای مختلف دو شیوه فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که فیزیکی بر مبنای حذف و شیمیایی بر مبنای خنثی‌سازی و رسوب‌دهی مواد چسبناک می‌باشد. حذف مواد چسبناک معمولاً هدف ابتدایی و کنترل و خنثی‌سازی رسوبات چسبناک، برای کم

بازیابی و بهره‌برداری از کاغذ بازیافتی به‌طور متوالی و در طی دهه‌های اخیر در سراسر دنیا در حال افزایش است و این روند به‌طور مشهود ادامه خواهد داشت. بازیافت کاغذ باطله برای صرفه‌جویی منابع تجدیدپذیر چوب، حفاظت از محیط‌زیست و مسائل مربوط به مدیریت ضایعات و کاهش هزینه‌های تولید مفید است و کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، یکی از اجزای حیاتی صنعت بازیافت کاغذ است (Liu et al., 2020). یکی از مشکلات مربوط به استفاده از الیاف بازیافتی ورود آلاینده‌های مختلف به سیستم کاغذسازی است. به بخش عمده‌ای از این آلاینده‌ها مواد چسبناک اطلاق می‌شود که به‌عنوان آلاینده‌های غیر سلولزی موجود در کاغذ باطله تعریف می‌شوند که دارای ویژگی‌های چسبندگی و الاستیک هستند (Holbery et al., 2000). مشکل اساسی این است که تعریف درستی از مواد چسبناک برای تشریح مواد مختلف تشکیل‌دهنده آن و مشکلاتی که در صنعت بازیافت ایجاد می‌کند وجود ندارد. منشأ این آلاینده‌های چسبناک، فرایندهای پیشین کاغذسازی، فرایندهای تبدیل و اتفاقات پس از مصرف کاغذ می‌باشند (Negro et al., 2005). از نظر شیمیایی، مواد چسبناک از طیف بسیار گسترده‌ای از ترکیبات شامل ترکیبات آلی با وزن مولکولی بالا و پائین و پلیمرهای طبیعی و مصنوعی تشکیل شده‌اند (Leclerc, 2000). مواد چسبناک نه از یک منبع آلاینده منفرد، بلکه از ترکیبی از چسب‌ها، بقایای جوهر، مواد پوشش‌دهنده، مواد شیمیایی جوهرزدایی و رزین مقاومت‌تر و مشتقات چوب به دست می‌آیند (Leclerc, 2000). با تولید کاغذ از الیاف بازیافتی، کارخانه‌ها بیشتر با رسوب حاصل از این آلاینده‌ها بر روی تجهیزات مختلف ماشین کاغذ روبرو هستند و این رسوبات، مشکلاتی را در قابلیت گذر ماشین کاغذ و میزان سهولت عبور ورقه کاغذ از قسمت‌های مختلف ماشین کاغذ ایجاد کرده و باعث بروز لکه‌هایی در محصول نهایی می‌شوند (Huo, 2002). علاوه بر ایجاد لکه‌ها در محصول نهایی مواد چسبناکی که به تجهیزات فرایندی چسبیده‌اند، موجب ایجاد

تثبیت‌کننده‌های شیمیایی یک راهبرد شیمیایی کنترلی برای به حداقل رساندن اثر منفی زباله‌های آبیونی و مواد چسبناک محلول و کلوئیدی خواهد بود. گیرنده‌های زباله آبیونی معمولی (تثبیت‌کننده‌ها) پلیمرهای خطی با بار مثبت هستند و عملکردشان معمولاً بر اساس خنثی‌سازی بار، انعقاد و لخته‌سازی است (Wang *et al.*, 2014). تثبیت‌کننده‌ها معمولاً به پلیمرهای آلی یا معدنی با جرم مولکولی نسبتاً کم و چگالی بار کاتیونی بالا اطلاق می‌شود که برای تثبیت ترکیبات آبیونی مواد کلوئیدی و محلول بر روی الیاف و فیلرها و خارج کردن آنها از سیستم ماشین کاغذ و تمیز شدن دستگاه کاغذ به کار می‌روند (Wang *et al.*, 2006). در حال حاضر تثبیت‌کننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- تثبیت‌کننده‌های معدنی شامل آلومینیوم سولفات- پلی آلومینیوم کلراید، ۲- ترکیبات آلی شامل پلی آمین- پلی اتیلن ایمین - پلی ونیل آمین - پلی دی الیل دی متیل آمونیوم کلراید و ۳- ترکیبات نیمه سنتزی بر پایه پلیمرهای طبیعی شامل نشاسته کاتیونی با درجه استخلاف بالا - صمغ گوار بسیار کاتیونی (Wang *et al.*, 2014). تثبیت‌کننده‌ها با بازدهی بالا، هزینه کم و سازگاری خوب برای کارخانه‌های کاغذسازی مطلوب هستند. در این پژوهش از دو روش فیزیکی (شستشو، شناورسازی - شستشو، شناورسازی، شستشو - شناورسازی) و روش شیمیایی (استفاده از ۴ نوع گیرنده و تثبیت‌کننده؛ آلوم - پلی آلومینیوم کلراید - پلی دادمک - نشاسته کاتیونی) استفاده شد و تأثیر این دو روش بر کنترل مواد چسبناک ریز خمیرکاغذ حاصل از بازیافت OCC با انجام آزمون‌های pH، سختی، هدایت الکتریکی، کدورت و نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تعیین مشخصات اولیه خمیرکاغذ

مقدار ۵ کیلوگرم (خشک) از کاغذ باطله توزین و بعد به قطعات کوچک تقسیم شد. به منظور رسیدن به رطوبت تعادل یکسان و مشروط سازی در محیط، قطعات کاغذی ۴۸ ساعت در سطحی صاف در محیط آزمایشگاه قرار گرفت.

کردن تأثیرات ضرر و زیان مواد چسبناکی است که نمی‌توانند حذف شوند (Chakrabarti *et al.*, 2011). روش‌های شناورسازی با هوای محلول تبخیر، غربال و تبلور انجمادی روش‌های فیزیکی هستند که برای حذف بخشی یا همه مواد محلول و کلوئیدی از آب سفید استفاده می‌شوند و با چرخش آب سفید مقدار مواد محلول و کلوئیدی وارد شده به سیستم کاغذسازی را کاهش می‌دهند. در میان روش‌های فیزیکی، شناورسازی جالب‌ترین روش حذف مواد چسبناک باقی مانده از خمیر است. مهمترین هدف شناورسازی حذف مواد چسبناک ریز از سوسپانسیون خمیر و یک روش متداول برای تصفیه آب فرایند در عملیات جوهرزدایی در کارخانه های کاغذ روزنامه است و به طور مؤثر می‌تواند مواد جامد معلق را حذف کند. اما کارایی یک واحد شناورسازی هوای محلول در حذف اجزای مواد محلول و کلوئیدی بسیار پایین است (Miao *et al.*, 2013). روش مهم دیگر بهبود سیستم‌های شستشو است، با وجود این با توجه به افزایش هزینه‌های تصفیه آب و این واقعیت که بیشتر موادی که از طریق شستشو حذف می‌شوند، به جای مواد کلوئیدی مضر مواد محلول مانند همی سلولزها و پکتین‌ها هستند. روش‌های فیزیکی شاید تنها به عنوان پیش‌تیمار یا پس‌تیمار برای حذف مواد محلول و کلوئیدی مطرح بوده باشند (Miao *et al.*, 2013). گزارش شده که کاغذهای مختلف که مواد چسبناک با اندازه کوچک دارند با غربال کردن تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند و بهترین کارایی حذف را طی شناورسازی نشان داده‌اند (Chakrabarti *et al.*, 2011). مواد محلول و کلوئیدی موجود در خمیرهای بازیافتی و خمیرهای بازده بالا طیف وسیعی از مواد را دربرمی‌گیرد که نه تنها شامل مواد افزودنی شیمیایی بلکه دارای اجزای مواد اولیه از قبیل همی سلولز، لیگنین اکسید شده، رزین و اسیدهای چرب می‌باشند و دارای بار منفی بوده و زباله‌های آبیونی تعریف می‌شوند (Xiu *et al.*, 2014). زباله‌های آبیونی منجر به افزایش زمان آبگیری، ماندگاری کمتر و افزایش بار نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) آب سفید می‌شوند. استفاده از گیرنده‌های زباله آبیونی و

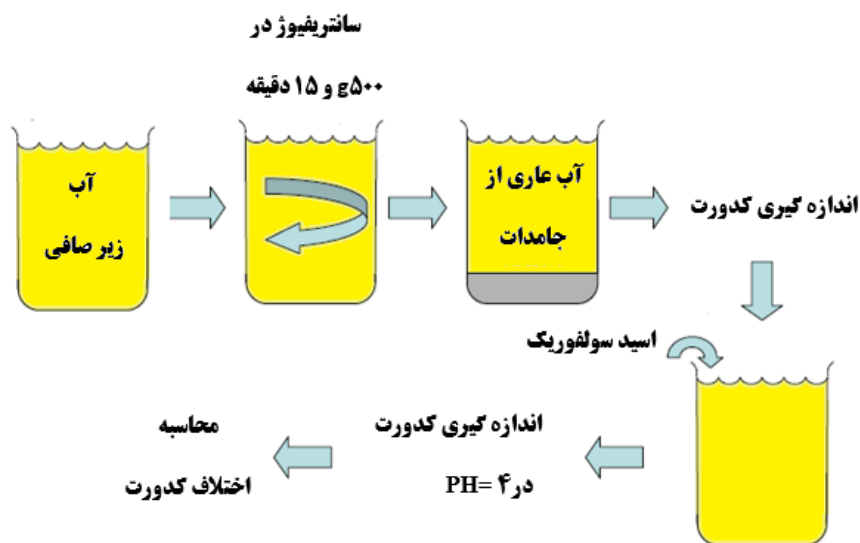
مخلوطی از پنج گرم خمیرکاغذ خشک را داخل ۲۰۰ سی سی آب ریخته و با دور همزن دیجیتال ۳۵۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه تهیه گردید. همچنین درحالی که خمیرکاغذ زیر همزن در حال به هم خوردن بود ماده شیمیایی را به آن اضافه کرده و بعد از گذشت ۱۰ دقیقه از به هم خوردن خمیرکاغذ آن را روی الک با مش ۴۰۰ آبیگیری کرده و آب زیر صافی جمع آوری شد. به منظور افزایش غلظت مواد جامد معلق (مواد معدنی و نرمة الیاف) آب زیر صافی تمامی روش‌های فیزیکی و شیمیایی گفته شده به طور جداگانه و کدگذاری شده داخل فالكون آزمایشگاهی ریخته شد و به مدت ۱۵ دقیقه و در گرانش ۵۰۰g در دستگاه سانتریفوژ قرار گرفت تا سوسپانسیون در دو مرحله جامد و مایع، قابل جداسازی باشد. بعد از این مرحله pH، هدایت الکتریکی، سختی، نیاز اکسیژن خواهی و کدورت مرحله مایع (آب زیر صافی عاری از مواد جامد معلق) هر روش به طور جداگانه اندازه گیری شد. اندازه گیری کدورت و اندازه گیری ظرفیت مواد چسبناک ثانویه طبق روش Sarja و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد که در شکل ۱ قابل مشاهده است. پس از ثبت کدورت آب زیر صافی، با افزودن قطره قطره اسیدسولفوریک ۰/۵ مولار، در حال هم زدن، عدد pH آب تا ۴ کاهش داده شد و دوباره کدورت گرفته شد. اختلاف بین عدد دوم و عدد اول، ظرفیت مواد چسبناک ثانویه نامیده می شود. اندازه گیری مقدار مواد محلول و کلئیدی از روش وزن سنجی مطابق روش Soong (۲۰۰۲) انجام شد. در این راستا ۲۰ سی سی از آب زیر صافی نمونه در داخل آون و دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شد و وزن حاصل به عنوان مقدار مواد محلول و کلئیدی یادداشت گردید. اندازه گیری pH مطابق استاندارد TAPPI T509 انجام شد و نتایج آن برای هر دو روش شیمیایی و فیزیکی در جدول ۲، قابل مشاهده است. اندازه گیری COD بر اساس استاندارد ASTM D1252-06 انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای این پژوهش با روش ANOVA در نرم افزار SPSS انجام شد و گروه بندی نتایج حاصل با روش دانکن انجام گردید.

پس از سپری شدن زمان لازم و اطمینان از عدم نوسان رطوبت، قطعات کاغذ جمع آوری شده و درون کیسه های پلاستیکی ضخیم نگهداری شدند. سپس مخلوطی با درصد خشکی ۱ درصد تهیه شد که توسط دستگاه پراکنده ساز (Disintegrator) به سوسپانسیون یکنواخت تبدیل گردید، برای تهیه نمونه شاهد حدود ۱۰۰ سی سی از این سوسپانسیون بر روی الک با مش ۴۰۰ ریخته شد و آبی که زیر الک خارج گردید به عنوان آب زیر صافی خمیرکاغذ در داخل فالكون جمع آوری شد. برای انجام روش فیزیکی از مراحل شستشو، شناورسازی، شستشو - شناورسازی و شناورسازی - شستشو استفاده گردید. شستشوی خمیرکاغذها بر روی الک با مش ۴۰۰ انجام شد. به طوری که در هر نوبت یک گرم (۱۰۰ سی سی) از سوسپانسیون بر روی الک مذکور ریخته شد و توسط ۴۰۰ سی سی آب عمل شستشو انجام گردید. در هر نوبت الیاف باقیمانده بر روی الک به عنوان الیاف پذیرفته شده جمع آوری شد و آب زیر صافی نیز جمع آوری گردید. مرحله شناورسازی خمیر با هوا با کمک ماده فعال سطحی با نام تجاری توئین (Tween 80) و به میزان مصرف یک درصد انجام شد (Kanhekar et al., 2005). تزریق هوا از طریق پمپ باد آزمایشگاه تأمین شد. در پایان شناورسازی، خمیرکاغذ در سطلی جدا و کف هم جداگانه جمع آوری گردیدند. در هر نوبت، الیاف باقیمانده بر روی الک به عنوان الیاف پذیرفته شده جمع آوری و آب زیر صافی نیز جمع آوری شد. دو مرحله دیگر که به صورت ترکیب فرایند شستشو و شناورسازی بود نیز به همین صورت انجام شد. بایستی به این نکته اشاره کرد که آب زیر صافی آخرین مرحله ترکیبی نیز جمع آوری گردید. همچنین برای انجام روش های شیمیایی از ۴ ماده پلیمری آلومینیوم سولفات (آلوم) - پلی آلومینیوم کلراید - پلی دی آلیل دی متیل آمونیوم کلراید - نشاسته کاتیونی با درصد استخلاف ۰/۰۵ در سه سطح مصرف (۰/۱، ۰/۵ و ۱) درصد استفاده شدند که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است. برای انجام این تیمارها،

جدول ۱- مشخصات پلیمرهای تثبیت کننده و سطح مصرف

Table 1 - Characteristics of fixing polymers and dosages

عنوان Title	درصد خلوص Purity	وضعیت Condition	وزن مولکولی Molecular Weight	سطوح مصرف (درصد) dosage (percent)
پلی آلومینیوم کلراید Polyaluminum chloride	80	پودر زرد Yellow powder	-	0.1-0.5-1
سولفات آلومینیوم Aluminum sulfate	17.59	پودر سفید white powder	-	0.1-0.5-1
پلی دی آلایل دی متیل آمونیوم کلراید Polydiallyl dimethyl ammonium chloride	20	مایع بیرنگ colorless liquid	200000-300000	0.1-0.5-1
نشاسته کاتیونی با درجه استخلاف ۰/۰۵ Cationic starch (DS:0.05)	99	پودر سفید white powder	-	0.1-0.5-1



شکل ۱- روش اندازه گیری کدورت و اختلاف کدورت (ظرفیت مواد چسبناک ثانویه)

Figure 1- The method of measuring turbidity and turbidity difference (potential secondary stickies)

جدول ۲- تغییرات pH در روش فیزیکی و شیمیایی

Table 2- pH changes in physical and chemical methods

روش فیزیکی Physical method	pH	روش شیمیایی (تثبیت کننده) chemical method (fixing)	سه سطح مصرف Three dosage- pH		
			0.1	0.5	1
شستشو Washing	7.3	پلی آلومینیوم کلراید Polyaluminum chloride	7.25	7.23	6.85
شستشو - شناورسازی Washing - flotation	7.36	آلومینیوم سولفات Aluminum sulfate	7.13	6.97	6.86
شناورسازی flotation	7.2	پلی دی آلایل دی متیل آمونیوم کلراید Polydiallyl dimethyl ammonium chloride	6.8	7.24	7.31
شناورسازی - شستشو Flotation - washing	6.63	نشاسته کاتیونی Cationic starch	7.21	6.85	7.33

نتایج

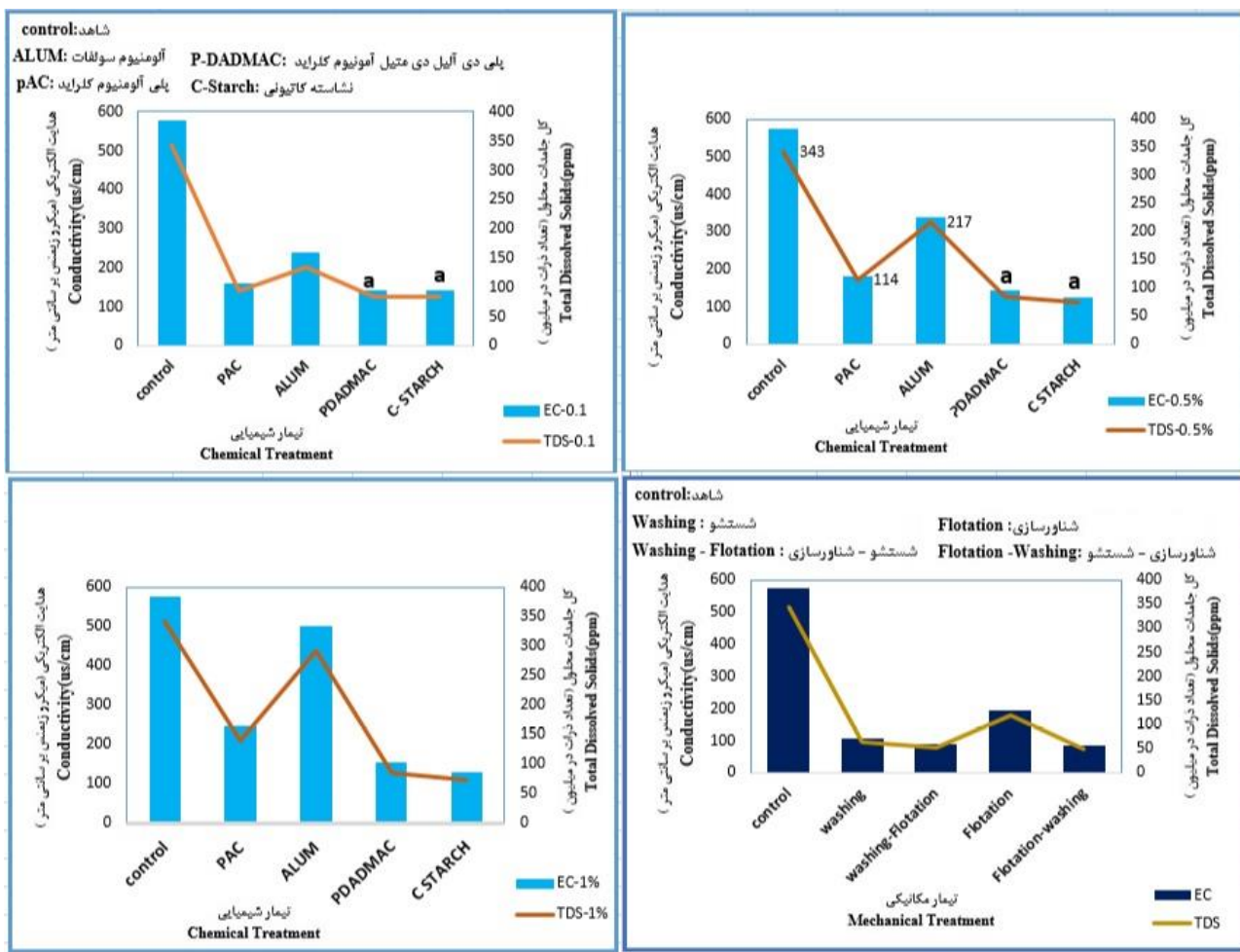
سختی و هدایت الکتریکی آب زیر صافی

نتایج اندازه گیری تغییرات هدایت الکتریکی و سختی آب زیر صافی در دو روش شیمیایی و فیزیکی در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج و شکل نمودارها روند هدایت الکتریکی و سختی مشابه هم هستند. اگرچه سختی و هدایت الکتریکی یکی نیستند ولی یک رابطه مستقیم بین آنها وجود دارد. سختی شامل مجموع ذرات جامد حل شده در آب و هدایت الکتریکی توانایی انتقال الکتریسیته است. البته هرچه میزان ذرات بیشتر باشد میزان رسانایی بالاتر است. نمونه شاهد بالاترین میزان سختی (۳۴۳ppm) و بالاترین میزان هدایت الکتریکی (۵۷۴/۵us/cm) را دارد. در روش فیزیکی، بین هدایت الکتریکی و سختی مراحل شستشو، شناورسازی، شناورسازی - شستشو و شستشو - شناورسازی اختلاف معنی داری وجود دارد. در روش شیمیایی با ۴ نوع تثبیت کننده (آلوم - پلی آلومینیوم کلراید - پلی دادمک - نشاسته کاتیونی) و ۳ سطح مصرف ۰/۱، ۰/۵ و ۱ در سطح مصرف ۰/۱ درصد مشاهده شد که در حالت استفاده از نشاسته کاتیونی و پلی دادمک اختلاف معنی داری وجود نداشت و در باقی سطح و عوامل تثبیت کننده مقدار تغییرات مشاهده شده در هدایت الکتریکی و سختی مواد تثبیت کننده نسبت به یکدیگر دارای

اختلاف معنی دار بودند. تغییرات مقدار هدایت الکتریکی و سختی در سطح مصرف ۱ و ۰/۵ درصد نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین تمامی ماده های تثبیت کننده در این سطوح مصرف وجود دارد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی و سختی در روش فیزیکی مربوط به شناورسازی - شستشو می باشد و در روش شیمیایی نشاسته کاتیونی ۱٪ دارای پایین ترین مقدار هدایت الکتریکی و سختی است.

کدورت آب زیر صافی - اختلاف کدورت (ظرفیت مواد چسبناک ثانویه)

شکل ۳ تغییرات میزان کدورت را در حالت استفاده از روش های شیمیایی و فیزیکی در دو حالت pH = ۴ و خنثی (جدول ۲) نشان می دهد. با توجه به نتایج و همان طور که در نمودارها دیده می شود، در روش فیزیکی در مقایسه مراحل شستشو، شناورسازی، شستشو - شناورسازی و شناورسازی - شستشو با یکدیگر در تغییر میزان کدورت به جز در حالت شستشو در مقایسه با شستشو - شناورسازی در باقی مراحل اختلاف معنی دار وجود دارد. در روش شیمیایی با توجه به نتایج، استفاده از ۴ عامل تثبیت کننده (آلوم، پلی آلومینیوم کلراید، پلی دادمک، نشاسته کاتیونی) با سطح مصرف ۰/۱ درصد موجب اختلاف معنی دار در مقادیر کدورت شده است.



شکل ۲- تغییرات هدایت الکتریکی و سختی در روش فیزیکی و شیمیایی

Figure 2 - Changes in Electrical conductivity and TDS in physical and chemical methods

می یابد.

همچنین در سطح مصرف ۰/۱ درصد کمترین میزان کدورت مربوط به عامل تثبیت کننده پلی دادمک است و با افزایش سطوح مصرف این ماده با افزایش کدورت روبرو هستیم. pH بر حلالیت مواد محلول و کلوئیدی تأثیر می گذارد؛ هنگامی که pH کاهش می یابد، اسیدی شدن باعث می شود که مواد محلول و کلوئیدی به دلیل تغییر pH به شکل جامد درآمده و کدورت آب زیر صافی افزایش یابد. میزان مواد کلوئیدی در pH = ۴ در مقایسه با pH خنثی (جدول ۲) بیشتر می باشد. اختلاف میزان کدورت در حالت pH خنثی و pH = ۴ در جدول ۳ و ۴ قابل مشاهده است. pH بر حلالیت مواد محلول و کلوئیدی تأثیر می گذارد.

در سطوح مصرف ۱ و ۰/۵ درصد از عوامل تثبیت کننده مشاهده می شود که بین نشاسته کاتیونی در مقایسه با پلی دادمک و آلوم در مقایسه با پلی آلومینیوم کلراید اختلاف معنی داری وجود ندارد و در باقی حالت ها در سطح مذکور اختلاف معنی دار وجود دارد. کدورت معیاری از مواد کلوئیدی در خمیر کاغذ است. در نمودار شکل ۳ روش فیزیکی مشاهده می شود که مرحله شناورسازی به تنهایی کارایی لازم را در کاهش میزان کدورت ندارد و میزان مواد محلول و کلوئیدی آب زیر صافی آن میزان زیادی است و در حالت استفاده از مرحله شناورسازی - شستشو کمترین میزان کدورت مشاهده می شود. در روش شیمیایی با افزایش سطح مصرف عوامل تثبیت کننده آلوم و پلی آلومینیوم کلراید میزان کدورت کاهش

دهند. در روش فیزیکی، مرحله شناورسازی بالاترین حد احتمال مواد چسبناک ثانویه بالقوه و شستشو پایین ترین حد احتمال را به خود اختصاص می دهند. در روش شیمیایی آلوم در سطح مصرف ۰/۵ درصد کمترین میزان مواد چسبناک بالقوه و در سطح مصرف ۱ درصد نشاسته کاتیونی بالاترین میزان احتمال وجود مواد چسبناک ثانویه بالقوه را داراست.

هنگامی که pH کاهش یابد کدورت آب افزایش یافته و آلاینده های محلول قابل مشاهده می شوند که تحت عنوان مواد چسبناک بالقوه نام دارند؛ به طوری که نسبت به بقیه تیمارها هر چه عدد اختلاف دارای میزان بزرگ تری باشد، نشان دهنده این است که آن دسته از مواد محلول و کلوئیدی که هنوز به مواد چسبناک ثانویه تبدیل نشده اند، ظرفیت این کار را دارند. به طوری که این ظرفیت را با افزایش عدد اختلاف کدورت در حالت pH خنثی و pH=4 نشان می

جدول ۳- تغییرات اختلاف کدورت محاسبه شده (ظرفیت مواد چسبناک ثانویه) در روش فیزیکی نسبت به کدورت اولیه

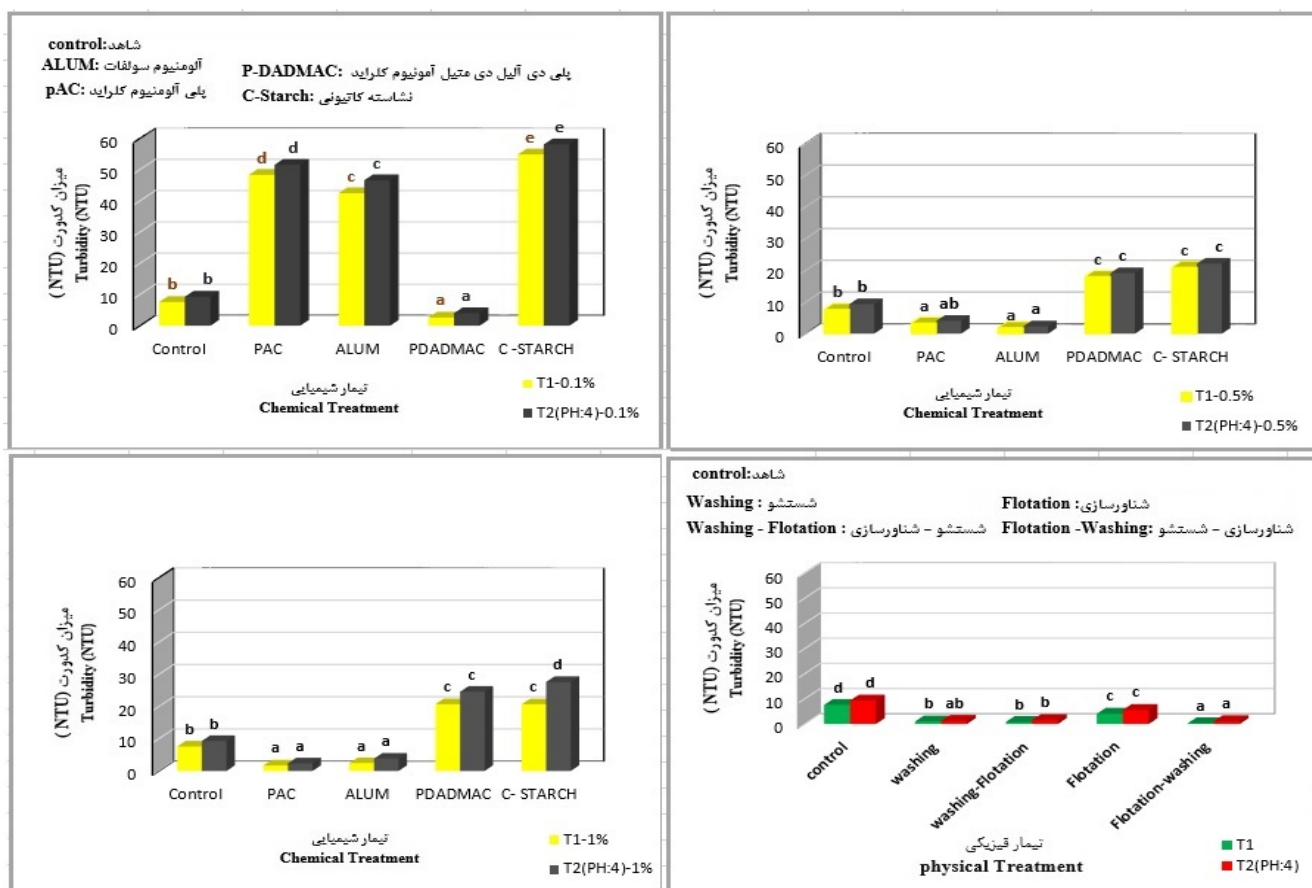
Table 3- Changes calculation turbidity difference (potential secondary stickies) in the physical method compared to the primary turbidity

روش های فیزیکی Physical methods	کدورت (NTU) turbidity	اختلاف کدورت (NTU) difference turbidity
شستشو Washing	1.03	0.23
شستشو - شناورسازی Washing - flotation	0.83	0.70
شناورسازی flotation	4.1	1.46
شناورسازی - شستشو Flotation - washing	0.3	0.83

جدول ۴- تغییرات اختلاف کدورت محاسبه شده (ظرفیت مواد چسبناک ثانویه) در روش شیمیایی نسبت به کدورت اولیه

Table 4- Changes calculation turbidity difference (potential secondary stickies) in the chemical method compared to the primary turbidity

روش شیمیایی (تثبیت کننده) chemical method (fixing)	کدورت (NTU) - سطح مصرف dosage(%) - turbidity(NTU)			اختلاف کدورت (NTU) - سطح مصرف Difference turbidity (NTU) - dosage (%)		
	0.1	0.5	1	0.1	0.5	1
Polyaluminum chloride پلی آلومینیوم کلراید	48.3	3.3	1.7	3.23	0.7	0.66
Aluminum sulfate آلومینیوم سولفات	42.43	1.83	2.43	4.13	0.46	1.4
Polydiallyl dimethyl ammonium chloride پلی دی آلایل دی متیل آمونیوم کلراید	2.6	17.96	20.73	1.43	1.1	3.93
Cationic starch نشاسته کاتیونی	54.86	20.86	20.7	3.2	1.23	6.93



شکل ۳- تغییرات میزان کدورت در روش‌های فیزیکی و شیمیایی
 Figure 3- Changes turbidity in physical and chemical methods

میانگین بدست آمده در سطح مصرف ۰/۱ درصد قابل مشاهده است. کمترین میزان مواد محلول و کلوئیدی (۱/۳ میلی‌گرم) در حالت pH=۴ و خنثی با عامل تثبیت‌کننده پلی‌دادمک در سطح مصرف ۰/۱ درصد بدست آمد.

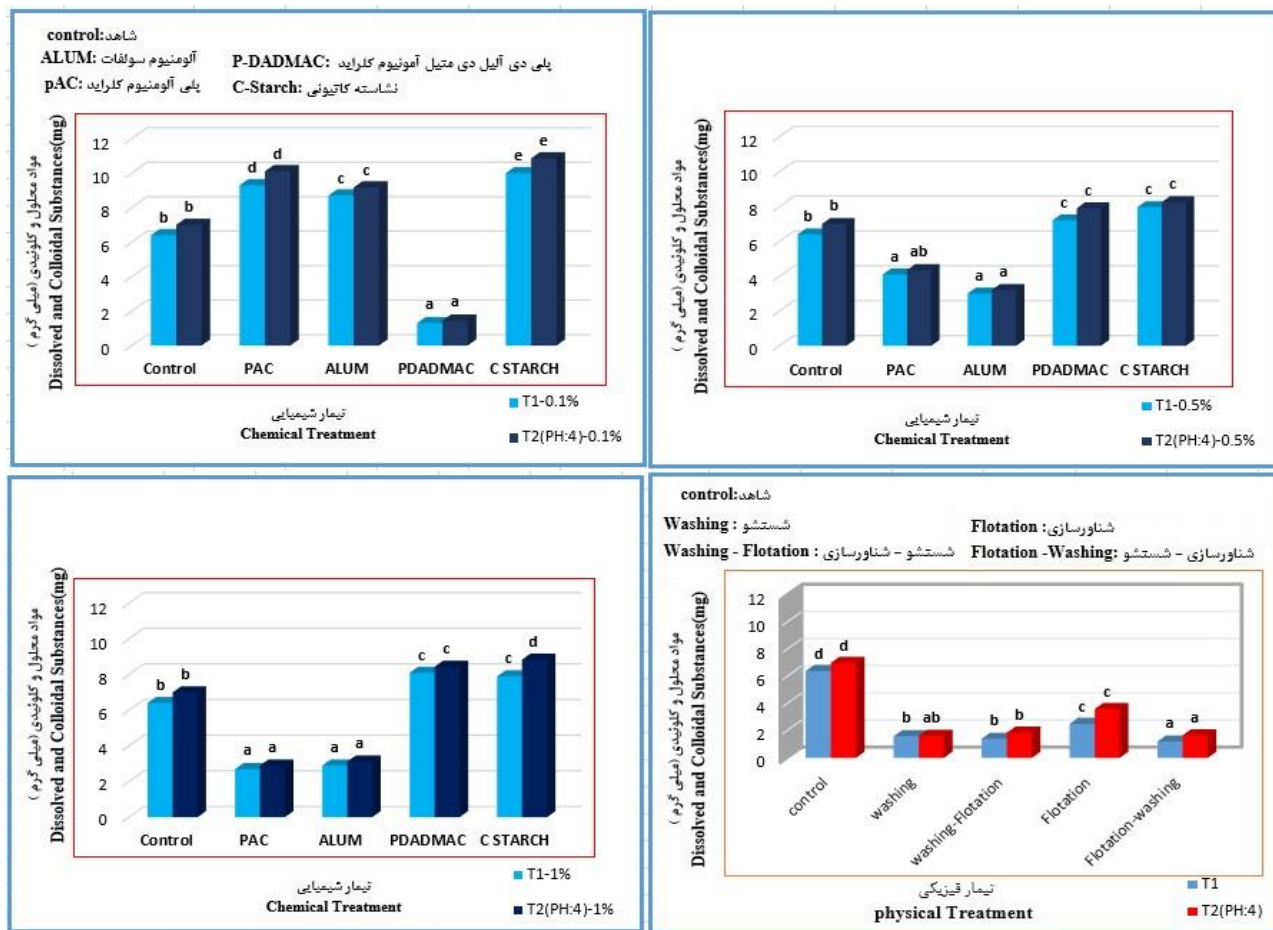
نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی

در شکل ۵ تغییرات میزان نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی آب زیر صافی در اثر تیمار فیزیکی و شیمیایی نشان داده شده است. نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی آب زیر صافی نمونه شاهد با مقدار ۱۰۶۹/۲۶ میلی‌گرم بر لیتر بالاترین مقدار است. با توجه به نتایج، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر میانگین به‌دست آمده در روش فیزیکی قابل مشاهده است و بهترین عملکرد در کاهش نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی

مقدار مواد محلول و کلوئیدی آب زیر صافی نتیجه تغییرات مقدار مواد محلول و کلوئیدی در اثر تیمار شیمیایی و فیزیکی در pH=۴ و خنثی (جدول ۲)، در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، در روش فیزیکی پایین‌ترین مقدار مواد محلول و کلوئیدی (۱/۲ میلی‌گرم) در حالت pH خنثی و pH=۴ مربوط به مرحله شناورسازی - شستشو بوده و همان طور که مشاهده می‌شود در pH خنثی بین حالت شستشو در مقایسه با شستشو - شناورسازی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در سطوح مصرف ۱ و ۰/۵ درصد از عوامل تثبیت‌کننده مشاهده می‌شود که بین نشاسته کاتیونی در مقایسه با پلی‌دادمک و آلوم در مقایسه با پلی‌آلومینیوم کلراید اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به نتایج، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر

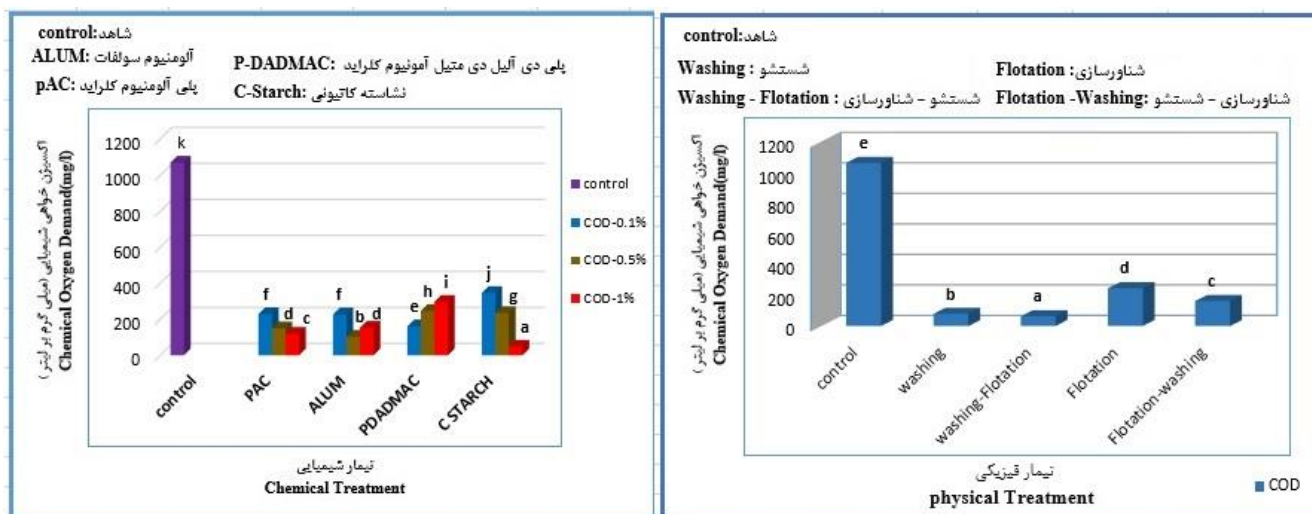
داشت. در حالت استفاده از سطح مصرف ۱ درصد میزان نیاز اکسیژن خواهی نشاسته کاتیونی (۴۸/۳۱ میلی گرم بر لیتر) در پایین ترین سطح بود.

(۶۴/۱ میلی گرم بر لیتر) در مرحله شستشو - شناورسازی به دست آمده است. در روش شیمیایی در هر سه سطح مصرف از عوامل تثبیت کننده به جز سطح مصرف ۰/۱ درصد (آلوم و پلی آلومینیوم کلراید) اختلاف معنی دار وجود



شکل ۴- تغییرات مقدار مواد محلول و کلوئیدی در روش های شیمیایی و فیزیکی

Figure 4- Changes dissolved and colloidal substances (DCS) in chemical and physical methods



شکل ۵- تغییرات میزان نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی در روش های فیزیکی و شیمیایی
 Figure 5- Changes of chemical oxygen demand in physical and chemical methods

بحث

شستشو در کمترین حالت بود و مرحله شناورسازی بالاترین حد احتمال مواد چسبناک بالقوه را به خود اختصاص داد. زیاد بودن کدورت و ظرفیت مواد چسبناک ثانویه در مرحله شناورسازی، احتمالاً به دلیل عدم توانایی این روش در حذف آلاینده های ریز است. هرچند شناورسازی در حذف مواد چسبناک بسیار مؤثر است. اما پژوهش های انجام شده نشان می دهد که کارایی شناورسازی برای حذف مواد چسبناک به پارامترهای مختلف از قبیل شکل، اندازه و ویژگی های سطحی مواد چسبناک و پارامترهای هیدرودینامیکی وابسته است. (Chakrabarti *et al.*, 2011). به طور کلی در این بخش، مواد چسبناک ثانویه، مواد محلول و کلوئیدی مانند ذرات چسب های لاتکس و مواد استخراجی چوب هستند که هنوز به مواد چسبناک تبدیل نشده اند، اسیدی شدن و تغییر شکل به جامد را با افزایش کدورت نشان می دهند (Sarja *et al.*, 2006). در مورد نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی نیز مرحله شستشو - شناورسازی کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. مواد محلول و کلوئیدی شامل اجزای آلی مانند همی سلولزها، پکتین ها، لیگنان ها و لیگنین ها هستند که عوامل اصلی نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی می باشند و این نشان دهنده این است که در مایع زیر صافی حاصل از شستشو و شستشو - شناورسازی و شناورسازی - شستشو نسبت به مرحله شناورسازی میزان

کنترل مواد چسبناک بر پایه راهبردهای مختلفی انجام می شود، در این پژوهش از روش فیزیکی و شیمیایی برای انجام این کار استفاده گردید. روش فیزیکی که راهبرد حذف را دنبال می کند، به حالت شستشو، شستشو - شناورسازی، شناورسازی و شناورسازی - شستشو انجام شد. برای ممانعت از رسوب مواد چسبناک باقی مانده از تثبیت کننده های پلیمری (آلوم - پلی آلومینیوم کلراید - پلی دادمک و نشاسته کاتیونی) استفاده شد. همان طور که در بخش نتایج مربوط به روش فیزیکی مشخص شد کمترین میزان سختی، هدایت الکتریکی در مرحله شناورسازی - شستشو و بیشترین سختی، هدایت الکتریکی در روش شناورسازی به تنهایی مشاهده شد. این نتایج، منطقی هستند. در فرایندهای فیزیکی، حضور عامل آب به عنوان بخش اصلی دو فرایند شستشو و شناورسازی تأثیر مستقیمی بر کاهش این دو ویژگی دارد. همچنین فرایندهایی که از دو سیستم شناورسازی و شستشو به صورت ترکیبی استفاده کرده اند به دلیل ذکر شده کمترین مقادیر این دو فاکتور را نشان داده اند. در مقابل نیز بیشترین مقدار در فرایند شناورسازی ثبت شده است که نسبت به فرایند شستشو از آب کمتری استفاده می کند. کمترین مقدار کدورت در مرحله شستشو - شناورسازی و شستشو و احتمال وجود ظرفیت مواد چسبناک ثانویه در مرحله

اجزای آلی مواد محلول و کلوئیدی کمتر است و این حالت در شستشو - شناورسازی کمترین مقدار خود را داراست، این نتیجه همانند نتایج هدایت الکتریکی تفسیر می‌شود. وجود فرایند شستشو در تمامی تیمارهای ذکر شده به معنای رقیق شدن آب زیر صافی است. این بدان معناست که در آزمون اکسیژن‌خواهی در حجم مشخصی از آب زیر صافی مقادیر کمتری از اجزای آلی محلول و کلوئیدی وجود دارد. این در حالی است که در شناورسازی این گونه نیست. در جداسازی مواد چسبناک به روش فیزیکی تنها بخشی از مواد چسبناک جدا می‌شود و این روش‌ها به‌ویژه برای حذف ذرات میکرو و کلوئیدی به‌تنهایی کافی و مؤثر نبوده و از روش‌های کنترل شیمیایی در کنار این فرایندها برای کنترل بهتر مواد کلوئیدی استفاده می‌شود، در بین این مواد، مواد پلیمری تثبیت‌کننده که دارای شارژ کاتیونی بالا و وزن مولکولی نسبتاً پایین هستند و بیشتر برای خنثی‌سازی شارژ منفی ترکیبات محلول و کلوئیدی و تثبیت آنها بر روی الیاف بکار می‌روند استفاده می‌شوند. یک تثبیت‌کننده کارآمد بایستی ذرات کلوئیدی را قبل از اینکه با یکدیگر آگلومره (دلمه) شوند بر روی الیاف تثبیت کنند. برای این منظور، استفاده از تثبیت‌کننده مناسب و استفاده از آن در سطح مصرف مناسب بسیار مهم است. استفاده از مواد تثبیت‌کننده در غلظت‌های بالاتر به‌ویژه به دلیل قیمت آنها کاملاً موجه نیست و افزودن مقدار بهینه تثبیت‌کننده با توجه به نوع آن متفاوت است (Lancour, 1986). در روش شیمیایی نشاسته کاتیونی ۱٪ دارای پایین‌ترین مقدار هدایت الکتریکی و سختی می‌باشد. به نظر می‌رسد ساختار شیمیایی افزودنی‌ها در ثبت این نتایج تأثیرگذار باشند. تمام افزودنی‌ها به‌جز نشاسته کاتیونی از ساختارهای حاوی یون‌های فلزی و ساختارهای مولکولی کوچک‌تر بهره می‌برند که در محیط آب بیشتر ساختار یونی را تشدید کرده و هدایت الکتریکی را افزایش می‌دهند. نتایج حاصل از استفاده از منعقدکننده سولفات آلومینیوم بیانگر آن است که با کاهش pH در دو سطح مصرف ۰/۵ و یک درصد، کارایی سولفات آلومینیوم در حذف کدورت افزایش یافت. بهترین شرایط برای منعقدکننده آلوم در pH ۶-۷ اتفاق می‌افتد که به دنبال آن کدورت هم کاهش می‌یابد. بعد از نشاسته

کاتیونی با سطح مصرف ۱٪، کمترین مقدار COD در حالتی است که از آلوم با سطح مصرف ۰/۵ درصد استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت بهینه مصرف آلوم در سطح مصرف ۰/۵ درصد بود که در این حالت کمترین میزان کدورت و کمترین میزان ظرفیت مواد چسبناک ثانویه و COD مشاهده می‌شود. در ارتباط با کاربرد منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید، نتایج حاصل حکایت از آن دارد که با افزایش سطح مصرف با کاهش pH، افزایش سختی و هدایت الکتریکی، کاهش میزان کدورت و مقدار مواد کلوئیدی و محلول و کاهش ظرفیت مواد چسبناک ثانویه روبرو هستیم. بهینه‌ترین حالت از لحاظ کدورت و نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی در هنگام استفاده پلی‌آلومینیوم کلراید در سطح مصرف یک درصد می‌باشد. این منعقدکننده حساسیت کمتری به تغییرات pH دارد. نتایج مربوط به استفاده از پلی دادمک نشان می‌دهد که با افزایش سطح مصرف، مقدار pH روند افزایشی داشت، میزان کدورت نیز افزایش یافته و تفاوت زیادی بین سطح ۰/۱ و یک درصد وجود داشت. در سطح مصرف ۰/۱ درصد میزان کدورت در pH خنثی و کدورت در pH = ۴ و مقدار مواد کلوئیدی و محلول و میزان COD در کمترین حالت خود نسبت به دو سطح مصرف دیگر قرار داشتند و تنها در سطح مصرف ۰/۵ درصد ظرفیت مواد چسبناک ثانویه کم بود. پلی‌دادمک مواد چسبناک را دربرگرفته و بار آنها را خنثی می‌کند. در حضور الیاف، شکل پلی‌دادمک به صورت الیاف، ماده چسبنده و فلاکولانت نشان داده می‌شود (Husovska, 2013). با افزایش سطوح مصرف در نشاسته کاتیونی روند نامنظمی در pH مشاهده شد، هدایت الکتریکی و سختی کاهش یافت، میزان کدورت و مقدار مواد محلول و کلوئیدی در سطح مصرف یک درصد کاهش یافت. مقدار COD در سطح مصرف یک درصد پایین‌ترین مقدار خود را در میان سه سطح مذکور داشت. میزان کدورت مایع زیر صافی معیاری از مواد کلوئیدی و محلول در سوسپانسیون خمیر کاغذ است. مقدار pH بر ثبات الکتروستاتیکی ذرات کلوئیدی اثر گذاشته و افزایش آن موجب پایداری ذرات می‌شود (Gantenbein et al., 2010). هم در روش شیمیایی و هم فیزیکی میزان کدورت و مقدار مواد محلول و کلوئیدی در pH =

قرار می‌دهد که باعث افزایش برخورد بین ذرات شده و باعث شفافیت آب گردد و شفاف‌سازی می‌تواند به‌عنوان معیاری از ارزیابی اثربخشی افزودنی استفاده شود (Gupta et al., 1998). کاهش COD نشان‌دهنده حذف ذرات آلی با بار منفی است که با تعریف مواد مضر مطابقت دارد، در این مرحله باید توجه داشت که حذف مواد استخراجی چوب (حتی به مقدار بسیار کم) به‌طور قابل توجهی به کاهش COD کمک می‌کند. این مقدار COD نشان‌دهنده حذف مواد آلی کلئیدی است. این نتایج همراه با نتایج اندازه‌گیری غلظت اسیدهای رزینی، لیگنین و کربوهیدرات کل مطابق با پیشنهاد برخی نویسندگان است که ادعا می‌کنند که این اجزا روی سطح ذرات کلئیدی قرار دارند و اگر ذرات کلئیدی با تثبیت‌کننده‌ها حذف شوند، این امر باید منجر به کاهش غلظت لیگنین - کربوهیدرات کل و اسیدهای رزینی شود. به‌طور کلی همان‌طور که بیان شد مبحث استفاده از ترکیبات شیمیایی در تثبیت آلاینده‌های چسبناک درون خمیرکاغذ به فاکتورهای متعددی وابسته است. از قبیل شارژ بار این مواد ساختار شیمیایی پلیمری یا غیرپلیمری، درجه پلیمریزاسیون ترکیبات پلیمری، به شدت هم زدن و اختلاط این مواد در سوسپانسیون وابسته است. با این حال اختلاط موادی نظیر آلوم و پلی آلومینیوم کلراید در دوره‌های شدید از عملکرد صحیح این مواد در کنترل مواد چسبناک کاسته و افزایش شدت هم زدن، اتصال مواد چسبناک با این مواد را تخریب و کاهش می‌دهد. بعکس عملکرد مواد پلیمری مانند نشاسته کاتیونی که از وصله‌زنی یا پل‌زنی برای اتصال مواد چسبناک استفاده می‌کنند در شدت‌های هم زدن زیاد بهتر بوده و به‌راحتی اتصال ایجاد شده تخریب نمی‌شود و به مواردی از این قبیل وابسته است. در مجموع، تثبیت یک روش کارآمد برای حذف مواد مضر از آب فرایند کاغذسازی است. بازدهی حذف پایین مواد محلول و غیرمحلول را می‌توان این‌گونه توضیح داد که این دو پارامتر هم شامل مواد آلی و هم غیرآلی هستند، اما عوامل تثبیت‌کننده عمدتاً مواد مضر آلی را حذف می‌کنند (Ravnjak et al., 2003).

۴ بیشتر از pH خنثی بود. PH بر حلالیت مواد محلول و کلئیدی تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که با افزایش pH حلالیت مواد چسبناک حاصل از مشتقات ترکیبات چوبی و دارای ساختار کربوکسیلی افزایش و مقدار مواد محلول افزایش می‌یابد (Sarja et al., 2004). در نتیجه در حالتی که pH در حالت خنثی یا قلیایی باشد، میزان مواد کلئیدی در محلول کم بوده و کدورت عدد کمتری را نسبت به حالتی که pH کاهش یافته باشد نشان می‌دهد. در حالتی که pH کاهش یابد، مواد محلول و کلئیدی در آب به دلیل تغییر pH به شکل جامد درمی‌آید و آلاینده‌های محلول قابل مشاهده می‌شوند، در این حالت کدورت افزایش می‌یابد (Arthur Lee, 2012). در مورد روش‌های شیمیایی افزایش مقدار مواد محلول و کلئیدی در آب زیر صافی، این موضوع نشان‌دهنده این است که عامل تثبیت‌کننده اثر کمی بر روی تثبیت مواد چسبناک کلئیدی به الیاف داشته و باعث پراکندگی دوباره مواد محلول و کلئیدی و افزایش مقدار مواد محلول و کلئیدی و به‌دنبال آن افزایش میزان کدورت می‌شود (Azadfallah et al., 2018). مواد چسبناک بالقوه، آن دسته از مواد محلول کلئیدی هستند که هنوز به مواد چسبناک ثانویه تبدیل نشده‌اند، اما ظرفیت این کار را دارند. این مواد ممکن است به‌عنوان آلاینده‌های کاغذ باطله یا مواد شیمیایی مورد استفاده در فرایند کاغذسازی و چسب‌های پراکنده در آب، لاتکس و مواد استخراجی چوب باشند که باعث افزایش کدورت می‌شوند. از این‌رو افزایش pH به کنترل رسوب چسبناک و کاهش میزان کدورت کمک می‌کند (Dai & Ni, 2010). با توجه به اسیدی بودن محیط در pH=۴ ذرات ناپایدار بوده و تمایل به دلمه شدن و رسوب دارند و با افزایش pH حلالیت افزایش می‌یابد (Sarja et al., 2004). یکی از معیارهای پلیمر کاتیونی خوب، توانایی آن در تجمع و جداسازی مواد چسبناکی است که در شبکه به دام افتاده و خارج‌سازی آن از سیستم است. ذرات چسبناک دارای بار منفی هستند. اگر دو ذره به اندازه کافی باهم برخورد کنند تا بر دافعه متقابل خود غلبه کنند، تجمع رخ می‌دهد و این تجمع تا نقطه‌ای رشد می‌کند که بی‌ثبات می‌شود و کدورت آب کاهش می‌یابد. از این‌رو یک افزودنی خوب آب را در شرایط متلاطم

- spectroscopy in the pulp and paper industry. *Encyclopedia of analytical chemistry*, 10, 8361-8388.
- Liu, H., Li, M., Zhu, K., Ma, H., Wu, Y., Wang, Z. and Wang, S., 2020. Analysis of dissolved and colloidal substances in old corrugated containers' whitewater and dissolved substances' impact on colloidal substances' stability. *BioResources*, 15(3), 6668-6679.
- 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.
- Negro, C., Blanco, A., Garcia-Suarez, C., Garcia-Prol, M., Miranda, R. and Tijero, J., 2005. Stickies control a challenge to increase paper recycling. In Abstract of Papers of seventh World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration.
- Ravnjak, D., Zule, J. and Moze, A., 2003. Removal of detrimental substances from papermaking process water by the use of fixing agents. *Acta Chim Slov*, 50, 149-158.
- Sarja, T., MacNeil, D., Messmer, M., Reunanen, M. and Niinimäki, J., 2006. Analysis of stickies in deinked pulp. Part II: Distribution of stickies in deinked pulp. *Professional papermaking*, 15-19.
- Sarja, T., Zabihian, M., Kourunen, P. and Niinimäki, J., 2004. New method for measuring potential secondary stickies in deinked pulp filtrates. *Water Science and Technology*, 50(3), 207-215.
- Soong, G., 2002. Assessment of various physiochemical treatments for the removal of dissolved and colloidal substances present in the TMP/Newsprint white waters and fungal enzymatic treated white water (Doctoral dissertation, University of British Columbia), 123 pages.
- Wang, L. J., Chen, F.S. and Zhou, L.J., 2006. Performance of fixing agents in controlling micro-stickies in recycled newsprint pulp. In *Proceedings of the Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry Conference* (pp. 111-116). Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
- Wang, Y., Ni, J., Chen, C., Peng, J. and Liu, H., 2014. Anionic trash control in high-yield pulp (HYP) containing furnish by using a poly-DADMAC based commercial formulation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6), 4452-4456.
- Xiu, H., Li, J., Wang, H. and Ji, Y., 2014. Application of PEI and PAC as Anionic Trash Catcher to Improve the Paper Properties of Aspen APMP Containing Furnish-a Case Study. 26 94), 52-57.
- ### منابع مورد استفاده
- Ahmadi Ladjimi, A., Azadfallah, M., Rahmaninia, M. and Hamzeh, Y., 2018. 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), 256-269.
- Arthur Lee, R., 2012. The stability of wood resin colloids in paper manufacture. Ph.D Thesis, School of chemistry, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia, 228 pages.
- Chakrabarti, S.K., Verma, P., Tripathi, S., Barnie, S. and Varadhan, R., 2011. Stickies: management and control. *IPPTA*, 23(2), 101-107.
- 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.
- 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.
- Gupta, P., Hodgson, K. T., Garner, A. E. and Heindel, T.J.T., 1998. Characterization of stickie contaminants from OCC recycle mills. *IPST Technical Paper Series Number 743*, Institute of Paper Science and Technology Atlanta, Georgia. TAPPI Pulping Conference Montreal, Quebec, Canada, October 25-29, 1-11.
- Holbery, J.D., Wood, D.L. and Fisher, R.M., 2000. Analysis and characterization of contaminants in OCC recycle furnishes. *Tappi J*, 83(7): 1-11.
- Hubbe, M.A., Rojas, O.J. and Venditti, R.A., 2006. Control of tacky deposits on paper machines: a review. *Nord Pulp Pap Res J*, 21, 154.
- Huo, X., 2002. Adhesive contaminants (stickies): Characterization and their interaction with papermaking components during paper recycling. North Carolina State University.
- Husovska, V., 2013. Investigation of recycled paper deinking mechanisms, Dissertations, Graduate College, Western Michigan University, 208.
- Kanhekar, S.K., Agnihotri, P.K., Sharma, C. and Bansal, M.C., 2005. Effects of surfactants in flotation deinking of old newsprint. *IPPTA*, 3: 63-67.
- Lancour, G., 1986. Sticky control during pulping of secondary fibers. Paper Engineering Senoir Theses, Chemical and Paper Engineering, Western Michigan University, 313.
- Leclerc, D. F., 2000. Fourier Transform Infrared

Control of micro-stickies originated from recycling of Old Corrugated Containers (OCC) using some selected chemical and physical methods

Z. Razmpour^{1*}, Gh. Asadpour², H. Kermanian³, O. Ramezani⁴ and S.M. Zabihzadeh⁵

1*-Corresponding Author, Ph.D. Student of pulp and paper industry, Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari University, Iran, Email:Pa.razmpour@gmail.com

2-Associate Professor, Department of Wood and cellulose products. Faculty of Natural Resources, Sari university of Agricultural Sciences and Natural resources, Iran

3-Associate professor, Faculty of New Technologies and Aerospace Engineering of Shahid Beheshti University, Iran

4-Assistant professor, Faculty of New Technologies and Aerospace Engineering of Shahid Beheshti University, Iran

5-Associate Professor, Department of Wood and cellulose products. Faculty of Natural Resources, Sari university of Agricultural Sciences and Natural resources, Iran

Received: Oct., 2022

Accepted: Feb., 2023

Abstract

Efficient approaches to eliminate or neutralize stickies is one of the topics of recent research. In the current study, some of the most conventional chemical and physical strategies in controlling these contaminants were compared. Control of micro-stickies originated from recycling of OCC using some selected physical approaches (washing, washing-flotation, flotation-washing and flotation) and some selected chemical methods by four fixing agents (Alum-PAC-pDADMAC-Cationic Starch) at 0.1-0.5-1 % dosing levels based on oven-dry weight of pulp were investigated. Electrical conductivity, TDS, turbidity, dissolved and colloidal substances (DCS) and COD were measured and compared to evaluate the efficiency of each approaches of micro- stickies removal. The results indicated that the lowest value of electrical conductivity and TDS in the physical methods was related to the flotation-washing stage and in the chemical methods was related to cationic starch (1%). The lowest value of turbidity in the physical methods was observed in the washing and washing-flotation. Furthermore, the potential of secondary stickies was the lowest in the washing stage, while the flotation method had the highest potential of secondary stickies. Among the different dosing levels of the fixing agents, the lowest level of turbidity and DCS was determined for pDADMAC with 0.1% addition level, and the lowest potential of secondary stickies was observed for Alum with 0.5% dosage. Both in the physical and chemical methods, turbidity and DCS at pH4 was more than neutral pH. In the chemical approach with cationic starch dosage at 1% and in the physical method with the washing-flotation stage, the lowest amount of COD was reached

Keywords: Recycling, flotation, turbidity, stickies, colloidal substances.