

بررسی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در پالایش آلاینده‌های زیست محیطی

پساب کارخانه کاغذسازی

نوشین بیرجندی^۱

nbirjandi86@yahoo.com

حبیب الله یونسی^{*۲}

نادر بهرامی^۳

مجتبی هادوی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۱۸

چکیده

پساب‌های کارخانه کاغذسازی از آلوده‌ترین پساب‌های صنعتی است. ترکیبات پیچیده پلیمری موجود در چوب درختان مانند لیگنین و نیز مشتقات آن از مهم‌ترین ترکیبات آلاینده این پساب‌ها می‌باشد. این پساب باعث تولید لجن، کف و از بین رفتن زیبایی محیط زیست می‌شود هم‌چنین میزان مواد سمی را در آب افزایش داده و موجب مرگ ماهیان و زئوپلانکتون‌ها می‌گردد. در این تحقیق اثر ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید (PACl) جهت کاهش غلظت آلاینده‌های زیست محیطی پساب کارخانه کاغذسازی مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور کاهش آلاینده‌ها کمیت و کیفیت پساب بررسی شد. این مطالعه نشان داد که پساب کارخانه مذکور دارای اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) ۳۵۲۳ میلی گرم بر لیتر و کدورت برابر ۸۷۲ می‌باشد. آزمایش‌های لازم برای حذف آلاینده‌ها طی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی انجام پذیرفت و پارامترهای کدورت، کل جامدات (TS)، COD، pH، بهینه و غلظت بهینه ماده منعقد کننده PACl اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به دست آمده، غلظت PACl ۷۸۵ میلی گرم بر لیتر و pH اولیه پساب برابر ۷ بهینه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که ماده منعقدکننده PACl قادر است ۹۰ درصد TS، ۸۸ درصد COD و ۹۳ درصد کدورت پساب کارخانه کاغذسازی را کاهش دهد که از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشند.

کلمات کلیدی: پساب کاغذسازی، آلاینده‌های زیست محیطی، ماده منعقدکننده، PACl، کدورت، COD

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس^(مسئول مکاتبات).

۳- استادیار، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۴- دانشجوی دکترا مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

مقدمه

امروزه در دنیای پیشرفته تکنولوژی، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اساسی در صنایع، تلاش در جهت حفظ محیط زیست و کاهش میزان بار آلودگی ورودی به اکوسیستم طبیعی می‌باشد. به همین منظور مقررات زیست محیطی مختلفی در مورد پساب‌های صنعتی وجود دارد که مطابق آن‌ها پساب‌های صنعتی باید قبل از تخلیه به آب‌های عمومی و ورود به محیط زیست، استانداردهای معینی از خلوص را دارا باشند (۱). پساب‌های صنایع کاغذسازی و بازیافت کاغذ با داشتن آلاینده‌ها و ترکیبات رنگ‌زای مختلف، یکی از آلوده‌ترین پساب‌ها می‌باشند (۲). این پساب‌ها به علت دارا بودن آلاینده‌های مختلف، علاوه بر رنگ بسیار بالا، روی زندگی موجودات آبی و زیبایی محیط زیست، اثرات نامطلوبی به جا می‌گذارند. واحدهای زیادی از چوب و کاغذ در سراسر جهان، برای تامین نیازهای روز افزون به محصولات متنوع کاغذ وجود دارند و تخمین‌ها نشان داده است که مصرف کاغذ به شدت در حال افزایش است (۳).

صنعت کاغذسازی یک واحد عملیاتی پیچیده و با تأثیرات متقابل فراوان می‌باشد که آشفته‌گی در یکی از بخش‌های آن، شاید بیش از حد انتظار روی دیگر بخش‌ها تأثیر گذار باشد. مسئله کاهش بار آلودگی پساب‌های کاغذسازی و حذف رنگ از این پساب‌ها، موضوع مطالعات و تحقیقات در سال‌های اخیر شده است. با به کار گیری شیوه مناسب جهت تصفیه این پساب‌ها علاوه بر جلوگیری از مشکلات آلودگی، با استفاده مجدد پساب تولیدی می‌توان در کاهش مصرف آب گام مؤثری برداشت (۱). پساب کارخانه کاغذسازی شامل مقادیر قابل توجهی مواد آلاینده است که به وسیله میزان BOD (Biological oxygen demand)، COD (Chemical oxygen demand)، SS (Suspended solids) سمیت و رنگ مشخص می‌گردند (۴). این پساب حاوی مقادیر COD، BOD و نسبت COD/BOD بالاست. pH اسیدی، بوی شدید و رنگ قهوه‌ای نیز از دیگر مشخصات این پساب‌ها است (۵).

صنایع کاغذسازی از عمده‌ترین صنایعی هستند که در فرآیند تولید، مقادیر زیادی آب مصرف می‌کنند به گونه‌ای که ۶۰ متر مکعب آب شیرین برای تولید یک تن کاغذ مصرف می‌شود. در طی تولید کاغذ، حجم زیادی پساب تولید می‌شود (حدود ۲۰-۷۰ متر مکعب پساب به ازای یک تن کاغذ). به طور کلی هر واحد کاغذسازی که روزانه ۵۰۰ تن کاغذ تولید می‌کند، می‌تواند ۲۰ میلیون گالن در روز پساب تولید نماید (۶). پساب‌های کارخانه کاغذسازی دارای حجم زیاد و آلودگی بسیار بالایی هستند و فرآیند تصفیه این پساب‌ها به خاطر تعدد آلاینده‌ها و پیچیدگی ساختمان شیمیایی آن‌ها یکی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین فرآیندهاست و این پساب‌ها باعث مسائل زیست محیطی جدی می‌شوند. واحدهای تولید خمیر کاغذ و رنگبری آن، منابع اصلی و عمده آلودگی پساب‌های کاغذسازی می‌باشند که با وجود حجم کم، قسمت اعظم آلودگی فاضلاب‌های کاغذسازی را تشکیل می‌دهند و پساب‌های خروجی از عملیات‌های تولید و رنگبری خمیر کاغذ شامل غلظت بالایی از ترکیبات آلی مقاوم می‌باشند (۱).

به سبب قابلیت تجزیه زیستی اندک بسیاری از رنگ‌ها، تصفیه زیستی پساب همیشه مؤثر نیست. بنابراین به خصوص برای حذف رنگ، مواد شیمیایی و جاذب‌های مختلف به طور مستقیم به سیستم لجن فعال اضافه می‌شوند (۷). برای رنگ‌زدایی فاضلاب‌های صنعتی روش‌های متفاوتی وجود دارد مانند: اکسیداسیون شیمیایی، انعقاد و لخته‌سازی، روش‌های الکتروشیمیایی، تبادل یونی، فرآیند جذب سطحی، فرآیندهای غشایی، احیای شیمیایی و تصفیه بیولوژیکی که البته حجم بالای پساب‌های کاغذسازی و نیز وجود بعضی از ترکیبات خاص در آن‌ها، کاربرد بعضی از این روش‌ها را در تصفیه و رنگ‌زدایی این نوع پساب‌ها مشکل می‌سازد (۱). تصفیه فیزیکی- شیمیایی فاضلاب شامل تصفیه مقدماتی از قبیل منعقدسازی- شناورسازی، رسوب گذاری و جابه‌جایی لجن می‌باشد. تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته از قبیل فیلترهای زیستی یا لجن فعال نیز در مراحل بعدی می‌تواند به کار رود (۸). پلی آلومینیوم

آلاینده‌های آن به حد استاندارد زیست محیطی حاصل نشده است لذا امید است با انجام این تحقیق موفقیتی در این امر حاصل شود.

روش بررسی

پساب به کار رفته در این تحقیق از خروجی نهایی فاضلاب کارخانه کاغذسازی افرنگ شهرستان نور تهیه گردید. این پساب قبل از تصفیه بیولوژیکی، تحت فرآیند تصفیه فیزیکی قرار گرفت. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این پساب در جدول ۱ آورده شده است.

کلراید (PACL) به نوعی از منعقدکننده‌ها گفته می‌شود که قدرت و سرعت بالایی در جداسازی و استخراج ناخالصی‌های آب دارند. در خصوص مزایای PACL به عنوان منعقدکننده موارد متعددی ذکر شده است که می‌توان گفت مهم‌ترین این امتیازها، قابلیت استفاده در دامنه‌های بسیار وسیع‌تری از کدورت و دمای آب است (۹).

در مطالعه حاضر پساب کارخانه کاغذسازی برای حذف آلاینده‌های زیست محیطی استفاده شده است. به علت این که پساب‌های کارخانه کاغذسازی آلاینده‌های زیادی برای محیط زیست دارند و در حال حاضر موفقیتی در کاهش و پالایش

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پساب کارخانه کاغذسازی

میزان	مشخصات
قهوه ای	رنگ
۶/۵	pH
۹۴۰	BOD (میلی گرم بر لیتر)
۳۵۲۳	COD (میلی گرم بر لیتر)
۳۲۶۰	TS (کل جامدات، میلی گرم بر لیتر)
۳۰۰۰	TDS (میلی گرم بر لیتر)
۲۶۰	TSS (میلی گرم بر لیتر)
۱۳۲۰	خاکستر (میلی گرم بر لیتر)
۸۷۲	کدورت (NTU)
۷۲/۸۶	فسفات (میلی گرم بر لیتر)
۵۰	سولفات (میلی گرم بر لیتر)
۱/۰۳	نیتрат (میلی گرم بر لیتر)
۰/۱	نیتريت (میلی گرم بر لیتر)
۱۰/۷	کلراید (میلی گرم بر لیتر)

هیدروکسید سدیم (NaOH) ۱/۰ نرمال و اسید سولفوریک (H₂SO₄) ۱/۰ نرمال استفاده شد. BOD، وزن جامدات کل و مقدار کل خاکستر بر طبق روش استاندارد آب و فاضلاب تعیین گردید. مقادیر فسفات، نیترات، نیتريت، کلراید و سولفات به روش فتومتر (Palintest 8000, England) اندازه‌گیری

ماده منعقد کننده مورد استفاده در این بررسی پلی آلومینیوم کلراید (PACl) بود که از شرکت مرک (Merck) (آلمان خریداری شد. pH در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله pH متر مدل (pc 300(cyberscan, Singapore) اندازه‌گیری شد. جهت تنظیم pH اولیه پساب کاغذسازی از

ظرف مخصوص اضافه شده و برای هضم به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه ترموراکتور قرار گرفت. بعد از خنک شدن ظرف، جذب محلول در طول موج ۶۰۰ nm توسط فتومتر خوانده شد و از روی منحنی کالیبراسیون، میزان COD تعیین گردید (۱۰).

نتایج و بحث

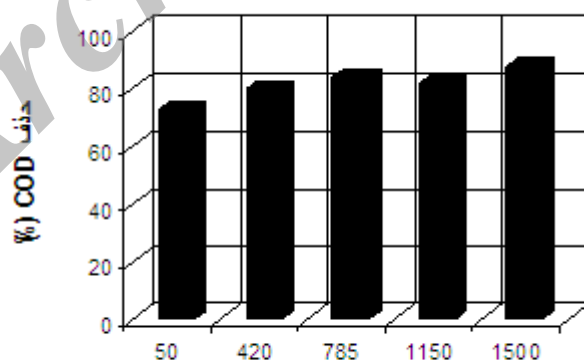
۱- تأثیر غلظت ماده منعقدکننده PACI در حذف

آلاینده‌ها

در فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی، کارایی حذف مواد آلی طبیعی (NOM) به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد که عبارتند از: pH، غلظت مواد منعقدکننده و نوع مواد منعقدکننده. در هر حال در بین این فاکتورها، pH و غلظت مواد منعقدکننده بیشترین تأثیر را در کارایی این فرآیند دارند (۱۲). در شکل ۱ درصد حذف COD پس از پساب بر حسب غلظت‌های مختلف PACI نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که افزایش غلظت PACI اثر کمی بر افزایش میزان حذف COD دارد و غلظت‌های خیلی بالا (بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سبب کاهش میزان حذف می‌شود.

شد (۱۰). مطالعات انعقاد و لخته‌سازی ابتدا با انتخاب یک نوع ماده منعقدکننده و در pH های مختلف (۲ تا ۱۲) جهت تعیین pH بهینه برای ماده منعقدکننده مزبور انجام گردید. سپس pH فاضلاب به pH بهینه که در بالا به دست آمده رسانده شد و به دنبال آن مقادیر مختلف ماده منعقدکننده به نمونه‌های مزبور افزوده شد و پساب و ماده منعقدکننده در دمای محیط ابتدا به مدت ۲ دقیقه با سرعت زیاد (۱۵۰ دور در دقیقه) سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت کم (۴۰ دور در دقیقه) مخلوط شده سپس محتویات هر یک به استوانه‌های مدرج انتقال داده شد و به مدت ۳۰ دقیقه به آن‌ها اجازه ته نشینی داده شد، بدین وسیله میزان بهینه ماده منعقدکننده تعیین گردید.

پس از تعیین میزان بهینه ماده منعقدکننده و pH بهینه آن، اقدام به آنالیز محلولهای منعقد شده گردید (۱۱). میزان کدورت با دستگاه کدورت سنج Eutech TB 100 اندازه‌گیری شده و با واحد NTU بیان شده است. اندازه‌گیری COD طبق روش رفلکس بسته به روش کالریمتری مطابق روش‌های استاندارد آزمایش آب و پساب انجام شد طبق این روش، واکنش‌گرهای COD به ۲/۵ میلی‌لیتر از نمونه در یک

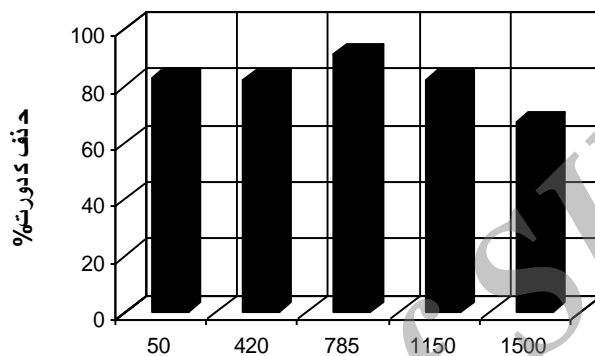


شکل ۱- اثر غلظت PACI (میلی‌گرم بر لیتر)

شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف PACI در حذف COD پساب

خنثی سازی است (۱۳). در غلظت‌های پایین با کاهش نیروهای الکترواستاتیکی توده‌های بیشتری شکل می‌گیرد که منجر به کاهش کدورت می‌شود. این پدیده می‌تواند به دلیل واکنش بین ذرات معلق کلونیدی موجود در پساب با ماده منعقدکننده PACI باشد (۱۲).

در شکل ۲ درصد حذف کدورت پساب بر حسب غلظت‌های مختلف PACI آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت‌های پایین PACI در حذف کدورت پساب بیشتر مؤثر است و می‌توان گفت با افزایش غلظت PACI، درصد حذف کدورت کاهش می‌یابد. در دزهای پایین PACI، تنها مکانیسم برای بی‌ثبات کردن ذرات کلونیدی،

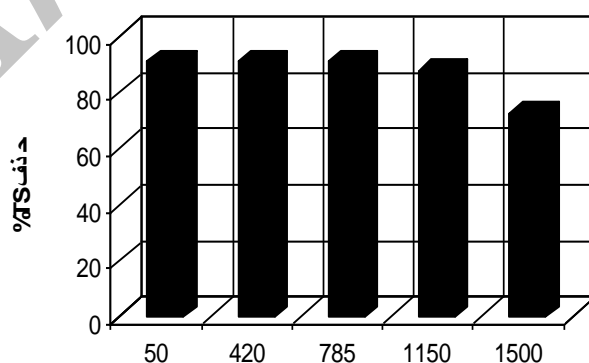


غلظت PACI (میلی گرم بر لیتر)

شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف PACI در حذف کدورت پساب

حدود ۸۶ درصد COD، ۹۶ درصد کدورت و ۹۰ درصد TS با به کار بردن ۷۸۵ میلی گرم بر لیتر PACI امکان پذیر است که با نتایج Ahmad و همکاران در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد.

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد میزان حذف TS و COD تا حدودی مشابه یکدیگر است، این موضوع ممکن است به دلیل حجم بالای جامدات معلق آلی موجود در پساب باشد (۶). به طور کلی یافته‌ها نشان دهنده این است که حذف



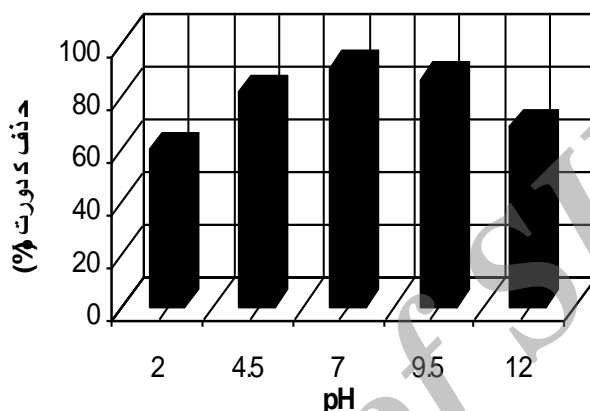
غلظت PACI (میلی گرم بر لیتر)

شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف PACI در حذف TS

۲- اثر pH اولیه پساب در حذف آلاینده‌ها

حضور ذرات آلومینیوم باعث خنثی سازی ذرات آنیونی آلاینده‌ها شده و ته‌نشین سازی بهتر انجام می‌شود از طرفی آلاینده‌های اصلی و مقاوم پساب کاغذسازی در شرایط اسیدی نامحلول هستند (۱).

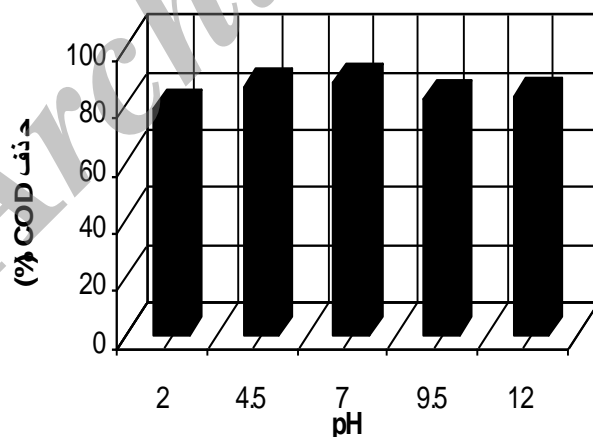
شکل‌های ۴ تا ۶ اثر pH اولیه پساب را بر روند حذف کدورت، COD و TS در غلظت ثابت PACI نشان می‌دهد. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که ماده منعقدکننده PACI در محدوده pH بین ۴ تا ۷ بهترین کارایی را دارد. مهم‌ترین دلیل برای چنین رفتاری این است که در pH پایین،



شکل ۴- اثر PH اولیه پساب در حذف کدورت

میزان از ۸۲ درصد به ۶۷ درصد کاهش می‌یابد (۶).

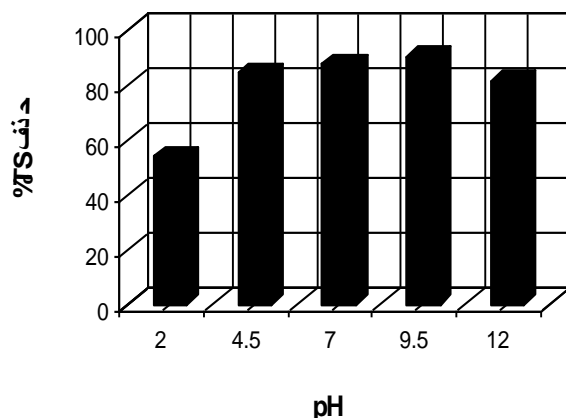
با توجه به شکل ۵، در pH های قلیائی (۷/۵ تا ۱۰) میزان حذف COD کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد به گونه‌ای که این



شکل ۵- اثر PH اولیه پساب در حذف COD

وجود دارد. بررسی نتایج مطالعات قبلی نیز حاکی از آن است که pH به نحو موثری بر انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی تاثیر گذار است (۱۴).

به طور کلی در pH بهینه برابر با ۷، حدود ۸۸ درصد COD، ۸۷ درصد TS و ۹۱ درصد کدورت پساب کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داده است که pH نقش موثری در فرآیند انعقاد داشته و در یک دامنه وسیع pH امکان عملیات انعقاد



شکل ۶- اثر PH اولیه پساب در حذف TS

نتیجه گیری

نمودند، کمال تشکر را داریم هم‌چنین از ریاست محترم دانشکده، جناب آقای دکتر حمید رضا صادقی که محیطی آرام همراه با امکانات آموزشی را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع

۱. قدبنان، شعبان، چالکش امیری، محمد و مؤیدی خسروشاهی، حسین؛ بررسی اثر منعقدکننده‌های فلزی بر روی انعقاد و لخته‌سازی آلاینده‌های پساب خروجی از زلال‌سازهای لجن فعال واحد کاغذسازی سولفیت، هفتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۹-۶ آبان ۱۳۸۱، ۶۵۹-۶۶۴
2. Tambosi, J.L., D.M.D., Schirmer, W.N., Jose, H.J., Moreira, R.D, 2006. Treatment of paper and pulp wastewater and removal of odorous compounds by a fentone- like process at the pilot scale. Chem Technol Biotechnol 81: p. 1426-1432.
3. Wang, J.P., Chen, Y.Z., Ge, X.W., Yu, H.Q., 2007. "Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology". Colloids and Surfaces A:

با توجه به مطالعات انجام شده مشخص شد که ماده منعقدکننده PACI قادر است قسمت اعظم آلاینده‌های پساب کارخانه کاغذسازی را حذف نماید و حذف حدود ۸۸ درصد COD، ۹۰ درصد TS و ۹۳ درصد کدورت پساب قابل دست‌یابی است. هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده، غلظت PACL ۷۸۵ میلی گرم برلیتر و pH اولیه پساب برابر ۷ بهینه شد. با توجه به عدم تولید انبوه پلی آلومینیوم کلراید در کشورمان و نیز قیمت بالای آن، علی‌رغم مزایای عمده PACI و قدرت بالای آن در انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی و کاهش آلاینده‌ها، کاربرد آن از لحاظ اقتصادی زیاد مقرون به صرفه نیست. با توجه به این که اغلب جامدات موجود در پساب کاغذسازی، ترکیبات آلی می‌باشند روش انعقاد کارآیی مناسبی در تصفیه پسابی با این شرایط را دارد (۱). با توجه به مطالعات انجام شده توسط دیگران، مشخص شده که فرآیند انعقاد و لخته‌سازی بر روی افزایش قابلیت تجزیه پذیری زیستی پساب کاغذسازی اثر مثبت دارد و نسبت COD / BOD بالای این پساب را که از محدودیت‌های تصفیه بیولوژیکی آن است پایین می‌آورد. بنابراین این روش را می‌توان به عنوان یک مرحله پیش تصفیه قبل از تصفیه بیولوژیکی به کار برد (۴).

تشکر و قدردانی از سرکار خانم مهندس حق دوست کارشناس آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی که در پیشرفت علمی این کار تحقیقاتی یاری

10. APHA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1998. 20th ed American Public Health Association/American Water Works Association/Water., Environment Federation, Washington, DC.
۱۱. روشنی، بابک، شاهمنصوری، محمدرضا و صیدمحمدی، عبدالمطلب؛ بررسی تصفیه فاضلاب صنایع شوینده به کمک فرآیند انعقاد در مقیاس آزمایشگاهی، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، شماره ۲ سال هشتم زمستان ۱۳۸۲، ۶۷-۷۵.
12. Zayas, T., Romero, V., Salgado, L., Meraz, M., Morales, U., 2007. Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent. *Separation and Purification Technology*, 57(2): p. 270-276.
13. Huang, C., P.J.R. 2002. "Coagulation approach to water treatment Encyclopedia of surface and colloid Science". Marcel Dekker Inc, New York, 210-222.
14. Berna, J.L., Morenoand, A., Ferrer, J. 1997. The Behavior of LAS in the environment. *Chem. Technol Biotechnol*, 500, 387-398
- Physicochemical and Engineering Aspects. 302(1-3), 204-210.
4. Latorre, A., Malmqvist, A., Lacorte, S., Welander, T., Barcelo, D., 2007. Evaluation of the Treatment Efficiencies of Paper mill Whitewaters in Terms of Organic Composition and Toxicity, *Environmental Pollution*, 147: 648-655.
5. Yilmaz, T., Y.A., Basibuyuk, M , 2008. Comparison of the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating paper mill wastewater. *Bioresource Technology*, 99, p. 156-163.
6. Ahmad, A.L., Wang, S.S., Tang, T.T., Zuhairi, A., 2008. Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 137(3): p. 510-517.
7. Pala, A., Tokat, E., 2002: Color from Cotton Textile Industry Wastewater in an Activated Sludge System with Various Additives: *Water Research*, 36: 2920-2925.
8. Ben Mansor, I., Kesentini, I., 2008. Treatment of Effluents from Cardboard Industry by Coagulation-Electroflotation, *Journal of Hazardous Materials*, 153: 1067-1070.
9. Wang, D., Sun, W., Xu, Y., Tang, H., Gregory J., 2004. Speciation stability of inorganic polymer flocculation-PACL. *Colloids and Surfaces*, 243,1-10.