علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره چهار، زمستان ۹۳

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 فر[۳]

مجتبی هادوی‌فر[٤]

تاریخ دریافت:۹۰/۴/۱۸ **تاریخ پذیرش:۹۰/۷/۱۲**

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 می باشد. 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 برلیتر 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 ۹۳درصد کدورت پساب کارخانه کاغذسازی را کاهش دهد که از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی می باشند.

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 آبزی 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 آشفتگی 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 وجاذب‌های 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

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 آلایندگی زیادی برای محیط زیست دارند و در حال حاضر موفقیتی در کاهش و پالایش 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.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پساب کارخانه کاغذسازی

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

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 سانتی گراد به وسیله pH متر مدل pc 300(cyberscan, Singapore) اندازه‌گیری شد. جهت تنظیم pH اولیه پساب کاغذسازی از هیدروکسید سدیم (NaoH) ۱/۰ نرمال و اسید سولفوریک (H_2So_4) 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، نیتریت، کلراید و سولفات به روش فتومتری (Palintest 8000, England) اندازه‌گیری

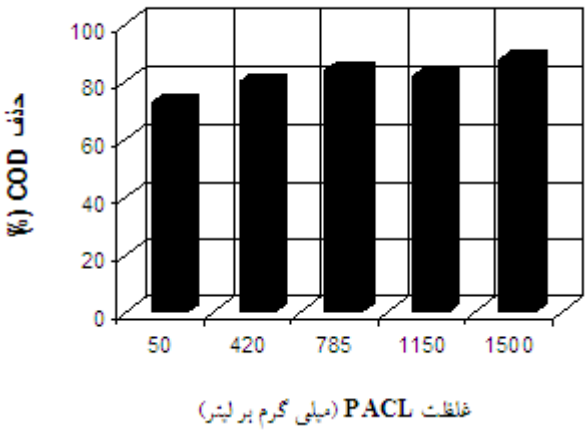
شد (۱۰). مطالعات انعقاد و لخته‌سازی ابتدا با انتخاب یک نوع ماده منعقدکننده و در pH های مختلف (۲ تا ۱۲) جهت تعیین pH بهینه برای ماده منعقدکننده مزبور انجام گردید. سپس pH فاضلاب به pH بهینه که در بالا به دست آمده رسانده شد و به دنبال آن مقادیر مختلف ماده منعقدکننده به نمونه‌های مزبور افزوده شد و پساب و 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 استوانه های مدرج انتقال داده شد و به مدت ۳۰ دقیقه به آن ها 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 رفلاکس 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 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

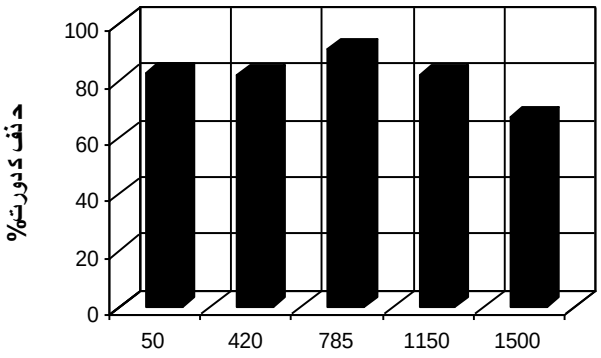
۱- تأثیر غلظت ماده منعقدکننده PACl در حذف آلاینده‌ها

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 پساب بر حسب غلظت‌های مختلف PACl نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که افزایش غلظت PACl اثر کمی بر افزایش میزان حذف COD دارد و غلظت‌های خیلی بالا (بالاتر از ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) سبب کاهش میزان حذف می‌شود.



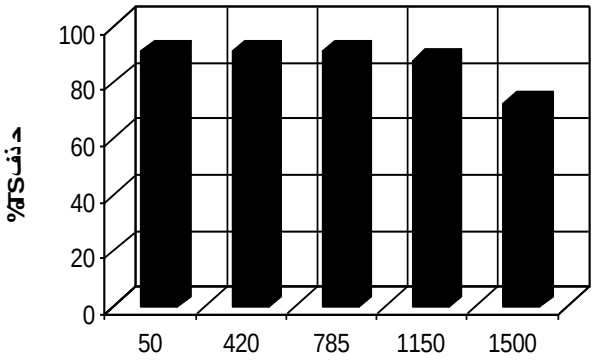
شکل۱- اثر غلظت های مختلف PACL در حذف COD پساب

در شکل ۲ درصد حذف کدورت پساب بر حسب غلظت‌های مختلف PACl آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت‌های پایین PACl در حذف کدورت پساب بیشتر مؤثر است و می‌توان گفت با افزایش غلظت PACl، درصد حذف کدورت کاهش می‌یابد. در دزهای پایین PACl، تنها مکانیسم برای بی‌ثبات کردن ذرات کلوئیدی، 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 کلوئیدی موجود در پساب با ماده منعقدکننده PACl باشد (۱۲).



شکل۲- اثر غلظت های مختلف PACL در حذف کدورت پساب

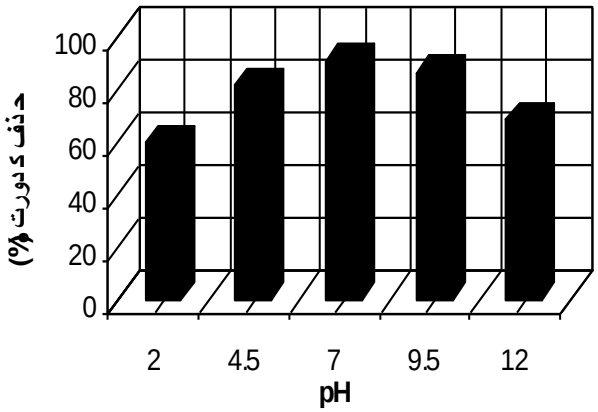
همان طور که شکل ۳ نشان می دهد میزان حذف TS و COD تا حدودی مشابه یکدیگر است، این موضوع ممکن است به دلیل حجم بالای جامدات معلق آلی موجود در پساب باشد (۶). به طور کلی یافته‌ها نشان دهنده این است که حذف حدود ۸۶ درصد COD، ۹۶ درصد کدورت و ۹۰ درصد TS با به کار بردن ۷۸۵ میلی گرم بر لیتر PACl امکان پذیر است که با نتایج Ahmad و همکاران در سال ۲۰۰۸ مطابقت دارد.



شکل ۳- اثر غلظت های مختلف PACL در حذف TS

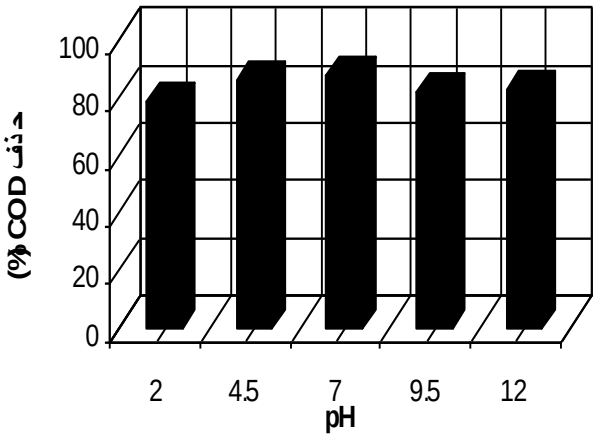
۲- اثر pH اولیه پساب در حذف آلاینده‌ها

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



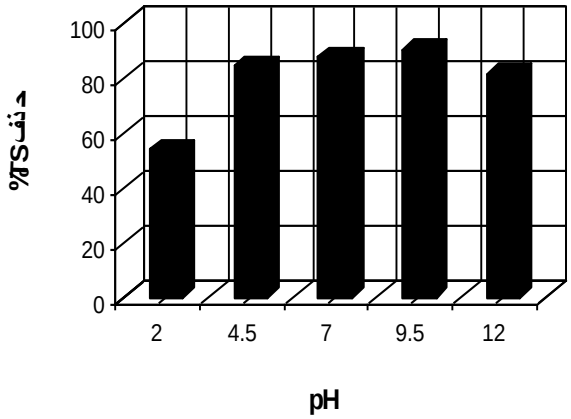
شکل۴- اثر PH اولیه پساب در حذف کدورت

با توجه به شکل ۵، در pH های قلیائی (۷/۵ تا ۱۰) میزان حذف COD کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد به گونه‌ای که این میزان از ۸۲ درصد به ۶۷ درصد کاهش می‌یابد (۶).



شکل ۵- اثر PH اولیه پساب در حذف COD

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



شکل ۶- اثر PH اولیه پساب در حذفTS

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده مشخص شد کـه مـاده منعقدکننده PACl قادر است قسمت اعظم آلاینده‌های پساب کارخانه کاغذسازی را حذف نماید و حـذف حـدود ۸۸ درصـد COD، ۹۰ درصد TS و ۹۳ درصد کدورت پساب قابل دست-یابی است. هم چنین با توجه به نتایج به دسـت آمـده, غلظـت PACL ۷۸۵ میلی گـرم برلیتـر و pH اولیـه پسـاب برابـر ۷ بهینه شد. با توجه به عدم تولید انبوه پلی آلومینیوم کلراید در کشورمان و نیـز قیمـت بـالای آن، علـی رغـم مزایـای عمـده PACl و قدرت بالای آن در انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سـازی و کاهش آلاینده‌ها، کاربرد آن از لحاظ اقتصادی زیاد مقرون به صرفه نیست. با توجه به این که اغلب جامدات موجود درپساب 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 شـده کـه فرآینـد انعقـاد و لخته‌سازی بر روی افزایش قابلیت تجزیه پذیری زیستی پساب کاغذسازی اثر مثبت دارد و نسبتCOD / BOD بـالای ایـن پساب را که از محدودیت‌های تصفیه بیولوژیکی آن است پایین می‌آورد. بنابراین این روش را می‌توان بـه عنـوان یـک مرحلـه پیش تصفیه قبل از تصفیه بیولوژیکی به کار برد (۴).

تشـکر و قـدردانیاز سـرکار خـانم مهنـدس حـق‌دوسـت کارشناس آزمایشگاه محیط زیست دانشـکده منـابع طبیعـی و علوم دریایی که در پیشرفت علمی ایـن کـار تحقیقـاتی یـاری نمودند, کمـال تشـکر را داریـم هـم‌چنـین از ریاسـت محتـرم دانشکده, جناب آقای دکتر حمید رضا صادقی که محیطی آرام همراه با امکانات آموزشی را فـراهم نمودنـد تشـکر و قـدردانی می‌نماییم.

منابع

۱. قدبنان، شعبان، چالکش امیـری، محمـد و مؤیـدی خسروشاهی، حسین؛ بررسی اثـر منعقدکننـده‌هـای فلزی بر روی انعقاد و لخته‌سازی آلاینده‌های پساب خروجی از زلال‌سازهای لجن فعال واحد کاغذسازی سولفیت، هفتمـین کنگـره ملـی مهندسـی شـیمی ایـران، دانشـکده فنـی دانشـگاه تهـران، ۹-۶ آبـان 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:

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.
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 زمستان۱۳۸۲، 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