

کاربرد روش انعقاد شیمیایی در تصفیه پساب کارخانه بازیافت کاغذ

نوشین بیرجندی^۱

حبیب الله یونسی^۲

نادر بهرامی فر^۳

مجتبی هادوی فر^۴

(دریافت ۸۹/۱/۴ پذیرش ۸۹/۱۲/۵)

چکیده

پسابهای صنعت بازیافت کاغذ دارای حجم زیاد و آلودگی بسیار بالایی هستند و فرایند تصفیه این پسابها به خاطر تعدد آلاینده‌ها و پیچیدگی ساختمان شیمیایی آنها یکی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین فرایندهاست. در این مطالعه، فشردگی حجم لجن و میزان حذف کدورت و COD پساب به‌وسیله منعقدکننده‌های آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید تحت تأثیر متغیرهای pH اولیه پساب، COD اولیه پساب و غلظت اولیه مواد منعقدکننده بررسی شدند. محدوده تعیین شده pH اولیه پساب ۲ تا ۱۲، غلظت آلوم ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت PACI ۵۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و COD اولیه پساب ۲۵۰ تا ۲۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. طبق داده‌های حاصل از مطالعات ناپیوسته، میزان فشردگی حجم لجن ۱۹۳ میلی‌لیتر بر گرم و حداکثر درصد حذف کدورت و COD به ترتیب مقادیر ۸۹/۹۰ و ۸۵/۱۶ درصد با استفاده از منعقدکننده‌های آلوم و PACI به‌دست آمدند. مطالعات نشان داد که مواد منعقدکننده آلوم و PACI توانایی بالایی برای حذف آلاینده‌ها از فاضلاب کارخانه‌ها دارند.

واژه‌های کلیدی: پساب بازیافت کاغذ، آلوم، PACI، کدورت، COD

Application of Chemical Coagulation Method for Paper-Recycling Wastewater Treatment

Noushin Birjandi¹

Habibollah Younesi²

Nader Bahramifar³

Mojtaba Hadavifar⁴

(Received March 24, 2009 Accepted Feb. 23, 2010)

Abstract

Paper-recycling wastewaters have high volume and high pollution and its treatment is the most difficult and complicated process because of their colored pollutants and certain rigid chemical structure. In this study, the efficiency of alum in coupled with polyaluminum chloride (PACI) coagulant on the treatment of paper recycling wastewater was investigated. The effects of initial pH, initial COD and coagulation concentration on sludge volume index (SVI), and turbidity and COD removal were studied. Set tested for coagulation process was 2-12 initial pH, 200-2000 mg/l of alum concentration, 50-1500 mg/l of PACI concentration and 250- 2250 mg/l initial COD. According to the data obtained from batch studies, maximum percentage removal of turbidity and COD 89.90% and 85.16% respectively. The SVI of 193 ml/gr was found in this study. This study showed that the alum and PACI coagulants have high ability to remove pollutants from wastewater factory.

Keywords: Paper-Recycling Wastewater, Alum, PACI, Turbidity, COD.

1. M.Sc. Student of Natural Resources Eng., Tarbiat Modares University, Noor
2. Assoc. Prof. of Environment, Dept. of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor (Corresponding Author) (+98 122) 6253101 hunesi@modares.ac.ir
3. Assist. Prof. of Environment, Dept. of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor
4. Ph.D. Student of Environmental Pollution, Tarbiat Modares University, Noor

- ۱- دانش آموخته کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور (نویسنده مسئول) ۰۱۱۶۲۵۳۱۰۱ (+۹۸) hunesi@modares.ac.ir
- ۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ۴- دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۱- مقدمه

افزایش سریع جمعیت و افزایش تقاضا برای تجهیزات صنعتی و نیز احتیاجات بشر، منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع موجود و همچنین آلودگی زمین، آب و هوا شده است. صنعت خمیر و کاغذسازی یکی از مهم‌ترین این صنایع است [۱]. اگرچه در دهه‌های اخیر، میزان آب مصرف شده در صنعت کاغذسازی حدود ۱۰ تا ۴۰ لیتر برای هر کیلوگرم کاغذ تولیدی کاهش یافته است اما هنوز این مقدار زیاد است. در صنعت کاغذسازی، آب برای عملیات واحدهای مختلف از قبیل شستشوی خمیر، حل کردن سلولزها و برای آماده‌سازی مواد شیمیایی ضروری است [۲].

صنایع سلولزی و کاغذسازی مقادیر زیادی آب مصرف کرده (۶۰ m³/ton) و به همان مقدار پساب تولید می‌کنند [۳]. تخلیه این پسابها، مقادیر زیادی فاضلاب جامد، مایع و گاز وارد محیط زیست می‌کند. به دلیل حجم وسیع پساب تولید شده، آلودگی منابع آبی نگرانی اصلی است [۴ و ۵]. در طی تولید کاغذ، حجم زیادی پساب تولید می‌شود که این پسابها به دلیل COD و سمیت بالا، می‌توانند زیان‌های قابل توجهی را به آبهای دریافتی وارد کنند. BOD این پساب بین ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان COD آن ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است [۶].

بیش از ۲۵۰ ماده شیمیایی در پسابهایی که طی مراحل مختلف کاغذسازی تولید می‌شوند، شناسایی شده است. آلاینده‌های معمول و برخی ترکیبات شیمیایی پساب کاغذسازی شامل اسیدهای رزین، فلزها، دی‌اکسین‌ها و فوران‌ها، مواد آلی و معدنی، فلزات سنگین، سیانیدها، سولفیدها و دیگر مواد محلول هستند [۷ و ۸].

مهم‌ترین منابع آلودگی در بین مراحل مختلف کاغذسازی، خمیرسازی، شستشوی خمیر، غربال کردن، سفید کردن و ساخت کاغذ تولید می‌شود که در این میان بیشترین حجم آلاینده‌ها در مرحله خمیرسازی ایجاد می‌شود و ترکیبات کلریدی و دیگر ترکیبات آلی سمی شامل مشتقات لیگنین از آن جمله است [۳].

به دلیل وجود ترکیبات مختلف در ساخت خمیر و کاغذ، حتی پسابهای تخلیه شده دو کارخانه با هم متفاوت هستند. به همین دلیل، تصفیه پسابهای کارخانه‌های مختلف، پیچیده و دشوار است [۹]. این پسابها برای ارگانیزم‌های آبی، سمی است و اثرات جهش‌زای قوی و آسیب‌های فیزیکی را در آنها ایجاد می‌کند. واکنش‌های گوناگونی در جمعیت ماهی‌هایی که در رودخانه‌های پایین دست کارخانه‌های کاغذسازی زندگی می‌کنند، گزارش شده است [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

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 [۱۳]. برای رنگ‌زدایی فاضلابهای صنعتی، روشهای متفاوتی وجود دارد مانند: اکسیداسیون شیمیایی، انعقاد و لخته‌سازی، روشهای الکتروشیمیایی، تبادل یونی، فرایند جذب سطحی، فرایندهای 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 [۱۴].

تصفیه فیزیکی - شیمیایی فاضلاب شامل تصفیه مقدماتی از قبیل منعقدسازی - شناور سازی، رسوب‌گذاری و جابه‌جایی لجن است. تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته از قبیل فیلترهای زیستی یا لجن فعال نیز در مراحل بعدی می‌تواند به کار رود [۱۵]. به علت این که پساب صنعت بازیافت کاغذ، آلاینده‌های زیادی برای محیط زیست دارد و با توجه به این که خصوصیات پساب تولید شده برای هر واحد تولیدی از این نوع در سطح جهانی متفاوت است و در حال حاضر موفقیتی در کاهش آلاینده‌های آن به حد استاندارد زیست‌محیطی حاصل نشده است، لذا انتظار می‌رود با انجام این تحقیق گام مؤثری در جهت بهبود سیستم‌های کنونی برداشته شود.

۲- مواد و روشها

پساب به کار رفته در این تحقیق از خروجی نهایی فاضلاب کارخانه بازیافت کاغذ افرنگ شهرستان نور گرفته شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی پساب مذکور در جدول ۱ ذکر شده است. مواد منعقدکننده مورد استفاده در این بررسی، آلوم و PACI، از شرکت مرک^۱ آلمان خریداری شد. pH در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به وسیله pH متر سایبراسکن^۲ مدل pc 300 محصول کشور سنگاپور اندازه‌گیری شد. برای تنظیم pH اولیه پساب بازیافت کاغذ از هیدروکسید سدیم ۱/۰ نرمال و اسید سولفوریک ۱/۰ نرمال استفاده شد. BOD، وزن جامدات کل و مقدار خاکستر بر طبق روش استاندارد آب و فاضلاب تعیین گردید. مقادیر فسفات، نیترات، نیتريت، سولفات و کلراید به روش فتومتر با اسپکتروفتومتر مدل پالینتست^۳ محصول کشور انگلستان اندازه‌گیری شدند [۱۶]. مطالعات انعقاد و لخته‌سازی ابتدا با انتخاب یک نوع ماده منعقدکننده و در pHهای مختلف به منظور تعیین pH بهینه برای ماده منعقدکننده مزبور انجام گردید که این مقدار بهینه برابر با ۷ به دست آمد. سپس pH فاضلاب در مقدار بهینه تنظیم شد و به دنبال آن مقادیر مختلف مواد منعقدکننده به

¹ Merck
² Syberscan
³ Palintest

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پساب کارخانه افرنگ

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

pH، COD و غلظت اولیه مواد منعقدکننده (آلوم و PACI) با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert محدوده‌ای در نظر گرفته شد که شامل پنج آزمایش با متغیر pH ۲، ۴/۵، ۷، ۹/۵ و ۱۲، پنج آزمایش با COD اولیه ۲۵۰، ۷۵۰، ۱۷۵۰، ۲۲۵۰ و ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، پنج آزمایش با غلظت اولیه آلوم ۲۰۰، ۶۵۰، ۱۱۰۰، ۱۵۵۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پنج آزمایش با غلظت اولیه PACI ۵۰، ۴۲۰، ۷۸۵، ۱۱۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲).

جدول ۲- محدوده متغیرهای در نظر گرفته شده در آزمایش‌های مواد منعقدکننده

متغیرهای آزمایش	محدوده متغیرها				
	-α	-۱	۰	+۱	+α
(A) pH	۲	۴/۵	۷	۹/۵	۱۲
(B) COD	۲۵۰	۷۵۰	۱۲۵۰	۱۷۵۰	۲۲۵۰
غلظت آلوم، (C) mg/L	۲۰۰	۶۵۰	۱۱۰۰	۱۵۵۰	۲۰۰۰
غلظت پلی آلومینیوم کلراید، (D) mg/L	۵۰	۴۲۰	۷۸۵	۱۱۵۰	۱۵۰۰

-α: پایین‌ترین محدوده در نظر گرفته شده +α: بالاترین محدوده در نظر گرفته شده
 ۱-: پایین‌ترین محدوده به دست آمده از نرم‌افزار
 +۱: بالاترین محدوده به دست آمده از نرم‌افزار

در هر یک از این سری آزمایش‌ها، غیر از عامل متغیر، چهار عامل دیگر ثابت در نظر گرفته شدند. همه آزمایش‌ها در سه نوبت تکرار شدند و میانگین آنها به عنوان نتیجه نهایی گزارش گردید. پس از انجام آزمایش‌ها با توجه به میزان حذف آلاینده‌ها، شرایط بهینه یافت شد تا بتوان از این شرایط برای حذف کدورت و COD پساب کارخانه‌ها استفاده نمود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر pH اولیه پساب بر میزان حذف کدورت و COD در فرایند انعقاد و لخته‌سازی، pH فاکتور بسیار مهمی است و بر روی همه تعادلهای هیدرولیزی که منشأ گونه‌های متفاوت در محلول است، اثر می‌گذارد. همچنین با افزودن نمک‌های فلزی و افزایش دز مواد منعقدکننده، pH محلول کاهش می‌یابد [۱۸]. در این تحقیق روند حذف آلاینده‌ها در محدوده pH ۲ تا ۱۲ بررسی گردید.

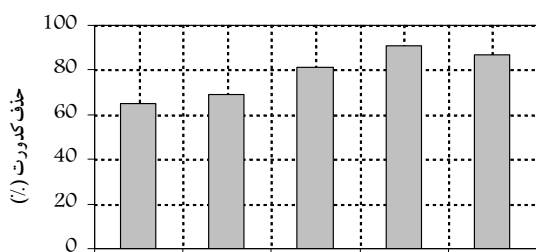
شکل ۱ تأثیر pH اولیه پساب را بر روند حذف کدورت و COD در دز ثابت و بهینه آلوم و PACI و COD برابر ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر نشان می‌دهد. همان‌طوری که این شکل نشان می‌دهد بیشترین میزان حذف کدورت و COD در pH برابر ۷

صورت توأم به پسابهای با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر افزوده شد و پساب و مواد منعقدکننده در دمای محیط ابتدا به مدت ۲ دقیقه با دور بالا حدود ۱۷۰۰rpm سپس به مدت ۲۰ دقیقه با دور پایین حدود ۴۰rpm توسط همزن مغناطیسی به هم زده شدند. پس از آن محتویات هر یک به استوانه‌های مدرج منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه به آنها اجازه ته‌نشینی داده شد. به این ترتیب میزان بهینه مواد منعقدکننده تعیین گردید. در این مطالعه دز بهینه آلوم و PACI به ترتیب برابر با ۱۱۰۰ و ۷۸۵ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد پس از تعیین میزان بهینه مواد منعقدکننده و pH، آنالیز محلولهای منعقد شده انجام گردید [۱۷].

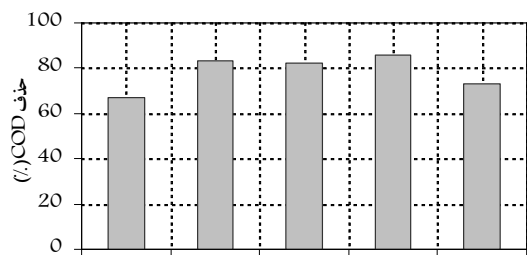
اندازه‌گیری کدورت با دستگاه کدورت سنج Eutech TB 100 با حساسیت ۰/۰۱۰ در واحد NTU انجام گردید. اندازه‌گیری COD به روش کالریتری مطابق روشهای استاندارد آزمایش آب و پساب انجام شد. طبق این روش، واکنش‌گرهای COD به ۲/۵ میلی‌لیتر از نمونه در یک ظرف مخصوص اضافه شد و برای هضم به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در دستگاه ترمواکتور قرار گرفت. بعد از خنک شدن ظرف، جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط فتومتر خوانده شد و از روی منحنی کالیبراسیون، میزان COD تعیین گردید [۱۶]. میزان بهینه COD در این مطالعه ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد.

در این تحقیق برای تعیین شرایط مطلوب حذف آلاینده‌ها از فاضلاب کارخانه باز یافت کاغذ، در رابطه با هر یک از چهار عامل

۳-۲- اثر COD اولیه پساب بر میزان حذف کدورت و COD در این تحقیق مقادیر مختلف COD در محدوده ۲۵۰ تا ۲۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و مقدار بهینه pH برابر ۷ و COD برابر ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای پساب بازیافت کاغذ انتخاب شد. براساس شکل ۲ بیشترین میزان حذف کدورت و COD در COD برابر ۱۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۹۱ و ۸۶ درصد به دست آمد و همان طوری که این شکل نشان می‌دهد با افزایش COD اولیه پساب، میزان حذف کدورت و COD افزایش یافت. در COD برابر ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف کدورت ۶۹ درصد و میزان حذف COD ۸۳ درصد حاصل شد.



(الف)

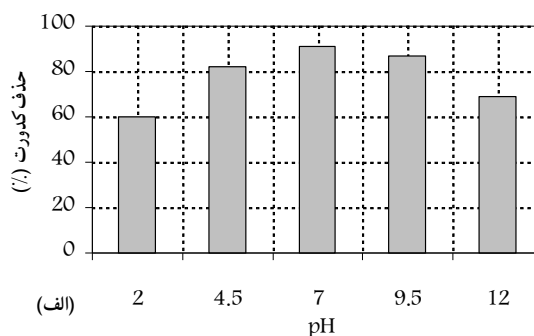


(ب)

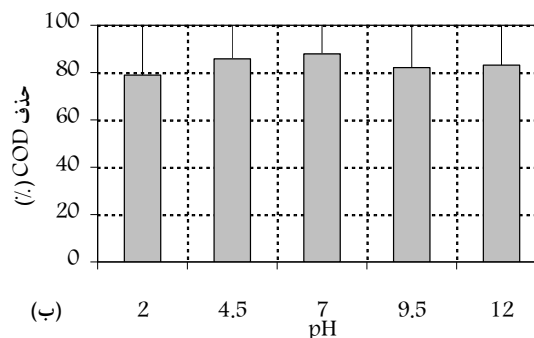
شکل ۲- اثر COD اولیه پساب در حذف کدورت (الف) و COD (ب) پساب با استفاده توأم مقادیر بهینه آلوم و PACl

۳-۳- تأثیر دزهای متفاوت آلوم و PACl بر میزان حذف کدورت و COD در فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی، کارایی حذف مواد آلی طبیعی^۱ به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد که عبارت‌اند از: pH، دز مواد منعقدکننده و نوع مواد منعقدکننده. در هر حال در بین این فاکتورها pH و دز مواد منعقدکننده بیشترین تأثیر را در کارایی این فرایند دارند [۱۸]. در این تحقیق میزان حذف آلاینده‌ها به وسیله مواد منعقدکننده آلوم و PACl در محدوده ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در

بود. در این pH میزان مطلوب حذف کدورت ۹۱ درصد و میزان مطلوب حذف COD ۸۸ درصد به دست آمد (شکل ۱- الف و ب). در pH برابر ۲ میزان حذف آلاینده‌ها در کمترین مقدار و در pH برابر ۹/۵ و ۱۲ نیز میزان حذف آلاینده‌ها قابل توجه ولی کمتر از مقدار آن در pH برابر ۷ بود. در pH برابر ۱۲، درصد حذف کدورت و COD به ترتیب تا مقدار ۶۹ و ۸۳ درصد کاهش یافت.



(الف)

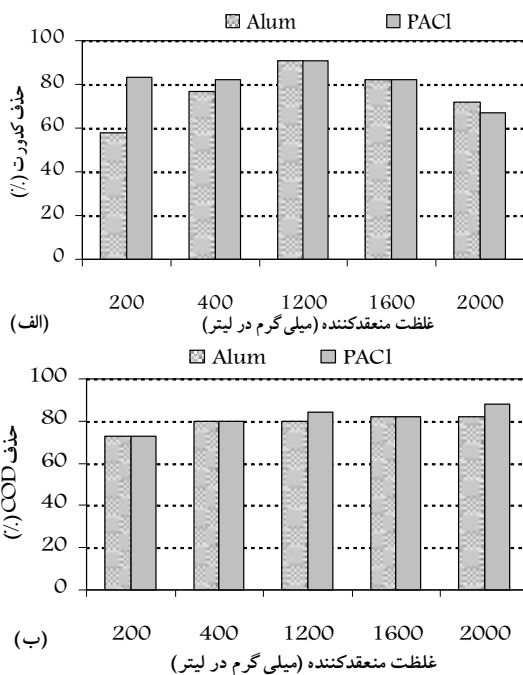


(ب)

شکل ۱- اثر pH اولیه پساب در حذف کدورت (الف) و COD (ب) با استفاده توأم مقادیر بهینه آلوم و PACl

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که آلوم و PACl به عنوان مواد منعقدکننده در محدوده pH بین ۵ تا ۷ عملکرد بهتری را نشان می‌دهند. مهم‌ترین دلایل برای چنین رفتاری عبارت‌اند از: ۱- در pH پایین، حضور ذرات مونومری آلومینیوم باعث خنثی‌سازی ذرات آنیونی آلاینده‌ها شده و ته‌نشین‌سازی بهتر انجام می‌شود ۲- در pH پایین، غلظت آلومینیوم حل شده با کاهش نسبت $Al(OH)_4^-$ تشکیل شده، کاهش می‌یابد و کاهش این نسبت باعث بهبود فرایند ته‌نشین‌سازی می‌گردد و این هیدروکسید آلومینیوم آنیونی، اثرات انعقاد را کاهش می‌دهد [۱۴]. در pHهای قلیایی یعنی محدوده ۷/۵ تا ۱۰، میزان حذف COD کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد به گونه‌ای که این میزان از ۸۲ درصد به ۶۷ درصد کاهش می‌یابد [۸]. به طور کلی pH محلول بر روی ظرفیت تولید رادیکال‌های هیدروکسیل تأثیر می‌گذارد [۱۹].

¹ Natural Organic Materials (NOM)



شکل ۳- اثر دزهای متفاوت آلوم و PACI در حذف الف- کدورت و ب- COD در مقادیر بهینه pH و COD

۴-۳- بررسی فشردگی حجم لجن^۱ با استفاده از مواد منعقدکننده آلوم و PACI

لجن تولید شده در تصفیه فیزیکی- شیمیایی به دلیل حضور مواد آلی و جامدات معلق است که طی فرایند انعقاد به علت استفاده از مواد منعقدکننده، حذف شده‌اند و این ترکیبات، لجن جامدی را تشکیل می‌دهند. به طور کلی مقدار و خصوصیات لجن تولید شده در طی فرایند انعقاد و لخته‌سازی به نوع مواد منعقدکننده مورد استفاده و شرایط موجود در آزمایش بستگی دارد. با مشاهده حجم و خصوصیات لجن تولید شده، SVI تعیین می‌گردد [۸]. معمولاً سه فاکتور بر روی شاخص حجم لجن در فرایند انعقاد و لخته‌سازی تأثیر می‌گذارد که عبارت‌اند از: اثر پلیمرها، تأثیر فشار اسمزی و تأثیر هیدراته [۲۲].

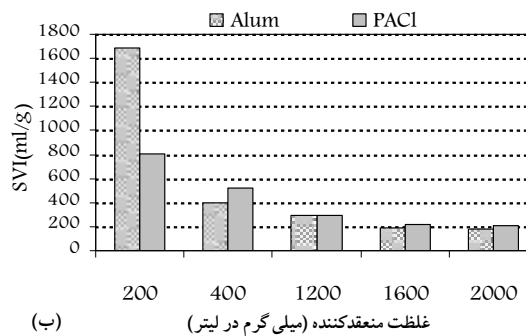
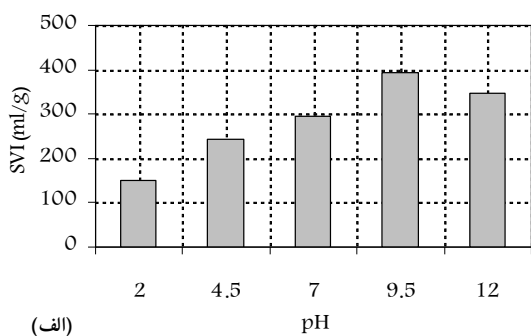
در شکل ۳- الف اثر متغیر pH و COD اولیه پساب بر فشردگی حجم لجن مشاهده می‌گردد. همان طور که در شکل دیده می‌شود در دز ثابت آلوم و PACI به ترتیب برابر با ۱۱۰۰ و ۷۸۵ میلی‌گرم در لیتر، با افزایش pH اولیه پساب، میزان SVI نیز بیشتر می‌شود و عمل جداسازی دشوارتر می‌گردد. در شرایط اسیدی ($pH < 4$)، میزان SVI به کمترین مقدار خود می‌رسد. در این شرایط، یون‌های آلومینیوم اکثراً به شکل Al^{3+} در می‌آیند که این

لیتر بررسی شد و مقادیر مختلف مواد منعقدکننده مذکور به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر از پساب بازیافت کاغذ با COD حدود ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و pH برابر ۷ اضافه شد و توسط همزن مغناطیسی با سرعت ۱۷۰ rpm هم زده شد. تأثیر دزهای متفاوت آلوم و PACI بر حذف کدورت و COD در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳- الف درصد حذف کدورت را در مقادیر متفاوت آلوم و PACI نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در استفاده از مواد منعقدکننده آلوم و PACI، دزهای پایین PACI در حذف کدورت پساب بیشتر مؤثر است و می‌توان گفت با افزایش دز PACI، درصد حذف کدورت کاهش می‌یابد و دزهای خیلی بالا (بالا تر از ۱۰۰۰ mg/l) باعث کاهش قابل توجهی در میزان حذف می‌شود به طوری که درصد حذف کدورت کاهش می‌یابد و به کمترین مقدار خود یعنی حدود ۶۷ درصد می‌رسد. اما در مورد آلوم با افزایش دز، میزان حذف کدورت نیز افزایش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که دزهای بالاتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم قادر است قسمت اعظم کدورت را از پساب حذف نماید و این روند تا دز ۱۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ادامه دارد اما بعد از آن میزان حذف، کاهش می‌یابد. در دزهای پایین، PACI مانند آلوم عمل می‌کند و تنها مکانیسم برای بی‌ثبات کردن ذرات کلوئیدی، خنثی سازی است [۲۰]. با کاهش نیروهای الکترواستاتیکی، توده‌های بیشتری شکل می‌گیرد که منجر به کاهش کدورت می‌شود. این پدیده می‌تواند به دلیل واکنش بین ذرات معلق و کلوئیدی موجود در پساب با ماده منعقدکننده PACI باشد، بنابراین دز مواد منعقدکننده برای بی‌ثبات کردن مواد آلی کافی است اما برای حذف مواد پراکنده در کدورت‌های بالا، کافی نیست [۱۸].

شرایط بهینه برای حذف COD همیشه مشابه شرایط حذف کدورت نیست همان‌طور که در شکل ۳- ب مشاهده می‌گردد، با افزایش میزان آلوم و PACI، میزان حذف COD افزایش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای حذف معنی‌دار COD، دز بالای مواد منعقدکننده مورد نیاز است. این امر می‌تواند به دلیل حضور مقدار زیاد مواد آلی موجود در پساب و واکنش آنها با مواد منعقدکننده باشد که سبب می‌شود مواد معلق موجود در پساب اکسید شده، منعقد شوند و از بین بروند که این فرایند سبب کاهش COD پساب می‌شود [۲۱]. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که دز بهینه ماده منعقدکننده PACI کمتر از آلوم است و در غلظت‌های یکسان نسبت به آلوم در کاهش COD عملکرد بهتری دارد اما محدوده مناسب pH برای هر دو تقریباً یکسان است و هر دو منعقدکننده در pH برابر ۷، بالاترین کارایی را دارند.

¹ Sludge Volume Index (SVI)



شکل ۴- (الف) اثر متغیر pH با استفاده توأم مقادیر بهینه آلوم و PACI و (ب) اثر دزهای متفاوت مواد منعقدکننده بر فشردگی حجم لجن (SVI)

به داخل لجن، باعث بالا رفتن هزینه فرآوری لجن حاصل می‌شود. میزان حذف کدورت و COD پساب توسط مواد منعقدکننده در شرایط مطلوب ۸۹/۹ و ۸۵/۱۶ درصد و میزان فشردگی حجم لجن ۱۹۳ میلی‌لیتر بر گرم به دست آمد. مقدار چهار متغیر pH اولیه پساب، COD اولیه پساب و غلظت منعقدکننده‌ها تعیین شدند. در استفاده از مواد منعقدکننده برای حذف کدورت و COD، pH اولیه پساب ۰.۷، COD اولیه پساب ۱۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت آلوم ۱۱۰۰ و ۷۸۵ میلی‌گرم در لیتر و غلظت PACI ۱۵۵۰ و ۱۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. نتایج به دست آمده بیانگر کارایی بالای مواد منعقدکننده مورد استفاده در فاضلاب کارخانه‌های صنعتی است و داده‌های به دست آمده برای ایجاد شرایط مطلوب حذف آلاینده‌ها، قابلیت استفاده در فاضلاب کارخانه‌ها را دارا است.

۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله به این وسیله از سرکار خانم مهندس حق‌دوست، کارشناس آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی که در پیشرفت علمی این کار تحقیقاتی یاری نمودند، همچنین از ریاست محترم دانشکده، جناب آقای دکتر عباس اسماعیلی ساری که محیطی آرام همراه با امکانات آموزشی را فراهم نمودند، قدردانی می‌نمایند.

یون‌ها اثر شدیدی بر کاهش فشار اسمزی و نیز فشار هیدراته دارند و همه این عوامل سبب می‌شود که میزان SVI بسیار کم شده و به کمترین مقدار خود برسد [۲۲].

دز مواد منعقدکننده نیز بر روی SVI اثر معنی‌داری دارد. این تأثیر در شکل ۴- ب نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در pH متوسط ۷ و مقدار COD ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش دز مواد منعقدکننده، میزان SVI کاهش می‌یابد یعنی فشردگی حجم لجن بیشتر می‌شود که این امر منجر به جداسازی بهتر در طی فرایند تصفیه می‌گردد. کمترین میزان SVI که مطلوب‌ترین حالت ممکن است در دز ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر PACI به میزان متوسط ۱۹۳ میلی‌لیتر بر گرم و بیشترین میزان SVI که در فرایند جداسازی، اختلال ایجاد می‌کند در دز ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر PACI به میزان متوسط ۱۲۴۸ میلی‌لیتر بر گرم به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان گفت ماده منعقدکننده آلوم در فشردگی حجم لجن تولید شده نسبت به PACI تأثیر بیشتری دارد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان دادند که روش انعقاد و لخته‌سازی، روشی بسیار مناسب برای حذف کدورت و COD پساب است و توانایی بسیار بالایی برای کاربرد عملی در فاضلاب‌های با کدورت و COD بالا دارد. با وجود این بخشی از بار آلی فاضلاب در اثر انعقاد شیمیایی

۶- مراجع

- 1- Martin, E.J., and Johnson, J. H. (1991). *Hazardous waste management*, Van Nostrand Reinhold Pub., New York.
- 2- Pizzichini, M., Russo, C., and Meo, C.D. (2005). "Purification of pulp and paper wastewater, with membrane technology for water reuse in a closed loop." *Desalination*, 178(1-3), 351-359.

- 3- Rodrigues, A.C., Boroski, M., Shimada, N. S., Garcia, J. C., Nozaki, J., and Hioka, N. (2008). "Treatment of paper pulp and paper mill wastewater by coagulation-flocculation followed by heterogeneous photocatalysis." *J. of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 194(1),1-10.
- 4- Almeida, E., Rosa, M.A., and Duran, N. (2004). "Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos da presença de ozônio." *Quim Nova*, 27, 818-824.
- 5- Tambosi, J.L., Schirmer, W.N., Jose, H.J., and Moreira, R. (2006). "Treatment of paper and pulp wastewater and removal of odorous compounds by a fenton- like process at the pilot scale." *Chem. Technol. Biotechnol*, 81, 1426-1432.
- 6-Yilmaz, T., and Basibuyuk, M. (2008). "Comparison of the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating paper mill wastewater." *Bioresource Technology*, 99, 156-163.
- 7- Koistinen, J., Tukia, K., Soimasuo, M., Lahtipera, M., and Oikari, A. (1998). "Identification of lipophilic discharged from a finish pulp and paper mill." *Chemosphere*, 37, 219-235.
- 8- Ahmad, A.L., Wong, S. S., Teng, T. T., and Zuhairi, A. (2008). "Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater." *J. Chemical Engineering*, 137(3), 510-517.
- 9- Wong, S.S., Teng, T. T., Ahmad, A. L., Zuhairi, A., and Najaf pour, G. (2006). "Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation." *J. of Hazardous Materials*, 135(1-3), 378-388.
- 10- Munkittrick, K.R., Carey, J.H., Van Der, G.J., and Raak, K. (1997). "Environmental impact of pulp and paper wastewater: Evidence for a reduction in environmental effects of North American pulpi mills since." *Water Sci. Technol.*, 35, 329-338.
- 11- Young, S. (2001). "Effect of pulp mill chemicals on flocculation in river water." *Water Sci. Technol.*, 1, 251-258.
- 12- Rana, T., Kumar, D., Sharma, S., Rana, M., Rathore, V.S., and Pereira, B.M.J. (2004). "Toxic effluents of pulp and paper- mill effluents on male reproductive organs and some systemic parameters in rats." *Environ. Toxicol. Pharm*, 18, 1-7.
- 13- Pala, A. (2002). "Color from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with variuos additives." *Water Research*, 36, 2920-2925.
- 14- Ghodbanan, Sh., Chalkesh Amiri, M., and Moayedi Khosroshahi, H. (2001). "Investigation of metal coagulants in coagulation-flocculation pollutant of effluent from sulfate papermill." *7th National Iranian Chemical Engineering Congress*, University of Tehran, 659-664. (In Persian)
- 15- Ben Mansor, I. (2008). "Treatment of effluents from cardboard industry by coagulation- electroflotation." *J. of Hazardous Materials*, 153, 1067-1070.
- 16- APHA., AWWA.(1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., American Public Health Association(APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- 17- Roshani, B., and Seyed Mohamdi, A. (2002). "Investigation wastewater treatment of detergent industry by coagulation in labrator." *J. of Medical University*, 30, 67-75. (In Persian)
- 18- Zayas, T., Romero, N., Salgado, L., Meraz, M., and Morales, U. (2007). "Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent." *Separation and Purification Technology*, 57(2), 270-276.
- 19- Teresa, Z., Salgado L., Meraz, M., and Morales, U. (2007). "Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinass effluent." *Separation and Purification Technology*, 57, 270-276.
- 20- Huang, C., (2002). *Coagulation approach to water treatment Encyclopedia of surface and colloid science*, Marcel Dekker Inc., New York.
- 21- Ma, X.J., and Xia, H. L. (2008). "Treatment of water-based printing ink wastewater by fenton process combined with coagulation." *J. of Hazardous Materials*, 162 (1), 386-390.
- 22- Wang, J.P., Chen, Y. Z., Geo, X. W., and 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.