Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

Original article

Evaluation of the Efficacy of Polyacrylamide Coagulant Aid Modified with Aluminum Oxide Nanoparticles in Sludge Dewatering of Wastewater Treatment Plant of Yazd

Shabnam Amanali Khani[1]
Mohamadhossein Salmani Nadooshen[2]
Mohamadhasan Ehrampoosh[3]
Mehdi Mokhtari[4*]

1- MSc Student of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
4- Assistant Professor of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

***Corresponding author:** Mehdi Mokhtari, Assistant Professor of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Email: mhimokhtari@gmail.com

Received: 22 December 2015
Accepted: 14 March 2016

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Production of large quantities of sludge is a major problem in wastewater treatment plants, which necessitates adopting proper economical and environmental approaches for its management and treatment. The aim of this study was to investigate the effect of polyacrylamide polymer, modified with aluminum oxide nanoparticles, on dewatering of sludge produced from municipal wastewater treatment.

Methods: In-vitro preparation and dewatering of sludge by combination of polyacrylamide activated with aluminum oxide nanoparticles were carried out in two main steps of determination of pH and optimal dose of activated coagulant aid. For measuring sludge dewatering capability, tests of time of filtration (TTF), sludge cake moisture content, turbidity, and total suspended solids of effluent from sludge cake filtration were evaluated.

Results: Modified coagulant aid with aluminum oxide nanoparticles in optimum pH and concentrations of 5 and 4 mg/l, respectively, had the best efficiency and was more suitable than a primary coagulant without any modification. The levels of TTF, sludge cake moisture, turbidity, and total suspended solids of effluent reduced 24.4%, 11.2%, 57.2%, and 58%, respectively, in comparison with the control group.

Conclusion: The results showed that polyacrylamide coagulant aid modified with aluminum oxide nanoparticles could be appropriate for sludge dewatering. Therefore, it can be employed as an alternative coagulant aid for sludge dewatering.

Keywords: Coagulation, Sludge, Sludge dewatering, Sludge processing, Polyacrylamide, Wastewater treatment

▶ **Citation**: Amanali Khani Sh, Salmani Nadooshen Mh, Ehrampoosh Mh, Mokhtari M. Evaluation of the Efficacy of Polyacrylamide Coagulant Aid Modified with Aluminum Oxide Nanoparticles in Sludge Dewatering of Wastewater Treatment Plant of Yazd. Journal of Health Research in Community. Winter 2015;1(4): 53-63.

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید در آبگیری لجن تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد

شبنم امانعلی خانی[1]
محمد حسین سلمانی ندوشن[2]
محمد حسن احرام پوش[3]
مهدی مختاری[4*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۲. مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۳. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۴.استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

* نویسنده مسئول: مهدی مختاری، استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email: mhimokhtari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

مقدمه و هدف: تولید حجم بالای لجن از جمله مشکلات عمده اکثر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می باشد که لزوم ارائه راهکارهای مناسب اقتصادی و زیست‌محیطی را جهت مدیریت و تصفیه مناسب آن ایجاب می نماید. در این پژوهش، بررسی اثر پلیمر پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید در آبگیری لجن تولیدی از تصفیه زیستی فاضلاب شهری مورد مطالعه قرار گرفت.

روش کار: در این تحقیق آماده سازی و آبگیری لجن با ترکیب پلی آکریل آمید فعالسازی شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید در مقیاس آزمایشگاهی و در طی دو مرحله اصلی تعیین pH و نیز دوز بهینه کمک منعقدکننده فعالسازی شده، توسط آزمون‌های زمان فیلتراسیون (TTF)، درصد رطوبت کیک لجن، کدورت و کل جامدات معلق آب ناشی از فیلتراسیون کیک لجن، برای سنجش قابلیت آبگیری لجن صورت پذیرفت.

یافته ها: براساس نتایج حاصل از این تحقیق، کمک منعقدکننده اصلاح‌شده با نانوذرات اکسید آلومینیوم در pH و غلظت بهینه به‌ترتیب ۵ و ۴ میلی‌گرم در لیتر بهترین کارایی را نشان داد، به‌گونه‌ای که زمان فیلتراسیون و رطوبت کیک لجن، کدورت و کل جامدات آب فیلترشده نسبت به نمونه شاهد (پلی آکریل آمید کاتیونی) به‌ترتیب حدود ۲۴/۴، ۱۱/۲، ۵۷/۲ و ۵۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج مطالعه حاضر، کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید فعالسازی شده با نانوذرات اکسید آلومینیوم، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب جهت آبگیری لجن ناشی از تصفیه فاضلاب شهری مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آبگیری لجن، انعقاد، پردازش لجن، پلی آکریل آمید، تصفیه فاضلاب، لجن

◄ **استناد:** امانعلی خانی، شبنم؛ سلمانی ندوشن، محمدحسین؛ احرام پوش، محمدحسن؛ مختاری، مهدی. بررسی کارایی کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید در آبگیری لجن تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۴؛۱(۴): ۶۳-۵۳.

مقدمه

لجن فعال یکی از فرآیندهای تصفیه متعارف زیستی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. در این فرآیند مقدار زیادی لجن تولید می‌شود. تجربه نشان داده است که هزینه‌های ناشی از تصفیه لجن به‌طور چشمگیری بالا می‌باشد و ۵۰-۳۵ درصد کل هزینه‌های بهره‌برداری ناشی از تصفیه فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهد [۱،۲]. از این رو به لحاظ اقتصادی و عملکردی، مدیریت لجن به‌ویژه حذف آب اضافی تولیدشده طی فرآیند تصفیه زیستی یکی از مهم‌ترین مراحل در تصفیه فاضلاب می باشد [۳]. به‌منظور کاهش هزینه‌های گزاف سرمایه‌گذاری،

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

راهبری تأسیسات تصفیه، تثبیت لجن و جلوگیری از آلودگی‌های محیط‌زیست، لازم است حجم لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تا حد امکان کاهش یابد. بدین منظور معمولاً از روش تغلیظ و آبگیری لجن استفاده می‌شود. آبگیری لجن یکی از مشکل‌ترین مباحث مهندسی محیط‌زیست در ارتباط با دفع آن است. از آنجا که لجن اصلاح‌شده، به‌راحتی تغلیظ و آبگیری می‌شود؛ بنابراین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عملیات آماده‌سازی لجن اهمیت ویژه‌ای دارد. در واقع آماده‌سازی یا اصلاح کیفیت شیمیایی لجن، فرآیندی فیزیکی-شیمیایی است که موجب تسهیل حذف آب و بازیافت مواد جامد لجن می‌شود. در عملیات تصفیه لجن این فرآیند غالباً قبل از مراحل تغلیظ و آبگیری انجام شده و افزایش بازدهی این واحدها را فراهم می‌کند [۴]. آماده‌سازی لجن فرآیندی دومرحله‌ای شامل انعقاد و لخته‌سازی است [۵]. اولین هدف از آماده‌سازی لجن افزایش اندازه ذرات، غلبه بر آثار ناشی از آبدار بودن و دفع بار الکتریکی بین ذرات می‌باشد. به عبارت دیگر، آماده‌سازی لجن سبب تجمع ذرات ریز پراکنده و کلوئیدی موجود در لجن و آزاد شدن آب پیوندی موجود میان آنها می‌شود. در اغلب موارد برای آماده‌سازی لجن از مواد شیمیایی معدنی مانند آلوم، کلرور فریک، سولفات فریک و پلی الکترولیت‌های آلی استفاده می‌شود که باعث افزایش لجن تولیدی میشوند. امروزه پلی الکترولیت‌ها در تصفیه آب و فاضلاب کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. به تازگی استفاده از این ترکیبات در آماده‌سازی لجن برخلاف منعقدکننده‌های شیمیایی به‌دلیل عدم افزایش جرم لجن تولیدی، عدم تخریب ارزش گرمایی لجن و سهولت بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات مربوط، روند فزاینده‌ای داشته است [۸-۶]. ترکیب شیمیایی پلی آکریل آمید با محدوده وسیع وزن مولکولی و انواع بار الکتریکی و چگالی در دسترس است که نسبت به سایر پلیمرها ارزان‌تر و مؤثرتر می‌باشد. از ویژگی‌های کاربرد پلی آکریل آمیدها می‌توان دوز مصرفی کم، راندمان بالا و عدم ایجاد آلودگی محیط زیست را نام برد [۹]. نانوتکنولوژی نیز تکنولوژی سریع و نوینی است که امکان کار، دست‌کاری و تولید ابزار، مواد و ساختارهایی در سطح مولکولی و حتی اتمی در بعد نانومتر را فراهم می‌کند. فناوری نانو دارای پتانسیل بسیار زیادی جهت پیشرفت در فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب و بهبود کارایی تصفیه است. نانومواد در مقایسه با مواد در ابعاد بزرگ، سطوح بسیار وسیع‌تری دارند. همچنین این مواد قادر به برهم‌کنش با گروه‌های شیمیایی مختلف به‌منظور افزایش میل ترکیبی آنها با ترکیبات ویژه می‌باشند. با توجه به توانمندی‌های فناوری نانو در حذف و کنترل آلودگی‌های محیطی و تصفیه و جلوگیری از انتشار آنها می‌توان آن را به‌عنوان یک فناوری سبز و ابزاری مؤثر برای دستیابی به توسعه پایدار در نظر گرفت [۱۰]. امروزه با پیشرفت‌های صنعتی و وجود انواع مختلف آلودگی در پساب های صنعتی و محیط زیست، توسعه لخته سازهای پلیمری جدید با روش های اصلاح، پیوندزنی و تهیه ساختارهای هیبریدی برای اهداف مختلف مد نظر قرار گرفته است. از این رو، استفاده از هیبرید ترکیبات آلی-معدنی شامل پلیمر و نانوذرات معدنی به طور روزافزون گسترش یافته است. این ترکیبات افزون بر داشتن خواص هر یک از اجزا به‌دلیل داشتن گروه های عاملی متفاوت و وجود آثار هم افزایی در ساختار اجزای آنها خواصی جدید را نشان می‌دهند که مشخصه هیچ‌یک از اجزای آنها به تنهایی نیست [۱۱]. مطالعاتی نیز در زمینه کاربرد پلیمرهای مختلف از جمله پلی آکریل آمید فعالسازی شده با نانوذرات مختلف در زمینه حذف آلودگی‌های زیست-محیطی انجام شده است. در مطالعه‌ای وانگ و همکاران اثر پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات سیلیکا را در حذف کل جامدات معلق فاضلاب حفاری بررسی نمودند. نتیجه این بررسی نشان داد که این کمک منعقدکننده اصلاح‌شده دارای کارایی بسیار بالاتری از پلی آکریل آمید به تنهایی می‌باشد [۱۲]. مطالعه دیگری توسط لین و همکاران با عنوان آبگیری لجن توسط نشاسته اصلاح‌شده با نانوذرات آهن، آلومینیوم و سیلیکا نشان داد، این پلیمر جدید

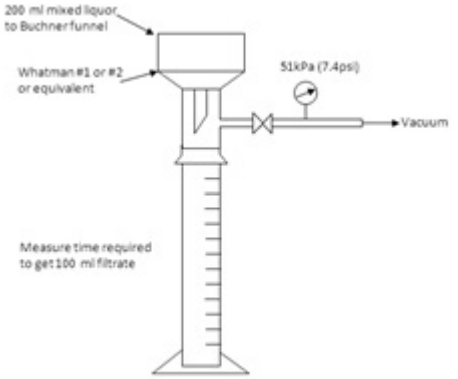
Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

می تواند به‌عنوان یک لخته ساز دوستدار محیط زیست، با کارایی بالا مورد استفاده قرار گیرد [۱۳]. مطالعات متعددی نیز در زمینه آبگیری و کاهش حجم لجن انجام شده است. تاپا و هدلی اثر متقابل پلی الکترولیت و لیگنین را بر آبگیری لجن هضم‌شده بررسی نمودند و دریافتند که ذره‌های لیگنین باعث بهبود فرآیند متراکم‌سازی و آبگیری لجن به‌وسیله ایجاد پل‌های پلیمری می‌شود [۱۴]. گنجی‌دوست و همکاران گزارش دادند از میان پلیمرهای طبیعی مورد استفاده، کیتوزان با حداقل مصرف سرعت آبگیری، لجن هضم‌شده را افزایش می دهد [۱۵]. لی و لو گزارش نمودند لجن در برابر پلی الکترولیت های دوگانه دارای عملکرد بهتر در جذب ذرات می باشد و در این حالت لخته های تولیدی بزرگتر است که در نتیجه باعث بهبود آبگیری لجن و دوز کمتر پلی الکترولیت می شود [۱۶]. وانگ و همکاران در بررسی ارتباط بین خصوصیات پلی آکریل آمیدهای کاتیونی ساخت کارخانجات مختلف و عملکرد آبگیری لجن دریافتند که درجه کاتیونی پلی آکریل آمید مهمترین عاملی است که بر دوز کمک منعقدکننده در آبگیری تأثیر می گذارد و با افزایش این درجه درصد آبگیری لجن افزایش می یابد [۹]؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی و مقایسه کارایی کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید در آبگیری لجن تولیدی از تصفیه زیستی فاضلاب شهری می باشد.

روش کار

این پژوهش یک مطالعه تجربی بوده که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد و از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی جهت بهینه کردن کاربرد کمک منعقدکننده فعالسازی شده استفاده گردید. کمک منعقدکننده استفاده شده بر پایه پلی آکریل آمید کاتیونی از نوع صنعتی با وزن مولکولی بالا و دیگر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان و سیگما آلدریچ آمریکا با درجه خلوص بالا خریداری شد. لجن مورد آزمایش نیز به‌طور روزانه از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد و از حوضچه هاضم هوازی لجن تأمین گردید. تعداد نمونه‌ها در این آزمایش ۴۲ عدد بود و آزمایش های مورد نظر هر کدام با دوبار تکرار بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه شامل pH و غلظت کمک منعقدکننده انتخاب شد. طی دوره انجام آزمایش ها pH لجن هضم‌شده هوازی تقریباً خنثی و برابر ۶/۹ بود. همچنین، غلظت مواد جامد کل (TS) لجن هضم‌شده هوازی به مقدار ۰/۹ درصد اندازه گیری شد.

در این تحقیق، دستگاه تعیین زمان صاف کردن لجن (TTF: Time To Filtration) که طبق روش ارائه‌شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب، داخل آزمایشگاه ساخته شده بود، مورد استفاده قرار گرفت [۱۷]. نمایی از این دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، از pH متر مدل ۱۵۱ Mi (واگ تک، انگلستان) برای اندازه‌گیری pH، ترازوی حساس آنالیتیکال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مدل HR۲۰۰ (ای اند دی، ژاپن) برای توزین مواد شیمیایی مصرفی، کاغذهای صافی واتمن یک جهت صاف کردن نمونه‌ها در دستگاه تعیین زمان صاف کردن لجن، دستگاه حمام اولتراسونیک مدل TI-H۵ (الما، آلمان) برای جداسازی نانوذرات، دستگاه جار تست مدل ۴۰۲-۷۷۹۰ (فیپس و بیرد استیرر، آمریکا) برای اختلاط نمونه‌ها، پمپ خلأ تایوانی مدل VC-۷۰۱، دستگاه فور



شکل ۱: نمای کلی دستگاه استفاده شده برای تعیین زمان صاف کردن لجن

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

ساخت ایران، دستگاه DR۲۰۰۰ (هک، آمریکا) استفاده شد.

ساخت نانوذرات آلومینیوم اکسید

جهت تهیه و ساخت نانوذرات اکسید آلومینیوم، مقدار ۳ گرم از ماده کلرید آلومینیوم در ۱۵۰ میلی‌لیتراتانول و مقداری آب مقطر دوبار تقطیر حل شد تا محلول شفافی به‌دست آید. سپس ۶۰ میلی‌لیترآمونیاک به آرامی و قطره قطره به محلول به دست آمده اضافه و مرتب هم زده شد تا رسوب ژل‌مانند سفید رنگ هیدروکسید آلومینیوم تشکیل شود. در نهایت نانوذره ساخته‌شده، سه مرتبه با آب مقطر شست و شو داده شد [۱۸].

روش آماده‌سازی کمک منعقدکننده

به‌منظور اصلاح کمک منعقدکننده با نانوذرات از روش تشکیل هم‌زمان استفاده گردید. در این روش ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه در یک بشر ریخته و pH آن توسط هیدروکلریک اسید در محدوده ۴-۳ تنظیم شد. ۱ میلی‌لیتر ماده آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان با ۱۰ میلی‌لیتر اتیل الکل خالص مخلوط و pH محلول آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان توسط اگزالیک اسید یک نرمال به سه رسید و به مدت یک ساعت برای هیدرولیز در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه‌سانتی‌گراد) قرارگرفت. سپس محلول آمینو پروپیل تری‌اتوکسی سیلان با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط و ۱ گرم پلی آکریل آمید کاتیونی به این ترکیب اضافه گردید و به مدت ۲۰ دقیقه با شیکر مغناطیسی هم زده شد، سپس نانوذره آلومینیوم اکسید که به‌طور مجزا ساخت شده بود، به‌آرامی به محلول آماده‌شده اضافه شد تا نانوذرات روی سطح پلی آکریل آمید قرار گیرند. در نهایت ۰/۱ گرم پتاسیم پرسولفات و ۰/۱ گرم سدیم سولفات برای تکمیل پلیمریزاسیون به محلول اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد [۱۲].

از عمومی‌ترین روش‌ها برای تعیین سرعت صاف کردن لجن، زمان صاف کردن، مقاومت ویژه در برابر صاف کردن (Specific Resistance To Filtration :SRF) و زمان مکش مویین (Capillary Suction Time :CST) را می‌توان نام برد [۱۹]. چنانچه جامدات موجود در لجن و ویسکوزیته فیلترشده در نمونه‌ها یکسان باشد، آزمون TTF، دارای همبستگی با نتایج زمان مکش موئین و مشابه مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون می‌باشد، با این خصوصیت که تست TTF بسیار ساده‌تر است. از طرف دیگر نتایج حاصل از این آزمون قابل استفاده در دیگر روش‌های آبگیری، به‌خصوص فیلتراسیون خلأ می‌باشد [۲۰].

میزان pH، غلظت کمک منعقدکننده، سرعت و زمان اختلاط تند بهینه با توجه به نتایج داده‌های حاصل از چهار پارامتر زیر انتخاب شد:

- تعیین زمان فیلتراسیون نمونه (TTF) (زمان لازم جهت صاف نمودن ۵۰ میلی‌لیتر حجم نمونه) [۲۰].
- تعیین درصد رطوبت کیک لجن حاصل [۲۱].
- تعیین میزان کدورت آب فیلترشده (مبنای میزان مواد خروجی در آب فیلترشده) [۲۲].
- تعیین میزان کل جامدات معلق آب فیلترشده [۱۷].

روش انجام آزمایش

در این مطالعه، به‌منظور سنجش قابلیت آبگیری لجن از روش اندازه گیری زمان صاف کردن استفاده شد. ابتدا جهت تعیین pH بهینه عملکرد مواد کمک منعقدکننده، نمونه‌هایی از مقادیر مساوی لجن (۱۰۰ میلی‌لیتر) درون بشر ریخته، سپس با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید و سولفوریک اسید، pH آنها در محدوده ۴ تا ۹ تنظیم گشت. در مرحله بعد غلظت ثابتی از کمک منعقدکننده‌های مورد نظر (۲ میلی‌گرم در لیتر) به آنها افزوده و به کمک دستگاه جار تست هم زده شد (به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت ۳۰۰ rpm جهت اختلاط تند و سپس ۲۰ دقیقه با سرعت ۶۰ rpm برای اختلاط کند). سپس نمونه‌ها به قیف بوخنر منتقل و به‌وسیله کاغذ صافی واتمن یک و با اعمال خلأ به قدرت ۵۱ کیلوپاسکال داخل دستگاه اندازه‌گیری زمان صاف کردن صاف شد. در تمامی نمونه‌ها، زمان لازم برای صاف کردن ۵۰ میلی‌لیتر مایع مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (هر چه زمان صاف کردن کوتاه‌تر

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

باشد، قابلیت آبگیری لجن بیشتر است). در این مراحل تمامی نمونه‌ها برای مدت‌زمان ثابت دو دقیقه صاف شده، سپس کیک لجن تشکیل شده روی کاغذ صافی دقیقاً توزین گردید. در ادامه نمونه تا خشک شدن کامل درون فور قرار گرفت. بعد از خشک شدن مجدداً وزن کیک ثبت شده و در نهایت با داشتن وزن کیک مرطوب و خشک، درصد رطوبت کیک لجن مطابق معادله (۱) محاسبه شد [۱۷,۲۳]

معادله (۱)

$$W_c = \frac{(w_1 - w_2) \times 100}{w_1}$$

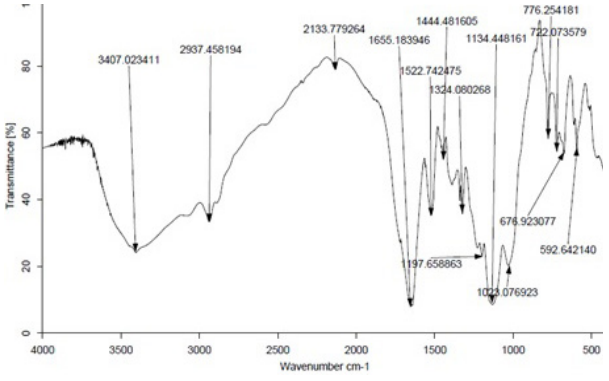
میزان کدورت و کل جامدات معلق آب فیلترشده نیز با استفاده از دستگاه DR۲۰۰۰ اندازه‌گیری شد [۲۴].

به‌منظور تعیین غلظت بهینه مواد کمک منعقدکننده، نمونه‌هایی از لجن مانند مرحله قبل در pH ثابت (pH بهینه‌شده در مرحله قبل) تهیه گردید و مقادیر مختلفی از کمک منعقدکننده (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ میلی‌گرم در لیتر) به‌صورت محلول در آب به نمونه‌ها افزوده شد و تمامی آزمایش‌ها مانند مرحله قبل با شرایط یکسان انجام گرفت و غلظت بهینه با توجه به پارامترهای نامبرده مشخص شد [۹].

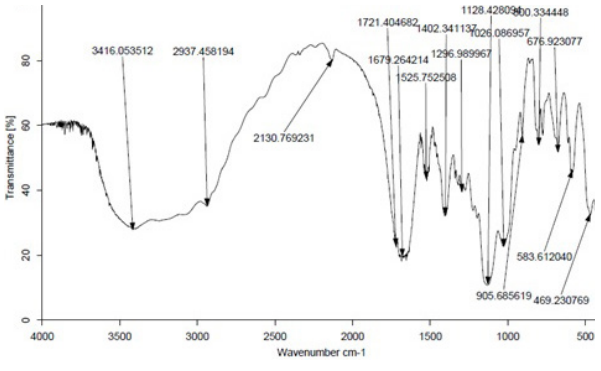
یافته‌ها

طیف IR کمک منعقدکننده خالص پلی آکریل آمید در نمودار ۱ آمده است و طیف کمک منعقدکننده اصلاح‌شده در نمودار ۲ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده قرارگیری نانوذره مورد نظر بر روی ترکیب پلی آکریل آمید است.

نمودار ۱ دارای گروه‌های عاملی در پیک‌های مختلف می باشد. پیک $2937\ cm^{-1}$ ارتعاشات گروه عاملی متیلن، $2133\ cm^{-1}$ ارتعاشات گروه عاملی کربونیل، $1655\ cm^{-1}$ ارتعاشات خمشی گروه عاملی آمین، $1134\ cm^{-1}$ و ۱۴۴۴ مربوط به ارتعاشات خمشی گروه عاملی آسیل، $1522\ cm^{-1}$ و ۲۹۳۷ ارتعاشات کششی گروه عاملی متیل و پیک $3407\ cm^{-1}$ ارتعاشات گروه عاملی هیدروکسیل را نشان می دهد. در شکل ۳ منحنی جذب آکریل آمید اصلاح‌شده توسط نانوذرات آلومینیوم اکسید، پیک $1679\ cm^{-1}$ متعلق به ارتعاشات کششی N-H (گروه عاملی آمین) پلی آکریل آمید می‌باشد. پیک $1128\ cm^{-1}$را می توان به ارتعاشات خمشی $-CH_3$ (گروه عاملی آسیل) از سطح پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید نسبت داد. باندهای $2937\ cm^{-1}$ و ۱۵۲۵ را نیز می توان به ارتعاش کششی باندهای C-H (گروه عاملی متیل) از سطح پلی آکریل آمید اصلاح‌شده نسبت داد. باندهای مشاهده شده بین $583\ cm^{-1}$ و ۴۶۹ تأییدی بر وجود گروه‌های آلومینیوم اکسید در ترکیب است که نشان می‌دهد پلی آکریل آمید به خوبی توسط نانوذرات اکسید آلومینیوم اصلاح شده است. پیک جذبی $2130\ cm^{-1}$ ارتعاشات گروه عاملی کربونیل رانشان می دهد. نوار جذبی ظاهرشده در ناحیه $3416\ cm^{-1}$ به گروه OH- (گروه عاملی



نمودار ۱: طیف FTIR نمونه پلی آکریل آمید خالص



نمودار ۲: طیف FTIR نمونه اصلاح‌شده با نانوذرات

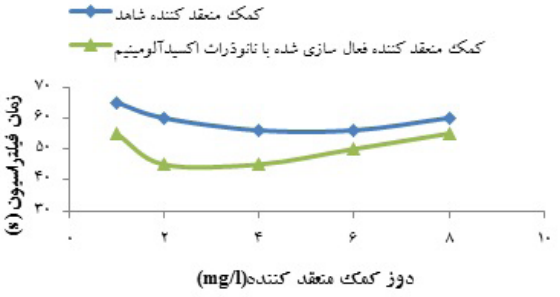
Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

نمودار ۳: تأثیر pH بر کارایی فرآیند انعقاد الف) مدت‌زمان فیلتراسیون (TTF)

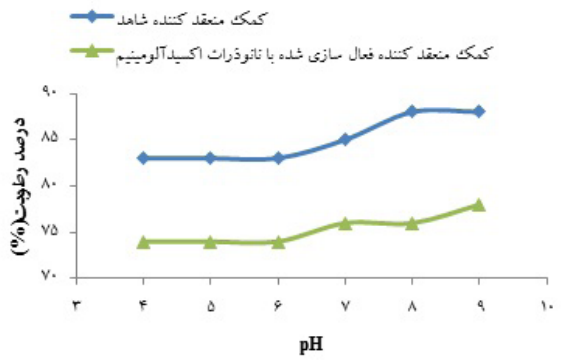
نمودار ۵: تأثیر pH بر کارایی فرآیند انعقاد ج) میزان کدورت

هیدروکسیل) در ترکیب نسبت داده شده است [۲۵]. پیک جذبی $1721\ cm^{-1}$ نیز نمایانگر گروه C=O (گروه عاملی کربونیل) در ساختار اصلاح‌کننده سیلانی می‌باشد [۲۶].

نتایج تعیین pH بهینه تأثیر کمک منعقدکننده اصلاح‌شده با



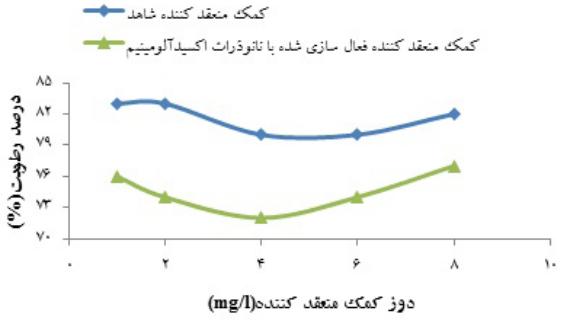
نمودار ۷: تأثیر دوز کمک منعقدکننده بر کارایی فرآیند انعقاد الف) مدت‌زمان فیلتراسیون (TTF)



نمودار ۴: تأثیر pH بر کارایی فرآیند انعقاد ب) درصد رطوبت کیک

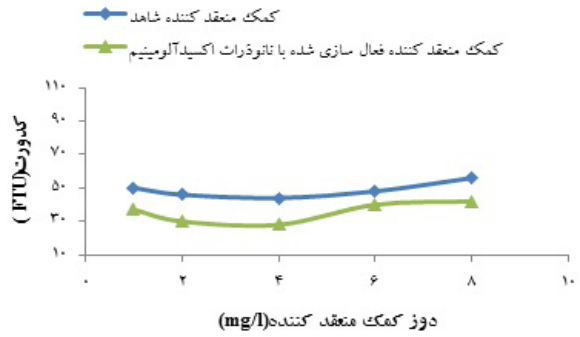
نمودار ۶: تأثیر pH بر کارایی فرآیند انعقاد د) میزان کل جامدات معلق (TSS)

نانوذرات آلومینیوم اکسید بر آبگیری لجن در نمودارهای ۳ تا ۶ آمده است. طبق نتایج حاصل، مدت‌زمان فیلتراسیون، کدورت و کل جامدات معلق آب فیلترشده در pH= ۵ و درصد رطوبت کیک لجن در pH= ۴-۶ در حداقل میزان مشاهده گردید که در مقایسه



نمودار ۸: تأثیر دوز کمک منعقدکننده بر کارایی فرآیند انعقاد ب) درصد رطوبت کیک لجن

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017



نمودار ۹: تأثیر دوز کمک منعقدکننده بر کارایی فرآیند انعقاد
ج) میزان کدورت

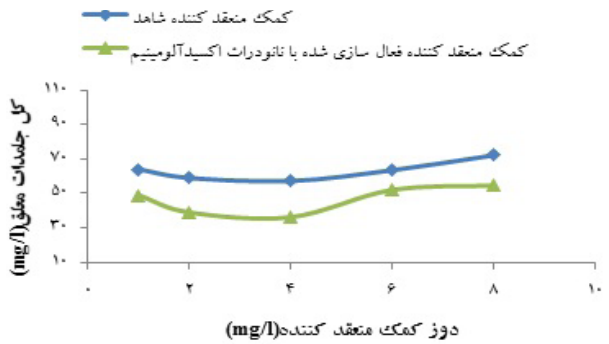
با نمونه لجن شاهد به‌ترتیب۳۳/۴، ۵۳/۳، ۶۸ و ۱۲/۲ درصد کاهش داشت.

با توجه به اهمیت پارامترهای درصد رطوبت کیک لجن، زمان فیلتراسیون، کدورت و کل جامدات معلق آب فیلترشده، pH=۵برای آماده‌سازی لجن جهت آبگیری با کمک منعقدکننده اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید، به‌عنوان pH بهینه انتخاب گردید.

با توجه به نتایج حاصل از تعیین غلظت بهینه (نمودارهای ۷ تا ۱۰) مدت‌زمان فیلتراسیون در غلظت‌های ۴و ۲ میلی‌گرم بر لیتر از سایر نمونه ها کمتر و این مقادیر نسبت به نمونه شاهد ۲۴/۴ درصد کاهش داشت. رطوبت کیک لجن، کدورت و کل جامدات معلق آب فیلترشده نیز در غلظت چهار میلی‌گرم بر لیتر، حداقل میزان مشاهده و نسبت به نمونه شاهد به‌ترتیب ۱۱/۲، ۵۷ و ۵۸ درصد کاهش داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

در طیف IR کمک منعقدکننده اصلاح‌شده با نانوذرات آلومینیوم اکسید که در نمودار ۳ آورده شده است، پیک نزدیک cm^{-1} ۵۸۳ و ۴۶۹ از منحنی مشخصه باند جذب پیوند AL-O می باشد که نشان می دهد نانوذرات بر روی ترکیب پلی آکریل آمید قرار گرفته است.



نمودار ۱۰: تأثیر دوز کمک منعقدکننده بر کارایی فرآیند انعقاد
د) میزان کل جامدات معلق (TSS)

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که تغییراتpH نمونه با راندمان فرآیند انعقاد و لخته‌سازی رابطه معکوس دارد. بیشترین راندمان فرآیند انعقاد و لخته‌سازی و آبگیری لجن در pHهای اسیدی ملایم به‌دست آمد. بیشترین راندمان آبگیری کیک لجن در۵ =pH و کمترین راندمان آبگیری در pHهای قلیایی به‌خصوص pH=۹ بود. در مطالعه‌ای توسط گنجی‌دوست و همکاران مشخص شد که فرآیند انعقاد و لخته‌سازی توسط دو دسته منعقدکننده‌های طبیعی و شیمیایی مورد مطالعه به‌طور قابل‌توجهی به pH وابسته بود و با افزایش مقدار pH میزان آبگیری لجن کاهش یافت و بهترین شرایط برای فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در pH اسیدی ملایم و خنثی مشاهده شد. [۲۷]. کوپلیمرهای آکریل آمید به همراه مونومرهای کاتیونی بوده که باعث ارتقاء بار مثبت در این دسته از پلیمرها می شوند و پس از انحلال در آب، محلول خاصیت باری مثبت ایجاد می کنند. گروه‌های فعال پلیمر در محیط آبی پیوند قوی با کلوئیدهای معلق یا ذرات بسیار ریز ایجاد می‌نمایند. فعالیت پلیمرهای باردار کاتیونیک وابسته به برخوردهای الکترواستاتیک و تبادل بار بین ذرات معلق و پلیمر و ناپایداری خصوصیت سطح ذرات می باشد. ناپایداری خواص سطح ذرات و منعقد شدن بخش اعظم یک دسته از ذرات معلق، باعث تشکیل لخته شده که پس از ته‌نشینی به راحتی قابل جداسازی می باشند. اثر بهینه پلیمرها بر روی ذرات

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

با اندازه گیری توانایی تأثیر پلیمر بر روی ذره قابل تخمین است. این توانایی به نوع و خواص سطح ذرات و کیفیت نمونه (قدرت هدایت الکتریکی، سختی و عوامل کاهش‌دهنده نمونه، pH و خواص یونی نمونه) بستگی دارد؛ بنابراین کاتیون یا آنیون متصل به پیکره شیمیایی پلی آکریل آمید تعیین‌کننده نوع بار فعال پلیمر می باشد. وزن مولکولی و شدت بار الکترولیت‌ها در فعالیت آنها تأثیر به‌سزایی دارد. همچنین محدوده pH بهینه را گسترش داده و مقدار مصرف ماده منعقدکننده را کاهش می دهند [۲۸]. در مطالعه دیگری توسط ونگ و همکاران شرایط بهینه برای غلظت و pH کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید به‌ترتیب ۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۷-۵ با ۹۹ درصد حذف TSS و ۹۱ درصد آب بازیافتی به‌دست‌آمده است که با مطالعات ما همخوانی داشت. این مطالعه نشان می‌دهد که پلی آکریل آمید کاتیونی با وزن مولکولی بالا سبب تقویت تجمع اولیه می شود؛ ولی تأثیر بار کاتیونی برای لخته‌سازی پایدار محسوس است [۲۲]. عمل لخته‌سازی از طریق جمع‌آوری ترکیبات کلوئیدی بر روی شاخه‌های پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات اکسید آلومنیوم، باعث بهبود آبگیری لجن می شود. همچنین این مواد باعث ایجاد لخته‌های حجیم و محکم شده که آب پیوندی بین کلوئیدها را خارج کرده و قابلیت آبگیری لجن را افزایش می‌دهند. نانوذرات آلومنیوم اکسید در تعامل با عوامل ایجاد وصله‌های کاتیونی بر روی سطوح ذرات، با ایجاد لخته‌های ریز و محکم و ایجاد فضای آزاد در لجن باعث بهبود و افزایش قابلیت آبگیری از لجن می‌شوند. لازم به ذکر است هر چه عوامل کاتیونی کمک منعقدکننده مؤثرتر بوده و بتوانند پیوندهای مثبت بهتر و بیشتری بر روی سطوح ذرات به وجود بیاورند، عملکرد نانوذرات آلومنیوم اکسید افزایش یافته و در نتیجه ایجاد لخته‌های ریز و متراکم و ایجاد فضای آزاد بین این لخته‌ها، قابلیت آبگیری لجن بهبود می یابد. پلی آکریل آمید در مجاورت نانوذرات، ترکیبات و لخته‌های آبگیری کننده به‌وجود خواهد آورد که این ترکیبات، کمتر حالت چسبندگی داشته و باعث تسهیل در خروج آب از فرآیند آبگیری لجن می‌شوند [۲۹].

مطابق نتایج به‌دست آمده از دوز کمک منعقدکننده، مشاهده گردید که ابتدا با افزایش دوز کمک منعقدکننده آماده‌سازی شده تا دوز ۴ میلی‌گرم در لیتر، پارامترهای اندازه‌گیری آبگیری لجن کاهش می‌یابد؛ اما از این دوز به بعد با افزایش دوز کمک منعقدکننده تمامی پارامترها افزایش یافته و آبگیری لجن کاهش می‌یابد. مطالعه‌ای که توسط لی و لو با هدف بررسی آبگیری لجن توسط دو نوع پلی الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده صورت گرفت؛ نشان داده شد که ابتدا با افزایش دوز کمک منعقدکننده زمان مکش مویین و مقاومت آبگیری لجن (SRF) کاهش می‌یابد؛ اما افزایش دوز از یک مقدار به بعد باعث کاهش آبگیری لجن یا افزایش زمان مکش مویین و مقاومت آبگیری لجن می‌شود که دلیل آن جذب مقداری از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی در دوزهای بالا به سایت‌های پیوست لجن می‌باشد؛ اما مقدار جذب نشده اضافی در فاز آبی باقی مانده و در نتیجه آبگیری لجن کاهش می‌یابد [۱۶]. در مطالعه دیگری که توسط آریفن و همکاران با عنوان بررسی سیستم لخته‌سازی هیبریدی PolyDADMAC کوپل شده با پلی آکریل آمید در تصفیه فاضلاب کاغذسازی انجام گرفت نشان داد که بهترین دوز این کمک منعقد کننده ۰/۴-۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است. در این مطالعه کاهش TSS و کدورت، حذف COD و پتانسیل زتا با دوزهای مختلف این کمک منعقدکننده فعالسازی شده مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که PolyDADMAC نقش تثبیت‌کننده و پلی آکریل آمید نقش ایجاد پل را دارد. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش دوز PolyDADMAC باعث ایجاد لخته‌های بهتری می‌شود که در نتیجه خنثی‌سازی بار الکتریکی در کلوئیدها رخ می‌دهد و مکانیسم پل زدن بین ذرات که توسط پلی آکریل آمید ایجاد می‌شود، فرآیند لخته‌سازی و میزان لخته‌های ایجاد شده را افزایش می‌دهد و زنجیره‌های طولانی با وزن مولکولی بالا ایجاد می‌شود که زنجیره‌ای و دنباله‌دار می‌باشند. این حلقه‌ها و دنباله‌ها به مکانیسم

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

پل زدن کمک کرده و در این مکانیسم مشارکت میکنند. در این سیستم پلی الکترولیتی دوگانه دوز PolyDADMAC نسبت به پلی آکریل آمید دارای تأثیر بیشتری بر پتانسیل زتا داشت. که این مطالعات با نتایج آزمایش‌های حاضر مطابقت دارد [۳۰].

طبق آزمایش‌های انجام‌شده تقریباً در تمامی موارد، ارتباط مستقیمی میان زمان صاف کردن نمونه‌های لجن و درصد رطوبت کیک حاصل وجود دارد؛ به عبارت دیگر در مورد استفاده از هر یک از کمک منعقدکننده‌ها در نقطه بهینه حداقل مقدار رطوبت کیک لجن در حداقل زمان صاف کردن مشاهده شده است؛ بنابراین بهترین کمک منعقدکننده مورد استفاده ماده‌ای است که سرعت جدا شدن آب از لجن آماده‌سازی را افزایش داده و همچنین درصد رطوبت کیک لجن حاصل از روش های مختلف آبگیری را کاهش دهد. با توجه به بازده قابل توجه کمک منعقدکننده فعالسازی شده در کاهش رطوبت کیک لجن در مقایسه با کمک منعقدکننده شاهد (پلی آکریل آمید کاتیونی) استفاده از این پلیمر نیز قابل توجیه است. با در نظر داشتن راندمان بالای کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانوذرات اکسید آهن در بهبود آبگیری لجن فاضلاب شهری، کاربرد این ماده در تصفیه لجن می‌تواند مشکل آبگیری را تا حدودی برطرف نماید.

قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه امانعلی خانی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط می‌باشد. تأمین‌کننده مالی این مطالعه دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد بود.

References

1. Yin X, Han P, Lu X, Wang Y. A review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment. Ultrason Sonochem 2004; 11(6):337-348.
2. Baeyens J, Hosten L, van Vaerenbergh E. Wastewater Treatment, Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 1997. P. 876.
3. Zhen G, Lu X, Li Y, Zhao Y, Wang B, Song Y, et al. Novel insights into enhanced dewaterability of waste activated sludge by Fe(II)-activated persulfate oxidation. Bioresour Technol 2012; 119:7-14.
4. Batstone R, Smith Jr JE, Wilson D. The safe disposal of hazardous wastes. Washington, D.C: Banco Mundial; 1989.
5. Krishnamurthy S, Viraraghavan T. Chemical conditioning for dewatering municipal wastewater sludges. Energy Sour 2005; 27(1-2):113-122.
6. Pinotti A, Zaritzky N. Effect of aluminum sulfate and cationic polyelectrolytes on the destabilization of emulsified wastes. Waste Manag 2001; 21(6):535-542.
7. Cheremisinoff PN. Sludge: management and disposal. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
8. Mininni G, Santori M. Problems and perspectives of sludge utilization in agriculture. Agricult Ecosyst Environ 1987; 18(4):291-311.
9. Wang J, Chen C, Gao Q, Li T, Zhu F. Relationship between the characteristics of cationic polyacrylamide and sewage sludge dewatering performance in a full-scale plant. Proced Environ Sci 2012; 16:409-417.
10. Qu X, Alvarez PJ, Li Q. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. Water Res 2013; 47(12):3931-3946.
11. Ovenden C, Xiao H. Flocculation behaviour and mechanisms of cationic inorganic microparticle/ polymer systems. Coll Surf Physicochem Engin Asp 2002; 197(1):225-234.
12. Wang F, Fan J, Zhu H, Han K, Zou J, Sun H. Preparation of nano-modified polyacrylamide and its application on solid-liquid separation in waste drilling mud. Adv Chem Engin Sci 2011; 1(2):33.
13. Lin Q, Peng H, Zhong S, Xiang J. Synthesis, characterization, and secondary sludge dewatering

Downloaded from jhc.mazums.ac.ir at 10:21 IRST on Tuesday February 21st 2017

performance of a novel combined silicon–aluminum–iron–starch flocculant. J Hazard Mater 2015; 285:199-206.

14. Thapa KB, Qi Y, Hoadley AF. Interaction of polyelectrolyte with digested sewage sludge and lignite in sludge dewatering. Coll Surf Physicochem Engin Asp 2009; 334(1):66-73.
15. Ganjidoust H, Khaleghi SM, Mokhtarani N. Effects of natural polymers and chemical coagulants on the dewatering of sewage sludge. Iran J Polym Sci Thechnol 2007; 19(6):485-491.
16. Lee CH, Liu JC. Enhanced sludge dewatering by dual polyelectrolytes conditioning. Water Res 2000; 34(18):4430-4436.
17. American Public Health Association, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. New York: American Public Health Association; 1995.
18. Rajaeiyan A, Bagheri-Mohagheghi MM. Comparison of sol-gel and co-precipitation methods on the structural properties and phase transformation of γ and α-Al2O3 nanoparticles. Adv Manufact 2013; 1(2):176-182.
19. Takahide S. Kurita handbook of water treatment. Tokyo: Kurita Water Industries, Ltd; 1999.
20. Bishop P. Municipal sewage sludge: management, processing and disposal. Florida: CRC Press;1995.
21. Greenhalgh LK, McFarland MJ, Cardon GE, Vutran M, Schmitz MD, Brobst RB. Metals in biosolids-amended soils in Western Utah. J Agricult Exten Rural Dev 2009; 1(1):8-17.
22. Wong S, Teng TT, Ahmad AL, Zuhairi A, Najafpour G. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. J Hazard Mater 2006; 135(1):378-388.
23. Chen Y, Yang H, Gu G. Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling. Water Res 2001; 35(11):2615-2620.
24. Özacar M. Effectiveness of tannins obtained from valonia as a coagulant aid for dewatering of sludge. Water Res 2000; 34(4):1407-1412.
25. Sun W, Zhang G, Pan L, Li H, Shi A. Synthesis, characterization, and flocculation properties of branched cationic polyacrylamide. Int J Polymer Sci 2013; 2013:397027.
26. Kang JS, Yu CL, Zhang FA. Effect of silane modified SiO2 particles on poly (MMA-HEMA) soap-free emulsion polymerization. Iran Polym J 2009; 18(22):927-935.
27. Ganjidoost H, Meschi Nezami M, Mokhtarani N. Effects of natural polymers and chemical coagulants on sewage sludge dewatering. Poly Sci Technol 2006; 19(6):485-491.
28. Kulicke WM, Kniewske R, Klein J. Preparation, characterization, solution properties and rheological behaviour of polyacrylamide. Prog Poly Sci 1982; 8(4):373-468.
29. Hubbe MA. Microparticle programs for drainage and retention. Micro and Nanoparticles in Papermaking. Atlanta: TAPPI Press; 2005. P. 1-36.
30. Ariffin A, Razali MA, Ahmad Z. PolyDADMAC and polyacrylamide as a hybrid flocculation system in the treatment of pulp and paper mills waste water. Chem Engin J 2012; 179:107-111.