Archive of SID

پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره سوم، شماره چهار، بهار و تابستان 97، صفحه‌ی 31-39

بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب به روش هضم اسیدی

سیده الهه مهدویان[*1]
s.e.mahdavian@alumni.ut.ac.ir

فریبا استوار [2]

چکیده

انعقاد فرایندی است که تمایل ذرات کوچک موجود در سوسپانسیون آبی را جهت چسبیدن به یکدیگر و به سطوحی مانند مدیا در صافی شنی افزایش می‌دهد و از طریق مخلوط کردن منعقدکننده‌هایی نظیر سولفات آلومینیوم (آلوم)، کلرید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید با آب خام انجام می‌شود. لجن‌های حاوی منعقدکننده پس از عمل انعقاد و به واسطه‌ی ته‌نشینیِ کدورت طبیعی تشکیل می‌شوند. وجود مقدار زیادی منعقدکننده در لجن تصفیه‌خانه‌ی آب، ریسک‌های محیط‌زیستی و هزینه‌های مربوط به دفع را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، منعقدکننده‌های موجود در لجن ارزش اقتصادی بالایی دارند. بنابراین چنانچه بازیابی شوند، علاوه بر کاهش ریسک‌های مربوط به دفع لجن، ممکن است هزینه‌های تأمین منعقدکننده‌ی تازه در تصفیه‌خانه‌ی آب و یا فاضلاب نیز کاهش یابد. در این مقاله پژوهش‌های انجام شده به روش هضم اسیدی جهت بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب بررسی شده‌اند. میزان بازیابی منعقدکننده‌ها، نقاط قوت و ضعف و جنبه‌های اقتصادی این روش، مواردی هستند که به آن‌ها پرداخته شده است. نتایج بررسی‌های انجام شده مشخص نمود استفاده از سولفوریک اسید، به دلیل ارزان و در دسترس بودن، بهترین گزینه برای انجام فرایند هضم اسیدی است. همچنین چنانچه هدف از بازیابی منعقدکننده، دستیابی به کیفیتی مشابه نمونه‌ی تجاری باشد، روش هضم اسیدی استانداردهای مربوطه را ارضاء نخواهد نمود.

واژگان کلیدی: منعقدکننده، هضم اسیدی، تصفیه‌خانه‌ی آب، لجن، آلومینیوم

Coagulant recovery from waterworks sludge by acid digestion method

Seyede Elahe Mahdavian[*1], Fariba ostovar[2]

1-M.Sc. in Environmental Engineering-Water & Wastewater, University of Tehran-Faculty of Environment
2- PhD Candidate in Analytical Chemistry, Urmia University,

Abstract

Coagulation is a process that increases the tendency of small particles in an aqueous suspension to attach to one another and to surfaces such as the media in a filter bed and is applied through mixing coagulants such as aluminum sulfate (alum), ferric chloride and polyaluminum chloride with raw water. Sludge containing coagulant is formed after coagulation and through sedimentation of natural turbidity. Presence of high amounts of coagulant in waterworks sludge, increases environmental risks and disposal costs. Coagulants in sludge have high economic value. Therefore, if these coagulants recover, not only sludge disposal risks but also expenses related to supply of fresh coagulant in water or wastewater treatment plant may decrease. In this paper, researches conducted by acid digestion method for coagulant recovery from waterworks sludge are investigated. Amounts of coagulant recovery, advantages and disadvantages and economic aspects of this method are studied. Results of the investigation showed that using sulfuric acid is the best option for conducting acid digestion process because it is cheap and available. Moreover, if the purpose of recovering process is to achieve a recovered coagulant with a similar quality to the commercial ones, acid digestion method will not satisfy related standards.

Keywords: Coagulant, Acid digestion, Water treatment plant, Sludge, Aluminum

1- کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- آب و فاضلاب، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، ایران
2- دانشجوی دکتری شیمی تجزیه، دانشگاه ارومیه، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

انعقاد فرایندی است که تمایل ذرات کوچک موجود در سوسپانسیون آبی را جهت چسبیدن به یکدیگر و به سطوحی مانند مدیا در صافی شنی افزایش می‌دهد (1) و از طریق مخلوط کردن یک منعقدکننده با آب خام انجام می‌شود. سولفات آلومینیوم (آلوم)، کلرید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید منعقدکننده‌های رایجی هستند که در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (2). لجن‌های حاوی منعقدکننده پس از عمل انعقاد و به واسطه‌ی ته‌نشینیِ کدورت طبیعی تشکیل می‌شوند. در تصفیه‌خانه‌های آب، لجن‌های حاوی منعقدکننده در حوضچه‌های ته‌نشینی و فیلترها جمع‌آوری می‌شوند. به طور متداول جریان لجن حوض‌های ته‌نشینی در تصفیه‌خانه‌ی آب چیزی در حدود 0/1 تا 0/3 درصد از جریان ورودی به تصفیه‌خانه است، اما بیش‌ترِ جامدات حذف شده، در این جریان قرار دارند (3).

به دلیل ارزش غذایی یا گرمایی بسیار کمِ لجن تصفیه‌خانه‌ی آب در مقایسه با لجن تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب، هضم بیولوژیکی یا سوزاندن این لجن عملیاتی نیست (4). بالا بودن غلظت فلزات موجود در این لجن، کاربرد آن را در زمین محدود می‌سازد و مقادیر زیاد آب مقید[14] موجب پرهزینه و سخت شدن علمیات آبگیری و انتقال می‌گردد (5). تخلیه‌ی لجن به آب‌های پذیرنده منجر به تغییر رنگ آن خواهد شد و افزایش کدورت، pH و سختی را به همراه خواهد داشت (3). تخلیه‌ی لجن آلوم به دلیل ایجاد خفگی موجب تهدید حیات آبزیان می‌شود. همچنین آلومینیوم و سایر فلزات حاضر در لجن می‌توانند برای حیات ارگانیزم‌های آبزی سمی باشند. تصفیه‌خانه‌های آبی که لجن را به مدت چند ماه در تانک‌های نگهداری ذخیره و سپس بصورت دوره‌ای به محیط تخلیه می‌کنند، حجم اثرات محیط زیستی بالقوه را افزایش می‌دهند (6).

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی جهت استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب در کاربردهای سودمندی نظیر مصالح ساختمانی (7)، تصفیه‌ی فاضلاب (8) و اصلاح خاک (9) انجام شده است (2). همچنین بازیابی منعقدکننده‌های حبس شده در این لجن یکی دیگر از گزینه‌های جذابی است که در مطالعات گزارش شده است (10)،(11). بازیابی منعقدکننده این پتانسیل را دارد که اثرات محیط زیستی تصفیه‌ی آب را کاهش داده و بسیاری از اصول شیمی سبز (12) را ارضاء نماید (13). با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، پنج روش هضم اسیدی، هضم قلیائی، تبادل یونی، فرایندهای غشائی (14) و جذب (15) در ادبیات موضوع جهت بازیابی منعقدکننده مشاهده گردید که هر کدام دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند.

در این مقاله پژوهش‌های انجام شده به روش هضم اسیدی جهت بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب بررسی شده‌اند. میزان بازیابی منعقدکننده‌ها، نقاط قوت و ضعف و جنبه‌های اقتصادی این روش، مواردی هستند که به آن‌ها پرداخته شده است تا محققین مربوطه با نگاهی جامع و آگاه به جنبه‌های مختلف فرایند، در پیشبرد پژوهش‌های آتی خود اقدام نمایند.

2- مشخصات لجن تصفیه‌خانه‌ی آب

لجنی که طی فرایند انعقاد تشکیل می‌شود شامل دو مولفه است؛ نخست رسوبات حاصل از واکنش‌هایی که در اثر افزودن منعقدکننده تشکیل می‌شوند و مولفه‌ی دوم نیز ناشی از مواد جامدی است که در آب منبع وجود دارند (16). مقدار و ویژگی‌های لجن حاوی منعقدکننده به کیفیت آب ورودی، نوع و میزان منعقدکننده‌ی مصرفی (به طور مثال، در صورت استفاده از منعقدکننده‌های با پایه‌ی آلومینیوم شاهد غلظت‌های بالای آلومینیوم خواهیم بود)، راندمان فرایند، طراحی تصفیه‌خانه و معیارهای دیگر بستگی دارد. این لجن عمدتاً شامل هیدروکسیدهای فلزی منعقدکننده، مواد آلی طبیعی موجود در آب منبع، جامدات معلق، میکروارگانیزم‌ها و سایر ترکیبات آلی و غیرآلی است. آلومینیوم، آرسنیک و در برخی از مواقع کادمیم، کروم، مس، آهن، سرب، منگنز، نیکل و روی از جمله فلزاتی هستند که در لجن منعقدکننده یافت می‌شوند (3)، (17). ترکیبات شیمیایی اصلی موجود در چند نمونه از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب در جدول 1 آورده شده است.

[14] Boundwater

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1 نمونه‌هایی از آنالیز فلزات لجن منعقدکننده (18)

فلز	لجن آلوم 1 (وزن خشک mg/kg)	لجن آلوم 2 (وزن خشک mg/kg)	لجن آلوم 3 (وزن خشک mg/kg)
آلومینیوم	107000	123000	28600
آرسنیک	25/0	32/0	9/2
باریم	30	<30	230
کادمیم	1	1	2
کروم	120	130	50
مس	168	16	52
آهن	48500	15200	79500
سرب	11	9	40
منگنز	1180	233	4800
جیوه	0/1	<0/1	0/2
نیکل	24	23	131
سلنیوم	<2	<2	<2
نقره	<2	<2	<2
روی	91/7	393	781

3- هضم اسیدی

بازیابی منعقدکننده از طریق هضم اسیدی بدین معنی است که با افزودن اسید به لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌ی آب، مطابق معادله‌ی 1 هیدروکسیدهای آلومینیوم نامحلول به صورت محلول در می‌آیند:

معادله‌ی 1 (14) $2Al(OH)_3.3H_2O + 3H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow Al_2(SO)_4.14H_2O$

نخستین ثبت اختراع در زمینه‌ی تکنولوژی‌های بازیابی منعقدکننده، در سال 1903 برای هضم اسیدی آب بکواش فیلتر به منظور انحلال مجدد هیدروکسیدهای ته‌نشین شده‌ی منعقدکننده‌ی فلزی اعطاء شد (19).

بازیابی آلوم از لجن خام حوض‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه‌ی آب ویلیامز در شهر دورهام، یکی از پژوهش‌های عملی بزرگ مقیاس انجام شده در این زمینه است. در این بررسی دو آزمایش بزرگ مقیاس جداگانه در دو ماه آگوست و سپتامبر با روش‌های مشابه انجام شد. تست‌های آزمایشگاهی بیانگر آن بودند که با کاهش pH تا میزان 2، تمام آلومینیوم محلول خواهد بود. بنابراین درصد بازیابی آلوم به میزان مایعی بستگی دارد که بعد از اسیدشویی از لجن قابل استحصال است. به منظور بررسی کارآیی منعقدکننده‌ی بازیابی شده، در نیمی از تصفیه‌خانه از منعقدکننده بازیابی شده و در نیمی دیگر از منعقدکننده‌ی تجاری استفاده گردید. میزان بهینه‌ی 26 mg/l آلوم که حاصل نتایج جارتست بود، در هر دو قسمت تصفیه‌خانه اعمال شد. کیفیت آب خروجی هر دو قسمت تصفیه‌خانه مشابه بود و تمام استانداردهای مربوطه را ارضاء کرد. هر چند آنالیزهای دقیق‌تر حاکی از قدری تفاوت در کیفیت آب دو قسمت بودند. بطوری‌که کدورت آب ته‌نشین شده در قسمتی که آلوم بازیابی شده مورد استفاده قرار گرفته بود، همواره بیش‌تر بود. اینکه علت این امر ناشی از تفاوت آلوم یا عملکرد هیدرولیکی دو قسمت باشد، به طور مشخص گزارش نشده است. همچنین غلظت منگنز ته‌نشین شده در سمتی که از آلوم بازیابی شده استفاده شده بود، بیش‌تر گزارش شد. از نتایج پراهمیت دیگر این پژوهش، یکسان بودن مقدار فلزها در آب خروجی از هر دو قسمت تصفیه‌خانه بود. در یک جمع‌بندی پژوهشگران انتظار داشتند که با روش استفاده شده تقریباً 75% از آلوم ورودی به تصفیه‌خانه‌ی آب دورهام قابل بازیابی باشد (20).

درصد جامدات خشک لجن، pH، زمان اختلاط و زمان ته‌نشینی در پژوهش دیگری با هدف بازیابی آهن و آلومینیوم از لجن حاصل از تصفیه‌ی آب مورد بررسی قرار گرفتند. بالاترین

www.SID.ir

Archive of SID

راندمان بازیابی آهن در pH برابر 1 به میزان 18/2% به وقوع پیوست. همچنین بیش‌ترین راندمان حذف آلومینیوم در pH اسیدی 58/9% گزارش شد (21).

هضم اسیدی منعقدکننده‌ی آهن با سولفوریک اسید و استفاده از آن در تصفیه‌ی فاضلاب در پژوهش دیگری بررسی شد. pH بهینه بین 1-0/5% منجر به بازیابی بیش از 80% از منعقدکننده گردید. منعقدکننده‌ی تجاری نسبت به این منعقدکننده عملکرد بهتری در تصفیه‌ی فاضلاب داشت. زمانی که منعقدکننده‌ی بازیابی شده به نسبت مساوی با منعقدکننده‌ی تجاری مخلوط شد، 90% از جامدات معلق و فسفر و بیش از 50% از COD را حذف نمود (22).

بازیابی آلومینیوم از طریق اسیدشویی در ترکیب با امواج اولتراسوند مورد بررسی قرار گرفت. در این روش میزان بازیابی آلومینیوم تقریباً 20% بیش‌تر از هنگامی بود که فقط روش اسیدشویی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در تست‌های آزمایشگاهی غلظت سولفوریک اسید 2 M، زمان تصفیه تصفیه‌ی اولتراسونیک 30 دقیقه، توان اولتراسوند 1000 W و سرعت همزنی 1000 rpm به عنوان شرایط بهینه در این روش ترکیبی گزارش شده است. همچنین در میزان درصد بازیابی یکسان، هنگامی که از روش ترکیبی استفاده شد غلظت اسید مورد نیاز 90% کاهش یافت (23).

در بررسی تأثیر نوع اسید و اندازه ذرات لجن بر میزان بازیابی منعقدکننده‌ی آلومینیوم در فرایند هضم اسیدی (pH=2)، سولفوریک اسید نسبت به هیدروکلریک اسید منجر به بازیابی مقادیر بیش‌تری از آلومینیوم گردید. همچنین هنگامی که قبل از افزودن اسید، محلول در معرض امواج اولتراسونیک قرار گرفت، میزان آلومینیوم محلول در سوپرناتنت لجن هضم شده افزایش یافت (1/88 برابر نسبت به زمانی که در معرض امواج اولتراسونیک قرار نگرفته بود) (24).

در گزارش دیگری، مقادیر pH بهینه برای استخراج منعقدکننده و زلالسازی توسط منعقدکننده‌ی بازیابی شده به ترتیب 3-4 و 6 گزارش شد. همچنین در تصفیه‌ی فاضلاب شهری و فاضلاب از محل دفن زباله‌ی ساحلی، میزان حذف COD، TN و TP با استفاده از منعقدکننده‌ی بازیابی شده بیش از آلومینیوم سولفات یا پلی آلومینیوم کلراید تجاری بدست آمد (25).

امکان‌پذیری بازیابی آلوم از لجن حاصل از مصرف منعقدکننده در تصفیه‌ی آب و استفاده‌ی مجدد از آن در فرایند تصفیه‌ی مقدماتی ارتقاء یافته با استفاده از مواد شیمیایی (CEPT) بررسی گردید. دو نمونه لجن، یکی حاصل افزودن منعقدکننده‌ی آلومینیوم سولفات به آب رودخانه به میزان 4 mg/l (نمونه‌ی 1) و دیگری به نمونه‌ی فاضلاب تهیه شده از یک منطقه مسکونی به میزان 12 mg/l (نمونه‌ی 2)، مورد آزمایش قرار گرفتند. pH بهینه برای هر دو نمونه 2/5 و زمان اختلاط بهینه برای نمونه‌ی 1 به میزان 30 دقیقه و برای نمونه‌ی 2 به میزان 60 دقیقه گزارش شد. همچنین به دلیل انحلال آلوم و برخی مواد دیگر در زمان اسیدشویی، کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان لجن مورد انتظار بود که یافته‌های حاصل از این پژوهش نیز آن را تأئید نمودند. بررسی ترکیبات منعقدکننده‌ی بازیابی شده از نظر دارا بودن فلزات سنگین، بیش‌تر بودن غلظت این فلزات در مقایسه با منعقدکننده‌ی تازه را روشن ساختند. در بررسی کارآیی منعقدکننده‌ی بازیابی شده در مقایسه با منعقدکننده‌ی تازه، راندمان حذف کدورت زمانی که از منعقدکننده بازیابی شده استفاده شد، بیش‌تر و راندمان حذف COD و SCOD مشابه گزارش شد (26).

بازیابی آهن از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب و استفاده‌ی مجدد آن در فرایند تصفیه‌ی مقدماتی ارتقاء یافته با استفاده از مواد شیمیایی (CEPT) نیز مورد بررسی قرار گرفت. دو نمونه لجن، یکی حاصل افزودن منعقدکننده‌ی آهن به آب رودخانه به میزان 10mg/l (نمونه‌ی 1) و دیگری به نمونه‌ی فاضلاب تهیه شده از یک منطقه مسکونی به میزان 50 mg/l (نمونه‌ی 2)، مورد آزمایش قرار گرفتند. pH بهینه برای هر دو نمونه 1/5 و زمان اختلاط بهینه برای نمونه‌ی 1 به میزان 20 دقیقه و برای نمونه‌ی 2 به میزان 60 دقیقه گزارش شد. علت این امر را می‌توان به بیش‌تر بودن آلاینده‌های موجود در فاضلاب و تأثیر آن در کند شدن روند هضم اسیدی نسبت داد. همچنین میزان کاهش حجم لجن در pH بهینه برای نمونه‌ی 1 و 2 به ترتیب 40/3% و 50/9% گزارش شد. بررسی ترکیبات منعقدکننده‌ی بازیابی شده از نظر دارا بودن فلزات سنگین، بیش‌تر بودن غلظت این فلزات در مقایسه با منعقدکننده‌ی تازه را روشن ساختند. در بررسی کارآیی منعقدکننده‌ی بازیابی شده در مقایسه با منعقدکننده‌ی تازه، راندمان حذف کدورت زمانی که از منعقدکننده بازیابی شده استفاده شد، بیش‌تر و راندمان

www.SID.ir

Archive of SID

حذف سایر پارامترها همچون COD و SCOD مشابه گزارش شد (27).

تأثیر مشخصات لجن حاوی منعقدکننده‌ی آلومینیوم بر راندمان بازیابی منعقدکننده با استفاده از H_2SO_4 ارزیابی گردید. دو نوع منعقدکننده‌ی آلومینیوم سولفات و پلی‌آلومینیوم‌کلراید و دو نوع بافت جامدات معلق یکی بر پایه‌ی ماسه و دیگری بر پایه‌ی رس بررسی شدند. راندمان بازیابی آلومینیوم در pH برابر 2 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بودند که راندمان بازیابی آلومینیوم از لجن حاوی ذرات رس بیش‌تر از لجن حاوی ذرات ماسه بود. همچنین در ارتباط با نوع منعقدکننده، راندمان بازیابی برای لجن حاصل از مصرف پلی‌آلومینیوم‌کلراید بین 77% تا 100% و برای لجن حاصل از آلومینیوم سولفات بین 65% تا 72% گزارش شد. آزاد شدن فلزات سنگین در فرایند هضم اسیدی، کاربرد منعقدکننده‌ی بازیابی شده را محدود می‌کند و به همین دلیل پیشنهاد شده است از منعقدکننده‌ی بازیابی شده در فرایندهای تصفیه‌ی فاضلاب استفاده شود (28).

حذف فسفر فاضلاب با استفاده از باقیمانده‌ی رسوبی حاصل از بازیابی منعقدکننده‌ی موجود در لجن تصفیه‌خانه‌ی آب توسط اسید مورد بررسی قرار گرفت. جهت بازیابی منعقدکننده در این پژوهش از امواج اولتراسونیک و همچنین خشک کردن لجن با حرارت بسیار بالا در کنار اسیدشویی استفاده شد. نتایج بیانگر آن بودند که نرخ حذف فسفر تا حدود 100% قابل دستیابی است و وابستگی زیادی به pH دارد. مقادیر pH بهینه 4-6 گزارش شد. همچنین باقیمانده‌ی رسوبی حاصل از بازیابی منعقدکننده‌ی موجود در لجن آب آشامیدنی با اسید که در معرض حرارت بسیار بالا قرار گرفته بود در مقایسه با نمونه‌ی مشابه که در کوره قرار نگرفته بود، قابلیت حذف مقدار بیش‌تری از فسفر را نشان داد. علاوه بر بررسی‌های بالا، میزان نشت فلزات سنگین از نمونه‌ی منعقدکننده‌ی بازیابی شده که در کوره قرار نگرفته بود، آزمایش شد. در این نمونه مقادیر سمیت استخراج شده برای Cu، Zn، Cr و Ni خیلی پائین‌تر از مقادیر آستانه‌ای که معرف پسماند سمی است، قرار داشت (29).

بازیابی آهن موجود در منعقدکننده‌ی مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌ی آب جلالیه‌ی تهران با استفاده از سولفوریک اسید و سدیم هیدروکسید مورد آزمایش قرار گرفت. از بین این دو ماده، سولفوریک اسید از نظر عملیاتی و اقتصادی نتایج بهتری را در احیاء منعقدکننده نشان داد. مدت زمان همزنی در این آزمایش‌ها 5 دقیقه با شدت 40 rpm بود. همچنین سه پدیده‌ی مهم در اسیدشویی لجن مشاهده گردید: انحلال هیدروکسید فلزی، کاهش حجم لجن و در نهایت قابلیت ته‌نشینی سریع‌تر و خشکی لجن باقیمانده. سولفات فریک احیاء شده و نمونه‌ی تازه از این منعقدکننده به منظور مقایسه‌ی کارایی، در تصفیه‌ی دو نوع متفاوت از فاضلاب صنعت نساجی آزمایش شدند. میزان منعقدکننده هنگامی‌که از نمونه‌ی احیاء شده استفاده گردید بسیار کم‌تر از منعقدکننده‌ی تازه بدست آمد که میزان آن 5-15 mg/l در pH بهینه‌ی 7 بود (30).

بازیابی آلوم از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب الشیخ زاید در مصر به روش اسیدشویی با هیدروکلریک اسید انجام شد. اثر غلظت اسید، جرم لجن، نسبت جرمی اسید به لجن، سرعت اختلاط، دما و زمان اختلاط بر میزان بازیابی آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بهینه میزان بازیابی آلومینیوم 82/4% گزارش شد (2).

پژوهش دیگری درخصوص بازیابی آلوم از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب به روش هضم اسیدی بیش‌ترین میزان بازیابی آلوم در pH بهینه‌ی 1/5 را برابر 69/03% گزارش نمود. همچنین کاهش حجم لجن برای سه تصفیه‌خانه‌ی متفاوت آب بین 47% تا 90% مشاهده شد که تأثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های مدیریت لجن تصفیه‌خانه خواهد داشت. همچنین زمان بهینه‌ی اختلاط 60 دقیقه و میزان آن 150 rpm بدست آمد (31).

بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب و کاربرد منعقدکننده‌ی احیاء شده در تصفیه‌ی تکمیلی جریان خروجی از راکتور UASB بررسی شد. در شرایط بهینه میزان بازیابی آلومینیوم از لجن پلی‌آلومینیوم کلراید و آلوم به ترتیب 73/26% و 62/73% به دست آمد. در این شرایط pH=2، میزان مواد جامد 0/5% و زمان اختلاط 30 دقیقه به دست آمد. منعقدکننده‌ی بازیابی شده پس از کاربرد در جریان خروجی راکتور UASB با غلظت 25 mg/l توانست 71% کاهش در میزان COD، 80% کاهش در میزان کدورت، 89% کاهش در میزان فسفات، 77% کاهش در میزان مواد معلق و 99/5% کاهش در میزان کلیفرم کل را به دست دهد. این در حالی است که مقادیر مشابه حذف در استفاده از منعقدکننده‌ی تازه زمانی بود که غلظت 40 mg/l مورد استفاده قرار گرفت (8).

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهشی دیگری نیز از سولفوریک اسید بمنظور هضم اسیدی لجن تصفیه‌خانه‌ی آب استفاده شد. بیش‌ترین بازیابی به میزان 92/4% در غلظت اسید 1/5 نرمال، وزن لجن 5 گرم، سرعت اختلاط 60 rpm، دمای 60 °C و زمان 40 دقیقه به دست آمد. نکته‌ی جالب توجه در این پژوهش بررسی غلظت فلزات سنگین و همچنین میزان تری‌هالومتان‌ها در منعقدکننده‌ی بازیابی شده بود. غلظت فلزات سنگین در هر دو منعقدکننده‌ی بازیابی شده و تجاری بسیار نزدیک به هم بود. همچنین منعقدکننده‌ی بازیابی شده از نظر ریسک وجود تری‌هالومتان‌ها ایمن گزارش شد (32).

در جدول 2 میزان بازیابی منعقدکننده به روش هضم اسیدی بصورت مقایسه‌ای از نظر گذرانده شده است:

جدول 2- بازیابی منعقدکننده به روش هضم اسیدی توسط H2SO4 یا HCl

ردیف	میزان بازیابی %			مرجع
	PAC	Al_2SO_4	Fe^{3+}	
1	-	75	-	(20)
2	-	58/9	18/2	(21)
3	-	-	≈80	(22)
4	-	65/81	-	(23)
5	-	84/5	-	(26)
6	-	-	75	(27)
7	100-77	72-65	-	(28)
8	-	50	70	(29)
9	-	-	≈70	(30)
10	-	(HCl) 82/4	-	(2)
11	-	69/03	-	(31)
12	73/26	62/73	-	(8)
13	-	83/75	-	(23)
14	-	94/2	-	(32)

4- تعداد دفعات قابل بازیابی

در پژوهشی که در سال 2007 صورت گرفت، با هدف بررسی تأثیر بازیابی‌های مکرر آلوم بر کاهش لجن و بازیابی منعقدکننده، بازیابی آلوم 4 مرتبه تکرار شد. نتایج حاصله بیانگر آن بودند که نرخ بازیابی منعقدکننده و کاهش لجن، با افزایش تکرار بازیابی منعقدکننده کاهش اندکی داشتند. همچنین با افزایش دفعات بازیابی، راندمان منعقدکننده‌ی بازیابی شده برای حذف رنگ به میزان اندکی کاهش یافت (26).

در بازیابی آلوم از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب الشیخ زاید در مصر به روش اسیدشویی با هیدروکلریک اسید، نتایج بیانگر آن بودند که استفاده از منعقدکننده‌ی بازیابی شده تا سه مرتبه مشکلی از نظر تشکیل تری‌هالومتان‌ها ایجاد نمی‌کند و مقدار آن در محدوده‌ی مجاز باقی خواهد ماند (2).

5- بازیابی منعقدکننده به روش هضم اسیدی از منظر اقتصادی

رایج‌ترین روش برای برگرداندن فلزات منعقدکننده به فاز آبی، هضم اسیدی با استفاده از سولفوریک اسید است؛ چراکه ارزان‌ترین اسید در دسترس می‌باشد (22). همچنین از آنجائیکه هضم اسیدی لجن، انحلال مقادیر زیادی از جامدات معلق را به دنبال دارد، منجر به کاهش حجم آن می‌گردد (34). همچنین این فرایند کاهش هزینه‌های مدیریت لجن را نیز به دنبال دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

6- بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که در جدول 3 قابل مشاهده است، هضم اسیدی دارای مزایا و معایب مختلفی است. در این روش، انحلال سایر ترکیبات لجن همچون NOM موجب افزایش اسید مصرفی و آلودگی منعقدکننده‌ی بازیابی شده می‌گردد. از منظر اقتصادی و کیفی، انحلال همزمان این ترکیبات یک مولفه‌ی کلیدی در بازیابی منعقدکننده برای استفاده‌ی مجدد در تصفیه‌ی مدرن آب است (6) و به عنوان بحرانی‌ترین مانع در بازیابی منعقدکننده برای استفاده‌ی مجدد در مصارف شرب خواهد بود (13). در نتیجه چنانچه هدف، بازیابی منعقدکننده با کیفیت مشابه منعقدکننده‌های تجاری و تازه باشد، هضم اسیدی به تنهایی کافی نیست و ممکن است منجر به افزایش سطح فراورده‌های جانبی گندزدایی (DBPs) و تحت تأثیر قرار دادن سلامت عمومی شود (13).

جدول 3 مزایا و معایب روش هضم اسیدی در بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب

ردیف	روش	مزایا	معایب
1	هضم اسیدی	- هزینه‌ی اولیه‌ی کم نسبت به سایر روش‌ها - راندمان بالا (28)،(32)	- غیرانتخابی بودن - وجود فلزات سنگین، منگنز و ترکیبات آلی در منعقدکننده‌ی بازیابی شده (3) - احتمال تشکیل تری‌هالومتان ناشی از مصرف منعقدکننده‌ی بازیابی شده - ملاحظات ایمنی و سلامتی نگهداری حجم بالای اسید (33)
2	هضم اسیدی + اولتراسونیک	- مصرف کم‌تر اسید - راندمان بالاتر نسبت به روش هضم	- مصرف زیاد انرژی - شکستن شدیدتر لخته‌های لجن با افزایش زمان اولتراسونیک (23) - هزینه‌ی زیاد

همچنین انتظار می‌رود بازیابی و استفاده‌ی مجدد منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه‌ی آب، حجم لجن و در نتیجه هزینه‌های دفع را کاهش دهد، به دلیل کاهش نگرانی‌های ناشی از تجمع فلزات سنگین و عوارض نشت، لجن را برای دفع در لندفیل مناسب‌تر گرداند، خصوصیات آبگیری لجن را بهبود و عمر تجهیزات دفع لجن را افزایش دهد (5).

در این مقاله روش هضم اسیدی جهت بازیابی منعقدکننده‌ی موجود در لجن تصفیه‌خانه‌ی آب مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از سولفوریک اسید، به دلیل ارزان و در دسترس بودن، بهترین گزینه برای انجام فرایند هضم اسیدی تعیین شد. نتایج بررسی‌های انجام شده مشخص نمود چنانچه هدف از بازیابی منعقدکننده، دستیابی به کیفیتی مشابه نمونه‌ی تجاری باشد، روش هضم اسیدی شاخص‌های مربوطه را ارضاء نخواهد نمود. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود منعقدکننده‌ی بازیابی شده به این روش، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد؛ چراکه برخلاف تصفیه‌خانه‌های آب، از نظر کیفیت مواد شیمیایی و جریان خروجی، فاقد قوانین سخت‌گیرانه‌اند. در صورت لزومِ دستیابی به کیفیتی مشابه با نمونه‌های تجاری، استفاده از تکنولوژی‌های نوین پیشنهاد می‌گردد که انجام آن‌ها نیازمند بررسی‌های دقیق اقتصادی است.

7- منابع

1. Letterman RD, Yiacoumi S. Coagulation and Flocculation. In: Edzwald JK, editor. Water Quality & Treatment. sixth. Denver: American Water Works Association (awwa); 2011. p. 443–523.
2. Fouad MM, El-Gendy AS, Razek TMA. Evaluation of sludge handling using acidification and sequential aluminum coagulant recovery: Case study of El-sheikh zayed WTP. J Water Supply Res Technol - AQUA. 2017;66(6):403–15.
3. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. Residuals Management. In: MWH's Water Treatment Principles and Design. Third. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2012. p. 1906.
4. Ulmert H, Särner E. The ReAl Process – A combined membrane and precipitation process for recovery of Aluminum from waterwork sludge. Vatten [Internet]. 2005;61:273–81. Available from:

www.SID.ir

Archive of SID

http://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_2376.pdf
5. Babatunde AO, Zhao YQ. Constructive approaches towards water treatment works sludge management: An international review of beneficial re-uses. Crit Rev Environ Sci Technol. 2007;37(2):129–64.
6. 6. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report (EPA 820-R-11-003). Washington, DC; 2011.
7. 7. Huang C, Pan JR, Sun K, Liaw C. Reuse of water treatment plant sludge and dam sediment in brick-making. Water Sci Technol. 2001;44(10):273–7.
8. 8. Nair AT, Ahammed MM. Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater. Environ Sci Pollut Res. 2014;21(17):10407–18.
9. Titshall L, Hughes J. Characterisation of some South African water treatment residues and implications for land application. Water SA. 2005;31(3):299–307.
10. Keeley J, Smith AD, Judd SJ, Jarvis P. Reuse of recovered coagulants in water treatment : An investigation on the effect coagulant purity has on treatment performance. Sep Purif Technol. 2014;131:69–78.
11. Keeley J, Smith AD, Judd SJ, Jarvis P. Acidified and ultrafiltered recovered coagulants from water treatment works sludge for removal of phosphorus from wastewater. Water Res. 2016;88:380–8.
12. Anastas PT, Warner JC. Green chemistry: Theory and practice. Oxford: Oxford University Press.; 1998. 135 p.
13. Keeley J, Jarvis P, Judd SJ. Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals : A Review of Applicable Technologies. Crit Rev Environ Sci Technol. 2014;44(24):2675–719.
14. Evuti AM, Lawal M. Recovery of coagulants from water works sludge : A review. Adv Appl Sci Res. 2011;2(6):410–7.
15. Lata S, Singh PK, Samadder SR. Regeneration of adsorbents and recovery of heavy metals: a review. Int J Environ Sci Technol. 2015;12(4):1461–78.
16. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. Coagulation and Flocculation. In: MWH's Water Treatment Principles and Design. Third. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2012. p. 1906.
17. Cornwell DA. WATER TREATMENT PLANT RESIDUALS MANAGEMENT. 5th editio. Letterman RD, editor. WATER QUALITY AND TREATMENT: A Handbook of Community Water Supplies. New York: McGraw Hill; 1999.
18. Cornwell DA, Vandermeyden C, Dillow G, Wang M. Landfilling of Water Treatment Plant Coagulant Sludges. Denver: AWWARF; 1992.
19. Jewell WM. Method of purifying water. US Patent 718,465, 1903.
20. Bishop MM, Rolan AT, Bailey TL, Cornwell DA. Testing of Alum Recovery for Solids Reduction and Reuse. J / Am Water Work Assoc. 1987;79(6):76–83.
21. Boaventura RAR, Duarte AAS, Almeida MF. Aluminum recovery from water treatment sludges. In: Proceedings of the IV International Conference on Water Supply and Water Quality [Internet]. 2000. p. 1–4. Available from: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5906/1/ASDuarte_4%25C2%25BAWSWQ%2520Crac%25C3%25B3via_2000.pdf
22. Parsons SA, Daniels SJ. The use of recovered coagulants in wastewater treatment. Environ Technol. 1999;20(9):979–86.
23. Yang L, Han YX, Wang DT. High efficiency aluminum coagulant recovery from drinking water treatment plant sludge by using ultrasound assisted acidification. Adv Mater Res. 2013;777:60–4.
24. Cheng WP, Fu CH, Chen PH, Yu RF. Factors Affecting Aluminum Dissolve from Acidified Water Purification Sludge. Int J Chem Mol Eng [Internet]. 2014;8(8):878–81. Available from: https://pdfs.semanticscholar.org/8ef7/70ffa279a53e28de85e7dc6e2d3ce87a37b9.pdf
25. Ishikawa S, Ueda N, Okumura Y, Iida Y, Baba K. Recovery of coagulant from water supply plant sludge and its effect on clarification. J Mater Cycles Waste Manag. 2007;9:167–72.
26. Xu GR, Yan ZC, Wang YC, Wang N. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. J Hazard Mater. 2009;161:663–9.
27. Xu GR, Yan ZC, Wang N, Li GB. Ferric coagulant recovered from coagulation sludge and its recycle in chemically enhanced primary treatment. Water Sci Technol. 2009;60(1):211–9.
28. Chen Y, Wang W, Wei M, Chen J, He J, Chiang Y, et al. Effects of Al-coagulant sludge characteristics on the efficiency of coagulants

www.SID.ir

Archive of SID

recovery by acidification. Environ Technol. 2012;33(22):2525–2530.
29. Yang L, Wei J, Zhang Y, Wang J, Wang D. Reuse of acid coagulant-recovered drinking waterworks sludge residual to remove phosphorus from wastewater. Appl Surf Sci [Internet]. 2014;305:337–46. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.03.081
30. Vaezi F, Batebi F. Recovery of Iron Coagulants From Tehran Water-Treatment-Plant Sludge for Reusing in Textile Wastewater Treatment. Iran J Publ Heal. 2001;30:135–8.
31. Ayoub M, Abdelfattah A. A parametric study of alum recovery from water treatment sludge. Water Sci Technol [Internet]. 2016;74(2):516–23. Available from: http://wst.iwaponline.com/cgi/doi/10.2166/wst.2016.241.
32. Fouad MM, Razek TMA, Elgendy AS. Utilization of Drinking Water Treatment Slurry to Produce Aluminum Sulfate Coagulant. WATER Environ Res. 2017;(February):186–91.
33. Keeley J, Jarvis P, Judd SJ. An economic assessment of coagulant recovery from water treatment residuals. Desalination [Internet]. 2012;287:132–7. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.013
34. Saunders MF, Roeder ML. Coagulant recovery: A critical assessment. Denver, CO: The Foundation; 1991.
35. Masschelein WJ, Devleminck R, Genot J. The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. Water Res. 1985;19(11):1363–8.

www.SID.ir