مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۴۰۳ تا ۴۱۸

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

مروری بر روش‌های بازیابی مواد منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه آب

سیده الهه مهدویان*، فریبا استوار، هانیه میربلوکی
گروه مهندسی محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست، جهاد دانشگاهی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۰
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۱۷
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۹/۲۸

واژگان کلیدی: منعقدکننده، روش‌های بازیابی، تصفیه آب، لجن

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
s.e.mahdavian@alumni.ut.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: انعقاد یکی از فرایندهای اصلی تصفیه‌خانه‌های متداول آب است که از طریق مخلوط کردن منعقدکننده‌هایی نظیر آلومینیوم سولفات، کلروفریک و پلی آلومینیوم کلراید (PAC) با آب خام انجام می‌شود. لجن حاصل از این فرایند، حاوی مقادیر زیادی منعقدکننده است که ارزش اقتصادی بالایی دارند. بنابراین چنانچه این منعقدکننده‌ها بازیابی شوند، علاوه بر کاهش ریسک‌های مربوط به دفع لجن، ممکن است هزینه‌های تامین منعقدکننده تازه در تصفیه‌خانه آب و یا فاضلاب نیز کاهش یابد.

روش بررسی: به‌منظور دستیابی به مستندات موضوع، پایگاه‌های اطلاعاتی ScienceDirect، Google scholar و ... با کلمات کلیدی "Coagulant recovery"، "Water residuals management"، "بازیابی منعقدکننده" و ... جستجو شد. بیش از صد و پنجاه مستند در قالب مقاله، کتاب و گزارش علمی از نظر اعتبار مطالب و ارتباط موضوعی بررسی گردید. مطالب جمع‌آوری شده تحت عناوین "شیوه‌های بازیابی"، "تکرارهای بازیابی"، "بازیابی از منظر اقتصادی" و "نقاط قوت و ضعف روش‌ها" دسته‌بندی و خلاصه‌سازی شد.

یافته‌ها: استفاده از روش‌های نوین همچون ترکیبی از فرایندهای غشائی و شیمیایی یا فرایندهای غشائی تبادل یونی، منجر به بازیابی منعقدکننده با کیفیتی مشابه نمونه‌های تجاری می‌گردد و در صورت استفاده از روش‌های متداول و کم هزینه‌تر همچون هضم اسیدی، کیفیت منعقدکننده بازیابی شده با نمونه‌های تجاری صنعت آب شرب قابل رقابت نیست.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش روش‌های مختلف بازیابی مواد منعقدکننده جهت تعیین استراتژی‌های استفاده مجدد، بررسی شد. احتمال می‌رود استفاده از منعقدکننده‌های بازیابی شده با شیوه‌های متداول، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، قوانین مربوطه را ارضاء کند. استفاده صنعتی از فرایندهای نوین جهت بازیابی منعقدکننده‌هایی با کیفیت بالاتر، نیازمند بررسی‌های دقیق فنی و اقتصادی است.

Please cite this article as: Mahdavian SE, Ostovar F, Mirbolooki H. Coagulants recovery from water treatment plant's sludge: a review. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(3):403-18.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

مقدمه

فرایند انعقاد یکی از اجزاء ضروری سیستم‌های متداول تصفیه آب است که تمایل ذرات کوچک موجود در سوسپانسیون آبی را جهت چسبیدن به یکدیگر و به سطوحی مانند مدیا در صافی شنی افزایش می‌دهد (۱). انعقاد از طریق مخلوط کردن یک منعقدکننده با آب خام انجام می‌شود. آلومینیوم سولفات (آلوم)، کلریدفریک و پلی آلومینیوم کلراید (PAC) منعقدکننده‌های رایجی هستند که در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲). لجن‌های حاوی منعقدکننده پس از عمل انعقاد و به واسطه ته‌نشینی کدورت طبیعی تشکیل می‌شوند. این لجن‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب، در حوضچه‌های ته‌نشینی و فیلترها جمع‌آوری می‌شوند. به‌طور متداول، جریان لجن حوض‌های ته نشینی در حدود ۰/۱ تا ۰/۳ درصد از جریان ورودی به تصفیه‌خانه آب است، اما بیشتر جامدات حذف شده در این جریان قرار دارند. این مقدار برای تصفیه‌خانه‌ای که از منعقدکننده آلوم استفاده می‌کند، بین ۶۰ تا ۹۰ درصد از مجموع رسوبات است (۳).

هضم بیولوژیکی یا سوزاندن لجن تصفیه‌خانه آب به دلیل ارزش غذایی یا گرمایی بسیار کم آن در مقایسه با لجن تصفیه‌خانه فاضلاب عملیاتی نیست (۴). بالا بودن غلظت فلزات موجود در این لجن، کاربرد آن را در زمین محدود می‌سازد و مقادیر زیاد آب مقید (Bound water) موجب پرهزینه و سخت شدن علمیات آبگیری و انتقال می‌گردد (۵). در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، تخلیه به آب‌های پذیرنده یا مجرای فاضلاب اقدامی رایج برای دفع لجن تصفیه‌خانه‌های آب است (۶). تخلیه لجن به آب‌های پذیرنده منجر به تغییر رنگ آن، افزایش کدورت، pH و سختی می‌شود (۳). آلومینیوم و سایر فلزات حاضر در لجن می‌توانند برای حیات ارگانیزم‌های آبزی سمی باشند (۷).

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی جهت استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب در کاربردهای سودمندی (۲) نظیر مصالح ساختمانی (۸، ۹)، تصفیه فاضلاب (۶، ۱۰) و اصلاح خاک (۱۱) انجام شده است. بازیابی منعقدکننده‌های حبس شده در این لجن یکی دیگر از گزینه‌های جذاب گزارش شده در مطالعات است (۱۲، ۱۳). بازیابی منعقدکننده این پتانسیل را دارد که اثرات محیط‌زیستی تصفیه آب را کاهش داده و بسیاری از اصول شیمی سبز (۱۴) را ارضاء کند (۱۵). با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، پنج روش هضم اسیدی، هضم قلیائی، تبادل یونی، فرایندهای غشائی (۱۶) و جذب (۱۷) جهت بازیابی منعقدکننده وجود دارد که هر کدام دارای نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود هستند.

در این مقاله روش‌های مختلف استفاده شده در مطالعات جهت بازیابی منعقدکننده‌های آلومینیوم و آهن از لجن تصفیه‌خانه آب بررسی شده است. میزان کارایی هر روش در بازیابی منعقدکننده، نقاط قوت و ضعف آن، تعداد دفعات بازیابی و توجه به جنبه‌های اقتصادی این کار موضوعاتی هستند که در این پژوهش به آنها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

همان‌طور که در فلوچارت شکل ۱ مشخص است، به‌منظور دستیابی به مستندات موضوع، پایگاه‌های اطلاعاتی ScienceDirect، Google scholar و Google جستجو شدند. دو پایگاه اطلاعات علمی نخست با جستجوی کلمات کلیدی از ۱ تا ۶ (شکل ۱) به‌ترتیب "Coagulant recovery"، "Alum Recovery"، "Ferric Recovery"، "Water Waterworks Sludge"، "residuals management Management" و "Water treatment" در قسمت عنوان، چکیده و کلیدواژه بررسی شدند. جهت دستیابی به محتواهای بهینه‌تر در پایگاه‌های اطلاعات عملی مذکور، کلمات کلیدی ذکر شده به صورت ترکیبی، با قرار دادن "and" در بین آنها، نیز جستجو شدند. در پایگاه اطلاعاتی Google علاوه بر کلمات کلیدی انگلیسی، عبارات کلیدی از ۷ تا ۱۰ (شکل ۱) به‌ترتیب "بازیابی منعقدکننده"، "بازیابی منعقدکننده آلومینیوم"، "بازیابی منعقدکننده آهن" و "مدیریت لجن تصفیه‌خانه آب" نیز بصورت منفرد و ترکیبی با قراردادن "و"، مورد بررسی قرار گرفتند. بدین شیوه، بیش از صد و پنجاه مستند از نظر اعتبار مطالب و ارتباط موضوعی استخراج شدند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

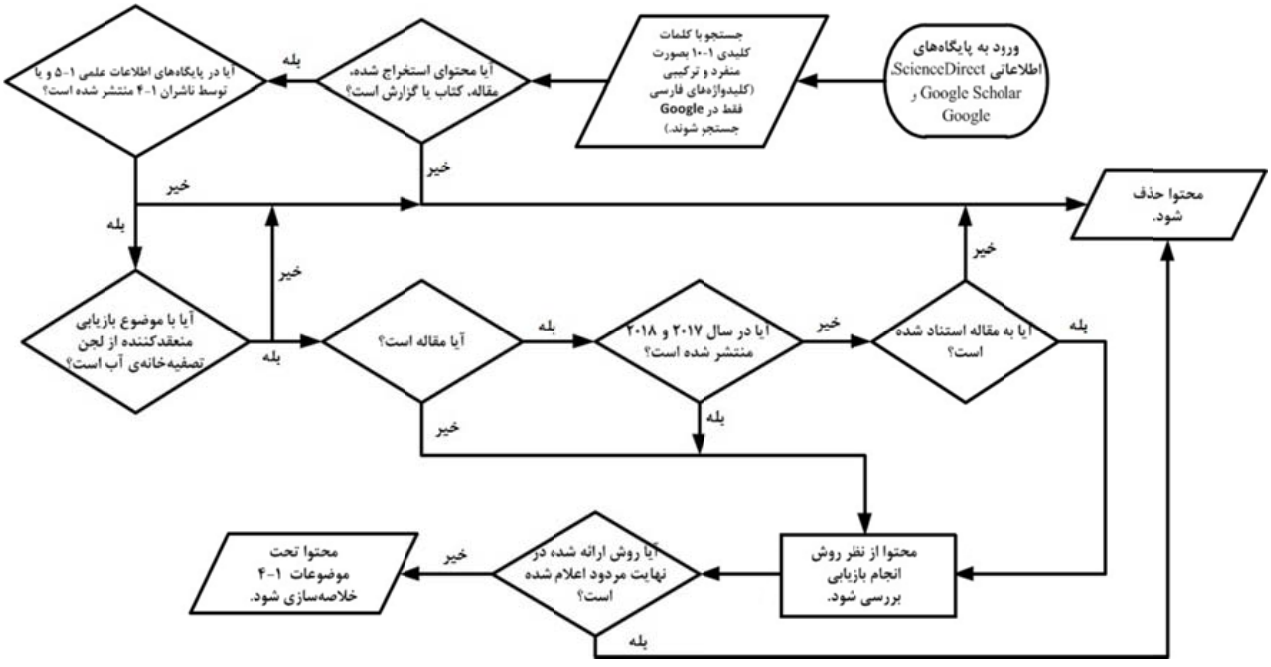
مستندات استخراج شده شـامل چهار گروه صفحه وب، مقاله، کتاب و گزارش بودند. به‌دلیل قابل سنجش بودن اعتبار مطالب، تنها محتوای مقالات، کتب و گزارش‌ها مورد بررسی عمیق قرار گرفـت. موضوعات و روش‌هایی که در طول پژوهش‌های متعدد در نهایت مردود اعلام شدند یا مربوط به بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یا پسماندهای صنعتی بودند، از فرایند بررسی نهایی حذف گردیدند. ملاک استفاده از مقالات، ارتباط موضوعی، در دسـترس بـودن در پایگاه‌هـای اطلاعات علمی معتبـری نظیـر ScienceDirect، Scopus، PubMed، Google scholar و پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) (از ۱ تا ۵، شـکل ۱) و استنادات انجام گرفته به آنها بود. منظور از ارتباط موضوعی این اسـت که مطالب مقاله استخراج شده باید همـه یا تعدادی از موضوعات "شـیوه‌های بازیابی"، "تکرارهای بازیابـی"، "بازیابـی از منظر اقتصادی" و "نقـاط قوت و ضعف روش‌ها" را شامل شوند. از نظر بررسی استنادات نیز، مقاله‌های بدون استنادی که متعلق به قبل از سال ۲۰۱۷ بودند، از فرایند بررسـی خارج شـدند. کتب و گزارش‌ها نیز بـا توجه به ارتباط موضوعی و نشر توسط سازمان‌ها و ناشران معتبری چون EPA، AWWA، John Wiley & Sons، Inc. و McGraw-Hill (از ۱ تا ۴، شکل ۱) مورد استفاده قرار گرفتند.

در پایان طی بررسی نهایی، مطالب جمع‌آوری شده تحت چهار موضوع ذکر شده در بالا، دسته‌بندی و خلاصه‌سازی شدند.

یافته‌ها

مشخصات لجن تصفیه‌خانه آب:

لجنی که طی فرایند انعقاد تشـکیل می‌شـود شامل دو مؤلفه اسـت؛ نخسـت رسـوبات حاصـل از واکنش‌هایی کـه در اثر افزودن منعقدکننده تشـکیل می‌شـوند و مؤلفه دوم نیز ناشی از مواد جامدی اسـت که در آب منبع وجـود دارند (۳). مقدار و ویژگی‌هـای لجن حاوی منعقدکننـده به کیفیت آب ورودی، نـوع و میزان منعقدکننـده مصرفی، راندمـان فرایند، طراحی تصفیه‌خانـه و معیارهـای دیگر بسـتگی دارد. این لجن به‌طور



شکل ۱- فلوچارت استراتژی جستجو و انتخاب مطالب علمی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

عمده شامل هیدروکسیدهای فلزی منعقدکننده، مواد آلی طبیعی موجود در آب منبع، جامدات معلق، میکروارگانیزم‌ها و سایر ترکیبات آلی و معدنی است. آلومینیوم، آرسنیک و در برخی از مواقع کادمیوم، کروم، مس، آهن، سرب، منگنز، نیکل و روی از جمله فلزاتی هستند که در لجن منعقدکننده یافت می‌شوند (۳، ۱۸). ترکیبات شیمیایی اصلی موجود در چند نمونه از لجن تصفیه‌خانه آب در جدول ۱ آورده شده است.

۱. هضم اسیدی:

بازیابی منعقدکننده از طریق هضم اسیدی بدین معنی است که با افزودن اسید به لجن، مطابق معادله ۱ (۱۶) هیدروکسیدهای آلومینیوم نامحلول به‌صورت محلول درمی‌آیند (۱۶):

$$2Al(OH)_3.3H_2O + 3H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow Al_2(SO_4)_3.14H_2O \quad (۱)$$

نخستین ثبت اختراع در زمینه تکنولوژی‌های بازیابی منعقدکننده، در سال ۱۹۰۳ برای هضم اسیدی آب شستشوی معکوس فیلتر به‌منظور انحلال مجدد هیدروکسیدهای ته‌نشین شده منعقدکننده فلزی اعطاء شد (۱۹). بازیابی آلوم از لجن حوض‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب، در مقیاس صنعتی به روش هضم اسیدی توسط Bishop و همکاران انجام شد. در این پژوهش، تمام آلومینیوم در pH برابر با ۲ به‌صورت محلول درآمد و بیان گردید که درصد بازیابی آلوم به میزان مایع قابل استحصال از لجن پس از اسیدشویی، بستگی دارد. هنگام استفاده از منعقدکننده بازیابی شده، کدورت آب و غلظت منگنز ته‌نشین شده همواره بیشتر گزارش شد (۲۰).

در پژوهشی دیگر، درصد جامدات خشک لجن، pH، زمان اختلاط و زمان ته‌نشینی با هدف بازیابی آهن و آلومینیوم بررسی شد. بالاترین راندمان بازیابی آهن و آلومینیوم به ترتیب

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی اصلی چند نمونه لجن تصفیه‌خانه آب (۱۵)

ترکیبات	آلوم			فریک			فاضلاب، لجن آبگیری شده و لجن هضم شده
	تعداد نمونه‌های لجن	واحد	میانگین (انحراف معیار)	تعداد نمونه‌های لجن	واحد	میانگین (انحراف معیار)	
TS[1]	۲۰	٪ w/w	۵ (۶)	۷	٪ w/w	۴ (۶)	۱۷-۳۵
VS[2]	۱۳	٪ از TS	۲۹ (۱۸)	۵	٪ از TS	۱۸ (۹)	-
SS[3]	۵	٪ از TS	۸۴ (۲۲)	۴	٪ از TS	۹۷ (۴)	-
Al	۲۹	٪ از TS	۱۰ (۹)	۷	٪ از TS	۱۱ (۴)	۰/۹-۱/۴
Fe	۲۱	٪ از TS	۵ (۱۰)	۱۰	٪ از TS	۲۲ (۱۶)	۰/۶-۱/۷
Mn	۹	٪ از TS	۰/۷۱ (۱/۵۴)	۷	٪ از TS	۰/۷۲ (۰/۷۹)	۰/۰۲-۰/۰۴
Pb	۹	٪ از TS	۰/۰۳۸ (۰/۰۶۹)	۶	٪ از TS	۰/۰۰۷ (۰/۰۰۹)	۰/۰۱۸-۰/۰۲۲
Ni	۵	٪ از TS	۰/۰۰۵ (۰/۰۰۲)	۸	٪ از TS	۰/۰۰۶ (۰/۰۰۵)	۰/۰۰۲-۰/۰۰۳
Cr	۹	٪ از TS	۰/۰۰۳ (۰/۰۰۳)	۸	٪ از TS	۰/۰۰۸ (۰/۰۰۸)	۰/۰۰۵-۰/۰۴۴
Cd	۱۰	٪ از TS	۰/۰۰۶ (۰/۰۱۶)	۵	٪ از TS	۰/۰۰۰۲ (۰/۰۰۰۳)	۰/۰۰۰۲-۰/۰۰۰۹
TKN	۴	mg/L (N)	۳۰۲ (۵۹۹)	۲	mg/L (N)	۷۹۳ (۸۵۸)	۱/۱-۲/۹ (% of DS)
Phosphate	۸	mg/L (P)	۵۴ (۱۰۴)	۴	mg/L (P)	۲۳ (۲۴)	۰/۰۶-۰/۰۹ (% of DS)
BOD	۴	mg/L	۲۵۹۵ (۲۴۹۲)	۲	mg/L	۲۱۱ (۱۶۸)	-
pH	۱۹	-	۶/۵ (۱/۴)	۸	-	۸/۱ (۱/۳)	۵/۹-۶/۷

۱. جامدات کل ۲. جامدات فرار ۳. جامدات معلق

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

در pH برابر با ۱ به میزان ۱۸/۲ درصد و در pH اسیدی ۵۸/۹ درصد گزارش گردید (۲۱). هضم اسیدی منعقدکننده آهن با سولفوریک اسید و استفاده از آن در تصفیه فاضلاب در پژوهش دیگری بررسی شد. pH بهینه بین ۱-۰/۵ منجر به بازیابی بیش از ۸۰ درصد منعقدکننده گردید. در این پژوهش، منعقدکننده تجاری نسبت به این منعقدکننده عملکرد بهتری در تصفیه فاضلاب نشان داد (۲۲). در پژوهشی که بازیابی آلومینیوم از طریق اسیدشویی در ترکیب با امواج اولتراسوند انجام گرفت، میزان بازیابی آلومینیوم در حدود ۲۰ درصد بیشتر از هنگامی بود که فقط روش اسیدشویی مورد استفاده قرار گرفت و در میزان درصد بازیابی یکسان، غلظت اسید مورد نیاز ۹۰ درصد کاهش یافت (۲۳).

در بررسی تاثیر نوع اسید و اندازه ذرات لجن بر میزان بازیابی آلومینیوم در فرایند هضم اسیدی (pH=۲) توسط Cheng و همکاران، 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 ۱/۸۸ برابر نسبت به زمانی که در معرض امواج اولتراسونیک قرار نگرفته بود، افزایش یافت (۲۴). در پژوهش دیگری، مقادیر pH بهینه برای استخراج آلومینیوم ۳-۴ گزارش شد. همچنین در تصفیه فاضلاب شهری و فاضلاب از محل دفن زباله ساحلی، میزان حذف COD، TN و TP با استفاده از منعقدکننده بازیابی شده بیش از آلوم یا PAC تجاری به‌دست آمد (۲۵).

امکان‌پذیری بازیابی آلوم و آهن از لجن تصفیه‌خانه آب و استفاده مجدد از آن در فرایند تصفیه مقدماتی ارتقاء یافته با استفاده از مواد شیمیایی (Chemically Enhanced Primary Treatment (CEPT)) توسط Xu و همکاران بررسی گردید. pH بهینه برای هضم اسیدی لجن آلوم ۲/۵ و لجن فریک ۱/۵ گزارش شد. زمان اختلاط بهینه نیز به ترتیب ۳۰ و ۲۰ min به‌دست آمد. به‌دلیل انحلال آلوم، آهن و برخی مواد دیگر در زمان اسیدشویی، میزان لجن کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت. این میزان برای لجن حاصل از منعقدکننده آهن در pH بهینه ۴۰/۳ درصد مشاهده شد. همچنین غلظت فلزات سنگین در منعقدکننده‌های بازیابی شده در مقایسه با منعقدکننده‌های تازه بیشتر گزارش شد (۲۶، ۲۷).

تاثیر مشخصات لجن حاوی منعقدکننده آلومینیوم (دو نوع بافت جامدات معلق یکی بر پایه ماسه و دیگری بر پایه رس) بر راندمان بازیابی منعقدکننده (آلوم و PAC) با استفاده از سولفوریک اسید در پژوهش Chen و همکاران ارزیابی شد. در این پژوهش، راندمان بازیابی آلومینیوم در pH برابر با ۲ از لجن حاوی ذرات رس بیشتر بود. در ارتباط با نوع منعقدکننده، راندمان بازیابی برای لجن حاصل از مصرف PAC بین ۷۷ تا ۱۰۰ درصد و برای لجن حاصل از آلوم بین ۶۵ تا ۷۲ درصد گزارش شد (۲۸). Yang و همکاران حذف فسفر فاضلاب با استفاده از باقیمانده رسوبی حاصل از بازیابی منعقدکننده موجود در لجن تصفیه‌خانه آب توسط اسید را مورد بررسی قرار دادند. 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 ۱۰۰ درصد قابل دستیابی است و وابستگی زیادی به pH دارد. مقادیر pH بهینه ۴-۶ گزارش شد (۲۹).

بازیابی آهن موجود در لجن تصفیه‌خانه آب جلالیه تهران با استفاده از سولفوریک اسید و سدیم هیدروکسید توسط Vaezi و همکاران آزمایش شد. در این پژوهش، سولفوریک اسید از نظر عملیاتی و اقتصادی نتایج بهتری را نمایش داد و مدت زمان همزنی ۵ min با شدت ۴۰ rpm گزارش شد. کاهش حجم لجن و در نهایت قابلیت ته‌نشینی سریع‌تر و خشکی لجن باقیمانده در اسیدشویی، همچنین عملکرد بالاتر منعقدکننده احیاءشده نسبت به نمونه تجاری از نتایج دیگر این پژوهش بود (۳۰). در پژوهشی که بازیابی آلوم از لجن تصفیه‌خانه آب به روش اسیدشویی با هیدروکلریک اسید، اثر غلظت اسید، جرم لجن، نسبت جرمی اسید به لجن، سرعت اختلاط، دما و زمان اختلاط بر میزان بازیابی آلومینیوم بررسی شد، در شرایط بهینه میزان بازیابی آلومینیوم ۸۲/۴ درصد گزارش گردید (۲). در پژوهشی دیگر، بیشترین میزان بازیابی آلوم در pH بهینه ۱/۵

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

برابـر ۶۹/۰۳ درصد گزارش شـد. همچنین کاهش حجم لجن برای سه تصفیه‌خانه متفاوت آب بین ۴۷ تا ۹۰ درصد مشاهده شـد که تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های مدیریت لجن خواهد داشـت. همچنیـن، زمان بهینه اختـلاط ۶۰ min و با شـدت ۱۵۰ rpm به‌دست آمد (۳۱). Nair و همکاران بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه آب و کاربرد منعقدکننده احیاء شـده در تصفیـه تکمیلی جریان خروجـی از راکتور UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) را مـورد بررسـی قرار دادند. در شـرایط بهینه، میزان بازیابی آلومینیوم از لجن PAC و آلوم به ترتیب ۷۳/۲۶ و ۶۲/۷۳ درصد گزارش شد. در این شرایط pH برابر با ۲، میزان مواد جامد ۰/۵ درصد و زمان اختلاط ۳۰ min بود. منعقدکننده بازیابی شـده پس از کاربرد در جریان خروجی راکتور UASB با غلظت ۲۵ mg/L توانسـت میزان COD، کدورت، فسفات، مواد معلق و کلیفرم کل را بـه ترتیب ۷۱، ۸۰، ۸۹، ۷۷ و ۹۹/۵ درصد کاهش دهد. در این بررسـی، مقادیر مشابه حذف در استفاده از منعقدکننده تـازه با غلظـت ۴۰ mg/L مشـاهده شـد. هرچنـد، مقدار COD منعقدکننده بازیابی شـده بالا گزارش شـد که نشانگر انحلال ترکیبات آلی در فرایند هضم اسـت و احتمال تشـکیل فراورده‌های جانبی را افزایش می‌دهد (۱۰).

در پژوهشی دیگر، در هضم اسیدی لجن توسط سولفوریک اسید، بیشـترین میزان بازیابی ۹۲/۴ درصد در غلظت اسـید N ۱/۵، وزن لجـن g ۵، سـرعت اختلاط ۶۰ rpm، دمـای ۶۰°C و زمـان ۴۰ min گزارش شـد. غلظت فلزات سـنگین در هر دو منعقدکننده بازیابی شـده و تجاری بسـیار نزدیک به هم بود و منعقدکننده بازیابی شـده از نظر ریسک وجود تری‌هالومتان‌ها ایمن گزارش شد (۳۲). در جدول ۲ میزان بازیابی منعقدکننده به روش هضم اسیدی به‌صورت مقایسه‌ای آورده شده است.

جدول ۲- بازیابی منعقدکننده به روش هضم اسیدی توسط H_2SO_4 یا HCl

ردیف	میزان بازیابی (درصد)			مرجع
	PAC	$Al_2(SO_4)_3$	Fe^{3+}	
۱	-	۷۵	–	(۲۰)
۲	-	۵۸/۹	۱۸/۲	(۲۱)
۳	–	–	≈ ۸۰	(۲۲)
۴	-	۶۵/۸۱	-	(۲۳)
۵	-	۸۴/۵	-	(۲۶)
۶	–	–	۷۵	(۲۷)
۷	۱۰۰-۷۷	۷۲-۶۵	–	(۲۸)
۸	-	۵۰	۷۰	(۲۹)
۹	-	-	≈ ۷۰	(۳۰)
۱۰	-	(HCl) ۸۲/۴	-	(۲)
۱۱	–	۶۹/۰۳	–	(۳۱)
۱۲	۷۳/۲۶	۶۲/۷۳	-	(۱۰)
۱۳	–	۸۳/۷۵	–	(۲۳)
۱۴	–	۹۴/۲	–	(۳۲)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

۲. هضم قلیایی:

به‌دلیل ماهیت آمفوتریک اکسید آلومینیوم، بازیابی آلوم تحت شرایط قلیائی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای روش اسیدشویی مورد استفاده قرار گیرد (۱۶). بازیابی آلوم از لجن حاصل از تصفیه تکمیلی جریان خروجی از حوضچه‌های تثبیت مواد زائد توسط Sthapak و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. جریان خروجی شامل ناخالصی‌های کلوئیدی معلق بود. نتایج آزمایشگاهی پژوهش بیانگر آن بودند که در pH برابر با ۱۲ بازیابی آلوم به میزان ۷۹/۹ درصد است (۳۳). در پژوهش دیگری که از NaOH و $Ca(OH)_2$ استفاده شده بود، در نتایجی مشابه، بیشترین راندمان حذف به ترتیب در محدوده pH ۱۱/۴-۱۱/۸ و ۱۱/۲-۱۱/۶ گزارش شد (۳۴، ۳۵). در پژوهشی دیگر و با هدف بازیابی آهن و آلومینیوم، بالاترین راندمان بازیابی آلومینیوم به میزان ۸۷/۴ درصد در pH برابر با ۱۳، دوز لجن ۰/۵ درصد، زمان اختلاط ۱۲۰ min و زمان ته‌نشینی ۴۵ min و بالاترین راندمان بازیابی آهن که در pH برابر با ۱۳ به میزان ۱۱/۱ درصد به‌دست آمد (۲۱). در جدول ۳ میزان بازیابی منعقدکننده به روش هضم قلیائی بصورت مقایسه‌ای نمایش داده شده است.

۳. فرایند رزین تبادل یونی:

بسترهای ثابت و معلق تبادل یونی پیشرفتی منطقی نسبت به تبادل یونی مایع بودند. چرا که استخراج‌کننده‌ها (بسترهای رزین) کمتر سمی هستند و خطر آلودگی جریان تصفیه کاهش می‌یابد. همچنین فرایند بازیابی ساده‌تر و ایمن‌تر می‌گردد (۱۵).

در پژوهش Petruzzelli و همکاران گزارش شده است که استفاده از رزین تبادل کاتیونی ضعیف (کربوکسیلات) در مقایسه با قوی (سولفونیک) از نظر فنی و اقتصادی راندمان بالاتری را به همراه دارد. به بیان دیگر، رزین تبادل کاتیونی ضعیف باعث شد تا در عملیات احیاء رزین و بازیابی منعقدکننده، ماده شیمیایی کمتر و راندمان بیشتری به‌دست آید (۳۶). در پژوهش Petruzzelli و همکاران، بازیابی گونه‌های آلومینیوم و آهن با استفاده از رزین تبادل یونی برمبنای رزین الکترولیت ضعیف منجر به احیاء بیش از ۹۵ درصد از گونه‌های آلومینیوم شد. کیفیت منعقدکننده بازیابی شده پس از فرایند تبادل یونی، مشابه یا بهتر از محصولات تجاری متداول گزارش شد. به‌علاوه، طی بررسی‌های پایلوت مقیاس این پژوهش، گرفتگی رزین (پورولایت C106) ناشی از مواد ذره‌ای و یا ماکرومولکول‌های آلی مشاهده نشد. همچنین، جهت ترسیب آلومینیوم از سدیم هیدروکسید و برای انحلال مجدد از سولفوریک اسید/ هیدروکلریک اسید استفاده شد و آلوم/PAC با خلوص ۹۹ درصد به‌دست آمد (۳۷). یکی از جایگزین‌ها برای فرایندهای ستونی، نوارهای حامل با رزین چسبیده است. با چرخش بین لجن اسیدی خوراک و اسید مورد نیاز برای جداسازی منعقدکننده، در این روش بارگذاری و جداسازی رزین‌ها به‌طور همزمان اتفاق می‌افتد. انجام این فرایند با استفاده از بستر رزین اسیدی ضعیف چسبیده به یک غشاء متخلخل PTFE در مقیاس آزمایشگاهی توسط Sengupta و همکاران منجر به بازیابی ۶۸ درصد از آلومینیوم و ۱۲ درصد از DOC شد و

جدول ۳- بازیابی منعقدکننده به روش هضم قلیائی توسط NaOH

ردیف	میزان بازیابی (درصد)			مرجع
	PAC	$Al_2(SO_4)_3$	Fe^{3+}	
۱	-	۸۷/۴	-	(۲۱)
۲	-	۷۹/۹	-	(۳۳)
۳	-	۸۵ و ۲۵*	-	(۳۵)
۴	-	-	<۲۰	(۳۰)

* درصد بازیابی به‌ترتیب برای NaOH و $Ca(OH)_2$ است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

به‌طور تقریبی از بازیابی تمامی فلزات سنگین جلوگیری کرد. هرچند که این فرایند انتخابی است، اما منجر به درصد کمی بازیابی (تنها ۴۰۰ mg/L بعد از ۳۰ سیکل تجمعی) گردید. سیکل‌های بیشتر، غلظت آلومینیوم را افزایش داد، اما بازیابی مواد آلی طبیعی (NOM) بیشتری را نیز به همراه داشت (۱۵، ۳۸). در جدول ۴ میزان بازیابی منعقدکننده به روش رزین تبادل یونی بصورت مقایسه‌ای نمایش داده شده است.

۴. فرایندهای غشائی:

امروزه تکنولوژی‌های غشائی به‌طور گسترده در تصفیه آب و فاضلاب به‌کار می‌روند. روش ۴ مرحله‌ای REAL، شامل فرایندهای هضم اسیدی، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و ترسیب، جهت بازیابی آلومینیوم توسط Ulmert و همکاران مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور از بین سه لجن با درصد جامدات خشک ۰/۵، ۲/۵ و ۱۶ درصد، لجن پیش تغلیظ شده که دارای ۲/۵ درصد جامدات خشک بود، به‌منظور توجیه‌پذیر بودن فرایند از نظر اقتصادی انتخاب گردید. pH بهینه برای انحلال تمامی آلومینیوم هیدروکسید در حدود ۲/۵ گزارش شد. از فرایند اولترافیلتراسیون جهت جداسازی مواد معلق و مولکول‌های بزرگ‌تر و از فرایند نانوفیلتراسیون جهت تغلیظ آلومینیوم استفاده گردید. در این پژوهش، پتاسیم آلومینیوم سولفات تشکیل شده پس از مرحله ترسیب، با کیفیت‌ترین سطح استاندارد اروپا برای آلوم عاری از آهن نوع ۱ را ارضاء نمود. همچنین، آب تغلیظ حاصل از نانوفیلتراسیون در مقایسه با آلوم تجاری جهت حذف فسفر و پیش تصفیه فاضلاب بررسی شد که آلوم تجاری از نظر تشکیل لخته و سرعت ته‌نشینی عملکرد بهتری نشان داد (۴).

Keeley و همکاران با هدف مقایسه عملکرد منعقدکننده بازیابی شده به روش ترکیبی هضم اسیدی و اولترافیلتراسیون با منعقدکننده تازه (سولفات آهن)، میزان حذف فسفر از فاضلاب را بررسی کردند. در این پژوهش، تحت زمان‌های تماس کوتاه (۱۶ min زمان اختلاط)، از نظر ویژگی‌های تشکیل لخته و میزان فلزات سنگین موجود در لجن، نتایج مشابهی گزارش گردید (۱۳). در پژوهش دیگری با استفاده از روش REAL جهت بازیابی آلومینیوم، pH بهینه در مرحله هضم اسیدی بین ۲-۲/۳ گزارش شد. غشاءهای استفاده شده در این پژوهش از نوع سرامیکی بودند. کیفیت پتاسیم آلومینیوم سولفات حاصل از این روش نیز با کیفیت‌ترین سطح استاندارد اروپا برای آلوم عاری از آهن نوع ۱ را ارضاء نمود (۳۹).

حذف کدورت و DOC با استفاده از منعقدکننده بازیابی شده و تجاری (آهن و آلومینیوم) در پژوهش Keeley و همکاران، نتایجی مشابه هم به‌دنبال داشت، اما منعقدکننده بازیابی شده در شرایط بهینه ۱۰-۳۰ درصد افت عملکرد نشان داد و هنگام استفاده از آن پتانسیل تشکیل تری‌هالومتان‌ها ۳۰-۳۰۰ درصد بیشتر شد. مقدار بهینه برش مولکولی جهت بازیابی منعقدکننده ۲ kDa گزارش شد که منجر به بازیابی ۸۷ درصد آلومینیوم و حذف DOC به میزان ۵۸ درصد از لجن آلوم گردید. همچنین این مقادیر برای لجن فریک به ترتیب ۸۷-۷۸ درصد و ۳۰-۴۴ درصد گزارش شد (۱۲).

در پژوهش Prakash و همکاران، استفاده از غشاء تبادل کاتیونی تجاری با نام نفیون ۱۱۷ (Nafion 117) منجر به بازیابی بیش از ۷۰ درصد آلوم گردید که عاری از مواد ذره‌ای، مواد آلی طبیعی و سایر فلزات سنگین بود. لجن آلوم و کلریدآهن

جدول ۴- بازیابی منعقدکننده به روش رزین تبادل یونی

ردیف	میزان بازیابی			مرجع
	PAC	$Al_2(SO_4)_3$	Fe^{3+}	
۱	-	>۹۵	-	(۳۷)
۲	-	*۶۸	-	(۳۸)

* بعد از ۳۰ سیکل تجمعی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

در این پژوهش بررسی شدند. نتایج بیانگر آن بودند که به‌دلیل غلظت و خلوص بالای آلوم بازیابی شده، علاوه بر استفاده به‌عنوان منعقدکننده ممکن است در مصارف صنعتی دیگر نظیر سنتز ترکیبات پلی‌آلومینیوم نیز قابل استفاده باشد (۴۰). به‌منظور بازیابی انتخابی ترکیبات منعقدکننده فلزی سه ظرفیتی از محلول حوض زلال‌ساز، فرایندی برمبنای پدیده دونان با هدف غلبه بر نقاط ضعف روش‌های پیشین ابداع شده است. غشاء تبادل کاتیونی در این روش، بازیابی آلوم را بدون الکتریسیته یا گرادیان فشار ممکن می‌سازد. آلوم بازیابی شده عاری از ناخالصی‌هایی همچون NOM و جامدات معلق است و تمام فرایند با استفاده از سولفوریک اسید رقیق قابل انجام است. همچنین از آنجا که فرایند تحت هیچ گرادیان فشاری قرار ندارد، حضور جامدات معلق منجر به پدیده گرفتگی غشاء نخواهد شد (۴۱). در جدول ۵ میزان بازیابی منعقدکننده به روش فرایندهای غشائی بصورت مقایسه‌ای نمایش داده شده است.

۵. جذب:

جاذب شیمیایی اصلاح شده از ساقه گیاه نی‌قلم از طریق هضم با سولفوریک اسید (به نسبت ۱:۲ وزن/حجم) توسط Regmi و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. حداکثر غلظت جذب آهن بر ضایعات گیاه نی‌قلم که عملیات فسفریلاسیون بر آن صورت گرفت ۲۰۰ mg/g در pH برابر با ۲/۷ و حداکثر میزان جذب این فلز بر ضایعات غیرفسفره برابر ۹۰/۹۰ mg/g گزارش شد. فرایند جذب مذکور از مدل‌های ایزوترم فروندلیچ و سینتیک درجه دوم تبعیت نمود. همچنین، بازیابی فلز از جاذب، از طریق تست واجذب نشان داد که حداکثر بازیابی آهن برابر ۹۱ درصد بود. محلول‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌صورت سنتزی در آب مقطر تهیه شدند (۴۲). در مطالعات، برای بازیابی مؤثر جاذب و فلزات از اسیدهایی نظیر HCl، H_2SO_4، HNO_3، HCOOH، KOH و K_2CO_3، از نمک‌هایی نظیر NaCl، KCl، $(NH_4)_2SO_4$، KNO_3 و غیره، آب دیونیزه، عوامل شیمیایی و محلول‌های بافر (مانند بیوکربنات، فسفات و تریس) استفاده شده است. همچنین عامل شیمیایی EDTA، واجذب کننده کارآمدی است. به چهار دلیل، واجذب یون‌های فلزی توسط واسطه‌های اسیدی سریع‌تر از واسطه‌های بازی و خنثی صورت می‌گیرد: ۱) واجذب و انحلال کاتیون‌های فلزی در pH پایین رخ می‌دهد. ۲) رقابت قوی میان یون‌های (H^+) و کاتیون‌های فلزی برای مکان‌های جذب سبب جابه‌جایی کاتیون‌ها به سمت محلول‌های اسیدی می‌شود. ۳) شرایط اسیدی سطح جذب محلول‌های اکسید/سیلیکات آلومینیوم و آهن را بهبود می‌بخشد و در نتیجه به رهاسازی فلزات مذکور از سطوح جذب شده کمک می‌کند. ۴) اسید با قلیائیت باقیمانده واکنش می‌دهد و باعث کاهش جذب و در نتیجه واجذب می‌شود (۱۷).

تکرارهای بازیابی:

در پژوهشی که بازیابی آلوم ۴ مرتبه تکرار گردید، 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 منعقدکننده بازیابی شده برای حذف رنگ به میزان اندکی کاهش یافت (۲۶). در بازیابی آلوم از لجن تصفیه‌خانه آب به روش هضم اسیدی با هیدروکلریک اسید توسط Fuad و همکاران، استفاده از

جدول ۵- بازیابی منعقدکننده به روش فرایندهای غشائی

ردیف	میزان بازیابی (درصد)			مرجع
	PAC	$Al_2(SO_4)_3$	Fe^{3+}	
۱	-	*	-	(۳۹)
۲	–	۸۷	۸۷-۷۸	(۱۲)
۳	-	۷۲	۷۵	(۴۰)

* چنانچه آلومینیوم بازیابی شده به‌صورت محلول و از جریان آب تغلیظ نانوفیلتراسیون مورد استفاده قرار گیرد، میزان بازیابی بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

منعقدکننده بازیابی شـده تا سـه مرتبه مشکلی از نظر تشکیل تری‌هالومتان‌هـا ایجـاد نکرد و مقـدار آن در محـدوده مجاز باقیماند (۲).

بازیابی منعقدکننده از منظر اقتصادی:

تمامی تکنولوژی‌های بازیابی منعقدکننده نیازمند آن هسـتند کـه ابتدا فلـزات منعقدکننده به فاز آبی برگردنـد. این مرحله حداقـل ۲۵ درصـد از مجمـوع هزینه‌های بهره‌بـرداری برای بازیابی منعقدکننده به‌صورت انتخابی را شـامل می‌شود (۴۳). رایج‌تریـن روش برای این کار هضم اسـیدی اسـت و به دلیل ارزان‌تر بودن سـولفوریک اسـید نسبت به سـایر اسیدهای در دسـترس، برای این‌کار در بیشـتر موارد از سـولفوریک اسـید استفاده می‌شـود (۲۲). همچنین هضم اسیدی به‌دلیل انحلال مقادیـر زیـادی از جامدات معلق، منجر بـه کاهش حجم لجن می‌گردد (۴۴) که کاهـش هزینه‌های مدیریت لجن را به‌دنبال دارد. در پژوهشـی هزینه اسـتفاده از منعقدکننده بازیابی‌شده به روش هضم اسـیدی با هزینـه منعقدکننده‌های تجاری آلوم و PAC به‌منظـور زلال‌سـازی فاضلاب مقایسـه شـد. در این مقایسـه هزینه استخراج منعقدکننده کمتر از هزینه استفاده از منعقدکننده‌های تجاری مذکور بود (۲۵). به‌نظر می‌رسد هضم قلیائی بدین منظور دارای صرفه اقتصادی نباشـد، زیرا به ازای هر مول از اسـید یا هیدروکسید، هزینه سدیم هیدروکسید در حدود دو برابر سولفوریک اسید است (۴۳). کلسیم هیدروکسید جایگزین کم‌هزینه‌تری به شـمار می‌آید اما در pH مشابه تنها ۵۰ درصـد از آلومینیـوم را بازیابی می‌کنـد (۳۵) که کمتر از سـدیم هیدروکسـید اسـت. در رزین تبادل یونی نقطه ضعف اصلـی هزینه عملیاتی بالا به‌دلیل مصرف زیاد مواد شـیمیایی مورد نیاز برای احیاء اسـت. به‌طوری‌که موجب می‌شود بازیابی منعقدکننده دارای صرفه‌ی اقتصادی نباشد (۳۷، ۴۳).

در ارتبـاط با فرایندهای غشـائی، طی مقایسـه اقتصادی سـه تکنولوژی مختلف دونان دیالیز، الکترودیالیز و اولترافیلتراسیون جهت بازیابی منعقدکننده توسـط Keeley و همکاران، دونان دیالیـز به‌عنوان بهتریـن فرایند جلب توجه نمـود. این فرایند به‌ویژه پتانسـیل بالاتری جهت بهبود عملکرد غشاء و هزینه‌ها دارد (۴۳). همچنین بررسی عملکرد تصفیه و هزینه چرخه عمر پیکربندی‌های مختلف بازیابی منعقدکننده مربوط به سـولفات آهن تـازه در پژوهش Keeley و همـکاران بیانگر آن بود که اسـتفاده مجدد از منعقدکننده بازیابی شـده اسیدشویی شده یا اسیدشویی نشـده منجر به کاهش هزینه چرخه عمر بیست سـاله به میزان تقریبی ۵۰ درصد در مقایسه با کاربرد متداول سـولفات آهن تازه و دفع لجن ناشـی از آن در زمین می‌شود. در این بررسی، اولترافیلتراسـیون لجن اسیدشویی شده هزینه چرخه عمر را افزایش داد، اما هنوز به میزان قابل توجهی کمتر از عملیات متداول بود (۱۳).

بحث

همان‌طورکـه در جـدول ۶ قابـل مشـاهده اسـت، هر روش دارای مزایا و معایب خاص خود اسـت. در روش هضم اسـیدی انحلال سـایر ترکیبات لجن همچـون NOM موجب افزایش اسـید مصرفی و آلودگی منعقدکننده بازیابی شـده می‌گردد و به‌عنوان بحرانی‌ترین مانع در بازیابی منعقدکننده برای استفاده مجـدد در مصارف شـرب خواهـد بود (۱۵)، چرا که تشـکیل فراورده‌های جانبی ناشـی از NOM در آب شرب همواره مورد توجه بوده است (۴۷-۴۵). همچنین آزاد شدن فلزات سنگین، کاربرد منعقدکننده بازیابی شـده را محـدود می‌کند (۲۸). در نتیجـه چنانچه هـدف، بازیابی منعقدکننده با کیفیت مشـابه منعقدکننده‌های تجاری باشـد، هضم اسـیدی به تنهایی کافی نیست و ممکن است منجر به افزایش سطح فراورده‌های جانبی گندزدایـی (DBPs) و تحت تاثیر قرار دادن سـلامت عمومی شـود (۱۵). همچنین گزارش شده اسـت که در هضم قلیائی، مشکل انحلال سـایر فلزات سنگینی که در اسید محلول بودند کاهش می‌یابد (۳۵)، اما مشـکلات مربوط به انحلال ترکیبات آلی (ذکر شده در بالا) به قوت خود باقی خواهد ماند (۴۰، ۴۸). رزین‌های تبادل یونی نسـبت به روش تبادل یونی مایع، امکان بازیابی با درصد خلوص بالاتری را طی فرایندی با پیچیدگی به نسـبت کمتر فراهم می‌آورند. هرچند عملیاتی بودن این فرایند به‌دلیل سـینتیک آهسـته انتشار برای اسـتخراج و جداسازی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

(Stripping) محـدود می‌گـردد. در ایـن روش، احیاء رزین و جداسـازی فلز توسـط سدیم هیدروکسـید منجر به تشکیل رسـوبات فلـزی می‌گردد که می‌توان قبل از انحلال در اسـید، آن را فیلتـر نمود. هرچنـد این مرحله مازاد باعث می‌شـود تا غلظت منعقدکننده نسـبت به برخی روش‌ها بیشـتر باشد، اما نیازمنـد یک مرحله دیگر تنظیم pH، مواد شـیمیایی افزون‌تر و هزینه‌های بیشـتر اسـت (۱۵). به‌نظر می‌رسـد تـا زمانی‌که بسـتر و تکنیک‌های احیاء کارآمدتری ایجاد نشود، تبادل یونی گزینه مناسب و قابل اعتمادی برای بازیابی منعقدکننده نباشد. همچنیـن به دلیل اینکه در فرایندهای بازیابی انتخابی احتمال انتقال مقـداری مواد آلی وجود دارد، رزین‌هـای تبادل آنیونی همراه با فرایندهای پیش تصفیه کاراتر، می‌توانند به کاهش مواد آلی منعقدکننده بازیابی‌شـده تا میزان کمتر از استاندارد کمک نماینـد. هرچند آن مقدار از DOC که توسـط تکنولوژی‌های دیگر حذف نشده اسـت، احتمال می‌رود ترکیبات آب‌دوست با وزن مولکولی پایین باشـد و توسط رزین‌های آنیونی نیز به‌طور مؤثری حذف نخواهند شد (۱۵).

غشـاءهای تحت فشـار به‌دلیل کاربرد گسـترده در تصفیه آب و در دسـترس بودن تکنولـوژی، گزینه‌های خوبی برای بازیابی منعقدکننـده به‌نظر می‌رسـند (۱۵). هرچند مشـکلاتی نظیر گرفتگی غشـاء، انرژی‌بر بـودن فرایند و محـدود بودن حذف انتخابی منجر به کاهش مطلوبیت اسـتفاده از این غشـاءها در بازیابـی منعقدکننده می‌گـردد (۴۰). گرفتگی حفرات غشـاء باعث افت عملکرد غشاء به دلیل کاهش فلاکس جریان ورودی، پلاریزاسیون غلظت و تشکیل کیک می‌شود (۴۹). در ارتباط با غشاءهای تبادل یونی، مواد تبادل یونی کامپوزیت در اندازه‌های متناسـب برای کاربردهای بزرگ مقیاس در دسترس نیستند و فرایند قادر به تغلیظ زیاد آلوم نبوده و همواره یک انتقال حلالی وجود دارد که نیاز به تصفیه بعدی خواهد داشت (۳۰، ۵۰).

غشـاءهایی با برش مولکولی کمتر از ۱ kDa پتانسـیل بازیابی آلوم با میزان DOC کمتری را به نمایش گذاشـته‌اند. هرچند به‌دلیل بازیابی کم منعقدکننده (کمتر از ۵۰ درصد) در مقایسه با هزینه‌های هضم اسیدی و راهبری اولترافیلتر، استفاده از این غشاءها در عمل قابل پذیرش نیست. با توجه به انتخابی نبودن بازیابی منعقدکننده توسط غشاءهای اولترافیلتر و استانداردهای موجود برای کیفیت مواد شیمیایی مورد استفاده در تصفیه آب و استانداردهای مربوط به کیفیت آب تصفیه شده، روشن است کـه بازیابی منعقدکننده مبتنی بر اولترافیلتراسـیون نمی‌تواند ضوابـط مربوطه را به‌طور قابل اعتمادی ارضاء نماید. هرچند که استفاده از منعقدکننده بازیابی شده منجر به کاهش هزینه‌های مواد شیمیایی می‌گردد. به همین دلیل استفاده از منعقدکننده بازیابی شـده بدین روش، در تصفیه فاضلاب مناسب‌تر خواهد بـود. زیرا محتویات ارگانیک این فاضلاب‌ها برخلاف تصفیه آب فاقد قوانین سختگیرانه است (۱۲).

همچنیـن انتظـار مـی‌رود بازیابی و اسـتفاده مجـدد از لجن تصفیه‌خانـه آب، حجـم لجـن و در نتیجه هزینه‌هـای دفع را کاهش دهد، به‌دلیل کاهش نگرانی‌های ناشـی 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 (۵).

واضح اسـت کـه کاربـرد مطمئـن روش‌هـای بازیابـی مواد منعقدکننده نیازمند تحقیقات جامع‌تریست. بنابراین، در زیر به برخی از زمینه‌های مطالعاتی مورد نیاز اشاره می‌شود:

- تعییـن اثـر مشـخصات آب ورودی به تصفیه‌خانـه و لجن تصفیه‌خانه آب بر کیفیت مواد منعقدکننده بازیابی شده
- تعیین شرایط بهینه انتقال لجن تصفیه‌خانه آب به تصفیه‌خانه فاضلاب و هضم اسیدی آن
- ارتقـاء عملکرد رزین‌های تبادل یونی در بازیابی انتخابی مواد منعقدکننده
- تعیین اثر کیفیت لجن بر گرفتگی غشاء در فرایندهای غشائی و ارتقاء آن
- ارتقاء عملکرد فرایند غشائی دونان و بهینه‌سازی زمان تماس سطح غشاء
- بررسـی کیفیـت مواد منعقدکننـده بازیابی شـده از طریق فرایندهای جذبی در مقایسـه با اسـتانداردهای مربوطه جهت استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

جدول ۶- مزایا و معایب روش‌های مختلف بکار رفته در بازیابی منعقدکننده از لجن تصفیه‌خانه آب

ردیف	روش	مزایا	معایب
۱	هضم اسیدی یا قلیائی	- هزینه اولیه کم - راندمان بالا (۲۸, ۳۲)	- غیرانتخابی بودن (۲۶، ۲۷) - وجود فلزات سنگین، منگنز و ترکیبات آلی در منعقدکننده بازیابی شده (۳) - احتمال تشکیل تری‌هالومتان ناشی از مصرف منعقدکننده بازیابی شده (۱۰) - ملاحظات ایمنی و سلامتی نگهداری حجم بالای اسید (۴۳)
۲	هضم اسیدی + اولتراسونیک	- مصرف کمتر اسید (۲۳, ۲۴) - راندمان بالاتر نسبت به روش هضم (۲۳, ۲۴)	- شکستن شدیدتر لخته‌های لجن با افزایش زمان اولتراسونیک (۲۳) - مصرف زیاد انرژی - هزینه زیاد
۳	رزین تبادل یونی (۱۵)	- حذف انتخابی - ناخالصی کمتر نسبت به روش‌های سنتی	- مصرف زیاد مواد شیمیایی - سینتیک انتشار آهسته برای استخراج - هزینه بالاتر نسبت به روش‌های سنتی
۴	فرایندهای غشائی (اولترا و نانوفیلتراسیون)	- درصد خلوص بیشتر نسبت به روش‌های سنتی - سادگی نسبت به تکنولوژی‌های نوین	- حذف غیرانتخابی (۴۰) - گرفتگی غشاء - انرژی‌بر بودن فرایند - هزینه اولیه و بهره‌برداری زیاد
۵	هضم اسیدی + فرایند غشائی دونان (غشای تبادل یونی)	- حذف انتخابی - گرفتگی کم غشاء - مصرف کم انرژی (۴۱)	- زیاد بودن زمان تماس سطح غشاء (۴۳) زیرا تحت گرادیان فشار قرار ندارد. - انحصاری بودن تکنولوژی

• تعیین اثر استفاده از منعقدکننده بازیابی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب بر کیفیت پساب خروجی از نظر میزان محصولات جانبی گندزدایی و فلزات سنگین

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روش‌های مختلف بازیابی مواد منعقدکننده همراه با مزایا و معایب جهت تعیین استراتژی‌های استفاده مجدد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بودند که استفاده از روش‌های متداول و کم‌هزینه‌تری همچون هضم و رزین تبادل یونی، منجر به بازیابی مواد منعقدکننده با کیفیت لازم جهت استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب نمی‌شود و احتمال می‌رود استفاده از این منعقدکننده‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، قوانین مربوطه را ارضاء کند. روش‌های نوینی همچون جذب و فرایندهای غشائی نیز در مراحل آغازین و غیرصنعتی مطالعات خود هستند. همچنین، استفاده از فرایندهای پرهزینه‌ای همچون تکنولوژی‌های غشائی و بازیابی منعقدکننده‌هایی با خلوص و کیفیت بالاتر جهت مصارف شرب، نیازمند بررسی‌ها و توجیهات دقیق فنی و اقتصادی است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

ملاحظات اخلاقی

نویســندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانــه، تحریف داده‌ها و داده‌ســازی را در ایــن مقاله رعایت کرده‌اند.

References

1. Letterman R, Yiacoumi S. Coagulation and Flocculation. In: Edzwald JK, editor. Water Quality & Treatment. 6th ed. Denver: American Water Works Association (AWWA); 2011.
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. Journal of Water Supply: Research and Technology. 2017;66(6):403-15.
3. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. MWH's Water Treatment Principles and Design. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2012.
4. Ulmert H, Särner E. The ReAl Process – A combined membrane and precipitation process for recovery of Aluminum from waterwork sludge. Vatten. 2005;61:273-81.
5. Babatunde AO, Zhao YQ. Constructive approaches towards water treatment works sludge management: An international review of beneficial re-uses. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2007;37(2):129-64.
6. Nair AT, Ahammed MM. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. Journal of Cleaner Production. 2013;96:272-81.
7. USEPA. Drinking water treatment plant residuals management technical report. Washington DC: USEPA; 2011. Report No.: EPA 820-R-11-003.
8. Huang C, Pan JR, Sun K, Liaw C. Reuse of water treatment plant sludge and dam sediment in brick-making. Water Science and Technology. 2001;44(10):273-77.
9. Anderson M, Biggs A, Winters C, editors. Use of two blended water industry byproduct wastes as a composite substitute for traditional raw materials used in clay brick manufacture. International Symposium on Recycling and Reuse of Waste Materials; 2003; Dundee, Scotland, UK.
10. Nair AT, Ahammed MM. Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(17):10407-18.
11. Titshall L, Hughes J. Characterisation of some South African water treatment residues and implications for land application. Water SA. 2005;31(3):299-307.
12. 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. Separation and Purification Technology. 2014;131:69-78.
13. 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 Research. 2016;88:380-88.
14. Anastas PT, Warner JC. Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford: Oxford University Press.; 1998.
15. Keeley J, Jarvis P, Judd SJ. Coagulant recovery from water treatment residuals: A review of applicable technologies. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2014;44(24):2675-719.
16. Evuti AM, Lawal M. Recovery of coagulants from water works sludge: A review. Advances in Applied Science Research. 2011;2(6):410-17.
17. Lata S, Singh PK, Samadder SR. Regeneration of adsorbents and recovery of heavy metals: a review. International Journal of Environmental Science and Technology. 2015;12(4):1461-78.
18. Cornwell DA. Water treatment plant residals management. In: Letterman RD, editor. Water quality and treatment: A handbook of community water

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

supplies. 5th ed. New York: McGraw Hill; 1999. p. 16.1-16.51.
19. Jewell WM. Method of purifying water patent. USA: 1903. Patent No.: 718,465.
20. Bishop MM, Rolan AT, Bailey TL, Cornwell DA. Testing of alum recovery for solids reduction and reuse. Journal American Water Works Association. 1987;79(6):76-83.
21. Boaventura RAR, Duarte AAS, Almeida MF. Aluminum recovery from water treatment sludges. Proceedings of the IV International Conference on Water Supply and Water Quality; 2000; Cracóvia, Poland.
22. Parsons SA, Daniels SJ. The use of recovered coagulants in wastewater treatment. Environmental Technology. 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. Advanced Materials Research. 2013;777:60-64.
24. Cheng WP, Fu CH, Chen PH, Yu RF. Factors affecting aluminum dissolve from acidified water purification sludge. International Journal of Chemical and Molecular Engineering. 2014;8(8):878-81.
25. Ishikawa S, Ueda N, Okumura Y, Iida Y, Baba K. Recovery of coagulant from water supply plant sludge and its effect on clarification. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2007;9(2):167-72.
26. Xu GR, Yan ZC, Wang YC, Wang N. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. Journal of Hazardous Materials. 2009;161(2-3):663-69.
27. Xu GR, Yan ZC, Wang N, Li GB. Ferric coagulant recovered from coagulation sludge and its recycle in chemically enhanced primary treatment. Water Science and Technology. 2009;60(1):211-19.
28. Chen Y-j, Wang W-m, Wei M-j, Chen J-l, He J-l, Chiang Y, et al. Effects of Al-coagulant sludge characteristics on the efficiency of coagulants recovery by acidification. Environmental Technology. 2012;33(22):2525-30.
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. Applied Surface Science. 2014;305:337-46.
30. Vaezi F, Batebi F. Recovery of iron coagulants from Tehran water treatment plant sludge for reusing in textile wastewater treatment. Iranian Journal of Public Health. 2001;30(3-4):135-38.
31. Ayoub M, Abdelfattah A. A parametric study of alum recovery from water treatment sludge. Water Science and Technology. 2016;74(2):516-23.
32. Fouad MM, Razek TMA, Elgendy AS. Utilization of Drinking Water Treatment Slurry to Produce Aluminum Sulfate Coagulant. Water Environment Research. 2017;89(2):186-91.
33. Sthapak AK, Killedar DJ, Bhole AG. Applicability of alkaline method to alum recovery from waste stabilization pond sludge. Journal of Environmental Science and Engineering. 2008;50(4):307-18.
34. Panswad T, Chamnan P. Aluminum recovery from industrial aluminum sludge. Water Supply. 1992;10(4):159-66.
35. Masschelein WJ, Devleminck R, Genot J. The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. Water Research. 1985;19(11):1363-68.
36. Petruzzelli D, Limoni N, Tiravanti G, Passino R. Aluminum recovery from water clarifier sludges by ion exchange comparison of strong and weak electrolyte cation resins performances. Reactive and Functional Polymers. 1998;38(2-3):227-36.
37. Petruzzelli D, Volpe A, Limoni N, Passino R. Coagulants removal and recovery from water clarifier sludge. Water Research. 2000;34(7):2177-82.
38. Sengupta S, Sengupta AK. Characterizing a new class of sorptive/desorptive ion exchange membranes for decontamination of heavy-metal-laden sludges. Environmental Science and Technology. 1993;27(10):2133-40.
39. Stendahl K, Farm C, Fritzdorf I, Ulmert H. The REAL process – a process for recycling sludge from water works. Water Science & Technology. 2006;54(5):235-42.
40. Prakash P, SenGupta AK. Selective coagulant recovery from water treatment plant residuals using the domain membrane process. Environmental Science and Technology. 2003;37(19):4468-74.
41. Sarkar S, Sengupta AK, Prakash P. The donnan

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

membrane principle: opportunities for sustainable engineered processes and materials. Environmental Science and Technology. 2010;44(4):1161-66.
42. Regmi S, Ghimire KN, Pokhrel MR, Khadka DB. Adsorptive removal and recovery of aluminium (III), iron (II), and chromium (VI) onto a low cost functionalized phragmities karka waste. Journal of Institute of Science and Technology. 2015;20(2):145-52.
43. Keeley J, Jarvis P, Judd SJ. An economic assessment of coagulant recovery from water treatment residuals. Desalination. 2012;287:132-37.
44. Saunders MF, Roeder ML, Coagulant recovery: A critical assessment. Denver: American Water Works Association; 1991.
45. Andalib AH, Ganjidoust H, Ayati B, Khodadadi A. Investigation of amount and effective factors on trihalomethane production in potable water of Yazd. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;4(2):137-48 (in Persian).
46. Zazouli MA, Nasseri S, Mesdaghinia A. Study of Natural Organic Matter Characteristics and Fractions in Surface Water Resources of Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 2008;1(1):1-7 (in Persian).
47. Mahvi AH, Rastkari N, Nabizadeh Nodehi R, Nazmara S, Nasseri S, Ghoochani M. Survey of the effective factors in the production of HAAs and measuring their concentration in the Tehran outlet water treatment plants in the first half of 2010. Iranian Journal of Health and Environment. 2013;6(3):353-64 (in Persian).
48. Isaac PCG, Vahidi I, editors. The recovery of alum sludge. Proceedings of the Society for Water Treatment and Examination; USA; 1961.
49. Muthukumaran S, Nguyen DA, Baskaran K. Performance evaluation of different ultra fi ltration membranes for the reclamation and reuse of secondary effluent. Desalination. 2011;279(1-3):383-89.
50. Prakash P, Hoskins D, Sengupta AK. Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process. Journal of Membrane Science. 2004;237(1-2):131-44.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Coagulants recovery from water treatment plant's sludge: a review

SE Mahdavian*, F Ostovar, H Mirbolooki

Environmental Engineering Group, Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Culture and Research, Rasht, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 11 September 2018
Revised: 3 December 2018
Accepted: 8 December 2018
Published: 19 December 2018

Keywords: Coagulant, Recovery methods, Water treatment, Sludge

***Corresponding Author:**

s.e.mahdavian@alumni.ut.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Coagulation, which is carried out by mixing coagulants such as alum, ferric chloride and poly aluminum chloride PAC with raw water, is one of the main processes in conventional water treatment plants. Sludge from this process contains high amounts of coagulants with high economic value. Therefore, if these coagulants are recovered, in addition to reducing the risks relate to sludge disposal, the expenses related to the supply of fresh coagulant in water or wastewater treatment plant may decrease.

Materials and Methods: To access related documentation, ScienceDirect, Google scholar and other databases were searched using keywords such as "coagulant recovery", "water residuals management", etc. More than one hundred fifty documents were investigated based on the content validity and thematic relation. Gathered contents were classified and summarized under the titles of "recovery methods", "repeated recoveries", "recovery regarding economic aspect" and "advantages and disadvantages of methods".

Results: Use of new methods such as combination of membrane and chemical processes or ion exchange membrane processes leads to the recovery of coagulants with a similar quality to the commercial ones. In case of using conventional and less costly methods such as acid digestion, quality of recovered coagulants is not comparable with those of commercial ones, which are used in water treatment.

Conclusion: Different coagulants recovery methods were investigated to determine the reuse strategies. It is likely that using of recovered coagulants through conventional methods is in accordance with the related regulations of the wastewater treatment plants. Industrial use of novel processes for recovery of coagulants with higher quality needs precise technical and economical investigations.

Please cite this article as: Mahdavian SE, Ostovar F, Mirbolooki H. Coagulants recovery from water treatment plant's sludge: a review. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(3):403-18.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-20]