Journal of Research in Environmental Health

Volume 5, Issue 2, Summer 2019

Investigating the Effect of Ultrasonic Waves on Coagulants in Dewatering of Excess Sludge of Wastewater Treatment Plant in South of Tehran

Farshad Golbabaei Kootenaei
* Ph.D., Graduate Faculty of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. (Correspondig Author): Email: farshadgolbabaei@yahoo.com

Nasser Mehrdadi
Professor, Graduate Faculty of Environment, College of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Gholamreza Nabi Bidhendi
Professor, Graduate Faculty of Environment, College of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Hasan Aminirad
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Mahdi Asadi-Ghalhari
Assistant Professor, Research Centre for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

Farima Saeedi
Laboratory Technologist, Graduate Faculty of Environment, College of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 2019/05/09
Accepted: 2019/08/25

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Reducing the amount of sludge produced by the biological treatment of active sludge is of great importance. The main task of dewatering unit is to separate water from excess sludge. The aim of this study is to determine the effect of ultrasonic waves on coagulants in improving the sludge dewatering process and increasing solid content of sludge cake.

Materials and Methods: This is an experimental study performed in batch laboratory scale. During the two seasons, 12 samples were taken at 15 days' intervals. Variables include ultrasound density (0.375, 0.75, 1, 1.3 and 2.5) in watts per ml, Time (1, 5, 10, 15 and 30) in minute, and specific energy input (208, 1041, 2083, 3124 and 6249) in kilojoule on kilo total suspended solids. The effects of ultrasonic waves on coagulants were investigated by using Particle Size Analizer (PSA).

Results: The optimum amount of solid content of sludge and capillary suction time (CST) was equal to 26.4 percent and 86 seconds in sonification time of 5 minutes and specific energy input of 1041 kj/kg TS. By applying ultrasonic waves, d_{10}, d_{50}, d_{90} and average particle size amount were equal to 6.3, 44.2, 24.4 and 28.84 micrometers respectively.

Conclusion: Ultrasound waves create pores in the physical structure of the polymers and the increase of cationic surface charge increases the adsorption of particles and made larger flocs and can increase the solid content of sludge and improve sludge dewatering process.

Keywords: Coagulant, Dewatering, Excess sludge, Solid content of sludge, Ultrasonic Waves.

▶ **Citation:** Golbabaei Kootenaei F, Mehrdadi N, Nabi Bidhendi Gh, Aminirad H, Asadi-Ghalhari M, Saeedi F. Investigating the Effect of Ultrasonic Waves on Coagulants in Dewatering of Excess Sludge of Wastewater Treatment Plant in South of Tehran. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2019;5 (2): 99-107.

بررسی تأثیر امواج اولتراسونیک بر مواد منعقدکننده در آبگیری لجن مازاد تصفیه‌خانه جنوب تهران

فرشاد گلبابائی کوتنائی
* دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول): ایمیل:
farshadgolbabaei@yahoo.com

ناصر مهردادی
استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

غلامرضا نبی بیدهندی
استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

حسن امینی‌راد
استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

مهدی اسدی قالهری
استادیار، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

فریماه سعیدی
کارشناس آزمایشگاه، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: کاهش حجم لجن تولیدی تصفیه بیولوژیکی به روش لجن فعال، از اهمیت بالایی برخوردار است. واحد آبگیری، وظیفه جداسازی آب مازاد از لجن را به عهده دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر سیستم انتشار امواج اولتراسونیک بر مواد منعقد کننده در فرآیند آبگیری و افزایش جامدات کیک لجن انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی به‌صورت ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در طی ۲ فصل، تعداد ۱۲ نمونه با فاصله زمانی ۱۵ روزه از تصفیه‌خانه برداشت گردید. متغیرهای تحقیقات شامل: چگالی اولتراسوند (۰/۳۷۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۳ و ۲/۵) بر حسب وات بر میلی‌لیتر، زمان (۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰) بر حسب دقیقه و انرژی ورودی ویژه (۲۰۸، ۱۰۴۱، ۲۰۸۳، ۳۱۲۴ و ۶۲۴۹) بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق بود. تأثیر امواج اولتراسونیک با استفاده از دستگاه سنجش اندازه ذرات بر روی مواد منعقد کننده مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: میزان بهینه جامدات کیک لجن و زمان مکش موئینه برابر ۲۶/۴٪ و ۸۶ ثانیه برای شرایط راهبری زمان و انرژی ورودی ویژه برابر ۵ دقیقه و ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق به‌دست آمد. میزان d_{10}، d_{50}، d_{90} و متوسط اندازه ذرات با اعمال امواج اولتراسونیک به ترتیب برابر ۶/۳، ۴۴/۲، ۲۴/۴ و ۲۸/۸۴ میکرومتر بود.

نتیجه‌گیری: امواج اولتراسوند موجب ایجاد خلل و فرج در ساختار فیزیکی پلیمرها شده و با افزایش بارِ سطحی کاتیونی، موجب افزایش میزان جذب ذرات و بزرگ‌تر شدن لخته‌ها و سبب افزایش میزان جامدات کیک لجن و در نتیجه افزایش آبگیری می‌گردد.

کلید واژه‌ها: آبگیری، امواج اولتراسونیک، جامدات کیک لجن، لجن مازاد، منعقد کننده

◀ **استناد:** گلبابائی کوتنائی ف، مهردادی ن، نبی بیدهندی غ، امینی‌راد ح، اسدی قالهری م، سعیدی ف. بررسی تأثیر امواج اولتراسونیک بر مواد منعقدکننده در آبگیری لجن مازاد تصفیه‌خانه جنوب تهران. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۳۹۸؛۵ (۲): ۹۹-۱۰۷.

مقدمه

تصفیه بیولوژیکی، روش متعارفی برای تصفیه فاضلاب می‌باشد. لجن فعال هوازی، فرآیندی متداول در این زمینه می‌باشد که در طی آن، آلاینده‌های آلی به دی‌اکسید کربن و آب تبدیل می‌شوند که همراه با تولید زیست توده میکروبی مازاد همراه است که به عنوان لجن فعال مازاد شناخته می‌شوند (۱). فرآیندهای لجن فعال مقدار زیادی لجن (لجن اولیه برابر با ۹۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر نفر در روز و لجن ثانویه با توجه به خصوصیات فاضلاب ورودی و نوع فرآیند لجن فعال متغیر می‌باشد) ایجاد می‌کنند. هزینه تصفیه این لجن مازاد معمولاً بین ۴۰ درصد تا ۶۰ درصد هزینه راهبری تصفیه‌خانه را شامل می‌شود (۲، ۳).

با توجه به روند رو به رشد ساخت تصفیه‌خانه‌های جدید فاضلاب در ایران، میزان لجن تولیدی نیز افزایش می‌یابد. یکی از فرآیندهای به‌کار رفته در تصفیه لجن، واحد آبگیری می‌باشد که وظیفه جداسازی آب مازاد از لجن را به عهده دارد تا علاوه بر کاهش حجم لجن، برای درجه بالاتری از تصفیه آماده گردد (۴). با کاهش میزان لجن، حجم واحدهای تصفیه لجن کاهش پیدا کرده و هزینه راهبری و تصفیه نیز کاسته می‌شود. در مواردی که از روش دفن در خاکچال جهت دفع نهایی استفاده می‌گردد، از حجم لجن دفعی به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود (۵).

شکستن دیواره سلول‌ها، یکی از روش‌های کاهش حجم لجن می‌باشد. روش‌های زیادی برای شکستن دیواره سلولی وجود دارد. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به تصفیه فیزیکی، شیمیایی (ازن، آب اکسیژنه، اسید و باز)، حرارتی یا بیولوژیکی (مانند هیدرولیز آنزیمی) و غیره اشاره کرد. روش اولتراسونیک نیز با شکستن دیواره سلولی و محلول کردن ذرات، باعث افزایش میزان تصفیه در هاضم‌ها شده و نقش مهمی در کاهش میزان لجن دفعی خواهد داشت (۶-۸). انتشار امواج اولترسونیک در فرکانس‌های ۲۰-۲۰۰ کیلوهرتز، به‌عنوان یکی از روش‌های جدید در کاهش حجم لجن مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

وقتی موج اولتراسوند در یک محیط آبی منتشر می‌شود، الگوی تکرار افزایش و کاهش تراکم، موجب حرکت موج صوت می‌شود. به علت کاهش فشار، حباب‌های خیلی ریز (با قطری در مقیاس نانو و میکرومتر) در نواحی که کاهش تراکم رخ می‌دهد، شکل می‌گیرند. این حباب‌های ریز، حباب‌های کاویتاسیون نامیده می‌شوند که در واقع بخارات مایع و گازهایی را که قبلاً در مایع محلول بوده‌اند، حمل می‌کنند (۹). در این حالت حباب‌های ریز در فاز آبی شکل می‌گیرند و تا یک اندازه ناپایدار منبسط می‌شوند، بنابراین به سرعت متلاشی می‌شوند. متلاشی شدن حباب‌ها اغلب موجب حرارتی موضعی تا ۵۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار تا ۲۰۰۰ اتمسفر می‌شود. این انرژی به اندازه‌ای زیاد است که نور تولید می‌کند. همچنین متلاشی شدن یکباره و شدید میلیون‌ها حباب کوچک، نیروهای برشی هیدرومکانیکی قدرتمندی نیز تولید می‌کند (۱۰، ۱۱).

افزودن مواد منعقد کننده، معمول‌ترین فرآیند آماده‌سازی جهت آبگیری لجن است. آمایش با افزودن مواد شیمیایی می‌تواند به عنوان انعقاد یا لخته‌سازی به منظور خنثی‌سازی بارِ سطحی ذرات با یون‌های دارای بارِ مخالف محسوب شود. اندازه ذرات، مهم‌ترین شاخصه قابلیت آبگیری لجن است که با افزودن مواد شیمیایی، اندازه ذرات افزایش می‌یابد (۳).

نتایج آزمایشات بین و همکاران بر روی تأثیر امواج اولتراسونیک بر پلی‌الکترولیت‌های به‌کار رفته در فرآیند تصفیه لجن نشان داد که با اعمال امواج اولتراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و زمان ۶۰ ثانیه، زمان مکش موئینه[1] از ۳۹۰ به ۲۰ ثانیه و میزان درصد رطوبت از ۸۷ به ۷۸ کاهش می‌یابد. در این تحقیق مشخص شد که امواج اولتراسونیک، ساختار درونی پلی‌الکترولیت‌ها را تغییر داده و باعث افزایش فعالیت آنها بر روی لجن شده است (۱۲). نتایج تحقیقات فنگ و همکاران نشان داد که در دوز انرژی ویژه پایین (کمتر از ۴۴۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق)، قابلیت آبگیری لجن به میزان کمی افزایش می‌یابد، اما در دوز انرژی ویژه بالا (بیشتر از ۴۴۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق)،

1. Capillary Suction Time (CST)

قابلیت آبگیری لجن به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. میزان دوز انرژی ویژه بهینه در این تحقیق برابر ۸۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق به‌دست آمد. در این حالت اندازه قطر ذرات برابر با ۸۰-۹۰ میکرومتر بود (۱۳). محوی و همکاران در تحقیقی بر روی آبگیری لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک قدس تهران با استفاده از امواج اولتراسونیک، زمان بهینه ۵ دقیقه و فرکانس ۳۵ کیلوهرتز را تعیین نمودند (۱۴). ژو و همکاران در تحقیقاتی که بر روی آبگیری لجن انجام دادند، از پلی‌اکریل‌آمید و امواج اولتراسونیک استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که چگالی اولتراسونیک بهینه برابر ۰/۳ وات بر میلی‌لیتر بوده و زمان سونیفیکاسیون بهینه ۱۲ ثانیه و فرکانس ۲۲ کیلوهرتز است (۱۵).

مطالعه حاضر با هدف تعیین اثر سیستم انتشار امواج اولتراسونیک بر روی مواد منعقدکننده جهت بهبود آبگیری لجن و افزایش میزان جامدات در کیک لجن انجام شد.

روش کار

این مطالعه تجربی به‌صورت ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی در شرایط دمای محیطی انجام شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایشات، محصول شرکت مرک آلمان بوده و تمام مواد با استاندارد مواد شیمیایی خالص بودند. پلیمر مورد استفاده از نوع کاتیونی اکریل آمید بوده که در تصفیه‌خانه نیز مورد استفاده قرار می‌گرفته است. میزان استفاده از پلیمر در این آزمایشات بعد از انجام آزمایشات جارتست برابر ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر انتخاب شد.

خصوصیات لجن خام

جدول ۱ بیانگر خصوصیات لجن خام مورد مطالعه می‌باشد. نمونه‌های لجن برداشت شده جهت آزمایشات این تحقیق، از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت گردید. محل نمونه‌برداری پس از هاضم بی‌هوازی و قبل از آبگیری لجن بود.

بر این اساس در طی دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۳۹۴، تعداد ۱۲ نمونه با فاصله زمانی ۱۵ روزه به‌صورت تصادفی از محل مورد نظر برداشت گردید. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای مخصوص جمع‌آوری و جهت جلوگیری از فعل و انفعالات بیولوژیکی در جعبه سرد (در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند و به آزمایشگاه منتقل و بلافاصله آزمایشات بر روی آنها انجام گرفت.

جدول ۱. مشخصات نمونه لجن خام

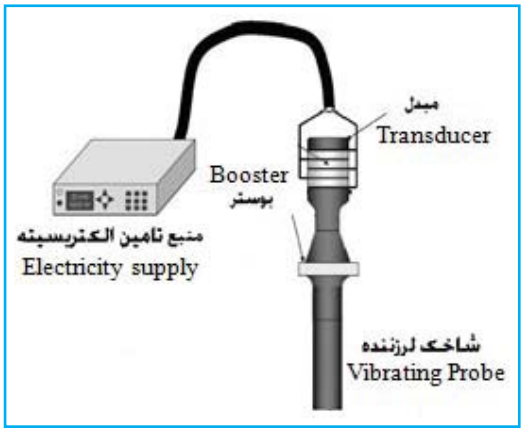
پارامتر	اکسیژن‌خواهی شیمیایی کل	اکسیژن‌خواهی شیمیایی محلول	جامدات محلول کل	جامدات معلق کل	pH	دما
واحد	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	-	درجه سانتی‌گراد
مقدار	۲۰۶۷۵ ± ۲۶۷	۶۴۰۰ ± ۱۲۴	۱۴۲۰۰ ± ۱۶۳	۲۱۶۰۰ ± ۲۸۴	۷/۸۸ ± ۰/۱	۲۲ ± ۱

دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده ساخت شرکت نینگبو[1] با بیشینه توان خروجی ۷۵۰ وات و با فرکانس ثابت راهبری ۲۰ کیلوهرتز بود. عمق استغراق سونوترود ۲ سانتی‌متر و فاصله سونوترود از کف بشر یک لیتری در تمامی آزمایشات به‌طور ثابت ۲ سانتی‌متر می‌باشد. از این دستگاه می‌توان برای خرد کردن بافت‌ها، سلول‌ها و باکتری‌ها استفاده کرد و در همان حال امولسیون‌سازی، تفکیک، تجزیه، هموژن، تخلیص، گاززدایی، تمیز و واکنش شیمیایی را تسریع می‌کند (۱۶). اجزای سیستم به‌کار گرفته شده در این تحقیقات، در شکل ۱ نشان داده شده است.

جهت تعیین میزان قابلیت آبگیری و فیلتراسیون لجن، از خاصیت مکش آب در منافذ مویین و کاغذهای صافی و ثبت زمان عبور آب از صافی بر اثر این مکش استفاده می‌گردد. این روش طی سالیان اخیر به عنوان یک روش سریع و قابل اطمینان جهت بررسی قابلیت صاف شدن و بهسازی لجن، مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷). جهت انجام تحقیق حاضر از دستگاه سنجش زمان مکش موئینه ساخت آمریکا استفاده شد.

1. Ningbo

بر این اساس، مقدار مشخصی از لجن بر روی مخزن دستگاه که بر روی کاغذ صافی مخصوص و دارای منافذ ریز قرار گرفته، ریخته می‌شود. آب موجود در لجن به واسطه خاصیت مکش توسط منافذ ریز موجود در کاغذ صافی از آن عبور می‌کند. در دیواره‌های ظرف، دو جفت سنسور الکتریکی موجود است. به محض اینکه آب نفوذی در کاغذ صافی به الکترود اول برسد، به واسطه خاصیت رسانایی آب، اتصال الکتریکی بین دو سنسور برقرار شده و کرنومتر دستگاه شروع به کار می‌کند و زمانی که آب نفوذی در کاغذ صافی به جفت سنسور دوم برسد، دوباره اتصال الکتریکی بین آنها برقرار شده و سیگنال حاصل کرنومتر را نگه می‌دارد. زمان ثبت شده توسط کرنومتر به عنوان زمان مکش موئینه گزارش می‌شود (۲۲).



شکل ۱. اولتراسونیک جهت به‌کارگیری در تحقیق حاضر

نیروی اعمال شده توسط خاصیت مکش منافذ مویین بسیار بیشتر از نیروی هیدرواستاتیک اعمالی به لجن در تست قیف بوخنر است، در نتیجه تا هنگامی که سطح کافی برای تأمین نیروی مکش منافذ مویین تأمین می‌شود، این تست مستقل از میزان لجن مورد آزمایش بوده و سریع‌تر انجام می‌شود. این برتری روش زمان مکش موئینه بر تست قیف بوخنر است (۱۸).

با توجه به مقدار زمان مکش موئینه، لجن‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- زمان مکش موئینه کمتر از ۱۰۰ ثانیه؛ لجن دارای قابلیت آبگیری بالا که به سادگی آبگیری می‌شود.
- زمان مکش موئینه بیشتر از ۱۰۰ ثانیه؛ لجن دارای قابلیت آبگیری کم که به سختی آبگیری می‌شود.
- زمان مکش موئینه بیشتر از ۵۰۰ ثانیه؛ لجن دارای قابلیت آبگیری بسیار کم که بسیار سخت آبگیری می‌شود (۱۹، ۲۰).

توان یا منبع انرژی مورد نیاز برای متلاشی کردن لجن که در این تحقیق استفاده شد، شامل: انرژی تولیدی واقعی و انرژی ورودی ویژه بود (۶، ۲۰):

انرژی تولیدی واقعی: عبارت است از حاصل‌ضرب توان اولتراسوند در زمان سونیفیکاسیون.

$$Q_u = P.t \quad (1)$$

انرژی ورودی ویژه: عبارت است از انرژی اعمالی به واحد لجن (مانند جامدات کل) تا به درجه مشخصی از متلاشی شدن لجن برسد. انرژی ورودی ویژه، تابعی از توان، مدت زمان اولتراسونیک، حجم لجنی که سونیفیکاسیون می‌شود و غلظت جامدات کل است و می‌توان آن را با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد.

$$E_{spec} = P.t / V.TSS \quad (2)$$

در این معادله Espec انرژی ویژه بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق، P توان اولتراسونیک بر حسب کیلووات، t مدت زمان اولتراسونیک بر حسب ثانیه، V حجم لجنی که در معرض سونیفیکاسیون قرار می‌گیرد بر حسب لیتر که در آزمایشات برابر ۱ لیتر بوده است و TSS کل جامدات بر حسب کیلوگرم بر لیتر است.

پس از انجام آمایش، جهت انجام آبگیری لجن، نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه در سانتریفیوژ قرار گرفتند. سپس با جداسازی فاز مایع و جامد، آزمایشات بر روی جامدات ادامه یافت (۲۱، ۲۲). تمام آزمایشات انجام گرفته در محل آزمایشگاه نانو و آب و فاضلاب دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران و بر اساس روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام گرفت (۲۲).

یافته‌ها

در این بخش، نتایج آزمایشات آبگیری لجن آورده شده است.

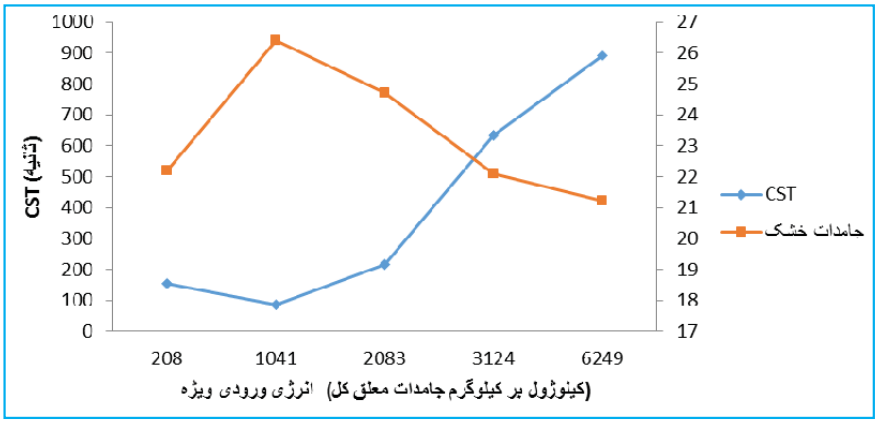
همچنین به بررسی تغییرات اندازه ذرات بر اثر اعمال امواج اولتراسونیک پرداخته شده است.

انرژی ورودی ویژه بهینه جهت آبگیری لجن

در این بخش محاسبات انرژی تولیدی واقعی و انرژی ورودی ویژه با استفاده از روابط ۱ و ۲ آورده شده است. جدول ۲ بیانگر میزان انرژی ورودی ویژه در استفاده از امواج اولتراسونیک جهت آبگیری لجن در زمان‌های مختلف می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۲، با افزایش زمان اعمال امواج اولتراسونیک، میزان انرژی ورودی ویژه و انرژی تولیدی واقعی افزایش پیدا کرد. نمودار ۱ نشان‌دهنده تغییرات زمان مکش موئینه و جامدات کیک لجن با در نظر گرفتن تغییرات انرژی ورودی ویژه می‌باشد.

جدول ۲. میزان انرژی ورودی ویژه و انرژی تولیدی واقعی در استفاده از امواج اولتراسونیک جهت آبگیری لجن

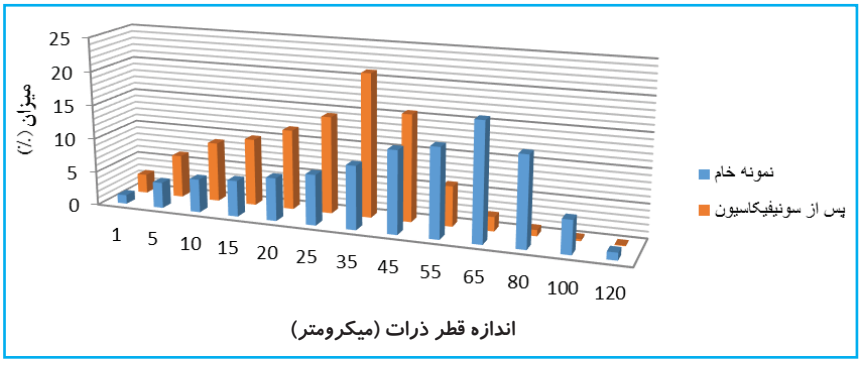
زمان (دقیقه)	۱	۵	۱۰	۱۵	۳۰
انرژی ورودی ویژه (کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق)	۲۰۸/۳	۱۰۴۱/۶	۲۰۸۳/۲	۳۱۲۴/۸	۶۲۴۹/۶
انرژی تولیدی واقعی (کیلوژول)	۴۵	۲۲۵	۴۵۰	۶۷۵	۱۳۵۰



نمودار ۱. نمودار تغییرات زمان مکش موئینه و جامدات کیک لجن با در نظر گرفتن تغییرات انرژی ورودی ویژه

بررسی تغییرات اندازه ذرات قبل و بعد از سونیفیکاسیون

شرایط بهینه جهت بررسی تغییرات اندازه ذرات، بر اثر اعمال امواج اولتراسونیک انتخاب شد. شرایط بهینه جهت اعمال امواج اولتراسونیک، انرژی ورودی ویژه ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق کل و زمان ۵ دقیقه می‌باشد. نمودار ۲ اندازه ذرات لجن قبل و بعد از سونیفیکاسیون را نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز نشان‌دهنده تغییرات اندازه ذرات قبل و بعد از سونیفیکاسیون می‌باشد.



نمودار ۲. نمودار اندازه ذرات لجن قبل و بعد از سونیفیکاسیون

جدول ۳. تغییرات اندازه ذرات قبل و بعد از سونیفیکاسیون (میکرومتر)

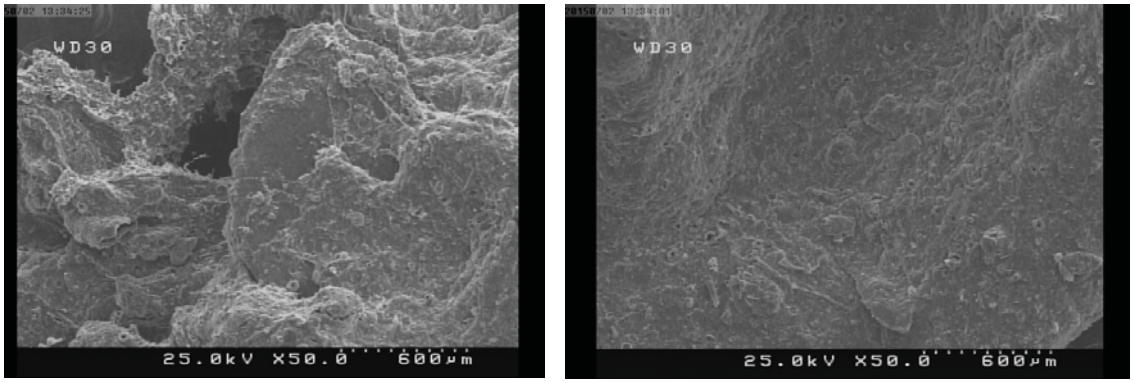
	اندازه متوسط	d_{90}	d_{50}	d_{10}
نمونه خام	۵۱/۷	۷۶/۱	۴۳/۷	۱۵/۸
آمایش با سونیفیکاسیون	۲۸/۸	۴۴/۲	۲۴/۴	۶/۳
درصد کاهش اندازه ذرات	۴۴/۳	۴۱/۹	۴۴/۱	۶۰/۱

بررسی تأثیر اعمال امواج اولتراسونیک بر منعقدکننده‌ها

برای انجام تمام فرآیندهای آبگیری مکانیکی نیاز به اعمال آمایش می‌باشد که مهم‌ترین آنها، فرآیند انعقاد و لخته‌سازی می‌باشد (۲۳).

جهت انجام فرآیند انعقاد، نیاز به مواد منعقد کننده می‌باشد که این مواد، نمک‌های فلزی می‌باشند و با بیشتر شدن بارِ الکتریکی این فلزات، میزان تأثیر آنها نیز بالاتر می‌رود. علاوه بر نمک‌های منعقد کننده، از پلیمرهای کاتیونی نیز برای انعقاد استفاده می‌شود (۶، ۲۴).

پلیمرهای کاتیونی به دلیل داشتن بارِ مثبت، ذرات لجن را که دارای بارِ منفی هستند، به‌خوبی جذب کرده و موجب انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی می‌گردد. شکل ۲ نشان‌دهنده لخته‌های لجن ایجاد شده بدون و با قرار گرفتن در معرض امواج اولتراسونیک می‌باشد.



(الف) (ب)

شکل ۲. تصویر ذرات لخته لجن الف) بدون اعمال امواج اولتراسونیک، ب) بعد از اعمال امواج اولتراسونیک

بحث

نمودار ۱ بیانگر افزایش اولیه میزان جامدات کیک لجن در انرژی ورودی ویژه ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق کل بوده و پس از آن به علت افزایش زیاد این انرژی و در نتیجه شکست دیواره سلولی بیشتر و ورود بیشتر پروتئین‌ها به محیط لجن، باعث کاهش آبگیری و میزان جامدات کیک لجن می‌گردد. این روند با میزان زمان مکش موئینه ثبت شده نیز مطابقت داشته و زمان مکش موئینه در انرژی ورودی ویژه ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق کل مقداری کاهش و به میزان کمینه خود که ۸۶ ثانیه بوده، دست پیدا نموده و آبگیری بهتر شده، ولی پس از آن با کاهش میزان قابلیت آبگیری همراه بوده است. همچنین میزان جامدات کیک لجن در همین مقدار بیشینه و برابر با ۲۶/۴٪ به‌دست آمد.

در مطالعه لیپرت و همکاران که بر روی تأثیر انرژی ورودی ویژه بر روی آمایش لجن انجام دادند، میزان انرژی ورودی ویژه برابر با ۲۲۵۶ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات خشک به عنوان میزان بهینه به‌دست آمد (۲۵).

بر اساس نمودار ۲، اندازه ذرات با اعمال امواج اولتراسونیک دچار تغییراتی شده بود. با اعمال امواج اولتراسونیک، اندازه ذرات ریزتر شده بود که نشان‌دهنده تأثیر سونیفیکاسیون بر تخریب و متلاشی کردن ذرات و سلول‌ها می‌باشد که این مسئله از جدول ۳ نیز قابل تشخیص می‌باشد.

در جدول ۳، میزان d_{90}، d_{50} و d_{10} بیان شده است که d_{90} بیانگر

اندازه ذراتی است که ۹۰٪ ذرات از آن کوچک‌تر می‌باشند و d_{50} و d_{10} به همین ترتیب بیانگر اندازه ذراتی است که ۵۰٪ و ۱۰٪ ذرات از آن کوچک‌تر می‌باشند. میزان d_{10} با اعمال امواج اولتراسونیک برابر ۶/۳ میکرومتر بوده که نشان‌دهنده تأثیر امواج اولتراسونیک در کاهش اندازه ذرات لجن و تخریب سلولی می‌باشد. این مورد در خصوص d_{90} و d_{50} نیز صادق می‌باشد و میزان آنها برابر ۴۴/۲ و ۲۴/۴ میکرومتر است. همچنین متوسط اندازه ذرات بعد از اعمال امواج اولتراسونیک، ۲۸/۸۴ میکرومتر بود.

در مطالعه روئیز و همکاران که بر روی میزان آبگیری لجن تصفیه‌خانه الپرات[1] شهر بارسلونا اسپانیا انجام دادند، متوسط اندازه ذرات پس از اعمال امواج اولتراسونیک کاهش یافت و میزان آن به ۲۲/۳ میکرومتر رسید (۲۶). در مطالعه بورير و همکاران که بر روی تأثیر امواج اولتراسونیک بر لخته‌سازی و آبگیری لجن در تصفیه‌خانه شهر کارکاسون فرانسه انجام دادند، قطر متوسط ذرات قبل و پس از اعمال امواج اولتراسونیک برابر ۳۶/۳ و ۱۰/۷ میکرومتر بود که از روند مشاهده شده در مطالعات قبلی پیروی می‌کند (۲۷). نتایج آزمایشات فنگ و همکاران بر روی اعمال امواج اولتراسونیک بر روی لجن، نشان‌دهنده میزان بهینه d_{50} برابر با ۴۵۶ میکرومتر بود (۲۸).

شکل ۲، نشان‌دهنده تصاویری از ذرات لخته لجن می‌باشد. شکل ۲- الف نشان‌دهنده تصویری نمونه‌وار از ذرات لخته بدون اعمال امواج اولتراسونیک و شکل ۲- ب، نشان‌دهنده تصویری نمونه‌وار از لخته ایجاد شده پس از اعمال امواج اولتراسونیک می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، لخته دارای سطحی یکنواخت بوده و نشان‌دهنده یک فرآیند انعقاد مناسب می‌باشد. نیروی هیدرودینامیکی ایجاد شده در اثر پدیده کاویتاسیون و اعمال امواج اولتراسونیک به مواد منعقدکننده و پلیمرها، موجب ایجاد تغییراتی در ساختار این مواد می‌شود و شدت فعالیت آنها را در لجن افزایش می‌دهد. امواج اولتراسوند موجب ایجاد خلل و فرج بیشتر در ساختار فیزیکی منعقدکننده‌ها و پلیمرها شده و به علل گفته شده موجب بهبود خصوصیات پلیمر و بهبود فرآیند انعقاد می‌گردد و با افزایش سطح تماس و بارِ سطحی کاتیونی، موجب افزایش میزان جذب ذرات لجن با بارِ منفی و بزرگ‌تر شدن لخته‌ها و آسان‌تر شدن فرآیند آبگیری لجن می‌گردد (۶، ۲۹، ۳۰).

نتیجه‌گیری

میزان بهینه جامدات در کیک لجن برابر ۲۶/۴٪ برای شرایط راهبری بهینه در زمان سونیفیکاسیون و انرژی ورودی ویژه به‌ترتیب برابر ۵ دقیقه و ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق به‌دست آمد. همچنین در این شرایط میزان زمان مکش موئینه برابر ۸۶ ثانیه بود. بر این اساس مشخص شد که اعمال امواج اولتراسوند می‌تواند سبب افزایش میزان جامدات کیک لجن و در نتیجه افزایش آبگیری لجن گردد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر با استفاده از نتایج طرح شماره ۹۰/۱۴۹۱۱/۵۰۱ و با حمایت شرکت آب و فاضلاب تهران و شرکت فاضلاب تهران، نگاشته شده است. بدین‌وسیله از مسئولان مربوطه در شرکت‌های نامبرده و تصفیه‌خانه تهران جنوب به جهت حمایت‌های مادی و معنوی، تشکر و قدردانی می‌شود.

1. El Prat

References

1. Thanh Bui X, Chiemchaisri C, Fujioka T, Varjani S. Water and Wastewater Treatment Technologies. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019.
2. Ramalho R. Introduction to Wastewater Treatment Processes. 2nd ed. Academic Press, 2013.
3. Turovskiy I, Mathai P. Wastewater sludge processing. Wiley Publications, 2006.
4. Mehrdadi N, Mohamadi A, Aghajani A, Zahedi A. Sonochemical solubilization of nitrogen and phosphorus: improvement of the efficiency. Fresen Environ Bullet, 2012; 21 (3): 736-743.
5. Neis A, Kyllonen H, Korpijarvi K, Pirkonen P, Paavol T, Jokela J. Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion. Ultrasonic Sonochem, 2005; 12: 115–120.
6. Pilli S, Bhunia P, Yan S, LeBlanc R, Tyagi R, Surampalli R. Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. Ultrasonic Sonochem, 2011; 18: 1-18.
7. Foladori P, Andreottola G, Ziglio G. Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants. IWA Publishing, 2010.
8. Show K, Mao T, Lee D. Optimisation of sludge disruption by sonication. Water Res, 2007; 41: 4741 – 4747.
9. Bougrier C, Carrere H, Delgenes J. Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. Chem Eng J, 2005; 106: 163-169.
10. Mohammadi A, Mehrdadi N, Nabi G, Torabian A. Excess sludge reduction using ultrasonic waves in biological wastewater treatment. Desalination, 2011; 275 (1-3): 67-73.
11. Schlafer O, Sievers M, Klotzbucher H, Onyeche T. Improvement of biological activity by low energy ultrasound assisted bioreactors. Ultrasonics, 2000; 38: 711-716.
12. Bien C, Lee D, Chang B, You C, Tay J. Weak ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids. Water Res, 2002; 36: 2681–2688.
13. Feng X, Deng J, Lei H, Bai T, Fan Q, Li Z. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning. Bioresource Technology, 2009; 100 (10): 56-71.
14. Mahvi A, Heidari A, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Gholami M. A survey on the effect of ultrasonic method on dewatering of bio sludge in wastewater treatment plant. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2014; 8 (4): 424-430. (Persian)
15. Zhu C, Zhang P, Wang H, Ye J. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability. 2018; 40: 353-360.
16. Gonze E, Pillot S, Valette E, Gonthier Y, Bernis A. Ultrasonic treatment of an aerobic activated sludge in a batch reactor. Chem Eng Process, 2003; 42: 965-975.
17. Chen G, Lin W, Lee D. Capillary suction time (CST) as a measure of sludge dewaterability. Water Sci Technology, 1996; 34 (3-4): 443-448.
18. Huisman M, Vankesteren W. Consolidaton theory applied to the Capillary Suction Time (CST) apparatus. Water Sci Technology, 1998; 37 (6-7): 117-124.
19. Suky B, Jannesar R. Water and wastewater clarification process. Tehran:Jahad Daneshgahi Publication, 2010, 124–126. (Persian)
20. Apul O. Municipal Sludge Minimization: Evaluation of Ultrasonic and Acidic Pretreatment Methods and Their Subsequent Effects on Anaerobic Digestion. Master of Science Thesis, Middle East Technical University, 2009; 25-32.
21. Kopp J, Dichtl N. Influence of the free water content on the dewaterability of sewage sludges. Water Sci Technology, 2001; 44 (10): 177-183.
22. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23st ed. Washington: American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2017.
23. Poxon T, Darby J. Extracellular Polyanions in digested sludge: measurment and relationship to sludge dewaterability. Water Res, 1997; 31 (4): 749-758.
24. Bien B, Kempa E, Bien J. Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process. Water Sci Technology, 1997; 36 (4): 287-291.
25. Lippert T, Bandelin J, MuschJörg A, Koch K. Energy-positive sewage sludge pre-treatment with a novel ultrasonic flatbed reactor at low energy input. 2018; 264: 298-305.
26. Hernando M, Elorza G, Labanda J, Llorens J. 2013. Dewaterability of sewage sludge by ultrasonic, thermal and chemical treatments, Chem Eng J, 2013; 230: 102-110.
27. Bourgier C, Albasi C, Delgenes J, Carrere H. Effect of ultrasonic, Thermal and ozone pretreatment on waste activated sludge solubilization and anaerobic biodegradability. Chem Eng Process, 2006; 45: 711-718.
28. Feng L, Liua S, Zhenga H, Liang J, Sun Y, Zhang S, Chen X. Using ultrasonic (US)-initiated template copolymerization for preparation of an enhanced cationic polyacrylamide (CPAM) and its application in sludge dewatering. Ultrasonic Sonochem, 2018; 44: 53–63.
29. Bien J, Wolny L. Changes of some sewage sludge parameters prepared with an ultrasonic field. Water Sci Technology, 1997; 36 (2): 101-106.
30. Cuihong Z, Hui K, Jiaqing C, Junying C. Study on Sludge Dewatering Ability by Ultrasound Pretreatment. 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Wuhan, 2011.