

Effect of ultrasonic waves on coagulants in dewatering of sludge

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. (Corresponding 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 Analyzer (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. *Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2019;5 (2): 99-107.

تأثیر اولتراسونیک بر منعقدکننده در آبیگری لجن

بررسی تأثیر امواج اولتراسونیک بر مواد منعقدکننده در آبیگری 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 مهرداد

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 آلاینده‌های محیطی، دانشگاه
علوم پزشکی قم، قم، ایران.

فریمه سعیدی

کارشناس آزمایشگاه، دانشکده محیط‌زیست، پردیس
دانشکده‌های 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 آبیگری، وظیفه جداسازی آب مازاد از لجن را به عهده دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر سیستم انتشار امواج اولتراسونیک بر مواد منعقدکننده در فرآیند آبیگری 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 منعقدکننده 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_{90} ، d_{50} ، d_{10} 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 بار سطحی کاتیونی، موجب افزایش میزان جذب ذرات و بزرگ‌تر شدن لخته‌ها و سبب افزایش میزان جامدات کیک لجن و در نتیجه افزایش آبیگری می‌گردد.

کلید واژه‌ها: آبیگری، امواج اولتراسونیک، جامدات کیک لجن، لجن مازاد، منعقدکننده

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

تصفیه بیولوژیکی، روش متعارفی برای تصفیه فاضلاب می باشد. لجن فعال هوازی، فرآیندی متداول در این زمینه می باشد که در طی آن، آلاینده های آلی به دی اکسید کربن و آب تبدیل می شوند که همراه با تولید زیست توده میکروبی مازاد همراه است که به عنوان لجن فعال مازاد شناخته می شوند (۱). فرآیندهای لجن فعال مقدار زیادی لجن (لجن اولیه برابر با ۹۰۰ میلی لیتر به ازای هر نفر در روز و لجن ثانویه با توجه به خصوصیات فاضلاب ورودی و نوع فرآیند لجن فعال متغیر می باشد) ایجاد می کنند. هزینه تصفیه این لجن مازاد معمولاً بین ۴۰ درصد تا ۶۰ درصد هزینه راهبری تصفیه خانه را شامل می شود (۲، ۳).

با توجه به روند رو به رشد ساخت تصفیه خانه های جدید فاضلاب در ایران، میزان لجن تولیدی نیز افزایش می یابد. یکی از فرآیندهای به کار رفته در تصفیه لجن، واحد آگیری می باشد 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 می شود. در مواردی که از روش دفن در خاکچال جهت دفع نهایی استفاده می گردد، از حجم لجن دفعی به میزان قابل توجهی کاسته می شود (۵).

شکستن دیواره سلول ها، یکی از روش های کاهش حجم لجن می باشد. روش های زیادی برای شکستن دیواره سلولی وجود دارد. از مهم ترین این روش ها می توان 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 هاضم ها شده و نقش مهمی در کاهش میزان لجن دفعی خواهد داشت (۶-۸). انتشار امواج اولتراسونیک در فرکانس های ۲۰-۲۰۰ کیلوهرتز، به عنوان یکی از روش های جدید در کاهش حجم لجن مورد بررسی قرار گرفته اند.

وقتی موج اولتراسوند در یک محیط آبی منتشر می شود، الگوی

تکرار افزایش و کاهش تراکم، موجب حرکت موج صوت می شود. به علت کاهش فشار، حباب های خیلی ریز (با قطری در مقیاس نانو و میکرومتر) در نواحی که کاهش تراکم رخ می دهد، شکل می گیرند. این حباب های ریز، حباب های کاویتاسیون نامیده می شوند که در واقع بخارات مایع و گازهایی را که قبلاً در مایع محلول بوده اند، حمل می کنند (۹). در این حالت حباب های ریز در فاز آبی شکل می گیرند و تا یک اندازه ناپایدار منبسط می شوند، بنابراین به سرعت متلاشی می شوند. متلاشی شدن حباب ها اغلب موجب حرارتی موضعی تا ۵۰۰۰ درجه سانتی گراد و فشار تا ۲۰۰۰ اتمسفر می شود. این انرژی به اندازه ای زیاد است که نور تولید می کند. همچنین متلاشی شدن یکباره و شدید میلیون ها حباب کوچک، نیروهای برشی هیدرومکانیکی قدرتمندی نیز تولید می کند (۱۰، ۱۱).

افزودن مواد منعقد کننده، معمول ترین فرآیند آماده سازی جهت آگیری لجن است. آمایش با افزودن مواد شیمیایی می تواند به عنوان انعقاد یا لخته سازی به منظور خنثی سازی بار سطحی ذرات با یون های دارای بار مخالف محسوب شود. اندازه ذرات، مهم ترین شاخص قابلیت آگیری لجن است که با افزودن مواد شیمیایی، اندازه ذرات افزایش می یابد (۳).

نتایج آزمایشات بین و همکاران بر روی تأثیر امواج اولتراسونیک بر پلی الکترولیت های به کار رفته در فرآیند تصفیه لجن نشان داد که با اعمال امواج اولتراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و زمان ۶۰ ثانیه، زمان مکش موئینه^۱ از ۳۹۰ به ۲۰ ثانیه و میزان درصد رطوبت از ۸۷ به ۷۸ کاهش می یابد. در این تحقیق مشخص شد که امواج اولتراسونیک، ساختار درونی پلی الکترولیت ها 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 آگیری لجن به میزان کمی افزایش می یابد، اما در دوز انرژی ویژه بالا (بیشتر از ۴۴۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق)،

قابلیت آبگیری لجن به شدت کاهش پیدا می کند. میزان دوز انرژی ویژه بهینه در این تحقیق برابر ۸۰۰ کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق به دست آمد. در این حالت اندازه قطر ذرات برابر با ۸۰-۹۰ میکرومتر بود (۱۳). محوی و همکاران در تحقیقی بر روی آبگیری لجن تصفیه خانه 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 پلی اکریل آمید و امواج اولتراسونیک استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که چگالی اولتراسونیک بهینه برابر ۰/۳ وات بر میلی لیتر 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 به صورت 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 تصفیه خانه نیز مورد استفاده قرار می گرفته است. میزان استفاده از پلیمر در این آزمایشات بعد از انجام آزمایشات جارتست برابر ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر انتخاب شد.

خصوصیات لجن خام

جدول ۱ بیانگر خصوصیات لجن خام مورد مطالعه می باشد. نمونه های لجن برداشت شده جهت آزمایشات این تحقیق، از تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت گردید. محل نمونه برداری پس از هاضم بی هوازی 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 به صورت تصادفی از محل مورد نظر برداشت گردید. نمونه ها در ظروف شیشه ای مخصوص جمع آوری و جهت جلوگیری از فعل و انفعالات بیولوژیکی در جعبه سرد (در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی گراد) نگهداری شدند و به آزمایشگاه منتقل و بلافاصله آزمایشات بر روی آنها انجام گرفت.

جدول ۱. مشخصات نمونه لجن خام

پارامتر	اکسیژن خواهی شیمیایی کل	اکسیژن خواهی شیمیایی محلول	جامدات محلول کل	جامدات معلق کل	pH	دما
واحد	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر	میلی گرم بر لیتر	-	درجه سانتی گراد
مقدار	۲۰۶۷۵ ± ۲۶۷	۶۴۰۰ ± ۱۲۴	۱۴۲۰۰ ± ۱۶۳	۲۱۶۰۰ ± ۲۸۴	۷/۸۸ ± ۰/۱	۲۲ ± ۱

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 می گردد. 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.

دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده ساخت شرکت نینگبو^۱ با بیشینه توان خروجی ۷۵۰ وات و با فرکانس ثابت راهبری ۲۰ کیلوهرتز بود. عمق استغراق سونوتروود ۲ سانتی متر و فاصله سونوتروود از کف بشر یک لیتری در تمامی آزمایشات به طور ثابت ۲ سانتی متر می باشد. از این دستگاه می توان برای خرد کردن بافت ها، سلول ها و باکتری ها استفاده کرد و در همان حال امولسیون سازی، تفکیک، تجزیه، هموژن، تخلیص، گاززدایی، تمیز و واکنش شیمیایی را تسریع می کند (۱۶). اجزای سیستم به کار

1. Ningbo

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 حاصل ضرب توان اولتراسوند در زمان سونیفیکاسیون.

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

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.

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

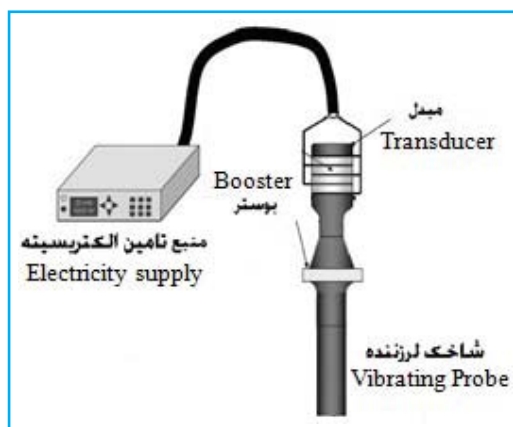
در این معادله E_{spec} انرژی ویژه بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم کل جامدات معلق، P توان اولتراسونیک بر حسب کیلووات، t مدت زمان اولتراسونیک بر حسب ثانیه، V حجم لجنی که در معرض سونیفیکاسیون قرار می‌گیرد بر حسب لیتر که در آزمایشات برابر ۱ لیتر بوده است و TSS کل جامدات بر حسب کیلوگرم بر لیتر است.

پس از انجام آمایش، جهت انجام آبگیری لجن، نمونه‌ها به مدت 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 محیط زیست 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.

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 به کارگیری در تحقیق حاضر

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

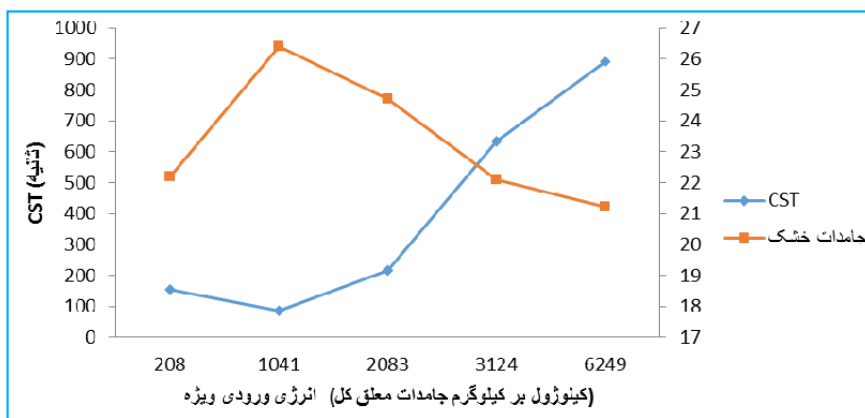
همچنین به بررسی تغییرات اندازه ذرات بر اثر اعمال امواج اولتراسونیک پرداخته شده است.

انرژی ورودی ویژه بهینه جهت آگیری 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 آگیری لجن

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

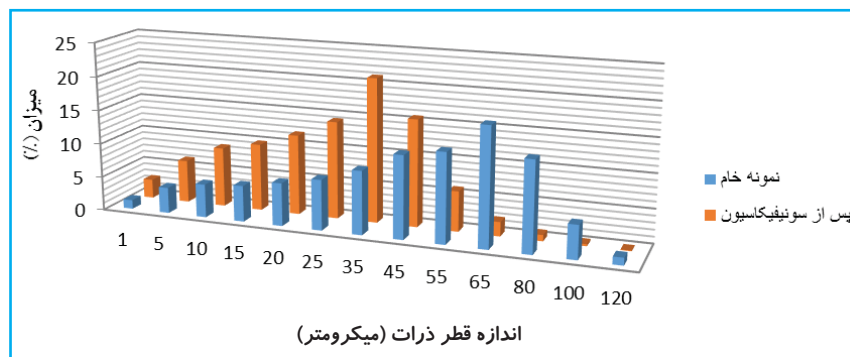
زمان (دقیقه)	۱	۵	۱۰	۱۵	۳۰
انرژی ورودی ویژه (کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق)	۲۰۸/۳	۱۰۴۱/۶	۲۰۸۳/۲	۳۱۲۴/۸	۶۲۴۹/۶
انرژی تولیدی واقعی (کیلوژول)	۴۵	۲۲۵	۴۵۰	۶۷۵	۱۳۵۰



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

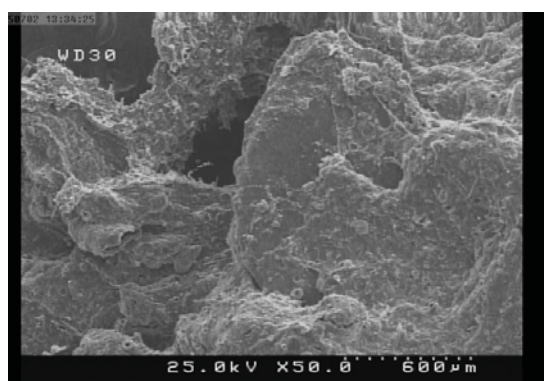
بررسی تغییرات اندازه ذرات قبل و بعد از سونیفیکاسیون

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 می باشد. نمودار ۲ اندازه ذرات لجن قبل و بعد از سونیفیکاسیون را نشان می دهد. جدول ۴ نیز نشان دهنده تغییرات اندازه ذرات قبل و بعد از سونیفیکاسیون می باشد.

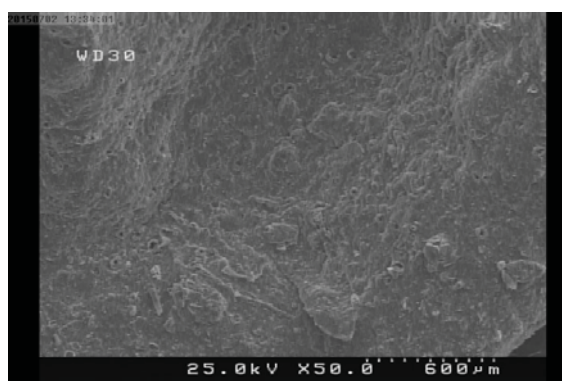


نمودار ۲. نمودار اندازه ذرات لجن قبل و بعد از سونیفیکاسیون

جهت انجام فرآیند انعقاد، نیاز به مواد منعقد کننده می باشد که این مواد، نمک های فلزی می باشند و با بیشتر شدن بار الکتریکی این فلزات، میزان تأثیر آنها نیز بالاتر می رود. علاوه بر نمک های منعقد کننده، از پلیمرهای کاتیونی نیز برای انعقاد استفاده می شود (۶، ۲۴). پلیمرهای کاتیونی به دلیل داشتن بار مثبت، ذرات لجن را که دارای بار منفی هستند، به خوبی جذب کرده و موجب انجام فرآیند انعقاد و لخته سازی می گردد. شکل ۲ نشان دهنده لخته های لجن ایجاد شده بدون و با قرار گرفتن در معرض امواج اولتراسونیک می باشد.



(الف)



(ب)

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

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

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

بررسی تأثیر اعمال امواج اولتراسونیک بر منعقد کننده ها

برای انجام تمام فرآیندهای آبیگری مکانیکی نیاز به اعمال آمایش می باشد که مهم ترین آنها، فرآیند انعقاد و لخته سازی می باشد (۲۳).

بحث

به دست 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 به دست 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 نشان دهنده تأثیر سونیفیکاسیون بر تخریب و متلاشی کردن ذرات و سلول ها می باشد که این مسئله از جدول ۳ نیز قابل تشخیص می باشد.

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

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 پروتئین ها به محیط لجن، باعث کاهش آبیگری و میزان جامدات کیک لجن می گردد. 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 آبیگری بهتر شده، ولی پس از آن با کاهش میزان قابلیت آبیگری همراه بوده است. همچنین میزان جامدات کیک لجن در همین مقدار بیشینه و برابر با ۲۶/۴٪

گفته شده موجب بهبود خصوصیات پلیمر و بهبود فرآیند انعقاد می‌گردد و با افزایش سطح تماس و بار سطحی کاتیونی، موجب افزایش میزان جذب ذرات لجن با بار منفی و بزرگ‌تر شدن لخته‌ها و آسان‌تر شدن فرآیند آبیگری 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 به ترتیب برابر ۵ دقیقه و ۱۰۴۱ کیلوژول بر کیلوگرم جامدات معلق به دست 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 آبیگری 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.

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_{50} و d_{90} 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 آبیگری لجن تصفیه‌خانه الپرات^۱ 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 بوریر و همکاران که بر روی تأثیر امواج اولتراسونیک بر لخته‌سازی و آبیگری 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

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, Onyeché 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. Consolidation 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. 23rd ed. Washington: American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2017.
23. Poxon T, Darby J. Extracellular Polyanions in digested sludge: measurement 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.