



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

مقاله پژوهشی

## پیش تصفیه لجن‌های بیولوژیکی فاضلاب شهری با امواج اولتراسونیک: بررسی کارایی در بهبود فرایندهای هیدرولیز، تثبیت و آبگیری

رضا براتی رشوانلو<sup>۱</sup>، مهدی فرزادکیا<sup>۲\*</sup>

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

### اطلاعات مقاله: چکیده

**زمینه و هدف:** تجزیه لجن با امواج اولتراسونیک، به‌عنوان یک روش پیش تصفیه قبل از فرایند تثبیت و آبگیری است که باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها می‌شود. هدف اصلی از این تحقیق بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در بهبود فرایندهای هیدرولیز، تثبیت و آبگیری لجن فعال خام فاضلاب شهری است.

**روش بررسی:** از لجن فعال برگشتی به حوض هوادهی، نمونه‌برداری انجام گردید و آزمایش فیزیکی با هدایت امواج اولتراسونیک با فرکانس‌های ۲۰ و ۴۰ kHz در زمان‌های ۱۰/۵، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ min انجام گرفت. در ادامه بهبود فرایندهای هیدرولیز، تثبیت و آبگیری نمونه‌ها با انجام آزمایشاتی نظیر: TS، TSS، CST، SRF، VS، nVS، VS<sub>SOL</sub> و VS<sub>SOL</sub> مورد بررسی قرار گرفت. **یافته‌ها:** VS<sub>SOL</sub> در فرکانس ۲۰ kHz در زمان ۲۰ min به میزان ۷۳ درصد افزایش داشت و VS<sub>SOL</sub> در فرکانس ۴۰ kHz در زمان ۱۰ min به میزان ۱۰۰ درصد افزایش داشت. درصد کاهش VS در فرکانس ۲۰ kHz از زمان ۱۵ min شروع و در ۶۰ min به ۱۸ درصد رسید. کاهش این شاخص در فرکانس ۴۰ kHz در زمان ۱۰ min شروع و تا ۶۰ min به میزان ۲۴ درصد رسید. مقاومت ویژه لجن در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در زمان تماس ۱ min به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درصد کاهش داشت و زمان مکش موئینه در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در زمان تماس ۱ min به ترتیب کاهش ۲۸ و ۲۱ درصد را نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** بهترین کارایی هیدرولیز جامدات آلی لجن خام بیولوژیکی در زمان ۱۰ min با فرکانس ۴۰ kHz بدست آمد. بیشترین راندمان تثبیت لجن در فرکانس ۴۰ kHz در زمان ۶۰ min به دست آمد. بهترین شرایط آبگیری لجن در فرکانس ۲۰ kHz در زمان تماس ۱ min حاصل گردید.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۵  
تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۲/۰۲  
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۵  
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۳/۳۰

**واژگان کلیدی:** فاضلاب شهری، لجن، تصفیه لجن، اولتراسونیک، آبگیری

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
mahdifarzadkia@gmail.com

## مقدمه

لجن‌های فاضلاب شهری که در فرایند تصفیه از فاضلاب جدا می‌شوند قبل از استفاده مجدد بایستی بی‌خطر سازی و تصفیه شوند. تغلیظ، تثبیت، آمایش و آبگیری از متداول‌ترین فرایندهای تصفیه لجن به‌شمار می‌آیند. این اقدامات معمولاً ۵۰ درصد از هزینه‌های کل تصفیه فاضلاب را به خود اختصاص داده ضمن اینکه راهبری ویژه و تخصصی خاصی را طلب می‌نمایند. از میان فرایندهای تصفیه لجن، تثبیت اصلی‌ترین، گران‌ترین و تخصصی‌ترین فرایند تصفیه لجن محسوب می‌شود. بطور متعارف، تثبیت فرایندی است که در آن مواد آلی فساد پذیر لجن و مخاطرات میکروبی آن تا حدود زیادی کاهش می‌یابد (۶-۱).

در صورتی که بتوان با تمهیداتی درصد آب لجن را کاهش داده و سپس آن را به زمین منتقل نمود، می‌توان ضمن بهره‌گیری از خصوصیات کودی و مواد ارزشمند موجود در لجن از روش‌های زمین‌پالایی برای ادامه فرایند تصفیه آنها استفاده کرده و تا حدود زیادی در هزینه‌های تصفیه لجن صرفه جویی نمود (۷). لجن‌های دفعی از تصفیه خانه‌های فاضلاب در اغلب موارد به‌عنوان کود و یا عامل اصلاح‌کننده بافت خاک در زمین به کار می‌روند. انتقال لجن به زمین به‌صورت، مایع، خمیری و خشک امکان‌پذیر است. در عمل انتقال لجن‌های مایع به دلیل حجم زیاد آب و نیاز به شبکه‌های بزرگ انتقال (لوله‌گذاری و یا استفاده از تانکرها) معمولاً غیراقتصادی بوده و مقرون به‌صرفه نیست. بر این اساس عملیات آبگیری قبل از دفع لجن از تصفیه خانه غالباً امری اجتناب‌ناپذیر است (۸).

میزان آب موجود در بافت لجن با توجه به نوع لجن اولیه و یا لجن فعال بین ۹۶ تا ۹۹ درصد متغیر بوده و درصد مواد آلی فسادپذیر آن بسیار زیاد است. لجن‌های فاضلاب شهری خصوصاً لجن فعال که غالباً از بیومس و پیکره‌های میکروبی تشکیل شده‌اند در مقابل آبگیری بسیار مقاوم بوده و به سختی آب خود را از دست می‌دهند. آب موجود در لجن فعال یا لجن بیولوژیکی شامل آب آزاد، آب میان‌لخته‌ای، آب چسبیده به سطح فلاک‌ها و آب موجود در پیکره میکروب‌های زنده (آب

پیوندی) است از این‌رو برای آبگیری از این لجن‌ها بایستی با تمهیداتی آب آزاد و میان‌لخته‌ای را آزاد نمود (۹). آمایش لجن عبارت از مجموعه عملیاتی است که قبل از مرحله آبگیری یا تغلیظ لجن انجام می‌شود تا کار آبگیری و تغلیظ لجن به سهولت انجام گیرد (۷). آمایش لجن ممکن است با یکی از روش‌های زیر صورت پذیرد:

۱- پیش تصفیه حرارتی ۲- کاربرد مواد شیمیایی ۳- تجزیه مکانیکی لجن ۴- امواج اولتراسونیک (۱۰).  
از مزایای روش‌های پیش تصفیه لجن با امواج اولتراسوند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) قابل افزودن به تاسیسات موجود، ب) هزینه پایین و بهره‌برداری مناسب در مقایسه با سایر روش‌های پیش تصفیه، پ) تولید منبع کربن در محل برای تاسیسات دنیتریفیکاسیون، ت) اتوماسیون کامل فرایند، کنترل بالکینگ ناشی از باکتری‌های فیلامنتوس و کف در هاضم‌ها، پایداری بهتر هاضم، ث) بهبود تخریب جامدات فرار و تولید بیوگاز، ج) بهتر شدن قابلیت آبگیری لجن، چ) بهبود کیفیت لجن (کاهش مواد قابل تجزیه بیولوژیک آلی و کاهش تعداد پاتوژن‌ها در لجن) (۱۱-۱۳). یافته‌های جدید، افزایش کاربرد آن را در تجزیه لجن شهری در مقیاس کامل، افزایش بازدهی آن را در هیدرولیز و بهبود توانایی تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی فاضلاب‌های مختلف از جمله صنایع لبنی و کاربرد آن در بهبود هضم بی‌هوازی لجن فعال را تایید می‌کند (۱۴).

با توجه به زمان ماند زیاد در فرایند بی‌هوازی و مشکلات آبگیری لجن در تصفیه خانه‌ها نیاز به کاربرد روش‌های جهت کاهش و رفع محدودیت‌ها و در نتیجه کم کردن هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری است. امواج اولتراسونیک به دلیل توانایی کاهش اندازه ذرات لجن و افزایش دادن فعالیت آنزیم‌ها می‌تواند زمان مرحله هیدرولیز را که عامل محدودکننده در هاضم‌ها است را کم کند و در نتیجه زمان ماند را کاهش دهد (۱۵، ۱۶).

مطالعات نشان می‌دهد که در زمینه هیدرولیز لجن‌های خام بیولوژیکی در راکتورهای اولتراسونیک در تصفیه خانه‌های

لجن، مقدار ۵ mL از لجن از کیفی به قطر ۵/۰ cm عبور داده شده و بر روی کاغذ صافی ریخته می‌شود. زمان صرف شده برای تر شدن کاغذ صافی بین فاصله ۱ cm و ۳ cm ثبت شده و براساس ثانیه گزارش می‌گردد (۱۸).

مقادیر CST برای لجن فاضلاب شهری آمایش نشده در حدود ۲۰۰ S یا بیشتر است برای لجن آمایش شده این مقدار به ۱۰ یا کمتر هم می‌رسد (۱۹).

برای اندازه گیری میزان آبیگری لجن آمایش شده از روش فیلتراسیون خلاء استفاده شد. براساس این روش، ۱۰۰ mL از نمونه لجن تصفیه شده در داخل کیف بوختر استاندارد مجهز به کاغذ صافی مرطوب ریخته شده و نمونه به مدت ۲۰ min تحت فشار خلاء ثابت حدود ۳۴/۵ kPa و کیوم گردید.

به منظور تعیین مقاومت ویژه لجن (SRF)، حجم آب صاف شده و زمان فیلتراسیون ثبت می‌شوند. با داشتن نمودار حجم / زمان، مقدار SRF که همان شیب خط است، تعیین می‌گردد (۲۰).

مقادیر SRF لجن فاضلاب شهری بین  $3 \times 10^{-11}$  تا  $40 \times 10^{-11}$  m/kg برای لجن آمایش شده هضم شده،  $1/5 \times 10^{-14}$  تا  $5 \times 10^{-14}$  m/kg برای لجن مقدماتی است (۲۱). مقاومت ویژه لجن از معادله ذیل محاسبه می‌شود.

$$SRF = \frac{2PbA^2}{\mu C} \quad \text{که در این معادله:}$$

SRF: مقاومت ویژه m/kg

C: جرم مواد جامد به ازای واحد حجم آب فیلتر شده ( $\text{kg/m}^3$ )

A: سطح فیلتر ( $\text{m}^2$ )

P: فشار آزمایش ( $\text{N/m}^2$ )

$\mu$ : ویسکوزیته دینامیکی ( $\text{N.s/m}^2$ )

V: حجم آب جمع آوری شده در زمان t ( $\text{m}^3$ )

t: زمان از شروع آزمایش و اعمال مکش (s)

b: شیب خط t/V در مقابل V ( $\text{s/m}^3$ )

b در واقع شیب خطی است که محور افقی آن حجم آب جمع آوری شده در واحد زمان (t) بر حسب مترمکعب و محور قائم آن حاصل تقسیم (t/v) است. در فشار و دمای یکسان

فاضلاب کشور هیچ مطالعه‌ای انجام نشده است. بهبود شرایط تثبیت و آبیگری لجن تحت تاثیر امواج اولتراسونیک در زمان‌های کوتاه ضمن نوآوری علمی، می‌تواند مدیریت لجن در تصفیه خانه‌های فاضلاب را تسهیل نماید. هدف اصلی از این تحقیق بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در بهبود فرایندهای هیدرولیز، تثبیت و آبیگری لجن فعال فاضلاب شهری است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی-کاربردی است که به منظور بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در جهت ارتقا خاصیت آبیگری لجن فعال خام فاضلاب شهری تحت شرایط متفاوتی از فرکانس (۲۰ و ۴۰ kHz) و زمان ماند (۵/۰، ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ min) در محیط آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اولتراسونیک انجام شده است.

در این تحقیق ابتدا با اعمال امواج اولتراسونیک، آب موجود در لجن فعال را آزاد کرده وضعیت هیدرولیز و تثبیت به ترتیب با انجام آزمایشات Volatile suspended solids (VS<sub>ss</sub>)، Volatile (VS) و Volatile soluble solids (VS<sub>SOL</sub>) Solids مورد سنجش قرار گرفت و همچنین خاصیت آبیگری لجن با انجام آزمایشات Total solids (TS)، Total suspended solids (TSS)، Capillary suction time، Sludge resistant time (SRF) (CST) بررسی شد. به منظور دستیابی به نتایج مناسب، آزمایشات با ۳ بار تکرار انجام شدند. در نهایت نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل گردید و گزینه بهینه اولتراسونیک به لحاظ فرکانس و زمان لازم برای هیدرولیز، تثبیت و آبیگری لجن خام بیولوژیکی مشخص شد.

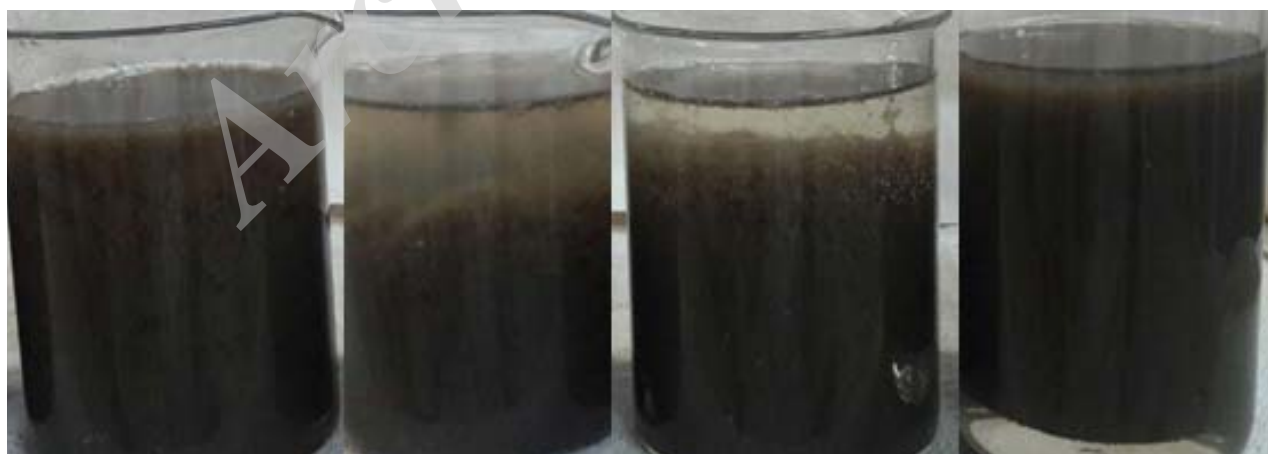
آزمایش کل جامدات (TS)، کل جامدات معلق (TSS)، جامدات آلی (VS)، جامدات معدنی (nVS)، جامدات آلی معلق ( $VS_{ss}$ ) جامدات آلی محلول ( $VS_{SOL}$ ) براساس روش‌های موجود در کتاب استاندارد متد انجام پذیرفته است (۱۷) و برای تعیین زمان مکش مؤئینه (CST) نمونه‌های

تأثیر امواج اولتراسونیک بر محلول‌سازی جامدات آلی روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی، جامدات آلی محلول و جامدات آلی معلق در فرکانس ۲۰ kHz در نمودار ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد جامدات آلی محلول از ابتدای آزمایش تا مدت ۱۵ min روند افزایشی داشته است (۷۳ درصد) و با افزایش زمان اولتراسونیک تا ۶۰ min نسبت به زمان ۱۵ min، ۳۸ درصد کاهش یافته است. روند کل جامدات، جامدات آلی، جامدات آلی محلول و جامدات آلی معلق در فرکانس ۴۰ kHz در نمودار ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که جامدات آلی محلول از ابتدا آزمایش تا مدت ۱۰ min روند افزایشی داشته است (۱۰۱ درصد) و با افزایش زمان اولتراسونیک تا ۶۰ min میزان نسبت به زمان ۱۰ min، ۵۰ درصد کاهش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد افزایش میزان جامدات آلی محلول از ابتدا تا زمان ۱۵ min و ۱۰ min به ترتیب در فرکانس ۲۰ kHz و ۴۰ kHz، به دلیل تخریب فلوک‌های لجن و کاهش اندازه ذرات است که منجر به افزایش بخش جامدات محلول می‌گردد.

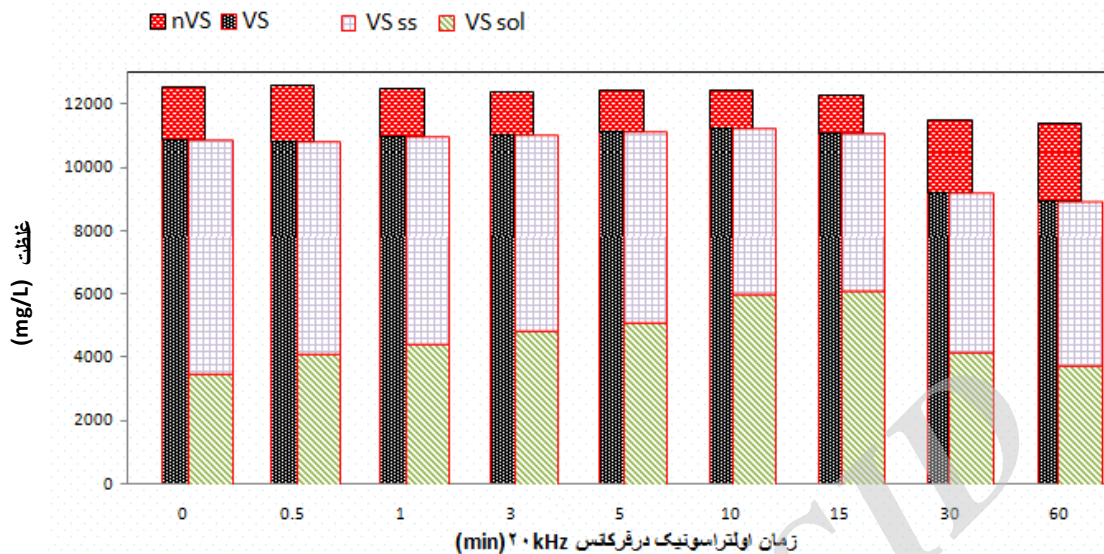
و سطح فیلتر برابر، هرچه که شیب این خط بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که زمان لازم برای فیلتر شدن مقدار مشخصی آب از لجن، طولانی‌تر است و بنابراین آبیگری از لجن مشکل‌تر است در این حالت مقاومت ویژه لجن بالاتر است. در شرایط متغیر، بزرگ‌تر شدن این پارامتر به این مفهوم است که یا به فشار بالاتری برای فیلتر کردن لجن نیاز است و یا سطح بیشتری برای این کار لازم است که هر دوی این مطلب به این معنی است که مقاومت ویژه لجن، بالاتر است و آبیگری از لجن سخت‌تر می‌شود (۱۹).

### یافته‌ها

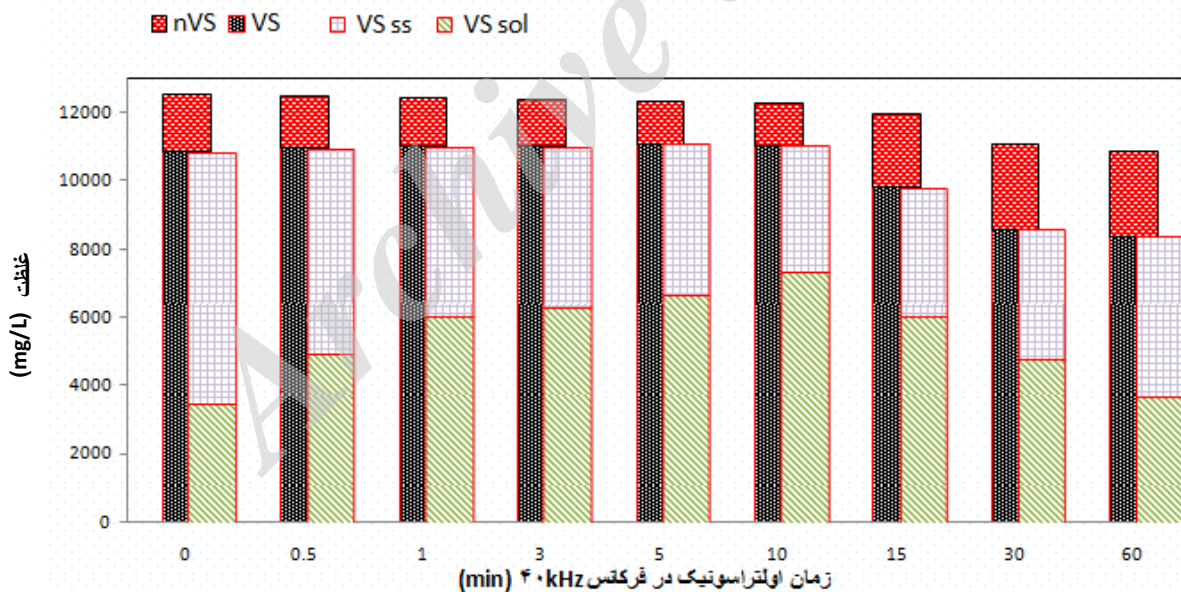
تأثیر امواج اولتراسونیک بر شکل ظاهری و ساختار لجن وضعیت ظاهری لجن خام در شرایط عادی و بعد از اعمال امواج اولتراسونیک طی زمان‌های ۳۰s، ۱ min و ۲ min در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نمایش داده شده اعمال امواج اولتراسونیک شرایط پایداری و توزیع و تعادل مواد معلق در لجن را برهم زده قابلیت ته‌نشینی و تغلیظ لجن را تحت تاثیر قرار داده است.



شکل ۱- تفاوت ظاهری لجن آمایش شده در فرکانس ۲۰ kHz به ترتیب (از راست به چپ) طی زمان صفر، ۳۰s، ۱ min و ۲ min زمان تماس با امواج اولتراسونیک بعد از نیم ساعت زمان ته‌نشینی

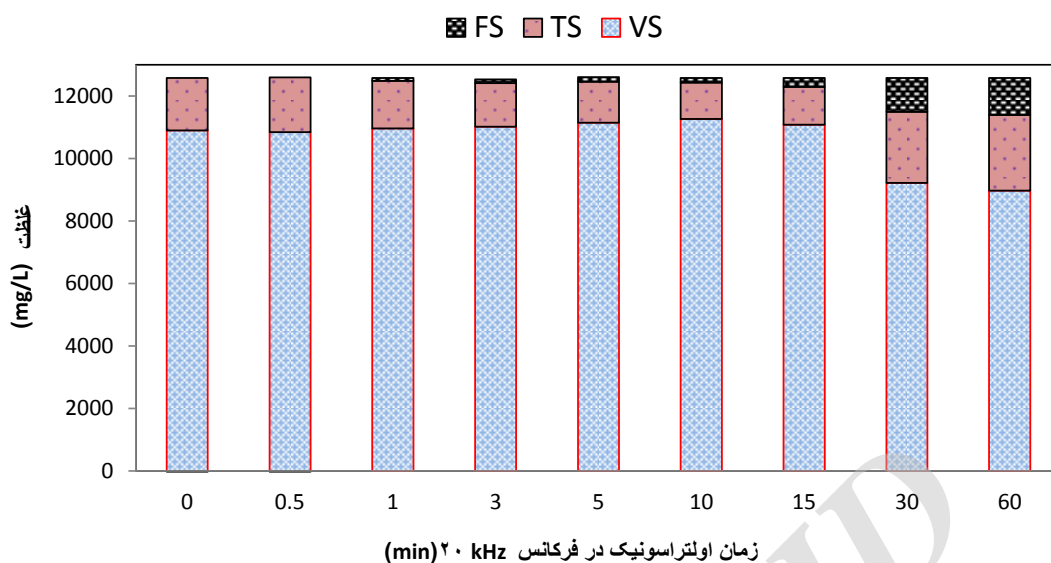


نمودار ۱- روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی، جامدات آلی محلول و جامدات آلی معلق در طی زمان در فرکانس ۲۰ kHz



نمودار ۲- روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی، جامدات آلی محلول و جامدات آلی معلق در طی زمان در فرکانس ۴۰ kHz





زمان اولتراسونیک در فرکانس ۲۰ kHz (min)

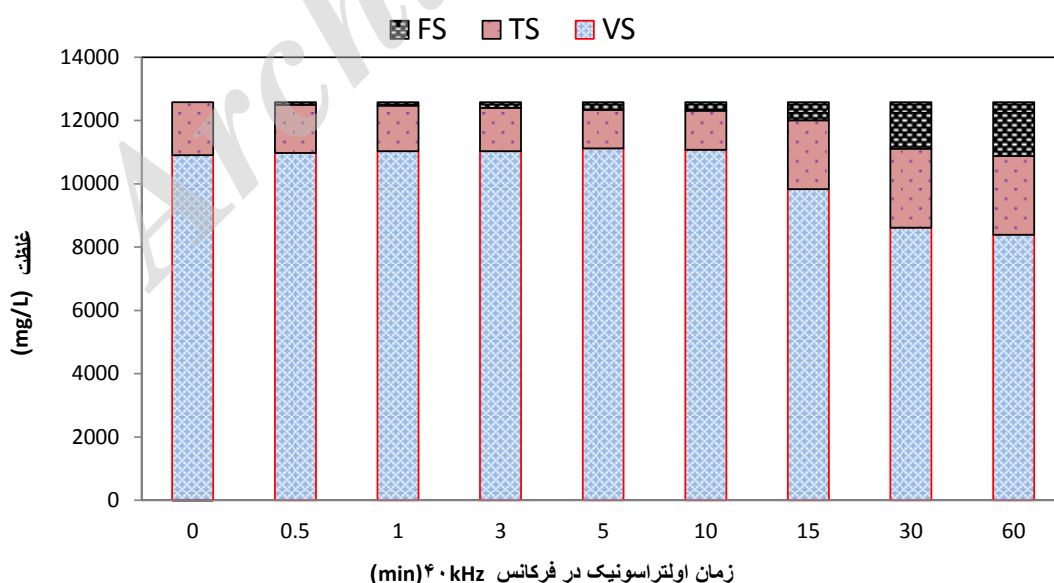
نمودار ۳- روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی و جامدات معدنی در طی زمان در فرکانس ۲۰ kHz

داشته است.

روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی و جامدات معدنی در فرکانس ۴۰ kh در نمودار ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کل جامدات و جامدات آلی از ابتدا آزمایش تا ۱۰ min ثابت و با افزایش زمان اولتراسونیک تا ۶۰ min میزان TS و VS به ترتیب به میزان ۱۴ و ۲۴ درصد کاهش

تأثیر امواج اولتراسونیک تثبیت جامدات آلی

روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی و جامدات معدنی در فرکانس ۲۰ kHz در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کل جامدات و جامدات آلی از ابتدا آزمایش تا ۱۵ min ثابت و با افزایش زمان اولتراسونیک تا ۶۰ min میزان TS و VS به ترتیب به میزان ۹/۵ و ۱۸ درصد کاهش



زمان اولتراسونیک در فرکانس ۴۰ kHz (min)

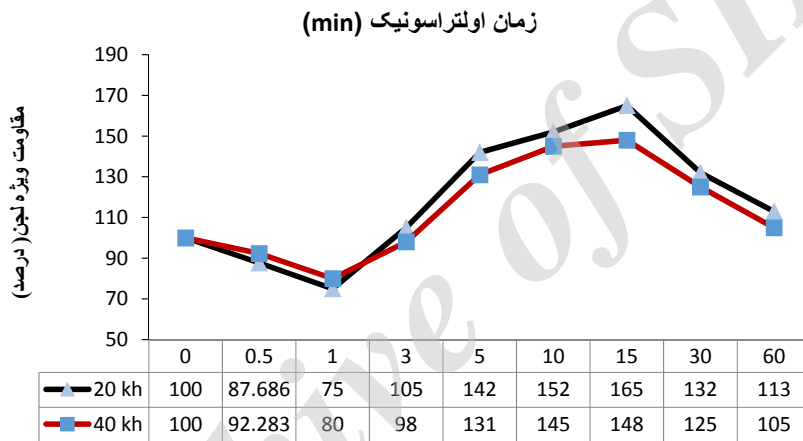
نمودار ۴- روند تغییرات کل جامدات، جامدات آلی و جامدات معدنی در طی زمان در فرکانس ۴۰ kHz

نتایج نشان می‌دهد که مقاومت ویژه لجن در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در ابتدا روند کاهشی داشته و به کمترین مقدار در زمان ۱ min (به ترتیب کاهش ۲۵ و ۲۰ درصد نسبت به نمونه اولیه) می‌رسد. با افزایش زمان اولتراسونیک روند افزایش مقاومت ویژه لجن مشاهده و در ۱۵ min به بالاترین مقدار (به ترتیب افزایش ۶۵ و ۴۸ درصد) رسیده است که در ادامه تا زمان ۶۰ min روند کاهش مقاومت ویژه لجن را خواهیم داشت و لیکن مقدار آن تا پایان آزمایش به میزان اولیه نرسیده است. روند تغییرات زمان مکش موئینه در فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در نمودار ۶ نشان داده شده است.

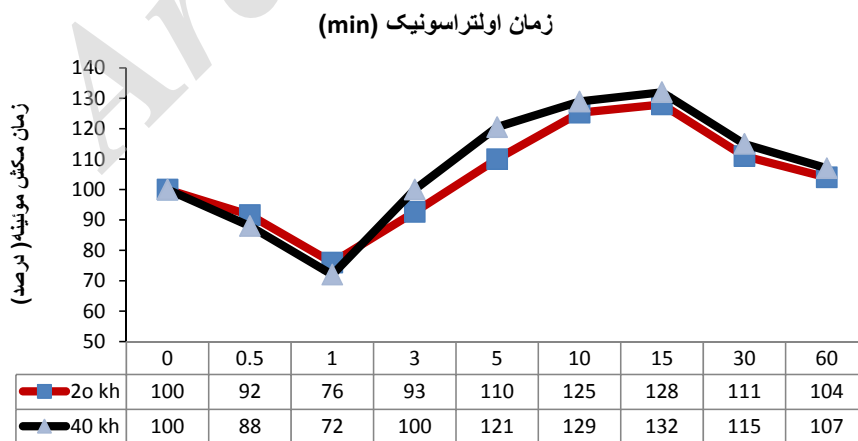
داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاهش جامدات آلی محلول در زمان اولتراسونیک ۱۵ min و ۱۰ min تا پایان آزمایش به ترتیب در فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz نشان‌دهنده شروع مرحله تثبیت است که منجر به کاهش جامدات آلی نیز گردیده است.

### تاثیر امواج اولتراسونیک بر مقاومت ویژه لجن و زمان مکش موئینه

روند تغییرات مقاومت ویژه لجن در فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در نمودار ۵ نشان داده شده است.



نمودار ۵- درصد تغییرات مقاومت ویژه لجن در طی زمان و تغییر فرکانس اولتراسونیک نسبت به شاهد



نمودار ۶- درصد تغییرات زمان مکش موئینی در طی زمان و تغییر فرکانس اولتراسونیک نسبت به نمونه شاهد

آلاینده‌های آلی گردد (۲۳).

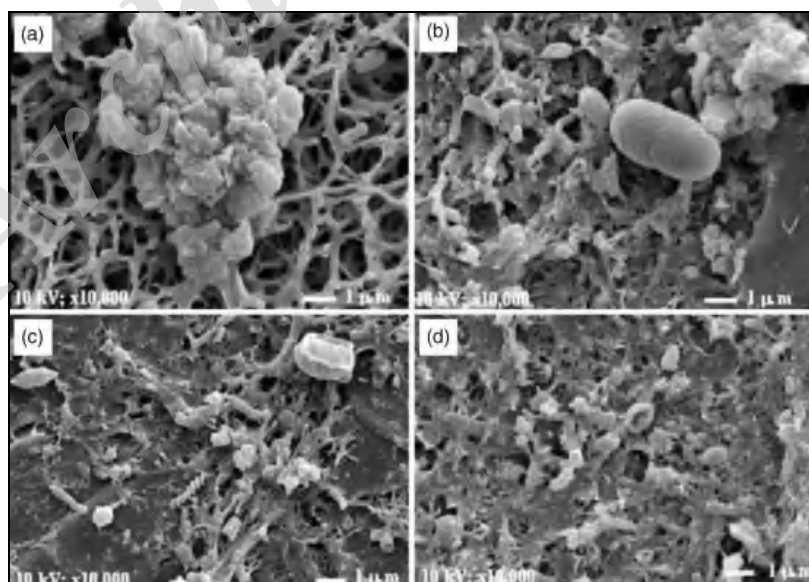
### بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در تغییر شکل ظاهری و ساختار لجن

تماس با امواج اولتراسونیک تا زمان ۳۰ S باعث تخریب فلاک‌های بزرگتر می‌شود، افزایش زمان تماس تا ۱ min باعث افزایش جداسازی آب از بافت لجن فعال خام و دو فازی شدن بیشتر لجن می‌گردد. در ادامه اعمال امواج باعث تخریب بافت سلولی میکروارگانیسم‌ها شده که با تخریب غشا سلولی، افزایش کدورت در سوپرناتانت و تک فازی شدن لجن قابل مشاهده است. امواج اولتراسونیک با ایجاد گسیختگی در لجن باعث افزایش قابلیت آگیری لجن می‌شوند (۲۴). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) مکانیسم تاثیر امواج اولتراسونیک بر ساختار فلوک‌های لجن (نمودار ۱) در زمان‌های تماس ۱۰، ۲ و ۳۰ min نسبت به نمونه شاهد (زمان صفر) نشان می‌دهد که فلاک لجن تحت تاثیر زمان اولتراسونیک از هم گسسته شده در نتیجه اندازه ذرات کاهش می‌یابد (۷). تغییرات ایجاد شده در شکل ظاهری فلاک‌های لجن در این پژوهش با تصاویر SEM لجن تصفیه شده با اولتراسونیک (شکل ۲) ارائه شده در پژوهش Paul و همکار مطابقت دارد (۷).

نتایج نان می‌دهد که زمان مکش موئینه در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz در ابتدا روند کاهش داشته و به کمترین مقدار در زمان ۱ min (به ترتیب کاهش ۲۸ و ۲۱ درصد نسبت به نمونه اولیه) می‌رسد. با افزایش زمان اولتراسونیک روند افزایش مقاومت ویژه لجن مشاهده و در ۱۵ min به بالاترین مقدار (افزایش ۳۲ و ۲۸ درصد) رسیده است. در ادامه مجدد روند کاهش زمان مکش موئینی را خواهیم داشت و لیکن مقدار آن تا پایان آزمایش به میزان اولیه نرسیده است.

### بحث

مطالعات نشان می‌دهد وقتی که امواج اولتراسوند در بین آب، گاز و بخار منتشر می‌شوند باعث تولید حباب‌هایی شده و با شدت و سرعت زیاد سقوط می‌کنند. این پدیده که به کاویتاسیون آکوستیک معروف است موجب ایجاد یک محیط شیمیایی منحصر به فرد با دمای بالاتر از ۵۰۰۰ K و فشار بیش از Pa<sup>۱۰</sup> می‌گردد (۲۱، ۲۲). در اثر تجزیه حرارتی مولکول‌های آب در حباب‌ها، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسنش پذیر رها می‌شوند. این ویژگی امواج اولتراسونیک می‌تواند سبب تغییر خاصیت آگیری لجن و در نتیجه افزایش سرعت تجزیه



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی لجن فعال خام در زمان اولتراسونیک (a) صفر (کنترل) (b) ۲ min (c) ۱۰ min (d) ۳۰ min



زمان‌های اولتراسونیک بیشتری است.  
**بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در بهبود خاصیت  
 آبگیری لجن**

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که تصفیه لجن با امواج اولتراسونیک در ابتدا سبب جداسازی آب میان بافتی لجن می‌شود، ولی با تجزیه بیش از حد لجن، فلوک‌های لجن به میزان زیادی تخریب شده و ذرات بسیار ریز با بار سطحی منفی بالا تولید می‌شود. این امر منجر به افزایش ویسکوزیته در نتیجه رها سازی میزان بالایی از پلیمرهای خارج سلولی در سوپرناتانت لجن می‌شود. افزایش بیش از حد ترکیبات پلیمری خارج سلولی (Substances Polymeric Extracellular (EPS)) سبب تخریب آبگیری لجن می‌شود که این مساله در افزایش CST و SRF تا زمان ۱۵ min خود را نشان می‌دهد (۳۰-۳۲). نتایج مطالعات انجام شده توسط Feng و همکاران نشان می‌دهد، تاثیر امواج اولتراسونیک بر لجن فعال شامل دو مرحله است. در مرحله اول، دستگاه اولتراسونیک در شرایط انرژی ویژه (ES) تا ۱۰۰۰ kJ/kg TS که در زمان ۱۰ s تامین شده است، مقدار جزئی ساختار فلوک را متلاشی کرده اما ته نشینی لجن بهبود می‌یابد در مرحله دوم، تخریب و محلول‌سازی در دوزهای بالاتر از ۵۰۰۰ kJ/kg TS و زمان بیشتر از ۵۰ s شروع می‌شود، این امر منجر به کاهش قابلیت ته نشینی لجن به علت کاهش اندازه ذرات و افزایش محتوای EPS می‌شود (۳۳). نتایج تحقیقات انجام شده در دانشگاه صنعتی هامبورگ آلمان حداقل زمان تماس بهینه جهت پیش تصفیه لجن فعال خام با امواج اولتراسونیک را ۳۰ s تا ۹۰ s پذیرفته است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (۳۴). Zhou و همکاران، مدت ۳۰ s زمان اولتراسونیک با قدرت ۲۰ kHz را بهینه‌ترین زمان جهت آبگیری لجن فعال خام گزارش نمودند (۳۵) که اختلاف زمان ۳۰ s در این تحقیق احتمالاً به دلیل تفاوت ماهیت لجن فرایند  $A^2O$  (تحقیق مذکور) و لجن هوادهی گسترده (تحقیق حاضر) است. نتایج تحقیقات Heidari و همکاران نیز نشان داد که افزایش فرکانس و زمان اولتراسونیک بیش از ۳ min سبب بالا رفتن میزان SRF در لجن فعال

**بررسی کارایی امواج اولتراسونیک در هیدرولیز جامدات آلی**  
 کاهش جامدات آلی محلول در زمان‌های مختلف اولتراسونیک (۱۵ و ۱۰ min) تا پایان آزمایش به ترتیب در فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz نشان‌دهنده افزایش هیدرولیز جامدات آلی و شروع مرحله تثبیت است که در ادامه منجر به کاهش جامدات آلی گردیده است. مطالعه انجام شده توسط Bougrier و همکاران در محلول سازی لجن فعال بیولوژیکی توسط اولتراسونیک نشان داد که در زمان تماس بیش از ۷ min محلول سازی جامدات قابل انجام است (۲۵). مطالعه انجام شده توسط Nickel و همکار نشان داد که تصفیه لجن فعال خام با اولتراسونیک منجر به هیدرولیز جامدات آلی به میزان ۲۰ تا ۴۵ درصد می‌گردد (۲۶) که در مجموع با نتایج به دست آمده در این تحقیق همخوانی دارند.

در کل نتایج این بررسی نشان داد که زمان اولتراسونیک ۱۵ min و ۱۰ min به ترتیب در فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz منجر به محلول سازی بخشی از جامدات آلی لجن می‌شود ولیکن امواج اولتراسونیک با فرکانس ۴۰ kHz در زمان کوتاه ۱۰ min در کنار راندمان بالاتر (۱۰۱ درصد نسبت به ۷۳ درصد) گزینه مناسبی جهت هیدرولیز جامدات آلی لجن خام بیولوژیکی است. نتایج مطالعه انجام شده توسط Kargar و همکار نشان می‌دهد که امواج اولتراسونیک سبب کاهش جامدات فرار لجن خروجی از هاضم بی هوازی به میزان ۳۹/۷ درصد در فرکانس ۳۵ kHz می‌گردد (۲۷). کاهش کل جامدات و افزایش بخش غیر قابل تجزیه بیولوژیکی در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ kHz فرایند تثبیت لجن و تولید دی اکسید کربن و آب را تایید می‌کند. مطالعه انجام شده توسط Zhang و همکاران نشان داد که امواج اولتراسونیک با فرکانس بالاتر کارایی بیشتری در حذف جامدات آلی لجن دارند (۲۸) که در مجموع با نتایج به دست آمده در این تحقیق همخوانی دارند.

نتایج این تحقیق نشان داد که امواج اولتراسونیک در فرکانس ۴۰ kHz در مدت تابش بیش از ۱۰ min گزینه مطلوب جهت تثبیت جامدات آلی لجن خام بیولوژیکی است. اگرچه دستیابی به حدود استاندارد ۳۸ درصد حذف جامدات آلی (۲۹) نیازمند

شرایط آبیگری لجن در فرکانس ۲۰ kHz در زمان تماس ۱ min حاصل گردید.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی کارایی آمایش تلفیقی اولتراسونیک و شیمیایی در جهت ارتقا خاصیت آبیگری لجن فعال فاضلاب شهری" مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی ایران در سال ۹۳ با کد ۲۵۱۳۸ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی ایران اجرا شده است.

### References

- Farzadkia M, Jafarzadeh, N., Loveimi asl, L., and Ghalambor, A. Wastewater sludge stabilization using lime a case study of west Ahwaz wastewater treatment plant. *Journal of Water and Wastewater*. 2008;19(4):67-71 (in Persian).
- Farzadkia M, Taher Khani H. Evaluation of sludge management in sewage treatment plant in Hamadan Province. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2005;15(47):19-25.
- Farzadkia M, Jaafarzadeh N, Loveimi Asl L. Optimization of bacteriological quality of biosolids by lime addition. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2008;6(1):29-34.
- Basim Y, Farzadkia M, Jaafarzadeh N, Hendrickx T. Sludge reduction by lumbriculus variegatus in Ahvas wastewater treatment plant. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2012;9:4.
- Ghasemi S, Mafizholami R, Yazdani M. Examining performance of stabilization ponds of Ahvaz's Slaughterhouse. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*. 2017;5(2):104-11.
- Lue-Hing C. *Municipal Sewage Sludge Management: A Reference Text on Processing, Utilization and Disposal*. Boca Raton: CRC Press; 1998.

خام می‌شود (۱۵) که با روند تغییرات مقاومت ویژه لجن در این تحقیق همخوانی دارد. کاهش مجدد مقاومت ویژه و زمان مکش موئینه در زمان تماس بیشتر از ۱۵ min به کامل شدن فرایند محلول‌سازی کل جامدات معلق و شروع تثبیت لجن نسبت داده می‌شود. نتایج تحقیقات Lifka و همکاران در مطالعه استفاده از اولتراسونیک برای تخریب آلودگی آب نشان می‌دهد که افزایش زمان اولتراسونیک منجر به تثبیت مواد آلی لجن می‌گردد (۳۶).

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، امواج اولتراسونیک با فرکانس ۴۰ kHz در زمان ۱۰ min گزینه مناسبی جهت هیدرولیز جامدات آلی لجن خام بیولوژیکی است. بیشترین راندمان تثبیت لجن در فرکانس ۴۰ kHz در زمان ۶۰ min به‌دست آمد. اما دستیابی به حدود استاندارد ۳۸ درصد حذف جامدات آلی نیازمند زمان بیشتری است. بهترین

- Paul E, Liu Y. *Biological Sludge Minimization and Biomaterials/Bioenergy Recovery Technologies*. New York: John Wiley & Sons; 2012.
- Zhai L-F, Sun M, Song W, Wang G. An integrated approach to optimize the conditioning chemicals for enhanced sludge conditioning in a pilot-scale sludge dewatering process. *Bioresource Technology*. 2012;121:161-68.
- Kargar M, Mahvi A. Effect of ultrasound in improving dewatering and stabilization of anaerobic digested sludge. *Journal of Environmental Studies*. 2012;38(62):25-27.
- Houghton J, Quarmby J, Stephenson T. Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer. *Water Science and Technology*. 2001;44(2-3):373-79.
- Yin X, Han P, Lu X, Wang Y. A review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2004;11(6):337-48.
- Liu C, Lai L, Yang X. Sewage sludge conditioning by Fe (II)-activated persulphate oxidation combined with skeleton builders for enhancing dewaterability. *Water and Environment Journal*. 2016;30(1-2):96-101.

13. Zhu C, Zhang P, Wang H, Ye J. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018;40:353-60.
14. Sahinkaya S. Disintegration of municipal waste activated sludge by simultaneous combination of acid and ultrasonic pretreatment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2015;93:201-205.
15. Heidari A, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Gholami M, Mahvi A. Evaluation of changes in extracellular polymeric substances quantity within sludge dewatering using continues ultrasonic-electrocoagulation reactor. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(1):23-30 (in Persian).
16. Kargar M, Mahvi AH. The compare improvement of ultrasonic treatment to dewatering and digestion in aerobic and anaerobic stabilization. *Iranian Journal of Health & Environment*. 2012;5(1):77-86.
17. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
18. Heidmann I, Calmano W. Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;152(3):934-41.
19. Azimi A, Golrizan F. Comparison of chemical sludge conditioning methods in Ghods wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Studies*. 2005;31(37):9-16.
20. Massé A, Spérandio M, Cabassud C. Comparison of sludge characteristics and performance of a submerged membrane bioreactor and an activated sludge process at high solids retention time. *Water Research*. 2006;40(12):2405-15.
21. Ince N, Tezcanli G, Belen R, Apikyan IG. Ultrasound as a catalyzer of aqueous reaction systems: the state of the art and environmental applications. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2001;29(3):167-76.
22. Tyagi VK, Lo S-L, Appels L, Dewil R. Ultrasonic treatment of waste sludge: a review on mechanisms and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2014;44(11):1220-88.
23. Bien JB, Kempa ES, Bien JD. Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process. *Water Science and Technology*. 1997;36(4):287-91.
24. Mason T, Joyce E, Phull S, Lorimer J. Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2003;10(6):319-23.
25. Bougrier C, Carrere H, Delgenes J. Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2005;106(2):163-69.
26. Nickel K, Neis U. Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2007;14(4):450-55.
27. Kargar M, Mahvi AH. The Compare Improvement of Ultrasonic Treatment to Dewatering and Digestion in Aerobic and Anaerobic Stabilization. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;5(1):77-86.
28. Zhang P, Zhang G, Wang W. Ultrasonic treatment of biological sludge: floc disintegration, cell lysis and inactivation. *Bioresource Technology*. 2007;98(1):207-10.
29. Iranpour R, Cox H, Kearney R, Clark J, Pincince A, Daigger G. Regulations for biosolids land application in US and European Union. *Journal of Residuals Science & Technology*. 2004;1(4):209-22.
30. Heidari A, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Gholami M, Mahvi AH. 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;21(3):424-30.
31. Gharibi H, Sowlat MH, Mahvi AH, Keshavarz M, Safari MH, Lotfi S, et al. Performance evaluation of a bipolar electrolysis/electrocoagulation (EL/EC) reactor to enhance the sludge dewaterability. *Chemosphere*. 2013;90(4):1487-94.
32. Yuan H, Zhu N, Song L. Conditioning of sewage sludge with electrolysis: effectiveness and optimizing study to improve dewaterability. *Bioresource Technology*. 2010;101(12):4285-90.
33. Feng X, Deng J, Lei H, Bai T, Fan Q, Li Z. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning. *Bioresource Technology*. 2009;100(3):1074-81.
34. Foladori P, Andreottola G, Ziglio G. *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants*. London: IWA Publishing; 2010.
35. Zhou C, Huang X, Jin Y, Li G. Numerical and experimental evaluation of continuous ultrasonic sludge treatment system. *Ultrasonics*. 2016;71:143-51.
36. Lifka J, Ondruschka B, Hofmann J. The use of ultrasound for the degradation of pollutants in water: aquasonolysis—a review. *Engineering in Life Sciences*. 2003;3(6):253-62.



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

Original Article



## Pretreatment of municipal biological sludge by ultrasonic process: efficiency in hydrolysis, stabilization, and dewatering

R Barati Rashvanlou<sup>1</sup>, M Farzadkia<sup>1,2,\*</sup>

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 15 January 2018

**Revised:** 21 February 2018

**Accepted:** 24 February 2018

**Published:** 20 June 2018

**Keywords:** Municipal wastewater, Sludge, Sludge treatment, Ultrasonic, Dewatering

**\*Corresponding Author:**  
mahdifarzadkia@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Ultrasonic disintegration is a pretreatment process before stabilization and dewatering that degrades sludge and changes its physical and chemical characteristics. The aim of this study was to investigate the effectiveness of ultrasonic in enhancing hydrolyses, stabilization and dewatering of municipal raw activated sludge.

**Materials and Methods:** The samples were taken from returned activated sludge and then they were exposed to ultrasonic (Frequency: 20 and 40 kHz) in different times (0.5, 1, 3, 5, 10, 15, 30, and 60 min). The effectiveness of ultrasonic for hydrolysis, stabilization and dewatering processes were determined with measuring TS, TSS, CST, SRF, VS, nVS, VS<sub>ss</sub>, and VS<sub>sol</sub>.

**Results:** VS<sub>sol</sub> was increased by 73% in 15 min and at frequency of 20 kHz, whereas VS<sub>sol</sub> increase was 100% at 10 min and 40 kHz. The reduction of VS was observed at 15 min and 20 kHz. Then after, it was reached 18% after 60 min. For 40 kHz, VS reduction started at 10 min and reached 24% after 60 min. Specific resistance of sludge at two frequencies of 20 and 40 kHz and contact time of 1 min were decreased by 25 and 20% respectively. The capillary suction time at the frequencies of 20 and 40 kHz and contact time of 1 min was decreased 28 and 21%, respectively.

**Conclusion:** The optimum effectiveness of ultrasonic in hydrolysis of organic matter of raw biological sludge was at the contact time of 10 min and frequency of 40 kHz. The highest stabilization at the frequency of 40 kHz was observed at 60 min contact time. The best condition for sludge dewatering was at frequency of 20 kHz and contact time of 1 min.