فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

۱۰۳-۱۱۴

تاثیر امواج اولتراسونیک بر میزان کلیفرم کل و *Escherichia coli* در لجن فاضلاب شهری

فرشاد گلبابایی کوتنایی[۱*]، ناصر مهردادی[۱]، مهدی اسدی قالهری[۲]، غلامرضا نبی بیدهندی[۱] و حسن امینی راد[۳]

[۱] گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

[۳] گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۰

گلبابایی کوتنایی، ف.، ن. مهردادی، م. اسدی قالهری، غ. نبی بیدهندی و ح. امینی‌راد. ۱۳۹۶. تاثیر امواج اولتراسونیک بر میزان کلیفرم کل و *Escherichia coli* در لجن فاضلاب شهری. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۱):۱۱۴-۱۰۳.

سابقه و هدف: تصفیه لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یکی از مشکل‌ترین فرآیندهای تصفیه و چالشی اساسی برای متخصصین و مسئولان می‌باشد. مهمترین شاخص وجود عوامل بیماری‌زا در لجن و فاضلاب کلیفرم‌ها می‌باشند. امواج اولتراسوند در فرکانس‌های ۲۰ تا ۲۰۰ کیلو هرتز و سطوح بالای انرژی یکی از روش‌های جدید جهت گندزدایی در تاسیسات فاضلابی هستند. هدف از انجام این تحقیق، تعیین اثر سیستم انتشار امواج اولتراسونیک با طول موج پایین جهت حذف کلیفرم کل و *Escherichia coli* از لجن و تعیین محدوده بهینه پارامترهای راهبری در استفاده از روش اولتراسونیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق یک مطالعه توصیفی تحلیلی است که به صورت ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. بر این اساس طی دو فصل تابستان و پائیز سال ۱۳۹۴، تعداد ۱۲ نمونه با فاصله زمانی ۱۵ روزه از لجن تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت و تاثیر چگالی اولتراسوند (۰/۳۷۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۳ و ۲/۵) بر حسب وات بر میلی‌لیتر و زمان (۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰) بر حسب دقیقه بر میزان کلیفرم کل و *Escherichia coli* لجن بررسی شد. دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده در این تحقیق، از گونه پروبی با بیشینه توان خروجی ۷۵۰ وات و با فرکانس ثابت راهبری ۲۰ کیلوهرتز بود. کلیه آزمایش‌های میکروبی به روش MPN در چند مرحله احتمالی، تائیدی و تکمیلی به روش ۱۵ لوله‌ای انجام گردید و واحد به صورت MPN در ۱۰۰ میلی لیتر گزارش گردید. این آزمایش‌ها در محل آزمایشگاه نانو و آب و فاضلاب دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران و بر اساس آزمایش شماره ۹۲۲۱ کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام گرفت.

نتایج و بحث: امواج اولتراسونیک با تخریب دیواره‌های سلولی عوامل بیماری‌زا، ویروس‌ها و میکروب‌ها و از هم پاشیدن این عوامل بیماری‌زا موجب گندزدایی جریان لجن می‌گردند. از سوی دیگر دمای بالای ایجاد شده در اثر پدیده کاویتاسیون نیز می‌تواند به صورت موضعی موجب از بین رفتن عوامل بیماری‌زا گردد. به نظر می‌رسد که نیروی هیدرودینامیکی بالا و دمای بالای موضعی ایجاد شده مهمترین مکانیسم‌های

* Corresponding Author. *E-mail Address*: farshadgolbabaei@yahoo.com

تاثیرگذار در فرآیند گندزدایی لجن بر اثر اعمال امواج اولتراسونیک می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان‌داد که با افزایش زمان و افزایش چگالی اولتراسوند، میزان حذف کلیفرم کل و *Escherichia coli* افزایش می‌یابد. همچنین، زمان سونیفیکاسیون بهینه برابر ۳۰ دقیقه و چگالی اولتراسوند بهینه برابر با ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، بدست آمد. میزان حذف کلیفرم کل و *Escherichia coli* در این شرایط بیش از ۹۹ درصد و معادل log ۲ بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، استفاده از امواج اولتراسوند تاثیر قابل توجهی بر قابلیت حذف کلیفرم کل و *Escherichia coli* داشته و می‌تواند به عنوان گزینه مناسبی برای تثبیت و گندزدایی لجن به کار رود.

واژه‌های کلیدی: کلیفرم کل، لجن، *Escherichia coli*، امواج اولتراسونیک.

مقدمه

لجن‌فعال یکی از فرآیندهای متعارف تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد. در این فرایند، آلاینده‌های آلی به دی‌اکسید کربن و آب تبدیل می‌شوند که همراه با تولید توده میکروبی مازاد همراه است که به عنوان لجن فعال مازاد شناخته می‌شوند (Heidari *et al.*, 2014; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

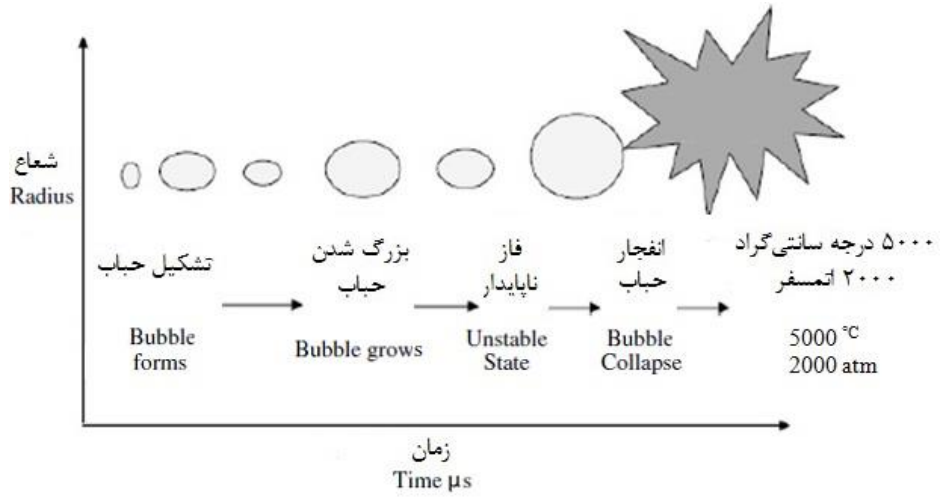
لجن تولید شده دارای عوامل بیماری‌زای متعددی می‌باشند. به دلیل تنوع این میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، اندازه‌گیری مستقیم هر یک از آنها به صورت مجزا هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اجرایی مقدور نیست. لذا استفاده از باکتری‌های شاخص بعنوان معیاری کمی از حضور یا عدم وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا اجتناب‌ناپذیر است. مهمترین شاخص وجود عوامل بیماری‌زا در لجن و فاضلاب کلیفرم‌ها می‌باشند (Tchobanoglous *et al.*, 2003; Metcalf & Eddy, 2003). باکتری‌های کلیفرم متداول‌ترین گروه از میکروارگانیسم‌های شاخص در تعیین میزان آلودگی میکربی بوده و در اکثر استانداردها و رهنمودهای معتبر، مبنای فراوانی این گروه از میکروارگانیسم‌ها ارائه گردیده است (Shahmansouri & Kargar, 2005; Gottschalk *et al.*, 2000).

کاهش این عوامل بیماری‌زا در فاضلاب و همچنین لجن ضروری است. تاکنون فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی گوناگونی جهت گندزدایی فاضلاب و لجن استفاده شده‌اند که از جمله می‌توان به کلرزنی (Shahmansouri & Kargar, 2005)، ازن (Gottschalk *et al.*, 2000)، پرتو فرابنفش (Amin *et al.*, 2010; Gottschalk *et al.*, 2010) اشاره نمود. استفاده از این نوع گندزداها در حال حاضر به دلیل مخاطراتی که ایجاد می‌نمایند در حال کاهش می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به خطرات استفاده از کلر اشاره نمود. این ماده خطرات زیادی برای سلامتی و ایمنی پرسنل تصفیه‌خانه فاضلاب و جوامع پیرامون آن ایجاد نموده و محصولات جانبی گندزدایی شامل تری‌هالومتان‌ها و هالواستیک اسیدها تولید می‌نماید که دارای اثرات سرطان‌زایی است (Hashemi *et al.*, 2012; Black & Veatch, 2010). لذا در حال حاضر تحقیق بر روی استفاده از سایر فرایندها که خطرات کمتری ایجاد می نمایند آغاز گردیده است. یکی از این فرایندها امواج اولتراسوند می‌باشد.

امواج اولتراسوند همانند ازن و آب اکسیژنه و یا روش‌های حرارتی و بیولوژیکی (مثل هیدرولیز آنزیمی) (Foladori *et al.*, 2010; Show *et al.*, 2007; Pilli *et al.*, 2011) با شکستن دیواره سلولی سبب کاهش عوامل بیماری‌زا و جمعیت میکروبی شده و خطر ایجاد محصولات جانبی گندزدایی را از بین می‌برد (Jyoti & Pandit, 2004; Blume & Neis, 2004). این امواج در فرکانس‌های ۲۰ تا ۲۰۰ کیلو هرتز و سطوح بالای انرژی به عنوان یکی از روش‌های جدید جهت گندزدایی در تاسیسات فاضلابی

مطرح هستند.

وقتی موج اولتراسوند در یک محیط آبی منتشر می‌شود، الگوی افزایش و کاهش تراکم سیال موجب حرکت موج صوتی می‌شود. به علت کاهش فشار، حباب‌های خیلی ریز در نواحی‌ای که کاهش تراکم رخ می‌دهد، شکل می‌گیرند. این حباب‌های ریز (نانو حباب‌ها)، حباب‌های کاویتاسیون نامیده می‌شوند که در واقع بخارات مایع و گازهایی را که قبلا در مایع محلول بوده‌اند، حمل می‌کنند (Bougrier *et al*., 2005). در این پدیده، حباب‌های ریز در فاز آبی شکل می‌گیرند و تا یک اندازه ناپایدار منبسط و بنابراین به سرعت متلاشی می‌شوند. متلاشی شدن حباب‌ها اغلب حرارتی موضعی تا ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد و فشار تا ۲۰۰۰ اتمسفر ایجاد می کند. این انرژی به اندازه‌ای زیاد است که نور تولید می‌کند. همچنین متلاشی شدن یکباره و شدید میلیون‌ها نانو حباب، نیروهای برشی هیدرومکانیکی قدرتمندی نیز تولید می‌کند (Schlafer *et al*., 2000; Mohammadi *et al*., 2011). شکل ۱ نحوه ایجاد و تخریب نانو حباب‌های کاویتاسیون را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- نحوه ایجاد و تخریب حباب‌های کاویتاسیون (Yan *et al*., 2010)

Fig. 1- Creation and destruction of cavitation bubbles (Yan et al., 2010)

در زمینه تاثیر امواج اولتراسونیک بر گندزدایی لجن فعال در سطح جهانی، تحقیقاتی وجود دارد، اما بیشتر آنها در سطوح پایین انرژی انجام شده است. Jyoti (2004) و Pandit در تحقیقی به گندزدایی نمونه آب با امواج اولتراسوند پرداخته و مشاهده نمودند که با اعمال امواج اولترسونیک به آب می‌توان به سطح بالایی از گندزدایی دست یافت. Antoniadis *et al*. (2007) میزان کاهش جمعیت *Escherichia coli* را با اعمال امواج اولتراسونیک بررسی کردند. نتایج این آزمایشات با اعمال امواج اولتراسونیک با فرکانس ۲۴ کیلوهرتز و زمان ۱۲۰ دقیقه نشان دهنده کاهش جمعیت میکروبی و بهبود گندزدایی لجن بوده است. در تحقیقاتی که توسط Jin *et al*. (2013) روی حذف *Escherichia coli* از فاضلاب شهری انجام گرفت، نتایج بیانگر میزان حذف log ۳/۴ از *Escherichia coli* در فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و چگالی انرژی ۲/۶۴ کیلوژول بر لیتر بوده است. Brayman *et al*. (2017) در تحقیقی که بر روی گندزدایی فاضلاب انجام دادند به این نتیجه رسیدند که زمان بهینه ۱۰ دقیقه و فرکانس ۲ مگاهرتز بیشترین میزان حذف *Escherichia coli* کل را به مقدار بیش از log ۲ بدست می‌دهد. Zhou *et al*. (2017) در تحقیقاتی که بر روی حذف *Escherichia coli* از فاضلاب شهری و بر روی یک پایلوت با جریان پیوسته

و با استفاده از امواج اولتراسونیک انجام دادند، به حذف ۹۷ درصدی *Escherichia coli* دست یافتند.

هدف از انجام این تحقیق تعیین اثر سیستم انتشار امواج اولتراسونیک با طول موج پایین جهت گندزدایی لجن فاضلاب و تعیین محدوده بهینه پارامترهای راهبری در استفاده از روش اولتراسونیک جهت کاهش میزان کلیفرم کل و *Escherichia coli* لجن بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه توصیفی تحلیلی است که به صورت ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی بر روی لجن خروجی از هاضم بی‌هوازی و قبل از آبگیری لجن تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران انجام شد. بر این اساس در طی دو فصل تابستان و پائیز سال ۱۳۹۴، تعداد ۱۲ نمونه با فاصله زمانی ۱۵ روزه بصورت تصادفی از محل خروجی هاضم بی‌هوازی برداشت گردید. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای مخصوص جمع آوری گردیده و جهت جلوگیری از فعل و انفعالات بیولوژیکی در جعبه سرد (در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شده و به آزمایشگاه جهت انجام آزمایشات منتقل شده‌اند.

دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده در این تحقیق مدل Sonics Vibra Cell با بیشینه توان خروجی ۷۵۰ وات و با فرکانس ثابت راهبری ۲۰ کیلوهرتز بود. فاصله سونوترود (شاخک لرزنده) از کف بشر در تمامی آزمایشات بطور ثابت دو سانتیمتر بود. اجزاء سیستم بکارگرفته شده در این تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

چگالی اولتراسونیک بر حسب توان تامین شده بر واحد حجم لجن محاسبه گردید (معادله شماره ۱).

$$UD = P / V \qquad (1)$$

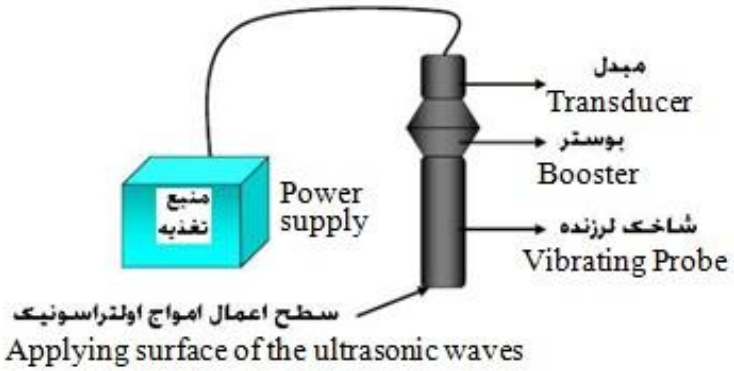
P توان اولتراسونیک بر حسب کیلووات، V حجم لجنی که در معرض سونیفیکاسیون قرار می‌گیرد بر حسب لیتر و UD چگالی اولتراسونیک بر حسب KW/L است (Mehrdadi *et al*., 2013).

تمام آزمایش‌های میکروبی به روش MPN در چند مرحله احتمالی، تائیدی و تکمیلی به روش ۱۵ لوله‌ای انجام گردید و واحد به صورت MPN در ۱۰۰ میلی لیتر گزارش گردید. این آزمایشات در محل آزمایشگاه نانو و آب و فاضلاب دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران و بر اساس آزمایش شماره ۹۲۲۱ کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام گرفت (APHA, 2005).

نتایج و بحث

خصوصیات لجن خام

نمونه‌های لجن خام از قسمت بعد از هاضم بی‌هوازی و قبل از آبگیری لجن تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت گردید. جدول ۱ بیانگر خصوصیات لجن خام می‌باشد.



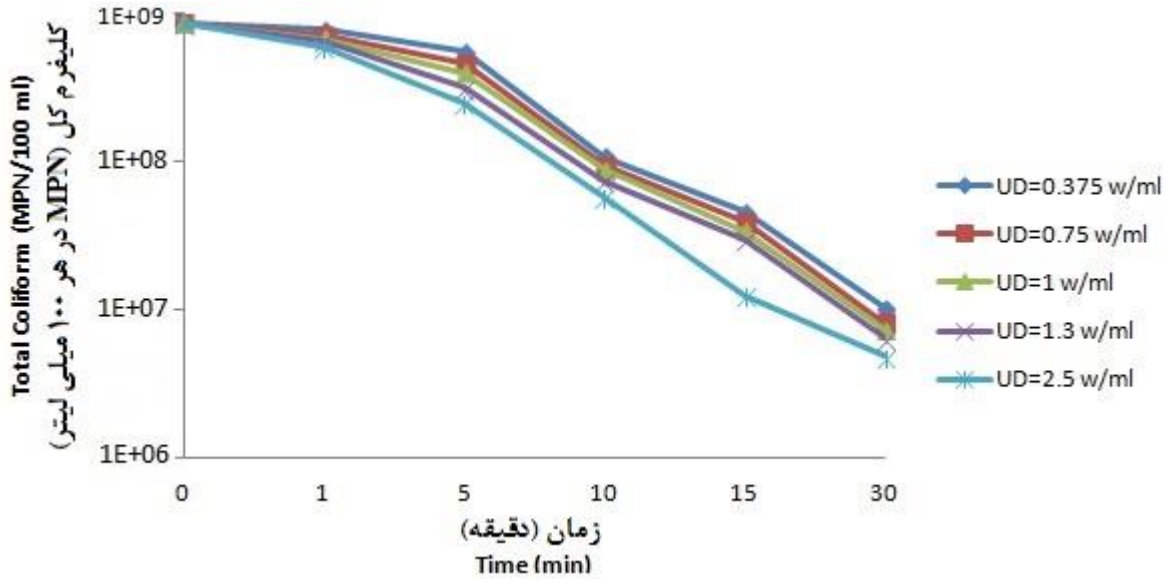
شکل ۲- اجزاء سیستم اولتراسونیک جهت بکارگیری در تحقیق حاضر

Fig. 2- Ultrasonic system components used in this research

جدول ۱- مشخصات نمونه لجن خام

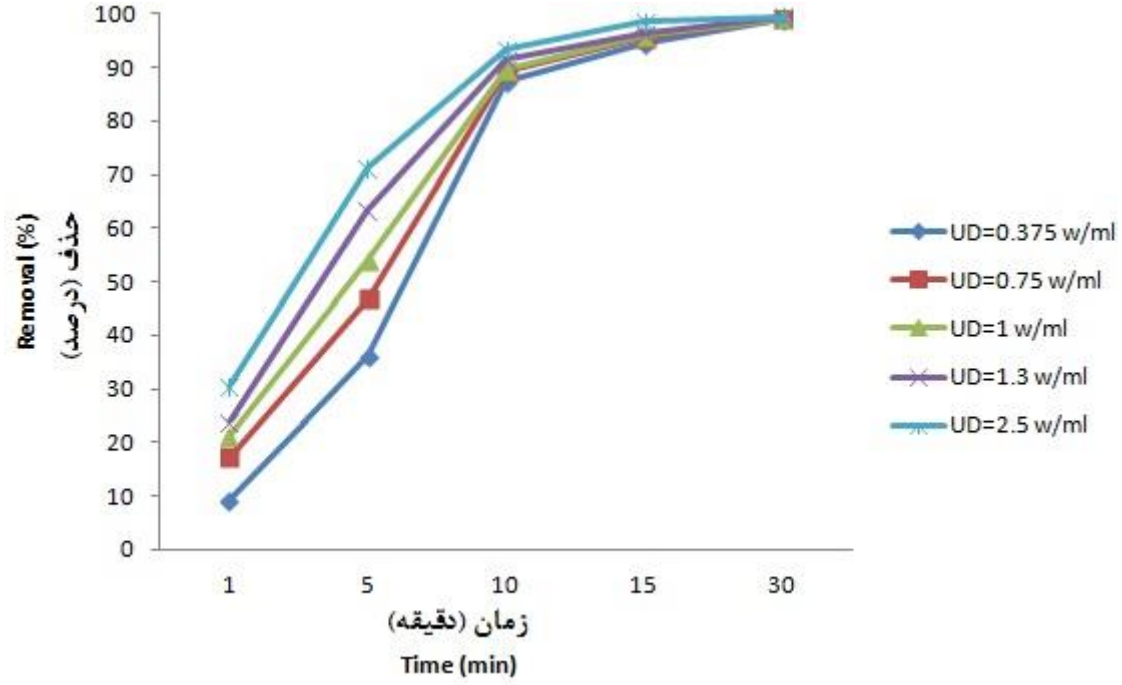
Table 1. Characteristics of sludge samples

پارامتر Parameter	دما Temp	pH	*Escherichia coli*	کلیفرم کل Total Coliform	اکسیژن‌خواهی شیمیایی کل TCOD
واحد Unit	درجه سانتی‌گراد °C	-	MPN/100 ml	MPN/100 ml	میلی‌گرم بر لیتر mg/l
مقدار Amount	22 ± 1	7.88 ± 0.1	3.24×10^8	8.65×10^8	20675 ± 267



شکل ۳- تغییرات کلیفرم کل با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

Fig. 3- Changes in total coliform at different ultrasound densities



شکل ۴- میزان حذف کلیفرم کل با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

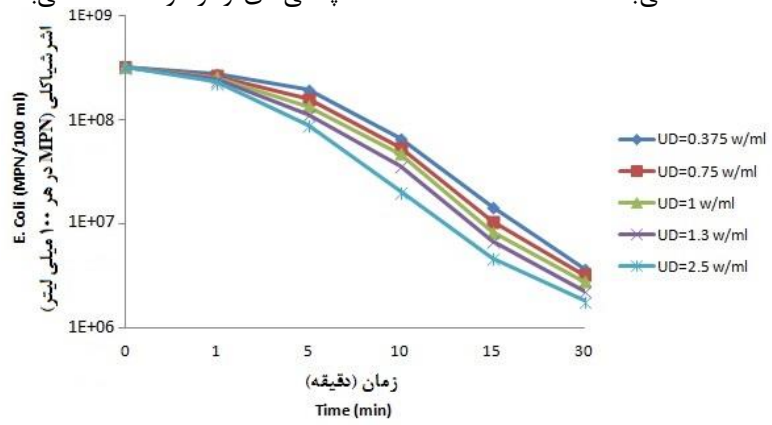
Fig. 4- Removal of total coliform at different ultrasound densities

بررســـی تغییرات کلیفرم کل با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

جهت بررسی میزان حذف کلیفرم کل، بازه‌ای از چگالی‌های اولتراسوند مختلف از ۰/۳۷۵ تا ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه انجام گردید و چگالی‌های اولتراسوند انتخابی برابر ۰/۳۷۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۳ و ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر بود. فرکانس اعمالی جهت سونیفیکاسیون برابر ۲۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شد. شکل ۳ بیانگر تغییرات میزان کلیفرم کل بر حسب زمان در چگالی‌های اولتراسوند مختلف و شکل ۴ بیانگر نمودار میزان حذف کلیفرم کل بر حسب زمان در چگالی‌های اولتراسوند مختلف می‌باشد.

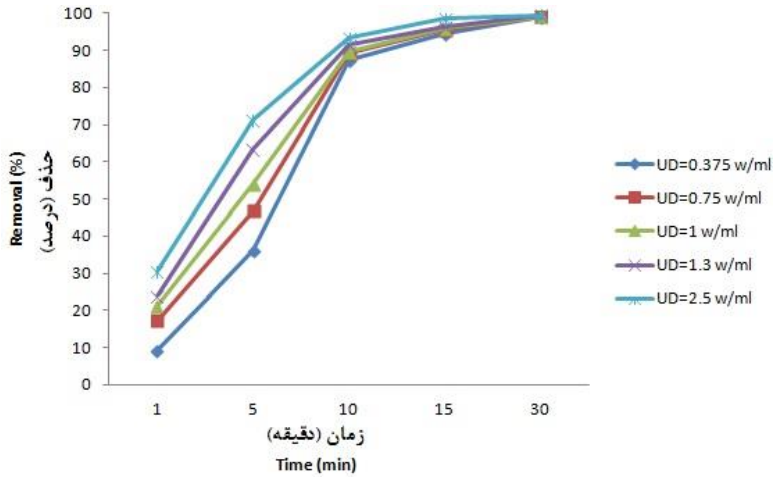
بررســـی تغییرات *Escherichia coli* با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

همانند آزمایشات انجام گرفته برای کلیفرم کل، تغییرات جمعیت *Escherichia coli* که در معرض سونیفیکاسیون قرار گرفته است، بررسی و میزان حذف آن ثبت گردید. چگالی‌های اولتراسوند بر اساس مرور تحقیقات گذشته برابر ۰/۳۷۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۳ و ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر انتخاب و آزمایشات در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز انجام گردید. شکل ۵ بیانگر تغییرات *Escherichia coli* با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف بر حسب زمان سونیفیکاسیون و شکل ۶ بیانگر نمودار میزان حذف کلیفرم کل بر حسب زمان در چگالی‌های اولتراسوند مختلف می‌باشد.



شکل ۵- تغییرات *Escherichia coli* با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

Fig. 5- Changes in Escherichia coli at different ultrasound densities



شکل ۶- نمودار میزان حذف *Escherichia coli* کل با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف

Fig. 6- Removal of *Escherichia coli* at different ultrasound densities

مطابق شکل ۳ و ۵ با افزایش زمان، میزان جمعیت کلیفرم کل و *Escherichia coli* کاهش یافت که این بدلیل افزایش زمان قرار گرفتن سلول‌ها در معرض سونیفیکاسیون می‌باشد. افزایش تماس با امواج اولتراسوند باعث افزایش متلاشی شدن دیواره سلولی و یا نازک شدن آن شده و سبب خارج شدن آب درون سلولی، پروتئین و مواد درون سلولی می‌گردد (Neis *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2008). همانگونه که مشاهده می‌گردد با افزایش زمان از ۱ دقیقه به ۳۰ دقیقه، همواره میزان جمعیت میکروبی کاهش یافته و به میزان ماکزیمم خود می‌رسد. به نظر می‌رسد که با افزایش زمان این کاهش ادامه پیدا نماید اما با توجه به روند هزینه - راندمان، زمان ۳۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه در نظر گرفته شد.

در یک مطالعه مشابه بر روی کاهش جمعیت *Escherichia coli*، Dehghani (2005) به این نتیجه رسید که با افزایش زمان قرار گرفتن نمونه‌ها در معرض امواج اولتراسوند به بیش از ۳۰ دقیقه، میزان حذف Escherichia coli همواره بالاتر از ۹۹ درصد بود که این روند مشابه تحقیق حاضر می‌باشد. نتایج تحقیقات Hulsmans *et al.* (2010) نیز تاییدکننده این موضوع و نشان‌دهنده افزایش درصد حذف *Escherichia coli* با افزایش زمان سونیفیکاسیون می‌باشد.

با توجه به اشکال ۳ و ۴ که بیانگر تغییرات کلیفرم کل با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف می‌باشد، با افزایش چگالی اولتراسوند از ۰/۳۷۵ وات بر میلی لیتر میزان کلیفرم کل کاهش پیدا کرد که این به معنی افزایش میزان گندزدایی می‌باشد. این میزان در چگالی اولتراسوند برابر ۲/۵ وات بر میلی لیتر و زمان ۳۰ دقیقه به ماکزیمم خود برابر ۹۹/۴۴ درصد که معادل حذف log ۲ است، رسید. با افزایش زمان سونیفیکاسیون از ۱۵ به ۳۰ دقیقه جمعیت کلیفرم کل کمتر از یک درصد کاهش می‌یابد که نشان دهنده این است که افزودن زمان بیشتر از این مقدار قادر به حذف معنی دار کلیفرم کل نبوده و در این مرحله بیشینه مقادیر آزمایشات ثبت گردید.

Darkopoulou *et al.* (2009) با انجام آزمایشاتی بر روی کاهش کلیفرم کل به این نتیجه رسیدند در چگالی اولتراسوند برابر با ۱/۵ وات بر میلی‌لیتر و زمان سونیفیکاسیون ۶۰ دقیقه بیشترین میزان حذف بدست می‌آید، همچنین تحقیقات Naddeo *et al.* (2009) نیز تایید کننده این امر و روند نتایج بدست آمده می‌باشد.

نمودار تغییرات *Escherichia coli* با در نظر گرفتن چگالی‌های اولتراسوند مختلف که در شکل ۵ آمده است، بیانگر کاهش جمعیت باکتری *Escherichia coli* قرار گرفته در معرض سونیفیکاسیون با افزایش میزان چگالی اولتراسوند از ۰/۳۷۵ تا ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر می‌باشد که در این مقدار و با توجه به شکل ۶، بهینه حذف ۹۹/۴۳ درصدی برابر با کاهش log ۲ به دست آمد. همچنین با افزایش چگالی اولتراسوند از ۱/۳ به ۲/۵ وات بر میلی‌لیتر، کمتر از یک درصد افزایش حذف مشاهده گردید لذا آزمایشات برای چگالی اولتراسوند بیشتر ادامه پیدا ننمود.

Gholami *et al.* (2014) به صورت موازی غیرفعال‌سازی و حذف *Escherichia coli* با اعمال امواج اولتراسونیک را بررسی کردند. مشاهده شد زمانی که فرکانس امواج اولتراسونیک برابر ۲۰ کیلوهرتز بوده با افزایش زمان سونیفیکاسیون، درصد حذف افزایش یافته و در زمان بیشینه تحقیقات که برابر ۹ دقیقه بوده به بیش از ۹۹ درصد رسید. این نتایج نشان‌دهنده روندی مشابه تحقیقات حاضر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

امواج اولتراسونیک با تخریب دیواره‌های سلولی عوامل بیماری‌زا، ویروس‌ها و میکروب‌ها و از هم پاشیدن این عوامل بیماری‌زا موجب گندزدایی جریان لجن می‌گردند. از سوی دیگر دمای بالای ایجاد شده در اثر پدیده کاویتاسیون نیز می‌تواند به صورت موضعی موجب

از بین رفتن عوامل بیماری‌زا گردد. به نظر می‌رسد که نیروی هیدرودینامیکی بالا و دمای بالای موضعی ایجاد شده مهمترین مکانیسم‌های تاثیرگذار در فرآیند گندزدایی لجن بر اثر اعمال امواج اولتراسونیک می‌باشند. با توجه به نتایج این تحقیق، میزان بیشینه حذف کلیفرم کل و *Escherichia coli* به ترتیب برابر ۹۹/۴۴ و ۹۹/۴۳ درصد برای شرایط راهبری بهینه در چگالی اولتراسوند، زمان سونیفیکاسیون و فرکانس امواج اولتراسونیک به ترتیب برابر ۲/۵ کیلووات بر لیتر، ۳۰ دقیقه و ۲۰ کیلو هرتز درصد بدست آمد. تحقیقات نشان داده است استفاده از امواج اولتراسونیک به میزان قابل ملاحظه ای باعث تثبیت لجن می گردد، بنابراین به نظر می رسد که با استفاده از این امواج می‌توان به دو هدف تثبیت لجن و گند زدایی آن دست یافت.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های شرکت فاضلاب تهران انجام شد. نویسندگان مقاله از مسئولان مربوطه در این شرکت و تصفیه‌خانه تهران جنوب کمال سپاس‌گزاری و تشکر را به عمل می‌آورند.

منابع

Amin, M., Hashemi, H., Ebrahimi, A., Bina, B., Attar, H. and Jaberi, A., 2011. Using Combined Processes of Filtration and Ultraviolet Irradiation for Effluent Disinfection of Isfahan North Wastewater Treatment Plant in Pilot Scale. Wastewater journal. 22, 2, 71-77. (In Persian with English abstract)

Antoniadis, A., Poulios, I., Nikolakaki, E. and Mantzavinos, D., 2007. Sonochemical disinfection of municipal wastewater. Journal of Hazardous Materials. 146, 492-495.

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. Washington: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.

Black & Veatch Corporation, 2010. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. Wiley.

Blume, T. and Neis, U., 2004. Improved wastewater disinfection by ultrasonic pre-treatment. Ultrason Sonochem. 11, 333–336.

Bougrier, C., Carrere, H. and Delgenes, J., 2005. Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. Chemical Engineering Journal. 106, 163-169.

Brayman, A., MacConaghy, B., Wang, Y., Chan, K., Monsky, W., McClenny, A. and Matula, T., 2017. Inactivation of Planktonic Escherichia coli by Focused 2-MHz Ultrasound. Ultrasound in Medicine & Biology. 26 April 2017, In press.

Dabbagh, R., 2009, Microbial Removal Efficiency of UV in Tehran Shahid Mahallati Wastewater Treatment Plant. Wastewater journal. 20, 1, 59-66. (In Persian with English abstract)

Dehghani, M., 2005. Effectiveness of Ultrasound on the Destruction of E-coli. American Journal of Environmental Sciences. 1, 3, 187-189.

Drakopoulou, S., Terzakis, S., Fountoulakis, M., Mantzavinos, D. and Manios, T., 2009. Ultrasound-induced inactivation of gram-negative and gram-positive bacteria in secondary treated municipal wastewater. Ultrasonics Sonochemistry. 16, 629-634.

Foladori, P., Andreottola, G. and Ziglio, G., 2010. Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants. IWA Publishing.

Gholami, M., Mirzaei, R., Mohammadi, R., Zarghampour, Z. and Afshari, A., 2014. Destruction of Escherichia coli and Enterococcus faecalis using Low Frequency Ultrasound Technology: A Response Surface Methodology. Health Scope. 3, 1, e14213.

Gottschalk, C., Libra, J. and Saupe, A., 2000. Ozonation of Drinking Water and of Wastewater. Wiley-Blackwell.

Gottschalk, C., Libra, J. and Saupe, A., 2010. Ozonation of Water and Waste Water: A Practical Guide to Understanding Ozone and its Applications. Wiley-VCH.

Hashemi, H., Amin, M., Ebrahimi, A., Rezaie, R. and Safari, M., 2012. Evaluation of health, environmental, economic and technical aspects of disinfection of WWTP effluent in the north of Isfahan with UV instead of chlorine. Wastewater journal. 16, 4, 71-77. (In Persian with English abstract)

Heidari, A., Nabizadeh, R., Mohammadi, M., Gholami, M. and Mahvi, A., 2014. A survey on the effect of ultrasonic method on dewatering of bio sludge in wastewater treatment plant. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 21, 3, 424-430. (In Persian with English abstract)

Hulsmans, A., Joris, K., Lambert, N., Rediers, H., Declerck, P. and Delaedt, Y. 2010. Evaluation of process parameters of ultrasonic treatment of bacterial suspensions in a pilot scale water disinfection system. Ultrasonics Sonochemistry. 17, 1004–1009.

Jin, X., Li, Z., Xie, L., Zhao, Y. and Wang T., 2013. Synergistic effect of ultrasonic pre-treatment combined with UV irradiation for secondary effluent disinfection. Ultrasonics Sonochemistry. 20, 6, 1384–1389.

Jyoti, K. and Pandit, A., 2004. Effect of cavitation on chemical disinfection efficiency. Water Research. 18, 9-19.

Mehrdadi, N., Nabi, G., Zahedi, A., Mohamadi, A. and Aghajani, A., 2013. Application of ultrasonic Wave irradiation in wastewater treatment, Tehran: University of Tehran Press. (In Persian with English abstract)

Metcalf & Eddy., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. McGraw-Hill Inc.

Mohammadi, A., Mehrdadi, N., Nabi, G. and Torabian, A., 2011. Excess sludge reduction using ultrasonic waves in biological wastewater treatment. Desalination. 275, 1-3, 67-73.

Naddeo, V., Landi, M., Belgiorno, V. and Napoli, R., 2009. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. Journal of Hazardous Materials. 168, 925-92.

Neis, U. and Blume, T., 2011. The Effect of Ultrasound on Particulate Matter, Especially Microorganisms in Complex Water and Waste Water Media. Environmental Proggress & Sustainability. 25, 3, 257-260.

Pilli, S., Bhunia, P., Yan, S., LeBlanc, R., Tyagi, R. and Surampalli, R., 2011. Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. Ultrasonics Sonochemistry. 18, 1-18.

Shahmansouri, M. and Kargar, M., 2005.

Efficiency of Ozonation in Decreasing Total Organic Carbon and Total Coliform Bacteria in Isfahan Water Treatment Plant. Wastewater journal. 16, 2, 43-46. (In Persian with English abstract)

Show, K., Mao, T. and Lee, D., 2007. Optimisation of sludge disruption by sonication. Water Research. 41, 4741 – 4747.

Tchobanoglous, G., Burton, F. and Stensel, H., 2003. Wastewater engineering treatment & reuse. McGraw-Hill.

Schlafer, O., Sievers, M., Klotzbucher, H. and Onyeche, T., 2000. Improvement of biological activity by low energy ultrasound assisted bioreactors. Ultrasonics. 38, 711-716.

Yan, Y., Feng, L., Zhang, C., Wisniewski, C. and Zhou, q., 2010. Ultrasonic enhancement of waste activated sludge hydrolysis and volatile fatty acids accumulation at pH 10.0. Water research. 44, 3329-3336.

Zhang, G., Zhang, P., Yang, J. and Liu, H., 2008. Energy-efficient sludge sonication: Power and sludge characteristics. Bioresource Technology. 99, 9029-9031.

Zhou, X., Yan, Y., Li, Z. and Yin, J., 2017. Disinfection effect of a continuous-flow ultrasound/ultraviolet baffled reactor at a pilot scale. Ultrasonics Sonochemistry. 37, 114–119.

Environmental Sciences Vol.15 / No.1 / Spring 2017

103-114

The effect of ultrasonic waves on the amount of total coliform and *E-coli* in municipal wastewater sludge

Farshad Golbabaei Kootenaei [1*] , Nasser Mehrdadi[1], Mahdi Asadi-Ghalhari[2], Gholamreza Nabi Bidhendi[1] and Hassan Amini Rad[3]

[1] Department of Environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Research Center for Environmental Pollutants and Department of Environmental Health Engineering, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
[3] Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: April 6, 2016 **Accepted:** May 10 , 2017

Golbabaei Kootenaei, F., Mehrdadi, N., Asadi Ghalhari, M., Nabi Bidhendi, G. and Aminirad, H., 2017. The effect of ultrasonic waves on amount of total coliform and *E-coli* in sludge of municipal wastewater. Environmental Sciences. 15(1):103-114.

Introduction: Sludge treatment in wastewater treatment plants is one of the most difficult challenges for professionals and officials (Heidari *et al.*, 2014). The most important indicator of the presence of pathogens in the sludge and wastewater is the presence of coliforms (Tchobanoglous *et al.*, 2003; Metcalf & Eddy, 2003). Ultrasound waves at frequencies of 20 to 200 kHz with high levels of energy is one of the new methods for disinfection of water and wastewater treatment plants (Foladori *et al.*, 2010; Show *et al.*, 2007; Pilli *et al.*, 2011). The purpose of this study is to determine the effect of ultrasonic waves with a low wavelength to improve removal rate of total coliform and Escherichia coli in sludge and determine the optimum operating parameters of the ultrasonic method.

Materials and methods: This study is a cross-sectional study that was conducted in a laboratory-scale batch. Accordingly, during two seasons, 12 samples were taken at an interval of 15 days. In this research, variables include ultrasound density (0.375, 0.75, 1, 1.3 and 2.5) in watts on ml and time (1, 5, 10, 15 and 30) in minutes. In this research the influence of these variables on the total coliform and E coli of sludge is measured. The ultrasonic device used in this study was a probe with a maximum output power of 750 watts and frequency of 20 kHz. All bacteriological tests were conducted using the MPN method in a few steps of possibility, confirmation and completion and they were performed using 15 tube methods with units of MPN per 100 ml. All the experiments have done in the Nano, Water and Wastewater laboratory of the Department of the

* Corresponding Author. *E-mail Address*: farshadgolbabaei@yahoo.com

Environment at the University of Tehran. All the experiments were performed on the basis of standard methods for water and wastewater experiments with No. 9221 (APHA, 2005).

Results and discussion: With ultrasonic waves and through the destruction of the cell walls of pathogens, viruses and microbes and the disintegration of pathogens result in the disinfection of sludge. The high temperatures caused by cavitation can also be locally led for the elimination of pathogens. It seems that the hydrodynamic force and local high temperature zones caused by the cavitation phenomenon are the most important mechanisms influencing sludge disinfection process through applying ultrasonic waves. The results of this study showed that removal of total coliform and E. coli increased with an increase in the time and ultrasound density. The experiments determined that the optimum operating parameters are a sonification time of 30 minutes, ultrasound density of 2.5 W/ml in a frequency of 20 kHz. The removal rate of total coliform and Escherichia coli under these circumstances was more than 99 percent which is equal to the removal of 2 logs.

Conclusion: Based on the results of this research, ultrasound waves can remove coliform and disinfect the sludge and can increase the treatment rate.

Keywords: Total coliform, Sludge, *Escherichia coli*, Ultrasonic waves.