

The Design of Destructive Pilot of Some Heavy Metals in Sewage Sink Cake Using Ultrasonic Technology and its Comparison to Electrodialysis

Kiashemshaki H*

Master of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989362821861, E-mail: sosha_shemshaki@yahoo.com

Received: Oct 16, 2016

Accepted: Feb 20, 2017

ABSTRACT

Background & objectives: About 60% of water refinery expenses are spent on sewage management. Bubble collapse produces high pressures in the order of several atmospheres and high temperatures in the order of several thousand Kelvin in the vapor phase which may lead to the production of highly reactive free radicals.

Methods: Samples went under the electrodialysis process for 20 minutes and then in the electrodialysis or ultrasonic for more 20 minutes in order to elucidate the efficacy of heavy metal removal by electrodialysis alone and electrodialysis in combination with ultrasonication. Experiments were performed using an ultrasonic bath with the frequency of 25 kHz and power of 500 W at varying temperatures and incubation time.

Results: The highest removal efficiencies were found on copper metal under conditions of 10 volts by 0.02 amperes in the presence of ultrasonic and 30 volts by 0.1 amps with removal efficiencies of 86% and 63%, respectively.

Conclusion: The results showed that the efficiency of removal of is increasing by sonication time, frequency and power which may result from cavitation.

Keywords: Ultrasonic; Heavy Metals, Electrodialysis

طراحی پایلوت تخریبی برخی فلزات سنگین در کیک لجن فاضلاب با استفاده از فناوری اولتراسونیک در مقایسه با الکترودیالیز

حسین کیاشمشکی* (سرپرست نخبه)

کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۳۶۲۸۲۱۸۶۱ ایمیل: sosha_shemshaki@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: ۶۰ درصد از کل هزینه‌های تصفیه فاضلاب شهری مربوط به مدیریت لجن می‌باشد. در طول فروپاشی حباب‌ها، فشارهای بسیار بالا در حدود اتمسفر و درجه حرارت بسیار بالا در حدود هزاران کلوین در فاز بخار حباب تولید می‌شود. در نتیجه رادیکال‌های آزاد بسیار واکنش پذیر تولید می‌شوند.

روش کار: برای انجام این پژوهش ابتدا نمونه‌ها در مجاورت فرآیند الکترودیالیز به مدت ۲۰ دقیقه و سپس در مجاورت الکترودیالیز و اولتراسونیک مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد تا راندمان حذف هر فلز در دو فرآیند الکترودیالیز به تنهایی و الکترودیالیز و اولتراسونیک با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرد. در این بررسی از حمام اولتراسونیک با قدرت ۲۵ کیلو هرتز با قدرت ۵۰۰ وات با متغیرهای دما و زمان به همراه فرآیند الکترودیالیز استفاده شد.

یافته‌ها: بیشترین راندمان حذف بر روی فلز مس بود که دارای راندمان حذف در شرایط ولتاژ ۱۰ ولتی و جریان ۰/۰۲ آمپر و در حضور اولتراسونیک حدود ۸۶ درصد و شرایط ولتاژ ۳۰ و جریان ۰/۱ آمپر دارای راندمان حذف ۶۳ درصد بود.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که در مدت زمان ۲۰ دقیقه راندمان حذف فلزات سنگین در بررسی مناسب بوده است که این راندمان با افزایش زمان ماند و همچنین افزایش میزان فرکانس و قدرت حمام اولتراسونیک افزایش می‌یابد که علت آن افزایش شدت فرآیند کایوتاسیون می‌باشد.

واژه های کلیدی: اولتراسونیک، فلزات سنگین، الکترودیالیز

پذیرش: ۹۵/۱۲/۲

دریافت: ۹۵/۷/۲۵

مقدمه

افزایش سریع صنعتی‌سازی و شهرسازی در قرن ۲۱ باعث افزایش کمیت فاضلاب شهری شده است. بیشتر تصفیه‌خانه‌ها برای زلالسازی فاضلاب ساخته می‌شوند (۱) که باعث تولید مقدار زیادی لجن مازاد می‌شوند. به عنوان مثال لجن حاصل از تصفیه فاضلاب در کشور چین سالانه بطور متوسط ۵ درصد افزایش می‌یابد. ۶۰ درصد از کل هزینه‌های تصفیه فاضلاب شهری مربوط به مدیریت لجن می‌باشد (۲). در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب مقدار بسیار زیادی

بیوسالید (لجن فاضلاب) تولید می‌شود. این لجن بسیار فسادپذیر است. لجنی که با این مشخصات تولید می‌شود مشکلاتی کمتر از خود فاضلاب ندارد، بنابراین برای دفع و استفاده ایمن باید تثبیت شود (۳). در تصفیه‌خانه‌های بزرگ مقدار لجن تولیدی زیاد است، بنابراین قبل از دفع باید عملیاتی روی آن صورت گیرد و تا جایی که امکان دارد آبیگری شده و جامدات فرار آن کاهش یابد (۴). فرآیندهایی که بر روی لجن قبل از دفع انجام می‌شود شامل تغلیظ برای آبیگری و تثبیت برای کاهش مواد آلی فرار

است. آبگیری از لجن موجب کاهش هزینه‌های گزاف حمل و دفع لجن می‌شود (۵). تصفیه لجن و دفع آن در حال حاضر یکی از مهمترین چالش‌های تکنیکی بوده و بیش از ۵۰ درصد از کل هزینه پایه و بهره‌برداری فرایند تصفیه فاضلاب را در بر دارد (۶). برای تثبیت لجن از فرایند هضم با هاضم‌های بیولوژیکی استفاده می‌شود. هضم لجن به دو صورت هوازی و بی‌هوازی انجام می‌شود (۷). تحقیقات نشان می‌دهد برای بهتر شدن هیدرولیز در فرایند هضم بی‌هوازی از روش‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

۱- پیش تصفیه حرارتی؛

۲- کاربرد مواد شیمیایی؛

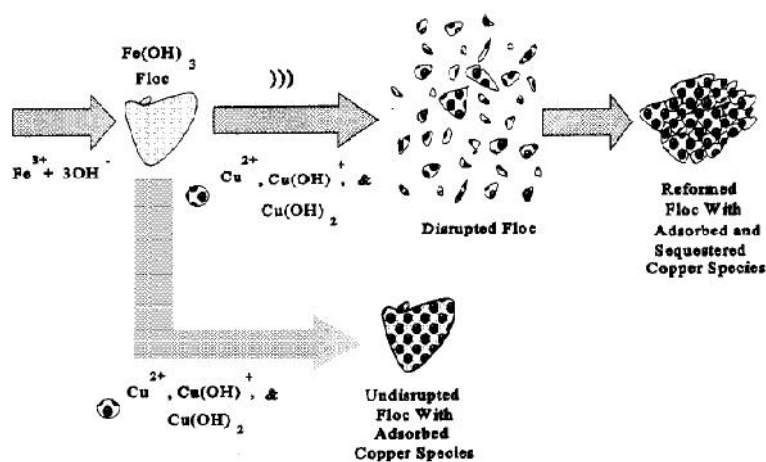
۳- تجزیه مکانیکی لجن.

هضم سلول با امواج اولتراسونیک که این روش در سال‌های اخیر در آزمایشگاه بیوتکنولوژی به کار گرفته شده است. (۸). لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شامل فلزات سنگین مختلفی می‌باشد. فلزات سنگین، به هر عنصر شیمیایی فلزی که دارای چگالی بالایی می‌باشد و همچنین در غلظت‌های پایین سمی باشد گفته می‌شود که از این جمله می‌توان به مس، آهن، روی و منگنز اشاره کرد (۹). فلزات سنگین موجود در لجن فاضلاب نگرانی‌های زیادی را در تماس با آنها از نظر سلامتی ایجاد می‌کند. فلزات سنگین فلزات غیرقابل تجزیه هستند این فلزات سمی دارای دانسیته بالایی می‌باشند. فلزات سنگین باعث آلودگی دریاها، زمین، صنایع و حتی فاضلاب‌های تصفیه شده می‌شوند (۱۰). صنایع مهمترین منابع تولید فلزات سنگین در طبیعت هستند. فلزات سنگین از آن جهت که گرایش به تجمع زیستی دارند خطرناک محسوب می‌شوند. (۱۱). منبع فلزات سنگین در فاضلاب می‌تواند از مدفوع انسانی، تمیزکننده‌ها، رنگ‌ها، لوازم و ابزارها باشد. فلزات سنگین به عنوان میکرونوترینت‌های ضروری برای رشد گیاهان هستند (مس و روی) با این وجود آنها می‌توانند مشکلاتی برای رشد گیاهان

در مقادیر زیاد ایجاد کنند (۱۲). بعضی از آنها برای گیاهان و حیوانات ضروری نیستند و برای انسان و حیوانات سمیت ایجاد می‌کنند مانند آرسنیک، کادمیوم و حیوه. فلزات سنگین بر روی رشد گیاهان و بر سلامتی انسان و حیوانات و محیط زیست اثرات منفی دارند. آلودگی محیط با سموم و فلزات سنگین خطرناک، اصلی‌ترین نگرانی علوم جدید می‌باشد (۱۳). این فلزات بطور طبیعی در لایه‌های زمین و همچنین توسط انسان در شهرها، صنایع، فاضلاب کشاورزی، اکتشاف معادن و مصرف سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند. این مواد در اثر تجمع در بدن انسان خطرات کارسینوژنی، تأثیر در سیستم اعصاب مرکزی، بیماری‌های پوستی، بیماری‌های خونی و مشکلات کلیوی را باعث می‌شوند (۹، ۱۴). فلزات سنگین به این علت خطرناک هستند که می‌توانند انباشتگی زیستی ایجاد کنند. انباشتگی زیستی به معنی افزایش غلظت یک ماده شیمیایی در طول زمان، در یک ارگانیسم زیستی، در مقایسه با غلظت آن ماده در محیط زیست است. اولتراسوند به امواج صوتی گفته می‌شود که دارای فرکانسی بیشتر از بازه فرکانسی شنوایی انسان هستند (۱۵). بازه فرکانسی شنوایی افراد متفاوت است و با بالا رفتن سن این بازه کاهش می‌یابد، ولی معمولاً بالاترین فرکانس شنوایی انسان حدود ۲۰ یا ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود. امواج اولتراسونیک یک فرآیند اکسیداسیون پیشرفته است که در مواقعی که پساب فاضلاب با کیفیت مناسب مورد نیاز باشد از آن استفاده می‌شود (۱۶). اساس تولید اولتراسونیک به قبل از سال ۱۸۸۰ با کشف پیزوالکتریک توسط کوریس بر می‌گردد. پدیده تخریب (کاویتاسیون) اولین بار در سال ۱۸۹۵ معرفی شد. استفاده از امواج اولتراسونیک در تصفیه فاضلاب دارای مزایای بسیار زیادی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به عدم تولید لجن، کاربری آسان، افزایش تولید بیوگاز، کمک به آبگیری، عدم تولید آلاینده ثانویه، توانایی کاهش مواد معلق و

برای تصفیه آلاینده‌های خطرناک در آب انجام شده است، سونوشیمیایی به روش‌های قابل قبول برای تخریب آلاینده‌های آبی اشاره دارد. فرآیند اولتراسونیک یک پدیده فیزیکی که بر اساس فرآیند تولید، رشد و ترکیدن بخار و گاز که کائیتاسیون نامیده می‌شود، عمل می‌کند (۱۸). در طول فرآیند تراکم فشار مثبت است در حالی که در مرحله گسترش فشار منفی می‌باشد که به یک سیکل تراکم و گسترش کائیتاسیون گفته می‌شود.

محلول، تبدیل مواد سخت تجزیه پذیر به مواد ساده‌تر و... اشاره کرد (۱۷). استفاده از فرایند اولتراسونیک برای تجزیه آلاینده‌ها در آب و فاضلاب یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته است و به عنوان فناوری کارآمد پیشرفته در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی محیط به منظور حفظ محیط زیست از آلاینده‌ها و به عنوان تکنولوژی کلیدی برای آینده در جهان مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر بررسی‌های زیادی در مورد استفاده از اولتراسونیک به عنوان فرآیند اکسیداسیون پیشرفته



ULTRASONIC SEQUESTRATION AND UNSTIMULATED ADSORPTION

شکل ۱. عمل کائیتاسیون اولتراسونیک

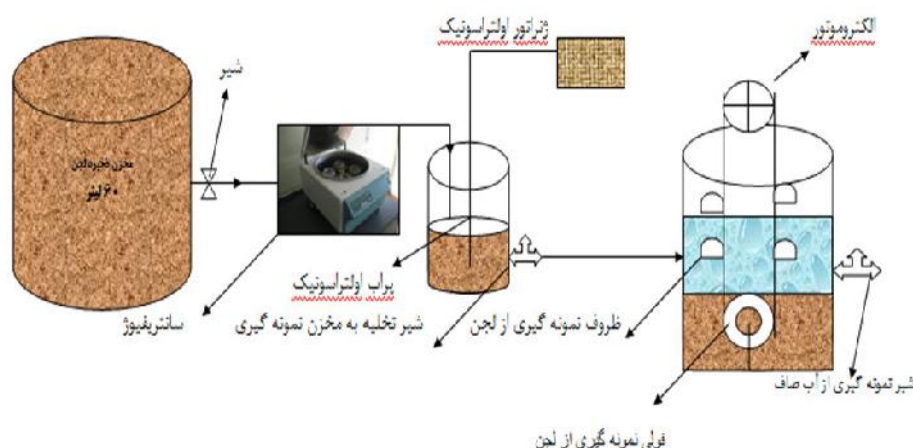
فروپاشی حباب‌ها، فشارهای بسیار بالا در حدود اتمسفر و درجه حرارت بسیار بالا در حدود هزاران کلوین در فاز بخار حباب تولید می‌شود، در نتیجه رادیکال‌های آزاد بسیار واکنش پذیر تولید می‌شوند. این انرژی منحصر به فرد باعث واکنش پذیری ترکیبات در محلول‌های آبی می‌شود. سونولیز باعث تخریب آلاینده‌های آبی می‌شود که عمدتاً به تولید رادیکال و تجزیه حرارتی در میکرو حباب‌ها نسبت داده شده است (۱۶،۲۰). تعداد زیادی از مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که تابش اولتراسونیک یک روش بی خطر و موثر و سریع در تخریب آروماتیک‌ها، فنول‌ها، ترکیبات کلردار و آفت‌کش‌ها از محلول‌های آبی می‌باشد (۲۱).

در روش‌های رایج تصفیه فاضلاب برای جدا کردن آلاینده‌های فلزی، از مواد منعقد کننده استفاده می‌شود، در نتیجه رسوبات ته نشین شده حاوی فلزات سمی هستند و در نتیجه ترکیبات خروجی از سیستم تصفیه سمی می‌باشند ولی در این روش فلزات سمی با امواج اولتراسونیک به ترکیبات غیرسمی و غیر آلاینده تبدیل می‌شوند (۶،۱۹). اولتراسونیک واکنش شیمیایی را در محلول از طریق تولید میکرو حباب‌های حفره سازی بهبود می‌بخشد. رشد و فروپاشی این میکرو حباب‌ها باعث انتقال و تمرکز انرژی از امواج صوتی با اندازه ماکرو به بخار داخل حباب‌ها با اندازه میکرو می‌شود. در طول

روش کار

همانطور که در شکل ۲ به عنوان شماتیک فرآیند طراحی شده مشاهده می شود، در این بررسی از حمام اولتراسونیک با قدرت ۲۵ کیلوهرتز با قدرت ۵۰۰ وات با متغیرهای دما و زمان به همراه فرآیند الکترودیالیز استفاده شد. فلزات مورد آزمایش مس سنتتیک، مس فاضلاب صنعتی و آهن بودند. نمونه از

تصفیه خانه فاضلاب صنعتی خاورشهر گرفته شد. میزان آگیری لجن توسط دستگاه سانتریفیوژ حدود ۸۰ درصد بود تا یک حاوی ۲۰ درصد آب باشد که فرآیند کاویتاسیون و ایجاد رادیکالهای هیدروکسیل به طور مناسب صورت پذیرد. مدت زمان آزمایش ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد (با توجه به مطالعات مشابه قبلی این مدت زمان در نظر گرفته شد).



شکل ۲. شماتیک فرآیند طراحی شده

ابعاد مخزن اولتراسونیک

طول ۱۵۱ و عرض ۱۳۷ میلی متر و عمق ۱۴۳ میلی متر بود.

مشخصات دستگاه اولتراسونیک

دستگاه اولتراسونیک مورد نظر حمام اولتراسونیک بود. فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و قدرت ۵۰۰ کیلووات. دستگاه همانطور که در بالا ذکر شد حاوی مکانیسم الکترودیالیز بود که می تواند با جذب فلزات و آلاینده ها به سمت قطب مثبت (الکترود گرافیت) (زیرا فلزات سنگین دارای بار منفی هستند که جذب الکتروود مثبت می شوند) و با توزین الکترودها میزان جذب و حذف آلاینده ها را مشخص کند. در واقع ترکیب فناوری اولتراسونیک به همراه الکترودیالیز به نحوی است که جداسازی و حذف آلاینده ها علاوه بر تولید رادیکال هیدروکسیل فرآیند جذب فیزیکی توسط الکترودها انجام می شود. ۱- الکترودها به

صورت کشویی داخل وان اولتراسونیک قرار می گیرند که بعد از انجام عملیات، از داخل وان جدا شده و بعد از شستشو با آب مقطر توزین می شوند. از طریق میزان افزایش وزن از مقدار حذف فلزات سنگین پی برده شده است (که برای انجام عملیات توزین نیاز به یک ترازو با میزان حساسیت ۰/۰۰۰۱ می باشد). ۲- بعد از انجام آزمایش بالا باید میزان فلزات سنگین موجود در مایع لجن نیز مورد آنالیز قرار گیرد.

مراحل ساخت

ابتدا پایه های نگهدارنده الکترودها طراحی و از جنس پلاکسی گلاس ساخته شد و سپس منافذی بر روی دیواره آن در نظر گرفته شد. الکترودها با ضخامت های مشخص طبق طراحی و محاسبات ساخته شدند. حمام اولتراسونیک و منبع تغذیه از بازار خریداری شد.

در شکل ۳ پایه نگهدارنده الکترودها نشان داده شده است که دارای ابعاد: طول ۱۴۰، عرض ۱۲۷ و عمق ۱۴۰ میلی متر می باشد. و دو کشویی که در آن طراحی و ساخته شده است در واقع محل نگهداری الکترودهای مس و گرافیت می باشد. به نحوی که ابعاد کشو برای نگهداری مس: طول ۱۲۵، عرض ۲/۵ و ارتفاع ۱۳۰ میلی متر می باشد (وزن هر یک از الکترودها حداکثر ۹۰ گرم در نظر گرفته شده است) که طبق فرمول زیر میزان ضخامت هر الکتروود بدست آمد (طول: ۱۲۷ و عمق: ۱۳۰ میلی متر) بنابراین با توجه به اینکه وزن مخصوص مس برابر با

۸۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و وزن مخصوص گرافیت ۲۲۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. و از طریق معادله زیر ضخامت هریک از الکتروودها به دست آمده است.

ضخامت مس:

رابطه ۱- محاسبه میزان ضخامت الکتروود مس

$$L \times D \times M \times \rho = m$$

$$0.127 \times 0.130 \times M \times 8900 = 90/1000$$

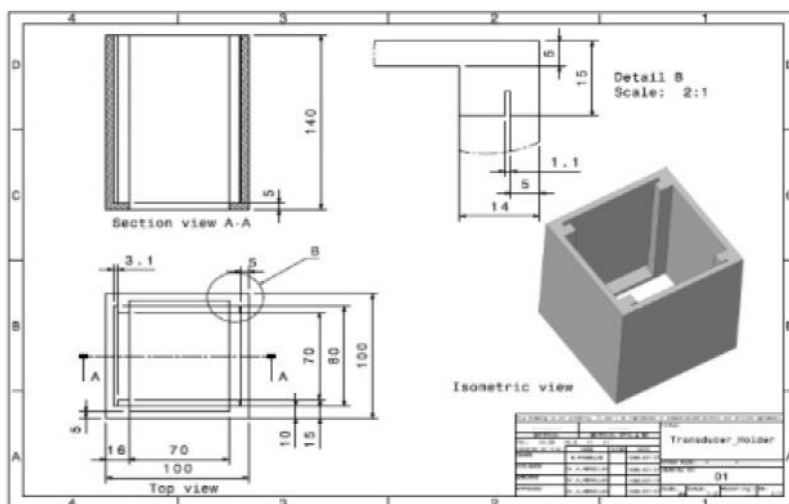
$$M = 0.6 \text{ millimeter capper}$$

ضخامت گرافیت:

رابطه ۲- محاسبه میزان ضخامت الکتروود گرافیت

$$0.127 \times 0.130 \times M \times 2320 = 90/1000$$

$$M = 2.3 \text{ millimeter graphit}$$



شکل ۳. طراحی پایه نگهدارنده الکترودها



شکل ۴. فرآیند اولتراسونیک به همراه الکتروودبایز

از آزمون‌های آماری T (برای مقایسه با استانداردها) در سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها

نتایج آزمایشات نشان داد بیشترین راندمان حذف بر روی فلز مس بوده است که دارای راندمان حذف در شرایط ولتاژ ۱۰ ولتی و جریان ۰/۰۲ آمپر و در حضور اولتراسونیک حدود ۸۶ درصد و شرایط ولتاژ ۳۰ و جریان ۰/۱ آمپر دارای راندمان حذف ۶۳/۰٪ بود. در صورتی که بیشترین راندمان حذف برای فلز آهن در شرایط ولتاژ ۱۰ ولتی و جریان ۰/۰۲ آمپر و در حضور اولتراسونیک حدود ۷۴ درصد بود.

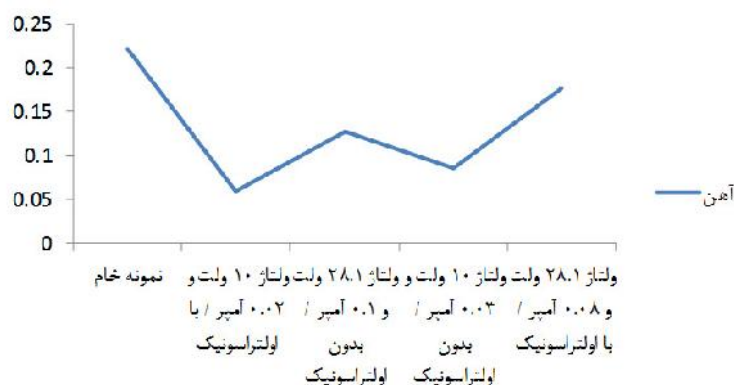
برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌ها در مجاورت فرآیند الکترودیالیز به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد و سپس نمونه در مجاورت الکترودیالیز و اولتراسونیک مجدداً در مدت زمان ۲۰ دقیقه قرار داده شد تا راندمان حذف هر فلز در دو فرآیند الکترودیالیز به تنهایی و الکترودیالیز و اولتراسونیک با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرد. آزمایشات توسط آزمایشگاه معتمد محیط زیست انجام گرفته است. بعد از تجزیه و تحلیل نمونه‌ها، مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین هر یک از نمونه‌های پساب و لجن، با نرم افزار SPSS محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده

جدول ۱. نتایج آزمون وزنی نمونه شهرک خاور شهر

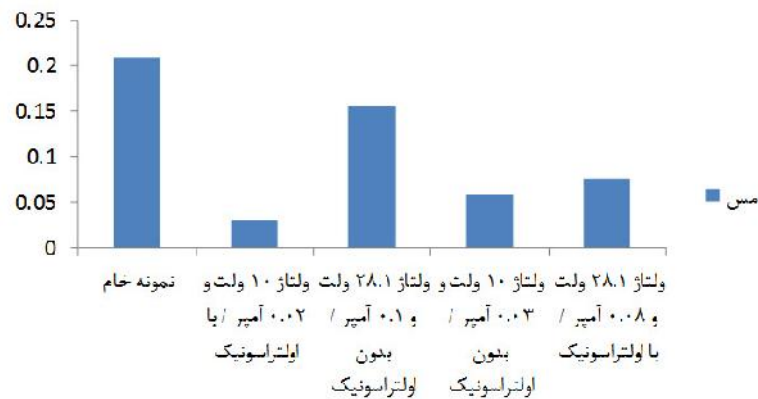
وزن الکتروود	وزن الکتروود بعد از ۲۰ دقیقه بدون US	وزن الکتروود بعد از ۲۰ دقیقه با US	وزن الکتروود بعد از ۲۰ دقیقه بدون US	وزن الکتروود بعد از ۲۰ دقیقه با US
الکتروود قبل از انجام آزمون	V=28.1V T=25°C I=0.09 A	V=10V T=25°C I=0.02 A	V=10V T=25°C I=0.02 A	V=28.1V T=25°C I=0.1 A
CU	۴۷/۰۶۸	۴۷/۰۷۰	۴۷/۰۷۳	۴۷/۰۷۳
C	۵۰/۰۶۵	۵۰/۰۸۴	۵۰/۰۷۲	۵۰/۰۹۲

جدول ۲. نتایج آزمایشات غلظت مربوط به فلزات سنگین

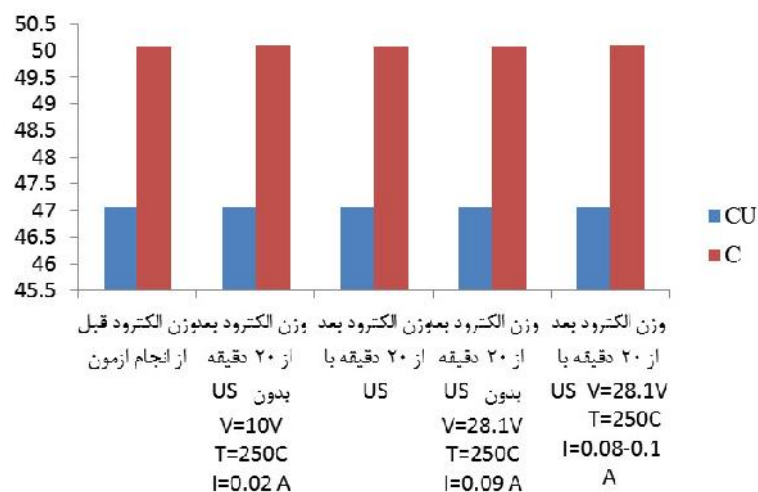
عنوان آزمایش	مدت آزمایش (دقیقه)	واحد	نمونه خام	ولتاژ ۱۰ ولت و اولتراسونیک	ولتاژ ۲۸.۱ ولت و اولتراسونیک	ولتاژ ۱۰ ولت و اولتراسونیک	ولتاژ ۲۸.۱ ولت و اولتراسونیک
آهن	۲۰	ppm	۰/۲۲۱	۰/۰۵۹	۰/۱۲۸	۰/۰۸۵	۰/۱۷۶
مس	۲۰	ppm	۰/۲۰۸	۰/۰۳	۰/۱۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۷۶



نمودار ۱. نتایج آزمایشات غلظت مربوط به آهن



نمودار ۲. نتایج آزمایشات غلظت مربوط به مس



نمودار ۳. آزمون وزنی نمونه شهر خاور شهر

بحث

حذف بیشتر ترکیبات نامحلول در نمونه بر روی الکتروودها می‌شود. همانطور که از نتایج مشخص است الکترودیالیز به تنهایی راندمان پایین‌تری نسبت به بکارگیری اولتراسونیک و الکترودیالیز با یکدیگر را دارا می‌باشد. که علت این مسئله فرآیند کاویتاسیونی است که فرآیند اولتراسونیک بر روی ترکیبات فلزات سنگین و آب ایجاد می‌کند که در اثر شکستن پیوند بین فلزات و آب ایجاد می‌شود. خوبدلی و همکاران در بررسی مشابه به این نتایج دست یافتند که با افزایش زمان ماند میزان حذف توسط اولتراسونیک سریع‌تر و با افزایش غلظت راندمان حذف کاهش

نتایج نشان می‌دهد که در مدت زمان ۲۰ دقیقه راندمان حذف فلزات سنگین در بررسی مناسب بوده است که این راندمان با افزایش زمان ماند و همچنین افزایش میزان فرکانس و قدرت حامل اولتراسونیک افزایش می‌یابد که علت آن افزایش شدت فرآیند کاویتاسیون می‌باشد. افزایش وزن الکتروودها نشان می‌دهد فلزات بعد از جدا شدن به راحتی بر روی الکتروودها جذب شده‌اند. با افزایش میزان ولتاژ و جریان منبع ذخیره و فرآیند الکترودیالیز میزان راندمان جذب افزایش می‌یابد و این جذب باعث

لجن، آزاد می‌شوند اما درجه حلالیت آن‌ها پایین می‌باشد. بعد از اولتراسونیک با مشخصات W/ml ۱/۲ بعد از ۳۰ دقیقه، درجه حلالیت مواد آلی در لجن حدود ۳۶ درصد افزایش پیدا کرده است در صورتی که درجه حلالیت کل فلزات سنگین تنها برابر با ۷ درصد می‌باشد. افزایش زمان و دانسیته قدرت اولتراسونیک درجه حلالیت فلزات سنگین را افزایش می‌دهد. حداقل دانسیته قدرت برای حلالیت فلزات سنگین برابر با ۰/۸ W/ml است. در بررسی حاضر نیز فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و قدرت ۵۰۰ وات حلالیت فلزات را کاهش داده و باعث افزایش ترسیب این فلزات و نشستن آن‌ها بر روی الکترودها شده است که برای بدست آوردن میزان بهینه فرکانس و قدرت اولتراسونیک و زمان ماند برای حذف فلزات سنگین نیاز به بررسی‌های بیشتر می‌باشد.

نتیجه گیری

این بررسی نشان داد که راندمان حذف فلزات سنگین در حضور اولتراسونیک به همراه الکترودیالیز بسیار مناسب می‌باشد و با افزایش زمان ماند و فرکانس و قدرت اولتراسونیک این راندمان افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از کارشناسان محترم شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و شرکت آب و فاضلاب استان تهران و آقای دکتر عبدالله (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر) که محقق را از نظر مادی و علمی مورد حمایت خود قرار دادند تا این پروژه به نحو مناسبی به پایان برسد کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

می‌یابد. در فرکانس ۱۳۵ کیلوهرتز راندمان حذف خیلی بیشتر و سریعتر از ۳۵ کیلوهرتز می‌باشد، به طوری که در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز بعد از ۶۰ دقیقه راندمان حذف برابر با ۳۵ درصد بوده در حالی که در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز بعد از همین زمان راندمان به ۶۳ درصد رسیده است و همچنین حذف دیازینون توسط ۱/۷ مگا هرتز در ۵ دقیقه مشاهده شده است که در واقع چنین امکانی نیز به طور قطع به یقین در مورد بررسی حاضر نیز وجود دارد که با افزایش میزان زمان ماند و همچنین افزایش میزان قدرت اولتراسونیک میزان راندمان حذف فلزات سنگین به علت بالاتر بودن میزان کاویتاسیون بیشتر خواهد شد که می‌توان با افزایش میزان متغیرها در بررسی‌های آینده حتی میزان بهینه قدرت و فرکانس اولتراسونیک و میزان بهینه زمان ماند را بدست آورد. عمر^۱ و همکاران در بررسی مشابه در نهایت به این نتایج دست یافتند که اولتراسونیک یک روش مؤثر در حذف کادمیوم نسبت به فرآیندهای جذب/جاذب است که در اثر افزایش دما و فشار این عمل حذف و تخریب صورت می‌گیرد. در بررسی حاضر نیز مشخص شده است که در مدت زمان ۲۰ دقیقه راندمان حذف قابل توجهی برای فلزات سنگین بویژه فلز مس نشان داده شده است که این راندمان برای حذف فلزات سنگین با فرآیند ترسیب شیمیایی به زمان ماند بسیار زیادی (حداقل ۵ تا ۱۰ ساعت) نیاز دارد. ون^۲ و همکاران در بررسی مشابه به این نتایج دست یافتند که فلزات سنگین در مواجهه با امواج اولتراسونیک در فاز مایع

¹ Omar

² Wan

References

1. Dewil R, Baeyens J, Goutvrind R. The Use of Ultrasonics in the Treatment of Waste Activated Sludge. Chinese J Chem Eng. 2006;14(1):105-13.
2. Virkutyte J. The use of power ultrasound in biofuel production, bioremediation, and other applications. Power Ultrasonics. 2015:1095-122.

- 3- Lisa A, Davies AD, Michael E. Deary Use of 24 kHz ultrasound to improve sulfate precipitation from wastewater. *ULTRASON SONOCHEM.* 2015;23:424-31.
4. Seon-Suk H, Joon-Seon P, Namkoong W. Ultrasonic-Assisted Extraction to Release Heavy Metals from Contaminated Soil. *J Ind Eng Chem.* 2007;13(4):650-6.
- 5- Rose JL, Nagy PB. Ultrasonic waves in solid media. *J Acoust Soc Am or JASA.* 2000;107(4):1807-8.
- 6- Sridhar Pillia PB, LeBlanc RD, Tyagia RY. Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. *ULTRASON SONOCHEM.* 2011;18(1):1-18.
7. Abramov VO, Abramov OV, Gekhman AE, Kuznetsov VM, Price GJ. Ultrasonic intensification of ozone and electrochemical destruction of 1,3-dinitrobenzene and 2,4-dinitrotoluene. *ULTRASON SONOCHEM.* 2005;13(4):303-7.
- 8- Izal W. Ultrasonic Disintegration of Sewage Sludge to Increase Biogas Generation. *Chem Biochem Eng.* 2013;27(4):491-7.
- 9- Guilherme L. Dotto J, Eduardo H. Tanabe D, Bertuol A. Surface modification of chitin using ultrasound-assisted and supercritical CO₂ technologies for cobalt adsorption. *J Hazard Mater* 2015;295:29-36.
- 10- Starchevsky V, Kislenco V, Ivanyshyn S. Starch dispersion in water under ultrasonic treatment. *Chemistry & Chemical Technology.* 2012;6(2):183-8.
11. Bellotindos ML, Dalida MLP, Peralta GL, Ming-Chun Lu, Mendoza HD. Sonoleaching: Development of a rapid determination of Pb from stabilized waste using ultrasound assisted leaching. *Sustain Environ Res.* 2011;21(6):375-80.
12. Farooq R, Lin FK, Shaikat SF, Huang JJ. Sonochemical degradation of organophosphorus pesticide in dilute aqueous solutions. *J Environ Sci.* 2003;15(10):704-10.
13. Moayyeri N, Saeb K, Biazar E. Removal of heavy metals (lead, cadmium, zinc, nickel and iron) from water by bio-ceramic absorbers of hydroxy-apatite microparticles. *Int. J.MAr.Sci.Eng.,* 2013;3(1):6-13.
14. Peng JF, Song YH, Yuan P, Cui XY, Qiu GL. The remediation of heavy metals contaminated sediment. *J Hazard Mater.* 2009;163:633-40.
15. Liu Y, Kong S, Li Y, Zeng H.. Novel technology for sewage sludge utilization: Preparation of amino acids chelated trace elements (AACTE) fertilizer. *J Hazard Mater.* 2009;171:1159-67.
16. Zhang Z, Chen YF, Zhou YH, Buayi X, Jin RC.. A novel strategy for accelerating the recovery of an anammox reactor inhibited by copper(II): EDTA washing combined with biostimulation via low-intensity ultrasound. *Chem Eng J.* 2015;279:912-20.
17. Mahvi AH, Dehghani H, Kia EB. Inactive by Nematodes by Ultrasound. *Med Sci.* 2005;5(2):75-7.
- 18- Wang X, Chen J, Yan X, Wang X, Jiayu Z, Zhao J. Heavy metal chemical extraction from industrial and municipal mixed sludge by ultrasound-assisted citric acid. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* 2015;27:368-72.
- 19- Ruijuan QU, Zhongbo W, Xi Y, Zunyao W. Heavy Metal and Phosphorus Removal from Waters by Optimizing Use of Calcium Hydroxide and Risk Assessment. *Environ Pollut.* 2012;1(1):38-54.
- 20- Jinchuan-Deng XQ. Extraction of heavy metal from sewage sludge using ultrasound-assisted nitric acid. *Chem Eng J.* 2009;152:177-82.
- 21- Gaber SE, Rizk MS, Yehia MM. Extraction of certain heavy metals from sewage sludge using different types of acids. *Biokemistri.* 2011;23:41-8.
22. Khoobdel M, Shayeghi M, Golsorkhi S, Abtahi M, Vatandoost H, Zeraatii H, Bazrafkan S. Effectiveness of Ultrasound and Ultraviolet Irradiation on Degradation of Carbaryl from Aqueous Solutions. *Iranian J Arthropod-Borne Dis.* 2010;4(1):47-53.
23. Wan Ishak WMF, Rowson NA. The Effect of Ultrasound Pre-Treatment on Froth Flotation Performance. *Eng Sci.* 2009;3:1205-8.
24. Pei J, Yao H, Wang H, Shan D, Jiang Y, Ma L, Yu X.. Effect of ultrasonic and ozone pre-treatments on pharmaceutical waste activated sludge's solubilisation, reduction, anaerobic biodegradability and acute biological toxicity. *Bioresour Technol.* 2015;192:418-23.
- 25- Kumar R. Effect of Two Waves of Ultrasonic on Waste Water Treatment. *CHEM ENG PROCESS.* 2014;5(3):1-6

- 26- Afshari M. Destruction of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* using Low Frequency Ultrasound Technology. *HEALTH SCOPE*. 2014;3(1): e14376.
27. Hoover K, Bhardwaj M, Ostiguy N, Thompson O. Destruction of bacterial spores by phenomenally high efficiency non-contact ultrasonic transducers. *Mat Res Innovat*. 2002;6:291-5.
- 28- Eleni Manousaki EP, Nicolas K, Dionissios M. Degradation of sodium dodecylbenzene sulfonate in water by ultrasonic irradiation. *Water Res*. 2004;38:3751-9.
- 29- Shengchun Y, Shu Y, Zirong L, Xiaodong W. Comparison of ultrasound-assisted cloud point extraction and ultrasound-assisted dispersive liquid liquid microextraction for copper coupled with spectrophotometric determination. . *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2015;148:72-7.
- 30- Shokohi R, Ziaeddin B. Comparison efficiency of both sonochemical and sonochemical/hydrogen peroxide processes for cyanide removal from aqueous solutions. *jmums*. 2009;19(73):60-7.
- 31- Mohseni B. Benzaldehyde degradation using ultrasonic. *JAC*. 2012;3(12):57-62.
- 32- Manariotisc D. Aqueous phenanthrene toxicity after high-frequency ultrasound degradation. *AQUAT TOXICOL*. 2014;147:32-40.
- 33- Mahvi AH. Application of Ultrasonic Technology for Water and Wastewater Treatment. *Iranian J Publ Health*. 2009;38(2):1-7.