

بررسی قابلیت روش اولتراسونیک در کاهش جرم و حجم لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

سمانه پاشا زانوسی^۱، بیتا آیتی*^۲ و حسین گنجی‌دوست^۳
^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
^۳ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب حجم زیادی لجن مازاد بیولوژیکی تولید می‌شود که هزینه فرایند تصفیه و دفع آن تقریباً نیمی از کل هزینه بهره‌برداری را شامل می‌شود. در این تحقیق، سعی بر آن بود تا به کمک امواج اولتراسونیک میزان حجم و جرم لجن کاهش داده شود. در بخش اول، سه مجموعه لجن با درصد جامدات کل ۰/۵، ۱ و ۲ در معرض امواج اولتراسونیک تحت فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و دامنه‌های ۶، ۸ و ۱۰ میکرومتر در زمان‌های ۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ ثانیه قرار گرفت. در شرایط بهینه TS معادل ۲ درصد و دامنه ۸ میکرومتر کاهش حجم لجن معادل ۴۵ درصد پس از ۳ دقیقه به دست آمد. در بخش دوم، با راه‌اندازی پنج سیستم SBR (یکی شاهد)، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد از کل لجن تولید شده در هر سیستم، تحت شرایط بهینه به دست آمده از بخش اول آزمایش‌ها قرار گرفت. طبق نتایج حاصل، حداکثر ۱۳ درصد کاهش تولید لجن به دست آمد که بیانگر قابلیت روش اولتراسونیک در کاهش جرم و حجم لجن می‌باشد.

واژگان کلیدی: جامدات کل، گسیختگی، SBR، SCOD.

۱- مقدمه

مازاد و یا گزینه‌هایی برای دفع و نیز بازیافت ترکیبات ارزشمند و یا تولید انرژی از آن احساس می‌شود. کاهش لجن توسط روش‌های مختلف مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام شده است. از جمله راهکارهای مورد مطالعه در دنیا استفاده از ازن و کلر [۲-۵]، تصفیه شیمیایی - حرارتی [۶، ۷]، استفاده از کرم‌ها و ماهی‌های لجن‌خوار [۸-۱۰]، بیوراکتورهای غشایی [۱۱]، بیولوژیکی-غشایی [۱۲] و نیز استفاده از امواج اولتراسونیک [۱۳-۱۶] می‌باشد.

کاربرد امواج اولتراسونیک در کاهش حجم لجن روش تقریباً جدیدی در صنعت آب و فاضلاب است. در فرکانس‌های ۲۰ تا ۴۰ کیلوهرتز، کاهش فشار داخلی درون مایع به کمتر از فشار بخار مایع، موجب انفجار حباب‌های کوچک و ایجاد پدیده کاویتاسیون^۱ می‌شود. کاویتاسیون در گرادیان^۲ بالای فشار تا حدود ۱۸۰ مگاپاسکال و در یک افزایش بسیار زیاد دمای داخل حباب تا حدود ۵۰۰۰ درجه کلوین و در منطقه اطراف حباب رخ می‌دهد. بنابر این کاویتاسیون منجر به یک نیروی مکانیکی قوی و در نتیجه گسیختگی لجن می‌شود.

امروزه تولید حجم قابل توجه لجن مشکل اصلی کلیه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری است که حتی به کمک فرایندهای با تولید کم لجن نیز نمی‌توان مانع آن شد. به طور متوسط ۲۰ تا ۴۰ کیلوگرم لجن خشک به ازای هر نفر در سال در سراسر دنیا تولید می‌شود. لجن خام حاصل ترکیبی از آب، مواد جامد آلی و غیر آلی، مواد مغذی، عناصر کمیاب و میکروارگانیسم‌ها است. ساختمان میکروارگانیسم‌ها به عنوان ترکیب اصلی لجن محتوی سلول، غشاء و آب درون سلولی می‌باشد که وجود غشاء آن‌ها موجب شده تا عمل آبیگری لجن با موفقیت چندانی همراه نباشد. شکسته شدن غشاء سلولی میکروارگانیسم‌ها که همان گسیختگی لجن نامیده می‌شود، علاوه بر کمک به حذف آب لجن، موجب شرکت مواد مغذی درون سلولی در عمل هضم لجن نیز می‌شود. حذف آب از لجن منجر به افزایش راندمان تصفیه لجن، کاهش حجم و در نتیجه کاهش هزینه حمل و نقل و دفع آن می‌شود [۱]. زیرا هزینه تصفیه و دفع لجن مازاد، حدود ۲۵ تا ۶۰ درصد کل هزینه بهره‌برداری یک تصفیه‌خانه را به خود اختصاص می‌دهد. بنابر این امروزه نیاز شدید به توسعه فناوری‌هایی جهت کاهش تولید لجن

1- Cavitation

2- Gradient

می‌شود، میزان تولید لجن به کم‌ترین مقدار خود یعنی ۱۴۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بر روز کاهش می‌یابد، بدون این که تأثیر چندانی در کیفیت فاضلاب خروجی سیستم داشته باشد [۱۵]. طبق بررسی صورت گرفته، در سایر پژوهش‌ها صرفاً تأثیر امواج اولتراسونیک بر میزان تولید لجن در سیستم‌های تصفیه و یا میزان گسیختگی لجن در بازه‌های زمانی و دامنه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. لذا هدف اولیه از این تحقیق بررسی تأثیر امواج بر میزان گسیختگی لجن و تعیین بیش‌ترین مقدار آن بوده است. در مرحله دوم شرایط بهینه به دست آمده بر روی سیستم‌های SBR اعمال شد تا تأثیر امواج اولتراسونیک در حالت بیش‌ترین گسیختگی بر میزان تولید لجن در سیستم SBR مورد بررسی قرار گرفت. به عبارتی هدف اصلی از این تحقیق، بررسی قابلیت امواج اولتراسونیک در کاهش جرم و حجم لجن بوده که در دو بخش تعیین شرایط بهینه گسیختگی لجن و اعمال آن بر سیستم SBR جهت تعیین نرخ کاهش تولید لجن مازاد انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو مرحله مجزا صورت گرفت و لجن فعال مورد نیاز از خط برگشت لجن تصفیه خانه شهرک اکباتان تهران با سن ۱۰ روز تأمین شد. در بخش اول، لجن محتوی حدود ۰/۵ تا ۰/۷ درصد به روش ثقلی (زمان ۳۰ دقیقه) تغلیظ و به ۱ و ۲ درصد افزایش داده شد. سپس از هر مجموعه تعداد ۱۲ نمونه با حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر برداشت شد و در سه دامنه ۶، ۸ و ۱۰ میکرومتر (معادل ۵۰۰ وات، ۱ و ۱/۵ کیلووات) و زمان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه در معرض امواج اولتراسونیک قرار گرفت (زمان ۱ دقیقه چون همان اثر ۲ دقیقه را داشت، حذف شد). برای هر سری از آزمایشات، نمودار SCOD به عنوان شاخص اصلی گسیختگی لجن و کدورت بر حسب زمان رسم و نتایج با بیشترین اختلاف SCOD با نمونه شاهد، به عنوان بهترین حالت گسیختگی و اثر امواج در نظر گرفته شد. اعمال امواج اولتراسونیک با شکستن سلول‌ها موجب آزادسازی نیتروژن آلی درون سلولی به فاز مایع نیز می‌شود که پس از هیدرولیز به نیتروژن آمونیاکی تبدیل می‌شود [۱۹]. بنابر این با تکرار شرایط بهینه به دست آمده از سری قبل، پارامتر نیتروژن آمونیاکی نیز اندازه‌گیری و حالت بهینه نهایی انتخاب شد.

در بخش دوم به مدت یک ماه آزمایش امواج بر روی پنج سیستم SBR مشابه به حجم سه لیتر با محتوی MLSS معادل

مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در گسیختگی لجن قدرت ورودی، محتوای TS^۱، مدت زمان اثر امواج و حجم لجن می‌باشند و همه درون پارامتری به نام انرژی مخصوص ورودی جمع شده که طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$E = P \cdot t / V \cdot TS \quad (1)$$

که در آن E انرژی مخصوص ورودی (kW.s/gTS)، P قدرت دستگاه (کیلووات)، t زمان اعمال امواج (ثانیه)، V حجم لجن (متر مکعب) و TS محتوی ذرات جامد نمونه (گرم بر متر مکعب) می‌باشد.

با اعمال امواج و شکستن سلول میکروبی و آزاد شدن مواد درون سلولی به محیط آبی، مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی محلول (SCOD) افزایش می‌یابد [۱۵، ۱۸-۱۹] که از آن به منظور اندازه‌گیری میزان گسیختگی لجن طبق رابطه (۲) استفاده می‌شود [۲]:

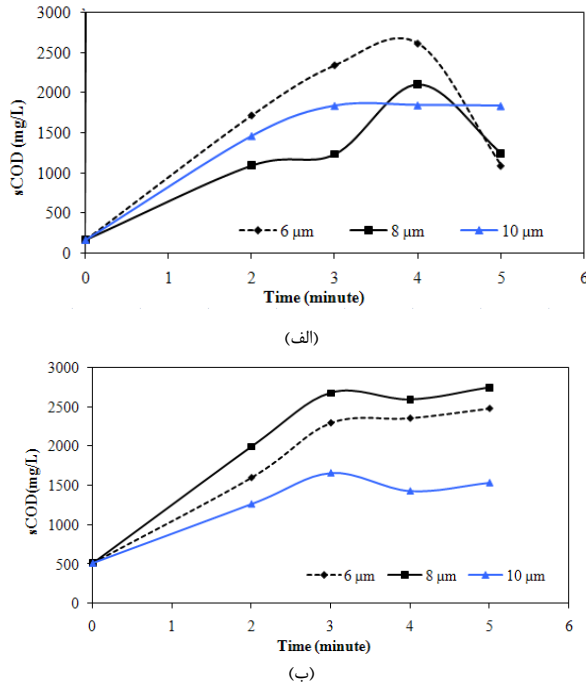
$$^2DD = (SCOD_f - SCOD_i) / (TCOD_i - SCOD_i) \quad (2)$$

که در آن $SCOD_f$ ، COD محلول نمونه پس از آزمایش (میلی-گرم بر لیتر)، $SCOD_i$ ، COD محلول نمونه شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) و $TCOD_i$ ، COD کل نمونه شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد.

پژوهش‌های مناسبی در زمینه اثر امواج اولتراسونیک بر روی گسیختگی لجن انجام شده است. به عنوان مثال، در کشور آمریکا، نمونه‌های لجن با محتوای TS برابر ۲، ۴ و ۶ درصد طی مدت ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ ثانیه در معرض امواج با فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و بیش‌ترین قدرت ۲/۲ کیلووات و سپس در دامنه‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از بیش‌ترین قدرت دستگاه قرار گرفتند. بیش‌ترین مقدار پروتئین آزاد شده (گسیختگی لجن) به عنوان یکی از مهم‌ترین ترکیبات سلول میکروبی در نمونه با TS برابر ۲ درصد پس از ۶۰ ثانیه با انرژی مخصوص ۱۰ کیلووات ثانیه بر گرم به دست آمد [۱۹].

در بررسی اثر امواج با فرکانس ۲۵ کیلوهرتز بر روی لجن مازاد در سیستم SBR در کشور چین مشخص شد زمانی که امواج به مدت ۱۰ دقیقه با قدرت ۱۲۰ کیلووات بر کیلوگرم جامدات محلول به لجن مازاد تولیدی با نسبت ۱۴:۳ اعمال می‌-

1- Total Solids
2- Disintegration Degree



شکل ۱- متوسط تغییرات COD با زمان در دامنه‌های مختلف با (الف: TS: یک درصد، ب) دو درصد

همان طور که اشاره شد، با اعمال امواج اولتراسونیک، در اثر پدیده کاویتاسیون، نیروی مکانیکی بسیار قوی ایجاد می‌شود که منجر به شکستن سلول و در پی آن تراوش مواد و آب درون سلولی به محیط محلول و در نتیجه افزایش قابل توجه COD محلول نسبت به مقدار اولیه آن می‌گردد. بنابر این طبق نتایج حاصل، آزمایش‌هایی که در آن‌ها بیشترین مقدار آزادسازی SCOD مشاهده شد، به عنوان نمونه‌هایی که در آن‌ها بیشترین مقدار گسیختگی لجن رخ داده انتخاب شدند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در مدت زمان ۳ تا ۵ دقیقه بیشترین مقدار گسیختگی و آزادسازی SCOD رخ داده که در هر سه دامنه و برای هر دو TS صادق است. همچنین با افزایش محتوی TS نمونه‌ها از یک به دو درصد، اثر بیشترین قدرت دستگاه در دامنه ۱۰ میکرومتر نسبت به دو قدرت دیگر ناچیز است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت نمونه‌ها در TS معادل یک و دو درصد در شکل (۲) ارائه شده است. میزان شکستگی ذرات در TS برابر ۰/۵ درصد بسیار ناچیز بوده و تفاوت چندانی با نمونه شاهد مشاهده نشد.

۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام شد. پس از هر سیکل، بخشی از لجن چهار سیستم (پایلوت اول ۴۰ درصد، دوم ۳۰ درصد، سوم ۲۰ درصد و چهارم ۱۰ درصد) در معرض امواج اولتراسونیک با شرایط بهینه گسیختگی حاصل از بخش اول تحقیق قرار گرفت. سپس لجن گسیخته شده به هر سیستم اضافه شده و پس از طی سیکل ۲۳ ساعته هوادهی (مدت زمان مراحل ته‌نشینی و تخلیه در کل ۱ ساعت بود)، آزمایشات COD و فسفر کل، شاخص حجمی لجن (SVI)، کدورت، TS و VS انجام و با اندازه‌گیری حجم لجن پس از طی زمان ته‌نشینی، میزان تغییرات در حجم لجن با پایلوت پنجم (شاهد) مقایسه شد.

نکته قابل ذکر این که در کلیه مراحل تحقیق، شرایط محیطی $pH=7-8$ و دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس حاکم بود و هوا توسط پمپ آکوارיום به پایلوت‌ها تزریق و اکسیژن محلول در محدوده ۳ تا ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر تنظیم می‌شد. همچنین کلیه پارامترها مطابق کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب [۲۰] با سه بار تکرار اندازه‌گیری می‌شدند. دستگاه اولتراسونیک دارای حداکثر قدرت خروجی ۳ کیلووات و فرکانس حدود ۲۰ کیلوهرتز و شامل هورن از جنس آلومینیوم به قطر ۲ سانتی‌متر بود. اسپکتروفتومتر Perkin Elmer / Lambda EZ 150، ترازوی دیجیتال COD، Metler PJ300 راکتور دیجیتالی DRB 200 Hach، اکسیژن‌متر OXI 45 Crison، کوره Demero F.69، آون استیل دیجیتالی آرا طب فن از دیگر تجهیزات مورد استفاده بودند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر امواج اولتراسونیک بر گسیختگی لجن

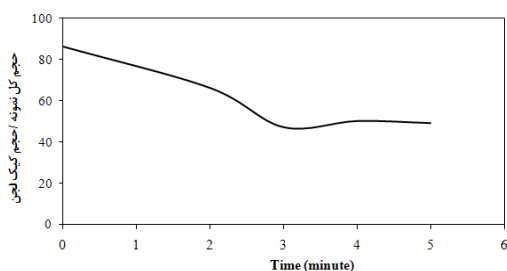
متوسط تغییرات COD در دامنه‌های مختلف در TS معادل یک و دو درصد (به دلیل این که محتوی TS در لجن معمولاً بیشتر از ۰/۵ می‌باشد و به دلیل رقت نمونه‌ها و بیشتر بودن گازهای محلول، احتمال کاویتاسیون در آزمایش امواج و بالا رفتن خطای آزمایش‌ها نتایج مربوط به TS معادل ۰/۵ درصد ارائه نشده است) در شکل (۱) ارائه شده است.

داده که با توجه به نمودار متوسط داده‌ها، بیش‌ترین نیتروژن آلی آزاد شده به محیط محلول در زمان سه دقیقه افتاد است. بنابر این با توجه به دو پارامتر SCOD و نیتروژن آمونیاکی که هر دو جزء محصولات تراوش مواد درون سلولی به درون محلول می‌باشند، TS معادل دو درصد، دامنه هشت میکرومتر و زمان سه دقیقه به عنوان بهترین شرایط حالت گسیختگی انتخاب شدند. Akin [۱۹] نیز در مقایسه TS های دو، چهار و شش درصد به بهترین حالت گسیختگی در TS معادل دو درصد دست یافتند. همچنین Xie و همکاران [۲۱]، طی مطالعاتی که در مقیاس بزرگ بر مخلوط لجن اولیه (حاوی TS برابر یک تا دو درصد) و لجن بیولوژیکی (حاوی TS برابر دو تا چهار درصد) در مخزن تغلیظ تصفیه خانه، در مدت ۱ ماه آزمایش بر روی جریان پیوسته لجن به حدود ۳۰ درصد کاهش لجن رسیدند.

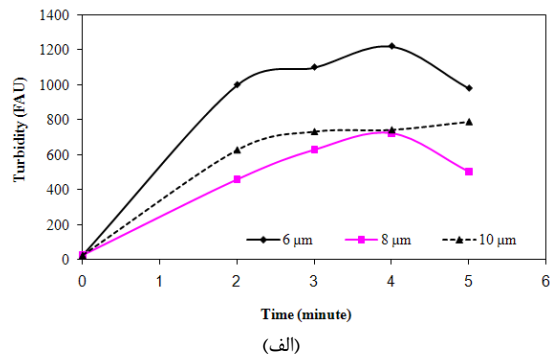
۳-۲- بررسی اثر امواج اولتراسونیک بر کاهش جرم و حجم لجن

طبق شکل (۴)، میزان کاهش حجم لجن در نمونه‌ها بسته به زمان متفاوت بود.

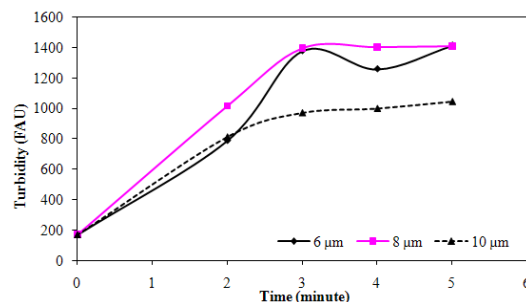
از آن‌جا که در آزمایش‌های انجام شده، تأثیر اصلی امواج از زمان سه دقیقه آغاز شد بیشترین گسیختگی لجن و شکستن ذرات و سلول‌ها و تراوش آب و مواد درون سلولی نیز در این زمان اتفاق افتاد. در زمان سه دقیقه در مقایسه با یک و دو دقیقه افزایش گسیختگی لجن به صورت قابل ملاحظه بود ولی پس از آن در زمان‌های چهار و پنج دقیقه گسیختگی لجن افزایش ناچیزی نسبت به سه دقیقه داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این آزمایشات، حجم کیک لجن در نمونه شاهد معادل ۸۶ درصد از کل نمونه لجن بود که پس از اعمال امواج به ۴۷ درصد رسید. در واقع در شرایط بهینه، حجم کیک لجن به میزان ۴۵ درصد کاهش یافت که در اثر امواج و حباب‌های حاصل از کایتاسیون، توده لجن سبک شده و در سطح آب قرار گرفت (شکل (۵)).



شکل ۴- تغییرات حجم کیک لجن در TS معادل دو درصد و دامنه هشت میکرومتر



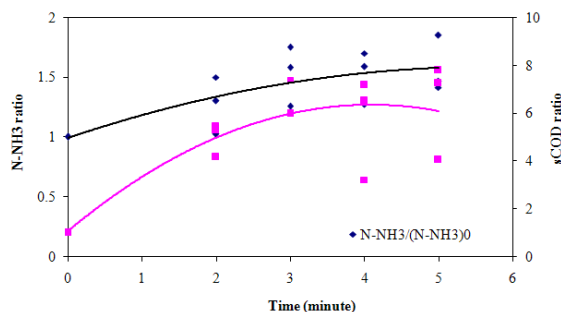
(الف)



(ب)

شکل ۲- متوسط تغییرات کدورت با زمان در دامنه‌های مختلف TS: الف) یک درصد ب) دو درصد

با مقایسه نمودارهای کدورت و SCOD روند به نسبت مشابهی مشاهده می‌شود. البته به دلیل خطا در اندازه‌گیری‌ها در یک تا دو نقطه تفاوت وجود دارد. ولی به طور کلی TS معادل دو درصد در دامنه هشت میکرومتر و TS معادل یک درصد در دامنه شش میکرومتر بیشترین گسیختگی لجن را داشته است. با تکرار آزمایشات، TS معادل دو درصد و دامنه هشت میکرومتر جهت بررسی بیشتر انتخاب و برای اطمینان از بیش‌ترین میزان گسیختگی، غلظت نیتروژن آمونیاکی نیز اندازه‌گیری شد (شکل (۳)).

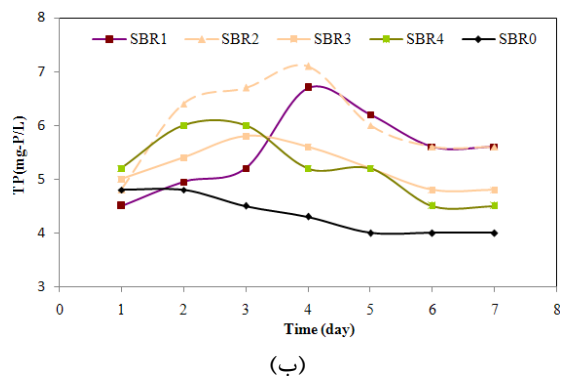
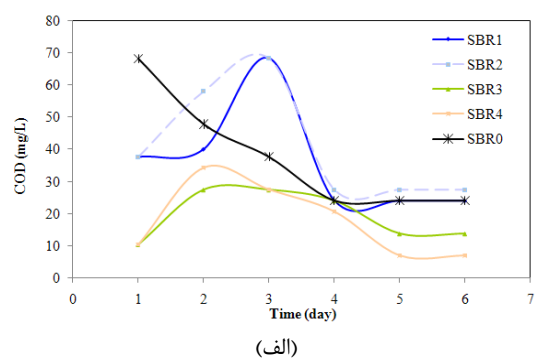


شکل ۳- تغییرات SCOD و NH₃ در زمان‌های مختلف (TS معادل دو درصد و دامنه هشت میکرومتر)

مطابق نتایج حاصل از میان‌یابی تکرار آزمایش‌های بهینه، بیش‌ترین مقدار آزاد شده SCOD در زمان‌های سه و چهار دقیقه رخ

در طی این مدت، در تمام راکتورها در هفته‌های اول، ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش COD مشاهده شد که به تدریج تا انتهای آزمایش‌ها و انطباق سیستم با تغییرات به وجود آمده به حالت اول بازگشت. همچنین تغییرات نامنظمی در میزان فسفر مشاهده شد که در انتهای دوره آزمایش‌ها روند کاهشی داشت. ولی حتی در انتهای آزمایش‌ها نیز مقدار فسفر اندازه‌گیری شده در راکتورهای ۱ و ۲ بیشتر از راکتور شاهد بود (۲۴ درصد افزایش فسفر) که می‌توان دلیل آن را راندمان کم حذف فسفر در سیستم SBR دانست.

حجم لجن ته نشین شده در مدت زمان ته‌نشینی راکتورها در انتهای آزمایش‌ها به ۸۰۰، ۸۷۵، ۷۸۸، ۷۵۰ و ۷۶۵ میلی‌لیتر در روز رسید. به این ترتیب میزان کاهش حجم لجن در راکتورهای ۱ تا ۴ به ترتیب برابر ۹/۸، ۱۲/۴، ۱۱/۸ و ۷/۸ درصد بود. همچنین تغییرات شاخص حجمی لجن (SVI) به ترتیب برابر ۷۸، ۷۶، ۶۹ و ۶۵ میلی‌لیتر بر گرم و برای راکتور شاهد در انتهای آزمایش‌ها برابر ۵۳ میلی‌لیتر بر گرم بود. کدورت در راکتورهای مورد آزمایش هیچ تفاوتی با قبل نداشت.



شکل ۷- متوسط تغییرات: الف) SCOD، ب) فسفر در سیستم-های SBR در مدت زمان انجام آزمایش امواج

طبق نتایج به دست آمده، زمانی که ۲۰ تا ۳۰ درصد لجن تولید شده در معرض امواج قرار گرفته و دوباره به سیستم

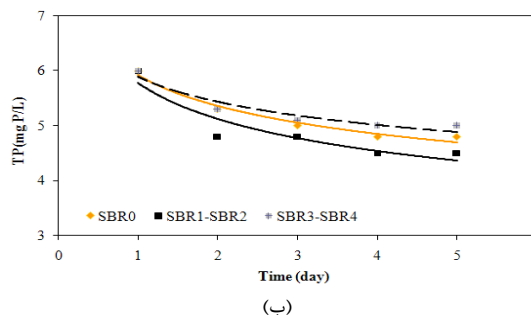
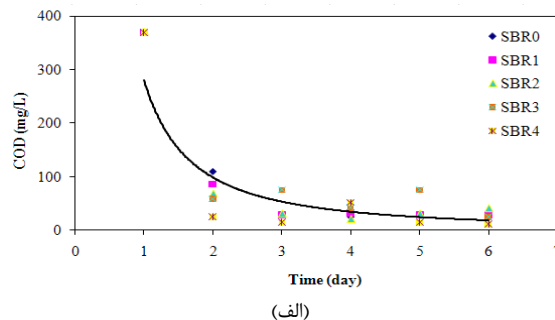


شکل ۵- مقایسه کاهش حجم لجن در آزمایش بهینه با نمونه شاهد

۳-۳- بررسی اثر امواج اولتراسونیک بر تولید لجن در سیستم SBR

در ادامه تحقیق با راه‌اندازی پنج سیستم موازی SBR، تأثیر امواج بر میزان تولید لجن و کیفیت فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. قبل از انجام آزمایش امواج، COD و TP ورودی به سیستم‌ها به ترتیب برابر ۳۷۰ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر بود که در خروجی به طور مشابه به حدود ۲۵-۳۰ و ۴-۵ میلی‌گرم بر لیتر رسید (شکل (۶)). در این مدت، متوسط حجم لجن ته‌نشین شده در راکتورهای شاهد و SBR1 تا SBR4 به ترتیب ۸۳۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۸۰۰، ۹۷۰ میلی‌لیتر بود.

پس از بررسی اولیه، آزمایش امواج در شرایط بهینه به دست آمده از مرحله اول تحقیق صورت گرفت که نمونه تغییرات SCOD و فسفر در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۶- متوسط تغییرات: الف) SCOD، ب) فسفر در سیستم-های SBR قبل از آزمایش امواج

- Mass of Waste Activated Sludge", *Journal of Applied Sciences Research*, 2008, 4 (2), 122-127.
- [5] Muz, M., Ak, M. S., Komesli, O. T., Gökçay C. F., "Intermittent Ozone Application in Aerobic Sludge Digestion", *The Journal of the International Ozone Association*, 2013, 36 (1), 57-64.
- [6] Neyens, E., Baeyens, J., "A Review of Thermal Sludge Pre-Treatment Processes to Improve Dewaterability", *Journal of Hazardous Materials*, 2003, 98 (1-3), 51-67.
- [7] Vlyssides, A. G., Karlis, P. K., "Thermal-Alkaline Solubilization of Waste Activated Sludge as a Pre-Treatment Stage for Anaerobic Digestion", *Bioresource Technology*, 2004, 91 (2), 201-206.
- [8] Elissen, H. J. H., "Sludge Reduction by Aquatic Worms in Wastewater Treatment with Emphasis on the Potential Application of *Lumbriculus Variegatus*", PhD Thesis, Wageningen University, Netherlands, 2007.
- [9] Buys, B. R., Klapwijk, A., Elissen, H., Rulkens, W. H., "Development of a Test Method to Assess the Sludge Reduction Potential of Aquatic Organisms in Activated Sludge", *Bioresource Technology*, 2008, 99, 8360-8366.
- [10] Song, B., Chen, X., "Effect of *Aeolosoma Hemprichi* on Excess Activated Sludge Reduction", *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 162, 300-304.
- [11] Wang, Z., Yu, H., Ma, J., Zheng, X., Wu, Z., "Recent Advances in Membrane Bio-Technologies for Sludge Reduction and Treatment", *Biotechnol Advances*, 2013, 31 (8), 1187-99.
- [12] Li, Z., Tian, Y., Ding, Y., Lu, Y., "Systematic Analysis of Biomass Characteristics Associated Membrane Fouling During Start-Up of A Hybrid Membrane Bioreactor using Worm Reactor for Sludge Reduction", *Bioresource Technology*, 2013, 136, 155-162.
- [13] Lajapathi, C. R., Stuenkelmann, G., Mueller J., Gangadharrao, R. P., "Influence of Ultrasonic Disintegration on Sludge Growth Reduction and Its Estimation by Respirometry", *Environmental Science and Technology*, 2004, 38 (22), 5779-5785.
- [14] Na, S., Kim, Y. U., Khim, J., "Physicochemical Properties of Digested Sewage Sludge with Ultrasonic Treatment", *Ultrasonic Sonochemistry*, 2007, 14 (3), 281-285.
- [15] Zhang, G., Zhang, P., Yang, J., Chen, Y., "Ultrasonic Reduction of Excess Sludge from

بازگردانده شد، حدود ۱۱ تا ۱۳ درصد کاهش تولید لجن در مدت یک ماه از انجام آزمایش‌ها اتفاق افتاد. Minervini [۲۲] در کاربرد امواج در خط برگشت لجن فرایند لجن فعال با نسبت ۱۲/۵ درصد و وارد نمودن انرژی معادل ۲۴ تا ۱۶۸ کیلوژول بر لیتر به کاهش لجن معادل ۹/۴ تا ۱۷/۲ درصد و آزادسازی SCOD معادل ۱۱ تا ۳۶ درصد در فاضلاب خروجی دست یافت.

۴- نتیجه‌گیری

با کاربرد امواج اولتراسونیک با دامنه هشت میکرومتر در نمونه حاوی TS معادل دو درصد پس از سه دقیقه، کاهش ۴۵ درصدی حجم لجن حاصل شد. در سیستم SBR اگرچه کاهش حجم لجن خیلی مقبول نبود (حداکثر ۱۳ درصد کاهش تولید لجن)، ولی می‌توان در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی آبیگری لجن را تا حد قابل قبولی بهبود بخشید که کمک بزرگی به فرایند تصفیه لجن است. هر چند که در این تحقیق به دلیل مشکلاتی که در استفاده از دستگاه اولتراسونیک وجود داشت، مدت زمان آزمایش‌ها محدود بود، اما نتیجه به نسبت مطلوبی به دست آمد که مسلماً با ادامه یافتن آزمایش‌ها در مدت زمان بیشتر نرخ کاهش تولید لجن افزایش می‌یابد.

به طور کلی، روش امواج اگرچه مصرف انرژی و هزینه نسبتاً بالایی دارد، ولی به دلیل سادگی کاربرد و راهبری و راندمان مناسب می‌تواند روش مناسبی برای کاهش حجم لجن باشد ضمن این که کاربرد هم‌زمان امواج اولتراسونیک در خط برگشت و هم در مخزن تغلیظ لجن، راندمان مناسبی در کاهش لجن را در پی خواهد داشت.

۵- مراجع

- [1] Bukuru, G., Jian, Y., "Synchronous Municipal Sewerage-Sludge Stabilization", *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17 (1), 59-61.
- [2] Riedel, Jr. D. J., "An Investigation into the Mechanisms of Sludge Reduction Technologies", MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, US, 2009.
- [3] Kamiya, T., Hirotsuji, J., "New Combined System of Biological Process and Intermittent Ozonation for Advanced Wastewater Treatment", *Water Science and Technology*, 1998, 38 (8-9), 147-153.
- [4] Moussavi, G., Asilian, H., Jamal, A., "Effect of Ozonation on Reduction of Volume and

- the Activated Sludge System", *Journal of Hazardous Material*, 2007, 145 (3), 515-519.
- [16] Yan, Y., Feng, L., Zhang, C., Zhu, H., Zhou Q., "Effect of Ultrasonic Specific Energy on Waste Activated Sludge Solubilization and Enzyme Activity", *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9 (12), 1776-1782.
- [17] Tiehm, A., Nickle, K., Nies, U., "The Use of Ultrasound to Accelerate the Anaerobic Digestion of Sewage Sludge", *Water Science and Technology*, 1997, 36 (11), 121-128.
- [18] Cheeke, J. D. N., "Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves", CRC Press, US, 2002,
- [19] Akin, B., "Waste Activated Sludge Disintegration in an Ultrasonic Batch Reactor", *Clean Soil, Air, Water*, 2008, 36 (4), 360-365.
- [20] APHA, AWWA, WEF, "Standard Method for Examination of Water and Wastewater", 21st Edition, Washington DC, US, 2005.
- [21] Xie, R. J., Xing, Y. J., Ghani Yahya, A., Ooi, K. E., Ng, S. W., "Ultrasonic Disintegration Technology in Improving Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Under Tropic Conditions", 10th European Biosolids and Biowaste Conference, Wakefield, UK, 13-16 November, 2005.
- [22] Minervini, D., "The Potential of Ultrasound Treatment for Sludge Reduction", PhD Thesis, Cranfield University, UK, 2008.

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the Capability of Ultrasonic Method in Sludge Mass and Volume Reduction from Wastewater Treatment Plants

Samaneh Pashazanousi , Bita Ayati * , Hossein Ganjidoust

Civil and Environment Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 03 December 2014; **Accepted:** 02 June 2015

Keywords:

Sludge disintegration, TSS, sCOD, SBR

1. Introduction

Ultrasonic disintegration is a well-known method for disrupting microbial cells to release intracellular material [1]. Ultrasound is a pressure wave that propagates through a medium with a vast amount of energy dissipation. Gas and vapor bubbles are generated, then grow and collapse violently at high velocity (termed “acoustic cavitation”) [2]. Important parameters affecting the ultrasonic disintegration include power input, TS content, sonication time and sludge volume. These parameters are clumped together into a single parameter, commonly known as the “specific energy input”. It can be calculated using the following expression [3]:

$$E=P.t/V.TS \quad (1)$$

where E is specific energy input (kWs/gTS), P is the power input (W, depending on the amplitude), t is the sonication time (s), V is the volume of sludge used for sonication (mL), and TS is the total solids content of the sludge (g/L). Main lysis production due to ultrasonic disintegration is SCOD, protein and N-NH₃ [4-6]. COD released rate can be estimated from Eq. (2) where DD is disintegration degree, $SCOD_i$ and $SCOD_f$ are soluble COD of sample before and after ultrasound test, and $TCOD$ is total COD of sample before test [7]:

$$DD= (SCOD_f-SCOD_i)/(TCOD_i-SCOD_i) \quad (2)$$

In this study, ultrasound in different time duration and amplitude was applied on sludge samples containing different TS concentration to investigate the best disintegration and waste sludge production rate in Sequencing Batch Reactors (SBRs) in bench scale.

2. Materials and method

2.1. Disintegration experiments

Disintegration of sludge samples with different TS content was investigated by a probe ultrasonic system in laboratory scale including aluminum horn with 2 cm diameter. Maximum power and frequency have been 3 kW and 20 kHz, respectively. Experiments in three amplitudes of max power (6, 8 and 10 μ m) with different TS containing 0.5, 1 and 2 percent were performed. Sonic time for each amplitude and TS concentration was 0 (for control), 120, 180, 240 and 300 seconds. Important lab equipments include COD reactor Model DRB200 (Hach), Spectrophotometer Model EZ Lambda150 (Perkin Elmer), Spectrophotometer Model DR4000 (Hach), Sonic 9908 aeration pump and Oven Model Demro. The optimum disintegration of sludge was considered from released COD and NH₄-N because both of them are lysis production.

2.2. SBR experiments

In the next step, five SBRs with 3 liters volume were used for sonic experiments. The process cycle in SBRs was

* Corresponding Author

E-mail addresses: samanehzanoos@yahoo.com (Samaneh Pashazanousi), ayati_bi@modares.ac.ir (Bita Ayati), h-ganji@modares.ac.ir (Hossein Ganjidoust).

24-hr so that 23 hr for aeration and 1 hr for sedimentation and depletion. Dissolve oxygen was measured by HACH DO meter to adjust it in range of 3 to 3.5 mg/L. Waste sludge used for sonication tests was 10, 20, 30 and 40 percent of total sludge produced rem in SBR4, SBR3, SBR2 and SBR1 respectively. So sludge samples was exposed to ultrawave under optimum condition obtained in the first stage, then returned to the SBR reactors again. Therefore, the effect of ultrawave on parameters such as COD and phosphorous concentration and also sludge production rate was considered.

3. Results and discussion

3.1. Optimum sludge disintegration

According to the results of experiments maximum disintegration occurred in *TS* content of 1 and 2 percent and sonication time of 4 and 3 minute, respectively. The consideration of the effect of *TS* concentration on sludge disintegration showed in *TS* content of 2% always more COD released. According to the Eq. (2), maximum sCOD released in *TS* 1% was 3.5 in 4 minutes whereas in *TS* content of 2% was 4.1 in 3 minutes.

3.2. $N-NH_3$ released consideration

Fig. 1 shows the max $N-NH_3$ releasing occurred in 3 minutes. Hence, the best disintegration occurred in *TS* content, sonication time and amplitude of 2%, 3 minutes and 8 μm , respectively.

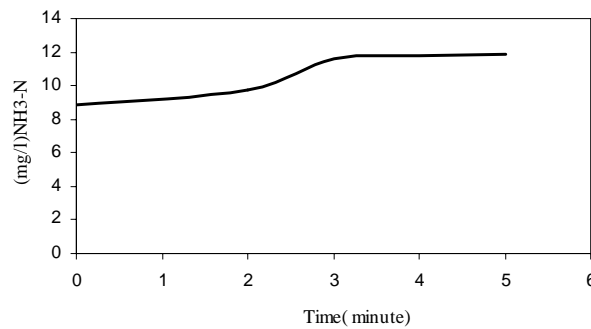


Fig. 1. $N-NH_3$ released after sonication in *TS*=2%

3.3. Sludge volume reduction

Fig. 2 shows change of specific energy in the best disintegration test by sCOD released. In optimum condition, specific energy from Eq. (1), was 12.5 kW.h/kg and energy density was 900 kJ/L. Sludge volume reduction shown in Fig. 3 compared to the blank sample.

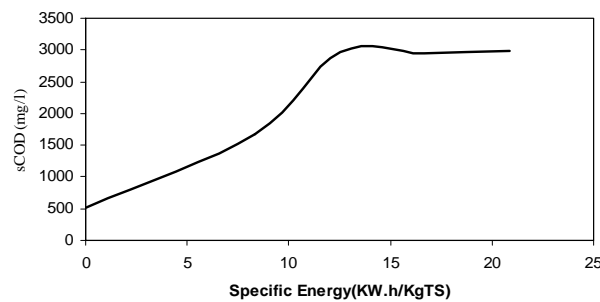


Fig. 2. Specific energy in optimum disintegration condition in *TS*=2%



Fig. 3. Sludge volume reduction in optimum condition

In amplitude of 8 μm (1500 W), sonication time of 3 minute and *TS* content of 2% sludge cake volume was 47 percent of whole volume while in blank sample was 86 percent of it. It means in the best disintegration, 45% sludge volume reduction occurred.

3.4. Sludge reduction rate in SBRs

After 1 month operation of SBRs, ultrawave test with the optimum disintegration was performed in 10, 20, 30 and 40 percent of all sludge produced in SBR4, SBR3, SBR2 and SBR1, respectively. Fig. 4 and 5 show effluent COD and TP concentration change after ultrawave test. At the end of tests SVI was measured, its amount in reactors 1 to 4 was 78, 76, 69, and 65, respectively. In this stage of examinations, average sludge generated in SBR1 to SBR4 was 875, 788, 750 and 765 mL, in order, and sludge reduction rate was 9.6, 12.4, 11.7 and 7.7, respectively. The amount of turbidity in all reactors had no change after tests.

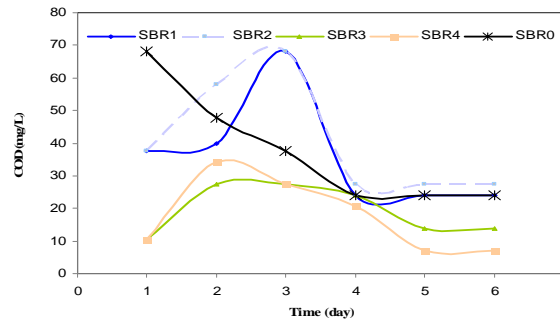


Fig. 4. Effluent COD of reactors after ultrasonic test

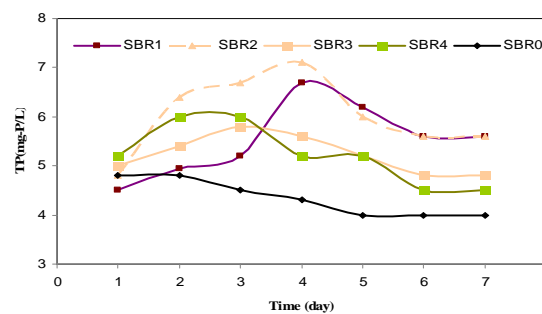


Fig. 5. Effluent TP of reactors after ultrasonic test

4. Conclusions

In this study, the effects of ultrasound on the sludge disintegration, its volume reduction and production rate in SBR system were investigated. The variables were specific supplied energy as sonication energy, time duration, and sludge volume. The experiment results showed SCOD releasing increased by sonication energy and dewater ability of sludge was considerably improved by ultrasonic treatment. As a result, both sludge volume and mass decreased, too. Furthermore, in 900 kJ/L of E_v and TS content of 2%, the characteristics of treated sludge changed rapidly and the best disintegration occurred and sludge volume reduced by 45%.

5. References

- [1] Na, S., Kim, Y. U., Khim, J., "Physiochemical Properties of Digested Sewage Sludge with Ultrasonic Treatment", *Ultrasonic Sonochemistry*, 2007, 14 (3), 281-285.
- [2] Zhao, Q., Kgel, G., "Thermophilic Mesophilic Digestion of Sewage Sludge and Organic Waste", *Journal of Environmental Science & Health*, 1997, 31, 2211-2231.
- [3] Tiehm, A., Nickle K., Nies, U., "The Use of Ultrasound to Accelerate the Anaerobic Digestion of Sewage Sludge", *Water Science and Technology*, 1997, 36 (11), 121- 128.
- [4] Bougrier, C., Albasi C., Delgenes J.P., Carrere H., "Effect of Ultrasonic, Thermal and Ozone Pre-treatments on Waste Activated Sludge Solubilisation and Anaerobic Biodegradability", *Chemical Engineering and Processing*, 2006, 45, 711-718.
- [5] Show, K. Y., Mao, T., Lee, D. J., "Optimization of Sludge Disruption by Sonication", *Water Research*, 2007, 41, 4741-4747.
- [6] Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M., Neis, U., "Ultrasonic Waste Activated Sludge Disintegration for Improving Anaerobic Stabilization", *Water Research*, 2001, 35, 2003-2009.
- [7] Riedel, Jr. D. J., "An Investigation into the Mechanisms of Sludge Reduction Technologies", MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, US, 2009.