محیط شناسی، سال سی و هشتم، شمارهٔ ۶۲، تابستان ۹۱، صفحهٔ ۸۹-۹٤

بررسی تأثیر امواج اولتراسونیک بر بهبود فرایند تثبیت و آبگیری لجن هاضم‌های بی هوازی

مهدی کارگر[۱]، امیر حسین محوی[۲*]

۱-مربی مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی گلستان mahdikargar1@gmail.com

۲-استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت : ۸۹/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۱

چکیده

در تصفیهٔ بیولوژیکی فاضلاب مقدار بسیار زیادی لجن تولید می‌شودکه بسیار فساد پذیر است و باید تثبیت شود. فرایند هاضم بی هوازی یک تکنیک استاندارد تثبیت است. به دلیل محدودیت در مرحلهٔ هیدرولیز بیولوژیکی لجن ، تجزیهٔ بی‌هوازی کند بوده و به زمان طولانی نیاز داشته زمان ماند معمول ۲۰ روز یا بیشتر است. با توجه به این‌که امواج اولتراسونیک به دلیل افزایش دادن فعالیت آنزیم‌ها می‌تواند زمان مرحلهٔ هیدرولیز که عامل محدود کنندهٔ در هاضم‌ها است را کم کند. در نتیجه این تحقیق با هدف تأثیر امواج اولتراسونیک بر تثبیت و آبگیری لجن هاضم‌های بی‌هوازی و هضم سریع‌تر لجن و کم کردن هزینه‌ها طراحی شده است. در این بررسی نمونه‌های لجن هاضم بی‌هوازی لجن تصفیه‌خانه جنوب تهران تحت دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۱ کیلوهرتز و مدت زمان‌های مختلف شامل ۱۵ ، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه قرار داده شد و آزمایش‌های کل جامدات، جامدات فرار، pH ، دما، COD کل ، COD محلول و جامدات قابل ته نشینی انجام شد. نتایج نشان داد که امواج اولتراسونیک باعث افزایشCOD محلول و دما شده و باعث کاهش جامدات فرار ، pH و جامدات قابل ته نشینی می‌شود. میزان کاهش جامدات فرار در فرکانس ۳۵ kHz در زمان‌های ۱۵،۳۰،۶۰،۹۰ به ترتیب ۴۰ ، ۲۹/۳، ۳۹/۷ و ۴۶/۲ درصد و در فرکانس ۱۳۱ به ترتیب ۴۵/۴ ،۱۲/۷۶ ، ۳۰/۵۵ و ۱۸/۳۴ درصد بود. میزان کاهش جامدات قابل ته‌نشینی در فرکانس ۳۵ و مدت زمان ۱۵ دقیقه افزایش و در بقیه زمان‌های صوت دهی کاهش یافت. کاهش جامدات فرار با امواج اولتراسونیک در فرکانس ۱۳۱ kHz نسبت به فرکانس ۳۵ کیلوهرتز بیشتر است و بیشترین کارایی کاهش جامدات فرار در مدت ۱۵ دقیقه و فرکانس ۱۳۱ بوده است.

کلید واژه

هاضم بی هوازی، آبگیری، تثبیت، امواج اولتراسونیک

سرآغاز

در تصفیهٔ بیولوژیکی فاضلاب مقدار بسیار زیادی بیوسالید (لجن فاضلاب[۱]) تولید می‌شود.این لجن بسیار فساد پذیر است (Nickel, et al., 2007). لجن اولیه بسیار فسادپذیر، بدبو،خاکستری و ۷۰-۶۰ درصد آن جامدات آلی فرار است. لجن ثانویه قهوه‌ای رنگ، بدون بو و بیشتر جرم میکربی و با ۷۰-۸۰ درصد جامدات آلی فرّار است. لجنی که با این مشخصات تولید می‌شود مشکلاتی کمتر از خود فاضلاب ندارد (منزوی ، ۱۳۸۳؛ ابریشم‌چی ، ۱۳۷۸). بنابراین برای دفع و استفاده ایمن باید تثبیت شود(Nickel, et al., 2007). در تصفیه خانه‌های بزرگ مقدار لجن تولیدی زیاد است، بنابراین قبل از دفع باید عملیاتی روی آن صورت گیرد و تا جایی‌که امکان دارد آبگیری شده و جامدات فرار آن کاهش یابد. فرایندهایی که بر روی لجن قبل از دفع انجام می‌شود شامل تغلیظ برای آبگیری و تثبیت برای کاهش مواد آلی فرار است (منزوی، ۱۳۸۳). آبگیری از لجن موجب کاهش هزینه‌های گزاف حمل و دفع لجن می‌شود. متداول‌ترین روشهای آبگیری استفاده از انواع فیلترها، سانتریفوژها و بسترهای لجن خشک کن است (تاروردیزاده،۱۳۹۰).

تصفیه لجن و دفع آن در حال حاضر یکی از مهمترین چالش‌های تکنیکی بوده و بیش از ۵۰ درصد ازکل هزینه پایه و بهره برداری فرایند تصفیه فاضلاب را در بر دارد (Zhang, et al.,2007). برای تثبیت لجن از فرایند هضم با هاضم‌های

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳۲۱۱۸۲۷ ahmahvi@yahoo.com

بیولوژیکی استفاده می‌شود. هضم لجن به دو صورت هوازی و بی‌هوازی انجام می‌شود. در روش هوازی چون لجن هوادهی می‌شود سریع‌تر هضم می‌شود ولی به دلیل هزینهٔ زیاد به‌منظور تأمین انرژی و هوادهی برای تصفیه خانه‌های بزرگ با مقادیر بالای لجن مناسب نیست (منزوی، ۱۳۸۳).

هضم بیهوازی یکی از قدیمی‌ترین فرایندهای مورد استفاده در تثبیت لجن است. این فرایند شامل تجزیهٔ مواد آلی و غیر آلی فرار بدون حضور اکسیژن مولکولی است. کاربرد اصلی این فرایند، تثبیت لجن‌های غلیظ حاصل از تصفیهٔ فاضلاب و نیز تصفیهٔ برخی از مواد زاید صنعتی است (Metcalf & Eddy, 2003). فرایند هاضم بی‌هوازی تکنیک استاندارد تثبیت است.

به دلیل محدودیت در مرحله هیدرولیز بیولوژیکی لجن ، تجزیه بی‌هوازی فرایندی کند بوده و به تعداد زیادی تخمیرکننده نیاز دارد زمان معمول هضم ۲۰ روز یا بیشتر است. میزان تجزیهٔ مواد آلی بین ۲۵ تا ۶۰ درصد متغیر است (Nickel, et al., 2007).

فرایند هضم بی‌هوازی به طور وسیعی از ۲۰ سال پیش مورد استفاده قرار گرفته و روشهای مختلفی برای بهبود فرایند پیشنهاد شده است.

تحقیقات نشان می‌دهد برای بهتر شده هیدرولیز درفرایند هضم بی هوازی از روشهای زیر می‌توان استفاده کرد:

۱- پیش تصفیه حرارتی؛

۲- کاربرد مواد شیمیایی؛

۳- تجزیه مکانیکی لجن؛

۴- هضم سلول با امواج اولتراسونیک که این روش در سالهای اخیر درآزمایشگاه بیوتکنولوژی به کار گرفته شده است؛ (Nickel, et al., 2007).

مزیت‌های پیش تصفیه با اولتراسوند به شرح زیر است:

- طراحی متراکم و بروز در آوردن در سیستم موجود؛
- هزینهٔ کم و بهره‌برداری بهینه در مقایسه با سایر روشهای پیش تصفیه؛
- تولید منبع کربن در محل برای تأسیسات دنیتریفیکاسیون؛
- اتوماسیون کامل فرایند؛
- نیروی کنترل بالکینگ فیلامنتوس و کف در هاضم ها؛
- پایداری بهتر هاضم؛
- بهبود تخریب جامدات فرار و تولید بیوگاز؛
- بهتر شدن قابلیت آبگیری لجن؛
- بهبود کیفیت بیوسالیدها (برای نمونه بیوسالید با باقیماندهٔ کم مواد قابل تجزیه بیولوژیک آلی، کاهش تعداد پاتوژنها و ...) (Harrison,et al.,1994; Tiehm, et al., 2003; Hogan, et al., 2004; Yin, et al., 2004; Sandino, et al.,2005).

استفاده از فرایند اولتراسونیک برای تجزیهٔ آلاینده‌ها در آب و فاضلاب یکی از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته[۲] (AOP) است و به عنوان فناوری کارامد پیشرفته در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی محیط به منظور حفظ محیط زیست از آلاینده ها و به عنوان تکنولوژی کلیدی برای آینده در جهان مورد توجه قرار گرفته است (Lifka, et al., 2003).

از سال ۱۹۵۴ مطالعات تجربی و آزمایشگاهی نشان داد که انتشار امواج اولتراسونیک در آب و فاضلاب منجر به حذف آلاینده‌های آلی می‌شود.به دلیل تولید رادیکال‌های OH^o از طریق کاویتاسیون اکوستیک، اولتراسونیک فرایند اکسیداسیون پیشرفته است و منجر به برش همولیتیک مولکول در آب می‌شود (Petrier, et al., 2010).

این فرایند بتنهایی و به طور مستقیم، یا غیرمستقیم و به همراه سایر روشهای دیگر مانند ازناسیون و اشعه ماورای بنفش (UV) و ... به منظور تجزیهٔ آلاینده‌های مثل ترکیبات آلی فرار ، ترکیبات آلی کلره، ترکیبات بنزن، متیل ترشیاری بوتیل اتر ، سموم آلی، تری هالومتان ها و ... بسیار کارامد بوده و منجر به دستیابی نتایج بهتری در مقایسهٔ با کاربرد مجزای هرکدام از روشها می‌شود (Hoffman, et al.,1996; Lifka, et al., 2003). اولتراسوند برای تخریب سلول‌های بیولوژیکی برای بازیابی مواد داخل سلولی در دهه‌های گذشته استفاده شده است (Harrison,et al.,1994;) .

یافته‌های جدید ، افزایش کاربرد آن را در تجزیه لجن شهری در مقیاس کامل و همچنین تأثیر آن بر هیدرولیز و بهبود توانایی تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی فاضلاب‌های مختلف از جمله صنایع لبنی، کاربرد آن در بهبود هضم هوازی لجن حاصل از فرایند لجن فعال نشان می‌دهد (مهرداد،۱۳۹۰؛ زاهدی،۱۳۸۷).

تجزیهٔ اولتراسونیک فرایندی فیزیکی است و بنابراین هرگز مواد ثانویه سمی تولید نمی کند. افزون بر آن برای تجزیهٔ فیزیکی لجن، مواد سمی زیاد و آلاینده آلی مقاوم مثل ترکیبات آروماتیک ، ترکیبات کلرینه آلیفاتیک، سورفاکتانت‌ها، رنگهای الی و... نیز به فرم‌های ساده‌تر شکسته می‌شود.

این به دلیل تولید رادیکال‌های بسیار اکسیداتیو ری اکتیو (OH^o) ، هیدروژن (H^o) و هیدروپروکسیل (OH_2^o) و هیدروژن

پروکساید (H_2O_2) در طول پیش تصفیه با اولتراسونیک است که منجر به شکسته شدن اکسیداتیو ترکیبات مقاوم می‌شود (Adewuyi, 2001).

پیش تصفیه با اولتراسونیک دارای چند چالش نیز است. یکی از مهمترین مسائل، هزینهٔ بالای سرمایه گذاری و بهره برداری واحدهای اولتراسونیک است.

با توجه به مطالب عنوان شده و زمان ماند زیاد در فرایند بی‌هوازی و مشکلات آبگیری لجن درتصفیه خانه نیاز به کاربرد روشهایی برای کاهش زمان ماند و رفع محدودیت‌ها و در نتیجه کم کردن هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری است.

امواج اولتراسونیک به دلیل افزایش دادن فعالیت آنزیم‌ها می‌تواند زمان مرحله هیدرولیز را که عامل محدود کننده در هاضم‌هاست کم کند، درنتیجه باعث کاهش زمان ماند می‌شود. بنابراین این تحقیق با هدف تأثیر امواج اولتراسونیک بر تثبیت و آبگیری لجن هاضم بی‌هوازی و هضم سریع تر لجن و کم کردن هزینه‌ها طراحی شده است.

مواد و روشها

در این بررسی از لجن هاضم بی هوازی تصفیه خانه جنوب تهران برای انجام مطالعه استفاده شد. تعداد نمونه‌ها ۲۰ نمونه از هاضم بوده و هر هفته دو نمونه گرفته شد.

نمونه های لجن به آزمایشگاه شیمی دانشکدهٔ بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران منتقل شده و مورد بررسی قرار گرفتند. از دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۱ کیلوهرتز امواج اولتراسونیک و از راکتور بسته به حجم ۳۰۰ میلی لیتر استفاده شد. هرکدام از راکتورها با چهار مدت زمان مختلف شامل ۱۵ ، ۳۰ ، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در معرض هر کدام از امواج اولتراسونیک قرار گرفتند.

بر روی نمونه‌های خام و نمونه‌های تحت امواج اولتراسونیک آزمایش‌های کل جامدات، جامدات فرار[۳] (VS)، pH ، دما، CODکل و محلول و جامدات قابل ته نشینی انجام شد. برای انجام آزمایش‌های جامدات از روش ۲۵۴۰ و برای انجام آزمایش COD از روش ۵۲۲۰C و ۵۲۲۰D و آزمایش جامدات قابل ته نشینی از روش ۲۵۴۰E استاندارد متد استفاده شد (APHA, 1992).

جدول شمارهٔ (۱): میانگین پارامترهای اندازه گیری شده از هاضم بی هوازی تصفیه خانه فاضلاب جنوب و نمونه های صوت دهی شده

نمونه / پارامتر	TS(mg/L)	VS(mg/L)	COD(mg/L) کل	COD(mg/L) محلول	pH	جامدات قابل ته نشینی در ۲۵۰ سی سی	دما
نمونه لجن خام	۳۴۰۸/۵	۱۳۴۳/۵	۸۰۰۰	۲۹۲/۵	۷/۱۴	۵۶/۵	۱۹/۶
۱۵ دقیقه در فرکانس ۳۵	۳۵۰۹/۵	۸۰۲/۵	۷۷۷۵	۴۲۷/۵	۷/۰۷	۶۰	۲۲/۹
۳۰ دقیقه در فرکانس ۳۵	۵۸۹۱/۵	۹۴۹/۵	۶۷۲۵	۴۵۵	۶/۹۹	۵۵	۲۴/۱
۶۰ دقیقه در فرکانس ۳۵	۳۲۸۹	۸۱۰	۶۶۵۰	۵۱۰	۶/۹۵	۵۰/۵	۲۸
۹۰ دقیقه در فرکانس ۳۵	۳۱۷۵	۷۲۳	۷۸۲۵	۷۰۰	۶/۹۰	۵۲	۳۰/۵
۱۵ دقیقه در فرکانس ۱۳۱	۳۴۱۰	۷۳۳	۷۰۷۵	۴۱۰	۷/۰۱	۵۴/۵	۲۴/۹
۳۰ دقیقه در فرکانس ۱۳۱	۳۵۰۰	۱۱۷۲	۷۵۲۵	۳۷۵	۶/۹۲	۵۳	۲۶/۴۵
۶۰ دقیقه در فرکانس ۱۳۱	۳۳۳۳/۰۵	۹۳۳	۸۷۵۰	۴۸۰	۶/۹۴	۵۲/۵	۲۸/۶
۹۰ دقیقه در فرکانس ۱۳۱	۳۵۰۳/۵	۱۰۹۷	۷۲۷۵	۴۳۵	۶/۹۱	۵۲/۵	۳۰/۴۵

جدول شمارهٔ (۲): درصد کاهش جامدات فرار در نمونه های لجن در هاضم بی هوازی در زمانهای مختلف صوت دهی

هاضم بی‌هوازی فرکانس ۳۵	درصد کاهش جامدات فرار
۱۵ دقیقه	۴۰
۳۰ دقیقه	۲۹/۳
۶۰ دقیقه	۳۹/۷
۹۰ دقیقه	۴۶/۲
هاضم بی‌هوازی فرکانس ۱۳۱	درصد کاهش جامدات فرار
۱۵ دقیقه	۴۵/۴
۳۰ دقیقه	۱۲/۷۶
۶۰ دقیقه	۳۰/۵۵
۹۰ دقیقه	۱۸/۳۴

یافته ها

با توجه به آزمایش‌ها انجام شده، میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های لجن خام و لجن صوت دهی شده با امواج اولتراسونیک در فرکانسهای ۳۵ و ۱۳۱ کیلوهرتز در چهار زمان مختلف در هاضم بی‌هوازی تصفیه خانهٔ جنوب تهران در جدول شمارهٔ (۱) و میزان کاهش جامدات فرّار در زمان‌های مختلف در جدول شمارهٔ (۲) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

در این بررسی برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن شیمیایی کل، نمونه‌ها ۱۰ برابر رقیق شدند و برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن مورد

نیاز شیمیایی محلول نمونه‌ها صاف شده و بدون رقیق سازی اندازه‌گیری شدند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول پس از صوت دهی در هر دو فرکانس، ۳۵ و ۱۳۱ کیلوهرتز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در جدول شمارهٔ (۱) نشان داده شده است میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کل در نمونه لجن خام بالا بوده و با صوت دهی در هر دو فرکانس مقداری کاهش می‌یابد.

میزان جامدات فرآر با توجه به امواج اولتراسونیک و فرکانس آن و همچنین مدت زمان صوت‌دهی کاهش می‌یابد. این میزان کاهش در امواج اولتراسونیک، ۳۵ کیلوهرتز نسبت به امواج ۱۳۱ کیلوهرتز بیشتر است.

در فرکانس ۳۵ در مدت زمان ۹۰ دقیقه بیشترین کاهش در جامدات فرار، حدود ۴۶/۲ درصد و در فرکانس ۱۳۱ در مدت زمان ۱۵ دقیقه میزان کاهش جامدات فرآر، ۴۵/۴ درصد بوده است که این با نتایج مطالعهNickel که در سال ۲۰۰۷ در آلمان انجام شده و همچنین با نتایج مطالعهZhang در چین در سال ۲۰۰۷ انجام شد مطابقت دارد (Nickel, et al., 2007; Zhang, et al.,2007; Hui .(Yu, et al., 2008

میزان دما در صوت دهی به دلیل ایجاد حرارت با امواج اولتراسونیک افزایش می‌یابد. این افزایش با مدت زمان و فرکانس مرتبط است. میزان افزایش دما در مدت زمان بیشتر صوت دهی بیشتر است یعنی بیشترین افزایش دما در مدت زمان ۹۰ دقیقه و کمترین در مدت زمان ۱۵ دقیقه بوده است. همچنین میزان افزایش دما در فرکانس ۱۳۱ تا اندازه‌ای بیشتر از فرکانس ۳۵ کیلوهرتز بوده است. میزان pH برعکس دما با صوت دهی کاهش می‌یابد.

میزان کاهش pH نیز با فرکانس و مدت زمان صوت دهی متناسب است.در مدت زمان بیشتر و فرکانس بیشتر، میزان کاهش pH بیشتر است. میزان کاهش pH به علت افزایش درجهٔ حرارت در اثر امواج اولتراسونیک است.

میزان جامدات قابل ته‌نشینی در قیف ایمهاف با میزان ۲۵۰ سی سی در مدت زمان ۳۰ دقیقه برای هر دو فرکانس و هر چهار مدت زمان صوت دهی ، نمونه اندازه‌گیری شد. میزان جامدات قابل ته نشینی با صوت دهی به جز در مدت زمان ۳۰ دقیقه در فرکانس ۳۵ کیلو هرتز در بقیه موارد کاهش یافت.

میزان کاهش جامدات قابل ته نشینی با توجه به جامدات مایع مخلوط یکسان ایجاد لجن فشرده تر و آبگیری بهتر در فرکانس ۱۳۱ کیلوهرتز نسبت به فرکانس ۳۵ کیلوهرتز بیشتر بود که این با نتایج مطالعه Seungmin Na که در کرهٔ جنوبی در سال ۲۰۰۶ انجام شد مطابقت دارد (Na, et al., 2007).

نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد امواج اولتراسونیک موجب افزایش میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول و دما شده و باعث کاهش جامدات فرار، pH و جامدات قابل ته نشینی لجن می‌شود.

کاربرد امواج اولتراسونیک در فرکانس ۱۳۱ کیلوهرتز در مدت زمان کمتر، برای کاهش جامدات فرار و افزایش توانایی آبگیری لجن مؤثرتر از فرکانس ۳۵ کیلوهرتز است و بیشترین کارایی را در مدت زمان ۱۵ دقیقه و فرکانس ۱۳۱ کیلوهرتز داشته است. بهبود هضم می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌ها به وسیله تابش اولتراسونیک بوده که باعث تغییر پروتئین پلی ساکارید و آنزیم‌های خارج سلولی می‌شود و همچنین تولید رادیکال‌های اکسیداتیو ری اکتیو (OH^o) ، هیدروژن (H^o) و هیدروپروکسیل (OH_2^o) و هیدروژن پروکساید (H_2O_2) در طول پیش تصفیه با اولتراسونیک است. بنابراین کاربرد امواج اولتراسونیک برای کمک به هضم لجن و افزایش قابلیت آبگیری مؤثر بوده و به عنوان یک گزینه در کمک کردن به تصفیه لجن و کاهش جامدات فرار می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

در نهایت از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران برای تصویب و مساعدت انجام این طرح پژوهشی تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت

1- Biosolids
2- Advanced Oxidation Proccess(AOP)
3- Volatile Solid

منابع مورد استفاده

ابریشم چی ا. افشار ،ع. بهشید، ج .۱۳۷۸. مهندسی فاضلاب. انتشارات مرکزنشر دانشگاهی ،چاپ دوم، صفحه ۲۹۳ تا ۲۹۶.

تاروردیزاده، ا. ترابیان، ع. مهردادی، ن. عظیمی،ع . ا .۱۳۹۰. بررسی تأثیر مکش هیدرواستاتیکی و آمایش شیمیایی در آبگیری از لجن فاضلاب در بسترهای لجن خشک کن. محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، صفحهٔ ۲۷ تا ۳۴.

زاهدی،ع. ۱۳۸۷. کاربرد امواج اولتراسونیک بر بهبود هضم هوازی لجن حاصل از فرایند لجن فعال. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست،دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

منزوی، م ت .۱۳۸۳. تصفیه فاضلاب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ یازدهم.

مهرداد ، ن. و همکاران. ۱۳۹۰. کاربرد امواج مافوق صوت بر محلول سازی (هیدرولیز) و بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی فاضلاب صنایع لبنی، مطالعهٔ موردی :صنایع لبنی پگاه تهران. مجله آب و فاضلاب، شمارهٔ ۲.

Adewuyi,Y.G. 2001. Sonochemistry: Environmental science and engineering application,Ind. Eng. Chem. Res. 40(22), 4681–4715,.

APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 18th Edition. .

Harrison,S., and A.,Pandit .1994. The disruption of cells by hydrodynamic cavitation. In Proc. of Rhodes University International Symposium on Biotechnology

Hogan,F., et al. .2004.Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion, Water Sci. Technol. 50(9), 25–32,

Hoffman,M.R. I.,Hua, R.,Hochemer .1996. Application of ultrasonic irradiation for degradation of chemical contaminants in water". ultrasonics sonochemistry. 3: 163-172.

Hui Yu, G. et al., Extracellular proteins, polysaccharides and enzymes impact on sludge aerobic digestion after ultrasonic pretreatment. Water Research, Volume 42, Issues 8-9, Pages 1925-1934. (April 2008).

Lifka.j, et al. 2003. The use of ultrasound for the degration of pollutants in water: Aquasonolysis-m A review". Eng.Life. Sci.3-6.

Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Forth Edition, McGraw Hill.

Na, S., Y.,Kim, J.,Khim. 2007. Physiochemical properties of digested sewage sludge with ultrasonic treatment.Ultrasonics Sonochemistry, Volume 14, Issue 3 , Pages 281-285.

Nickel, K., U.,Neis .2007. Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation.Ultrasonics Sonochemistry. Volume 14, Issue 4, Pages 450-455..

Petrier,C. et al. 2010. Enhanced sonochemical degradation of bisphenol-A by bicarbonate ions". Ultrasonics Sonochemistry 17 :111–115.

Sandino,J., et al . 2005. Applicability of ultrasound pre-conditioning of WAS to reduce foaming potential in mesophilic digesters. Joint Residuals and Biosolids Management Conference, April 17–19, Nashville, TN.

Tiehm, A., et al. 2001. Ultrasound waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, Water Res. 35(8), 2003–2009.

Yin, X. ,et al . 2004. A review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment, Ultrason. Sonochem. 11, 337–348.

Zhang, P., G.,Zhang, W.,Wang. .2007. Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration. cell lysis and inactivation", Bioresource Technology, Volume 98, Issue 1 , Pages 207-210.