

# کاربرد امواج مافوق صوت بر محلول سازی (هیدرولیز) و بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی فاضلاب صنایع لبنی، مطالعه موردی: صنایع لبنی پگاه تهران

آزاده آقاجانی یاسینی<sup>۳</sup>

علیرضا محمدی اقدم<sup>۲</sup>

علی زاهدی<sup>۱</sup>

ناصر مهرداد<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۸/۸/۶ پذیرش ۸۹/۶/۱۰)

## چکیده

صنایع لبنی، مصرف کننده حجم بالایی از آب هستند که بخش اعظم آن به صورت فاضلاب دفع می‌گردد. غلظت مواد آلی در این فاضلاب نسبتاً زیاد است. برای نمونه، صنایع لبنی پگاه تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین تولید کننده محصولات لبنی در ایران، به ازای فرآوری ۱۰۰۰ تن محصول لبنی، در حدود ۳۵۰۰ مترمکعب در روز فاضلاب ایجاد می‌کند که غلظت اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی پنج روزه آن به ترتیب ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. در این تحقیق اثر انتشار امواج مافوق صوت با فرکانس راهبری ۲۰ کیلو هرتز در فاضلاب بر محلول‌سازی (هیدرولیز) اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب تولید شده در کارخانه شیر پگاه تهران بررسی شد. نمونه‌برداری از فاضلاب مورد نظر به صورت مرکب با حجم ثابت در فواصل زمانی دو ساعته در ساعت ۸ صبح تا ۴ بعدازظهر و در یک روز کاری از خروجی حوض متعادل‌ساز انجام شد. آنالیز داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که با انتشار امواج مافوق صوت در فاضلاب می‌توان بخشی از اکسیژن خواهی شیمیایی نامحلول را به صورت محلول تغییر داد. حداکثر این تغییر حدود ۵۲ درصد بود که در توان ۳۰۰ وات و زمان تماس ۴۸۰ ثانیه نمونه با امواج مافوق صوت به دست آمد. برای امواج مافوق صوت با توان ۳۰۰ و ۶۰۰ وات با افزایش زمان پخش در فاضلاب در محدوده ۶۰ تا ۴۸۰ ثانیه مقدار هیدرولیز مواد آلی فاضلاب همواره سیر صعودی داشت ولی در توان ۹۰۰ وات این روند پیوسته نبود. به این ترتیب می‌توان گفت هنگامی که فقط هیدرولیز مواد آلی فاضلاب مورد نظر باشد بهتر است از امواج مافوق صوت با توان کمتر و زمان‌های انتشار بیشتر استفاده کرد. شایان ذکر است که با محلول شدن (هیدرولیز) مواد آلی، سرعت فرایند تصفیه بیولوژیکی آن در حد قابل ملاحظه‌ای بالا می‌رود. همچنین با این تغییر، دستیابی به سطح بالاتری از تصفیه مسیر می‌شود که در مجموع کاهش هزینه‌های تصفیه را در پی خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** امواج مافوق صوت، هیدرولیز مواد آلی فاضلاب، فاضلاب صنایع لبنی، محلول‌سازی اکسیژن خواهی شیمیایی، صنایع لبنی پگاه تهران

## Application of Ultrasonic Wave Irradiation for Hydrolysis and Amortization of Ability of Biological Analysis of Organic Substances in Dairy Wastewater; Case Study: Tehran Pegah Dairy Complex

Nasser Mehrdadi<sup>1</sup>

Ali Zahedi<sup>2</sup>

Alireza Mohammadi Aghdam<sup>3</sup>

Azadeh Aghajani Yasini<sup>3</sup>

(Received Oct. 28, 2009 Accepted Sep. 1, 2010)

### Abstract

In dairy industries large amount of water is utilized and major parts disposed as wastewater. The concentration of organic substance in this wastewater is relatively high. For example in Tehran Pegah Dairy Complex (TPDC) as the biggest Iranian a dairy producer, around 3500 cube meter of wastewater generated for processing of 1000 tons milk, per day. The concentration of chemical oxygen demand (COD) and 5-days biological wastewater demand (BOD<sub>5</sub>) is about 3000, 1000 mg/L respectively. In this paper the effects of applying ultrasonic wave

1. Assoc. Prof., Dept. of Environmental, Tehran University, Tehran
2. M.Sc. of Civil- Environmental Eng., Dept. of Environmental, Tehran University (Corresponding Author) (+98 21) 61113177 Ali\_1980@yahoo.com
3. M.Sc. of Civil Environmental Eng., Dept. of Environmental, Tehran University

- ۱- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۶۱۱۱۳۱۷۷ (+۹۸ ۲۱) Ali\_1980@yahoo.com
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

irradiation on hydrolysis of chemical oxygen demand in TPDC with 20 kHz operational frequency was investigated. The Samples were taken during one working day from 8 a.m. to 4 p.m. Samples were taken every two hour using composite sampling with constant volume from the outlet of equalization tank. Analysis of experimental data showed that it is possible to transfer some part of insoluble COD and BOD<sub>5</sub> to soluble form by applying ultrasonic wave. The maximum of this conversion was about 52% which observed at 480s contact time and output power 300 W. For 300 and 600 W output power with extending contact time in the range of 60 to 480s, hydrolysis of organic matter showed ascending trend, but at 900w output powers find out different behavior. Therefore, when hydrolysis of organic matter consider, it is recommended to use low output power and long contact time. And it is important to considering that by this conversion, achievement the high level of treatment become more feasible and a reduction in the cost of treatment obtained consequently.

**Keywords:** Ultrasonic Wave, Hydrolysis of Organic Substances in Wastewater, Dairy Wastewaters, Hydrolysis of Chemical Oxygen Demand, Tehran Pegah Dairy Complex.

#### ۱- مقدمه

است. از جمله این روشها می توان به لجن فعال متداول<sup>۲</sup>، صافی های چکه ای<sup>۳</sup>، تماس دهنده های بیولوژیکی چرخان<sup>۴</sup>، راکتورهای ناپیوسته متوالی<sup>۵</sup>، لاگون های هوادهی شده<sup>۶</sup>، برکه های تثبیت<sup>۷</sup>، نیزارهای پیش ساخته<sup>۸</sup>، راکتور بی-هوازی UASB و سایر راکتورهای بی-هوازی اشاره کرد [۴]. در تمامی این فرایندها، میکروارگانسیم های تصفیه کننده فاضلاب فقط قادر به مصرف املاح محلول هستند و در صورت وجود املاح نامحلول، میکروارگانسیم ها ناگزیرند با ترشح آنزیم برون سلولی آن را هیدرولیز کنند. از آنجایی که معمولاً گونه های خاصی از میکروارگانسیم ها قادر به تولید آنزیم برون سلولی هستند، در بسیاری از موارد هیدرولیز مواد آلی به عنوان مرحله محدود کننده فرایند تصفیه فاضلاب عمل کرده و سرعت فرایند تصفیه بیولوژیکی را به شدت کاهش می دهد. در چنین مواردی هیدرولیز املاح آلی می تواند سرعت فرایند تصفیه فاضلاب را در حد قابل ملاحظه ای بالا ببرد.

در این تحقیق نقش پخش امواج مافوق صوت در هیدرولیز املاح آلی فاضلاب صنایع لبنی پگاه تهران بررسی شد. موج مافوق صوت، موجی است بالای دامنه شنوایی انسان که دامنه آن بین ۲۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز است [۵]. وقتی این موج در محیطی مثل فاضلاب پخش می شود یک الگوی تکرار متراکم شدن و کاهش تراکم به علت حرکت موج صوت در نواحی با فشار پایین شکل می گیرد. به علت کاهش فشار، حبابهای بسیار ریز ایجاد شده و می ترکند. این حبابهای ریز به حبابهای کاویتاسیون معروف هستند [۶]. مکانیسم پدیده کاویتاسیون نقش مهمی در تصفیه فاضلاب بازی می کند. پدیده کاویتاسیون پدیده ای است که در طی آن حبابهای ریز در فاز آبی فاضلاب شکل گرفته و در حالت ناپایدار تا

پخش امواج مافوق صوت در فاضلاب می تواند ساختار شیمیایی و اندازه ذرات مواد آلی موجود در آن را تغییر دهد [۱]. این تغییر می تواند سرعت فرایند تصفیه بیولوژیکی و درجه تصفیه فاضلاب را بیشتر کند. در صنایع لبنی که برای فرآوری هر مترمکعب شیر حدود ۰/۵ تا ۳ مترمکعب فاضلاب تولید می شود، تصفیه و استفاده مجدد از آن اهمیت زیادی دارد [۲]. در این تحقیق تأثیر پخش امواج مافوق صوت در فاضلاب صنایع لبنی پگاه تهران بر کیفیت مواد آلی موجود در آن بررسی شد. کارخانه لبنی پگاه تهران در کیلومتر ۷ جاده مخصوص تهران-کرج واقع شده است و بزرگ ترین تولید کننده صنایع لبنی در ایران است. صنایع لبنی پگاه، ۶۸ نوع محصول مختلف نظیر شیر پاستوریزه، شیر خشک، دوغ، پنیر، خامه و ماست را تولید می کند [۳]. این کارخانه پتانسیل فراوری ۱۰۰۰ تن شیر در روز را داشته و پسایی با دبی حدود ۳۵۰۰ متر مکعب در روز ایجاد می کند. این حجم بالای فاضلاب به صورت مجزا از فاضلاب بهداشتی، جمع آوری می گردد و در محل این کارخانه به صورت بی-هوازی با استفاده از راکتور بی-هوازی UASB<sup>۱</sup> که در ادامه دارای سیستم هوازی لجن فعال متداول است، تصفیه می شود.

تصفیه فاضلاب صنایع لبنی با مشکلات متعددی روبه رو است. فاضلاب صنایع لبنی حاوی غلظت بالایی از مواد آلی همچون پروتئین ها، کربوهیدرات ها و چربی ها است. همچنین غلظت جامدات معلق و مشتقات نیتروژن آن زیاد بوده و تغییرات pH آن چشمگیر است. علاوه بر این دبی فاضلاب صنایع لبنی دارای نوسان های شدید می باشد [۴]. بیش از ۹۰ درصد جریان فاضلاب کارخانه صنایع لبنی پگاه در ۱۶ ساعت از شبانه روز ایجاد می شود که با تغییر چرخه تولید محصولات مختلف ممکن است در حد قابل ملاحظه ای نوسان پیدا کند. برای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنایع از روشهای مختلفی بهره گیری شده

<sup>2</sup> Conventional Activated Sludge Process

<sup>3</sup> Trickling Filters

<sup>4</sup> Rotating Biological Contactors (RBC)

<sup>5</sup> Sequence Batch Reactors (SBR)

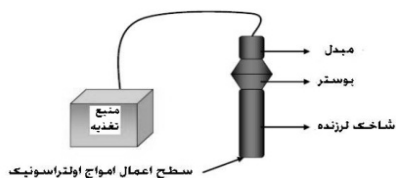
<sup>6</sup> Aerated Lagoons

<sup>7</sup> Stabilization Ponds

<sup>8</sup> Constructed Wetland

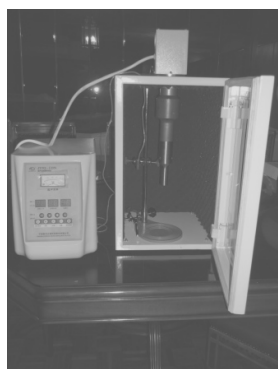
<sup>1</sup> Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor

متناب را به کریستال‌های سرامیکی پیزوالکتریک که در قسمت انتهایی شاخک لرزاننده قرار دارد، منتقل می‌کند. اجزای اصلی سیستم پخش مافوق صوت به‌کار رفته در این تحقیق شامل مبدل، بوستر و شاخک لرزاننده بود. مبدل اساساً انرژی الکتریکی را به انرژی اولتراسوند تبدیل می‌کند. بوستر یک آمپلی‌فایر مکانیکی است که به زیاد شدن دامنه نوسان تولید شده مبدل کمک می‌کند. شاخک لرزاننده یک وسیله و ابزار طراحی شده ویژه است که انرژی را به فاضلاب منتقل می‌کند [۹]. بوستر طوری طراحی و تنظیم شده تا به فرکانس مطلوب بهره‌برداری برسد. بوستر اغلب به‌عنوان عضو نگهدارنده عمل می‌کند. بر اساس مشاهدات انجام شده، فرکانس راهبری و طراحی اجزای تجهیزات مافوق صوت (شاخک لرزاننده، بوستر و مبدل) نقش کلیدی دارد. شکل ۱ نشان دهنده شماتیک آرایش اجزای اصلی دستگاه پخش کننده مافوق صوت به‌کار رفته در این تحقیق است.



شکل ۱- شماتیک آرایش اجزای اصلی دستگاه پخش کننده مافوق صوت به‌کار رفته در این تحقیق

انرژی خروجی در توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات مورد آزمایش قرار گرفت. فرکانس راهبری در تمامی مراحل ۲۰ کیلوهرتز بود و آزمایش‌ها در چهار زمان ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ ثانیه بررسی شدند. شکل ۲ نشان دهنده دستگاه پخش کننده مافوق صوت به‌کار رفته در این تحقیق است.



شکل ۲- دستگاه پخش کننده مافوق صوت به‌کار رفته در این تحقیق

نمونه‌های مرکب گرفته شده از فاضلاب، همگی با حجم ثابت ۵۰ سی سی تحت پخش امواج مافوق صوت قرار گرفتند. شاخک

اندازه‌ای متوسط شده و سپس به سرعت به سمت داخل متلاشی می‌شوند. متلاشی شدن این حبابها باعث ایجاد حرارت موضعی تا ۵۰۰۰ درجه کلوین و فشار ۱۸۰ کیلوپاسکال می‌شود [۶ و ۷]. اهم تأثیراتی که پدیده کاویتاسیون در فاضلاب ایجاد می‌کند به‌صورت ذیل خلاصه می‌شود

- ۱- تنش برشی هیدرومکانیکی بسیار زیاد که باعث تخریب مکانیکی (هیدرولیز) ترکیبات می‌شود؛
- ۲- شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد مثل  $H^{\bullet}$ ،  $OH^{\bullet}$  که می‌تواند واکنش‌های شیمیایی را برای تبدیل آلاینده‌های آلی بزرگ مولکول به کوچک مولکولی تسهیل کند؛
- ۳- تخریب مضاعف ترکیبات آبریز محبوس در حبابهای کاویتاسیون
- ۴- تسریع واکنش‌های شیمیایی به‌دلیل بالا رفتن بسیار زیاد فشار و دمای موضعی [۶].

مکانیسم دیگری که در هنگام پخش امواج مافوق صوت در فاضلاب رخ می‌دهد جریان صوتی است [۵]. مزیت اصلی جریان‌های صوتی در فرایند تصفیه فاضلاب، اختلاط است که باعث می‌شود توزیع انرژی امواج مافوق صوت به‌صورت یکنواخت در کل حجم فاضلاب صورت پذیرد. اختلاط، همچنین توزیع حرارتی را تسریع می‌کند [۸].

این تحقیق با هدف افزایش قابلیت محلول‌سازی و افزایش سرعت فرایند تصفیه بیولوژیکی سیستم تصفیه فاضلاب انجام شد.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- روش نمونه‌گیری از فاضلاب صنایع لبنی و نگهداری

نمونه‌برداری از فاضلاب صنایع لبنی در یک روز به‌صورت مرکب با حجم ثابت<sup>۱</sup> یک لیتر در فواصل زمانی دو ساعته از ساعت ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر از خروجی حوض متعادل‌ساز انجام شد (۵ بار نمونه‌برداری). نمونه‌های برداشت شده در هر نوبت در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری و قبل از انتقال به آزمایشگاه با یکدیگر مخلوط شدند. فرایند پخش امواج مافوق صوت به داخل فاضلاب و محل اندازه‌گیری اکسیژن خواهی شیمیایی به‌ترتیب در روز نمونه‌برداری و روز بعد از آن صورت گرفت.

### ۲-۲- خصوصیات دستگاه پخش امواج مافوق صوت

مطالعات با سونوراکتور ساخت کارخانه Xinzhi bio- Instrument LTD انجام شد. تجهیزات مافوق صوت شامل ژنراتور، مبدل و یک محفظه ایزوله کننده صوت و شاخک لرزاننده بود. ژنراتور جریان

<sup>1</sup> Fixed-volume Composite Samples

پخش امواج مافوق صوت اندازه‌گیری شدند. سایر پارامترها شامل اکسیژن خواهی شیمیایی در آزمایشگاه مطابق با روش استاندارد متد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هر پارامتر کیفی، آزمایش‌ها مطابق با اصول استاندارد حداقل سه بار انجام گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

مشخصات کیفی فاضلاب صنایع لبنی پگاه تهران در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس داده‌های مندرج در جدول مذکور بیش از دو سوم اکسیژن خواهی شیمیایی به صورت نامحلول است که با محلول‌سازی آن می‌توان سرعت تصفیه فاضلاب را تا حد قابل ملاحظه‌ای بالا برد. تأثیر انتشار امواج مافوق صوت بر هیدرولیز مواد آلی فاضلاب، در توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات در محدوده ۶۰ تا ۴۸۰ ثانیه در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۴ نشان دهنده تأثیر تغییرات زمان انتشار امواج مافوق صوت با توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات در فاضلاب بر افزایش غلظت اکسیژن خواهی شیمیایی محلول آن است.

لرزاننده با اندازه قطر ۲۰ میلی‌متر، در تمام شرایط راهبری به کار گرفته شد. ارتفاع ۱۰ میلی‌متر از شاخک لرزاننده در داخل فاضلاب در طول مدت زمان انتشار مستغرق بوده و فاصله انتهای آن تا کف ظرف ۸/۲ سانتی‌متر بود (شکل ۳). همچنین قطر داخلی بشر ۹/۳ سانتی‌متر بود.



شکل ۳- انواع شاخک لرزاننده به کار رفته در این تحقیق

دما به وسیله سنسور خود دستگاه پس از هر بار آزمایش اندازه‌گیری شد. pH و دما هم در محل نمونه برداری و هم بعد از

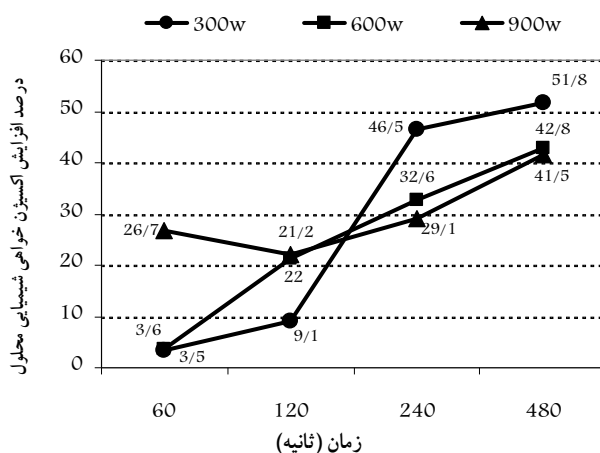
جدول ۱- مشخصات کیفی فاضلاب صنایع لبنی پگاه

ردیف	پارامتر	واحد اندازه‌گیری	تعداد تکرار آزمایش‌ها	دامنه داده‌ها (میلی‌گرم بر لیتر)	میانگین (میلی‌گرم در لیتر)	انحراف معیار
۱	کل اکسیژن خواهی شیمیایی	میلی‌گرم در لیتر	۳	۲۶۳۲-۳۰۰۰	۲۸۰۰	۱۸۵/۹
۲	اکسیژن خواهی شیمیایی محلول	میلی‌گرم در لیتر	۳	۸۸۱-۹۲۶	۹۰۶	۲۲/۹۱
۴	مواد جامد معلق	میلی‌گرم در لیتر	۳	۵۱۴-۵۵۰	۵۳۴	۱۸/۳۳
۵	مواد جامد محلول	میلی‌گرم در لیتر	۳	۱۷۱۹-۱۷۵۵	۱۷۳۴	۱۸/۵۸
۷	pH	-	۳	۷-۷/۲	۷/۱	۰/۱
۸	دما	درجه سلسیوس	۳	۳۰-۳۲	۳/۱	۱

جدول ۲- تأثیر زمان پخش و توان امواج مافوق صوت بر محلول‌سازی اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب\*

انحراف معیار	میانگین (mg/L)	دامنه (mg/L)	تعداد تکرار آزمایش‌ها	توان (وات)			انحراف معیار	میانگین (mg/L)	دامنه (mg/L)	تعداد تکرار آزمایش‌ها	زمان پخش امواج مافوق صوت (ثانیه)
				۹۰۰	۶۰۰	۳۰۰					
۳۴/۱	۱۲۳۶/۶	۱۲۱۴-۱۲۷۶	۳	۳۵	۹۴۰	۹۱۵-۹۸۰	۴۰/۹۱	۹۳۸/۹	۹۱۲/۸-۹۸۷	۳	۶۰
۴۷/۵۴	۱۱۶۰/۶	۱۱۲۱-۱۲۱۶	۳	۶۲/۹۶	۱۱۵۰	۱۰۹۸-۱۲۲۰	۲۲/۰۴	۹۹۶/۱	۹۷۶/۵-۱۰۲۰	۳	۱۲۰
۴۹/۹۰	۱۲۷۷/۲۷	۱۲۲۱-۱۳۱۶	۳	۴۶/۶۷	۱۳۴۴	۱۳۱۱-۱۳۷۷	۴۱/۴	۱۶۹۳/۴	۱۶۴۹-۱۷۳۱	۳	۲۴۰
۴۰/۵۱	۱۵۴۸/۶	۱۵۱۶-۱۵۹۴	۳	۲۷/۱۲	۱۵۸۱/۲	۱۵۵۸-۱۶۱۱	۴۷/۴۷	۱۸۷۹	۱۸۴۲-۱۹۳۳	۳	۴۸۰

\*غلظت اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب قبل از پخش امواج مافوق صوت معادل ۹۰۶ میلی‌گرم در لیتر بوده است.



شکل ۴- تأثیر تغییرات زمان پخش امواج مافوق صوت با توان‌های ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات در فاضلاب بر افزایش غلظت اکسیژن خواهی شیمیایی محلول

زمان ماند ۴۸۰ ثانیه رسیده است که البته با توجه به ماهیت متفاوت لجن فعال مازاد و حضور توده باکتریایی قیاس آن با فاضلاب صنایع لبنی دشوار می‌نماید [۲۲]. لازم به ذکر است که انتشار امواج مافوق صوت در سطوح بالای انرژی باعث پاره شدن دیواره غشای سلولی و در واقع غیر فعال‌سازی عوامل بیماری‌زا و البته میکروارگانیسم‌های مفید در سیستم بیولوژیکی تصفیه فاضلاب می‌شود. بنابراین بهتر است راهبری و عملیاتی کردن واحدهای انتشار امواج مافوق صوت، قبل از واحدهای بیولوژیکی که توده‌های میکروبی در آن به تعادل می‌رسند (نسبت مواد مغذی به تعداد میکروارگانیسم‌های تصفیه کننده، F/M)، استفاده شوند. امواج مافوق صوت در سطوح پایین‌تر انرژی موجب بهبودپذیری نفوذ غشای سلولی و انتقال بهتر مواد مغذی به داخل سلول و نهایتاً رشد و نمو بهتر سلول‌های حیوانی و انسانی می‌شود [۲۳]. در مطالعه صورت گرفته در مورد تأثیر امواج مافوق صوت بر روی نابودی *E.coli* در فاضلاب، کاهش ۹۵/۵ درصد با فرکانس راهبری ۷۰۰ کیلوهرتز در ۱۱/۵ دقیقه با توان ۱۶۰ وات مشاهده شده است [۲۴]. بنابراین انتظار کاهش عوامل بیماری‌زا پس از اعمال امواج مافوق صوت در سطح انرژی به‌کار رفته در این تحقیق نیز وجود دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در شرایط مربوط به انجام این تحقیق که شامل زمان پخش امواج مافوق صوت در محدوده ۶۰ تا ۴۸۰ ثانیه و توان ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ وات بود، نتایج زیر به‌دست آمد:

- ۱- حداکثر هیدرولیز مواد آلی فاضلاب در زمان تماس ۴۸۰ ثانیه و توان ۳۰۰ وات به‌دست آمد که معادل ۵۱/۸ درصد بود.
- ۲- برای امواج مافوق صوت با توان ۳۰۰ و ۶۰۰ وات با افزایش

شکل ۴ نشان می‌دهد که در توان ۳۰۰ وات با افزایش زمان پخش امواج در فاضلاب، میزان محلول‌سازی اکسیژن خواهی شیمیایی روندی صعودی دارد به‌گونه‌ای که در زمان تماس ۴۸۰ ثانیه، مقدار محلول‌سازی به حداکثر مقدار خود یعنی ۵۱/۸ درصد می‌رسد. ولی در توان ۶۰۰ وات اگرچه روند محلول‌سازی اکسیژن خواهی شیمیایی نسبت به زمان پخش امواج همواره سیر صعودی دارد ولی حداکثر مقدار آن در زمان تماس ۴۸۰ ثانیه معادل ۴۲/۸ درصد است. البته در توان ۹۰۰ وات، روند محلول‌سازی اکسیژن خواهی شیمیایی نسبت به زمان پخش امواج مافوق صوت همواره سیر صعودی ندارد. این موضوع احتمالاً به علت حذف بخشی از اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب بر اثر پخش امواج مافوق صوت در توان بالا (۹۰۰ وات) است. به عبارت دیگر چنانچه هیدرولیز مواد آلی فاضلاب مد نظر باشد، بهتر است از امواج مافوق صوت با توان کمتر (۳۰۰ وات) ولی زمان پخش بیشتر (۴۸۰ ثانیه) استفاده کرد ولی در صورتی که علاوه بر محلول‌سازی، حذف بخشی از اکسیژن خواهی شیمیایی نیز مدنظر باشد، بهتر است از امواج با توان بالا استفاده کرد.

تاکنون در خصوص هیدرولیز مواد آلی در فاضلاب تحقیقی صورت نگرفته است. اما در خصوص هیدرولیز لجن فعال مازاد، روشهای مختلفی مانند شکست مکانیکی، شیمیایی و حرارتی به‌کار رفته است [۱۰-۲۱]. انتشار امواج مافوق صوت به‌عنوان روشی فیزیکی- شیمیایی موجب متلاشی شدن لخته‌های لجن شده و مواد آلی وارد فاز محلول و کلوئیدی می‌شود. در تحقیق صورت گرفته بر روی هیدرولیز لجن فعال مازاد، اکسیژن خواهی شیمیایی محلول در توان خروجی ۱۹۰ وات و در زمان‌های تماس ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ ثانیه دارای روند افزایشی بوده و حداکثر به ۸۱/۶۱ درصد در

توان بالا (۹۰۰ وات) است.  
 ۳- با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت که هنگامی که فقط هیدرولیز مواد آلی فاضلاب مورد نظر باشد، بهتر است از امواج مافوق صوت با توان کمتر و زمان‌های پخش بیشتر استفاده کرد.

زمان پخش در فاضلاب در محدوده ۶۰ تا ۴۸۰ ثانیه، مقدار هیدرولیز مواد آلی فاضلاب همواره سیر صعودی دارد ولی در توان ۹۰۰ وات، این روند پیوسته نیست که علت آن احتمالاً به دلیل حذف اکسیژن‌خواهی شیمیایی بر اثر پخش امواج مافوق صوت با

#### ۵- مراجع

- 1- Gokmen, E., Piskin, F., and Erdirencelebi, D. (2009). "Anaerobic treatment of strong character dairy wastewaters in sequential UASBRs: Adaptation period COD removal and pH/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/VFA Balance." *Progress in, International Symposium on Environmental Science and Technology*, Shanghai, vol.2, part B, 10-13
- 2- <<http://www.uiweb.unidaho.edu/nasa-isqc/epscor.html>> (May 2009).
- 3- <<http://www.irandairy.ir>> (June 2009).
- 4- Wang, L. K., Yung, T., and Hung, H. H. (2006). *Waste treatment in the food processing industry*, CRC Press, Taylor and Francis Group, UAS.
- 5- Gonze, E., Pillot, S., Valette, E., Gonthier, Y., and Bernis, A. (2003). "Ultrasonic treatment of an aerobic activated sludge in a batch reactor." *Chemical Engineering and Processing*, 42, 965-975.
- 6- Laborde, J.L., Bouyer, C., Caltagirone, J.P., and Ge'ard, A. (1998a). "Acoustic bubble cavitation at low frequencies." *Ultrasonics*, 36, 589-594.
- 7- Petrier, B., and Francony, A. (1997). "Incidence of wave-frequency on the reaction rates during ultrasonic wastewater treatment." *Water Science Technology*, 35 (4), 175-180.
- 8- Young, F.R. (1989). *Cavitation*, McGraw-Hill Book Co., Maidenhead, UK.
- 9- Reports on Sanitary Engineering. (2000). *Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization*, GFEU-Verlag Pub., Tu Hamburg, Germany.
- 10- Chio, H.B., Hwang, K.Y., and Shin, E.B. (1997). "Effect on anaerobic digestion of sewage sludge pretreatment." *J. Water Sci. Technol*, 35 (10), 207-211.
- 11- Muller, J. (2001). "Disintegration as a key-step in sewage sludge treatment." *Water Sci. Technol*, 41 (8), 123-130.
- 12- Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M., and Neis, U. (2001). "Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization." *J. Water Res.*, 35 (8), 2003-2009.
- 13- Tiehm, A., Nickel, K., and Neis, U. (1997). "The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge." *Water Sci. Technol.*, 36(11), 121-128.
- 14- Chu, C.P., Lee, D.J., You, C.S., and Tay, J.H. (2002). "Weak ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids." *Water Res.*, 36, 2681-2688.
- 15- Sakai, Y., Fukase, T., Yasui, H., and Shibata, M. (1997). "An activated sludge process without excess sludge production." *Water Sci. Technol.*, 36 (11), 163-170.
- 16- S. Deleris, J.M. (2000). "Rouston, Effect of ozonation on activated sludge solubilization and mineralization." *Ozone Sci. Eng.*, 22, 473-486.
- 17- Saby, S., Djafer, M., and Chen, G.H. (2002). "Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process." *Water Res.*, 36, 656-666.
- 18- Lendormi, T., Prevot, C., Doppenberg, F., Serandio, M., and De Bellefontaine, H. (2001). "Wet oxidation of domestic sludge and process integration: The mineralis process." *Water Sci. Technol.*, 44 (10), 163-169.
- 19- Chiu, Y.C., Chang, C.N., Lin, J.G., and Huang, S.J. (1997). "Alkaline and ultrasonic pre-treatment of sludge before anaerobic digestion." *Water Sci. Technol.*, 36 (11), 155-162.

- 20- Tanaka, S., and Kamiyama, K. (2002). "Thermochemical pretreatment in the anaerobic digestion of waste activated sludge." *Water Sci. Technol.*, 46 (10), 173-179.
- 21- Camacho, P., Deleris, S., Geaugey, V., Ginestet, P., and Paul, E. (2002). "A comparative study between mechanical, thermal and oxidative disintegration techniques of waste activated sludge." *Water Sci. Technol.*, 46 (10), 79-87.
- 22- Zahedi, A. (2008). "Application of ultrasonic wave irradiation for aerobic digestion waste-activated sludge." M.Sc. Thesis of Environmental Eng., Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
- 23-Williams, A.R. (1983). *Ultrasound: Biological effect and potential hazards*, Academic Press (CORP), UAS.
- 24- Piyasena, P., Mohareb, E., and McKellar, R.C. (2003). "Inactivation of microbes using ultrasound: A review." *Int. J. of Food Microbial*, 87 (3), 207-216.