مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره اول، شماره دوم، زمستان ۱۳۸۷، صفحات ۸۹ تا ۹۸

تأثیر پیش تصفیه لجن فعال دفعی با ازن بر کارآیی فرآیند هضم هوازی

دکتر غلامرضا موسوی[۱]، اکرم جمال[۲]، دکتر حسن اصیلیان[۳]
نویسنده مسئول: تهران، تقاطع بزرگراه جلال آل احمد و شهید چمران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی. *moussavi@modares.ac.ir*

دریافت: ۸۷/۹/۱۲ پذیرش: ۸۷/۱۱/۱۳

چکیده

زمینه وهدف: *متداول ترین روش تثبیت لجن های بیولوژیکی مازاد ، هضم هوازی می باشد که به دلیل بالا بودن زمان هوادهی، اندازه این تأسیسات بزرگ بوده و هزینه سرمایه گذاری زیادی را به سیستم تحمیل می کند. به دلیل قدرت اکسیداسیون بالای ازن، افزودن این ماده به لجن باعث واپاشی جامدات لجن و تسریع در عمل تثبیت و در نتیجه کاهش اندازه و هزینه تأسیسات تصفیه لجن می گردد. بنابراین دراین تحقیق، فرآیند تلفیقی پیش تصفیه با ازن و سپس هضم هوازی لجن مورد بررسی قرار گرفت.*

روش بررسی: *در این پژوهش از یک سیستم آزمایشگاهی شامل ژنراتور ازن، راکتور ازن زنی با حجم ۲ لیتر و یک راکتور هوادهی استفاده گردید و پارامترهای TSS، VS، COD کل و محلول، HPC، کلیفرم مدفوعی و قابلیت ته نشینی لجن اندازه گیری شد.*

یافته ها: *نتایج حاصل از این پژوهش نشـان داد که میزان کاهش جامدات فرار پس از گذشـت ۱۰ روز از هوادهی لجن بدون پیش تصفیه با ازن هنوز قادر به تأمین اسـتاندارد EPA (کاهش ۳۸ درصد VS) در این زمینه نمی باشـد. در حالی که نتایج حاصل از تلفیق ازن زنی با دوز ۰/۲۵ یا ۰/۵ $g\ O_3/g\ TS$ و به ترتیب ۶ یا ۳ روز هوادهی باعث کاهش VS به بیش از ۳۸ درصد شده و استانداردهای EPA را از این نظر برآورده می کند. بنابراین زمان هضم که در سیسـتم های متداول هضم هوازی ۶۰-۴۰ روز اسـت پس از پیش تصفیه با ازن به ۳ تا ۶ روز کاهش می یابد. همچنین ازن زنی به لجن تا حد زیادی باعث بهبود قابلیت ته نشینی لجن وکاهش حجم لجن دفعی نهایی می شود.*

نتیجه گیری: *پیش ازن زنی لجن با مقادیر کم ازن به دلیل واپاشی جامدات می تواند راندمان هضم هوازی را به میزان زیادی افزایش دهد که این امر باعث کاهش اندازه تأسیسات و هوای مورد نیاز شده و هزینه های سرمایه گذاری و تا حدودی بهره برداری را نیز می تواند کاهش دهد.*

واژگان کلیدی: تصفیه فاضلاب، لجن فعال دفعی، هضم هوازی، پیش تصفیه، ازن

۱- دکترای بهداشت محیط، استادیار گروه بهداشت محیط، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس
۲- کارشناس ارشد بهداشت محیط، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، دانشکده پرستاری و بهداشت خوی
۳- دکترای بهداشت حرفه ای، استادیار گروه بهداشت حرفه ای، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

مقدمه

تصفیه بیولوژیکی یکی از مهمترین فرآیندهای تصفیه فاضلاب می باشد(۱). فرآیند لجن فعال به عنوان یک تکنولوژی بیولوژیکی برای تصفیه گستره وسیعی از فاضلاب ها به کار می رود و بیش از ۹۰ درصد تصفیه خانه های فاضلاب شهری از آن به عنوان قسمت اصلی فرآیند تصفیه استفاده می کنند(۲). در طی این فرآیند حجم زیادی لجن تولید می شود که قسمتی از آن را به منظور تنظیم غلظت جرم میکربی در حوضچه هوادهی، حذف می کنند(۳). مقدار لجن تولیدی در تصفیه خانه های فاضلاب تقریباً ۱ درصد فاضلاب تصفیه شده است(۴). لجن مازاد تولیدی در فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی جزء مواد زائد جامد ثانویه می باشد که باید به روش ایمن و مقرون به صرفه ای دفع شوند(۳). بنابراین مدیریت لجن حاصل از تصفیه خانه فاضلاب یکی از مهم ترین و پرهزینه ترین مسائل رشته مهندسی فاضلاب بوده به گونه ای که ۶۰-۵۰ درصد هزینه سرمایه گذاری اولیه و تا ۵۰ درصد هزینه راهبری تصفیه خانه فاضلاب را به خود اختصاص می دهند(۳و۵).

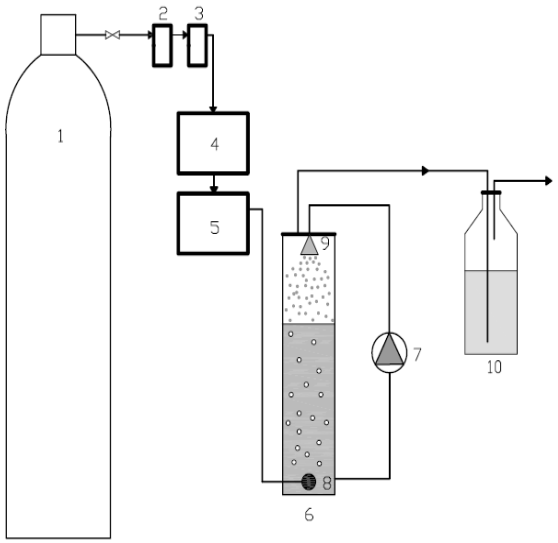
یکی از مراحل اصلی تصفیه لجن تثبیت آن می باشد. اهداف اصلی تثبیت لجن، کاهش بوهای آزار دهنده، کاهش عوامل بیماری زا و کاهش پتانسیل فسادپذیری لجن می باشد. موفقیت در رسیدن به این اهداف بستگی به میزان تثبیت مواد آلی دارد (۶). مناسب ترین روش تثبیت لجن های بیولوژیکی مازاد، هضم هوازی می باشد که عبارت از تثبیت لجن به وسیله هوادهی طولانی لجن و تخریب جامدات فرار. به دلیل بالا بودن زمان هوادهی یا زمان ماند هیدرولیکی، اندازه این تأسیسات بزرگ بوده و هزینه سرمایه گذاری زیادی را به سیستم تحمیل می کند. لذا هر سیستم یا فرآیند که بتواند زمان هوادهی را کاهش دهد ، می تواند در کاهش اندازه تأسیسات تصفیه لجن و در نتیجه هزینه بسیار مؤثر باشد(۷).

به منظور افزایش راندمان هضم در هاضم ها باید جامدات موجود در لجن تخریب و به مواد قابل تجزیه بیولوژیکی تبدیل شوند(۷). برخی از فرآیندها از قبیل تصفیه حرارتی(۸)، ازن زنی(۹و۱۰)، تصفیه قلیایی(۱۱و۱۲)، واپاشی مکانیکی (۱۳و۱۴)، اسید زنی (۱۵) و التراسونیک (۱۶و۱۷) برای واپاشی و پیش تصفیه لجن دفعی پیشنهاد می شوند. از بین این فرآیندها ازن زنی به دلیل قدرت اکسیداسیون بالا، نداشتن باقیمانده و عدم افزایش غلظت نمک به طور گسترده ای مورد توجه قرار گرفته است(۱۸). بر اساس گزارشات مولر ازن زنی به لجن علاوه بر بالا بودن درجه واپاشی آن در بین روش های موجود، مقرون به صرفه نیز میباشد(۱۹). همچنین ازن زنی به لجن در دوز ۰/۰۵-۰/۵ g O_3/g TS باعث تبدیل لجن به مواد محلول از قبیل لیپید، پروتئین و پلی ساکارید می شود و در دوزهای بالاتر ازن پدیده معدنی شدن رخ می دهد(۱۰و۲۰). در مطالعات انجام شده بر روی فرآیندهای ازن زنی لجن، غالباً واپاشی و یا کاهش لجن مازاد در سیستم های لجن فعال مورد بررسی قرار گرفته است (۱۰). لذا هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر پیش تصفیه با ازن بر افزایش راندمان فرآیند هضم هوازی لجن فاضلاب شهری در مقیاس آزمایشگاهی می باشد.

۲- مواد و روش کار

طرح شماتیک سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. راکتور ازن زنی مورد استفاده در این تحقیق از جنس شیشه و استوانه ای شکل با حجم کل ۲ لیتر بود و به دلیل ممانعت از خروج گاز ازن از سیستم، کاملاً آب بند و هوا بند گردید. برای پخش مؤثر ازن از یک دیفیوزر هوا در کف راکتور استفاده شد. همچنین به منظور جلوگیری از بالا آمدن کف از یک اسپری در بالای راکتور جهت برگشت و گردش لجن استفاده شد. از دو ژنراتور تولید ازن به صورت سری، با نشان تجاری ARDA مدل COG-0M و نوع ۱A برای تولید ازن مورد نیاز استفاده شد. غلظت ازن درگاز ورودی به راکتور، میزان جریان گاز ورودی و فشار آن به ترتیب در حد ۰/۵g/hr، ۱ L/min و ۱/۵ kg/cm^2 تنظیم شد. همچنین از اکسیژن خالص برای تولید ازن استفاده شد. غلظت ازن در فاز گازی، قبل و بعد از واکنش با لجن به منظور

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]



۱.کپسول اکسیژن، ۲. سیلیکاژل، ۳. فلومتر، ۴و۵. ژنراتور تولید ازن، ۶. راکتور ازن زنی، ۷. پمپ باز چرخش لجن، ۸. دیفیوزر هوا، ۹. پخش کننده لجن، ۱۰. راکتور تخریب ازن خروجی

شکل ۱: طرح شماتیک سیستم آزمایشی مورد استفاده

تعیین میزان ازن مصرفی اندازه گیری شد و راندمان انتقال و مصرف ازن بیش از ۹۴ درصد بود. به منظور اندازه گیری غلظت ازن در فاز گاز از روش جذب در یدید پتاسیم و متعاقب آن یدومتری استفاده گردید. پس از پیش تصفیه، لجن به یک راکتور هوادهی منتقل گردید.

به منظور بررسی وضعیت تثبیت لجن بیولوژیکی و مطالعه کارآیی ازن زنی در تثبیت این گونه لجن ها، از لجن فعال مازاد تصفیه خانه ی فاضلاب شهری اکباتان که سیستم آن از نوع لجن فعال با هوادهی گسترده است، استفاده شد. نمونه برداری از قسمت ورودی لجن برگشتی به حوض هوادهی به طور دستی و به روش ساده و لحظه ای انجام گرفت. سپس در هر مرحله راکتور با ۱ لیتر لجن فعال بارگیری و ازن زنی آغازشد. ویژگیهای اصلی لجن فعال دفعی در جدول ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق اثر دوز ازن بر راندمان هضم هوازی و میزان تثبیت لجن مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایشات در چند مرحله مجزا در دوزهای ۰/۲۵ تا ۲ گرم ازن به ازاء گرم جامدات خشک لجن و pH طبیعی لجن انجام شد. در هر مرحله کلیه آزمایش ها سه بار تکرار و میانگین سه بار تکرار هر پارامتر به عنوان مقدار آن گزارش گردید. سپس لجن ازن زنی شده در هر کدام از مراحل فوق به صورت مجزا و به مدت ۱۰ روز هوادهی و در فواصل زمانی مشخص (۱، ۳، ۶ و ۱۰ روز) به منظور بررسی تغییرات و روند تثبیت لجن آنالیز شدند. همچنین به منظور تبیین نقش پیش ازن زنی بر تثبیت هوازی لجن، هضم هوازی لجن بدون پیش تصفیه با ازن نیز انجام گرفت. مهمترین پارامترهایی که قبل و بعد از ازن زنی پایش گردید، شامل TSS (Total Suspended Solids)، Volatile VS (Solids)، COD (Chemical Oxygen Demand) کل ومحلول، tHPC (Heterotrophic Plate Coun)، کلیفرم مدفوعی و قابلیت ته نشینی لجن می باشد. لازم به ذکر است که تمامی آزمایش ها بر اساس روش های ارائه شده در کتاب روش های استاندارد برای آزمایش های آب و فاضلاب (۲۱) انجام گردید.

بحث

در این تحقیق از لجن فعال مازاد تصفیه خانه ی فاضلاب شهری اکباتان که سیستم آن از نوع لجن فعال با هوادهی گسترده است، استفاده شد. لازم به ذکر است برخی از محققین لجن های تولیدی در این فرآیند را در صورت عملکرد بهینه آن جزء لجن های تثبیت شده می دانند در حالی که برخی دیگر این لجن ها را در شمار لجن های تثبیت نشده طبقه بندی کرده و تثبیت آن را قبل از دفع ضروری میدانند (۲۲). جمع بندی

جدول ۱: ویژگی های لجن فعال دفعی مورد مطالعه

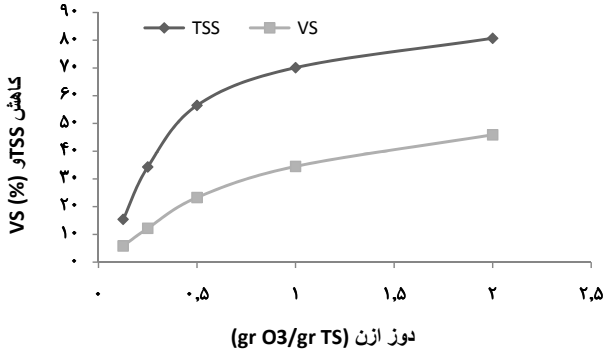
پارامتر مورد سنجش	واحد	میانگین مقادیر	پارامتر مورد سنجش	واحد	میانگین مقادیر
TS	mg/L	۹۲۳۰	VS	mg/L	۶۹۴۱
TSS	mg/L	۸۴۹۲	VSS	mg/L	۵۹۱۰
TCOD	mg/L	۱۱۴۸۱	SCOD	mg/L	۱۴۶۸
pH	-	۷/۳	Settable Solids	ml/L	۹۴۰
HPC	CFU/g TS	$۲/۴\times۱۰^{۹}$	Fecal coliform	MPN/g TS	۳۶×۱۰^{۶}

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

نتایج و آنالیزهای انجام شـده حاکی از آن اسـت که لجن های حاصـل از تصفیه خانـه مزبور در شـرایط کاری فعلی به دلیل شرایط نامطلوب راهبری، تثبیت نشده هستند. لذا دفع این لجن هـا در طبیعـت مغایر با اصول حفاظت محیط زیسـت بوده و مخاطرات بهداشتی زیادی را در پی دارد.

پیش تصفیه لجن با ازن

واپاشـی و کاهش جامدات: یکی از اهداف فرآیندهای هضم، کاهش جرم و حجم لجن اسـت. در طی ازن زنی لجن، تجزیه بیومس توسـط دو مکانیـزم اصلی قابل توصیف اسـت. ابتدا واپاشـی بـه علت تخریب جامـدات معلق در لجن و سـپس معدنی شدن مواد به علت اکسیداسیون بعدی مواد آلی محلول به دی اکسـید کربن. بنابراین ازن زنی به لجن به دلیل خاصیت اکسیداسـیون بالای ازن، باعث محلول سازی مواد آلی در لجن فعال می شود. مقدار محلول سازی و کاهش لجن تا حد زیادی به دوز ازن بسـتگی دارد(۲۳). شکل ۱ تغییرات TSS و VS را در مقابل افزایش دوز ازن نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شـود کاهش جرم جامدات معلق در لجـن با افزایش دوز ازن افزایـش می یابد، به طوری کـه راندمان کاهش TSS برای دوزهای ازن ۰/۱۲۵ تا ۲ گرم ازن به ازای هر گرم TS از ۱۵/۴ به ۸۰/۷ درصد رسیده است.



شکل۱ : اثر دوز ازن بر میزان کاهش TSS و VS لجن

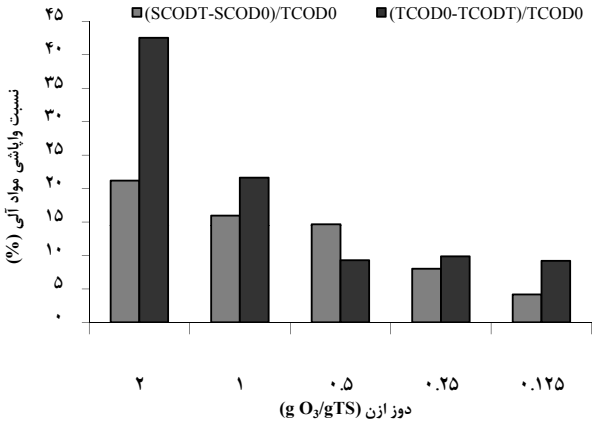
در ایـن فرآیند ازن به دلیل افزایش نفوذپذیری دیواره سـلولی باعث تخریب سـلول باکتری ها و لیز شـدن آنها و سپس رها شدن مواد آلی موجود در آنها به داخل مایع لجن می شود(۲۴). در واقع بخشـی از TSS به TDS تبدیل می شـود و جرم لجن کاهش می یابد. Park (۲۰۰۳) امکان استفاده از فرآیند ازن زنی برای تصفیه لجن فعال دفعی را در مقیاس پایلوت مورد مطالعه قرار داد و کاهش جرم لجن در ۰/۵ g O_3/g TS را ۷۰٪ گزارش کرد(۱۰).

نسـبت واپاشی مواد آلی: هدف اصلی فرآیندهای پیش تصفیه لجن افزایش غلظت مواد قابل تجزیه بیولوژیکی برای سهولت دسترسی میکروارگانیزم ها در هاضم های هوازی بعدی است. بنابراین ارزیابی تغییرات در واپاشـی لجـن بعد از فرآیندهای پیش تصفیه و تعیین نسـبت واپاشـی لجن، برای تعیین میزان قابلیـت تجزیه پذیری بیولوژیکی مـواد دارای اهمیت ویژه ای می باشـد(۷). در ایـن تحقیـق از رابطه ۱ برای تعیین نسـبت واپاشی جامدات استفاده شده است.

رابطه (۱)

$$Disintegration\ \ Ratio\,(\%) = \frac{(SCOD_T - SCOD_O) + (TCOD_O - TCOD_T)}{TCOD_O}$$

در ایـن رابطه، اندیـس T و O به ترتیب بیان کننده لجن تصفیه شـده و تصفیه نشده می باشـد. همچنین TCOD و SCOD به ترتیب بیانگر COD کل و COD محلول می باشـند. شکل۲ اثر دوز ازن بر نسـبت واپاشی مواد آلی لجن را نشان می دهد. این نسـبت در دوز ازن ۰/۱۲۵ g O_3/g TS برابر ۱۳/۴٪ و در دوز ازن ۲ g O_3/g TS برابر ۶۳/۷٪ است.



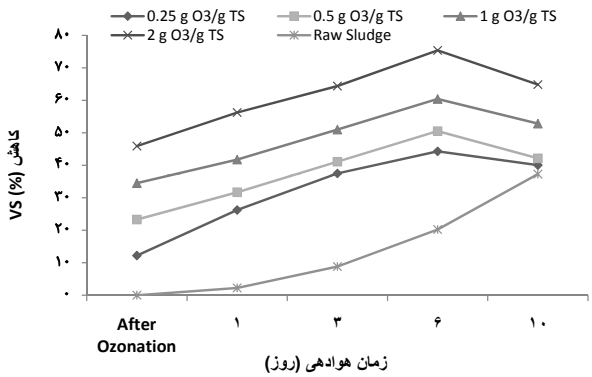
شکل۲: اثر دوز ازن بر نسبت واپاشی مواد آلی موجود در لجن

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

همان طور که مشـاهده می شود ازن زنی به لجن باعث افزایش قابل توجه COD محلول می شود. علت اصلی افزایش SCOD در لجن ازن زنی شـده لیز شدن سـلول و آزاد شدن مواد آلی داخل سـلولی اسـت. درجه لیز شدن سـلول به غلظت ازن و مدت زمان ازن زنی بستگی دارد. Egemen (۲۰۰۱) برای اثبات ایـن ادعا آزمایش های خود را در دو مرحلـه انجام داد. نتایج ایشان نشـان داد که SCOD محلول فیلتر شده بعد از ازن زنی هیچ گونه افزایشـی نداشته است در حالی که در محلول صاف نشـده بعد از ازن زنی SCOD به میـزان قابل توجهی افزایش یافته است (۲۵).

اثر پیش تصفیه با ازن بر فرآیند هضم هوازی

واپاشـی و معدنی سـازی جامدات: هوادهـی به لجن ازن زنی شده نسبت به لجن خام باعث افزایش راندمان کاهش جامدات، جرم و حجم لجن می شـود. مقدار جامدات فرار لجن یکی از شـاخص های پایداری لجـن بوده و میـزان کاهش VS برای ارزیابی تأثیر یک فرآیند در تثبیت لجن و کاهش جذب ناقلین اسـتفاده می شـود. EPA میزان کاهش VS برای کاهش جذب ناقلیـن را ۳۸ درصد اعلام کرده اسـت (۶). همان طور که در شـکل ۳ مشـهود است روند معدنی سـازی و تثبیت مواد آلی در لجن پیش ازن زنی شـده با دوزهای مختلف ازن نسـبت به لجن خام در طی دوره هضم هوازی تا روز ششم افزایش قابل ملاحظـه ای دارد. طی شـش روز اول هضم هوازی لجن های پیش ازن زنی شـده در همه دوزهـای ازن، درصد کاهش VS تقریباً مشابه بوده است.



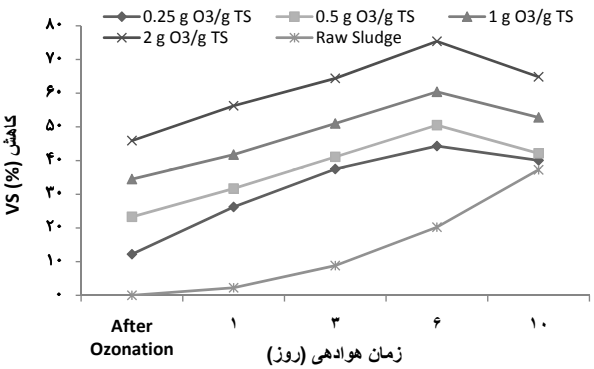
شـکل۳ :اثر هوادهی بر میزان کاهش VS لجن خام و ازن زنی شـده با دوزهای مختلف ازن

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که میزان کاهش VS پس از گذشت ۱۰ روز از هوادهی به لجن خام ۳۷/۳ درصد است. این مقادیر در لجن ازن زنی شـده به میزان ۰/۲۵ g O_3/g TS در پایـان روز سـوم هوادهی به ۳۷/۵ درصـد و در پایان روز ششم ۴۴/۳ درصد می باشد و در دوز ۰/۵ O_3/g TS این مقادیر در پایان روز سـوم ۴۱/۱ درصد و در پایان روز ششـم ۵۰/۵ درصد اسـت. همچنین در دوز ازن ۱ g O_3/g TS میزان کاهش VS در پایان روز اول هوادهی به ۴۱/۸ درصد رسـیده اسـت. همان طور که مشـاهده می شـود میزان کاهـش جامدات فرار پـس از گذشـت ۱۰ روز از هوادهی لجن بـدون پیش تصفیه هنوز قادر به تأمین استاندارد EPA (کاهش ۳۸ درصد VS) در مورد کاهش جامدات فرار و تثبیت لجن نمی باشـد. در حالی کـه پیش تصفیه بـا دوز ۰/۲۵ g O_3/g TS قـادر به تأمین این اسـتاندارد در روز ششـم هوادهی بوده و در پیش ازن زنی با دوز ۰/۵ g O_3/g TS و هضم هوازی آن به مدت ۳ روز درصد کاهش VS بیش از ۳۸ درصد بوده است که استانداردهای EPA را از ایـن نظر برآورده می کند. همچنین در دوز ۱ g O_3/g TS این معیار در پایان روز اول هوادهی تأمین می شود. لذا می توان نتیجه گیـری کرد که پیش ازن زنی لجن بـا مقادیر کم ازن به دلیل واپاشـی جامدات می تواند راندمان هضم هوازی را بسیار افزایـش داده و زمان هضم که در سیسـتم های متداول هضم هوازی ۶۰-۴۰ روز است(۶) را به مقدار زیادی کاهش دهد که این خود باعث کاهش اندازه تأسیسـات و هوای مورد نیاز می شود و هزینه های سـرمایه گذاری و تا حدودی بهره برداری را نیز کاهش می دهد. قابل ذکر اسـت که با ادامه هوادهی بیش از ۶ روز در همه لجن های پیش ازن زنی شـده، حذف VS کمی کاهش یافته اسـت که دلیل آن احتمالاً می تواند افزایش رشـد میکربی بـر روی مواد آلی محلول ناشـی از تخریب جامدات بیولوژیکی و یا تبخیر نمونه و در نتیجه افزایش غلظت جامدات باشد.

شـکل ۴ روند تغییرات TSS لجن خام و پیش ازن زنی شده را طی دوره هضم هوازی نشان می دهد. غلظت این عامل در لجن نشانه جرم جامدات موجود در آن است. درنتیجه هر چه فرآیند

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

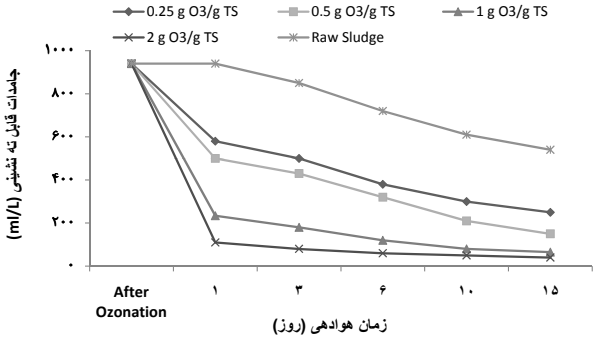
هضم این عامل را بیشتر کاهش دهد مراحل بعدی مدیریت لجن بهتر و مؤثرتر انجام می شود. همان طور که مشاهده می شود میزان کاهش TSS در هضم هوازی لجن بدون پیش تصفیه، بعد از روز دهم ۲۷ درصد می باشد. در حالی که این مقادیر در لجن پیش تصفیه شده با دوز ازن ۰/۲۵ g O_3/g TS در پایان روز اول هوادهی ۴۸/۱ درصد می باشد. بر اساس این نتایج کاهش جرم و حجم لجن در پایان روز اول هوادهی تقریباً ۲ برابر این مقادیر در روز دهم هوادهی لجن خام است.



شکل۴: اثر هوادهی بر میزان کاهش TSS لجن خام و ازن زنی شده با دوزهای مختلف ازن

همچنین میزان کاهش TSS در لجن پیش تصفیه شده با دوز ازن ۰/۲۵ g O_3/g TS بعد از گذشت ۳ و ۶ روز از هوادهی به ترتیب به ۵۵/۷ و ۵۹/۳ درصد و در دوز ازن ۰/۵ g O_3/g TS بعد از ۳ روز به ۶۲/۱ درصد کاهش یافت که تفاوت قابل ملاحظه ای با دوز ۰/۲۵ g O_3/g TS ندارد. لذا با لحاظ کردن شرایط پیش تصفیه و سپس هضم هوازی، برای دستیابی به کاهش ۳۸ درصد جامدات فرار مقرر شده از سوی EPA، بیش از نصف جرم لجن کاهش می یابد که این امر باعث کاهش تسهیلات آبگیری و دفع و در نتیجه کاهش هزینه تصفیه لجن می گردد. Ried و همکاران (۲۰۰۲) نیز میزان کاهش TSS پس از هوادهی به لجن ازن زنی شده با دوز ۰/۳۹۵ kg O_3/kg TSS را ۲۵ تا ۳۰ درصد گزارش کردند (۲۶). همچنین Hwang و همکاران (۲۰۰۶) میزان کاهش TSS در لجن پیش تصفیه شده با ۱۶/ ۰ mg O_3/g TS را حدود ۶۰ درصد گزارش کردند (۲۷).

قابلیت ته نشینی لجن: در این تحقیق از پارامتر جامدات قابل ته نشینی برای ارزیابی اثر ازن بر خصوصیات ته نشینی لجن استفاده شده است. نتایج آنالیز جامدات قابل ته نشینی در شکل۵ نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار مشاهده می شود ازن زنی به لجن تا حد زیادی باعث بهبود ته نشینی لجن، به خصوص در دوز ازن کمتر از g O_3/g TS ۱ می شود. به طوری که مقدار جامدات قابل ته نشینی از ml/L ۹۵۰ در لجن خام به ml/L ۲۳۴ در دوز g O_3/g TS ۱ میرسد و این مقدار با افزایش دوز ازن به g O_3/g TS ۲ به ml/L ۱۱۰ می رسد. از دلایل بهبود ته نشینی لجن می توان به کاهش میزان آب باند شده و کاهش مقدار توده فیلامانتوس ها در فرآیند ازن زنی اشاره کرد. زیرا مقدار آب باند شده دارای یک اثر کلیدی در خاصیت آب گیری و کاهش حجم لجن می باشد. کاهش میزان آب باند شده در فرآیند ازن زنی به دلیل افزایش خاصیت آبگریزی و آزاد شدن آب های گیر افتاده در داخل سلول ها و فلاک ها است (۱۰).



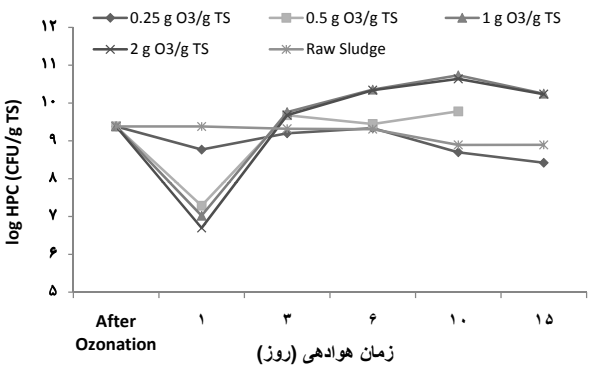
شکل۵: اثر هوادهی برجامدات قابل ته نشینی لجن خام و ازن زنی شده با دوزهای مختلف ازن

همچنین وجود فیلامانتوس ها در لجن باعث کاهش میزان ته نشینی میگردد و ازن زنی باعث واپاشی این باکتری های رشته ای می شود(۲۴). همچنین پس از گذشت ۶ روز از فرآیند هضم هوازی لجن پیش تصفیه شده با دوز ازن ۰/۲۵ g O_3/g TS راندمان بهبود قابلیت ته نشینی لجن به ۶۸ درصد و در دوز ۰/۵ g O_3/g TS پس از ۳ روز به ۶۶ درصد رسید که این مقدار برای لجن خام بدون پیش تصفیه پس از گذشت ۱۰ روز از فرآیند هضم ۴۲/۶ درصد می باشد. بنابر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

نتایـج حاصل از این مرحله اسـتفاده از فرآینـد پیش تصفیه با مقادیـر کم ازن و سـپس هضم هوازی به میـزان قابل توجهی باعث کاهش حجم و اندازه تأسیسـات تصفیه لجن و در نتیجه کاهش هزینه ها می شود. Deleris (۲۰۰۲) و Park (۲۰۰۲) در مطالعات خود بر خصوصیات ته نشـینی لجن نشـان دادند که ازن زنی به لجن باعث بهبود سـرعت ته نشینی و کاهش SVI می گردد(۱۰و۲۸).

اثرپیـش تصفیه بـر دانسـیته باکتریهای هتروتروفیک لجن: شـکل ۶ رونـد تغییرات دانسـیته باکتری های هتروتـروف را بلافاصله پـس از ازن زنی و در طی هوادهی لجن نشـان می دهد. همان طور که مشـاهده می شـود دوز ۰/۵ g O_3/g TS باعث کاهش شدید باکتری های هتروترف به میزان ۹۹/۴ درصد شده است. همچنین میزان کلیفرم مدفوعی از ۳۶×۱۰^{۶} MPN/g TS در لجن خـام به ۶/۷×۱۰^{۳} MPN/g TS در لجن ازن زنی شـده با دوز ۱ g O_3/g TS کاهش می یابد. که این میزان کمتر از سـطح کلاس B (۲×۱۰^{۶} MPN/g TS) اسـتاندارد EPA (۶) می باشد. Egemen (۲۰۰۱) نیـز در تحقیـق خود کاهـش باکتری های هتروتـرف را بـه عنوان یکی از نتایـج ازن زنی به لجن مطرح نموده اسـت (۲۵). همچنین این نمودار بیانگر افزایش رشـد باکتری هـای هتروتروف در طول هوادهی نسـبت به لحظه ی بعد از ازن زنی می باشـد. بنابراین اگر هدف از تثبیت، استفاده مجدد از لجن باشـد می توان از فرآیند ازن زنی ثانویه (پسـت ازناسیون) با دوزهای پایین ازن برای کاهش دانسیته باکتری ها و رسیدن به استانداردهای موجود دراین زمینه استفاده نمود.



شکل۶: اثر هوادهی برکاهش دانسیته باکتریهای هتروتروفیک لجن خام و ازن زنی شده

نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیر پیش تصفیه لجن با ازن بر افزایش راندمان فرآیند هضم هوازی لجن فاضلاب شـهری بررسی شد. میزان کاهـش جامدات فـرار پـس از گذشـت ۱۰ روز از هوادهی لجـن، بدون پیش تصفیه با ازن هنوز قادر به تأمین اسـتاندارد EPA (کاهـش ۳۸ درصد VS) در مـورد کاهش جامدات فرار و تثبیت لجن نمی باشـد. در حالی کـه در پیش تصفیه با دوز ۰/۲۵ g O_3/g TS در روز ششـم هضـم هـوازی و در دوز ۰/۵ g O_3/g TS در روز سوم هضم هوازی، درصد کاهش VS بیش از ۳۸ درصد بوده اسـت که استانداردهای EPA را از این نظر برآورده می کند و در دوز ۱ g O_2/g TS این معیار در پایان روز اول هوادهـی تأمین می شـود. همچنین ازن زنی به لجن تا حد زیادی باعث بهبود ته نشـینی لجن وکاهش حجم لجن دفعـی نهایی، به خصـوص در دوز ازن کمتر از ۱ g O_3/g TS می شـود. لذا می توان نتیجه گیری کرد که پیش ازن زنی لجن با مقادیر کم ازن به دلیل واپاشـی جامـدات می تواند راندمان هضم هوازی را تا حد زیادی افزایش داده و زمان هضم که در سیستم های متداول هضم هوازی ۶۰-۴۰ روز است را به مقدار زیادی کاهش دهد که این خود باعث کاهش اندازه تأسیسـات و هوای مورد نیاز می شـود و هزینه های سـرمایه گذاری و تا حدودی بهره برداری را نیز می تواند کاهش دهد.

تشکرو قدردانی

نویسـندگان از دانشـگاه تربیـت مـدرس به دلیـل تأمین هزینـه ها و تجهیزات لازم در انجام این پژوهش کمال تشـکر و قدردانـی را دارنـد. همچنین از همکاری صمیمانه شـرکت شـکوفان توسعه به خاطر در اختیار گذاشتن دستگاه تولید ازن صمیمانه سپاسگزاریم.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

منابع

1. Zhang G, Zhang P, Yang J, Chena Y. Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system. J Hazard Mater. 2007;(145):515-9.
2. Liu Y, Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process. Chemosphere. 2003;(50):1-7.
3. Oh YK, Lee KR. Effects of chemical sludge disintegration on the performances of wastewater treatment by membrane bioreactor. Water Res. 2007;(41): 2665-71.
4. Turovskiy IS, mathai PK. Wastewater Sludge Processing. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2006.
5. Saby S, Djafer M, Chen GH. Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process. Water Res. 2002;(36):656-66.
6. Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill;2003 .
7. Hwang S, Jang H, Lee M, Song J, Kim S. Characteristics of sludge redaction in an integrated pretreatment and aerobic digestion process. Water Sci Technol. 2006;(53):235-42.
8. Li YY, Noike T. Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment. Water Sci Technol. 1992; (26): 857-66.
9. Yasui H, Shibata M. An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process. Water Sci Technol. 1994; (30):11-20.
10. Park KY, Ahn KH, Maeng SK, Hwang JH, Kwon JH. Feasibility of Sludge Ozonation for Stabilization and Conditioning. Ozone Sci Eng. 2003;(25):73-80.
11. Lin JG, Rajan RV, Ray BT. Low-level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization. J Wat Pollut. 1989; (61): 1678–83.
12. Mukherjee SR, Levine AD. Chemical solubilization of particulate organics as a pretreatment approach. Water Sci Technol. 1992; (26): 2289–92.
13. Baier U. Thermal inactivation of plant seeds in sewage sludge. Water Sci Technol.1997;(36):137–43.
14. Kopp J, Muller J, Dichtl N, Schwedes J. Anaerobic digestion and dewatering characteristics of mechanically excess sludge. Water Sci Technol. 1997;(36):129–36.
15. Woodard SE, Wukasch RF. Hydrolysis/thickening/filtration process for the treatment of waste activated sludge. Water Sci Technol. 1994;(30):29-38.
16. Muller JA, Schwedes J. Dewatering of disintegrated excess sewage sludge. Water Sci Technol. 1996;(26):2289-92.
17. Tiehm A, Nickel K, Neis U. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. Water Sci Technol. 1997;(36):121-28.
18. Carballa M, Manterola G, Larrea L, Ternes T, Omil F, Lema JM. Influence of ozone pre-treatment on sludge anaerobic digestion: Removal of pharmaceutical and personal care products. Chemosphere. 2007;(67):1444-52.
19. Muller JA. Pretreatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge. Water Sci Technol. 2000;(42):167-74.
20. Bougrier C, Albasi C, Delgenes JP, Carrere H. Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability. Chem Eng Process. 2006;(45):711-18.
21. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
22. Benefield D, Randall CW. Biological Process Desing for Wastewater Treatment. USA: Prentice-Hall, Inc; 1980.
23. Bohler M, Siegrist H. Partial ozonation of activated sludge to reduce excess sludge, improve denitrification and control scumming and bulking. Water Sci Technol. 2004;49(10):41-49.
24. McNair Scott DB, Lesher EC. Effect of ozone on survival and permeability of Escherichia coli. Journal of Bacteriology. 1963;(85):63-70.
25. Egemen E, Corpening J, Nirmalakhandan N. Evaluation of an ozonation system for reduced waste slugde generation. Water Sci Technol. 2001;44(2-3):445-52.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

26. Sievers M, Ried A, Koll R. Sludge treatment by ozonation – evaluation of full-scale results. Water Sci Technol. 2004;49(4):247-53.
27. Hwang S, Jang H, Characteristics of sludge reduction in an integrated pretreatment and aerobic digestion process. Water Sci Technol. 2006;53(9):235-42.
28. Deleris S, Geaugey V, Minimization of sludge production in biological processes: an alternative solution for the problem of sludge disposal. Water Sci Technol. 2002;46(10):63-70.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]

Effect of Waste Activated Sludge Pretreatment with Ozone on the Performance of Aerobic Digestion Process

***moussavi G.[1], Jamal A.[2], Asilian H.[1]**

[1]Department of Environmental and Occupational Health, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Teharn, Iran

[2]Department of Environmental Health, Urmia University of Medical Sciences

Received 2 December 2008; Accepted 1 February 2009

ABSTRACT

Background and Objectives: A conventional treatment to stabilize the excess activated sludge is the aerobic digestion process but due to long aeration time, it requires large equipments as well as high investment cost. Because of high oxidation potential of ozone, sludge ozonation enhances stabilization rate and reduces sludge treatment equipment size and cost. Therefore, in this study, the combination of pretreatment with ozone and aerobic digestion processes were investigated.

Materials and Methods: The experimental set-up consisted of an ozone generator and ozonation reactor with the total volume of 2 L. Removal percentages of TSS, VS, total and soluble COD, HPC, fecal coliform and settable solids were measured in integrated process compared to the single ones.

Results: The results of this research indicated that the aerobic digestion of waste activated sludge during 10 days could reduce 38% of volatile solids and thus obtaining the EPA standard. Also, the results of combined ozonation and aerobic digestion revealed that the pre-ozonation at 0.25 g O_3/g TS or 0.5 g O_3/g TS with 6 or 3 days aeration, respectively, could achieve 38% reduction in VS and hence the requirement set by EPA. Therefore, integration of pre-ozonation with aerobic digestion can significantly reduce the digestion time to attain the standards.

Conclusion: The sludge pre-ozonation with low dose of ozone due to solids disintegration can enhance the efficiency of aerobic digestion in waste activated sludge stabilization, and consequently decrease size of equipments, air requirement, investment and probably operation cost.

Key words: Wastewater treatment, waste activated sludge, aerobic digestion, pretreatment, ozone.

***Corresponding Author:** *moussavi@modares.ac.ir*
Tel: +98 21 82883827 ***Fax:***+98 21 82883825

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-18]