مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۵۱ تا ۳۶۲

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

امکان سنجی تصفیه لجن‌های تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با کاربرد روش ازن‌زنی

محسن انصاری[۱]، مهدی فرزادکیا[۲،۱*]
۱- مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

واژگان کلیدی: ازن‌زنی، تصفیه لجن، تصفیه خانه فاضلاب

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
farzadkia.m@iums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: تصفیه و تثبیت لجن فاضلاب همواره هزینه‌ها و متعاقب آن انرژی بسیار زیادی را به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تحمیل می‌کند. جهت دستیابی به تصفیه و تثبیت هرچه بیشتر لجن، شکستن اجزای پیچیده به اجزای ساده‌تر به‌عنوان یک مرحله حیاتی در نظر گرفته می‌شود. لذا، مطالعه حاضر با هدف امکان سنجی تصفیه لجن تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با کاربرد روش ازن‌زنی انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه لجن از خط برگشت لجن فعال از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت شد. یک ژنراتور ازن با سرعت تخلیه ۳ L/min و با غلظت ازن ۳۵-۴۰ mg/L به راکتور واکنش تخلیه و سنجش غلظت ازن باقیمانده به روش یدومتری صورت گرفت. درنهایت، شاخص‌های میزان جامدات معلق کل (TSS) و فرار (VSS)، اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول (SCOD)، کربن آلی کل (TOC) و اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی محلول (SBOD) در طول فرایندهای ازن‌زنی با استفاده از روش استاندارد متد مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق آشکار ساخت که در طول فرایند ازن‌زنی، میزان TSS و VSS لجن برگشتی فرایند لجن فعال به ترتیب از ۴۰۶۰ mg/L به ۲۱۰۰ mg/L و از ۳۳۰۰ mg/L به ۱۸۵۰ mg/L کاهش یافت. اما TOC، SCOD و SBOD در مدت زمان مشابه واکنش به‌ترتیب در حدود ۱۸، ۱۱/۷ و ۱۴ برابر سیر صعودی داشتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که سیستم ازن‌زنی می‌تواند به عنوان یک فرایند مناسب جهت تجزیه لجن‌های تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و افزایش قابلیت زیست تجزیه شوندگی این لجن‌ها مورد پیشنهاد قرار گیرد.

Please cite this article as: Ansari M, Farzadkia M. Feasibility of treating the produced sludge in municipal wastewater treatment plant using ozonation method. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):351-62.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

مقدمه

افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن منجر به افزایش چشمگیر حجم فاضلاب تولید شده در سراسر جهان شده است. تصفیه خانه‌های فاضلاب به روش بیولوژیک در سراسر جهان برای تصفیه فاضلاب شهری استفاده می‌شوند. با وجود این واقعیت که این تصفیه خانه‌ها در حذف مواد آلی کارآمد هستند، اما مقدار زیادی از لجن فاضلاب همواره در این سیستم‌ها در حال تولید است. به عنوان مثال، متوسط تولید سالانه لجن در استرالیا ۳ میلیون تن و در اروپا، ایالات متحده آمریکا و چین ۲۴۰ میلیون تن است (۱). روش‌های اصلی برای دفع لجن، دفن در زمین، استفاده از کشاورزی و سوزاندن آنها بوده و هست، که همگی متحمل هزینه‌های بسیار زیادی می‌شوند (به عنوان مثال USD ۷۰-۳۰ به ازای هر تن لجن مرطوب در استرالیا و EUR ۳۰ تا ۱۰۰ به ازای هر تن لجن مرطوب در اروپا) (۲). بنابراین، کاهش تولید لجن در تصفیه خانه‌های فاضلاب به موضوعی مهم برای محققان تبدیل شده است.

لجن تولیدی در تصفیه خانه فاضلاب را می‌توان به لجن اولیه و لجن ثانویه (یا لجن فعال دفعی) تقسیم بندی کرد (۳). لجن اولیه لجن متشکل از مواد جامد قابل حل است که از فاضلاب خام در سیستم ته نشینی اولیه تولید می‌شود. در آن‌سو، لجن فعال دفعی لجن تولید شده توسط فرایند بیولوژیکی مانند فرایند لجن فعال است. لجن فعال دفعی عمدتا شامل ترکیبات مختلفی از جمله باکتری‌هایی است که روی مواد آلی و معدنی رشد می‌کنند، مواد پلیمری خارج سلولی (EPS) که توسط باکتری‌ها دفع می‌شود، مواد آلی که از فاضلاب منشا می‌گیرند یا در طی پوسیدگی باکتری‌ها تشکیل می‌شوند و مواد معدنی حاصل از پساب، است. به طور کلی، قابلیت تجزیه بیولوژیکی لجن اولیه زیاد است و بنابراین افزایش بیشتر تخریب آن از طریق فناوری‌های پیش تصفیه بسیار دشوار است (۴). در مقابل، لجن فعال دفعی از قابلیت تجزیه بیولوژیکی کمی برخوردار است (۴). همچنین، لجن فاضلاب با محتوای بالای کربن آلی و عناصر کلان و ریز، عمدتا ازت و فسفر مشخص می‌شود که استفاده از آن را به عنوان کود کشاورزی امکان پذیر می‌کند (۵).

با این حال، یک مشکل اساسی در استفاده از لجن فاضلاب حضور مقدار قابل توجهی از مواد مضر و سمی مانند فلزات سنگین یا آلاینده‌های آلی حاصل از فعالیت‌های صنعتی در آن است (۶). بنابراین، بسیاری از فناوری‌ها برای کاهش تولید لجن فعال دفعی و تجزیه و تثبیت آن توسعه یافته‌اند. علاوه بر این، تنوع ترکیبات شیمیایی و میکروبی لجن ایجاد ثبات در آنها، برای بدست آوردن محصولی که از نظر بهداشتی ایمن باشد، ضروری می‌کند.

بهبود خصوصیات لجن را می‌توان با پیش تصفیه لجن (آمایش)، که هدف آن تکه تکه شدن لجن جامد و شکستن اجزای پیچیده به اجزای ساده‌تر است به‌دست آورد. چرا که مطالعات نشان داده‌اند که تخریب سلول‌های میکروارگانیسم‌های موجود در لجن فاضلاب باعث آزاد شدن بسترها و آنزیم‌های ضروری برای تجزیه بیوشیمیایی بیشتر ترکیبات آلی توسط باکتری‌های فاز اسید و متانوژن‌ها می‌شود (۷). لجن را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف مانند اولتراسونیک (۸)، حرارتی (۹) و در سال‌های اخیر توسط ازن‌زنی (۱۰) یا روش‌های تلفیقی (۱۱) مورد تجزیه قرار داد.

یافته‌های مطالعات پیشین اثبات نموده که ازن‌زنی لجن فاضلاب تاثیر قابل توجهی در خصوصیات لجن مانند تخریب لخته‌ها (فلوک‌ها) و کاهش ذرات لجن دارد (۱۲). همچنین میزان زیست توده تولید شده حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد (۱۳). از بین روش‌های فیزیکی و شیمیایی تجزیه لجن، ازن‌زنی بیشترین پتانسیل را برای ضدعفونی و تولید سوبسترا دارد که نه تنها از اثر بخشی در شکستن لخته‌های لجن و سلول‌های میکروبی ناشی می‌شود بلکه از تحول شیمیایی آزاد شده (توسط لیز سلول) ترکیبات آلی به اجزای مشخص شده با قابلیت دسترسی بیشتر برای میکروارگانیسم‌های تخصصی، نیز ناشی می‌گردد (۱۴). استفاده از ازن در تصفیه و مدیریت انواع مختلفی از لجن تولیدی در فرایند تصفیه فاضلاب در مطالعات بسیاری به ثبت رسیده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه Sun و همکاران (۲۰۲۲) (۱۵)، Chiavola و همکاران (۲۰۲۱) (۱۶)، Hashimoto و همکاران (۲۰۲۱) (۱۴)، Hodaei و همکاران (۲۰۲۱) (۱۷)، Li و همکاران

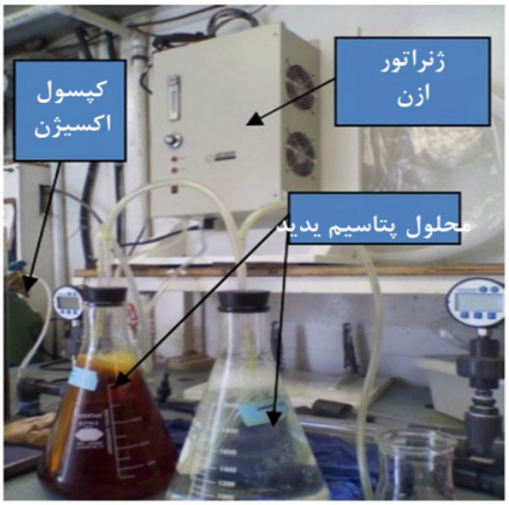
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

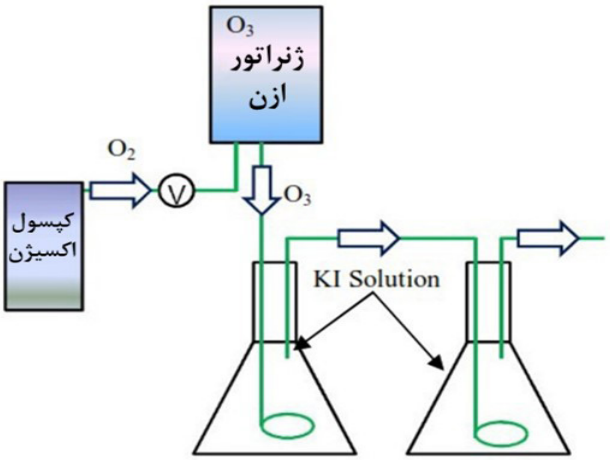
(۲۰۲۱) (۱۸)، Ge و همکاران (۲۰۲۰) (۱۹)، Fall و همکاران (۲۰۱۸) (۱۳) و Sui و همکاران (۲۰۱۱) (۲۰) اشاره نمود.

کاربرد ازن‌زنی جهت تصفیه لجن فعال برگشتی، از جمله موضوعاتی است که نه تنها مطالعات اندکی در این خصوص موجود است، بلکه می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های جدید جهت تجزیه و تثبیت لجن تولیدی در تصفیه خانه فاضلاب شهری مورد پیشنهاد قرار گیرد. لذا هدف از این مطالعه، امکان سنجی تصفیه لجن‌های تولیدی در تصفیه خانه فاضلاب شهری با کاربرد روش ازن‌زنی، است.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر ازن برای تجزیه لجن یک راکتور استوانه‌ای شکل ازن‌زنی مورد طراحی و ساخت قرار گرفت (شکل ۱).





شکل ۱- راکتور ازن‌زنی و تولید ازن

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

ژنراتور ازن را با سرعت ۳ L/min با غلظت ازن ۳۵-۴۰ mg/L تخلیه شد. سرعت جریان تزریق لجن نیز با استفاده از پمپ پریستالتیک در حدود ۴ L/min تنظیم شد. سنجش غلظت ازن به روش یدومتری مندرج در استاندارد متد به شماره E۲۳۵۰ صورت گرفت. مطابق این استاندارد، اندازه گیری ازن به شرح زیر بود، ازن خروجی به مخزن شیشه‌ای حاوی محلول یدید پتاسیم منتقل و پس از طی حدود ۱۰ min تماس، مورد اندازه گیری قرار گرفت. آزمایشات این بخش به مدت ۹۰ min انجام شد و نمونه‌ها (۸۰ نمونه) پس از ۰، ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۹۰ min از مخزن جمع آوری شدند. نمونه‌های لجن از نظر محتوای جامدات معلق کل و جامدات معلق فرار، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، کل کربن آلی محلول، براساس روش اندازه‌گیری استاندارد متد (۲۱) مورد سنجش قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری این پارامترها، نمونه‌های خروجی لجن تجزیه شده از راکتور، ابتدا با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ مدل Thermo IEC به مدت ۱۰ min در RPM ۳۵۰۰ برای جدا کردن فاز محلول از ذرات معلق سانتریفیوژ شدند و سپس از طریق فیلتر غشایی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر شدند. برای اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول (Soluble Chemical Oxygen Demand(SCOD)) از دستگاه COD متر، برای اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی محلول (Soluble Biochemical Oxygen Demand (SBOD)) از دستگاه BOD متر و کل کربن آلی (Total Organic Carbon(TOC)) با استفاده از دستگاه TOC Analyzer مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

یافته‌ها

نتایج آنالیزهای pH، کل جامدات، جامدات فرار، کل جامدات معلق، جامدات معلق فرار و کل کربن آلی بر روی نمونه‌های انتقالی لجن به آزمایشگاه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات لجن فعال دفعی مورد مطالعه

پارامتر مورد سنجش	واحد	میانگین مقادیر
pH	-	۷/۵۸
کل جامدات	g/L	٤/۳۵
جامدات فرار	g/L	۳/۲۲
جامدات فرار (کل جامدات٪)	٪	۷۸
کل جامدات معلق	g/L	۳/۱۸
جامدات معلق فرار	g/L	۲/۵۵
جامدات معلق فرار (کل جامدات معلق٪)	٪	۸۵

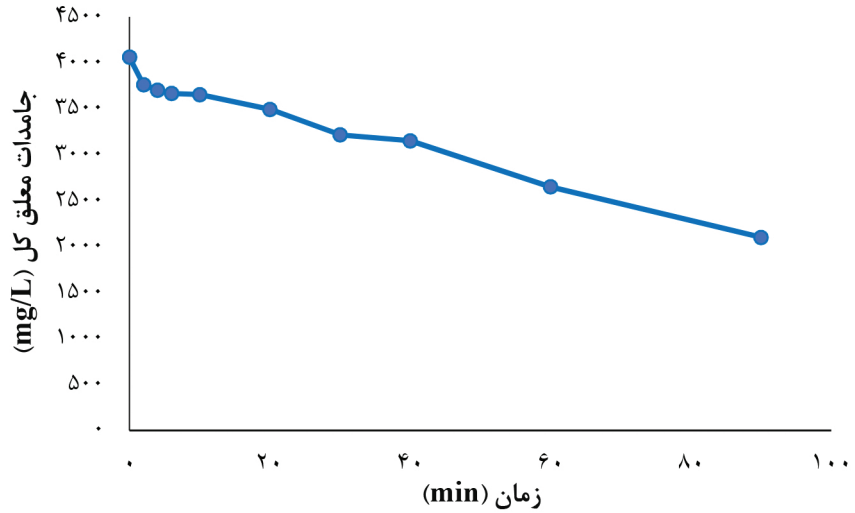
غلظت جامدات کل (Total Solids (TS)) در لجن خام، ۴/۳۵ g/L و غلظت جامدات فرار (Volatile Suspended Solids(VSS)) ۳/۲۲ g/L بود و نسبت VS/TS در محدوده ۷۹ درصد تعیین گردید. براساس نتایج بدست آمده حدود ۷۹ درصد جامدات لجن را مواد آلی با خاصیت اکسید شوندگی بالا تشکیل می‌داد که می‌توان نتیجه گرفت که

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

نمونه‌های لجن، خام و تثبیت نشده بودند.

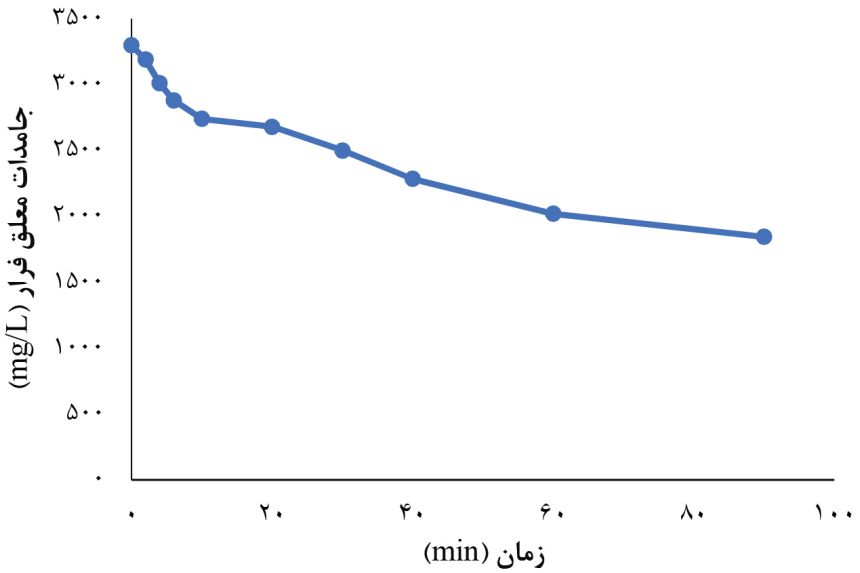
نتایج مربوط به تغییرات جامدات معلق کل (برحسب mg/L)، جامدات معلق فرار (برحسب mg/L) اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول (برحسب mg/L)، کل کربن آلی (برحسب mg/L)، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی محلول (برحسب mg/L) در طول زمان ازن‌زنی (برحسب min)، به‌ترتیب در نمودارهای ۱ تا ۵ نشان داده شده است.

همانطور که در نمودار ۱ و ۲ ملاحظه می‌گردد، میزان جامدات معلق کل و میزان جامدات معلق فرار در طول زمان ازن‌زنی کاهش یافته‌اند. برعکس، براساس نمودارهای ۳ تا ۵ به‌ترتیب اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول، کل کربن آلی و اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی محلول در طول زمان بر اثر فرایند ازن‌زنی افزایش یافته‌اند.



نمودار ۱- تغییرات جامدات معلق کل لجن در طول زمان ازن‌زنی

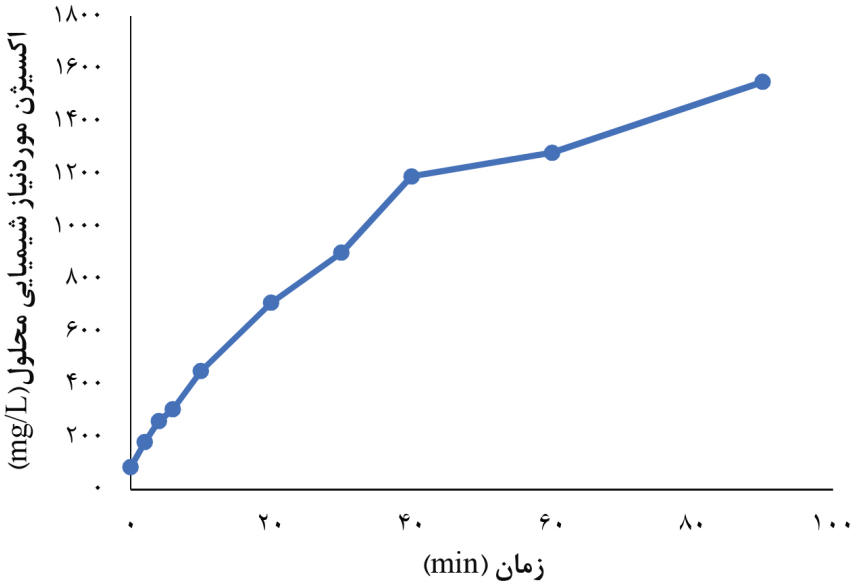
براساس نتایج نمودار ۱ جامدات معلق کل لجن در طول مدت زمان mi ۹۰ ازن‌زنی حدود ۵۱/۷۲ درصد کاهش یافت.



نمودار ۲- تغییرات جامدات معلق فرار لجن در طول زمان ازن‌زنی

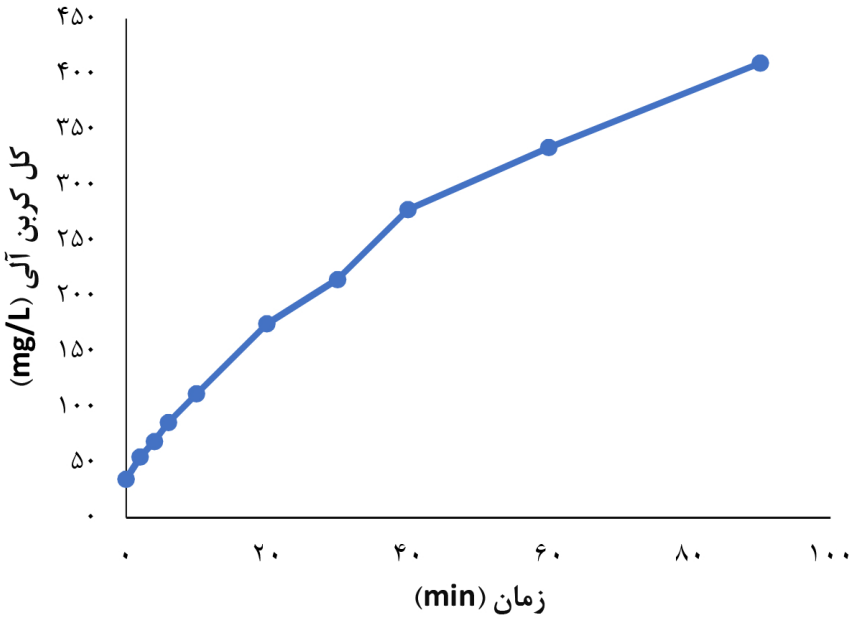
بر اساس نتایج نمودار ۲ جامدات معلق فرار لجن در طول مدت زمان min ۹۰ ازن‌زنی حدود ۵۵ درصد کاهش یافت.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]



نمودار ۳- تغییرات اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول لجن در طول زمان ازن‌زنی

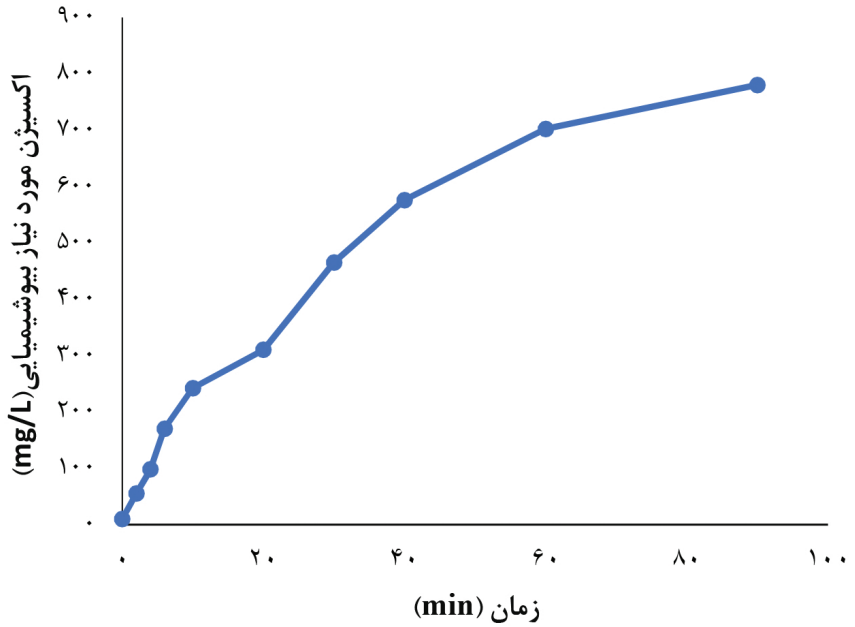
همانطور که در نمودار ۳ ملاحظه می‌شود، ازن‌زنی توانست در طول ۹۰ min اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول لجن را از ۸۵ mg/L به ۱۵۵۰ mg/L (۱۸ برابر) افزایش دهد.



نمودار ۴- تغییرات کربن آلی کل لجن در طول زمان ازن‌زنی

همچنین برپایه نتایج نشان داده شده در نمودار ۴، کربن آلی کل لجن در طول ۹۰ min ازن‌زنی باعث افزایش کربن آلی کل لجن از ۳۵ mg/L به ۴۱۰ mg/L (۱۱/۷ برابر) شد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]



نمودار ۵- تغییرات اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی لجن در طول زمان ازن‌زنی

همچنین، براساس نتایج نمودار ۵ و با توجه به افزایش اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول، ازن‌زنی توانست در مدت min ۹۰ اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی لجن را ۱۴ برابر افزایش دهد.

بحث

در این تحقیق از لجن فعال برگشتی تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران که سیستم آن از نوع لجن فعال با هوادهی گسترده است، استفاده شد. نتایج آنالیز لجن مورد مطالعه نشان داد که حدود ۷۹ درصد جامدات لجن را مواد آلی با خاصیت اکسید شوندگی بالا تشکیل می‌داد که می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های لجن این مطالعه، خام و تثبیت نشده بودند. در همین مورد میان محققان در خصوص تثبیت بودن یا نبودن این لجن اختلاف نظر وجود دارد بطوری‌که برخی معتقدند که این لجن تثبیت شده است و برخی دیگر معتقدند که این نوع لجن غیر تثبیت شده است و نیازمند تثبیت قبل از دفع به محیط زیست است (۲۲).

ازن‌زنی بر روی میزان جامدات لجن در این مطالعه موثر بود. یکی از اهداف هضم لجن نیز کاهش بار جامدات لجن است. براساس یافته های قبلی، تجزیه بیوماس در طی ازن‌زنی لجن بوسیله دو مکانیسم عمده قابل توصیف است. ابتدا تخریب لجن از طریق نخریب جامدات معلق لجن و سپس معدنی شدن بر اثر اکسیداسیون متعاقب مواد آلی محلول به دی اکسید و ترکیبات ساده‌تر است. هرچند که مقدار محلول سازی و کاهش لجن بشدت تحت تاثیر دوز ازن قرار دارد (۲۳). این موضوع با نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر مورد تایید قرار گرفت. بطوری‌که نتایج این مطالعه نشان داد جامدات معلق کل لجن در طول مدت زمان min ۹۰ ازن‌زنی کاهش (۵۱/۷۲ درصد) یافتند (نمودار ۱). نتایج این تحقیق با نتایج Mohd Sarif و همکاران (۲۰۱۸) همسو بود. Mohd Sarif و همکاران دریافتند که ازن‌زنی توانست در طی min ۱۶۰ حدود ۲۲ درصد از TSS لجن فاضلاب را کاهش دهد (۲۴).

براساس نتایج بدست آمده در این مطالعه (نمودارهای ۱ تا ۵) ازن‌زنی منجر به تجزیه مشهودی در بافت لجن فاضلاب شد که دلایلی برای این مزیت در ادبیات پژوهشی ذکر شده که در این بخش به آن پرداخته شده است. همزدن لجن و تزریق ازن باعث ایجاد تماس بهتر میان لجن فاضلاب با ازن می‌شود. میکروارگانیسم‌های موجود در شکل فلوک ممکن است از میکروارگانیسم‌های داخلی در برابر تماس با ازن محافظت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

کنند. لذا همزدن لجن و تزریق ازن این فلوک‌ها را شکسته و میکروارگانیسم‌های داخلی را در معرض ازن قرار می‌دهد (۱۵). چرا که در لجن فعال، سلول‌های باکتریایی ماکروفلوک‌هایی با اندازه‌های مختلف از ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرومتر هستند که خود از مجموعه‌ای از میکروفلوک‌ها با دامنه اندازه‌ای ۱۰ تا ۱۵ میکرومتر تشکیل شده‌اند که عمدتا بصورت سلول‌های فعال محصور در ماتریسی از اگزوپلیمر موجودند (۲۵). همزدن لجن و تزریق ازن کمک می‌کند تا این فلوک‌ها بهتر شکسته شوند و ذرات داخلی در معرض ازن قرار بگیرند و این ممکن است اثربخشی ازن را در برابر لجن افزایش دهد. همانطورکه در مطالعات گذشته نشان داده شده است که ازن می‌تواند غشای سلولی را با پراکسیداسیون لیپید و سایر فرایندهای مرتبط تخریب می‌کند و ساختار سایر ترکیبات آلی را به طور غیرقابل برگشت تغییر می‌دهد (۲۶، ۲۷). علاوه بر این، فرایند ازن‌زنی با مواد معدنی که بخش عمده‌ای از لجن فاضلاب را تشکیل می‌دهد نیز واکنش می‌دهد. تخمین تعداد فرایندهای احتمالی مرتبط با ازن‌زنی دشوار است، اما می‌توان با استفاده از آزمون‌های معمولی طراحی شده برای تعیین میزان و در دسترس بودن ماده حساس به اکسیداسیون، یعنی COD و BOD_5، به صورت ماکروسکوپی بررسی کرد.

از جمله اهداف اصلی فرایندهای پیش تصفیه لجن، مانند ازن‌زنی، افزایش غلظت مواد با قابلیت تجزیه پذیری بیولوژیکی بالا و در دسترس نمودن بیشتر زیستی لجن است. در نمودارهای ۳ و ۵ نشان داده شده است که با افزایش طول زمان فرایند ازن‌زنی، مقدار COD محلول و BOD_5 محلول از نظر آماری قابل توجه است. همانطور که در نمودار ۳ قابل ملاحظه است، ازن‌زنی توانست در طول min ۹۰ اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول لجن را تقریبا ۱۸ برابر افزایش دهد. نتایج مطالعه حاضر با مطالعه Ge و همکاران (۲۰۲۰) همسو بود. Ge و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که با ازن اضافه شده در محدوده mg/g ۰ تا ۸۰، اکسیژن موردنیاز شیمیایی محلول لجن بطور آشکارا از mg/L ۴۰۶ به mg/L ۹۱۸۷ (حدود ۲۲ برابر) افزایش یافت (۱۹).

علت اصلی افزایش SCOD در لجن ازن‌زنی شده را می توان در لیز شدن سلول و آزاد شدن مواد آلی داخل سلول تفسیر نمود. چرا که نشان داده شده است که درجه لیز شدن سلول به غلظت ازن و نیز زمان تماس با ازن بستگی دارد. نتایج مطالعه Zhang و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که SCOD لجن بعد از ازن‌زنی به میزان قابل توجهی افزایش داشته است. آنها گزارش نمودند که طی ۰ تا min ۶۰ ازن‌زنی مقادیر SCOD مایع رویی لجن از حدود mg/L ۱۳۰ به mg/L ۵۹۲ افزایش یافت (۲۸). نتایج مشابهی نیز توسط Yang و همکاران (۲۰۲۱) با ثبت مقادیر ۱۶ برابر شدن غلظت SCOD لجن فعال نفتی در طی فرایند ازن‌زنی گزارش شد (۲۹).

درخصوص رابطه میان افزایش SCOD و کاهش غلظت جامدات نیز مطالعات گذشته چنین عنوان داشته بودند که رابطه خاصی بین MLSS و SCOD وجود دارد. پس از تزریق ازن، ساختار لجن اضافی تخریب شد و مواد آلی سلول‌های لجن از فاز جامد به فاز مایع آزاد شد که منجر به کاهش MLSS و افزایش SCOD گردید (۳۰).

ازن یک عامل لیتیک سلولی قوی است که می‌تواند میکروارگانیسم‌های موجود در لجن فاضلاب را از بین ببرد و مواد آلی ترشح شده از سلول را بیشتر تبدیل کند (۳۱). در طی فرایند ازن‌زنی ترکیبات آلی و غیرآلی آزاد شده زیست سازگارتر می‌شوند و بنابراین می‌توانند توسط میکروارگانیسم‌های هوازی و بی هوازی موجود در زمین و یا ستون‌های خاک به طور موثری مورد استفاده قرار گیرند (۳۲).

تخمین تخریب پذیری زیستی و در نتیجه قابلیت تجزیه زیستی لجن توسط نسبت COD/BOD_5 ارزیابی می‌شود. مقدار این نسبت با تخریب پذیری زیست لجن فاضلاب متناسب معکوس است (۳۳). نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان دهنده افزایش بیشتر SBOD در مقایسه با مقدار جزئی‌تر افزایش SCOD در طی فرایند ازن‌زنی است. براساس اندازه‌گیری‌های بعمل آمده، مقدار جامدات در لجن تغییر نمی‌کند اما شکل و قابلیت دسترسی به آن اصلاح می‌شود. این نتایج را می‌توان با کاهش نسبت SCOD/SBOD ناشی از ازن‌زنی لجن که در مطالعه Suryawan و همکاران (۲۰۲۱) (۳۴) و Suryawan و همکاران (۲۰۱۹) (۳۵) به آن اشاره شده بود، نیز نشان داد. در نتیجه، ارزیابی تغییرات پارامترهای برشمرده بیان می‌کند که

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

لجن فاضلاب در معرض فرایند ازن‌زنی می تواند جهت آماده سازی برای تصفیه زیستی بیشتر بکار رود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف امکان سنجی تصفیه لجن‌های تولیدی در تصفیه خانه فاضلاب شهری با کاربرد روش ازن‌زنی انجام شد. در این مطالعه نمونه لجن مورد تحقیق از خط برگشت لجن فعال از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت و با استفاده از یک راکتور ازن‌زنی، شاخص‌هایی همچون میزان جامدات معلق کل و جامدات معلق فرار، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول، کربن آلی کل و اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی محلول در طول فرایندهای ازن‌زنی مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج این تحقیق آشکار ساخت که در طول فرایندهای ازن‌زنی میزان جامدات معلق کل و جامدات معلق فرار افزایش یافت. اما سایر شاخص‌ها همچون اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول، کربن آلی کل و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی در زمان واکنش هر سه فرایند فوق سیر صعودی داشتند. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که سیستم ازن‌زنی می‌تواند به عنوان یک فرایند اثربخش جهت تجزیه لجن‌های تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و افزایش قابلیت زیست تجزیه شوندگی این لجن‌ها مورد پیشنهاد قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها را در این مقاله رعایت نموده‌اند. کد اخلاق مقاله IR.IUMS.REC.1397.756 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "امکان سنجی تصفیه لجن‌های تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با کاربرد روش تلفیقی ازن‌زنی و زمین‌پالایی" مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی ایران در سال ۱۳۹۹ با کد ۱۳۲۲۹ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی ایران اجرا شده است.

References

1. Pritchard DL, Penney N, McLaughlin MJ, Rigby H, Schwarz K. Land application of sewage sludge (biosolids) in Australia: risks to the environment and food crops. Water Science and Technology. 2010;62:48–57.

2. Batstone DJ, Jensen PD, Ge H. Biochemical treatment of biosolids - Emerging technologies: Pre-treatment methods such as biological processes can improve performance economically. Water. 2011;38:90–93.

3. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 4th ed. McGraw-Hill New York; 2003.

4. Carrère H, Dumas C, Battimelli A, Batstone DJ, Delgenes JP, Steyer J-P, et al. Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. Journal of Hazardous Materials. 2010;183:1–15.

5. Singh RP, Agrawal M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management. 2008;28:347–58.

6. Geng H, Xu Y, Zheng L, Gong H, Dai L, Dai X. An overview of removing heavy metals from sewage sludge: Achievements and perspectives. Environmental Pollution. 2020;266:115375.

7. Yuan Y, Hu X, Chen H, Zhou Y, Zhou Y, Wang D. Advances in enhanced volatile fatty acid production from anaerobic fermentation of waste activated sludge. Science of the Total Environment. 2019;694:133741.

8. Gao J, Liu Y, Yan Y, Wan J, Liu F. Promotion of sludge process reduction using low-intensity ultrasonic treatment. Journal of Cleaner Production. 2021;325:129289.

9. Ngo PL, Udugama IA, Gernaey KV, Young BR, Baroutian S. Mechanisms, status, and challenges of

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

thermal hydrolysis and advanced thermal hydrolysis processes in sewage sludge treatment. Chemosphere. 2021;281:130890.

10. Chu L, Yan S, Xing X-H, Sun X, Jurcik B. Progress and perspectives of sludge ozonation as a powerful pretreatment method for minimization of excess sludge production. Water Research. 2009;43(7):1811-22.

11. Sodhi V, Singh C, Cheema PPS, Sharma R, Bansal A, Jha MK. Simultaneous sludge minimization, pollutant and nitrogen removal using integrated MBBR configuration for tannery wastewater treatment. Bioresource Technology. 2021;341:125748.

12. Chu L, Yan S, Xing X-H, Sun X, Jurcik B. Progress and perspectives of sludge ozonation as a powerful pretreatment method for minimization of excess sludge production. Water Research. 2009;43:1811–22.

13. Fall C, Silva-Hernández BC, Hooijmans CM, Lopez-Vazquez CM, Esparza-Soto M, Lucero-Chávez M, et al. Sludge reduction by ozone: Insights and modeling of the dose-response effects. Journal of Environmental Management. 2018; 206:103–12.

14. Hashimoto K, Marushima T, Nakai S, Nishijima W, Motoshige H. The dead cell ratio of bacteria in sludge flocs as an indicator of sludge reduction in sludge ozone process. Biochemical Engineering Journal. 2020;154:107427.

15. Sun X, Liu B, Zhang L, Aketagawa K, Xue B, Ren Y, et al. Partial ozonation of returned sludge via high-concentration ozone to reduce excess sludge production: A pilot study. Science of the Total Environment. 2022;807:150773.

16. Chiavola A, Salvati C, Bongirolami S, Di Marcantonio C, Maria RB. Techno-economic evaluation of ozone-oxidation for sludge reduction at the full-scale. Comparison between the application to the return activated sludge (RAS) and the sludge digestion unit. Journal of Water Process Engineering. 2021;42:102114.

17. Hodaei M, Ghasemi S, Khosravi A, Vossoughi M. Effect of the ozonation pretreatment on biogas production from waste activated sludge of tehran wastewater treatment plant. Biomass and Bioenergy. 2021;152:106198.

18. Li W, Zhu N, Shen Y, Yuan H. Towards efficient elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from waste activated sludge by ozonation. Environmental Research. 2021;195:110783.

19. Ge D, Bian C, Yuan H, Zhu N. An in-depth study on the deep-dewatering mechanism of waste activated sludge by ozonation pre-oxidation and chitosan re-flocculation conditioning. Science of the Total Environment. 2020;714:136627.

20. Sui P, Nishimura F, Nagare H, Hidaka T, Nakagawa Y, Tsuno H. Behavior of inorganic elements during sludge ozonation and their effects on sludge solubilization. Water Research. 2011;45:2029–37.

21. WEF, APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC: American Public Health Association; 2005.

22. Anjum M, Al-Makishah NH, Barakat MA. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. Process Safety and Environmental Protection 2016;102:615–32.

23. Böhler M, Siegrist H. Partial ozonation of activated sludge to reduce excess sludge, improve denitrification and control scumming and bulking. Water Science and Technology. 2004;49:41–49.

24. Mohd Sarif SFZ, Alias SS, Muhammad Ridwan F, Ku Salim KS, Abidin CZA, Ali MdUF. Ozonation of return activated sludge for disintegration and solubilisation with synthesized titanium oxide as catalyst. 1st International Conference on Civil and Environmental Engineering; 2018; Malaysia.

25. Görner T, de Donato P, Ameil M-H, Montarges-Pelletier E, Lartiges BS. Activated sludge exopolymers: separation and identification using size exclusion chromatography and infrared micro-spectroscopy. Water Research. 2003;37:2388–93.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

26. Hwang B-K, Son H-S, Kim J-H, Ahn CH, Lee C-H, Song J-Y, et al. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2010;16:602–608.

27. Nowicka E, Grűbel KA, Machnicka A. Improving the gravitational properties of sewage sludge by pretreatments. Ecol Eng Environ Technol 2015; 2015:90–96.

28. Zhang R, Mao Y, Meng L. Zhang R, Mao Y, Meng L. Excess sludge cell lysis by ultrasound combined with ozone. Separation and Purification Technology. 2021;276:119359.

29. Yang K, Sun Z, Wang L, Lou Z. Decomposition of oil refinery sludge using E+-Ozonation process for carbon source releasing and TPH removal. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28:26913–26922.

30. Kudlek E, Kudlek E. Identification of degradation by-products of selected pesticides during oxidation and chlorination processes. Ecological Chemistry and Engineering. 2019;26(3):571-81.

31. Cui R, Jahng D. Nitrogen control in AO process with recirculation of solubilized excess sludge. Water Research. 2004;38:1159–72.

32. Hu X, Meneses YE, Stratton J, Lau SK, Subbiah J. Integration of ozone with co-immobilized microalgae-activated sludge bacterial symbiosis for efficient on-site treatment of meat processing wastewater. Journal of Environmental Management. 2021;285:112152.

33. Saktaywin W, Tsuno H, Nagare H, Soyama T, Weerapakkaroon J. Advanced sewage treatment process with excess sludge reduction and phosphorus recovery. Water Research. 2005;39:902–10.

34. Suryawan IWK, Prajati G, Afifah AS, Apritama MR. Nh3-n and cod reduction in endek (Balinese textile) wastewater by activated sludge under different do condition with ozone pretreatment. Walailak Journal of Science and Technology. 2021;18:1–11.

35. Suryawan IWK, Siregar MJ, Prajati G, Afifah AS. Integrated ozone and anoxic-aerobic activated sludge reactor for endek (Balinese Textile) wastewater treatment. Journal of Ecological Engineering. 2019;20:169–75.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Feasibility of treating the produced sludge in municipal wastewater treatment plant using ozonation method

Mohsen Ansari[1], Mahdi Farzadkia[1,2,*]

1- Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 07 August 2021
Revised: 18 September 2021
Accepted: 20 September 2021
Published: 22 September 2021

Keywords: Ozonation, Sludge treatment, Municipal wastewater treatment plant

***Corresponding Author:**
farzadkia.m@iums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Wastewater treatment and stabilization always imposes costs and consequently a lot of energy on wastewater treatment plants. To achieve the purification and stabilization of as much sludge as possible, breaking complex components into simpler components is considered a critical step. Therefore, this study aimed to evaluate the feasibility of treating the produced sludge in the municipal wastewater treatment plant using ozonation method.

Materials and Methods: In this study, sludge was obtained from the return line of activated sludge from the wastewater treatment plant in the south of Tehran. An ozonation generator with a discharge rate of 3 L/min and an ozone concentration of 40-35 mg/L was discharged to the reactor and the residual ozone concentration was measured by iodometric method. Finally, the total suspended solids and volatile, soluble chemical oxygen demand, total organic carbon, and biochemical oxygen demand during ozonation processes were measured using the Standard Method.

Results: The results of this study showed that the amount of TSS and VSS in the activated return sludge decreased from 4060 to 2100 mg/L and from 3300 to 1850 mg/L during the ozonation process, respectively. However, SCOD, TOC, and SBOD had an upward trend of about 18, 11.7, and 14 times in the same reaction time, respectively.

Conclusion: According to the results of this study, it can be concluded that the ozonation system can be proposed as a suitable process for the decomposition of sludge produced in wastewater treatment plants and increasing the biodegradability of these sludges.

Please cite this article as: Ansari M, Farzadkia M. Feasibility of treating the produced sludge in municipal wastewater treatment plant using ozonation method. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):351-62.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-06-26]