

استفاده از فرآیند اکسیداسیون پیشرفته از ناسیون جهت کاهش لجن بیولوژیکی تصفیه‌خانه پالایشگاه بندرعباس

مهدی جلاپر*^۱، رضا مرندی^۲ و تورج نصرآبادی^۳

۱- اداره مهندسی پالایش، شرکت پالایش نفت بندرعباس، بندرعباس، ایران

۲- دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

۴- دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۵

چکیده

همگام با توسعه فرآیندهای تصفیه پساب، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته در سالیان اخیر مورد توجه خاص قرار گرفته است. در این تحقیق از فرآیند از ناسیون به عنوان یک روش اکسیداسیون پیشرفته جهت کاهش مقدار لجن بیولوژیکی حاصل از تصفیه پساب پالایشگاه نفت بندرعباس استفاده گردید. نمونه‌های لجن برگشتی به حوض اکسیداسیون در شرایط آزمایشگاهی تحت ازن‌زنی با سرعت ثابت و طی مدت‌زمان ۲۰ تا ۱۲۰ دقیقه و با مقادیر ۰/۰۵۱۶ تا ۰/۶۱۹۲ mgO₃/mgMLSS قرار گرفت و در زمان‌های مختلف COD و مقدار لجن باقی‌مانده نمونه‌ها تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد که از ناسیون لجن مورد آزمایش موجب کاهش چشم‌گیر مقدار لجن، بهبود شرایط ته‌نشینی و کاهش بارآلودگی شده است. بهترین شرایط در مدت‌زمان تزریق ۸۰ دقیقه و با مقدار ازن ۰/۴۱۲۸ mgO₃/mgMLSS حاصل شد که منجر به کاهش ۳۶/۶۷٪ لجن نهایی گردید. در این شرایط، میزان بارآلودگی لجن از ۱۵۵۷۰ mg/L با کاهش ۴۲/۷۱٪ به ۹۱۰۰ mg/L شد که منجر به کاهش ۳۶/۶۷٪ لجن نهایی گردید. در این شرایط، میزان بارآلودگی لجن از ۱۵۵۷۰ mg/L با کاهش ۴۲/۷۱٪ به ۹۱۰۰ mg/L شد که منجر به کاهش ۳۶/۶۷٪ لجن نهایی گردید. با توجه به تولید ماهیانه ۴۰ تا ۵۰ تن لجن‌مازاد در پالایشگاه بندرعباس، استفاده از این روش موجب کاهش بیش از ۱۸ تنی لجن‌نهایی شده و علاوه بر کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، باعث کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند می‌گردد. هرچند اظهار نظر نهایی درخصوص مقدار کاهش هزینه، نیازمند آنالیزهای دقیق‌تر و برآوردهای اقتصادی و تحقیقات بیشتر است.

کلمات کلیدی: اکسیداسیون پیشرفته، کاهش لجن، از ناسیون، لجن بیولوژیکی، پالایشگاه نفت

مقدمه

پساب پالایشگاهی و دفع لجن باقی‌مانده به محیط دشوارتر از پیش شده است. لجن‌های فاضلاب، باقی‌مانده حاصل از تصفیه فاضلاب می‌باشد که در خلال تصفیه اولیه، ثانویه و در برخی موارد ثالثیه تولید می‌شود. تصفیه و دفع لجن‌مازاد به عنوان یک معضل در تصفیه‌خانه فاضلاب در سرتاسر دنیا از لحاظ عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و قانونی مطرح می‌باشد. به همین دلیل رویکرد به

با توجه به پیشرفت صنعت پالایش و توانایی تصفیه نفت‌خام سنگین و نامرغوب حاوی گوگرد، نمک، فلزات سنگین و سایر عوامل نامطلوب دیگر و با عنایت به سخت‌گیرانه‌تر شدن استانداردهای زیست‌محیطی، تصفیه

شیمیایی واکنش آنها بر پایه تولید ترکیب واسطه و بسیار واکنش پذیر رادیکال هیدروکسیل ($\text{HO}\cdot$) است که به عنوان آغازگر واکنش های زنجیره ای بیشترین کارایی را در اکسیداسیون ترکیبات آلی دارد. رادیکال های آزاد ($\text{O}_2\cdot^-$) و ($\text{HO}_2\cdot$) نیز در انجام اکسیداسیون دخالت دارند، ولی این رادیکال ها نسبت به رادیکال هیدروکسیل، قدرت اکسیدکنندگی ضعیف تری دارند [۵]. ثابت سرعت این رادیکال ها صد تا یک میلیون برابر بزرگ تر از ثابت سرعت اکسیدکننده های معمولی است و می توانند اکثر ترکیبات آلی مقاوم در برابر اکسیداسیون را از بین ببرند. رادیکال های فعال هیدروکسیل تشکیل شده به مولکول ها حمله کرده و سبب تخریب و تجزیه مولکول ها به مولکول های ساده تر می شوند. این فرآیند همچنان تکرار می شود تا این که آلودگی های موجود به کمترین میزان برسد [۳، ۴ و ۶].

در فرآیندهای اکسیداسیون، امکان تولید رادیکال هیدروکسیل به روش های مختلف وجود دارد که می توان آنها را به دو گروه فتوشیمیایی و غیرفتوشیمیایی دسته بندی نمود. در بخش روش های غیرفتوشیمیایی چهار روش برای تولید رادیکال هیدروکسیل بدون استفاده از انرژی نورانی شناخته شده است. در دو روش از این چهار روش، از ن به عنوان اکسیدکننده استفاده می شود و روش سوم نیز بر مبنای استفاده از یون فرو (Fe^{+2}) به عنوان کاتالیست استوار می باشد. این چهار روش عبارتند از: ۱- از ناسیون، ۲- ترکیب از ن و پراکسید هیدروژن ($\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}_2$)، ۳- ترکیب از ن و کاتالیست ($\text{O}_3\text{-CAT}$) و ۴- سیستم فنتون ($\text{H}_2\text{O}_2\text{-Fe}^{+2}$) [۷]. رادیکال هیدروکسیل، ترکیبی ناپایدار، واکنش پذیر و غیرانتخابی است که سریعاً با ترکیبات آلی واکنش می دهد. بنابراین، عمر رادیکال هیدروکسیل کم است و باید در محل مصرف تولید شود [۸].

بعضی از مواقع اکسیداسیون متداول ترکیبات آلی توسط از ن یا پراکسید هیدروژن به طور کامل منجر به تشکیل آب و دی اکسید کربن نمی شود. گاهی نیز مشاهده شده که محصولات واسطه تولید شده و باقی مانده در محلول، ممکن است سمی یا حتی سمی تر از ترکیبات اولیه باشند.

سمت توسعه فناوری هایی برای کاهش تولید لجن فاضلاب پیش می رود. حدود ۴۰ الی ۶۰٪ هزینه سرمایه گذاری و بیش از ۵۰٪ هزینه راهبری و نگهداری تصفیه خانه ها به امر تصفیه لجن حاصل از فرآیندهای تصفیه فاضلاب مربوط می شود [۱]. امروزه تولید فاضلاب های حاوی ترکیبات سمی و پیچیده، کاربرد فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب را محدود کرده است. از طرفی طی دو دهه گذشته استانداردهای زیست محیطی در دنیا سخت گیرانه تر شده است. اما متأسفانه در ایران با وجود تلاش فراوان اجرای کامل این قوانین هنوز میسر نگردیده است. یکی از فناوری های نوین ۱۵ سال اخیر در این عرصه به عنوان فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) معروف است. سیستم های AOPs به عنوان یک فناوری کارآمد و کلیدی برای آینده از آخرین سال های قرن بیستم در جهان مورد توجه خاص قرار گرفته است [۲].

معمولاً ۷۰٪ لجن را مواد آلی تشکیل می دهد. بنابراین ترکیب اصلی لجن تولید شده، میکروارگانیسم ها هستند که در ساختمان شان دارای سلول، غشاء و آب درون سلولی می باشند. وجود این غشاء ها موجب شده حذف آب در عمل آب گیری لجن با موفقیت چندانی همراه نباشد. شکسته شدن غشاء سلولی علاوه بر کمک کردن به عمل حذف آب لجن، موجب می شود تا مواد مغذی درون سلولی نیز در عمل هضم لجن شرکت داشته باشد. حذف آب از لجن باعث افزایش راندمان تصفیه لجن، کاهش حجم لجن و در نتیجه افزایش سهولت و کاهش هزینه حمل و نقل و دفن لجن می شود [۳]. برخی از روش های متداول کاهش لجن بیولوژیکی عبارتند از: تغلیظ، عملیات گرمایی، آب گیری، خشک کردن گرمایی، کاهش (احیاء) گرمایی و تثبیت [۳ و ۴]. روش های مذکور کاربرد گسترده ای داشته و در کاهش حجم لجن مازاد تصفیه خانه های لجن فعال مؤثر هستند. به منظور پوشش قوانین جدید زیست محیطی و همزمان کاهش حجم لجن تولیدی، امروزه تکنولوژی های جدیدی مورد توجه قرار گرفته اند که یکی از کارآمدترین این روش ها استفاده از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته است. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که از دهه ۱۹۷۰ شناخته شده، به فرآیندهایی اطلاق می گردد که مکانیسم

دیواره سلولی^۳ از بین می‌برد [۱۲]. وقتی لجن فعال در معرض ازن کمتر از $0.02 \text{ gr. O}_3/\text{gr. MLSS}$ قرار می‌گیرد، فعالیت آنزیمی آن هنوز برقرار است و فقط عملیات محلول‌سازی^۴ انجام گرفته است. در مقادیر بالاتر باکتری‌ها شروع به شکسته شدن کرده و ازن باعث اکسیدشدن مولکول‌های زنده لجن فعال می‌شود. بعضی باکتری‌ها حتی قادر به حفظ DNA خود در مقادیری تا $0.08 \text{ mg O}_3/\text{mg MLSS}$ می‌باشند. در مقادیر بالاتر از 0.1 ازن، توده لجن متلاشی شده و میکروبه‌ها فعالیت خود را از دست می‌دهند [۱۳]. ازن به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم که همزمان اتفاق می‌افتد، عمل می‌کند. در حالت مستقیم سرعت کمتر بوده و بستگی به ساختمان لجن دارد. متلاشی شدن توده‌های لجن مقدار زیادی ذرات ریز جامد و مواد آلی محلول تولید می‌کند که به راحتی توسط میکروارگانیسم‌ها قابل تجزیه هستند [۱۳ و ۱۴]. اولین بار در سال ۱۹۹۴ تحقیقاتی در زمینه استفاده از ازن به عنوان یک راه حل جدید جهت کاهش حجم لجن تولیدی مازاد واحدهای تصفیه پساب انجام شد [۱۵ و ۱۶]. در سال ۱۹۹۸ در پژوهش دیگری، محققان قسمتی از لجن برگشتی را وارد سیستم ازن‌زنی کرده و گزارش خود را در ارتباط با محلول‌سازی و متلاشی شدن لجن ارائه نمودند. آنها نشان دادند که ادامه اکسیداسیون مواد آلی محلول ناشی از ازن‌زنی منجر به تولید آب و دی‌اکسیدکربن می‌شود [۱۷]. سپس آزمایشات ازن‌زنی که روی دو سیستم موازی هوازی و غیر هوازی انجام شده بود، نشان داد که حجم لجن کاهش و نیترات زدایی^۵ به میزان ۶۰٪ بهبود یافته است [۱۸].

در یک کار آزمایشگاهی اولیه در پالایشگاه بندرعباس ازن با متلاشی کردن لجن برگشتی به عنوان بزرگ‌ترین بخش لجن‌نهایی، سبب کاهش حجم لجن و افزایش سرعت ته‌نشینی شده است [۱۰]. تحقیقات پیش‌رو به دنبال تکمیل نتایج کارهای قبلی و عملیاتی نمودن اجرای پروژه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی است.

عملکرد واکنش‌های اکسیداسیون همانند تخریب اکسایشی ترکیبات آزاد منجر به تشکیل ازن غیر پیوندی یا پراکسید هیدروژن می‌شود که می‌تواند با تابش نور فرابنفش (UV) تکمیل شود. ماکزیمم تابش اثربخش لامپ‌های UV برای فتولیز ازن در حدود 254 nm است. بسیاری از آلاینده‌های آلی دارای قدرت جذب انرژی پرتو فرابنفش در محدوده $200-300 \text{ nm}$ هستند که این امر ناشی از فتولیز مستقیم یا برانگیخته شدن و واکنش پذیری بیشتر با اکسیدکننده‌های شیمیایی می‌باشد. روش‌های فتوشیمیایی عبارتند از: ۱- (O_3-UV) ، ۲- $(\text{H}_2\text{O}_2-\text{UV})$ ، ۳- $(\text{H}_2\text{O}_2-\text{O}_3-\text{UV})$ ، ۴- سیستم‌های فتوفنتون/شبه فنتون و ۵- اکسیداسیون فتوکاتالیست $(\text{UV}-\text{TiO}_2)$ [۷].

ازن یک اکسیدکننده بسیار قوی با پتانسیل اکسیداسیون-احیاء 2.07 ولت است. قدرت اکسیدکنندگی قابل ملاحظه و وجود مولکول اکسیژن به عنوان محصول جانبی، ازن را به بهترین انتخاب برای اکسیداسیون و گندزدایی تبدیل کرده است [۹]. راه‌های غلبه بر توانایی دفاعی میکروارگانیسم‌ها در تصفیه آب و فاضلاب یا به صورت فیزیکی است، مانند گرما و نور و یا توسط واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شود، مانند استفاده از کلر O_3 ، H_2O_2 و یا تجهیزات مکانیکی مانند فیلترها و سانتریفیوژها به کار گرفته می‌شوند. در تمام موارد یادشده این مکانیسم‌ها انجام می‌گیرد: نفوذ از بدنه و دیواره دفاعی میکروارگانیسم به داخل آن، اختلال یا پارگی دیواره سلول که آنزیم‌های خارجی و پلی ساکاریدها (کیست‌ها، اسپورها و ویروس‌ها) با این روش نابود می‌شوند و خنثی‌سازی بار الکتریکی^۲ سطح منفی ذرات جامد و میکروارگانیسم‌ها که باعث کاهش نیروی دفع الکترواستاتیکی و ته‌نشینی راحت لجن می‌شود [۱۰]. ازن، متابولیسم باکتری را به هم می‌ریزد و از فعالیت آنزیم آن جلوگیری می‌کند. ازن با غلظت کافی دیواره باکتری را شکسته و باعث مرگ آن می‌شود. ازن، ویروس‌ها را از طریق نفوذ از پوشش پروتئینی به داخل هسته مورد حمله قرار داده و باعث صدمه به RNA می‌شود. ازن با غلظت بالاتر سبب تخریب لایه خارجی پروتئینی ویروس و اکسیداسیون آن میگردد. ساختمان DNA یا RNA میکروارگانیسم نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۱۱].

ازن دارای قدرت اکسیدکنندگی و سمیت بالایی است و میکروارگانیسم‌ها را با فرآیند تخریب

1. Diffusion
2. Charge Neutralization
3. Lysis
4. Solubilization
5. Denitrification

شرکت METROHM انجام شد.

جدول ۱- مشخصات دستگاه ازن ساز

واحد	مقدار	مشخصات دستگاه
°C	۵ - ۲۵	دمای عملیاتی
Barg	۰/۳ - ۰/۷	فشار عملیاتی
Amp	۰/۳۵	توان الکتریکی
%Wt	۶	غلظت ازن تولیدی
mg/h	> ۲۰۰	مقدار ازن تولیدی
lit/min	۲	مقدار جریان هوا
Air/O ₂		خوراک گاز ورودی

در ابتدای تحقیق نمونه‌های آزمون به صورت یک‌جا در دو ظرف جداگانه به حجم ۴ و ۱۰ Lit از مسیر جریان برگشتی لجن‌فعال به حوض اکسیداسیون به‌روش ASTM 887 برداشته شد و سپس به آزمایشگاه منتقل گردید. ظرف کوچک‌تر به‌عنوان نمونه شاهد و ظرف دوم جهت انجام تست‌های تخریبی مورد استفاده قرار گرفت. پس از گذشت زمان، لجن موجود در این ظروف ته‌نشین شده و از آب جدا گردید. لذا در هر بار اخذ نمونه ظرف اصلی به‌خوبی هم‌زده شد. سپس یک نمونه به حجم ۱۰۰ cc از ظرف نمونه‌ها جدا شد و جهت تست COD وارد دستگاه سنجش COD گردید. جهت انجام تست COD براساس استاندارد ASTM-D1888 نمونه‌ها به میزان مشخص به کیت‌ها اضافه شده و سپس در داخل راکتور به مدت یک ساعت قرار گرفت. کیت‌ها پس از خنک شدن در داخل دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار گرفته و میزان COD بر اساس اندازه‌گیری طول موج ۶۲۰ nm توسط دستگاه معین گردید. به‌منظور دستیابی به مقدار مواد جامد معلق (MLSS) در سیستم‌های مایع که براساس وزن خالص مواد جامد و به‌صورت قسمت در میلیون اعلام می‌گردد، طبق استاندارد ISO11923، ۵۰ الی ۵۰۰ cc از نمونه به روش فیلتراسیون توسط دستگاه فیلتراسیون خلاء، صاف شد و پس از عبور کامل مواد از صافی ۰/۸ μm، صافی مربوطه در آون خشک گردید. اندازه‌گیری pH به روش ASTM 7676 انجام شد. نتایج تست‌های مختلف بر روی نمونه اولیه لجن، در جدول ۲ آمده است.

در پالایشگاه بندرعباس پس از فرآیندهای متداول تصفیه پساب صنعتی نظیر گرفتن موادنفستی، روغن و چربی‌ها و سایر مواد حاصل از پالایش نفت‌خام، فاضلاب وارد فرآیند لجن‌فعال می‌شود که در این فرآیند مقدار زیادی لجن بیولوژیکی تولید می‌گردد. حجم لجن مازاد نهایی آب‌گیری ۴۰ تا ۵۰ تن در ماه است که این لجن پس از بارگیری و حمل به خارج از پالایشگاه، در زیر خاک دفن می‌گردد. ادامه این روند با توجه به طرح‌های توسعه پالایشگاه و افزایش مقدار پساب و لجن، مشکلات زیست‌محیطی زیادی را در آینده به وجود می‌آورد. بنابراین جهت کاهش مقدار لجن‌نهایی باهدف حفظ محیط‌زیست، کاهش هزینه‌های مدیریت لجن مازاد، صرفه‌جویی در وقت و هزینه و افزایش بهره‌وری باید چاره‌ای اندیشیده شود که تحقیق پیش رو نیز در راستای نیل به این هدف صورت پذیرفته است. در این تحقیق با تزریق ازن به نمونه‌های اخذشده از مسیر جریان برگشتی به حوضچه اکسیداسیون، علاوه بر بهبود روند ته‌نشینی لجن، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در مقدار لجن‌نهایی به همراه کاهش بار آلودگی حاصل گردید.

مواد و روش کار

در این پژوهش از لجن برگشتی حوض ته‌نشینی^۱ به حوض اکسیداسیون تصفیه خانه صنعتی شرکت پالایش نفت بندرعباس به‌عنوان نمونه آزمون استفاده گردید. دستگاه ازن‌ساز مورد استفاده در این تحقیق مدل MHP1H ساخت کشور آلمان بود که در هر ساعت ۲۰۰ mg ازن تولید می‌کند. مشخصات و پارامترهای مهم این دستگاه به شرح جدول ۱ می‌باشد. به‌منظور انجام تست COD بر روی نمونه‌ها از راکتور مخصوص این تست، کیت‌های خاص و دستگاه اسپکتروفوتومتر پرتابل DR 2800 ساخت شرکت HACH آمریکا استفاده شد. در این تحقیق از ترازوی دیجیتال Sartorius مدل CP423S با دقت ۰/۰۰۱ g، آون ساخت شرکت BICASA و دستگاه فیلتراسیون متصل به سیستم خلاء استفاده گردید. صافی مورد استفاده با نام تجاری "MILLIPORE" با اندازه چشمه‌های ۰/۸ μm بود و اندازه‌گیری pH توسط دستگاه 691pH Meter ساخت

جدول ۲- نتایج آنالیز نمونه لجن اولیه بدون آب گیری

پارامتر	مقدار	واحد	روش آزمون
COD	۱۵۵۷۰	mg/L	ASTM-D1888
pH	۷/۲	--	ASTM 7676
MLSS	۶۴۶۰	mg/L	ISO11923
Conductivity	۳۰۸۰	μsiemens/cm	ASTM -D1125

الف- از ناسیون باعث افزایش سرعت ته نشینی لجن در مقایسه با نمونه لجن اولیه گردیده است.

ب- مقدار لجن نهایی نمونه‌های ازن خورده نسبت به نمونه لجن اولیه کمتر شده است.

ج- با افزایش میزان از ناسیون از صفر تا زمان ۸۰ دقیقه، سرعت ته نشینی لجن افزایش یافته است، اما در نمونه ۱۲۰ دقیقه ازن خورده، سرعت ته نشینی نسبت به زمان‌های کمتر اندکی کاهش یافته است.

د- کمترین مقدار لجن باقی مانده در از ناسیون ۸۰ دقیقه‌ای، به میزان ۱۹٪ می‌باشد که در مقایسه با مقدار لجن نهایی نمونه اولیه (۳۰) به حدود ۳۷٪ کاهش یافته است.

در ادامه، آزمایش اندازه‌گیری میزان COD نمونه‌ها انجام گرفت که نتایج آن به شرح جدول ۳ می‌باشد.

با توجه به داده‌های جدول فوق نتایج زیر حاصل می‌گردد:

۱- میزان COD در نمونه‌های ازن خورده در مقایسه با نمونه لجن اولیه کاهش یافته است.

۲- کمترین میزان COD مربوط به نمونه ازن خورده به مدت ۸۰ دقیقه می‌باشد.

۳- میزان بار آلودگی با زیاد شدن زمان ازن زنی تا ۸۰ دقیقه روند کاهشی دارد ولی پس از ۸۰ دقیقه روند افزایشی از خود نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این امر در نتیجه پاره شدن دیواره سلولی و رها شدن محتوای داخلی آنها در مخلوط می‌باشد که نتیجه آن با افزایش مقدار COD همراه بوده است [۱۳ و ۱۴].

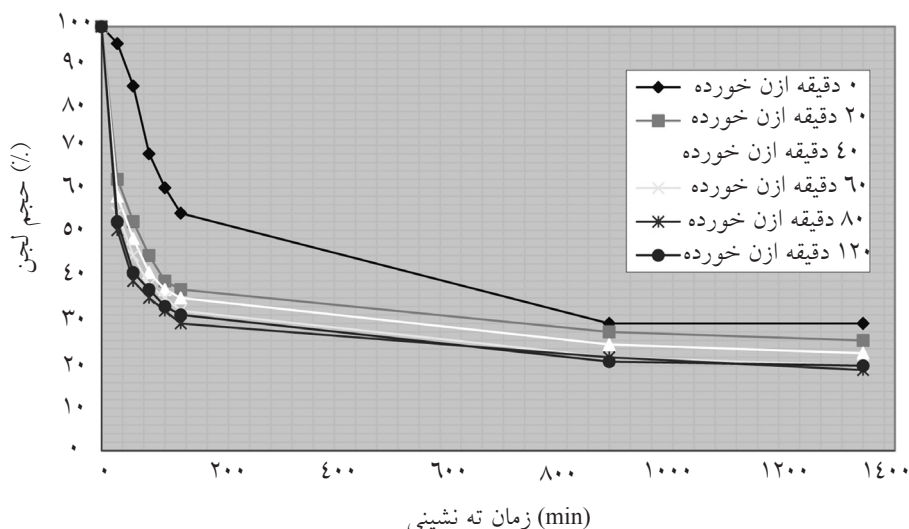
با تجمع نتایج کاهش حجم لجن و تست COD می‌توان زمان ۸۰ دقیقه از ناسیون را به عنوان حالت بهینه در بین حالت‌های مختلف انتخاب نمود. زیرا بهترین کاهش حجم و کمترین میزان COD در این شرایط حاصل گردیده است. در زمان‌های بیشتر سرعت ته نشینی کمتر شده و بار آلودگی نیز بیشتر می‌باشد.

پس از مشخص شدن آنالیز لجن اولیه، تست‌های تخریب لجن آغاز گردید. در هر بار تست، مقدار cc ۱۰۰ از نمونه لجن اولیه پس از هم زدن از ظرف اصلی نمونه‌ها جدا شده و وارد یک سیلندر cc ۲۵۰ می‌گردد. لوله مربوط به دستگاه ازن زنی، به نحوی در درون محتویات داخل سیلندر قرار داده شد تا تمامی حجم مواد، ازن زنی شود. مجموعه دستگاه تولیدکننده ازن، اتصالات مربوطه و سیلندر آزمایش، زیر هود و در شرایط آزمایشگاهی (دمای ۲۲ تا ۲۵°C) قرار گرفت تا با توجه به توصیه‌های ایمنی، تخریب ازن و خروج گازها به خوبی انجام گیرد. سپس دستگاه تولید ازن روشن شده و ازن زنی آغاز گردید. ازن زنی برای نمونه‌های مشابه در مدت زمان‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام شد. پس از پایان ازن زنی، به هر کدام از این نمونه‌ها اجازه ته نشینی داده شد. با توجه به بهبود شرایط ته نشینی تمامی لجن ته نشین شده و حجم لجن ته نشین شده در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه پس از پایان ازن زنی یادداشت گردید. پس از گذشت ۱۶ و ۲۴ ساعت از اتمام تزریق ازن، مجدداً حجم لجن ته نشین شده برای تمامی نمونه‌ها یادداشت شد.

نتایج و بحث

دقیقا پس از قطع عملیات از ناسیون، سرعت ته نشینی در نمونه‌های ازن خورده در مقایسه با لجن اولیه به شدت افزایش یافت و پس از گذشت حدود ۲ ساعت سرعت ته نشینی کند شد. تمامی لجن در ته ظرف آزمون ته نشین گردید. پس از گذشت ۱۶ و ۲۴ ساعت از اتمام تزریق ازن، مجدداً حجم لجن برای تمامی نمونه‌ها یادداشت شد. لازم به ذکر است که به دلیل شدت عملیات ازن زنی، حجم نهایی نمونه‌ها اندکی کمتر از cc ۱۰۰ شده است. (حدود ۵٪ کاهش حجم)

نتایج آزمایش ازن زنی در شکل ۱ مشاهده می‌گردد. مطابق این شکل می‌توان گفت:



شکل ۱- نمودار حجم لجن ته‌نشین شده در مقادیر مختلف تزریق ازن

تأثیر مقدار ازن تزریقی به نسبت MLSS و تغییرات COD را بر حسب زمان تزریق ازن رسم نمود (شکل ۲).

با توجه به شکل ۲ مشخص می‌شود که با افزایش مقدار ازن تزریقی، مقدار بار آلودگی کاهش چشم‌گیری یافته است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در حالت ازن‌زنی به مدت ۸۰ دقیقه و با تزریق 0.4128 mg ازن به ازای 1 mg MLSS ، بهترین نتیجه از نظر کاهش مقدار COD حاصل می‌گردد که نقطه عطف منحنی COD حاکی از این نکته می‌باشد. در مقادیر بیشتر از این نقطه به دلیل آزاد شدن مواد درون سلولی، مقدار COD اندکی صعودی شده است. با افزایش نسبت غلظت ازن به غلظت لجن ($\text{mg O}_3 / \text{mg MLSS}$) سرعت ته‌نشینی نیز بهبود یافته است. در جدول ۵، بازده حذف لجن در شرایط مختلف از ناسیون با نمونه لجن اولیه مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که مدت زمان ۸۰ دقیقه برای تزریق ازن (مقدار 0.4128 mg) ازن به 1 mg MLSS با بازده 0.3677 ، بهترین شرایط برای حذف لجن است.

جدول ۳- نتایج تست COD انجام شده بر روی نمونه‌های ازن خورده

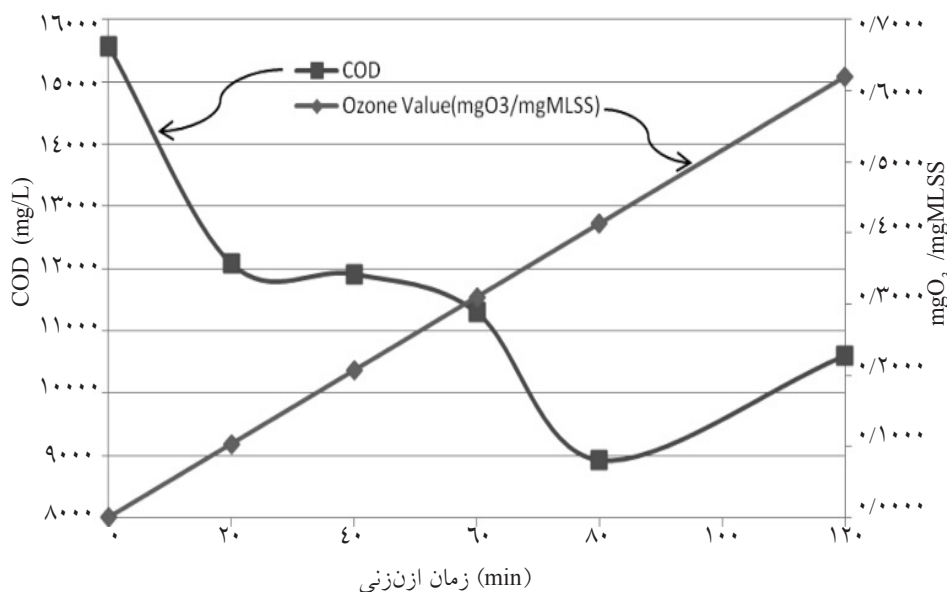
COD (mg/L)	شرایط نمونه
۱۵۵۷۰	لجن اولیه
۱۲۰۷۵	۲۰ دقیقه ازن خورده
۱۱۹۱۰	۴۰ دقیقه ازن خورده
۱۱۲۹۵	۶۰ دقیقه ازن خورده
۸۹۲۰	۸۰ دقیقه ازن خورده
۱۰۶۰۰	۱۲۰ دقیقه ازن خورده

بر اساس مشخصات دستگاه تولید ازن در جدول ۱، این دستگاه قادر است در مدت زمان یک ساعت، مقدار 200 mg ازن تولید کند. همچنین مقدار کل جامدات معلق (MLSS) نمونه لجن اولیه بر اساس نتایج آزمایشگاهی مندرج در جدول ۲، به مقدار 6460 mg/lit می‌باشد. لذا با داشتن 100 cc حجم نمونه می‌توان مقدار ازن تزریقی به نمونه‌های ازن‌خورده در مدت زمان‌های مختلف را محاسبه کرد.

با توجه به تلفیق داده‌های جدول ۳ (نتایج تست COD انجام شده بر روی نمونه‌های ازن خورده) و جدول ۴ (مقادیر ازن تزریقی به نمونه‌ها در زمان‌های مختلف) می‌توان نمودار

جدول ۴- مقادیر ازن تزریقی به نمونه‌ها در زمان‌های مختلف

زمان ازن‌زنی (min)	۱۲۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۱۰
مقدار ازن ($\text{mgO}_3/\text{mgMLSS}$)	0.6192	0.4128	0.3096	0.2064	0.1032	0.0516



شکل ۲- نمودار تاثیر مقدار ازن تزریقی به نسبت MLSS نمونه اولیه و تغییرات COD

جدول ۵- مقایسه بازده حذف لجن در حالات مختلف از ناسیون به ترتیب بیشترین بازدهی

شرایط نمونه	مقدار ازن تزریقی (mg O ₃ /mgMLSS)	حجم لجن نهایی (%)	بازده حذف لجن (%)
۸۰ دقیقه ازن خورده	۰/۴۱۲۸	۱۹	۳۶/۶۷
۶۰ دقیقه ازن خورده	۰/۳۰۹۶	۲۰	۳۳/۳۳
۱۲۰ دقیقه ازن خورده	۰/۶۱۹۲	۲۰	۳۳/۳۳
۴۰ دقیقه ازن خورده	۰/۲۰۶۴	۲۳	۲۳/۳۳
۲۰ دقیقه ازن خورده	۰/۱۰۳۲	۲۶	۱۳/۳۳
نمونه لجن اولیه	۰/۰	۳۰	۰/۰

نتیجه گیری

هزینه دفع در حدود ۵۰۰ دلار به ازای هر تن معقول به نظر می رسد. لذا با داشتن این مقادیر، پیش بینی می شود که در صورت کاسته شدن ۱۸ تن از لجن مازاد دفعی در ماه، حدود ۹۰۰۰ دلار یا معادل ۳۲۰ میلیون ریال صرفه جویی ماهانه در هزینه ها صورت خواهد گرفت که صرفه جویی سالیانه آن بالغ بر ۳۸۴۰ میلیون ریال خواهد شد.

در صورت استفاده از نتایج این تحقیق در تصفیه خانه های فاضلاب صنعتی و پالایشگاهی، علاوه بر کاهش هزینه های دفع لجن، دغدغه های زیست محیطی و آلاینده گی ناشی از دفن لجن های مربوطه که حاوی اجزاء نامطلوب نظیر فلزات سنگین، مواد شیمیایی و نفتی است، به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت. در صورت ادامه روند فعلی در پالایشگاه بندرعباس و عدم کاهش میزان لجن دفعی، سایت های جدید جهت دفع زایدات مورد نیاز می شد.

آمارها نشان می دهد که میزان تولید لجن مازاد حاصل از تصفیه پساب پالایشگاه بندرعباس معادل ۴۰ تا ۵۰ تن در هر ماه است. لذا با استفاده از نتایج این تحقیق و با در نظر گرفتن بازده حذف لجن به میزان ۳۶/۶۷٪، می توان انتظار داشت که مقدار لجن تولیدی تصفیه خانه پالایشگاه تا ۱۸ تن کمتر از مقادیر قبلی گردد.

هزینه دفع لجن مازاد بسیار متغیر بوده و از ۱۰۰ تا ۵۰۰ دلار بر تن گزارش شده است [۱۹]. با توجه به مخاطرات دفع لجن مازاد پالایشگاهی به دلیل امکان وجود مواد نفتی، فلزات سنگین، گوگرد و مواد شیمیایی در لجن، لزوم جداسازی اولیه مواد مخاطره آمیز، نظارت ویژه بر دفن مواد در سایت مخصوص تحت نظارت سازمان حفاظت محیط زیست و با عنایت به هزینه های مربوطه، تخمین

اثر مواد محلول رها شده از سلول‌های تخریب شده و آنالیز فعالیت‌های مصرف رادیکال‌های مولکول اکسیژن در تحقیقات آتی می‌باشد. همچنین آنالیز جمعیت میکروارگانیزم‌ها و تاثیر فعالیت آنزیمی آنها و نیز تجزیه و تحلیل دقیق اقتصادی می‌تواند موضوع بررسی‌های جدید قرار گیرد.

با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقه بندرعباس به دلیل مجاورت با دریا، ورود این آلودگی‌ها به آب‌های زیرزمینی می‌تواند لطمات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته باشد.

در این تحقیق، میزان تزریق ازن به عنوان اولین عامل مؤثر مدنظر قرار گرفته است. اما شناسایی عوامل محدودکننده واکنش ازن نیز عامل بسیار مهمی است که مستلزم بررسی

مراجع

- [۱]. کایدی ن.، تکدستان ا.، محمودی پ.، جعفری موسوی ا.، «مدیریت روش‌های مختلف کمینه‌سازی لجن‌های بیولوژیکی در تصفیه‌خانه‌های شهری و صنعتی»، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۳۹۰
- [۲]. جمشیدی ن.، طالبی آذر ل.، نژادبهداری ف.، «فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته روشی مطمئن برای تصفیه پساب‌های صنعتی»، اولین کنفرانس پتروشیمی ایران، تهران، ۱۳۸۷.
- [۳]. کریم پور ا.، «فرآیند اکسیداسیون پیشرفته و کاربرد آن در تصفیه پساب‌های صنعتی» سومین همایش ملی محیط زیست، تهران، ۱۳۸۹.
- [4]. Jones C., Environmental Restoration Division "Engineering and Design Ultraviolet/Chemical Oxidation" Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers,CEMP-RT Washington DC., Technical Letter No. 1110-1-161, 1996.
- [5]. Eviron J., *Photochemical degradation and mineralization of phenol: a comparative study*, Hazard. Subst. Environ. Eng. PP2009-2014, 2003.
- [6]. Fernando J. and Beltra n., *Ozone/UV Radiation/Hydrogen Peroxide Oxidation Technologies*, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain, 1996.
- [7]. Munter R., "Advanced oxidation processes: current status and Prospects" P. Estonian Acad. Sci. Chem. Vol. 50, pp. 59-80., 2001.
- [۸]. دبیری ح.، "پتروشیمی" موسسه انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۰.
- [۹]. علی‌دادی ح.، "ضد عفونی کننده‌ها در تصفیه آب و فاضلاب"، انتشارات تصفیه‌خانه اصفهان، ص ۱۰ و ۲۵-۲۸، ۱۳۷۹.
- [۱۰]. اسدی ر.، "کاهش حجم لجن با استفاده از تزریق ازن در لجن خروجی تصفیه‌خانه لجن‌فعال پالایشگاه نفت بندرعباس"، پایان نامه کارشناسی ارشد، بندرعباس، ۱۳۸۸.
- [11]. Zheng W., Lin W., Bao Z. Wang, Yi F. Jiang and Shuo Liu, "Bench-Scale Study On Zero Excess Activated Sludge Production Process Coupled With Ozonation Unit In Membrane Bioreactor", Journal Of Environmental Science And Health, Part A, Vol. 43 Issue11 pp. 1325 – 1332, 2008.
- [12]. Max R. B., Malcolm B. and Fabyi R. N., *A Novel Sludge Ozonation Process*, Praxair R&D., 2008.
- [13]. Yan S. , Chu L. , Xing X., Yu A.F., Sun X. L. and Jurcik B., *Analysis Of The mechanism Of Sludge Ozonation by A Combination Of Biological And Chemical Approaches*, Elsevier., 2008.
- [14]. Marta C, Carbine M., Luis L. and Tomas T., "Influence Of Ozone Pre-Treatment On Sludge Aerobic Digestion", Chemosphere 67, pp. (1444- 1452), 2006.

- [15]. Yasui A. and Shibata H., "Activated Sludge Ozonation To Reduce Sludge Production In Membrane Bio Reactor(MBR)", Jurnal Of Hazardous Materials, B135, pp. 406- 411., 1994.
- [16]. Biehler H. and Siegrist A. "Operational strategies for an activated sludge process in conjunction with ozone oxidation for zero excess sludge production during winter season", Water Research, Vol. 39, Issue 7, pp. 1199-1204,1994.
- [17]. Kamia D. and Hirotsui E., "Reduction Of Excess Sludge Produced By Biological Treatment Processes: Effect Of Ozonation On Biomass And On Sludge" Science And Engineering, Vol. 29, No. 6 , pp. 415-427, 1998.
- [18]. Magdanela A. Dytczak, Kathleen L. Londry, Hansruedi Siegrist, Jan A. and Oleszkiewicz. "Ozonation Reduces Sludge Production and Improves Denitification", Water Res. 41, pp. 543-550, 2007.
- [19]. Bing He Sh., Gang x. and Bao-Zhen W. , "Activated sludge ozonation to reduce sludge production in membrane bio reactor (MBR)", Jurnal Of Hazardous Materials, B135 , 406-41124 - STD ASTM ENG- 1982 (Reapproved 1999), 2006.