

## فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه پساب صنایع تصفیه دوم روغن

احمد رضا یاری<sup>۱</sup>، امیرحسین محوی<sup>۲</sup>، محمدحسن محمودیان<sup>۳</sup>، جواد صفایی قمی<sup>۴</sup>، مرتضی صفدری<sup>۵</sup>، منوچهر امامیان<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> مربی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

<sup>۴</sup> دانشیار شیمی آلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قم، قم، ایران.

<sup>۵</sup> کارشناس آزمایشگاه، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

<sup>۶</sup> کارشناس ارشد آزمایشگاه، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از صنایع وابسته به ترکیبات نفتی که نقش مهمی در اقتصاد، حفظ منابع و ذخایر نفتی، همچنین حفاظت از محیط زیست دارد، صنایع تصفیه دوم روغن است. در این تحقیق کارایی فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه پساب صنایع تصفیه دوم روغن بررسی گردید.

**روش بررسی:** این تحقیق از نوع توصیفی- نیمه تجربی است که در آن کیفیت شیمیایی پساب صنایع تصفیه دوم روغن سوخته از نظر شدت آلوده‌کنندگی برحسب COD، فرآیندهای فیزیکوشیمیایی انعقاد، لخته‌سازی با استفاده از مواد منعقدکننده متداول و اکسیداسیون با ازن برای حذف و کاهش آلودگی تا رسیدن به استانداردهای تخلیه زیست‌محیطی بررسی شد. مواد منعقدکننده سولفات آلومینیوم، کلرور فریک، سیلیکات سدیم، پلی‌آلومینیوم کلراید مورد ارزیابی قرار گرفتند. در تعیین کارایی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی از دستگاه آزمایش جار استفاده شد. نمونه‌های مورد بررسی در صنایع تصفیه دوم روغن از شهرک صنعتی سلفچگان قم تهیه گردید، و از روش‌های آزمایش استاندارد آب و فاضلاب به منظور تعیین کیفیت شیمیایی پساب استفاده شد.

**یافته‌ها:** آزمایش‌های اولیه نشان داد میزان BOD این فاضلاب که بیانگر تصفیه‌پذیری بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد در مقایسه با مقدار COD که نشان‌دهنده اکسیژن‌خواهی شیمیایی فاضلاب است، اندک می‌باشد. لذا کاربرد فرآیندهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب عملاً بدون استفاده از فرآیندهای شیمیایی از نظر راندمان تصفیه و مکان اقتصادی، میسر نیست. آزمایش‌ها نشان داد مقدار COD پساب از ۳۸۰۰۰ mg/l تا ۷۸۰۰۰ mg/l متغیر است. نتایج نشان داد کاربرد فرآیند اکسیداسیون پیشرفته با ازن به تنهایی در pH=۱۱/۵ به راندمان ۷۷/۵٪ و در pH=۹ به ۵۷/۲٪ و در pH=۳/۲۵ به راندمان حذف ۲۱/۳٪ از COD این پساب می‌رسد.

**نتیجه‌گیری:** طبق نتایج، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته قبل از تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های صنایع تصفیه دوم روغن، در حذف مواد آلاینده و سمی مؤثر است.

**کلید واژه‌ها:** پساب صنعتی؛ تصفیه دوم روغن؛ اکسیداسیون پیشرفته؛ لخته‌سازی.

نویسنده مسئول مکاتبات: دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران؛

آدرس پست الکترونیکی: ahmahvi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۵

### مقدمه

گوشت، تهیه روغن نباتی، دباغی‌ها، صنایع پشم، ماشین‌سازی، تهیه شیر و فرآورده‌های لبنی، صابون‌سازی، رستوران‌ها وارد پساب‌ها می‌شوند. حلالیت کم روغن و چربی در آب، سرعت تجزیه

روغن و گریس موادی هستند که امروزه از طریق صنایع مختلف مانند صنایع نفت و صنایع غذایی، کشتارگاه‌ها و بسته‌بندی

بیولوژیکی آنها را کاهش می‌دهد. انواع چربی از جمله ترکیبات آلی، نسبتاً پایدار هستند، و به راحتی به وسیله باکتری‌ها تجزیه نمی‌شوند، اما اسیدهای معدنی با آنها واکنش داده، که نتیجه آن تشکیل گلیسرین و اسیدهای چرب می‌باشد (۱).

انواع چربی و روغن از نقطه نظر پلاریته، قابلیت تجزیه زیستی و خصوصیات فیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند و از نظر فیزیکی، این روغن‌ها دارای پنج حالت می‌باشند. این پنج حالت بر انتخاب و عملکرد روش تصفیه مؤثر است. تاکنون روش‌های مختلفی از جمله تصفیه بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی برای تصفیه پساب‌های نفتی به کار برده شده است. فرآیند لجن فعال و صافی چکنده از جمله متداول‌ترین روش‌های تصفیه بیولوژیکی می‌باشند (۱). تصفیه نفت خام به منظور استخراج طیف وسیعی از سوخت‌ها و روغن‌های روان‌کننده بر مبنای نقاط جوش مرتبط به هر کدام طراحی شده است. در ستون تقطیر بسیاری از روغن‌های روان‌کننده مانند: روغن موتور، روغن‌های انتقالی صنعتی، روغن‌های هیدرولیک، روغن‌های انتقال‌دهنده حرارت، روغن‌های الکتریکی و... جدا می‌شوند. روغن‌های روان‌کننده بر مبنای ویسکوزیته بالا و دمای جوش بالا از سایر بخش‌های نفت خام متمایز می‌شوند.

روغن سوخته به این شیوه تعریف شده است: هرگونه روغنی که از تصفیه و پالایش نفت خام یا روغن‌های سنتتیک به دست آید و مورد استفاده قرار گیرد و آلوده به ناخالصی‌های فیزیکی یا شیمیایی شده باشد (۲).

از آنجا که روغن سوخته موتور نتیجه عملکرد مواردی مانند منبع نفت خام، پروسه‌های پالایش، حضور افزودنی‌ها و مدت زمان استفاده شدن است، لذا ترکیب شیمیایی یکنواخت و مشخصی در تمام موارد وجود ندارد. ولی به طور کلی روغن موتور سوخته حاوی مقادیر کمی از بنزین، افزودنی‌ها مانند دترجنت‌ها، دسپرنت‌ها، مهارکننده‌های اکسیداسیون، مهارکننده‌های زنگ‌زدگی (ضدزنگ‌ها) و بهبوددهنده‌های ویسکوزیته است. ترکیبات S و N فلزاتی مانند سرب، روی، کلسیم، باریم و منیزیم حیطة وسیعی از هیدروکربن‌های آروماتیک و آلیفاتیک با طول زنجیری متغیر از ۲۰-۱۵ کربن می‌باشد (۲). تصفیه در محل برای حذف آلاینده‌هایی از جمله فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و سایر

ترکیباتی که از تصفیه اولیه عبور نموده و تصفیه بیولوژیکی را مختل می‌کنند، لازم است. تصفیه در محل برای میزان جریان فاضلاب کم حاوی غلظت بالای مواد آلی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی نیز قابل توجه است. روش‌های مورد استفاده برای تصفیه در محل شامل: ترسیب، جذب سطحی به وسیله کربن فعال، اکسیداسیون شیمیایی، جریان‌سازی (زدایش) با هوا، تبادل یونی، فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس و الکترودیالیز می‌باشد (۲-۴). حدود ۵۶۰ میلیون لیتر (۱۵۰ million gal) روغن سوخته هر ساله در آمریکا توسط تولیدکنندگان در محل بازیافت می‌شود. اساس تصمیمی که استانداردهای مدیریت این روغن‌ها را بر بازیافت متمرکز کرده است؛ حفاظت سلامت عمومی، حفظ محیط زیست، حفظ منابع انرژی و منافع اقتصادی می‌باشد. به عنوان مثال پالایش مجدد روغن‌های سوخته یک سوم انرژی مورد نیاز تصفیه نفت خام در حد کیفیت روغن‌های روان‌کننده را نیاز دارد (۵).

به منظور حذف ذرات روغن به روش‌هایی مانند شناورسازی با هوای محلول (DAF)، جداساز با صفحات موازی (PPS)، جداساز ثقلی مربوط به صنایع نفت آمریکا (American Petroleum Institute, API) می‌توان اشاره نمود (۶). تصفیه مجدد موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. حدوداً کمتر از ۸۵-۵۰٪ انرژی برای پالایش مجدد روغن‌های سوخته نسبت به تصفیه نفت خام به روغن‌های روان‌کننده نیاز است (۵).

در صنایع بازیافتی تصفیه دوم روغن در مراحل فرآیند حرارتی و جداسازی، حجمی از آب روغن سوخته جداسازی می‌شود که همراه با مواد سوختی سبک دیگر نیز می‌باشد. در صورت رهاسازی این حجم آب در محیط زیست، خسارت زیادی به منابع آب و خاک محیط زیست وارد خواهد شد.

رایج‌ترین شیوه‌های بازیافت روغن‌های سوخته که با استانداردهای مدیریت این روغن‌ها مطابقت دارند شامل موارد زیر است:

- ۱- تصفیه و پالایش مجدد به منظور استفاده این روغن‌ها به عنوان پایه روغن‌های روان‌کننده.
- ۲- Slip Streaming (استفاده از روغن‌های سوخته در طی تصفیه نفت خام).
- ۳- سوزاندن مستقیم.
- ۴- انجام پروسه‌های مختلف.

صنعتی یا قطب‌های صنعتی است که در آنها صنایع تصفیه دوم روغن در حال بهره‌برداری هستند.

### روش بررسی

در این تحقیق تمامی کارخانجات تصفیه دوم روغن واقع در استان قم از جمله پساب کارخانجات تصفیه دوم روغن واقع در شهرک صنعتی سلفچگان به‌عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شد. در این بررسی از پساب حاصل از فرآیند حرارتی تصفیه دوم روغن نمونه‌برداری شد. نمونه‌های مورد نظر برای آزمایش‌های بیولوژیکی در ظروف شیشه‌ای مخصوص استریل در حجم ۲ لیتر و نمونه‌های مورد نظر برای آزمایش‌های شیمیایی در ظروف پلاستیکی جمع‌آوری شد، و تحت شرایط ویژه نمونه‌برداری به آزمایشگاه جهت آزمون منتقل گردید. به‌منظور تأمین فاضلاب راکتور پایلوت از همین پساب در ظروف ۲۰ لیتری پلی‌اتیلنی استفاده شد. با توجه به یکسان بودن فرآیند تصفیه روغن سوخته در تمام کارخانجات موجود در این شهرک صنعتی، نمونه‌برداری ابتدا از دو کارخانه نوید شیمی و کارخانه تندروان بهرو و در ادامه فقط از کارخانه تندروان بهرو انجام شد.

در انجام این پروژه از پایلوت شبیه‌سازی شده جارست برای بررسی فرآیندهای فیزیکوشیمیایی کوآگولاسیون و فلوکولاسیون استفاده گردید (شکل شماره ۱). در انجام آزمایش جار از سرعت اختلاط ۱۲۰ rpm و زمان ماند ۲ دقیقه در اختلاط سریع و سرعت ۴۰ rpm و زمان ماند ۲۰ دقیقه در اختلاط آرام و مدت زمان ۳۰ دقیقه برای مرحله ته‌نشینی استفاده شد. مواد کوآگولانت مصرفی عبارت بودند از: سولفات آلومینیوم، کلرور فریک، سیلیکات سدیم، پلی‌آلومینیوم کلراید و پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده.

جهت تنظیم pH از آب آهک و سود استفاده گردید. به‌منظور انجام فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (ازناسیون)، یک راکتور نیم‌لیتری از جنس پلی‌پروپیلن و PET به کار برده شد. ازن به‌وسیله یک لوله لاستیکی رابط از طریق یک دیفیوزر مخصوص از کف راکتور وارد آن شد (شکل شماره ۲). ازن اضافی از بالای راکتور جمع‌آوری و در محلول یدور پتاسیم ۱۰٪ جذب گردید. در ابتدا از

در روش اول روغن‌های سوخته را به روغن‌های گریس‌کاری یا محصولات مشابه تبدیل می‌کنند. دو روش آخر برای گرفتن انرژی گرمایی از روغن سوخته استفاده می‌شود.

در طی پالایش مجدد، روغن سوخته مستعد یک‌سری از تصفیه‌های شیمیایی و فیزیکی است که برای برداشتن ناخالصی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روغن سوخته ابتدا دستخوش فیلتر کردن، گرمادهی و رسوب‌دهی شده تا مواد جامد بزرگ و آب از آن حذف گردد. سپس کل ستون حاوی روغن، تحت خلأ قرار می‌گیرد که کلیه آلاینده‌های آلی به این روش خارج می‌شوند. متعاقباً روغن با هیدروژن تیمارشده که با آلوده‌کننده‌های مشخصی پیوند داده و رسوب می‌کند. در نهایت، روغن‌های گریس‌کاری یا روان‌کننده‌های سنگین‌تر از روغن‌های سوختی سبک‌تر جدا می‌شوند. با پروسه تصفیه مجدد، تولید پسماندهای پرخطر به حداقل کاهش یافته و باقیمانده مواد می‌تواند به‌عنوان سوخت و یا برای تولید آسفالت به کار رود (۵).

روش قدیمی برای بازیابی روغن مستعمل، همان روش اسید خاک رنگبر است که در دنیا به‌علت زیان‌های زیست‌محیطی منسوخ شده است، ولی متأسفانه در ایران تنها روش بازیافت روغن موتور می‌باشد. برطبق آمار وزارت صنایع، مجموع ظرفیت کارگاه‌ها و کارخانه‌هایی که دارای مجوز بهره‌برداری برای تصفیه دوم روغن هستند بالغ بر ۲۸۰۰۰۰ تن در سال است. تعداد زیادی کارگاه دیگر نیز دارای جواز تأسیس هستند. این روش به دلیل تولید لجن اسیدی که زیان‌های زیست‌محیطی آن به مراتب بیشتر از خود روغن‌های مستعمل است، در کشورهای اروپایی و آمریکایی منسوخ شده است (۷).

در این تحقیق سعی گردید ضمن تعیین مقدار و شدت آلودگی؛ کارایی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی اکسیداسیون پیشرفته با ازن در تصفیه پساب کارخانجات تصفیه دوم روغن نیز در استان قم بررسی شود. هرچند در این پژوهش نمونه‌های مورد بررسی از صنایع موجود در استان قم واقع در شهرک صنعتی سلفچگان برداشت شد و مورد آزمایش کیفی قرار گرفت، اما با توجه به اینکه در کل کشور از فرآیند یکسان و مشابهی برای تصفیه روغن سوخته استفاده می‌شود و تمامی این صنایع با چنین پسایی روبرو هستند، بنابراین قلمرو تحقیق دربرگیرنده تمامی شهرک‌های

جدول شماره ۱: مشخصات فاضلاب حاصل از کارخانجات تصفیه دوم روغن

پارامتر اندازه‌گیری شده	مرحله اول	مرحله دوم
pH	۳/۵-۵/۲	۲/۵-۳/۵
TS	۱۲۲۰۰	۳۶۵۰
BOD	۶۰۰mg/l	۳۰۰mg/l
COD	۷۸۰۰۰mg/l	۶۲۰۰mg/l
Oil and Grease	۱۱۲۰mg/l	۲۵۰mg/l

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از فرآیند انعقاد با استفاده از سیلیکات سدیم ۱٪ در pH=۷/۸

دوز ماده منعقدکننده mg/l	COD ورودی mg/l	COD خروجی mg/l	درصد حذف
۲۵	۴۱۵۶۶	۳۸۹۳۳	۶/۳۳
۵۰	۴۱۵۶۶	۳۹۶۰۰	۴/۷۳
۷۵	۴۱۵۶۶	۳۹۸۰۰	۴/۲۵
۱۰۰	۴۱۵۶۶	۴۰۰۰۰	۳/۷۷
۱۵۰	۴۱۵۶۶	۴۱۳۳۳	۰/۵۶
۱۷۵	۴۱۵۶۶	۴۱۴۲۰	۰/۳۵

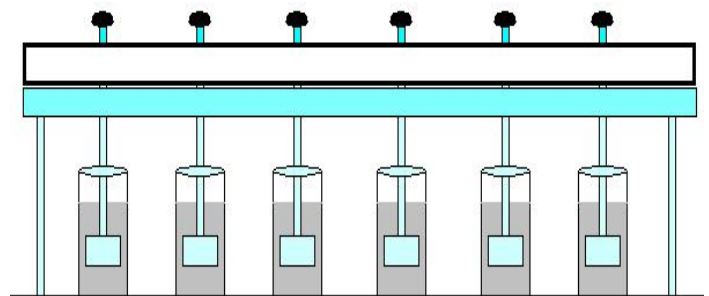
نتایج نشان می‌دهد بالاترین درصد حذف در دوز ۲۵mg/l سیلیکات سدیم بوده است، و با افزایش مقدار دوز منعقدکننده، راندمان حذف COD کاهش یافته است. همچنین با انجام آزمایش جار، بهترین pH برابر ۷/۸ تعیین شده است.

در جدول شماره ۳، نتایج حاصل از فرآیند انعقاد با استفاده از سیلیکات سدیم و خاک بنتونیت ارائه شده است. طبق جدول، سیلیکات در دوز ۱۰mg/l بیشترین راندمان حذف COD را دارد. همچنین وجود بنتونیت باعث بالا رفتن کدورت شده است، که خود در فرآیند انعقاد به‌عنوان یک عامل مؤثر عمل کرده و منجر به حذف ذرات کلوئیدی می‌شود.

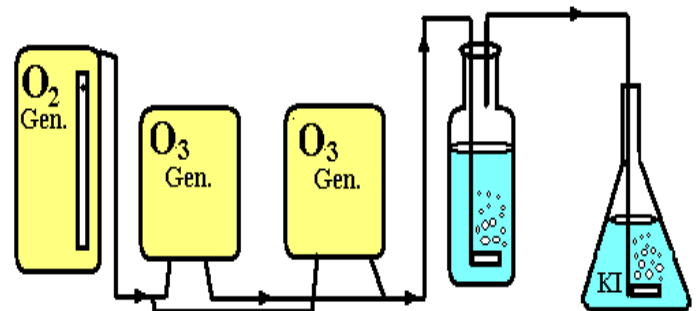
جدول شماره ۳: نتایج حاصل از انعقاد با سیلیکات سدیم و خاک بنتونیت (سیلیکات سدیم ۱٪ و بنتونیت ۱٪ در pH=۸)

دوز mg/l	COD ورودی mg/l	COD خروجی mg/l	درصد حذف
۱۰	۴۱۵۶۶	۳۷۸۵۰	۸/۹۴
۱۵	۴۱۵۶۶	۳۹۰۰۰	۶/۱۷
۲۵	۴۱۵۶۶	۳۹۳۵۰	۵/۳۳
۵۰	۴۱۵۶۶	۳۹۵۴۵	۴/۸۶

یک دستگاه ازن ژنراتور با ظرفیت اسمی ۵g/hr مدل آردا فرانسه (Compact Ozone Generator- Type: COG-1A- Model: 6-5-11015)، و در ادامه از ازن ژنراتور دیگری با ظرفیت اسمی ۱۰g/hr از همان مدل، به‌صورت موازی استفاده گردید. اکسیژن مورد نیاز توسط یک دستگاه اکسیژن ژنراتور (Oxygen Generator) با دبی متغیر از ۱-۵ لیتر در دقیقه تولید شد. آنالیز پارامترهای مورد بررسی از جمله BOD، COD، TS، O<sub>3</sub>، روغن، چربی و pH مطابق با روش‌های ذکر شده در کتاب آزمایش‌های استاندارد آب و فاضلاب انجام شد (۸).



شکل شماره ۱: راکتور مورد استفاده در مرحله انعقاد و لخته‌سازی



شکل شماره ۲: شمای کلی فرآیند ازناسیون

## یافته‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه پساب صنایع تصفیه دوم روغن در استان قم صورت گرفت. مشخصات پساب حاصل از فرآیند تصفیه دوم روغن سوخته در دو مرحله حرارتی اولیه و ثانویه در جدول شماره ۱ ارائه شده است. با استفاده از آزمون جار، مقدار دوز ماده منعقدکننده و pH مطلوب محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول شماره ۴: نتایج حاصل از فرآیند انعقاد با استفاده از سیستم تلفیقی

پلی آلومینیوم کلراید و پلی‌الکترولیت			
دوز PAC (mg/l)	COD ورودی (mg/l)	COD خروجی (mg/l)	درصد حذف
۷۵۰	۴۱۷۰۰	۳۷۸۰۰	۹/۳۵
۱۰۰۰	۴۱۷۰۰	۳۶۸۵۰	۱۱/۶۳
۱۲۵۰	۴۱۷۰۰	۳۵۲۰۰	۱۵/۵۹
۱۵۰۰	۴۱۷۰۰	۳۴۵۰۰	۱۷/۲۷
۱۷۵۰	۴۱۷۰۰	۳۳۸۴۰	۱۸/۸۵
۲۰۰۰	۴۱۷۰۰	۳۲۹۰۰	۲۱/۱۰

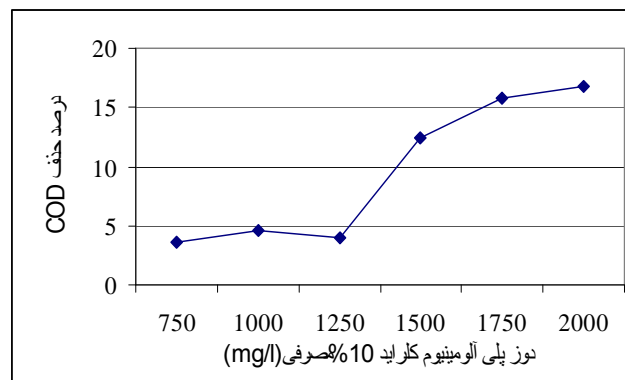
جدول شماره ۵، نتایج حاصل از اکسیداسیون فاضلاب با استفاده از ازن را در  $\text{pH}=3/25$  نشان می‌دهد. ازن اکسیدکننده‌ای است بسیار قوی که می‌تواند با بسیاری از ترکیبات آلی و معدنی واکنش نشان دهد. این ماده با پتانسیل اکسیداسیون  $2/07$  ولت در دمای  $25^\circ\text{C}$ ، یکی از مثبت‌ترین ترکیبات معدنی الکتروشیمیایی است و تنها ماده مثبت‌تر از ازن، فلئور با پتانسیل اکسیداسیون  $2/85$  ولت می‌باشد. ازن بسیاری از ترکیبات آلی را مورد حمله قرار می‌دهد که از آن میان، واکنش با فلزها، ترکیبات گوگردی و مواد اولیه تولید رنگ در زمینه انهدام مواد شیمیایی و پاکسازی فاضلاب‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

جدول شماره ۵: نتایج حاصل از فرآیند (اکسیداسیون پساب با ازن در  $\text{pH}=3/25$ )

زمان ازن زنی (h)	مقدار ازن (g/h)	ورودی COD (mg/l)	خروجی COD (mg/l)	درصد حذف	گرم COD حذف شده	نسبت COD حذف شده به ازن
۲	۱/۸۶	۳۸۱۵۰	۲۹۴۳۷	۲۲/۸۴	۸۷۱۳	۴/۷۳۵
۴	۳/۶۸	۳۸۱۵۰	۳۰۵۵۰	۱۹/۹۲	۷/۶	۲/۰۶
۶	۵/۵۲	۳۸۱۵۰	۳۱۰۰۰	۱۸/۷۴	۷/۱۵	۱/۲۹۵
۱۲	۱۱/۰۴	۳۸۱۵۰	۳۰۰۵۰	۲۱/۲۳	۸/۱	۰/۷۳۳
۱۷	۱۵/۶۴	۳۸۱۵۰	۳۰۰۴۰	۲۱/۲۶	۸/۱۱	۰/۵۱۸
۲۰	۱۸/۴	۳۸۱۵۰	۳۰۰۲۰	۲۱/۳۱	۸/۱۳	۰/۴۴۲

هرچند در مقدار کم، منجر به ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیر خواهد شد. ولی نتایج نشان می‌دهد این فاضلاب‌ها به شدت اسیدی بوده و همین اسیدیته پایین منجر به برهم‌زدن تعادل شیمیایی خاک و آبهای پذیرنده شده است. از طرفی، تخلیه این فاضلاب به اکوسیستم خاک باعث نابودی اکوسیستم میکروبی در هنگام تخلیه شده و حتی در صورتی که اکوسیستم آب و خاک توان خودپالایی داشته باشند، با ورود این پساب اسیدی از بین خواهند رفت. بنابراین در ارتباط با هر نوع تخلیه، خنثی‌سازی پساب بایستی در نظر گرفته شود.

با افزایش دوز پلی‌آلومینیوم کلراید، راندمان حذف COD افزایش یافته است. شرایط بهینه برای این منعقدکننده در  $\text{pH}=8/7$  و دوز منعقدکننده  $2000\text{ mg/l}$  برقرار بوده است (نمودار).



نمودار: نتایج حاصل از فرآیند انعقاد با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید

جدول شماره ۴، نتایج حاصل از فرآیند انعقاد با استفاده از سیستم تلفیقی پلی‌آلومینیوم کلراید (۱۰٪) و پلی‌الکترولیت ( $20\text{ mg/l}$ ) را نشان می‌دهد.  $\text{pH}$  بهینه براساس آزمایش جار  $7/8$  به دست آمده است.

در این تحقیق فرآیند ازن زنی به نمونه‌های فاضلاب؛ در  $\text{pH}$ های اسیدی، خنثی و قلیایی انجام شد. با توجه به اینکه  $\text{pH}$  اولیه و طبیعی فاضلاب خروجی از مراحل اول و دوم فرآیند تصفیه دوم روغن، اسیدی است لذا در این  $\text{pH}$ ، در صورتی که ازن راندمان خوب داشته باشد از هزینه‌های خنثی‌سازی، کاسته خواهد شد.

## بحث

در ارتباط با کیفیت فاضلاب حاصل از فرآیند تصفیه دوم روغن می‌توان نتیجه گرفت که این فاضلاب‌ها از دسته فاضلاب‌های بسیار آلوده هستند. تخلیه مستقیم چنین فاضلابی به محیط زیست

می‌کند، اما هنوز تا رسیدن به استانداردهای تخلیه به محیط زیست فاصله بسیار زیادی دارد.

در ادامه بررسی، از ازن به‌عنوان اکسیدکننده قوی استفاده گردید. نتایج نشان داد هرچقدر ازن ورودی به فاضلاب بیشتر باشد درصد حذف بیشتر است. و این حذف در زمان کمتری اتفاق می‌افتد. در pH های مختلف مشاهده گردید ازن درصد حذف مختلفی را به همراه داشته است. ازن در تمامی pH های اسیدی و قلیایی قدرت اکسیداسیون خوبی داشته که این اکسیداسیون بستگی به شرایط دیگری از قبیل ترکیب ماده مورد نظر و تأثیر فاکتورهای محیطی بر آن ماده نیز دارد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش pH به سمت شرایط قلیایی، درصد حذف COD توسط ازن بیشتر خواهد شد، و در  $pH=11/5$  درصد حذف COD به  $77/59$  می‌رسد. نسبت COD حذف شده به ازن در این pH برابر  $0/569$  است که در واقع، با مصرف  $52g$  ازن مقدار  $29/6g$  از COD حذف شده است.

Ioakimis در سال ۱۹۷۵ با انجام مطالعه‌ای تحت عنوان "کاربرد ازن در تصفیه فضولات پالایشگاه" نشان داد ازن‌زنی به فاضلاب قبل از هرگونه تصفیه فیزیکی می‌تواند تا  $60\%$  برحسب COD آلودگی را کاهش دهد. همچنین ازن‌زنی به فاضلاب، مقادیر COD و BOD را کاهش می‌دهد، اما نسبت COD: BOD به‌سختی تغییر می‌کند. ازن نمی‌تواند تمامی مواد آلاینده را به محصول نهایی  $CO_2$  و آب اکسیده کند؛ زیرا با تشکیل ترکیبات حدواسط، ازن قادر به شکستن نهایی آنها نیست و یا به زمان واکنش بیشتری نیاز دارد (۹). نتایج مطالعه حاضر نشان داد با ادامه از ناسیون فاضلاب، نسبت ازن مصرف شده به مقدار COD حذف شده بیشتر می‌شود، این مورد را می‌توان چنین توجیه نمود که در ابتدا ازن با ترکیبات ساده‌تر واکنش می‌دهد. بنابراین نسبت مصرف ازن به COD حذف شده کمتر است و برای شکستن ترکیبات پیچیده‌تر مقدار ازن بیشتری باید وارد واکنش شود. شرایط قلیایی به علت ایجاد سریع‌تر عامل هیدروکسید، راندمان بیشتری را نسبت به شرایط اسیدی خواهد داشت. با توجه به اینکه pH اولیه و طبیعی این فاضلاب اسیدی است، لذا از لحاظ اقتصادی بایستی در نظر گرفته شود. همچنین در پایان مرحله از ناسیون، تعدیل و تنظیم pH نیاز به افزودن مواد شیمیایی اسیدی

پارامتر BOD که نشان‌دهنده آلاینده‌های قابل تجزیه میکروبی است، به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در طراحی روش‌های بیولوژیکی تصفیه به کار می‌رود. نتایج نشان داد مقدار BOD این فاضلاب نسبت به COD پایین است. براساس تجربیات صورت گرفته در انتخاب روش‌های تصفیه بیولوژیک فاضلاب؛ چنانچه نسبت BOD به COD کمتر از  $0/4-0/5$  باشد اصولاً تصفیه بیولوژیکی امکان‌پذیر نبوده و یا ترکیبات تشکیل‌دهنده فاضلاب به‌سختی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند. بنابراین گزینه انتخاب روش تصفیه بیولوژیک بدون پیش تصفیه برای این فاضلاب میسر نیست.

نتایج حاضر نشان داد مقدار چربی و روغن در کل نمونه‌های مورد بررسی از  $112-825mg/l$  اندازه‌گیری شده است.

سیلیکات سدیم در دوز  $25mg/l$  و pH مطلوب  $7/8$ ، بیشترین درصد حذف COD را برای این فاضلاب داشته است. اما این مقدار حذف ( $6/33\%$ )، هنوز مقدار ناچیزی است (جدول شماره ۲)، و در نتیجه به‌عنوان منعقدکننده در تصفیه فیزیکی شیمیایی فاضلاب تصفیه دوم روغن پذیرفته نیست. در تصفیه فیزیکی شیمیایی به روش انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب و فاضلاب، مواقعی که کدورت پایین باشد از مواد کدورت‌زا برای تشکیل فلوک‌های بهتر و قابل ته‌نشین استفاده می‌شود. در فرآیند تصفیه روغن سوخته جهت زلال‌سازی نهایی از خاک بنتونیت به‌منظور جذب ناخالصی‌های باقیمانده در روغن استفاده می‌گردد. در این بررسی از بنتونیت  $1\%$  برای کمک به فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه پساب استفاده شد. نتایج نشان داد سیلیکات سدیم در دوز  $10mg/l$  به همراه بنتونیت، حذف COD بیشتری داشته است، اما هنوز این مقدار حذف ناچیز بوده و از نظر اقتصادی و سایر جنبه‌ها مقرون به صرفه نیست (جدول شماره ۳). همچنین نتایج نشان داد سایر مواد منعقدکننده از جمله: سولفات آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم کلراید و مواد منعقدکننده به همراه پلی‌الکترولیت در تصفیه فیزیکی شیمیایی فاضلاب صنایع دوم روغن، حذف مشابهی داشته‌اند. بیشترین درصد حذف در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی برای پلی‌آلومینیوم کلراید و پلی‌الکترولیت در  $pH=8/7$  برابر  $21/1\%$  بوده است. هرچند این مقدار به کاهش بار آلودگی فاضلاب خروجی از صنایع تصفیه دوم روغن کمک

۳- به علت تخلیه دوره‌ای فاضلاب در طول مراحل تصفیه دوم روغن، لازم است یک واحد یکنواخت‌سازی طراحی گردد.

۴- با توجه به اسیدی بودن فاضلاب تولیدشده و با توجه به واحدهای بعدی تصفیه لازم است یک واحد خنثی‌سازی و تنظیم pH طراحی گردد.

۵- پساب نهایی باید از نظر پارامترهای مختلف که در استانداردهای تخلیه پساب به محیط تعیین شده است، آزمایش و کنترل شود، سپس براساس آن استانداردها تصمیم نهایی جهت دفع اتخاذ گردد.

۶- با توجه به اینکه ازن قادر است آلاینده‌های موجود در پساب صنایع تصفیه دوم روغن را تا حد زیادی کاهش دهد، لذا ملاحظات اقتصادی در استفاده از این فرآیند بایستی به تنهایی مدنظر قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌بینند که از حمایت کنندگان این تحقیق قدردانی و سپاس به عمل آورند. این تحقیق با حمایت استانداری قم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم، دانشگاه علوم پزشکی قم و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به انجام رسیده است.

دارد که باید مدنظر قرار گیرد. همچنین فرآیند اکسیداسیون باعث کاهش pH نیز خواهد شد.

در این بررسی، افزایش pH از ۳/۲۵ به ۷/۵ باعث افزایش تأثیر ازن در حذف COD گردید. چنانچه در این مرحله راندمان بعد از ۲۰ ساعت ازن‌زنی به ۴۲/۰۷٪ می‌رسید. با بالا رفتن pH از ۷/۵ به ۹، راندمان حذف COD نیز بیشتر می‌شد (۵۷/۲۷٪).

### نتیجه‌گیری

طبق نتایج این مطالعه، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته قبل از تصفیه بیولوژیک فاضلاب‌های صنایع تصفیه دوم روغن، در حذف مواد آلاینده و سمی مؤثر است.

### پیشنهادات

نتایج آزمایشهای انجام‌شده بر روی فاضلاب ناشی از فرآیندهای تصفیه دوم روغن مشخص‌کننده موارد زیر است:

۱- به علت سمیت بالا و نوع ترکیب تشکیل‌دهنده فاضلاب، همچنین بار آلودگی بالا، استفاده مستقیم از تصفیه بیولوژیکی برای تصفیه این فاضلاب‌ها مقدور نیست و تصفیه مقدماتی فیزیکی و شیمیایی بایستی انجام شود.

۲- طراحی و اجرای سیستم چربی‌گیر نوع API برای جداسازی روغن‌های شناور و درشت مولکول تا حد امکان از فاضلاب در طرح تصفیه این فاضلاب انجام شود.

### References:

- Eckenfelder WW Jr. Industrial Wastewater Treatment. Torkian A, Jafarzadeh MT, Translator. Tehran: Tehran Industrial Estates Co; 2001. [Text in Persian]
- Proceedings of Seminar on Recognize and Application of Industrial Lubricant, Tehran: Behran Oil Co; 1994.
- Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Tchobanoglous G. Water Treatment: Principles and Design. Philadelphia: John Wiley & Sons; 2005.
- Degremont. Water Treatment Handbook. Paris: Firman; 1991.
- Pichtel J. Waste Management Practice Municipal, Hazardous, and Industrial. Philadelphia: Taylor & Francis Group: LLC; 2005.
- Kawamura S. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. 2<sup>nd</sup> ed. San Francisco: John Wiley & Sons Inc; 2000.
- American Water Work Association (AWWA). Introduction to Water Treatment, Principles and Practices of Water Supply Operation. American Water Works Association; 1984.
- American Water Work Association, APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> ed. American Water Work Association; 2005.
- Ioakimis ÉG, Kulikov AE, Nazarov VI, Podgoretskaya NM, Éigenson SO. Use of Ozone in Treating Refinery Wastes. Chemist Technol Fuels Oils 1975;11(3):188-192.