بررسی کمی و کیفی پساب سیستم‌های تصفیه واحد صنعتی پالایش نفت و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی

علیرضا صفاهیه*[۱]، محسن مجلسی [۲]، سید محمد باقر نبوی [۳]، احمد سواری [۴]، حمیدرضا ترکی [۵]

[۱] دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

[۲] کارشناس ارشد زیست‌شناسی دریا گرایش آلودگی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

[۳] دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

[۳] استاد تمام گروه زیست‌شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

[۳] مسئول واحد HSE پالایشگاه نفت آبادان

نوع مقاله: **ترویجی**

دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی نحوه عملکرد مدیریت محیط‌زیست، اهمیت تصفیه آب در صنعت؛ در قالب کنترل آلاینده‌های پساب صنعتی و همچنین بررسی نحوه عملکرد کمی و کیفی دو سیستم تصفیه (سیستم تصفیه آب زلال‌کننده و فاضلاب بازیافت مواد نفتی) صورت پذیرفته است. بدین منظور میزان پارامترهای کمی و کیفی پساب (شامل COD، DO، pH، TSS، CL^-، SO_4^{-2} و...) مورد سنجش قرار گرفت. تعداد ۴ ایستگاه در محدوده مطالعاتی تعیین و نمونه‌برداری از پساب آن‌ها در دو فصل سرد و گرم در سال ۱۳۹۶ صورت پذیرفت. نتایج حاصل نشان داد که سیستم زلال‌کننده در تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌جز CL^-، به‌خوبی عمل کرده است. همچنین، سیستم تصفیه پساب ROP نتوانسته مقادیر پارامترهای TSS، COD، SO_4^{-2}، CL^- و کدورت را مطابق استانداردهای بین‌المللی خروج پساب تنظیم نماید. به نظر می‌رسد که سیستم تصفیه پساب پالایشگاه نیاز به توجه، اصلاح و ارتقا داشته باشد.

کلمات کلیدی: پارامترهای کیفی آب، پساب صنعتی، سیستم‌های تصفیه، استانداردهای بین‌المللی

* safahieh@hotmail.com

مقدمه

افزایش تقاضای جهانی برای آب شیرین به دلیل رشد جمعیت، منابع آبی را در دهه‌های اخیر تحت فشار قرار داده است. پیش‌بینی می‌شود که کمبود آب در سال‌های آینده شدیدتر نیز شود [۱]. مطالعات نشان می‌دهد که مصرف سالانه آب در سه بخش کشاورزی، صنایع و شهری به‌شدت افزایش یافته و حدود ۴ تریلیون مترمکعب است [۲]. بااین‌حال، آب شیرین قابل دسترس برای فعالیت‌های انسانی تنها حدود ۰/۰۱ تریلیون مترمکعب است [۳]. محدود بودن منابع آب شیرین برای فعالیت‌های انسانی منجر به استفاده از منابع آب غیرمتعارف مانند فاضلاب، آب باران و آب شور شده است [۴]. در حال حاضر، کم‌تر از ۲۰ درصد از مصرف جهانی آب مربوط به مصارف صنعتی است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ این مقدار تا چهار برابر افزایش یابد [۵]. سالانه مقدار قابل‌توجهی از فاضلاب‌های صنعتی تصفیه نشده مستقیماً در محیط‌های آب یا خشکی تخلیه می‌شود که این امر باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی متعددی می‌شود [۶]. مشکلات ناشی از افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب از بخش‌های صنعتی نیازمند استراتژی‌های مدیریت آب کارآمد است.

استراتژی‌های اصلی که منجر به مدیریت پایدار آب و فاضلاب می‌شود، حول به حداقل رساندن مصرف آب از طریق به حداکثر رساندن استفاده مجدد از آب و شناسایی فرصت‌های احیای فاضلاب برای اهداف بازیافت و استفاده مجدد است. [۷] بنابراین، بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده به یک روش بین‌المللی پایدار تبدیل شده است که شامل کاربردهای بسیار متنوعی است [۸].

پالایشگاه‌های نفت به‌عنوان یکی از صنایع فرآیندی پیچیده که مقادیر قابل‌توجهی آب را بر اساس اندازه و پیکربندی فرآیند برای عملیات متعدد (۶۵ تا ۹۰ گالن آب در هر بشکه نفت خام) مصرف کرده [۹] و حجم زیادی از فاضلاب با ماهیت‌های متنوع (۱/۶-۰/۴ برابر مقدار نفت خام فرآوری شده) را تولید می‌کنند [۱۰]. بازیافت و استفاده مجدد از این مقدار قابل‌توجه پساب برای اهداف مختلف ازجمله تأمین آب موردنیاز سیستم‌های خنک‌کننده، واحدهای فرآیندی، آبیاری و آتش‌نشانی پس از اجرای تصفیه (بر اساس استانداردهای کیفی) در پالایشگاه‌های نفت، امری قابل‌توجه است [۱۱]. رویکردهای متعددی پس از تصفیه و بسته به ماهیت نوع و اندازه واحدهای فرآیندی در پالایشگاه‌های نفت در طول دهه‌های اخیر باهدف بهبود مدیریت آب و پساب تکامل یافته است [۱۲]. این رویکردها شامل بررسی و اجرای تکنیک‌های سنتی مانند تقطیر، تبخیر، فیلتراسیون کربن فعال، فیلتراسیون شن و ماسه و اکسیداسیون شیمیایی است [۱۳]. موارد پیشرفته مانند جداسازی غشاهای تحت فشار، الکترودیالیز، تبادل یونی و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته است [۱۴].

واحد صنعتی مورد بررسی در این مطالعه به دلیل پیچیدگی‌های فرآیندی و بخش‌های متعددی که در خود جای داده است، حجم قابل‌توجهی از پساب را تولید می‌کند؛ لذا در این صنعت آب ورودی به سیستم از زمان ورود تا هنگام خروج به رودخانه از دو سیستم زلال‌سازی و تصفیه‌خانه فاضلاب استفاده می‌نماید. آب مصرفی پالایشگاه از رودخانه برداشت شده که برای آماده سازی برای استفاده در فرآیند مورد نیاز ابتدا وارد تصفیه‌خانه زلال‌کننده می‌گردد و در آنجا به‌وسیله مکانیسم‌های مختلفی چون صاف کردن، ته‌نشینی در حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه، جداسازی با نیروی سانتریفوژ، فیلتراسیون، انعقاد به‌وسیله فریک کلراید، لخته سازی، جداسازی مغناطیسی تصفیه شده و برای استفاده در مواردی چون برج‌های خنک‌کننده، تولید بخار، مصرف در پروسس و فرآیند واحدهای صنعتی پتروشیمی و... طبق

محدوده مطلوب شاخص‌های گروه چهارم آب‌های صنعتی جدول ۱ با هدف کنترل خوردگی و از بین رفتن مواد در اثر اکسید شدن، کنترل رسوب‌گذاری و جلوگیری از فوق اشباع شدن نمک‌ها در آب، کنترل رشد مواد بیولوژیک و باکتری‌های هوازی و غیر هوازی آماده می‌گردد. در این واحد صنعتی نیز پساب حاصل از فرآیند تولید وارد سیستم تصفیه‌خانه‌ای می‌شود که دارای سه سیستم تصفیه فیزیکی (واحد بازیافت نفت)، شیمیایی و بیولوژیکی بوده و پس از قرار گرفتن پساب در چهارچوب قوانین و استانداردهای بین‌المللی زیست‌محیطی خروجی مطابق جدول ۲ وارد رودخانه می‌شود.

استاندارد خروج فاضلاب‌ها، بر اساس ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور شامل ۱۶ مورد کلی استاندارد است و در مورد تخلیه به منبع پذیرنده، بایستی بنا به نوع فاضلاب رعایت شود (جدول ۲). لزوم تصفیه شامل بررسی‌های مهندسی شده و استفاده از فناوری مناسب، سنجش پارامترهای کمی و کیفی فاضلاب در استخر خروجی تصفیه‌خانه، مقایسه با استانداردهای اعلام شده، سرنوشت لجن مازاد، اطمینان بر عدم وجود بوی نامطبوع و اجسام شناور در فاضلاب خروجی، عدم تغییر رنگ و کدورت آب‌های پذیرنده در محل تخلیه و... است [۱۵].

جدول ۱- محدوده مطلوب شاخص‌های گروه چهارم آب‌های صنعتی

ردیف	شاخص	محدوده مطلوب (mg/l)	ردیف	شاخص	محدوده مطلوب (mg/l)
۱	pH	۵-۱۰	۵	سختی	۰-۵۰۰
۲	TSS	۰-۱۰۰	۶	سولفات	۰-۵۰۰
۳	TDS	۰-۱۰۰۰	۷	کلراید	۰-۵۰۰
۴	COD	۰-۷۵	۸	قلیائیت	۰-۵۰۰

منبع: دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۱۳۸۷

جدول ۲- استاندارد خروجی فاضلاب بر اساس نوع محل پذیرنده

نوع فاکتور	تخلیه به آب‌های سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جاذب (mg/l)	مصارف کشاورزی و آبیاری (mg/l)
CL^-	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
آمونیاک (NH^{3+})	۲/۵	۱	-
فسفات (PO_4)	۶	۶	-
سولفات SO_4^{-2}	۴۰۰	۴۰۰	۵۰۰
COD	۶۰	۶۰	۲۰۰
اکسیژن محلول (حداقل)	۲	-	۲
مجموع مواد معلق TSS	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	-	۱۰۰
مجموع مواد محلول TDS	۳۰۰۰	-	-
PH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶-۸/۵
کدورت (NTU)	۵۰	-	۵۰
دما (°C)	درجه حرارت باید به میزانی باشد که در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود، درجه حرارت را بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش ندهد.		

منبع: اداره کل حفاظت محیط‌زیست خوزستان

در خصوص تأثیر پساب‌های صنایع بر محیط و ارائه راهکارهای مدیریتی مطالعاتی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به بررسی کیفی پارامترهای پساب خروجی از فاز دوم پالایشگاه گاز پارسیان دوم که پالایشگاه گاز شیرین نیز خوانده می‌شود، اشاره کرد. کلیه پساب‌ها به واحد جدا کننده رفته و بعد از جداسازی اولیه مایعات و چربی‌ها به حوضچه‌های تبخیر انتقال داده می‌شود، در ابتدا به شناخت فرآیند تولید و منابع انتشار آلاینده‌های پساب پرداخته شده و سپس نقاط نمونه‌برداری از پساب مشخص گردید.

در خصوص ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی مطالعات زیادی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۶ در اسپانیا انجام گرفت، عملکرد ۸ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با فناوری‌های مختلف ارزیابی شد. در این تصفیه‌خانه‌ها از فرآیندهای هوادهی گسترده فشرده، لجن فعال، هوادهی گسترده و دیسک بیولوژیکی استفاده شده است. بر اساس نتایج تصفیه‌خانه‌های مطالعه شده، راندمان مطلوبی در کاهش آلاینده‌ها داشته و کیفیت پساب نهایی برای دفع مناسب بوده است. بر این اساس، فناوری‌های هوادهی گسترده متعارف و لجن فعال متعارف دارای راندمان عملکردی بهتری بودند [۱۶]. در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۴ در پاکستان، عملکرد سیستم بی‌هوازی– هوازی در تصفیه فاضلاب صنعتی به‌صورت واحد به واحد و کلی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که عملکرد کلی تصفیه‌خانه رضایت‌بخش نبوده و راهبری نامناسب واحدهای مختلف تصفیه‌خانه باعث کاهش کیفیت پساب خروجی و عدم دستیابی به استانداردهای تخلیه شده است [۱۷]. در پژوهش دیگری، پایش ۱۰ ساله عملکرد کلی سیستم برکه‌های تکمیلی کم‌عمق که پساب خروجی از سیستم بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا UASB را دریافت می‌کنند، در برزیل انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد سیستم در کاهش آلاینده‌های آلی، آمونیاک و همچنین کلی فرم‌ها و تخم انگل‌ها رضایت‌بخش بوده اما حذف فسفر، سورفاکتانت‌ها و ریزآلاینده‌ها با محدودیت‌هایی روبرو بوده است [۱۸].

مظفری و همکاران (۱۳۹۸)، به بررسی تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت تهران با استفاده از سیستم تالاب مصنوعی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که استفاده از سیستم تالاب مصنوعی با جریان قائم به ترتیب منجر به حذف ۸۵ و ۹۳ درصدی فلزات آهن و منگنز و همچنین ۴۱ درصد حذف هیدروکربن فنول شد [۱۹].

سیاح زاده و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی مکانیسم‌های حذف در تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت توسط سیستم MBBR پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد که در حذف هیدروکربن‌های نفتی، هر سه مکانیسم عریان‌سازی، جذب و تجزیه بیولوژیکی بسته به غلظت هیدروکربن‌های نفتی به میزان مختلف تأثیرگذارند. در شرایط بهینه میزان حذف هر یک از سه مکانیسم در TPH برابر ۲۷۸ میلی‌گرم در لیتر (با COD معادل ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به ترتیب عریان‌سازی با ۵۸ درصد، تجزیه بیولوژیکی با ۲۹ درصد و جذب بیولوژیکی با ۱۳ درصد به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، حذف هیدروکربن‌های نفتی از طریق مکانیسم عریان‌سازی و جذب بیولوژیکی حداکثر طی ساعت اول فرایند اتفاق می‌افتد [۲۰].

بهنامی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی عملکرد سیستم لجن فعال هوادهی گسترده مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب مجتمع پتروشیمی تبریز پرداختند. بر اساس نتایج، راندمان حذف COD و BOD به‌طور میانگین به ترتیب ۳۷ و ۴۶ درصد محاسبه شده است. نتایج آنالیز میکروبی نشان داد که از میان باکتری‌های جداسازی شده، جنس‌های Moraxella, Bacillus, Pseudomonas, Alcaligenes و Veillonella به‌عنوان باکتری‌های تصفیه کننده غالب در سیستم هستند [۲۱].

اجرای طرح‌های توسعه‌ای در صنایع پتروشیمی و احداث واحدهای جدید، افزایش ظرفیت واحدهای موجود و اعمال تغییرات در فرآیندهای تولید به‌منظور ارتقای کیفیت محصولات در زیر سایه حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت انرژی، نمونه‌هایی از دلایل ایجاد تغییرات در کمیت و کیفیت فاضلاب ورودی به واحدهای تصفیه پساب این صنایع به شمار می‌روند. ازاین‌رو، به‌روزرسانی و ارتقای سیستم‌های تصفیه‌خانه موجود متناسب با ویژگی‌های کمی و کیفی فاضلاب تولیدی، به شکلی که پساب خروجی با کیفیت مناسب برای ورود به منبع پذیرنده و یا استفاده مجدد تولید کند، امری ضروری است. در این راستا، این مطالعه با هدف ارزیابی کمی و کیفی پساب سیستم‌های تصفیه یک واحد صنعتی پالایش نفت و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

با توجه به بازدیدهای میدانی و رعایت موارد لازم برای انتخاب محل نمونه‌برداری، چهار ایستگاه در واحد صنعتی مذکور مشخص شد که این ایستگاه‌ها به ترتیب از ایستگاه اول که منبع تأمین آب ورودی پالایشگاه بوده تا ایستگاه چهارم که خروجی سیستم تصفیه ROP است و به رودخانه وارد و به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم باهم در ارتباط هستند (جدول ۳). نمونه‌برداری به‌صورت فصلی در طی دو فصل سرد (دی‌ماه ۱۳۹۵) و گرم (خردادماه ۱۳۹۶) با سه بار تکرار در هر ایستگاه، صورت پذیرفت. پارامترهای انتخابی بر اساس مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در مقایسه استانداردهای بین‌المللی خروجی پساب فاضلاب و همچنین سازمان محیط‌زیست، انتخاب شد. مشخصات هر ایستگاه به همراه طول و عرض جغرافیایی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شماره ایستگاه	نام ایستگاه
۱	A: کانال ورودی آب از رودخانه به واحد صنعتی
۲	B: کانال آب خروجی از تصفیه‌خانه زلال‌کننده پس از تصفیه و آماده‌سازی برای ورود به فرآیند تولید
۳	C: کانال ورودی پساب خام به واحد ROP
۴	D: کانال پساب خروجی از ROP (ورود به رودخانه)

در این مطالعه جهت سنجش پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نمونه‌ها از دستورالعمل موجود در کتاب «روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب» استفاده شد (APAH et al., 2005). در جدول ۴ خلاصه‌ای از پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش، روش آزمایش، دستگاه‌ها و دستورالعمل مورد استفاده بیان شده است.

جدول ۴- روش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده برای سنجش پارامترهای مورد مطالعه

ردیف	نام پارامتر	روش سنجش آزمایشگاهی	ردیف	نام پارامتر	روش سنجش آزمایشگاهی
۱	TSS (mg/l)	استاندارد متد D-2540	۵	کدورت (NTU)	کدورت سنج (HACH-2100N)
۲	SO_4^{-2} (mg/l)	استاندارد متد SO_4.E-4500	۶	COD (mg/l)	استفاده از ویال‌های اندازه‌گیری و دستگاه COD خوان

۳	PO_4^{3-} (mg/l)	استاندارد متد E-4500	۷	سختی (mg/l)	استاندارد متد C-2340
۴	NH_3^+ (mg/l-N)	استاندارد متد C-4500	۸	CL^- (mg/l-$caco_3$)	استاندارد متد CL, B-4500
- سنجش پارامترهای دما (℃)، SAL(PPT)، EC ($\mu m - cm$)، pH، TDS (mg/l)و DO (mg/l) توسط دستگاه مولتی‌متر Lovibond (Senso Direct 150) صورت پذیرفت.					

نتایج

بر اساس داده‌های به‌دست آمده روند تغییرات پارامترهای مختلف در ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول نشان داده شده و همچنین انواع مقایسه‌ها شامل مقایسه فصل‌ها، مقایسه ایستگاه‌ها و مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی ارائه گردیده است. به‌طورکلی در این تحقیق درمجموع ۳۳۰ سنجش مختلف بر روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج به‌دست آمده از نمونه‌برداری و آنالیزهای ایستگاه‌های مطالعاتی در فصل سرد و گرم در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه گردیده که نشان می‌دهد پارامترهای دما، EC، TDS، TSS، کدورت، COD، NH_3^+، PO_4^{-3} و SO_4^{-2} در دو فصل سرد و گرم توسط دو سیستم تصفیه زلال‌کننده و فاضلاب روند کاهشی داشته و پارامتر DO در فصل سرد و گرم تحت تأثیر سیستم تصفیه زلال‌کننده روند افزایشی و توسط سیستم تصفیه فاضلاب دستخوش تغییر آن‌چنانی نشده است. در ادامه؛ در فصل سرد و گرم سیستم زلال‌کننده تغییرات محسوسی بر روی pH انجام نداده اما؛ سیستم تصفیه فاضلاب به‌جز در فصل گرم، در فصل سرد آن را تنظیم می‌نماید. روند تغییرات سختی در فصل گرم توسط هر دو سیستم کاهشی بوده اما در فصل سرد به‌جز سیستم تصفیه فاضلاب که این روند را ادامه داده، سیستم زلال‌کننده بدون تغییر آب را انتقال داده است. پارامتر CL^- نیز در دو فصل سرد و گرم توسط سیستم زلال‌کننده افزایش یافته اما در فرآیند تصفیه سیستم فاضلاب در فصل سرد کاهش و در فصل گرم نیز نتوانسته تغییر آن‌چنانی اعمال کند.

جدول ۵- میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی فصل سرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	پارامترها	محل نمونه‌برداری				ردیف	پارامترها	محل نمونه‌برداری			
		واحد پالایش نفتی						واحد پالایش نفتی			
		ایستگاه A	ایستگاه B	ایستگاه C	ایستگاه D			ایستگاه A	ایستگاه B	ایستگاه C	ایستگاه D
۱	دما (℃)	۱۷/۶ ±۰/۲۰	۱۳/۲۱ ±۰/۳۰	۳۰ ±۲/۹۹	۲۸/۲ ±۱/۶۱	۸	کدورت (NTU)	۴۱/۶ ±۰/۹	۱/۷ ±۰/۲	۱۸۰ ±۶۰/۶	۴۷/۵ ±۶/۷
۲	Sal (ppt)	۱/۲ ±۰/۰۴	۱/۱ ±۰/۱۰	۲/۷ ±۰/۱۹	۲ ±۰/۱۲	۹	COD (mg/l)	۱۵± ۱/۷	۲/۵ ± ۰/۱۵	۳۱۰۰± ۹۸/۵	۱۹۰ ± ۷۴/۸
۳	EC ($\mu m - cm$)	۱۲۳۲ ±۰/۰۴	۹۰۰± ۰/۰۳	۲۶۹۱ ±۰/۱۹	۲۲۹۱/۳ ±۰/۱۲	۱۰	سختی (mg/l)	۵۵۴ ±۲۱/۱	۴۹۵ ± ۱۹/۵	۹۰۴ ±۵۲/۹	۶۴۶/۷ ±۱۰/۳
۴	pH	۷/۴ ±۰/۰۹	۷/۵ ±۰/۰۸	۶/۷ ±۰/۰۹	۷/۶ ±۰/۱۸	۱۱	CL- (mg/l-$caco_3$)	۱۳۵ ± ۵۴/۲۱	۴۸۱/۶ ±۱۲/۵	۷۷۲/۹ ±۵۰/۸	۵۸۵ ± ۱۸/۶۳
۵	TDS (mg/l)	۱۱۱۳/۳ ±۱۲۲/۶	۸۳۰/۹ ±۷۰/۳	۲۵۰۳/۶ ±۳۰۴/۶	۱۸۱۷/۳ ±۱۷۳/۶	۱۲	NH_3^+ (mg/l-N)	۰/۰۱۵ ±۰/۰۰۲	۰/۰۰۳ ±۰/۰۰۲	۴/۸۳۳ ±۰/۳۲۲	۲/۴۷۳ ±۰/۲۶۵

۶	DO (mg/l)	۷/۷ ±۰/۲	۹/۲۴ ±۰/۵	۴/۵ ±۰/۳	۴/۲ ±۰/۴	۱۳	$PO_4^{-۳}$ (mg/l)	۰/۰۷ ±۰/۰۲۳	۰/۰۱ ±۰/۰۰۱	۰/۸۱ ±۰/۱۲۰	۰/۲۵ ±۰/۰۳۵
۷	TSS (mg/l)	۴۶/۳ ±۶/۳	۱۰/۲ ±۳/۳	۲۶۹ ±۳۳	۷۲ ±۵/۲	۱۴	SO_4^{-2} (mg/l)	۵۰۶/۶ ±۲۳/۷	۴۱۴/۶ ±۳۲/۱	۷۰۰/۳ ±۱۳۷/۹	۵۲۹/۲ ±۱۳/۵

جدول ۶- میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی فصل گرم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	پارامترها	محل نمونه‌برداری				ردیف	پارامترها	محل نمونه‌برداری			
		واحد پالایش نفتی						واحد پالایش نفتی			
		ایستگاه A	ایستگاه B	ایستگاه C	ایستگاه D			ایستگاه A	ایستگاه B	ایستگاه C	ایستگاه D
۱	دما (°C)	۲۷/۱ ±۰/۱	۱۹/۲ ±۰/۳	۳۹/۲ ±۵/۲	۳۴/۷ ±۱/۴	۸	کدورت (NTU)	۶۷ ±۳/۲	۱/۵ ±۰/۴	۱۸۶/۷ ±۳۸/۹	۷۹/۳ ±۶/۷
۲	Sal (ppt)	۱/۴ ±۰/۰۴	۱/۱ ±۰/۱۰	۴/۷ ±۰/۱۹	۴ ±۰/۱۲	۹	COD (mg/l)	۱۹	۲/۱	۲۴۶۰	۱۳۸
۳	EC ($\mu m - cm$)	۲۶۶۱/۳ ±۴۵/۴	۱۳۹۴ ±۲۳/۷۴	۳۶۲۳/۳ ±۵۴۳/۵	۲۸۶۶/۷ ±۴۷۲/۶	۱۰	سختی (mg/l)	۶۳۴/۳ ± ۶۴/۷	۵۰۵ ± ۴۸/۱	۱۵۰۰ ±۲۷۲/۲	۱۳۷۰ ±۳۰۴/۱
۴	pH	۷/۷ ±۰/۲۱	۷/۴ ±۰/۰۹	۸ ±۰/۱۸	۸ ±۰/۱۱	۱۱	CL^- (mg/l-$caco_3$)	۲۱۵ ±۱۰/۱	۵۸۱/۱ ±۵۹/۴	۸۶۱/۵ ±۱۵۱/۸	۸۵۲ ±۴۹/۲
۵	TDS (mg/l)	۱۷۵۶/۷ ±۱۲/۳	۹۲۰ ± ۴۸/۳۱	۲۴۲۷/۶ ±۳۶۴/۲	۲۲۵۵/۷ ±۳۱۶/۶	۱۲	NH_3^+ (mg/l-N)	۰/۰۲۸ ±۰/۰۰۲	۰/۰۰۶ ±۰/۰۰۱	۴/۵۷۳ ±۰/۴۰۲	۲/۲۰۰ ±۰/۲۰۰
۶	DO (mg/l)	۶/۹ ±۰/۱	۹ ±۰/۲	۴ ±۰/۹	۳/۳ ±۰/۱	۱۳	$PO_4^{-۳}$ (mg/l)	۰/۰۷ ±۰/۰۲۰	۰/۰۲ ±۰/۰۱۰	۰/۶۵ ±۰/۰۵۰	۰/۲۴ ±۰/۰۱۰
۷	TSS (mg/l)	۳۵/۹ ±۴	۹/۳ ±۵/۱	۲۶۰/۷ ±۲۵/۵	۱۱۳ ±۱۷/۳	۱۴	SO_4^{-2} (mg/l)	۴۳۸/۳ ±۳۸/۶	۳۷۳ ±۲۷/۹	۹۳۷/۷ ±۴۴/۸	۶۵۸/۷ ±۳۸

بحث و نتیجه‌گیری

سیستم تصفیه‌خانه زلال‌کننده

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول‌های ۵ و ۶ در ایستگاه‌های مطالعاتی A و B جدول ۳، می‌توان به عملکرد سیستم زلال‌کننده که وظیفه تصفیه منبع آب ورودی به پالایشگاه را در دو فصل سرد و گرم دارد پی برد. با توجه به وجود سیستم و فرآیندهای آن، این سیستم توانسته پارامترهای دما، pH، EC، TDS، DO، TSS، COD، SO_4^{-2}، NH_3^+، PO_4^{-3}، شوری، سختی و کدورت را در دو فصل کاهش و مطابق با استاندارد مصارف صنعتی جدول ۱ در حد مجاز تعیین شده قرار دهد. پارامتر کلراید در ایستگاه A و B مطابق جدول‌های ۵ و ۶ در فصل سرد با میزان mg/l-$caco_3$ ۱۳۵ وارد سیستم گشته (ایستگاه A) و میزان خروجی (ایستگاه B) آن mg/l-$caco_3$ ۴۸۱ نیز بوده که مطابق با استاندارد مصارف صنعتی جدول ۱ است؛ اما باید توجه داشت که این افزایش میزان کلراید توسط سیستم، استفاده از ترکیبات کلر برای حذف و جلوگیری از افزایش متابولیسم میکروارگانیسم‌هایی است که اساس خورندگی و رسوب‌گذاری در تأسیسات پالایشگاه هستند و موجب ایجاد خسارت می‌شوند. همچنین، با توجه به میزان کلراید در

فصل گرم مطابق جدول ۶، طی فرآیند تصفیه این سیستم از ۲۱۵ mg/l-caco3 به ۵۱۸ mg/l-caco3 رسیده و این افزایش میزان فصل گرم نسبت به فصل سرد، مطابق نتایج به‌دست آمده از مطالعه سورانی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به دلیل افزایش استفاده از فریک کلراید در فرآیند انعقاد سازی و مطلوب شدن شرایط آب و هوایی در رشد میکروارگانیسم‌های ذکر شده در فصل گرم نیز هست اما با توجه به میزان تعیین شده مطابق جدول ۱ خارج از محدوده استاندارد است و ازنظر زیست‌محیطی و همچنین تأسیساتی می‌تواند خود نقش تخریب‌کننده‌ای را ایجاد کند [۲۲].

سیستم تصفیه فاضلاب طرح بازیافت نفتی (ROP)

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول‌های ۵ و ۶ در ایستگاه‌های مطالعاتی C و D جدول ۳، می‌توان به عملکرد سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب (ROP) پالایشگاه در دو فصل سرد و گرم پی برد. این سیستم توانسته پارامترهای دما، شوری، سختی، EC، TDS، DO، NH_3^+ و PO_4^{-3} را در دو فصل سرد و گرم ازنظر مطلوبیت افزایش و در محدوده استانداردهای بین‌المللی جدول ۲ قرار دهد. این سیستم به دلیل داشتن فرآیند تنظیم pH که به‌وسیله آهک هیدراته صورت می‌پذیرد توانسته این پارامتر را در هر دو فصل در محدوده استاندارد جدول ۲ قرار دهد. با توجه عملکرد تصفیه‌خانه و رنج پارامتر TSS در فصل سرد، در دو ایستگاه C و D با میزان ۲۶۹ و ۷۲ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل گرم با میزان ۲۶۰/۷ و ۱۱۳ می‌توان دریافت که فرآیند تولید پالایشی، تقریباً به یک میزان TSS وارد آب می‌کند و این سیستم در فصل سرد ۱۹۷ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل گرم ۱۴۷ میلی‌گرم بر لیتر توانسته از بار فاضلاب ته‌نشین نماید. اگرچه فرآیند تصفیه‌خانه بر این پارامتر روند کاهشی بوده اما نتوانسته در محدوده استانداردهای بین‌المللی جدول ۲ عمل کند. بنابراین؛ این امر نشان دهنده نقص فنی و نیاز تصفیه‌خانه به روش‌های نوین اصلاح‌سازی به‌منظور اصلاح پارامتر ذکر شده دارد. با مشاهده پارامتر کدورت به‌عنوان فاکتوری مهم در سنجش پساب در جدول‌های ۵ و ۶؛ می‌توان رنج این فاکتور را در ایستگاه C و D در فصل سرد با میزان ۱۸۰ و Ntu ۴۷/۵ و در فصل گرم با میزان ۱۸۶ و Ntu ۷۹/۳ مشاهده کرد. بنابراین، این سیستم توانسته پساب خام (ایستگاه C) را به میزان ۱۳۲/۵ و Ntu ۱۰۶/۷ در فصل سرد و گرم کاهش دهد. با توجه به رنج کدورت پساب خام در دو فصل می‌توان به یکسان بودن رنج آن پی برد اما این سیستم برخلاف نتایج به‌دست آمده از مطالعه حسینی [۲۳] در سال ۱۳۸۱ که بیانگر کاهش بارگذاری هیدرولیکی و فعالیت بیولوژیکی در فصل سرد و در ادامه موجب افزایش میزان TSS و کدورت پساب خروجی (ایستگاه D) در این فصل می‌شود، پساب خام ورودی پالایشگاه (ایستگاه C) به دلیل دمای بالای خود، در فصل سرد نسبت به فصل گرم مطلوب‌تر بوده و به‌جز در فصل سرد، در فصل گرم نتوانسته پساب خروجی را در محدوده استاندارد بین‌المللی جدول ۲ قرار دهد و این امر نشان بر نیاز این سیستم به توسعه فرآیند بارگذاری هیدرولیکی حذف TSS و کدورت دارد. میزان سولفات به‌دست آمده طبق جدول‌های ۵ و ۶ در ایستگاه C و D با میزان ۷۰۰/۳ و ۵۲۹/۲ میلی‌گرم بر لیتر در فصل سرد و ۹۳۷/۷ و ۶۵۸/۷ میلی‌گرم بر لیتر در فصل گرم و همچنین، وجود اختلاف ۱۷۱/۱ و ۲۷۹ میلی‌گرم بر لیتر در فصل سرد و عدم قرار گرفتن در محدوده استاندارد بین‌المللی خروجی (ایستگاه D)، نشان دهنده عملکرد ضعیف این سیستم در حذف سولفات از پساب خام (ایستگاه C) نیز است. میزان سولفات بر اثر افزایش میزان فرآیند پالایشی تولید گاز در فصل گرم در پساب خام (ایستگاه C) نسبت به فصل سرد افزایش یافته و مطابق با یافته‌های قریشی و همکاران [۲۴] در سال ۱۳۹۵ و امیر فخری [۲۵] در سال ۱۳۸۴، افزایش فعالیت باکتری‌ها در

فصل گرم، افزایش میزان حذف سولفات را به دنبال دارد. در ادامه با بررسی جدول‌های ۵ و ۶، میزان COD در دو ایستگاه C و D در فصل سرد با میزان ۳۱۰۰ و ۱۹۰ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل گرم ۲۴۶۰ و ۱۳۸ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمده که این افزایش میزان COD در پساب خام در فصل سرد نسبت به فصل گرم مطابق با مطالعات زارعی و همکاران [۲۶] در سال ۱۳۸۸؛ به دلیل افزایش میزان روغن و چربی پساب خام در این فصل از سال بوده و باوجود روند کاهشی ۲۹۱۰ و ۲۳۲۲ میلی‌گرم بر لیتر در دو فصل سرد و گرم نتوانسته مقدار COD را در محدوده استاندارد بین‌المللی خروجی پساب جدول ۲ قرار دهد که نشان دهنده وجود نقص فنی این تصفیه‌خانه در حذف COD برای رسیدن به محدوده استاندارد خروجی نیز هست. همچنین، مطابق یافته‌های ملایی توانی و همکاران [۲۷] در سال ۱۳۹۴ به دلیل بالا بودن میزان DO در سیستم تصفیه‌خانه و کم بودن میزان کدورت، TSS و سولفات (افزایش سولفات موجب اختلال مقطعی در فعالیت باکتری‌های تصفیه‌کننده می‌شود) در فصل سرد و با مقایسه با فصل گرم، تأثیر مستقیم خود را در حذف COD بر روی تصفیه‌خانه نشان می‌دهند. همچنین، برخلاف نتایج به‌دست آمده از مطالعات ملایی توانی و همکاران [۲۷] در سال ۱۳۹۴ که بیان‌گر حذف مطلوب COD در فصل گرم است، در پالایشگاه نفت به دلیل بالا بودن میزان درجه حرارت پساب خام (ایستگاه C) و مناسب‌تر بودن دما برای فعالیت‌های بیولوژیکی، حذف COD در فصل سرد مطلوب‌تر صورت می‌پذیرد. میزان کلراید موجود در ایستگاه C و D، مطابق جدول‌های ۵ و ۶ با رنج ۷۲۲/۹ و ۵۸۵ $mg/l\text{-}caco_3$ در فصل سرد و ۸۶۱/۵ و ۸۵۲ $mg/l\text{-}caco_3$ در فصل گرم و اختلاف ۱۳۷/۹ و ۹/۵ $mg/l\text{-}caco_3$ در دو فصل سرد و گرم، نشان دهنده عملکرد ضعیف این سیستم و به دنبال آن خارج از محدوده استاندارد بین‌المللی خروجی پساب (جدول ۲) در فصل گرم بوده و این افزایش رنج میزان کلراید پساب خام در فصل گرم به دنبال افزایش میزان کلراید تزریقی سیستم زلال‌کننده در فصل گرم، ناتوانی سیستم تصفیه فاضلاب در حذف کلراید نسبت به فصل سرد و وجود نقص فنی این سیستم در آن بازده زمانی نمونه‌برداری شده نیز هست.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول‌های ۵ و ۶ و مقایسه با استانداردهای بین‌المللی جدول‌های ۱ و۲، پارامتر CL^- در سیستم زلال‌کننده و فاکتورهایی چون CL^-، COD، TSS، SO_4^{-2} و کدورت در سیستم تصفیه فاضلاب ROP، بالاتر از حد مجاز قرار گرفته که در زیر راهکارهایی منتخب از بین بسیاری از روش‌های کاربردی، به‌منظور کاهش مقدار پارامترهای ذکر شده و به‌طورکلی اصلاح سازی سیستم‌های تصفیه اشاره می‌شود:

الف) CL^- [۲۸]

- ✓ استفاده از دی‌اکسید کلر به‌جای کلر در زمان تصفیه کردن در سیستم زلال‌کننده (قوی‌تر و کم ضررتر)
- ✓ استفاده از گاز اوزون به‌جای کلر در زمان تصفیه کردن در سیستم زلال‌کننده (پایدار نمی‌ماند)
- ✓ بالا بردن pH پساب در شرایط بحرانی
- ✓ استفاده از دستگاه نانوفیلتراسیون غشایی به روش اسمز معکوس برای تصفیه پساب

ب) COD

- ✓ استفاده از روش الکتروکوالاسیون در مسیر خروجی پساب پالایشگاه [۲۹]
- ✓ استفاده از جلبک‌ها و باکتری‌های مقاوم به مواد نفتی و شیمیایی برای تجزیه مواد نفتی [۳۰]
- ✓ استفاده از روش‌های بیولوژیکی و زیستی برای تصفیه فاضلاب و کاهش COD [۳۱]
- ✓ استفاده از معرف فنتون برای حذف COD از پساب پالایشگاه [۳۲]

- ✓ حذف COD در پساب فاضلاب از طریق جذب در کک فعال شده [۳۲]

ج) TSS

- ✓ استفاده از روش الکتروکوالاسیون در مسیر خروجی پساب پالایشگاه [۲۹]
- ✓ استفاده از جذب کنندگان شیمیایی [۳۳]
- ✓ استفاده از سیستم تصفیه لجن فعال [۳۴]
- ✓ استفاده از تصفیه الکتروشیمیایی به‌وسیله فرآیند الکترولیز با اضافه کردن الکترولیت‌ها [۱۵]
- ✓ استفاده از روش بیوراکتور غشایی که ترکیبی از فیلتراسیون غشایی و لجن فعال است [۳۵].

د) SO_4^{-2}

- ✓ استفاده از روش‌های میکروبیولوژی و باکتری‌های کاهنده سولفات [۲۷]
- ✓ استفاده از بنتونیت احیا شده به روش اسیدی-گرمایی و سورفاکتانت کاتیونی برای کاهش سولفات [۳۶]
- ✓ استفاده از نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی برای کاهش میزان سولفات [۳۷]
- ✓ مناسب نگه داشتن درجه شوری برای افزایش فعالیت باکتری‌های کاهنده سولفات [۳۸]
- ✓ استفاده از امواج آلتراسونیک و فرآیند فنتون، برای کاهش مقدار سولفات [۳۹]
- ✓ استفاده از روش‌های بیولوژیکی برای کاهش مقدار سولفات [۴۰]

ه) کدورت

- ✓ استفاده از انعقاد شیمیایی به‌وسیله مواد منعقد کننده آلوم و PAC برای کاهش کدورت پساب [۴۱]
- ✓ استفاده از دستگاه تصفیه آب اسمز معکوس[1] برای کاهش میزان کدورت پساب
- ✓ استفاده از روش‌های انعقادی به‌وسیله پودر چهار تخم برای کاهش میزان کدورت آب [۱۵]
- ✓ استفاده از کیتوسان و پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت و چربی پساب با تغییر pH محیط [۴۲]

دیگر راهکارها:

- ✓ استفاده از مواد شیمیایی کم‌خطر، پدهای جاذب، اسکیمر، باکتری‌های تجزیه‌کننده مواد نفتی در مسیر کانال خروجی پساب برای کاهش لکه‌های نفتی
- ✓ استفاده از سیستم‌های هوادهی بیشتر در مسیر کانال خروجی پساب برای افزایش بیشتر اکسیژن
- ✓ ایجاد سیستم مداربسته پساب برای کاهش و یا بستن سیستم خروجی به رودخانه
- ✓ به‌روزرسانی سیستم‌های بازیافت نفتی و...

1- REVERSE OSMOSIS

شکل ۱- نمایی از سیستم تصفیه زلال‌کننده و سیستم ROP

فهرست علائم و نشانه‌ها

HSE	Health, Safety & Environment	NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ROP	Recovery Oil Plant	TSS	Total Suspended Solids
PACL	Polyaluminium	TDS	Total Dissolved Solids
BOD	Biochemical Oxygen Demand	DO	Dissolved Oxygen
COD	Chemical Oxygen Demand	EC	Electrical Conductivity

منابع

[1] Piesse, M. Global water supply and demand trends point towards rising water insecurity. Future Directions International, APO, 2020.
[2] Tapera, M. "Towards greener preservation of edible oils: a mini-review". Asian Journal of Applied Chemistry Research", 4 (1), 2019, pp. 1– 8.
[3] Awange, J. "Lake Victoria monitored from space. Springer", 2021.
[4] Negm, A. M., Omran, E.-S. E., & Abdel-Fattah, S. "Update, conclusions, and recommendations for the "unconventional water resources and agriculture in Egypt". In A, 2018.
[5] M. Negm (Ed.), Unconventional water resources and agriculture in Egypt, pp. 509–532.
[6] Oki, T., & Quiocho, R. E. "Economically challenged and water scarce: identification of global populations most vulnerable to water crises.International Journal of Water Resources Development", 36, 2020, pp. 416–428.
[7] Darban, A., Shahedi, A., Taghipour, F., & Jamshidi-Zanjani, A. "A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes". Current Opinion in Electrochemistry, 22, 2020, pp. 154–169.
[8] Akhoundi, A., & Nazif, S. "Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. Journal of cleaner production, 195, 2018, pp. 1350-1376.
[9] Karimi Pashaki M. H., Khosrojerdi A., Sedghi H, "Virtual water strategy and its application in optimal operation of water resources", Journal of Applied Research in Water and Wastewater 4, 2017, pp. 349-353.
[10] Northey, S. A., Mudd, G. M., Werner, T. T., Haque, N., & Yellishetty, M. "Sustainable water management and improved corporate reporting in mining". Water Resources and Industry, 2019, 21, 100104.
[11] Owusu-Boateng, G., & Adjei, V. The potential utilization of grey water for irrigation: A case study on the Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi Campus. Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 1(1), 2014, pp. 28-34.
[12] Nazari, S., Zinatizadeh, A. A., Mohammadi, P., & Zinadini, S. " Kermanshah's oil refinery water and wastewater management: providing a sustainably potential platform for water consumption minimization through wastewater reclamation". Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 8(1), 2021, pp. 28-35.
[13] Jafarinejad, S., & Jiang, S. C. "Current technologies and future directions for treating petroleum refineries and petrochemical plants (PRPP) wastewaters". Journal of Environmental Chemical Engineering, 7(5), 2019, 103326.
[۱۴] سبحان اردکانی، سهیل؛ جعفری، میلاد و احتشامی، مجید، ارزیابی کارایی فرآیند الکترولیز در حذف پیراسنجه‌های اکسیژن خواهی شیمیایی و کل ذرات معلق از پساب کارخانجات کشمش پاک کنی. علوم و فناوری محیط‌زیست، دوره هجدهم، ویژ نامه شماره ۲، ۱۳۹۳.
[۱۵] یزدانی، وحید و قلی زاده، منصور، بررسی یک روش فیزیکو شیمیایی در تصفیه فاضلاب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت. همایش ملی مدیریت بحران آب، ۱۳۸۸.

[16] Colmenarejo, M. F., Rubio, A., Sanchez, E., Vicente, J., Garcia, M. G., & Borja, R. "Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain)". Journal of environmental management, 81(4), 2016, pp. 399-404.
[17] Haydar, S., Hussain, G., Nadeem, O., Haider, H., Bari, A. J., & Hayee, A. "Performance evaluation of anaerobic-aerobic treatment for the wastewater of potato processing industry: A case study of a local chips factory". Pakistan journal of engineering and applied sciences, 14(1), 2014, pp. 27-37.
[18] Dias, D. F., Possmoser-Nascimento, T. E., Rodrigues, V. A., & von Sperling, M. "Overall performance evaluation of shallow maturation ponds in series treating UASB reactor effluent: ten years of intensive monitoring of a system in Brazil". Ecological Engineering, 71, 2014, pp. 206-214.
[۱۹] مظفری، محمدحسین و شفیع پور، احسان و میرباقری، سیداحمد و رخشنده رو، غلامرضا، تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت تهران با استفاده از سیستم تالاب مصنوعی، یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، شیراز، ۱۳۹۸.
[۲۰] سیاح زاده، امیرحسین؛ گمجی دوست، حسین و آیتی، بیتا، بررسی مکانیسم‌های حذف در تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت توسط سیستم MBBR . نشریه آب و فاضلاب، دوره ۲۸، شماره ۱۰۹، ص ۱۳۹۶.
[۲۱] بهنامی، علی؛ شاکرخطیبی، محمد؛ دهقان زاده، رضا و درفشی، سیاوش. ارزیابی عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب صنعتی مجتمع پتروشیمی تبریز، اولین همایش بین‌المللی و سومین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط‌زیست پایدار، همدان، ۱۳۹۴.
[۲۲] سورانی، مریم؛ مهربانی، ارجمند؛ غفاری، قاسم و هاشمی نژاد، هستی، زلال سازی پساب پالایشگاهی به روش انعقاد با فریک کلراید و شناورسازی با هوای محلول، فصلنامه تخصصی علمی ترویجی فرایند نو، شماره ۴۵، ۱۳۹۳.
[۲۳] حسینی، میرمختار؛ بابالو، عیسی و وفادار افشار، محمد، بررسی کارایی لاکون به کمک هواده مکانیکی در کاهش میزان نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD5)، نیاز شیمیایی اکسیژن (COD) و اجسام جامد معلق (TSS) در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر خوی، مجله مطالعات علوم پزشکی، ۱۴ (۳): ۱۵-۹، ۱۳۸۲.
[۲۴] قریشی، بهاره؛ شاکر خطیبی، محمد؛ اصلانی، حسن؛ دولتخواه، افسانه؛ عبدلی سیلابی، علی و مسافری، محمد، بررسی کیفیت میکروبی لجن دفعی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، مجله سلامت و محیط‌زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره نهم، شماره اول، ۸۱-۹۰، ۱۳۹۴.
[۲۵] امیر فخری، جواد؛ وثوقی، منوچهر؛ سلطانیه، محمد و نوری، مسلم، شیرین سازی گاز طبیعی در شرایط بی‌هوازی، بیوتکنولوژی، محیط‌زیست، صنایع غذایی و مهندسی پزشکی، ۱۳۸۴.
[۲۶] زارعی محمودآبادی، هادی و یزدی، مهدیه، بررسی و پایش پساب پالایشگاه نفت آبادان و ارائه راهکارهای زیست‌محیطی، دومین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی، تهران، ۱۳۹۰.
[۲۷] ملایی توانی، سکینه؛ دهقانی فرد، عماد؛ حاجی باقر تهرانی، صهبا و ابراهیمی، ام کلثوم، بررسی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستان شهدای بهشهر در سال ۹۴-۱۳۹۳، مجله مهندسی بهداشت محیط، سال چهارم، شماره ۲، ۱۳۹۵.
[۲۸] حضرتی، حسین، حذف کلر باقیمانده مازاد از آب با استفاده از کارتریج‌های پر شده با نانولوله‌های کربن بارگذاری شده روی کربن فعال پودری. دانشکده علوم پایه و کشاورزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۱.

[۲۹] همت آبادی، حجت و ربیع، بهروز، بررسی قابلیت استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیوم در کاهش TSS و COD پساب کارخانه بازیافت کاغذ. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال سوم، شماره ۲، ۱۳۹۱.

[۳۰] نجفی، سحاب علی، حذف آلاینده‌های نفتی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها. ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۱۰، ۱۳۹۳.

[۳۱] ناصریان اصل، مجید و نیل پززاده، امین، بررسی امکان استفاده از فرآیندهای زیستی و بیولوژیکی در تصفیه پساب‌های صنایع نفتی مطالعه موردی شرکت پتروشیمی آبادان، دومین همایش علوم و فناوری‌های نوین در صنعت پالایش، اصفهان، پژوهشکده شهید اعتباری، ۱۳۹۳.

[32] Qingxuan, Z. "COD Removal in Refinery Wastewater through Adsorption on Activated Petroleum Coke". International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. IEEE, 2011, February, pp. 1093-1096.

[۳۳] کیانی، الناز و نوروز مکاری، علیرضا، امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب خروجی پالایشگاه شیرین سازی گاز کارون (GTP) جهت مصارف کشاورزی و آبیاری، ۱۳۹۳.

[۳۴] زولی، محمد علی؛ قهرمانی، اسمعیل؛ قربانیان اله آباد، مهدی؛ نیکویی، ایوب و هاشمی، مریم السادات، بررسی عملکرد فرایند لجن فعال در تصفیه فاضلاب شهرک صنعتی آق قلا استان گلستان در سال ۱۳۸۶. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره سوم، شماره اول. صفحات ۵۹ تا ۶۶، ۱۳۸۸، ۱۳۸۶.

[۳۵] سالمی، امیر حسین، تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی به روش راکتور غشایی با هدف بازیافت پساب. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فنی و مهندسی خواجه نصیر الدین طوسی، ۱۳۸۹.

[۳۶] شکوه سلجوقی، ظهیر؛ رفیعی، غلامرضا؛ ملک پور، اکبر؛ شکوه سلجوقی، امیر و صفری، امید، کاربرد بنتونیت احیا شده به روش اسیدی-گرمایی و سورفکتانت کاتیونی در کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی فسفاته و سولفاته در پساب آبزی پروری، ۴۰ -محیط شناسی، سال سی و هشتم، شمارهٔ ۶۱، صفحهٔ ۳۱، ۱۳۹۱.

[۳۷] پرندک، محمد؛ جلیل زاده، رضا و بابایی نژاد، تیمور، بررسی کارایی نانوذره آهن صفر بر روی کاهش آلاینده‌های موجود در پساب حوضچه ته‌نشینی و برج خنک کننده نیروگاه زرگان، هشتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، انجمن مهندسی محیط‌زیست ایران، ۱۳۹۵.

[۳۸] شکاری، صادق؛ شیرکوندهداوند، بهزاد و حسینی، حسین، بررسی اثر درجه شوری بر میزان فعالیت باکتریهای احیاء کننده سولفات در پساب یک منطقه نفتی، دومین کنفرانس ملی توسعه دانش بنیان صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و ششمین کنفرانس روز مهندسی پتروشیمی بندر امام، ماهشهر، شرکت پتروشیمی بندر امام، ۱۳۹۴.

[۳۹] جامعی، میر روزبه؛ خسروی نیکو، محمدرضا و انوری پور، باقر، تصفیه پساب و خاک‌های آلوده به مواد هیدروکربنی آلی به کمک امواج آلتراسونیک و فرایند اکسیداسیون فنتون، دومین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا، ۱۳۹۰.

[۴۰] علیزاده، اوصالو؛ سیدنجفی، علی و سیدنجفی، فردین، بررسی کاهش غلظت یون سولفات در پساب خروجی واحد ABS به روش تصفیه بیولوژیکی غیر هوازی، اولین کنفرانس پتروشیمی ایران، تهران، شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ۱۳۸۷.
[۴۱] بیرجندی، نوشین؛ یونسی، حبیب الله؛ بهرامی فر، نادر و هادوی فر، مجتبی، کاربرد روش انعقاد شیمیایی در تصفیه پساب کارخانه بازیافت کاغذ. آب و فاضلاب، شماره ۴، ۱۳۸۹.
[۴۲] رفیعی، بهرام؛ جلیل زاده ینگجه، رضا، مطالعه اثر PH و غلظت کیتوسان و PAC بر حذف کدورت و چربی از پساب پالایشگاه نفت آبادان، کنفرانس بین‌المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس، ۱۳۹۴.