مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۱(۲۶-۱۵)

تعیین میزان انتشار آلاینده‌های واحد تصفیه فاضلاب شرکت پالایش نفت با استفاده از نرم‌افزار TOXCHEM

الهام محمودی [۱]

نعیمه جدیری [*۲]

njodeiri@sut.ac.ir

مرتضی رضایی [۳]

اسماعیل فاتحی‌فر [۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۱۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: برآورد میزان انتشار آلاینده‌های مختلف از واحد تصفیه فاضلاب یک پالایشگاه نفت، یکی از مباحث مطرح در صنایع می‌باشد. آلاینده‌های منتشر شده از جمله سولفید هیدروژن و آمونیاک از جمله ترکیبات خطرناک هستند که باعث به‌خطر افتادن سلامتی پرسنل و بروز مسائل زیست محیطی می‌شوند. هدف از انجام این تحقیق بدست آوردن مقادیر انتشار این آلاینده‌ها به محیط زیست می‌باشد.

روش بررسی: در تحقیق حاضر که در سال ۱۳۹۸ انجام شده است، از نرم‌افزار TOXCHEM که متعلق به آژانس محیط زیست آمریکا می‌باشد، جهت تخمین انتشار آلاینده‌ها استفاده شده و نتایج حاصل از این نرم‌افزار با داده‌های واقعی موجود مقایسه شده است.

یافته‌ها: مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های موجود نشان می‌دهد که این نرم افزار قادر است مقادیر به مراتب نزدیکتری را به واقعیت تخمین بزند. براساس نتایج شبیه‌سازی حدود ۴۵،۰۰۰ گرم در روز آلاینده سولفید هیدروژن از حوضچه بیولوژیکی و بیش از ۵۰،۰۰۰ گرم در روز آمونیاک از مرحله تصفیه شیمیایی، وارد جو می‌شود. به دلیل عدم توانایی در کاهش این میزان انتشار در طی فرآیند تصفیه، نیاز به بهبود فرآیندهای پالایشی می‌باشد به‌طوری‌که فاضلاب خروجی از این واحدها حاوی میزان آلاینده کمتری باشد. همچنین با شبیه‌سازی واحد تصفیه فاضلاب مشخص گردید که حوضچه تصفیه بیولوژیکی به دلیل داشتن نقش اساسی در فرآیند تصفیه فاضلاب نیازمند کنترل وضعیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بالا بودن مساحت سطح حوضچه، وجود فرآیند هوادهی و جهت وزش باد، میزان انتشار از سطح حوضچه‌های واحد تصفیه فاضلاب را افزایش داده و کنترل انتشار آلاینده‌ها ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های هوا، TOXCHEM، تخمین انتشار، پالایشگاه.

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند. *(مسوول مکاتبات)

۳- کارشناسی ارشد، شرکت پالایش نفت تبریز، تبریز.

۴- استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 11, February, 2023

Estimation of pollutant emissions from the wastewater treatment plant of an Oil Refining Company by TOXCHEM software

Elham Mahmoudi [1]

Naeimeh Jodeiri [2 *]

Dr.amiri72@yahoo.com

Morteza Rezaee [3]

Esmaeil Fatehifar[4]

Admission Date:November 7, 2021 Date Received: September 3, 2019

Abstract

Background and Objective: Estimation of emissions from wastewater treatment plant of an oil refinery is one of the issues that need to be addressed. Air pollutants such as hydrogen sulfide and ammonia are among the most dangerous chemicals that affect personnel health and create environmental issues in industrial facilities because of their carcinogenic and toxic characteristics. The aim of this study is to estimate the amount of emission of air pollutants to the environment.

Material and Methodology: In this study, TOXCHEM software was used to estimate the emission rates from wastewater treatment plant of an oil refining company and these results were compared with the available real data from the company.

Findings: Results showed that this software is able to estimate the emission rates with high accuracy. According to simulation results, about 45,000 grams of hydrogen sulfide per day from biological treatment section and more than 50,000 grams of ammonia per day from chemical treatment section are emitted into the atmosphere. Due to the limited capacity of wastewater treatment unit in reducing the harmful emissions, it was concluded that the refining processes need to be improved in order to reduce the amount of air pollutants in the wastewater sent to treatment unit. Also simulation showed that since the biological treatment section plays major role in treatment process, the control of microorganisms is required in this unit.

Discussion and Conclusion: Due to high surface area of wastewater treatment unit lagoons, aeration, wind direction and turbulence, high emission rates are observed and these emissions need to be controlled.

Key words: air pollutants, TOXCHEM, emission estimation, refinery.

1- Environmental Engineering Research Center, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

2- Assistant professor, Environmental Engineering Research Center, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Tabriz Oil Refining Company, Tabriz, Iran.

4- Professor, Environmental Engineering Research Center, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

مقدمه

گسترش صنایع و پیشرفت روزافزون در این زمینه، تولید آلاینده‌های مضر و خطرناک را به دنبال دارد که باعث بروز صدمات زیست‌محیطی می‌شوند. از جمله منابع آلاینده‌های خطرناک، فاضلاب‌های صنعتی به‌خصوص صنایع نفت از جمله پتروشیمی و پالایشگاه‌ها می‌باشند (۱،۲). آلودگی هوا، آب و فاضلاب توسط ترکیبات آلی و دیگر آلاینده‌ها به عنوان یکی از مشکلات فعلی زیست محیطی واحدهای صنعتی بشمار می‌رود (۳). فاضلاب پالایشگاهی حاوی ترکیباتی از جمله آمونیاک، سولفید هیدروژن، ترکیبات آلی فرار و یون‌های فلزات سنگین می‌باشد که ورود آن‌ها به محیط زیست بسیار خطرناک است. به دلیل این‌که واحد تصفیه فاضلاب محل جمع‌آوری تمامی فاضلاب‌های آلوده حاصل از فرآیندهای پالایشگاهی می‌باشد، امکان انتشار آلاینده‌ها به هوا در این واحد وجود دارد (۴). به منظور بهینه‌سازی واحد تصفیه فاضلاب در صنعت مطالعات بسیاری صورت گرفته است. در دو دهه اخیر از شبکه عصبی به منظور تعیین پارامترهای مهم در بهینه سازی فرآیند تصفیه و افزایش راندمان استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که جهت رسیدن به راندمان بالای تصفیه، کنترل شدت جریان ورودی یکی از پارامترهای اساسی است (۵). با توجه به اهمیت کنترل آلودگی ناشی از انتشار آلاینده‌ها در واحد تصفیه فاضلاب، در یکی از تحقیقات به بررسی تکنولوژی‌های موجود برای کنترل انتشار سولفید هیدروژن در سیستم های تصفیه فاضلاب پرداخته شد و نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد انتشار ترکیبات آلاینده محیط زیست و هزینه کنترل این انتشارات مشکل اصلی فرآیندهای تصفیه فاضلاب می‌باشد و انجام مطالعه بیشتر بر روی کاهش انتشار این آلاینده‌ها پیشنهاد داده شد (۶). با توجه به عدم سهولت اندازه‌گیری انتشارات در جو، استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی ارائه شده توسط سازمان محیط زیست راهگشا خواهد بود. فاتحی‌فر و همکارانش به منظور برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها از واحد تصفیه فاضلاب پتروشیمی، این واحد را با نرم‌افزار Water 9 شبیه سازی کردند. نتایج حاصل نشان داد که نرم افزار یاد شده می‌تواند میزان انتشار آلاینده ها را به‌طور قابل قبولی پیش بینی کند. همچنین محاسبه میزان انتشار از واحدهای مختلف تصفیه خانه نشان داد که بیشترین میزان انتشار مربوط به واحدهایی است که در آنها هوادهی صورت گرفته و اغتشاش سطحی بالا است. در ضمن بررسی ها نشان داد که ترتیب قرارگیری و ابعاد حوضچه‌های مختلف در واحدهای تصفیه فاضلاب بر روی مقدار انتشار ترکیبات آلی فرار از این واحدها بسیار تأثیرگذار است (۷).

استفاده از مدل‌های دینامیکی ریاضی یکی دیگر از روش‌ها جهت تخمین انتشار گازهای مختلف می‌باشد. اساس این روش استفاده از موازنه‌های جرم و در نظر گرفتن سینتیک واکنش‌های صورت گرفته در فرآیند تصفیه می‌باشد و به عنوان روش اصلی جهت تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای تصفیه فاضلاب صنایع مختلف معرفی شده است (۸). در حال حاضر اساس تمامی روش‌های موجود جهت تخمین انتشار براساس روش IPCC[1] است که ارتباط بین شرایط جوی هر منطقه را با تاثیرات آن بر روی افراد آن منطقه نشان می‌دهد. بهینه‌سازی لجن فعال موجود در فرآیند تصفیه به منظور مدلسازی ریاضی انتشار آلاینده‌ها از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه است (۹). در واحد تصفیه فاضلاب شرکت پالایش نفت به دلیل روباز بودن بخش‌های مختلف واحد، آلاینده‌هایی از جمله ترکیبات آلی فرار (استایرن، بنزن و اتیل-بنزن)، سولفید هیدروژن و آمونیاک به هوا منتشر می‌شوند. انتشار آلاینده‌ها از جمله سولفید هیدروژن در سیستم های فاضلاب مشکلات مختلفی از جمله تولید بوی نامطبوع، آسیب زدن به تجهیزات و مسموم کردن کارکنان محیط اطراف را باعث می‌شود. این گاز قابل انفجار بوده و به هنگام نشت، به-دلیل این‌که سنگین تر از هواست، بدون این‌که به سمت بالا حرکت کند تا مسافت زیادی پخش شده و در صورت مشتعل شدن خسارات جانی و مالی فراوانی بر جای می‌گذارد (۵). ترکیبات آلی فرار دارای آثار مخرب بسیاری می‌باشند. از آثار

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

مستقیم حضور بیش از اندازه این ترکیبات در اتمسفر می‌توان به سرطان‌زایی آنها اشاره کرد و از آثار غیر مستقیم آنها می‌توان به ایجاد دودمه[1] تقلیل قطر لایه ازن استراسفریک، تشکیل ازن در سطح زمین و تغییرات جهانی آب و هوا اشاره نمود (۱۰،۱۱). با توجه به اهمیت اندازه‌گیری میزان انتشار آلاینده های مختلف در صنایع، در تحقیق حاضر میزان پخش ترکیبات مختلف با توجه به غلظت آن‌ها با نرم افزار TOXCHEM شبیه سازی شده است. این نرم افزار در مطالعه‌ای دیگر جهت بررسی میزان انتشار سولفید هیدروژن از حوضچه‌های لجن فعال در یک سیستم تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته و قابلیت این نرم افزار جهت پیش‌بینی میزان انتشار سولفید هیدروژن تایید شد (۱۲). در مطالعه دیگر پراکندگی ترکیبات آلی سمی از قبیل ۱و۲ دری متیل نفتالن، ۱و۳ دی نیتروپایرن و ۱و۶ دی متیل نفتالن در فرایند تصفیه فاضلاب با استفاده از مدل TOXCHEM بررسی شد و میزان تجزیه این ترکیبات تعیین شد (۱۳).

با توجه به عدم توانایی اندازه‌گیری انتشار آلاینده‌های هیدروکربنی، در این مطالعه جهت شناسایی قابلیت نرم افزار در مورد تخمین میزان پخش آلاینده‌های مختلف، نتایج حاصل از شبیه سازی با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در ورودی وخروجی فاضلاب مقایسه شده است. به کمک این نرم‌افزار می‌توان میزان انتشار آلاینده‌های مختلف موجود در فاضلاب‌های ورودی از سطح حوضچه‌ها را برآورد کرده، منابع اصلی انتشار را مشخص کرده و پارامترهایی را که مرتبط با کاهش انتشار آلاینده‌ها هستند، شفاف‌سازی نمود. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی قابلیت و اعتبار داده‌های حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار TOXCHEM جهت تخمین میزان انتشار آلاینده‌های مضر هیدروکربنی می‌باشد تا با استفاده از این داده‌ها بتوان منابع اصلی انتشار و راه‌کارهای کنترل آن را مشخص نمود.

1- smog

روش

واحد تصفیه فاضلاب

واحد تصفیه فاضلاب در پالایشگاه، به منظور استفاده مجدد از آب‌های دورریز در برج‌های خنک‌کننده راه‌اندازی شده‌است. آب‌های آلوده از عملیات پالایش به همراه آب‌های حاصل از شستشوی نفت خام در نمک‌زداها وارد جداکننده آب و روغن (API) می‌شوند که به‌صورت دو حوضچه در کنار هم قرار دارند و توسط دو عدد پمپ تخته زنجیری (CPF)، روغن و آب مورد تفکیک قرار می‌گیرند. این آب‌ها در قدم بعدی وارد حوضچه‌ی گیرنده‌ی املاح معلق (TT-4) می‌شوند. در این قسمت فاضلاب‌های ورودی به حالت یکنواخت در می‌آیند، سپس وارد قسمت انعقاد (TT-11) شده که در این بخش مواد معلق به صورت لخته از پساب جدا می‌گردد. مرحله بعدی بخش اکسیداسیون بیولوژیکی (TT-12) است که در این بخش فرآیند اصلی تصفیه توسط میکروارگانیسم‌های موجود که تقریباً ۶۶ ٪ گونه های اکسید کننده هیدروکربنها، باکتریهای Pseudomonas هستند و بقیه به ترتیب فراوانی عبارتند از: Mycobacteria، Proactinomyces، Zetinomyces، مخمر و کپک ها، انجام می‌شود (۸). فاضلاب حاصل از فرآیند تصفیه بیولوژیکی جهت زلال‌سازی وارد زلال‌ساز (TT-14) می‌شود. فاضلاب‌های بهداشتی نیز پس از انجام فرآیند جداسازی لجن و آب، وارد قسمت اکسیداسیون بیولوژیکی می‌شوند و بعد از عبور از فیلترهای زغالی به عنوان آب جبرانی به برج‌های خنک‌کننده ارسال می‌گردند. فاضلاب حاصل از واحد تهیه آب صنعتی که حاوی درصد بالایی آهک می‌باشد، جهت خنثی شدن وارد (TT-19) می‌شود و با تزریق اسید و فرآیند آهک‌گیری به صورت آب خنثی به فیلترهای زغالی ارسال می‌شود. آب‌های آلوده به NH_3 و H_2S بالا که غیرقابل بهره‌برداری می‌باشد، به طرف حوضچه‌های تبخیر فرستاده می‌شوند. آب‌های سطحی و آب باران کل پالایشگاه به سمت حوضچه‌های جمع‌آوری هدایت شده و پس جداسازی اولیه روغن و آشغالگیری وارد فرآیند تصفیه می‌شوند. شمای کلی از فرآیند تصفیه در شرکت پالایش نفت در شکل ۱ آورده شده است. در طول انجام فرآیند تصفیه فاضلاب، تمامی مراحل

صورت گرفته در جهت کاهش آلاینده‌های موجود در خروجی فاضلاب‌ها و کاهش COD[1] فاضلاب می‌باشد. با توجه به آثار مخرب زیست‌محیطی در تمامی واحدهای صنعتی نیاز به کنترل انتشار آلاینده‌ها احساس می‌شود. ولی به دلیل دشوار بودن اندازه‌گیری این آلاینده‌ها جهت تخمین میزان انتشار، اکثر روش‌های موجود هزینه‌بر می‌باشند و تخمین انتشار آلاینده ها با روش مدل‌سازی می‌تواند بسیار کارآمد باشد (۱۴).

نرم‌افزار TOXCHEM

با توجه به اهمیت پیش‌بینی آلودگی هوا به دلیل راه‌اندازی واحدهای تصفیه فاضلاب و دشواری اندازه‌گیری میزان انتشارآلاینده های ورودی به هوا، سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا[2] به طراحی نرم‌افزارهای مختلفی جهت تخمین انتشار آلودگی پرداخته است. نرم‌افزارTOXCHEM V3 برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط سازمان حفاظت از محیط زیست جهت تخمین انتشار آلاینده‌های مختلف از واحدهای تصفیه فاضلاب طراحی و ارائه گردیده است و در سال ۲۰۱۱ با گسترش بانک اطلاعاتی آن به صورت TOXCHEM V4.1 عرضه شده‌است. مدل‌های TOXCHEM به ترکیب تعدادی از مکانیزم‌ها برای پخش آلاینده‌های سمی با فرآیند معادلات وزن مخصوص تعادل می‌پردازد. مکانیزم انتقال در این مورد به صورت انتقال جرم گاز- مایع می‌باشد. به دلیل روباز بودن تانک و حوضچه‌های موجود در واحد تصفیه فاضلاب، تبخیر آلاینده‌های فرار از سطح فاضلاب محتمل است. به طور کلی دو مدل برای انتقال جرم کلی بیان شده است که در این مدلها K_l و K_{la} به‌ترتیب ضریب انتقال جرم (m/hr) و ضریب انتقال جرم در واحد سطح (1/hr) می‌باشد. 'a' نسبت مساحت سطح انتقال جرم به حجم آن می‌باشد. در آزمایش‌هایی که در آن انتقال جرم تعیین شده است، اغلب مقدار K_{la} گزارش می‌شود. در سیستم‌هایی که در آن‌ها 'a' را می‌توان بدست آورد، مقدار K_{la} می‌تواند به راحتی به مقادیر K_l و 'a' تفکیک شود. برای سیستم‌های که درآن تعیین مقدار 'a' دشوار است، مقدار K_{la} برای انتقال جرم از سیستم استفاده می‌شود. در سیستم‌هایی که روش معمول برای جدا کردن K_l و 'a' حتی در آن امکان‌پذیر نیست، مقدار 'a' اگر سطح آب ساکن باشد محاسبه می شود.

شبیه‌سازی واحد تصفیه فاضلاب

برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های مختلف به هوا در یک واحد، در قدم اول نیاز به شناسایی واحد و مشخص نمودن شرایط مختلف و ابعاد حوضچه‌ها می‌باشد. در تحقیق حاضر، اطلاعات مربوط به واحد تصفیه فاضلاب از طریق بازدید از واحد و بررسی نقشه‌های موجود در سال ۱۳۹۸ به‌دست آمدند. در پالایشگاه نفت استایرن، بنزن، آمونیاک و H_2S، از جمله آلاینده‌های منتشر شده به هوا هستند. با وارد کردن اطلاعات مربوط به واحد تصفیه فاضلاب و اطلاعات جریان‌های مختلف ورودی در نرم‌افزار TOXCHEM، میزان انتشار آلاینده‌های مختلف از بخش‌های مختلف واحد براساس معادلات انتقال جرم حاکم بر میزان تبخیر به دست می‌آیند. معادله ۱ میزان تبخیر آلاینده‌های مختلف از سطوح مختلف را که در محاسبات نرم‌افزار لحاظ می‌شود ، نشان می‌دهد.

$$\lambda_\upsilon = K_{1a}(C.f_{non} - C^*)V \qquad (۱)$$

در این معادله λ_υ نرخ تبخیر (mg/hr)، C غلظت ترکیب فرار در آب (mg/m^3)، C^* غلظت تعادل ترکیب در آب (mg/m^3)، K_1 ضریب کلی انتقال جرم (m/hr)، a سطح ویژه انتقال جرم (m^2/m^3)، PH f_{non} بخش وابسته به ترکیب غیر گسسته، $K_V = K_{1a} = K_{va}$ ثابت سرعت تبخیر با واحد معکوس ساعت و K_V ضریب انتقال جرم تبخیری (m/h) می‌باشد.

مساحت ویژه برای سطح تبخیر به‌صورت سطح مایع تقسیم بر حجم مخزن یا برابر معکوس عمق مخزن در نظر گرفته می‌شود. برای آلاینده با غلظت کم غلظت تعادل بین فازهای گاز و مایع با قانون هنری محاسبه می‌گردد.

$$C_g = H.C^* \qquad (۲)$$

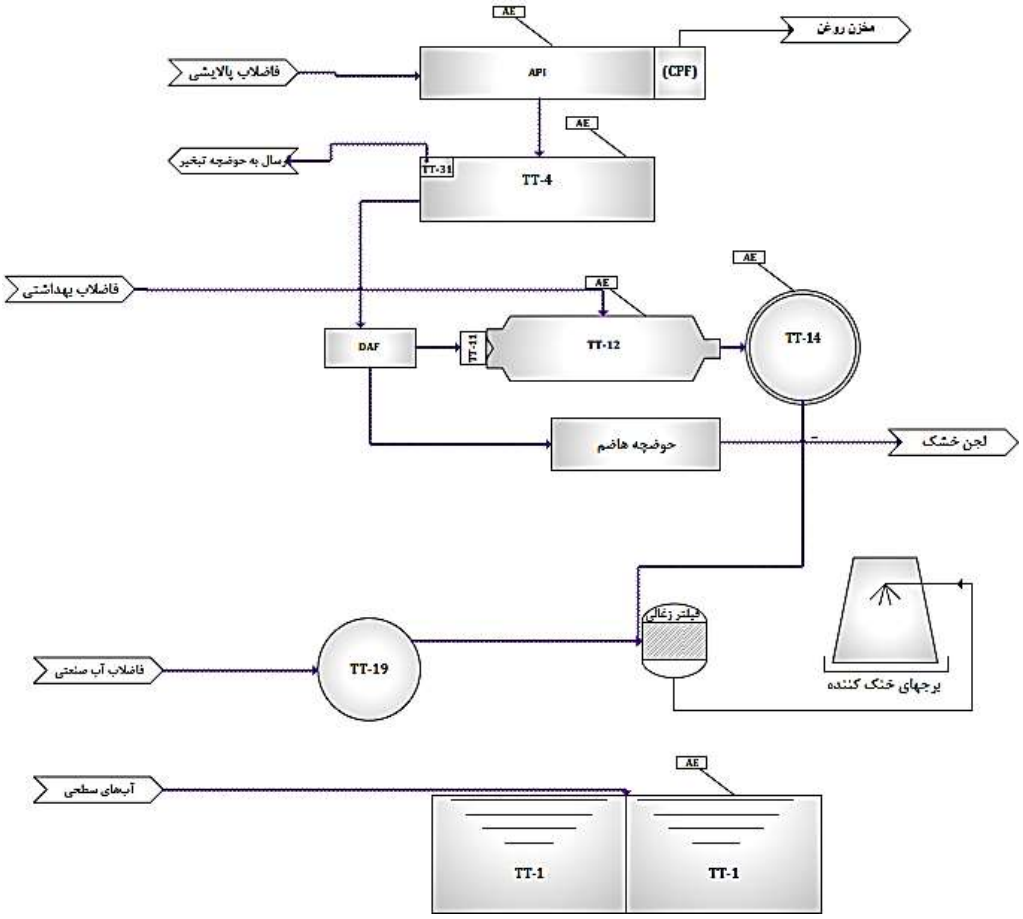
که در آن H با واحد m^3 مایع بر m^3 گاز ضریب هنری است.

با ترکیب معادلات ۱ و ۲، معادله ۳ حاصل می‌شود:

1- Chemical Oxygen Demand
2- USEPA

در جدول ۱ مشخصات حوضچه‌های واحد آورده شده است.

$$\lambda_{\upsilon} = K_{\upsilon}(C.f_{non} - \frac{C_g}{H}).V \quad (۳)$$



شکل ۱- شمای کلی واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه

Figure 1. Schematic diagram of wastewater treatment unit in an Oil Refining Company

جدول ۱- مشخصات حوضچه‌های موجود در واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت

Table 1. Characteristics of lagoons in wastewater treatment unit of an Oil Refining Company

حوضچه	مساحت سطح (m^2)	عمق (m)
API	۱۵۳	۳
CPF	-	۰/۵
TT- 4	۲۲۰	۲
TT- 11	-	۰/۵
DAF	۳۸	۳
TT- 12	۱۷۰	۲
هاضم	۳۳۳	۳
TT- 14	۱۱۳	۲

TT- 8	۸	۲
TT- 19	۱۱۰	۴

آنالیز فاضلاب‌های ورودی به واحد در روزهای مختلف سال در آزمایشگاه شرکت پالایش نفت صورت گرفته و از متداول‌ترین نتایج که در اکثر روزهای سال حاصل می‌شود، برای شبیه‌سازی استفاده شده است. مشخصات جریان‌های ورودی به واحد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات جریان‌های ورودی به واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه

Table 2. Characteristics of inlet streams to the wastewater treatment unit of an Oil Refining Company

جریان	دبی (m^3/hr)	دما (°C)	ذرات	جریی (mg/l)	بنزن (ppm)	استایرن (ppm)	سولفید هیدروژن (mg/l)	آمونیاک (mg/l)	اتیل بنزن (ppm)
فاضلاب پالایشی	۱۳۰	۳۰	۱۵۰	۲۵۷	۴	۱	۲۳	۴۲	۱
فاضلاب بهداشتی	۱۲	۲۵	۳۰	۲	–	–	–	–	–
فاضلاب آب صنعتی	۴۰	۳۵	۱۷۴	۰/۱	–	–	–	۶۰	–
آب‌های سطحی	۱۰	۲۵	۱۵۰	۱۰۰	–	–	–	–	–

براساس آنالیز صورت گرفته مشخص می‌گردد که در فاضلاب حاصل از فرآیندهای پالایشگاهی که وارد API می‌گردند، تنها ترکیبات آلی فرار وجود دارد. به طور معمول سیستم‌های پساب پالایشگاهی به عنوان یکی از منابع انتشار آلاینده‌های مختلف به شمار می‌روند. به دلیل بالا بودن توانایی میکروارگانیسم‌های موجود در تصفیه بیولوژیکی جهت هضم آلاینده‌های آمونیاک و سولفید هیدروژن، فاضلاب با غلظت بالای این آلاینده‌ها وارد سیستم تصفیه بیولوژیکی می‌گردد. تحت این شرایط منبع انتشار گاز آمونیاک و سولفید هیدروژن فراهم می‌باشد. همچنین مواد فرار دیگری که در پالایشگاه جزء آلاینده‌های خطرناک محسوب می‌شوند در جدول۲ ذکر شده‌اند. با شبیه‌سازی واحد به کمک اطلاعات جدول ۱ نتایج حاصل از میزان انتشار هریک از آلاینده‌ها در هرکدام از مراحل تصفیه فاضلاب به‌دست می‌آید.

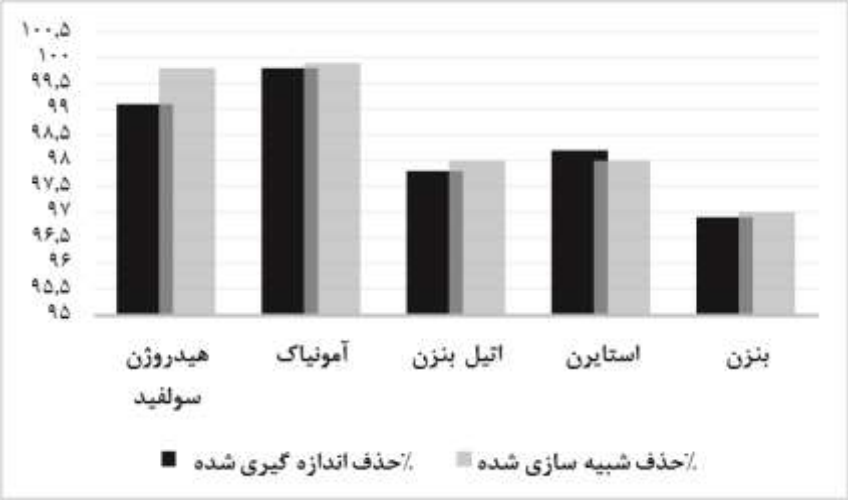
با توجه به شمای کلی واحد تصفیه مطابق شکل ۱ تمامی حوضچه‌های موجود، فاضلاب‌های ورودی به واحد و تخلیه‌های صورت گرفته با مشخصات موجود در نرم افزار وارد شده و میزان انتشار هریک از آلاینده‌ها در هر بخش به‌صورت کاملا مجزا به‌دست می‌آید. در فاضلاب ورودی به واحد، VOC[1] نیز وجود دارد و در طول فرآیند تصفیه نیز به محیط اطراف انتشار می‌یابد ولی به دلیل پایین بودن میزان این ترکیبات، عمده بحث و بررسی بر روی ترکیبات آمونیاک و سولفید هیدروژن می‌باشد.

نتایج

نرم‌افزار TOXCHEM، غلظت آلاینده‌ها را برحسب میلی‌گرم بر روز بیان می‌کند و اندازه‌گیری غلظت که به‌صورت روزانه در پساب انجام می‌گیرد، براساس ppm می‌باشد. به منظور بررسی میزان خطای نرم‌افزار استفاده شده، از درصد تغییر غلظت در ورودی و خروجی بخش‌های مختلف استفاده می‌شود. نتایج حاصل از نرم افزار TOXCHEM نشان می‌دهد که این نرم افزار قادر است مقادیر به مراتب نزدیکتری را به واقعیت تخمین زده (حذف اندازه گیری شده و تخمین زده شده توسط نرم افزار به ترتیب برای H_2S، ٪۹۹,۱ و ٪۹۹,۸، NH_3، ٪۹۹,۹ و

1-Volatile Organic Compounds

٪۹۹,۸، اتیل بنزن ۹۷,۸ ٪و ۹۸٪، استایرن ۹۸,۲٪ و ۹۸٪ و بنزن ۹۶,۶٪ و ۹۷٪ می‌باشد) و می توان نتیجه گرفت که هرچند که این نرم افزار مقادیر حذف بالاتری را در مقایسه با مقادیر واقعی نشان می‌دهد اما می‌تواند به عنوان مدلی مناسب جهت تخمین مقدار انتشار آلاینده‌ها از واحدهای تصفیه فاضلاب، استفاده گردد (شکل ۲). به منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های آزمایشگاهی جهت صحت‌سنجی شبیه‌سازی از پارامتر ضریب تعیین (Coefficient of Determination) استفاده می‌شود. ضریب تعیین داده‌های نمودار ۲، مقدار ۰/۹۳ محاسبه شده و نشان‌دهنده دقت بالای شبیه‌سازی می‌باشد. پارامتر ضریب تعیین به اندازه مورد نیاز هست ولی کافی نمی‌باشد و این میزان خطا ناشی از محدویت بانک اطلاعاتی این نرم افزار می‌باشد. در مطالعه دیگری که جهت مقایسه عملکرد سه مدل مختلف برای پیش‌بینی میزان انتشار آلاینده‌های فرار از سیستمهای تصفیه فاضلاب انجام شده است، نرم افزار TOXCHEM در مقایسه با WATER9 و INTERCEPTOR مقادیر انتشار بیشتری را نشان داده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (۱۵). جدول ۳ نتایج حاصل از درصد انتشار آلاینده‌ها در کل فرآیند را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص می‌گردد که درصد بالایی از آلاینده‌ها از فاضلاب ورودی در هوا پخش می‌گردند که به صورت معمول در نظر گرفته نمی‌شوند و این موضوع از نظر زیست‌محیطی حائز اهمیت ویژه می‌باشد. آمونیاک به‌صورت لجن آهکی از فرآیند تصفیه خارج می‌گردد و درصد پایینی از ورودی در هوا منتشر می‌گردد، اما از نظر عددی این مقدار قابل توجه است. شکل ۳ نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی می‌باشد که میزان انتشار آلاینده‌ها را حوضچه‌های مختلف واحد نشان می‌دهد. براساس نمودار حاصل نزدیک ۴۵،۰۰۰ گرم در روز آلاینده سولفید هیدروژن از TT- 4 (حوضچه بیولوژیکی)، وارد جو می‌شود. همین‌طور میزان انتشار سایر آلاینده‌ها به غیر ازآمونیاک از TT-4 بالا می‌باشد.



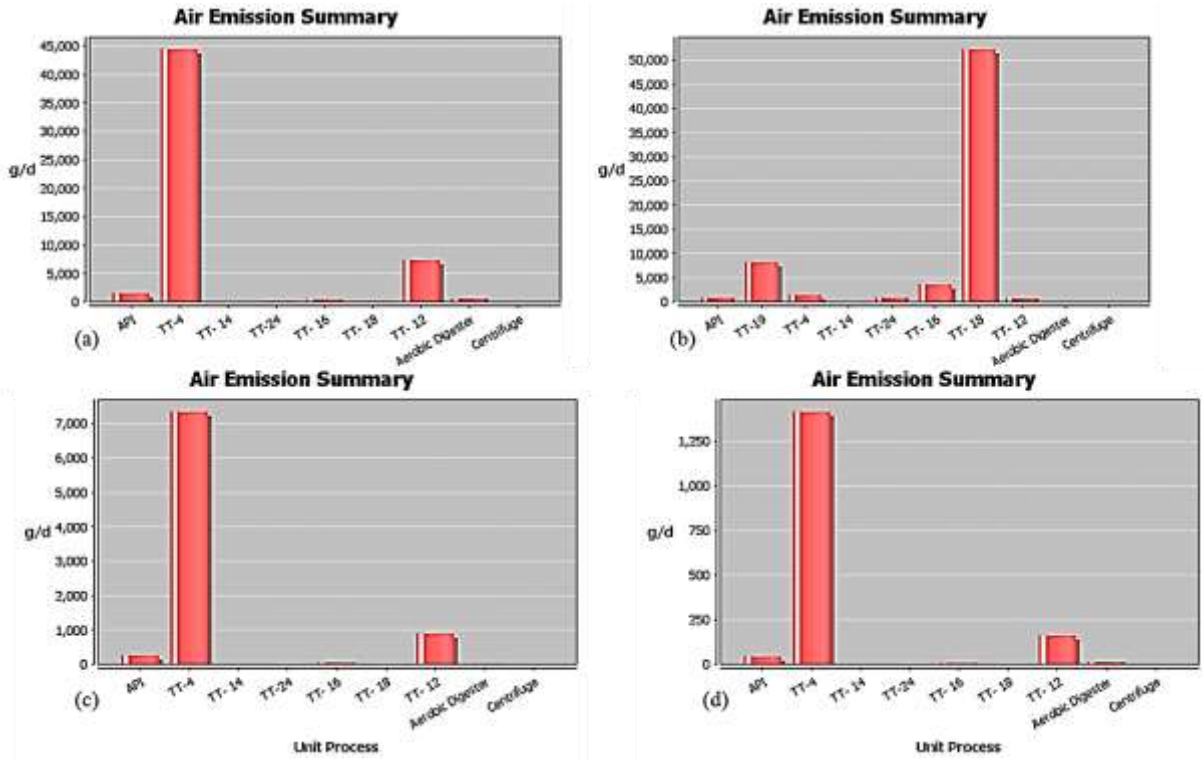
شکل ۲- بررسی دقت نرم افزار مورد استفاده جهت شبیه سازی واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه

Figure 2. Accuracy of software used for simulation of wastewater treatment unit of an Oil Refining Company

جدول ۲- درصد تخصیص آلاینده ها در خروجی‌های مختلف واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه

Table 3. Amount of pollutants in different exit streams of wastewater treatment unit of an Oil Refining Company

	درصد موجود				
	هیدروژن سولفید	آمونیاک	بنزن	اتیل بنزن	استایرن
ورودی به هوا	۸۲/۴۹۵۹		۷۴/۵۹۸۸	۵۷/۰۷۹۲	۶۲/۸۲۸۹
ورودی به فاضلاب	۰/۰۰۰۹۰۱	۰/۰۰۸۵۶۵	۰/۰۰۲۰۱۱	۰/۰۰۵۸۶۸	۰/۰۱۰۷۵
موجود در لجن	۰/۰۰۰۶۴۹	۰/۰۰۰۰۱۷۴	۰/۰۰۰۶۶۴	۰/۰۰۴۹۸۴	۰/۰۳۸۰۳۳۹
موجود در روغن	۱۶/۷۴۷۴	۱۱/۷۹۸۶	۱۸/۷۴۷۶	۳۵/۳۳۳۵	۳۶/۳۹۶۶
تجزیه شده	۰/۷۵۵۱۳۹	۵۰/۱۸۹۶	۶/۶۵۱۰۱	۶/۵۷۶۴۷	۰/۷۲۵۷۱۹



شکل ۳- میزان انتشار a) سولفید هیدروژن، b) آمونیاک، c) بنزن و d) اتیل بنزن در حوضچه‌های مختلف واحد تصفیه فاضلاب

Figure 3. Emissions of a) hydrogen sulfide b) ammonia c) benzene and d) ethyl benzene from different lagoons of wastewater treatment unit of an Oil Refining Company

به دلیل گسترده بودن مساحت سطح حوضچه، وجود فرآیند هوادهی و با توجه به وجود باد، میزان انتشار از سطح این حوضچه بالا بوده و نیاز به کنترل انتشار می‌باشد. کاهش غلظت آلاینده‌ها در فاضلاب ورودی یکی از راهکارهای اساسی به منظور کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌باشد. کنترل میزان آلاینده‌ها در فرآیندهای پالایشی در فاضلاب تولیدی نیز می‌تواند پاسخگو باشد که به نوع فرآیند بستگی دارد. آلاینده آمونیاک از TT-19 به میزان بسیار بالایی وارد جو می‌شود و این به دلیل ورود فاضلاب تولید آب صنعتی می‌باشد که بصورت آب آهک است. همچنین در TT-19 به دلیل وجود همزن با توان بالا به منظور

خنثی‌سازی فاضلاب ورودی، میزان انتشار بیش از ۵۰۰۰۰ گرم در روز می‌باشد. TT-4 به عنوان یکی از حوضچه‌های کلیدی در واحد تصفیه فاضلاب می‌باشد. جهت اطمینان از این موضوع، نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای میزان درصد حذف آلاینده ها بعد از ورود به این حوضچه در جدول ۴ مشخص گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که مرحله اصلی تصفیه فاضلاب در این حوضچه انجام می‌گیرد و نیاز است تمامی شرایط در حالت بهینه و کنترل شده قرار بگیرد و میکروارگانیسم‌های استفاده شده در شرایط مناسب قرار گیرند. حوضچه هاضم که اخیرا در واحد تصفیه فاضلاب به منظور عاری‌سازی لجن تولیدی از هرگونه آلاینده راه‌اندازی شده است، به عنوان یکی از بخش‌های قابل بحث می‌باشد که در شبیه‌سازی نیز نتایج مطلوبی را نشان می‌دهد(جدول ۴).

جدول ۳- درصد حذف آلاینده ها در TT-4

Table 4. Percent removal of pollutants in TT-4

آلاینده	میزان آلاینده در فاضلاب	میزان آلاینده در فاضلاب	درصد حذف آلاینده
سولفید هیدروژن	۷۷۷۷	۱۴۶/۷	۹۸
آمونیاک	۹۱،۸۱۹	۳۱۶۸/۴	۹۶
بنزن	۱۴۴۸	۱۹	۹۸
اتیل بنزن	۲۷۲	۶/۵	۹۷
استایرن	۳۴۹	۱۳	۹۶

جدول ۴- نحوه تغییر آلاینده ها در حوضچه هاضم

Table 5. Change in the amount of pollutants in digestion lagoon

آلاینده	میزان آلاینده در فاضلاب ورودی (g/d)	میزان آلاینده انتشار یافته (g/d)	میزان آلاینده تجزیه شده (g/d)	آلاینده موجود در لجن (g/d)
سولفیدهیدروژن	۸۱۱/۳	۵۸۸/۲	۲۲۱/۸	۱/۲
آمونیاک	۱۷۰۷/۳	۰/۷	۱۷۰۶/۱	۰/۵
بنزن	۲۴۷/۳	۲۵	۲۲۲/۲	۰/۱
اتیل بنزن	۱۲۶/۵	۱۳	۱۱۲/۵	۰/۱
استایرن	۱۰۷	۸۹/۶	۱۷	۱/۴

براساس نتایج حاصل آلاینده‌های موجود در لجن تولیدی که باعث می‌شوند لجن به صورت یک پسماند خطرناک محسوب شود، بعد از ورود به حوضچه هاضم توسط میکروارگانیسم‌های موجود در آن هضم شده و لجن عاری از آلاینده تولید می‌شود. کنترل شرایط میکروارگانیسم‌های حوضچه هاضم نیز یکی از فرآیندهای اساسی می‌باشد که در فرآیند تصفیه فاضلاب بایستی مد نظر باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش صورت گرفته واحد تصفیه فاضلاب پالایشگاه با استفاده از نرم‌افزار TOXCHEM شبیه‌سازی شده و میزان انتشار ترکیبات آلاینده سولفید هیدروژن، آمونیاک، بنزن، اتیل‌بنزن و استایرن به جو تخمین زده شد. مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار TOXCHEM نشان می‌دهد که این نرم افزار قادر است مقادیر مشابه به واقعیت را تخمین بزند. از طرفی بدست آوردن اطلاعاتی دقیق در مورد مقدار انتشار آلاینده‌های مدنظر از قسمتهای مختلف یک واحد تصفیه فاضلاب، نیاز به نمونه

گیریهای وسیع از فاضلاب و هوای بالای واحدهای عملیاتی در دوره های زمانی مختلف و آنالیز این نمونه ها دارد.

از آنجا که انجام چنین نمونه‌گیری و آنالیز هایی نیاز به صرف هزینه و وقت زیادی داشته و همچنین نمی توان براحتی تاثیر شرایط آب و هوایی و سرعت باد را بر نتایج مطالعه کرد، لذا استفاده از مدلهای انتشار برای بدست آوردن یک برآورد تخمینی از مقدار انتشار ترکیبات آلاینده مناسب می باشد. یکی ازمزایای استفاده از مدلهای مهندسی از جمله TOXCHEM مطالعه سریع اثرات بوجود آمده در شرایط فیزیکی فاضلاب ورودی و مطالعه تاثیر تغییر شرایط محیطی در میزان پخش آلاینده های فرار است که می توان با بهینه سازی شرایط، موجبات کاهش انتشار آلاینده ها را فراهم آورد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که TT-4 و TT-19 به عنوان منابع اصلی انتشار سولفید هیدروژن و آمونیاک در جو هستند که به دلیل عدم توانایی در کاهش این میزان انتشار در طی فرآیند تصفیه، نیاز به بهبود فرآیندهای پالایشی می‌باشد که فاضلاب خروجی از این واحدها میزان آلاینده کمتری را در خود داشته باشند. همچنین با شبیه‌سازی واحد تصفیه فاضلاب مشخص گردید که TT-12 به دلیل داشتن نقش اساسی در فرآیند تصفیه فاضلاب نیازمند کنترل وضعیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد.

References

1. Xu, N., Wang, W., Han, P. and Lu, X., 2009. Effects of ultrasound on oily sludge deoiling. Journal of Hazardous Materials, Vol. 171, pp: 914-917.
2. Mrayyan, B. and Battikhi, MN., 2005. Biodegradation of total organic carbons (TOC) in Jordanian petroleum sludge. Journal of Hazardous Materials, Vol. 120, pp. 127-134.
3. Wu, B-Z., Feng, T-Z., Sree, U., Chiu, K-H. and L, J-G., 2006. Sampling and analysis of volatile organics emitted from wastewater treatment plant and drain system of an industrial science park.Analytica chimica acta, Vol. 576, pp. 100-111.
4. Mahmoudi, E., 2016. Application of a novel material flow cost accounting for reduction of wastes in wastewater unit of Tabriz Oil Refining Company, MSc thesis, faculty of chemical engineering, Sahand University of Technology. (In Persian)
5. Gontarski, C. A., Rodriguez, P.R., Mori, M. and Pernem L.F., 2000. Simulation of an industrial wastewater treatment plant using atrificial neural networks. Computers and Chemical Engineering, Vol. 24, pp. 1719-1723.
6. Zhang, L., De Schryver, P., De Gusseme, B., De Muynck, W., Boon, N. and Verstraete, W., 2008. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review. Water Research, Vol. 42, pp. 1-12.
7. Fatehifar, E., Kaforoshan, D., Khazini, L., Soltanmohammadzadeh, J. S. and Sattar, H. R., 2008. Estimation of VOC emission from wastewater treatment unit in a petrochemical plant using emission factors. WSEAS Conferences, Cantabria, Spain, Santander.
8. Ashrafi, O., Yerushalmi, L. and Haghighat, F., 2013. Application of dynamic models to estimate greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and Paper industry. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 20, pp. 1858-1869.
9. Kim, D., 2014. Model development and system optimization to minimize greenhouse gas emissions fromwastewater treatment plants, PhD thesis. University of North Carolina.
10. Sattar, H., 2002. Identification and measurement of volatile organic

compounds in wastewater unit of Tabriz petrochemical and refining company, MSc thesis, faculty of chemical engineering, Sahand University of Technology. (In Persian)

11. Parra, M.A., Gonzalez, L., Elustondo, D., Garrigo, J., Bermejo, R. and Santamaria, J. M., 2006. Spatial and temporal trends of volatile organic compounds (VOC) in a rural area of northern Spain. Science of The Total Environment, Vol. 370, pp. 157-167.
12. Zwain, H. M., Nile, B. K., Faris, A. M., Vakili, M. and Dahlan, I., 2020. Molelling of hydrogen sulfide fate and emissions in extended aeration sewage treatment plant using TOXCHEM simulations. Scientific Reports, Vol. 10, pp. 22209.
13. Masoomi, S. R., Azizi, M., Aghlmand, R., Gheibi, M. and Kian, Z., 2021. Simulating the dispersion of poisonous organic chemical compounds in wastewater treatment process through the active sludge method using the TOXChem model. Annals of Biomedical Science and Engineering. Vol. 5., pp. 25-31.
14. Gernaey, K..V., Van Lusdrecht, M. C. M., Henze, M., Lind, M. and Jorgensen, S. B., 2004. Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. Environmental Modelling & Software, Vol. 19, pp. 763-783.
15. Quigley C., Card T., Monteith H., Witherspoon J., Adams G., Pettit W. and Torres E., 2006. A comparison of three wastewater collection system VOC emissions molels. Proceedings of the Water Environemnt Federation. pp. 1154-1174.