

ارزیابی زیست محیطی و سنجش برخی شاخص‌های مهم آلودگی نفتی در اراضی محدوده پالایشگاه گاز سرخون بندرعباس

سهیلا ابراهیمی^۱، جلال شایگان^{۲*}، محمد جعفر ملکوتی^۳، علی اکبری^۴

۱- دکترای خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس و استادیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی کرکان sohebrahimi@gmail.com

۲- استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

۳- استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس mjmalakouti@hotmail.com

۴- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران asuwar@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۲۷

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی دقیق نوع و رفتار آلاینده‌ها، ارزیابی زیست محیطی و سنجش برخی شاخص‌های مهم آلودگی نفتی در اراضی محدوده پالایشگاه و چگونگی نشر و ترابری آنها در محیط زیرزمینی بود. بدین منظور، درک مقیاس آلودگی با حفر گمانه‌ها تا رسیدن به سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ موجود، انجام و برداشت نمونه‌ها و اندازه‌گیری مقدار کل آلاینده هیدروکربنی و کل آلاینده نفتی انجام شد. ویژگی‌های منبع اصلی موجد آلودگی، با آزمایش‌های تعیین کل جامدات معلق، کل جامدات محلول، مقدار نفت اولیه ورودی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی بررسی شد. پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های نشر آلودگی، با تکنیک‌های زمین‌آمار با نرم‌افزارهای Surfer و ArcGIS انجام شد. مطالعات زمین‌آمار و بررسی کمی نقشه‌های سه‌بعدی تخمین‌گر نشر کل آلودگی هیدروکربنی و نفتی خاک نشان داد که ترابری آلاینده‌ها، به‌علت شرایط خاص حاکم بر منطقه (وجود سفره آب زیرزمینی در عمق ۲۴ متری از سطح و بالابودن سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ در کل منطقه)، از ناحیه محصور بالای سخت کفه و به‌وسیله نشر میعانات گازی صورت گرفت. با وجود محرز بودن آلودگی، منابع موجد آن، نشت چاله‌های سوزان (عامل اصلی) و عدم رعایت کامل موارد ایمنی و پیشگیری در حین عملیات، نشت احتمالی از مخازن ذخیره، شکستگی لوله و کانالهای جمع‌آوری فاضلاب مشخص شدند. نتایج بررسی منابع موجد آلودگی و تعیین مشخصه‌های آن، علاوه بر تعیین نیروی آلودگی، راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری مدیریت فاضلاب پالایشگاه، تعیین بهترین سیستم پاک‌سازی و برنامه‌ریزی راهبردی برای تحقق آن است.

کلید واژه

محیط زیرزمینی، آلودگی، هیدروکربن، پالایشگاه، میعانات گازی

سر آغاز

اقتصادی چشمگیری نیاز دارد. از طرف دیگر، آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، همواره موجب دلمشغولی دست اندرکاران صنعت و مراجع ناظر بر حفظ محیط زیست بوده و برگزیدن سیاست‌های سازگار و راه‌حل‌های منطقی برای پاک‌سازی محیط زیست در مسیری هماهنگ با ملاحظات زیست محیطی، اجتناب ناپذیر است. این پژوهش با توجه به ظهور و بروز پاره‌ای نشانه‌های آلودگی نفتی عمقی و سطحی محدوده اطراف پالایشگاه و به منظور بررسی دقیق نوع و رفتار آلاینده‌ها، بررسی ویژگی‌ها و ارزیابی زیست محیطی و سنجش برخی شاخص‌های مهم آلودگی نفتی در اراضی محدوده

آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی با آلاینده‌های مختلف از جمله هیدروکربورها و حلال‌های شیمیایی، آثار منفی زیست محیطی متنوعی به دنبال دارد. آلاینده‌های محیط زیرزمینی با هیدروکربن‌های نفتی در اطراف پالایشگاهها، جایگاههای سوخت‌گیری، مخازن نفت و فرآورده‌های نفتی و محل عبور لوله‌های تاسیسات انتقال سوخت، از حساسیت ویژه‌ای دارد، چرا که معمولاً از شروع آلودگی تا تشخیص آن مدت زمانی طولانی می‌گذرد و در صورت بروز، درمان آن به زمان و هزینه‌های

و پس از بررسی لایه‌بندی‌های موجود از لایه‌های مختلف، نمونه‌ها برداشت شد. حفر چاهها با توجه به شرایط منطقه به صورت دستی تا رسیدن به سخت کفه‌های غیرقابل نفوذ انجام و پس از بررسی لایه‌بندی‌های موجود از لایه‌های مختلف نمونه‌ها برداشت شد. تعداد نمونه‌های برداشت شده تابعی از تنوع لایه‌بندی چاهها و میزان آلودگی موجود بود و در صورت عارض بودن آلودگی گاهی از یک لایه بیش از یک نمونه برداشت شد. نمونه‌برداری از خاک، در عمق‌های مورد نظر پس از حفر چاه، با لوله نمونه‌گیر از جنس پولیکا و با قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر، انجام شد که پس از برداشت از عمق مورد نظر، دو سر آن برای حفظ ویژگی‌های تغییر پذیر خاک، با کمک چسب پوشانده و مسدود و پس از برچسب گذاری به یخدان منتقل شد و به آزمایشگاه انتقال یافت.

پس از بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمون شامل بافت، وزن مخصوص، درجه اشباع، پوکی و موقعیت سنگ بستر، سنجش آلودگی بر اساس روش استاندارد و بر مبنای استخراج با حلال با جذب در مقابل اشعه IR با فرکانس 2940 cm^{-1} بود که از دسته روشهای استاندارد^۵ به شمار می‌رود و با دستگاه سنجش $\text{TOG/TPH}^{\text{F}}$ انجام شد. در اندازه‌گیری‌های مربوط به مقدار کل آلاینده نفتی $(\text{TPH})^{\text{Y}}$ و مقدار کل آلاینده هیدروکربنی $(\text{TOG})^{\text{A}}$ ، میزان جذب نشان داده شده توسط دستگاه با محلول‌های با غلظت مشخص از ترکیبات هیدروکربنی مانند هگزادکان، و یا اکتادکان معنی‌دار و مقدار آلاینده‌گی نیز بر اساس مقدار هیدروکربنی (یا مخلوطی از هیدروکربن‌هایی) که استانداردهای کالیبراسیون دستگاه از آن تهیه شد، گزارش شد.

برای سنجش میزان آلودگی موجود، در این مرحله به ۵ تا ۱۵ گرم خاک (با توجه به شدت وضوح آلودگی برحسب شدت رنگ محلول بدست آمده)، ۲ تا ۵ گرم سولفات سدیم به منظور آگیری اضافه شد و استخراج با ۱۰۰ سی‌سی حلال تترا کلرو اتیلن صورت گرفت. با گذشت زمان لازم (حدود ۲۰ دقیقه)، آلاینده از محیط خاک به محیط حلال انتقال و سرانجام مایعی شفاف به رنگ زرد، یا سفید جمع‌آوری شد. این محلول به محفظه دستگاه منتقل و قرائت انجام شد. نمونه‌های برداشت شده، بدین صورت با سه تکرار آزمایش شدند. مایع شفاف به‌دست آمده به منظور تمایز آلاینده‌گی قطبی و غیر قطبی، از پودر سیلیکاژل عبور داده شد که مواد قطبی مانند گریس و آب را جذب و فقط مواد هیدروکربنی غیر قطبی را از خود عبور می‌دهد. در این صورت آنچه قبل از سیلیکاژل خوانده می‌شود TOG و

پالایشگاه و چگونگی نشر و ترابری و انتقال آنها در محیط زیرزمینی انجام شد.

مواد و روش بررسی

بررسی وضعیت آلودگی حاکم بر منطقه و چگونگی نشر آن، نیازمند داشتن اطلاعات پایه مربوط به مشخصات محدوده مورد مطالعه است. پالایشگاه گاز سرخون از ۸ حلقه از ۱۳ چاه موجود، که زیر نظر شرکت زاگرس جنوبی است، تغذیه می‌شود و ظرفیت آن ۵۰۰ میلیون فوت مکعب در روز است. گازهای خروجی از سر چاهها پس از ورود به پالایشگاه و جداسازی گاز از مایعات در جداکننده، به جدا کننده دیگر سه فاز (گاز، مایعات گازی و فاضلاب) وارد می‌شود.

فاضلاب‌های مجتمع شامل فاضلاب‌های خروجی از مخزن جداکننده سه‌فازی، فاضلاب شست‌وشوی واحدها، فاضلاب تولیدی در زمان تعمیرات (یک‌ماه در سال)، پس‌زنی ناشی از واحد اسمز معکوس، آب باران نواحی مذکور هستند. تمام فاضلاب‌های این مجتمع یک‌بار در شبانه‌روز به دو مخزن ذخیره هدایت و از آنجا با پمپ و خط لوله مشترک به صورت ناپیوسته به چاله‌های سوزان هدایت می‌شوند. آب باران و فاضلاب شست‌وشوی واحدها و فاضلاب تولیدی در زمان تعمیرات با کانال سرریسته مشبکی که در اطراف واحد احداث شده، به‌طورمستقیم به چاله‌های سوزان، به صورت ثقلی هدایت می‌شوند و آب باران نواحی غیر پالایشی توسط کانال روبازی که در پالایشگاه احداث شده به رودخانه انتقال می‌یابد. فاضلاب‌های بهداشتی نیز جداگانه به سیستم پکیج تصفیه فاضلاب‌های بهداشتی هدایت می‌شود.

با بررسی منبع اصلی احتمالی تغذیه کننده چاله‌های سوزان و به عبارت دیگر منبع اصلی احتمالی آلودگی، آزمایش‌های TSS^1 ، TDS^2 ، BOD^3 ، COD^4 ، pH و H_2S و Oil به منظور پی بردن به کیفیت پساب انجام شد. پس از تعیین منابع نشر آلودگی، برای بررسی مقدار نشر آن در محیط خاک، ایجاد درک اولیه از مقیاس آلودگی مورد نیاز است. در بسیاری مواقع این درک با حفر گمانه حاصل می‌شود. در انتخاب محل گمانه‌ها، منابع محتمل نشست دهنده آلودگی، سوابق موجود منابع آلودگی، مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی، جغرافیایی و هیدرولوژی و استانداردهای موجود و اطلاعات پایه‌ای زمین‌آمار مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور ۲۲ گمانه در محل‌های مشخص در نظر گرفته شد. حفر چاهها تا رسیدن به سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ موجود انجام شد

منطقه، با توجه به درصد شن و سیلت و رس تعیین شده، ماسه‌ای دانه‌ریز سیلت‌دار است که به طور متغیر بین ۶۰-۹۰٪ ماسه و به نسبت کمی شن دانه‌ریز و سیلت دار است. نوع خاک تا عمق برخورد با سنگ کف بجز در نواحی واقع در حواشی مسیل‌های سیلابی، و یا در نواحی تقریباً سنگلاخی بیشتر از نوع ماسه دانه ریز سیلت با تراکم‌پذیری متوسط تا زیاد است. آزمایش‌های بررسی رطوبت و خصوصیات تراکمی خاکها نشان داد که بیشتر خاکها متراکم تا نیمه متراکم با دانسیته خشک ۱/۵۷ تا ۱/۷۹ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشند. میزان رطوبت نسبی نیز در فصول خشک بین ۱/۸ تا ۲/۴ درصد متغیر و در فصول بارندگی به‌علت نفوذ آبهای سطحی و بارندگی به قسمت‌های عمقی درصد رطوبت بیشتر است. برخی نتایج مطالعات خاک‌شناسی محدوده اطراف پالایشگاه سرخون در جدول شماره (۱)، نشان داده شده‌اند.

آنچه بعد از سلیکاژل خوانده می‌شود TPH است. پس از برداشت نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، پهنه‌بندی آلودگی محدوده مورد نظر با تکنیک‌های زمین‌آماری صورت پذیرفت (Chilès and Delfiner, 1999; Bivand, et al., 2008).

بدین منظور، داده‌های برداشت شده، با نرم‌افزارهای Surfer و Arc GIS مورد تجزیه و تحلیل و مدل‌های مناسب با کمترین خطا انتخاب شدند (Cressie, 1993 ; Edzer, 1999).

نتایج

مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در ۴ بخش زیر انجام و نتایج آن به تفکیک ارائه شد.

نتایج مطالعات خاک‌شناسی منطقه اطراف پالایشگاه

سرخون

در بررسی خاک شناسی و کیفیت شیمیایی خاک منطقه سرخون، خصوصیات دانه‌بندی خاک منطقه نشان داد خاک بیشتر

جدول شماره (۱): برخی نتایج مطالعات خاک‌شناسی محدوده اطراف پالایشگاه سرخون

گمانه	X	Y	بافت	رطوبت	وزن مخصوص خشک ^۳ g/cm ^۳	وزن مخصوص تر ^۳ g/cm ^۳	میزان اشباع (%)	D ₆₀ ^۹	D ₃₀ ^{۱۰}	نسبت پوکی ^{۱۱}	موقعیت سنگ بستر نسبت به سطح (CM)
TP-1	۴۳۲۵۶۴	۴۳۲۵۶۴	Well-graded Gravel with Sand	۷/۱	۲/۰۵	۲/۳۰	۵۷/۱۸	۸/۵۸۵۳	۲/۱۹۴۴	۰/۳۴۱	۷۵
TP-2	۴۴۵۰۱۸	۴۴۵۰۱۸	Poorly graded Sand with Gravel	۸/۹۵	۱/۹۵	۲/۱۲	۶۴/۳۶	۸/۶۲۳۸	۱/۵۱۳۶	۰/۳۶۹	۹۰
TP-3	۴۴۱۹۶۶	۴۴۱۹۶۶	Poorly graded Gravel with Sand	۱۰	۲/۰۳	۲/۲۳	۷۷/۵۵	۱۶/۰۸۰۰	۱/۴۰۸۳	۰/۳۵۵	۸۰
TP-4	۴۴۶۰۹۶	۴۴۶۰۹۶	Well-graded Gravel with Sand	۹/۸	۲/۰۳	۲/۲۵	۷۵/۳۲	۱۲/۷۲۴۶	۳/۶۷۶۶	-	۱۳۰
TP-5	۴۴۵۸۰۰	۴۴۵۸۰۰	Well-graded Gravel with Sand	۹/۷	۲/۲۰	۲/۲۳	۷۴/۳۳	۱۳/۱۵۴۰	۳/۹۳۳۸	۰/۲۶۵۰	۱۶۰
TP-6	۴۴۵۵۰۱	۴۴۵۵۰۱	Poorly graded Gravel with Sand	۷/۹	۲/۰۱	۲/۱۷	۵۸/۷۴	۱۲/۷۴۹۴	۱/۰۰۸۹	۰/۳۶۸	۱۶۰
TP-7	۴۴۵۳۰۴	۴۴۵۳۰۴	Poorly graded Sand with Gravel	۸/۰	۱/۹۸	۲/۱۴	۶۰/۱۲	۱۲/۴۰۸۳	۲/۲۶۷۱	۰/۲۵۶۱	۱۶۰
TP-8	۴۴۵۰۸۹	۴۴۵۰۸۹	Poorly graded Gravel with Sand	۷/۳۲	۲/۰۴	۲/۱۹	۵۶/۵۱	۴۵/۸۸۴۴	۶/۷۴۶۷	۰/۲۷۴	۱۲۰
TP-9	۴۴۳۵۰۹	۴۴۳۵۰۹	Sandy Silt	۱۳/۷	۱/۹۴	۲/۱۰	۷۲/۴۱	۱۸/۰۸۸۱	۲/۰۲۵۰	-	۵۰
TP-10	۴۴۳۳۶۱	۴۴۳۳۶۱	Poorly graded Gravel with Sand	۲/۳	۱/۹۶	۲/۱۳	۶۲/۸۷	۱۶/۳۸۳۰	۲/۸۵۴۶	۰/۲۸۷	پایین تر از ۲ متر
TP-11	۴۴۳۳۸۴	۴۴۳۳۸۴	Poorly graded Gravel with Sand	۸/۶	۲/۰۲	۲/۲۱	۷۱/۵۲	۱۲/۷۷۸۵	۱/۸۱۱۳	۰/۳۶۱	۲۰۰
TP-12	۴۴۹۳۹۷	۴۴۹۳۹۷	Well-graded Gravel with Sand	۹/۴	۲/۰۲	۲/۲۱	۷۱/۵۲	۱۱/۲۵۶۳	۱/۶۴۶۱	۰/۳۶۱	۱۸۰
TP-13	۴۳۹۴۱۰	۴۳۹۴۱۰	Poorly graded Gravel with Silt and Sand	۷/۳	۲/۰۴	۲/۱۹	۶۴/۶۸	۱۹/۷۵۹۲	۱/۲۸۵۳	۰/۲۹۹	۱۷۰
TP-14	۴۴۰۴۲۷	۴۴۰۴۲۷	Well graded Gravel with Silt and Sand	۷	۲/۰۶	۲/۲۰	۵۷/۴۸	۲۱/۷۷۵۳	۳/۰۲۴۱	۰/۳۳۵	۸۰
TP-15	۴۴۳۵۳۸	۴۴۳۵۳۸	Poorly graded Gravel with Silt and Sand	۸/۵	۲/۰۳	۲/۲۰	۶۵/۸۹	۱۱/۲۵۷۴	۱/۱۵۸۸	۰/۳۵۵	۵۰

ناشی از نشر پساب، به وسیله GC/MS نشان دهنده آلودگی نیتروژن، متان، اتان، پروپان، بوتان، پنتان، ۲ و ۲ دی متیل بوتان، ۲-متیل پنتان، ۳-متیل پنتان، n-هگزان، بنزن، ۲ و ۲ دی متیل ۱-بوتان، سیکلوهگزان، n-هپتان، ۲ و ۲ دی متیل (پنتان، ۲ و ۲-تری متیل پنتان، متیل سیکلوهگزان، تولوئن، ۲ و ۲ دی متیل هگزان، ۲ و ۲-تری متیل تری متیل پنتان، ۳-متیل هپتان، n-اکتان، ۱-ترانس ۲-دی متیل سیکلوهگزان، ۲ و ۲ دی متیل ۳-اتیل پنتان، اتیل سیکلوهگزان، اتیل بنزن، p و m زایلن، n-نونان، n-پروپیل بنزن، ۱ و ۲-تری متیل بنزن، n-دکان، آن دکان، دو دکان، تری و تترادکان، پنتا دکان، دی اتانل آمین، دی اتیلن گلیکول و آب شور است.

در بررسی منبع موجد آلودگی، نشت احتمالی تدریجی و تجمع در خاک اطراف پالایشگاه از دو مخزن ذخیره فاضلاب ورودی به چاله های سوزان، نتایج آزمایش های COD, BOD, TDS, TSS, pH به صورت نشان داده شده در جدول شماره (۲ و ۳) به دست آمد.

در بررسی نتایج به دست آمده از جدول شماره (۱)، مشاهدات کمی و کیفی بافت خاک، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری بالا در خاکهای منطقه، وجود اقلیم خشک و نیمه خشک و درصد رطوبت پایین از سوی دیگر و علاوه بر آن، بالا بودن نسبی عمق سخت کفه نفوذ ناپذیر (بین ۸۰ سانتیمتر تا ۲ متر) در اکثر مسیرهای مورد مطالعه نشان داد، انتقال و نشر آلودگی در ناحیه غیر اشباع بخش بالایی سخت کف انجام می شود که چگونگی نشر آن و سازوکارهای مؤثر بر آن نیازمند بررسی بیشتر است.

• نتایج مطالعات منابع نشر آلودگی هیدروکربنی، نوع آلاینده ها و ویژگی های فاضلاب

استفاده از هر نوع روش پاک سازی، نیازمند شناسایی آلاینده ها با استفاده از تجهیزات مناسب است. در واقع نتایجی که از تجزیه و تحلیل خاک، یا آب آلوده به دست می آید، امکان برآورد نیروی آلودگی را فراهم می کند. از متداول ترین روشهای کمی می توان استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گاز/ طیف سنجی جرمی را نام برد. نتایج آزمایش های تجزیه و تحلیل آلاینده های احتمالی

جدول شماره (۲): نتایج برخی آزمایش های مخزن ذخیره فاضلاب اول (wet) (s- ۸۴۳)

TDS (mg/l)	TSS (mg/l)	Oil (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T (° C)	pH	نوع آزمایش
۷۹۳۲۲	۱۷۰	۵/۳	۹۸۰	۱۱۰۰	۳۷	۵/۳	نمونه برداری ۱
۷۸۵۹۶	۱۶۲	۶/۳	۱۰۹۵	۱۴۰۰	۳۶	۵/۳	نمونه برداری ۲
۵۷۸۴۰	۱۴۲	۴/۸	۱۰۳۴	۱۳۰۰	۳۸	۵/۳	نمونه برداری ۳

جدول شماره (۳): نتایج برخی آزمایش های مخزن ذخیره فاضلاب دوم (dry) (s- ۸۴۴)

TDS (mg/l)	TSS (mg/l)	Oil (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T (° C)	pH	نوع آزمایش
۷۳۷۷۰	۲۹۸	۵	۱۳۴۰	۱۹۵۰	۳۷	۵/۳	نمونه برداری ۱
۷۹۶۰۶	۳۲۸/۵	۴/۸	۱۴۲۲	۱۹۰۰	۳۶	۵/۳	نمونه برداری ۲
۶۹۱۳۸	۲۸۲	۵/۸	۱۵۰۰	۱۷۴۰	۳۷	۵/۳	نمونه برداری ۳

ذخیره خشک و تر نشانگر توانایی بالای اکسایش ترکیبات تشکیل دهنده آن است که در صورت نشت احتمالی می تواند با اکسید شدن از محیط حذف شوند مقادیر بزرگ BOD با میانگین ۱۰۳۶ و ۱۴۲۱ میلی گرم بر لیتر در مخازن ذخیره خشک و تر، نشان دهنده توانایی حذف بالای ترکیبات هیدروکربنی از سیستم با میکروارگانسیم هاست.

معیار مهم در سنجش شدت آلودگی فاضلاب و پسابها، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی است که نتایج آن در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

بدین سان شدت آلودگی با مقدار آلودگی آلی یا معدنی توانایی اکسایش، نسبت داده می شود و مقدار کل اکسیژنی که برای اکسایش آلودگی بکار برده می شود، تعیین می شود. مقادیر بالای COD با میانگین ۱۲۶۷ و ۱۸۶۳ میلی گرم بر لیتر در مخازن

مقادیر نفت موجود ورودی به مخازن ذخیره خشک و تر با میانگین ۵/۵ و ۵/۲ میلی‌گرم بر لیتر نیز مبین مقدار اولیه هیدروکربنی نفتی ورودی به چاله‌های سوزان است که در صورت نشت، یا نفوذ به محیط، موجب آلودگی هیدروکربنی خاک اطراف پالایشگاه به‌شمار می‌رود.

کل جامدات معلق و محلول نیز علاوه بر کیفیت پساب، تمهیدات مناسب را در استفاده مجدد آن پیش‌بینی می‌کند. نتایج آزمایش‌های TDS با میانگین ۷۱۹۲۰ و ۷۴۱۷۲ میلی‌گرم بر لیتر در مخازن ذخیره خشک و تر نشان دهنده مقدار بسیار بالای مواد جامد محلول و عدم امکان مصرف مجدد آن، حتی در صورت حذف آلاینده‌های آن است.

بررسی آلاینده‌های موجود و تعیین نوع و مقدار آنها می‌تواند راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد مدیریت فاضلاب پالایشگاه، برنامه‌ریزی‌های نیروی در مرحله پاک‌سازی پالایشگاه و محدوده اطراف آن و همچنین راهنمای مناسبی برای تعیین بهترین سیستم پایش باشد.

نتایج مطالعات زمین آماری و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با توجه به محل گمانه‌های حفر شده

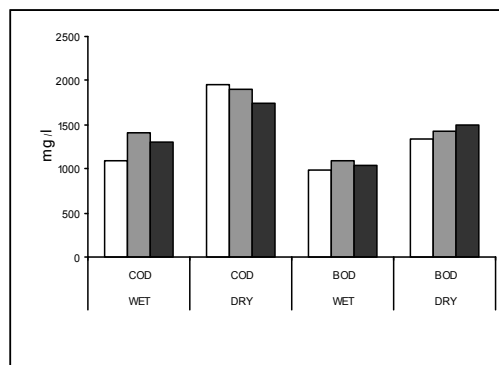
پس از انتخاب محل‌های گمانه‌زنی و حفر چاهها تا رسیدن به سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ، برداشت نمونه‌ها انجام شد. در جدول شماره (۴)، مختصات جغرافیایی محل گمانه‌ها و مقادیر TOG و TPH اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌شود. پس از برداشت کمی مقادیر آلاینده‌های TOG و TPH در محدوده اطراف پالایشگاه، مطالعات زمین آماری انجام شد. استفاده از زمین‌آمار به دلیل همبستگی داده‌های برداشت شده و موقعیت آنها در فضای مورد مطالعه بود و بدیهی است ناپدید گرفتن آن، باعث از دست رفتن اطلاعات مفیدی از جامعه می‌شود. علاوه بر آن با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار می‌توان با ادر نظر گرفتن داده‌های یک کمیت در نقطه‌ای با مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر (واقع در درون دامنه‌ای که ساختار مکانی حاکم است)، با کمترین مقدار خطا برآورد کرد (Webster and Oliver, 2007).

اساس مطالعات پهنه‌بندی در زمین-آمار، تهیه تابع واریوگرام

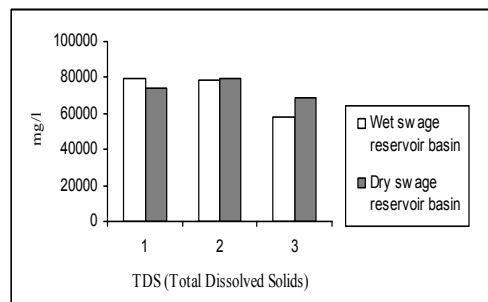
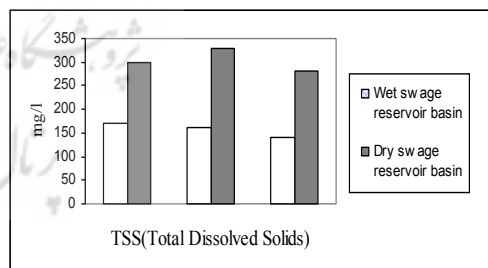
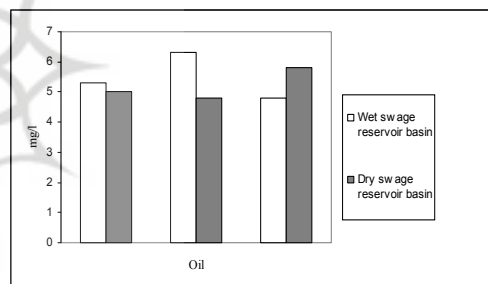
به صورت زیر:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (1)$$

در شکل شماره (۲)، نتایج مقادیر نفت، کل جامدات معلق و محلول ورودی به مخازن ذخیره خشک و تر ورودی به چاله‌های سوزان نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): نتایج آزمایش COD و BOD مخازن ذخیره فاضلاب خشک و تر ورودی به چاله‌های سوزان با سه تکرار زمانی



شکل شماره (۲): نتایج آزمایش‌های Oil، TDS و TSS مخازن ذخیره فاضلاب خشک و تر ورودی به چاله‌های سوزان با سه تکرار زمانی

جدول شماره (۴): ویژگی‌های طول و عرض جغرافیایی و مقدار آلودگی هیدروکربنی در محل گمانه‌های حفر شده بررسی آلودگی

شناسه گمانه	طول جغرافیایی (x)	عرض جغرافیایی (y)	TPH (mg/kg soil)	TOG (mg/kg soil)	شناسه گمانه	طول جغرافیایی (x)	عرض جغرافیایی (y)	TPH (mg/kg soil)	TOG (mg/kg soil)
C11	۴۴۳۱۲۶	۳۰.۲۴۷۶۷	۳۶۳	۴۲۵	N5	۴۴۳۸۵۸	۳۰.۲۴۹۲۶	۱۴۸۸	۲۲۳۸
C12	۴۴۳۴۰۵	۳۰.۲۴۷۲۱	۶۳۸	۷۵۰	N6	۴۴۴۱۲۵	۳۰.۲۴۸۲۵	۶۵۰	۹۹۰
C13	۴۴۳۴۰۹	۳۰.۲۴۷۰۰	۵۹۰	۷۰۰	E1	۴۴۳۹۰۵	۳۰.۲۴۷۳۵	۴۸۸	۵۱۳
C14	۴۴۳۷۱۴	۳۰.۲۴۶۹۷	۵۰۱	۶۱۴	E2	۴۴۳۸۷۸	۳۰.۲۴۴۴۴	۳۰۰	۳۲۵
C21	۴۴۳۱۸۶	۳۰.۲۴۵۰۸	۲۶۳	۳۳۸	E3	۴۴۳۸۹۰	۳۰.۲۴۳۱۶	۲۶۳	۲۸۸
C22	۴۴۳۴۰۸	۳۰.۲۴۵۰۷	۳۱۱	۳۳۰	S3	۴۴۳۷۳۲	۳۰.۲۴۰۰۵	۱۵۰	۱۶۳
C24	۴۴۳۷۰۰	۳۰.۲۴۵۲۰	۲۵۳	۲۶۳	S2	۴۴۳۴۲۸	۳۰.۲۳۹۸۷	۱۶۳	۱۸۸
C34	۴۴۳۷۱۱	۳۰.۲۴۳۰۰	۲۰۵	۲۱۴	W1	۴۴۳۸۲۸	۳۰.۲۴۷۲۵	۲۹۹	۳۳۲
N1	۴۴۲۸۸۹	۳۰.۲۴۸۹۷	۱۰۲۸	۱۴۲۷	W3	۴۴۳۰۹۵	۳۰.۲۴۲۵۸	۲۲۱	۳۳۸
N2	۴۴۳۱۲۴	۳۰.۲۴۸۷۲	۱۷۸۸	۳۳۲۵	G1	۴۴۳۳۳۵	۳۰.۲۴۳۱۸	-	۱۷
N3	۴۴۳۵۰۷	۳۰.۲۴۸۹۶	۳۱۰۰	۳۹۹۱	G2	۴۴۳۴۹۲	۳۰.۲۴۴۵۸	۵	۱۴
N4	۴۴۳۶۹۰	۳۰.۲۴۸۷۰	۲۶۱۲	۳۶۳۳	G3	۴۴۳۴۱۵	۳۰.۲۴۲۳۰	۴	۷

بهترین مدل برای تخمین میان‌یابی داده‌ها، روش کریجینگ^{۱۳} برای داده‌های TOG و روش Spline with Tension برای داده‌های TPH بوسیله نرم‌افزار VARIOWIN تعیین شد (Diggle and Ribeiro, 2007).

در مرحله بعدی، نقشه پهنه‌بندی خطوط تراز آلودگی‌های مورد نظر، با مشخص کردن محل گمانه‌ها و منابع اصلی موجد آلودگی منطقه مورد مطالعه با نرم‌افزار سرفر^{۱۴} به صورت شکل شماره (۳) تهیه و نقاط حفر گمانه روی آن مشخص شد.

بررسی نقشه تراز آلودگی هیدروکربنی TOG و TPH (با توجه به این که هر دو خط تراز متوالی، یک واحد مقیاس آلودگی هم اختلاف دارند)، نشان می‌دهد که قسمت عمده آلودگی هیدروکربنی در شمال و مرکز محدوده اطراف پالایشگاه متمرکز شده و از سویی اعداد موجود بر این خطوط تراز که بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هستند، مبین مقادیر بالای نشر هیدروکربن‌های آلی و میعانات گازی، بخصوص در اطراف چاله‌های سوزان (منابع موجد آلودگی) هستند.

همین موضوع وجود چاله‌های سوزان را به عنوان منابع اصلی احتمالی آلودگی تأیید می‌کند.

از سویی به نظر می‌رسد نشر به سمت شرق پالایشگاه سریع‌تر و با شدت بیشتری از غرب صورت گرفته است و علت آن با

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های استفاده شده در محاسبه به‌ازای هر فاصله مانند h ، $Z(x)$ متغیر مشاهده شده و $Z(x+h)$ متغیر مشاهده شده که به فاصله h از $Z(x)$ قرار دارد، است که با نرم‌افزار VARIOWIN تعیین شد.

برای ترسیم واریوگرام به عنوان ابزار تعیین‌کننده ساختار فضایی بر اساس مقادیر نمونه‌های برداشت شده، ابتدا مقدار γ را به‌ازای مقادیر مختلف h محاسبه و سپس مقادیر به‌دست آمده به‌ازای فواصل h مختلف در یک نمودار رسم شد.

در تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده پس از نرمال‌سازی با نرم‌افزار Arc GIS، مدل مشخصه‌ای بر واریوگرام تجربی داده‌ها برازش شد. بررسی مشخصه‌ای یک مدل‌های برازش شده واریوگرام تجربی داده‌ها، مدل گوسی برای هر دو نوع آلودگی را بهترین مدل نشان داد و مشخصه‌های آن با نرم‌افزار مشخص شد. معادله زیر مدل گوسی و مشخصه‌های آن را نشان می‌دهد.

$$\gamma(h) = c_0 + c(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right)) \quad (2)$$

که در آن، α (دامنه)، c (آستانه) و c_0 (اثر قطعه‌ای)، $\gamma(h)$ واریوگرام و h فاصله است. سپس بهترین میان‌یابی با کمترین خطا MBE^{۱۲} با نرم‌افزار تعیین و معرفی شد.

زیرزمینی، تابعی از غلظت آلاینده در آب و حجم کلی آب جابه‌جا شده است.

$$V_x = \frac{K}{ne} \cdot \frac{dh}{dl} \quad (3)$$

که در آن K ضریب نفوذپذیری خاک با معادله ابعادی L/T ، n_e تخلخل مؤثر بدون بعد، dh/dl شیب هیدرولیکی، V_x سرعت متوسط خطی جریان در جهت محور Y ها با معادله ابعادی L/T است.

بررسی شرایط حاکم بر محیط زیرزمینی خاکهای اطراف پالایشگاه سرخون، مویید آن است که در خاکهای غیراشباع بخصوص با رطوبت پایین در منطقه اطراف پالایشگاه، حرکت آلاینده در فاز گازی، یا مایع با پدیده جریان روان ناچیز و قابل اغماض است.

پخشیدگی (نفوذ ملکولی)^{۱۶}

پخشیدگی بخار، یا مایع آلاینده به سبب شیب غلظت در فاز گاز، یا مایع رخ می‌دهد. معمولاً پخشیدگی در فاز مایع کمتر از شدت پخشیدگی در فاز گازی است. بنابراین نشر آلودگی در فاز آبی با درصد رطوبت پایین قابل اغماض است. مطالعات منطقه اطراف پالایشگاه سرخون نشان داد، با توجه به ناحیه انتقال آلودگی در محدوده بالای سخت کفه غیر قابل نفوذ، ویژگی‌های خاک‌شناسی و کم بودن رطوبت، عمده انتقال آلاینده‌های فرار آلی و میعانات گازی از طریق پخشیدگی در فاز گاز رخ می‌دهد.

در این مورد، مدل ضریب پخش پایه‌ای میلینگتون - کوئیریک^{۱۷} در ارائه بهترین برآورد پخشیدگی میعانات و بخارها و مدل‌سازی انتقال میعانات و آلاینده‌های آلی گازی در محیط غیر اشباع مورد توجه است. این معادله پایه‌ای عبارت است از:

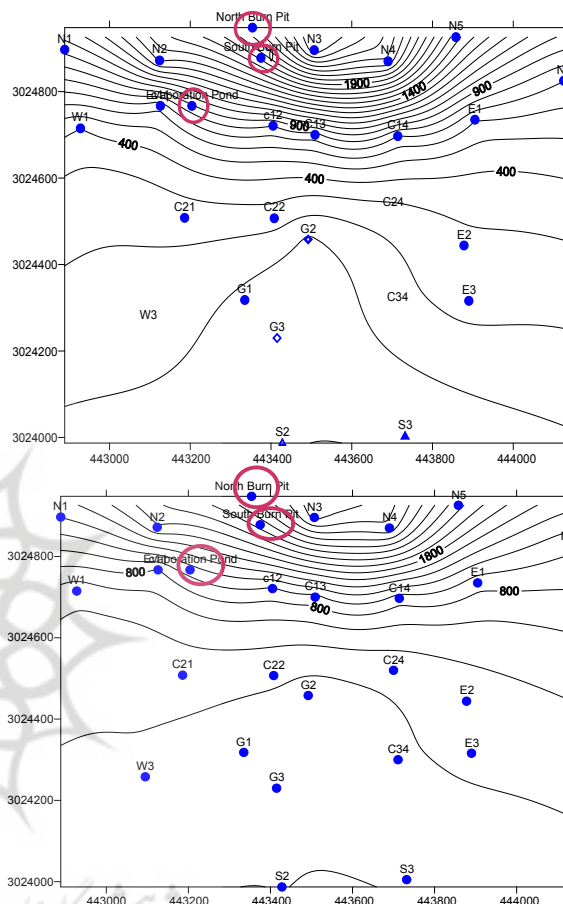
$$D_g / D_0 = \varepsilon^{(10/3)} / \varphi^2 = (\varphi - \theta)^{(10/3)} / \varphi^2 \quad (4)$$

که در معادله بالا D_g ضریب دیفیوژن در محیط متخلخل، D_0 ضریب دیفیوژن در هوا، ε مقدار تخلخل پر شده با گاز، θ مقدار آب موجود و φ مقدار کل تخلخل هستند.

انتشار (پراکنش مکانیکی)^{۱۸}

حرکت بعضی از مولکول‌های آب با سرعت بیشتر، یا کمتر از سرعت متوسط خطی، آلاینده را جابه‌جا می‌کند و این تغییرات

بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه، به دلیل شیب غربی - شرقی لایه‌های زمین است.



شکل شماره (۳): نقشه خطوط تراز آلودگی برای آلودگی

TPH (بالا) و TOG (پایین) و محل چاله‌های سوزان

نتایج بررسی سازوکارهای مؤثر بر نشر آلودگی بر اساس

مطالعات انجام شده و تهیه نقشه نشر آلودگی

با ورود هیدروکربن‌های نفتی به خاک، رقابت با آب و هوا برای جایگزینی در حفره‌ها و خلل و فرج خاک آغاز و ترابری آلاینده‌ها آغاز می‌شود (Pyle, et al.; 1987).

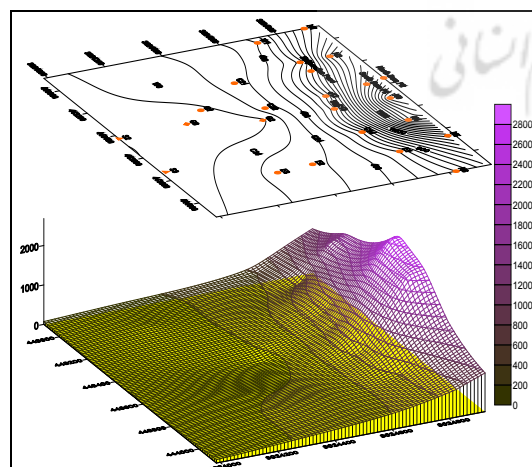
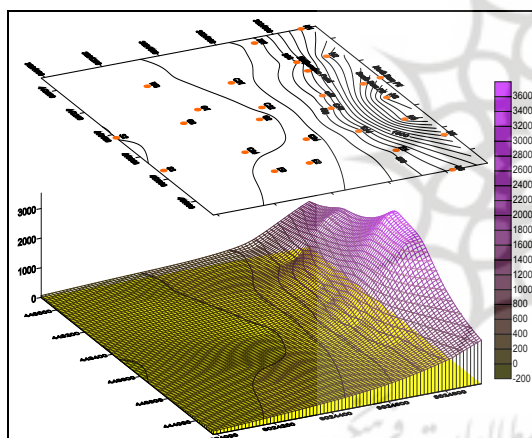
به طور کلی مهم‌ترین سازوکارهای موجود در نشر آلاینده‌ها در محیط‌های متخلخل عبارتند از:

حرکت توده‌ای (جریان روان)^{۱۵}

فرایند انتقال جرم به همراه بدنه اصلی جریان آب و مهم‌ترین و مؤثرترین فرآیند انتقال آلاینده‌های محلول در جریان سریع آب است. مقدار جابه‌جایی آلاینده‌ها همراه با جریان سطحی یا

پالایشگاه سرخون، بر اساس طول و عرض جغرافیایی برداشت شده با خطوط تراز آلودگی در شکل شماره (۴) نشان داده شده است. بررسی نشر آلودگی هیدروکربنی از چاله‌های سوزان موجد آن، با توجه به نقشه‌های سه بعدی موجود که بر اساس مقدار غلظت آلاینده ترسیم شده‌اند، چگونگی و سویه ترابری آنها را نشان می‌دهد.

بررسی کمی نقشه‌های سه‌بعدی نشر آلودگی TOG و TPH موجود در اطراف پالایشگاه سرخون نشان داد که محدوده انتقال و ترابری آلاینده‌های هیدروکربنی، برای آلودگی TOG و TPH از ۳۶۳۳ و ۲۶۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در مجاورت چاله سوزان شمالی تا ۷ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در جنوب غربی پالایشگاه مورد مطالعه قرار گرفته است (Ebrahimi, et al.; 2010)



شکل شماره (۴): نمایش سه‌بعدی نشر آلودگی TOG (بالا) و TPH (پایین) بر اساس شدت غلظت آلودگی به دست آمده در گمانه‌ها

سرعت موجب می‌شود آلاینده‌های محلول در جهات گوناگون پراکنده شوند. انتشار آلاینده‌ها به صورت طولی، یا عرضی رخ می‌دهد و ضریب انتشار مکانیکی حاصلضرب سرعت متوسط خطی (واقعی) V_x و انتشار دینامیکی به دست می‌آید.

$$D_m = V_x \cdot \alpha \quad (5)$$

به عبارت دیگر انتشار، تابعی از سرعت جریان فاز مایع و گاز است. در منطقه مورد مطالعه با توجه به شرایط حاکم، در فاز گازی، فشار بخار پخشیدگی چشمگیر است.

جذب سطحی

فعل و انفعال سطحی محیط متخلخل که سبب نگهداری یا تثبیت ذرات آلاینده شده در نهایت باعث تأخیر و کندی نشر آلودگی نسبت به شرایط بدون جذب سطحی می‌شود. جذب سطحی ترکیبات آلی و فرار در خاکها زیاد است. ضریب توزیع K_d توصیف کننده توزیع گونه‌های شیمیایی آلاینده آلی بین فازهای جامد و مایع است.

میزان ضریب توزیع K_d بسیار وابسته به رطوبت خاک است و در خاکهای مناطق خشک مانند خاکهای اطراف پالایشگاه سرخون، چندین مرتبه بزرگتر از نواحی اشباع است. پژوهش محققان نشان داد جذب سطحی در خاکهای خشک وابسته به سطح ویژه خاک، در خاکهای غیر اشباع بشدت تابع رطوبت خاک و در خاکهای اشباع وابسته به ضریب توزیع و ثابت است. در خاکهایی که مدت طولانی در معرض مواد آلاینده قرار داشته‌اند، عملیات جذب در خاک هم به علت اشباع شدن خاک از این مواد، انجام نمی‌گیرد.

تبخیر

تصعید و تبخیر میعانات گازی و آلاینده‌های نفتی یکی از مهم‌ترین معابر خروج آنها از خاک است. پژوهش‌های موجود نشان داد که این فرآیند به شدت تحت تأثیر عوامل متعددی چون نوع خاک، تخلخل، رطوبت، پوشش سطح خاک، خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیبات آلی آلاینده، شرایط مرزی خاک و اقلیم است. تصعید ترکیبات آلی فرار و میعانات از اعماق بیشتر، یا حتی سطح آب زیرزمینی هم می‌تواند رخ دهد، به شرط آن که لایه سطحی خاک به‌عنوان مانع مهاجرت و تصعید گاز عمل نکند (Loe, et al.; 2001).

برآیند سازوکارهای مذکور باعث نشر آلودگی در منطقه شده که نقشه سه‌بعدی نشر آلودگی TOG و TPH موجود در اطراف

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی و مشاهدات وجود و نشر آلودگی هیدروکربنی محدوده اطراف پالایشگاه سرخون نشان داد که در عمل، به علت وجود سفره آب زیرزمینی در عمق ۲۴ متری منطقه از سوئی و بالابودن سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ از سوی دیگر، بیشتر انتقال و نشر آلودگی در خاک، و از همین ناحیه محصور بالای سخت کفه بوسیله نشر میعانات گازی صورت می‌گیرد.

مشخصه‌های COD و BOD، در هر دو مخزن ذخیره فاضلاب که به چاله‌های سوزان می‌ریزند، مبین توانایی اکسایش و حذف ترکیبات هیدروکربنی از سیستم با میکروارگانیسم‌هاست. مقادیر نفت موجود ورودی به مخازن نیز مبین مقدار اولیه هیدروکربنی نفتی ورودی به چاله‌های سوزان بود که در صورت نشستن یا نفوذ به محیط، موجب اصلی آلودگی هیدروکربنی خاک اطراف پالایشگاه را تشکیل می‌داد.

سنجش این مشخصه‌ها راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد مدیریت فاضلاب پالایشگاه و تعیین بهترین سیستم پایش بدست داد. بررسی نقشه تراز آلودگی هیدروکربنی TOG، نشان می‌دهد که قسمت عمده آلودگی هیدروکربنی در شمال و مرکز محدوده اطراف پالایشگاه، به خصوص در اطراف چاله‌های سوزان (منابع موجد آلودگی) هستند.

بررسی نشر آلودگی هیدروکربنی از چاله‌های سوزان به‌عنوان منبع آن، با توجه به نقشه‌های سه بعدی موجود که بر اساس مقدار غلظت آلاینده ترسیم شده‌اند، چگونگی و سوئی ترابری آنها را از محل چاله‌های سوزان با تمایل بیشتر به سمت شرق و به سمت رودخانه نشان می‌دهد که در جهت شیب لایه‌های زمین نیز هست. مدل مفهومی حاکم بر نشر آلودگی هیدروکربنی و به عبارت دیگر، مهم‌ترین فرایندهای مؤثر بر انتقال و ترابری آلاینده‌های فرار و میعانات گازی در خاکهای اطراف پالایشگاه سرخون، بر اساس جذب سطحی، نفوذ و انتشار و نیروی گرانش تا رسیدن به سخت کفه و سپس انتقال افقی بود.

بدیهی است این نشر تحت تأثیر فرایندهای شیمیایی و زیستی که جریان آلاینده در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل، تبخیر متأثر از اقلیم، اکسایش و تخریب زیستی متأثر از میکروارگانیسم‌های بومی منطقه است.

اگرچه در این پژوهش، مهم‌ترین مرکز آلودگی چاله‌های سوزان محرز شد نشر آلودگی از عدم رعایت کامل موارد ایمنی و

پیشگیری در حین عملیات، نشستن احتمالی از مخازن ذخیره، نشستن از کانال‌های جمع‌آوری رواناب بویژه در هنگام توقف دوره‌ای عملیات پالایشگاه به‌منظور بازرسی و تعمیر و نگهداری هم ایجاد شده است. بررسی کمی نقشه‌های نشر آلودگی از سوئی و بررسی مکانیسم‌های نشر از سوی دیگر نیز نشان می‌دهد در صورت افزایش دبی فاضلاب ورودی به چاله سوزان، خطر افزایش مقیاس آلودگی در خاک جدی است.

در نتیجه باید تمهیدات لازم به منظور کاهش حجم فاضلاب ورودی به چاله‌های سوزان نیز در مد نظر قرار گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند در برآورد نشر آلودگی در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه در هر لحظه از زمان، برنامه ریزی کاربری پایش و انتخاب مناسب‌ترین روش آن استفاده شود.

از سوی دیگر، با توجه به کمبود منابع علمی منطبق با شرایط آب و هوایی و اقلیمی ایران، این پژوهش ابزاری ارزشمند در ارائه رهنمودهای مناسب پژوهش‌های مشابه آتی به‌شمار می‌رود.

یادداشت‌ها

- 1-Total Suspended Solid
- 2-Total Dissolved Solid
- 3-Biochemical Oxygen Demand
- 4-Chemical Oxygen Demand
- 5-[EPA413.2] و [ASTM D7066]
- 6-Infracal by WILKS ENTERPRISE INC.(USA)
- 7-Total petroleum Hydrocarbon
- 8-Total Oil and Grease

۹- D_{60} شاخص اندازه قطر ذرات خاک، که قطر ۶۰ درصد ذرات خاک به صورت وزنی از آن کمتر باشد.

۱۰- D_{30} شاخص اندازه قطر ذرات خاک، که قطر ۳۰ درصد ذرات خاک به صورت وزنی از آن کمتر باشد.

- 11-Void Ratio
- 12-Mean Biases Error
- 13-Kriging
- 14-Surfer
- 15-Advection (mass flow)
- 16-Diffusion
- 17-Millington-Qurik
- 18-Dispersion
- 19-Partition Coefficient

منابع مورد استفاده

- Bivand, R.S., Pebesma, E.J. and V., Gomez-Rubio. 2008. Applied Spatial Data Analysis with R, Springer.
- Chilès, J.-P. and P., Delfiner. 1999. Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty, J. Wiley & Sons, New York.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for Spatial Data, J. Wiley & Sons, New York.
- Diggle, P. J. and Jr. P.J., Ribeiro. 2007. Model-based Geostatistics, Springer, New York.
- Ebrahimi, S., et al. 2010. Spatial-Temporal Variability of Hydrocarbon Contaminated and Chemical Solvents Behavior in Soil Porous Media, PhD thesis of Tarbiat Modares University, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, 150 p.
- Edzer, J.P. 2008. The gstat Package. Multivariable geostatistical modelling, prediction and simulation.
- Loe, C. H, J.Y., Lee, and J. Y., Cheon. 2001. Attenuation of Petroleum Hydrocarbons in Smear Zones: A case Study. Journal of Environmental Eng., 639-649
- Pyle, V.I., R., Patrick and J., Quarles. 1987. Ground water contamination in the United States, Philadelphia, PA, University of Pennsylvania Press, U.S.A.
- Stein, M.L. 1999. Interpolation of Spatial Data, Springer Verlag, New York.
- Webster, R. and M.A., Oliver. 2007. Geostatistics for Environmental Scientists (second edition), J. Wiley & Sons, New York.