محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۷ ، بهار ۹۰، صفحهٔ ۹-۱۸

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

سهیلا ابراهیمی[۱]، جلال شایگان[*۲]، محمد جعفر ملکوتی[۳]، علی اکبری[٤]

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

۲-استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

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

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

تاریخ دریافت:۸۷/۱۲/۲٤ 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 محدودهٔ 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 تهیهٔ نقشه‌های نشر آلودگی، با تکنیک‌های زمین‌آمار با نرم‌افزارهای Surfer و ArcGIS انجام شد. مطالعات زمین‌آمار و بررسی کمّی 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 سخت‌کفه و به‌وسیلهٔ 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

سرآغاز

آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی با آلاینده‌های مختلف از جمله هیدروکربورها و حلال‌های شیمیایی، آثار منفی زیست محیطی متنوعی به دنبال دارد. آلایندگی 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 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 آلودگی‌های نفتی عمقی و سطحی محدودهٔ 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 محدودهٔ

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۰۲۲۲۷۳

E-Mail: shayegan@sharif.edu

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 محدودهٔ 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 کنندهٔ دیگر سه فازی (گاز، مایعات گازی و فاضلاب) وارد می‌شود.

فاضلاب‌های مجتمع شامل فاضلاب‌های خروجی از مخزن جداکنندهٔ 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 سربسته 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 تصفیهٔ فاضلاب‌های بهداشتی هدایت می‌شود.

با بررسی منبع اصلی احتمالی تغذیه کنندهٔ چاله‌های سوزان و به عبارت دیگر منبع اصلی احتمالی آلودگی، آزمایش‌های TSS[۱]، TDS[۲]، BOD[۳]، COD[۴]، pH، T 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 نشت 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 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، درجهٔ 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 $۲۹۴۰cm^{-1}$ بود که از دسته روشهای استاندارد[۵] به شمار می‌رود و با دستگاه سنجش TOG/TPH[۶] انجام شد. در اندازه‌گیری‌های مربوط به مقدار کل آلاینده نفتی (TPH)[۷] و مقدار کل آلایندهٔ هیدروکربنی[۸](TOG)، میزان جذب نشان داده شده توسط دستگاه با محلول‌های با غلظت مشخص از ترکیبات هیدروکربنی مانند هگزادکان، و یا اکتادکان معنی‌دار و مقدار آلایندگی 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 آبگیری 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 آلایندگی 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 این‌صورت آنچه قبل از سیلیکاژل خوانده می‌شود TOG و

آنچه بعد از سیلیکاژل خوانده می‌شود TPH است. پس از برداشت نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل آنها، پهنه‌بندی آلودگی محدودهٔ 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 منطقهٔ اطراف پالایشگاه سرخون

در بررسی خاک شناسی و کیفیت شیمیایی خاک منطقهٔ سرخون، خصوصیات دانه‌بندی خاک منطقه نشان داد خاک بیشتر 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 دانسیتهٔ 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 محدودهٔ اطراف پالایشگاه سرخون در جدول شمارهٔ (۱) ، نشان داده شده‌اند.

جدول شمارهٔ (۱): برخی نتایج مطالعات خاک‌شناسی محدودهٔ اطراف پالایشگاه سرخون

گمانه	X	Y	بافت	رطوبت	وزن مخصوص خشک g/cm^3	وزن‌مخصوص تر g/cm^3	میزان اشباع(%)	D_{60}[9]	D_{30}[10]	نسبت پوکی[11]	موقعیت سنگ بستر نسبت به سطح(cm)
TP-1	۴۳۲۵۶۴	۴۳۲۵۶۴	Well-graded Gravel with Sand	۷/۱	۲/۰۵	۲/۲۰	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	پایین‌تر 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

در بررسی نتایج به‌دست آمده از جدول شمارهٔ (۱)، مشاهدات کمّی و کیفی بافت خاک، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری بالا در خاکهای منطقه، وجود اقلیم خشک و نیمه خشک و درصد رطوبت پایین ازسوی دیگر و علاوه بر آن، بالا بودن نسبی عمق سخت کفهٔ نفوذ ناپذیر (بین ۸۰ سانتیمتر تا ۲ متر)در اکثر مسیرهای مورد مطالعه نشان داد، انتقال و نشر آلایندگی در ناحیهٔ غیر اشباع بخش بالایی سخت‌کف انجام می‌شود که چگونگی نشر آن و سازوکارهای مؤثر بر آن نیازمند بررسی بیشتر است.

•نتایج مطالعات منابع نشر آلودگی هیدروکربنی، نوع آلاینده‌ها و ویژگی‌های فاضلاب

استفاده از هر نوع روش پاک‌سازی، نیازمند شناسایی آلاینده‌ها با استفاده از تجهیزات مناسب است. در واقع نتایجی که از تجزیه و تحلیل خاک، یا آب آلوده به دست می‌آید، امکان برآورد نیروی آلودگی را فراهم می‌کند. از متداول‌ترین روشهای کمی می توان استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گاز/ طیف سنجی جرمی را نام برد. نتایج آزمایش‌های تجزیه و تحلیل آلاینده‌های محتمل ناشی از نشر پساب، به‌وسیلهٔ GC/MS نشان‌دهندهٔ آلودگی نیتروژن، متان، اتان، پروپان، بوتان، پنتان، ۲و۲ دی متیل بوتان، ۲-متیل پنتان، ۳-متیل پنتان، n– هگزان، بنزن، ۲و۳ دی متیل ۱- بوتان، سیکلوهگزان، n– هپتان، ۲و۳ دی متیل ۱پنتان، ۲و۲و۴-تری متیل پنتان، متیل سیکلوهگزان، تولوئن، ۲و۵ دی متیل هگزان، ۲و۳و۴-تری متیل پنتان، ۳- متیل هپتان، n– اکتان، ۱- ترانس ۲-دی متیل سیکلو هگزان، ۲و۲ دی متیل ۳-اتیل پنتان، اتیل سیکلو هگزان، اتیل بنزن، p وm زایلن، n– نونان، n– پروپیل بنزن، ۱و۲و۴-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 ذخیرهٔ فاضلاب ورودی به چاله‌های سوزان، نتایج آزمایش‌های TSS، TDS، BOD، COD، pH، T به صورت نشان داده شده در جدول شمارهٔ (۲ و ۳) به‌دست آمد.

جدول شمارهٔ (۲): نتایج برخی آزمایش‌های مخزن ذخیره فاضلاب اول wet (s-**۸۴۳**)

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

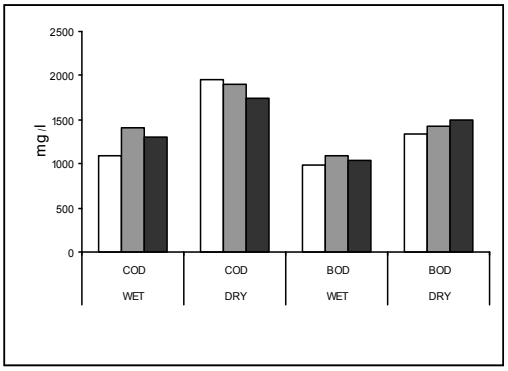
جدول شمارهٔ (۳): نتایج برخی آزمایش‌های مخزن ذخیره فاضلاب دوم dry (s-**۸۴۴**)

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

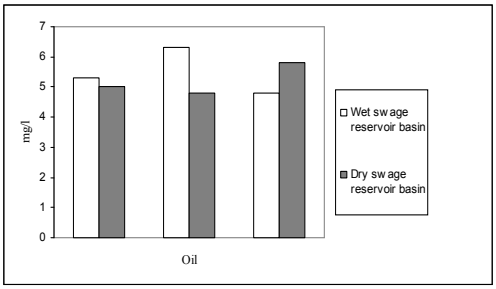
معیار مهم در سنجش شدت آلودگی فاضلاب و پساب‌ها، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی است که نتایج آن در شکل شمارهٔ (۱) نشان داده شده است.

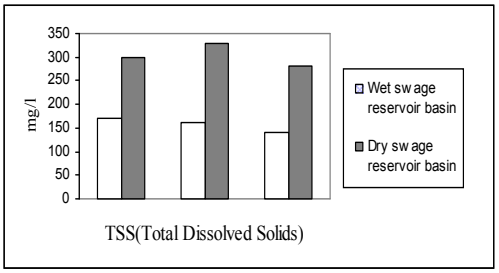
بدین‌سان شدت آلودگی با مقدار آلودگی آلی یا معدنی توانایی اکسایش، نسبت داده می‌شود و مقدار کل اکسیژنی که برای اکسایش آلایندگی بکار برده می‌شود، تعیین می‌شود. مقادیر بالای COD با میانگین ۱۲۶۷ و ۱۸۶۳میلی‌گرم بر لیتر در مخازن ذخیرهٔ خشک و تر نشانگر توانایی بالای اکسایش ترکیبات تشکیل دهندهٔ آن است که در صورت نشت احتمالی می‌تواند با اکسید شدن از محیط حذف شوند مقادیر بزرگ BOD با میانگین ۱۰۳۶ و ۱۴۲۱میلی‌گرم بر لیتر در مخازن ذخیره خشک و تر، نشان‌دهندهٔ توانایی حذف بالای ترکیبات هیدروکربنی از سیستم با میکروارگانیسم‌هاست.

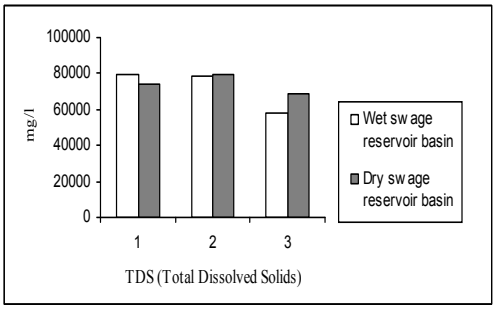
در شکل شمارهٔ (۲)، نتایج مقادیر نفت، کل جامدات معلق و محلول ورودی به مخازن ذخیره خشک و تر ورودی به چاله‌های سوزان نشان داده شده است.



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







شکل شمارهٔ (۲): نتایج آزمایش‌هایOil ، TDSو TSS مخازن ذخیرهٔ فاضلاب خشک و تر ورودی به چاله‌های سوزان با سه تکرار زمانی

مقادیر نفت موجود ورودی به مخازن ذخیرهٔ خشک و تر با میانگین ۵/۵ و ۵/۲ میلی‌گرم بر لیتر نیز مبین مقدار اولیهٔ هیدروکربنی نفتی ورودی به چاله‌های سوزان است که در صورت نشت، یا نفوذ به محیط، موجد اصلی 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 دهندهٔ 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 مرحلهٔ پاک‌سازی پالایشگاه و محدودهٔ اطراف آن و همچنین راهنمای مناسبی برای تعیین بهترین سیستم پایش باشد.

•نتایج مطالعات زمین آماری و تهیهٔ 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 شمارهٔ (۴) ، مختصات جغرافیایی محل گمانه‌ها و مقادیر TOG و TPH اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌شود. پس از برداشت کمّی مقادیر آلایندگی TOG و TPH در محدودهٔ اطراف پالایشگاه، مطالعات زمین‌آماری انجام شد. استفاده از زمین‌آمار به‌دلیل همبستگی داده‌های برداشت شده و موقعیت آنها در فضای مورد مطالعه بود و بدیهی است نادیده گرفتن آن، باعث از دست رفتن اطلاعات مفیدی از جامعه می‌شود. علاوه بر آن با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری 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–آماری، تهیهٔ تابع واریوگرام به صورت زیر:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}\left[z(x+h)-z(x)\right]^2 \qquad (۱)$$

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

شناسه گمانه	طول جغرافیایی(x)	عرض جغرافیایی(y)	TOG (mg/kg soil)	TPH (mg/kg soil)	شناسه‌گمانه	طول جغرافیایی (x)	عرض جغرافیایی (y)	TOG (mg/kg soil)	TPH (mg/kg soil)
C11	۴۴۳۱۲۶	۳۰۲۴۷۶۷	۴۲۵	۳۶۳	N5	۴۴۳۸۵۸	۳۰۲۴۹۲۶	۲۲۳۸	۱۴۸۸
C12	۴۴۳۴۰۵	۳۰۲۴۷۲۱	۷۵۰	۶۳۸	N6	۴۴۴۱۲۵	۳۰۲۴۸۲۵	۹۹۰	۶۵۰
C13	۴۴۳۴۰۹	۳۰۲۴۷۰۰	۷۰۰	۵۹۰	E1	۴۴۳۹۰۵	۳۰۲۴۷۳۵	۵۱۳	۴۸۸
C14	۴۴۳۷۱۴	۳۰۲۴۶۹۷	۶۱۴	۵۰۱	E2	۴۴۳۸۷۸	۳۰۲۴۴۴۴	۳۲۵	۳۰۰
C21	۴۴۳۱۸۶	۳۰۲۴۵۰۸	۳۳۸	۲۶۳	E3	۴۴۳۸۹۰	۳۰۲۴۳۱۶	۲۸۸	۲۶۳
C22	۴۴۳۴۰۸	۳۰۲۴۵۰۷	۳۲۰	۳۱۱	S3	۴۴۳۷۳۲	۳۰۲۴۰۰۵	۱۶۳	۱۵۰
C24	۴۴۳۷۰۰	۳۰۲۴۵۲۰	۲۶۳	۲۵۳	S2	۴۴۳۴۲۸	۳۰۲۳۹۸۷	۱۸۸	۱۶۳
C34	۴۴۳۷۱۱	۳۰۲۴۳۰۰	۲۱۴	۲۰۵	W1	۴۴۲۸۲۸	۳۰۲۴۷۲۵	۳۲۲	۲۹۹
N1	۴۴۲۸۸۹	۳۰۲۴۸۹۷	۱۴۲۷	۱۰۲۸	W3	۴۴۳۰۹۵	۳۰۲۴۲۵۸	۲۳۸	۲۲۱
N2	۴۴۳۱۲۴	۳۰۲۴۸۷۲	۲۳۲۵	۱۷۸۸	G1	۴۴۳۳۳۵	۳۰۲۴۳۱۸	۱۷	-
N3	۴۴۳۵۰۷	۳۰۲۴۸۹۶	۳۹۹۱	۳۱۰۰	G2	۴۴۳۴۹۲	۳۰۲۴۴۵۸	۱۴	۵
N4	۴۴۳۶۹۰	۳۰۲۴۸۷۰	۳۶۳۳	۲۶۱۲	G3	۴۴۳۴۱۵	۳۰۲۴۲۳۰	۷	۴

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌هایاستفاده شده در محاسبه به‌ازای هر فاصله مانند h، $z(x)$ متغیر مشاهده شده و $z(x+h)$ متغیر مشاهده شده که به فاصلهٔ 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 به‌دست‌آمده 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 شدهٔ 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.

$$\gamma(h) = c_{\circ} + c(1 - \exp\frac{-h^2}{a^2}) \qquad (۲)$$

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

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).

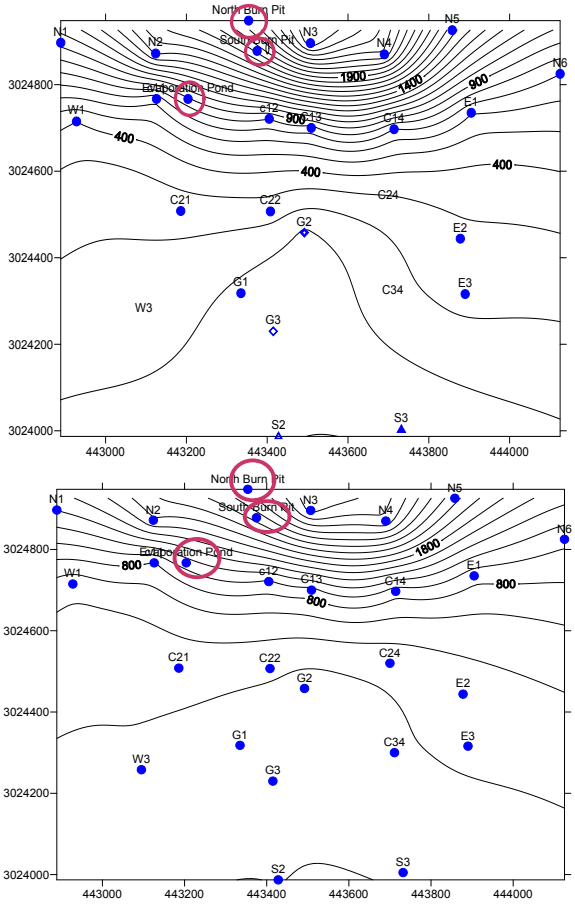
در مرحلهٔ بعدی، نقشهٔ پهنه‌بندی خطوط تراز آلودگی‌های مورد نظر، با مشخص کردن محل گمانه‌ها و منابع اصلی موجد آلودگی منطقهٔ مورد مطالعه با نرم‌افزار سِرفر[۱۴] به‌صورت شکل شمارهٔ (۳) تهیه و نقاط حفر گمانه روی آن مشخص شد.

بررسی نقشهٔ تراز آلودگی هیدروکربنی TOG وTPH (با توجه به این‌که هر دو خط تراز متوالی، یک واحد مقیاس آلودگی با هم اختلاف دارند)، نشان می‌دهد که قسمت عمدهٔ آلودگی هیدروکربنی در شمال و مرکز محدودهٔ 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

بررسی‌های زمین شناسی منطقه، به‌دلیل شیب غربی- شرقی لایه‌های زمین است.



شکل شمارهٔ (۳): نقشهٔ 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 تهیهٔ نقشهٔ 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 زیرزمینی، تابعی از غلظت آلاینده در آب و حجم کلی آب جابه‌جا شده است.

$$V_x = \frac{K}{ne} \cdot \frac{dh}{dl} \qquad (۳)$$

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

بررسی شرایط حاکم بر محیط زیرزمینی خاکهای اطراف پالایشگاه سرخون، موید آن است که در خاکهای غیراشباع بخصوص با رطوبت پایین در منطقهٔ اطراف پالایشگاه، حرکت آلاینده در فاز گازی، یا مایع با پدیدهٔ 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. معمولا پخشیدگی در فاز مایع بسیار 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 ناحیهٔ انتقال آلودگی در محدودهٔ بالای سخت کفه غیر قابل نفوذ، ویژگی‌های خاک‌شناسی و کم بودن رطوبت، عمدهٔ 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 ارائهٔ 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:

$$D_g / D_o = \varepsilon^{(10/3)} / \varphi^2 = (\varphi - \theta)^{(10/3)} / \varphi^2 \qquad (۴)$$

که در معادله بالا D_g ضریب دیفیوژن در محیط متخلخل، D_o 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

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 به‌دست می‌آید.

$$D_m = V_x \cdot \alpha \qquad (۵)$$

به عبارت دیگر انتشار، تابعی از سرعت جریان فازمایع و گاز است. در منطقهٔ 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 فرّار در خاکها زیاد است. ضریب توزیع K_d [۱۹] توصیف کننده توزیع گونه‌های شیمیایی آلایندهٔ 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 نشان‌داد 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.

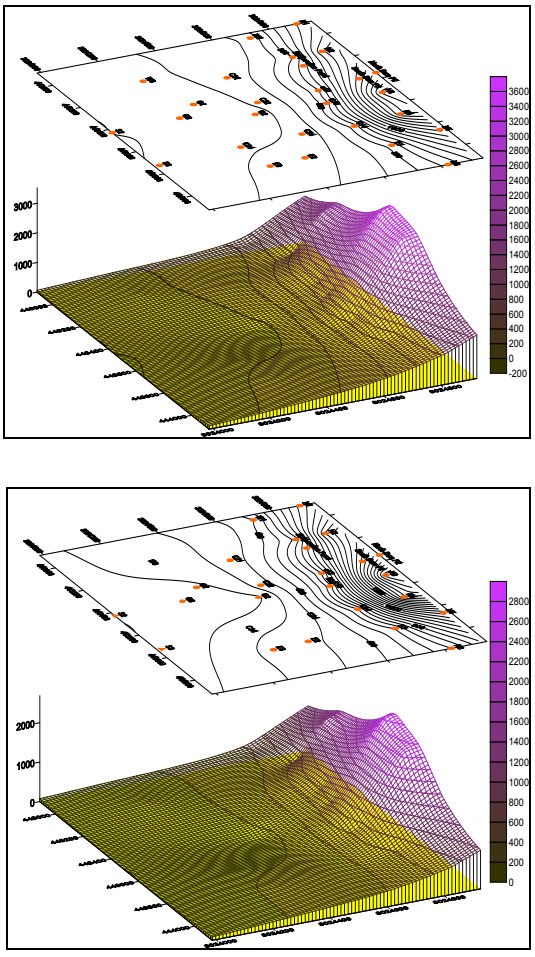
تبخیر

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 آن‌که لایهٔ سطحی خاک به‌عنوان مانع مهاجرت و تصعید گاز عمل نکند (Loe, et al.; 2001).

برآیند سازوکارهای مذکور باعث نشر آلودگی در منطقه شده که نقشهٔ سه‌بعدی نشر آلودگی TOG وTPH موجود دراطراف پالایشگاه سرخون، بر اساس طول و عرض جغرافیایی برداشت شده با خطوط تراز آلودگی در شکل شمارهٔ (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 سویهٔ ترابری آنها را نشان می‌دهد.

بررسی کمّی نقشه‌های سه‌بعدی نشر آلودگی TOG وTPH موجود دراطراف پالایشگاه سرخون نشان داد که محدودهٔ 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 درجنوب غربی پالایشگاه مورد مطالعه قرار گرفته است (Ebrahimi, et al.; 2010)



شکل شمارهٔ (۴): نمایش سه‌بعدی نشر آلودگیTOG **(بالا) و** TPH **(پایین) بر اساس شدت غلظت آلودگی به‌دست آمده در گمانه‌ها**

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی و مشاهدات وجود و نشر آلودگی هیدروکربنی محدودهٔ اطراف پالایشگاه سرخون نشان داد که در عمل، به علت وجود سفرهٔ آب زیرزمینی در عمق ۲۴ متری منطقه از سویی و بالابودن سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ از سوی دیگر، بیشتر انتقال و نشرآلودگی در خاک، و از همین ناحیه محصور بالای سخت‌کفه 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 نشت یا نفوذ به محیط، موجد 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 نقشهٔ تراز آلودگی هیدروکربنی TOG، نشان می‌دهد که قسمت عمدهٔ 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 سویهٔ 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، نشت احتمالی از مخازن ذخیره، نشت از کانال‌های جمع‌آوری رواناب بویژه در هنگام توقف دوره‌ای عملیات پالایشگاه به‌منظور بازرسی و تعمیر و نگهداری هم ایجاد شده است. بررسی کمّی نقشه‌های نشر الودگی از سویی 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.

درنتیجه 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 ارائهٔ 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-[ASTM D7066] و [EPA413.2]
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.