



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

بررسی نشر آلودگی هیدروکربنی در خاک محدوده پالایشگاه سرخون

سهیلا ابراهیمی^۱، جلال شایگان^۲، *محمدجعفر ملکوتی^۳، محمد بای‌پوردی^۴،

جمال قدوسی^۵، علی اکبری^۶ و ابوالفضل آتش‌جامه^۶

^۱ دانشجوی دکتری گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، استاد گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف،
^۲ استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۳ استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، ^۴ دانشجوی دکتری گروه
مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ^۵ رئیس مهندسی پالایش شرکت پالایش گاز سرخون و قشم
تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۸

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی چگونگی استقرار کنونی آلودگی هیدروکربنی و پیش‌بینی شمای پراکنش سه‌بعدی آن در خاک اطراف پالایشگاه سرخون بود. به این منظور حفر گمانه‌ها، نمونه‌برداری و سنجش مقدار کل آلاینده هیدروکربنی و نفتی انجام شد. پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های زمین‌آماري نشر آلودگی با نرم‌افزارهای Surfer و Arc GIS و شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت. نتایج نشان داد که به‌علت نبود سفره آب زیرزمینی و بالا بودن سخت‌کفه‌های غیرقابل نفوذ، به‌طور عمده انتقال و نشر آلودگی در خاک، از ناحیه محصور بالای سخت‌کفه و به‌وسیله نشر میعانات گازی است. نتایج به‌دست آمده از گمانه‌ها، پهنه‌ترابری آلاینده‌های هیدروکربنی را برای TPH و TOG از ۳۶۳۳ و ۲۶۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در مجاورت چاله سوزان شمالی تا ۷ و ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در جنوب‌غربی پالایشگاه نشان داد. سویه‌ترابری آلاینده‌ها از محل چاله‌های سوزان با تمایل بیشتر به سمت شرق و متناسب با شیب لایه‌های زمین به طرف رودخانه شور بود و نشر آلاینده‌های TOG، شدتی بیشتر لیکن با سویه‌های هم‌روند TPH نشان داد. افزایش ناگهانی مقدار آلودگی‌های هیدروکربنی در قسمت شرقی، به شکستگی قبلی لوله فاضلاب در این قسمت نسبت داده شد. بررسی نشر عمقی نشان داد، بیشترین شدت نشر تا عمق بی‌بعد ۰/۲ بوده و با افزایش عمق نفوذ،

* مسئول مکاتبه: mjmalakouti@hotmail.com

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۱۶)، شماره (۴) ۱۳۸۸

مقدار آلودگی به شدت کاهش یافت که بیانگر استقرار بخش اعظم آلودگی در لایه‌های سطحی تر خاک بود. نتایج مدل‌سازی نشان داد با توجه به مکانیزم انتقال آلاینده‌های منطقه، در صورت افزایش دبی آب ورودی به چاله سوزان خطر افزایش مقیاس آلودگی جدی است، بنابراین باید تمهیدات مناسب جهت جلوگیری از گسترش آلودگی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: محیط زیرزمینی، آلودگی، هیدروکربن، پالایشگاه، میعانات گازی

مقدمه

آلودگی خاک با ترکیبات هیدروکربوری در ایران موضوعی جدید نبوده و متأسفانه هیچ‌گاه جدی تلقی نشده تا جایی که این انباشت آلودگی به مرور زمان باعث بروز اختلال و دگرگونی در شرایط تعادلی و متعارف منابع پایه، به‌ویژه خاک و آب، افت تولید و بحران‌های زیست‌محیطی شده است. از این رو اکنون بیش از هر زمان دیگر، برگزیدن سیاست‌های سازگار و راه‌حل‌های منطقی برای پاک‌سازی محیط زیست در مسیری هماهنگ با ملاحظات زیست‌محیطی، احساس می‌شود. به‌خصوص که آلودگی محیط متخلخل زیرزمینی به‌طور معمول قابل رؤیت نیست و در عین حال همواره امکان پراکنده شدن آلودگی در گستره وسیع‌تر وجود دارد. بررسی پایگاه داده بین‌المللی نشت نفتی^۱، نشان داد که در اوایل دهه ۱۹۶۰ حدود ۱/۱۴ میلیون مترمکعب از نفت به داخل آب‌های دریایی ایالت متحده آمریکا نشت کرد که این مسأله ناشی از ۸۲۶ حادثه دربرگیرنده تانکرها، بشکه‌ها و وسایل انتقال بوده است. از سویی حدود ۰/۷۶ میلیون مترمکعب نفت در اثر نشت از لوله‌های انتقال نفت، موجب آلودگی خاک‌ها گردید (اسکاکلفورد و همکاران، ۱۹۸۹).

ارایه گزارشی از بخش کیفیت زیست‌محیطی مک‌کین (۱۹۸۷) مبنی بر نشت سه مخزن ذخیره سوخت بنزین از ۴ مخزن، منجر به استفاده از فیلترهای تصفیه آب توسط مردم منطقه گردید (کامینکا، ۲۰۰۱). آژانس حفاظت محیط زیست^۲ (۱۹۹۸) تخمین زد که حدود ۳ تا ۵ میلیون مخزن زیرزمینی سوخت در ایالت متحده وجود دارد که نشت آنها هر سال ۱ درصد افزایش می‌یابد (فریند و همکاران، ۱۹۹۹). در سال ۱۹۷۰ در آمریکا با توسعه بهره‌گیری از مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری کارآمد، سریع و ارزان در تخمین میزان آلاینده نشر شده و برنامه‌ریزی جهت میزان و شدت انجام روش‌های پاک‌سازی آلودگی،

1- International Oil Spill Database

2- EPA (Environmental Protection Agency)

سهیلا ابراهیمی و همکاران

مدل‌سازی زیست‌محیطی آلاینده‌های هیدروکربوری به‌طور گسترده آغاز شد (انجمن پژوهش‌های ملی، ۱۹۹۴). با گسترش صنعت و حضور عوارض و نشانه‌های آلودگی آب‌های شرب تامین شده از چاه‌ها، لزوم اخذ اقداماتی اساسی توسط دولت در این مورد لازم و ضروری به نظر می‌رسید. به این ترتیب کمیسیون انرژی اتمی^۱، آژانس حفظ محیط زیست و ارتش آمریکا مبالغی را به حمایت تحقیقات در زمینه مدل‌سازی و مطالعات نشت آلاینده‌ها در محیط زیرزمینی تخصیص دادند (دلر، ۲۰۰۰).

در بررسی رفتار آلاینده‌ها در محیط‌های خاکی، پیچیدگی واکنش آلاینده و خاک در حضور فازهای آب و هوا موجب می‌شود فرآیندهای غالب در انتقال هر آلاینده به‌خصوص شناخته شده و با توجه داشتن به هدف بررسی رفتار آلاینده، مناسب‌ترین فرآیندهای حاکم را انتخاب و در مطالعه و پایه‌ریزی بررسی رفتار آلاینده‌ها در خاک، وارد کرد. در بررسی مفهومی مدل‌سازی، فرآیندهای انتقال جهت تعیین نحوه پراکنش آلاینده‌ها در هر محیط متخلخل مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرند. فرآیندهای فیزیکی انتقال آلاینده‌های محلول در آب شامل نفوذ ملکولی (انتشار ملکولی)، پراکنش مکانیکی و جریان روان و فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیک مؤثر بر هر جریان آلاینده گذرنده بالقوه از خاک شامل جذب سطحی، حل شدن/تشنشینی، اکسیداسیون و تخریب زیستی می‌باشند (امریتوس، ۲۰۰۱). زیرساخت اساسی مدل‌سازی نشر آلاینده‌ها به‌کارگیری موازنه جرم برای المان آلاینده فرضی در محیط مورد نظر است به‌طوری‌که همواره میزان تجمع جرم معادل تفاضل میزان جرم ورودی و تولیدی و میزان جرم مصرف شده و جرم خروجی است. ورود و خروج جرم به دو روش نفوذ و انتقال و تولید و مصرف آلاینده طی واکنش‌های شیمیایی و یا بیوشیمیایی امکان‌پذیر است.

مطالعات پژوهشگران در بررسی انتقال آلودگی به‌صورت یک، دو و سه‌بعدی انجام می‌گیرد. انتقال یک‌بعدی ساده‌ترین حالت در انتقال آلاینده‌ها و شامل معادله نفوذ آلودگی در یک محیط یکنواخت با سرعت یکنواخت و در جهت جریان X بنا شده است:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

که D_L نفوذ هیدرودینامیکی طولی و V_x متوسط خطی سرعت جریان آلاینده است.

نمودار تغییرات نشر غلظت آلودگی با زمان برحسب زمان نموداری S شکل خواهد بود که میزان انحناء منحنی وابسته به پارامترهای ورودی خواهد داشت. مدل به‌دست آمده از این معادله، یک مدل یک‌بعدی محافظه‌کارانه است که از بسیاری واکنش و رخداد‌های موجود در سیستم مثل تخریب زیستی و جذب صرف‌نظر شده است (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۸).

انتقال دوبعدی شامل معادله نفوذ و انتقال آلاینده با روش تفاضل محدود (کاربرد ضریب نفوذ هیدرودینامیکی طولی و عرضی) که جهت جریان بر محور X و Y بنا شده است که به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + \lambda c = D_{xx} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_{yy} \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (2)$$

در انتقال دوبعدی حرکت آلاینده‌ها، شرایط مرزی پله و ضربه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در شرایط مرزی ضربه، ورود اتفاقی آلاینده به‌دلیل هر رخداد پیش‌بینی نشده به محیط خاک و آب زیرزمینی و در شرایط مرزی پله‌ای ورود دایمی آلاینده به محیط خاک و آب زیرزمینی رخ می‌دهد (دومنیکو و فرانکلین، ۱۹۹۰). خروجی برنامه نیز در این دو حالت متفاوت است. در حالت ضربه با گذشت زمان قله نمودار حرکت می‌کند اما در شرایط مرزی پله‌ای با گذشت زمان، شرایطی شبه پایدار پیدا می‌کنند. در انتقال سه‌بعدی آلاینده، پس از ورود آلاینده به خاک، عمده انتقال آلاینده با مکانیسم جابجایی رخ می‌دهد. با اضافه کردن ترم نفوذ عمودی به معادله کلی انتقال جرم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} = D_{xx} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_{yy} \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_{zz} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (3)$$

مجدداً با روشی مشابه، در سه بعد X، Y و Z با روش تفاضل محدود غلظت آلودگی در سه جهت بررسی می‌گردد (بروس، ۱۹۹۳). اهداف مهم این پژوهش، بررسی چگونگی احتمالی استقرار کنونی آلودگی هیدروکربنی، پیش‌بینی شمای پراکنش سه‌بعدی آلاینده‌های مورد بررسی با تهیه نقشه‌های زمین‌آماري نشر آلودگی با نرم‌افزارهای Surfer و Arc GIS و شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB و حل عددی معادله سه‌بعدی به‌دست آمده با روش حجم محدود بود. در این راستا ترابری آلودگی‌های هیدروکربنی یاد شده از نظر نشر سه‌بعدی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بررسی نشر آلودگی در محدوده اطراف پالایشگاه سرخون، نیازمند دانستن اطلاعات پایه آن محیط است. مطالعات بیلان هیدرولوژی سرخون نشان داد که حوضه آبریز دشت سرخون در محدوده مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی قرار داشته و متشکل از دو زیرحوضه سرخون شمالی و سرخون جنوبی است. محدوده اراضی پالایشگاه گاز سرخون در ۵۰ کیلومتری شمال شرق بندرعباس واقع شده است، دارای تشکیلات مارن و ماسه سنگی و نبود مخازن آب زیرزمینی می‌باشد.

بررسی منابع نشر آلودگی نشان داد پالایشگاه گاز سرخون از ۱۳ حلقه چاه، که زیر نظر شرکت زاگرس جنوبی است، تغذیه و ظرفیت آن ۵۰۰ میلیون فوت مکعب و یا ۱۴ میلیون مترمکعب در روز می‌باشد. فاضلاب‌های مجتمع به دو مخزن ذخیره هدایت و از آنجا توسط پمپ و خط لوله مشترک به صورت ناپیوسته به چاله‌های سوزان^۱ هدایت می‌شوند. سپس حفر گمانه برای بررسی میزان نشر آلودگی در محیط خاک، ایجاد درک اولیه از مقیاس آلودگی انجام شد. انتخاب محل‌های گمانه‌زنی براساس نیاز پروژه، بررسی سایت، مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی، جغرافیایی و هیدرولوژی و بر پایه استانداردهای موجود و اطلاعات پایه‌ای زمین‌آمار، منابع محتمل نشت‌دهنده آلودگی، سوابق موجود منابع آلودگی و تا رسیدن به سخت‌کفه‌های غیرقابل نفوذ انجام و پس از بررسی لایه‌بندی‌های موجود از لایه‌های مختلف نمونه‌گیری شد. نمونه‌برداری از خاک، در عمق‌های مورد نظر پس از حفر چاه، با لوله نمونه‌گیر پولیکا با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، انجام شد که پس از برداشت از عمق مورد نظر، دو سر آن برای حفظ ویژگی‌های تغییرپذیر خاک، پوشانده و مسدود و پس از برچسب‌گذاری در یخدان گذاشته و به آزمایشگاه انتقال یافت. سنجش آلودگی براساس روش استاندارد بر مبنای استخراج با حلال توسط جذب در مقابل اشعه IR با فرکانس ۲۹۴۰ یک بر سانتی‌متر بود که از دسته روش‌های استاندارد [EPA ۱۳/۲] و [ASTM D۷۰۶۶] به‌شمار می‌رود و با دستگاه سنجش TOG/TPH^۲ انجام شد. در اندازه‌گیری‌های مربوط به مقدار TPH^۳ و یا TOG^۴،

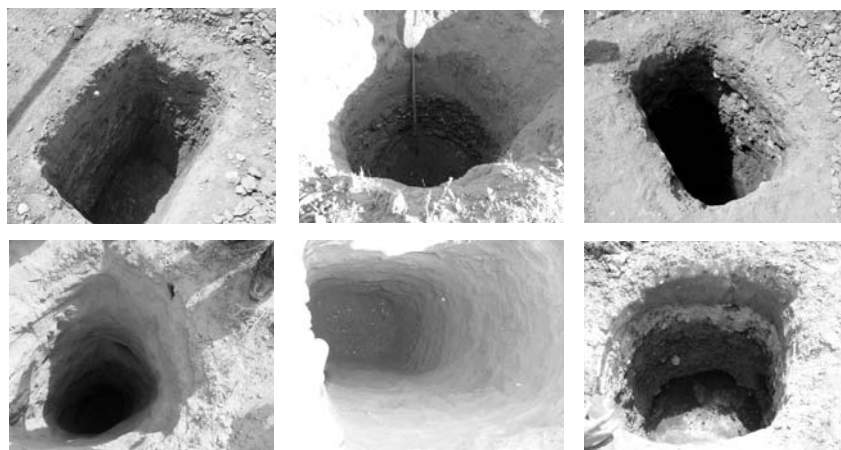
1- Burning Pit

2- TOG/TPH Analyzer, Infracal by WILKS ENTERPRISE INC (USA)

3- TPH (Total Petroleum Hydrocarbon)

4- TOG (Total Oil and Grease)

میزان جذب نشان داده شده توسط دستگاه، توسط محلول‌های با غلظت مشخص که استانداردهای کالیبراسیون دستگاه از آن تهیه شد، گزارش گردید. تهیه محلول‌های استاندارد بر این اساس، با غلظت مشخص (۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ و ۰ میلی‌گرم در لیتر) از یک مخلوط کلروبنزن، هگزاکان و اکتادکان با ترکیب درصد مشخص مطابق استاندارد مربوطه، کالیبره شده سپس نتایج نمونه‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، با استفاده از نمودار کالیبراسیون به مقدار واقعی مربوط شدند. برای سنجش میزان آلودگی موجود، در این مرحله به ۵ تا ۱۵ گرم خاک، ۲ تا ۵ گرم سولفات سدیم به‌منظور آب‌گیری اضافه و استخراج با ۱۰۰ سی‌سی حلال تترا کلرو اتیلن صورت گرفت. با گذشت زمان لازم و انتقال آلاینده از محیط خاک به محیط حلال، سرانجام مایعی شفاف به رنگ زرد یا سفید جمع‌آوری و به محفظه دستگاه انتقال و قرائت انجام شد. هر آزمون ۳ بار تکرار گردید تا احتمال داده‌های مشکوک حذف گردد. مرحله بعدی، گذراندن مایع شفاف به‌دست آمده از پودر سیلیکاژل به‌منظور تمایز آلاینده‌های قطبی و غیرقطبی است. سیلیکاژل مواد قطبی مانند گریس و آب را جذب و تنها مواد هیدروکربنی غیرقطبی را از خود عبور می‌دهد. در این صورت آنچه قبل از سیلیکاژل خوانده می‌شود TOG و آنچه بعد از سیلیکاژل خوانده می‌شود TPH می‌باشد.



شکل ۱- نمایی از چندین چاه حفر شده.

پس از برداشت نمونه‌ها و آنالیز آنها، پهنه‌بندی آلودگی محدوده موردنظر با تکنیک‌های زمین‌آماری^۱ صورت پذیرفت (بیوند و همکاران، ۲۰۰۸؛ چایلز و دلفاینر، ۱۹۹۹). به این منظور، داده‌های برداشت شده، با نرم‌افزارهای Surfer و Arc GIS آنالیز، نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه و مدل‌های مناسب با کم‌ترین خطا انتخاب گردیدند (کرسای، ۱۹۹۳؛ اشتاین، ۱۹۹۹؛ لو و همکاران، ۲۰۰۱؛ وبستر و الیور، ۲۰۰۷؛ دیگل و ریبرو، ۲۰۰۷؛ ادزر، ۲۰۰۸). هم‌زمان با مطالعات زمین‌آماری و استفاده از بهترین تخمین نشر آلاینده‌گی، شبیه‌سازی نشر آلودگی هیدروکربنی با نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مطالعات اولیه خاک‌شناسی و تعیین انواع آلودگی حاکم: برخی نتایج مطالعات خاک‌شناسی محدوده اطراف پالایشگاه سرخون در جدول ۱، نشان داده شده‌اند. مشاهدات کمی و کیفی بافت خاک، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری بالا، وجود اقلیم خشک و نیمه‌خشک و درصد رطوبت پایین و علاوه بر آن، بالا بودن نسبی عمق سخت‌کفه نفوذناپذیر (بین ۸۰ سانتی‌متر تا ۲ متر) در اکثر مسیرهای مورد مطالعه نشان داد انتقال و نشر آلاینده‌گی در ناحیه غیراشباع بخش بالایی سخت‌کفه انجام می‌شود که چگونگی نشر و مکانیسم‌های مؤثر بر آن نیازمند بررسی بیشتر است.

در بررسی نتایج مطالعات منابع نشر آلودگی هیدروکربنی، نوع آلاینده‌ها و ویژگی‌های فاضلاب قابل نشر، آنالیز مایعات گازی پساب وارد شده به چاله سوزان انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی/طیف‌سنج جرمی نشان داد آلودگی احتمالی نشر شده شامل نیتروژن، متان، اتان، پروپان، بوتان، پنتان، ۲و۲ دی متیل بوتان، ۲- متیل پنتان، ۳- متیل پنتان، n- هگزان، بنزن، ۳و۲ دی متیل ۱- بوتان، سیکلوهگزان، n- هپتان، ۳و۲ 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 و m 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 بود.

جدول ۱- برخی نتایج مطالعات خاک‌شناسی محدوده اطراف پالایشگاه سرخون.

موقعیت سنگ بستر (سانتی متر)	درصد پوچی	D_{60}	درصد اشباع	وزن مخصوص خاک تر (گرم بر سانتی متر مکعب)	وزن مخصوص خاک خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)	وزن مخصص خاک خشک (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد رطوبت		گمانه
							وزنی	بافت	
۷۵	۰/۳۴۱	۸/۵۸	۵۷/۱۸	۲/۲۰	۲/۰۵	۷/۱	لوم شنی با دانه‌بندی خوب	۴۳۲۵۴	TP-1
۹۰	۰/۳۶۹	۸/۶۲	۶۴/۳۶	۲/۱۲	۱/۹۵	۸/۹۵	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۵۰۱۸	TP-2
۸۰	۰/۳۵۵	۱۶/۰۸	۷۷/۵۵	۲/۳۳	۲/۰۳	۱۰	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۱۹۶۶	TP-3
۱۳۰	-	۱۲/۷۲	۷۵/۳۲	۲/۲۵	۲/۰۳	۹/۸	شن با دانه‌بندی خوب	۴۴۶۰۹۶	TP-4
۱۶۰	۰/۳۶۵	۱۳/۱۵	۷۴/۳۳	۲/۳۳	۲/۲۰	۹/۷	شن با دانه‌بندی خوب	۴۴۵۸۰۰	TP-5
۱۶۰	۰/۳۶۸	۱۲/۷۴	۵۸/۷۴	۲/۱۷	۲/۰۱	۷/۹	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۵۵۰۱	TP-6
۱۶۰	۰/۲۵۶	۱۲/۴۰	۶۰/۱۲	۲/۱۴	۱/۹۸	۸/۰	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۵۳۰۴	TP-7
۱۲۰	۰/۲۲۷	۴۵/۸۸	۵۶/۵۱	۲/۱۹	۲/۰۴	۷/۳۲	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۵۰۸۹	TP-8
۵۰	-	۱۸/۰۸	۷۲/۴۱	۲/۱۰	۱/۹۴	۱۳/۷	لوم شنی	۴۴۳۵۰۹	TP-9
پایین تر از ۲ متر	۰/۲۸۷	۱۶/۳۸	۶۲/۸۷	۲/۱۳	۱/۹۶	۲/۳	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۳۳۶۱	TP-10
۲۰۰	۰/۳۶۱	۱۲/۷۷	۷۱/۵۲	۲/۶۱	۲/۰۲	۸/۶	لوم شنی با دانه‌بندی ضعیف	۴۴۳۳۸۴	TP-11
۱۸۰	۰/۳۶۱	۱۱/۲۵	۷۱/۵۲	۲/۶۱	۲/۰۲	۹/۴	لوم شنی با دانه‌بندی خوب	۴۴۹۳۹۷	TP-12
۱۷۰	۰/۲۹۹	۱۹/۷۵	۶۴/۶۸	۲/۱۹	۲/۰۴	۷/۳	لوم با دانه‌بندی خوب	۴۳۹۴۱۰	TP-13
۸۰	۰/۳۳۵	۲۱/۷۷	۵۷/۴۸	۲/۲۰	۲/۰۶	۷	لوم با دانه‌بندی خوب	۴۴۰۴۲۷	TP-14
۵۰	۰/۳۵۵	۱۱/۲۵	۶۵/۸۹	۲/۲۰	۲/۰۳	۸/۵	لوم با دانه‌بندی خوب	۴۴۳۵۳۸	TP-15

نتایج مطالعات عوامل مؤثر در تعیین مدل مفهومی نشر آلودگی در خاک‌های اطراف پالایشگاه: برای تعیین مدل مفهومی، مهم‌ترین فرآیندهای مؤثر بر انتقال و ترابری آلاینده‌های فرار و میعانات گازی در خاک‌های اطراف پالایشگاه سرخون با توجه به شرایط حاکم بر منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی منابع و مطالعات موجود، مهم‌ترین مکانیسم‌های موجود در نشر آلاینده‌ها در حوزه پالایشگاه و خاک‌های پیرامون آن با توجه به این‌که گونه‌های آلاینده‌های هیدروکربنی نیمه‌فرار و ترکیبات آلی فرار^۱ در محیط غیراشباع خاک فعالیتی وسیع دارند (دیگل و ریرو، ۲۰۰۷)، عبارتند از:

۱- حرکت توده‌ای (جریان روان^۲): انتقال جرم به همراه بدنه اصلی جریان و مهم‌ترین و مؤثرترین فرآیند انتقال آلاینده‌ها در جریان سریع آب که مقدار جابجایی آلاینده‌ها همراه با جریان، تابعی از غلظت آلاینده و حجم کلی آب جابجا شده است.

$$V_x = \frac{K}{ne} \cdot \frac{dh}{dl} \quad (۴)$$

که در آن K ضریب نفوذپذیری خاک، ne تخلخل مؤثر بدون بعد، dh/dl شیب هیدرولیکی، V_x سرعت متوسط خطی جریان در جهت محور y ها می‌باشد. بررسی شرایط حاکم بر محیط زیرزمینی خاک‌های اطراف پالایشگاه سرخون، بیانگر آن بود که در خاک‌های غیراشباع به‌خصوص با رطوبت پایین در منطقه اطراف پالایشگاه، حرکت آلاینده در فاز گازی یا مایع با پدیده جریان روان ناچیز و قابل اغماض است.

۲- پخشیدگی (نفوذ ملکولی^۳): پخشیدگی بخار یا مایع آلاینده به سبب شیب غلظت در فاز گاز یا مایع رخ می‌دهد. 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 ناحیه انتقال آلودگی در محدوده بالای سخت کفه غیرقابل 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^۴ در ارایه بهترین تخمین پخشیدگی میعانات و بخارات و مدل‌سازی انتقال میعانات و آلاینده‌های آلی گازی در محیط غیراشباع بسیار مورد توجه است. این معادله پایه‌ای عبارت است از:

1- VOC (Volatile Organic Compound)

2- Advection (Mass Flow)

3- Diffusion

4- Millington-Qurik

$$D_g / D_0 = \varepsilon^{(10/3)} / \varphi^2 = (\varphi - \theta)^{(10/3)} / \varphi^2 \quad (5)$$

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

۳- انتشار (پراکنش مکانیکی)^۱: حرکت بعضی از مولکول‌های آب با سرعت بیشتر یا کمتر از سرعت متوسط خطی آلاینده که سبب می‌شود آلاینده‌های محلول در جهات گوناگون پراکنده شوند. ضریب انتشار مکانیکی حاصل ضرب سرعت متوسط خطی (واقعی) V_x و انتشار دینامیکی است.

$$D_m = V_x \cdot \alpha \quad (6)$$

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 با توجه به فشار بخار پخشیدگی قابل توجه است.

۴- جذب سطحی: فعل و انفعال سطحی محیط متخلخل که سبب نگهداشت یا تثبیت ذرات آلاینده و در نهایت سبب تاخیر و کندی نشر آلودگی نسبت به شرایط بدون جذب سطحی می‌گردد. ضریب توزیع K_d ^۲ توصیف‌گر 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 می‌باشد. پژوهش محققان نشان داد جذب سطحی در خاک‌های خشک وابسته به سطح ویژه خاک، در خاک‌های غیراشباع به شدت تابع رطوبت خاک و در خاک‌های اشباع وابسته به ضریب توزیع و ثابت است. نکته قابل توجه آن است که 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.

۵- تبخیر: تصعید و تبخیر میعانات گازی و آلاینده‌های نفتی یکی از مهم‌ترین معابر خروج آنها از خاک است. محققان دریافته‌اند که شدت تصعید ترکیبات آلی فرار و میعانات از سطح خاک شنی خیلی سریع‌تر از خاک رسی است. البته تصعید ترکیبات آلی فرار و میعانات از اعماق بیشتر یا حتی سطح آب زیرزمینی هم می‌تواند رخ دهد مشروط بر آن‌که لایه سطحی خاک به‌عنوان مانع مهاجرت و تصعید گاز عمل نکند (لو و همکاران، ۲۰۰۱). در این پژوهش با توجه به اقلیم حاکم و مطالعه‌های خاک‌شناسی تبخیر فاکتور مهم و مؤثر بر غلظت نشر آلودگی به‌شمار می‌رود.

1- Dispersion

2- Partition Coefficient

نتایج مطالعات زمین آماری نشر طولی و عرضی آلودگی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با توجه به محل گمانه‌های حفر شده: پس از انتخاب محل‌های گمانه‌زنی و حفر چاه‌ها تا رسیدن به سخت‌کفه‌های غیرقابل نفوذ، برداشت نمونه‌ها انجام شد. در جدول ۲ گمانه‌های موجود، مختصات جغرافیایی محل گمانه‌ها و مقادیر TPH و TOG اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌شود.

جدول ۲- ویژگی‌های طول و عرض جغرافیایی و مقدار آلودگی هیدروکربنی در محل گمانه‌های حفر شده بررسی آلودگی.

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

پس از برداشت کمی آلاینده‌های TPH و TOG در محدوده اطراف پالایشگاه، مطالعات زمین آماری انجام شد. استفاده از زمین‌آمار به دلیل همبستگی داده‌های برداشت شده، ناشی از موقعیت آنان در فضای مورد مطالعه بود و نادیده گرفتن آن، باعث از دست رفتن اطلاعات مفیدی از جامعه می‌شود. علاوه بر آن با تکنیک‌های زمین آماری می‌توان با استفاده از 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 تخمین زد (ویستر و الیور، ۲۰۰۷). اساس مطالعات پهنه‌بندی در زمین آمار، تهیه تابع واریوگرام به‌صورت زیر:

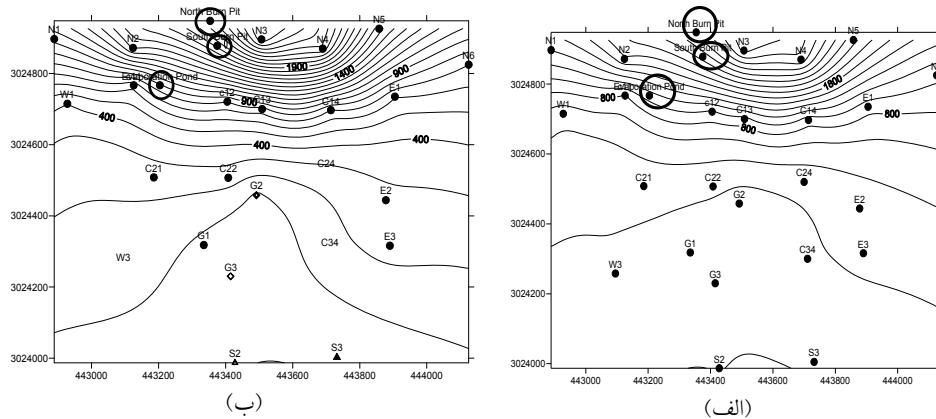
$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (7)$$

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه به‌ازای هر فاصله مانند h 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 به‌عنوان ابزار تعیین‌کننده ساختار فضایی، ابتدا مقدار γ را به‌ازای مقادیر مختلف h محاسبه و سپس مقادیر به‌دست آمده به‌ازای فواصل h مختلف در یک نمودار رسم گردید. در آنالیز داده‌های به‌دست آمده پس از نرمال‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار Arc GIS، یک مدل پارامتری بر واریوگرام تجربی داده‌ها برازش شد (بیوند، ۲۰۰۸). بررسی پارامتریک مدل‌های برازش شده واریوگرام، مدل گوسی برای هر دو نوع آلودگی را بهترین مدل نشان داد و پارامترهای آن با نرم‌افزار مشخص گردید. معادله زیر مدل گوسی و پارامترهای آن را نشان می‌دهد.

$$\gamma(h) = c_0 + c(1 - \exp\frac{-h^\alpha}{a}) \quad (8)$$

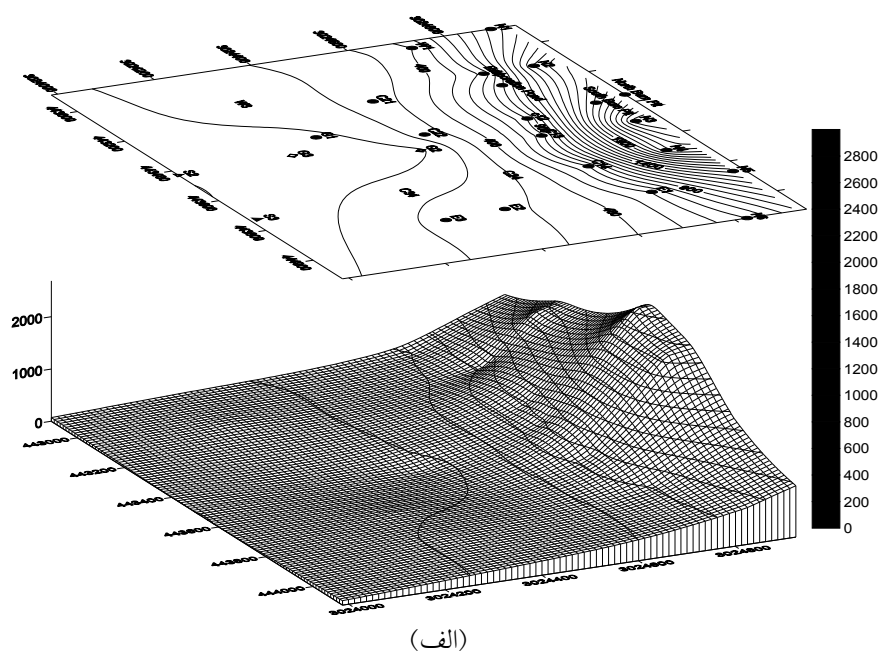
که در آن، α (دامنه)، c (آستانه) و c_0 (اثر قطعه‌ای)، $\gamma(h)$ واریوگرام و h فاصله است. سپس بهترین میان‌یابی با کمترین خطا^۱ به‌وسیله نرم‌افزار تعیین شد (دیگل و ریبرو، ۲۰۰۷). بهترین مدل برای تخمین میان‌یابی داده‌ها، روش کریجینگ^۲ برای داده‌های TOG و روش اسپلاین تنش^۳ برای داده‌های TPH تعیین گردید. در مرحله بعدی، نقشه پهنه‌بندی خطوط تراز آلودگی‌های مورد نظر، با مشخص کردن محل گمانه‌ها و منابع اصلی مورد آلودگی منطقه مورد مطالعه با نرم‌افزار سرفر^۴ به‌صورت شکل ۲ تهیه و نقاط حفر گمانه روی آن مشخص گردید.

-
- 1- Mean Biases Error
 - 2- Kriging
 - 3- Spline With Tension
 - 4- Surfer

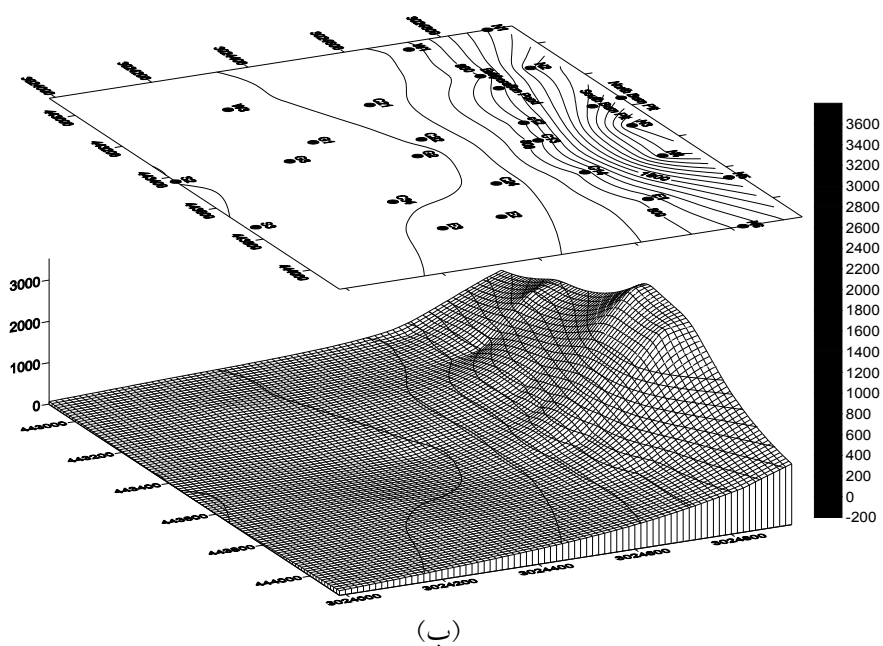


شکل ۲- نقشه خطوط تراز آلودگی برای آلودگی TPH (الف) و TOG (ب) و محل چاله‌های سوزان.

بررسی نقشه تراز آلودگی هیدروکربنی TOG و TPH (با توجه به این که هر دو خط تراز متوالی یک واحد مقیاس آلودگی با هم اختلاف دارند)، نشان می‌دهد که قسمت عمده نشر آلودگی سطحی هیدروکربنی در شمال و مرکز محدوده اطراف پالایشگاه متمرکز شده و از تراکم خطوط تراز، نشانگر مقادیر بالای نشر هیدروکربن‌های آلی و میعانات گازی به‌خصوص در اطراف چاله‌های سوزان (منابع موجد آلودگی) می‌باشند. همین امر وجود چاله‌های سوزان را به‌عنوان 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 زمین‌شناسی منطقه، مدلول شیب غربی- شرقی لایه‌های زمین به طرف رودخانه شور بود. نقشه سه‌بعدی نشر آلودگی TOG و TPH موجود در اطراف پالایشگاه سرخون، براساس طول و عرض جغرافیایی برداشت شده با خطوط تراز آلودگی در شکل ۳ نشان داده شده است.



(الف)

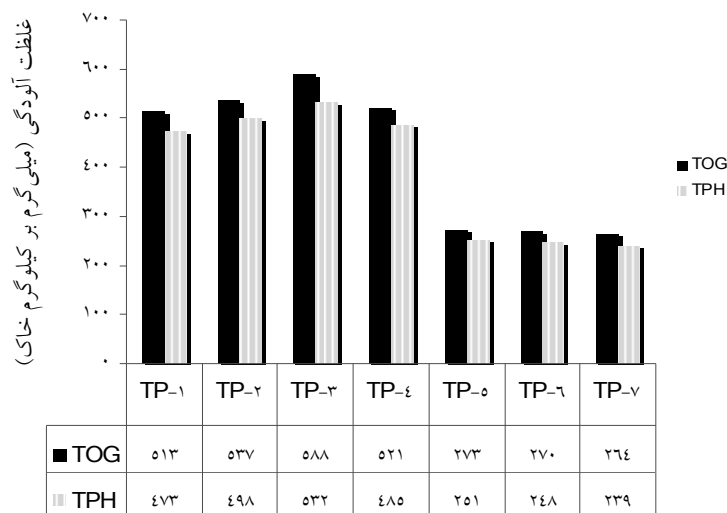


(ب)

شکل ۳- نمایش سه‌بعدی نشر آلودگی TPH (الف) و TOG (ب) بر اساس شدت غلظت آلودگی برداشت شده.

بررسی نشر آلودگی هیدروکربنی از چاله‌های سوزان موجد آن با توجه به نقشه‌های سه‌بعدی موجود که براساس مقدار غلظت آلاینده ترسیم شده‌اند، چگونگی و سویه ترابری آنها را نشان می‌دهد. 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 جنوب‌غربی پالایشگاه به‌دست آمد. علاوه بر آن، بررسی هر دو نقشه نشر آلودگی براساس مقدار غلظت آلاینده، بیانگر آن است که آلاینده‌های هیدروکربنی TOG، شدت بیشتر و بالاتری از TPH نشان می‌دهد.

در قسمت شرقی در هر دو نقشه نشر آلودگی، مقدار آلودگی TOG و TPH به‌صورت ناگهانی افزایش یافته است که علت آن به شکستگی چندین سال قبل لوله شماره ۸، نسبت داده شد به‌منظور بررسی دقیق‌تر چگونگی نشر و بروز آلودگی، گمانه‌های TP-۱ تا TP-۷ در این محل تعبیه و نمونه‌برداری و سنجش مقادیر تغییرات TOG و TPH براساس میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، انجام شد.



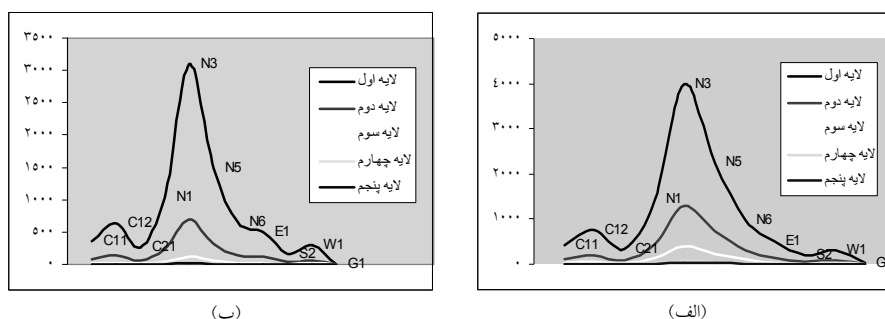
شکل ۴- مقادیر TOG و TPH در محل گمانه‌های پیرامون محل شکستگی لوله شماره ۸.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آلودگی هیدروکربنی در گمانه شماره سوم (کنار لوله شکسته شده) برداشت شد. از سویی در محل‌های مجاور یعنی گمانه‌های شماره ۱، ۲ و ۴ نیز مقدار آلودگی همگون بود، ولی در مسیر منتهی به رودخانه شور (گمانه‌های ۵، ۶ و ۷) مقدار آلودگی نشر شده روندی کاهشی نشان داد. در تعیین نشر آلودگی در اطراف لوله شکسته شده، با توجه به این‌که وجود آلودگی و نشر آن در مناطق شمالی و غربی محل شکستگی لوله بسیار کمتر و عمده نشر و گسترش آن به سمت رودخانه شور بود، از سوی دیگر به دلیل حذف و توقف این منبع موجد آلودگی، به علت گذشتن مدت زمان به نسبت طولانی از زمان وقوع شکستگی لوله و به دلیل این‌که مقدار آلودگی برداشت شده در محل گمانه‌های این ناحیه بسیار کمتر از مقدار آلودگی در نواحی شمالی پالایشگاه و در مجاورت چاله‌های سوزان بود، بنابراین در بررسی کمی نشر آلودگی و مدل‌سازی آن فقط چاله‌های سوزان و مخزن تبخیر به‌عنوان منبع اصلی آلودگی لحاظ شدند.

مرحله بعدی، تهیه برش عرضی از نفوذ عمقی یا نشر عمودی آلودگی TOG و TPH با کمک اطلاعات برداشت شده از لایه‌های مختلف و تهیه نقشه‌های زمین آماری و مدل‌سازی انجام شده برای کل منطقه بود. در شکل زیر مقدار غلظت آلاینده، در اعماق بدون بعد متفاوت خاک نشان داده شده‌اند. علت انتخاب اعماق بدون بعد علاوه بر ارتفاع متغیر و متنوع لایه‌های خاک در مناطق مختلف، عمق متغیر سخت کفه غیرقابل نفوذ هم بود. ولی برای نشان دادن تصویری درست از عمق برداشتی، لایه‌های مختلف خاک به صورت بی‌بعد نمایانده شده‌اند. در هر نقطه از پالایشگاه، عمق بدون بعد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$z = \frac{h_i}{h_{\max}} \quad (9)$$

که در فرمول بالا Z عمق بی‌بعد و h_i عمق لایه مورد نظر و h_{\max} عمق تا سخت کفه غیرقابل نفوذ است. در شکل زیر لایه اول تا پنجم نمایانگر اعماق بی‌بعد ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ (از سطح خاک تا سخت کفه) می‌باشد.



شکل ۵- پروفیل نشر عمودی آلودگی در محل برخی از گمانه‌ها در اعماق بی‌بعد برای آلودگی TOG (الف) و TPH (ب).

در شکل ۵، منحنی پروفیل نفوذ عمقی آلودگی TOG و TPH در محل برخی از گمانه‌های یاد شده نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین نشر آلودگی‌های یاد شده تا عمق بی‌بعد ۰/۲ نفوذ یافته‌اند و با افزایش فاصله از سطح خاک به سمت سخت کفه غیرقابل نفوذ، با افزایش عمق برداشت آلودگی مقدار آن به شدت کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر بخش اعظم آلودگی در لایه‌های سطحی خاک موجودند. این نمودار راهنمای مناسبی در مدیریت نشر آلودگی و تعیین بهترین روش پایش، به شمار می‌رود.

نتایج مدل‌سازی: در شبیه‌سازی نشر آلودگی در خاک‌های اطراف پالایشگاه سرخون، پس از بررسی و تعیین مدل مفهومی نشر آلودگی و عوامل دخیل بر آن، بر اساس شرایط حاکم بر منطقه، مبانی اساسی و مبنایی منظور شده در مدل یاد شده معادله انتقال جرم، معادله پخشیدگی میلینگتون و کوئیریک و ژنتیک الگوریتم برای پارامترهای ناشناخته در نظر گرفته شد. معادله کلی حاکم بر انتقال جرم به صورت زیر است:

$$\rho DC_g / Dt = -\rho D_g \nabla^2 C_g + r_A \quad (10)$$

که در معادله (۱۰)، D_g ضریب نفوذ آلاینده در محیط متخلخل، ρ چگالی محیط، C_g غلظت آلاینده و r_A سرعت تجزیه بیولوژیک است. اما شرایط موجود نشان داد، از آنجایی که جریان به صورت جابجایی درون خاک وجود ندارد از ترم مربوط به جابجایی در معادله بالا صرف نظر و معادله به شکل زیر ساده خواهد شد.

$$\rho \partial C_g / \partial t = -\rho D_g \nabla^2 C_g + r_A \quad (11)$$

در این معادله، ترم Γ_A نشان‌دهنده واکنش تجزیه زیستی می‌باشد که در این منطقه به دلیل وجود انواع متفاوتی از آلاینده‌های شیمیایی در خاک که در تجزیه زیستی، بر روی یکدیگر اثر بازدارندگی ایجاد می‌نمایند و از سوی دیگر غلظت بسیار بالای این آلاینده‌ها که باعث مختل شدن فعالیت زیستی ریزاندام‌ها می‌شود، بنابراین از ترم مربوط به تجزیه بیولوژیکی، صرف‌نظر و معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$\rho \partial C_g / \partial t = -\rho D_g \nabla^2 C_g \quad (12)$$

از طرفی با توجه به روابط ترمودینامیکی داریم:

$$\begin{cases} C_s = K_d C_L \\ C_L = \frac{C_G}{\gamma H_C} \end{cases} \Rightarrow C_G = \frac{\gamma H_C}{K_d} C_s \quad (13)$$

$$\frac{\gamma H_C}{K_d} = \alpha$$

$$\Rightarrow C_G = \alpha C_s$$

که در آن C_s غلظت آلاینده در خاک، C_L غلظت آلاینده در آب زیرزمینی، K_d ضریب توزیع بین فاز جامد و مایع، H_C ثابت هنری برای آلاینده و γ ضریب تصحیح ترمودینامیکی می‌باشد. بنابراین داریم:

$$\rho \partial (\alpha C_s) / \partial t = -\rho D_g \nabla^2 (\alpha C_s) \quad (14)$$

با توجه به ضریب α که مربوط به خواص آلاینده و خاک منطقه است و با توجه به این که در منطقه مورد مطالعه (با توجه به آزمایش‌های انجام شده) خواص خاک تغییرات ناگهانی زیادی ندارد و همچنین نوع آلاینده هم تغییر نمی‌نماید می‌توان ضریب α را ثابت در نظر گرفت و از مشتقات بیرون آورده از دو طرف معادله حذف نماییم. بنابراین داریم:

$$\rho \partial C_s / \partial t = -\rho D_g \nabla^2 C_s \quad (15)$$

با توجه به این که مدت زمان طولانی آلاینده‌ها وارد خاک شده است می‌توان فرآیند را به صورت پایا در نظر گرفت و از ترم سمت چپ معادله اصلی صرف‌نظر کرد و داریم:

$$\rho D_g \nabla^2 C_S = 0 \quad (16)$$

معادله نهایی که باید حل شود معادله بالا است و شرایط مرزی جهت حل آن به صورت زیر است.

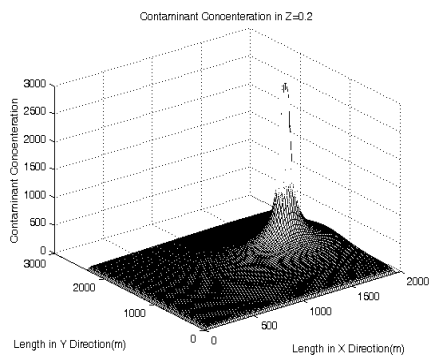
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{At } z=0, x \in [0, x_{\text{source}}], y \in [0, y_{\text{source}}], 0 < x < x_{\text{max}}, 0 < y < y_{\text{max}}: C=0 \\ \text{At } z=0, x=x_{\text{source}}, y=y_{\text{source}}=0: C=C_{\text{source}} \\ \text{At } z=z_{\text{max}}: \partial C / \partial z = 0 \\ \\ \text{At } x=0: C=0 \\ \text{At } x=x_{\text{max}}: C=0 \\ \text{At } y=0: C=0 \\ \text{At } y=y_{\text{max}}: C=0 \end{array} \right.$$

سپس معادله بسط داده شد و به دلیل عدم موفقیت کاربرد روش تفاضل محدود^۱، با روش حجم محدود^۲ حل شد. نبود موفقیت کاربرد روش تفاضل محدود در حل معادله، از سویی به دلیل بزرگ بودن دامنه حل و از سوی دیگر، نبود سخت افزار مناسب برای حل معادله بود. بنابراین از مشتقات موجود، در سطح المانها انتگرال گیری سطحی انجام و معادله به روش حجم محدود حل شد. لازم به ذکر است که مقدار خطای نسبی در شبیه سازی انجام شده، نسبت به نتایج به دست آمده از آزمایش های میدانی حداکثر ۱۲ درصد است.

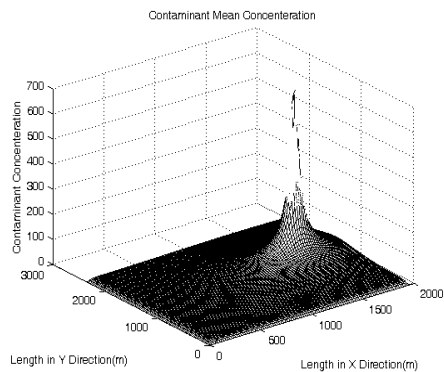
در شکل های ۶ و ۷، محور X نشان دهنده راستای شرقی- غربی، محور Y نشان دهنده راستای شمالی جنوبی و محور Z نشان دهنده غلظت متوسط آلاینده در منطقه برحسب میلی گرم بر کیلوگرم خاک می باشد. نقطه (۰,۰) در این شکل گوشه پایین سمت چپ پالایشگاه را نشان می دهد (جنوب غربی).

همان طور که مشاهده می شود با شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB نشان داده شده است که غلظت آلاینده در منطقه اطراف چاله های سوزان دارای مقدار ماکزیمم خود می باشد و از سوی دیگر با افزایش عمق بی بعد مقدار آلودگی TOG و TPH به شدت کاهش یافته است.

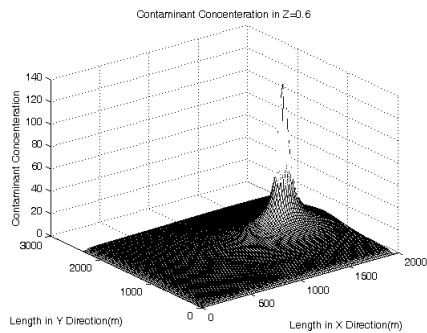
1- Finite Element
2- Finite Volume



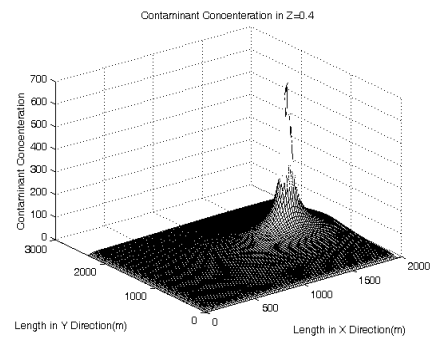
(ب) غلظت در عمق بی بعد ۰/۲



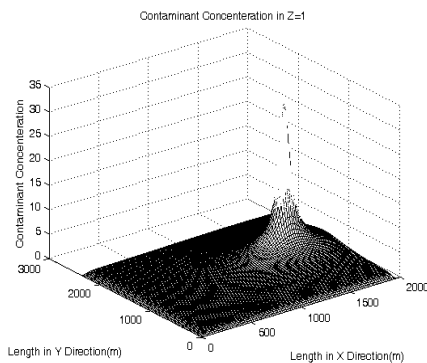
(الف) غلظت متوسط



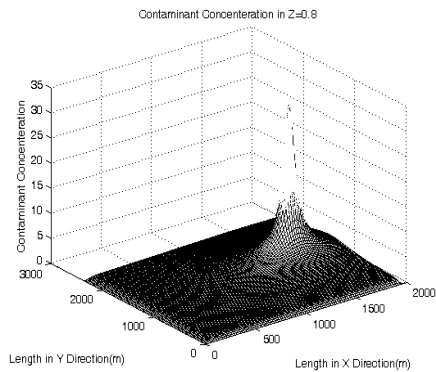
(د) غلظت در عمق بی بعد ۰/۶



(ج) غلظت در عمق بی بعد ۰/۴

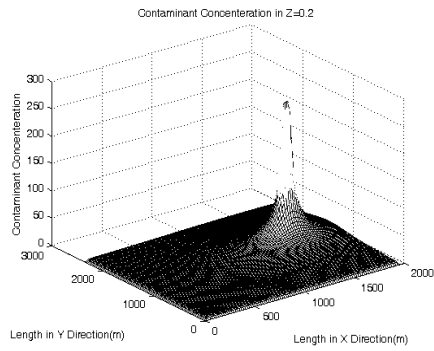


(ی) غلظت در عمق بی بعد ۱

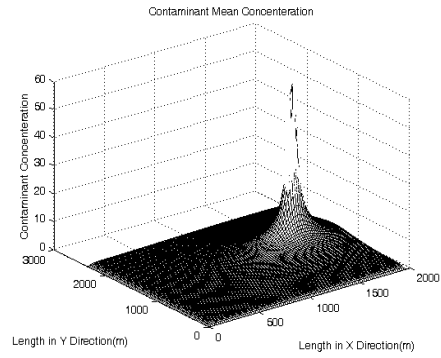


(ه) غلظت در عمق بی بعد ۰/۸

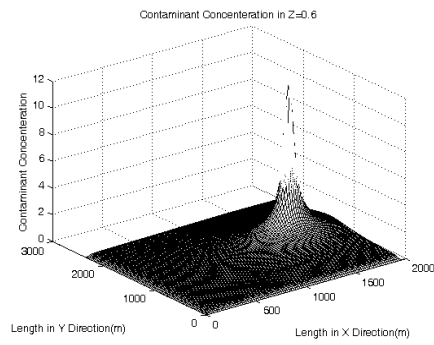
شکل ۶- غلظت متوسط TOG و غلظت در اعماق بی بعد ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ در خاک اطراف پالایشگاه سرخون.



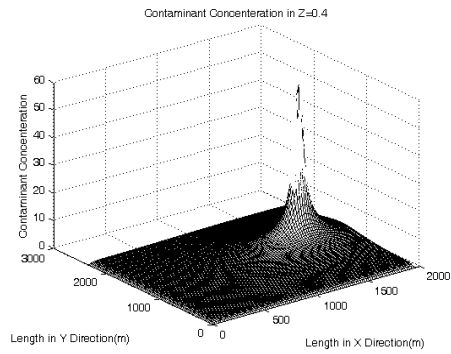
(ب) غلظت در عمق بی بعد ۰/۲



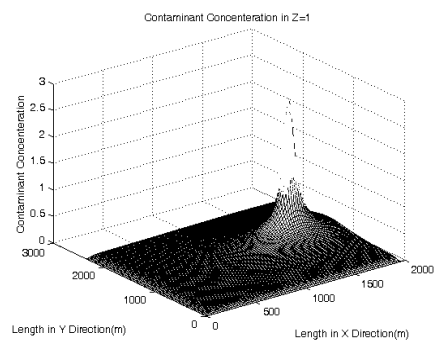
(الف) غلظت متوسط



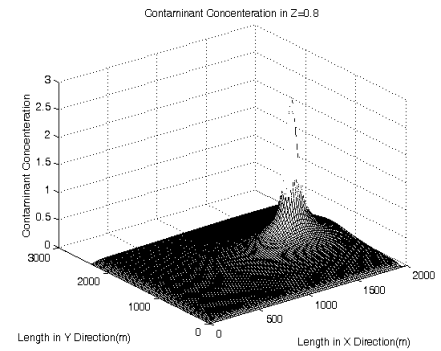
(د) غلظت در عمق بی بعد ۰/۶



(ج) غلظت در عمق بی بعد ۰/۴



(ی) غلظت در عمق بی بعد ۱



(ه) غلظت در عمق بی بعد ۰/۸

شکل ۷- غلظت متوسط TPH و غلظت در اعماق بی بعد ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ در خاک اطراف پالایشگاه سرخون.

نتایج مدل‌سازی نشان داد با توجه به مکانیزم انتقال آلاینده‌های منطقه، در صورت افزایش دبی آب ورودی به چاله سوزان خطر افزایش مقیاس آلودگی جدی است، بنابراین باید تمهیدات مناسب جهت جلوگیری از گسترش آلودگی در نظر گرفته شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در تخمین نشر آلودگی در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه در هر لحظه از زمان، برنامه‌ریزی کاربری پایش و انتخاب مناسب‌ترین روش آن استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری مسئولان و همکاران در انجام این پروژه پالایشگاه گاز سرخون، و همچنین از آقای دکتر علی آبکار استاد دانشگاه خواجه نصیر به دلیل راهنمایی در استفاده از نرم‌افزار سرفر و آقای مهندس افشین زیاری که در تهیه نرم‌افزار و برنامه‌نویسی مناسب ما را یاری داده‌اند سپاسگزاری می‌نمائیم.

منابع

1. Bivand, R.S., Pebesma, E.J., and Gomez-Rubio, V. 2008, Applied Spatial Data Analysis with R, Springer, Pp: 311-324.
2. Bruce, L.G. 1993. Refined Gasoline in subsurface. APG. Bull. 77: 212-224.
3. Chilès, J.P., and Delfiner, P. 1999. Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty, J. Wiley and Sons, New York, 116p.
4. Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for Spatial Data, J. Wiley and Sons, New York, Pp: 71-75.
5. Delleur, J. 2000. Handbook of Ground water engineering, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Pp: 5-11.
6. Diggle, P.J., and Ribeiro, Jr.P.J. 2007. Model-based Geostatistics, Springer, New York, Pp: 145-49.
7. Domenico, P.A., and Franklin, W.S. 1990. Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley and Sons, U.S.A. Pp: 202-213.
8. Edzer, J.P. 2008. The gstat Package. Multivariable geostatistical modelling, prediction and simulation, 33p.
9. Emeritus, J.B. 2001. Modeling ground water flow and contaminant transport. First edn. Haifa, Israel, Pp: 86-123.
10. Frind, E.O., Malson, J.M., and Schimer, M. 1999. Dissolution and mass transfer of multiple organics under field conditions: The borden emplaced source. J. Water Resour. Res. 35: 683-694.

- 11.Kaminka, B. 2001. Managing Petroleum Contaminated Soil: Department of Transportation Perspective, J. Environ. Eng. 22: 1080-1088.
- 12.Loe, C.H., Lee, J.Y., and Cheon, J.Y. 2001. Attenuation of Petroleum Hydrocarbons in Smear Zones: A case Study. J. Environ. Eng. 28: 639-649.
- 13.National Research Council. 1994. Alternatives for Ground Water Cleanup, National Academy Press, Washington, DC, 23p.
- 14.Schackelford, C.D., Daniel, D.E., and Lilijestrand, H.M. 1989. Diffusion of organic chemical species in compacted clay soil. J. conta. Hydro. 4: 241-273.
- 15.Stein, M.L. 1999. Interpolation of Spatial Data, Springer Verlag, New York, 232p.
- 16.U.S. Environmental Protection Agency. 1998. Technical support document for 194.23: Groundwater flow and contaminant transport modeling at WIPP, EPA Docket, A-93-02, V-B-7, Pp: 20-26.
- 17.Webster, R., and Oliver, M.A. 2007. Geostatistics for Environmental Scientists (2nd edition), J. Wiley and Sons, New York, Pp: 118-123.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(4), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Hydrocarbon pollution emission in soil around Sarkhoun refinery

**S. Ebrahimi¹, J. Shaygan², * M.J. Malakouti³, M. Baybourdi⁴,
J. Ghodousi⁴, A. Akbari⁵ and A. Atashjame⁶**

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Sciences, Tarbiat Modarres University, ²Professor, Dept. of Chemistry Engineering, Sanati Sharif University, ³Professor, Dept. of Soil Sciences, Tarbiat Modarres University, ⁴Professor, Dept. of Soil Sciences, Tehran University, ⁵Ph.D. Student, Dept. of Environment Engineering, Tehran University, ⁶Head of Engineering Refinement of Sarkhoun and Qeshm Gas Refinery Company

Abstract

The aim of this research is to investigate the existence and the three dimensional distribution of the pollution around Sarkhoun refinery. Following the initial investigation of the site, wells were dug up to hardpans followed by sampling. Soil pollution mappings and its distribution were performed by Surfer and Arc GIS and MATLAB softwares. The results showed that due to the lack of underground water in the area and the hardpans near soil surface, pollution spread has happened through gas spread from the limited region above the hardpan. Geostatistic studies and 3-dimentional estimated pollutions mapping by software showed the range of studied polluted soil for TOG and TPH was 3633 and 2612 mg/Kg near burning pits and to 7 and 4 mg/Kg in the west south of the refinery. Furthermore, pollution spread in the direction of soil layers gradient is towards Salt River, which is placed in the east of the refinery. In the east of refinery, sudden increase in both pollution maps was related to the tube lines breakage. The result showed that TOG pollution map and TPH pollution map had similar trend. The results of the simulations revealed that in Sarkhoun soils by increasing in water debit to burning pits, risk of pollution spreading increased, Therefore appropriate remedy for blockage of spreading would be necessary.

Keywords: Vados zone, Pollution, Hydrocarbon, Refinery, Vapor condensations

* Corresponding Author; Email: mjmalakouti@hotmail.com