مدلسازی نحوه پراکنش آلودگی هیدروکربنی در خاک محدودهٔ پالایشگاه سرخون

سهیلا ابراهیمی[1]، جلال شایگان[2]، محمدجعفر ملکوتی[3]

1- استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و دانش‌آموخته دکتری دانشگاه تربیت مدرس، گرگان، میدان بسیج، پردیس دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، گروه خاک‌شناسی

2- استاد گروه مهندسی شیمی دانشگاه شریف، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، گروه مهندسی شیمی و نفت

3-استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی تربیت مدرس، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده: sohebrahimi@gmail.com

چکیده

هدف این پژوهش، مدل‌سازی و پیش‌بینی شمای پراکنش آلودگی هیدروکربنی در خاک اطراف پالایشگاه سرخون بود. حفر گمانه ها، نمونه‌برداری و سنجش آلودگی انجام، سپس پهنه‌بندی نشر با نرم‌افزارهای Surfer و ArcGIS و شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB صورت‌گرفت. نتایج نشان‌داد بعلت بالابودن سخت‌کفه‌های غیرقابل‌نفوذ، نشر میعانات‌گازی از ناحیه محصور فوقانی است. سویهٔ ترابری آلاینده‌ها از چاله‌های سوزان متناسب با شیب لایه‌های زمین بسوی رودخانه شور بود. نشر آلودگی TOG، سویه‌ای همروند با شدتی بیشتر از TPH نشان‌داد. با توجه به مکانیسم‌های نشر، با افزایش دبی آب ورودی به چاله‌سوزان، خطر افزایش مقیاس آلودگی جدی‌است و باید تمهیداتی مناسب برای جلوگیری از گسترش آن درنظر گرفت.

کلمات کلیدی: پالایشگاه، خاک، مدلسازی، میعانات گازی، هیدروکربن

مقدمه

پیشرفت علم و تکنولوژی در طی انقلاب صنعتی توانایی بشر را در بهره‌برداری از منابع طبیعی افزایش داد، لیکن سبب اختلالاتی بی‌شمار در چرخه‌های طبیعی شده‌است. آلاینده‌های نفتی به سبب حلالیت، فراریت و خاصیت زیست‌تخریبی خود، به سرعت وارد محیط زیرزمینی شده و حتی در مقادیر اندک میتوانند سبب آلودگی محدوده وسیعی از منابع خاک و آب شوند. در کشوری نفت خیز همچون ایران، آلودگی خاک با ترکیبات هیدروکربنی و نفتی موضوعی تازه نیست. این مشکل، از آغاز استخراج نفت و گاز در سده گذشته ایجاد شده و متاسفانه هیچگاه جدی تلقی نشده‌است. انباشت این آلودگی‌ها، به مرور زمان مشکلاتی حاد را در پی‌داشته، به‌گونه‌ای که کاهش آلودگی، نیازمند صرف هزینه‌هایی چشمگیر و زمانی طولانی است.

مواد و روشها

حوضه آبریز دشت سرخون در محدودهٔ مختصات جغرافیایی ´21 °27 تا ´27 °27 عرض شمالی و ´10 °56 تا ´28 °56 طول شرقی قرار داشته و متشکل از دو زیر حوزه سرخون شمالی و سرخون جنوبی است. بررسی منابع نشر آلودگی نشان‌داد پالایشگاه گاز سرخون از 13 حلقه چاه، که زیر نظر شرکت زاگرس جنوبی است، تغذیه و ظرفیت آن 14 میلیون متر

مکعب 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 هدایت می‌شوند. حفر گمانه برای بررسی میزان نشر آلودگی در محیط خاک، ایجاد درک اولیه از مقیاس آلودگی انجام‌شد. انتخاب محل‌های گمانه‌زنی تا رسیدن به سخت کفه‌های غیر قابل نفوذ انجام و پس از بررسی لایه‌بندی‌های موجود از لایه‌های مختلف نمونه‌گیری شد. نمونه‌برداری خاک، پس از حفر چاه، با لوله نمونه‌گیر پولیکا با قطر 15 سانتیمتر و ارتفاع 20 سانتیمتر، انجام شد که پس از برداشت، دو سر آن پوشانده و پس از برچسب گذاری به آزمایشگاه انتقال یافت. سنجش آلودگی بر اساس روش استاندارد بر مبنای استخراج با حلال با جذب در مقابل اشعه IR با فرکانس $2940cm^{-1}$ [1] [1]. در اندازه‌گیری مقدارکل آلاینده هیدروکربنی[1] و نفتی[2]، میزان جذب نشان داده شده توسط دستگاه سنجش TOG/TPH، میزان جذب نشان داده شده، توسط محلولهای با غلظت مشخص که استانداردهای کالیبراسیون دستگاه از آن تهیه شد، گزارش‌گردید. برای سنجش میزان آلودگی موجود در خاک، استخراج با 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 3 بار تکرار و داده‌های مشکوک حذف گردد. مایع شفاف بدست آمده از پودر سیلیکاژل به منظور تمایز آلایندگی قطبی و غیر قطبی عبور داده‌شد. در اینصورت آنچه قبل از سیلیکاژل خوانده می‌شود TOG و آنچه بعد از سیلیکاژل خوانده می‌شود TPH می‌باشد. پس از برداشت نمونه ها و آنالیز آنها، پهنه‌بندی آلودگی محدوده موردنظر با تکنیک‌های زمین‌آماری صورت پذیرفت[2]. بدین منظور، داده‌های برداشت‌شده با نرم‌افزارهای Surfer و Arc GIS آنالیز، نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه و مدل‌های مناسب با کم‌ترین خطا انتخاب گردیدند[3]. همزمان با مطالعات زمین‌آماری و استفاده از بهترین تخمین نشر آلایندگی، شبیه‌سازی نشر آلودگی هیدروکربنی با نرم افزار MATLAB انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج خاک‌شناسی منطقه سرخون نشان داد، خاک اکثر منطقه ماسه‌ای دانه‌ریز سیلت‌دار با تراکم پذیری متوسط تا زیاد است. مشاهدات کمّی و کیفی بافت خاک، تخلخل و وزن مخصوص ظاهری بالا، وجود اقلیم خشک و نیمه خشک و درصد رطوبت پایین و علاوه بر آن، بالا بودن نسبی عمق سخت‌کفه نفوذناپذیر (بین 80 سانتیمتر تا 2 متر) در اکثر مسیرهای مورد مطالعه نشان داد، انتقال و نشر آلایندگی در ناحیه غیر اشباع بخش بالایی سخت‌کف انجام می‌شود.
پس از نمونه‌گیری و برداشت کمّی آلایندگی TOG و TPH در محدودهٔ اطراف پالایشگاه، مطالعات زمین‌آماری انجام شد. در آنالیز داده‌های بدست آمده پس از نرمال‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار Arc GIS، یک مدل پارامتری بر واریوگرام تجربی داده‌ها برازش شد. بررسی نقشه تراز آلودگی هیدروکربنی TOG و TPH (با توجه به این‌که هر دو خط تراز متوالی یک واحد مقیاس آلودگی با هم اختلاف دارند)، نشان داد که قسمت عمده نشر آلودگی سطحی هیدروکربنی در شمال و مرکز محدوده اطراف پالایشگاه متمرکز شده و تراکم خطوط تراز، نشانگر مقادیر بالای نشر هیدروکربن‌های آلی و میعانات گازی به خصوص در اطراف چاله‌های سوزان (منابع موجد آلودگی) می‌باشند. همین امر وجود چاله‌های سوزان را به عنوان منابع اصلی احتمالی آلودگی تایید کرد. 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، مدلول شیب غربی- شرقی لایه‌های زمین به طرف رودخانه شور بود. در شبیه سازی 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،

[1] TPH (Total Petroleum Hydrocarbon)
[2] TOG (Total Oil and Grease)

مبانی اساسی و مبنایی منظور شده در مدل مذکور 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:

$$rDC_g/Dt = -rD_g\nabla^2 C_g + r_A \quad [1]$$

که Dg ضریب نفوذ آلاینده در محیط متخلخل، r چگالی محیط، Cg 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 فوق صرفنظر و معادله به شکل زیر ساده خواهد شد.

$$r\partial C_g/\partial t = -rD_g\nabla^2 C_g + r_A \quad [2]$$

ترم r_A نشان دهنده واکنش تجزیه زیستی است که به دلیل وجود انواعی متنوع از آلاینده‌های شیمیایی در خاک که در تجزیه زیستی در منطقه و اثر بازدارندگی رو هم و از سوی دیگر غلظت بسیار بالای این آلاینده‌ها و اختلال فعالیت زیستی ریزاندام‌ها ، از ترم مربوط به تجزیه بیولوژیکی، صرفنظر و معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$r\partial C_g/\partial t = -rD_g\nabla^2 C_g \quad [3]$$

از طرفی با توجه به روابط ترمودینامیکی داریم:

$$\begin{cases} C_S = K_d C_L \\ C_L = \dfrac{C_G}{gH_C} \end{cases} \Rightarrow C_G = \frac{gH_C}{K_d} C_S$$

$$\frac{gH_C}{K_d} = a$$

$$\Rightarrow C_G = aC_S \quad [4]$$

که در آن C_s غلظت آلاینده در خاک، Cl غلظت آلاینده در آب زیرزمینی، K_d ضریب توزیع بین فاز جامد و مایع، Hc ثابت هنری برای آلاینده و g ضریب تصحیح ترمودینامیکی می‌باشد. بنابراین:

$$r\partial(aC_S)/\partial t = -rD_g\nabla^2(aC_S) \quad [5]$$

ضریب α مربوط به خواص آلاینده و خاک منطقه است و با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، خواص خاک تغییرات ناگهانی زیادی نداشته و نوع آلاینده هم تغییر نمیکند، می‌توان ضریب α را ثابت در نظرگرفت و از مشتقات بیرون آورده از دو طرف معادله حذف نمود. بنابراین:

$$r\partial C_S/\partial t = -rD_g\nabla^2 C_S \quad [6]$$

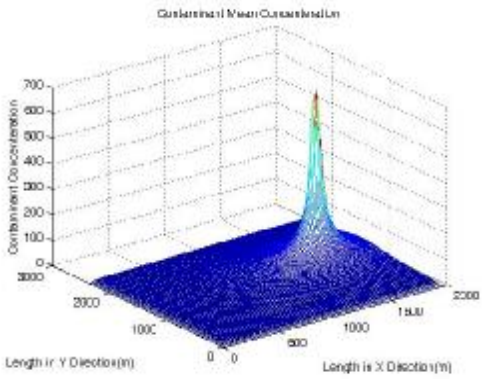
با توجه به اینکه مدت زمان طولانی آلاینده‌ها وارد خاک شده، می‌توان فرآیند را به صورت پایا در نظر گرفت و از ترم سمت چپ معادله اصلی صرفنظر کرد و داریم:

$$rD_g\nabla^2 C_S = 0 \quad [7]$$

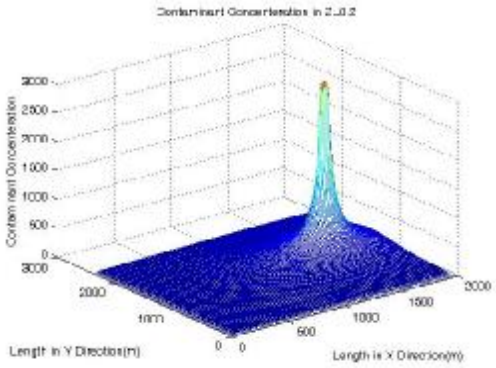
معادله نهایی، بدین‌سان حاصل و بسط داده شد[4]. بدلیل عدم موفقیت کاربرد روش تفاضل محدود، با روش حجم محدود حل شد. دلیل آن بزرگ بودن دامنه حل و عدم وجود سخت افزار مناسب برای حل معادله بود. لذا از مشتقات موجود، در سطح المان‌ها انتگرال‌گیری و معادله به روش حجم محدود حل شد. مقدار خطای نسبی در شبیه‌سازی انجام‌شده، نسبت به نتایج آزمایشات میدانی حداکثر 12 درصد است.

در شکل 1، محور x نشان‌دهنده راستای شرقی - غربی، محور y سویه شمالی جنوبی و محور z غلظت متوسط آلاینده در منطقه بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و نقطه (0,0) در گوشه پایین سمت چپ پالایشگاه را نشان می‌دهد. شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB نشان داد، غلظت آلاینده در اطراف چاله‌های سوزان دارای مقدار ماکزیمم می‌باشد. غلظت متوسط TPH در خاک اطراف پالایشگاه سرخون نیز روندی مشابه و همسو با نشر TOG نشان داد.

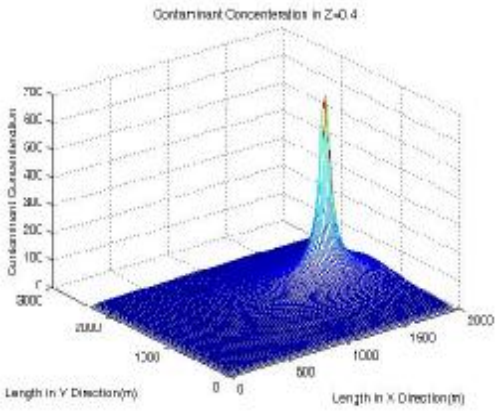
نتایج مدلسازی نشان‌داد با توجه به مکانیسم انتقال آلاینده‌های منطقه با افزایش دبی آب ورودی به چاله سوزان خطر افزایش مقیاس آلودگی جدی است، و باید تمهیدات مناسب برای جلوگیری از گسترش آلودگی در نظرگرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند در تخمین نشر آلودگی در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه در هر لحظه از زمان، برنامه‌ریزی کاربردی پالایش و انتخاب مناسبترین روش آن استفاده شود. نتایج این پژوهش، علاوه بر ایجاد دیدی واقع‌گرایانه از آلودگی هیدروکربنی نشر شده، ابزاری قدرتمند و پیش‌نیازی سودمند در برنامه‌ریزی مدیریتی پاکسازی منطقه خواهد بود.



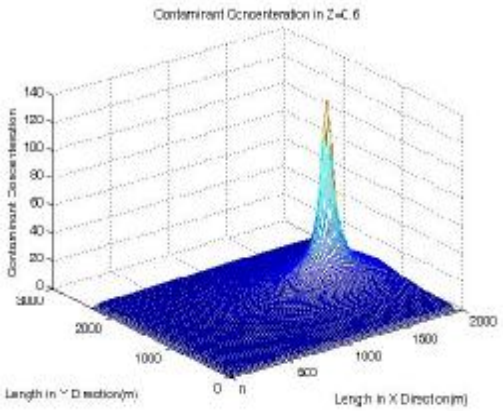
(الف) غلظت متوسط



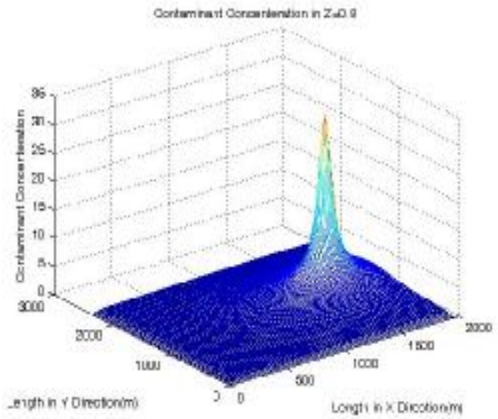
(ب) غلظت در عمق بی‌بعد 0/2



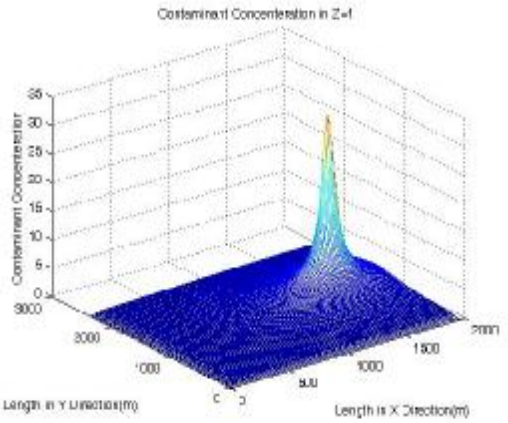
(چ) غلظت در عمق بی‌بعد 0/4



(د) غلظت در عمق بی‌بعد 0/6



(ه) غلظت در عمق بی‌بعد 0/8



(ی) غلظت در عمق بی‌بعد 1

شکل 1- غلظت متوسط TOG و غلظت در اعماق بی بعد 0/2 ، 0/4، 0/6 ، 0/8 و 1 در خاک اطراف پالایشگاه سرخون

منابع

[1] U.S. Environmental Protection Agency, 1992. Evaluation of ground water extraction remedies: Phase II, Volume1 Summary Report, EPA OERR 9355.4-05, Washington, DC, U.S.A
[2] Bivand RS, Pebesma, EJ and Gomez-Rubio V, 2008. Applied Spatial Data Analysis with R, Springer, New York
[3] Diggle PJ and Ribeiro JP. J, 2007. Model-based Geostatistics, Springer, New York.
[4] Emeritus JB, 2001. Modeling ground water flow and contaminant transport. First edn. Haifa, Israel.