Archive of SID

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٤، صفحهٔ ٨٢٥-٨١٥

مدل‌سازی تغییرات غلظت هیدروکربن‌های نفتی در عمق‌های گوناگون خاک آلوده طی فرایند گیاه‌پالایی با استفاده از منطق فازی

فریدا ایرجی آسیابادی[1]*، سید احمد میرباقری[2]، علی‌اصغر بسالت‌پور[3]

۱. دکتری علوم محیط‌زیست، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲. استاد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران mirbagheri@kntu.ac.ir

۳. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران a.besalatpour@vru.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹٤/٦/۲

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های زیستی ارزان، مؤثر و دوستدار محیط‌زیست برای کاهش آلودگی‌های نفتی خاک است، اما اندازه‌گیری کمّی غلظت هیدروکربن‌های نفتی خاک‌های آلوده طی این فرایند مشکل، وقت‌گیر و هزینه‌بر است. بنابراین، استفاده از مدلی که به محدودیت‌های موجود، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و آن‌ها را رفع کند، بسیار مفید خواهد بود. لذا در این پژوهش، غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ستون خاک طی فرایند گیاه‌پالایی با استفاده از منطق فازی مدل‌سازی شد. بدین‌منظور ستون‌هایی به ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متر از خاک آلوده به ترکیبات نفتی جمع‌آوری‌شده از اطراف مخازن نفت پالایشگاه اصفهان، تهیه و بذر دو گونهٔ گیاهی سورگوم و جو در ۳ تکرار کشت شد. پس از گذشت ۱۷ هفته، غلظت هیدروکربن‌های نفتی در اعماق ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری ستون‌های خاک تعیین شد. با استفاده از روش منطق فازی با تعریف دو ورودی عمق و زمان و مشخص کردن توابع عضویت و قوانین فازی برای سه تیمار جو، سورگوم و شاهد، غلظت هیدروکربن‌های نفتی در عمق‌های گوناگون خاک طی فرایند گیاه‌پالایی مدل‌سازی شد. نتایج مدل فازی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده مطابقت خوبی داشتند. بنابراین، استفاده از روش منطق فازی برای مدل‌سازی تغییرات غلظت آلاینده‌ها طی فرایند گیاه‌پالایی برای سایر مناطق آلوده پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه

آلودگی خاک، آلاینده‌های نفتی، عمق گسترش آلودگی، مدل‌سازی فازی.

۱. سرآغاز

سالانه مقادیر زیادی پسماندهای نفتی در پالایشگاه‌های نفت ایجاد می‌شود که این ترکیبات آلی، به دلیل سمی‌بودن، سرطان‌زایی و ایجاد تغییرات موتاژنتیکی، پتانسیل ایجاد آلودگی خاک و آب زیرزمینی را خواهند داشت (Kamath, et al., 2004). علاوه بر این، احیای آب‌های زیرزمینی آلوده بسیار طولانی و پرهزینه است. بنابراین، رفع آلودگی یا کاهش میزان غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک‌های اطراف پالایشگاه‌های نفت، پیش از رسیدن این آلاینده‌ها به سفرهٔ آب زیرزمینی امری ضروری است. از میان روش‌های حذف و کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک، گیاه‌پالایی روشی مؤثر و مقرون به‌صرفه است، اگرچه گزارش شده است که با افزایش عمق خاک و دورشدن از محیط محدودهٔ توسعهٔ ریشه (ریزوسفر)، درصد کاهش هیدروکربن‌های نفتی افزایش چندانی ندارد (Newman

* نویسنده مسئول: Email: f.iraji@kuisf.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

and Reynolds, 2005). در بسیاری از مطالعات انجام‌شده به تأثیر ریزوسفر در کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک اشاره شده است (Tang, et al., 2012). با توجه به اینکه محدودیت دسترسی به نمونه‌های خاک در عمق‌های گوناگون خاک طی فرایند گیاه‌پالایی وجود دارد و اندازه‌گیری کمّی هیدروکربن‌های نفتی مشکل، وقت‌گیر و هزینه‌بر است، استفاده از مدلی که به محدودیت‌های موجود صورت‌بندی ریاضی ببخشید و نقص‌های مذکور را رفع کند، ضروری است.

منطق فازی از جمله روش‌های مدل‌سازی است که برای شبیه‌سازی در سیستم‌هایی که داده‌های کافی وجود نداشته یا اطلاعات آن‌ها مبهم و غیرصریح است، مناسب است (Zadeh, 1971). با منطق فازی کاربر این توانایی را خواهد داشت که قوانین مناسب را تعریف و رابطهٔ بین پارامترها و فرایند تصمیم گیری موجود در سیستم را درک کند. منطق فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از امکان‌ها به جای اعداد، علاوه بر مزایای روش‌های آماری به دلیل قابلیت در فرموله‌کردن دانش تجربهٔ بشری در قالب ریاضی، ابزاری سودمند در مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی به شمار می‌آید (Pourghasemi, et al., 2009). نظریهٔ فازی از زمان ابداع تا به امروز، به طور روزافزونی در حال گسترش بوده و کاربردهای گوناگونی یافته است. البته استفاده از منطق فازی در زمینهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، نسبت به سایر علوم محدودتر بوده است. این در حالی است که با توجه به تنوع و پیشرفت روش‌های فازی، این ابزار پتانسیل بالایی در تأثیرگذاری در سیاست‌های مدیران در تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی دارد به ویژه اینکه به دلیل ماهیت محیط‌زیست، نمی‌توان با قطعیت مشخص بعضی از ویژگی‌ها را بیان کرد. به همین دلیل با توجه به قابلیت منطق فازی و ماهیت بسیاری از پدیده های طبیعی، تحقیقات کاربردی و بیشتری در زمینهٔ به کارگیری منطق فازی و تکنیک های آن در شاخه های گوناگون منابع آب و خاک و به طور کلی محیط‌زیست و منابع طبیعی ضروری است.

از جمله پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر در زمینهٔ کاربرد روش‌های فازی در مسائل مرتبط با محیط‌زیست انجام شده است می‌توان به مطالعاتی در خصوص بررسی کیفیت هوا و آلودگی هوا (Fisher, 2003; Onkal-Engin, et al., 2004; Sowlat, et al., 2011)، بررسی کیفیت آب‌های سطحی (Ocampo-Duque, et al., 2006; Lermontov, et al., 2009)، بررسی کیفی آب برای اهداف کشاورزی (Mirabbasi, et al., 2008)، تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی (Shu and Burn, 2004)، ارزیابی سلامت رودخانه‌ها (Zhao and Yang, 2009)، تعیین ظرفیت حمل رودخانه‌ها (Gong and Jin, 2009)، ارزیابی‌های جامع محیط‌زیست (Haiyan, 2002)، پهنه‌بندی کیفی رودخانه‌ها (Wang, et al., 2008; Lu, et al., 2010; Liu, et al., 2010) و بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی (Muhammetoglu and Yardimci, 2006) اشاره کرد. متأسفانه تاکنون در ایران به دلیل ناآشنایی متخصصان محیط‌زیست، استفاده از منطق فازی در علوم زیست‌محیطی همچنان بالقوه مانده است. در همین راستا، این پژوهش با هدف اصلی بررسی کارایی منطق فازی برای تهیهٔ مدل مناسب برای شبیه‌سازی غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در عمق‌های گوناگون خاک طی فرایند گیاه‌پالایی انجام شد تا بتوان با توجه به محدودیت دسترسی به اعماق مختلف خاک، هزینه‌بربودن روش‌های اندازه‌گیری و ابهامات موجود، وضعیت آلودگی خاک را مشخص و کنترل کرد. بررسی میزان کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی طی فرایند گیاه‌پالایی در حضور گیاهان زراعی سورگوم و جو نیز از دیگر اهداف این پژوهش بود.

۲. مواد و روش بررسی

الف) آماده‌سازی و اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

برای انجام این پژوهش ابتدا نمونهٔ خاک آلوده به آلاینده‌های نفتی از مناطق آلودهٔ مجاور واحد گوگرد

www.SID.ir

Archive of SID

پالایشگاه اصفهان (″۵۳ ′۴۶ °۳۲ و ″۲۷ ′۳۰ °۵۱) که محل انباشت ضایعات نفتی است، جمع‌آوری شد. خاک غیرآلوده نیز از زمین‌های اطراف همان منطقه برداشت شد. پس از هوا خشک کردن، نمونه‌های خاک، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، قابلیت هدایت الکتریکی در عصارهٔ گل اشباع، pH در عصارهٔ ۱ به ۲/۵، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با شعله‌سنج، نیتروژن کل به روش کلدال (Bremner and Mulvaney, 1982) و آهک به روش تیتراسیون با سود (Black, et al., 1965) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

برای تعیین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در خاک، پس از عصاره‌گیری ترکیبات نفتی به روش سوکسله با نسبت مساوی ان- هگزان و دی کلرومتان غلظت این ترکیبات با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) (ISO, 2006) تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده و شاهد مورد مطالعه

ویژگی	خاک آلوده	خاک شاهد
بافت	لومی رسی شنی	لومی رسی شنی
pH	۷/۳	۷/۹
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۳/۲	۱/۷
مواد آلی (درصد)	۴/۷	۰/۸
نیتروژن کل (درصد)	۰/۹	۰/۰۷
آهک (درصد)	۲۵	۳۲
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۷۴	۴۲
پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۴	۱۹

جدول ۲. غلظت بعضی از هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHs) و غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در خاک آلودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه

PAHs	غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
Naphthalene	۴۵
Phenantherene	۳۴
Anthracene	۶
Fluoranthene	۲۹
Pyrene	۱۶
Benzo[k]fluoranthene	۰/۴
Benzo[a]pyrene	۰/۷
TPHs	۷۵۰۰۰

ب) آزمایش‌های گیاه‌پالایی

برای تهیهٔ ستون‌های خاک در مطالعهٔ گیاه‌پالایی، لوله‌هایی از جنس پولیکا به قطر دهانهٔ ۲۰ و ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متر که سانتی‌متر انتهای آن‌ها فیلتر شنی قرار داشت و برای نمونه‌برداری نهایی در عمق‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر سوراخ شده بودند، استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. ستون‌های آماده‌سازی‌شده برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک

شکل ۲. توری فلزی قرارداده‌شده در انتهای ستون‌های خاک برای جلوگیری از خروج اجزای فیلتر شنی

با توجه به چگالی ظاهری خاک و حجم لوله‌های پولیکا، ۴۵ کیلوگرم خاک آلوده در چند مرحله، در ستون‌های آماده‌شده ریخته شد. در مجموع ۱۸ ستون خاک آلوده و بدون آلودگی (شاهد) برای کاشت بذر گونه‌های گیاهی سورگوم (Sorghum bicolor) و جو (Hordeum vulgare) و نمونه‌های بدون گیاه (برای حذف آثار محیطی در غلظت آلاینده‌های نفتی) در نظر گرفته شد. برای بررسی مقاومت و پایداری هر گیاه در خاک آلوده و اثر آن‌ها در کاهش غلظت TPHs، گیاهان تا ۱۲۰ روز پس از کاشت نگه داشته شدند. پس از اتمام این مدت، غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی خاک در اعماق ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری تیمارهای مختلف، وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد.

ج) مدل‌سازی فازی

فرایند مدل‌سازی فازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و جعبهٔ ابزار منطق فازی در ۳ بخش انجام شد:

www.SID.ir

Archive of SID

۱. فازی‌سازی ورودی‌ها و خروجی

در این بخش، داده‌های ورودی (عمق و زمان) و خروجی (غلظت TPHs) براساس متغیرهای زبانی و با استفاده از توابع عضویت مناسب فازی‌سازی شدند. ورودی عمق با ۴ متغیر زبانی شامل عمق خیلی کم (۰–۲۵ سانتی‌متر)، کم (۲۵–۵۰ سانتی‌متر)، متوسط (۵۰–۷۵ سانتی‌متر) و زیاد (۷۵–۱۰۰ سانتی‌متر) و ورودی زمان با دو متغیر زبانی کم (۰–۲۰ روز) و زیاد (۲۰–۱۲۰ روز) به مدل فازی معرفی شدند. غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (متغیر هدف) نیز در قالب ۴ متغیر زبانی کم (۳۰۰۰۰–۳۸۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، متوسط (۳۸۰۰۰–۴۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، زیاد (۴۲۰۰۰–۵۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خیلی زیاد (۵۹۰۰۰–۶۵۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تعریف شد. در خصوص عمق و غلظت آلودگی از توابع عضویت گوسی شکل و برای زمان از تابع عضویت مثلثی شکل استفاده شد. این توابع با روش سعی و خطا تعیین شدند.

۲. تعریف قوانین فازی، اعمال عملگرهای فازی برای ترکیب روابط فازی و تجمیع خروجی‌ها

قوانین فازی با توجه به مقادیر اندازه‌گیری‌شده تعریف و از عملگر T- نرم and برای حاصل‌ضرب ورودی‌ها و S- نرم Or برای اجتماع خروجی‌ها به‌ازای قانون‌های گوناگون تعریف‌شده، استفاده شد.

۳. غیرفازی‌سازی

غیرفازی‌سازی در واقع تولید خروجی معین است. در این پژوهش از روش استنتاج فازی ممدانی و برای غیرفازی‌سازی از روش مرکز ثقل استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

الف) آزمایش‌های گیاه‌پالایی

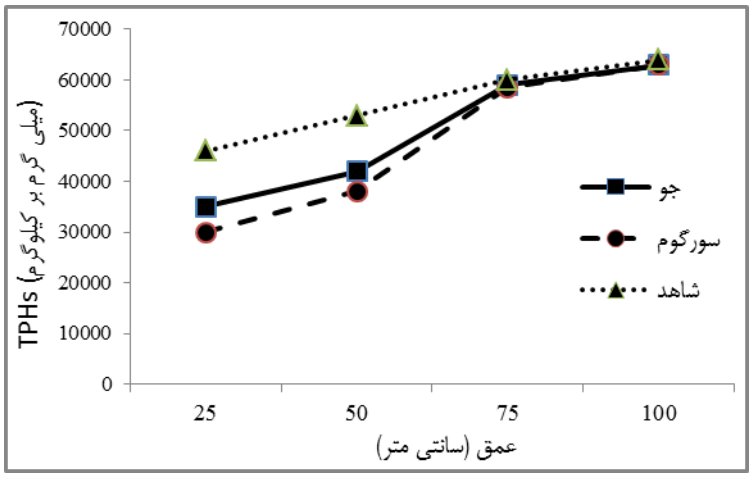
شکل ۳ میانگین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) برای سه تیمار جو، سورگوم و بدون گیاه (شاهد) در چهار عمق مورد مطالعه را به صورت جداگانه نشان می‌دهد. با افزایش عمق، غلظت TPHs زیادتر و تفاوت میانگین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی برای تیمارهای گوناگون کمتر شده است. به گونه‌ای که در عمق ۰–۲۵ سانتی‌متر، تفاوت میانگین غلظت TPHs در دو تیمار کشت‌شده و شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، اگرچه بین دو تیمار جو و سورگوم تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۳). دلیل اصلی این نتیجه ممکن است آن باشد که ریشهٔ هر دو گیاه عمدتاً در این عمق توسعه یافته است. گیاهان جو و سورگوم، هر دو دارای سیستم ریشه‌ای گسترده‌اند که به دلیل سطح ویژه‌شان سبب افزایش فعالیت میکروبی ناحیهٔ ریشه و به این طریق سبب افزایش سرعت تجزیهٔ ترکیبات نفتی در خاک می‌شوند (Hutchinson, et al., 2001). سورگوم و جو به ترتیب سبب کاهش حدود ۶۴ و ۵۲ درصدی غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی نسبت به غلظت اولیهٔ این ترکیبات در شروع دورهٔ آزمایش شدند که نسبت به تیمارهای بدون گیاه، ۲۳–۳۵ درصد بیشتر است. در عمق ۲۵–۵۰ سانتی‌متر تفاوت میانگین غلظت TPHs در دو تیمار کشت‌شده و شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. این تفاوت برای دو تیمار جو و سورگوم نیز معنی دار بود. این امر ممکن است به این دلیل باشد که گستردگی و نفوذ ریشهٔ گیاه سورگوم در این عمق نسبت به ریشه‌های جو بیشتر بود. در عمق‌های ۵۰–۷۵ و ۷۵–۱۰۰ سانتی‌متر، تفاوت میانگین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی برای هر سه تیمار در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود، زیرا ریشه‌های گیاه سورگوم و جو در این عمق‌ها حضور نداشتند. بنابراین، شرایط برای هر سه تیمار تقریباً یکسان است و میانگین غلظت هیدروکربن‌های نفتی در هر سه تیمار تفاوت چندانی نداشت (شکل ۳). در واقع گیاهان قادرند از طریق رهاسازی عناصر غذایی و ترشحات خود در خاک، انتقال اکسیژن به ناحیهٔ ریشهٔ خود، تحریک و افزایش فعالیت جمعیت میکروبی تخریب‌کنندهٔ آلاینده‌های نفتی سبب افزایش تخریب این آلاینده‌های آلی در خاک شوند (Smith, et al., 2006). در مجموع به نظر می‌رسد تخریب آلودگی خاک ناشی از افزایش فعالیت میکروبی در

www.SID.ir

Archive of SID

منطقهٔ ریزوسفر است. نقش ریزوسفر در فرایند گیاه‌پالایی ترکیبات نفتی، نقش ویژه‌ای است که رابطهٔ بین ریشهٔ گیاه و جمعیت میکروبی موجود در آن ناحیه را بیان می‌کند. در واقع واکنش بین ریشهٔ گیاه و جمعیت میکروبی موجود در ریزوسفر سبب افزایش معنی‌دار تجزیهٔ ترکیبات نفتی در خاک می‌شود. محیط ریزوسفر با فراهم‌کردن شرایط بهینه در جهت فعالیت میکروبی در تخریب آلاینده‌ها مؤثر است (Fang, et al., 2001). همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر سه تیمار با افزایش عمق، غلظت هیدروکربن‌های نفتی افزایش می‌یابد که یکی از دلایل این امر می‌تواند حضورنداشتن ریشهٔ گیاه (محیط ریزوسفری) در اعماق بیشتر خاک باشد.

در پژوهش‌های مشابه نیز نقش مؤثر گیاهان مختلف در پالایش خاک آلوده به نفت نشان داده شده است. برای مثال، Liste و Alexander (۲۰۰۰) توانایی ۹ گونهٔ گیاهی مختلف برای کاهش غلظت Pyrene در خاک آلوده را بررسی کردند. ایشان گزارش کردند که پس از گذشت ۸ هفته، میانگین حذف Pyrene از خاک در حضور گیاهان، ۷۴ درصد و در خاک بدون گیاه کمتر از ۴۰ درصد بود. Hutchinson و همکاران (۲۰۰۱) کاهش حدود ۶۸ و ۶۲ درصدی غلظت هیدروکربن‌های نفتی در خاک را به ترتیب در حضور مرغ‌پنجه‌ای و فسکیو گزارش کردند. Peng و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که متوسط کارایی حذف TPHs به وسیلهٔ گیاه Mirabilis Jalapa L طی ۱۲۷ روز از دورهٔ کشت، ۴۱–۶۳ درصد بود، در حالی که میزان حذف طبیعی (بدون گیاه) فقط ۱۹–۳۷ درصد بود. Lu و همکاران (۲۰۱۰) به افزایش ۲۸ درصدی کاهش غلظت Pyrene در خاک آلوده در حضور گیاه Bidens maximowicziana نسبت به تیمار بدون گیاه دست یافتند.



شکل ۳. تغییرات غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در عمق‌های گوناگون خاک برای تیمارهای مختلف

ب) عملکرد مادهٔ خشک گیاهان

نتایج آماری تجزیهٔ واریانس نمایان گر آن است که نوع گیاه و خاک در عملکرد مادهٔ خشک ریشه و اندام هوایی اثرگذار بوده است (شکل ۴). مقایسهٔ میانگین های وزن خشک اندام هوایی و ریشهٔ دو گیاه سورگوم و جو در خاک آلوده نشان داد که وجود هیدروکربن های نفتی در خاک، موجب کاهش رشد و عملکرد مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شده است (شکل ۴). به گونه ای که کاهش حدود ۲۲ و ۳۰ درصدی عملکرد مادهٔ خشک ریشه و حدود ۵۱ و ۴۲ درصدی عملکرد مادهٔ خشک اندام هوایی به ترتیب برای جو و سورگوم در تیمار آلوده نسبت به تیمار شاهد دیده شد. بیشترین مقدار وزن

www.SID.ir

Archive of SID

خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار شاهد، برای گیاه سورگوم و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار آلوده برای گیاه جو بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد که مسمومیت ایجادشده به سبب وجود آلاینده‌های نفتی در خاک و ایجاد محدودیت در رشد و توسعهٔ ریشه و کاهش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی، از عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد مادهٔ خشک گیاهی در خاک آلوده است (Chaineau, et al., 1997). Cheema و همکاران (۲۰۰۹) نیز در پژوهشی مشابه به کاهش ۵۳/۵ و ۲۹/۷ درصدی عملکرد مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشهٔ گیاه Festuca arundinacea در خاک آلوده به فنانترن و پیرین بعد از ۶۵ روز از رشد این گیاه اشاره کردند.

شکل ۴. نتایج عملکرد مادهٔ خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان سورگوم و جو در تیمارهای شاهد و آلوده بعد از ۱۲۰ روز

حروف مختلف (حروف بزرگ برای اندام هوایی و حروف کوچک برای ریشه) نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

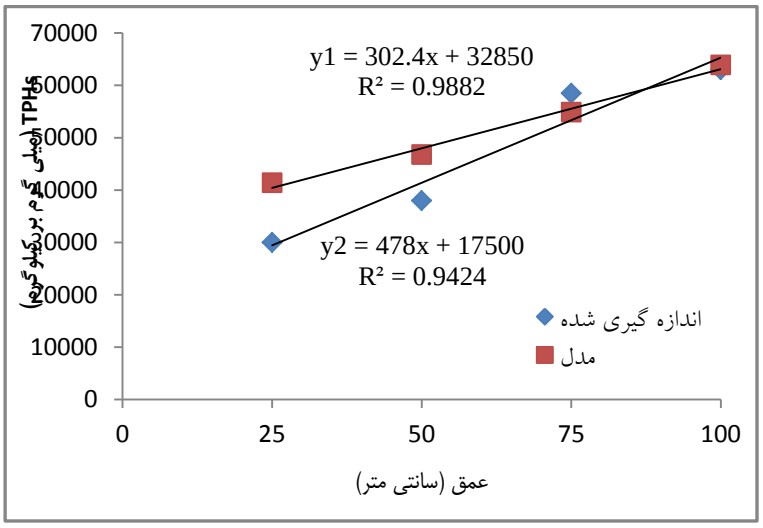
ج) مدل‌سازی فازی تغییرات غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی

شکل ۵ مقایسهٔ مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ غلظت TPHs در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی‌شدهٔ حاصل از مدل منطق فازی پس از گذشت ۱۲۰ روز در عمق‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. با توجه به ضرایب تبیین محاسبه‌شده، به نظر می‌رسد که مدل فازی، برای تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی در اعماق مختلف خاک طی فرایند گیاه‌پالایی قابلیت بالایی دارد. میانگین خطای نسبی پایین حدود ۱۱ درصد نیز تأییدکنندهٔ این مطلب است. از آنجا که اندازه‌گیری کمّی هیدروکربن‌های نفتی مشکل، وقت‌گیر و هزینه‌بر است و محدودیت دسترسی به نمونه‌های خاک در اعماق مختلف طی فرایند گیاه‌پالایی وجود دارد، به نظر می‌رسد که استفاده از مدل فازی برای تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی نسبت به زمان و اعماق مختلف خاک طی فرایند گیاه‌پالایی جایگزین مناسبی باشد. در واقع مدل فازی به محدودیت‌های موجود صورت‌بندی ریاضی بخشیده است و به دلیل دارابودن مفاهیم ساده و انعطاف‌پذیر، زمینه را برای تصمیم‌گیری و استدلال فراهم می‌کند. در پژوهشی مشابه بسالت پور و همکاران (۱۳۹۰) نیز برای انتخاب گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، از روش تصمیم گیری فازی براساس الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نتایج نشان داد که کشت همزمان اگروپایرون- فسکیو و نسبت اختلاط ۱ به ۱ خاک آلوده و خاک غیرآلوده به منظور گیاه‌پالایی آلاینده‌های نفتی موجود مناسب‌تر است.

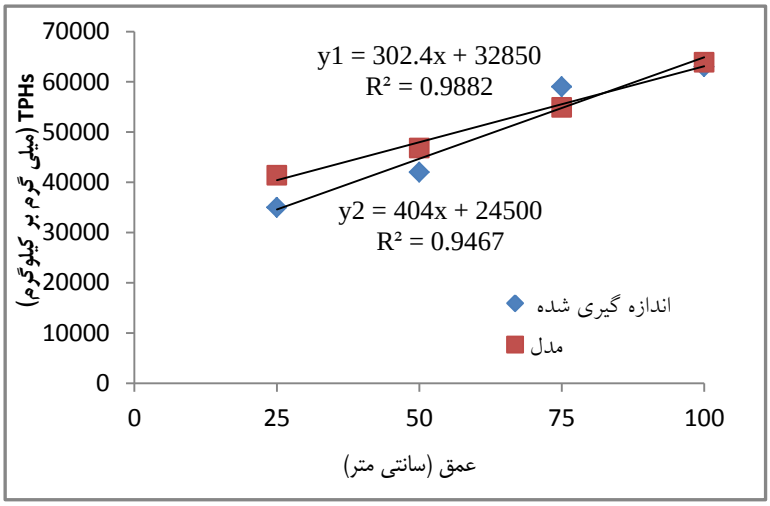
www.SID.ir

Archive of SID

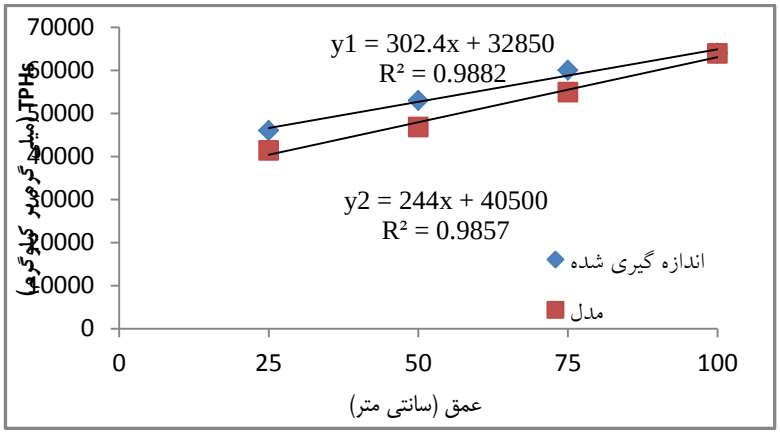
الف)



ب)



پ)



شکل ۵. مقایسهٔ غلظت کل اندازه‌گیری‌شدهٔ هیدروکربن‌های نفتی با مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل منطق فازی در عمق‌های مختلف خاک برای تیمار سورگوم (الف)، جو (ب) و بدون گیاه (شاهد) (پ)

www.SID.ir

Archive of SID

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت استفاده از روش گیاه‌پالایی برای کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در خاک‌های اطراف پالایشگاه اصفهان بررسی شد. همچنین، از منطق فازی برای مدل‌سازی تغییرات غلظت TPHs در اعماق مختلف خاک طی فرایند گیاه‌پالایی استفاده شد. میزان کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلودهٔ کشت شده با سورگوم و جو در محدودهٔ ریشه حدود ۵۲-۶۴ درصد تعیین شد که نسبت به خاک آلودهٔ بدون گیاه ۲۳-۳۵ درصد بیشتر بود. اهمیت واقعی این موضوع وقتی خود را نشان می‌دهد که ذکر شود آلاینده‌های آلی حتی در غلظت‌های بسیار اندک، تهدیدی جدی برای سلامتی بشر محسوب می‌شوند، بنابراین افزایش در میزان حذف آلاینده‌های نفتی در حضور گیاه سورگوم و جو نقشی مهم در بهبود وضعیت خاک منطقه دارد. نتایج مدل‌سازی فازی نیز بیانگر آن بود که مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری‌شده مطابقت خوبی داشتند. لذا استفاده از این مدل برای مناطق آلودهٔ دیگر نیز پیشنهاد می‌شود. البته با توجه به اینکه ورودی عمق دارای ۴ تابع عضویت، ورودی زمان دارای ۲ تابع عضویت و خروجی دارای ۴ تابع عضویت بود و به این ترتیب در مجموع ۱۰ تابع مختلف وجود داشته که امکان تغییر پارامترهای آن‌ها به عهدهٔ کاربر است و از آنجا که تغییر هر کدام از این پارامترها روی مقدار عددی خروجی مؤثر است، تعیین مقدار صحیح این پارامترها به راحتی ممکن نیست. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی برای تعیین مناسب‌ترین پارامترهای توابع عضویت از روش‌های بهینه‌سازی پارامترها مثل الگوریتم ژنتیک به منظور بهبود کارایی مدل فازی، استفاده شود.

منابع

بسالت‌پور، ع. ا.، حاج‌عباسی، م. ع.، خوش‌گفتارمنش، ا. م.، شیخ‌الاسلام، و. ۱۳۹۰. «تصمیم‌گیری فازی براساس الگوریتم ژنتیک برای انتخاب گیاه مناسب جهت گیاه پالایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی»، مجلهٔ *پژوهش‌های خاک* (علوم خاک و آب)، شمارهٔ ۲۵، صص ۶۱-۷۰.

Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wis.

Bremner, J. and Mulvaney, C. 1982. Nitrogen total. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, pp. 595-624.

Chaineau, C.H., Morel, J.L. and Oudot, J. 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons, Journal of Environmental Quality, 26(6): pp.1478-1483.

Cheema, S.A., Khan, M.I., Tang, X., Zhang, C., Shen, C., Malik, Z., Ali, S., Yang, J., Shen, K., Chen, X. and Chen, Y. 2009. Enhancement of phenanthrene and pyrene degradation in rhizosphere of tall fescue (Festuca arundinacea), Journal of Hazardous Materials, 166(2): pp.1226-1231.

Fang, C., Radosevich, M. and Fuhrmann, J.J. 2001. Atrazine and phenanthrene degradation in grass rhizosphere soil, Soil Biology and Biochemistry, 33(4): pp.671-678.

Fisher, B. 2003. Fuzzy environmental decision-making: applications to air pollution, Atmospheric Environment, 37(14): pp. 1865-1877.

Gong, L. and Jin, C. 2009. Fuzzy comprehensive evaluation for carrying capacity of regional water resources, Water resources management, 23(12): pp. 2505-2513.

www.SID.ir

Archive of SID

Haiyan, W. 2002. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China, Journal of Environmental Management, 66(3): pp. 329-340.

Hutchinson, S.L., Banks, M.K. and Schwab, A.P. 2001. Phytoremediation of aged petroleum sludge, Journal of Environmental Quality, 30(2): pp. 395-403.

ISO (International Organization for Standardization). 2006. Soil quality-Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS), ISO 18287:2006, International Organization for Standardization, Geneva.

Kamath, R., Rentz, J.A., Schnoor, J.L. and Alvarez, P.J.J. 2004. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications, Studies in surface science and catalysis, 151: pp. 447-478.

Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M. and Machado, M.A.S. 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil, Ecological Indicators, 9(6): pp. 1188-1197.

Liste, H.H. and Alexander, M. 2000. Accumulation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere soil, Chemosphere, 40(1): pp. 11-14.

Liu, L., Zhou, J., An, X., Zhang, Y. and Yang, L. 2010. Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges region, China, Expert Systems with Applications, 37(3): pp. 2517-2521.

Lu, X., Li, L.Y., Lei, K., Wang, L., Zhai, Y. and Zhai, M. 2010. Water quality assessment of Wei River, China using fuzzy synthetic evaluation, Environmental Earth Sciences, 60(8): pp. 1693-1699.

Mirabbasi, R., Mazloumzadeh, S.M. and Rahnama, M.B. 2008. Evaluation of irrigation water quality using fuzzy logic, Research Journal of Environmental Sciences, 2(5): pp. 340-352.

Muhammetoglu, A. and Yardimci, A. 2006. A fuzzy logic approach to assess groundwater pollution levels below agricultural fields, Environmental monitoring and assessment, 118(1-3): pp. 337-354.

Newman, L.A. and Reynolds, C.M. 2005. Bacteria and phytoremediation: new uses for endophytic bacteria in plants, Trends in Biotechnology, 23(1): pp. 6-8.

Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J.L. and Schuhmacher, M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study, Environment International, 32(6): pp. 733-742.

Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: Methods of soil analysis, Part 2, pp. 403-431 American Society of Agronomy, Madison, Wis.

Onkal-Engin, G., Demir, I. and Hiz, H. 2004. Assessment of urban air quality in Istanbul using fuzzy synthetic evaluation, Atmospheric Environment, 38(23): pp. 3809-3815.

Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z. and Zhang, Z. 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by Mirabilis Jalapa L. in a greenhouse plot experiment, Journal of Hazardous Materials, 168(2): pp. 1490-1496.

Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemim Aghda, S.M., Mahdavifar, M.R. and Mohammdi, M. 2009. Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision-Making Method, Iranian journal of Watershed Management Science & Engineering, 3(8): pp. 51-63.

Shu, C. and Burn, D.H. 2004. Homogeneous pooling group delineation for flood frequency analysis using a fuzzy expert system with genetic enhancement, Journal of Hydrology, 291(1): pp. 132-149.

Smith, M.J., Flowers, T.H., Duncan, H.J. and Alder, J. 2006. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues, Environmental

www.SID.ir

Archive of SID

Pollution, 141(3): pp .519-525.

Sowlat, M.H., Gharibi, H., Yunesian, M., Tayefeh Mahmoudi, M. and Lotfi, S. 2011. A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment, Atmospheric Environment, 45(12): pp. 2050-2059.

Tang, J., Lu, X., Sun, Q. and Zhu, W. 2012. Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation conditions, Agriculture, Ecosystems & Environment, 149: pp. 109-117.

Wang, J., Lu, X., Tian, J. and Jiang, M. 2008. Fuzzy synthetic evaluation of water quality of Naoli River using parameter correlation analysis, Chinese Geographical Science, 18(4): pp. 361-368.

Zadeh, L.A. 1971. Quantitative fuzzy semantics. Information sciences, 3(2): pp. 159-176.

Zhao, Y.W. and Yang, Z.F. 2009. Integrative fuzzy hierarchical model for river health assessment: A case study of Yong River in Ningbo City, China, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation,14(4): pp. 1729-1736.

www.SID.ir