

میزان و الگوی پراکنش فلزات سنگین (Cd و Ni) در خاک‌های متأثر از آلودگی‌های هیدروکربنی

حدیث فیضی^{۱*}، مصطفی چرم^۱ و ارسلان حیدری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۳۱)

چکیده

به منظور بررسی آثار آلاینده‌های هیدروکربن‌های نفتی در خاک، الگوی پراکنش و تأثیرپذیری فلزات سنگین (Cd و Ni) مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌برداری از یک میدان نفتی در غرب ایران که به‌طور طبیعی به علت نشت مواد نفتی طی عملیات حفر، بهره‌برداری و انتقال در معرض آلودگی محیطی قرار داشت، انجام شد. نمونه‌برداری از فواصل مجاور چاه نفتی با حداکثر آلودگی نسبی آغاز و در فواصل دورتر در قالب طرح شبکه‌ای ادامه یافت. نمونه‌ها به واسطه آزمون‌های فیزیکوشیمیایی ارزیابی شدند. آزمون‌های شیمیایی مقادیر ماده نفتی (بیتومین) را در خاک‌ها از ۰/۱۲ تا ۲/۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک، مقادیر نیکل را از ۰/۳۲ تا ۱۳۶/۸ و کادمیم را از صفر تا ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک نشان دادند. در این میان نقش عوامل خاکی مانند pH و EC و همچنین شاخص‌های رسوبی در کنترل روند آلودگی در خاک حائز اهمیت بود. در نهایت طرح درونیابی و پیش‌بینی مقادیر نامعلوم با استفاده از روش درونیابی کریجینگ و در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی، به‌طور واضح کاهش مقادیر مشخصه‌های آلودگی را با افزایش مسافت از مراکز آلودگی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: هیدروکربن‌ها، فلزات سنگین، خاک، کریجینگ

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hfeizi.soil2008@yahoo.com

مقدمه

آلودگی زیست محیطی از مسائل مهمی است که جوامع مختلف با آن روبه‌رو هستند. گسترش روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی‌رویه بشر در طبیعت، آلودگی منابع آب، خاک و هوا را به دنبال داشته است. از اواسط ۱۹۸۰ میلادی، آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی به عنوان یک مسأله بحرانی زیست محیطی در دنیا مطرح شده است اما در جوامع پیشرفته شناخت و پیگیری سرنوشت آلاینده‌ها به طرز چشمگیری مقدار آلودگی وارد شده به محیط را کاهش داده است. بر اساس مطالعات نادال و مارتی بخش صنعتی هنوز مهم‌ترین بخش ایجاد کننده آلودگی محیطی است، به طوری که انتشار فلزات سنگین از جمله وانادیم (V) و کروم (Cr) به محیط زیست عمدتاً در طول فرآیندهای پالایش و تولید پسماندهای نفتی (رسوبات) صورت گیرد (۱۲).

۱. ساختار نفت

نفت احتمالاً پیچیده ترین ترکیب آلی روی کره زمین است. مشخص شده است که بیش از ۱۷۰۰۰ ترکیب شیمیایی در این ماده وجود دارد. نفت خام یک ماده یکنواخت و هموزن نیست. هر ترکیب نفتی طیف متفاوتی از مواد شیمیایی را دارد که بر روی پایداری و تجزیه پذیری آن تأثیر می‌گذارد. نفت خام اساساً از هیدروکربن‌ها تشکیل شده است. این هیدروکربن‌ها که بین ۱ تا ۵۰ اتم کربن دارند در سه گروه پارافینی (آلکان‌ها)، نفتی (سیکلو آلکان‌ها) و آروماتیک قرار می‌گیرند. علاوه بر هیدروکربن‌ها، نفت دارای مقدار کمی ترکیبات آلی گوگرددار، نیتروژن‌دار و اکسیژن‌دار و مقدار بسیار جزئی ترکیبات آلی-فلزی با پایه نیکل، وانادیم و آهن می‌باشد (۱۳). به طور کلی آگاهی از ماهیت ماده نفتی نفوذ کرده در خاک (Bitumine) و واکنش‌های شیمیایی آن با بخش‌های مختلف خاک مستلزم شناخت دقیق این ترکیبات است.

۲. فلزات سنگین و منشأ هیدروکربنی

نفت خام شبکه پیچیده‌ای است که در آن فلزات در شکل‌های مختلف آلی و غیرآلی وجود دارند. تجزیه شیمیایی ترکیبات نفتی مختلف با گرانروی‌ها و غلظت‌های متفاوت آسفالتن مختلف نشان داده است که هرچه باقیمانده نفتی بیشتر باشد، مقدار فلزات سنگین هم در آن بیشتر است (۷). آنچه که اخیراً از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد این است که براساس مطالعات دایک آلودگی خاک، آب و رسوبات با نفت خام و پیامدهای آن به‌طور مرسوم از طریق محاسبه هیدروکربن‌های سمی (پلی آروماتیک‌های BTX) انجام می‌گیرد، خصوصاً این‌که به تازگی V, Ni, و سایر فلزات سنگین (Cd, Cu, Pb) در تجزیه خاک‌ها و بافت‌های زنده آلوده به نفت خام استخراج شده‌اند (۷). بر اساس مطالعات صورت گرفته تا کنون، فلزات سنگین به ویژه سرب، کادمیم، مس و جیوه حتی در مقادیر جزئی به عنوان یک تحدید بزرگ برای سلامت انسان تلقی می‌شوند، به طور مثال بیماری رایج موسوم به "ایتای ایتای" در ژاپن، کم کاری کلیه و پوکی استخوان در بلژیک و چین از اثرات بارز آلودگی منابع خاک و آب آنها به مقادیر بالای کادمیم است (۱، ۴، ۹ و ۲۱).

۳. اهمیت علم زمین آمار در مطالعات زیست محیطی

علم زمین آمار از جمله دقیق‌ترین علمی است که علاوه بر توصیف تغییر مکانی و زمانی داده‌ها، قادر به تولید نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد. کاربرد گسترده فلزات سنگین در صنعت و مهم‌تر از همه نقش بسیاری از این عناصر در آلودگی محیط زیست، از جمله عواملی است که نقش آنها را برجسته ساخته است (۱۲). در کشور ما نیز با توجه به توسعه صنعتی در چند دهه اخیر، بررسی فلزات سنگین و آثار آنها در محیط زیست از جمله خاک از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد که علی‌رغم همه اثرات مخرب زیست محیطی هنوز از توجه متخصصان دور مانده است و تحقیقات انجام شده در کشور به چند مورد از جمله تحقیقات

جداسازی آسفالتن از نمونه‌های نفتی، جداسازی سه برش دیگر شامل برش اشباع، برش آروماتیک و رزین صورت گرفت.

۳. آزمون‌های آماری

آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18.0 انجام شدند. متغیرهای آماری پایه (حداقل، حداکثر، میانگین، خطای استاندارد میانگین، کشیدگی و چولگی) برای متغیرهای مورد نظر محاسبه شده و سپس وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف تعیین شد (جدول ۱). علاوه بر بررسی و توصیف داده‌های مربوط به یک خصوصیت، آنالیز هم‌بستگی بین خصوصیات مختلف توسط نرم‌افزار SPSS 18.0 صورت گرفت.

۳. ۱. آنالیزهای فضایی

برای ایجاد واریوگرام از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 استفاده شد. واریوگرام ارتباط مکانی داده‌ها را به طور مختصر بیان می‌کند و اولین گام در مدل سازی به روش کریجینگ است (۲). آنالیز هم‌بستگی مکانی با استفاده از تغییر نما صورت گرفت. این عملیات پس از نرمال‌سازی داده‌ها توسط نرم‌افزار مذکور صورت گرفت. پس از محاسبه و ترسیم تغییر نما در جهات مختلف، وضعیت همسانگردی و ناهمسانگردی خصوصیات مورد مطالعه بررسی گردید. سپس درونیابی به روش کریجینگ صورت گرفت. به واسطه آزمون Cross-Validation بهترین مدل تغییر نما که کمترین خطای تخمین را ایجاد نماید، انتخاب (در اینجا دقت روش مذکور از میانگین خطا و خطای مجذور میانگین استاندارد شده (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت) و درونیابی نهایی بر اساس روش کریجینگ، با توجه به این‌که از بین روش‌های مختلف درونیابی خطای کمتری داشت، صورت گرفت (۲).

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه پس از اندازه‌گیری بدین صورت بودند که مقادیر pH از ۷/۱۸ تا ۸/۲

افیونی (۱)، رحمانی (۲)، گلشاهی (۵) و امینی (۳) محدود می‌شود.

بنابراین هدف از این مطالعه ابتدا اثبات وجود آلودگی‌های هیدروکربنی در منطقه به عنوان آلودگی مبدأ و سپس بررسی سایر آلودگی‌های مشتق شده از آن است که در اینجا به علت اهمیت موضوع به فلزات سنگین و به طور اختصاصی تر به Ni و Cd پرداخته شد.

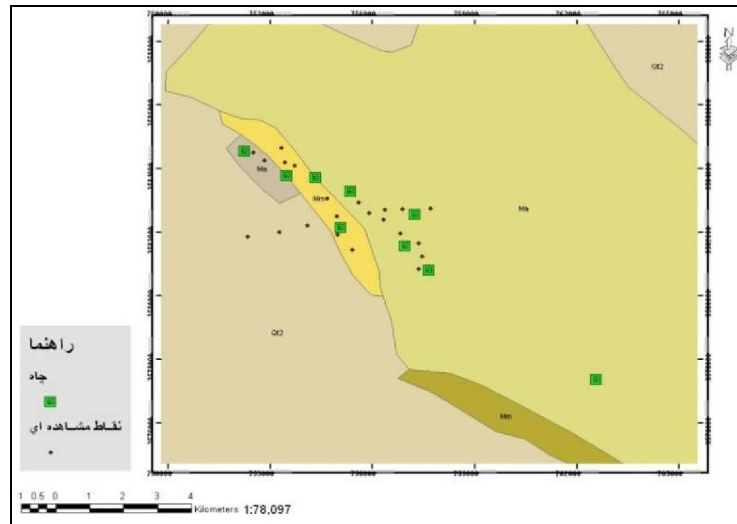
مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه عبارت است از میدان نفتی چشمه خوش استان کرمانشاه واقع شده است. این میدان همواره در معرض ریخت و پاش‌های نفتی ناشی از فرایندهای تولید، توسعه، انتقال و ذخیره نفت خام در حوضه چاه نفتی و در نتیجه آلودگی محیطی و از جمله آلودگی خاک قرار داشته است.

۲. جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد. هر نمونه مرکب از تعداد ۶ زیر مجموعه بوده و در مجموع تعداد ۳۱ نمونه اصلی، با تعیین موقعیت قبلی در دستگاه GPS، در مساحت ۵۰ کیلومتر مربع جمع‌آوری شدند (شکل ۱). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک نایلونی (۲۰۰ mesh) عبور داده شدند. نیکل و کادمیوم به روش هضم سه اسید (هضم ۱۰ گرم خاک توسط ۶۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک، اسید سولفوریک غلیظ، اسید پرکلریک غلیظ با نسبت ۳:۲:۱ و استفاده از هیتر شنی) استخراج و با دستگاه جذب اتمی (atomic absorption)، تعیین غلظت شدند (۷). هم‌چنین کلیه مراحل مربوط به استخراج نفت و کروماتوگرافی براساس دستورالعمل صنعتی نیروزی آنالیزهای ژئوشیمیایی آلی (NIGOGA)، ویرایش چهارم انجام گرفت (۸)، به این صورت که ابتدا استخراج نفت به روش سوکسیله انجام شد و پس از



شکل ۱. نقشه موقعیت مکانی نمونه‌ها و چاه‌های نفتی در نمای زمین‌شناسی منطقه

دادند که وجود مواد آلی، درصد بالای رس و درصد کربنات خاک باعث ابقای قابل توجه فلزات سنگین می‌شوند که بر این اساس، زیست فراهمی فلزات سنگین در خاک کمتر خواهد شد. آنها هم‌چنین اظهار داشتند که باید توجه داشت که منابع انتروپوژنیک (انسان ساخت) و برخی از خصوصیات خاک مانند شوری می‌توانند باعث سهولت حرکت برخی فلزات سنگین (مثلاً کادمیم و مس) بشوند (۱۶).

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲، علی‌رغم Ni که همبستگی مثبت و معنی‌داری را با ماده آلی نشان داد ($P < 0/01$)، همبستگی Cd با ماده آلی معنی‌دار نبود. این یافته قبلاً در مطالعات لیو و ژای و ونگ و همکاران تأیید شده بود (۱۰ و ۲۰). ارتباط فلزات سنگین با ماده آلی خاک همواره پیچیده بوده و چنانچه در مطالعات مختلف آورده شده است، روند ثابتی نداشته است. در مطالعه وو چونفا و همکاران در بررسی‌های زمین‌آماری فلزات سنگین، ماده آلی خاک همبستگی ضعیفی را با میزان فلزات سنگین نشان داد (۲۲). در مطالعه پاپریتز و همکاران بر روی ارزیابی خطر برهمکنش فلزات سنگین و هیدروکربن‌ها، ضریب همبستگی پایین Cd با میزان رس و ماده آلی خصوصاً در شرایط اسیدی به خوبی اثبات شده است (۱۵). ناواس و ماچین در مطالعه خاک‌های آراگون یافتند که نوع خاک در تجمع و

(در عصاره گل اشباع)، ECE از ۰/۷ تا ۱۵/۱۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر (در عصاره گل اشباع)، ماده آلی (OM) از ۰/۷۶ تا ۰/۶۷ (به روش احتراق خشک)، کربن آلی (OC) از ۰/۴۴ تا ۰/۶۷ (به روش احتراق خشک) (در این مطالعه از آنجا که درصد ماده آلی از طریق اعمال ضریب بر درصد کربن آلی به دست آمده، صورت گرفت، لذا مقادیر غیر متعارف گزارش شده را می‌توان به حضور هیدروکربن‌های نفتی در خاک و نقش آنها در افزایش میزان کربن آلی نسبت داد). نیکل (Ni) از ۳۲ تا ۱۳۶/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک و کادمیم (Cd) از صفر تا ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک متغیر بودند.

۱. شاخص‌های رسوبی و فلزات سنگین

در خاک‌های مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقادیر ماده آلی و فلز سنگین Ni مشاهده شد ($P < 0/01$) که البته این همبستگی در مورد Cd معنی‌دار نبود (جدول ۲). ای و گ بو و همکاران در بررسی الگوی پراکنش فلزات سنگین در خاک‌های متأثر از هیدروکربن‌های نفتی در جنوب نیجریه نشان دادند که مقادیر Cu، Cd و Mn همبستگی مثبتی با مقدار ماده آلی دارند که این مسئله حاکی از اتصال فلزات به سایت‌های پیوندی مواد آلی می‌باشد (۸). اسکر و همکاران نشان

جدول ۱. آزمون نرمال بودن داده‌ها

	مسافت (متر)	کولموگروف - اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov ^a)			شاپیرو ویلک (Shapiro-Wilk)		
		آماره	درجه آزادی	Sig.	آماره	درجه آزادی	Sig.
رس	(۰-۳۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۰۳
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲*	۱	۱۴	۰/۵
	(>۱۰۰۰)	۰/۴	۳	۰	۰/۸	۳	۰
پ- هاش	(۰-۳۰۰)	۰/۱	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۲
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۲
	(>۱۰۰۰)	۰/۳	۳	۰	۰/۹	۳	۰/۳
هدایت الکتریکی	(۰-۳۰۰)	۰/۳	۱۴	۰	۰/۷	۱۴	۰
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲	۰/۸	۱۴	۰/۰۲
	(>۱۰۰۰)	۰/۳	۳	۰	۰/۹	۳	۰/۴
ماده آلی	(۰-۳۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲	۰/۹	۱۴	۰/۱
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۱	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۴
	(>۱۰۰۰)	۰/۳	۳	۰	۱	۳	۰/۷
نیکل	(۰-۳۰۰)	۰/۱	۱۴	۰/۲*	۱	۱۴	۰/۹
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۲
	(>۱۰۰۰)	۰/۴	۳	۰	۰/۸	۳	۰/۰۹
کادمیم	(۰-۳۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۰۴	۰/۸	۱۴	۰/۰۱
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۲	۱۴	۰/۰۶	۰/۹	۱۴	۰/۰۲
	(>۱۰۰۰)	۰/۴	۳	۰	۰/۸	۳	۰/۰۱
بیتومین	(۰-۳۰۰)	۰/۱	۱۴	۰/۲*	۰/۹	۱۴	۰/۵
	(۳۰۰-۱۰۰۰)	۰/۴	۱۴	۰	۰/۴	۱۴	۰
	(>۱۰۰۰)	۰/۴	۳	۰	۰/۸	۳	۰

a: ارتباط معنی‌داری لیلیوفروس (Lillioferos)

*: حد پایین معنی‌داری

گریجس دو لینگ و همکاران در مطالعات خود به خوبی نشان داده‌اند که غلظت فلزات سنگین با مکان‌های مختلف نمونه‌برداری تغییر کرده و در مکان‌های با درصد رس و ماده آلی پایین در حد پایینی قرار دارند. از طرفی تنوع غلظت فلزات با عمق خاک تغییر می‌کند و Cd و Cu از جمله فلزاتی هستند که مقدار آنها تا حد زیادی تحت تأثیر عمق نمونه‌برداری قرار

گوناگونی بسیاری از فلزات سنگین تأثیرگذار است (۱۴). در این رابطه شن و یانگ در مطالعات خود عنوان کرده‌اند که در بررسی عوامل تأثیرگذار بر زیست‌فراهمی Cd باید طیف وسیعی از عوامل خاکی از جمله pH, Eh, ماده آلی, CEC, بافت خاک, میزان CaCO₃ و هدایت الکتریکی را بررسی کرد (۱۷).

جدول ۲. هم‌بستگی آماری متغیرها (هم‌بستگی پیرسون)

بیتومین	کادمیم	نیکل	ماده آلی	کربن آلی	هدایت الکتریکی	پ-هاش	رس (%)
۱							رس (%)
						۱	پ-هاش
					۱	-۰/۳	هدایت الکتریکی
				۱	۰/۴	-۰/۵*	کربن آلی
			۱	۰/۹**	۰/۱	-۰/۵**	ماده آلی
		۱	۰/۵**	۰/۶**	۰/۴*	-۰/۵*	نیکل
	۱	۰/۶**	۰/۳	۰/۴*	۰/۲	-۰/۴	کادمیم
۱	۰/۵**	۰/۶**	۰/۲	۰/۳	۰/۵**	-۰/۴*	بیتومین

* هم‌بستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

سنگین غیر از Se، Mo، As، با افزایش میزان pH کاهش می‌یابد که این به دلیل تجمع آنها به صورت هیدروکسیدهای نامحلول، کربنات‌ها و کمپلکس با مواد آلی است. آنها هم‌چنین نشان دادند که در مقادیر بالای pH، هیدرولیز یونی (MOH)⁺ صورت می‌گیرد و تعداد پیوندهای انرژی که باید در هنگام رسیدن یون به سطح ذرات خاک شکسته شوند کاهش می‌یابد (۸). اما به‌طور کلی تحرک‌پذیری فلزات سنگین مسأله پیچیده‌ایست که همواره باید در رابطه با طیف وسیعی از عوامل خاکی بررسی شود.

۴. پ-هاش خاک و هیدروکربن‌ها

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، بین pH و ماده نفتی استخراج شده از خاک (Bitumine) هم‌بستگی آماری معنی‌دار و منفی وجود دارد. در این رابطه می‌توان استدلال کرد که در شرایط پایین بودن اسیدیته خاک، جمعیت‌های میکروبی به‌علت کاهش زیست‌فراهمی فلزات سنگین همواره فعال‌تر بوده و توانایی بالاتری را در تجزیه هیدروکربن‌های خاک خواهند داشت.

می‌گیرند (۶). در همین رابطه، شوگیانگ و هنری در تعیین حدود و مرزهای مناطق آلوده به فلزات سنگین با توجه به عوامل خاکی تأثیر گذار، نشان دادند که در بین فاکتورهای غالب کنترل‌کننده تجزیه آلاینده‌ها در خاک، محیط و بخش‌های مختلف خاک از جمله سطح آن، ترکیب بخش‌های سطحی و واکنش‌پذیری آنها از همه مهم‌ترند. هم‌چنین در مطالعه آنها ذخایر ماده آلی خاک (SOM) با توجه به ظرفیت و شدت جذب متفاوتی که دارند، بر روی تجمع زیستی آلاینده‌های آلی به اندازه تجزیه زیستی آنها تأثیر گذار هستند (۱۸).

۳. پ-هاش خاک و فلزات سنگین

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که هم‌بستگی منفی معنی‌داری بین pH خاک و فلزات سنگین شامل Ni (P < ۰/۰۱) وجود داشته و این در حالی است که این هم‌بستگی منفی در مورد Cd معنی‌دار نبود. ونگ و همکاران نشان دادند که به ازای هر واحد افزایش pH، از غلظت فلزات سنگینی چون Zn، Ni و Cd در محلول خاک دو واحد (میلی‌گرم در کیلوگرم) کاسته می‌شود (۱۹). هم‌چنین طبق نظریه ایوگ بو و همکاران تحرک‌پذیری فلزات

۵. شاخص‌های رسوبی و ترکیبات هیدروکربنی

نتایج جدول ۲ حاکی از هم‌بستگی مثبت ماده آلی (کربن آلی) و ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد که به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند. از طرفی هم‌بستگی مثبتی بین درصد رس خاک میزان بیتومین دیده شد. در مطالعات صورت گرفته توسط کرسین اسکر در استرالیا، تجزیه زیستی هیدروکربن‌ها در بافت ریز با محتوی بالای کربن آلی سریع‌تر و بیشتر بوده در حالی که مقادیر هیدروکربنی در بافت‌های شنی تقریباً ثابت بود (۱۶).

علی‌رغم عدم وجود هم‌بستگی معنی‌دار بین ماده آلی و ترکیب هیدروکربنی در این مطالعه، مطالعات مالپژسکا-کردی باچ و اسمرک زاک نشان داده است که ارتباط مواد آلی و هیدروکربن‌های پلی آروماتیک با افزایش مقدار ماده آلی معنی‌دار می‌شود به گونه‌ای که این هم‌بستگی در مقادیر بیش از ۱/۶٪ مواد آلی معنی‌دار شده است. آنها علت این اختلافات را به وجود منشأ متفاوت آلودگی و منشأ بارگذاری جدید در مناطق وسیع نسبت داده‌اند (۱۱).

۶. ترکیبات هیدروکربنی (بیتومین) و شاخص‌های رسوبی

بر اساس مندرجات جدول ۲، هم‌بستگی مستقیم و معنی‌داری ($P > 0.01$) بین بیتومین و فلزات سنگین Ni و Cd به دست آمد که خود گواه تأثیرپذیری پراکنش فلزات سنگین از آلودگی هیدروکربنی خاک منطقه است.

۷. نقشه پهنه‌بندی پارامترها در منطقه

در این مرحله درون‌یابی و پیش‌بینی مقادیر نامعلوم با استفاده از روش کریجینگ و در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شد. در این رابطه سمی واریوگرام‌های مربوطه به همراه نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرها شامل OM، Bitumene، Ni و Cd تهیه گردیدند (شکل‌های (۲)، (۱-۲)، (۴)، (۱-۴)، (۵ الف)، (۵ ب) و (۵-۱)). مطابق با انتظار، نتایج به طور واضح کاهش مقادیر مشخصه آلودگی و افزایش مقادیر شاخص‌های میکروبی با افزایش مسافت از مراکز آلودگی در فواصل دوردست تر (با

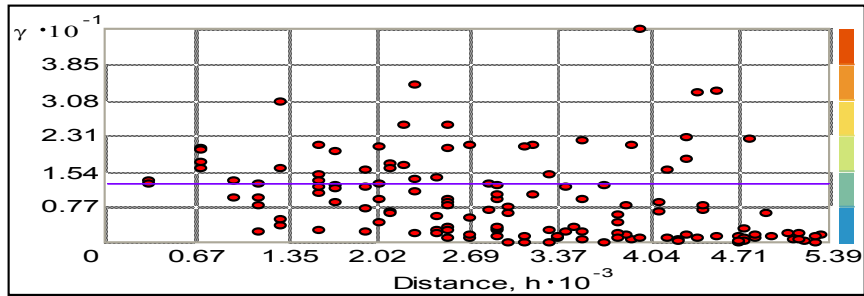
مختصات معلوم) را به عنوان پیش‌بینی نشان داد.

۷.۱. ماده آلی

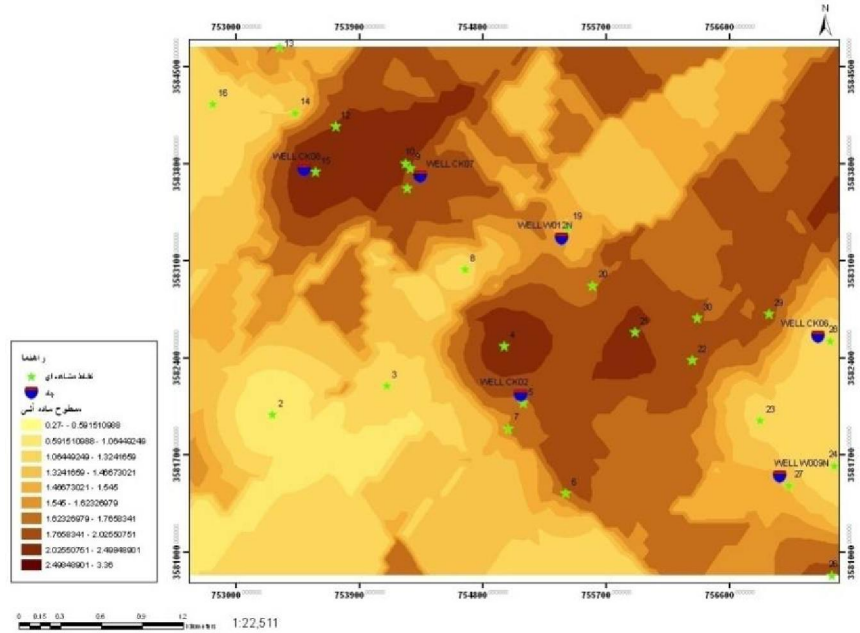
شکل ۲ سمی واریوگرام پراکنش ماد آلی در انتخاب مناسبترین مدل (کریجینگ معمولی) و شکل ۲-۱ پراکنش ماده آلی را نشان می‌دهد. تمرکز چاه‌های فعال ۷، ۸ و ۲ در این بخش‌ها حاکی از ارتباط مستقیم ماده آلی با بیتومین موجود در خاک است که البته طبق جدول ۲ به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین باید نقش سایر عوامل خاکی را در این زمینه بررسی کرد. طبق جدول ۲ بین ماده آلی و pH خاک هم‌بستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.01$). براساس این واقعیت الگوی پراکنش مقادیر بالای ماده آلی با الگوی پراکنش مقادیر بالای pH خاک (شکل ۳) که به‌طور عمده در بخش‌های از شمال، شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه قرار دارند، تا حد زیادی منطبق می‌باشد. در این رابطه اسکر و همکاران در مطالعات خود نشان دادند که در شرایط اسیدی خاک فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک محدود شده و سرعت تجزیه ماده آلی کمتر خواهد شد.

۷.۲. بیتومین

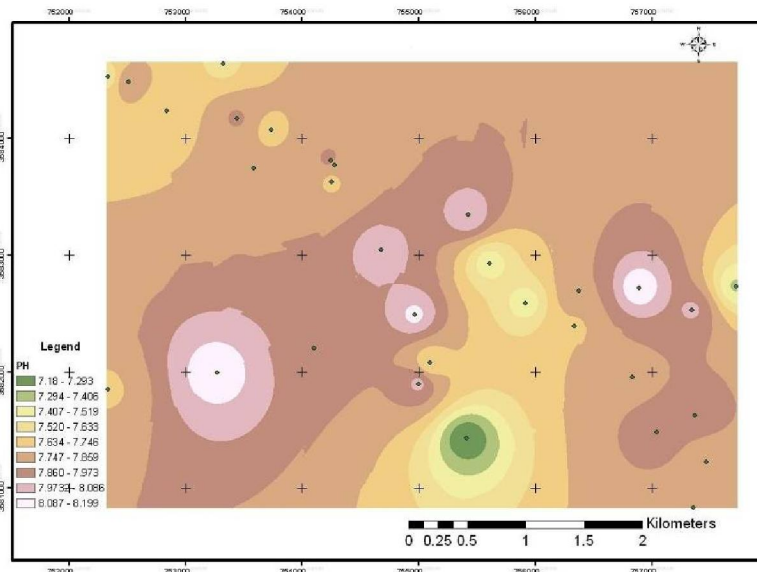
شکل ۴ سمی واریوگرام پراکنش بیتومین در انتخاب مناسبترین مدل (کریجینگ معمولی) و شکل ۴-۱ پراکنش بیتومین را نشان می‌دهد. الگوی توزیع مکانی بیتومین خاک ارتباط مستقیمی را با الگوی پراکنش چاه‌های نفتی نشان می‌دهد به گونه‌ای که حداکثر تمرکز آن در محدوده چاه‌های ۸، ۱۲ و حوضچه سیالات (محدوده نمونه شماره ۶) می‌باشد. میزان متوسط آن هم چاه ۶، ۷، ۵ و ۲ را شامل می‌شود. اما نکته مورد توجه در اینجا، تمرکز مقادیر پایین بیتومین در نواحی حوضه چاه ۴ بود. دلیل آن را می‌توان به متروکه بودن چاه و غیر قابل بهره‌برداری بودن آن نسبت داد. به‌طور کلی پراکنش بیتومین قسمت عمده نیمه شرقی تا مرکز و بخشی از شمال غربی یعنی نقاط عمده تمرکز چاه‌های نفتی را شامل می‌شود.



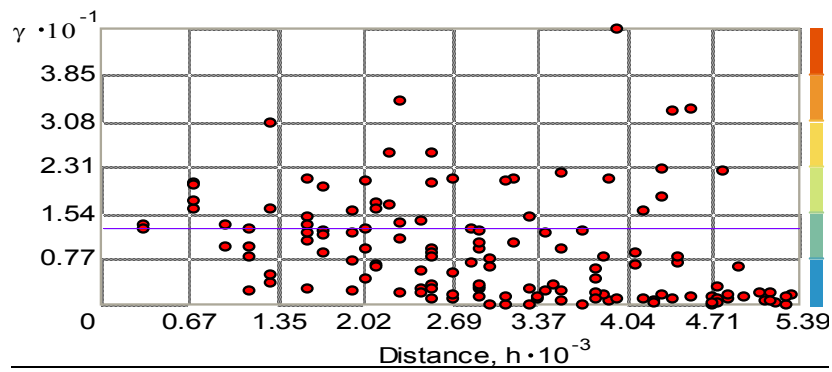
شکل ۲. سمی واریوگرام پراکندگی ماده آلی



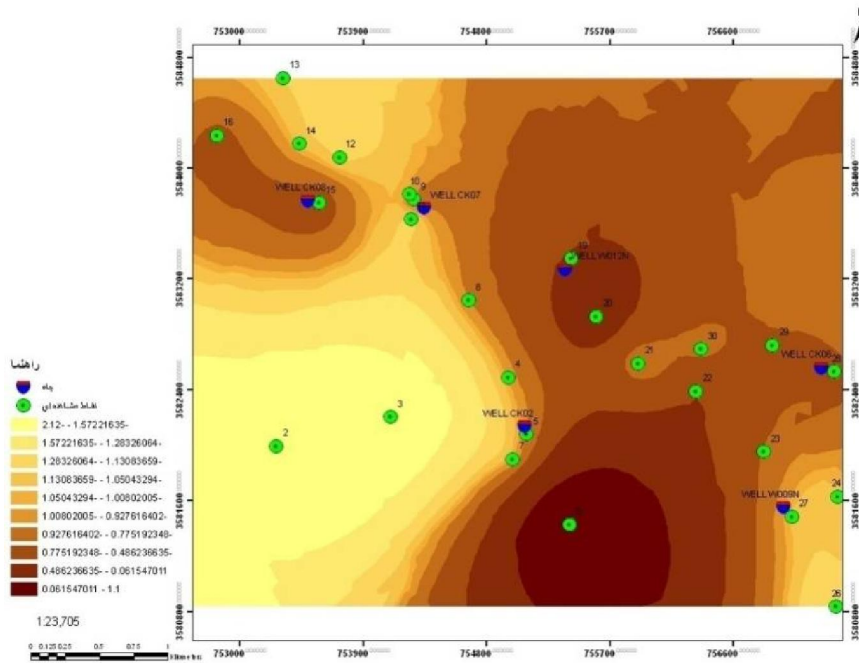
شکل ۲.۱. نقشه پهنه‌بندی ماده آلی خاک



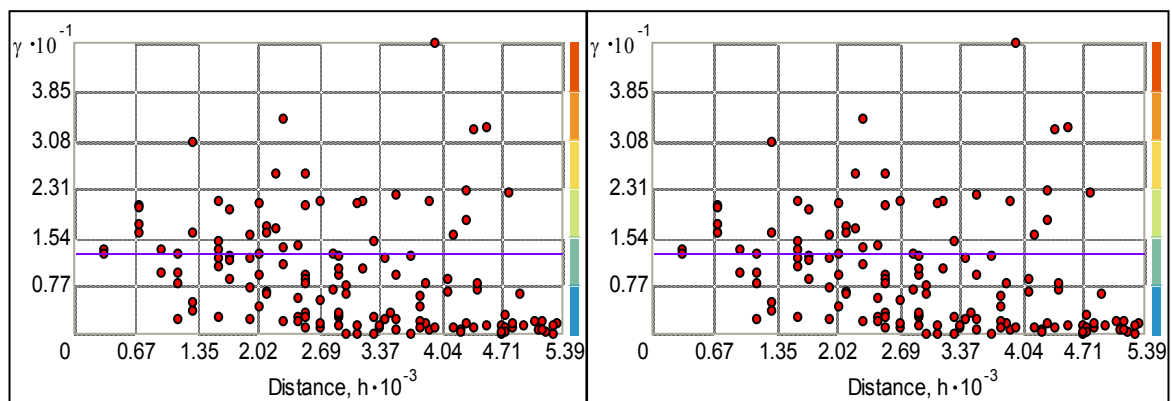
شکل ۳. الگوی پراکنش pH خاک



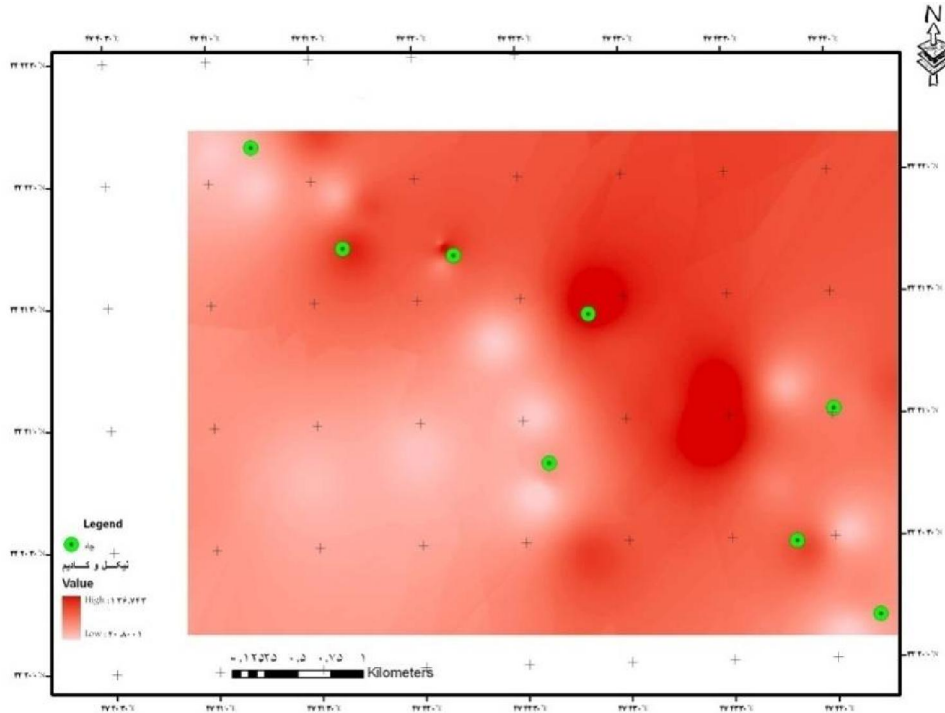
شکل ۴. سمی واریو گرام پراکندگی بیتومین



شکل ۴.۱. نقشه پهنه‌بندی بیتومین



شکل ۵ (الف). سمی واریو گرام پراکندگی Ni شکل ۵ (ب). سمی واریو گرام پراکندگی Cd



شکل ۵.۱. نقشه پهنه‌بندی نیکل و کادمیم

خاک حاکی از آن بود که آلودگی نفتی خاک عامل انتشار آلودگی فلزی در منطقه می‌باشد به گونه‌ای که روند همگامی را با بیتومین در واکنش به افزایش مسافت از مراکز مفروض آلودگی نشان دادند.

سپاسگزاری

اینجانب بر خود لازم می‌دانم که از حمایت‌های شرکت بهره‌برداری نفت و گاز کرمانشاه- مرکزی به ویژه جناب آقایان مهندس عباس گودرزی، مهندس محمد زرگر باشی، مهندس رامنا قائدی، مهندس کمری و همچنین جناب آقایان دکتر بهرام علیزاده و مهندس حسین حسینی در آزمایشگاه پترولوژی اهواز صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

۳.۷. Cd و Ni

شکل‌های ۵ (الف) و ۵ (ب) به ترتیب سمی و اریوگرام‌های پراکنش نیکل و کادمیم در انتخاب مناسب‌ترین مدل (کریجینگ معمولی) و شکل ۵-۱ پراکنش نیکل و کادمیم را نشان می‌دهد. الگوی پراکنش این دو فلز به دلیل هم‌بستگی مثبت و قوی به طور هم‌زمان بررسی شد. تطابق بالای این الگو با الگوی پراکنش بیتومین در خاک می‌تواند مؤید آن باشد که در اینجا نفت آلاینده آغازین است. هم‌چنین در این رابطه، دایک با بررسی و تجزیه خاک‌ها و بافت‌های زنده آلوده به نفت خام و استخراج Ni، V و سایر فلزات سنگین (Cd، Cu، Pb) از آنها، نشان داد که نفت خود منبع مهمی برای آلودگی فلزی در خاک و آب است (۷).

نتیجه‌گیری

مقادیر بالای فلزات سنگین در این مطالعه (Cd و Ni) خصوصاً نیکل و هم‌بستگی بالای آنها با بیتومین موجود در

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م. ۱۳۸۱. بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان. گزارش علمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. امینی، م. ۱۳۸۳. مدلسازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. رحمانی، ح. ر. ۱۳۷۴. آلودگی خاک توسط عنصر سرب حاصل از وسایل نقلیه در محدوده برخی از بزرگراه‌های ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. عرفان منش، م. و م. افیونی. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست: آب، خاک و هوا. چاپ اول، نشر ارکان، اصفهان.
۵. گلشاهی، الف. ن. میرغفاری، م. افیونی، ع. سفیانیان و ل. خداکرمی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه برخی پارامترهای خاک سطحی شهرستان نهاوند با استفاده از GIS و زمین آمار. همایش ملی ژئوماتیک-۸۹.
6. Dulaing, G., E. Meers, M. Dewispelaere, B. Vandecasteele, J. M.G. Rinklebe, F. Tack and M. G. Verloo. 2009. Heavy metal mobility in intertidal sediments of the Scheldt estuary Field monitoring. *Sci. of Total Environ.* 4: 2919 – 2930.
7. Duyck, C. 2009. The determination of trace elements in crude oil and its heavy fractions by atomic spectrometry. *Spectrochem. Acta Part B*, 62: 939-951.
8. Iwegbue, C. M. A., E. S. Williams and N. O. Isirimah. 2009. Study of Heavy Metal Distribution in Soils Impacted with Crude Oil in Southern Nigeria. *Soil and Sediment Contamin.* 18:136-143.
9. Jones, J.L. 1997. Characterization of fluoranthene and pyrenedegrading Mycobacterium-like strains by RAPD and SSU sequencing. *Federation of Eur. Microbiol. Soc.* 153: 51–56.
10. Liao, M and X.M. Xie. 2007. Effect of heavy metals on substrate utilization pattern, biomass, and activity of microbial communities in a reclaimed mining wasteland of red soil area. *Ecotox. Environ. Safety.* 66: 17–223.
11. Maliszewska-Kordybach, B., B. Smreczak, A. Klimkowicz-Pawlas and H. Terelak. 2008. Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland. *Chemosphere* 73: 1284–1291.
12. Mikanova, O. 2006. Effects of heavy metals on some soil biological parameters. *J. Geochem. Explor.* 88: 220 – 223.
13. Nadal, M. and M. Marti. 2009. Multi-compartmental environmental surveillance of a petrochemical area: Levels of micropollutants. *Environ. Intl.* 35: 227-235.
14. Navas, A. and J. Machín. 2002. Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragón (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. *Appl. Geochem.* 17: 961–973.
15. Papritz, A. and P.U. Richard. 2009. Modelling the risk of Pb and PAH intervention value exceedance in allotment soils by robust logistic regression. *Environ. Pollut.* 157: 2019–2022.
16. Scherr, K., H. Aichberger, R. Braun and A. Paul Loibner. 2007. Influence of soil fractions on microbial degradation behavior of mineral hydrocarbons. *Eur. J. Soil Biol.* 43: 341-350.
17. Shen, W. and H.Q. Yang. 2008. Effects of earthworm and microbe on soil nutrients and heavy Metals. *Agric. Sci. in China* 75: 599-605.
18. Shujiang, K. and L. Henry. 2009. General soil-landscape distribution patterns in buffer zones of different order streams. *Geoderma* 151: 233–240.
19. Wang, Q.Y., D.M. Zhou, L. Cang, L. Li and H. Zhu. 2009b. Indication of soil heavy metal pollution with earthworms and soil microbial biomass carbon in the vicinity of an abandoned copper mine in Eastern Nanjing, China. *Eur. J. Soil Biol.* 45: 229–234.
20. Wang, Y.P., J.Y. Shi, Q. Lin, X. Chen and Y.X. Chen. 2007. Heavy metal availability and impact on activity of soil microorganisms along a Cu/Zn contamination gradient. *J. Environ. Sci.* 19: 848–853.
21. Weaver, R.W., J.S. Anjel and P.S. Botomley. 1994. Methods of soil analysis, microbiological and biochemical properties. Part 2, Soil Science Society of America Inc., Wisconsin, USA.
22. Wu, C., J. Wu, Y. Luo, H. Zhang and Y. Teng. 2008. Statistical and geostatistical characterization of heavy metal concentrations in a contaminated area taking into account soil map units. *Geoderma* 144: 171–179.

Study of the Amount and Distribution Pattern of Soil Heavy Metals (Ni, Cd) in Soils Affected by Hydrocarbon Pollution

H. Feizi^{1*}, M. Chorom¹ and A. Heidari²

(Received : May 27-2011 ; Accepted : July 21-2012)

Abstract

In order to describe soils polluted with hydrocarbons, the amount and distribution pattern of soil heavy metals (Ni, Cd) in soils were studied. Soil samples were taken from one of the western oil field of Iran. The field was naturally exposed to crude oil spillage into soil and consequently was environmentally polluted during the development, production, transportation and storage of crude oil. Sampling was started near the oil wells with maximum relative contamination and continued to the remote places based on grid sampling pattern. Samples were characterized by physicochemical analysis. The results revealed different levels of total hydrocarbons (from 0.12 to 2.99 mg/kg of dry soil), Ni (from 32 to 136 mg/kg. of dry soil) and Cd (from 0 to 4mg/kg of dry soil). In addition, the role of soil agents such as pH and EC and sedimentary indexes was considerable in controlling the pollution trend in the studied area. Finally, by interpolation module and prediction of unknown values via Kriging techniques, the expansion plans were created. The extracted plans obviously illustrated the decrease in the levels of pollution indexes with the increase in distance from the given centers of pollution.

Keywords: Hydrocarbons, Heavy metals, Soil, Kriging.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Dept. of GIS and Remote Sens., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*: Corresponding Author, Email: hfeizi.soil2008@yahoo.com