تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربردهای مختلف در استان اصفهان

سمیه صدر[۱]، مجید افیونی[۲*] و نادر فتحیان پور[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۸)

چکیده

تمرکز فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهرنشینی در شهرها باعث آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک شده است. با توجه به اهمیت استان اصفهان از نظر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، هم‌چنین جمعیت زیاد این استان، این تحقیق با هدف ارزیابی تغییرات مکانی آرسنیک در بخش‌هایی از استان اصفهان و هم‌چنین تهیه نقشه آلودگی این عنصر در خاک‌های این منطقه انجام گرفت. در این تحقیق نمونه‌های خاک روی یک شبکه منظم با فواصل حدود ۴ کیلومتر برداشت شد. موقعیت جغرافیایی نقاط با استفاده از GPS تعیین و کاربری محل‌های تهیه نمونه‌های خاک نیز شناسایی و ثبت گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه، غلظت کل آرسنیک در نمونه‌ها با استفاده از کریجینگ نقطه‌ای روی نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های خاک توسط نرم افزار زمین آماری WinGslib و نرم افزار Surfer، نقشه آلودگی خاک به آرسنیک تهیه شد. ساختار مکانی متغیر به کمک تغییرنما بررسی شد. تغییرنما به شکل جهتی محاسبه و ترسیم گردید. نتایج نشان داد، الگوی کروی، بهترین مدل برازش یافته بود. میانیابی در بلوک‌هایی با ابعاد۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر به روش کریجینگ صورت گرفت و به منظور تعیین دقت تخمین‌های انجام شده از میانگین مربع خطای تخمین(MSE) و ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده گردید و نتایج حاکی از دقت نسبتاً خوب تخمین‌ها بود. بر اساس نقشه‌های پراکنش آرسنیک، جهت باد غالب در توزیع آرسنیک حاصل از صنایع تنها در بخش جنوب غربی استان و اطراف کارخانه‌های بزرگ صنعتی فولادسازی مؤثر بوده است. در مجموع می‌توان نقش جنس سنگ مادر را در بالا بردن غلظت آرسنیک در محدوده‌های تیره رنگ نقشه (محدوده‌های کم وسعت شمال غرب و شمال شرق) مؤثر دانست.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک، آلودگی، تغییرات مکانی، کریجینگ، اصفهان، تغییرنما

مقدمه

پیشرفت سریع تکنولوژی و توسعه روز افزون کارخانه‌های صنعتی و هم‌چنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و دیگر مواد شیمیایی در کشاورزی در دهه‌های اخیر امکانات زیادی را برای آلوده شدن خاک‌ها فراهم آورده است (۶). در میان آلاینده‌های محیط زیست، عناصر سنگین به علت خواص سمی و تجمع‌پذیری و هم‌چنین طول عمر زیاد در بدن موجودات زنده دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در سال‌های اخیر بسیاری از کشورها به بحران آلودگی آب و خاک توسط عناصر سنگین مبتلا شده‌اند (۲۱). در این میان آرسنیک(As) یکی از

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان و دستیار آموزشی دانشگاه پیام نور کرمان، واحد کشکوئیه
۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. استادیار مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: afyuni@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

عناصر خطرناک برای سلامت انسان، حیوان و گیاه است و در طول تاریخ به عنوان عامل کشنده مورد توجه بوده است. غلظت‌های بیش از حد مجاز این عنصر به عنوان عامل سرطان‌زا و جهش‌زا شناخته شده و باعث ایجاد آثار، خطرناک بر سیستم ایمنی بدن می‌شود (۲۱). شایع‌ترین گونه‌های آرسنیک در طبیعت به شکل آرسنات (As^{+5}) و آرسنیت (As^{+3}) است (۱۸). (As^{+5}) و (As^{+3}) باعث اختلالات کروموزمی در سلول‌های جوندگان و انسان می‌شوند و تأثیر آرسنیت در این زمینه بیشتر است (۱۵). اولین مورد آلودگی به آرسنیک در سال ۱۹۶۸ در تایوان گزارش شد که باعث سرطان پوست و سرطان اندام‌های ترشحی بدن و بیماری شاخی شدن پوست شد (۱۲). محدوده غلظت آرسنیک در خاک ۰/۱ تا ۴۰ mg/Kg گزارش شده است (۱۷). بالاترین غلظت مجاز آرسنیک در خاک، از ۲۰ mg/Kg در خاک‌های لومی تا ۱۰ mg/Kg در خاک‌های شنی تعیین شده است (۱۹). حداکثر غلظت مجاز آرسنیک کل در خاک‌های کشاورزی در کشورهای انگلستان، آلمان، لهستان، کانادا و استرالیا به ترتیب ۲۰، ۴۰، ۳۰، ۲۵ و ۵۰ mg/Kg در نظر گرفته شده است. مهم‌ترین منابع آرسنیک در طبیعت شامل مواد مادری خاک، کشاورزی، صنعت و انتقالات اتمسفری است. به دلیل تشابه فیزیکی و شیمیایی آرسنات با فسفات، این دو یون در جذب بر سطح کلوئیدها رقابت می‌کنند (۲۰). بنابراین وقتی حلالیت فسفر زیاد می‌شود، سمیت آرسنیک کاهش یافته و استفاده زیاد از کودهای فسفاته باعث حرکت آرسنیک از ناحیه ریشه می‌شود (۲۴).

غلظت فلزات سنگین در خاک‌ها به ویژه زمین‌های کشاورزی در برخی نواحی به حدی رسیده که باعث تهدید امنیت غذایی انسان شده است. در سال‌های اخیر، محققان در ایران، مطالعاتی را با هدف بررسی، تجمع و ورود عناصر سنگین به خاک و زنجیره غذایی انجام داده‌اند.

برای بهبود توصیه‌های مدیریتی در جهت پیشگیری از تجمع، کنترل انباشت و حذف این آلاینده‌ها نیاز به تعیین الگوی تغییرات مکانی آنهاست. تفکیک دقیق زمین‌های آلوده به عناصر سنگین بر حسب میزان آلودگی آنها، به دلیل پیچیده بودن الگوی تغییرات مکانی و وجود آلودگی‌های موضعی، امری مشکل می‌باشد. امروزه به منظور بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین از تکنیک‌های زمین آماری استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به مطالعات امینی و همکاران (۹) اشاره کرد. از آنجا که اطلاعاتی در رابطه با آلودگی خاک‌های ایران به آرسنیک وجود ندارد و با تکیه بر این مطلب که استان اصفهان از نظر کشاورزی و صنعتی یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور محسوب می‌شود و دارای ۱۶۵۰ کارگاه صنعتی است، منطقه‌ای مستعد برای انباشته شدن آلاینده‌های صنعتی به شمار آید. هم‌چنین استفاده از کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب و آبیاری اراضی با فاضلاب نیز این منطقه را از لحاظ افزایش غلظت آلاینده‌ها دارای اهمیت زیادی کرده است (۲). جدول ۳ میزان استفاده از انواع کودها در بخش‌هایی از استان اصفهان را نشان می‌دهد. بنابراین در این تحقیق به بررسی زمین آماری توزیع آرسنیک در خاک‌های سطحی بخش‌هایی از اراضی استان اصفهان با کاربری‌های متفاوت پرداخته می‌شود و نقشه‌های پراکنش این عنصر در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده‌ای به وسعت ۶۸۰۰ کیلومتر مربع در استان اصفهان و در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ″۵۳/۴، ′۷، °۳۲ تا ″۵۱/۹۷، ′۵۹، °۳۲ و طول‌های جغرافیایی ′۱۵، °۵۱ تا ″۴۲، ′۴۱، °۵۲ قرار دارد (شکل ۱). این مطالعه قسمت‌های وسیعی از اراضی کشاورزی استان و مراکز بزرگ صنعتی از جمله کارخانه ذوب‌آهن، فولاد مبارکه، پالایشگاه و نیروگاه اصفهان را در بر می‌گیرد.

ارتفاع متوسط منطقه ۱۶۰۰ متر از سطح دریاست. متوسط بارندگی در منطقه مطالعاتی بر اساس سالنامه آماری

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

جدول ۱. خلاصه آماری غلظت آرسنیک کل در منطقه مطالعاتی

	غلظت آرسنیک کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
	کل منطقه	اراضی کشاورزی (٪ ۴۶/۵)	اراضی غیر کشاورزی (٪ ۴۳/۳)	اراضی شهری و صنعتی (٪۱۰)
میانگین	۱۰/۴	۱۰	۱۰/۷	۱۱/۳
واریانس	۱۵/۵	۱۴/۱	۱۵/۳	۲۲/۳
حداکثر	۲۹/۱	۲۹/۱	۲۳/۸	۲۳/۴
حداقل	۱/۱	۳/۳	۲/۷	۱/۱
کشیدگی	۳/۱	۶	۱/۶	۲/۳
چولگی	۱/۱	۱/۶۷	۰/۷	۰/۸

شکل ۱. موقعیت استان اصفهان در تقسیمات کشوری

استان در یک دوره ۳۰ ساله در حدود۱۲۰ میلی‌متر، و حداکثر حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. جهت وزش بادهای غالب منطقه در پائیز، زمستان و بهار عموماً از سمت غرب و جنوب غربی بوده، در حالی که در تابستان از سمت شرق و شمال شرقی است. شکل۳، گلباد منطقه مطالعاتی (بر اساس آمار ۲۵ ساله سازمان هواشناسی استان اصفهان)، را نشان می‌دهد.

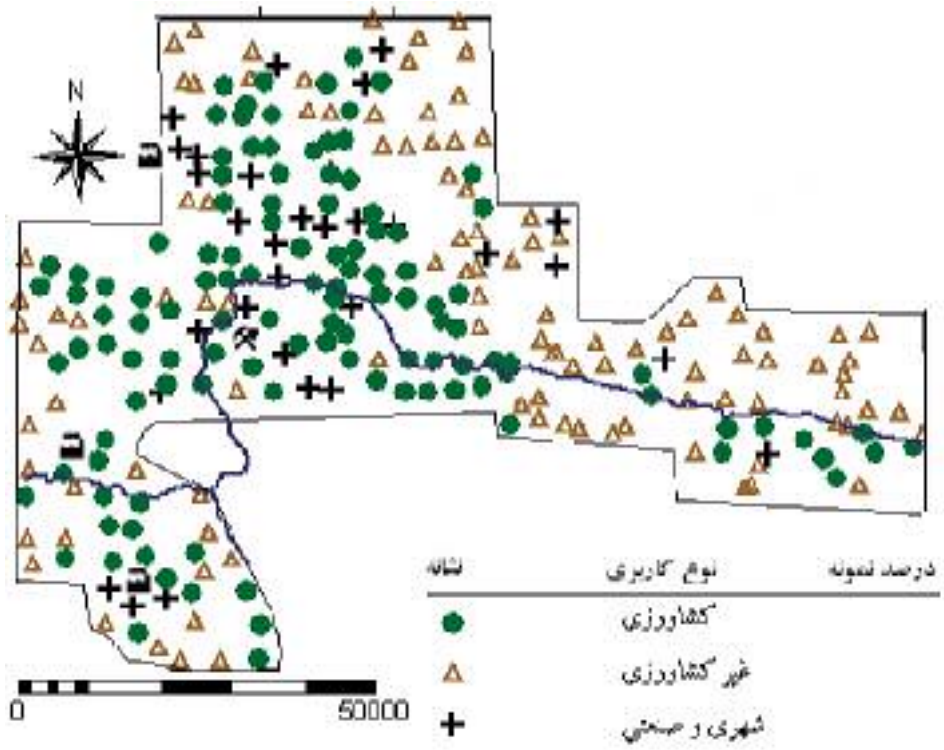
تشکیلات زمین‌شناختی غالب در منطقه، رسوبات کواترنر و همین‌طور تشکیلات آهکی حاوی اوربیتالین و شیل مربوط به اواخر دوره کرتاسه است (۵). شکل۴، نقشه ۱/۳۵۰۰۰۰ سازندهای سطحی منطقه را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم افزار ILWIS و از ژئورفرنس نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس۱/۲۵۰۰۰۰، تهیه شده است.

۲- نمونه‌برداری

در مطالعه حاضر به‌علت وسعت زیاد منطقه و وجود موانع زیاد جغرافیایی و شهری از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]



شکل ۲. توزیع نقاط نمونه برداری در منطقه مطالعاتی به وسعت ۶۸۰۰ کیلومتر مربع

جدول۲. مقادیر کنترل اعتبار جهت تخمین کریجینگ

	مدل	ناهمسانگردی	دامنه تأثیر	حد آستانه	اثر قطعه‌ای	MSE
آرسنیک	کروی	۹۰	۳۵۰۰۰	۰/۶۳	۰/۲۶	۰/۵۷

شده (Stratified Random Sampling) استفاده گردید (۱۶). نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک انجام و پس از مخلوط شدن نمونه‌های ساده از آن یک نمونه مرکب گرفته شد. با توجه به وجود برخی موانع در کل ۲۰۷ نمونه ازتمام منطقه برداشت و کاربری محل نمونه‌برداری به همراه موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه GPS ثبت شد. شکل ۲ توزیع نقاط نمونه‌برداری را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. کاربری نقاط در منطقه به سه دسته کشاورزی (۴۶/۵ درصد)، غیر کشاورزی و بایر (۴۳/۳ درصد) و شهری و صنعتی (۱۰ درصد) تقسیم بندی شد. حداقل و حداکثر فاصله بین مکان‌های نمونه‌برداری به ترتیب ۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر می‌باشد.

۳- آنالیزهای شیمیایی

نمونه‌های خاک هوا خشک، از الک ۲ عبور داده شدند. غلظت آرسنیک کل در نمونه‌های خاک توسط دستگاه (XRF: Fluorescence) در کشور سوئیس اندازه‌گیری شد. این روش بر اساس بر انگیخته شدن الکترون استوار است و یکی از روش‌های تجزیه‌ای پرکاربرد برای شناسایی کیفی عناصر با اعداد اتمی بیش از ۸ (بعد از اکسیژن) است. به علاوه این روش غالباً برای تجزیه‌های عنصری به صورت نیمه‌کمّی و کمّی نیز به کار گرفته می‌شود (۸).

هدایت الکتریکی خاک و پ- هاش نمونه‌های خاک در نسبت ۲/۵ : ۱ سوسپانسیون خاک در آب و درصد رس نیز

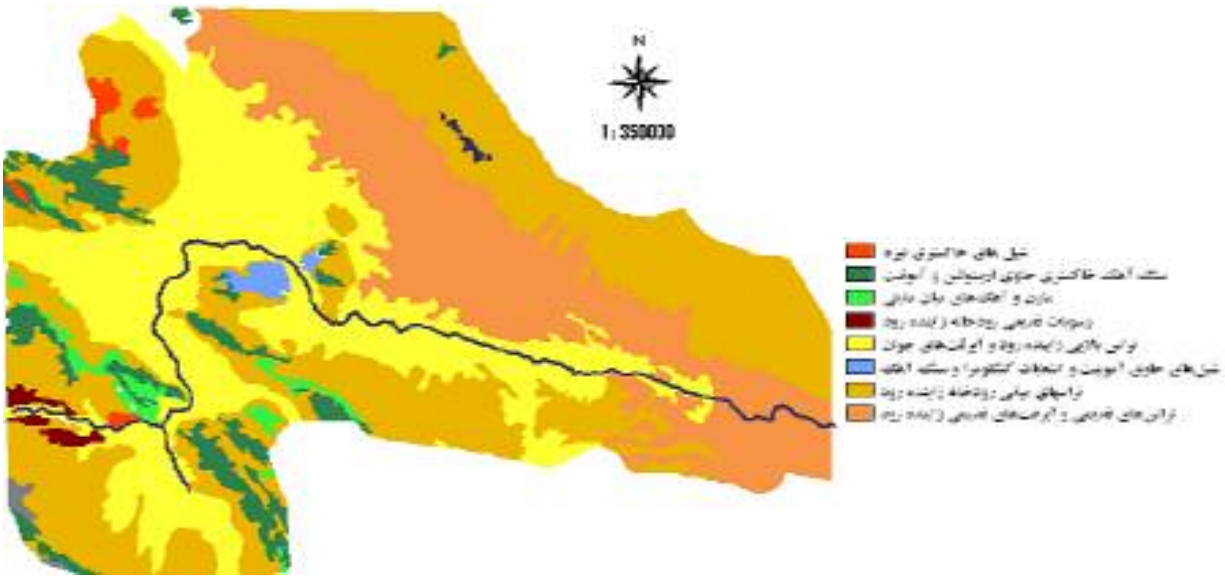
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

شکل ۳ . گلباد منطقه مطالعاتی (آمار ۲۵ ساله سازمان هواشناسی استان اصفهان)

جدول ۳ . میزان کود شیمیایی و لجن فاضلاب مصرف شده در بخش‌های مختلف استان اصفهان

میانگین کود (تن برسال)	مبارکه	فلاورجان	نجف آباد	لنجان	خمینی‌شهر	اصفهان	برخوار
فسفره	۱۲۰۰	۱۹۰۰	۵۰۰	۴۵۰	۳۷۰	۴۵۴۱	۸۰۰
ازته و فسفره	۴۷۰	۷۵۰	۴۶۰	۱۵۰	۳۰۰	۲۰۰۰	۸۸۰
لجن فاضلاب	۶۵	۱۵	۶۵۴	۱۵۴	۷۴۲	۱۵۴۲۲	۱۳۰۸



شکل۴. نقشه سازندهای سطحی منطقه مطالعاتی(مقیاس ۱:۳۵۰۰۰۰)
(حاصل از ژئورفرنس منطقه مطالعاتی توسط نرم‌افزار(ILWIS))

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

توسط روش هیدرومتر به دست آمد. درصد ماده آلی در نمونه‌های خاک به روش سوزاندن تر اندازه‌گیری شد.

۴- مطالعات آماری

پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، واریانس، ماکزیمم، مینیمم، کشیدگی و چولگی غلظت آرسنیک کل، در کاربری‌های مختلف اراضی، توسط نرم افزار SPSS 13 به دست آمد. اطلاعات آماره‌های توصیفی در جدول ۱ آورده شده است.

۵- مطالعات آمار مکانی

اولین تجربه استفاده از روش‌های میان یابی مبتنی بر تغییرات مکانی در حدود ۵۰ سال پیش آغاز شد ولی در سال ۱۹۷۸، نخستین تجربه‌های به کارگیری روش‌های زمین‌آماری توسط کمپبل (۱۱) وارد خاک‌شناسی شد و برای تجزیه و تحلیل پ-هاش و میزان شن خاک استفاده شد. هم‌بستگی مکانی(تغییرات یک متغیر با تغیرات مکان) در داده‌های مربوط به علوم زمین به این مفهوم است که نمونه‌هایی که از نظر مکانی به یکدیگر نزدیک‌اند از نظر کمی دارای تشابه بیشتری هستند و این در حالی است که در نمونه‌های دارای فاصله بیشتر از یکدیگر، از نظر کمی تشابه کمتری با یکدیگر دارند (۱۳). از ابزارهای آماری که برای توصیف رابطه بین دو متغیر استفاده می‌شود، می‌توان نمودار تغییرنما (Variogram) را نام برد. تغییرنما ابزاری است که تغییرات فاصله‌ای یک متغیر خاص را نشان می‌دهد. هم‌چنین توسط آن می‌توان بسیاری از جنبه‌های تغییرپذیری خاک را توصیف نمود. تداوم و پیوستگی متغیر مورد مطالعه در آهنگ افزایش $\gamma(h)$ نسبت به مقادیر مختلف h منعکس می‌شود. بنابراین دامنه هم‌بستگی مکانی متغیر با کمک تغییرنما مشخص می‌شود (۷) که توسط رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$۲\gamma(h) = Ave\left[Z(x_i+h)-Z(x_i)\right]^۲ = \frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n}\left[Z(x_i+h)-Z(x_i)\right]^۲ \quad [۱]$$

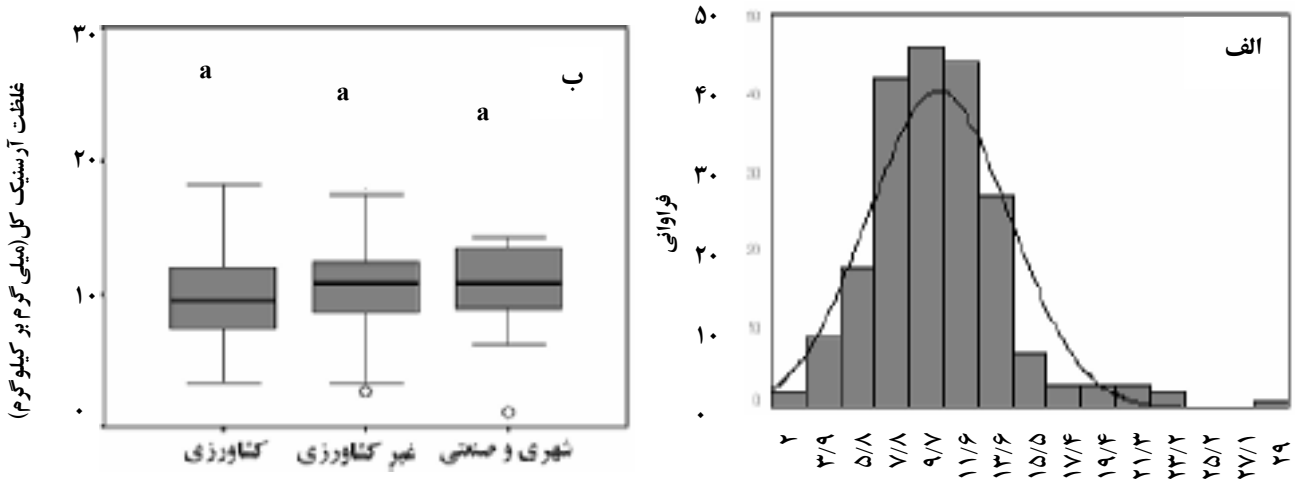
رابطه ۱ در واقع بیانگر واریانس اختلاف بین مقدار متغیرZ در نقطه x, Z(x) و نقطه دیگری با فاصله h از آن، Z(x+h)، می‌باشد. در عمل این تابع مشخص نبوده و می‌بایستی براساس مقدار متغیر در نمونه‌های تهیه شده به صورت تجربی به دست آید و با رسم مقادیر واریانس بین داده‌ها روی محور عمودی به ازای فواصل مختلف h، سعی شود که بهترین مدل منطبق بر داده‌ها انتخاب و رسم گردد. هر تغییرنما با پارامترهای آن یعنی اثر قطعه‌ای(Nugget effect)، دامنه تأثیر (Range) و سقف (Sill) مشخص می‌شود (۴).

تغییرنما ابزار اساسی جهت تخمین مقدار متغیر در نقاط مجهول به وسیله انواع کریجینگ و تشریح پدیده‌های زمین‌شناختی است. بنابراین انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن (اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و سقف) از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است و بایستی صحت مدل‌های تغییرنما به نحو بهینه‌ای کنترل گردد (۲۲). کنترل اعتبار تغییرنما در واقع تخمین هر نقطه نمونه‌برداری شده در ناحیه، با استفاده از مقادیر نمونه‌های همسایه (بدون در نظر گرفتن مقدار خود آن نمونه)، با روش کریجینگ است. سپس به منظور درک این نکته که مدل فرضی و پارامترهای آن در تخمین کریجینگ، بدرستی تغییرات فاصله‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده را لحاظ می‌کنند، مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی مقایسه می‌شوند (۱۴). دقت مدل را می‌توان توسط مربع خطای تخمین MSE (Mean Squre Error) برآورد کرد. که بر اساس رابطه ۲ به دست می‌آید. به این ترتیب که میانگین مربع خطای تخمین) MSE (برای هر کدام از تغییرنماها اندازه‌گیری شده و تغییرنمای دارای کمترین مقدار MSE (تغییرنما معتبرتر) برای انجام تخمین نهایی با ابزار آماری کریجینگ استفاده می‌شود. این پارامتر باید کمترین مقدار ممکن و حتماً کمتر از واریانس بین داده‌های اصلی باشد [۱۰].

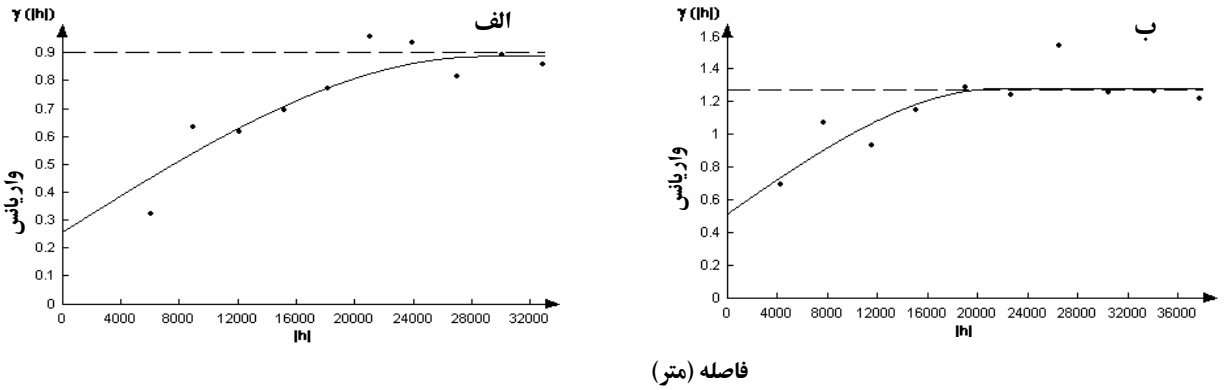
$$MSE = \frac{۱}{N}\sum_{i=۱}^{N}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]^۲ \cong ۱ \quad [۲]$$

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]



شکل ۵- الف). توزیع فراوانی غلظت آرسنیک در منطقه مرکزی اصفهان- ب) نمودار جعبه‌ای مقایسات میانگین غلظت آرسنیک در کاربری‌های مختلف اراضی در استان اصفهان



شکل ۶. واریوگرام جهتی آرسنیک کل – الف :زاویه ۹۰ درجه(E-W)- ب: زاویه ۱۸۰ درجه(S-N)

در رابطه ۲، $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده و $Z_{(xi)}$ مقدار واقعی می‌باشد.

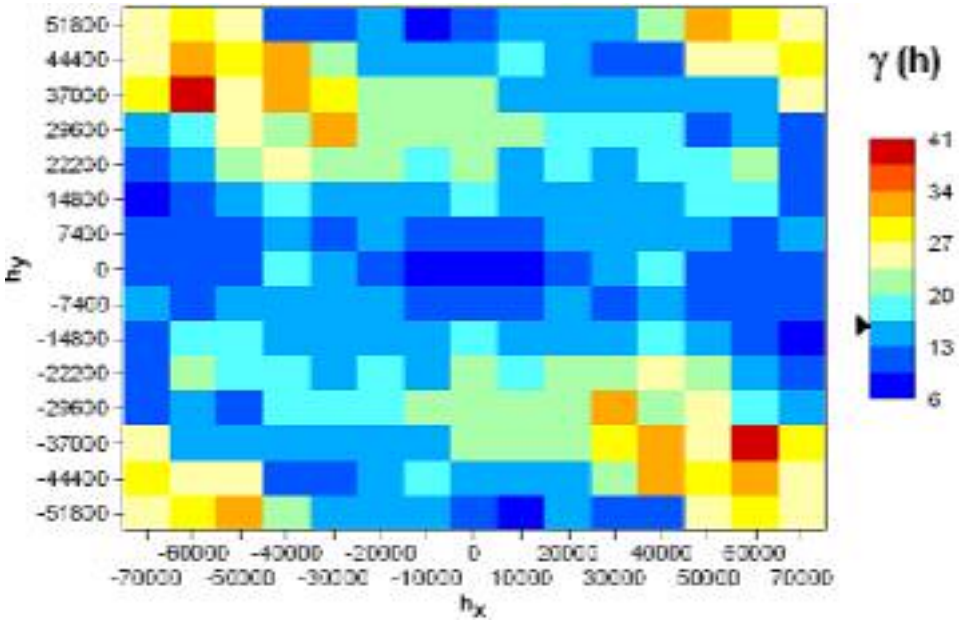
کریجینگ تخمین‌گر زمین‌آماری است که امکان به دست آوردن کمیت یک متغیر در نقطه‌ای با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم، فراهم می‌سازد(۳). تخمین‌گر کریجینگ به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود (۷).

$$Z^*(x_\circ) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_{(xi)} \qquad [۳]$$

در رابطه ۳ Z^* تخمین مقدار متغیر Z در نقطه $x_\circ$، λ_i وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ است. کریجینگ یک تخمین‌گر نااریب با کمترین واریانس تخمین است. ویژگی کریجینگ در آن است که ضرایب λ_i را به گونه‌ای تعیین می‌کند

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]



شکل ۷ . واریوگرام سطحی آرسنیک کل

که در عین نااریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل باشد. بنابراین همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز محاسبه می‌کنند و به این ترتیب علاوه بر مقدار متوسط، توزیع خطا (واریانس تخمین) را در کل محدوده مورد بررسی، به دست آورد. با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آن خطای تخمین، به دلیل تعداد نمونه کم، بالاست را مشخص کرد و به منظور کاهش خطا، تحت پوشش لازم قرار داد (۴).

در مطالعه حاضر واریوگرافی(محاسبه و رسم تغییرنما)، هر ۳۰ درجه و با تحمل به زاویه ۱۵± انجام شد. بیشترین و کمترین دامنه تأثیر در میان جهات مختلف به دست آمد (شکل ۶). پس از تعیین مدل واریوگرام‌های متغیر مورد مطالعه، صحت الگوی برازش داده شده توسط آنالیز خطای تخمین بررسی و از میان حداقل ۶ الگو، یک الگو به عنوان بهترین الگو برای کریجینگ انتخاب گردید. نتایج برای پارامترهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. میانیابی در شبکه‌بندی ۱۰۰۰ ×۱۰۰۰ متر و با حداقل و حداکثر به ترتیب ۴ و ۳۰ نقطه دخیل در تخمین، به روش کریجینگ نقطه‌ای، توسط نرم افزار WinGslib (۲۳) انجام شد. دامنه هم‌بستگی تغییرنما در جهات مختلف ناحیه جستجو(Search area) به شکل بیضی با قطر بزرگ با زاویه ۹۰ درجه از محور عمودی در نظر گرفته شد. شکل ۸ حاصل از کریجینگ نقطه‌ای آرسنیک کل در خاک است. نقاط تیره معادن و مناطق صنعتی را نشان می‌دهد.

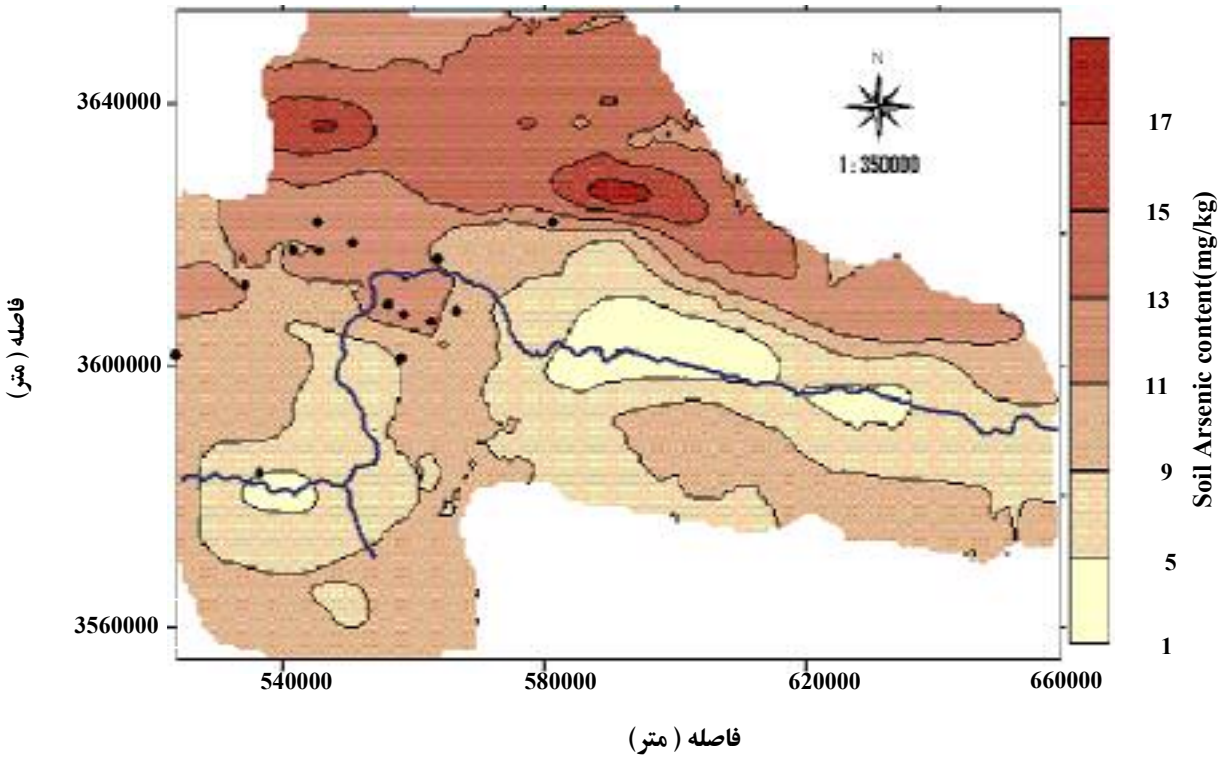
نتایج و بحث

بر اساس مطالعات، میانگین غلظت آرسنیک ۱۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۲۸ با حداقل ۱/۱ و حداکثر ۲۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). با توجه به میزان حداکثر غلظت آرسنیک در منطقه و مقایسه آن با مقادیر مجاز کشورهای مختلف، (استانداردهای انگلستان، کانادا و ژاپن) حدود ۷/۳ درصد از مکان‌های مورد بررسی دارای غلظت بیش از حد مجاز آرسنیک می‌باشد.(شکل ۵ – الف) نیز حاکی از نرمال بودن توزیع آرسنیک در منطقه با چولگی ۱/۱ و کشیدگی ۳/۱ است.

بر اساس نتایج مقایسات میانگین (شکل ۵ – ب)، اختلاف معنی‌داری بین غلظت آرسنیک در کاربری‌های مختلف

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]



شکل ۸ . نقشه حاصل از کریجینگ نقطه‌ای آرسنیک کل(mg/kg)

اراضی، مشاهده نشده است که بر این اساس می‌توان عامل جنس سنگ مادر را نیز علاوه بر کشاورزی و صنعت در توزیع آرسنیک در محیط مؤثر دانست.

یکی دیگر از روش‌های تشخیص جهات اصلی ناهمسانگردی، استفاده از تغییرنماهای سطحی(Surface variogram) می‌باشد. شکل ۷ واریوگرام سطحی مربوط به غلظت آرسنیک کل در خاک را نشان می‌دهد. تنوع رنگی کمتر در این تغییرنما، نشان‌دهنده تغییرات کمتر متغیر با افزایش فاصله است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، محور حداقل تغییرات منطبق بر حداکثر شعاع تأثیر (۹۰ درجه) و محور حداکثر تغییرات را منطبق بر حداقل شعاع تأثیر(۱۸۰ درجه) در نظر گرفت.

با توجه به جهت کشیدگی خطوط تراز غلظت در نقشه توزیع آرسنیک منطقه، جهت باد غالب در توزیع آرسنیک حاصل از صنایع در نیمه شمالی منطقه تأثیری نداشته و تنها در بخش جنوب غربی و اطراف کارخانه‌های بزرگ صنعتی فولاد سازی مؤثر بوده است. با توجه به شکل ۸، بیشترین غلظت آرسنیک در نیمه شمالی منطقه، بخش‌هایی از شهرستان اصفهان و شهرستان شاهین‌شهر، دیده شده است. بخش شمال غربی منطقه که با توجه به نقشه دارای غلظت بالای ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک است، روی شیل‌های سیاه و خاکستری قرار گرفته است. تحقیقات انجام شده نشان داده است، این رسوبات می‌توانند حاوی غلظت ۱ تا۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک بوده (۱۷) و عاملی در افزایش مقدار این عنصر در خاک منطقه به‌شمار آیند.

در قسمت‌های شمال و شمال شرق منطقه مطالعاتی، بیشترین رخنمون موجود، حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی، و دارای ترکیب آندزیت، داسیت و ریولیت است که در این میان بازالت حجم کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. مقدار آرسنیک در سنگ‌های آذرین بسیار متفاوت است (۳). بنابراین

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

نقش جنس سنگ مادر را می‌توان در بالا بردن غلظت آرسنیک در محدوده‌های تیره رنگ در شمال منطقه (محدوده های کم وسعت شمال غرب و شمال شرق) مؤثر دانست.

نتیجه‌گیری

با توجه به جهت کشیدگی خطوط تراز غلظت، در نقشه توزیع آرسنیک در منطقه، جهت باد غالب در توزیع آرسنیک حاصل از صنایع در نیمه شمالی منطقه تأثیری نداشته و تنها در بخش جنوب غربی و اطراف کارخانه‌های بزرگ صنعتی فولاد سازی مؤثر بوده است. در مجموع نقش جنس سنگ مادر را می‌توان، در بالا بردن غلظت آرسنیک در شمال منطقه مؤثر دانست. با توجه به میزان لجن فاضلاب استفاده شده در اراضی کشاورزی استان اصفهان، انتظار می‌رود در آینده این عامل باعث افزایش غلظت آرسنیک در محیط زیست این منطقه شود. هر چند که استفاده از کودهای فسفاته در حال حاضر توانسته غلظت آرسنیک را در خاک‌های سطحی کاهش دهد (۲۰ و ۲۴). توصیه می‌شود به منظور کاهش حلالیت آرسنیک و کم کردن قابلیت دسترس این عنصر برای گیاه، در استفاده از کودهای فسفاته در اراضی دارای غلظت‌های بحرانی آرسنیک دقت و ملاحظات مدیریتی اعمال گردد.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م. ح. خادمی، ح. شریعتمداری، م. امینی و ا. خسروی. ۱۳۸۱.گزارش نهایی بررسی آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. امینی، م. ۱۳۸۲. مدل سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. پارسا پور، ا. ۱۳۸۳. مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمیایی آلتراسیون هیدروترما در منطقه رلگان(جنوب غرب اردستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان.

۴. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. *زمین آمار(ژئواستاتیستیک)*. انتشارات دانشگاه تهران.

۵. حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۸۳. *اصول اکتشاف ژئوشیمیایی*. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.

۶. کردوانی، پ. ۱۳۸۱. *حفاظت خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۷. مدنی، ح. ۱۳۷۳. *مبانی زمین آمار*. چاپ اول، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش.

۸. سکوگ، د. و د. وست. ۱۳۷۶. *اصول تجزیه دستگاهی* (ترجمه: آزاد، ژ.، ع. ر. سلاجقه، م. شمسی‌پور و ک. کارگشا). مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

9. Amini, M. , H. Khademi, M. Afyuni and K. C. Abbaspour. 2005. Variability of available cadmium in relation to soil properties and land use in arid region in central Iran. Water, Air and Soil Pollut. 162: 205-218
10. Atteia, O. and J. P. Dubois. 1994. Geostatistical analysis of oil contamination in the swiss jura. Environ. Pollut. 86:315-327.
11. Campbell, J. B. 1978. Spatial variation of sand content and pH within single delineations of two soil mapping units. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 460-464
12. Chakraborti, A. K. and D. K. Das. 1997. Arsenic pollution and its environmental significance. J. Interacad. 1:262-276.
13. Issaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
14. Juang, K. W. 1998. A comparison of three kriging methods using auxiliary variables in heavy metal contaminated soils. J. Environ. Qual. 27: 355-363.
15. Ministry of Agriculture, 1982. Fisheries and Food. Survey of Arsenic in Food. HMSO Pub., London.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]

16. Mulla, D. J. and A.B. McBratney. 2002. Soil Spatial Variability. CRC Press ., USA.
17. Nicholson, F. A., S. R. Smith, B. J. Alloway, C. Carlton- Smith and B. J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metal inputs to agricultural soil in England and Wales. Sci. Total Environ. 311: 205-219.
18. Nowak. J., K. Kaklewski and D. Klodka. 2002. Influence of various concentrations of selenic acid (IV) on the activity of soil enzymes. Sci. Total Environ. 291: 105–110
19. Pais, I. and J. B. Jones. 2000. The Hand Book of Trace Elements. St. Lucie Press, USA.
20. Peterson, P. J., C. A. Girling and L. M. Benson. 1981. Arsenic. PP. 229-323. *In*: N.W. Lepp, (Eds.), Effects of Heavy Metal Pollution on Plants. Vol. 1, Effect of Trace Metals on Plant Function. Applied Science Pub., London.
21. Smith, E., R. Naidu and A. M. Alston. 1998. Arsenic in the soil environment: A Review. Adv. Agron. 64 :149-195.
22. Volts, M. 1997. Prediction soil properties over a region using ample information from a mapped reference area. Eur. J. Soil Sci. 48: 19-30.
23. WinGslib software(version 1/030004),2000
24. Woolson, E. A., J. H. Alexy and P. C. Kearney. 1971a. The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: I. contaminated field. soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-06-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.6.0]