



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹

۱۰۶-۱۲۱

## بررسی الگوی مکانی غلظت سلیوم کل در خاک سطحی بخش‌هایی از ایران مرکزی

(مطالعه موردی: استان اصفهان)

سمیه صدر\* و زهرا موحدی‌راد

گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

صدر، س. و ز. موحدی‌راد. ۱۳۹۹. بررسی الگوی مکانی غلظت سلیوم کل در خاک سطحی بخش‌هایی از ایران مرکزی (مطالعه موردی: استان اصفهان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۳): ۱۰۶-۱۲۱.

**سابقه و هدف:** بررسی الگوی تغییرهای مکانی عنصرهای سنگین در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های کاربردی، دارای اهمیت بسیار زیادی است. برای تخمین متغیرهای ناحیه‌ای در نقاط اندازه‌گیری نشده از نظریه زمین آمار استفاده می‌شود. با استفاده از تخمین گر کوکریجینگ و بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به همبستگی دوجانبه‌ی بین متغیرها، می‌توان تخمین مناسب و دقیق‌تری از متغیر موردنظر (متغیر اصلی) با بهره‌گیری از مقادیر دیگر متغیرها (متغیر ثانویه) به دست آورد. با توجه به اهمیت استان اصفهان از نظر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین جمعیت زیاد ساکن در این استان وجود نداشتن اطلاعات کافی در زمینه توزیع عنصر سلیوم در این منطقه، مطالعه حاضر به منظور بررسی توزیع عنصر سلیوم و ارائه نقشه‌های پراکنش این عنصر در خاک‌های سطحی این استان برنامه‌ریزی گردید.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مورد مطالعه، مساحتی در حدود ۶۸۰۰ کیلومترمربع داشته و قسمت‌های وسیعی از زمین‌های کشاورزی استان اصفهان و مراکز بزرگ صنعتی اصفهان را در بر می‌گیرد. در مطالعه حاضر از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده شد. نمونه‌ها از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک و در کل ۲۵۵ نمونه از کل منطقه در شبکه‌های ۴×۴ کیلومتر برداشت شد. هدایت الکتریکی خاک، درصد شن، رس، سیلت، درصد مواد آلی و غلظت کل سلیوم توسط دستگاه XRF اندازه‌گیری شد. اما به لحاظ بالا بودن هزینه‌های XRF، غلظت سلیوم کل، تنها برای ۷۲ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت. محاسبات آماری و زمین آماری به ترتیب توسط نرم افزار SPSS و WinGslib و نیز تهیه نقشه‌ها توسط نرم افزارهای ILWIS و Surfer صورت گرفت.

**نتایج و بحث:** میانگین غلظت سلیوم در منطقه مطالعاتی ۰/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک با حداقل و حداکثر ۰/۵ و ۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. براساس ضرایب همبستگی میان غلظت سلیوم و EC خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بنابراین از EC به‌منظور کاهش خطای تخمین سلیوم توسط ابزار کوکریجینگ استفاده گردید.

\* Corresponding Author: Email Address. s.sadr@stu.vru.ac.ir  
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.106>

در این پژوهش، حد آستانه کمبود برای سلیوم کل خاک برابر ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم و حد سمیت این عنصر برای انسان و دام از ۵ میلی گرم بر کیلوگرم آغاز می شود بر این اساس به طور میانگین می توان منطقه مورد مطالعه را در محدوده کمبود سلیوم معرفی کرد چرا که بیش از ۵۰ درصد نقاط دارای غلظت کمتر از ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم سلیوم و حدود ۱۲ درصد از نقاط، دارای غلظت بیش از حد مجاز سلیوم در خاک های غیر آلوده هستند اما سمیت این عنصر برای انسان و دام در منطقه مطالعاتی مشاهده نمی گردد.

بخش های وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک با خاک های دارای pH قلیایی در بر گرفته است. با توجه به این نکته که زمین های با غلظت پایین سلیوم هم در کاربری های کشاورزی و هم غیر کشاورزی مشاهده می گردد، به نظر می رسد نوع ماده مادری این منطقه که بیشتر سازندهای آبرفتی رودخانهی زاینده رود هستند از نظر سلیوم فقیر هستند. از سوی دیگر کمبود این عنصر در زمین های کشاورزی گویای توجه نکردن کشاورزان این منطقه ها به استفاده از کودهای شامل سلیوم است.

بیشترین غلظت های سلیوم در شهرستان مبارکه قرار گرفته است که محل قرارگیری صنایع عظیم فولاد در منطقه است. جهت وزش باد غالب منطقه به عنوان عامل تهدید در انتقال انتشارات اتمسفری حاوی سلیوم از مناطق صنعتی شهرستان مبارکه به منطقه های پر جمعیت تر استان معرفی می گردد.

**نتیجه گیری:** تمرکز صنایع در شهرستان اصفهان و نواحی اطراف آن، غلظت سلیوم را در این منطقه ها بیشتر از نواحی مجاور کرده است و صنایع فولاد موجود در شهرستان مبارکه عاملی در جهت ورود سلیوم به اتمسفر و در نهایت خاک است. باد غالب منطقه نیز چه بسا در انتقال این انتشارات به قسمت های شمال شرق منطقه، مؤثر می باشد. این در حالی است که در غالب منطقه مورد مطالعه، کمبود این عنصر مشاهده می گردد که استفاده از کودهای شامل سلیوم لازم به نظر می رسد.

**واژه های کلیدی:** زمین آمار، کوکریجینگ، شهرستان مبارکه، اصفهان.

## مقدمه

مناسب مکانی و زمانی جهت توصیف متغیر ناحیه ای، با در نظر گرفتن مؤلفه های تغییر پذیری ساختاری و تصادفی هستند که اساس این روش ها تخمین مقدار نامعلوم متغیر مکانی Z به عنوان یک عدد تصادفی، با یک توزیع احتمال مشخص، در نقطه ای دلخواه از منطقه مورد مطالعه است. در علوم خاک تخمین مقادیر متغیرها در مکان و زمان با استفاده از داده های همان متغیر (کریجینگ<sup>۱</sup>) و یا به کار بردن اطلاعات متغیرهای دیگر (کوکریجینگ<sup>۲</sup>) معمول است. در زمین آمار با استفاده از تخمین گر کوکریجینگ و بهره گیری از اطلاعات مربوط به همبستگی دوجانبه ای بین متغیرها، می توان تخمین مناسب و دقیق تری از متغیر مورد نظر (متغیر اصلی) با بهره گیری از مقادیر دیگر متغیرها (متغیر ثانویه) به دست آورد (Mohammadi, 1999). (Ayoubi et al., 2007) در برآورد مقدار ازت خاک و (Ersahin et al., 2003) در برآورد سرعت نفوذ نهایی از روش های کریجینگ و کوکریجینگ

عنصرهای سنگین باوجود مقدار بسیار پایین در خاک، به عنوان عنصرهای مغذی برای گیاهان، و در ادامه از طریق زنجیره غذایی، برای انسان و دیگر موجودات ضروری هستند از سوی دیگر مقادیر غیرمجاز از این عنصرها، می تواند خطرهای جدی محیط زیستی را به دنبال داشته باشند (Merian et al., 2004).

بررسی توزیع مکانی عنصرهای سنگین در بسیاری از برنامه ریزی های کاربردی از جمله نقشه برداری خاک و تعیین نقاط آلوده در منطقه های نمونه برداری نشده، به منظور اجرای برنامه های احیای زمین ها و توصیه های کودی در زمین های کشاورزی، دارای اهمیت بسیار زیادی است. برای تخمین متغیرهای ناحیه ای در نقاط اندازه گیری نشده، از نظریه زمین آمار<sup>۱</sup> استفاده می شود. در مقایسه روش های آماری کلاسیک، روش های زمین آمار ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی نقاط و ارتباط بین آنها، کارایی بهتری دارند. این روش ها قادر به مدل سازی

زیاد مضر و سمی باشد (Fordyce, 2005). مقدار سلینیوم در خاک تحت تأثیر عامل‌هایی مانند نوع سنگ مادری، اسیدیته، شرایط ریداکس خاک، وجود برخی مواد و ترکیب‌های آلی و غیز آلی خاک، رطوبت و شوری خاک، بافت خاک و شرایط آب و هوایی است (Combs, 2001). براساس نتایج مطالعات عامل‌هایی مانند در صد کربن، رس، آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مثبت و شوری و قلیائیت و پهاش، نقش منفی بر مقدار سلینیوم جذب شده در خاک دارند (Renha, 1983).

دامنه تغییرات غلظت سلینیوم از ۰/۱ تا ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم با میانگین غلظت ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Lindsay, 1979). در خاک‌های آهکی<sup>۴</sup>، مقدار سلینیوم ۰/۲ تا ۱/۴ گزارش شده است (Kabata-Pendias, 2011).

با اینکه مقدار سلینیوم در برخی از خاک‌ها ممکن است کمتر از سطح بحرانی باشد ولی بر اثر فعالیت‌های انسانی، غلظت آن در خاک و آب افزایش یافته و ممکن است سبب بروز سمیت شده و حیات انسان، حیوانات و دیگر جانداران را تهدید کند. آلودگی سلینیوم یک پدیده جهانی است و به طیف وسیعی از فعالیت‌های انسانی مربوط می‌شود. سلینیوم از عناصری است که می‌توان از مواد و بقایای حاصل از معدن کاری، کشاورزی، پتروشیمی، صنعتی وارد محیط شود (Lemly, 2004). از آنجا که استان اصفهان با مساحت بیش از ۱۰۵ هزار کیلومتر مربع در مرکز فلات ایران قرار گرفته است و فارغ از جایگاه والای تاریخی و فرهنگی آن، به لحاظ اقتصادی دارای شرایط خاص و ویژه‌ای می‌باشد. جمعیت بالای ساکن در این استان، وسعت بالای فعالیت‌های کشاورزی، استقرار ۸۰۸۱ واحد صنعتی فعال و ترانزیت مرکزی حمل و نقل به تدریج این استان را یکی از آلوده‌ترین منطقه‌های کشور مبدل کرده است. این در حالی است که اطلاعات اندکی در زمینه توزیع عنصر سلینیوم در خاک‌های این استان وجود دارد و اطلاعات اندکی در رابطه با پهنه‌های

استفاده کرده و با وجود نتایج قابل قبول کریجینگ، دقت روش‌های کوکریجینگ را در مواقع مواجهه با کمبود داده‌ها، بیشتر دانستند.

مطالعات زیادی در زمینه پهنه‌بندی عنصرهای سنگین در منطقه‌های مختلف دنیا انجام گرفته است که تنها به برخی از آخرین مطالعات اشاره می‌گردد. (Lark et al., 2014). به منظور پهنه‌بندی کبالت در مرتع‌های تحت چرای ایرلند از تکنیک کوکریجینگ استفاده کرده و نقشه‌های توزیع این عنصر را برای اقدام‌های مدیریتی و اصلاحی آماده کردند. (Chen et al., 2016). به منظور شناسایی منبع و اصلاح توزیع فضایی ۸ عنصر سنگین در ۵۲ نمونه خاک سطحی در منطقه‌های جنوب غربی چین از این روش استفاده کردند و اعلام کردند که عنصر جیوه در اثر استفاده از فاضلاب جهت آبیاری و کروم، نیکل و روی در اثر فعالیت‌های صنعتی و فرونشست‌های جوی به خاک اضافه شده است. (Magno et al., 2018). با استفاده از ابزار کوکریجینگ به بررسی توزیع عنصرهای سنگین منگنز، کادمیوم، مس، سرب و روی در منطقه معدنی بامپوس در تنسی پرداختند. آن‌ها منگنز و سرب منطقه را حاصل از انتقال این عناصر در جهت شیب منطقه و دیگر عنصرها را محلی و درجا معرفی کردند. (Khosravi et al., 2016). از این ابزار به منظور بررسی توزیع عنصرهای سنگین مس، کبالت، نیکل، روی، کادمیوم و سرب در زمین‌ها و گیاهان اطراف صنایع تولید سرب و روی در استان زنجان استفاده کردند. در این مطالعه، ۱۲۶ نمونه با فاصله ۵ کیلومتر برداشت شد. این مطالعات نشان داد که غلظت‌های بالای عناصر مورد مطالعه در اطراف و نزدیک صنایع سرب و روی در این منطقه وجود دارد و این محققان دلیل بالا بودن غلظت این عناصر را آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، ماده مادری منطقه و فعالیت‌های صنعتی معرفی کردند.

سلینیوم به دلیل دارا بودن خاصیت‌های فلزی و غیرفلزی به عنوان یک شبه‌فلز (متالوئید) معرفی می‌شود (Murkers, 2000). این خاصیت سبب می‌شود که این ماده در مقادیر کم برای سلامتی انسان و حیوان ضروری، ولی در مقادیر

دارای کمبود و سمیت سلنیوم در این استان در دسترس است. بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی توزیع عنصر سلنیوم در خاک‌های سطحی این استان پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از ایران مرکزی شامل زمین‌های با کاربری‌های صنعتی، کشاورزی و شهری استان اصفهان، به مرکزیت رودخانه زاینده‌رود است. این منطقه، مساحتی در حدود ۶۸۰۰ کیلومتر مربع داشته و بخش‌هایی از شهرستان‌های اصفهان، زرین‌شهر، شاهین‌شهر، خمینی‌شهر، نجف‌آباد، لنجان، شهرضا و مبارکه را شامل می‌شود. مختصات جغرافیایی منطقه بین ۱۵' ۵۱° تا ۴۱' ۵۲° شمالی و ۷' ۳۲° تا ۵۹' ۳۲° شرقی قرار دارد، این محدوده روی نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی کشور با شماره NI3915 و بخش‌هایی از شیت NI3916 مشخص است. متوسط بارندگی در منطقه مطالعاتی براساس سالنامه آماری استان در یک دوره ۳۰ ساله در حدود ۱۲۰ میلی‌متر در سال می‌باشد و آب و هوای منطقه به‌طور کلی معتدل خشک نیمه صحرایی است. تشکیلات زمین‌شناختی غالب، کواترنر و همین‌طور تشکیلات آهکی حاوی اوربیتالین و شیل مربوط به اواخر دوره کرتاسه می‌باشد (نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ اصفهان). این مطالعه قسمت‌های وسیعی از زمین‌های کشاورزی استان و مراکز بزرگ صنعتی مانند کارخانه ذوب آهن، فولاد مبارکه، پالایشگاه و نیروگاه اصفهان را در بر می‌گیرد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و تقسیمات شهری را در این محدوده نشان می‌دهد.

### نمونه‌برداری

در مطالعه حاضر به‌دلیل وسعت زیاد منطقه و وجود موانع زیاد جغرافیایی و شهری از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده، استفاده شد (Mulla, 2002). نمونه‌ها از

عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک و در کل ۲۵۵ نمونه از کل منطقه در شبکه‌های ۴×۴ کیلومتر، برداشت شد. دلیل استفاده از این عمق خاک در مطالعه، این است که میزان غلظت در سطح زمین مقدار حداکثر خود را دارد و با حرکت کردن به عمق خاک از میزان غلظت سلنیوم کم می‌شود (Askarian Amiri and Sadegh Poor, 2018).

موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه GPS تعیین گردید. شکل ۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری را با تفکیک نوع کاربری نشان می‌دهد. از آنجا که بخش قابل توجهی از صنایع بزرگ در بخش‌های مرکزی ایران در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار دارد و براساس نتایج تحقیق‌های پیشین انجام گرفته در این منطقه (Sadr et al., 2010; Sadr et al., 2017)، احتمال تأثیر باد غالب منطقه بر توزیع عنصرهای سنگین در منطقه وجود دارد بنابراین به‌منظور بررسی این اثر، گلباد منطقه براساس آمار ۲۵ ساله سازمان هواشناسی استان اصفهان در شکل ۳ نشان داده شده است. باد غالب منطقه در جهت شمال شرقی و جنوب غربی گسترش دارد.

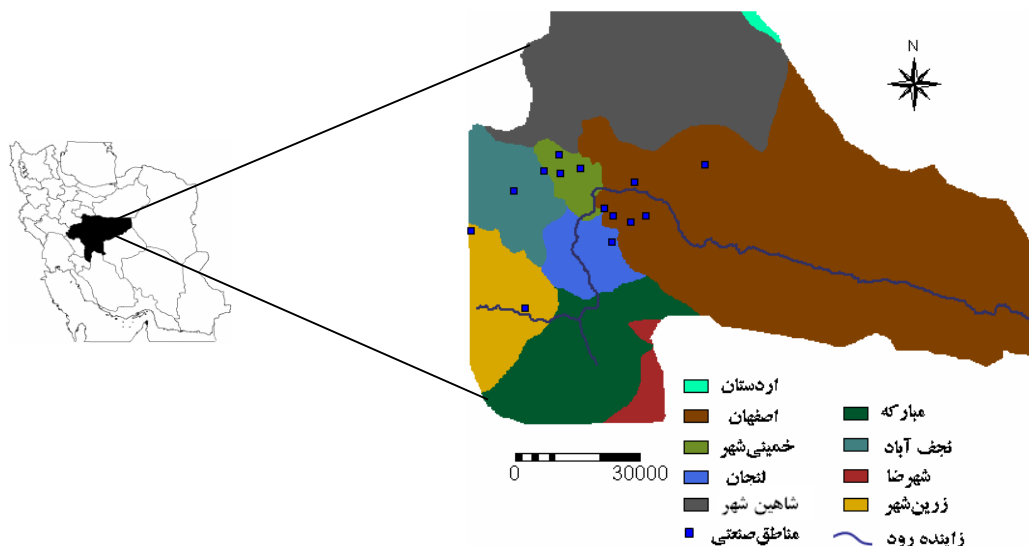
### روش‌های آزمایشگاهی

پس از هواخشک کردن نمونه‌های خاک و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، درصد شن، رس و سیلت خاک به‌روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1951)، قابلیت هدایت الکتریکی<sup>۵</sup> (EC) در عصاره اشباع با استفاده از EC متر مدل "Metrohm AG Herisus, Switzerland Ohm-644" (Rhoades, 1996)، اسیدیته خاک در خمیر اشباع توسط pH متر دیجیتال مدل "M0065trohm AG" (Thomas, 1996) و مواد آلی به‌روش سوزاندن تر (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد.

غلظت کل سلنیوم توسط دستگاه XRF، اندازه‌گیری شد اما به‌لحاظ بالا بودن هزینه‌ها، اندازه‌گیری غلظت کل سلنیوم تنها در ۷۲ نمونه انجام گرفت ولی دیگر متغیرها در ۲۵۵ نمونه، اندازه‌گیری شد. برای افزایش دقت برآورد و تنظیم

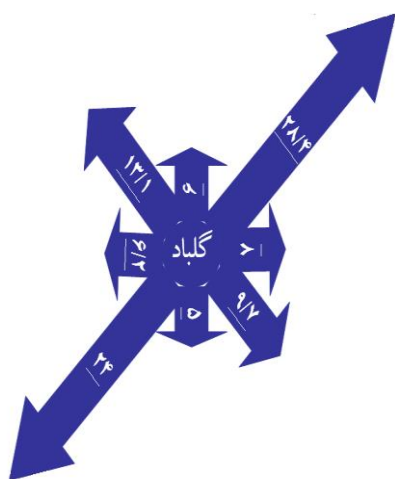
مطالعه ۴۰ نقطه در نظر گرفته شده بود، مقادیر برآورد شده‌ی متغیر در نقاط آزمون ثبت شد و با مقادیر اندازه‌گیری شده در همان نقاط، مقایسه و دقت نقشه، ارزیابی گردید.

درست فرآیند، داده‌های اصلی (اولیه) به دو گروه تقسیم می‌شود، یک دسته برای تعیین تغییرنما و تهیه نقشه برآورد (داده آموزش)، و دسته دیگر برای ارزیابی دقت نقشه‌ی برآورد (داده آزمون) به کار می‌رود (Clay, 2011). بعد از تهیه نقشه، با استفاده از داده‌های آموزش که در این



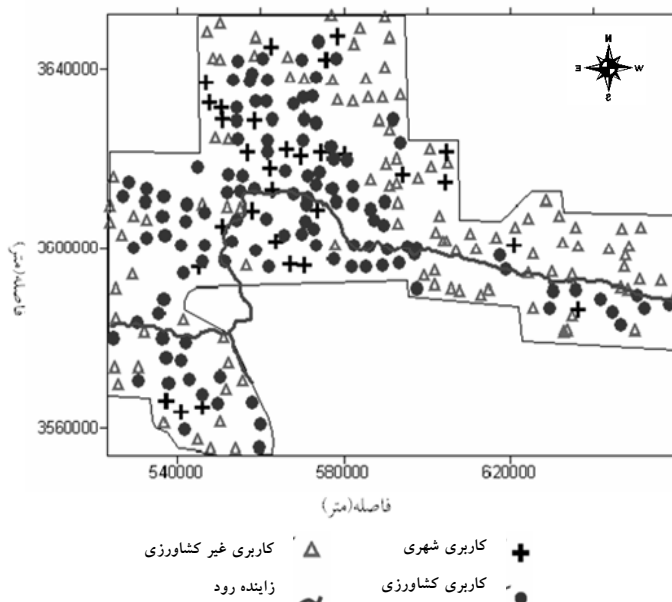
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه روی نقشه ایران و تقسیمات شهری منطقه

Fig. 1- Geographic location of the study area in Iran and the boundaries of the region



شکل ۳ - گلباد منطقه مطالعاتی

Fig. 3 - Wind rose of the study area



شکل ۲ - موقعیت نقاط نمونه برداری با تفکیک نوع کاربری

Fig. 2- Location of sampling points in each land-use

## بررسی آماری

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک با نرم افزار SPSS<sup>۶</sup> تعیین شد. توزیع نرمال داده‌ها به کمک آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی و از تبدیل لگاریتمی برای نرمال کردن داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند استفاده گردید. برای بررسی همبستگی داده‌ها از ضریب پیرسون استفاده شد.

## تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی

همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین‌آمار و با استفاده از تکنیک‌های کوکریجینگ نیز می‌توان بر اساس همبستگی بین دو متغیر، از روی مقادیر یک متغیر برای تخمین متغیر دیگر استفاده کرد. این ویژگی می‌تواند سبب دقت بیشتر تخمین‌ها گردد.

تغییرنمای تجربی، معادل نصف متوسط مربعات اختلاف بین مقادیر مشاهده شده متغیر در جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌گردد (معادله ۱) (Goovaerts, 1997).

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

عبارت  $\gamma(h)$  نیم تغییر نمای تجربی،  $N$  تعداد کل جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند و  $z(x_i)$  و  $z(x_i + h)$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر  $Z$  در نقاط  $x_i$  و  $x_i + h$  است.

در روش کوکریجینگ، افزون بر تغییرنمای متغیرهای اولیه و ثانویه به‌طور جداگانه، تغییرنمای عرضی یا متقابل بین دو متغیر نیز بایستی محاسبه گردد. در عمل، تغییرنمای عرضی تجربی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (معادله ۲) (Isaaks and Srivastava, 1989).

$$\gamma_{2,1} = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^n \{z_1(x_i) - z_1(x_i + h)\} \{z_2(x_i) - z_2(x_i + h)\} \quad (2)$$

عبارت  $\gamma_{2,1}$  نیم‌تغییرنمای عرضی،  $N$  تعداد کل جفت نقاطی که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند.  $z_1(x_i)$  و  $z_1(x_i + h)$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر  $Z_1$  در نقاط  $x_i$  و  $x_i + h$  و  $z_2(x_i)$  و  $z_2(x_i + h)$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر  $Z_2$  در نقاط  $x_i$  و  $x_i + h$  است. برای محاسبه یک واریوگرام دو جانبه به تعداد قابل توجهی نقاط نمونه‌برداری شده مشترک نیاز است. از سوی دیگر چنانچه همبستگی بین دو متغیر ضعیف باشد واریوگرام دو جانبه محاسبه شده، بدون ساختار مناسب جهت تجزیه و تحلیل بعدی خواهد بود (Mohammadi, 1999).

برای مدل‌سازی دقیق واریوگرام‌های تجربی، که ورودی روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ‌اند، وضعیت جهت‌دار بودن پیوستگی مکانی داده‌ها باید مشخص شود. همسان‌گرد بودن واریوگرام، بیانگر آن است که تغییرات متغیر موردنظر در همه جهت‌ها یکسان است و تغییرنما فقط، به فاصله بین نقاط بستگی دارد (Andronikov et al., 2000). تغییرات متفاوت متغیر موردنظر در جهت‌های مختلف بیانگر شرایط ناهمسان‌گردی است که باید در محاسبه واریوگرام در نظر گرفته شود. بیضی ناهمسان‌گردی (Moral et al., 2011)، ابزاری مناسب برای بررسی ناهمسان‌گردی است. برای رسم بیضی ناهمسان‌گردی، واریوگرام در جهت‌های مختلف رسم می‌شود و مقدار دامنه در همه‌ی جهت‌ها به‌دست می‌آید. نسبت ناهمسان‌گردی، که برابر با نسبت بزرگ‌ترین دامنه (قطر بزرگ بیضی) به کوچک‌ترین دامنه (قطر کوچک بیضی) است، می‌تواند معیاری برای بررسی میزان ناهمسان‌گردی باشد.

در این پژوهش، تغییرنماهای همه جهت‌دار توسط نرم افزار WinGslib محاسبه و رسم شد و مدل مناسب برای هر واریوگرام تعیین شد. ویژگی‌های ناهمسان‌گردی در این منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. دامنه تغییرات در این تحقیق در جهت‌های مختلف با اختلاف زاویه ۳۰ درجه رسم

تهیه نقشه‌های تقسیمات شهری توسط نرم افزار ILWIS صورت گرفت.

### نتایج و بحث

آنالیز آمار توصیفی نمونه‌های خاک منطقه مطالعاتی، در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین غلظت سلیوم در این منطقه ۰/۶۳ میلی گرم بر کیلوگرم با حداقل و حداکثر ۰/۵ و ۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم است. در مطالعه‌ای که روی خاک منطقه‌هایی از شمال، مرکز و جنوب ایران انجام گرفت، میانگین غلظت سلیوم به‌طور متوسط ۰/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم با حداقل و حداکثر ۰/۱۰۴ و ۰/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شد (Nazemi et al., 2012). با توجه به نمودار فراوانی‌نما شکل (۴ - الف) و تست کلموگروف - اسمیرنوف و همچنین با توجه به مقادیر بالاتر از ۱ چولگی، غلظت سلیوم، قابلیت هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی از توزیع نرمال پیروی نکرد و از تبدیل لگاریتمی برای نرمال‌سازی این متغیرها استفاده شد. شکل (۴ - ب) فراوانی‌نمای سلیوم پس از تبدیل لگاریتمی را نشان می‌دهد.

با توجه پراکندگی غلظت سلیوم کل در نقاط مورد مطالعه (شکل ۵)، به نظر می‌رسد که نمونه‌هایی که اندازه‌گیری سلیوم روی آن‌ها انجام شده و دارای مقدار عددی برای غلظت سلیوم هستند بیشتر در نواحی مرکزی منطقه مطالعاتی و منطبق بر منطقه‌ها با کاربری صنعتی هستند و غالب این نقاط، غلظت سلیوم بالاتر از میانگین را دارا هستند.

در جدول (۳) ضرایب همبستگی میان غلظت سلیوم نقاط نمونه‌برداری شده و ویژگی‌های خاک همان نقاط نشان داده شده است. هدف از محاسبه ضریب همبستگی، آن است که بتوان به نوعی با در دست داشتن یکی از متغیرها، دیگری را پیش‌بینی کرد. براساس این اطلاعات میان سلیوم و EC، همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. مطالعات پیشین در این منطقه نشان می‌دهد

شد. تحمل به زاویه، در این مطالعه ۱۵ درجه در نظر گرفته شد. سپس بهترین مدل تغییرنا که دارای کمترین خطای تخمین بود توسط تست CrossValidation و به کمک نرم‌افزار WinGslib انتخاب شد و میان‌یابی نهایی با توجه به آن صورت گرفت.

### تخمین و میان‌یابی

در بعضی مواقع ممکن است از یک متغیر به‌دلایلی، مانند مشکل بودن نمونه‌برداری و گران بودن اندازه‌گیری آزمایشگاهی، به اندازه کافی اطلاعات در دست نباشد و براساس آن نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین این متغیر و متغیر دیگر که از آن اطلاعات کافی در دست است، تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد (Mohammadi, 1999). تئوری کوکریجینگ که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌صورت کامل و عمیق توسط مایرز مطرح شده است (Mohammadi, 1999). این تخمین‌گر را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد (Hasani Pak, 1997):

$$\widehat{Z}_1(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} Z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (3)$$

در معادله بالا  $N_1$  و  $N_2$  به ترتیب بیانگر تعداد نمونه‌های متغیر اولیه و ثانویه است که در تخمین، متغیر اولیه در موقعیت  $x_0$  واقع شده است و  $\lambda_{1i}$  و  $\lambda_{2j}$  عبارت از وزن‌های آماری اختصاصی به این داده‌ها است. تخمین‌گر کوکریجینگ به‌منظور بهبود تخمین در مورد غلظت سلیوم خاک، به‌کار گرفته شد. به این منظور نیز از نرم افزار GEOPACK استفاده شد.

### پهنه‌بندی

نقشه‌های توزیع سلیوم در منطقه و نقشه‌های واریانس تخمین، توسط نرم افزار Surfer تهیه شد. تکمیل نقشه‌ها و

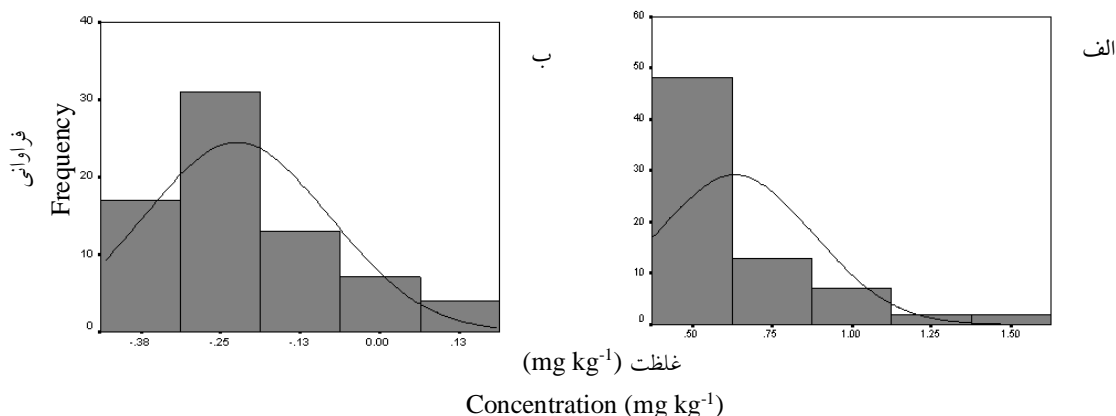
به عنوان تغییرنمای معتبر برای انجام کوکریجینگ انتخاب گردید. شکل ۶ تغییرنمای مربوط به متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد و اطلاعات تغییرنماهای منتخب جهت انجام کوکریجینگ در جدول بیان شده است. براساس این مطالعه، غلظت سلنیوم در هیچ زاویه‌ای، ناهمسانگردی نشان نداد ولی EC در زاویه ۴۷ درجه دارای ناهمسانگردی بود. بنابراین تغییرات غلظت سلنیوم در همه‌ی جهت‌ها یکسان بوده و تغییرنا فقط، به فاصله‌ی بین نقاط بستگی دارد اما در EC، تغییرات متغیر تحت تأثیر زاویه تغییر می‌کند.

قرار می‌گیرند (Sadr *et al.*, 2013). همبستگی مثبت غلظت سلنیوم کل با شوری می‌تواند به دلیل منشأ یکسان این دو متغیر در منطقه باشد. بنابراین از EC به منظور کاهش خطای تخمین سلنیوم توسط ابزار کوکریجینگ استفاده شد. پس از برآزش تغییرنماهای مختلف بر سلنیوم و EC و بررسی وضعیت ناهمسانگردی برای دو متغیر، صحت مدل تغییرنمای برآزش داده شده بر این دو متغیر توسط میانگین مربعات خطا<sup>۷</sup> (MSE) مورد آزمون قرار گرفت و تغییرنمایی که MSE آن در نزدیکترین مقدار به یک بود

جدول ۲- ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد مطالعه

Table 2. Statistical characteristics of the studied parameters

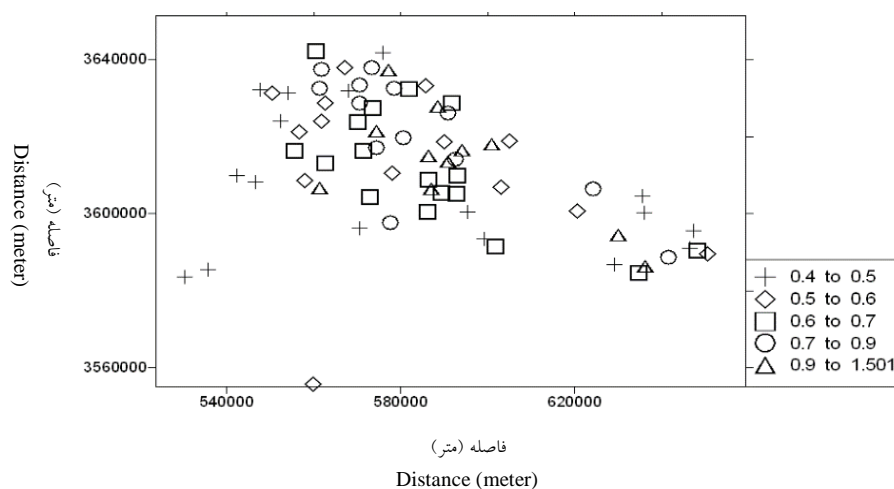
| پارامتر | آماره         | سلنیوم              | شن       | سیلت     | رس       | ماده آلی           | قابلیت هدایت الکتریکی | pH   |
|---------|---------------|---------------------|----------|----------|----------|--------------------|-----------------------|------|
|         | Character     | Selenium (mg. kg-1) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Organic matter (%) | EC (dS m-1)           |      |
| تعداد   | Sample number | 72                  | 255      | 255      | 255      | 254                | 256                   | 257  |
| میانگین | Average       | 0.63                | 39.9     | 35.4     | 24.8     | 0.84               | 6.9                   | 7.9  |
| واریانس | Variance      | 0.06                | 500      | 184.7    | 135      | 0.55               | 154.1                 | 0.07 |
| حداکثر  | Max.          | 1.5                 | 88       | 82       | 62       | 4.5                | 74                    | 8.7  |
| حداقل   | Min.          | 0.5                 | 2        | 2        | 4        | 0                  | 1                     | 7.3  |
| چولگی   | Skewness      | 1.63                | 0.14     | 0.005    | 0.5      | 1.4                | 3                     | 0.14 |



شکل ۴ - توزیع فراوانی غلظت سلنیوم در منطقه. الف: پیش از نرمال کردن. ب: پس از نرمال کردن

Fig. 4- Distribution of selenium concentration in the region. A: Before normalizing; B: After normalizing





شکل ۵- پراکندگی غلظت سلنیوم کل خاک در منطقه ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )

Fig. 5- Distribution of total selenium concentration in the region ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای مورد مطالعه

Table 3. Pearson correlation coefficient between studied variables

| pH  | قابلیت هدایت الکتریکی EC | ماده آلی Organic matter | رس Clay) | سیلت Silt | شن Sand | Se |
|-----|--------------------------|-------------------------|----------|-----------|---------|----|
| 0.2 | **0.443                  | -0.062                  | 0.153    | 0.005     | -0.064  |    |

\*\* - در سطح ۰/۰۱ درصد معنی دار است

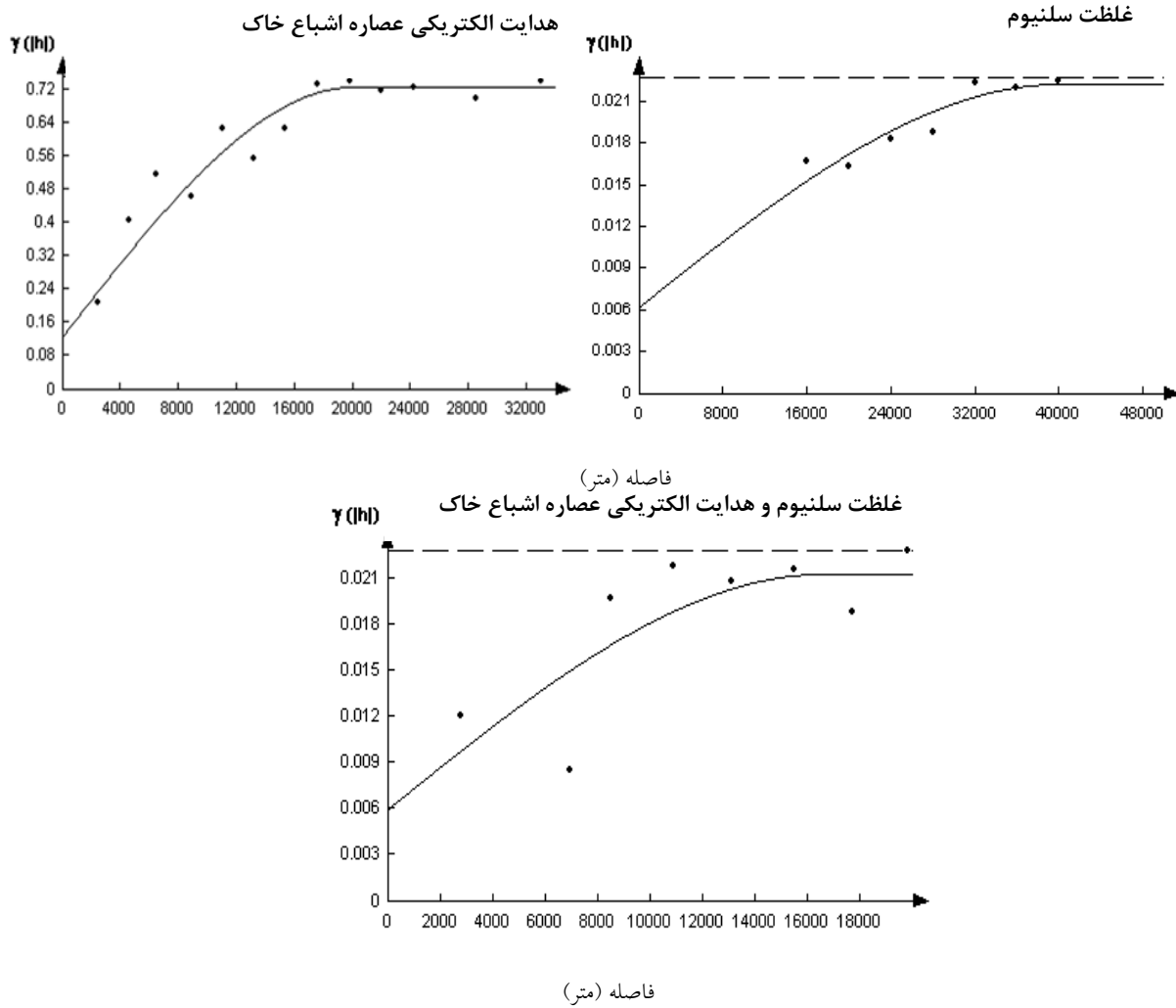
Significant at 0.01 level\*\*

(2010)، حد آستانه کمبود برای سلنیوم کل خاک برابر  $0/6$  میلی گرم بر کیلوگرم و حد سمیت این عنصر برای انسان و دام از  $5$  میلی گرم بر کیلوگرم آغاز می شود (Lemly, 2004). حد مجاز غلظت سلنیوم در خاک های غیرآلوده  $1$  میلی گرم بر کیلوگرم معرفی شده است (Pais and Jones, 2000). بر این اساس به طور میانگین می توان منطقه مورد مطالعه را در محدوده کمبود سلنیوم معرفی کرد چرا که بیش از  $60$  درصد نقاط دارای سلنیوم با غلظت کمتر از  $0/6$  میلی گرم بر کیلوگرم و حدود  $12$  درصد از نقاط، دارای غلظت بیش از حد مجاز سلنیوم در خاک های غیرآلوده هستند اما سمیت این عنصر برای انسان و دام در منطقه مطالعاتی مشاهده نمی گردد. منطقه های تیره رنگ، غلظت های بالاتر موجود در خاک های سطحی منطقه را نشان می دهد که نزدیک به نواحی صنعتی هستند.

شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه ای را می توان از تقسیم واریانس اثر قطعه ای به واریانس کل (حد آستانه) به دست آورد. اگر نسبت مزبور کمتر از  $25$  درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین  $25$  تا  $75$  درصد باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می باشد (Amini et al., 2005). در مطالعه حاضر توزیع سلنیوم در منطقه دارای وابستگی مکانی متوسط و توزیع EC دارای وابستگی مکانی قوی تعیین می گردد.

نقشه ی برآورد توزیع سلنیوم در منطقه با استفاده از روش کوکریجینگ در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس این نقشه، بخش های وسیعی از منطقه مطالعاتی را سلنیوم با غلظت  $0/5$  تا  $0/65$  میلی گرم بر کیلوگرم پوشش می دهد.

در این پژوهش، براساس پیشنهاد (Gupta and Gupta,



شکل ۶- تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده بر آن برای غلظت سلیوم، متغیر کمکی (EC) و تغییرنمای متقابل  
 Fig. 6- The experimental variogram and its fitting models for selenium concentration, assisted variable (EC), and mutual variogram

جدول ۴- مقادیر کنترل اعتبار تغییرنا جهت تخمین کوکریجینگ

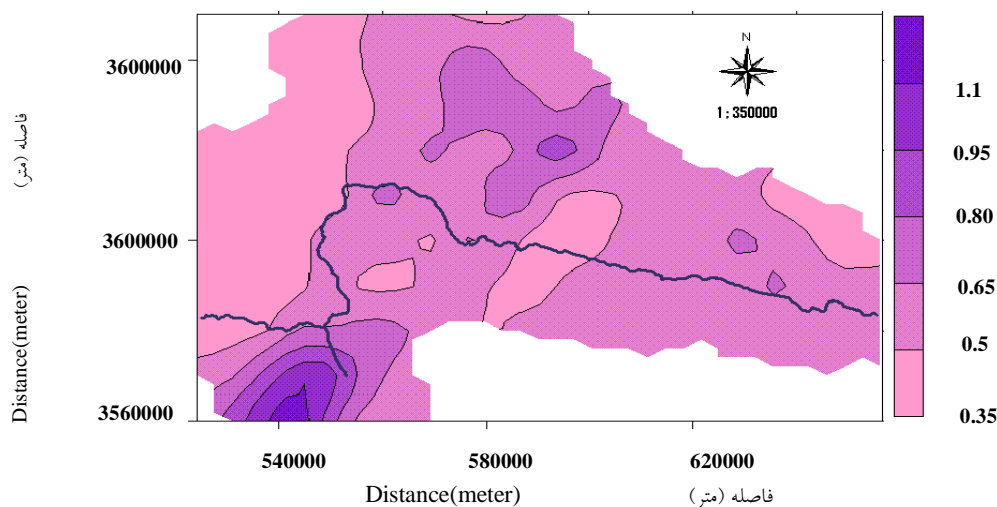
Table 4. Variogram Cross-Validation values for Co-Kriging estimation

| MSE  | درصد وابستگی مکانی<br>Spatial dependency percentage | اثرقطعه‌ای<br>Nugget | حد آستانه<br>Threshold | دامنه تأثیر<br>Rang | ناهمسانگردی<br>Anisotropy | مدل<br>Model |                   |
|------|---|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|-------------------|
| 0.7  | 39  | 0.0063               | 0.016                  | 40000               | 0                         | کروی         | سلیوم<br>Selenium |
| 0.17 | 21  | 0.127                | 0.6                    | 21000               | 47                        | کروی         | شوری<br>EC        |
| 0.7  | 60  | 0.006                | 0.015                  | 16600               |                           |              | متقابل<br>Mutual  |

طرف دیگر خطر آبخویی این عنصر و آلوده کردن آب‌های زیر زمینی را افزایش می‌دهد.

در زمین‌های کشاورزی به واسطه آبیاری بیشتر این منطقه‌ها نسبت به زمین‌های بایر و غیر کشاورزی احتمال شستشوی سelenium در اثر آبخویی و خارج شدن آن از محیط ریشه و از افق سطحی خاک وجود دارد. با اینکه مقدار سelenium در برخی از خاک کمتر از سطح بحرانی است ولی بر اثر فعالیت‌های انسانی، غلظت آن در خاک و آب افزایش یافته و ممکن است سبب سمیت شده و حیات انسان، حیوانات و دیگر جانداران را تهدید کند. همانطور که در نقشه‌ی به-دست آمده در این مطالعه مشاهده می‌گردد بالاترین غلظت‌های سelenium، در شهرستان مبارکه مشاهده می‌شود که صنایع فولاد مبارکه را در خود دارد. کانسارهای فلزی بیشتر حاوی مقداری سelenium هستند. بنابراین فعالیت‌هایی که برای استخراج فلز از کانسنگ انجام می‌شود، این عنصر را وارد محیط می‌کند.

نتایج، گویای این مطلب است که در غالب منطقه مطالعاتی نه تنها سمیت و آلودگی سelenium وجود ندارد بلکه کمبود آن نیز مشاهده می‌شود. بخش‌های وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک با خاک‌های دارای pH قلیایی در بر گرفته است. با توجه به این نکته که زمین‌ها با غلظت پایین سelenium هم در کاربری‌های کشاورزی و هم غیر کشاورزی مشاهده می‌گردد به نظر می‌رسد نوع ماده مادری این منطقه که بیشتر، سازندهای آبرفتی رودخانه‌ی زاینده‌رود هستند از نظر سelenium فقیر هستند. از سوی دیگر کمبود این عنصر در زمین‌های کشاورزی گویای توجه نکردن کشاورزان این منطقه‌ها به استفاده از کودهای حاوی سelenium است. لازم به بیان است که در خاک‌های با مشخصات خاک مورد مطالعه (اکسیدی با pH بالا)، سelenium خاک به فرم سلنات ( $SeO_4^{2-}$ ) محلول در آب تبدیل می‌شود که در میان گونه‌های سelenium موجود در خاک، تحرک و زیست‌فراهمی بالایی را نشان می‌دهد ولی از



شکل ۷- نقشه توزیع غلظت سelenium ( $mg.kg^{-1}$ ) در خاک سطحی بخش‌های مرکزی ایران (حاصل از کوکریجینگ)

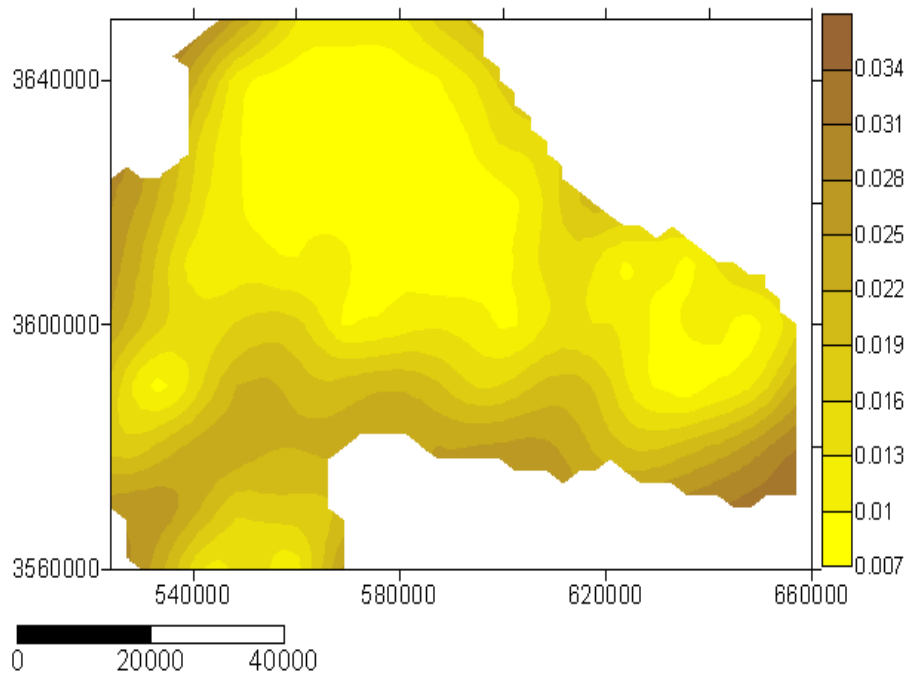
Fig. 7- Distribution map of selenium concentration ( $mg.kg^{-1}$ ) in surface soil of central parts of Iran (obtained from Co-Kriging)

(Lemly, 2004). بنابراین وزش باد را می‌توان در انتقال این عنصر مؤثر دانست از آنجا که جهت باد غالب منطقه به سمت نواحی پر جمعیت منطقه از جمله شهرستان اصفهان است، نیاز به توجه ویژه‌ای در این زمینه احساس می‌گردد.

دمای ذوب برخی فلزها مانند مس، نیکل و روی آنقدر بالا است که در آن دما سelenium به صورت بخار وارد اتمسفر می‌شود که پس از سرد شدن متراکم شده و یا به گرد و غبار موجود در اتمسفر پیوند می‌خورد و با فروزش در اکوسیستم‌های آبی و خاکی سبب آلودگی آن می‌شود

حاشیه می‌باشد. برای رفع این مشکل می‌توان یک یا دو ردیف بیشتر از سطح مورد نیاز نمونه‌برداری انجام داد یا این‌که عمل میان‌یابی را در حواشی منطقه نمونه‌برداری انجام نداد.

شکل ۸، واریانس خطای تخمین حاصل از کریجینگ را نشان می‌دهد. همانطور که در این نقشه مشاهده می‌شود، حاشیه نقشه دارای واریانس تخمین بیشتری نسبت به دیگر نواحی می‌باشد. دلیل این امر، اریب بودن تخمین‌ها در



شکل ۸- نقشه واریانس تخمین غلظت سلیوم توسط کوکریجینگ

Fig. 8- Variance estimation map of selenium concentration obtained by Co-Kriging

### نتیجه‌گیری

نسبت به منطقه‌های دوردست‌تر افزایش دهد. صنایع عظیم فولاد موجود در شهرستان مبارکه به‌عنوان عاملی در جهت ورود سلیوم به اتمسفر و در نهایت خاک، معرفی می‌گردد. باد غالب منطقه نیز چه‌بسا در انتقال این انتشارات به قسمت‌های شمال شرق منطقه، نقش ایفا کرده است. بالاترین غلظت‌های سلیوم در شهرستان مبارکه مشاهده شده که گمان می‌رود منشأ اصلی آن، صنایع فلزی موجود در منطقه بویژه صنایع فولاد است. صنایع تولید فولاد از صناعی هستند که با حجم عظیمی از مواد مصرفی و انرژی سروکار دارند. بیش از نیمی از ورودی این صنایع در خروجی به شکل دوده و ذرات جامد بوده و در نتیجه توصیه می‌گردد که مسأله کنترل این حجم عظیم آلاینده‌های

براساس نتایج به‌دست آمده، غلظت سلیوم در بخش‌های وسیعی از ایران مرکزی به مرکزیت استان اصفهان در محدوده‌ی کمبود، ضرورت استفاده از کودهای سلیوم در زمین‌های کشاورزی واقع در این منطقه‌ها را روشن می‌سازد. غلظت سلیوم تمامی زمین‌های مورد مطالعه در این پژوهش، در زیر حد آلودگی برای انسان و دام است اما ۱۲ درصد این زمین‌ها دارای غلظت سلیوم بیش از حد مجاز برای خاک‌های غیر آلوده هستند و در صورت توجه نکردن به کنترل ورود این عنصر به خاک می‌تواند خطراتی را برای ساکنان این منطقه‌ها ایجاد کند. تجمع صنایع در شهرستان اصفهان و شهرستان‌های نزدیک‌تر به اصفهان توانسته غلظت سلیوم را در خاک سطحی این منطقه‌ها

## پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Geostatistic  
<sup>2</sup> Kriging  
<sup>3</sup> Co- Kriging  
<sup>4</sup> Calcareous  
<sup>5</sup> Electrical conductivity  
<sup>6</sup> Statistical Package for the Social Sciences  
<sup>7</sup> Mean squared error

محیط زیستی حاصل از این صنایع، در اولویت مسأله‌های محیط زیستی منطقه قرار گیرد. همچنین پیرو نتایج حاصل توصیه می‌گردد با توجه به اهمیت سلیوم در جیره غذایی دام و انسان و اهمیت تغذیه‌ای این عنصر، توجه ویژه‌ای به استفاده‌ی بیشتر از انواع کودهای کشاورزی حاوی سلیوم، اعمال گردد.

## منابع

- Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C. and Schulin, R., 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Science of Total Environment*. 347, 64-77.
- Andronikov, S.V., Davidson, D.A. and Spiers, R.B., 2000. Variability in contamination by heavy metals: sampling implications. *Water, Air and Soil Pollution*. 120, 29-45.
- Askarian Amiri, A. and Sadegh Poor, M., 2018. Effect of Selenium Contaminant Transfer on Soil. In *Proceedings 6<sup>th</sup> International Conference on Engineering Science and Technology (ICIEC 2017)*, 27<sup>th</sup> November, Mantissa College, Malaysia.
- Ayoubi, S.A., Mohamad Zamani, M. and Khormali, F., 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorhankalateh, Golestan province. *Journal of Agricultural Science and Natural Researches*. 14(4), 78-87.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analyses of soils. *Agronomy Journal*. 43, 434-438.
- Chen, T., Chang, Q., Liu, J., Clevers, J.G.P.W. and Kooistra, L., 2016. Identification of soil heavy metal sources and improvement in spatial mapping based on soil spectral information: a case study in northwest China. *Science of the Total Environment*. 565, 155-164.
- Clay, S.A., 2011. *GIS Application in Agriculture*. Talyer and Francis, CRC Press, USA.
- Combs, G.F., 2001. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*. 85, 517-47.
- Ersahin, S., 2003. Comparing ordinary kriging and Cokriging to estimate infiltration rate. *Journal of Soil Science Society American*. 67, 1848-1855.
- Fordyce, F., 2005. Selenium Deficiency and Toxicity in The Environment. In *Essentials of Medical Geology*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, UK.
- Gupta, U.C. and Gupta, S.C., 2010. Selenium deficiency in soils and crops and its impact on animal and human health. *Current Nutrition & Food Science*. 6, 268-280.
- Hasani Pak, A.A., 1997. *Geostatistics*. Tehran University Press, Tehran, Iran.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, UK.
- Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*, 4<sup>th</sup> ed. Taylor and Francis Group, LLC., USA.
- Khosravi, Y., Zamani, A.A., Parizanganeh, A.H. and Yaftian, M.R., 2018. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Regional*. 12, 10-17.

- Lark, R.M., Ander, E.L., Cave, M.R. and Scanlon, R.P., 2014. Mapping trace element deficiency by Cokriging from regional geochemical soil data: a case study on cobalt for grazing sheep in Ireland . *Geoderma*. 226, 64–78.
- Lemly, A.D., 2004. Aquatic selenium pollution is a global environmental safety issue. *Ecotoxicology Environmental Safety*. 59, 44-56.
- Lindsay, W.L., 1979. *Chemical Equation in Soils*. John Wiley and Sons, INC., New York, USA.
- Magno, M.A., Luffman, I., Nandi, A. and Evanshen, B.G., 2018. Spatial interpolation of heavy metal concentrations in soils of bumpus cove. Available online at: <https://dc.etsu.edu/asrf/2018/schedule/126/>.
- Merian, E., Anke, M., Inant, M. and Stoepler, M., 2004. *Elements and Their Compounds in The Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Mohammadi, J., 1999. Study of the spatial variability of soil salinity in Ramhormoz Area (Khuzestan) using Geostatistical Theory II. Cokriging. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 3(1), 1-8.
- Moral, F.J., Terron, J.M. and Rebollo, F.J., 2011. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 75, 223-230.
- Mulla, D.J. and McBratney, A.B., 2002. *Soil Spatial Variability*. CRC press, LLC., USA.
- Murkers, J.P., 2000. Abiotic and Biotic Processes in the resource and control of selenium in the western phosphate resource area. MSc. Thesis, University of Idaho, Russia.
- Nazemi, L., Nazmara, S., Eshraghyan, M.R., Nasser, S., Djafarian, K., Yunesian, M., Sereshti, H., Moameni, A. and Shahtaheri, S.J., 2012. Selenium status in soil, water and essential crops of Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences and Engineering*. 9, 1-8.
- Pais, I. and Jones, J.B., 2000. *the Hand Book of Trace Elements*. CRC press, USA.
- Reilly, C., 1996. *Selenium in Food and Health*. Springer, Germany.
- Renha, S.P., 1983. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialyzed red- brown earths. *Journal of Soil Science*. 34, 723-732.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*. 5, 417-435.
- Sadr, S. and Afyuni, M., 2017. Evaluation of vanadium distribution in agricultural and industrial land uses areas in Isfahan Region. *Journal of Environmental Studies*. 43(2), 207-218.
- Sadr, S., Afyuni, M. and Fathian Por, N., 2010. Spatial variability of arsenic under different land use in Isfahan Region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 13(50), 65-75.
- Sadr, S., Afyuni, M. and Movahedi Rad, Z., 2013. Mapping soil salinity in arid and semi-arid soil by Geostatistic Theory (Esfahan Province). *Geography and Environmental Hazard*. 2(7), 123-136.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical and Microbiological Properties*. 5, 475-490.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the DEGTJAREFF method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.





Environmental Sciences Vol.18/ No.3 / Autumn 2020

106-121

## Investigating the spatial pattern of total selenium concentration in soil surface in Central Iran (case study: Isfahan Province)

Somayeh Sadr\* and Zahra Movahedi Rad

Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Kerman, Iran

Received: 2020.02.02 Accepted: 2019.01.01

**Sadr, S. and Movahedi Rad, Z., 2020.** Investigating the spatial pattern of total selenium concentration in soil surface in Central Iran (case study: Isfahan Province). *Environmental Sciences*. 18 (3):106-121.

**Introduction:** The study of the spatial distribution of heavy metals is very important in land management and planning. The geostatistics theory is used to estimate spatial variables in unmeasured points. By using the Co-Kriging estimator and using information about the correlation between variables, a more accurate estimation of a variable (main variable) can be obtained using auxiliary information (secondary variables). Due to the importance of Isfahan Province because of the large population living in this province and the extent of agricultural and industrial activities, there is a need for sufficient information on the distribution of selenium in this area. The present study investigated the distribution of selenium and provided maps of its distribution in the surface soils of this province.

**Material and methods:** The study region has an area of about 6800 km<sup>2</sup> and covers a large part of the agricultural lands and the major industrial centers of Isfahan. Samples were taken from depths of 0 to 20 cm from the soil surface and 255 samples from the whole area in 4 × 4 km networks by using a stratified random sampling design. All soil samples were analyzed for pH, electrical conductivity (EC), sand, clay, silt content, and organic matter percentage. Total selenium concentrations were measured by XRF in only 72 samples. Statistical and geostatistical calculations were performed by SPSS and WinGslib, respectively, and maps were drawn by ILWIS and Surfer software.

**Results and discussion:** The mean concentration of selenium in the study area was 0.63 mg/kg with a min and max amount of 0.5 and 1.5 mg/kg, respectively. There was a positive and significant correlation between the selenium concentration and soil's EC. Therefore, EC was used to reduce the selenium estimation error by the Co-Kriging method. While toxicity level of selenium starts at 5 (mg/kg) for humans and animals, in this study, deficiency threshold for total soil selenium was 0.6 mg/kg and, therefore, the study area can be identified as selenium-deficient because more than 50% of the area had a concentration of less than 0.6 mg/kg and about 12% of the area has a high concentration of selenium in unpolluted soils. No toxicity of this element to humans and livestock was observed. Large parts of Isfahan Province have an arid climate with alkaline pH soils. Given the low levels of selenium in both agricultural and non-agricultural lands, it seems that the native material of this area, which is often the alluvial constituent of the Zayandehrood River, is poor in selenium. On the other hand, the

---

\*Corresponding Author: *Email Address*. s.sadr@stu.vru.ac.ir  
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.106>

deficiency of this element in agricultural lands indicates that farmers in these areas do not use selenium-containing fertilizers. The highest concentration of selenium was located in the city of Mobarake. There is a huge steel industry in this area. The dominant wind direction of the region is introduced as a threat factor in the transfer of selenium-containing atmospheric emissions from the industrial areas of Mobarake to more populated areas of the province

**Conclusion:** Industries are more concentrated in the city of Isfahan and its surrounding areas and thus selenium concentration is higher in these areas than the neighboring areas. The steel industry in Mobarakeh is an agent for the introduction of selenium into the atmosphere and finally the soil. Winds probably play a role in transmitting selenium to the northeastern part of the region. However, no toxicity of this element was observed in all the studied areas but even selenium deficiency was observed. Therefore, using selenium-rich fertilizers in the region is recommended.

**Keywords:** Geostatistic, Co-Kriging, Zayandehrood River, Mobarake.